

乐山市城市暴雨强度公式报告

(2024 版)

乐山市住房和城乡建设局

四川省城乡建设研究院

2025 年 5 月

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 编制背景.....	1
1.2 编制依据.....	3
1.3 适用区域及编制主要内容.....	4
第 2 章 乐山市概况	6
2.1 乐山自然地理及社会经济.....	6
2.1.1 区位及行政区划.....	6
2.1.2 地形地貌.....	7
2.1.3 气象条件.....	10
2.1.4 水文条件.....	12
2.1.5 地质条件.....	13
2.1.6 人口及经济.....	14
2.2 乐山市降水特性分析.....	16
2.2.1 年降水量分析.....	16
2.2.2 日降水量分析.....	17
2.2.3 极端降水分析.....	19
2.2.4 不同历时降水量分析（1981-2023）.....	26
第 3 章 资料与技术方法	31
3.1 资料处理.....	31
3.1.1 资料介绍及台站概况.....	31
3.1.2 降水数据记录方法.....	31
3.1.3 降水资料选样方法.....	31
3.1.4 降水数据提取.....	32

3.2 暴雨强度公式的技术方法.....	35
3.2.1 理论频率分布曲线拟合方法.....	35
3.2.2 暴雨强度公式计算方法.....	38
3.2.3 精度检验方法.....	44
3.3 暴雨雨型设计的技术方法.....	44
3.3.1 芝加哥雨型设计方法.....	44
3.3.2 同频率雨型设计方法.....	46
第 4 章 短历时暴雨强度公式.....	48
4.1 曲线拟合.....	48
4.2 短历时暴雨强度公式计算.....	50
4.2.1 最小二乘法.....	51
4.2.2 高斯牛顿法.....	53
4.3 误差分析.....	55
4.4 推求结果.....	56
4.5 与上版暴雨强度公式的比较分析.....	57
第 5 章 长历时暴雨强度公式.....	63
5.1 曲线拟合.....	63
5.2 长历时暴雨强度公式计算.....	66
5.2.1 最小二乘法.....	66
5.2.2 高斯牛顿法.....	68
5.3 误差分析.....	70
5.4 推求结果.....	72
第 6 章 暴雨雨型设计.....	74
6.1 短历时设计暴雨雨型推求.....	74

6.1.1 芝加哥雨型法原理.....	74
6.1.2 芝加哥雨型法设计暴雨过程.....	75
6.2 长历时设计暴雨雨型推求.....	79
6.2.1 同频率法分析原理.....	79
6.2.2 雨型推求过程和结果.....	82
6.3 设计暴雨雨型示例.....	87
第 7 章 结论和建议.....	96
7.1 暴雨强度公式编制结论.....	96
7.2 暴雨雨型设计编制结论.....	97
7.3 建议.....	100
附表.....	102
附表 1 乐山市长历时公式暴雨强度查算表（单位：mm/min）	102
附表 2 乐山市短历时公式暴雨强度查算表（单位：mm/min）	107
附表 3 乐山市同频率雨型各段（逐 5 分钟）百分率分配.....	112
附表 4 乐山市同频率雨型雨量分配结果（单位：mm/5min）	124
附表 5 不同历时雨型的总雨量 单位（mm）	131

第 1 章 绪论

1.1 编制背景

建立完善的城市排水防涝系统，是提高城市防灾减灾能力、保障人民群众生命财产安全的基本要求，是促进城镇化健康发展、建设生态文明社会的重要内容。近年来，我国大部城市均遭遇了“多年一遇”甚至“百年一遇”的特大暴雨灾害，诸多城市频繁出现道路积水问题，严重阻碍了城市交通，干扰社会生活秩序，造成了巨大的经济损失。

比如，2005 年 8 月初上海市遭受台风“麦莎”的侵袭，市区内 84 条道路积水成患，给市民出行带来极大不便（来自中国上海网）；2007 年济南 718 洪灾，在短短 3 小时降雨中就夺走 34 条生命（来自新华网）；2011 年 6 月北京城区骤降大雨，莲花桥积水最深达 2 米，陶然亭地铁站进水，故宫成为一片汪洋，市区交通严重受阻几乎瘫痪；2011 年 6 月 28 日，武汉市遭受强暴雨袭击，全城多处交通要道积水严重，交通瘫痪，车辆在积水的道路上艰难行驶；而常熟市城区的内涝灾害现象近年也逐步凸显，明日星城、花溪片区等地均存在不同程度的内涝积水现象。

2008 年 7 月 20 日傍晚至 21 日凌晨，乐山市遭受强雷雨袭击，乐山城区降雨 280.4 毫米，为该次全省降雨中心之一，也是 1996 年以来乐山市最大的一次降雨过程。暴雨造成乐山中心城区多处地段内涝严重，雷击造成市中区 31 条线路跳闸，中心城区大部分地区停电。截至 21 日 15 时统计，全市因灾造成直接经济损失 3500 万元，死亡 1 人，伤 22 人，房屋倒塌 169 间、损坏 656 间。

2010 年 7 月 16 日至 17 日连续两日，乐山市遭遇特大暴雨袭击，城区部分地段出现严重内涝。其中，牛咭桥省建筑第一分公司、百福路 600 号等多处地段积水都达到了 120 厘米左右，城区部分店铺关门，道路被淹，交通出现拥堵。据气

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

象部门监测，16日晚中心城区最大降雨量达357毫米。17日上午，大雨依旧不断，在城区牛咭桥省建筑第一分公司大院内，受到一夜暴雨的侵袭，整个院坝早已成为一片“汪洋”，居住在一楼的部分居民家中也被大水淹没。

2020年8月17日晚至18日上午，乐山市遭遇持续暴雨袭击，乐山全市大雨站点3个、暴雨站点28个、大暴雨站点231个，特大暴雨45个站点，最大雨量出现在夹江县夹江木城永兴10队，达416.8毫米；最大小时雨量出现在苏稽牛头堰，达85.0毫米，全域降雨量较历史同期值偏多1.5~5.5倍。加之岷江、大渡河、青衣江三条江河上游的成都、眉山、雅安等地同时出现强降雨，导致乐山市市中区流域形成特大洪峰，三江洪水倒灌导致主城区约三成区域被淹，导致我市遭受严重经济损失，人民群众生产生活受到较大影响。

2024年6月，四川省住房和城乡建设厅、四川省气象局联合印发《关于做好暴雨强度公式编制及修订有关工作的通知》（川建城建发〔2024〕102号），文件要求各市（州）住房城乡建设（城市排水）部门要会同当地气象部门，按照《室外排水设计标准》（GB50014）和《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》要求，依据最新历史分钟降水信息化数据，指导城市（县城）规范开展暴雨强度公式编制与修订。原则上除历史降水数据确实无法达到编制要求的地方外，各城市（县城）均应开展编制或修订，内容应包含但不限于短历时暴雨强度公式及雨型、长历时暴雨强度公式及雨型、常用图表及附加说明。此外，乐山市于2023年入选省级海绵城市示范城市，应系统化全域推进海绵城市建设，相关雨水调蓄设施、行泄通道计算宜结合长历时暴雨强度公式及雨型进行设计计算。

乐山市现在使用的城市暴雨强度公式为2022年修编，为乐山市有关排水工程的规划、设计、施工提供了较为可靠的依据。但该次修编未对长历时暴雨强度公式及雨型进行编制，无法满足国、省、市相关工作的最新要求。因此，乐山市住

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

房和城乡建设局会同乐山市气象局组织开展本次修订工作。目前，乐山市气象局已累积有自 1981-2023 年 43 年降雨资料，满足了《室外排水设计标准》（GB50014-2021）的年限要求，为本次乐山市暴雨强度公式修订提供了良好的资料条件。

1.2 编制依据

城市排水工程规划建设的前提是对城市暴雨规律有清楚的认识，而暴雨强度公式反映了城市地区短、长历时暴雨的降雨规律，是城市雨水排水系统规划与设计的基本依据，暴雨公式的修订必须严格遵守国家和地方政府的有关法规和政策。本次修订工作主要依据如下：

- (1) 《室外排水设计标准》（GB50014-2021）
- (2) 《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》（住房和城乡建设部、中国气象局，2014 年 4 月）
- (3) 《住房和城乡建设部办公厅 国家发展改革委办公厅 中国气象局办公室关于进一步规范城市内涝防治信息发布等有关工作的通知》（建办城〔2022〕30 号）
- (4) 《四川省住房和城乡建设厅 四川省气象局关于做好暴雨强度公式编制及修订有关工作的通知》（川建城建发〔2024〕102 号）
- (5) 《城市排水功能设计—暴雨强度公式编制技术指南》
- (6) 《给水排水设计手册 城镇排水》
- (7) 《城镇内涝防治技术规范》（GB 51222-2017）
- (8) 《地面气象观测规范》
- (9) 《地面气候资料 30 年整编常规项目及其统计方法》
- (10) 《降水自记纸数字化处理业务流程》

1.3 适用区域及编制主要内容

本次编制的暴雨强度公式主要适用于乐山市中心城区，包括市中区、沙湾区和五通桥区，不含金口河区。



图 1-1 适用范围说明

修订的主要内容如下：

（1）降雨资料的信息化处理：收集、整理区内气象站点资料，确保资料准确、观测规范、系列完整，并进行可靠性、一致性、代表性审查。

（2）降雨趋势分析：分析年、各季节降水量的趋势，分析多年降雨的集中度（年分布和各月分布）；分析日降水量的气候趋势、不同等级降水量分布趋势和连续有雨次数逐年变化；分析短历时（60min、120min 和 180min）降水量和极端降水量频次的变化趋势，为海绵城市、排水防涝设计提供精细化气候背景信息。

（3）根据城市排涝和防洪规划设计不同要求，采用至少近 30 年逐分钟资料，按年最大值法进行取样，分别采用 P-III、耿贝尔和指数分布曲线进行频率计算，应用高斯牛顿法和最小二乘法推求长历时（适用于 5-1440min）及短历时（适用

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

于 5-180min) 的暴雨强度公式。并对暴雨强度公式参数进行误差分析，完成城市暴雨强度公式及计算图表的编制。

(4) 基于现有暴雨强度公式，对设计降雨雨型进行确定，基于短历时暴雨强度公式推求短历时暴雨雨型（芝加哥雨型），基于长历时暴雨强度公式推求长历时暴雨雨型（同频率雨型）。

第 2 章 乐山市概况

2.1 乐山自然地理及社会经济

2.1.1 区位及行政区划

（1）区位条件

乐山市位于四川省中部、四川盆地的西南部，北连成都平原、西接川南山地、东南跨川中丘陵，市域地理坐标在东经 102°50′—104°14′，北纬 28°25′—29°23′之间。

从行政区位看，乐山市东邻自贡市与宜宾市，南靠凉山彝族自治州，西连雅安市，北接眉山市，是成都平原城市群与川南城市群的过渡片区，起着重要的衔接与整合作用。



图 2-1 四川省在全国区位图（左） 乐山市在四川省区位图（右）

从交通区位看，乐山两航并举—岷江航电综合开发和乐山机场；五铁贯通—成绵乐城际铁路、成贵铁路、成昆铁路复线、乐雅铁路（拟建）、乐自泸铁路（拟建）；高速网布—成乐高速公路、乐雅高速公路、乐宜高速公路、乐自高速公路、乐汉高速公路（含乐峨段）、仁沐高速公路（仁井试验段）、乐山绕城高速；整体对外交通便利，是四川重要的交通枢纽城市。

（2）行政区划

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

全市行政管辖面积约 12723 平方公里，辖 4 个区（市中区、五通桥、沙湾、金口河），4 个县（犍为、井研、夹江、沐川）、两个彝族自治县（峨边、马边），代管峨眉山市（县级）；辖 18 个乡、103 个镇、11 个街道、1107 个村、9275 个村民小组、264 个社区、2021 个居民小组。

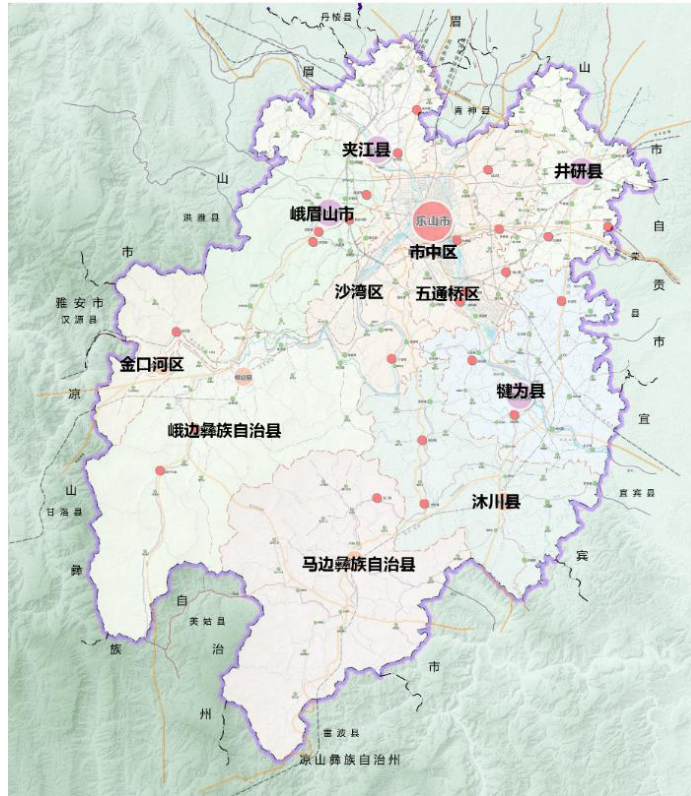


图 2-2 乐山市行政区划图

2.1.2 地形地貌

(1) 市域地貌

乐山地处四川盆地西南边缘，北连成都平原，西接川南山地、东及东南跨川中丘陵。山地分散在本市西南部，平原集中在中部，浅中丘和缓丘平原位于平原之上和山麓地带。整个地势西南高、东北低，高差悬殊。峨边彝族自治县马鞍山主峰海拔高达 4077 米，与岷江出境处海拔 320 米相比较，高差 3757 米。岷江、大渡河、青衣江分别从北部、西南部、西北部入境，在市中区城区汇流，经五通桥、犍为出境，于宜宾注入长江，市内支流密布，呈树枝状水系，形成大量阶地。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

乐山市地貌明显分为山地、丘陵、河谷平原三大地貌单元。

西南山地：该区位于峨眉山、沐川一线西南部，面积为 8253 平方公里，占全市总幅员面积的 64.4%。是凉山山脉与四川盆地之间的过渡地带，地势由东北至西南逐渐抬升，依次展现出低山、中山和亚高山地貌，山地主要由峨眉山、五指山、大凉山、小凉山等山体构成。峨眉山系断块山，呈南北走向，主峰万佛顶海拔 3099 米，与山麓峨眉平原高差达 2694 米，大小凉山北段余脉绵延峨边、马边、金口河，海拔 2800--3500 米，大致以马边黄茅埂为界，以西为小凉山，以东为大凉山。马鞍山、大风顶海拔 4077 米和 4036 米，山峦重叠，高中山居多。五指山蜿蜒于冰川与宜宾新市镇之间，呈东南至西北走向，海拔 1000 米以上，在沐川、犍为构成中、低山地貌。

东北部丘陵：该区位于峨眉山—沐川一线东北部，为缓慢上升长期剥蚀的红色丘陵区。分布面积 3746 平方公里，占全市幅员面积的 29.2%。丘陵区域低、中、深丘均有发育，以中丘为主，海拔多在 350--700 米之间。东北部的井研以低、中丘宽谷为主；东南部的犍为、沐川以深中丘窄谷为主；岷江西部的眉山、夹江则以台地地貌为主。



图 2-3 乐山市地形地貌特征

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

三江冲积平原：平原分布于岷江、青衣江、大渡河中、下游，面积达827平方公里，占全市幅员面积的6.4%。冲积平原主要分布在三大河流两岸，尤以河漫滩、第一级和第二级阶地分布最广。全市平原中以青衣江沿岸的夹江平原及大渡河沿岸的峨眉平原、乐山平原为最大。乐山岷江左岸尚有部分冲积平原分布，其中以犍为洛江干坝为最大。

（2）市区地貌

主城区（本报告指市中区、沙湾区、五通桥区，下同）中部及北部地势较平坦。山区和丘陵主要分布在西南侧；市区的已建区范围和规划建设组团均分布在河流沿岸的低平地区，高程普遍在500m以下。

主城区已建区坡度平缓。已建区和规划建设组团西南侧的山区和丘陵存在坡度较陡（ $>25^\circ$ ）的连绵区域；在市区的已建区规划范围内，坡度普遍较缓，主城区建设区坡度较周边平缓（基本不超过 10° ）。

主城区坡度平缓。已建区和规划建设组团周边山区、丘陵的大尺度水流方向（即某点向四周的最陡坡降方向）基本以山脊线向水系为主，沿岸平地的水流方向富有变化。

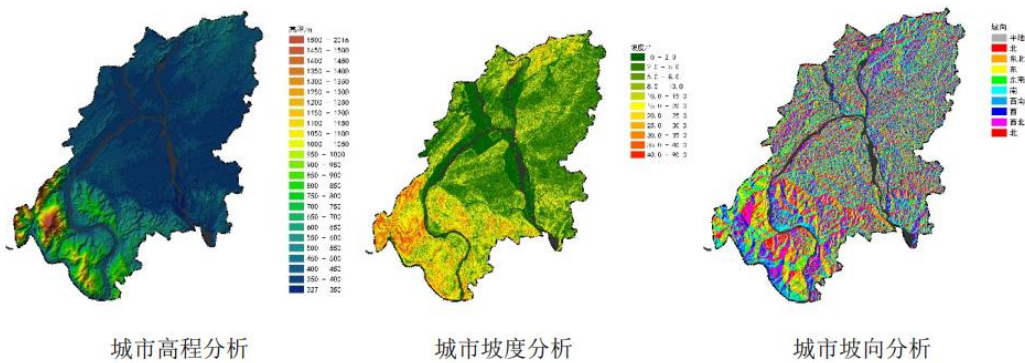


图 2-4 城市高程、坡度、坡向分析

建设组团沿汇水线布置。已建区和规划建设组团基本处在汇水线周围，但水流汇集量较大的地区较易形成行泄通道，不宜布局开发建设。

2.1.3 气象条件

乐山市属四川盆地亚热带湿润气候区，其特征为：气候温和，冬无严寒，夏无酷热，多云雾，雨量充沛。

主城区最冷月平均气温始终在 0°C 以上，极端最低气温高于 -5°C ，全年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数在250~280天。

盛夏暴雨频频，无酷热。在夏季，亚洲大陆印度低压发展，澳大利亚大陆上则有高压加强，强大的气流跨越赤道形成西南季风，影响我国西南地区，给主城区带来南方海洋上的暖湿气流。此外，随着印度低压的发展，西太平洋副热带高压从北面向西延伸，形成了东亚夏季风，即东南季风，它也带来太平洋上的暖湿气流。同时，青藏高原的热力作用形成的高原季风，又加强了影响主城区的夏季季风。因此，主城区是两种夏季风交叉影响的区域。其雨季从5月上旬开始，到9月中旬结束，雨量的多少、旱涝灾害如何，与东南季风和夏季季风的强弱和影响时间长短有关。秋季阴雨绵绵，光照骤减，湿度大，降温慢。

市域处于东南季风和西南季风影响区域，加之地形抬升作用，气候湿润，雨量丰沛。年均降水量大部分地区均在1000mm以上。只有西南部峨边、金口河沿大渡河横向河谷，年降水少于1000mm。山地降水大于坝区，海拔2100m左右是山地降水的最大高度。峨眉西部山地年均降水可达2200~2500mm，是有名的“华西雨屏”控制区域。由于海陆季风季节性的变迁，地域内季节降水不均，夏秋雨量占全年降水的80%左右，冬春雨量只占全年降水量的20%左右。

乐山市2020-2024年年平均降水量的空间分布图（图1）显示，乐山市近五年平均降水量具有明显的空间差异。其中，高值中心位于峨眉山市北部和沐川县中部，年平均降水量达到1500mm以上。峨眉山市、沙湾区、沐川县、马边彝族自治县南部以及峨边彝族自治县东部和西北部分地区年平均降水量在1200-1500mm之间。乐山站所在位置的年平均降水量在1000-1200mm之间。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

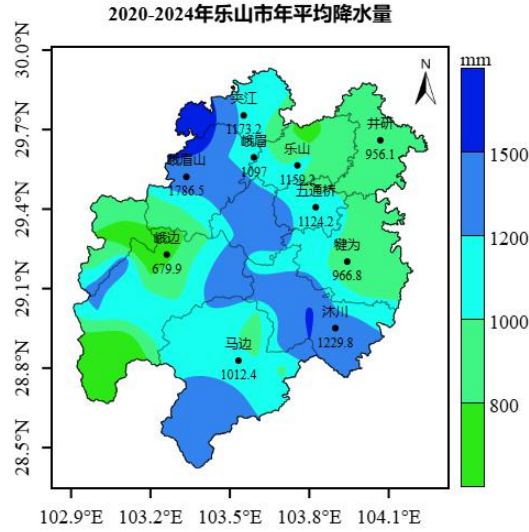


图 2-5 2020-2024 年乐山市年平均降水量（mm）

进一步分析乐山市日最大降水量的空间分布情况（图 2）。2020-2024 年乐山市日最大降水量总体表现为北部地区大、南部地区小。日最大降水量的最低值小于 100mm，最高值大于 250mm。乐山站所在位置的日最大降水量在 150-200mm 之间，处于乐山市日最大降水量的中间范围。

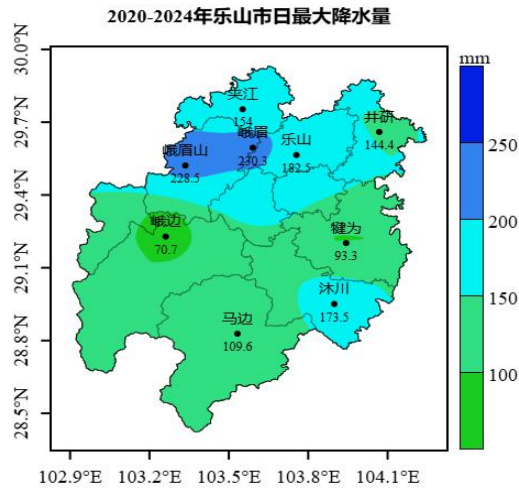


图 2-6 2020-2024 年乐山市日最大降水量（mm）

2.1.4 水文条件

乐山市属岷江水系，水网较密。以岷江为主干，大渡河是岷江的支流，青衣江又是大渡河的支流。岷江在城周围，接纳竹公溪、剑峰河、泥溪河、凌云河、磨池河。大渡河

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

在城西接纳峨眉河、临江河，故乐山市主城区河流统称为三江七河。年平均产水量 113.7 亿 m^3 ，加上过境水 741.4 亿 m^3 ，水资源总量 855 亿 m^3 ，人均占有水资源量 3366 m^3 。

岷江：又名府河、导江。发源于阿坝州松潘县岷山南麓，有东西二源，东源出自高程 3727m 的弓杠岭，西源出自高程 4610m 的朗架岭，两源回合于虹桥关上游川主寺后，自北而南至青神县汉阳坝流入境。至凌云山下，于青衣江大渡河汇流，再经凌云山、乌尤山、杜家场至王坝子出境。正源至乐山流程 573km，流域面积 3.43 万 km^2 ，境内流域 41.45km。多年平均流量 445 m^3/s 。

大渡河：又名沫水、阳山江、阳江。自铜街子至乐山城段是古代开采冶炼铜矿集中地区，又名铜河。发源于青藏高原东南边缘川青交界的雪山草地，南流经康定、石棉、峨边、沙湾至罗汉乡入境，经水口乡于草鞋渡与青衣江汇流，至凌云山下与岷江汇合，正源至乐山流程 1050km，流域面积 7.77 万 km^2 ，境内流程 16km。大渡河在境内有临江河于水口注入。

青衣江：主源为宝兴河，发源于邛崃山脉巴朗山与夹金山之间的蜀西营（海拔高程 4930m），流经宝兴，在飞仙关处与天全河、荥经河汇合后，始称青衣江，经雅安、洪雅、夹江于乐山草鞋渡处汇入大渡河。青衣江在飞仙关以上为上游，河长 147km，控制集雨面积 8750 km^2 ，飞仙关以下为中下游，河长 142km，区间集雨面积 4147 km^2 。总计干流长 289km，落差 2844m，流域面积 12897 km^2 。青衣江流域地形大致以炳灵、荥经、天全、灵关、大川一线为界，分东西两大片。东面属低山丘陵区，地势平缓，海拔高程约 600~1100m，河谷呈“U”型，有宽阔的漫滩和阶地，河道比降约 1.8‰。出露地层多属侏罗系及白垩系，地质构造较单一，以折皱变动为主，河床覆盖较浅，地震烈度 VI-VII 度。西面约占流域面积的 60%，多为高山峡谷。

流域内径流与降雨基本一致，河口（海拔 361.2m）多年平均径流量 171 亿 m^3 。洪水多出现在 6 月下旬~9 月中旬，且具有峰高、量大的特点，历时 3 至 5 天。青衣

江干流中、下游代表站径流特征值及最大、最枯流量入河流泥沙主要来自多营坪以上干支流。多营坪站年平均输沙量为 923 万吨，汛期（5~10 月）沙量为 909 万吨，多年平均含沙量约 0.783kg/m³。

2.1.5 地质条件

坡度 5~10%区：沿岷江、青衣江、大渡河三大河流及支流沿岸分布，亦即河谷平原区中的河滩亚区，I 级阶地亚区，高阶地亚区。

整个区内位于山地与平原地带，地形坡度小于 10%，地质主要由粘土层及卵石层组成，地基承载力上部为 80~200KPa，下部为 20~480KPa，地下水埋深小于 5m，水位变幅受季节影响，大河漫滩亚区及 I 级阶地富含水、高阶地弱含水，地下水对基础无结晶、无分解、无复合性侵蚀。主要工程地质问题，设计时需：（1）查清建筑场地有无淤泥、泥岩、流砂等软弱夹层；（2）查明基底岩层起伏及裂隙发育情况；（3）考虑松散岩坡失稳、潜伏岩溶造成地面沉降，地基不均匀沉降，流水冲刷作用，洪水淹没作用，砂土液化、流砂；（4）建筑物尽可能避开断裂带；（5）建筑物地震设防在 IV 以上；（6）地基开挖处理宜选择旱季，以防坍塌和涌砂。

地面坡度 10~20%区域：整个区位于丘陵、低山地带，地质岩性以粘土岩，粉砂质粘土岩为主，低山岩性为薄至厚状白云岩泥质白云岩、白云质灰岩与营溶角砾岩互层，夹泥灰岩、页岩、夹页岩、粉砂岩、钙质砂岩、砂质灰岩、石膏层，风化带深度 2~30m 地基土含风化裂隙潜水、地下水埋藏较深、含水性较弱，水质良好，水质对基础无结晶、无分解、无复合性侵蚀。

崩塌、滑坡、老窑集水、采空区塌陷及集水是丘陵主要工程地质问题，砂岩、粘土岩允许承载力 500~1200KPa，低山地基承载力 1500~2000KPa，工程设计时要考虑软弱、泥化夹层和石膏层的分布及对斜坡稳定性的影响，还应注意断层、崩塌、滑坡、泥石流、老窑集水、滑坡、岩溶渗漏、塌陷的研究。对荷载较大的建筑，应以中等至弱风化基岩作为地基持力层，摩擦桩和端承桩均适用，覆盖层较薄的地区，可采取开挖

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

的形式，选用条形基础或板式基础，在开采区不宜布置重型厂房，应注重地表塌陷的研究，水工建筑要考虑滑坡、岩溶渗漏的影响。综上所述，这一区工程地质条件属简单中等复杂类型，局部为复杂类型。

地面坡度大于20%的区域：本区主要位于中山地带、地质情况较为复杂，多崩塌、山体滑动、滑坡、泥石流、山区缺水、岩溶渗漏。地形切割深度100~300m，“U”形及“V”形谷发育，由寒武系三叠系地层组成，岩性主要为灰岩、砂岩与白云岩互层及玄武岩。本区构造发育、岩石破碎、小震频繁、对斜坡稳定性影响极大。

2.1.6 人口及经济

（1）人口

2023年末常住人口314.7万人，比2022年末减少0.6万人，其中城镇人口175.6万人，乡村人口139.1万人。常住人口城镇化率55.79%，比上年末提高1.22个百分点。年末全市户籍人口344.9万人，比上年末减少0.7万人。据分析，从2010年至今，人口总数呈下降趋势。

（2）经济

根据地区生产总值统一核算初步结果，2023年乐山市地区生产总值（GDP）2447.53亿元，按可比价格计算，比上年增长6.5%。其中，第一产业增加值308.30亿元，增长4.2%；第二产业增加值1034.47亿元，增长6.4%；第三产业增加值1104.76亿元，增长7.4%。三次产业对经济增长的贡献率分别为9.3%、41.0%和49.7%。三次产业结构由上年的13.0:43.0:44.0调整为12.6:42.3:45.1。人均地区生产总值77699元，增长6.6%。

2.2 乐山市降水特性分析

2.2.1 年降水量分析

为了对乐山市年降水量特性进行分析,本次修订收集了气象部门的乐山站1981~2023年共43年年降水量资料(表2-2),分析了年降水量的变化趋势。

表 2-1 乐山站 1981-2021 年年降水量

年份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
降水量 (mm)	1519.9	1206.1	1021.9	1339.5	1720.4	1183.7	1139.3	1255.8	1042.1
年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
降水量 (mm)	1572.3	1132.8	1269.3	925.9	1120.7	1383.4	1209.9	1190.4	1322.9
年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
降水量 (mm)	1395.3	924.5	1406.7	1254.7	1061.7	1202.4	1242.8	787.2	919
年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
降水量 (mm)	1366.3	1450	1380.8	768.9	1385.4	1205.9	1103.8	1066.8	1184.5
年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023		
降水量 (mm)	849.5	1510.6	1483.3	1557.2	1166.6	1061.1	858.3		

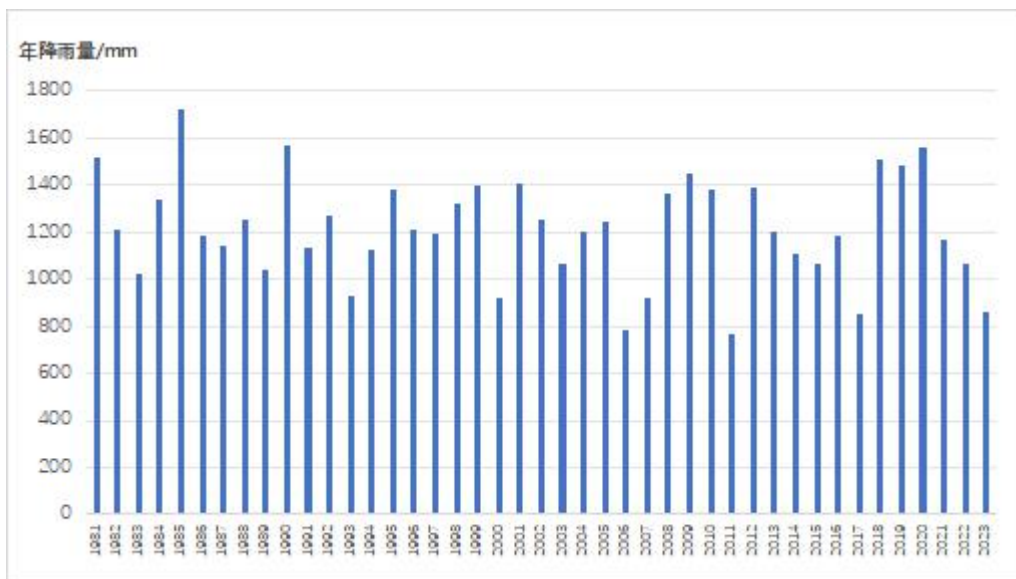


图 2-7 乐山站 1981-2023 年年降雨量

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

对 1981~2023 年降水量统计分析表明，乐山站年平均降水量分别为 1212.9mm，降水量年际变化较大，最大值出现在 1985 年降水量达 1720.4mm，最低为 2011 年降水量仅为 768.9mm，差值达到 954.5mm。

按年代统计年平均降水量，乐山站 5 年分段年平均降水量（表 2-3）总体呈波动变化趋势。

表 2-2 乐山站五年分段年平均降水量

年份	1981~1985	1986~1990	1991~1995	1996~2000
平均降水量（mm）	1361.56	1238.64	1166.42	1208.6
年份	2001~2005	2006~2010	2011~2015	2016~2021
平均降水量（mm）	1233.66	1180.66	1106.16	1313.52

2.2.2 日降水量分析

依据乐山站 1981-2023 年实测资料，统计日雨量大于等于 50mm 的日数作为暴雨出现的指标，结果见表 2-4 及图 2-2。1981-2023 年乐山站发生日降水量大于等于 50mm 的暴雨次数总数为 191 次，其中 1981-1985 年发生 28 次，年平均 5.6 次；1986-1990 年发生 24 次，年平均 4.8 次；1991-1995 年发生 22 次，年平均 4.4 次；1996-2000 年发生 20 次，年平均 4 次；2001-2005 年发生 24 次，年平均 4.8 次；2006-2010 年发生 19 次，年平均 3.8 次；2011-2015 年发生 21 次，年平均 4.2 次；2016-2021 年发生 28 次，年平均 4.7 次；2022-2023 年发生 5 次，年平均 2.5 次。由此可见，暴雨年均发生的次数逐渐减少，近 43 年年均次数在 4.4 次左右，变化幅度不大。

表 2-3 乐山站日暴雨降水量分布

日降水量（mm）	50~59	60~69	70~79	80~89	90~100	100~150	>150
出现次数（次）	49	33	32	19	13	30	15
分布比例（%）	25.65	17.28	16.75	9.95	6.81	15.71	7.85

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

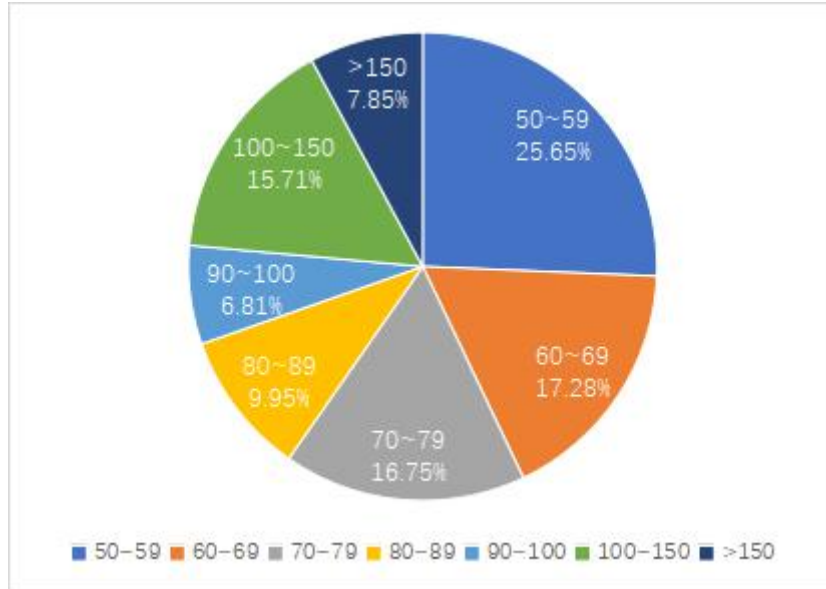


图 2-8 乐山站日暴雨降水量分布饼状图

从图 2-2 可以看出，日降雨量主要集中在 50~80mm 范围内，占暴雨总数约 60%，其中 50~59mm 最多，占暴雨总数的 25%，日降水量 90~100mm 的比例最小。统计分析发现：枯水年发生暴雨的次数很少，在特枯水年如 2011 年甚至没有暴雨；暴雨在年内主要集中出现在 7、8 月份，占总暴雨的 70% 以上，出现在这两个月的暴雨量也相对较大，4、10 月也偶尔出现暴雨，但不足总暴雨次数的 3%；11 月份至次年 3 月份几乎不出现暴雨。

同时有关论文《四川省近 50 年降水的变化特征及影响》中也指出：近 50 年来四川省大气降水的变化形势给不同的区域带来了不同影响：四川盆地西部和中部地区大气降水明显减少，影响到地表径流以及地下水位，导致水资源紧张。四川省年均暴雨日数从西到东呈现“增—减—增”的总体变化趋势，四川盆地西部、中部呈明显减少趋势。结论与本报告中乐山（位于四川盆地西南部）降雨量的变化趋势分析结果相一致，表明乐山地区降水的时空分布和变化特征符合四川省气候变化规律，乐山降雨资料的代表性较好。

2.2.3 极端降水分析

目前，关于极端气候指标的定义方法多样，如全球气候研究计划（WCRP）气候变化和可预测性计划（CLIVAR）气候变化检测、监测及指标专家组（ETCCDMI）定义的27个极端气候指标（Peterson and Manton, 2008），欧洲区域极端事件统计和区域动力降尺度项目定义的57个年和季节极端气候指标（Hidalgo-Munoz et al., 2011）等。ETCCDMI定义了27个气候指标（<http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>），主要集中在对极端事件的描述上，其中包括11个降水指标，这些指标基于逐日降水量计算。总的来说，ETCCDMI指标可归为五大类：①基于百分比阈值的相对指标；②降水值大于或小于某一固定阈值的天数的阈值指标；③代表某个季节或某年最大或最小值的绝对指标；④过度干、湿的持续时间或对生长季长度而言的生长周期所对应的持续指标；⑤其他指标。

根据乐山气候特点，结合ETCCDM极端降水指标与我国雨量等级划分，选取8个指标进行分析，这些指标能够反映出极端降水不同方面的变化。

表 2-4 乐山市极端降雨指标

序号	名称	计算方法	单位
1	最大1日降水量	一年中最大1日降水量	mm
2	最大5日降水量	一年中最大连续5日降水量	mm
3	简单降雨强度指数	一年中日降水量≥1.0mm降水总量与天数之比	mm/d
4	持续湿润日数	日降水量大于1mm的最大连续日数	d
5	大雨日数	一年中日降水量大于25mm的日数	d
6	暴雨日数	一年中日降水量大于50mm的日数	d
7	大暴雨日数	一年中日降水量大于100mm的日数	d
8	特大暴雨日数	一年中日降水量大于250mm的日数	d

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

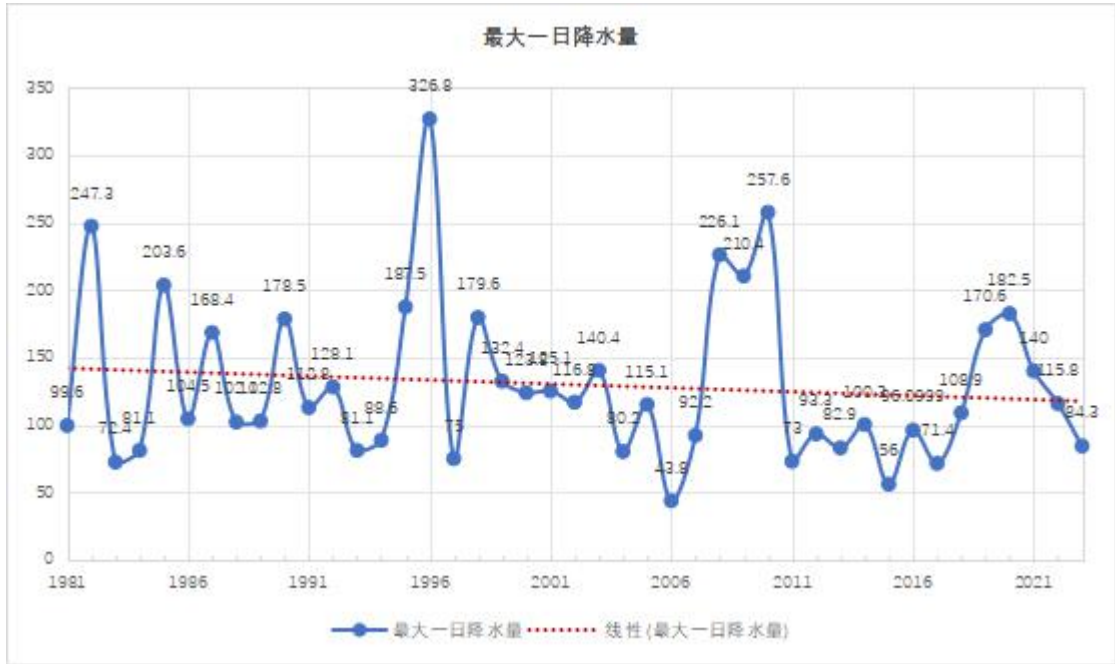


图 2-9 乐山站 1981-2023 年最大 1 日降水量指标



图 2-10 乐山站 1981-2023 年最大 5 日降水量指标

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

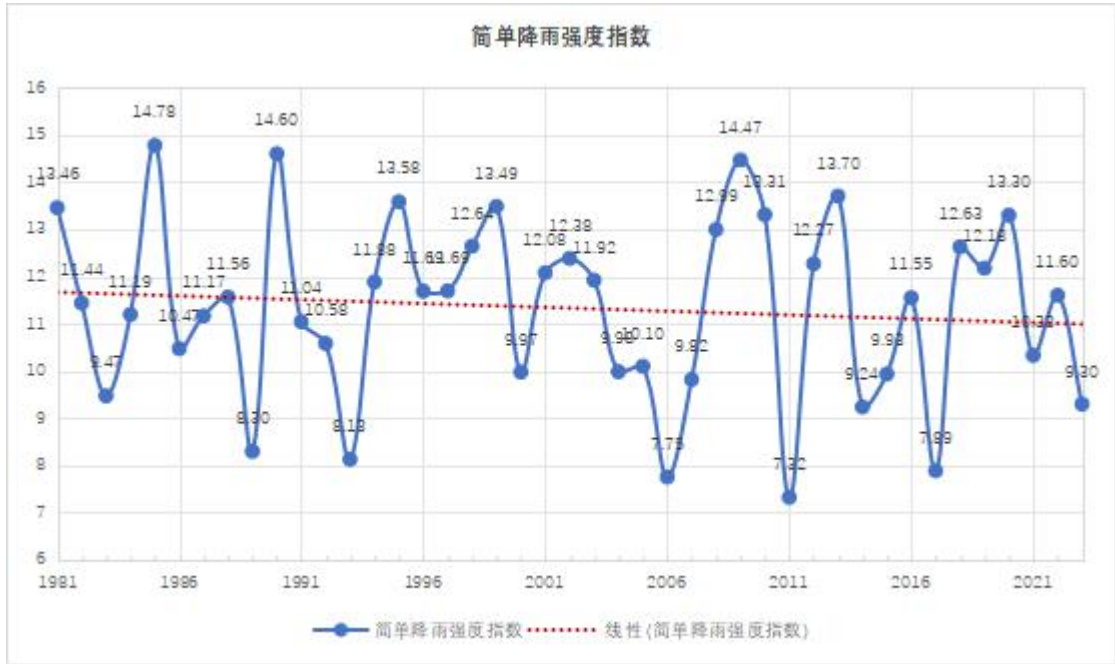


图 2-11 乐山站 1981-2023 年简单降雨强度指数指标

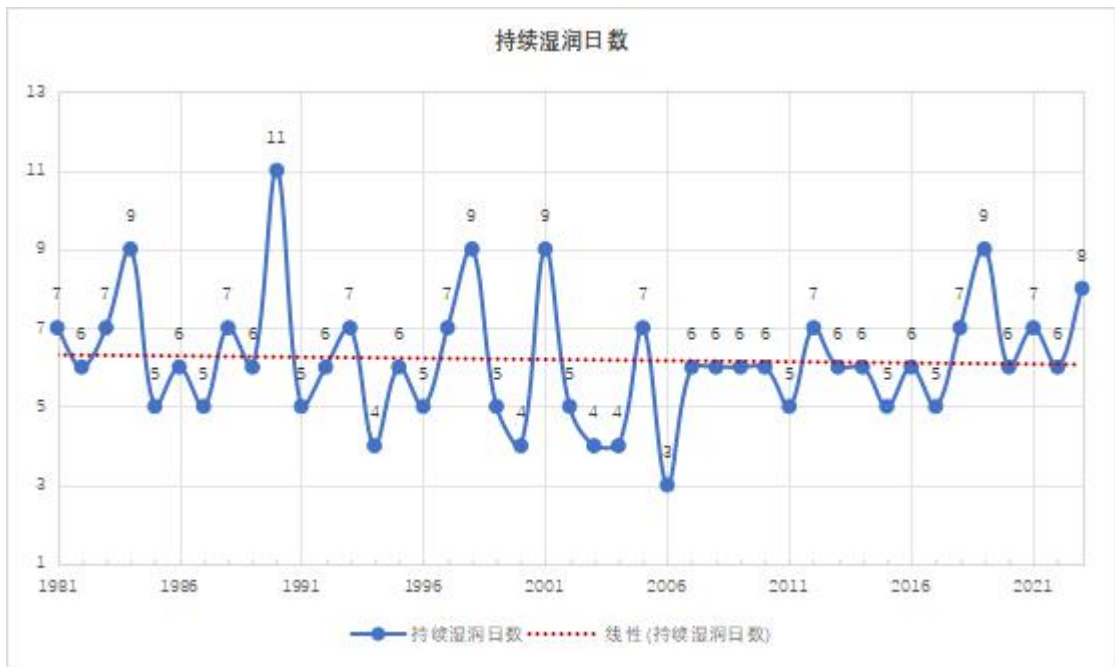


图 2-12 乐山站 1981-2023 年持续湿润指数指标

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

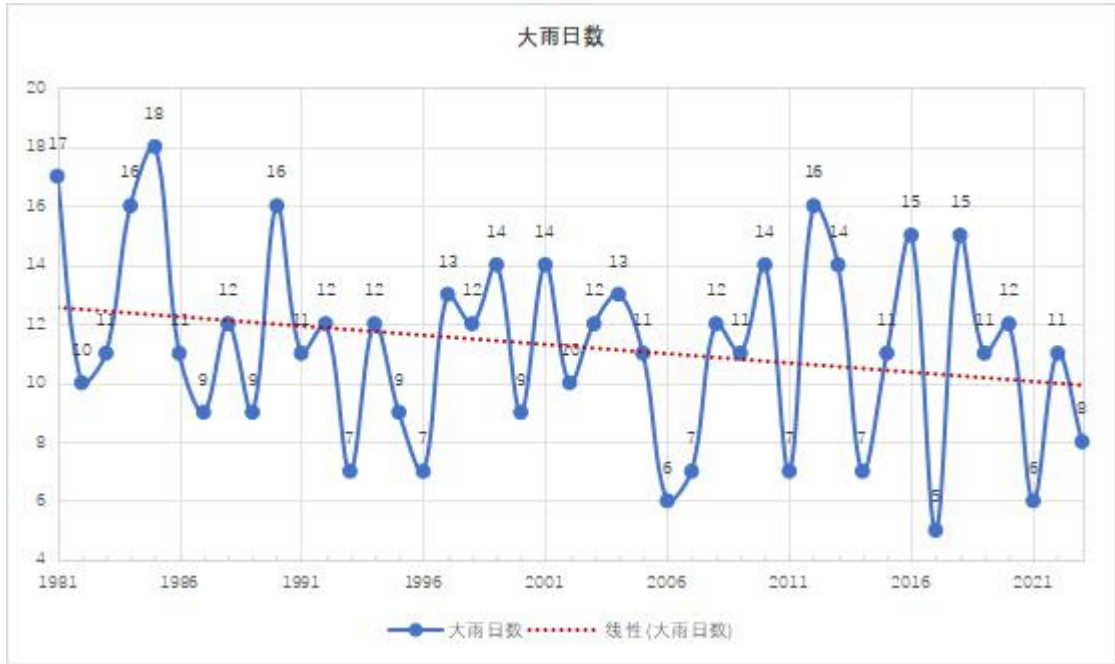


图 2-13 乐山站 1981-2023 年大雨日数指标

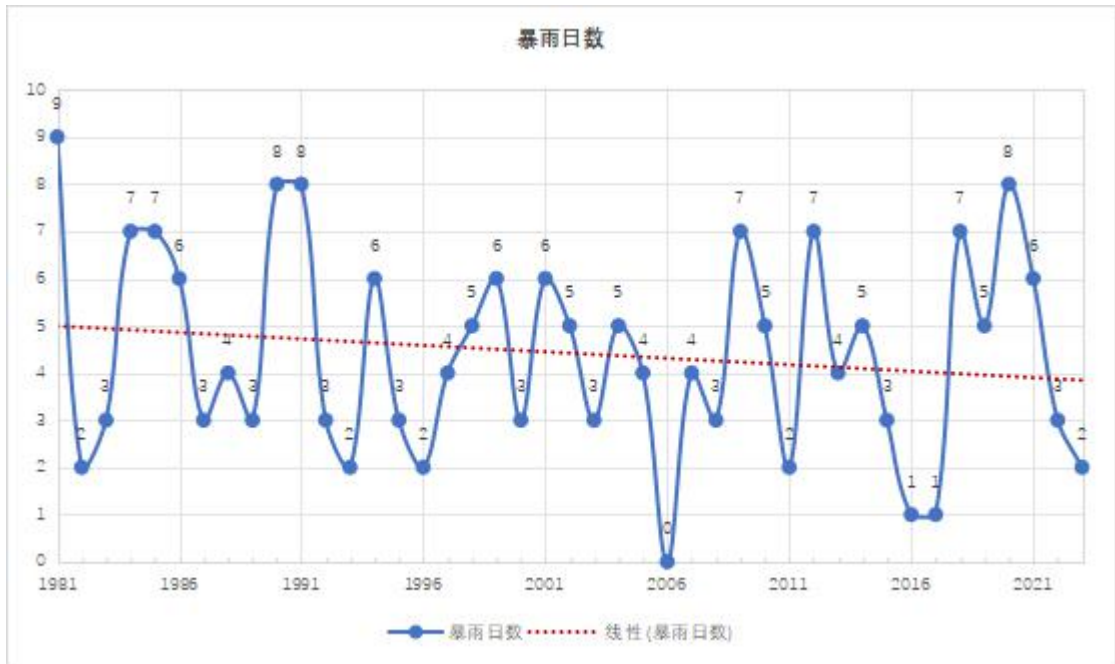


图 2-14 乐山站 1981-2023 年暴雨日数指标

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

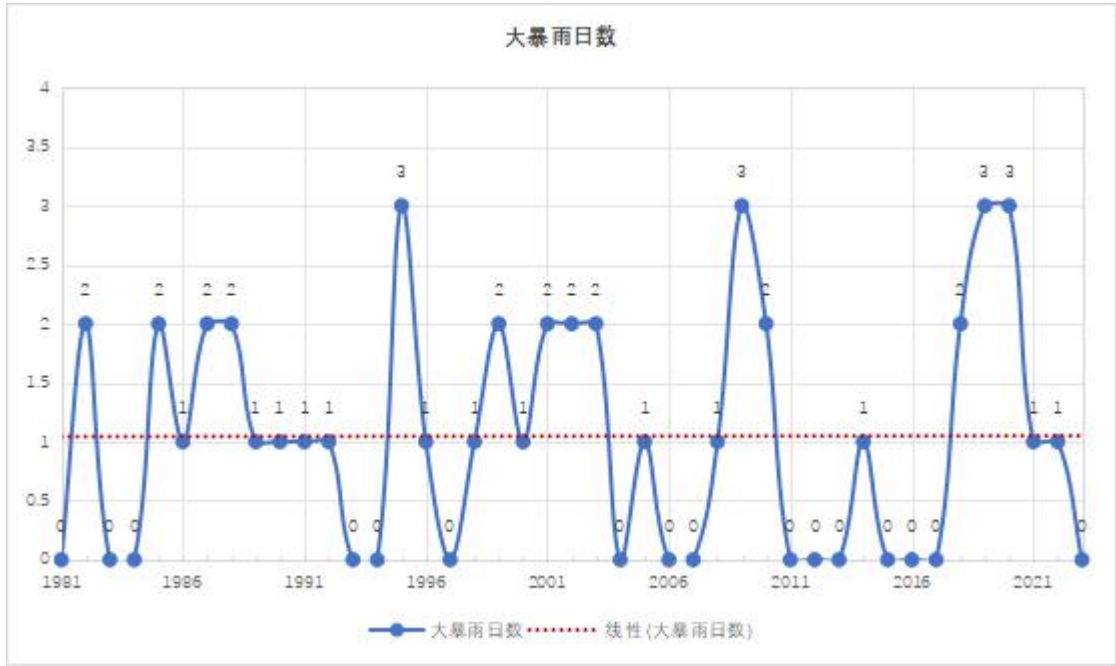


图 2-15 乐山站 1981-2023 年大暴雨日数指标

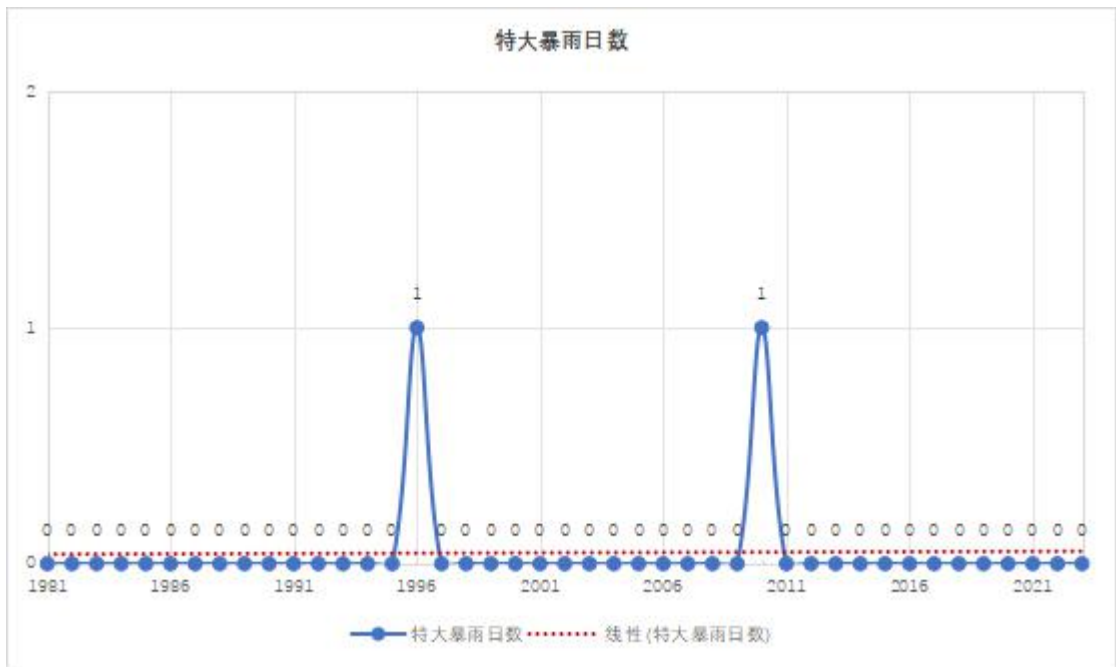


图 2-16 乐山站 1981-2023 年特大暴雨日数指标

对指标进行计算后，从图 2-3 至图 2-10 可以看出，1981-2023 年期间，乐山市最大 1 日降水量、最大 5 日降水量、简单降雨强度指数、持续湿润日数、大雨日数、暴雨日数等降水指标均呈现缓慢减小的趋势。大暴雨与特大暴雨发生次数相对较少，无明显的变化趋势。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

近43年最大1日降水量、最大连续5日降水量最大值均出现在1996年，分别为326.8mm、387mm。最小值均出现在2006年，分别为43.8mm、63.8mm。

近43年来简单降雨强度指数最大值为1985年的14.48mm/d，最小值为2011年的7.32mm/d，该两年也对应为近43年年降雨量最大及最小年份。

近43年来持续湿润日数最大值为11日，出现在1990年，最小值为3日，出现在2006年，其余年份在4~9日内波动，持续湿润日数6日较为普遍。

近43年大雨日数最多的年份是1985年，大雨日数18日；大雨日数最少的年份是2017年，大雨日数5日。暴雨日数最多的年份是1981年，暴雨日数9日；2006年未出现暴雨。大暴雨日数最多的年份是1995、2009、2019、2020年，均为3次；1981、1983、1984、1993、1994、1997、2004、2006、2007、2011、2012、2013、2015、2016、2017、2023年均未出现大暴雨日。仅1996、2010年出现过特大暴雨日，均为1次。

此外，选取近年最为典型一次极端降雨过程进行分析。2020年乐山市“8·18”暴雨天气过程自8月15日08时（北京时，下同）开始，至8月18日08时结束，全市平均过程降雨量306.6mm。乐山全市大雨站点3个、暴雨站点28个、大暴雨站点231个，特大暴雨45个站点，最大雨量出现在夹江县夹江木城永兴10队，达416.8毫米；最大小时雨量出现在苏稽牛头堰，达85.0毫米，全域降雨量较历史同期值偏多1.5-5.5倍。本轮暴雨洪水过程，降雨量大、洪水量级高，为1951年有气象记录以来首次，全市11个县（市、区）和乐山高新区全部受灾，由于降雨总量大、持续时间长、强降雨范围广，造成严重的洪涝和地质灾害。8月18日，青衣江、岷江乐山段发生超警戒、超保证水位，8时30分，青衣江夹江水文站洪峰最高水位414.71米，为有历史记录最大洪水，洪水重现期百年一遇；12时，岷江乌尤寺水文站洪峰水位363.6米，洪水重现期为50年一遇，为1942年建站以来最大洪水。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

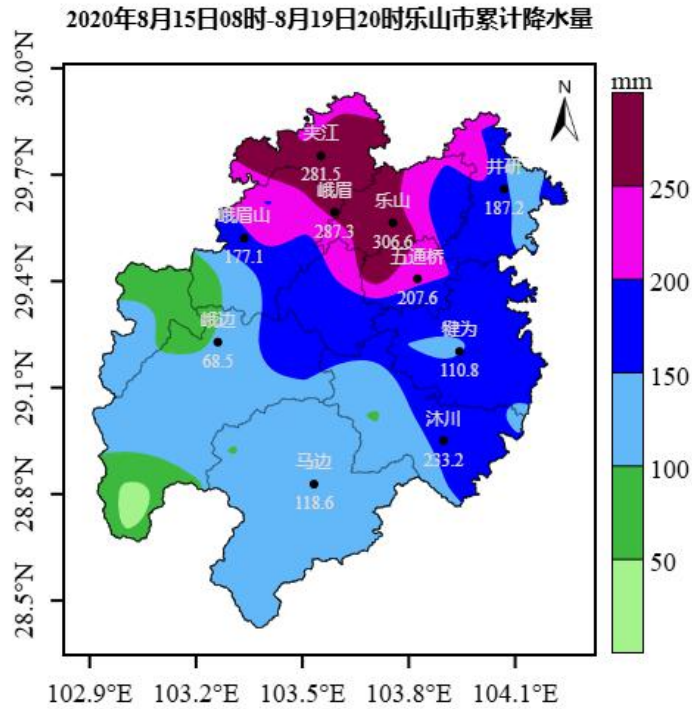


图 2-17 乐山市 2020 年 8 月 15 日到 8 月 19 日降水分布图

从乐山站小时降水变化（图 2-18）可以看出，强降水集中且小时雨强大，主要出现在 16 日 02 时至 16 日 15 时，14 个小时降水量高达 49.5mm，占过程总量的 16.1%，其中超过 20mm 的小时降水量出现在 16 日 13 时，达到 23.6mm。8 月 16 日 16 时-21 时，降水暂停。8 月 16 日 22 时降雨重新开始，10 个小时降水量达到 71.3mm，占过程总量的 23.3%，其中小时降水量超过 20mm 共有 2 个时次，为 17 日 00 时（22.1mm）和 01 时（26.2mm）。8 月 17 日 20 时至 18 日 11 时，16 个小时降水量高达 184.8mm，占过程总量的 60.3%，其中小时降水量超过 20mm 共有 3 个时次，分别是 17 日 22 时（26.7mm）、23 时（63.8mm）、18 日 02 时（32.7mm）。由于前期雨量大，形成大量雨水径流，加之受河水顶托、竹公溪倒灌影响导致城市排水不畅，内涝时间较长。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

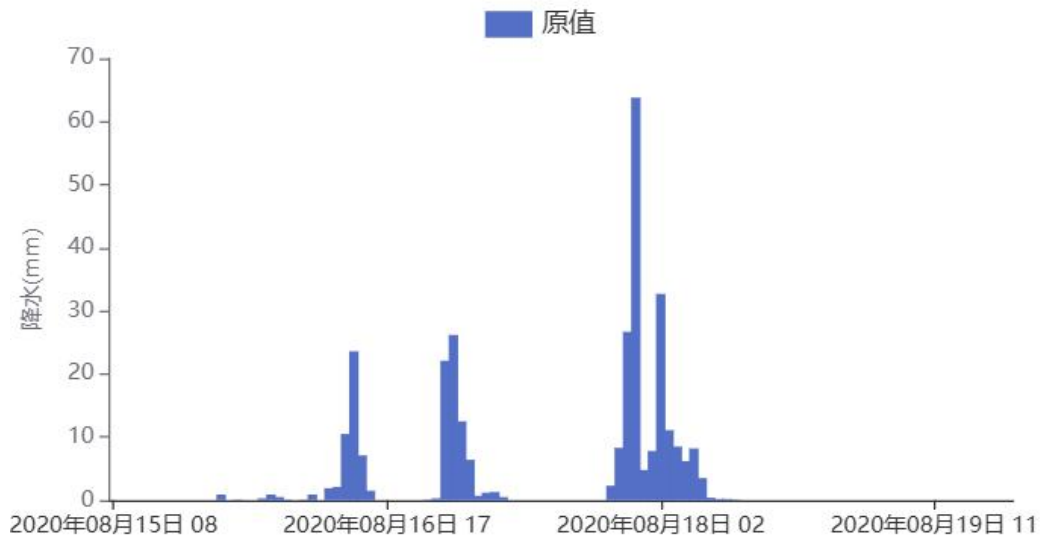


图 2-18 2020 年乐山本站“8·18”暴雨过程逐小时降水

2.2.4 不同历时降水量分析（1981-2023）

（1）最大 60min 降水量

经过按 60 分钟间隔的场雨划分后，利用年最大值法得到乐山站历年 60min 最大降水量，普遍在 30mm 以上，60min 极端最大降水量为 112.1mm，出现在 2008 年。60min 最大雨量在 50mm 及以上的有 27 年，频率为 62.8%。

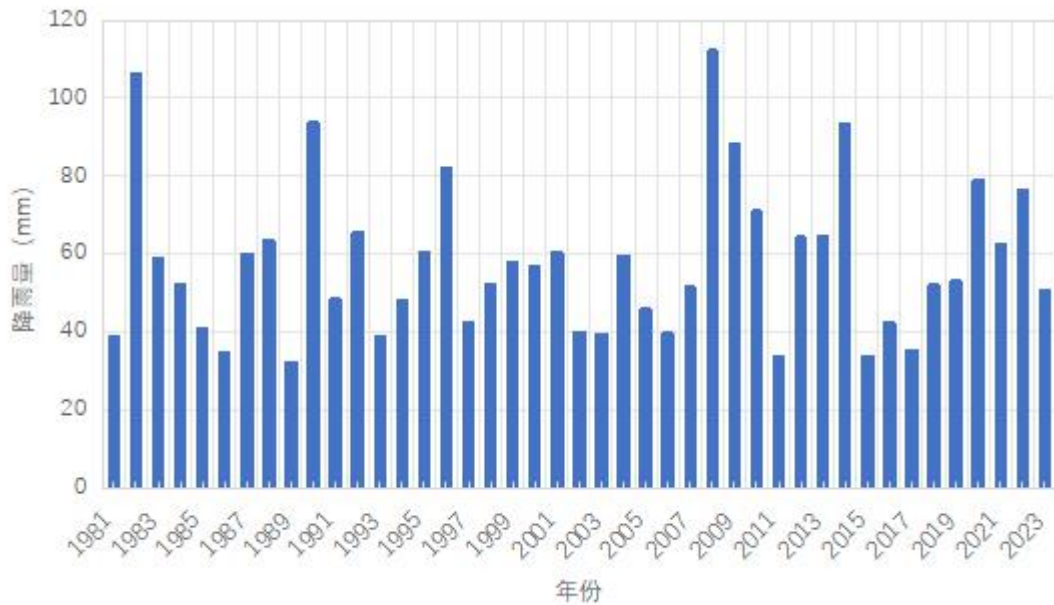


图 2-19 乐山历年 60min 最大雨量

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

（1）最大 120min 降水量

经过按 120 分钟间隔的场雨划分后,利用年最大值法得到乐山站历年 120min 最大降水量,多在 40-80mm 之间,120min 极端最大降水量为 156.03mm,出现在 1996 年。120min 最大雨量在 60mm 以上的有 29 年,频率为 67.4%。

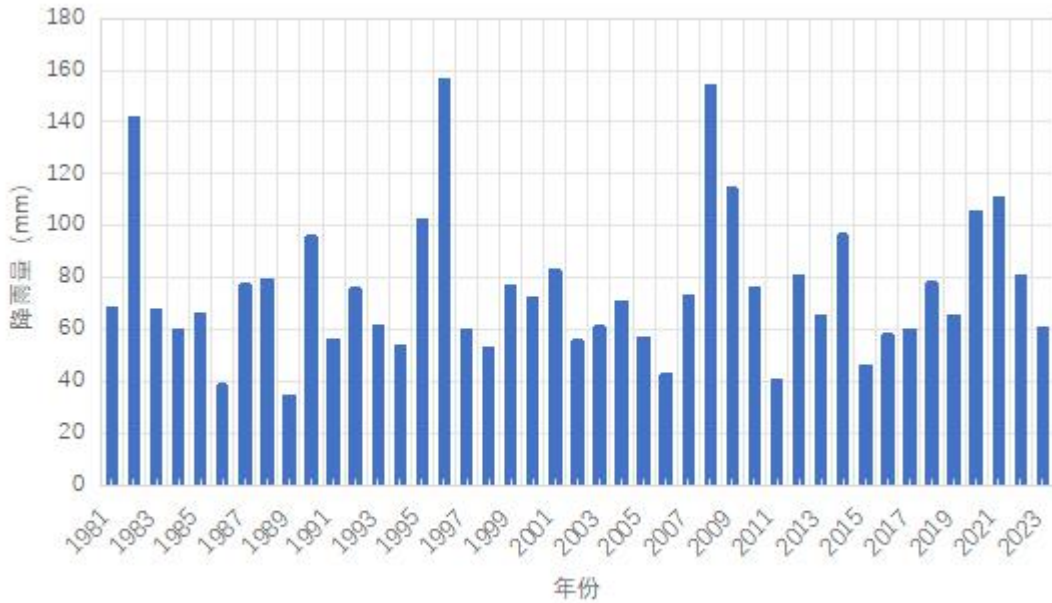


图 2-20 乐山历年 120min 最大雨量

（3）最大 180min 最大降水量

经过按 180 分钟间隔的场雨划分后,利用年最大值法得到乐山站历年 180min 最大降水量,多在 60-100mm 之间,180min 极端最大降水量为 201.56mm,出现在 1996 年。180min 最大降水量在 70 毫米以上的有 26 年,频率为 60.5%。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

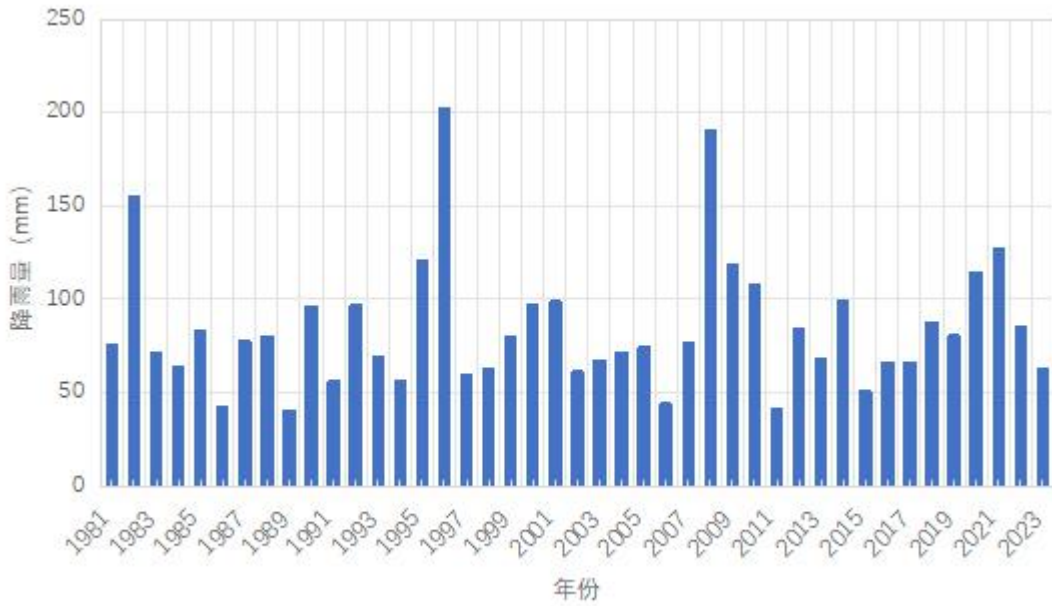


图 2-21 乐山历年 180min 最大雨量

(4) 最大 360min 最大降水量

经过按 360 分钟间隔的场雨划分后,利用年最大值法得到乐山站历年 360min 最大降水量,多在 70-110mm 之间,360min 极端最大降水量为 276.37mm,出现在 1996 年。360min 最大雨量在 80mm 以上的有 25 年,频率为 58.1%。

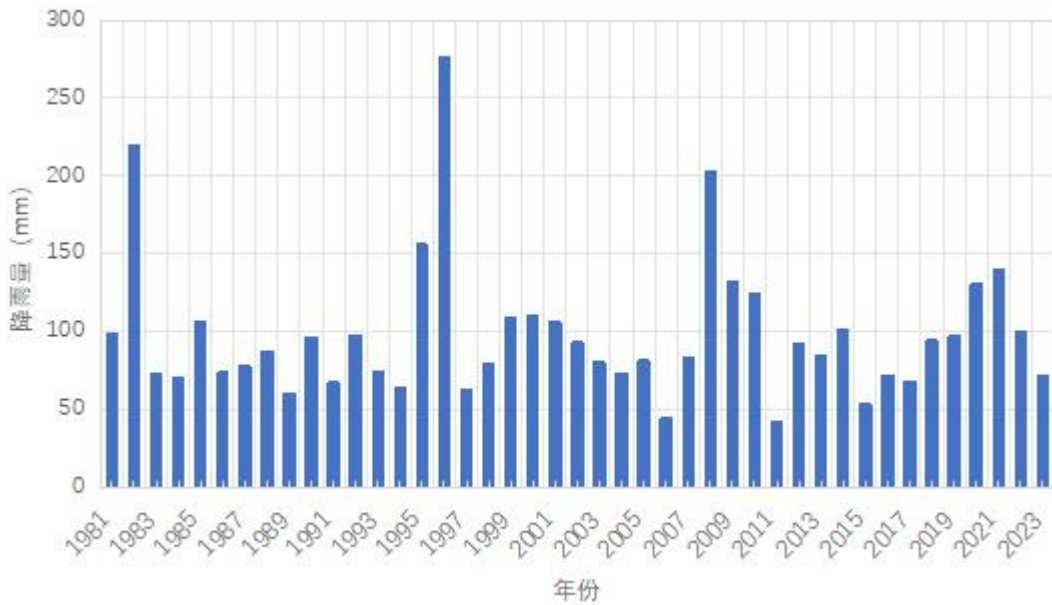


图 2-22 乐山历年 360min 最大雨量

(5) 最大 720min 最大降水量

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

经过按 720 分钟间隔的场雨划分后,利用年最大值法得到乐山站历年 720min 最大降水量,多在 80-150mm 之间,720min 极端最大降水量为 314.05mm,出现在 1996 年。720min 最大雨量在 90mm 以上的有 27 年,频率为 62.8%。

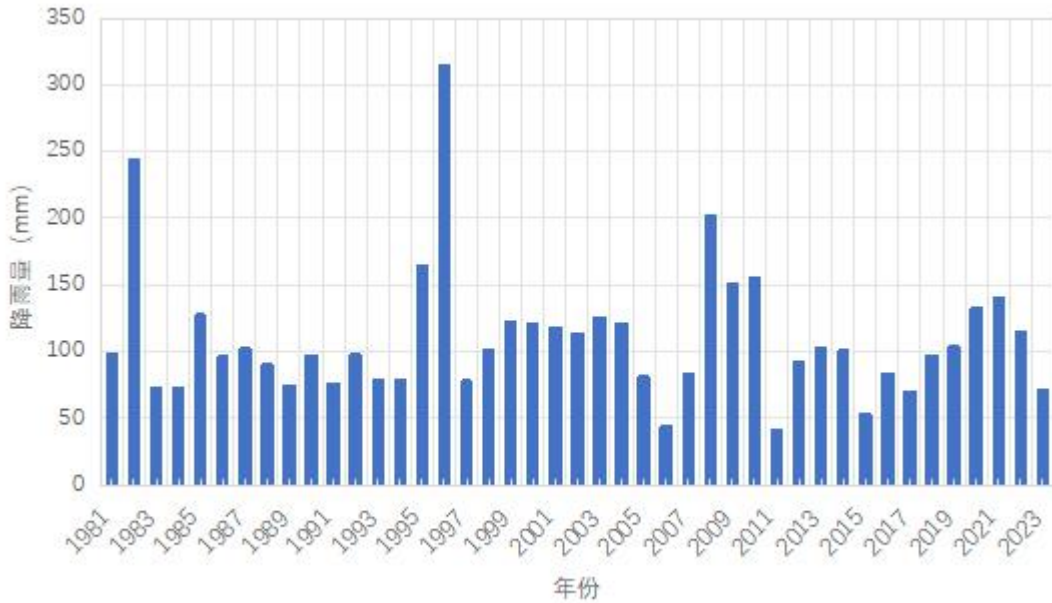


图 2-23 乐山历年 720min 最大雨量

(6) 最大 1440min 最大降水量

经过按 1440 分钟间隔的场雨划分后,利用年最大值法得到乐山站历年 1440min 最大降水量,多在 80-160mm 之间,1440min 极端最大降水量为 322.08mm,出现在 1996 年。1440min 最大雨量在 100mm 以上的有 28 年,频率为 65.1%。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

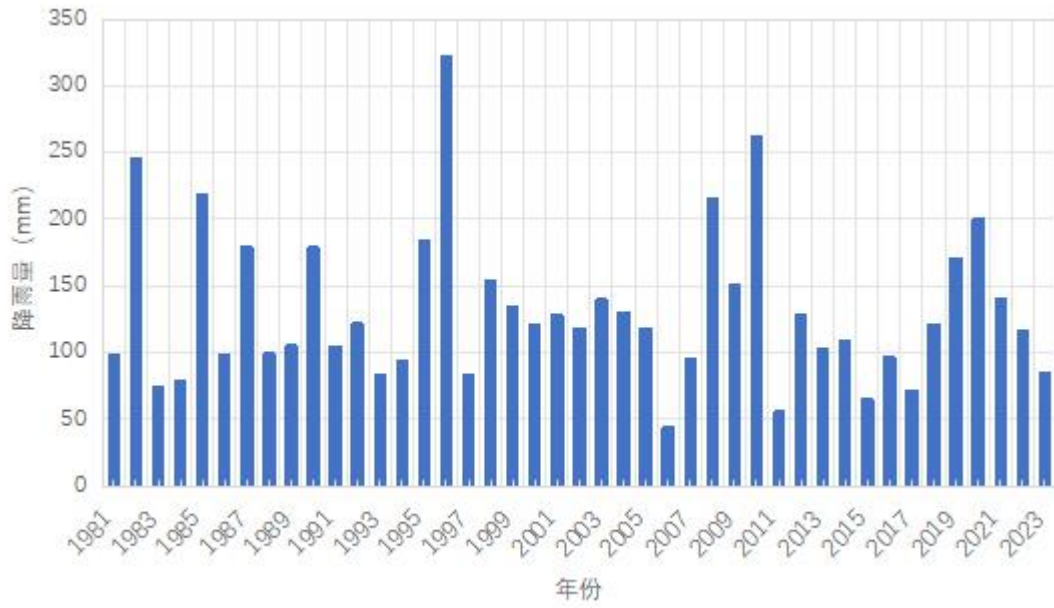


图 2-24 乐山历年 1440min 最大雨量

第 3 章 资料与技术方法

3.1 资料处理

3.1.1 资料介绍及台站概况

因暴雨强度公式编制所需资料需要至少 20 年以上分钟级降雨资料，因此本项目采用乐山国家气象站（以下简称乐山站）1981-2023 年的逐分钟降水资料编制乐山市主城区暴雨强度公式，具体如下（表 3-1）：

表 3-1 降水资料使用清单

站名	降水资料
乐山站	1981 年 1 月 1 日至 2005 年 12 月 31 日 雨量自记纸资料 2006 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日 自动气象站分钟雨量数据

3.1.2 降水数据记录方法

乐山站降水量的数据记录有两种方式：

- （1）虹吸式雨量计观测资料，即以自记纸形式保存的历史降水记录资料；
- （2）双阀容栅式雨量传感器（双翻斗式雨量计）观测资料，即现代自动气象站自动记录的逐分钟降水量资料。

3.1.3 降水资料选样方法

暴雨资料的选样方法有年最大值法、年多个样法、年超大值法和年超定量法等。本项目采用了国家标准《室外排水设计标准》（GB50014-2021）推荐使用的年最大值法进行计算。

年最大值法：从逐年分钟雨量资料中每年挑选 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180、240、360、540、720、1440min 共 16 个降雨历时的最大值作为原始数据，合计 688 个样本。年最大值法短历时暴雨强度公式数据格式如图

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

3.1 所示,每一年的数据为 1 行 12 列,第一列为年份,2 至 12 列为一年中 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180min 这 11 个降雨历时的最大降雨量。

年份	5min	10min	15min	20min	30min	45min	60min	90min	120min	150min	180min
乐山											
1981	10.12	17.67	23.34	27.73	32.1	37.42	38.6	53.77	68.01	74.46	75.27
1982	12.31	22.54	33.04	42.19	60.54	84.18	106	130.59	141.63	146.08	154.94
1983	9.49	17.2	22.27	28.02	37.23	49.38	58.77	65.02	67.47	69.04	71.49
1984	8.75	14.43	21.15	28.18	38.31	44.19	52.17	57.14	59.71	62.01	63.75
1985	7.68	14.92	19.66	23.3	28.55	35.24	40.81	54.82	65.78	74.84	83.05
1986	7.92	13.03	16.49	18.09	23.17	30.75	34.74	37.86	38.34	38.61	41.86
1987	10.69	18.67	25.6	30.64	38.47	48.41	60.03	72.76	77.07	77.16	77.22
1988	9.99	19.17	25.43	31.28	42.64	51.51	63.44	77.77	79.13	79.43	79.63
1989	7.44	13.59	18.94	22.84	28.69	31.87	32.08	32.12	34.4	36.69	39.9
1990	12.28	22.99	33.19	42.32	60.36	86.04	93.66	95.64	95.64	95.64	95.64
1991	9.72	16.21	21.76	25.41	32	38.57	48.24	55.73	55.88	55.91	55.95
1992	9.05	17.08	24.32	32.1	46.87	59.54	65.53	70.08	75.58	92.28	96.76
1993	7.27	11.81	15.2	16.64	22.21	30.21	38.56	50.93	61.02	66.76	68.98
1994	10.56	18.79	24.21	28.47	37.09	44.54	47.84	52.51	53.43	53.92	55.56
1995	10.02	17.96	22.73	27.54	35.71	47.93	60.58	78.02	102.13	114.55	120.06
1996	10.62	19.26	27.19	35.2	46.63	63.48	81.95	122.34	156.03	178.32	201.56
1997	7.96	14.32	19.27	23.43	28.35	38.12	42.55	57.08	59.36	59.5	59.51
1998	12.91	20.68	27.01	32	39.71	48.38	51.92	52.1	52.64	54.46	62.19
1999	10.87	19.98	27.42	34.05	45.78	54.53	57.98	74.87	76.59	78.84	80.06
2000	8.81	16.52	20.77	26.43	36.59	50.01	56.87	61.15	72.25	88	96.55
2001	9.79	19.57	26.47	31	38.41	50.17	60.38	77.42	82.75	83.96	98.47
2002	9.63	18.53	25.35	30.36	34.4	36	39.79	51.9	55.51	58.34	60.97
2003	9.04	13.64	16.86	19.98	27.66	34.44	39.33	50.57	60.92	63.5	66.63
2004	11.62	22.08	30.34	36.85	42.62	49.51	59.38	70.47	70.66	71.04	71.4
2005	9.7	18.2	25.1	30.8	38.4	43.5	45.8	55.4	56.7	58.5	74.2
2006	9.5	15	17.9	19.9	24.2	31.7	39.5	42.4	42.4	43.2	43.6
2007	11.7	18.4	23.7	27.7	35.3	43.3	51.4	64.8	72.8	73.7	76.1
2008	14	25.7	35.2	46.4	69.7	93.6	112.1	140.3	154.1	162	190.5
2009	10	18.3	27.1	35.1	51.5	71.4	88.1	108.5	114.1	116.9	118.3
2010	11.3	19.8	25.9	32.7	44.2	61.4	70.9	74.7	75.5	89.5	107
2011	8.9	14.9	20.9	24.7	27.3	30.5	33.4	38.8	40.4	41.4	41.4
2012	10.4	16.6	23.3	30.6	42.5	55.5	64.2	75.6	80.5	81.2	84.3
2013	13.7	23.7	32.4	37.6	48.3	59.8	64.7	65.2	65.2	65.2	67.8
2014	15.6	28.8	40.1	50.3	70	85.5	93.2	96	96.3	97.8	98.9
2015	8.3	13.7	16.8	19.9	25.6	31	33.7	37.6	46	49.8	50.4
2016	9	13	17.1	20.1	25.7	35.2	42.3	52	57.7	65.8	66.1
2017	8.7	15.8	20.2	23.5	31.3	34.5	35.2	49.8	59.8	64.2	65.7
2018	10.8	17	20.1	25.8	31	43.2	51.9	62.7	77.8	84.8	87.3
2019	9.1	14.9	20.4	25.3	34.3	47.1	52.9	59.5	65.3	74.6	80.3
2020	18.1	29.8	35.9	39.8	49.8	63.7	78.9	93.5	105.5	109	114.2
2021	11.6	20.4	27.3	32.3	41.2	54.5	62.5	95.9	110.4	123.1	126.6
2022	11.8	21.4	31.4	40	57.4	68.9	76.3	80.4	80.8	82.8	85.4
2023	7.7	13.5	19.4	24.9	30.3	37.4	50.6	59.9	60.6	61.1	62

图 3-1 最大值法年数据文件 (以短历时为例)

3.1.4 降水数据提取

(1) 人工读取

传统的降水资料主要是纸质的雨量自记纸资料 (图 3.2), 自记纸上直观地记录着降雨的过程曲线, 从曲线上可以读出降雨的起止时间、雨量大小、降雨强

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

度。采用人工读数的方法，从气象站每年的雨量自记纸记录中分别读取 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180、240、360、540、720、1440min 这 16 个降雨历时的年最大降水量数据。

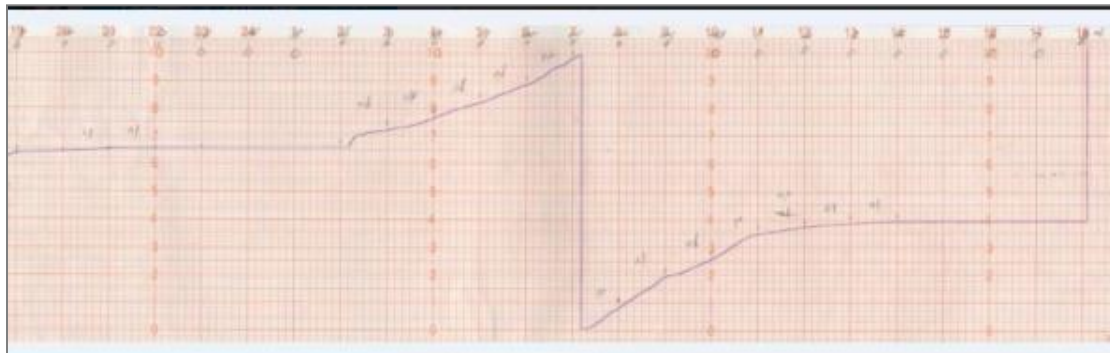


图 3-2 乐山国家站雨量自记纸

(2) 雨量自记纸资料信息化处理

对以自记纸形式保存的国家气象站历史降水资料，使用中国气象局组织编制的“降水自记纸彩色扫描数字化处理系统”进行数字化处理。该系统通过计算机扫描、图像处理、数据处理，将气象站降水自记纸图像进行数字化转换，成为逐分钟降水量，并需要经人工审核或修正后，录入数据库。

具体处理过程如下：

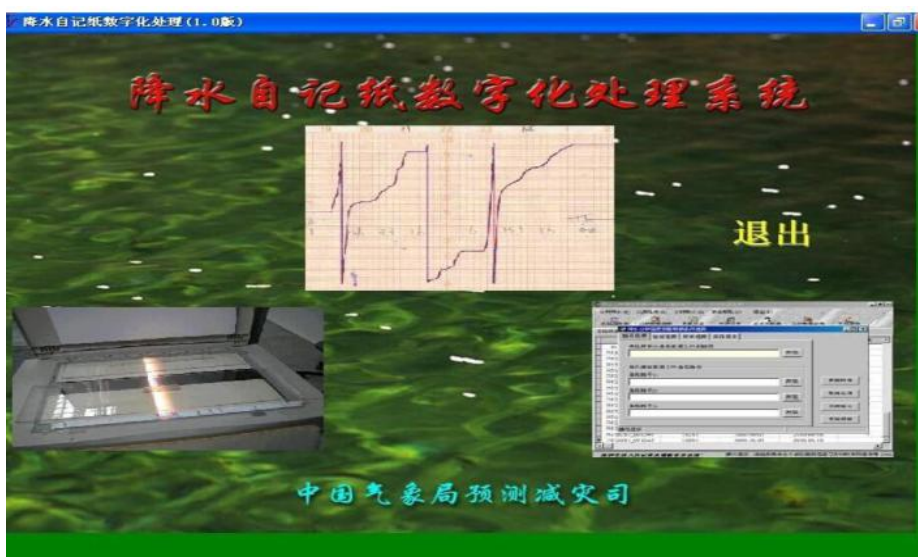


图 3-3 “降水自记纸数字化处理系统”界面

(A) 降水自记纸预处理

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

在自记纸扫描前，需将装订好的自记纸拆开，挑选出有降水过程的自记纸，并标注起止日期，使时间清晰地写在可扫描区域内。

（B）图像扫描

首先设置好扫描图像的分辨率、图像压缩率等扫描参数，一般文件大小应控制在 150—350KB 之间，如过大可提高压缩率、过小则减小压缩率，以达到正常跟踪与处理速度、保存容量的较好结合，又有较快的扫描速度。

（C）降水自记迹线的跟踪

降水自记迹线的跟踪主要有：调整合适的阈值，使程序能更好地自动跟踪；在强降水时，采用强降水跟踪方法（在非强降水时也可灵活使用该方法）；作异常处理时，可采用二次处理法，首先由程序自动计算异常量，然后再将包含异常时段在内的若干小时作异常处理，输入这段时间的降水量；无降水时的处理方法是从小最早出现降水的地方开始跟踪，将尾部无降水的迹线删除；注意与状态库或地面气象观测记录月报表文件中的日降水量及逐时降水量进行比对。

（D）数据转换与质量检查

数据转换包括：将迹线数据（ZJR 文件）转换成分钟强度数据，将分钟强度数据进行质量检查后再转换成标准分钟强度数据，以及将标准分钟强度数据转换成小时强度数据。在分钟强度转换前，可运行软件对 ZJR 文件进行质量检查，检查项目包括时间连续性检查和数据质量检查。数据转换程序也会进行转换前的必要检查，如虹吸过程是否超过 2 分钟，虹吸量是否超范围等。

（E）数据集制作

降水自记纸数字化处理应得到 3 个数据集：图像数据集、降水强度数据集和迹线文件数据集。每个数据集应包括：数据实体文件、数据说明文件、备注说明文件和元数据说明文件 4 个部分，因此，每个数据集应按规范和格式要求制作说明文档、备注说明文件和元数据说明文档。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

雨量自记纸经“降水自记纸彩色扫描数字化处理系统”处理成分钟数据后，从自记纸分钟雨量数据中分别滑动提取 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180、240、360、540、720、1440min 这 16 个历时降水量数据，并按照年最大值法的数据格式要求生成数据文本。

（3）降水资料提取原则

降水气象资料的统计和分析计算根据中国气象局颁发的《地面气象观测规范》和《全国地面气候资料统计方法》进行，按照“不漏场次、不漏大值”的原则选取降雨过程，降水数据提取原则如下：

（A）当 2 小时内无降水或者降水量 $\leq 0.1\text{mm}$ 时，可以视为两个独立的降水过程进行数据挑选；

（B）在同一个降水过程内，对每一个降水历时仅能选取该降水过程内最大的这个降水量数据作为样本；

（C）各时段最大降水量从年内各月降水量自记纸或每分钟降水量数据滑动挑取，且不受日、月界的限制（但不跨年挑取）；

（D）各时段年最大降水量出现两次或以上相同时，开始时间栏记出现次数；

（E）雨量大而降雨历时不足时，要将降雨历时按零雨量外延至降雨历时。

3.2 暴雨强度公式的技术方法

3.2.1 理论频率分布曲线拟合方法

根据住房和城乡建设部、中国气象局《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》（2014 年 4 月）所规定，年最大值法的重现期则采用 2、3、5、10、20、30、50、100a 这 8 个时限。由于设计采用的重现期（100 年一遇）大于资料年限，故采用理论频率分布曲线进行拟合调整，暴雨强度公式统计中，常用的理论频率曲线有 P-III 型分布曲线、耿贝尔分布曲线、指数分布曲线、经验频率曲线等，选用何种分布曲线关键是看分布曲线对原始数据的拟合程度，误差越小、

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

精度越高的分布越具有代表性，拟合精度以绝对均方根误差和相对均方根误差作为判断标准。经验频率曲线由于精度不高，实际工作中一般较少采用，当精度要求较高时，推荐采用 P-III型分布曲线、耿贝尔分布曲线和指数分布曲线。

(1) P-III型分布

P-III型分布的概率密度函数为：

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)}(x-b)^{\alpha-1}e^{-\beta(x-b)}$$

式中， $\Gamma(\alpha)$ 为伽马函数

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

三个原始参数 α , β , b 经适当换算, 可以用 3 个统计参数 \bar{x} ,

c_v , c_s 表示:

$$\alpha = \frac{4}{c_s^2}$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x}c_v c_s}$$

$$b = \bar{x} \left(1 - \frac{2c_v}{c_s} \right)$$

式中， c_v 为离差系数； c_s 为偏差系数； \bar{x} 为均值。这 3 个统计参数可以通过矩法进行初步确定。使用矩法计算 3 个统计参数公式如下：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$c_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1 \right)^2}{n-1}}$$

$$c_s = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1 \right)^3}{(n-3)c_v^3}$$

P-III型分布的概率分布函数为：

$$F(x < x_p) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} (x-b)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-b)} dx$$

采取设定等步长（0.001mm）的方式，给定 x_p 值，然后进行数值积分计

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

算 $F(x < x_p)$ ，得概率值 P 值[$P = 1 - F(x \geq x_p)$]，从而得到重现期 T 值($T = \frac{1}{P}$)，然后用插值法计算各重现期(T 年一遇)对应的 x_p 值。

(2) 双参数指数分布

双参数指数分布的概率密度函数为：

$$f(x, \mu, \eta) = \frac{1}{\eta} \exp\left(-\frac{x - \mu}{\eta}\right), \quad x \geq \mu > 0, \quad \eta > 0$$

双参数指数分布函数为：

$$F(x, \mu, \eta) = \int_{\mu}^x f(x) dx = 1 - \exp\left(-\frac{x - \mu}{\eta}\right), \quad x \geq \mu > 0, \quad \eta > 0$$

其中 μ 是位置参数， $\eta > 0$ 是尺度参数。

设母体 x 服从双参数指数分布， x_1, x_2, \dots, x_n 为其简单随机子样。

由期望的定义容易得到：

$$Ex = \int_{\mu}^{+\infty} x dF(x) = x * F(x)|_{\mu}^{+\infty} - \int_{\mu}^{+\infty} F(x) dx = \mu + \eta$$

$$E(x^2) = \int_{\mu}^{+\infty} x^2 dF(x) = x^2 * F(x)|_{\mu}^{+\infty} - \int_{\mu}^{+\infty} F(x) dx^2 = \mu^2 + 2\eta^2 + 2\mu\eta$$

可求得参数 μ 和 η 的估计：

$$\hat{\eta} = \sqrt{E(x^2) - (Ex)^2}$$

$$\hat{\mu} = Ex - \hat{\eta}$$

双参数指数分布的概率分布函数为：

$$F(x) = \int_{\mu}^x f(x) dx = 1 - e^{-\frac{x - \mu}{\eta}}$$

则重现期：

$$P = \frac{1}{1 - F(x)} = \frac{1}{e^{-\frac{1}{\eta}(x_p - \mu)}}$$

$$x_p = -\eta \ln\left(\frac{1}{P}\right) + \mu$$

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

给定重现期 P ，即可计算出双参数指数分布的降雨强度 x_P (mm/min)。

(3) 耿贝尔第I型极值分布

耿贝尔曲线是根据极值定理导出的，频率分布形态为偏态铃形分布，降雨强度与重现期在其频率格纸中呈一直线。

耿贝尔分布的概率密度函数为：

$$f(x) = ae^{a(x-\tau)} \cdot e^{-e^{a(x-\tau)}}, \quad x \geq 0$$

耿贝尔分布函数为：

$$F(x) = P(X < x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = e^{-e^{a(x-\tau)}}$$

$$a = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$$

$$\tau = \bar{x} - 0.5772 \frac{\sigma\sqrt{6}}{\pi}$$

$$F(x) = 1 - \frac{1}{P}$$

$$x_P = \frac{1}{a} \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{P} \right) \right)$$

给定重现期 P ，即可计算出耿贝尔分布的降雨强度 x_P (mm/min)。

3.2.2 暴雨强度公式计算方法

3.2.2.1 暴雨强度公式介绍

依据《室外排水设计标准》（GB50014，2021版），暴雨强度公式表达形式为：

$$q = \frac{167A_1 \times (1 + C \lg P)}{(t + b)^n} \text{ 或 } i = \frac{A_1 \times (1 + C \lg P)}{(t + b)^n}$$

式中： q —设计暴雨强度，单位为升/(公顷·秒)[L/(hm²·s)]；

i —设计暴雨强度，单位为毫米/分钟（mm/min）；

P —设计暴雨重现期，单位为年（a）；

t —降雨历时，单位为分钟（min）；

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

A_1 —雨力参数；

C—雨力变动参数；

b —降雨历时修正参数；

n —暴雨衰减指数。

（1）雨强单位的转换

室外排水设计采用的雨水参数是以体积（容量）来表达，需将以毫米（mm）为单位的降水强度，转换为以升（L）为单位的降水体积（容量）。单位时间（min）单位面积（ hm^2 ）1mm降水量转换为容量（L）时，经过以下换算过程：

$$1\text{mm}=0.001\text{m}$$

$$1\text{hm}^2=10000\text{m}^2$$

$$1\text{m}^3=1000\text{L}$$

$$1\text{hm}^2 \times 0.001\text{m} = 10\text{m}^3 = 10000\text{L}$$

即单位时间（min）单位面积（ hm^2 ）的1mm降水换算成容量为10000L，单位时间为1s时，单位面积为1 hm^2 的降水容量为 $10000/60=167[\text{L}/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})]$ ，则雨强 q [$\text{L}/(\text{hm}^2 \cdot \text{s})$]与雨强 i （mm/min）之间可以 $q \approx 167 i$ 进行换算。

（2）暴雨强度的频率和重现期的计算公式

在暴雨强度频率的计算中，常用经验频率公式：

次频率：
$$P_m = \frac{M}{k \times N + 1} \times 100\%$$

年频率：
$$P_l = \frac{M}{N + 1} \leftrightarrow 100\%$$

式中 P_m —次频率；

P_l —年频率；

N—资料年限；

K—每年平均取样个数；

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

M—样本由大到小排列的序位， $M=1, 2, \dots, N$ 。

暴雨强度重现期 P 是指相等或超过它的暴雨强度出现一次的平均时间，单位为年（ a ）。

3.2.2.2 暴雨强度公式参数估算方法

暴雨强度公式为已知关系式的超定非线性方程， A_1 、 C 、 b 、 n 这 4 个参数，显然常规方法无法求解，因此参数估计方法的设计和减少估算误差尤为关键。这里我们运用最小二乘法、高斯牛顿法两种方法进行参数估算。

(1) 最小二乘法

A. 单一重现期公式拟合

由暴雨强度公式

$$q = \frac{167 A_1 (1 + C \lg P)}{(t + b)^n}$$

令 $A = 167 A_1 (1 + C \lg P)$ ，则得到一个简化的表达式，即为单一重现期公式：

$$q = \frac{A}{(t + b)^n}$$

式中 A 为雨力参数，即不同重现期下 1min 的设计降水量（mm）。

对上式两边取对数，并令：

$$y = \ln q, \quad b_0 = \ln A, \quad b_1 = -n, \quad x = \ln(t + b)$$

则公式可简化为一个一元线性方程形式：

$$y = b_0 + b_1 x$$

采用最小二乘法，求出式中的 b_0 和 b_1 ，则可求出 A 、 n 。

由于式中的 b 也是未知数，在此，推荐采用“数值逼近法”来处理：先给定一个 b 值，采用最小二乘法进行计算，得出相应的 A 、 n 值，同时求出其均方根误差 σ ，不断调整 b 值，直至使其 σ 值达到最小时，从而得到最为合理的 A 、 b 、 n

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

值。同理，以此方法，可将 11 个降雨历时的单一重现期暴雨强度公式逐个推算出来。

B.总公式拟合

对暴雨强度公式两端求对数：

$$\ln q = \ln 167 A_1 + \ln(1 + C \lg P) - n \ln(t + b)$$

设 $y = \ln q - \ln(1 + C \lg P)$, $b_0 = \ln 167 A_1$, $b_1 = -n$, $x = \ln(t + b)$, 则上式可

写为：

$$y = b_0 + b_1 x$$

以最小二乘法求出 b_0 和 b_1 ，从而可求出 A_1 、 n 以及 q' （拟合值），同时求出总公式的均方根误差 $\bar{\sigma}$ ：

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{m_0} \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (q_{ij} - q'_{ij})^2}$$

m 为历时， m_0 为重现期。

取使 $\bar{\sigma}$ 最小的一组参数 A_1 、 b 、 n ，即为最佳拟合参数。

(2) 高斯牛顿法

高斯牛顿法求解暴雨强度公式参数的具体步骤如下：

设雨强 y_i (mm/min) 的回归模型为：

$$\hat{y}_i = f(x_i, r) + \varepsilon_i, (i = 1, 2, \dots, n)$$

其中： r 为待估回归系数，误差 $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

设 $\boldsymbol{g}^0 = (g_0^{(0)}, g_1^{(0)}, \dots, g_{p-1}^{(0)})$ 为待估回归系数 $\boldsymbol{r} = (r_0, r_1, \dots, r_{p-1})^T$ 的

初始值，将 $f(x_i, \boldsymbol{r})$ 在 \boldsymbol{g} 点作泰勒展开，并略去非线性回归模型的二阶及

二阶以上的偏导数项，得：

$$f(x_i, \boldsymbol{r}) = f(x_i, \boldsymbol{g}^0) + \sum_{k=0}^{p-1} \left[\frac{\partial f(x_i, \boldsymbol{r})}{\partial r_k} \right]_{\boldsymbol{r}=\boldsymbol{g}^{(0)}} (r_k - g_k^{(0)})$$

则：

$$y_i \approx f(x_i, \boldsymbol{g}^0) + \sum_{k=0}^{p-1} \left[\frac{\partial f(x_i, \boldsymbol{r})}{\partial r_k} \right]_{\boldsymbol{r}=\boldsymbol{g}^{(0)}} (r_k - g_k^{(0)}) + \varepsilon_i$$

移项有：

$$y_i - f(x_i, \boldsymbol{g}^0) \approx \sum_{k=0}^{p-1} \left[\frac{\partial f(x_i, \boldsymbol{r})}{\partial r_k} \right]_{\boldsymbol{r}=\boldsymbol{g}^{(0)}} (r_k - g_k^{(0)}) + \varepsilon_i$$

令：

$$y_i^{(0)} = y_i - f(x_i, \boldsymbol{g}^{(0)}), \quad D_{ik}^{(0)} = \left[\frac{\partial f(x_i, \boldsymbol{r})}{\partial r_k} \right]_{\boldsymbol{r}=\boldsymbol{g}^{(0)}}, \quad b_k^{(0)} = r_k - g_k^{(0)}$$

则：

$$y_i^{(0)} \approx \sum_{k=0}^{p-1} D_{ik}^{(0)} b_k^{(0)} + \varepsilon_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

用矩阵形式表示，上式为：

$$\boldsymbol{Y}^{(0)} \approx \boldsymbol{D}^{(0)} \boldsymbol{b}^{(0)} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

其中：

$$\boldsymbol{Y}_{n \times 1}^{(0)} = \begin{bmatrix} y_1 - f(x_1, \boldsymbol{g}^{(0)}) \\ \vdots \\ y_n - f(x_n, \boldsymbol{g}^{(0)}) \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{D}_{n \times p}^{(0)} = \begin{bmatrix} D_{10}^{(0)} & \cdots & D_{1p-1}^{(0)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{n0}^{(0)} & \cdots & D_{np-1}^{(0)} \end{bmatrix}$$

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

$$\mathbf{b}^{(0)}_{p \times 1} = \begin{bmatrix} b_0^{(0)} \\ \dots \\ b_{p-1}^{(0)} \end{bmatrix}$$

然后用最小二乘法估计 $\mathbf{b}^{(0)}$ ，则：

$$\mathbf{b}^{(0)} = (\mathbf{D}^{(0)T} \mathbf{D}^{(0)})^{-1} \mathbf{D}^{(0)T} \mathbf{Y}^{(0)}$$

设 $\mathbf{g}^{(0)}$ 为第一次迭代值，则 $\mathbf{g}^{(1)} = \mathbf{g}^{(0)} + \mathbf{b}^{(0)}$ 。 $\mathbf{g}^{(0)}$ 为迭代初值，

可以根据以往的经验设定初值。

其后计算残差平方和：

$$SSR^{(s)} = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, \mathbf{g}^{(s)})]^2$$

其中， s 为迭代次数。

对于给定的允许误差率 k ，当 $\left| \frac{SSR^{(s)} - SSR^{(s-1)}}{SSR^{(s)}} \right| \leq k$ 时，结束迭代，否则，进行下一次迭代。

也可以计算均方根误差 σ ：

$$\sigma = \sqrt{SSR^{(s)}/n}$$

当 $\sigma < \epsilon$ (ϵ 为允许的均方根误差值) 时，结束迭代。当前后两次迭代的

σ 值相同时，即误差值不再变化，也结束迭代。

A. 暴雨强度分公式的一阶偏导数及矩阵 $\mathbf{D}^{(0)}$ 值

暴雨强度分公式：

$$I = \frac{A}{(t+b)^n}$$

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

其中， A 、 b 、 n 为待定参数。

暴雨强度分公式的偏导数方程为：

$$\begin{aligned}\frac{\partial I}{\partial A} &= \frac{1}{(t+b)^n} \\ \frac{\partial I}{\partial b} &= \frac{-An}{(t+b)^{n+1}} \\ \frac{\partial I}{\partial n} &= \frac{-A \ln(t+b)}{(t+b)^n}\end{aligned}$$

因此，矩阵 $D^{(0)}$ 为 $\frac{\partial I}{\partial A}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial b}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial n}$ 构成的 $tn \times 3$ 阶矩阵：

$$D^{(0)} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial A}\right)_{t1} & \left(\frac{\partial I}{\partial b}\right)_{t1} & \left(\frac{\partial I}{\partial n}\right)_{t1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \left(\frac{\partial I}{\partial A}\right)_{tn} & \left(\frac{\partial I}{\partial b}\right)_{tn} & \left(\frac{\partial I}{\partial n}\right)_{tn} \end{bmatrix}_{tn \times 3}$$

tn 为降雨强度历时数，共 11 个历时（5 分钟、10 分钟、15 分钟、20 分钟、30 分钟、45 分钟、60 分钟、90 分钟、120 分钟、150 分钟以及 180 分钟）。

B. 暴雨强度总公式的一阶偏导数及矩阵 $D^{(0)}$ 值

暴雨强度总公式：

$$I = \frac{A_1(1 + C \lg P)}{(t+b)^n}$$

其中 A_1 、 C 、 b 、 n 为待定参数。

暴雨强度总公式的偏导数方程为：

$$\begin{aligned}\frac{\partial I}{\partial A_1} &= \frac{1 + C \lg P}{(t+b)^n} \\ \frac{\partial I}{\partial C} &= \frac{A_1 \lg P}{(t+b)^n} \\ \frac{\partial I}{\partial b} &= \frac{-A_1(1 + C \lg P)n}{(t+b)^{n+1}} \\ \frac{\partial I}{\partial n} &= \frac{-A_1(1 + C \lg P) \ln(t+b)}{(t+b)^n}\end{aligned}$$

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

因此，矩阵 $D^{(0)}$ 为 $\frac{\partial I}{\partial A_1}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial C}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial b}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial n}$ 构成的 $tn \times 4$ 阶

矩阵：

$$D^{(0)} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial A_1}\right)_{t1} & \left(\frac{\partial I}{\partial C}\right)_{t1} & \left(\frac{\partial I}{\partial b}\right)_{t1} & \left(\frac{\partial I}{\partial n}\right)_{t1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \left(\frac{\partial I}{\partial A_1}\right)_{tn} & \left(\frac{\partial I}{\partial C}\right)_{tn} & \left(\frac{\partial I}{\partial b}\right)_{tn} & \left(\frac{\partial I}{\partial n}\right)_{tn} \end{bmatrix}_{tn \times 4}$$

tn 为降雨强度历时数，共 11 个历时（5 分钟、10 分钟、15 分钟、20 分钟、30 分钟、45 分钟、60 分钟、90 分钟、120 分钟、150 分钟以及 180 分钟）。

3.2.3 精度检验方法

根据《室外排水设计标准》（GB50014-2021）要求，采用年最大值法计算抽样误差和暴雨公式误差，重现期在 2-20a 时，宜按绝对均方根误差计算，也可以辅以相对均方根误差计算，在一般降雨强度的地方平均绝对均方根误差不宜大于 0.05（mm/min），在较大降雨强度的地方平均相对均方根误差不宜大于 5%。

绝对均方根误差：
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_i')^2}$$

相对均方根误差：
$$f = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

式中 N —计算抽样误差的样本个数； x_i 为暴雨强度公式计算出来的雨强； x_i' 为 i-P-t 三联表对应的降水强度 i 值。

3.3 暴雨雨型设计的技术方法

3.3.1 芝加哥雨型设计方法

芝加哥雨型推求是基于暴雨强度公式，雨峰的位置由暴雨统计资料确定。

令雨型强度过程的总历时为 t_0 ，峰前的瞬时强度曲线为 I_a ，相应的历时为 t_a ，降雨累计量为 H_a ，峰后的瞬时强度曲线为 I_b ，相应的历时为 t_b ，降雨累计量为

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

H_b , 总降雨量 $H_T = H_a + H_b$ 。令 $t_0 = 1$, 强度高峰点的位置为 r (0-1 之间), 则

$$t_0 = \frac{t_a}{r} = \frac{t_b}{(1-r)}$$

取暴雨强度公式 $i = \frac{A}{(T+b)^n}$ 型, 取雨峰时间坐标为 0 点, 则雨峰前后的平均

强度 i_a 与 i_b :

$$\text{当 } 0 \leq t \leq t_a \text{ 时 } i_a = \frac{A}{\left(\frac{t}{r} + b\right)^n} = \frac{r^n A}{(t+rb)^n}$$

$$\text{当 } 0 \leq t \leq t_b \text{ 时 } i_b = \frac{A}{\left(\frac{t}{1-r} + b\right)^n} = \frac{(1-r)^n A}{[t+b(1-r)]^n}$$

因此得强度高峰前后的瞬时强度 I_a 与 I_b 为:

当 $0 \leq t \leq t_a$ 时:

$$I_a = \frac{d}{dt} \frac{r^n A}{(t+rb)^n} = \frac{(1-n)r^n A}{(t+rb)^n} + \frac{nbr^{n+1} A}{(t+rb)^{n+1}}$$

当 $0 \leq t \leq t_b$ 时:

$$I_b = \frac{d}{dt} \frac{(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} = \frac{(1-n)(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} + \frac{nb(1-r)^{n+1} A}{[t+(1-r)b]^{n+1}}$$

由上两式导得模式雨型降雨累计量过程线, 算式如下:

当 $0 \leq t \leq rT$ 时:

$$H = \int_0^t i_a dt = H_T \left[r - \left(r - \frac{t}{T}\right) \right] - \frac{t}{r(T+b)}$$

当 $rT \leq t \leq T$ 时:

$$H = rH_T + \int_{rT}^t i_b dt = H_T \left[r + \left(\frac{t}{T} - r\right) \right] + \frac{t-T}{(1-r)(T+b)}$$

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

在计算出雨型各时段的累积降雨量之后，各时段的平均降雨量可依次相减求出，进而得到每个时段的平均降雨强度，最终确定出对应重现期及降雨历时的芝加哥雨型。

3.3.2 同频率雨型设计方法

同频率法（亦称“长包短”法或同频率放大法）在确定暴雨雨型时，主要依据降雨资料中出现次数最多的情况（众值）来确定时间序位，并以平均情况（均值）来定义各时段雨量比例。以下是该方法的详细步骤：

（1）前期准备

收集降雨资料：收集研究区域的历史降雨数据，包括降雨历时、降雨量、降雨强度等信息。

确定目标降雨历时：根据研究需要，确定目标降雨历时，本报告中最长降雨历时选为 1440 分钟（即 24 小时）。

（2）筛选和定位

筛选暴雨样本：根据降雨量标准筛选出多场降雨历时与目标降雨历时相同的暴雨样本。

确定最大降雨时段：对于长度为 1440 分钟，统计窗口为 5 分钟的每场暴雨过程，采用时间滑动的方法确定 1440 分钟内包含的其它最大降雨时段（如 H720、H360 等）的起始位置。

众值定位：基于“众值定位”的方法，确定设计暴雨雨型中最大降雨时段的起始时段。通过统计所有暴雨样本中最大降雨时段起始位置的频率，选择出现次数最多的位置作为设计暴雨雨型的起始时段。

（3）主峰对齐叠加与计算

主峰对齐叠加：将选出的暴雨样本按照其最大降雨时段的起始位置进行主峰对齐叠加，确保各样本在同一时间框架下进行比较。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

计算时段降雨量比例：对于每个叠加后的暴雨样本，计算其各时段（如H720-H1440、H360-H720等）降雨量占该时段总降雨量的百分比。

求均值：对所有暴雨样本在各时段的降雨量百分比进行平均，得到各时段降雨量的分配比例。

（4）构建设计暴雨雨型

分配比例应用：根据计算得到的各时段降雨量分配比例，构建设计暴雨雨型。通过将总设计降雨量按照分配比例分配到各个时段来实现。

验证与调整：对构建的设计暴雨雨型进行验证，确保其能够合理反映研究区域的暴雨特性。如有必要，根据验证结果对分配比例进行调整。

第4章 短历时暴雨强度公式

4.1 曲线拟合

按照现行排水规范对暴雨强度公式编制要求，此次暴雨强度公式编制工作采用年最大值法对降雨资料进行选样，并采用皮尔逊III型频率分布曲线、指数频率分布曲线和耿贝尔频率分布曲线进行频率计算。

(1) 皮尔逊III型分布曲线

基于皮尔逊III型频率分布曲线调整选样数据资料，调整各个参数使曲线拟合最优，且 C_s/C_v 的比值固定为 3.5，各曲线间隔相对保持均匀。年最大值 P-III 法分布短历时频率拟合曲线见图 4-1，重现期-历时-降水强度的关系见表 4-1。

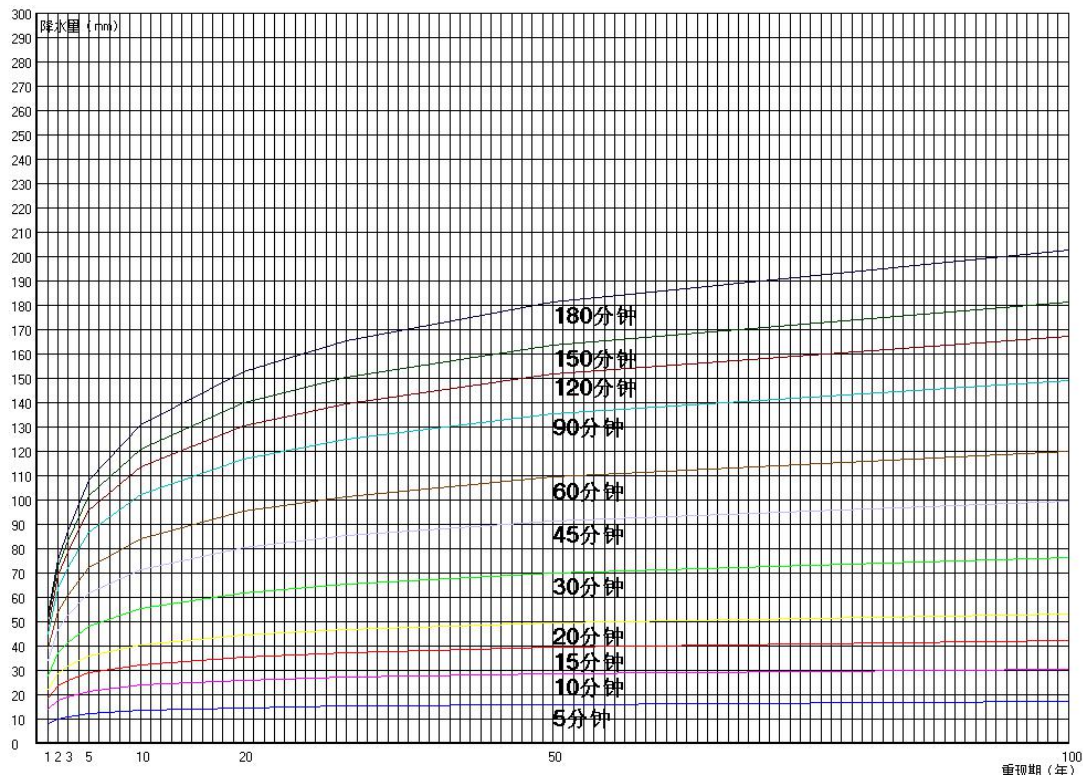


图 4-1 短历时皮尔逊III型分布拟合曲线（合计）

表 4-1 皮尔逊III型分布 P-i-t 表（单位：mm/min）

重现期	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1a	1.608	1.392	1.234	1.099	0.917	0.756	0.645	0.500	0.397	0.337	0.293
2a	2.008	1.758	1.566	1.431	1.232	1.039	0.898	0.706	0.575	0.484	0.419

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

3a	2.173	1.910	1.708	1.573	1.372	1.165	1.010	0.800	0.656	0.555	0.483
5a	2.425	2.141	1.929	1.794	1.599	1.369	1.201	0.963	0.797	0.677	0.599
10a	2.682	2.377	2.154	2.019	1.839	1.585	1.401	1.135	0.945	0.805	0.725
20a	2.912	2.587	2.360	2.225	2.058	1.782	1.588	1.296	1.084	0.932	0.848
30a	3.035	2.700	2.470	2.335	2.182	1.893	1.690	1.388	1.163	1.002	0.917
50a	3.191	2.843	2.612	2.477	2.333	2.030	1.822	1.504	1.264	1.091	1.007
100a	3.393	3.028	2.794	2.659	2.537	2.213	1.996	1.654	1.393	1.207	1.125

(2) 耿贝尔频率分布曲线

根据耿贝尔方法拟合短历时的年最大值, 计算得到的各历时的频率拟合曲线

如图 4-2 所示, 重现期-历时-降水强度关系如表 4-2 所示。

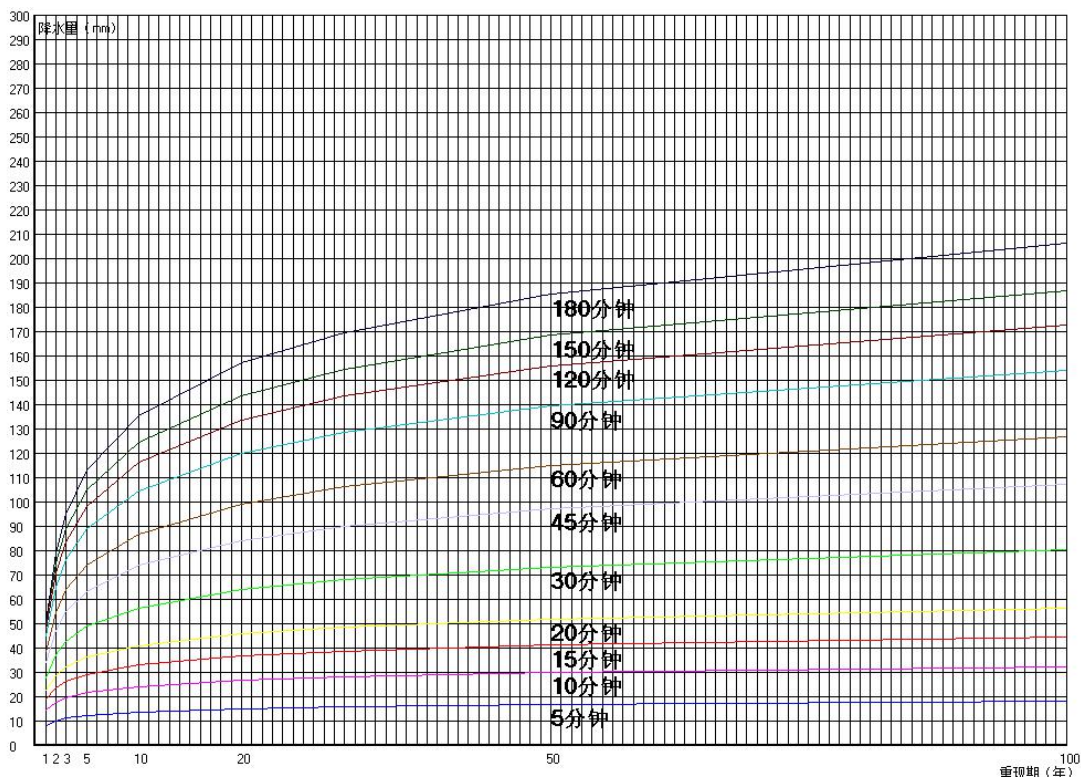


图 4-2 短历时耿贝尔分布拟合曲线 (合计)

表 4-2 耿贝尔分布 P-i-t 表 (单位: mm/min)

历时	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
2a	1.640	1.419	1.250	1.120	0.922	0.750	0.641	0.500	0.398	0.331	0.279
3a	1.999	1.750	1.566	1.432	1.243	1.048	0.910	0.722	0.589	0.498	0.437
5a	2.202	1.938	1.744	1.607	1.425	1.216	1.062	0.847	0.697	0.593	0.527
10a	2.429	2.147	1.943	1.803	1.627	1.403	1.232	0.987	0.817	0.698	0.627
20a	2.713	2.409	2.193	2.049	1.881	1.639	1.445	1.162	0.967	0.831	0.752
30a	2.985	2.660	2.432	2.285	2.124	1.864	1.649	1.330	1.112	0.958	0.873
50a	3.142	2.805	2.570	2.420	2.265	1.994	1.767	1.427	1.195	1.031	0.942
100a	3.338	2.986	2.742	2.590	2.440	2.157	1.913	1.548	1.299	1.122	1.029

(3) 指数频率分布曲线

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

根据指数分布方法拟合短历时的年最大值, 计算得到的各历时的频率拟合曲线如图 4-3 所示, 重现期-历时-降水强度关系如表 4-3 所示。

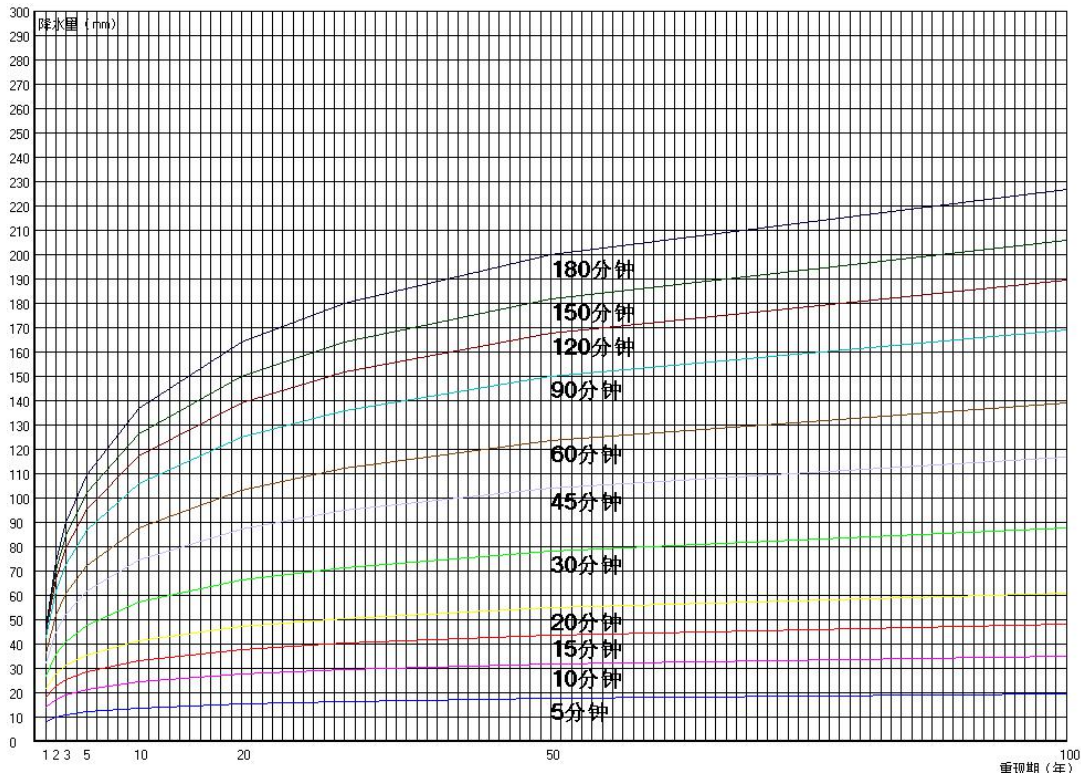


图 4-3 短历时指数分布拟合曲线 (合计)

表 4-3 指数分布 P-i-t 表 (单位: mm/min)

历时	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1a	1.594	1.378	1.213	1.086	0.882	0.712	0.605	0.471	0.375	0.309	0.259
2a	1.936	1.693	1.511	1.378	1.187	0.996	0.863	0.683	0.556	0.469	0.410
3a	2.137	1.877	1.686	1.549	1.366	1.162	1.013	0.807	0.662	0.562	0.498
5a	2.389	2.109	1.905	1.765	1.591	1.371	1.203	0.963	0.795	0.680	0.609
10a	2.732	2.424	2.204	2.057	1.897	1.655	1.460	1.174	0.976	0.840	0.760
20a	3.075	2.739	2.502	2.349	2.203	1.938	1.717	1.386	1.157	1.000	0.910
30a	3.275	2.923	2.676	2.520	2.381	2.104	1.867	1.509	1.263	1.093	0.998
50a	3.528	3.155	2.896	2.736	2.607	2.314	2.057	1.665	1.396	1.211	1.109
100a	3.871	3.470	3.194	3.028	2.912	2.598	2.314	1.877	1.577	1.371	1.260

4.2 短历时暴雨强度公式计算

在用理论频率分布曲线对降水样本进行曲线拟合得到 P-i-t 三联表数据后, 我们分别用最小二乘法、高斯牛顿法计算暴雨强度总分公式各参数。

4.2.1 最小二乘法

利用皮尔逊分布、耿贝尔分布和指数分布曲线得到 P-i-t 三联表数据，分别用最小二乘法计算短历时暴雨强度总、分公式各参数，并计算各重现期下相应的精度误差。

通过最小二乘法计算得到各分布曲线的短历时暴雨强度总分公式如下

(1) P-III分布:

短历时总公式:
$$q = \frac{4592.284 \times (1+0.62 \times \lg P)}{(t+35.843)^{0.766}}$$
 (单位: [L/(s·hm²)])

短历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \text{ (单位: [L/(s·hm}^2\text{)]) 或 } i = \frac{A}{(t+b)^n} \text{ (单位: mm/min)}$$

表 4-4 P-III分布-最小二乘法短历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	5174.662/(t+25.687) ^{0.802}	5174.662	30.986	25.687	0.802
3	5570.619/(t+27.681) ^{0.785}	5570.619	33.357	27.681	0.785
5	6004.318/(t+29.938) ^{0.765}	6004.318	35.954	29.938	0.765
10	6297.069/(t+32.210) ^{0.737}	6297.069	37.707	32.21	0.737
20	7362.696/(t+37.589) ^{0.731}	7362.696	44.088	37.589	0.731
30	7906.782/(t+39.865) ^{0.728}	7906.782	47.346	39.865	0.728
40	8275.017/(t+41.330) ^{0.726}	8275.017	49.551	41.33	0.726
50	8553.573/(t+42.413) ^{0.725}	8553.573	51.219	42.413	0.725
60	8777.854/(t+43.273) ^{0.724}	8777.854	52.562	43.273	0.724
70	8965.395/(t+43.985) ^{0.723}	8965.395	53.685	43.985	0.723
80	9126.717/(t+44.594) ^{0.722}	9126.717	54.651	44.594	0.722
90	9268.333/(t+45.125) ^{0.722}	9268.333	55.499	45.125	0.722
100	9394.251/(t+45.596) ^{0.721}	9394.251	56.253	45.596	0.721

(注: " ^ "符号表示指数运算)

(2) 耿贝尔分布:

短历时总公式:
$$q = \frac{5488.774 \times (1+0.698 \times \lg P)}{(t+40.609)^{0.797}}$$
 (单位: [L/(hm²·s)])

短历时分公式:

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n} \quad \mathbf{i} = \frac{A}{(t+b)^n}$$

(单位: [L/(hm²·s)])或 (单位: [L/(s·hm²)]或

mm/min)

表 4-5 耿贝尔分布-最小二乘法短历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	5271.188/(t+27.003) ^{0.798}	5271.188	31.564	27.003	0.798
3	5667.813/(t+29.087) ^{0.779}	5667.813	33.939	29.087	0.779
5	6094.498/(t+31.288) ^{0.758}	6094.498	36.494	31.288	0.758
10	7600.838/(t+36.074) ^{0.761}	7600.838	45.514	36.074	0.761
20	9877.549/(t+42.973) ^{0.778}	9877.549	59.147	42.973	0.778
30	11071.933/(t+45.369) ^{0.784}	11071.933	66.299	45.369	0.784
40	11887.06/(t+46.855) ^{0.788}	11887.06	71.18	46.855	0.788
50	12506.463/(t+47.936) ^{0.790}	12506.463	74.889	47.936	0.79
60	13006.294/(t+48.786) ^{0.793}	13006.294	77.882	48.786	0.793
70	13425.297/(t+49.486) ^{0.794}	13425.297	80.391	49.486	0.794
80	13786.017/(t+50.081) ^{0.796}	13786.017	82.551	50.081	0.796
90	14102.649/(t+50.599) ^{0.797}	14102.649	84.447	50.599	0.797
100	14384.879/(t+51.057) ^{0.798}	14384.879	86.137	51.057	0.798

(注: " ^ "符号表示指数运算)

(3) 指数分布:

短历时总公式: $q = \frac{4752.934 \times (1+0.997 \times \lg P)}{(t+40.747)^{0.798}}$ (单位: [L/(s·hm²)])

短历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n} \quad \mathbf{i} = \frac{A}{(t+b)^n}$$

(单位: [L/(s·hm²)]或 (单位: [L/(s·hm²)]或

mm/min)

表 4-6 指数分布-最小二乘法短历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	4397.945/(t+20.370) ^{0.862}	4397.945	26.335	20.37	0.862
3	5275.864/(t+26.588) ^{0.810}	5275.864	31.592	26.588	0.81
5	5586.985/(t+28.555) ^{0.786}	5586.985	33.455	28.555	0.786
10	5921.653/(t+30.632) ^{0.758}	5921.653	35.459	30.632	0.758
20	7897.597/(t+36.657) ^{0.766}	7897.597	47.291	36.657	0.766

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

30	10189.338/(t+43.642)^0.772	10189.338	61.014	43.642	0.772
40	11359.507/(t+46.067)^0.775	11359.507	68.021	46.067	0.775
50	12151.254/(t+47.571)^0.777	12151.254	72.762	47.571	0.777
60	12750.45/(t+48.665)^0.778	12750.45	76.35	48.665	0.778
70	13232.746/(t+49.525)^0.779	13232.746	79.238	49.525	0.779
80	13636.218/(t+50.234)^0.780	13636.218	81.654	50.234	0.78
90	13983.244/(t+50.837)^0.781	13983.244	83.732	50.837	0.781
100	14287.518/(t+51.361)^0.782	14287.518	85.554	51.361	0.782

（注：“^”符号表示指数运算）

4.2.2 高斯牛顿法

基于 P-III分布、耿贝尔分布以及指数分布曲线得到的 P-i-t 三联表数据，用高斯牛顿法计算短历时暴雨强度总、分公式各参数，并计算各重现期下相应的精度误差。

通过高斯牛顿法计算得到各分布曲线的短历时暴雨强度总分公式如下：

(1) P-III分布：

短历时总公式：
$$q = \frac{3250.231 \times (1 + 0.672 \times \lg P)}{(t + 33.103)^{0.702}} \quad (\text{单位：} [L/(s \cdot \text{hm}^2)])$$

短历时分公式：

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位：} [L/(s \cdot \text{hm}^2)]) \quad \text{或} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位：} \text{mm/min})$$

表 4-7 P-III分布-高斯牛顿法短历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	3907.882/(t+33.103)^0.702	3907.882	23.400	33.103	0.702
3	4292.583/(t+33.103)^0.702	4292.583	25.704	33.103	0.702
5	4777.248/(t+33.103)^0.702	4777.248	28.606	33.103	0.702
10	5434.899/(t+33.103)^0.702	5434.899	32.544	33.103	0.702
20	6092.550/(t+33.103)^0.702	6092.55	36.482	33.103	0.702
30	6477.251/(t+33.103)^0.702	6477.251	38.786	33.103	0.702
40	6750.200/(t+33.103)^0.702	6750.2	40.420	33.103	0.702
50	6961.916/(t+33.103)^0.702	6961.916	41.688	33.103	0.702
60	7134.901/(t+33.103)^0.702	7134.901	42.724	33.103	0.702
70	7281.158/(t+33.103)^0.702	7281.158	43.600	33.103	0.702
80	7407.851/(t+33.103)^0.702	7407.851	44.358	33.103	0.702
90	7519.602/(t+33.103)^0.702	7519.602	45.028	33.103	0.702

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

100	$7619.567/(t+33.103)^{0.702}$	7619.567	45.626	33.103	0.702
-----	-------------------------------	----------	--------	--------	-------

(注: " ^ "符号表示指数运算)

(2) 耿贝尔分布:

短历时总公式:
$$q = \frac{4102.378 \times (1 + 0.738 \times \lg P)}{(t + 37.755)^{0.746}} \quad (\text{单位: } [L/(s \cdot \text{hm}^2)])$$

短历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位: } [L/(s \cdot \text{hm}^2)]) \quad \text{或} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位: } \text{mm}/\text{min})$$

表 4-8 耿贝尔分布-高斯牛顿法短历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	$4102.378/(t+37.755)^{0.746}$	4102.378	24.565	37.755	0.746
3	$5013.287/(t+37.755)^{0.746}$	5013.287	30.020	37.755	0.746
5	$5546.135/(t+37.755)^{0.746}$	5546.135	33.210	37.755	0.746
10	$6217.444/(t+37.755)^{0.746}$	6217.444	37.230	37.755	0.746
20	$7128.353/(t+37.755)^{0.746}$	7128.353	42.685	37.755	0.746
30	$8039.262/(t+37.755)^{0.746}$	8039.262	48.139	37.755	0.746
40	$8572.110/(t+37.755)^{0.746}$	8572.11	51.330	37.755	0.746
50	$8950.171/(t+37.755)^{0.746}$	8950.171	53.594	37.755	0.746
60	$9243.419/(t+37.755)^{0.746}$	9243.419	55.350	37.755	0.746
70	$9483.019/(t+37.755)^{0.746}$	9483.019	56.785	37.755	0.746
80	$9685.599/(t+37.755)^{0.746}$	9685.599	57.998	37.755	0.746
90	$9861.081/(t+37.755)^{0.746}$	9861.081	59.048	37.755	0.746
100	$10015.867/(t+37.755)^{0.746}$	10015.867	59.975	37.755	0.746

(注: " ^ "符号表示指数运算)

(3) 指数分布:

短历时总公式:
$$q = \frac{3830.39 \times (1 + 0.951 \times \lg P)}{(t + 39.447)^{0.747}} \quad (\text{单位: } [L/(s \cdot \text{hm}^2)])$$

短历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位: } [L/(s \cdot \text{hm}^2)]) \quad \text{或} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位: } \text{mm}/\text{min})$$

mm/min)

表 4-9 指数分布-高斯牛顿法分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	$3830.390/(t+39.447)^{0.747}$	3830.39	22.936	39.447	0.747

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

3	$4926.873/(t+39.447)^{0.747}$	4926.873	29.502	39.447	0.747
5	$5568.275/(t+39.447)^{0.747}$	5568.275	33.343	39.447	0.747
10	$6376.346/(t+39.447)^{0.747}$	6376.346	38.182	39.447	0.747
20	$7472.829/(t+39.447)^{0.747}$	7472.829	44.747	39.447	0.747
30	$8569.312/(t+39.447)^{0.747}$	8569.312	51.313	39.447	0.747
40	$9210.714/(t+39.447)^{0.747}$	9210.714	55.154	39.447	0.747
50	$9665.796/(t+39.447)^{0.747}$	9665.796	57.879	39.447	0.747
60	$10018.785/(t+39.447)^{0.747}$	10018.785	59.993	39.447	0.747
70	$10307.197/(t+39.447)^{0.747}$	10307.197	61.720	39.447	0.747
80	$10551.047/(t+39.447)^{0.747}$	10551.047	63.180	39.447	0.747
90	$10762.279/(t+39.447)^{0.747}$	10762.279	64.445	39.447	0.747
100	$10948.599/(t+39.447)^{0.747}$	10948.599	65.560	39.447	0.747

(注: "^"符号表示指数运算)

4.3 误差分析

按照各种适线线型推求的 P-i-t 数据表, 采用最小二乘法、高斯-牛顿法进行暴雨强度公式的推求, 求得各公式拟合参数值及误差, 结果见表 4-10~13。

表 4-10 最小二乘法短历时暴雨强度总公式误差一览表

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
2	0.158	8.172	0.091	8.177	0.086	8.132
3	0.090	6.208	0.062	4.946	0.066	5.492
5	0.076	3.185	0.043	3.029	0.047	3.345
10	0.045	2.455	0.040	2.434	0.046	2.764
20	0.039	3.353	0.060	3.277	0.073	3.832
30	0.060	4.303	0.077	3.945	0.094	4.563
50	0.081	5.543	0.101	4.774	0.122	5.420
100	0.112	7.273	0.134	5.817	0.161	6.437
平均	0.159	6.606	0.085	6.067	0.091	6.150
2-20a 平均	0.091	4.675	0.059	4.373	0.064	4.713

表 4-11 最小二乘法短历时暴雨强度分公式误差一览表

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
2	0.016	1.421	0.017	1.576	0.016	1.550
3	0.021	1.752	0.023	1.857	0.021	1.767
5	0.032	2.256	0.030	2.130	0.030	2.180
10	0.039	2.417	0.043	2.641	0.048	2.934

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

20	0.042	2.361	0.047	2.531	0.064	3.353
30	0.048	2.563	0.052	2.647	0.066	3.219
50	0.054	2.663	0.058	2.739	0.068	3.053
100	0.063	2.880	0.076	3.294	0.096	3.844
平均	0.039	2.289	0.040	2.295	0.047	2.603
2-20a 平均	0.030	2.041	0.032	2.147	0.036	2.357

表 4-12 高斯牛顿法短历时暴雨强度总公式误差一览表

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
2	0.099	8.952	0.089	8.072	0.103	9.670
3	0.087	7.147	0.073	5.830	0.084	6.970
5	0.078	5.561	0.060	4.219	0.064	4.544
10	0.061	3.813	0.047	2.886	0.046	2.812
20	0.051	2.849	0.050	2.703	0.054	2.828
30	0.059	3.120	0.060	3.079	0.067	3.280
50	0.083	4.092	0.079	3.745	0.089	3.969
100	0.128	5.842	0.109	4.737	0.122	4.867
平均	0.087	6.405	0.078	5.733	0.085	6.203
2-20a 平均	0.075	5.665	0.064	4.742	0.070	5.365

表 4-13 高斯牛顿法短历时暴雨强度分公式误差一览表

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
2	0.098	8.914	0.089	8.071	0.103	9.670
3	0.087	7.129	0.073	5.834	0.084	6.970
5	0.078	5.556	0.060	4.229	0.064	4.544
10	0.061	3.797	0.048	2.899	0.046	2.812
20	0.050	2.787	0.050	2.708	0.054	2.828
30	0.058	3.058	0.060	3.079	0.067	3.280
50	0.081	4.038	0.079	3.739	0.089	3.969
100	0.127	5.802	0.109	4.726	0.122	4.867
平均	0.080	5.135	0.078	5.735	0.085	6.202
2-20a 平均	0.075	5.637	0.064	4.748	0.070	5.365

4.4 推求结果

针对乐山主城区 1981~2023 年共 43 年短历时降水数据,运用 P-III分布、指数分布和耿贝尔分布曲线拟合,得出拟合误差 P-III分布、指数分布和耿贝尔分布

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

均满足要求，通过最小二乘法、高斯牛顿法分别对三种分布曲线进行公式参数计算，并根据 i-P-t 三联表数据得到短历时的各公式误差。分别求解了两种计算方法（最小二乘法、高斯牛顿法）下三种曲线拟合方式（P-III分布、指数分布和耿贝尔分布）的短历时总公式误差和分公式误差。

比较不同计算方法的公式误差，发现总公式总体误差最小的是采用最小二乘法的耿贝尔分布，分公式总体误差最小的是最小二乘法的 P-III分布，且不同曲线采用最小二乘法得出的分公式误差差距不大。经过上述综合分析可知，利用“耿贝尔-最小二乘法”编制的短历时暴雨强度总公式及分公式误差相对其他组合误差综合最优，因此该组合结果是年最大值法的最理想的短历时暴雨强度公式。多数情况下单一重现期分公式比总公式精度高，但是总公式更具实用性和普适性，因此建议正常情况下采用包含重现期的总公式。对于个别情况如城市大型或重要的雨水泵站、排水泵站等，以及较低重现期和较高重现期的雨量计算的情况，可考虑采用单一重现期分公式，更具有指导意义。

短历时暴雨强度总公式：
$$q = \frac{5488.774 \times (1+0.698 \times \lg P)}{(t+40.609)^{0.797}}$$
 (单位：[L/(hm²·s)])

单一重现期短历时暴雨强度分公式：

P(a)	公式
2	$q=5271.188/(t+27.003)^{0.798}$
3	$q=5667.813/(t+29.087)^{0.779}$
5	$q=6094.498/(t+31.288)^{0.758}$
10	$q=7600.838/(t+36.074)^{0.761}$
20	$q=9877.549/(t+42.973)^{0.778}$
30	$q=11071.933/(t+45.369)^{0.784}$
40	$q=11887.06/(t+46.855)^{0.788}$
50	$q=12506.463/(t+47.936)^{0.790}$
60	$q=13006.294/(t+48.786)^{0.793}$
70	$q=13425.297/(t+49.486)^{0.794}$
80	$q=13786.017/(t+50.081)^{0.796}$
90	$q=14102.649/(t+50.599)^{0.797}$
100	$q=14384.879/(t+51.057)^{0.798}$

(单位：[L/(hm²·s)]；"^"符号表示指数运算)

4.5 与上版暴雨强度公式的比较分析

本次新编的乐山市短历时暴雨强度公式为：

$$q = \frac{5488.774 \times (1 + 0.698 \times \lg P)}{(t + 40.609)^{0.797}}$$

乐山市上版短历时暴雨强度公式为 2022 年编制，其型式为：

$$q = \frac{1568.754 \times (1 + 0.66 \times \lg P)}{(t + 14.6)^{0.567}}$$

式中： q ——暴雨强度计算值（L/(s·hm²））；

t ——降雨历时（min）；

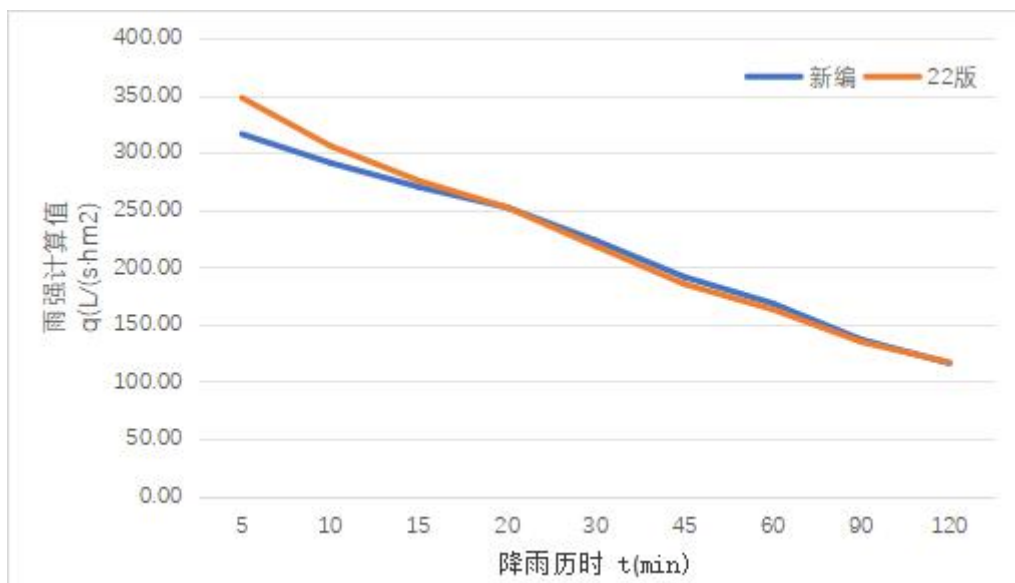
P ——重现期（a）。

将本次新编短历时暴雨强度公式与 22 版乐山暴雨强度公式各指定重现期（年）和降雨历时（分钟）的降雨量进行对比计算，重现期选取主要根据《室外排水设计标准》（GB50014-2021）中对中等城市雨水管渠设计重现期要求，降雨历时主要选取常用设计历时，结果见表 4-13 及图 4-4 到图 4-9，其中图 4-4 到图 4-9 是表现同一重现期的降雨在不同历时下的雨强。

表 4-14 新编暴雨强度公式与上版公式计算值对比

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

重现期 P(a)	雨强计算值 q(L/(s·hm ²))	降雨历时 t(min)								
		5	10	15	20	30	45	60	90	120
2	新编	316.26	291.09	270.04	252.13	223.23	191.46	168.35	136.73	115.96
	22 版	347.98	305.91	275.45	252.12	218.32	185.22	163.09	134.64	116.71
	差值	-31.72	-14.82	-5.41	0.01	4.92	6.24	5.26	2.09	-0.75
3	新编	348.38	320.66	297.46	277.74	245.91	210.91	185.44	150.62	127.74
	22 版	381.71	335.57	302.15	276.56	239.48	203.18	178.90	147.70	128.02
	差值	-33.34	-14.91	-4.69	1.18	6.43	7.73	6.55	2.92	-0.28
5	新编	388.85	357.91	332.02	310.00	274.47	235.41	206.99	168.12	142.58
	22 版	424.22	372.94	335.80	307.36	266.15	225.81	198.82	164.14	142.28
	差值	-35.37	-15.03	-3.78	2.64	8.32	9.60	8.17	3.97	0.30
10	新编	443.76	408.45	378.91	353.78	313.24	268.66	236.22	191.86	162.71
	22 版	481.90	423.65	381.45	349.15	302.34	256.51	225.85	186.46	161.62
	差值	-38.13	-15.19	-2.55	4.63	10.90	12.15	10.37	5.40	1.09
15	新编	475.88	438.02	406.33	379.39	335.91	288.10	253.32	205.75	174.49
	22 版	515.64	453.31	408.16	373.59	323.50	274.47	241.66	199.52	172.94
	差值	-39.75	-15.29	-1.82	5.80	12.41	13.64	11.65	6.23	1.55
20	新编	498.67	459.00	425.79	397.56	352.00	301.90	265.45	215.60	182.84
	22 版	539.57	474.35	427.11	390.93	338.52	287.21	252.88	208.78	180.96
	差值	-40.90	-15.35	-1.31	6.62	13.48	14.69	12.57	6.82	1.88



■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

图 4-4 乐山市中心城区 2 年一遇新旧暴雨强度公式计算结果对比图

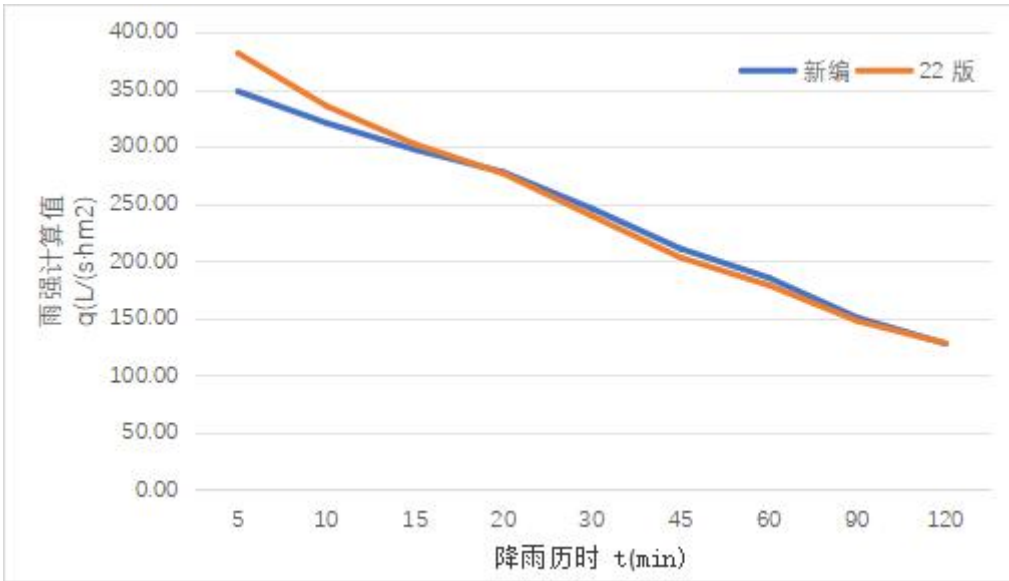


图 4-5 乐山市中心城区 3 年一遇新旧暴雨强度公式计算结果对比图

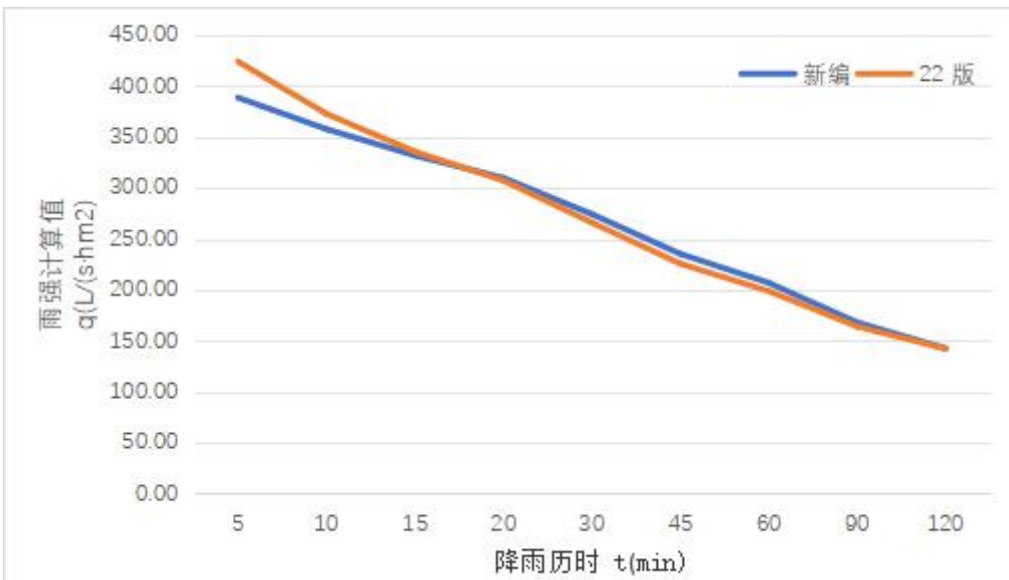


图 4-6 乐山市中心城区 5 年一遇新旧暴雨强度公式计算结果对比图

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

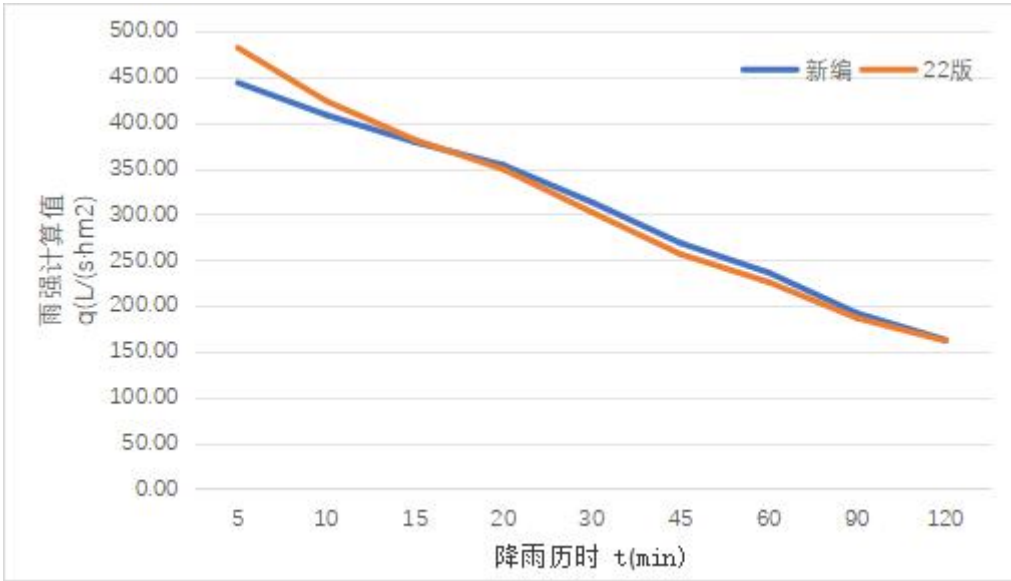


图 4-7 乐山市中心城区 10 年一遇新旧暴雨强度公式计算结果对比图

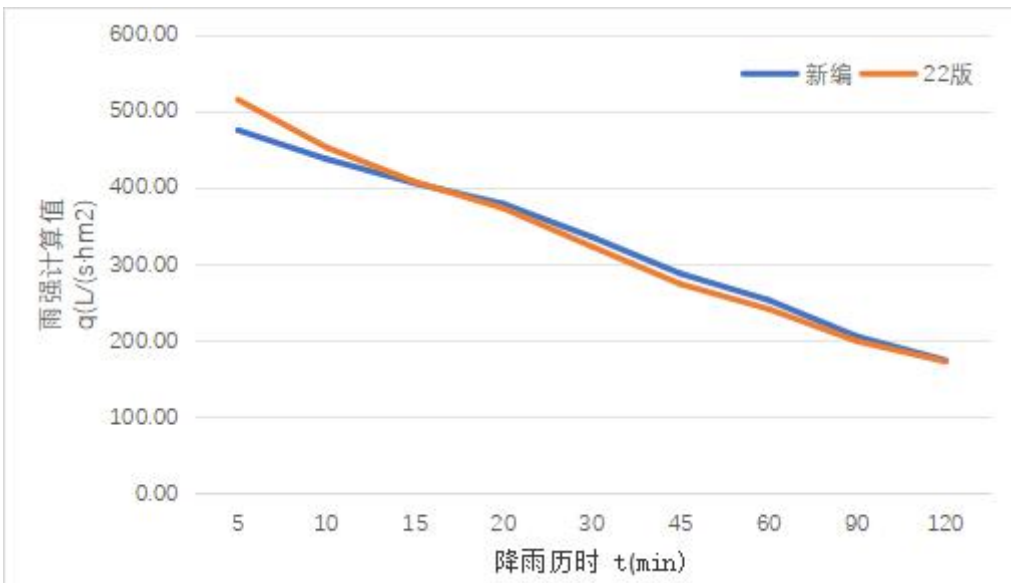


图 4-8 乐山市中心城区 15 年一遇新旧暴雨强度公式计算结果对比图

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

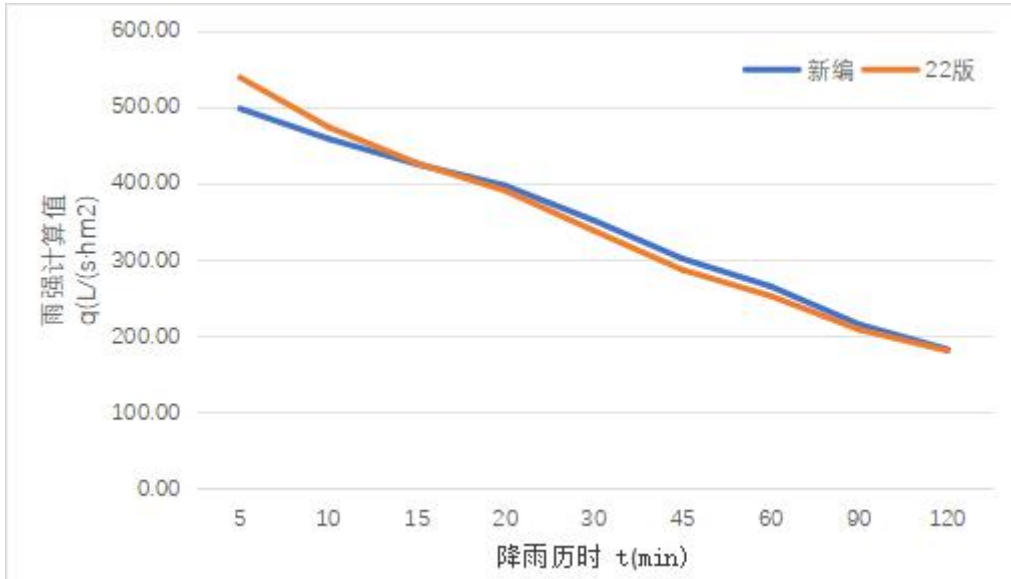


图 4-9 乐山市中心城区 20 年一遇新旧暴雨强度公式计算结果对比图

结合上述结果得出：

在重现期 $P=2\sim 20$ 年时，新编公式 5、10、15min 等 3 个历时的降雨强度计算值全部略小于 22 版公式，20、30、45、60、90、120min 等 6 个历时降雨强度计算值全部略大于 22 版公式。其中 5min 历时差值最大，其他历时新旧公式差距基本可忽略。

因此与 16 版公式相比，在重现期 $P=2\sim 20$ 年时，新公式得出的暴雨强度总体差距不大，针对雨水管渠等排水设施流量计算及设施选型做出如下建议：

中心城区雨水管渠（2~3 年重现期设计）、中心城区重要地区雨水管渠（3~5 年重现期设计）、中心城区地下通道和下沉式广场雨水管渠（10~20 年重现期设计），仅 5min 历时新公式雨强较上版公式差距较大，且最大为下降约 9%，与近两年短历时极端降水频率及雨量均有下降有关。其余历史对设施计算的影响可忽略不计。即在本公式修编前相应重现期按照上版公式建成的排水设施能力满足需求，后续工程设计采用新公式计算，重现期宜取标准上限。

第5章 长历时暴雨强度公式

5.1 曲线拟合

按照现行排水规范对暴雨强度公式编制要求，此次暴雨强度公式编制工作采用年最大值法对降雨资料进行选择，并采用皮尔逊III型频率分布曲线、指数频率分布曲线和耿贝尔频率分布曲线进行频率计算。

(1) 皮尔逊III型分布曲线

基于皮尔逊III型频率分布曲线调整选样数据资料，调整各个参数使曲线拟合最优，且 Cs/Cv 的比值固定为 3.5，各曲线间隔相对保持均匀。年最大值 P-III 法分布长历时频率拟合曲线见图 5-1，重现期-历时-降水强度的关系见表 5-1。

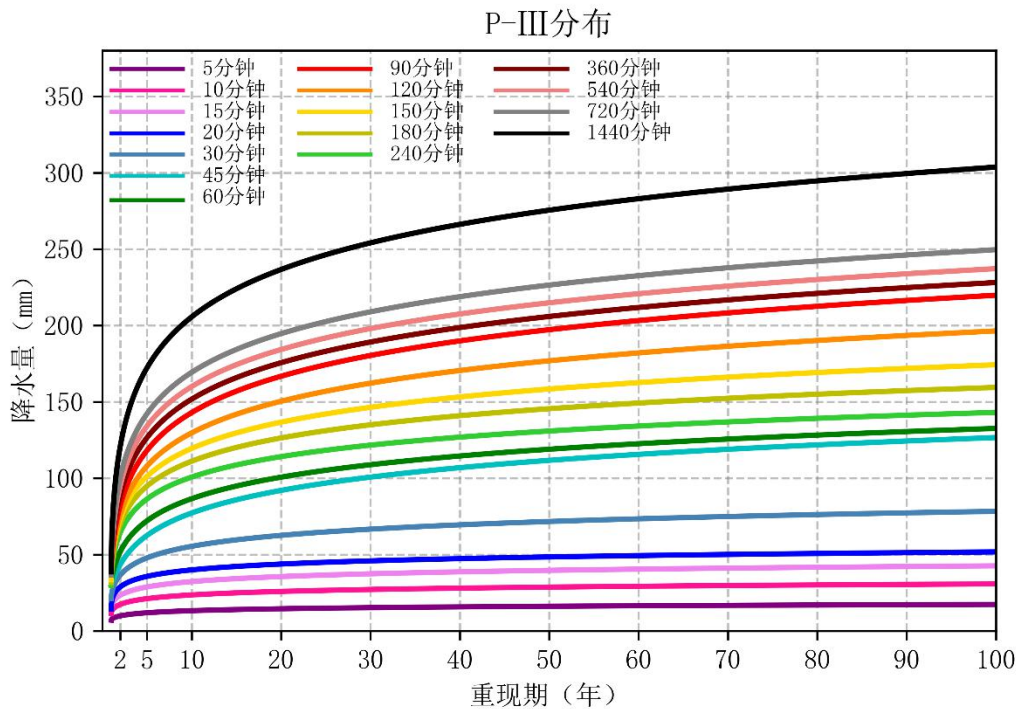


图 5-1 长历时皮尔逊III型分布拟合曲线（合计）

表 5-1 皮尔逊III型分布 P-i-t 表（单位：mm/min）

重现期 \ 历时	1a	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5	1.594	2.006	2.176	2.436	2.701	2.938	3.066	3.227	3.435
10	1.352	1.743	1.911	2.172	2.437	2.680	2.810	2.978	3.192
15	1.253	1.577	1.711	1.915	2.124	2.310	2.410	2.537	2.701

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

20	1.111	1.433	1.571	1.785	2.003	2.202	2.310	2.447	2.624
30	0.907	1.230	1.374	1.607	1.853	2.078	2.205	2.360	2.569
45	0.744	1.033	1.160	1.378	1.607	1.821	1.937	2.087	2.286
60	0.622	0.886	1.007	1.217	1.438	1.645	1.763	1.912	2.105
90	0.462	0.685	0.793	0.990	1.200	1.403	1.514	1.661	1.855
120	0.379	0.561	0.649	0.809	0.980	1.145	1.236	1.356	1.513
150	0.321	0.475	0.550	0.686	0.832	0.972	1.049	1.151	1.285
180	0.284	0.419	0.485	0.605	0.733	0.857	0.924	1.014	1.132
240	0.225	0.337	0.394	0.498	0.611	0.720	0.782	0.862	0.968
360	0.160	0.240	0.281	0.356	0.437	0.515	0.559	0.616	0.692
540	0.113	0.170	0.198	0.251	0.307	0.362	0.394	0.434	0.487
720	0.089	0.134	0.157	0.199	0.244	0.287	0.312	0.344	0.386
1440	0.054	0.081	0.094	0.119	0.146	0.172	0.187	0.206	0.232

(2) 耿贝尔频率分布曲线

根据耿贝尔方法拟合长历时的年最大值, 计算得到的各历时的频率拟合曲线如图 5-2 所示, 重现期-历时-降水强度关系如表 5-2 所示。

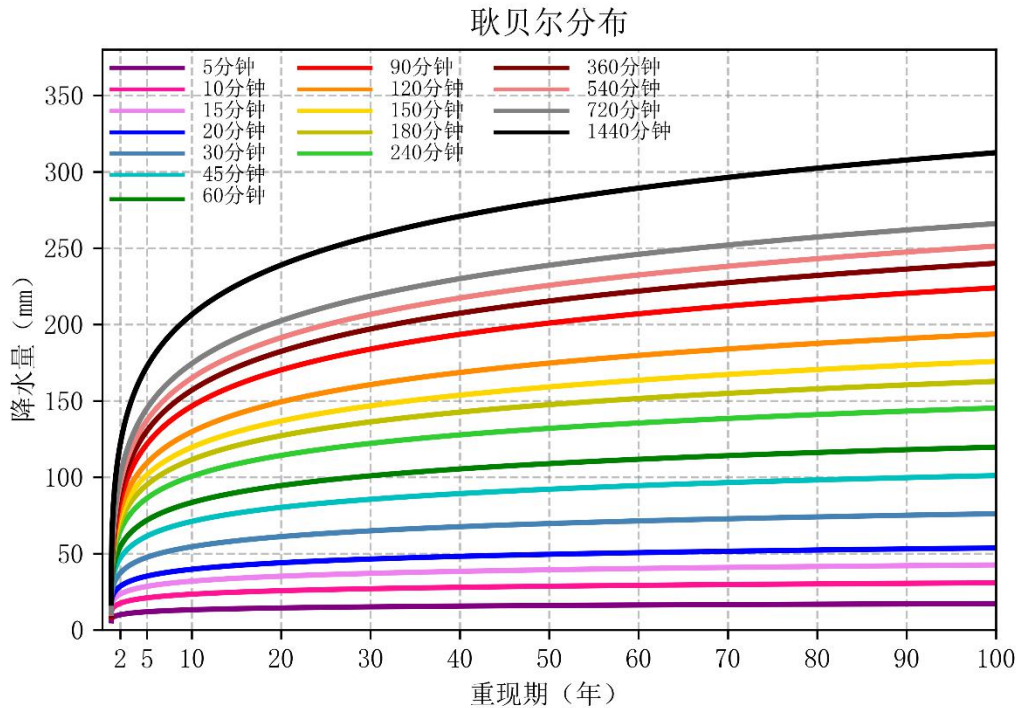


图 5-2 长历时耿贝尔分布拟合曲线 (合计)

表 5-2 耿贝尔分布 P-i-t 表 (单位: mm/min)

重现期 历时	1a	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
5	1.640	1.999	2.202	2.429	2.713	2.985	3.142	3.338	3.602

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

10	1.419	1.750	1.938	2.147	2.409	2.660	2.805	2.986	3.230
15	1.250	1.566	1.744	1.943	2.193	2.432	2.570	2.742	2.974
20	1.120	1.432	1.607	1.803	2.049	2.285	2.420	2.590	2.819
30	0.922	1.243	1.425	1.627	1.881	2.124	2.265	2.440	2.676
45	0.750	1.048	1.216	1.403	1.639	1.864	1.994	2.157	2.376
60	0.641	0.910	1.062	1.232	1.445	1.649	1.767	1.913	2.112
90	0.500	0.722	0.847	0.987	1.162	1.330	1.427	1.548	1.711
120	0.398	0.589	0.697	0.817	0.967	1.112	1.195	1.299	1.439
150	0.331	0.498	0.593	0.698	0.831	0.958	1.031	1.122	1.245
180	0.279	0.437	0.527	0.627	0.752	0.873	0.942	1.029	1.145
240	0.209	0.353	0.435	0.525	0.639	0.748	0.811	0.890	0.996
360	0.149	0.252	0.310	0.375	0.457	0.535	0.580	0.636	0.712
540	0.107	0.178	0.218	0.263	0.320	0.374	0.405	0.444	0.496
720	0.084	0.141	0.173	0.209	0.254	0.297	0.321	0.352	0.394
1440	0.052	0.085	0.103	0.124	0.150	0.175	0.189	0.207	0.231

(3) 指数频率分布曲线

根据指数分布方法拟合长历时的年最大值，计算得到的各历时的频率拟合曲线如图 5-3 所示，重现期-历时-降水强度关系如表 5-3 所示。

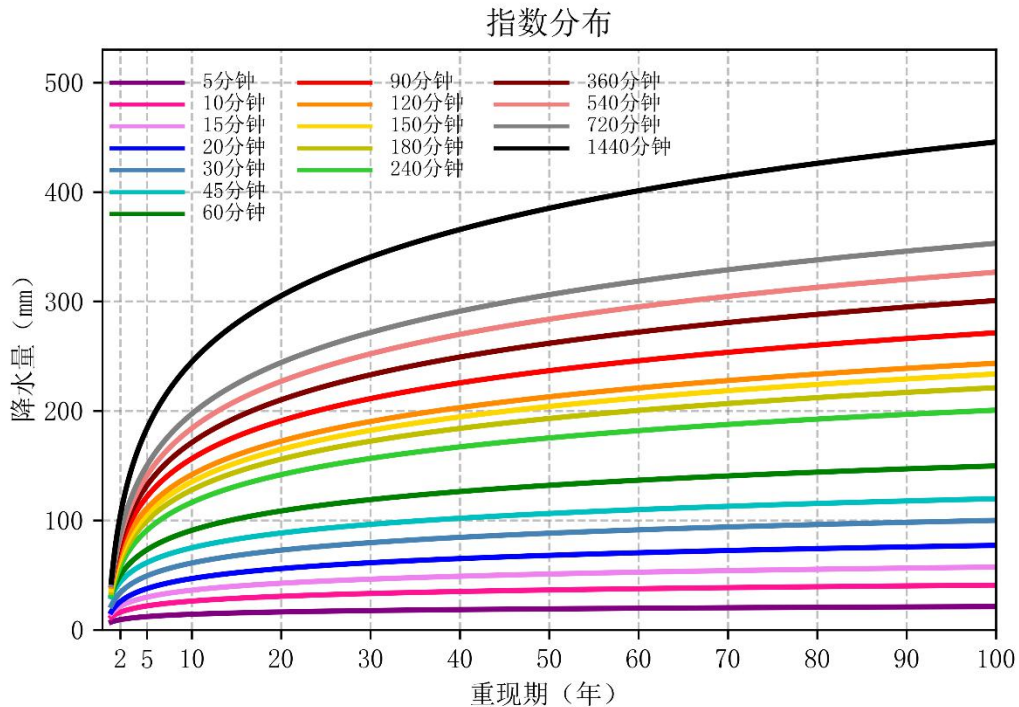


图 5-3 长历时指数分布拟合曲线 (合计)

表 5-3 指数分布 P-i-t 表 (单位: mm/min)

重现期	1a	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
-----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	------

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

历时									
5	1.594	1.936	2.137	2.389	2.732	3.075	3.275	3.528	3.871
10	1.378	1.693	1.877	2.109	2.424	2.739	2.923	3.155	3.470
15	1.213	1.511	1.686	1.905	2.204	2.502	2.676	2.896	3.194
20	1.086	1.378	1.549	1.765	2.057	2.349	2.520	2.736	3.028
30	0.882	1.187	1.366	1.591	1.897	2.203	2.381	2.607	2.912
45	0.712	0.996	1.162	1.371	1.655	1.938	2.104	2.314	2.598
60	0.605	0.863	1.013	1.203	1.460	1.717	1.867	2.057	2.314
90	0.471	0.683	0.807	0.963	1.174	1.386	1.509	1.665	1.877
120	0.375	0.556	0.662	0.795	0.976	1.157	1.263	1.396	1.577
150	0.309	0.469	0.562	0.680	0.840	1.000	1.093	1.211	1.371
180	0.259	0.410	0.498	0.609	0.760	0.910	0.998	1.109	1.260
240	0.194	0.329	0.408	0.507	0.642	0.777	0.856	0.955	1.090
360	0.138	0.235	0.291	0.362	0.459	0.555	0.612	0.683	0.779
540	0.099	0.166	0.205	0.254	0.322	0.389	0.428	0.477	0.544
720	0.078	0.131	0.162	0.201	0.254	0.307	0.338	0.377	0.430
1440	0.047	0.079	0.097	0.121	0.152	0.184	0.202	0.225	0.257

5.2 长历时暴雨强度公式计算

在用理论频率分布曲线对降水样本进行曲线拟合得到 P-i-t 三联表数据后，我们分别用最小二乘法、高斯牛顿法计算暴雨强度总分公式各参数。

5.2.1 最小二乘法

利用皮尔逊分布、耿贝尔分布和指数分布曲线得到 P-i-t 三联表数据，分别用最小二乘法计算长历时暴雨强度总、分公式各参数，并计算各重现期下相应的精度误差。

通过最小二乘法计算得到各分布曲线的长历时暴雨强度总分公式如下

(1) P-III分布：

$$q = \frac{7597.087 \times (1 + 0.633 \times \lg P)}{(t + 44.917)^{0.855}}$$

长历时总公式： (单位： [L/(s·hm²)])

长历时分公式：

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位： [L/(s·hm}^2\text{)]) 或} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n} \quad (\text{单位： mm/min})$$

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

表 5-4 P-III分布-最小二乘法长历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	7063.098/(t+30.828)^0.864	7063.098	42.294	30.828	0.864
3	8552.07/(t+34.645)^0.863	8552.07	51.21	34.645	0.863
5	10394.247/(t+38.826)^0.861	10394.247	62.241	38.826	0.861
10	13877.366/(t+47.367)^0.874	13877.366	83.098	47.367	0.874
20	14383.543/(t+48.933)^0.850	14383.543	86.129	48.933	0.850
30	14642.226/(t+49.477)^0.841	14642.226	87.678	49.477	0.841
40	14817.075/(t+49.814)^0.834	14817.075	88.725	49.814	0.834
50	14949.506/(t+50.060)^0.830	14949.506	89.518	50.060	0.830
60	15056.052/(t+50.253)^0.826	15056.052	90.156	50.253	0.826
70	15145.23/(t+50.411)^0.823	15145.23	90.69	50.411	0.823
80	15221.883/(t+50.547)^0.821	15221.883	91.149	50.547	0.821
90	15289.017/(t+50.664)^0.819	15289.017	91.551	50.664	0.819
100	15348.97/(t+50.768)^0.817	15348.97	91.91	50.768	0.817

(注: " ^ "符号表示指数运算)

(2) 耿贝尔分布:

$$q = \frac{7366.201 \times (1 + 0.711 \times \lg P)}{(t + 45.780)^{0.852}}$$

长历时总公式:

(单位: [L/(hm²·s)])

长历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n}$$

$$i = \frac{A}{(t+b)^n}$$

(单位: [L/(hm²·s)]) 或

(单位: mm/min)

表 5-5 耿贝尔分布-最小二乘法长历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	7686.342/(t+32.853)^0.871	7686.342	46.026	32.853	0.871
3	8795.222/(t+36.023)^0.861	8795.222	52.666	36.023	0.861
5	10050.06/(t+39.369)^0.850	10050.06	60.18	39.369	0.850
10	12990.596/(t+46.449)^0.857	12990.596	77.788	46.449	0.857
20	14226.062/(t+48.560)^0.846	14226.062	85.186	48.560	0.846
30	14874.022/(t+49.293)^0.841	14874.022	89.066	49.293	0.841
40	15316.405/(t+49.748)^0.838	15316.405	91.715	49.748	0.838
50	15652.576/(t+50.078)^0.836	15652.576	93.728	50.078	0.836
60	15923.784/(t+50.338)^0.834	15923.784	95.352	50.338	0.834
70	16151.071/(t+50.552)^0.833	16151.071	96.713	50.552	0.833
80	16346.795/(t+50.734)^0.831	16346.795	97.885	50.734	0.831
90	16518.638/(t+50.893)^0.830	16518.638	98.914	50.893	0.830
100	16671.777/(t+51.033)^0.829	16671.777	99.831	51.033	0.829

(注: " ^ "符号表示指数运算)

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

(3) 指数分布:

$$q = \frac{5953.691 \times (1 + 0.9061 \times \lg P)}{(t + 43.729)^{0.833}}$$

长历时总公式: (单位: [L/(s·hm²)])

长历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n}$$

$$i = \frac{A}{(t+b)^n}$$

(单位: [L/(s·hm²)]) 或 (单位: mm/min)

表 5-6 指数分布-最小二乘法长历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	7194.527/(t+30.828) ^{0.876}	7194.527	43.081	30.828	0.876
3	8430.494/(t+34.668) ^{0.865}	8430.494	50.482	34.668	0.865
5	9959.546/(t+39.013) ^{0.852}	9959.546	59.638	39.013	0.852
10	13118.852/(t+46.942) ^{0.858}	13118.852	78.556	46.942	0.858
20	14649.24/(t+48.761) ^{0.844}	14649.24	87.72	48.761	0.844
30	15383.372/(t+49.392) ^{0.837}	15383.372	92.116	49.392	0.837
40	15871.012/(t+49.784) ^{0.833}	15871.012	95.036	49.784	0.833
50	16236.742/(t+50.069) ^{0.830}	16236.742	97.226	50.069	0.830
60	16529.493/(t+50.293) ^{0.827}	16529.493	98.979	50.293	0.827
70	16773.647/(t+50.477) ^{0.825}	16773.647	100.441	50.477	0.825
80	16982.898/(t+50.634) ^{0.823}	16982.898	101.694	50.634	0.823
90	17166.097/(t+50.771) ^{0.821}	17166.097	102.791	50.771	0.821
100	17329.089/(t+50.892) ^{0.820}	17329.089	103.767	50.892	0.820

(注: " ^ "符号表示指数运算)

5.2.2 高斯牛顿法

基于 P-III 分布、耿贝尔分布以及指数分布曲线得到的 P-i-t 三联表数据, 用高斯牛顿法计算长历时暴雨强度总、分公式各参数, 并计算各重现期下相应的精度误差。

通过高斯牛顿法计算得到各分布曲线的长历时暴雨强度总分公式如下:

(1) P-III 分布:

$$q = \frac{6156.158 \times (1 + 0.728 \times \lg P)}{(t + 47.011)^{0.819}}$$

长历时总公式: (单位: [L/(s·hm²)])

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

长历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n}$$

(单位: [L/(s·hm²)]) 或 (单位: mm/min)

表 5-7 P-III分布-高斯牛顿法长历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	7504.874/(t+47.011) ^{0.819}	7504.874	44.939	47.011	0.819
3	8293.822/(t+47.011) ^{0.819}	8293.822	49.664	47.011	0.819
5	9287.779/(t+47.011) ^{0.819}	9287.779	55.615	47.011	0.819
10	10636.495/(t+47.011) ^{0.819}	10636.495	63.692	47.011	0.819
20	11985.211/(t+47.011) ^{0.819}	11985.211	71.768	47.011	0.819
30	12774.159/(t+47.011) ^{0.819}	12774.159	76.492	47.011	0.819
40	13333.927/(t+47.011) ^{0.819}	13333.927	79.844	47.011	0.819
50	13768.116/(t+47.011) ^{0.819}	13768.116	82.444	47.011	0.819
60	14122.875/(t+47.011) ^{0.819}	14122.875	84.568	47.011	0.819
70	14422.819/(t+47.011) ^{0.819}	14422.819	86.364	47.011	0.819
80	14682.642/(t+47.011) ^{0.819}	14682.642	87.920	47.011	0.819
90	14911.823/(t+47.011) ^{0.819}	14911.823	89.292	47.011	0.819
100	15116.832/(t+47.011) ^{0.819}	15116.832	90.520	47.011	0.819

(注: "^"符号表示指数运算)

(2) 耿贝尔分布:

$$q = \frac{6060.878 \times (1 + 0.752 \lg P)}{(t+45.118)^{0.819}}$$

长历时总公式: (单位: [L/(s·hm²)])

长历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad i = \frac{A}{(t+b)^n}$$

(单位: [L/(s·hm²)]) 或 (单位: mm/min)

表 5-8 耿贝尔分布-高斯牛顿法长历时分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	7432.090/(t+45.118) ^{0.819}	7432.090	44.504	45.118	0.819
3	8234.198/(t+45.118) ^{0.819}	8234.198	49.307	45.118	0.819
5	9244.735/(t+45.118) ^{0.819}	9244.735	55.358	45.118	0.819
10	10615.947/(t+45.118) ^{0.819}	10615.947	63.569	45.118	0.819
20	11987.159/(t+45.118) ^{0.819}	11987.159	71.779	45.118	0.819
30	12789.267/(t+45.118) ^{0.819}	12789.267	76.582	45.118	0.819
40	13358.372/(t+45.118) ^{0.819}	13358.372	79.990	45.118	0.819
50	13799.804/(t+45.118) ^{0.819}	13799.804	82.634	45.118	0.819

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

60	14160.480/(t+45.118)^0.819	14160.480	84.793	45.118	0.819
70	14465.427/(t+45.118)^0.819	14465.427	86.619	45.118	0.819
80	14729.584/(t+45.118)^0.819	14729.584	88.201	45.118	0.819
90	14962.587/(t+45.118)^0.819	14962.587	89.596	45.118	0.819
100	15171.016/(t+45.118)^0.819	15171.016	90.844	45.118	0.819

(注: "^"符号表示指数运算)

(3) 指数分布:

$$q = \frac{5911.882 \times (1 + 0.970 \lg P)}{(t+47.864)^{0.828}}$$

长历时总公式: (单位: [L/(s·hm²)])

长历时分公式:

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n}$$

$$i = \frac{A}{(t+b)^n}$$

(单位: [L/(s·hm²)]) 或 (单位: mm/min)

表 5-9 指数分布-高斯牛顿法分公式参数表

P(a)	公式	167A	A	b	n
2	7638.641/(t+47.864)^0.828	7638.641	45.740	47.864	0.828
3	8648.730/(t+47.864)^0.828	8648.730	51.789	47.864	0.828
5	9921.292/(t+47.864)^0.828	9921.292	59.409	47.864	0.828
10	11648.051/(t+47.864)^0.828	11648.051	69.749	47.864	0.828
20	13374.810/(t+47.864)^0.828	13374.810	80.089	47.864	0.828
30	14384.899/(t+47.864)^0.828	14384.899	86.137	47.864	0.828
40	15101.569/(t+47.864)^0.828	15101.569	90.429	47.864	0.828
50	15657.461/(t+47.864)^0.828	15657.461	93.757	47.864	0.828
60	16111.658/(t+47.864)^0.828	16111.658	96.477	47.864	0.828
70	16495.676/(t+47.864)^0.828	16495.676	98.777	47.864	0.828
80	16828.328/(t+47.864)^0.828	16828.328	100.768	47.864	0.828
90	17121.747/(t+47.864)^0.828	17121.747	102.525	47.864	0.828
100	17384.220/(t+47.864)^0.828	17384.220	104.097	47.864	0.828

(注: "^"符号表示指数运算)

5.3 误差分析

按照各种适线线型推求的 P-i-t 数据表, 采用最小二乘法、高斯-牛顿法进行暴雨强度公式的推求, 求得各公式拟合参数值及误差, 结果见表 5-10~13。

表 5-10 最小二乘法长历时暴雨强度总公式误差一览表

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
------	-------------------	-----------------	-----------------	---------------	----------------	--------------

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

2	0.097	11.947	0.081	9.849	0.079	10.059
3	0.084	9.239	0.056	5.912	0.061	6.711
5	0.045	4.231	0.038	3.569	0.041	3.930
10	0.050	4.098	0.037	2.978	0.037	2.986
20	0.083	6.006	0.057	4.093	0.062	4.263
30	0.106	7.260	0.073	4.907	0.081	5.145
50	0.140	8.860	0.095	5.900	0.106	6.182
100	0.187	10.902	0.125	7.129	0.141	7.397
平均	0.099	7.818	0.070	5.542	0.076	5.834
2-20a 平均	0.072	7.104	0.054	5.280	0.056	5.590

表 5-11 最小二乘法长历时暴雨强度分公式误差一览表

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
2	0.026	3.198	0.018	2.238	0.023	2.936
3	0.024	2.607	0.023	2.432	0.022	2.406
5	0.036	3.359	0.031	2.841	0.035	3.317
10	0.051	4.119	0.037	3.001	0.037	2.990
20	0.072	5.241	0.045	3.214	0.053	3.638
30	0.084	5.711	0.050	3.348	0.061	3.884
50	0.101	6.424	0.057	3.531	0.070	4.078
100	0.126	7.342	0.068	3.880	0.086	4.499
平均	0.065	4.750	0.041	3.061	0.048	3.469
2-20a 平均	0.042	3.705	0.031	2.745	0.034	3.057

表 5-12 高斯牛顿法长历时暴雨强度总公式误差一览表

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
2	0.102	12.592	0.083	10.002	0.094	11.925
3	0.092	10.135	0.067	7.133	0.077	8.559
5	0.079	7.382	0.054	5.046	0.058	5.551
10	0.066	5.338	0.042	3.355	0.042	3.343
20	0.069	4.997	0.044	3.129	0.047	3.254
30	0.082	5.564	0.053	3.577	0.059	3.768
50	0.108	6.839	0.070	4.365	0.078	4.566
100	0.152	8.831	0.097	5.519	0.107	5.621
平均	0.094	7.710	0.064	5.266	0.070	5.823
2-20a 平均	0.081	8.089	0.058	5.733	0.064	6.526

表 5-13 高斯牛顿法长历时暴雨强度分公式误差一览表

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

P(a)	P-III分布 σ (mm)	P-III分布 f(%)	耿贝尔分布 σ (mm)	耿贝尔分布 f(%)	指数分布 σ (mm)	指数分布 f(%)
2	0.102	12.592	0.083	10.002	0.094	11.925
3	0.092	10.135	0.067	7.138	0.077	8.559
5	0.079	7.388	0.054	5.056	0.058	5.551
10	0.066	5.345	0.042	3.369	0.042	3.343
20	0.069	5.002	0.044	3.135	0.047	3.254
30	0.082	5.565	0.053	3.577	0.059	3.768
50	0.108	6.836	0.070	4.358	0.078	4.566
100	0.151	8.825	0.097	5.506	0.107	5.621
平均	0.094	7.711	0.064	5.268	0.070	5.823
2-20a 平均	0.082	8.092	0.058	5.740	0.064	6.526

5.4 推求结果

针对乐山主城区 1981-2023 年共 43 年长历时降水数据，运用 P-III 分布、指数分布和耿贝尔分布曲线拟合，得出拟合误差 P-III 分布、指数分布和耿贝尔分布均满足要求，通过最小二乘法、高斯牛顿法分别对三种分布曲线进行公式参数计算，并根据 i-P-t 三联表数据得到长历时的各公式误差。分别求解了两种计算方法（最小二乘法、高斯牛顿法）下三种曲线拟合方式（P-III 分布、指数分布和耿贝尔分布）的长历时总公式误差和分公式误差。

比较不同计算方法的公式误差，发现总公式及分公式总体误差最小的是均为采用最小二乘法的耿贝尔分布。因此，利用“耿贝尔-最小二乘法”编制的长历时暴雨强度总公式及分公式误差相对其他组合误差综合最优，因此该组合结果是年最大值法的最理想的长历时暴雨强度公式。多数情况下单一重现期分公式比总公式精度高，但是总公式更具实用性和普适性，因此建议正常情况下采用包含重现期的总公式。对于个别情况如城市大型或重要的雨水调蓄池等内涝防治设施，以及较低重现期和较高重现期的雨量计算的情况，可考虑采用单一重现期分公式，更具有指导意义。

长历时暴雨强度总公式：

$$q = \frac{7366.201 \times (1 + 0.711 \times \lg P)}{(t + 45.780)^{0.852}} \quad (\text{单位: } [L/(hm^2 \cdot s)])$$

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

单一重现期长历时暴雨强度分公式：

P(a)	公式
2	$q=7686.342/(t+32.853)^{0.871}$
3	$q=8795.222/(t+36.023)^{0.861}$
5	$q=10050.06/(t+39.369)^{0.850}$
10	$q=12990.596/(t+46.449)^{0.857}$
20	$q=14226.062/(t+48.560)^{0.846}$
30	$q=14874.022/(t+49.293)^{0.841}$
40	$q=15316.405/(t+49.748)^{0.838}$
50	$q=15652.576/(t+50.078)^{0.836}$
60	$q=15923.784/(t+50.338)^{0.834}$
70	$q=16151.071/(t+50.552)^{0.833}$
80	$q=16346.795/(t+50.734)^{0.831}$
90	$q=16518.638/(t+50.893)^{0.830}$
100	$q=16671.777/(t+51.033)^{0.829}$

（单位：[L/(hm²·s)]；"^"符号表示指数运算）

第6章 暴雨雨型设计

6.1 短历时设计暴雨雨型推求

6.1.1 芝加哥雨型法原理

芝加哥雨型推求是基于暴雨强度公式，雨峰的位置由暴雨统计资料确定。

令雨型强度过程的总历时为 t_0 ，峰前的瞬时强度曲线为 I_a ，相应的历时为 t_a ，降雨累计量为 H_a ，峰后的瞬时强度曲线为 I_b ，相应的历时为 t_b ，降雨累计量为 H_b ，总降雨量 $H_T = H_a + H_b$ 。令 $t_0 = 1$ ，强度高峰点的位置为 r （0-1 之间），则

$$t_0 = \frac{t_a}{r} = \frac{t_b}{(1-r)}$$

取暴雨强度公式 $i = \frac{A}{(T+b)^n}$ 型，取雨峰时间坐标为 0 点，则雨峰前后的平均

强度 i_a 与 i_b ：

$$\text{当 } 0 \leq t \leq t_a \text{ 时 } i_a = \frac{A}{\left(\frac{t}{r} + b\right)^n} = \frac{r^n A}{(t + rb)^n}$$

$$\text{当 } 0 \leq t \leq t_b \text{ 时 } i_b = \frac{A}{\left(\frac{t}{1-r} + b\right)^n} = \frac{(1-r)^n A}{[t + b(1-r)]^n}$$

因此得强度高峰前后的瞬时强度 I_a 与 I_b 为：

当 $0 \leq t \leq t_a$ 时：

$$I_a = \frac{d}{dt} \left[\frac{r^n A}{(t + rb)^n} \right] t \Big|_{t=0} = \frac{(1-n)r^n A}{(t + rb)^n} + \frac{nbr^{n+1} A}{(t + rb)^{n+1}}$$

当 $0 \leq t \leq t_b$ 时：

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

$$I_b = \frac{d}{dt} \frac{(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} = \frac{(1-n)(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} + \frac{nb(1-r)^{n+1} A}{[t+(1-r)b]^{n+1}}$$

由上两式导得模式雨型降雨累计量过程线，算式如下：

当 $0 \leq t \leq rT$ 时：

$$H = \int_0^t \frac{d}{dt} \frac{(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} dt = H_T \left[\frac{r}{T} - \left(r - \frac{t}{T}\right) \right] - \frac{t}{r(T+b)}$$

当 $rT \leq t \leq T$ 时：

$$H = rH_T + \int_{rT}^t \frac{d}{dt} \frac{(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} dt = H_T \left[\frac{r}{T} + \left(\frac{t}{T} - r\right) \right] + \frac{t-T}{(1-r)(T+b)}$$

在计算出雨型各时段的累积降雨量之后，各时段的平均降雨量可依次相减求出，进而得到每个时段的平均降雨强度，最终确定出对应重现期及降雨历时的芝加哥雨型。

6.1.2 芝加哥雨型法设计暴雨过程

芝加哥雨型主要适用于短历时（即 180 分钟以内）降雨的分析过程，广泛应用于城市排水系统设计、防洪规划以及暴雨应急管理等领域。然而，在长时间尺度的降雨模拟中，其适用性可能受到限制。

芝加哥雨型推求首先需要确定雨峰位置系数 r ，雨峰位置系数是指从降雨历时开始至降雨峰值出现的时间段长度与降雨历时的比值。计算雨型样本各历时雨峰位置系数的平均值表征该历时的雨峰位置系数，结果显示 30min、60min、90min、120min、150min、180min 历时雨峰位置系数 r 分别为 0.585、0.505、0.452、0.421、0.425、0.366，计算得到综合雨峰位置系数为 0.46。设计暴雨过程分配如下：

(1) 30min 历时

表 6-1 乐山市 30min 历时设计暴雨过程（芝加哥法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6
比例(%)	12.38	15.33	19.75	23.38	16.83	12.32

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024 版）

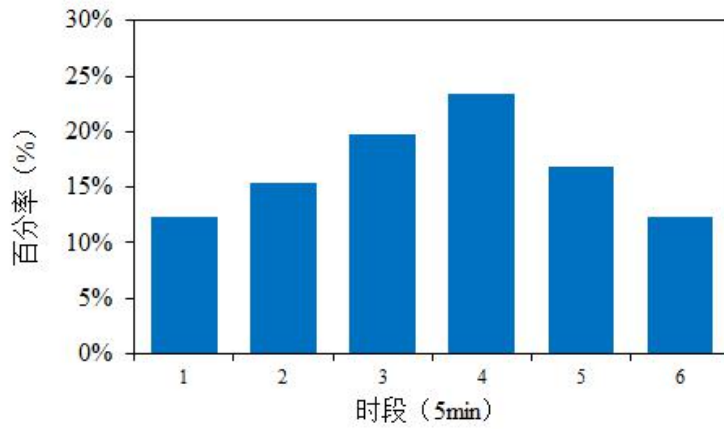


图 6-1 乐山 30min 历时设计暴雨过程示意图（芝加哥法）

(2) 60min 历时

表 6-2 乐山市 60min 历时设计暴雨过程（芝加哥法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
比例(%)	4.78	5.60	6.72	8.31	10.71	14.63	14.18	10.39	8.07	6.53	5.44	4.64

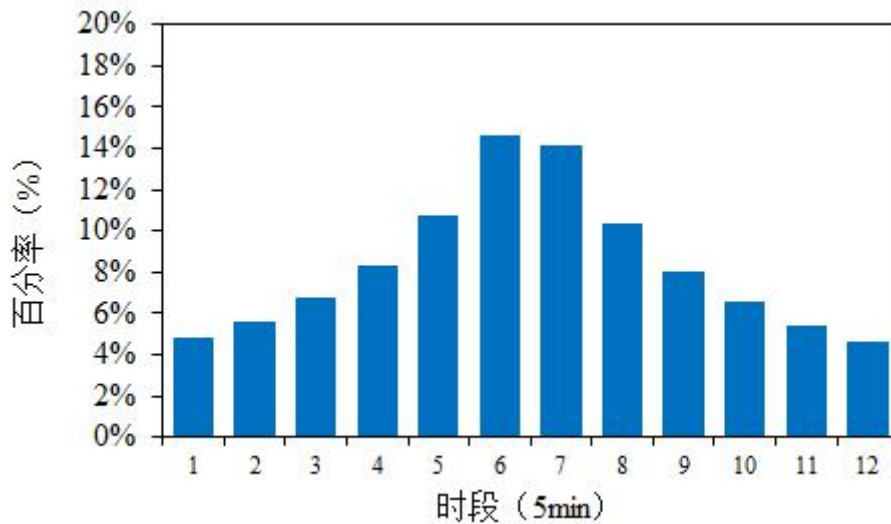


图 6-2 乐山 60min 历时设计暴雨过程示意图（芝加哥法）

(3) 90min 历时

表 6-3 乐山 90min 历时设计暴雨过程（芝加哥法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
比例(%)	2.69	3.06	3.53	4.16	5.03	6.28	8.21	11.47	12.13	9.06	7.13	5.82
t(5min)	13	14	15	16	17	18						
比例(%)	4.88	4.18	3.65	3.22	2.88	2.61						

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

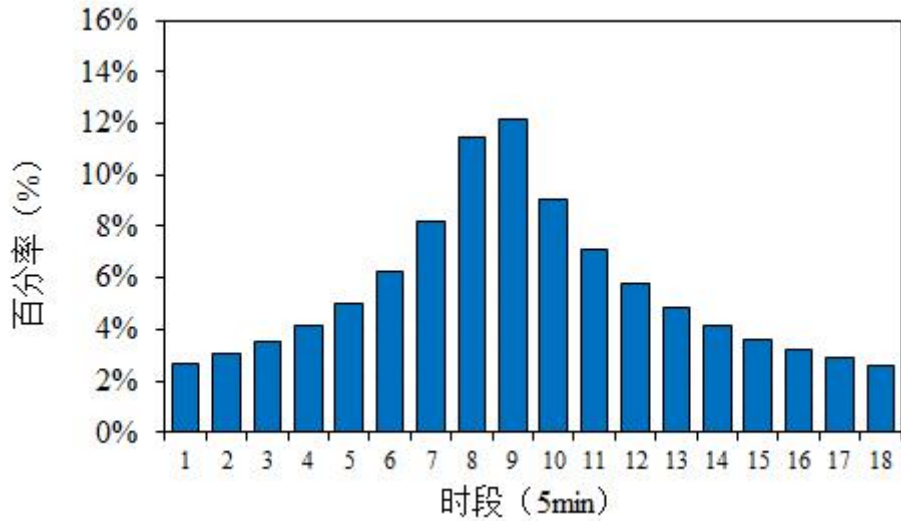


图 6-3 乐山 90min 历时设计暴雨过程示意图（芝加哥法）

(4) 120min 历时

表 6-4 乐山 120min 历时设计暴雨过程（芝加哥法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
比例(%)	1.79	1.99	2.24	2.55	2.96	3.50	4.25	5.36	7.10	10.14	10.70	8.11
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
比例(%)	6.45	5.30	4.47	3.84	3.36	2.98	2.67	2.41	2.20	2.02	1.87	1.73

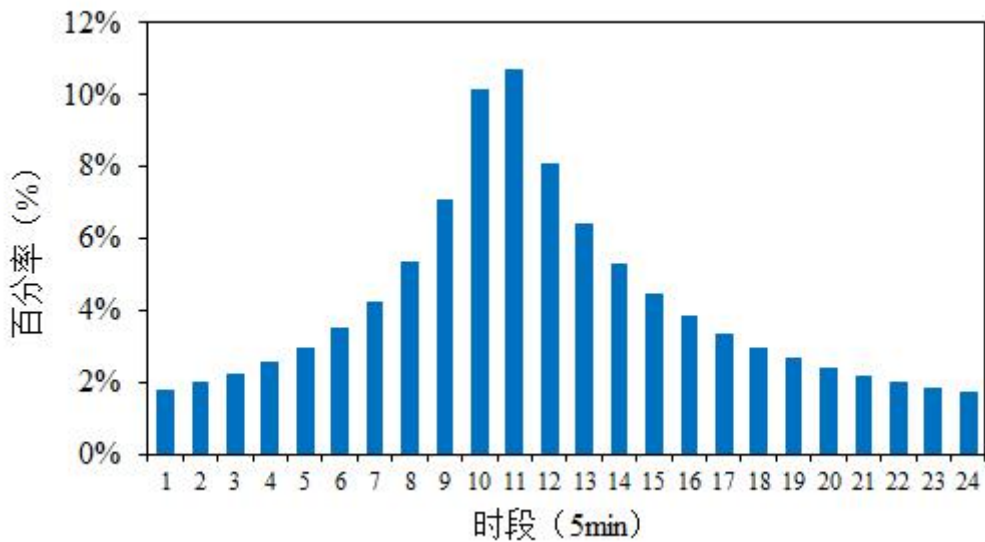


图 6-4 乐山 120min 历时设计暴雨过程示意图（芝加哥法）

(5) 150min 历时

表 6-5 乐山 150min 历时设计暴雨过程（芝加哥法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

比例(%)	1.30	1.41	1.53	1.68	1.86	2.07	2.35	2.69	3.14	3.75	4.61	5.90	7.99	10.43	8.26	6.37	5.12	4.25	3.61	3.13
t(5min)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
比例(%)	2.75	2.45	2.20	2.00	1.83	1.68	1.56	1.45	1.36	1.27										

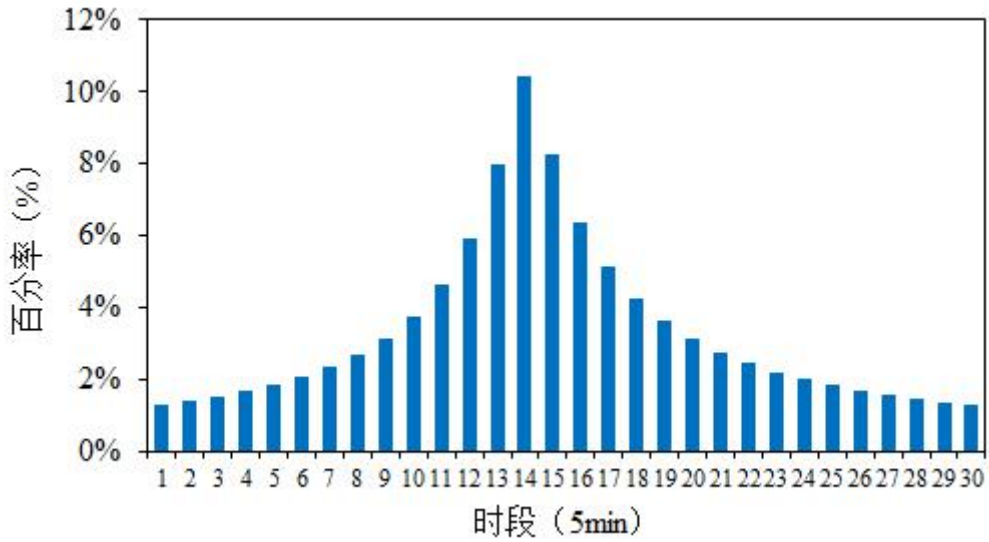


图 6-5 乐山 150min 历时设计暴雨过程示意图（芝加哥法）

(6) 180min 历时

表 6-6 乐山 180min 历时设计暴雨过程（芝加哥法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
比例(%)	1.02	1.11	1.21	1.33	1.48	1.67	1.91	2.22	2.64	3.23	4.12	5.56	8.20	9.49	7.32	5.88	4.87	4.13	3.57	3.13
t(5min)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
比例(%)	2.78	2.50	2.26	2.07	1.90	1.76	1.63	1.53	1.43	1.34	1.27	1.20	1.14	1.08	1.03	0.99				

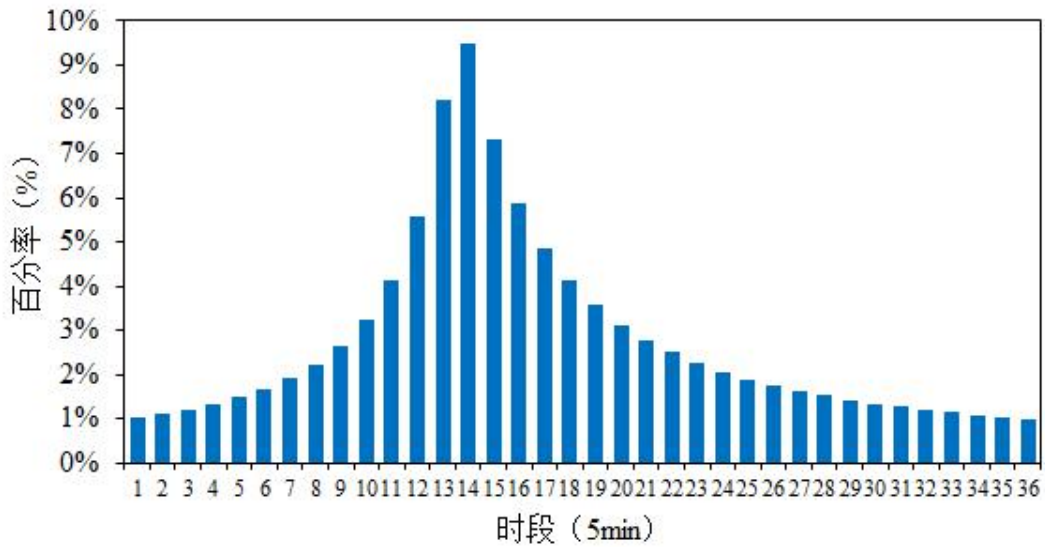


图 6-6 乐山 180min 历时设计暴雨过程示意图（芝加哥法）

6.2 长历时设计暴雨雨型推求

6.2.1 同频率法分析原理

同频率分析法又称“长包短”，特点是在同一重现期水平下，按照出现次数最多的情况确定时间序位，以均值确定各时段雨量的比例。

在我国长历时暴雨雨型应用比较多的是同频率分析法，主要用于洪水、暴雨的过程分配等，因为选择典型降雨多，可以较好地反映各地区的降雨特征，所以我国水利部门多采用这种方法来计算长历时暴雨雨型。

(1) 同频率分析法技术流程

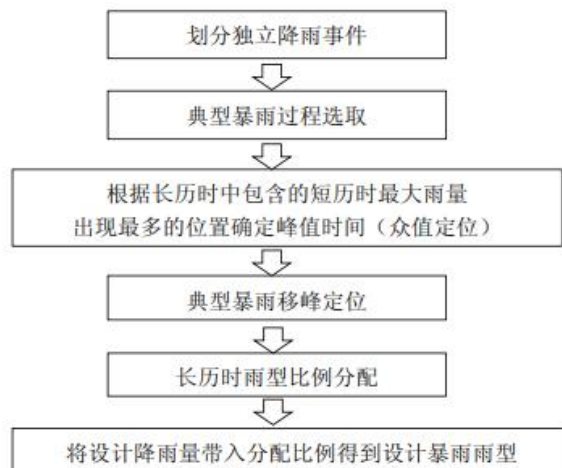


图 6-7 同频率分析法雨型技术流程

（2）同频率分析法推求步骤

例如取 5min 为最小时段推求 15min 的降雨分配，其步骤如下：

A.从年系列雨量资料中摘取出 5min、15min 最大降雨过程，并统计 5min、15min 的时段雨量；

B.将选出的样本系列进行频率分析，计算得出不同重现期下的 5min、15min 时段雨量；

C.将 15min 暴雨过程分为 P1、P2、P3 三段，统计对应重现期下最大 15min 暴雨中最大 5min 暴雨出现频率最多的位置，6 场 15min 时段，最大 5min 发生在 P1 段有 3 场（4、5、6 场）；

D.剩余两部分 P2、P3 按照多场实测典型降雨过程计算均值，以均值确定两者分配比例（H15-H5）；

E.将对应重现期下的 15min 和 5min 降雨代入即得到对应重现期 15min 雨型分配过程（图 6-8）。

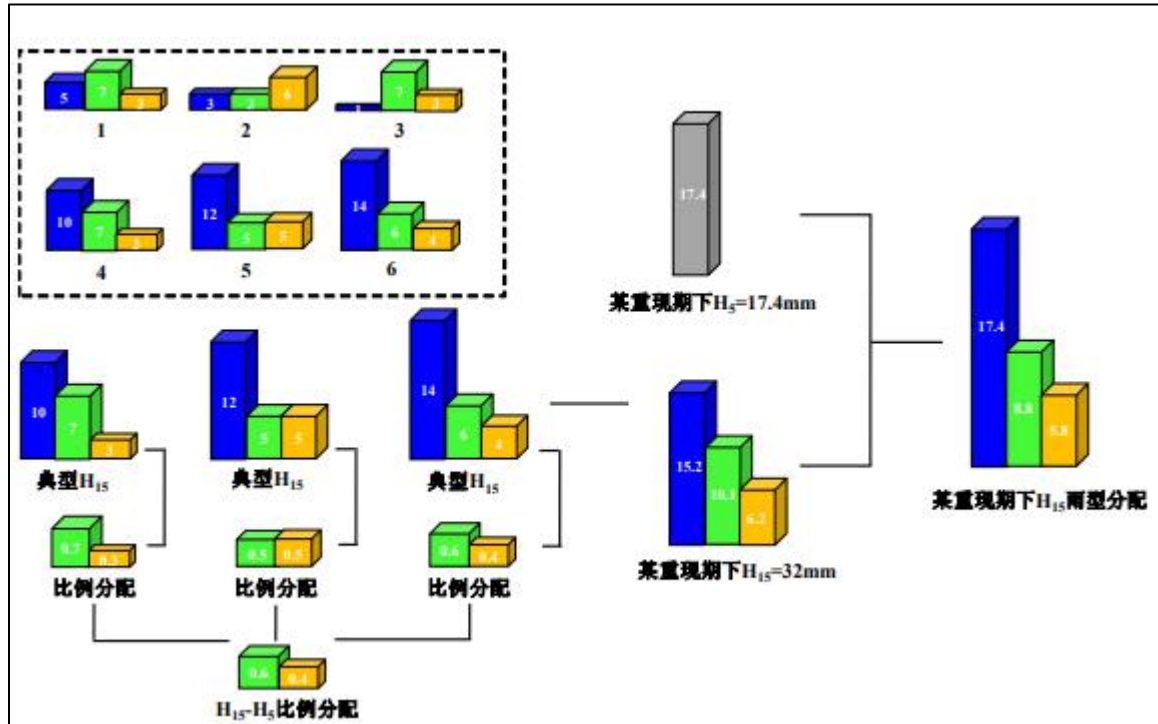


图 6-8 推求某重现期下 H_{15} 雨型分配过程（示意图）

(3) 24 小时设计暴雨雨型推求过程

A. 摘取时段降雨子过程。对降雨资料进行独立降雨场次划分，选取降雨时长接近 1440min、降雨总量较大、降雨强度较大的暴雨过程；摘出每场降雨中不同历时（包含 5min、15min、30min、45min、60min、120min、180min、240min、360min、540min、720min）最大雨量的分钟降雨过程；

B. 确定降雨主峰。根据统计的多场 1440min 降雨，根据“众值定位”确定最大 720min 雨量 H_{720} 发生位置，确定峰值时间；

C. 把选取的多场 720min 典型降雨样本根据主峰对齐叠加求平均，得到 720min 以外的 $H_{1440}-H_{720}$ 雨型分配比例；

D. 同理，按照（2）和（3）的步骤，以“出现次数最多的情况（众值）确定时间序位，以平均情况（均值）确定各时段雨量的比例”的原则，从最大 720min 降雨过程 H_{720} 中找出包含的最大 540min 降雨过程 H_{540} ，根据主峰对齐确定最

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

大 540min 的起始时段,然后通过雨量叠加平均得到最大 540min 以外的 H_{720} - H_{540} 的分配比例;

E.分别求出 540min、360min、240min、180min、120min、60min、45min、30min、15min 对应的 H_{540} - H_{360} 、 H_{360} - H_{240} 、 H_{240} - H_{180} 、 H_{180} - H_{120} 、 H_{120} - H_{60} 、 H_{60} - H_{45} 、 H_{45} - H_{30} 、 H_{30} - H_{15} 、 H_{15} - H_5 的分配比例;

F.最大 5min 雨量值的比例为 100%;根据以上结果,得到最终 1440min 设计暴雨雨型分配结果,将不同重现期下各历时设计雨量值代入雨型分配表中,得到不同重现期下长历时设计暴雨时程分配即长历时设计暴雨雨型。

6.2.2 雨型推求过程和结果

根据乐山站 1981-2023 共 43 年降水资料划分的独立降雨场次,从每场雨中摘出包含的 720、360、240、180、120、90、60、45、30、15、5 分钟等短历时最大雨量的过程。

具体步骤如下:

A.确定降雨主峰。统计的 1440 分钟降水过程较少,采用各降水过程的雨峰位置求平均,确定最大 720 分钟雨量 H_{720} 发生在序列前部,峰值时间在第 139 时段;

B.把选取的多场 1440 分钟典型降水样本根据主峰对齐叠加求平均,得到 H_{1440} - H_{720} 分钟雨型分配比例;

C.同理,按照 (1) - (2) 的步骤,以“峰值位置求平均确定时间序位,以平均情况(均值)确定各时段雨量的比例”的原则,从最大 720 分钟降雨过程 H_{720} 中找出包含的最大 360 分钟降雨过程 H_{360} ,根据主峰对齐确定最大 360 分钟的起始时段,得到 H_{720} - H_{360} 的分配比例;

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

D.分别求出 360 分钟、240 分钟、180 分钟、120 分钟、90 分钟、60 分钟、45 分钟、30 分钟、15 分钟对应的 H360-H240、H240-H180、H180-H120、H120-H90、H90-H60、H60-H45、H45-H30、H30-H15、H15-H5 的分配比例；

E.最大 5 分钟雨量值的比例为 100%；

F.根据以上结果，得到最终的 1440 分钟设计暴雨雨型分配结果（附表 3）。将 5 个不同重现期下各历时设计雨量值代入雨型分配表中，得到 5 分钟时段 2 年、3 年、5 年、10 年、20 年、30 年、50 年、100 年重现期下暴雨时程分配（附表 4）。

(1) 24 小时历时设计暴雨过程（同频率法）

表 6-7 乐山市 24 小时历时设计暴雨过程（同频率法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
比例(%)	0.09	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.03	0.09	0.19	0.25	0.33	0.27	0.28	0.18	0.13	0.11	0.09	0.11	0.10	0.12	0.11	0.12
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
比例(%)	0.09	0.08	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.03	0.03	0.04	0.05	0.08	0.07
t(5min)	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
比例(%)	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.05	0.05	0.04	0.08	0.10	0.16	0.15	0.11	0.09
t(5min)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
比例(%)	0.09	0.29	0.21	0.20	0.18	0.12	0.09	0.10	0.07	0.08	0.06	0.09	0.07	0.06	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.11
t(5min)	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
比例(%)	0.15	0.12	0.22	0.20	0.16	0.17	0.34	0.27	0.31	0.29	0.34	0.26	0.21	0.23	0.30	0.31	0.24	0.22	0.22	0.16	0.28	0.36	0.22	0.36
t(5min)	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
比例(%)	0.28	0.50	0.77	0.69	0.79	0.58	0.52	0.57	0.82	1.00	1.07	1.36	1.79	1.89	2.43	2.95	3.67	4.55	6.56	4.57	3.78	3.37	2.48	2.13
t(5min)	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
比例(%)	1.82	1.51	1.37	1.31	1.22	0.88	0.73	0.75	0.63	0.73	0.67	0.62	0.62	0.53	0.49	0.52	0.54	0.51	0.57	0.63	0.64	0.76	0.66	0.54
t(5min)	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192
比例(%)	0.46	0.24	0.23	0.24	0.27	0.33	0.24	0.20	0.17	0.17	0.17	0.15	0.13	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.12	0.15	0.13	0.10	0.10	0.12
t(5min)	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216
比例(%)	0.11	0.10	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.20	0.22	0.22	0.24	0.15	0.14	0.16	0.15	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08
t(5min)	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
比例(%)	0.07	0.08	0.13	0.18	0.22	0.14	0.07	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13	0.12	0.09	0.11	0.14	0.15	0.19	0.20	0.19	0.17	0.15	0.13	0.15
t(5min)	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264
比例(%)	0.16	0.13	0.10	0.13	0.13	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10	0.12	0.12	0.17	0.15	0.14	0.14	0.12	0.13	0.13	0.11	0.13	0.22	0.26	0.26
t(5min)	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288
比例(%)	0.24	0.24	0.31	0.35	0.23	0.21	0.18	0.19	0.15	0.09	0.10	0.09	0.08	0.10	0.10	0.17	0.14	0.13	0.11	0.11	0.10	0.13	0.08	0.14

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

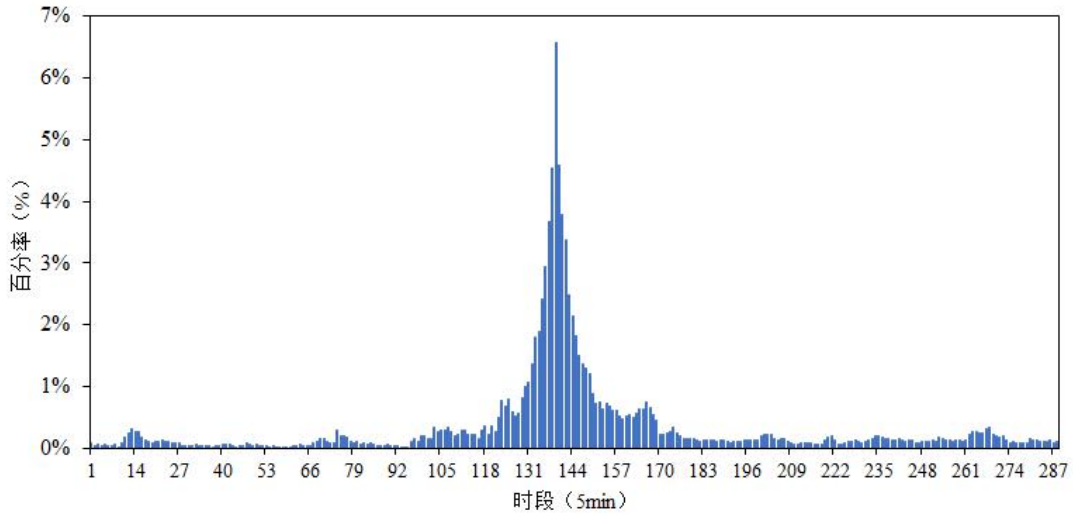


图 6-9 乐山市历时 24 小时设计暴雨过程示意图（同频率法）

(2) 12 小时历时设计暴雨过程（同频率法）

表 6-8 乐山市 12 小时历时设计暴雨过程（同频率法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
比例(%)	0.17	0.14	0.25	0.23	0.19	0.20	0.40	0.31	0.36	0.35	0.39	0.31	0.24	0.27	0.36	0.36	0.28	0.26	0.26	0.19	0.33	0.42	0.26	0.43
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
比例(%)	0.32	0.59	0.90	0.82	0.93	0.69	0.62	0.67	0.97	1.17	1.26	1.60	2.11	2.22	2.85	3.47	4.32	5.35	7.72	5.38	4.44	3.96	2.92	2.51
t(5min)	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
比例(%)	2.14	1.78	1.61	1.54	1.43	1.04	0.85	0.88	0.74	0.86	0.79	0.72	0.74	0.62	0.57	0.61	0.64	0.60	0.67	0.74	0.75	0.89	0.78	0.63
t(5min)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
比例(%)	0.54	0.28	0.26	0.28	0.32	0.39	0.28	0.24	0.20	0.20	0.20	0.18	0.15	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17	0.14	0.17	0.16	0.12	0.12	0.15
t(5min)	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
比例(%)	0.13	0.12	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.24	0.26	0.25	0.28	0.17	0.17	0.19	0.18	0.12	0.11	0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.09
t(5min)	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
比例(%)	0.08	0.09	0.16	0.21	0.25	0.16	0.09	0.09	0.10	0.13	0.14	0.16	0.14	0.10	0.13	0.16	0.17	0.23	0.23	0.23	0.20	0.18	0.16	0.17

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

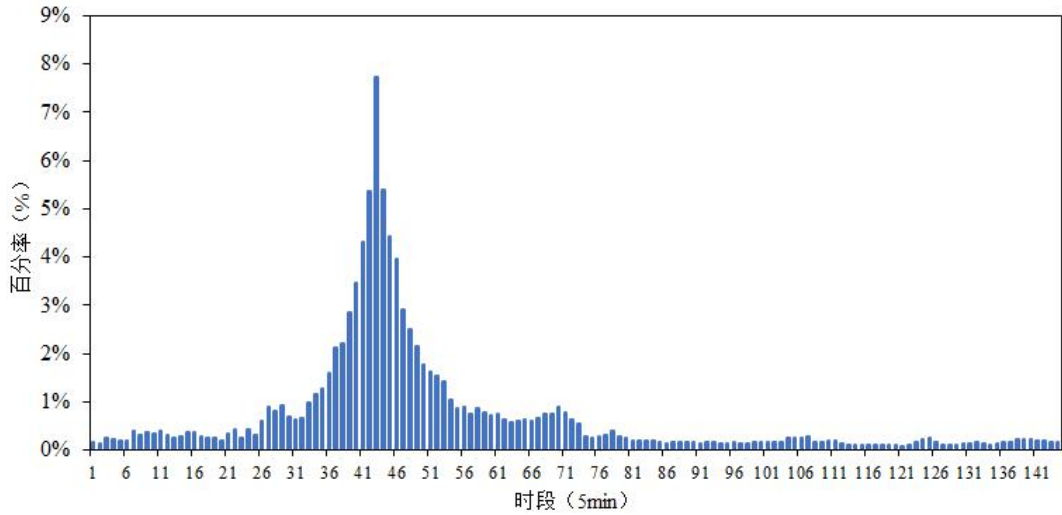
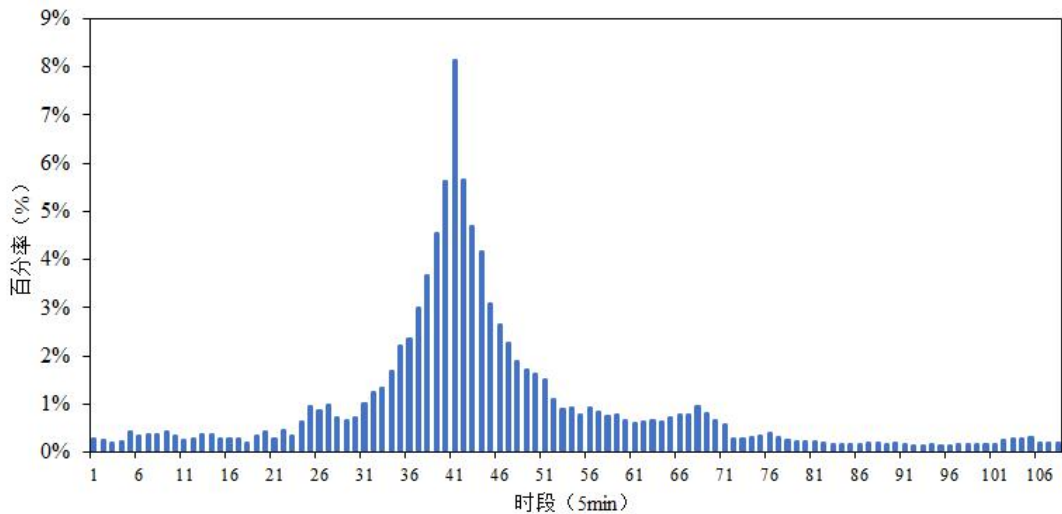


图 6-10 乐山市历时 12 小时设计暴雨过程示意图（同频率法）

(3) 9 小时历时设计暴雨过程（同频率法）

表 6-9 乐山市 9 小时历时设计暴雨过程（同频率法）

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
比例(%)	0.27	0.25	0.20	0.21	0.42	0.33	0.38	0.37	0.42	0.33	0.26	0.29	0.38	0.38	0.29	0.28	0.27	0.20
t(5min)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
比例(%)	0.35	0.44	0.28	0.45	0.34	0.62	0.95	0.86	0.98	0.72	0.65	0.71	1.02	1.24	1.33	1.69	2.22	2.35
t(5min)	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
比例(%)	3.01	3.66	4.55	5.64	8.14	5.67	4.68	4.18	3.08	2.65	2.26	1.88	1.70	1.62	1.51	1.10	0.90	0.93
t(5min)	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
比例(%)	0.78	0.91	0.84	0.76	0.78	0.66	0.60	0.64	0.67	0.63	0.71	0.78	0.79	0.94	0.82	0.67	0.57	0.29
t(5min)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
比例(%)	0.28	0.30	0.33	0.41	0.30	0.25	0.21	0.21	0.21	0.19	0.16	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18	0.15	0.18
t(5min)	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
比例(%)	0.17	0.13	0.12	0.15	0.13	0.13	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.25	0.27	0.27	0.30	0.18	0.18	0.14



■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

图 6-11 乐山市历时 9 小时设计暴雨过程示意图 (同频率法)

(4) 6 小时历时设计暴雨过程 (同频率法)

表 6-10 乐山市 6 小时历时设计暴雨过程 (同频率法)

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
比例(%)	0.45	0.35	0.41	0.39	0.45	0.35	0.28	0.31	0.41	0.41	0.31	0.30
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
比例(%)	0.29	0.22	0.38	0.48	0.30	0.48	0.37	0.67	1.02	0.92	1.05	0.78
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
比例(%)	0.70	0.76	1.10	1.33	1.42	1.82	2.39	2.52	3.23	3.93	4.89	6.06
t(5min)	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
比例(%)	8.74	6.09	5.03	4.49	3.31	2.84	2.43	2.01	1.83	1.74	1.62	1.18
t(5min)	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
比例(%)	0.97	1.00	0.84	0.97	0.90	0.82	0.83	0.71	0.65	0.69	0.72	0.68
t(5min)	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
比例(%)	0.76	0.84	0.85	1.01	0.89	0.72	0.61	0.31	0.30	0.32	0.36	0.41

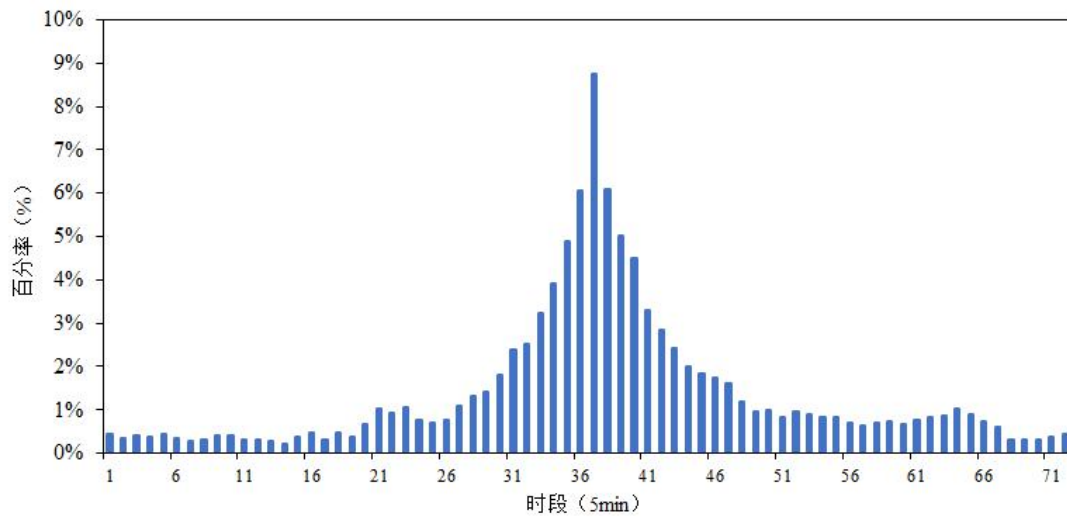


图 6-12 乐山市历时 6 小时设计暴雨过程示意图 (同频率法)

(5) 4 小时历时设计暴雨过程 (同频率法)

表 6-11 乐山市 4 小时历时设计暴雨过程 (同频率法)

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
比例(%)	0.73	1.12	1.01	1.15	0.85	0.76	0.83	1.20	1.45	1.56	1.99	2.61
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
比例(%)	2.76	3.54	4.30	5.36	6.63	9.57	6.67	5.51	4.91	3.62	3.11	2.66
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
比例(%)	2.21	2.00	1.90	1.77	1.29	1.06	1.09	0.92	1.07	0.98	0.90	0.91
t(5min)	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
比例(%)	0.77	0.71	0.75	0.79	0.74	0.83	0.91	0.93	1.11	0.97	0.78	0.71

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

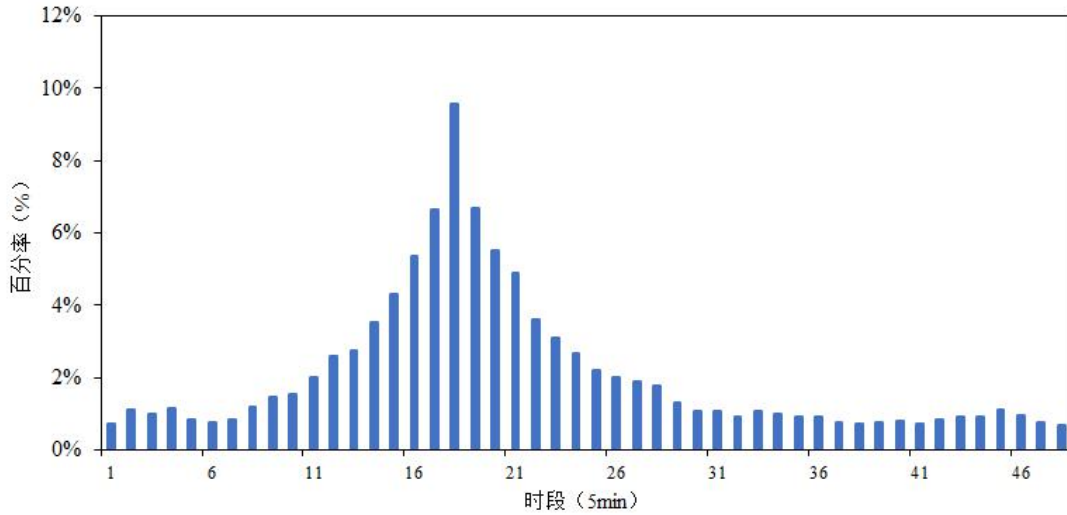


图 6-13 乐山市历时 4 小时设计暴雨过程示意图（同频率法）

6.3 设计暴雨雨型示例

以重现期 5 年为例，结合上述结果可计算得出各时段雨量，示例如下。

(1) 30 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 30 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-12 乐山 30 分钟 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6
雨量(mm)	5.81	7.20	9.27	10.98	7.90	5.79

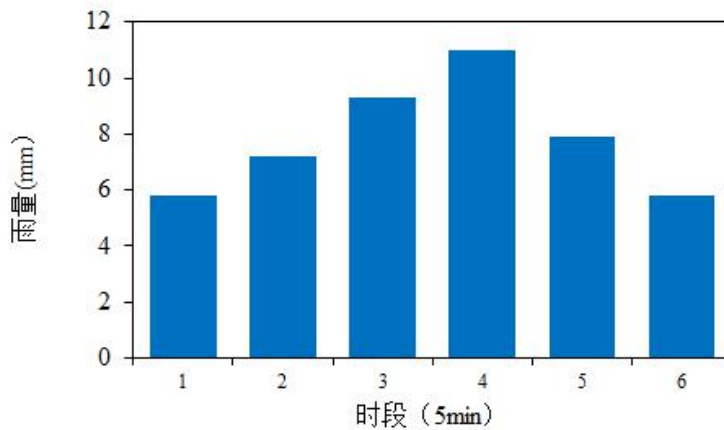


图 6-14 图 乐山 30min5 年重现期设计暴雨雨型图

(2) 60 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 60 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告(2024版)

表 6-13 乐山 60 分钟 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雨量(mm)	3.39	3.98	4.78	5.91	7.62	10.40	10.08	7.39	5.73	4.64	3.87	3.30

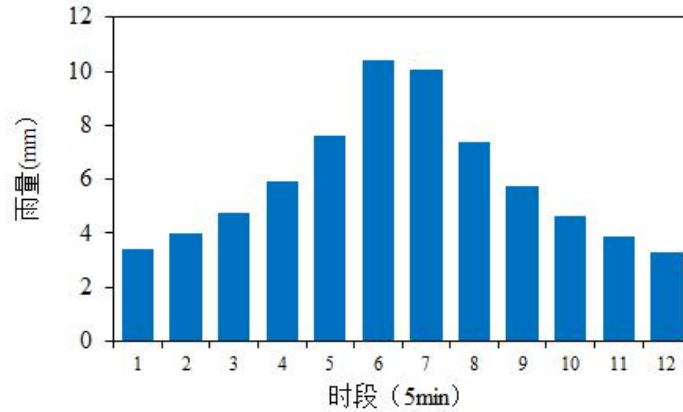


图 6-15 乐山 60min5 年重现期设计暴雨雨型图

(3) 90 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 90 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-14 乐山 90 分钟 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雨量(mm)	2.32	2.64	3.04	3.59	4.33	5.41	7.07	9.88	10.45	7.81	6.14	5.01
t(5min)	13	14	15	16	17	18						
雨量(mm)	4.20	3.60	3.14	2.78	2.48	2.24						

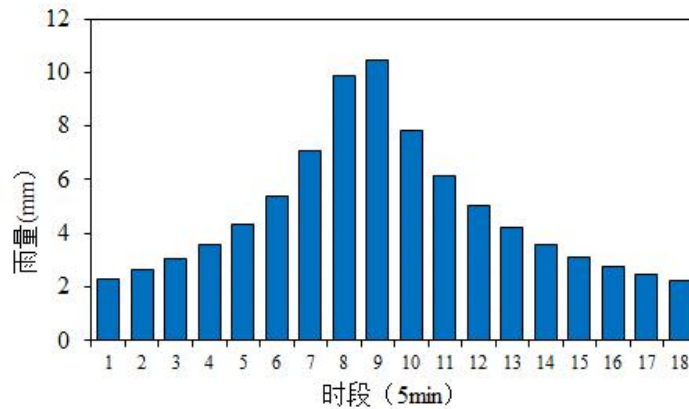


图 6-16 乐山 90min5 年重现期设计暴雨雨型图

(4) 120 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 120 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-15 乐山 120 分钟 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

雨量(mm)	1.71	1.90	2.13	2.43	2.82	3.34	4.06	5.11	6.77	9.67	10.21	7.74
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
雨量(mm)	6.15	5.05	4.26	3.67	3.21	2.84	2.54	2.30	2.10	1.93	1.78	1.65

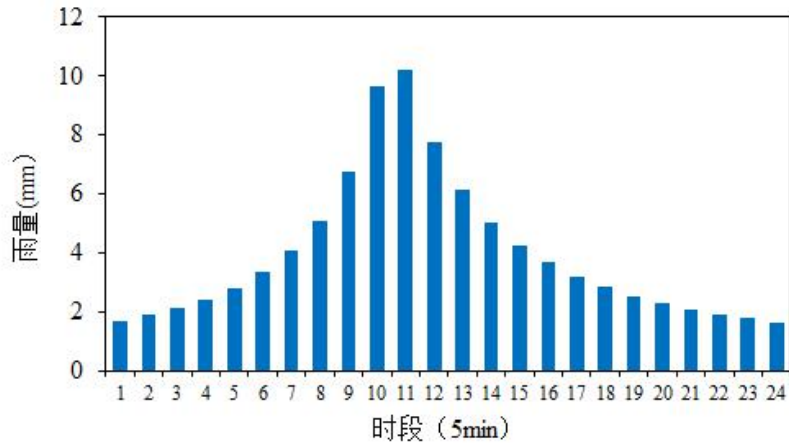


图 6-17 乐山 120min5 年重现期设计暴雨雨型图

(5) 150 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 150 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-16 乐山 150 分钟 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
雨量(mm)	1.33	1.44	1.56	1.71	1.90	2.12	2.40	2.75	3.21	3.83	4.71	6.03	8.16	10.66	8.43	6.50	5.23	4.34	3.69	3.19
t(5min)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
雨量(mm)	2.81	2.50	2.25	2.04	1.87	1.72	1.59	1.48	1.38	1.30										

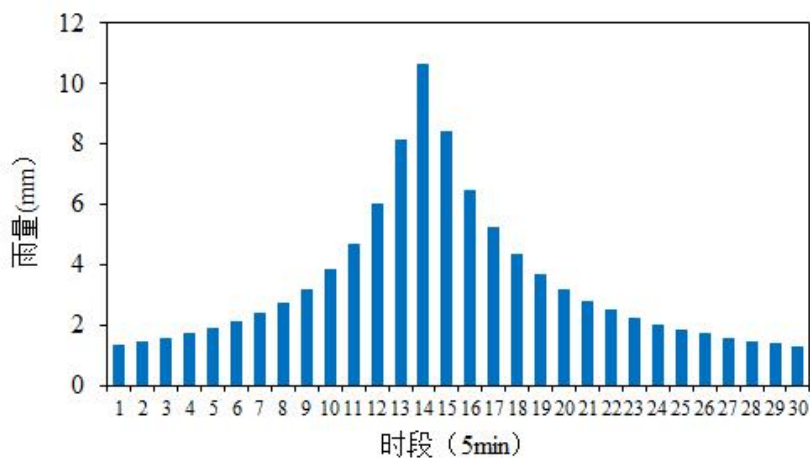


图 6-18 乐山 150min5 年重现期设计暴雨雨型图

(6) 180 分钟 5 年重现期的设计雨型

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

乐山 180 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-17 乐山 180 分钟 (3 小时) 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雨量(mm)	1.11	1.21	1.32	1.46	1.62	1.83	2.09	2.43	2.89	3.54	4.51	6.08
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
雨量(mm)	8.97	10.38	8.00	6.43	5.33	4.52	3.90	3.43	3.05	2.74	2.48	2.26
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
雨量(mm)	2.08	1.92	1.79	1.67	1.56	1.47	1.39	1.31	1.25	1.19	1.13	1.08

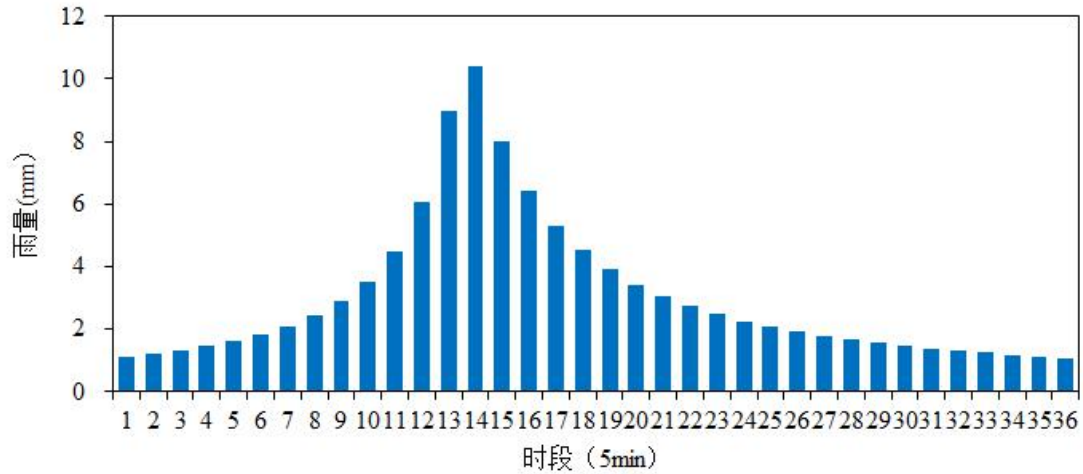


图 6-19 乐山 180min 5 年重现期设计暴雨雨型图

(7) 240 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 240 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-18 乐山 240 分钟 (4 小时) 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雨量(mm)	0.89	1.36	1.23	1.40	1.03	0.93	1.01	1.46	1.76	1.89	2.41	3.17
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
雨量(mm)	3.35	4.30	5.23	6.51	8.05	11.63	8.10	6.69	5.97	4.40	3.78	3.23
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
雨量(mm)	2.68	2.43	2.31	2.15	1.57	1.29	1.33	1.12	1.30	1.20	1.09	1.11
t(5min)	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
雨量(mm)	0.94	0.86	0.92	0.96	0.90	1.01	1.11	1.13	1.34	1.18	0.95	0.81

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

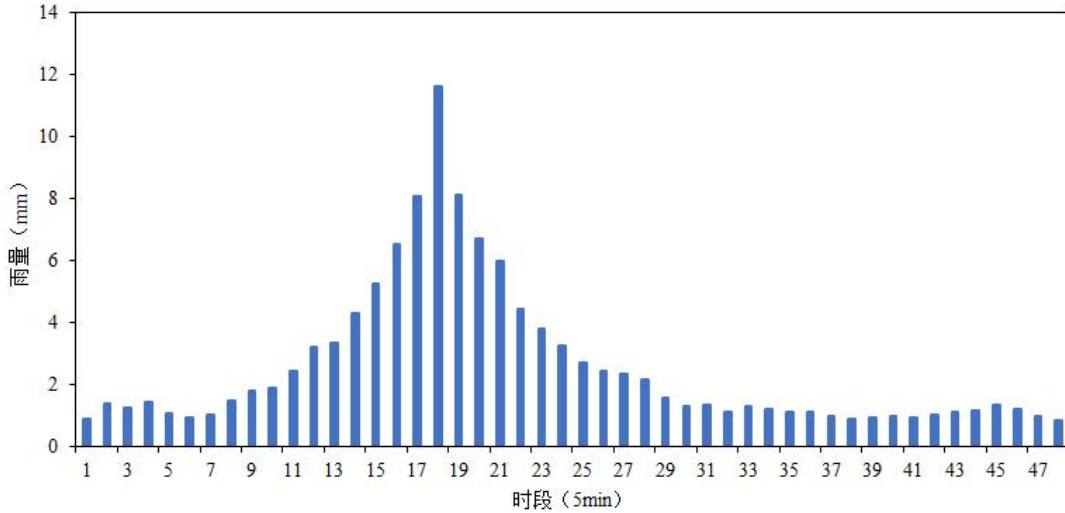


图 6-20 乐山 4 小时 5 年重现期设计暴雨雨型图

(8) 360 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 360 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-19 乐山 360 分钟 (6 小时) 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雨量(mm)	0.60	0.47	0.54	0.52	0.59	0.47	0.37	0.41	0.54	0.54	0.42	0.40
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
雨量(mm)	0.39	0.29	0.50	0.63	0.40	0.64	0.49	0.89	1.36	1.23	1.40	1.03
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
雨量(mm)	0.93	1.01	1.46	1.76	1.89	2.41	3.17	3.35	4.30	5.23	6.51	8.05
t(5min)	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
雨量(mm)	11.63	8.10	6.69	5.97	4.40	3.78	3.23	2.68	2.43	2.31	2.15	1.57
t(5min)	49	50	51	52	53	54	55	56	57.00	58	59	60
雨量(mm)	1.29	1.33	1.12	1.30	1.20	1.09	1.11	0.94	0.86	0.92	0.96	0.90
t(5min)	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
雨量(mm)	1.01	1.11	1.13	1.34	1.18	0.95	0.81	0.42	0.40	0.42	0.47	0.59

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

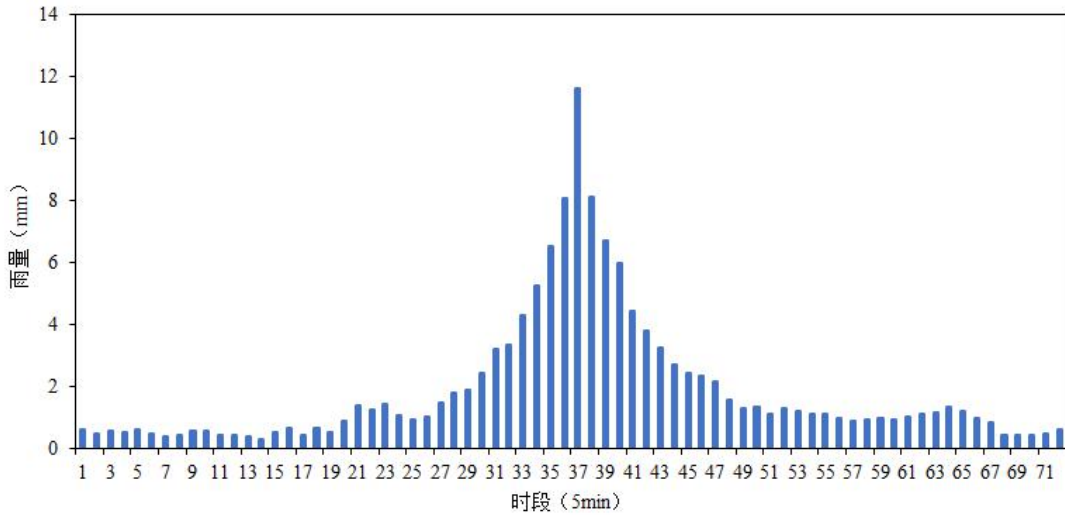


图 6-21 乐山 6 小时 5 年重现期设计暴雨雨型图

(9) 540 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 540 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-20 乐山 540 分钟 (9 小时) 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
雨量(mm)	0.38	0.35	0.28	0.30	0.60	0.47	0.54	0.52	0.59	0.47	0.37	0.41	0.54	0.54	0.42	0.40	0.39	0.29
t(5min)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
雨量(mm)	0.50	0.63	0.40	0.64	0.49	0.89	1.36	1.23	1.40	1.03	0.93	1.01	1.46	1.76	1.89	2.41	3.17	3.35
t(5min)	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
雨量(mm)	4.30	5.23	6.51	8.05	11.63	8.10	6.69	5.97	4.40	3.78	3.23	2.68	2.43	2.31	2.15	1.57	1.29	1.33
t(5min)	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
雨量(mm)	1.12	1.30	1.20	1.09	1.11	0.94	0.86	0.92	0.96	0.90	1.01	1.11	1.13	1.34	1.18	0.95	0.81	0.42
t(5min)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
雨量(mm)	0.40	0.42	0.47	0.59	0.42	0.36	0.30	0.30	0.30	0.27	0.23	0.21	0.23	0.24	0.26	0.26	0.22	0.26
t(5min)	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
雨量(mm)	0.24	0.19	0.17	0.22	0.19	0.19	0.24	0.23	0.24	0.24	0.22	0.36	0.39	0.38	0.42	0.26	0.25	0.28

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

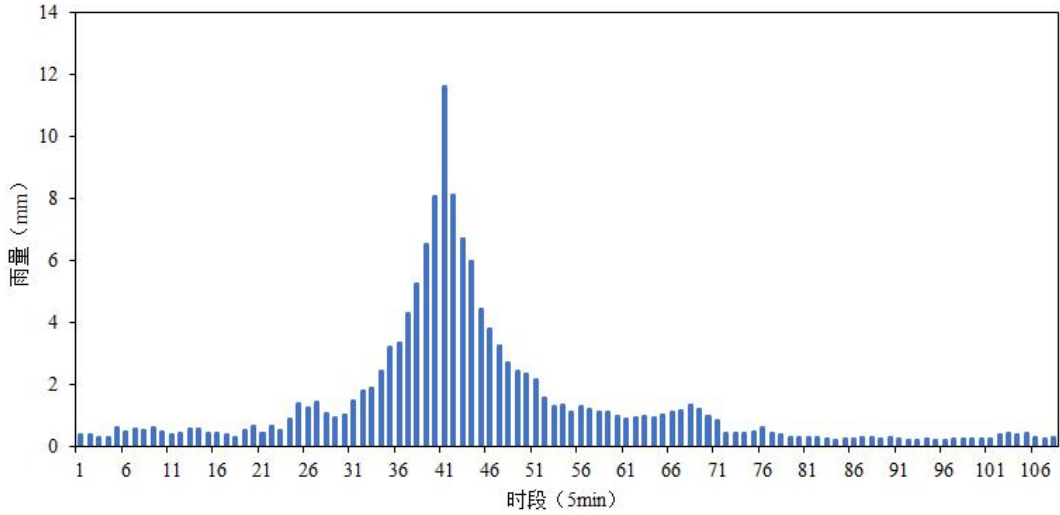


图 6-22 乐山 9 小时 5 年重现期设计暴雨雨型图

(10) 720 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 720 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-21 乐山 720 分钟 (12 小时) 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
雨量(mm)	0.26	0.21	0.38	0.35	0.28	0.30	0.60	0.47	0.54	0.52	0.59	0.47	0.37	0.41	0.54	0.54	0.42	0.40
t(5min)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
雨量(mm)	0.39	0.29	0.50	0.63	0.40	0.64	0.49	0.89	1.36	1.23	1.40	1.03	0.93	1.01	1.46	1.76	1.89	2.41
t(5min)	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
雨量(mm)	3.17	3.35	4.30	5.23	6.51	8.05	11.63	8.10	6.69	5.97	4.40	3.78	3.23	2.68	2.43	2.31	2.15	1.57
t(5min)	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
雨量(mm)	1.29	1.33	1.12	1.30	1.20	1.09	1.11	0.94	0.86	0.92	0.96	0.90	1.01	1.11	1.13	1.34	1.18	0.95
t(5min)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
雨量(mm)	0.81	0.42	0.40	0.42	0.47	0.59	0.42	0.36	0.30	0.30	0.30	0.27	0.23	0.21	0.23	0.24	0.26	0.26
t(5min)	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
雨量(mm)	0.22	0.26	0.24	0.19	0.17	0.22	0.19	0.19	0.24	0.23	0.24	0.24	0.22	0.36	0.39	0.38	0.42	0.26
t(5min)	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
雨量(mm)	0.25	0.28	0.27	0.19	0.17	0.13	0.14	0.15	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.14	0.24	0.32	0.38	0.25
t(5min)	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
雨量(mm)	0.13	0.13	0.16	0.20	0.22	0.24	0.20	0.15	0.19	0.25	0.26	0.34	0.35	0.34	0.29	0.27	0.24	0.26

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

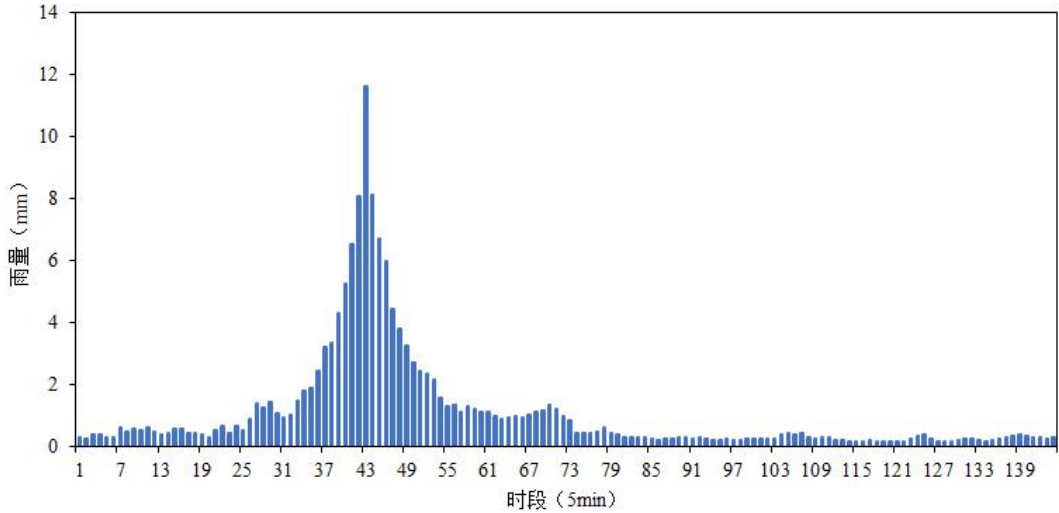


图 6-23 乐山 12 小时 5 年重现期设计暴雨雨型图

(11) 1440 分钟 5 年重现期的设计雨型

乐山 1440 分钟 5 年重现期的设计雨型见表和图。

表 6-22 乐山 1440 分钟 (24 小时) 5 年重现期设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
雨量(mm)	0.15	0.09	0.13	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.06	0.17	0.34	0.45	0.58	0.48	0.49	0.32	0.24	0.20	0.15	0.19	0.18	0.22	0.19	0.22
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
雨量(mm)	0.16	0.14	0.15	0.10	0.09	0.08	0.08	0.12	0.07	0.07	0.08	0.06	0.05	0.07	0.07	0.13	0.11	0.11	0.06	0.05	0.07	0.09	0.14	0.13
t(5min)	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
雨量(mm)	0.08	0.11	0.08	0.07	0.07	0.05	0.06	0.05	0.03	0.02	0.03	0.04	0.08	0.08	0.13	0.08	0.09	0.08	0.14	0.18	0.29	0.27	0.19	0.17
t(5min)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
雨量(mm)	0.16	0.52	0.37	0.35	0.32	0.22	0.16	0.19	0.12	0.15	0.11	0.16	0.13	0.10	0.06	0.06	0.10	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.06	0.20
t(5min)	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
雨量(mm)	0.26	0.21	0.38	0.35	0.28	0.30	0.60	0.47	0.54	0.52	0.59	0.47	0.37	0.41	0.54	0.54	0.42	0.40	0.39	0.29	0.50	0.63	0.40	0.64
t(5min)	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
雨量(mm)	0.49	0.89	1.36	1.23	1.40	1.03	0.93	1.01	1.46	1.76	1.89	2.41	3.17	3.35	4.30	5.23	6.51	8.05	11.63	8.10	6.69	5.97	4.40	3.78
t(5min)	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
雨量(mm)	3.23	2.68	2.43	2.31	2.15	1.57	1.29	1.33	1.12	1.30	1.20	1.09	1.11	0.94	0.86	0.92	0.96	0.90	1.01	1.11	1.13	1.34	1.18	0.95
t(5min)	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192
雨量(mm)	0.81	0.42	0.40	0.42	0.47	0.59	0.42	0.36	0.30	0.30	0.30	0.27	0.23	0.21	0.23	0.24	0.26	0.26	0.22	0.26	0.24	0.19	0.17	0.22
t(5min)	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216
雨量(mm)	0.19	0.19	0.24	0.23	0.24	0.24	0.22	0.36	0.39	0.38	0.42	0.26	0.25	0.28	0.27	0.19	0.17	0.13	0.14	0.15	0.17	0.16	0.15	0.14
t(5min)	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
雨量(mm)	0.13	0.14	0.24	0.32	0.38	0.25	0.13	0.13	0.16	0.20	0.22	0.24	0.20	0.15	0.19	0.25	0.26	0.34	0.35	0.34	0.29	0.27	0.24	0.26
t(5min)	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264
雨量(mm)	0.28	0.23	0.18	0.22	0.23	0.16	0.16	0.18	0.19	0.19	0.22	0.21	0.30	0.27	0.25	0.25	0.21	0.23	0.23	0.20	0.24	0.39	0.46	0.47
t(5min)	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288
雨量(mm)	0.43	0.43	0.54	0.62	0.41	0.37	0.31	0.34	0.26	0.15	0.18	0.16	0.14	0.18	0.17	0.29	0.24	0.24	0.19	0.19	0.19	0.24	0.14	0.22

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

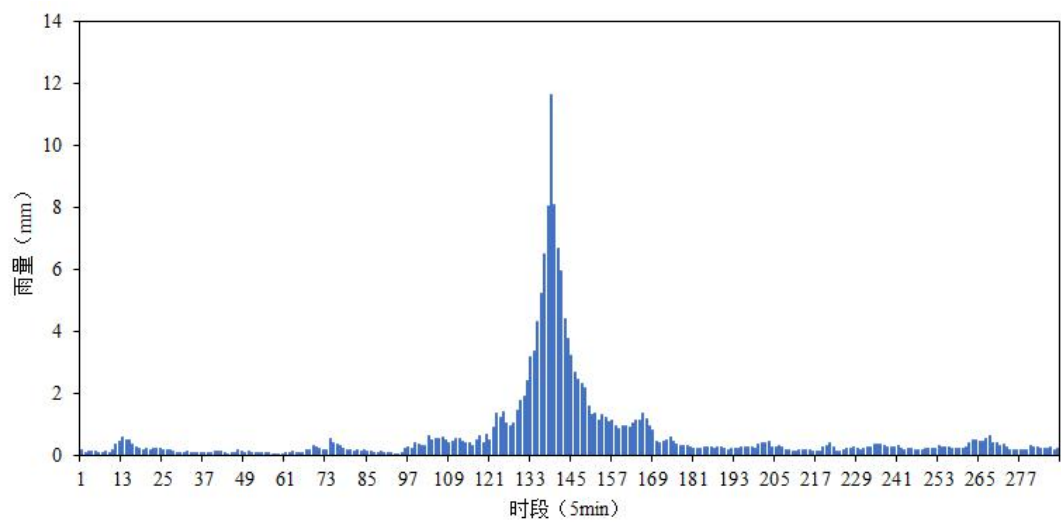


图 6-24 乐山 24 小时 5 年重现期设计暴雨雨型图

第7章 结论和建议

7.1 暴雨强度公式编制结论

本次修订以乐山市乐山气象站1981-2023年共计43年暴雨原始资料为基础，采用年最大值法推求乐山市暴雨强度公式。（1）对年最大值法样本系列分别采用皮尔逊Ⅲ型分布曲线、指数分布曲线和耿贝尔分布曲线进行频率分析，使用最小二乘法及高斯牛顿法求解出长历时暴雨强度分公式和总公式的各项参数，并计算不同重现期对应的精度误差，根据结果均推荐“耿贝尔-最小二乘法”编制的长、短历时暴雨强度公式。

其中总公式分别为：

$$i = \frac{32.867 \times (1 + 0.698 \times \lg P)}{(t + 40.609)^{0.797}} \quad \text{或} \quad q = \frac{5488.774 \times (1 + 0.698 \times \lg P)}{(t + 40.609)^{0.797}}$$

适用范围为：5min ≤ t ≤ 180min（短历时），P=2年～100年。

$$i = \frac{44.109 \times (1 + 0.711 \times \lg P)}{(t + 45.780)^{0.852}} \quad \text{或} \quad q = \frac{7366.201 \times (1 + 0.711 \times \lg P)}{(t + 45.780)^{0.852}}$$

适用范围为：5min ≤ t ≤ 1440min（长历时），P=2年～100年。

式中：

i——暴雨强度计算值（mm/min）；

q——暴雨强度计算值（L/hm²·s）；

t——降雨历时（min）；

P——重现期（a）。

其中：q=167i

分公式详见4.4、5.4章节。

7.2 暴雨雨型设计编制结论

根据乐山市最新的暴雨公式，分别计算了短历时和长历时的暴雨雨型，选用芝加哥雨型作为短历时雨型，选用同频率雨型作为长历时雨型，结果表明：

(1) 推求得到的乐山市各降水历时的芝加哥雨型，基本呈对称单峰形，雨峰位于整场降水过程的前中部，综合雨峰系数为 0.46，其雨峰位置在中偏前段，各历时的降水强度随着重现期的延长而增大。

(2) 根据乐山站 1981-2023 年共 43 年降水资料划分的独立降雨场次，推求得到的不同重现期下的乐山市 1440min 历时的同频率雨型。其形态以单峰型为主，其雨峰位置多在中段或中偏前段。

(3) 短历时暴雨雨型设计过程（芝加哥雨型法）

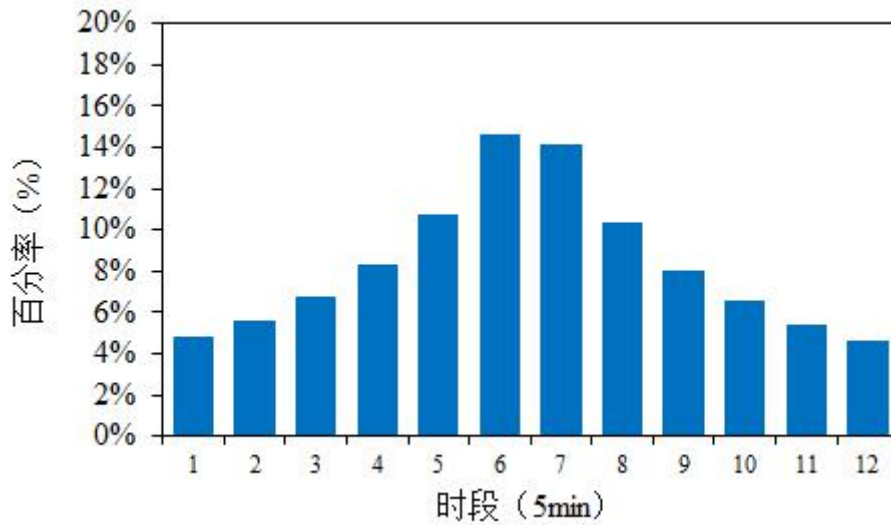


图 7-1 1 小时历时设计暴雨过程

表 7-1 乐山 60 分钟（1 小时）设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
比例(%)	4.78	5.60	6.72	8.31	10.71	14.63	14.18	10.39	8.07	6.53	5.44	4.64

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

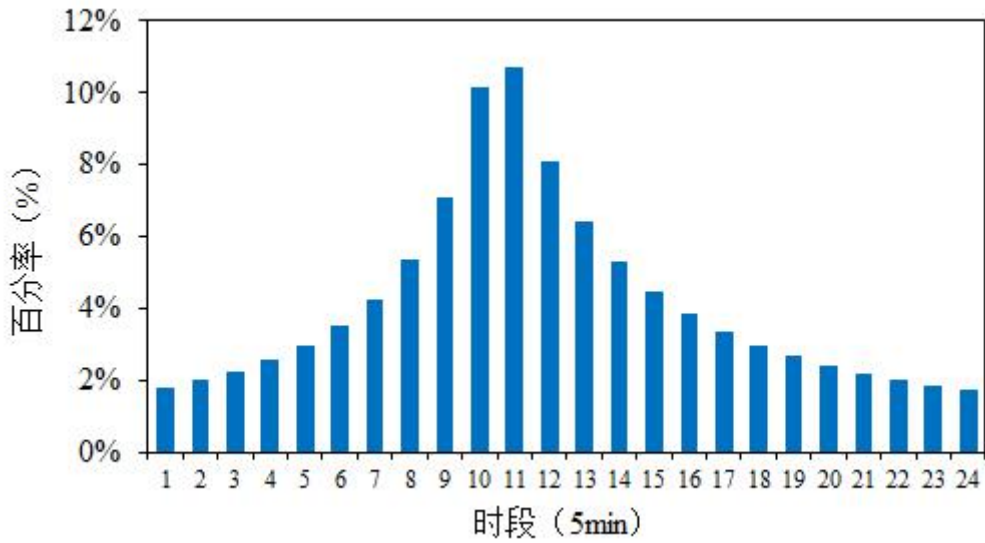


图 7-2 2 小时历时设计暴雨过程

表 7-2 乐山 120 分钟（2 小时）设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
比例 (%)	1.79	1.99	2.24	2.55	2.96	3.50	4.25	5.36	7.10	10.14	10.70	8.11
t(5min)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
比例 (%)	6.45	5.30	4.47	3.84	3.36	2.98	2.67	2.41	2.20	2.02	1.87	1.73

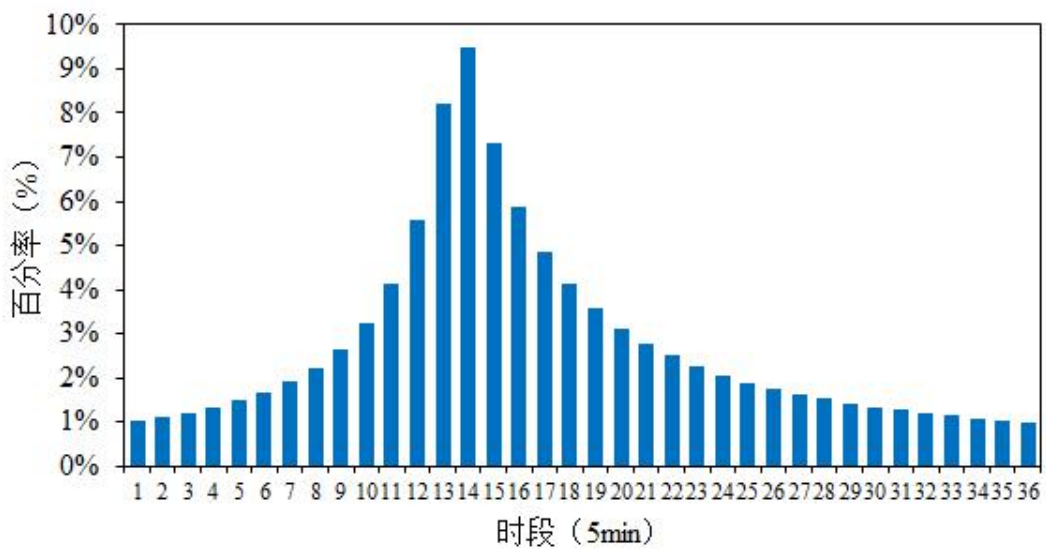


图 7-3 3 小时历时设计暴雨过程

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

表 7-3 乐山 180 分钟（3 小时）设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
比例 (%)	1.02	1.11	1.21	1.33	1.48	1.67	1.91	2.22	2.64	3.23	4.12	5.56	8.20	9.49	7.32	5.88	4.87	4.13	3.57	3.13
t(5min)	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
比例 (%)	2.78	2.50	2.26	2.07	1.90	1.76	1.63	1.53	1.43	1.34	1.27	1.20	1.14	1.08	1.03	0.99				

(4) 长历时暴雨雨型设计过程（同频率雨型法）

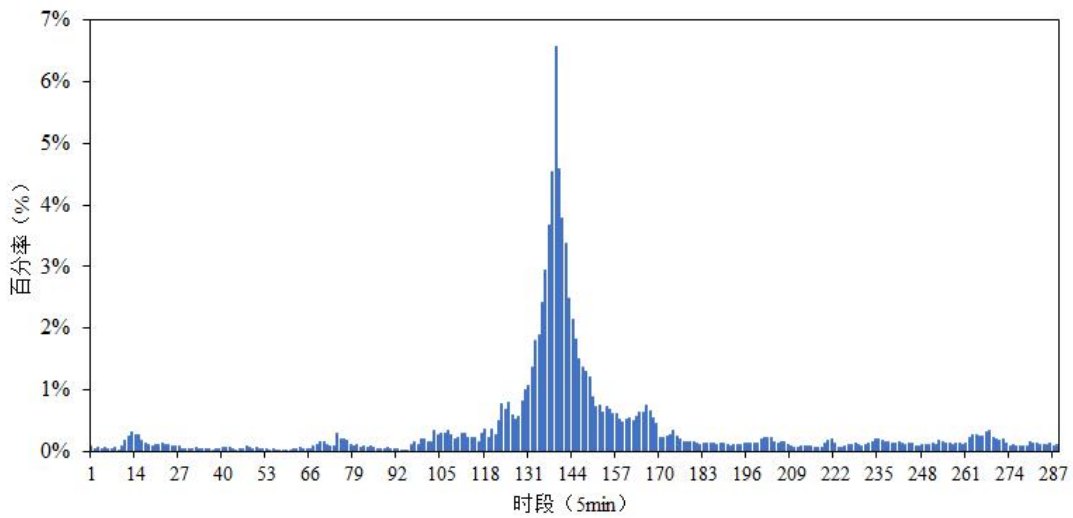


图 7-4 24 小时历时设计暴雨过程

表 7-4 乐山 1440 分钟（24 小时）设计暴雨雨型

t(5min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
比例 (%)	0.09	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.03	0.09	0.19	0.25	0.33	0.27	0.28	0.18	0.13	0.11	0.09	0.11	0.10	0.12	0.11	0.12
t(5min)	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
比例 (%)	0.09	0.08	0.09	0.06	0.05	0.05	0.05	0.07	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.03	0.03	0.04	0.05	0.08	0.07
t(5min)	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
比例 (%)	0.05	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.05	0.05	0.04	0.08	0.10	0.16	0.15	0.11	0.09
t(5min)	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
比例 (%)	0.09	0.29	0.21	0.20	0.18	0.12	0.09	0.10	0.07	0.08	0.06	0.09	0.07	0.06	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.11
t(5min)	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
比例 (%)	0.15	0.12	0.22	0.20	0.16	0.17	0.34	0.27	0.31	0.29	0.34	0.26	0.21	0.23	0.30	0.31	0.24	0.22	0.22	0.16	0.28	0.36	0.22	0.36
t(5min)	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
比例 (%)	0.28	0.50	0.77	0.69	0.79	0.58	0.52	0.57	0.82	1.00	1.07	1.36	1.79	1.89	2.43	2.95	3.67	4.55	6.56	4.57	3.78	3.37	2.48	2.13
t(5min)	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

比例(%)	1.82	1.51	1.37	1.31	1.22	0.88	0.73	0.75	0.63	0.73	0.67	0.62	0.62	0.53	0.49	0.52	0.54	0.51	0.57	0.63	0.64	0.76	0.66	0.54
t(5min)	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192
比例(%)	0.46	0.24	0.23	0.24	0.27	0.33	0.24	0.20	0.17	0.17	0.17	0.15	0.13	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.12	0.15	0.13	0.10	0.10	0.12
t(5min)	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216
比例(%)	0.11	0.10	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.20	0.22	0.22	0.24	0.15	0.14	0.16	0.15	0.10	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08
t(5min)	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
比例(%)	0.07	0.08	0.13	0.18	0.22	0.14	0.07	0.07	0.09	0.11	0.12	0.13	0.12	0.09	0.11	0.14	0.15	0.19	0.20	0.19	0.17	0.15	0.13	0.15
t(5min)	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264
比例(%)	0.16	0.13	0.10	0.13	0.13	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10	0.12	0.12	0.17	0.15	0.14	0.14	0.12	0.13	0.13	0.11	0.13	0.22	0.26	0.26
t(5min)	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288
比例(%)	0.24	0.24	0.31	0.35	0.23	0.21	0.18	0.19	0.15	0.09	0.10	0.09	0.08	0.10	0.10	0.17	0.14	0.13	0.11	0.11	0.10	0.13	0.08	0.14

7.3 建议

由于气候变暖，全球极端天气气候事件频繁发生，尤其是进入 21 世纪以来这种趋势进一步加剧。根据住房和城乡建设部办公厅、国家发展改革委办公厅、中国气象局办公室《关于进一步规范城市内涝防治信息发布等有关工作的通知》（建办城〔2022〕30 号），各地要按照《室外排水设计标准》（GB50014）等有关标准，根据最新降雨统计分析数据变化，及时修订本地暴雨强度公式，原则上应每隔 5 年修订一次；城市规模较大、降雨分布不均的城市，应根据降雨分布情况分区域编制暴雨强度公式。降雨统计分析数据不足、尚未编制暴雨强度公式的城市，应加强数据积累，暂时参考使用气候特征相似的邻近城市暴雨强度公式。乐山市域地貌多样，地形起伏较大，气候较为复杂，各地拥有不同的降水类型，并且短历时降水具有明显的局地特征，降雨量及强度随地域分布的差异较为显著，建议金口河区、峨眉山市、犍为县、井研县、夹江县、沐川县、峨边彝族自治县、马边彝族自治县按照省级要求开展对应的城市（县城）暴雨强度公式编制。此外，由于气候变化具有显著的阶段性特征，降水资料本身存在明显的年代际变化，随着乐山主城区城市化建设进程加快，建议每隔 5 年对乐山主城区暴雨公式进行修编。

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

乐山市目前正在大力推进海绵城市和韧性城市建设，建议乐山主城区在相关雨水管网及附属设施，排水防涝及海绵城市调蓄设施设计中根据需要采用新的长、短历时暴雨强度公式，其中以削减峰值流量等为主要功能的雨水调蓄池等设施计算，建议采用长历时暴雨强度公式。正常情况下采用包含重现期的总公式，对于个别情况如城市大型或重要的雨水泵站、排水泵站等，以及较低重现期和较高重现期的雨量计算的情况，可考虑采用单一重现期分公式，更具有指导意义。相关内涝防治标准应采用本报告得出的重现期与降雨量对应关系进行规范表述。进行城市排水模型模拟等工作，应采用本报告设计雨型。

结合典型极端降雨案例分析，当长短历时暴雨发生时，乐山市水利、住建、交通、气象、城管、公安等相关部门应充分联动，做好应急响应，结合气象预报与河道水位在第一时间开展排水排涝准备，建议按流量大小梯级配备300-2000m³/h内涝应急移动泵及相应运输车辆，应对极端降雨下不同汇水面积积水点，缓解本地降水强度过大导致的城市内涝灾害。进一步推进水利防洪设施以及市政雨水排水口鸭嘴阀、箱涵出口闸门等设施建设，预判将出现河水顶托、倒灌叠加的内涝灾害时，关闭主要排口闸门（阀），减轻河水倒灌进入市政雨水系统现象，同时按照应急预案做好交通管制及人员疏散。

附表

附表 1 乐山市长历时公式暴雨强度查算表（单位：mm/min）

分钟	重现期							
	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
1	2.142	2.350	2.596	2.847	3.135	3.302	3.498	3.771
2	2.088	2.297	2.543	2.797	3.083	3.248	3.441	3.712
3	2.037	2.246	2.492	2.748	3.032	3.195	3.387	3.655
4	1.989	2.198	2.443	2.701	2.983	3.145	3.335	3.600
5	1.943	2.151	2.396	2.656	2.936	3.096	3.284	3.547
6	1.899	2.107	2.351	2.613	2.890	3.049	3.235	3.495
7	1.858	2.065	2.308	2.571	2.846	3.003	3.188	3.445
8	1.818	2.025	2.266	2.530	2.804	2.959	3.142	3.396
9	1.780	1.986	2.226	2.491	2.763	2.916	3.097	3.350
10	1.744	1.949	2.188	2.453	2.723	2.875	3.054	3.304
11	1.709	1.913	2.151	2.417	2.684	2.835	3.012	3.260
12	1.676	1.878	2.115	2.381	2.646	2.796	2.971	3.217
13	1.644	1.845	2.081	2.347	2.610	2.758	2.932	3.175
14	1.614	1.814	2.048	2.313	2.575	2.721	2.894	3.135
15	1.584	1.783	2.016	2.281	2.540	2.686	2.857	3.095
16	1.556	1.753	1.985	2.250	2.507	2.651	2.820	3.057
17	1.529	1.725	1.955	2.219	2.475	2.617	2.785	3.020
18	1.502	1.697	1.926	2.190	2.443	2.585	2.751	2.983
19	1.477	1.671	1.898	2.161	2.412	2.553	2.718	2.948
20	1.453	1.645	1.870	2.133	2.383	2.522	2.685	2.913
21	1.429	1.620	1.844	2.106	2.354	2.491	2.653	2.880
22	1.407	1.596	1.818	2.080	2.325	2.462	2.623	2.847
23	1.385	1.573	1.794	2.054	2.298	2.433	2.593	2.815
24	1.363	1.550	1.770	2.029	2.271	2.405	2.563	2.784
25	1.343	1.528	1.746	2.005	2.245	2.378	2.535	2.754
26	1.323	1.507	1.723	1.981	2.219	2.352	2.507	2.724
27	1.304	1.486	1.701	1.958	2.194	2.326	2.480	2.695
28	1.285	1.466	1.680	1.935	2.170	2.300	2.453	2.667
29	1.267	1.447	1.659	1.913	2.147	2.276	2.427	2.639
30	1.249	1.428	1.639	1.892	2.123	2.251	2.402	2.612
31	1.232	1.410	1.619	1.871	2.101	2.228	2.377	2.586
32	1.216	1.392	1.599	1.850	2.079	2.205	2.353	2.560
33	1.200	1.375	1.581	1.830	2.057	2.182	2.329	2.535
34	1.184	1.358	1.562	1.811	2.036	2.160	2.306	2.510

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

35	1.169	1.341	1.544	1.792	2.015	2.139	2.283	2.486
36	1.154	1.325	1.527	1.773	1.995	2.117	2.261	2.462
37	1.140	1.309	1.510	1.755	1.975	2.097	2.239	2.439
38	1.125	1.294	1.493	1.737	1.956	2.077	2.218	2.416
39	1.112	1.279	1.477	1.720	1.937	2.057	2.197	2.394
40	1.099	1.265	1.461	1.703	1.919	2.037	2.177	2.372
41	1.086	1.251	1.446	1.686	1.901	2.018	2.157	2.350
42	1.073	1.237	1.431	1.670	1.883	2.000	2.137	2.330
43	1.061	1.223	1.416	1.654	1.865	1.982	2.118	2.309
44	1.049	1.210	1.402	1.638	1.848	1.964	2.099	2.289
45	1.037	1.197	1.387	1.622	1.832	1.946	2.081	2.269
46	1.025	1.185	1.374	1.607	1.815	1.929	2.063	2.250
47	1.014	1.172	1.360	1.593	1.799	1.912	2.045	2.231
48	1.003	1.160	1.347	1.578	1.783	1.896	2.027	2.212
49	0.993	1.149	1.334	1.564	1.768	1.879	2.010	2.194
50	0.982	1.137	1.321	1.550	1.753	1.863	1.993	2.176
51	0.972	1.126	1.309	1.536	1.738	1.848	1.977	2.158
52	0.962	1.115	1.297	1.523	1.723	1.832	1.961	2.140
53	0.952	1.104	1.285	1.510	1.709	1.817	1.945	2.123
54	0.943	1.094	1.273	1.497	1.695	1.803	1.929	2.107
55	0.933	1.083	1.261	1.484	1.681	1.788	1.914	2.090
56	0.924	1.073	1.250	1.472	1.667	1.774	1.899	2.074
57	0.915	1.063	1.239	1.460	1.654	1.760	1.884	2.058
58	0.906	1.053	1.228	1.448	1.641	1.746	1.869	2.042
59	0.898	1.044	1.218	1.436	1.628	1.732	1.855	2.027
60	0.889	1.034	1.207	1.424	1.615	1.719	1.841	2.012
61	0.881	1.025	1.197	1.413	1.603	1.706	1.827	1.997
62	0.873	1.016	1.187	1.402	1.590	1.693	1.813	1.982
63	0.865	1.007	1.177	1.391	1.578	1.680	1.800	1.968
64	0.857	0.999	1.167	1.380	1.566	1.668	1.787	1.954
65	0.850	0.990	1.158	1.370	1.555	1.655	1.774	1.940
66	0.842	0.982	1.149	1.359	1.543	1.643	1.761	1.926
67	0.835	0.974	1.139	1.349	1.532	1.631	1.748	1.912
68	0.828	0.966	1.130	1.339	1.521	1.620	1.736	1.899
69	0.820	0.958	1.121	1.329	1.510	1.608	1.724	1.886
70	0.814	0.950	1.113	1.319	1.499	1.597	1.712	1.873
71	0.807	0.942	1.104	1.309	1.488	1.586	1.700	1.860
72	0.800	0.935	1.096	1.300	1.478	1.575	1.688	1.848
73	0.793	0.927	1.087	1.291	1.468	1.564	1.677	1.835
74	0.787	0.920	1.079	1.281	1.458	1.553	1.665	1.823
75	0.781	0.913	1.071	1.272	1.448	1.543	1.654	1.811
76	0.774	0.906	1.063	1.263	1.438	1.532	1.643	1.799
77	0.768	0.899	1.056	1.255	1.428	1.522	1.633	1.788

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

78	0.762	0.892	1.048	1.246	1.418	1.512	1.622	1.776
79	0.756	0.886	1.040	1.237	1.409	1.502	1.611	1.765
80	0.750	0.879	1.033	1.229	1.400	1.492	1.601	1.754
81	0.745	0.872	1.026	1.221	1.391	1.483	1.591	1.743
82	0.739	0.866	1.018	1.213	1.382	1.473	1.581	1.732
83	0.733	0.860	1.011	1.205	1.373	1.464	1.571	1.721
84	0.728	0.854	1.004	1.197	1.364	1.455	1.561	1.711
85	0.723	0.848	0.998	1.189	1.355	1.446	1.551	1.700
86	0.717	0.842	0.991	1.181	1.347	1.437	1.542	1.690
87	0.712	0.836	0.984	1.174	1.338	1.428	1.532	1.680
88	0.707	0.830	0.978	1.166	1.330	1.419	1.523	1.670
89	0.702	0.824	0.971	1.159	1.322	1.410	1.514	1.660
90	0.697	0.819	0.965	1.151	1.314	1.402	1.505	1.650
91	0.692	0.813	0.958	1.144	1.306	1.393	1.496	1.640
92	0.687	0.808	0.952	1.137	1.298	1.385	1.487	1.631
93	0.682	0.802	0.946	1.130	1.290	1.377	1.478	1.621
94	0.678	0.797	0.940	1.123	1.283	1.369	1.470	1.612
95	0.673	0.792	0.934	1.116	1.275	1.361	1.461	1.603
96	0.669	0.786	0.928	1.110	1.268	1.353	1.453	1.594
97	0.664	0.781	0.922	1.103	1.260	1.345	1.445	1.585
98	0.660	0.776	0.917	1.097	1.253	1.337	1.437	1.576
99	0.655	0.771	0.911	1.090	1.246	1.330	1.429	1.567
100	0.651	0.766	0.906	1.084	1.239	1.322	1.421	1.559
101	0.647	0.762	0.900	1.077	1.232	1.315	1.413	1.550
102	0.643	0.757	0.895	1.071	1.225	1.308	1.405	1.542
103	0.638	0.752	0.889	1.065	1.218	1.300	1.397	1.534
104	0.634	0.748	0.884	1.059	1.211	1.293	1.390	1.525
105	0.630	0.743	0.879	1.053	1.204	1.286	1.382	1.517
106	0.626	0.738	0.874	1.047	1.198	1.279	1.375	1.509
107	0.622	0.734	0.869	1.041	1.191	1.272	1.367	1.501
108	0.619	0.730	0.864	1.035	1.185	1.266	1.360	1.494
109	0.615	0.725	0.859	1.030	1.178	1.259	1.353	1.486
110	0.611	0.721	0.854	1.024	1.172	1.252	1.346	1.478
111	0.607	0.717	0.849	1.019	1.166	1.246	1.339	1.471
112	0.604	0.713	0.844	1.013	1.160	1.239	1.332	1.463
113	0.600	0.709	0.839	1.008	1.154	1.233	1.325	1.456
114	0.597	0.704	0.835	1.002	1.148	1.226	1.319	1.448
115	0.593	0.700	0.830	0.997	1.142	1.220	1.312	1.441
116	0.590	0.696	0.826	0.992	1.136	1.214	1.305	1.434
117	0.586	0.693	0.821	0.986	1.130	1.208	1.299	1.427
118	0.583	0.689	0.817	0.981	1.124	1.202	1.292	1.420
119	0.579	0.685	0.812	0.976	1.119	1.196	1.286	1.413
120	0.576	0.681	0.808	0.971	1.113	1.190	1.280	1.406

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

121	0.573	0.677	0.804	0.966	1.108	1.184	1.273	1.399
122	0.570	0.674	0.799	0.961	1.102	1.178	1.267	1.393
123	0.566	0.670	0.795	0.956	1.097	1.172	1.261	1.386
124	0.563	0.666	0.791	0.952	1.091	1.167	1.255	1.379
125	0.560	0.663	0.787	0.947	1.086	1.161	1.249	1.373
126	0.557	0.659	0.783	0.942	1.081	1.155	1.243	1.367
127	0.554	0.656	0.779	0.937	1.075	1.150	1.237	1.360
128	0.551	0.652	0.775	0.933	1.070	1.144	1.231	1.354
129	0.548	0.649	0.771	0.928	1.065	1.139	1.226	1.348
130	0.545	0.646	0.767	0.924	1.060	1.134	1.220	1.341
131	0.542	0.642	0.763	0.919	1.055	1.128	1.214	1.335
132	0.539	0.639	0.760	0.915	1.050	1.123	1.209	1.329
133	0.537	0.636	0.756	0.911	1.045	1.118	1.203	1.323
134	0.534	0.633	0.752	0.906	1.040	1.113	1.198	1.317
135	0.531	0.629	0.749	0.902	1.036	1.108	1.192	1.312
136	0.528	0.626	0.745	0.898	1.031	1.103	1.187	1.306
137	0.526	0.623	0.741	0.893	1.026	1.098	1.182	1.300
138	0.523	0.620	0.738	0.889	1.022	1.093	1.176	1.294
139	0.520	0.617	0.734	0.885	1.017	1.088	1.171	1.289
140	0.518	0.614	0.731	0.881	1.012	1.083	1.166	1.283
141	0.515	0.611	0.727	0.877	1.008	1.078	1.161	1.277
142	0.512	0.608	0.724	0.873	1.003	1.074	1.156	1.272
143	0.510	0.605	0.721	0.869	0.999	1.069	1.151	1.267
144	0.507	0.602	0.717	0.865	0.995	1.064	1.146	1.261
145	0.505	0.599	0.714	0.861	0.990	1.060	1.141	1.256
146	0.502	0.596	0.711	0.858	0.986	1.055	1.136	1.251
147	0.500	0.594	0.707	0.854	0.982	1.050	1.131	1.245
148	0.498	0.591	0.704	0.850	0.977	1.046	1.126	1.240
149	0.495	0.588	0.701	0.846	0.973	1.042	1.122	1.235
150	0.493	0.585	0.698	0.843	0.969	1.037	1.117	1.230
151	0.491	0.583	0.695	0.839	0.965	1.033	1.112	1.225
152	0.488	0.580	0.692	0.835	0.961	1.028	1.108	1.220
153	0.486	0.577	0.689	0.832	0.957	1.024	1.103	1.215
154	0.484	0.575	0.686	0.828	0.953	1.020	1.099	1.210
155	0.481	0.572	0.683	0.825	0.949	1.016	1.094	1.205
156	0.479	0.570	0.680	0.821	0.945	1.012	1.090	1.200
157	0.477	0.567	0.677	0.818	0.941	1.007	1.085	1.195
158	0.475	0.565	0.674	0.814	0.937	1.003	1.081	1.191
159	0.473	0.562	0.671	0.811	0.933	0.999	1.077	1.186
160	0.471	0.560	0.668	0.807	0.930	0.995	1.072	1.181
161	0.468	0.557	0.665	0.804	0.926	0.991	1.068	1.177
162	0.466	0.555	0.662	0.801	0.922	0.987	1.064	1.172
163	0.464	0.552	0.660	0.798	0.918	0.983	1.060	1.168

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

164	0.462	0.550	0.657	0.794	0.915	0.980	1.056	1.163
165	0.460	0.548	0.654	0.791	0.911	0.976	1.052	1.159
166	0.458	0.545	0.651	0.788	0.908	0.972	1.047	1.154
167	0.456	0.543	0.649	0.785	0.904	0.968	1.043	1.150
168	0.454	0.541	0.646	0.782	0.900	0.964	1.039	1.145
169	0.452	0.538	0.643	0.778	0.897	0.961	1.035	1.141
170	0.450	0.536	0.641	0.775	0.893	0.957	1.032	1.137
171	0.448	0.534	0.638	0.772	0.890	0.953	1.028	1.133
172	0.446	0.532	0.636	0.769	0.887	0.950	1.024	1.128
173	0.445	0.529	0.633	0.766	0.883	0.946	1.020	1.124
174	0.443	0.527	0.631	0.763	0.880	0.943	1.016	1.120
175	0.441	0.525	0.628	0.760	0.877	0.939	1.012	1.116
176	0.439	0.523	0.626	0.757	0.873	0.936	1.009	1.112
177	0.437	0.521	0.623	0.755	0.870	0.932	1.005	1.108
178	0.435	0.519	0.621	0.752	0.867	0.929	1.001	1.104
179	0.434	0.517	0.618	0.749	0.864	0.925	0.998	1.100
180	0.432	0.515	0.616	0.746	0.860	0.922	0.994	1.096
360	0.321	0.354	0.396	0.452	0.509	0.542	0.584	0.640
720	0.187	0.206	0.230	0.263	0.296	0.316	0.340	0.373
1440	0.106	0.117	0.131	0.150	0.168	0.179	0.193	0.212

附表2 乐山市短历时公式暴雨强度查算表（单位：mm/min）

分钟	重现期							
	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
1	2.210	2.394	2.620	2.911	3.116	3.275	3.464	3.677
2	2.149	2.333	2.561	2.853	3.062	3.220	3.409	3.621
3	2.091	2.277	2.504	2.797	3.010	3.168	3.356	3.568
4	2.037	2.223	2.450	2.744	2.960	3.118	3.305	3.516
5	1.986	2.172	2.398	2.693	2.912	3.069	3.256	3.466
6	1.938	2.123	2.349	2.644	2.865	3.022	3.208	3.417
7	1.893	2.077	2.303	2.597	2.820	2.977	3.162	3.370
8	1.849	2.034	2.258	2.552	2.777	2.933	3.117	3.324
9	1.808	1.992	2.216	2.509	2.736	2.891	3.074	3.280
10	1.769	1.952	2.175	2.467	2.695	2.850	3.032	3.237
11	1.732	1.914	2.136	2.427	2.656	2.810	2.991	3.196
12	1.696	1.878	2.098	2.389	2.619	2.771	2.952	3.155
13	1.662	1.843	2.062	2.352	2.582	2.734	2.913	3.116
14	1.630	1.809	2.028	2.316	2.547	2.698	2.876	3.077
15	1.599	1.777	1.994	2.281	2.513	2.663	2.840	3.040
16	1.569	1.747	1.962	2.248	2.480	2.629	2.805	3.004
17	1.541	1.717	1.931	2.216	2.447	2.596	2.770	2.969
18	1.513	1.689	1.902	2.184	2.416	2.564	2.737	2.934
19	1.487	1.661	1.873	2.154	2.386	2.532	2.705	2.901
20	1.462	1.635	1.845	2.125	2.356	2.502	2.673	2.868
21	1.437	1.609	1.818	2.097	2.327	2.472	2.643	2.836
22	1.414	1.585	1.792	2.069	2.299	2.443	2.613	2.805
23	1.391	1.561	1.767	2.042	2.272	2.415	2.584	2.775
24	1.369	1.538	1.743	2.016	2.246	2.388	2.555	2.746
25	1.348	1.516	1.720	1.991	2.220	2.361	2.528	2.717
26	1.328	1.494	1.697	1.967	2.195	2.335	2.500	2.689
27	1.308	1.473	1.675	1.943	2.171	2.310	2.474	2.661
28	1.289	1.453	1.653	1.920	2.147	2.285	2.448	2.634
29	1.271	1.434	1.632	1.897	2.124	2.261	2.423	2.608
30	1.253	1.415	1.612	1.875	2.101	2.238	2.399	2.582
31	1.236	1.396	1.592	1.854	2.079	2.215	2.374	2.557
32	1.219	1.379	1.573	1.833	2.057	2.192	2.351	2.532
33	1.203	1.361	1.555	1.813	2.036	2.170	2.328	2.508
34	1.187	1.344	1.537	1.793	2.015	2.149	2.306	2.485
35	1.172	1.328	1.519	1.774	1.995	2.128	2.284	2.462
36	1.157	1.312	1.502	1.755	1.976	2.107	2.262	2.439
37	1.142	1.297	1.485	1.737	1.956	2.087	2.241	2.417
38	1.128	1.282	1.469	1.719	1.938	2.067	2.220	2.395

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

39	1.115	1.267	1.453	1.702	1.919	2.048	2.200	2.374
40	1.101	1.253	1.438	1.685	1.901	2.029	2.180	2.353
41	1.089	1.239	1.422	1.668	1.883	2.011	2.161	2.333
42	1.076	1.225	1.408	1.652	1.866	1.993	2.142	2.313
43	1.064	1.212	1.393	1.636	1.849	1.975	2.123	2.293
44	1.052	1.199	1.379	1.620	1.833	1.958	2.105	2.274
45	1.040	1.186	1.366	1.605	1.816	1.941	2.087	2.255
46	1.029	1.174	1.352	1.590	1.801	1.924	2.070	2.236
47	1.017	1.162	1.339	1.576	1.785	1.908	2.052	2.218
48	1.007	1.150	1.326	1.561	1.770	1.892	2.035	2.200
49	0.996	1.139	1.314	1.547	1.755	1.876	2.019	2.183
50	0.986	1.127	1.301	1.534	1.740	1.861	2.003	2.165
51	0.976	1.116	1.289	1.520	1.726	1.845	1.986	2.148
52	0.966	1.106	1.278	1.507	1.711	1.831	1.971	2.132
53	0.956	1.095	1.266	1.494	1.698	1.816	1.955	2.115
54	0.947	1.085	1.255	1.481	1.684	1.802	1.940	2.099
55	0.937	1.075	1.244	1.469	1.671	1.788	1.925	2.084
56	0.928	1.065	1.233	1.457	1.657	1.774	1.911	2.068
57	0.920	1.055	1.222	1.445	1.644	1.760	1.896	2.053
58	0.911	1.046	1.212	1.433	1.632	1.747	1.882	2.038
59	0.903	1.037	1.202	1.422	1.619	1.734	1.868	2.023
60	0.894	1.028	1.192	1.411	1.607	1.721	1.854	2.008
61	0.886	1.019	1.182	1.399	1.595	1.708	1.841	1.994
62	0.878	1.010	1.172	1.389	1.583	1.696	1.828	1.980
63	0.870	1.001	1.163	1.378	1.572	1.683	1.815	1.966
64	0.863	0.993	1.154	1.367	1.560	1.671	1.802	1.952
65	0.855	0.985	1.145	1.357	1.549	1.659	1.789	1.939
66	0.848	0.977	1.136	1.347	1.538	1.648	1.777	1.926
67	0.841	0.969	1.127	1.337	1.527	1.636	1.765	1.913
68	0.834	0.961	1.118	1.327	1.516	1.625	1.753	1.900
69	0.827	0.953	1.110	1.318	1.506	1.614	1.741	1.887
70	0.820	0.946	1.102	1.308	1.495	1.603	1.729	1.875
71	0.813	0.938	1.093	1.299	1.485	1.592	1.718	1.863
72	0.807	0.931	1.085	1.290	1.475	1.581	1.706	1.850
73	0.800	0.924	1.077	1.281	1.465	1.571	1.695	1.839
74	0.794	0.917	1.070	1.272	1.455	1.560	1.684	1.827
75	0.788	0.910	1.062	1.263	1.446	1.550	1.673	1.815
76	0.782	0.903	1.055	1.255	1.436	1.540	1.663	1.804
77	0.776	0.897	1.047	1.246	1.427	1.530	1.652	1.793
78	0.770	0.890	1.040	1.238	1.418	1.521	1.642	1.782
79	0.764	0.884	1.033	1.230	1.409	1.511	1.631	1.771
80	0.758	0.878	1.026	1.221	1.400	1.502	1.621	1.760
81	0.753	0.871	1.019	1.214	1.391	1.492	1.611	1.749

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

82	0.747	0.865	1.012	1.206	1.382	1.483	1.602	1.739
83	0.742	0.859	1.005	1.198	1.374	1.474	1.592	1.728
84	0.736	0.853	0.999	1.190	1.365	1.465	1.582	1.718
85	0.731	0.847	0.992	1.183	1.357	1.456	1.573	1.708
86	0.726	0.842	0.986	1.176	1.349	1.447	1.564	1.698
87	0.721	0.836	0.979	1.168	1.341	1.439	1.555	1.688
88	0.716	0.830	0.973	1.161	1.333	1.430	1.546	1.679
89	0.711	0.825	0.967	1.154	1.325	1.422	1.537	1.669
90	0.706	0.820	0.961	1.147	1.317	1.414	1.528	1.659
91	0.701	0.814	0.955	1.140	1.310	1.406	1.519	1.650
92	0.696	0.809	0.949	1.133	1.302	1.398	1.511	1.641
93	0.692	0.804	0.943	1.127	1.295	1.390	1.502	1.632
94	0.687	0.799	0.938	1.120	1.287	1.382	1.494	1.623
95	0.683	0.794	0.932	1.114	1.280	1.374	1.485	1.614
96	0.678	0.789	0.926	1.107	1.273	1.367	1.477	1.605
97	0.674	0.784	0.921	1.101	1.266	1.359	1.469	1.597
98	0.670	0.779	0.916	1.095	1.259	1.352	1.461	1.588
99	0.665	0.774	0.910	1.088	1.252	1.344	1.453	1.580
100	0.661	0.770	0.905	1.082	1.245	1.337	1.446	1.571
101	0.657	0.765	0.900	1.076	1.238	1.330	1.438	1.563
102	0.653	0.761	0.895	1.070	1.232	1.323	1.430	1.555
103	0.649	0.756	0.890	1.064	1.225	1.316	1.423	1.547
104	0.645	0.752	0.885	1.059	1.218	1.309	1.415	1.539
105	0.641	0.747	0.880	1.053	1.212	1.302	1.408	1.531
106	0.637	0.743	0.875	1.047	1.206	1.295	1.401	1.523
107	0.634	0.739	0.870	1.042	1.199	1.289	1.394	1.515
108	0.630	0.734	0.865	1.036	1.193	1.282	1.387	1.508
109	0.626	0.730	0.861	1.031	1.187	1.275	1.380	1.500
110	0.622	0.726	0.856	1.025	1.181	1.269	1.373	1.493
111	0.619	0.722	0.851	1.020	1.175	1.263	1.366	1.486
112	0.615	0.718	0.847	1.015	1.169	1.256	1.359	1.478
113	0.612	0.714	0.842	1.010	1.163	1.250	1.353	1.471
114	0.608	0.710	0.838	1.005	1.158	1.244	1.346	1.464
115	0.605	0.707	0.834	0.999	1.152	1.238	1.339	1.457
116	0.601	0.703	0.829	0.994	1.146	1.232	1.333	1.450
117	0.598	0.699	0.825	0.990	1.141	1.226	1.327	1.443
118	0.595	0.695	0.821	0.985	1.135	1.220	1.320	1.436
119	0.592	0.692	0.817	0.980	1.130	1.214	1.314	1.429
120	0.588	0.688	0.813	0.975	1.124	1.208	1.308	1.423
121	0.585	0.684	0.809	0.970	1.119	1.203	1.302	1.416
122	0.582	0.681	0.805	0.966	1.114	1.197	1.296	1.410
123	0.579	0.677	0.801	0.961	1.109	1.192	1.290	1.403
124	0.576	0.674	0.797	0.956	1.103	1.186	1.284	1.397

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

125	0.573	0.671	0.793	0.952	1.098	1.181	1.278	1.390
126	0.570	0.667	0.789	0.947	1.093	1.175	1.272	1.384
127	0.567	0.664	0.785	0.943	1.088	1.170	1.266	1.378
128	0.564	0.661	0.782	0.939	1.083	1.165	1.261	1.372
129	0.561	0.657	0.778	0.934	1.078	1.159	1.255	1.366
130	0.558	0.654	0.774	0.930	1.073	1.154	1.249	1.360
131	0.555	0.651	0.771	0.926	1.069	1.149	1.244	1.354
132	0.553	0.648	0.767	0.922	1.064	1.144	1.238	1.348
133	0.550	0.645	0.763	0.917	1.059	1.139	1.233	1.342
134	0.547	0.642	0.760	0.913	1.055	1.134	1.228	1.336
135	0.544	0.638	0.756	0.909	1.050	1.129	1.222	1.330
136	0.542	0.635	0.753	0.905	1.045	1.124	1.217	1.325
137	0.539	0.632	0.750	0.901	1.041	1.119	1.212	1.319
138	0.537	0.630	0.746	0.897	1.036	1.114	1.207	1.314
139	0.534	0.627	0.743	0.893	1.032	1.110	1.202	1.308
140	0.531	0.624	0.740	0.890	1.028	1.105	1.197	1.303
141	0.529	0.621	0.736	0.886	1.023	1.100	1.192	1.297
142	0.526	0.618	0.733	0.882	1.019	1.096	1.187	1.292
143	0.524	0.615	0.730	0.878	1.015	1.091	1.182	1.287
144	0.522	0.612	0.727	0.874	1.010	1.087	1.177	1.281
145	0.519	0.610	0.724	0.871	1.006	1.082	1.172	1.276
146	0.517	0.607	0.721	0.867	1.002	1.078	1.167	1.271
147	0.514	0.604	0.718	0.864	0.998	1.073	1.163	1.266
148	0.512	0.602	0.715	0.860	0.994	1.069	1.158	1.261
149	0.510	0.599	0.712	0.856	0.990	1.065	1.153	1.256
150	0.507	0.596	0.709	0.853	0.986	1.060	1.149	1.251
151	0.505	0.594	0.706	0.849	0.982	1.056	1.144	1.246
152	0.503	0.591	0.703	0.846	0.978	1.052	1.139	1.241
153	0.501	0.589	0.700	0.843	0.974	1.048	1.135	1.236
154	0.498	0.586	0.697	0.839	0.970	1.044	1.131	1.231
155	0.496	0.584	0.694	0.836	0.966	1.040	1.126	1.226
156	0.494	0.581	0.691	0.833	0.963	1.036	1.122	1.222
157	0.492	0.579	0.689	0.829	0.959	1.032	1.117	1.217
158	0.490	0.576	0.686	0.826	0.955	1.028	1.113	1.212
159	0.488	0.574	0.683	0.823	0.952	1.024	1.109	1.208
160	0.486	0.572	0.680	0.820	0.948	1.020	1.105	1.203
161	0.484	0.569	0.678	0.816	0.944	1.016	1.101	1.199
162	0.481	0.567	0.675	0.813	0.941	1.012	1.096	1.194
163	0.479	0.565	0.672	0.810	0.937	1.008	1.092	1.190
164	0.477	0.562	0.670	0.807	0.934	1.004	1.088	1.185
165	0.475	0.560	0.667	0.804	0.930	1.001	1.084	1.181
166	0.473	0.558	0.665	0.801	0.927	0.997	1.080	1.177
167	0.472	0.556	0.662	0.798	0.923	0.993	1.076	1.172

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

168	0.470	0.554	0.659	0.795	0.920	0.990	1.072	1.168
169	0.468	0.551	0.657	0.792	0.916	0.986	1.068	1.164
170	0.466	0.549	0.655	0.789	0.913	0.982	1.064	1.160
171	0.464	0.547	0.652	0.786	0.910	0.979	1.061	1.155
172	0.462	0.545	0.650	0.783	0.906	0.975	1.057	1.151
173	0.460	0.543	0.647	0.781	0.903	0.972	1.053	1.147
174	0.458	0.541	0.645	0.778	0.900	0.968	1.049	1.143
175	0.457	0.539	0.642	0.775	0.897	0.965	1.046	1.139
176	0.455	0.537	0.640	0.772	0.894	0.961	1.042	1.135
177	0.453	0.535	0.638	0.769	0.890	0.958	1.038	1.131
178	0.451	0.533	0.635	0.767	0.887	0.955	1.035	1.127
179	0.449	0.531	0.633	0.764	0.884	0.951	1.031	1.123
180	0.448	0.529	0.631	0.761	0.881	0.948	1.027	1.119

附表 3 乐山市同频率雨型各段（逐 5 分钟）百分率分配

序号	H1440- H720	H720- H540	H540- H360	H360- H240	H240- H180	H180-H9 0	H90-H45	H45-H30	H30-H15	H15-H5	H5
1	0.58%										
2	0.34%										
3	0.47%										
4	0.37%										
5	0.41%										
6	0.33%										
7	0.32%										
8	0.37%										
9	0.21%										
10	0.62%										
11	1.28%										
12	1.70%										
13	2.20%										
14	1.82%										
15	1.85%										
16	1.22%										
17	0.90%										
18	0.76%										
19	0.57%										
20	0.73%										
21	0.68%										

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

22	0.83%										
23	0.71%										
24	0.82%										
25	0.62%										
26	0.54%										
27	0.57%										
28	0.37%										
29	0.33%										
30	0.31%										
31	0.31%										
32	0.44%										
33	0.28%										
34	0.27%										
35	0.31%										
36	0.24%										
37	0.19%										
38	0.27%										
39	0.26%										
40	0.49%										
41	0.40%										
42	0.42%										
43	0.23%										
44	0.18%										
45	0.27%										

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

46	0.35%										
47	0.53%										
48	0.48%										
49	0.31%										
50	0.40%										
51	0.30%										
52	0.25%										
53	0.28%										
54	0.20%										
55	0.23%										
56	0.20%										
57	0.12%										
58	0.09%										
59	0.11%										
60	0.16%										
61	0.29%										
62	0.31%										
63	0.48%										
64	0.32%										
65	0.34%										
66	0.29%										
67	0.55%										
68	0.69%										
69	1.08%										

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

70	1.01%										
71	0.73%										
72	0.63%										
73	0.59%										
74	1.95%										
75	1.40%										
76	1.32%										
77	1.20%										
78	0.82%										
79	0.62%										
80	0.70%										
81	0.44%										
82	0.55%										
83	0.43%										
84	0.59%										
85	0.48%										
86	0.37%										
87	0.24%										
88	0.24%										
89	0.39%										
90	0.26%										
91	0.26%										
92	0.23%										
93	0.17%										

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

94	0.17%										
95	0.21%										
96	0.75%										
97		3.36%									
98		2.73%									
99			3.88%								
100			3.57%								
101			2.87%								
102			3.02%								
103				5.23%							
104				4.09%							
105				4.71%							
106				4.53%							
107				5.15%							
108				4.04%							
109				3.20%							
110				3.59%							
111				4.68%							
112				4.72%							
113				3.63%							
114				3.46%							
115				3.35%							
116				2.49%							
117				4.37%							

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

118				5.49%							
119				3.44%							
120				5.57%							
121				4.24%							
122					7.36%						
123						5.84%					
124						5.29%					
125						6.00%					
126						4.44%					
127						3.99%					
128						4.35%					
129						6.26%					
130						7.59%					
131							7.49%				
132							9.55%				
133							12.56%				
134							13.26%				
135								30.88%			
136								37.53%			
137									33.95%		
138										49.84%	
139											100.00%
140										50.16%	
141									34.92%		
142									31.13%		
143								31.59%			
144							14.97%				

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

145							12.78%				
146							10.61%				
147							9.61%				
148							9.15%				
149						9.26%					
150						6.74%					
151						5.53%					
152						5.71%					
153						4.80%					
154						5.57%					
155						5.14%					
156						4.69%					
157						4.76%					
158						4.04%					
159					7.15%						
160					7.59%						
161					7.94%						
162					7.49%						
163					8.36%						
164					9.21%						
165					9.41%						
166					11.13%						
167					9.76%						
168					7.89%						

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

169				6.71%						
170			3.63%							
171			3.46%							
172			3.67%							
173			4.12%							
174			5.13%							
175		4.30%								
176		3.63%								
177		3.00%								
178		3.01%								
179		3.03%								
180		2.71%								
181		2.34%								
182		2.11%								
183		2.29%								
184		2.44%								
185		2.60%								
186		2.60%								
187		2.20%								
188		2.62%								
189		2.41%								
190		1.89%								
191		1.76%								
192		2.23%								

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

193			1.91%								
194			1.89%								
195			2.40%								
196			2.37%								
197			2.41%								
198			2.43%								
199			2.25%								
200			3.62%								
201			3.97%								
202			3.90%								
203			4.28%								
204			2.66%								
205			2.55%								
206			2.87%								
207		3.47%									
208		2.37%									
209		2.22%									
210		1.72%									
211		1.78%									
212		1.88%									
213		2.14%									
214		2.04%									
215		1.94%									
216		1.78%									

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告 (2024 版)

217		1.63%									
218		1.77%									
219		3.03%									
220		4.04%									
221		4.88%									
222		3.15%									
223		1.68%									
224		1.67%									
225		2.02%									
226		2.59%									
227		2.79%									
228		3.06%									
229		2.62%									
230		1.94%									
231		2.49%									
232		3.18%									
233		3.34%									
234		4.39%									
235		4.45%									
236		4.34%									
237		3.76%									
238		3.39%									
239		3.04%									
240		3.33%									

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

241	1.07%										
242	0.85%										
243	0.70%										
244	0.85%										
245	0.87%										
246	0.61%										
247	0.59%										
248	0.68%										
249	0.73%										
250	0.70%										
251	0.83%										
252	0.80%										
253	1.14%										
254	1.00%										
255	0.95%										
256	0.95%										
257	0.78%										
258	0.85%										
259	0.85%										
260	0.76%										
261	0.89%										
262	1.45%										
263	1.75%										
264	1.77%										

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

265	1.63%										
266	1.61%										
267	2.05%										
268	2.34%										
269	1.55%										
270	1.40%										
271	1.18%										
272	1.30%										
273	0.97%										
274	0.58%										
275	0.69%										
276	0.60%										
277	0.53%										
278	0.67%										
279	0.65%										
280	1.11%										
281	0.91%										
282	0.90%										
283	0.71%										
284	0.72%										
285	0.70%										
286	0.89%										
287	0.55%										
288	0.82%										

附表4 乐山市同频率雨型雨量分配结果（单位：mm/5min）

雨量段 (逐5分钟)	重现期							
	100a	50a	30a	20a	10a	5a	3a	2a
0	0.2905	0.2601	0.2376	0.2196	0.1883	0.1557	0.1297	0.1064
1	0.1716	0.1537	0.1404	0.1298	0.1113	0.0920	0.0766	0.0629
2	0.2360	0.2114	0.1931	0.1784	0.1530	0.1265	0.1054	0.0865
3	0.1837	0.1645	0.1503	0.1389	0.1191	0.0985	0.0820	0.0673
4	0.2050	0.1836	0.1677	0.1550	0.1329	0.1099	0.0916	0.0751
5	0.1635	0.1464	0.1337	0.1236	0.1060	0.0876	0.0730	0.0599
6	0.1608	0.1440	0.1316	0.1216	0.1043	0.0862	0.0718	0.0589
7	0.1866	0.1671	0.1527	0.1411	0.1210	0.1000	0.0833	0.0684
8	0.1037	0.0929	0.0848	0.0784	0.0672	0.0556	0.0463	0.0380
9	0.3107	0.2782	0.2542	0.2349	0.2014	0.1665	0.1387	0.1138
10	0.6382	0.5715	0.5220	0.4825	0.4137	0.3420	0.2850	0.2338
11	0.8454	0.7570	0.6915	0.6391	0.5481	0.4531	0.3775	0.3097
12	1.0953	0.9809	0.8960	0.8281	0.7101	0.5871	0.4891	0.4012
13	0.9080	0.8131	0.7428	0.6865	0.5886	0.4867	0.4055	0.3326
14	0.9227	0.8262	0.7547	0.6976	0.5981	0.4945	0.4120	0.3380
15	0.6094	0.5457	0.4985	0.4607	0.3951	0.3266	0.2721	0.2232
16	0.4475	0.4007	0.3660	0.3383	0.2901	0.2398	0.1998	0.1639
17	0.3766	0.3373	0.3081	0.2847	0.2442	0.2019	0.1682	0.1380
18	0.2841	0.2544	0.2324	0.2148	0.1842	0.1523	0.1269	0.1041
19	0.3633	0.3254	0.2972	0.2747	0.2355	0.1947	0.1623	0.1331
20	0.3388	0.3034	0.2771	0.2561	0.2196	0.1816	0.1513	0.1241
21	0.4161	0.3726	0.3403	0.3146	0.2697	0.2230	0.1858	0.1524
22	0.3528	0.3159	0.2886	0.2667	0.2287	0.1891	0.1575	0.1292
23	0.4101	0.3673	0.3355	0.3101	0.2659	0.2198	0.1831	0.1502
24	0.3089	0.2766	0.2527	0.2335	0.2002	0.1655	0.1379	0.1131
25	0.2686	0.2405	0.2197	0.2031	0.1741	0.1439	0.1199	0.0984
26	0.2845	0.2548	0.2328	0.2151	0.1845	0.1525	0.1271	0.1042
27	0.1844	0.1651	0.1508	0.1394	0.1195	0.0988	0.0823	0.0675
28	0.1657	0.1483	0.1355	0.1252	0.1074	0.0888	0.0740	0.0607
29	0.1540	0.1379	0.1260	0.1164	0.0998	0.0825	0.0688	0.0564
30	0.1569	0.1405	0.1284	0.1186	0.1017	0.0841	0.0701	0.0575
31	0.2186	0.1957	0.1788	0.1652	0.1417	0.1171	0.0976	0.0801
32	0.1373	0.1230	0.1123	0.1038	0.0890	0.0736	0.0613	0.0503
33	0.1325	0.1187	0.1084	0.1002	0.0859	0.0710	0.0592	0.0485
34	0.1536	0.1376	0.1257	0.1162	0.0996	0.0823	0.0686	0.0563
35	0.1199	0.1074	0.0981	0.0907	0.0778	0.0643	0.0536	0.0439
36	0.0927	0.0830	0.0759	0.0701	0.0601	0.0497	0.0414	0.0340
37	0.1341	0.1201	0.1097	0.1014	0.0870	0.0719	0.0599	0.0491

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告(2024版)

38	0.1290	0.1155	0.1055	0.0975	0.0836	0.0692	0.0576	0.0473
39	0.2435	0.2181	0.1992	0.1841	0.1579	0.1305	0.1087	0.0892
40	0.1987	0.1779	0.1626	0.1502	0.1288	0.1065	0.0887	0.0728
41	0.2110	0.1890	0.1726	0.1596	0.1368	0.1131	0.0942	0.0773
42	0.1133	0.1015	0.0927	0.0857	0.0734	0.0607	0.0506	0.0415
43	0.0892	0.0798	0.0729	0.0674	0.0578	0.0478	0.0398	0.0327
44	0.1325	0.1186	0.1084	0.1001	0.0859	0.0710	0.0592	0.0485
45	0.1734	0.1553	0.1418	0.1311	0.1124	0.0929	0.0774	0.0635
46	0.2660	0.2382	0.2176	0.2011	0.1725	0.1426	0.1188	0.0974
47	0.2401	0.2150	0.1964	0.1815	0.1556	0.1287	0.1072	0.0879
48	0.1541	0.1380	0.1261	0.1165	0.0999	0.0826	0.0688	0.0565
49	0.1979	0.1772	0.1619	0.1496	0.1283	0.1061	0.0884	0.0725
50	0.1471	0.1317	0.1203	0.1112	0.0953	0.0788	0.0657	0.0539
51	0.1261	0.1129	0.1031	0.0953	0.0817	0.0676	0.0563	0.0462
52	0.1402	0.1256	0.1147	0.1060	0.0909	0.0751	0.0626	0.0514
53	0.1019	0.0913	0.0834	0.0771	0.0661	0.0546	0.0455	0.0373
54	0.1131	0.1013	0.0926	0.0855	0.0734	0.0606	0.0505	0.0414
55	0.1013	0.0907	0.0829	0.0766	0.0657	0.0543	0.0452	0.0371
56	0.0606	0.0543	0.0496	0.0458	0.0393	0.0325	0.0271	0.0222
57	0.0432	0.0387	0.0353	0.0327	0.0280	0.0232	0.0193	0.0158
58	0.0532	0.0477	0.0435	0.0402	0.0345	0.0285	0.0238	0.0195
59	0.0817	0.0732	0.0669	0.0618	0.0530	0.0438	0.0365	0.0299
60	0.1434	0.1284	0.1173	0.1084	0.0930	0.0769	0.0640	0.0525
61	0.1550	0.1388	0.1268	0.1172	0.1005	0.0831	0.0692	0.0568
62	0.2404	0.2152	0.1966	0.1817	0.1558	0.1288	0.1073	0.0880
63	0.1574	0.1410	0.1288	0.1190	0.1020	0.0844	0.0703	0.0577
64	0.1694	0.1517	0.1386	0.1281	0.1098	0.0908	0.0757	0.0621
65	0.1445	0.1294	0.1182	0.1092	0.0937	0.0774	0.0645	0.0529
66	0.2719	0.2435	0.2224	0.2056	0.1763	0.1457	0.1214	0.0996
67	0.3446	0.3086	0.2819	0.2605	0.2234	0.1847	0.1539	0.1262
68	0.5370	0.4808	0.4392	0.4060	0.3481	0.2878	0.2398	0.1967
69	0.5048	0.4521	0.4130	0.3817	0.3273	0.2706	0.2254	0.1849
70	0.3615	0.3237	0.2957	0.2733	0.2344	0.1938	0.1614	0.1324
71	0.3162	0.2832	0.2587	0.2391	0.2050	0.1695	0.1412	0.1158
72	0.2945	0.2637	0.2409	0.2226	0.1909	0.1578	0.1315	0.1079
73	0.9741	0.8723	0.7968	0.7365	0.6315	0.5221	0.4350	0.3568
74	0.7003	0.6271	0.5728	0.5294	0.4540	0.3753	0.3127	0.2565
75	0.6600	0.5911	0.5399	0.4990	0.4279	0.3537	0.2947	0.2418
76	0.5978	0.5353	0.4890	0.4519	0.3875	0.3204	0.2669	0.2190
77	0.4091	0.3663	0.3346	0.3093	0.2652	0.2192	0.1827	0.1498
78	0.3088	0.2765	0.2526	0.2335	0.2002	0.1655	0.1379	0.1131
79	0.3484	0.3120	0.2850	0.2634	0.2259	0.1867	0.1556	0.1276
80	0.2180	0.1952	0.1783	0.1648	0.1413	0.1168	0.0973	0.0798

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

81	0.2748	0.2461	0.2248	0.2078	0.1781	0.1473	0.1227	0.1007
82	0.2139	0.1915	0.1749	0.1617	0.1386	0.1146	0.0955	0.0783
83	0.2945	0.2638	0.2409	0.2227	0.1909	0.1579	0.1315	0.1079
84	0.2387	0.2137	0.1952	0.1804	0.1547	0.1279	0.1066	0.0874
85	0.1836	0.1644	0.1502	0.1388	0.1191	0.0984	0.0820	0.0673
86	0.1200	0.1075	0.0982	0.0907	0.0778	0.0643	0.0536	0.0440
87	0.1206	0.1080	0.0986	0.0911	0.0782	0.0646	0.0538	0.0442
88	0.1963	0.1758	0.1606	0.1484	0.1273	0.1052	0.0877	0.0719
89	0.1288	0.1153	0.1054	0.0974	0.0835	0.0690	0.0575	0.0472
90	0.1280	0.1146	0.1047	0.0968	0.0830	0.0686	0.0572	0.0469
91	0.1169	0.1047	0.0956	0.0884	0.0758	0.0626	0.0522	0.0428
92	0.0851	0.0762	0.0696	0.0644	0.0552	0.0456	0.0380	0.0312
93	0.0854	0.0765	0.0698	0.0645	0.0553	0.0458	0.0381	0.0313
94	0.1052	0.0942	0.0861	0.0796	0.0682	0.0564	0.0470	0.0386
95	0.3737	0.3346	0.3057	0.2825	0.2422	0.2003	0.1669	0.1369
96	0.4934	0.4418	0.4036	0.3730	0.3199	0.2644	0.2203	0.1807
97	0.4009	0.3590	0.3279	0.3031	0.2599	0.2149	0.1790	0.1469
98	0.7176	0.6426	0.5870	0.5425	0.4652	0.3846	0.3204	0.2628
99	0.6613	0.5922	0.5409	0.4999	0.4287	0.3544	0.2953	0.2422
100	0.5312	0.4757	0.4345	0.4016	0.3443	0.2847	0.2372	0.1946
101	0.5593	0.5008	0.4575	0.4228	0.3626	0.2997	0.2497	0.2049
102	1.1326	1.0142	0.9265	0.8563	0.7342	0.6070	0.5058	0.4149
103	0.8847	0.7923	0.7237	0.6689	0.5736	0.4742	0.3951	0.3241
104	1.0207	0.9140	0.8349	0.7717	0.6617	0.5471	0.4558	0.3739
105	0.9815	0.8789	0.8029	0.7420	0.6363	0.5261	0.4383	0.3595
106	1.1157	0.9991	0.9127	0.8435	0.7233	0.5980	0.4983	0.4087
107	0.8744	0.7830	0.7153	0.6611	0.5668	0.4686	0.3905	0.3203
108	0.6919	0.6196	0.5660	0.5231	0.4485	0.3708	0.3090	0.2534
109	0.7776	0.6963	0.6361	0.5879	0.5041	0.4168	0.3472	0.2848
110	1.0142	0.9082	0.8296	0.7668	0.6575	0.5436	0.4529	0.3715
111	1.0216	0.9149	0.8357	0.7724	0.6623	0.5475	0.4562	0.3742
112	0.7851	0.7031	0.6422	0.5936	0.5090	0.4208	0.3506	0.2876
113	0.7489	0.6706	0.6126	0.5662	0.4855	0.4014	0.3344	0.2743
114	0.7261	0.6502	0.5939	0.5489	0.4707	0.3891	0.3242	0.2660
115	0.5400	0.4836	0.4417	0.4083	0.3501	0.2894	0.2411	0.1978
116	0.9472	0.8482	0.7748	0.7161	0.6141	0.5077	0.4230	0.3470
117	1.1892	1.0649	0.9728	0.8991	0.7710	0.6374	0.5311	0.4356
118	0.7456	0.6677	0.6099	0.5637	0.4834	0.3996	0.3330	0.2731
119	1.2053	1.0794	0.9860	0.9113	0.7814	0.6460	0.5383	0.4415
120	0.9183	0.8223	0.7512	0.6942	0.5953	0.4922	0.4101	0.3364
121	1.6692	1.4947	1.3654	1.2619	1.0821	0.8946	0.7454	0.6114
122	2.5557	2.2886	2.0906	1.9322	1.6568	1.3697	1.1413	0.9362
123	2.3110	2.0695	1.8904	1.7472	1.4982	1.2386	1.0320	0.8465

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

124	2.6232	2.3491	2.1458	1.9832	1.7006	1.4059	1.1715	0.9609
125	1.9402	1.7375	1.5871	1.4669	1.2578	1.0399	0.8665	0.7107
126	1.7451	1.5627	1.4275	1.3193	1.1313	0.9353	0.7793	0.6392
127	1.9014	1.7027	1.5554	1.4375	1.2327	1.0191	0.8491	0.6965
128	2.7385	2.4523	2.2401	2.0704	1.7753	1.4677	1.2229	1.0031
129	3.3172	2.9705	2.7135	2.5079	2.1505	1.7779	1.4814	1.2151
130	3.5592	3.1872	2.9114	2.6908	2.3074	1.9076	1.5894	1.3038
131	4.5376	4.0634	3.7118	3.4306	2.9417	2.4320	2.0264	1.6622
132	5.9665	5.3429	4.8806	4.5108	3.8680	3.1978	2.6644	2.1856
133	6.2990	5.6407	5.1526	4.7622	4.0835	3.3760	2.8129	2.3074
134	8.0843	7.2395	6.6131	6.1120	5.2410	4.3329	3.6102	2.9614
135	9.8265	8.7996	8.0382	7.4292	6.3704	5.2666	4.3882	3.5996
136	12.2295	10.9515	10.0039	9.2459	7.9282	6.5545	5.4613	4.4798
137	15.1391	13.5570	12.3840	11.4456	9.8145	8.1140	6.7607	5.5456
138	21.8560	19.5719	17.8784	16.5238	14.1689	11.7139	9.7602	8.0061
139	15.2348	13.6426	12.4622	11.5179	9.8765	8.1652	6.8034	5.5806
140	12.5781	11.2636	10.2890	9.5094	8.1542	6.7413	5.6170	4.6075
141	11.2155	10.0434	9.1744	8.4792	7.2708	6.0111	5.0085	4.1083
142	8.2727	7.4081	6.7671	6.2544	5.3631	4.4338	3.6943	3.0304
143	7.1100	6.3669	5.8160	5.3753	4.6093	3.8107	3.1751	2.6044
144	6.0695	5.4352	4.9649	4.5887	3.9348	3.2530	2.7105	2.2233
145	5.0368	4.5105	4.1202	3.8080	3.2653	2.6995	2.2493	1.8450
146	4.5644	4.0874	3.7337	3.4508	2.9590	2.4463	2.0383	1.6720
147	4.3477	3.8933	3.5564	3.2870	2.8185	2.3302	1.9415	1.5926
148	4.0489	3.6257	3.3120	3.0611	2.6248	2.1700	1.8081	1.4831
149	2.9466	2.6386	2.4103	2.2277	1.9102	1.5793	1.3159	1.0794
150	2.4177	2.1651	1.9777	1.8279	1.5674	1.2958	1.0797	0.8856
151	2.4975	2.2365	2.0430	1.8882	1.6191	1.3386	1.1153	0.9149
152	2.1010	1.8815	1.7187	1.5885	1.3621	1.1261	0.9383	0.7696
153	2.4353	2.1808	1.9921	1.8412	1.5788	1.3052	1.0875	0.8921
154	2.2477	2.0128	1.8387	1.6993	1.4572	1.2047	1.0038	0.8234
155	2.0498	1.8356	1.6768	1.5497	1.3289	1.0986	0.9154	0.7509
156	2.0814	1.8639	1.7026	1.5736	1.3494	1.1156	0.9295	0.7625
157	1.7687	1.5838	1.4468	1.3372	1.1466	0.9479	0.7898	0.6479
158	1.6224	1.4529	1.3272	1.2266	1.0518	0.8696	0.7245	0.5943
159	1.7211	1.5412	1.4079	1.3012	1.1158	0.9224	0.7686	0.6305
160	1.8014	1.6132	1.4736	1.3619	1.1678	0.9655	0.8045	0.6599
161	1.6982	1.5208	1.3892	1.2839	1.1009	0.9102	0.7584	0.6221
162	1.8967	1.6985	1.5516	1.4340	1.2296	1.0166	0.8470	0.6948
163	2.0876	1.8694	1.7077	1.5783	1.3534	1.1189	0.9323	0.7647
164	2.1333	1.9103	1.7450	1.6128	1.3830	1.1433	0.9527	0.7814
165	2.5234	2.2597	2.0642	1.9078	1.6359	1.3525	1.1269	0.9244
166	2.2129	1.9816	1.8102	1.6730	1.4346	1.1860	0.9882	0.8106

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

167	1.7889	1.6019	1.4633	1.3524	1.1597	0.9588	0.7989	0.6553
168	1.5205	1.3616	1.2438	1.1495	0.9857	0.8149	0.6790	0.5570
169	0.7865	0.7043	0.6434	0.5946	0.5099	0.4216	0.3512	0.2881
170	0.7500	0.6716	0.6135	0.5670	0.4862	0.4020	0.3349	0.2747
171	0.7939	0.7109	0.6494	0.6002	0.5147	0.4255	0.3545	0.2908
172	0.8929	0.7996	0.7304	0.6751	0.5789	0.4786	0.3987	0.3271
173	1.1108	0.9947	0.9086	0.8398	0.7201	0.5953	0.4960	0.4069
174	0.7959	0.7127	0.6510	0.6017	0.5159	0.4266	0.3554	0.2915
175	0.6721	0.6018	0.5497	0.5081	0.4357	0.3602	0.3001	0.2462
176	0.5561	0.4980	0.4549	0.4204	0.3605	0.2980	0.2483	0.2037
177	0.5568	0.4986	0.4554	0.4209	0.3609	0.2984	0.2486	0.2040
178	0.5608	0.5022	0.4588	0.4240	0.3636	0.3006	0.2504	0.2054
179	0.5024	0.4499	0.4109	0.3798	0.3257	0.2692	0.2243	0.1840
180	0.4326	0.3874	0.3539	0.3271	0.2805	0.2319	0.1932	0.1585
181	0.3904	0.3496	0.3193	0.2952	0.2531	0.2092	0.1743	0.1430
182	0.4236	0.3793	0.3465	0.3202	0.2746	0.2270	0.1892	0.1552
183	0.4508	0.4037	0.3688	0.3408	0.2923	0.2416	0.2013	0.1651
184	0.4813	0.4310	0.3937	0.3639	0.3120	0.2580	0.2150	0.1763
185	0.4811	0.4308	0.3936	0.3637	0.3119	0.2579	0.2149	0.1762
186	0.4067	0.3642	0.3327	0.3075	0.2637	0.2180	0.1816	0.1490
187	0.4847	0.4341	0.3965	0.3665	0.3142	0.2598	0.2165	0.1776
188	0.4456	0.3991	0.3645	0.3369	0.2889	0.2388	0.1990	0.1632
189	0.3494	0.3129	0.2858	0.2642	0.2265	0.1873	0.1560	0.1280
190	0.3259	0.2919	0.2666	0.2464	0.2113	0.1747	0.1455	0.1194
191	0.4123	0.3692	0.3373	0.3117	0.2673	0.2210	0.1841	0.1510
192	0.3540	0.3170	0.2896	0.2677	0.2295	0.1898	0.1581	0.1297
193	0.3493	0.3128	0.2857	0.2640	0.2264	0.1872	0.1560	0.1279
194	0.4437	0.3973	0.3629	0.3354	0.2876	0.2378	0.1981	0.1625
195	0.4393	0.3934	0.3594	0.3322	0.2848	0.2355	0.1962	0.1609
196	0.4461	0.3994	0.3649	0.3372	0.2892	0.2391	0.1992	0.1634
197	0.4496	0.4026	0.3677	0.3399	0.2914	0.2409	0.2008	0.1647
198	0.4171	0.3735	0.3412	0.3153	0.2704	0.2236	0.1863	0.1528
199	0.6700	0.6000	0.5481	0.5065	0.4343	0.3591	0.2992	0.2454
200	0.7358	0.6589	0.6019	0.5563	0.4770	0.3944	0.3286	0.2695
201	0.7211	0.6457	0.5898	0.5451	0.4674	0.3865	0.3220	0.2641
202	0.7931	0.7102	0.6487	0.5996	0.5141	0.4251	0.3542	0.2905
203	0.4916	0.4403	0.4022	0.3717	0.3187	0.2635	0.2196	0.1801
204	0.4722	0.4228	0.3863	0.3570	0.3061	0.2531	0.2109	0.1730
205	0.5310	0.4755	0.4344	0.4015	0.3442	0.2846	0.2371	0.1945
206	0.5095	0.4563	0.4168	0.3852	0.3303	0.2731	0.2275	0.1867
207	0.3479	0.3115	0.2846	0.2630	0.2255	0.1865	0.1554	0.1274
208	0.3255	0.2915	0.2663	0.2461	0.2110	0.1745	0.1454	0.1192
209	0.2524	0.2260	0.2064	0.1908	0.1636	0.1353	0.1127	0.0924

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

210	0.2609	0.2336	0.2134	0.1973	0.1691	0.1398	0.1165	0.0956
211	0.2759	0.2471	0.2257	0.2086	0.1789	0.1479	0.1232	0.1011
212	0.3141	0.2813	0.2569	0.2375	0.2036	0.1683	0.1403	0.1151
213	0.3003	0.2689	0.2456	0.2270	0.1947	0.1609	0.1341	0.1100
214	0.2848	0.2550	0.2329	0.2153	0.1846	0.1526	0.1272	0.1043
215	0.2621	0.2347	0.2144	0.1982	0.1699	0.1405	0.1171	0.0960
216	0.2400	0.2149	0.1963	0.1814	0.1556	0.1286	0.1072	0.0879
217	0.2607	0.2335	0.2133	0.1971	0.1690	0.1397	0.1164	0.0955
218	0.4458	0.3992	0.3647	0.3370	0.2890	0.2389	0.1991	0.1633
219	0.5941	0.5320	0.4859	0.4491	0.3851	0.3184	0.2653	0.2176
220	0.7172	0.6423	0.5867	0.5422	0.4650	0.3844	0.3203	0.2627
221	0.4623	0.4140	0.3782	0.3495	0.2997	0.2478	0.2065	0.1694
222	0.2468	0.2210	0.2019	0.1866	0.1600	0.1323	0.1102	0.0904
223	0.2453	0.2196	0.2006	0.1854	0.1590	0.1315	0.1095	0.0898
224	0.2964	0.2654	0.2425	0.2241	0.1922	0.1589	0.1324	0.1086
225	0.3810	0.3412	0.3117	0.2880	0.2470	0.2042	0.1701	0.1396
226	0.4103	0.3675	0.3357	0.3102	0.2660	0.2199	0.1832	0.1503
227	0.4493	0.4023	0.3675	0.3397	0.2913	0.2408	0.2006	0.1646
228	0.3849	0.3447	0.3148	0.2910	0.2495	0.2063	0.1719	0.1410
229	0.2845	0.2548	0.2327	0.2151	0.1845	0.1525	0.1271	0.1042
230	0.3660	0.3278	0.2994	0.2767	0.2373	0.1962	0.1635	0.1341
231	0.4664	0.4177	0.3815	0.3526	0.3024	0.2500	0.2083	0.1709
232	0.4903	0.4391	0.4011	0.3707	0.3178	0.2628	0.2189	0.1796
233	0.6441	0.5768	0.5269	0.4870	0.4176	0.3452	0.2877	0.2360
234	0.6540	0.5857	0.5350	0.4945	0.4240	0.3505	0.2921	0.2396
235	0.6375	0.5708	0.5214	0.4819	0.4133	0.3417	0.2847	0.2335
236	0.5523	0.4945	0.4518	0.4175	0.3580	0.2960	0.2466	0.2023
237	0.4983	0.4462	0.4076	0.3767	0.3230	0.2671	0.2225	0.1825
238	0.4460	0.3994	0.3648	0.3372	0.2891	0.2390	0.1992	0.1634
239	0.4885	0.4375	0.3996	0.3693	0.3167	0.2618	0.2182	0.1790
240	0.5335	0.4778	0.4364	0.4034	0.3459	0.2860	0.2383	0.1954
241	0.4236	0.3793	0.3465	0.3202	0.2746	0.2270	0.1892	0.1552
242	0.3469	0.3107	0.2838	0.2623	0.2249	0.1859	0.1549	0.1271
243	0.4227	0.3785	0.3457	0.3195	0.2740	0.2265	0.1887	0.1548
244	0.4343	0.3889	0.3553	0.3283	0.2816	0.2328	0.1939	0.1591
245	0.3026	0.2710	0.2475	0.2288	0.1962	0.1622	0.1351	0.1108
246	0.2920	0.2615	0.2388	0.2207	0.1893	0.1565	0.1304	0.1069
247	0.3401	0.3046	0.2782	0.2571	0.2205	0.1823	0.1519	0.1246
248	0.3639	0.3259	0.2977	0.2751	0.2359	0.1950	0.1625	0.1333
249	0.3492	0.3127	0.2857	0.2640	0.2264	0.1872	0.1560	0.1279
250	0.4148	0.3714	0.3393	0.3136	0.2689	0.2223	0.1852	0.1519
251	0.3993	0.3576	0.3267	0.3019	0.2589	0.2140	0.1783	0.1463
252	0.5706	0.5110	0.4668	0.4314	0.3699	0.3058	0.2548	0.2090

■乐山市中心城区暴雨强度公式报告（2024版）

253	0.4987	0.4465	0.4079	0.3770	0.3233	0.2673	0.2227	0.1827
254	0.4711	0.4218	0.3853	0.3561	0.3054	0.2525	0.2104	0.1726
255	0.4714	0.4221	0.3856	0.3564	0.3056	0.2527	0.2105	0.1727
256	0.3892	0.3486	0.3184	0.2943	0.2523	0.2086	0.1738	0.1426
257	0.4256	0.3811	0.3482	0.3218	0.2759	0.2281	0.1901	0.1559
258	0.4250	0.3806	0.3476	0.3213	0.2755	0.2278	0.1898	0.1557
259	0.3811	0.3413	0.3118	0.2882	0.2471	0.2043	0.1702	0.1396
260	0.4444	0.3979	0.3635	0.3359	0.2881	0.2382	0.1984	0.1628
261	0.7238	0.6482	0.5921	0.5472	0.4692	0.3879	0.3232	0.2651
262	0.8701	0.7792	0.7118	0.6579	0.5641	0.4664	0.3886	0.3187
263	0.8813	0.7892	0.7209	0.6663	0.5713	0.4723	0.3936	0.3228
264	0.8131	0.7281	0.6651	0.6147	0.5271	0.4358	0.3631	0.2978
265	0.8013	0.7176	0.6555	0.6058	0.5195	0.4295	0.3579	0.2935
266	1.0241	0.9171	0.8377	0.7742	0.6639	0.5489	0.4573	0.3751
267	1.1677	1.0457	0.9552	0.8828	0.7570	0.6258	0.5215	0.4277
268	0.7745	0.6935	0.6335	0.5855	0.5021	0.4151	0.3459	0.2837
269	0.6977	0.6248	0.5707	0.5275	0.4523	0.3740	0.3116	0.2556
270	0.5902	0.5285	0.4828	0.4462	0.3826	0.3163	0.2636	0.2162
271	0.6468	0.5792	0.5290	0.4890	0.4193	0.3466	0.2888	0.2369
272	0.4848	0.4341	0.3966	0.3665	0.3143	0.2598	0.2165	0.1776
273	0.2895	0.2592	0.2368	0.2189	0.1877	0.1552	0.1293	0.1060
274	0.3446	0.3085	0.2818	0.2605	0.2234	0.1847	0.1539	0.1262
275	0.2981	0.2670	0.2439	0.2254	0.1933	0.1598	0.1331	0.1092
276	0.2646	0.2370	0.2165	0.2001	0.1716	0.1418	0.1182	0.0969
277	0.3348	0.2998	0.2739	0.2531	0.2170	0.1794	0.1495	0.1226
278	0.3226	0.2889	0.2639	0.2439	0.2091	0.1729	0.1441	0.1182
279	0.5534	0.4955	0.4527	0.4184	0.3587	0.2966	0.2471	0.2027
280	0.4536	0.4062	0.3710	0.3429	0.2941	0.2431	0.2026	0.1662
281	0.4494	0.4024	0.3676	0.3398	0.2913	0.2409	0.2007	0.1646
282	0.3561	0.3189	0.2913	0.2692	0.2309	0.1909	0.1590	0.1305
283	0.3567	0.3195	0.2918	0.2697	0.2313	0.1912	0.1593	0.1307
284	0.3493	0.3128	0.2858	0.2641	0.2265	0.1872	0.1560	0.1280
285	0.4440	0.3976	0.3632	0.3357	0.2879	0.2380	0.1983	0.1627
286	0.2724	0.2439	0.2228	0.2059	0.1766	0.1460	0.1216	0.0998
287	0.4097	0.3669	0.3352	0.3098	0.2656	0.2196	0.1830	0.1501

附表 5 不同历时雨型的总雨量 单位（mm）

雨型	重现期							
	2a	3a	5a	10a	20a	30a	50a	100a
短历时 60min	53.64	61.68	71.52	84.66	96.42	103.26	111.24	120.48
短历时 90min	63.54	73.80	86.49	103.23	118.53	127.26	137.52	149.31
短历时 120min	70.56	82.56	97.56	117.00	134.88	144.96	156.96	170.76
短历时 150min	76.05	89.40	106.35	127.95	147.90	159.00	172.35	187.65
短历时 180min	80.64	95.22	113.58	136.98	158.58	170.64	184.86	201.42
长历时 1440min	152.64	168.48	188.64	216.00	241.92	257.76	277.92	305.28