

益阳市暴雨强度公式修编项目 技术报告

湖南省气象灾害防御技术中心
(湖南省防雷中心)



二〇二六年二月

项目名称：益阳市暴雨强度公式修编项目技术报告

委托单位：益阳市城市管理和综合执法局

承担单位：湖南省气象灾害防御技术中心（湖南省防雷中心）

协作单位：湖南省气候中心

项目负责人：刘景洪

技术负责人：罗菁 彭琳 王少娟

编写人员：罗菁 彭琳 蒋元华 段丽洁 王少娟 汤亦豪 毛紫
怡 卿莹萍 郭斌 刘电英 李东杰 陈如刚 刘燕
罗婉

审核人：刘景洪

审定人：王道平

批准人：邓战满



目 录

第一章 项目介绍..... 1

 1.1 城市概况..... 1

 1.2 项目背景..... 2

第二章 编制依据和方法..... 5

 2.1 编制依据..... 5

 2.2 编制方法与流程..... 6

 2.2.1 编制方法..... 6

 2.2.2 编制流程..... 7

第三章 降水资料 and 统计样本..... 9

 3.1 站点选择..... 9

 3.2 参证站选择合理性分析..... 10

 3.2.1 代表性分析..... 10

 3.2.2 一致性分析..... 10

 3.2.3 可靠性分析..... 11

 3.3 原始资料..... 11

 3.3.1 数据记录方式..... 11

 3.3.2 自动气象站降水资料处理..... 14

 3.4 统计样本的选取..... 14

 3.5 建立统计样本..... 16

第四章 益阳市降水气候特征分析..... 17

 4.1 基本特征..... 17

 4.2 时间变化特征..... 17

 4.3 短历时降水量变化特征..... 21

 4.4 降水量月际变化..... 28

第五章 暴雨强度理论频率分布曲线拟合..... 29

 5.1 皮尔逊-III型曲线..... 29

 5.2 耿贝尔分布曲线..... 31

 5.3 指数分布曲线..... 31

 5.4 频率分布曲线拟合方法的选取..... 32

第六章 暴雨强度公式推求方法..... 33

 6.1 暴雨强度总公式的表达形式..... 33

 6.2 暴雨强度公式各参数估算..... 34

 6.3 暴雨强度公式拟合精度检验..... 37

第七章 暴雨强度公式推求	39
7.1 样本资料的理论频率分布曲线拟合	39
7.2 精度检验	41
7.3 暴雨强度公式推求结果	44
第八章 新编公式与现行公式比较	46
8.1 暴雨强度公式	46
8.2 新编公式与现行公式雨强比较	46
第九章 适用性分析	57
9.1 最大小时降水量空间分布差异性	57
9.2 最大日降水量空间分布差异性	58
9.3 暴雨日数空间分布差异性	59
9.4 暴雨强度公式适用性评估	60
第十章 结果与建议	63
第十一章 常用图表	66
11.1 说明	66
11.2 暴雨强度公式及参数	67
11.2.1 暴雨强度公式及参数	67
11.2.2 公式误差	68
11.3 益阳市暴雨强度公式计算图表	69
附录 A 专家评审意见	87
附录 B 评审专家名单	88

第一章 项目介绍

2025年9月，受益阳市城市管理和综合执法局委托，湖南省气象灾害防御技术中心（湖南省防雷中心）承担了《益阳市暴雨强度公式修编项目技术报告》编制工作。项目基于赫山国家气象观测站1993~2024年逐分钟雨量资料，建立了准确可靠的统计样本；依据《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》和《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）相关要求，采用皮尔逊-III型、耿贝尔和指数型分布函数，对不同历时降水的概率分布进行了拟合分析。通过推求单一重现期暴雨强度公式、区间参数公式及暴雨强度总公式，系统开展误差分析与精度检验，最终确定精度最优的暴雨强度公式，在此基础上完成本报告的编制。

1.1 城市概况

益阳，湖南省辖地级市，位于湖南中北部，洞庭湖南岸，居雪峰山北段及其余脉带，是长江中游城市群重要成员、洞庭湖生态经济区核心城市之一，也是长株潭3+5城市群之一，总面积12320平方公里。其中心城区位于湖南省中北部、资水中下游，地处洞庭湖西南岸，东望长沙、北通长江，是长株潭通往湘西、鄂西南的咽喉要冲。行政面积合计约1090平方公里，其中建成区约93平方公里，为全市政治、经济、文化核心。

境内由南至北呈梯级倾斜，南半部是丘陵山区，属雪峰山余脉；北半部为洞庭湖淤积平原，一派水乡景色。中心城区地形呈西南高、东北低的梯级倾斜，西南部碧云峰海拔502.8米为城区制高点，东北部最低处仅26米，整体坡降约9.5‰；地貌以中浅丘和平原为主，资

水自西南穿城而过，将城区天然分割为“资阳北岸、赫山南岸”的两岸格局，两岸阶地宽阔，适宜建设。

益阳市位于亚热带季风性湿润气候区，其气候特征表现为气候温暖，四季分明；热量充足，雨水集中；春温多变，夏秋多旱；严寒期短，暑热期长。

1.2 项目背景

极端天气气候事件是指天气（气候）的状态严重偏离其平均态，通俗来讲，即 50 年一遇或 100 年一遇的小概率事件。随着全球气候变暖，各种极端天气气候事件出现频率呈现出增多增强的趋势，极端暴雨事件就是其中之一。暴雨出现时，如果强降水或连续降水超出城市排水能力，城市内会发生积水灾害，对城市交通、排水系统带来巨大挑战，而城市经济类型的多元化及资产的高密集性致使城市的综合承灾能力更为脆弱。

暴雨是益阳市主要气象灾害之一。近年来受气候变化影响，极端暴雨频发，而城市排水防涝标准偏低、基础设施滞后、雨洪调蓄与应急能力不足，导致内涝现象频现。短时强降雨不仅考验城市渍涝防御与交通运行，还易诱发泥石流、洪涝等次生灾害。例如：2016 年 7 月 1-5 日，全市出现了该年入汛以来最强的降雨过程，具有持续时间长、累积雨量大、影响范围广、致灾严重等特点。全市普降暴雨，部分大暴雨，局地特大暴雨。其中赫山区国家站过程降水量为 369.8 毫米，最大降水量为 523 毫米（新河电排站），最大小时雨强为 60 毫米（泉交河站）。2017 年 6 月 29 日至 7 月 1 日，全市出现了一次强降雨过程，全市普降暴雨，部分大暴雨，局地特大暴雨。其中赫山区国家站过程降水量为 194.1 毫米，最大降水量为 304.5 毫米（小河口

电排站），最大小时雨强为 61.8 毫米（小河口电排站）。2022 年 7 月 4 日下午到晚上受第 3 号台风“暹芭”减弱后的热带低压影响，赫山区出现暴雨、大暴雨，局地特大暴雨天气过程，并伴有短时强降水、雷暴大风等强对流天气。此次强降水过程影响面积广、降水时段集中且强度大，农田淹涝和城市内涝严重，多地出现山体滑坡和泥石流，造成了重大经济损失。2024 年 7 月 28-29 日，受三号台风“格美”残涡影响，赫山区出现一次强降雨、风力加大天气过程，并伴有雷雨大风、短时强降水等强对流天气。受其影响，赫山区乡镇不同程度受灾。

城市排水工程的可靠性直接依赖于所采用的暴雨强度公式，关系到防灾减灾效能和城市环境安全。近二十多年，随着城市化快速推进，区域短历时暴雨时空分布特征发生显著变化，雨强明显增大。同时，不透水面积增加导致地表径流加大，原有暴雨强度公式已难以满足当前排水设计需求。各大城市频现的“看海”现象引发社会广泛关注，也促使各级政府高度重视排涝设施建设。高强度降水是城市内涝的主要外因，城市化加大防洪难度，气候变化又增加强降雨风险，而城市经济与资产密度高更要求具备更强的综合承灾能力。严重内涝可导致交通与商贸中断，对工业、商业、服务业及外贸等领域产生重大影响。

暴雨强度公式用于计算特定重现期和降雨历时下的最大平均降雨强度，是依据《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）进行排水管网设计水量计算的重要依据。科学、合理地设计排水系统，对城市可持续发展具有重要意义，而准确的暴雨强度公式是实现这一目标的基础。它不仅为市政、水务及城市规划部门提供关键理论与参数支撑，也直接影响排水工程的造价与后期运行安全。近年来，严重内涝事件频发，对城市交通和商业活动造成显著影响，因此构建高效、可靠的

排水系统已成为城市发展中的迫切需求。在此背景下，准确可靠的暴雨强度公式成为提升城市防灾减灾能力、优化排水系统规划与建设的关键工具，其科学性直接关系到排水设施的经济性、运行效率及抗风险能力，也为科学确定雨水工程设施规模提供依据。

暴雨强度公式是城市计算暴雨地面径流量和确定雨水工程设计规模的重要依据，它的正确性直接关系到城市雨水排水设施建设的投资合理性和运行的安全性。目前，益阳市现行使用的暴雨强度公式为利用 34 年（1980~2013 年）降雨资料采用数理统计方法得出，该公式采用了赫山气象站当时所具有的长序列分钟降水资料，具有较好的代表性。但随着城镇化进程加快，市区规划范围逐步扩大，水文特性和气候变化背景下暴雨强度特征也可能随之变化，且现行暴雨强度公式编制已过去超过 10 年，能否反映近年来暴雨强度的客观规律有待进一步验证。

为贯彻落实《国务院办公厅关于加强城市内涝治理的实施意见》（国办发[2021]11 号）、《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），推进湖南省《住房和城乡建设部办公厅关于做好 2024 年城市排水防涝工作的通知》（建办城函[2024]106 号）及《湖南省住房和城乡建设厅关于开展<城区排水防涝应急预案>修订等工作的通知》等相关文件要求，并为更好的科学应对城市内涝突显，益阳市启动了本市暴雨强度公式编制工作。

本次编制工作采用最新降雨资料，系统开展降水资料收集与信息化处理、公式推算、检验与误差分析，最终推导出符合益阳市降雨特征的暴雨强度公式。

第二章 编制依据和方法

2.1 编制依据

本报告依据以下技术规范和政策文件进行编制。

1. 《国务院办公厅关于加强城市内涝治理的实施意见》（国办发[2021]11 号）
2. 《关于加强城市基础设施建设的意见》（国发[2013]36 号）
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. 《住房城乡建设部办公厅关于做好 2024 年城市排水防涝工作的通知》（建办城函[2024]106 号）
5. 《湖南省住房和城乡建设厅关于开展<城区排水防涝应急预案>修订等工作的通知》湖南省住房和城乡建设厅 2025 年 1 月
6. 《暴雨强度公式编制技术指南》中国气象局预报与网络司 2013 年 5 月
7. 《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》（建城[2014]66 号） 住建部、中国气象局 2014 年 4 月
8. 《气候可行性论证管理办法》（中国气象局第 18 号令）
9. 《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）
10. 《湖南城市暴雨设计参数确定技术规范》（DB43/T 1628-2019）
11. 《城镇内涝防治技术规范》（GB 51222-2017）
12. 《地面气象资料服务产品技术规范》（GB/T37301-2019）

13. 《地面气象观测规范降水量》（GB/T35228-2017）
14. 《地面标准气候值统计方法》（GB/T34412-2017）
15. 《气象观测资料质量控制地面》（QX/T118-2020）
16. 《气象观测站新建迁移和撤销管理规定》（气发〔2020〕50号）

2.2 编制方法与流程

2.2.1 编制方法

根据《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》（以下简称《导则》）和《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）（以下简称《标准》）中推荐的暴雨强度公式的编制方法，本报告采用年最大值法进行计算。

暴雨强度公式表现形式为：

$$q = \frac{167A_1 \times (1 + C \times \lg P)}{(t + b)^n} \quad (2-1)$$

其中：

q——暴雨强度，升/秒/公顷（L/（s·hm²））；

P——重现期，年（a）；

t——降雨历时，分钟（min）；

A₁、b、C、n是与地方暴雨特性有关且需求解的参数，即本次暴雨强度公式编制的主要工作。采用既有资料，利用数理统计方法求解得到这些参数。

A₁——雨力参数，即重现期为1年时的1min设计降雨量（mm）；

C——雨力变动参数，反映设计降雨在各历时、不同重现期的强度变化程度；

b——降雨历时修正参数，即对暴雨强度公式两边求对数后能使曲线化成直线所加的一个时间参数（min）；

n——为暴雨衰减指数，与重现期有关。

2.2.2 编制流程

根据 2.1 节的编制依据，对暴雨强度公式进行计算及编制。具体流程如下：

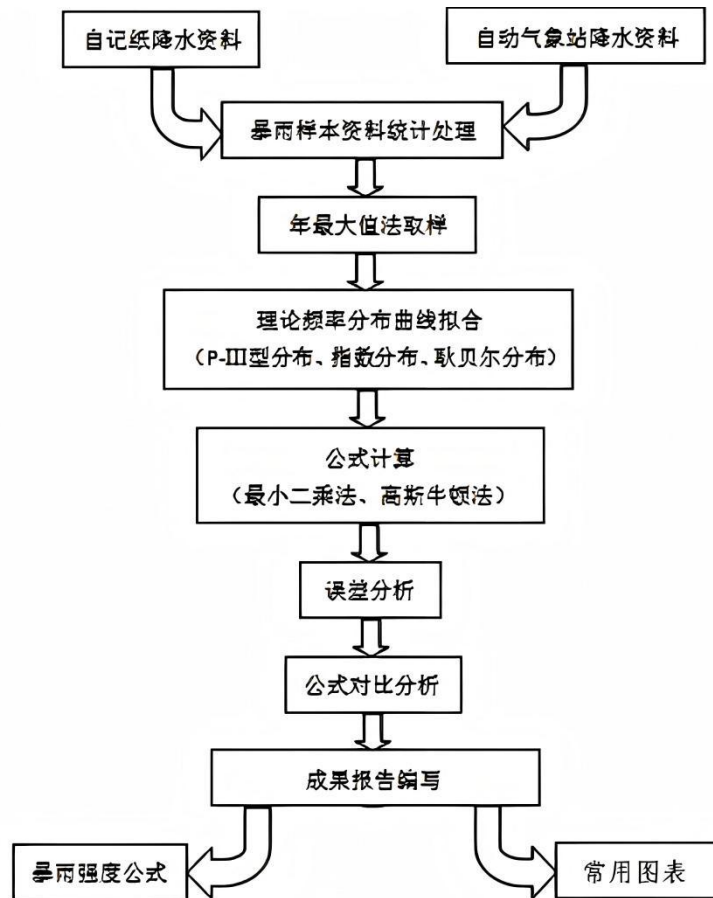


图 2.1 益阳市暴雨强度公式编制技术流程图

- (1) 原始资料的收集。包括文献查阅以及数据源的收集。
- (2) 降水资料整理与样本数据采集。包括自记纸雨量数字化与整理；在样本数据采集上选用年最大值法进行选择。
- (3) 频率分布曲线拟合及精度检验。采用皮尔逊-III型分布、指数分布和耿贝尔分布三种频率分布模型。

(4) 公式参数计算。采用最小二乘法和高斯牛顿法进行计算。

(5) 误差分析。对不同方法求得的公式进行误差分析，舍去不符合规范的公式，从而得到精度最高、误差最小的公式。

第三章 降水资料和统计样本

3.1 站点选择

根据《导则》和《标准》的要求，暴雨强度公式编制采用的年最大值法基础资料年限至少需要 30 年以上。赫山国家气象观测站于 1955 年建站观测，是益阳市中心城区长期气象观测站，其气象观测资料完整，年代较长。常规观测项目有气压、相对湿度、风速和风向、气温、降水量、日照等，仪器设备和资料整理等均符合国家规范。而益阳市中心城区境内区域站资料年限小于 30 年且存在设备计量不足等情况，因此，本报告选择赫山国家气象观测站作为暴雨强度公式编制的参证站。

表 3.1 赫山国家气象观测站建站、迁站情况

序号	建站迁站时间	海拔高度 (m)	站址
1	1955.12.01	31.0	益阳县沙头区长乐乡刘家湖(农场) (乡村)
2	1957.12.18	29.0	益阳县茆湖乡刘家湖(农场) (乡村)
3	1959.01.01	80.0	益阳县汽车站堤后面仪山坪 (郊外)
4	1960.11.01	80.0	益阳县三里桥(原县农场) (郊外)
5	1961.03.01	80.0	益阳县益阳庙 (郊外)
6	1965.01.01	32.9	益阳县长春公社马良大队教厂坪生产队 (郊外)
7	1971.01.01	63.1	益阳县桃花仑水利局山头 (市区；山顶)
8	1971.04.01	32.9	益阳县长春公社马良大队教厂坪生产队 (郊外)
9	1978.01.01	46.3	益阳县羊午岑公社毛家塘大队鱼塘生产队 (乡村)
10	2021.01.01	46.3	益阳市赫山区平安路 53 号 (城镇)

3.2 参证站选择合理性分析

3.2.1 代表性分析

根据《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》中关于站点选择的相关规定，赫山国家气象观测站与周边地理环境、下垫面条件相似，其对市区大部分地区具有区域代表性。

3.2.2 一致性分析

气象台站常因观测环境条件变化或其他原因而进行迁移。由于台站迁移，其观测记录序列将受到影响，影响程度由迁址距离、海拔高度、站址地形及周围环境条件决定。一般认为，如果台站迁移后两地的地形、环境条件差异不大，且水平距离不超过 50km、海拔高度差在 100m 以内，其迁址后观测记录一般不会出现不连续现象。如表 3.1 所示，迁站对赫山国家气象站资料观测记录序列的影响可以忽略。赫山国家气象观测站具有分钟级降水数据，根据《标准》和《导则》，本报告采用 1993~2024 年的分钟级降水资料建立样本。根据《气象观测站新建迁移和撤销管理规定》，基于赫山国家气象观测站详实的历史沿革记录，挑出迁站、仪器变更、观测时间或统计方法变更、台站环境变化等有记录的时间点对赫山国家气象观测站 1960 年至 2024 年的降水资料序列进行针对性的统计检验，利用 t 检验公式判断在该时间是否存在不连续点。应用双边 t 检验方法（显著性水平 0.05）进行显著性检验，检验结果均不显著，降水资料的完整性和均一性较好（图 3.1）。

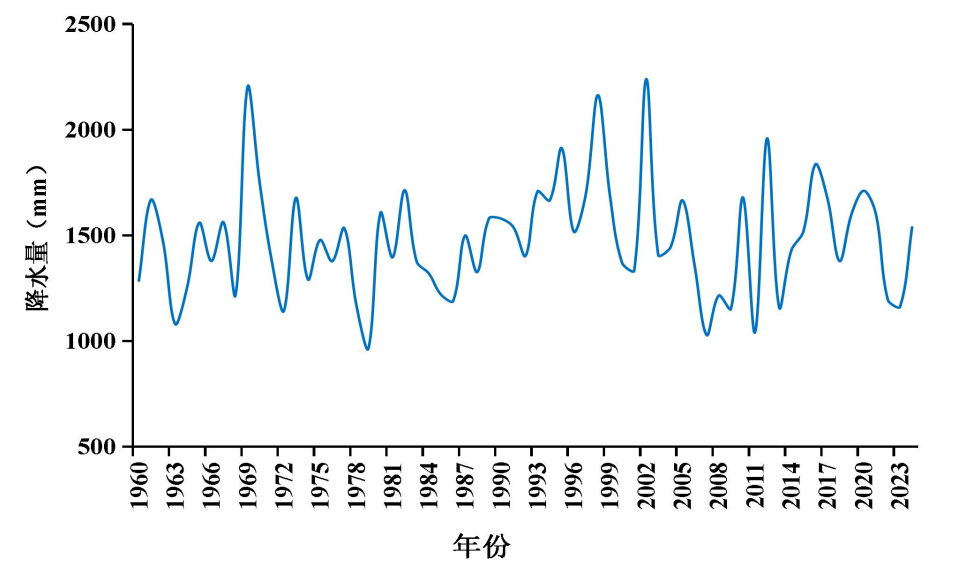


图 3.1 赫山国家气象观测站（57674）年降水量检验结果
无不连续点

3.2.3 可靠性分析

赫山国家气象观测站气象历史资料和观测仪器设备均经过各市级、省级和国家级气象部门严格规范的审核，其可靠性可以满足《气象观测站新建迁移和撤销管理规定》和《气象观测资料质量控制地面》（QX/T118-2020）以及项目要求。

3.3 原始资料

3.3.1 数据记录方式

赫山国家气象观测站分钟级降水资料有两种记录方式：（1）自记纸形式记录的逐分钟降水资料时间年限为 2008 年及以前；（2）现代自动气象站自动记录的逐分钟降水量资料，时间年限为 2009 年及以后。对以自记纸形式保存的国家气象站历史降水自记记录资料，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，系统界面见图 3.2。

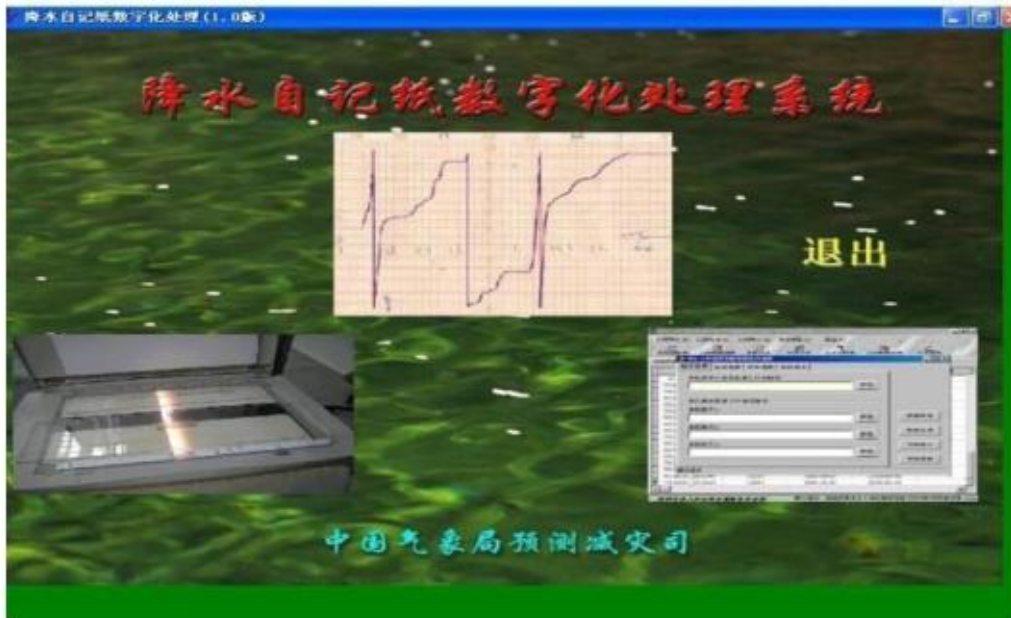


图 3.2 “降水自记纸数字化处理系统”界面

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，需要经人工审核或修正后，录入数据库，具体处理过程如下：

（1）降水自记纸预处理

在自记纸扫描前，需将装订好的自记纸拆开，清点自记纸数量以及完整性检查（是否存在损坏或破损），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。

（2）图像扫描

首先设置扫描图像的分辨率、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，既保证

所得扫描图像的清晰度，又有较快的扫描速度。同时，扫描后按照相关规范对图像进行质量检查，进而得到合理、准确的图像。

（3）降水自记迹线的提取

降水自记迹线的提取主要有：调整合适的阈值，使程序能更好的自动跟踪；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，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。

（4）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，运行相应软件对 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 2min，虹吸量是否超范围等。

（5）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、降水强度数据集和提取完整的迹线文件数据集。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。

（6）各降水时段强度值的挑取

降水自记纸数字化处理后数据集自动挑取（计算机编程）和人工对降水自记纸进行时差订正后滑动挑取相结合的方式。

3.3.2 自动气象站降水资料处理

（1）资料质量控制

2009年以后采用现代自动气象站自动记录的逐分钟降水量资料。采用现代自动气象站自动记录的逐分钟降水量资料作为编制暴雨强度公式的基础资料时，需要对原始数据进行质量检查、审核，确保基础资料准确可靠。

（2）两种采集方式数据的一致性分析

选择有代表性的各种强度降雨过程资料，对自动气象站自动记录的逐分钟降水资料与自记纸降水资料进行一致性分析，确保基础资料连续一致，满足编制暴雨强度公式的数据要求。

3.4 统计样本的选取

（1）降雨历时

根据《导则》和《标准》中的要求，暴雨强度公式编制的降水历时应采用 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、150min 和 180min 共 11 个时段。

（2）样本选取原则

采取滑动统计法，其目的是搜寻对应降雨历时的年度最大值雨量。选定降雨历时，设定滑动步长（如：1min），不受日、月界的限制（不跨年界），滑动搜寻该降雨历时内的最大值雨量。同一场次降雨过程中同一种历时降雨不可交叉；各时段年最大降水量及相应开始时间，只有当 1440min 降水量 $\geq 10.0\text{mm}$ 时才挑取；从全年的降水自记纸或每分钟降水量数据文件中，挑取本年内 11 个时段最大降水量；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。样本选取时，偶遇特大值时，需要进行专门分析确认。一般情况下，特大值是指比相应的历史资料序列的平均值（计入特大值后的均值）大 2 倍以上的稀遇暴雨值，合理取舍特大值有利于理论频率曲线拟合的精度控制。

（3）采样方法

采用《导则》和《标准》均推荐或建议的“年最大值法”建立统计样本，即不论年次将 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、150min 和 180min 等 11 个降雨历时有效资料样本按从大到小顺序进行排序，作为建立暴雨强度公式的统计样本。

（4）样本年限

根据《导则》和《标准》的要求，暴雨强度公式编制采用的年最大值法基础资料年限至少需要 30 年以上。宜通过降水时间变化特征分析，合理选择资料年限，但需要包括最近年份的降雨资料。本报告选用 1993~2024 年共 32 年分钟数据作为统计样本时段。

3.5 建立统计样本

各历时年最大降水年际变化以波动性变化为主。由于各历时的历史资料各年间差距较大，具有较大波动性，特大值在整个降水序列中并没有显著影响拟合效果，故本报告保留特大值。

样本按照降序排列，样本经验频率按以下公式计算：

$$p=m/(n+1) \quad (3-1)$$

式中：

p —经验频率；

m —排序数；

n —样本容量，即样本总数。

重现期与经验频率按照以下公式换算：

$$P=1/p \quad (3-2)$$

式中：

P —重现期；

p —经验频率。

计算降雨重现期宜按 2 年、3 年、5 年、10 年、20 年、30 年、50 年、100 年等 8 个重现期计算，精度检验重点为重现期 2~20 年区间。

第四章 益阳市降水气候特征分析

4.1 基本特征

益阳市位于湖南省中北部，洞庭湖南岸。益阳属亚热带季风性湿润气候，具有降水充沛，雨热同期，四季分明的特点。

利用赫山国家气象观测站（站号 57674）1993～2024 年逐日降水资料统计益阳市基本降水特征，见表 4.1。

表 4.1 基本降水特征值（1993～2024 年）

要素		特征值
年降水量	年平均降水量/mm	1532.3
	年最大降水量/mm	2239.0
	出现年份	2002
月降水量	月最大降水量/mm	632.0
	出现月/年	6/1998
日降水量	日最大降水量	163.6
	出现日期	2016.7.4
暴雨日数	年平均暴雨日数/天	4.3
	年最多暴雨日数/天	11
	出现年份	1995

4.2 时间变化特征

1993～2024 年，赫山国家气象观测站累年平均降水量为 1532.3mm，降水量在 1028.1mm（2007 年）～2239.0mm（2002 年）之间变化（图 4.1）。

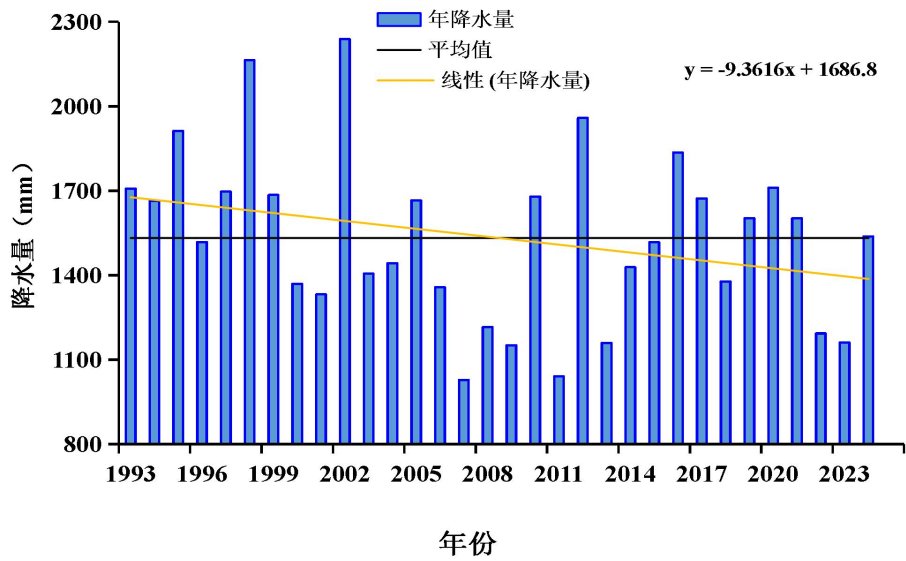


图 4.1 赫山国家气象观测站 1993~2024 年降水量年际变化

1993~2024 年，赫山国家气象观测站年平均降水日数为 154.2 天，降水日数在 120 天（2013 年）~181 天（1994 年）之间变化（图 4.2）。

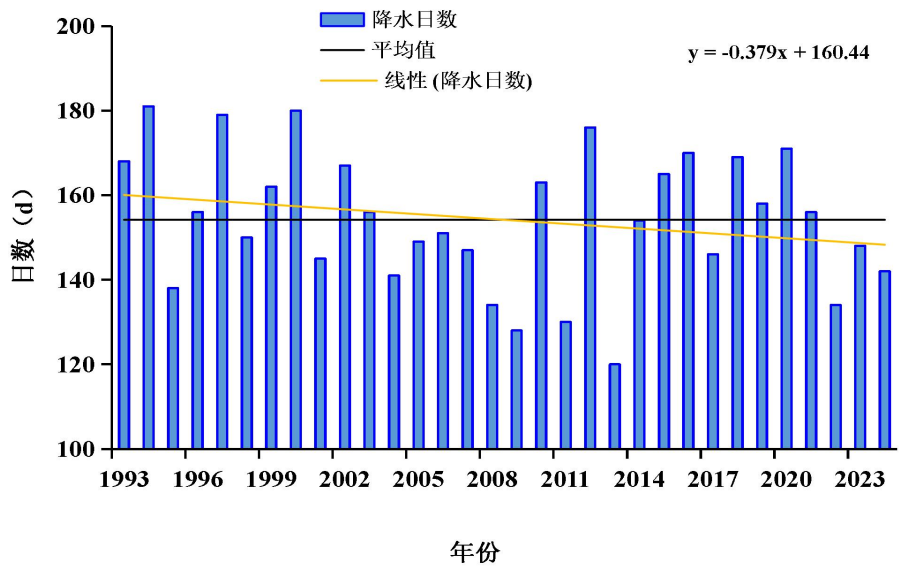


图 4.2 赫山国家气象观测站 1993~2024 年降水日数年际变化

1993~2024 年，赫山国家气象观测站累年平均暴雨日数为 4.3 天，年暴雨日数在 1（2000 年、2001 年、2009 年、2022 年、2023 年）~11 天（1995 年）之间变化（图 4.3）。

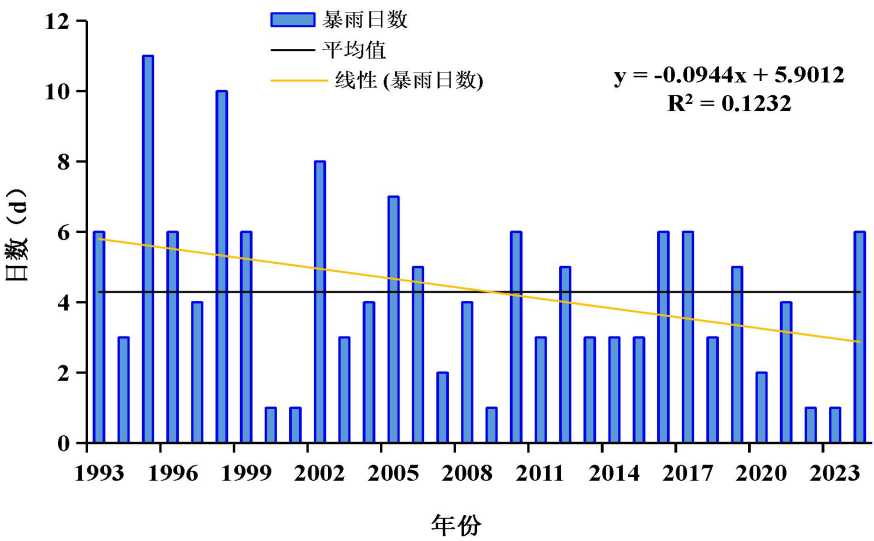


图 4.3 赫山国家气象观测站 1993~2024 年暴雨日数年际变化

1993~2024 年，赫山国家气象观测站 6 小时降水量最大值出现于 1997 年，达到 128.5mm；2018 年最大日降水量最小，仅 42.2mm；从趋势线情况来看，赫山国家气象观测站最大 6 小时降水量呈减少趋势（未通过 0.05 信度的显著性检验）（图 4.4）。

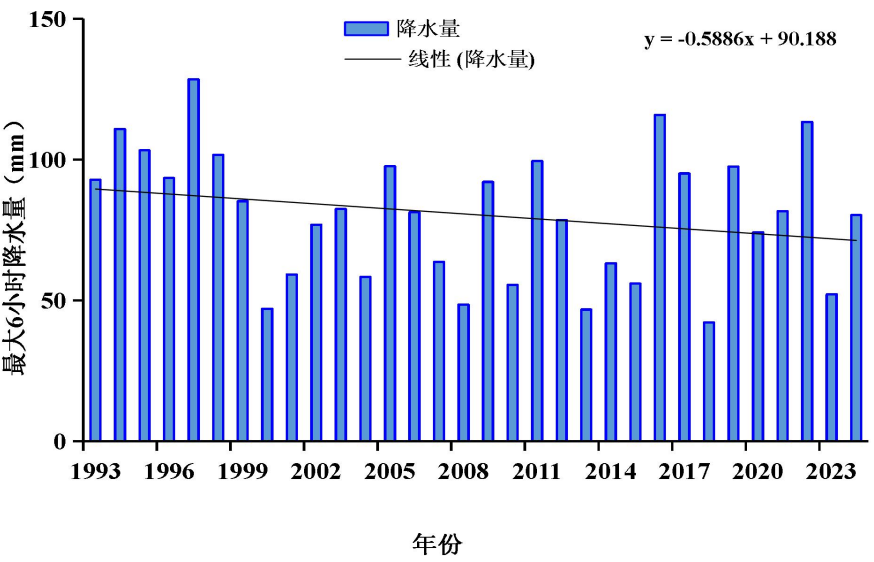


图 4.4 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 6 小时降水量年际变化

1993~2024 年，赫山国家气象观测站 12 小时降水量最大值出现于 2016 年，达到 149.6mm；2008 年最大日降水量最小，仅 48.6mm；

从趋势线情况来看，赫山国家气象观测站最大 12 小时降水量呈减少趋势（未通过 0.05 信度的显著性检验）（图 4.5）。

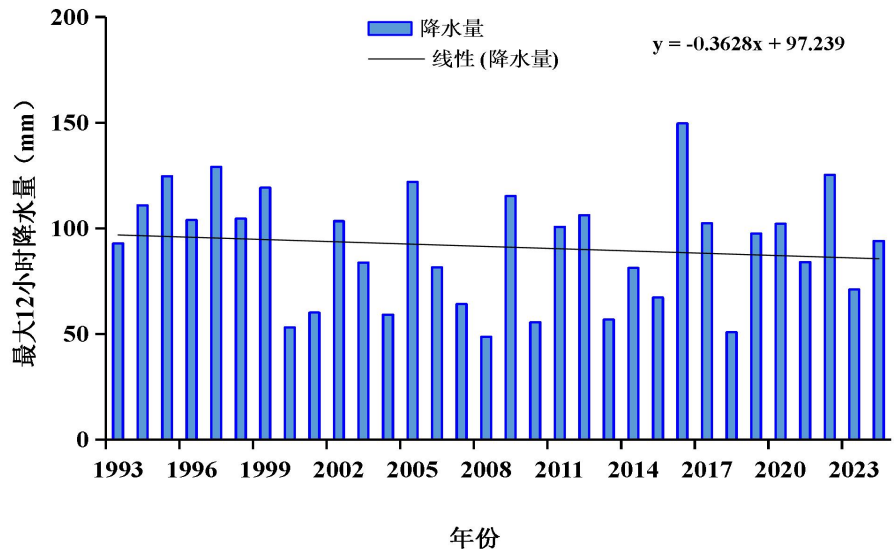


图 4.5 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 12 小时降水量年际变化

1993~2024 年，赫山国家气象观测站日降水量最大值出现于 2016 年，达到 163.6mm；2018 年最大日降水量最小，仅 54.0mm；从趋势线情况来看，赫山国家气象观测站最大日降水量呈减少趋势（未通过 0.05 信度的显著性检验）（图 4.6）。

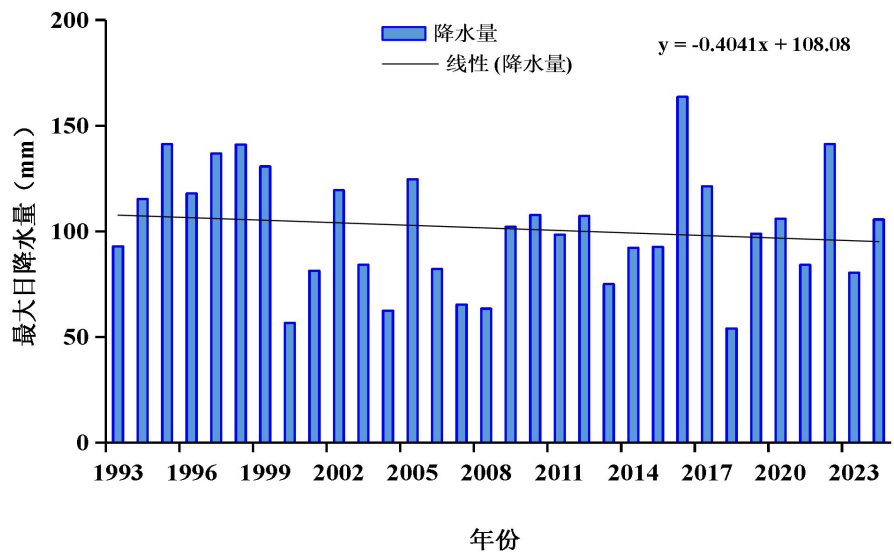


图 4.6 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大日降水量年际变化

4.3 短历时降水量变化特征

从 1993~2024 年共计 32 年的分钟雨量数据（自计纸及信息化分钟数据），滑动提取每年 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180min 共 11 个历时的最大降水量数据进行比较。对 1993~2024 年赫山 11 个历时年最大降水量均值数据（表 4.2）进行分析得出，5min 最大降水量 32 年平均值为 10.5mm，180min 均值为 65.6mm，其余各历时年最大降水量均值介于这两者之间。同时结合标准偏差数据进行分析得出，从 5min 到 180min，各历时年最大降水量标准偏差从 2.5 到 20.3 之间不断增大，说明从 5min 到 180min，各短历时年最大降水量在近 32 年间均值不断增大的同时，数据波动变化也更为显著。

另外，各历时年最大降水量变化趋势表现为：所有 11 个历时的气候倾向率均为负值，总体上各时段年最大降水量均呈现减少趋势。随着历时的增加，减少趋势越明显，其中 120min 历时减少最显著（表 4.2）。

表 4.2 赫山国家气象观测站 11 个历时年最大降水量均值、标准偏差及气候倾向率

历时（min）	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
均值（mm）	10.5	17.6	22.2	26.1	32.4	38.8	44.4	52.6	58.1	62.2	65.6
标准偏差	2.5	4.1	5.2	6.3	8.4	10.0	13.6	17.5	18.8	19.1	20.3
气候倾向率 （mm/10a）	-0.1	-0.5	-1	-1.1	-2.6	-3.3	-3.4	-3.5	-4.1	-3.9	-3.9

从各历时年最大降水量年际变化图（图 4.7 至图 4.17）可见，各历时（5min 至 180min）年最大降水量均呈减少趋势，平均每 10 年减少幅度随历时增加而增大，从 5min 的 0.1mm 增至 120min 的 4.1mm，

150min 和 180min 稳定在 3.9mm，但均未通过 0.05 信度的显著性检验，表明趋势性不明显。1997 年为极端降水高发年，5~60min 及 180min 的最大值均出现在该年；90min 和 120min 最大值均出现在 2019 年；150min 最大值出现在 2022 年。最小值多出现在 2000 年（60~180min）和 2006 年（5~20min）、2014 年（30~45min），显示 2000 年前后及 2006 年为相对少雨时段。

1993~2024 年，赫山最大 5min 降水量平均每 10 年减少 0.1mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 15.6mm（出现在 1997 年），最小值为 5.8mm（出现在 2006 年）。

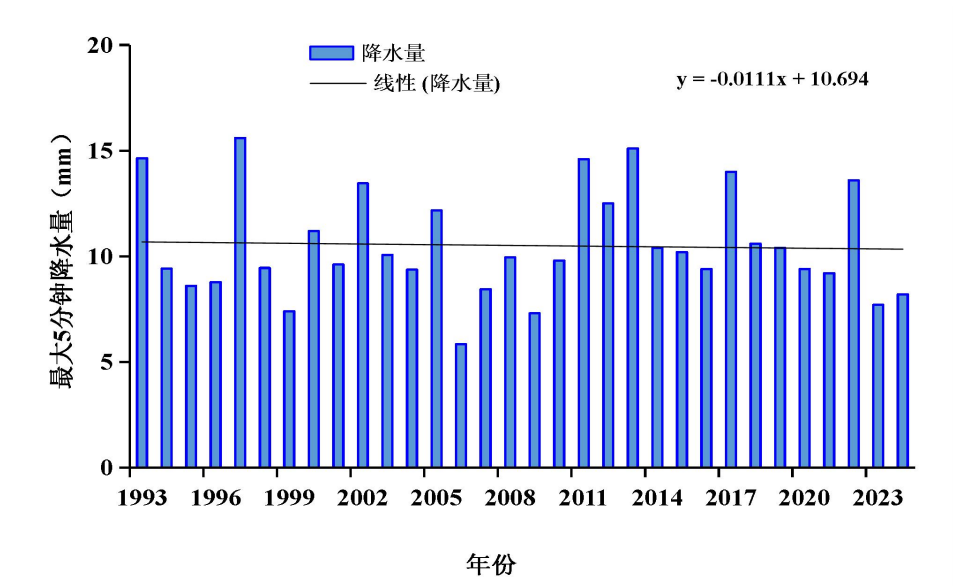


图 4.7 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 5min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 10min 降水量平均每 10 年减少 0.5mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 29.0mm（出现于 1997 年），最小值为 9.4mm（出现于 2006 年）。

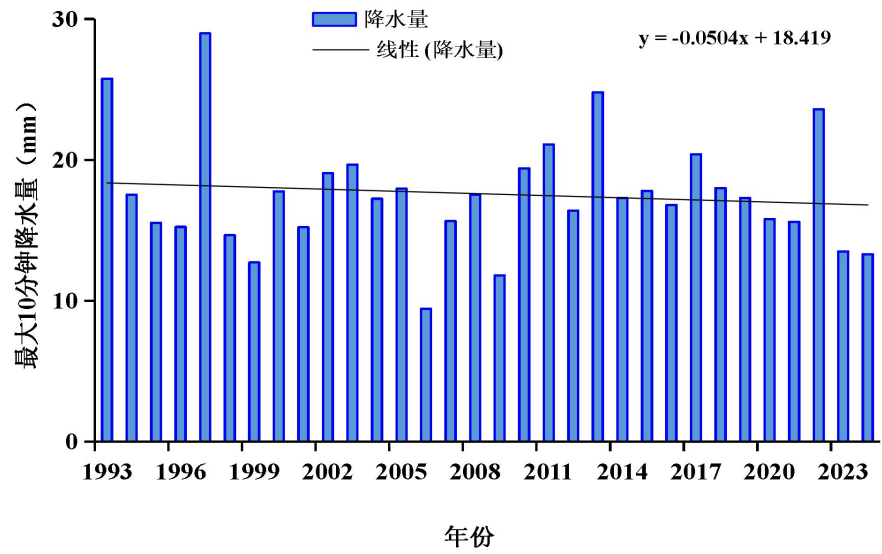


图 4.8 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 10min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 15min 降水量平均每 10 年减少 1.0mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 36.8mm（出现于 1997 年），最小值为 13.6mm（出现于 2006 年）。

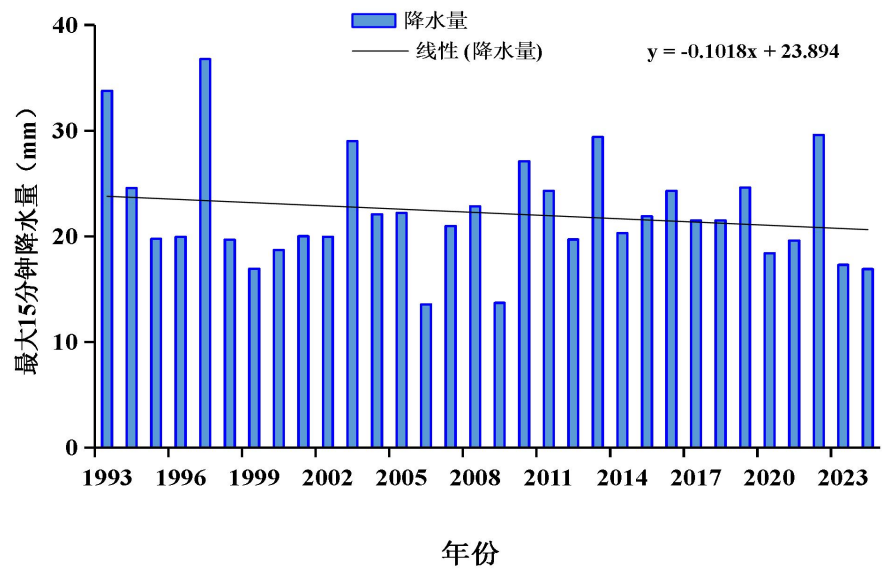


图 4.9 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 15min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 20min 降水量平均每 10 年减少 1.1mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 43.5mm（出现

于 1997 年），最小值为 15.5mm（出现于 2009 年）。

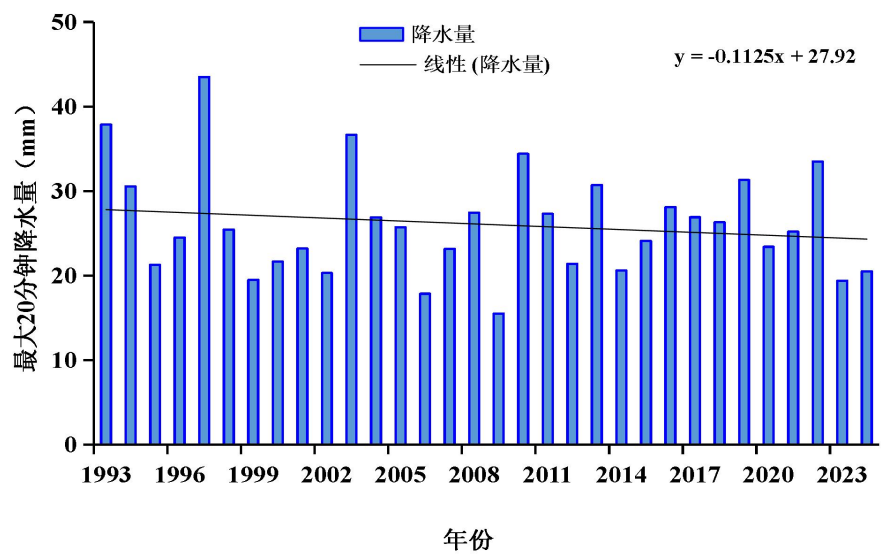


图 4.10 赫山国家气象观测站 1993～2024 年最大 20min 降水量历年变化图

1993～2024 年，赫山最大 30min 降水量平均每 10 年减少 2.6mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 58.8mm（出现于 1997 年），最小值为 21.9mm（出现于 2014 年）。

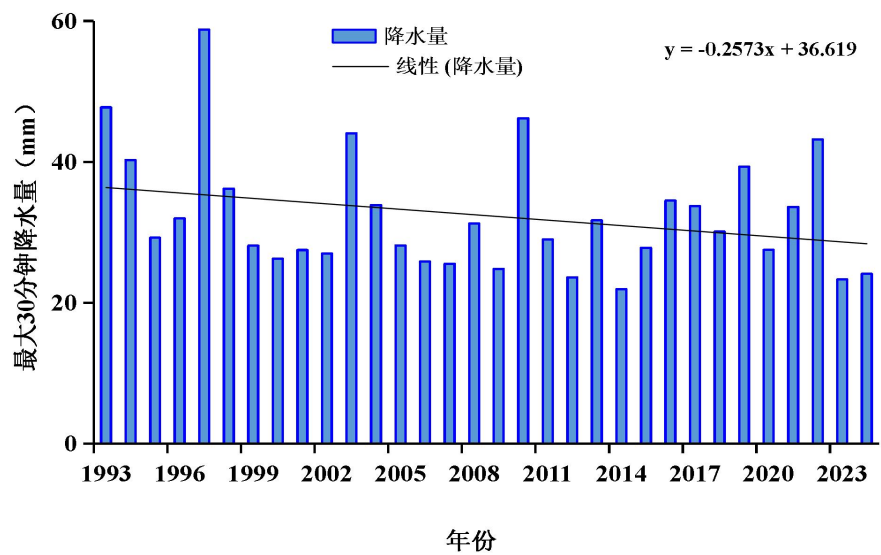


图 4.11 赫山国家气象观测站 1993～2024 年最大 30min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 45min 降水量平均每 10 年减少 3.3mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 65.9mm（出现于 1997 年），最小值为 24.1mm（出现于 2014 年）。

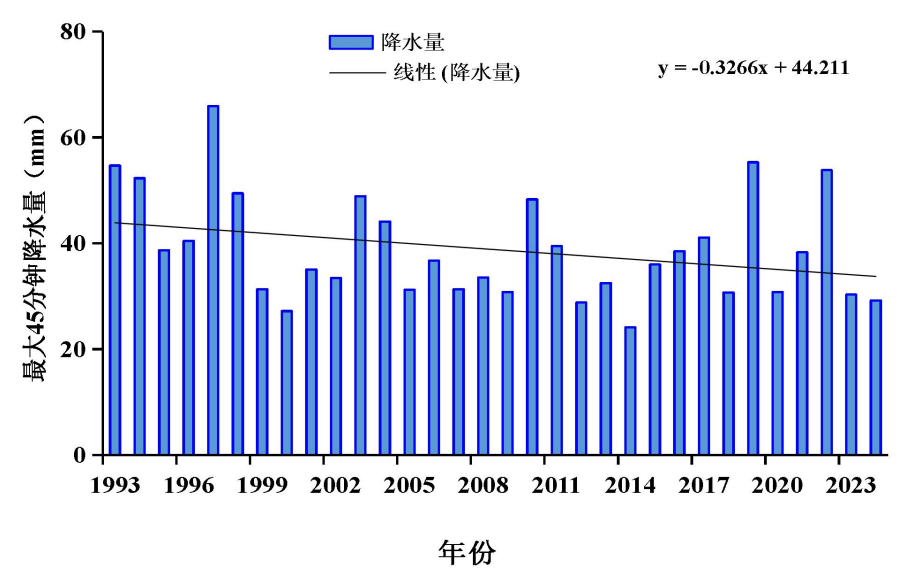


图 4.12 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 45min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 60min 降水量平均每 10 年减少 3.4mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 80.8mm（出现于 1997 年），最小值为 27.3mm（出现于 2000 年）。

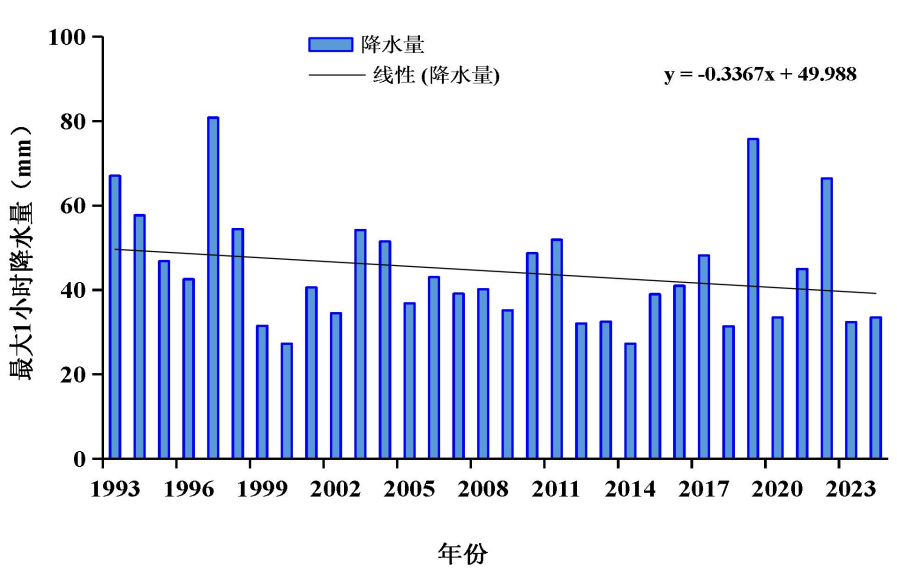


图 4.13 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 60min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 90min 降水量平均每 10 年减少 3.5mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 96.2mm（出现于 2019 年），最小值为 29.1mm（出现于 2000 年）。

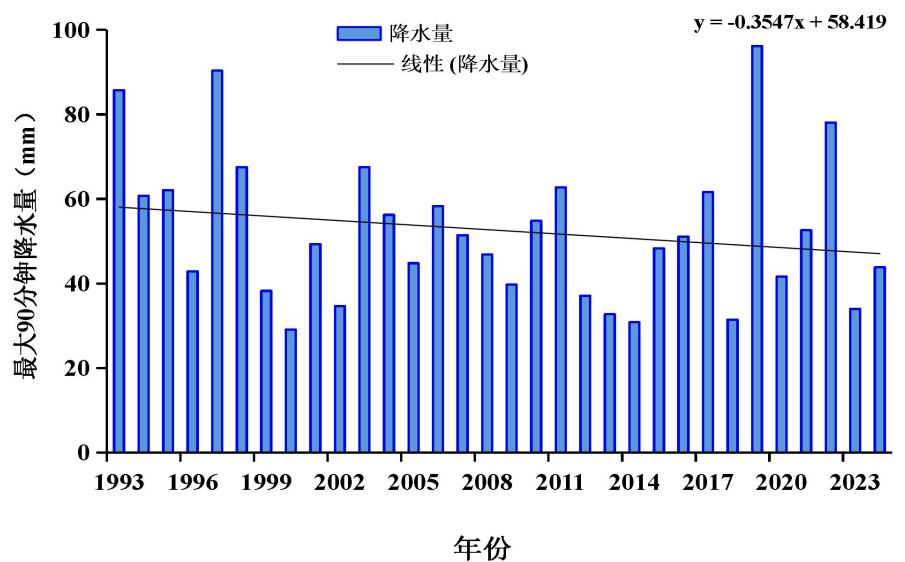


图 4.14 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 90min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 120min 降水量平均每 10 年减少 4.1mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 97.4mm（出现于 2019 年），最小值为 31.7mm（出现于 2000 年）。

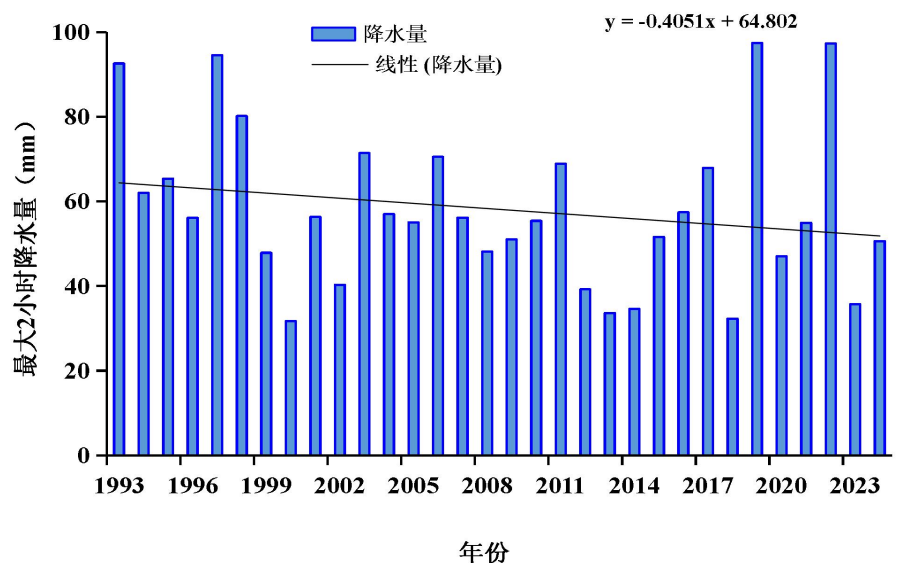


图 4.15 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 120min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 150min 降水量平均每 10 年减少 3.9mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 102.8mm（出现于 2022 年），最小值为 33.1mm（出现于 2000 年）。

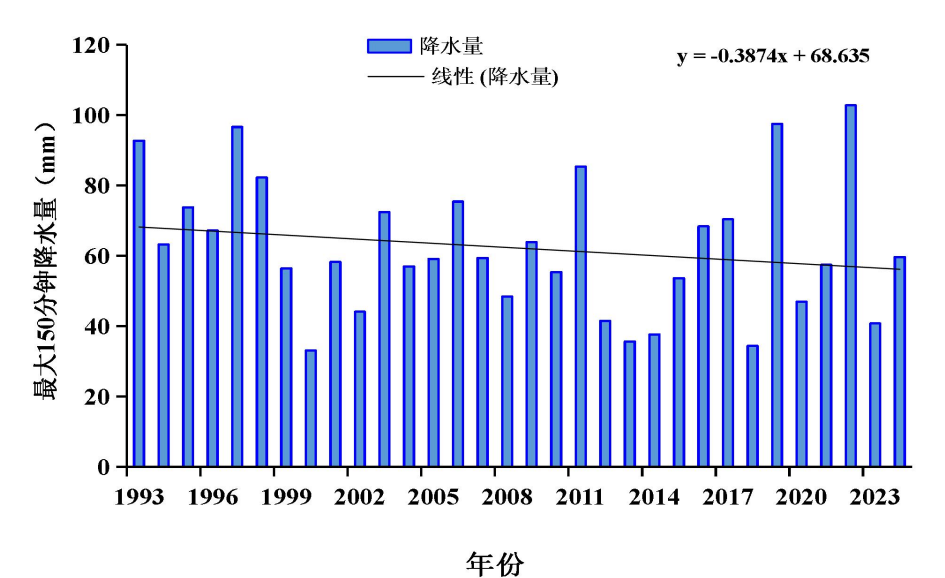


图 4.16 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 150min 降水量历年变化图

1993~2024 年，赫山最大 180min 降水量平均每 10 年减少 3.9mm（未通过 0.05 信度的显著性检验），期间，最大值为 109.2mm（出现于 1997 年），最小值为 33.8mm（出现于 2000 年）。

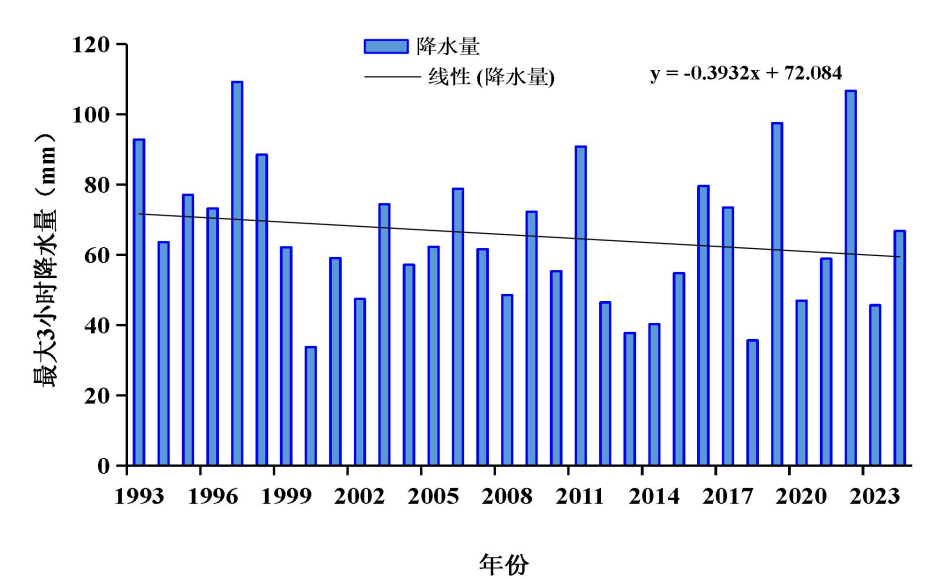


图 4.17 赫山国家气象观测站 1993~2024 年最大 180min 降水量历年变化图

4.4 降水量月际变化

从图 4.18 可以看出，益阳近 32 年（1993～2024 年）赫山国家气象观测站各月降水量在 50.8mm（12 月）～228.0mm（6 月）之间变化，季节变化特征明显，冬季（12～2 月）各月降水量在 50.8～92.5mm 之间，占全年降水量的 14.6%；春季（3～5 月）各月在 133.2～189.3mm 之间，占全年降水量的 32.9%；夏季（6～8 月）各月在 127.8～228.0mm 之间，占全年降水量的 35.4%；秋季（9～11 月）各月在 82.2～94.8mm 之间，占全年降水量的 17.1%。

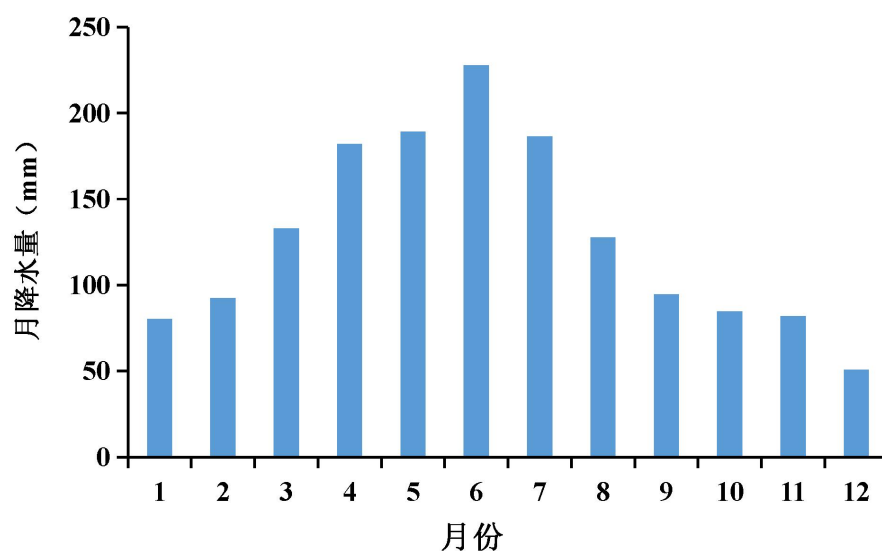


图 4.18 赫山国家气象观测站逐月降水量变化（1993～2024 年平均）

第五章 暴雨强度理论频率分布曲线拟合

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调整，选用何种曲线的关键是分布曲线对原始数据的拟合程度，误差越小、精度越高的分布越具有代表性，拟合精度以绝对均方误差和相对均方误差作为判断标准。根据《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》和《室外排水设计标准》（GB 50014-2021），推荐的理论概率曲线主要有皮尔逊-III型曲线、耿贝尔分布曲线、指数分布等。

5.1 皮尔逊-III型曲线

皮尔逊-III型曲线是一条一端有限一端无限的不对称单峰、正偏曲线，数学上常称伽玛分布，其概率密度函数为：

$$f(x) = \frac{\beta^a}{\Gamma(a)} (x - a_0)^{a-1} e^{-\beta(x-a_0)} \quad (5-1)$$

其中：

$\Gamma(a)$ 为 a 的伽玛函数； a 、 β 、 a_0 分别为皮尔逊-III型分布的形状尺度和位置未知参数， $a > 0$ ， $\beta > 0$ 。显然，三个参数确定以后，该密度函数随之可以确定。可以推论，这三个参数与总体三个参数 $\bar{x}$ 、 C_v 、 C_s 具有如下关系：

$$a = \frac{4}{C_s^2} \quad (5-2)$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x} C_v C_s} \quad (5-3)$$

$$a_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{2C_v}{C_s} \right) \quad (5-4)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2} \quad (5-5)$$

$$C_s = \frac{1}{n \cdot \sigma^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 = \frac{1}{n \cdot C_v^3} \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3 \quad (5-6)$$

其中： C_v 为变差系数， C_s 为偏态系数

计算中，一般要求出指定概率 P 所相应的随机变量取值 x_p ，也就是通过对密度曲线进行积分，即

$$p = P(x \geq x_p) = \frac{\beta^a}{\Gamma(a)} \int_{x_p}^{\infty} (x - a_0)^{a-1} e^{-\beta(x-a_0)} dx \quad (5-7)$$

求出等于及大于 x_p 的累积概率 P 值。直接由上式计算 P 值过程繁琐，实际做法是通过变量转换，变换成下面的积分形式

$$p(\Phi \geq \Phi_p) = \int_{\Phi_p}^{\infty} f(\Phi \cdot C_s) d\Phi \quad (5-8)$$

式中被积函数只含有一个待定参数 C_s ，其它两个参数 $\bar{x}$ 、 C_v 都包含在 $\frac{\sigma(y)}{\sigma(x)}$ 中。 $\Phi = \frac{x - \bar{x}}{x C_v}$ 是标准化变量，称为离均系数。 Φ 的均值为 0，标准差为 1。因此，只需要假定一个 C_s 值，便可从上式通过积分求出 p 与 Φ 之间的关系。对于若干个给定的 C_s 值， Φ_p 和 p 的对应数值表，已先后由美国福斯特和前苏联雷布京制作出来，皮尔逊Ⅲ型概率曲线的离均系数 Φ_p 值表。由 Φ 就可以求出相应概率 p 的 x 值：

$$x = \bar{x} (1 + C_v \Phi) \quad (5-9)$$

在已知 $\bar{x}$, C_v 和 C_s 条件下, 即可编绘出 x_p 与频率 p 的关系曲线, 继而得出编制暴雨强度公式所需的 P-i-t 数据关系表。

5.2 耿贝尔分布曲线

耿贝尔 (Gumbel) 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。有 n 年年最大值就有 n 个最大项 x , 组成一个分布, 因最大项是极值, 因此其分布又称为极值分布。Gumbel 分布频率曲线实际上是皮尔逊III 曲线的一个特例, 其 C_s 固定为 1.140, 所以只有均值、 C_v 两个参数, 计算简便, 其概率密度的数学表达式为:

$$F(x) = \exp(-\exp(-(x-b)/a)) \quad (5-10)$$

公式中 a 为分布的尺度参数, b 为分布的位置参数。

频率拟合值 x 的计算公式为 (P 为重现期):

$$x = -a \times (\ln(\ln P/(P-1))) + b \quad (5-11)$$

5.3 指数分布曲线

指数分布函数为:

$$X = a \times \lg Te + b \quad (5-12)$$

公式中 X 表示一定历时的降雨强度; a 表示离散程度的参数; b 表示分布曲线的下线; Te 表示重现期。参数 a 、 b 用最小二乘法求得:

$$a = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \times \lg Te_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg Te_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lg Te_i)^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lg Te_i) \right)^2} \quad (5-13)$$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - a \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg T e_i \quad (5-14)$$

参数 a 、 b 确定后，根据上述指数分布公式，可以计算出不同重现期的暴雨强度。

5.4 频率分布曲线拟合方法的选取

根据本地降雨特点，选取赫山国家气象观测站作为代表站点进行多种频率分布函数的拟合试验，从中选取拟合效果较好的理论频率曲线函数类型。

采用理论频率曲线拟合频率分布曲线时，应结合当地统计分析降雨频率的经验，宜在控制拟合精度的同时，注意频率曲线的总体协调。

根据编制暴雨强度公式重现期的范围要求（2~100 年区间），需对拟合确定的频率分布曲线进行适线外延。

根据确定的频率分布曲线，得出重现期（ P ）、降雨强度（ i ）和降雨历时（ t ）三者关系值，即 $P-i-t$ 关系表。

第六章 暴雨强度公式推求方法

6.1 暴雨强度总公式的表达形式

根据《导则》和《标准》中推荐的暴雨强度公式的编制方法，本报告采用年最大值法进行计算。暴雨强度公式的定义为：

$$q = \frac{167A_1 \times (1 + C \times \lg P)}{(t + b)^n} \quad (6-1)$$

其中：

q—暴雨强度，单位：L/（s•hm²）；

P—设计重现期，单位：a；

t—降雨历时，单位：min。

A₁、b、c、n 是与地方暴雨特性有关且需根据统计方法进行求解的参数：

A₁—雨力参数，即重现期为 1a 时的 1min 设计降雨量，单位：mm；

C—雨力变动参数，反映设计降雨在各历时、不同重现期的强度变化程度；

b—降雨历时修正参数，即对暴雨强度公式两边求对数后能使曲线化成直线所加的一个时间参数，单位：min；

n—暴雨衰减指数，与重现期有关。

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 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（hm²）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 1hm^2 的降水容量为 $10000/60\approx 167$ （L/S/ hm^2 ），则雨强 q （L/S/ hm^2 ）与雨强 i （mm/min）之间可以 $q\approx 167i$ 进行换算。

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，单位用年。

6.2 暴雨强度公式各参数估算

暴雨强度公式可以采用符合数理统计理论基础的数学优化方法求解参数，包括求解非线性方程的方法或最优化方法率定暴雨强度公式参数。常用求解非线性方程的方法有：牛顿迭代法、最小二乘法、高斯-牛顿法、麦夸尔特法、优选回归分析法等，其中最小二乘法和高斯-牛顿法是最常用的非线性方程求解方法，广泛应用于暴雨强度公式参数求解。常用最优化方法有：加速遗传算法、蚁群算法等，这些属于智能优化算法，广泛应用于暴雨强度公式参数的优化求解。在编制重现期 2~100 年范围的暴雨强度公式时，应重点保证重现期 2~20 年区间的拟合精度。

暴雨强度公式为已知关系式的超定非线性方程，公式中有 A_1 、 b 、 C 、 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。报告运用最小二乘法以及高斯牛顿法进行参数估算。

（1）最小二乘法

暴雨强度公式拟合包括对单一重现期暴雨强度公式的拟合以及区间参数公式拟合。

①单一重现期暴雨强度公式拟合

单一重现期包括 2、3、5、10、20、30、50、100 年一遇这 8 个重现期。首先推算这 8 个重现期暴雨强度公式的需求参数 A 、 b 、 n 。

用常规方法无法求解暴雨强度公式 $q = \frac{167A}{(t+b)^n}$ ，将公式两边取对数得： $\ln q = \ln 167A - n \ln(t+b)$ ，令 $y = \ln q, b_0 = \ln 167A, b_1 = -n, x = \ln(t+b)$ ，那么上式就变为 $y = b_0 + b_1 x$ ，应用最小二乘法，可求出 b_0 、 b_1 ，则 A 、 n 可求。但在具体计算时，由于 b 也是未知数，因此还无法应用最小二乘法求解方程。这时将 b 值在 $(0, 50)$ 范围内取值，步长为 0.001，应用最小二乘法求得 A 、 n 值。将此 A 、 n 、 b 代入公式 $q = \frac{167A}{(t+b)^n}$ ，计算出暴雨强度 q'' ，同时算出理论降雨强度 q' 与计算的暴雨强度 q'' 的平均绝对方差 σ ，采用数值逼近法选取 σ 最小的一组 A 、 b 、 n 为所求。这样，可将 8 个单一重现期暴雨强度公式逐个推算出来。

②区间参数公式拟合

由于上面求得的是单一重现期的暴雨强度公式，而两个单一重现

期之间的暴雨强度还无法求得，例如重现期为 5 年、10 年的暴雨强度可求得，但重现期为 8 年的暴雨强度则无法计算，因此通过引入重现期区间参数公式，可以顺利解决这个问题。

经反复推算和筛选，用公式 $y=b_1+b_2\ln(T+C)$ 作为区间参数公式来求算区间参数值效果最佳（式中 y 为 A 、 b 、 n 参数中的任一个， T 重现期， C 常数）。

首先把 1~100 年分为（I）：1~10 年，以及（II）：10~100 年二个区间，将 A 、 b 、 n 代入公式 $y=b_1+b_2\ln(T+C)$ 得：

$$A = A_1 + A_2 \ln(T + C_A) \quad (6-2)$$

$$b = b_1 + b_2 \ln(T + C_b) \quad (6-3)$$

$$n = n_1 + n_2 \ln(T + C_n) \quad (6-4)$$

上面三式中 A 、 b 、 n 和 T 是已知数， A_1 、 A_2 、 C_A 、 b_1 、 b_2 、 C_b 及 n_1 、 n_2 、 C_n 都是未知数，根据上面求得单一重现期 T 下的 A 、 b 、 n 值，同理，利用单一重现期暴雨强度公式拟合方法，常数 C 分别在 $(-0.25, 0)$ 区间、 $(-1, 0)$ 区间和 $(-10, 0)$ 区间取值，应用最小二乘法分别求得 A_1 、 A_2 、 b_1 、 b_2 、 n_1 和 n_2 ，采用数值逼近法直至平均绝对方差为最小，这时的一组参数值即为未知数 A_1 、 A_2 、 C_A 、 b_1 、 b_2 、 C_b 和 n_1 、 n_2 、 C_n 的值，可算得 I、II、III 三个区间的 A 、 b 、 n 值，

将它们代入公式 $q = \frac{167A}{(t+b)^n}$ ，可得 1~100 年之间的任意一个重现期暴雨强度公式，从而可计算任意重现期的暴雨强度。

（2）高斯牛顿法

推算 2、3、5、10、20、30、50、100 年一遇这 8 个重现期暴雨

强度公式的需求参数 A、b、n，然后计算得到总公式迭代的初始参数 A_0 、 C_0 、 b_0 、 n_0 ，用高斯牛顿法通过多次迭代直至 A、C、b、n 收敛，作为总公式的需求参数。

$$\text{总公式: } q = \frac{A + C \lg T}{(t + b)^n} \quad (6-5)$$

$$\text{设一般的非线性回归模型为: } y = f(x, \theta) + \varepsilon \quad (6-6)$$

待定参数 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)'$ ，参数递推公式为：

$$\theta_{(k+1)} = \theta_{(k)} + [J'(\theta_{(k)})J(\theta_{(k)})]^{-1}J'(\theta_{(k)})[y - f(\theta_{(k)})] \quad (6-7)$$

式中 k 为递推次数。

$$J(\theta_{(k)}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(\theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_1(\theta)}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial f_1(\theta)}{\partial \theta_p} \\ \frac{\partial f_2(\theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_2(\theta)}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial f_2(\theta)}{\partial \theta_p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_m(\theta)}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_m(\theta)}{\partial \theta_2} & \cdots & \frac{\partial f_m(\theta)}{\partial \theta_p} \end{bmatrix}_{\theta=\theta_k} \quad (6-8)$$

$y = (y_1, y_2, \dots, y_p)'$ ， $f(\theta_{(k)}) = [f_1\theta_{(k)}, f_2\theta_{(k)}, \dots, f_m\theta_{(k)}]'$ 。用式 (6-7) 从 $\theta_{(0)}$ 开始，一步步递推下去，直到 $\theta_{(k)}$ 收敛稳定，即 $|\theta_{(k+1)} - \theta_{(k)}|$ 的值小于或等于预先指定的小正数 δ ，从而得到 θ 的估计值 θ' 。

6.3 暴雨强度公式拟合精度检验

为确保计算结果的准确性，在合理取舍有效参数的同时，需对暴雨强度计算结果进行精度检验，按《标准》的要求，需计算抽样误差和暴雨强度公式均方差。宜按绝对均方差计算，也可辅以相对均方差计算。计算重现期为 2~20 年，在一般降雨强度时，平均绝对均方差

不宜大于 0.05mm/min；在较大降雨强度时，平均相对均方差不宜大于 5%。误差统计表达式如下：

平均绝对均方根误差：

$$X_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{t_i} \right)^2} \quad (6-9)$$

平均相对均方根误差：

$$U_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{R_i} \right)^2} \times 100\% \quad (6-10)$$

式中， R' 为理论降雨量， R 为 P-i-t 曲线确定的降雨量， t 为降水历时， n 为样本。

第七章 暴雨强度公式推求

7.1 样本资料的理论频率分布曲线拟合

暴雨强度公式的精度取决于暴雨资料的可靠性和公式中参数的合理性。在暴雨资料已定的情况下，参数的合理性取决于暴雨强度公式对实测原始数据的拟合程度。频率分布线型的选择对城市暴雨强度公式的编制精度起到保证作用。因为它直接关系到重现期、降雨强度和降雨历时三者关系的可靠性。频率分布线型实际上是一种描述资料分布统计规律的模型，是一种外延或内插的频率分析工具。为了确定最优的频率分布线性，本报告采用《标准》推荐的皮尔逊-III型分布、耿贝尔分布和指数分布曲线进行拟合调整，最后通过精度检验确定最优的频率分布曲线。

频率分布曲线拟合基于选取的统计样本，采用经验频率曲线或理论频率曲线进行趋势性拟合调整。经验频率曲线，是由实测资料绘制而成的，根据实测资料，按从大到小的顺序排列，然后用经验频率公式计算系列中各项的频率，称为经验频率。以降水变量为纵坐标，经验频率为横坐标，点绘经验频率点据，根据点群趋势绘出一条平滑的曲线，称为经验频率曲线。经验频率曲线计算工作量小，绘制简单，查用方便，但受实测资料所限，往往难以满足设计上的需要。理论频率曲线则是从数理统计学的已知频率函数中，选取与实测资料分布趋势相符合的数学曲线（如皮尔逊-III型分布、耿贝尔分布等），以数

学方程式的形式表达频率与变量之间的关系，克服经验频率曲线在外延时的主观性和任意性。

所以，一般选择理论频率曲线来配合经验点据。

利用赫山国家气象观测站 1993~2024 年 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、150min、180min 共 11 个降雨历时最大降水量作为样本资料，采用皮尔逊-III型分布、耿贝尔分布和指数分布曲线进行拟合调整，得出重现期（年）、降雨强度（mm/min）和降雨历时(min)三者的关系，作为编制城市暴雨强度公式的直接数据，P-i-t 的关系值见表 7.1-7.3。

表 7.1 雨强、历时、重现期（P-i-t）三联表（P-III 型分布）（单位：mm/min）

t p	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1	1.564	1.333	1.124	0.974	0.813	0.636	0.515	0.384	0.320	0.276	0.242
2	2.032	1.738	1.434	1.249	0.994	0.809	0.678	0.540	0.457	0.397	0.349
3	2.226	1.891	1.563	1.370	1.085	0.892	0.761	0.611	0.518	0.447	0.393
5	2.522	2.098	1.759	1.559	1.275	1.036	0.911	0.736	0.612	0.523	0.460
10	2.823	2.300	1.959	1.754	1.482	1.187	1.073	0.867	0.710	0.601	0.529
20	3.093	2.474	2.138	1.935	1.684	1.336	1.231	0.989	0.800	0.670	0.590
50	3.421	2.672	2.355	2.157	1.949	1.524	1.436	1.147	0.911	0.755	0.664
100	3.658	2.808	2.512	2.319	2.148	1.661	1.589	1.261	0.992	0.815	0.718

表 7.2 雨强、历时、重现期（P-i-t）三联表（耿贝尔分布）（单位：mm/min）

t p	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1	1.609	1.358	1.138	0.995	0.802	0.643	0.516	0.392	0.330	0.289	0.253
2	2.027	1.697	1.428	1.256	1.037	0.829	0.706	0.555	0.461	0.396	0.347
3	2.263	1.889	1.592	1.404	1.169	0.934	0.813	0.646	0.534	0.456	0.401
5	2.526	2.102	1.775	1.568	1.317	1.051	0.933	0.748	0.617	0.523	0.460
10	2.856	2.370	2.004	1.774	1.502	1.198	1.083	0.877	0.720	0.607	0.534
20	3.172	2.627	2.224	1.972	1.679	1.339	1.227	1.000	0.819	0.687	0.605
50	3.582	2.960	2.509	2.229	1.909	1.521	1.413	1.159	0.947	0.792	0.697
100	3.890	3.209	2.723	2.421	2.082	1.658	1.552	1.278	1.043	0.870	0.766

表 7.3 雨强、历时、重现期 (P-i-t) 三联表 (指数分布) (单位: mm/min)

$\begin{matrix} t \\ p \end{matrix}$	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1	1.572	1.323	1.104	0.961	0.770	0.620	0.490	0.372	0.317	0.279	0.244
2	1.960	1.642	1.380	1.211	0.996	0.798	0.673	0.527	0.439	0.378	0.332
3	2.187	1.828	1.541	1.358	1.128	0.901	0.780	0.618	0.511	0.437	0.384
5	2.473	2.063	1.744	1.542	1.295	1.032	0.915	0.732	0.601	0.510	0.449
10	2.861	2.381	2.020	1.792	1.521	1.210	1.098	0.888	0.723	0.609	0.537
20	3.249	2.699	2.296	2.041	1.747	1.387	1.281	1.043	0.846	0.709	0.625
50	3.762	3.120	2.660	2.372	2.046	1.622	1.523	1.248	1.007	0.840	0.741
100	4.150	3.439	2.936	2.622	2.272	1.799	1.706	1.403	1.129	0.939	0.829

7.2 精度检验

依据频率分布曲线拟合得到的 P-i-t 关系值, 采用最小二乘法和高斯牛顿进行参数率定并计算暴雨强度公式均方差, 详见表 7.4-7.6。根据《标准》, 计算抽样误差和暴雨强度公式均方差, 宜按照绝对均方差计算, 也可辅以相对均方差。计算重现期 2~20 年时, 在一般降雨强度的地方, 平均绝对均方差不宜大于 0.05mm/min, 在强度较大的地方, 平均相对均方差不宜大于 5%。

最小二乘法单一重现期公式拟合误差见表 7.4, 指数分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.023mm/min, 平均相对均方差为 1.850%; 耿贝尔分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.022mm/min, 平均相对均方差为 1.775%; P-III 型分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.032mm/min, 平均相对均方差为 2.619%。分析可知基于指数分布、耿贝尔分布、P-III 型分布的 2~20 年重现期最小二乘法拟合的平均绝对均方差和平均相对均方差误差均满足精

度要求（满足精度要求以黑色加粗标记，下同），对比而言耿贝尔分布拟合效果最好。

最小二乘法总公式拟合误差见表 7.5，指数分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.031mm/min，平均相对均方差为 2.466%；耿贝尔分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.029mm/min，平均相对均方差为 2.279%；P-III 型分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.043mm/min，平均相对均方差为 3.468%。分析可知基于指数分布、耿贝尔分布、P-III 型分布的 2~20 年重现期最小二乘法拟合的平均绝对均方差和平均相对均方差误差均满足精度要求。相比较而言耿贝尔分布拟合效果最好。

高斯牛顿法暴雨强度公式拟合误差见表 7.6，可以得出：指数分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.033mm/min，平均相对均方差为 2.656%；耿贝尔分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.034mm/min，平均相对均方差为 2.684%；P-III 型分布下重现期 2~20 年的平均绝对均方差为 0.054mm/min，平均相对均方差为 4.377%。分析可知基于指数分布、耿贝尔分布、P-III 型分布的 2~20 年重现期高斯牛顿方法拟合的平均相对均方差误差均满足精度要求。总体而言，指数分布拟合效果更好。

综合比较指数分布、耿贝尔分布以及 P-III 型分布曲线对样本资料进行频率调整后得到的曲线拟合误差，以及运用最小二乘法、高斯牛顿法分别对三种分布曲线得到的 P-i-t 三联表数据进行参数估算后得到的公式误差。针对赫山 1993~2024 年共 32 年的降水数据，相比

之下, 耿贝尔分布进行曲线拟合, 然后再利用最小二乘法进行参数估算, 得到的理论频率曲线、益阳暴雨强度总、分公式的绝对均方根误差、相对均方根误差更小一些。推荐使用基于耿贝尔分布、年最大值法选样、最小二乘法估算参数推算益阳市暴雨强度公式。

表 7.4 最小二乘法所求暴雨强度单一重现期公式误差一览表

	$T(\text{年})$	1	2	3	5	10	20	50	100	总的	2~20
指数分布	$\sigma(mm)$	0.014	0.012	0.012	0.017	0.026	0.038	0.050	0.060	0.034	0.023
	$f(\%)$	1.959	1.230	1.095	1.372	1.807	2.362	2.637	2.854	2.442	1.850
耿贝尔分布	$\sigma(mm)$	0.012	0.013	0.013	0.018	0.025	0.035	0.043	0.050	0.029	0.022
	$f(\%)$	1.630	1.351	1.204	1.429	1.749	2.224	2.392	2.541	2.183	1.775
P-III 型分布	$\sigma(mm)$	0.019	0.027	0.035	0.017	0.026	0.049	0.086	0.116	0.057	0.032
	$f(\%)$	2.510	2.769	3.238	1.417	1.877	3.156	4.959	6.207	4.357	2.619

表 7.5 最小二乘法所求暴雨强度总公式误差一览表

	$T(\text{年})$	1	2	3	5	10	20	50	100	总的	2~20
指数分布	$\sigma(mm)$	0.051	0.033	0.025	0.019	0.027	0.044	0.069	0.089	0.050	0.031
	$f(\%)$	6.986	3.545	2.319	1.577	1.924	2.706	3.628	4.197	3.633	2.466
耿贝尔分布	$\sigma(mm)$	0.070	0.032	0.021	0.019	0.024	0.041	0.073	0.099	0.055	0.029
	$f(\%)$	9.291	3.232	1.931	1.563	1.726	2.624	4.052	5.060	4.065	2.279
P-III 型分布	$\sigma(mm)$	0.080	0.045	0.041	0.029	0.025	0.063	0.137	0.199	0.096	0.043
	$f(\%)$	10.77	4.686	3.858	2.395	1.820	4.088	7.907	10.69	7.307	3.468

表 7.6 高斯牛顿法所求暴雨强度公式误差一览表

	$T(\text{年})$	1	2	3	5	10	20	50	100	总的	2~20
指数分布	$\sigma(mm)$	0.058	0.042	0.034	0.027	0.026	0.035	0.055	0.071	0.046	0.033
	$f(\%)$	7.859	4.476	3.216	2.198	1.801	2.159	2.870	3.366	3.337	2.656
耿贝尔分布	$\sigma(mm)$	0.070	0.035	0.034	0.035	0.033	0.033	0.047	0.065	0.046	0.034
	$f(\%)$	9.190	3.560	3.045	2.833	2.308	2.104	2.649	3.327	3.417	2.684
P-III 型分布	$\sigma(mm)$	0.094	0.059	0.056	0.057	0.048	0.049	0.090	0.137	0.079	0.054
	$f(\%)$	12.644	6.129	5.234	4.665	3.470	3.207	5.231	7.333	6.028	4.377

7.3 暴雨强度公式推求结果

采用年最大值法、耿贝尔分布拟合、最小二乘法，推求得到暴雨强度总公式，同时得到单一重现期公式和区间参数公式。

① 总公式

$$i = \frac{8.44 \times (1 + 0.711 \lg P)}{(t + 8.457)^{0.622}} \quad (\text{单位: mm/min}) \text{ 或}$$
$$q = \frac{1407.431 \times (1 + 0.711 \lg P)}{(t + 8.457)^{0.622}} \quad (\text{单位: L/(s} \cdot \text{hm}^2))$$

② 单一重现期公式

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

表 7.7 益阳市单一重现期暴雨强度计算公式表
(基于耿贝尔分布、年最大值法选样、最小二乘法估算)

重现期/a	公式 (单位: L/(s·hm²))	公式 (单位: mm/min)
1	2397.118 / (t + 12.076) ^{0.770}	14.383 / (t + 12.076) ^{0.770}
2	2370.231 / (t + 10.541) ^{0.705}	14.221 / (t + 10.541) ^{0.705}
3	2357.205 / (t + 9.866) ^{0.678}	14.143 / (t + 9.866) ^{0.678}
5	2342.008 / (t + 9.103) ^{0.648}	14.052 / (t + 9.103) ^{0.648}
10	2385.261 / (t + 8.318) ^{0.620}	14.312 / (t + 8.318) ^{0.620}
20	2487.799 / (t + 7.914) ^{0.601}	14.927 / (t + 7.914) ^{0.601}
50	2622.735 / (t + 7.420) ^{0.584}	15.736 / (t + 7.420) ^{0.584}
100	2724.605 / (t + 7.059) ^{0.574}	16.348 / (t + 7.059) ^{0.574}

表 7.8 益阳市暴雨强度区间公式参数一览表
(耿贝尔分布、年最大值法选样、最小二乘法估算)

重现期/a	区间	参数	公式
1~10	II	n	$0.720 - 0.049\text{Ln}(T - 0.640)$
		b	$10.992 - 1.270\text{Ln}(T - 0.574)$
		A	$14.262 - 0.157\text{Ln}(T - 0.444)$
10~100	III	n	$0.637 - 0.014\text{Ln}(T - 6.737)$
		b	$9.389 - 0.508\text{Ln}(T - 1.764)$
		A	$12.268 + 0.879\text{Ln}(T - 0.107)$

基于暴雨强度总、分公式，进一步推算得到益阳市 11 个历时 8 个重现期降雨量值（表 7.9）。

表 7.9 益阳市 11 个历时 8 个重现期降雨量 （单位：mm）

t p	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
2	10.258	16.853	21.680	25.484	31.306	37.613	42.371	49.507	54.910	59.324	63.089
3	11.321	18.602	23.964	28.219	34.801	42.038	47.580	56.017	62.505	67.862	72.471
5	12.621	20.736	26.754	31.570	39.106	47.529	54.079	64.217	72.139	78.754	84.498
10	14.343	23.542	30.405	35.939	44.692	54.622	62.454	74.753	84.501	92.726	99.922
20	16.007	26.298	34.023	40.289	50.276	61.723	70.834	85.279	96.833	106.64	115.271
30	16.904	27.764	35.931	42.572	53.189	65.408	75.172	90.713	103.19	113.81	123.177
50	18.032	29.598	38.314	45.419	56.816	69.995	80.571	97.479	111.11	122.75	133.042
100	19.538	32.022	41.444	49.144	61.541	75.951	87.569	106.23	121.35	134.31	145.796

第八章 新编公式与现行公式比较

8.1 暴雨强度公式

本次新编的短历时暴雨强度公式所用降水资料取样时间为 1993~2024 年共 32 年的赫山国家气象观测站降水资料,新编暴雨强度总公式为:

$$q = \frac{1407.431 \times (1 + 0.711 \lg P)}{(t + 8.457)^{0.622}} \quad (8-1)$$

在本次编制工作开展之前, 益阳市采用的短历时暴雨强度公式是基于 1980~2013 年共 34 年的赫山国家气象观测站降水资料, 采用数理统计推算的强度公式, 现行短历时暴雨强度公式(2013 年版)编制结果为:

$$q = \frac{1938.299 \times (1 + 0.802 \lg P)}{(t + 9.434)^{0.703}} \quad (8-2)$$

8.2 新编公式与现行公式雨强比较

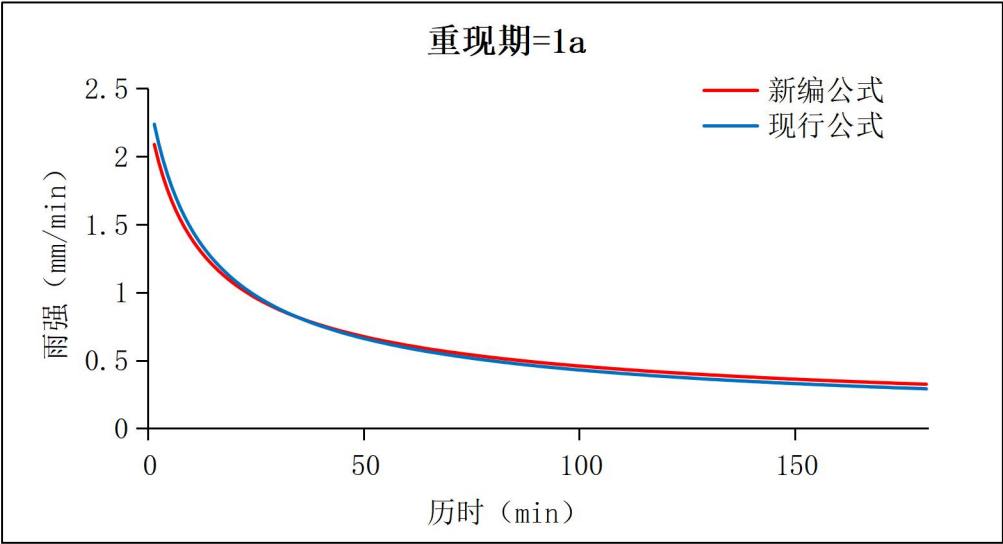
将本次新编暴雨强度公式与现行暴雨强度公式(2013 年版)进行比较。根据新编公式和现行暴雨强度总公式分别计算在对应的重现期及降水历时(重现期: 1a、2a、3a、5a、10a、20a、30a、50a、100a, 降水历时: 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、150min、180min)下的降水强度(雨强单位由 $L/(s \cdot hm^2)$ 换算为 mm/min)。

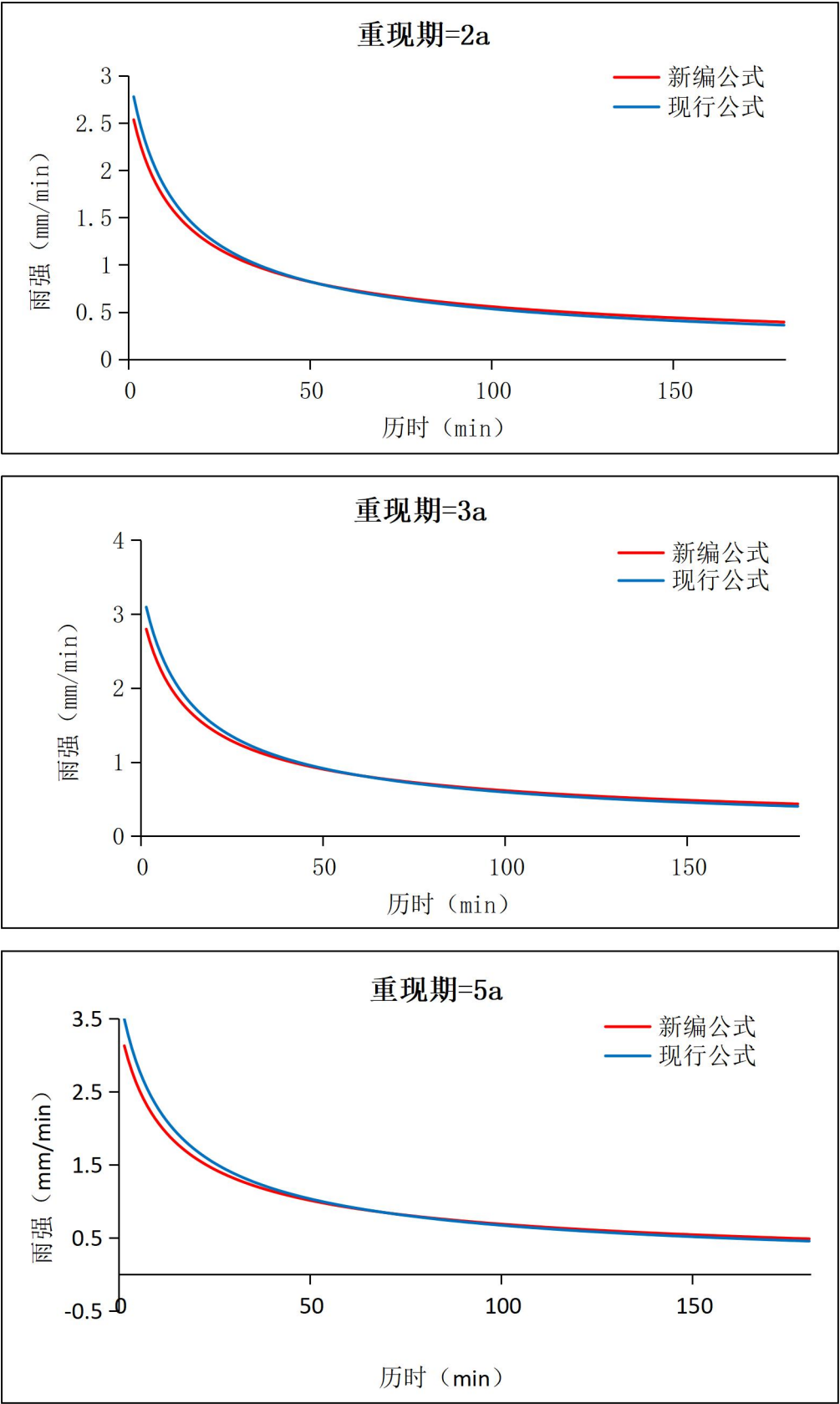
益阳市新编短历时暴雨强度总公式(式 8-1)雨强结果与现行公式(式 8-2)雨强结果相比, 可以看出, 新编公式整体上与现行

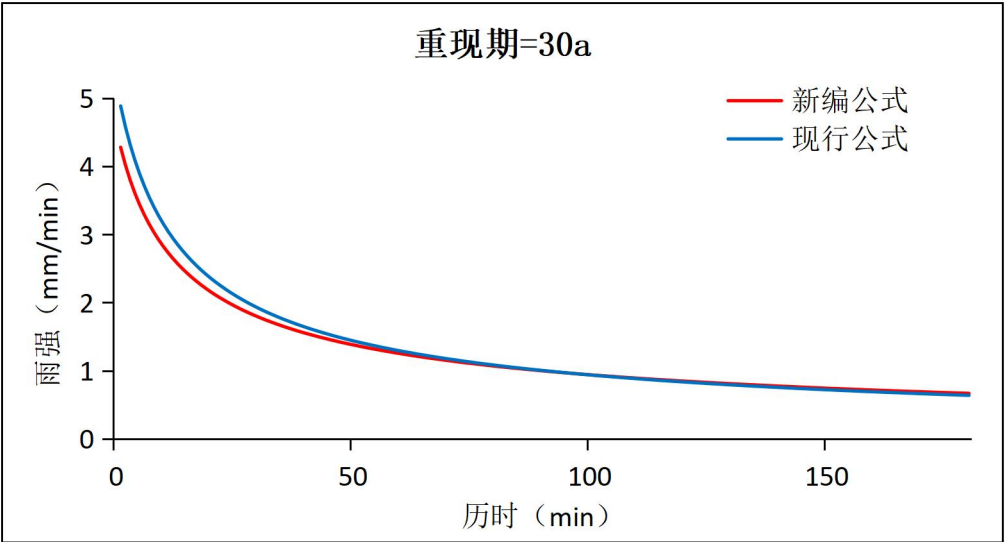
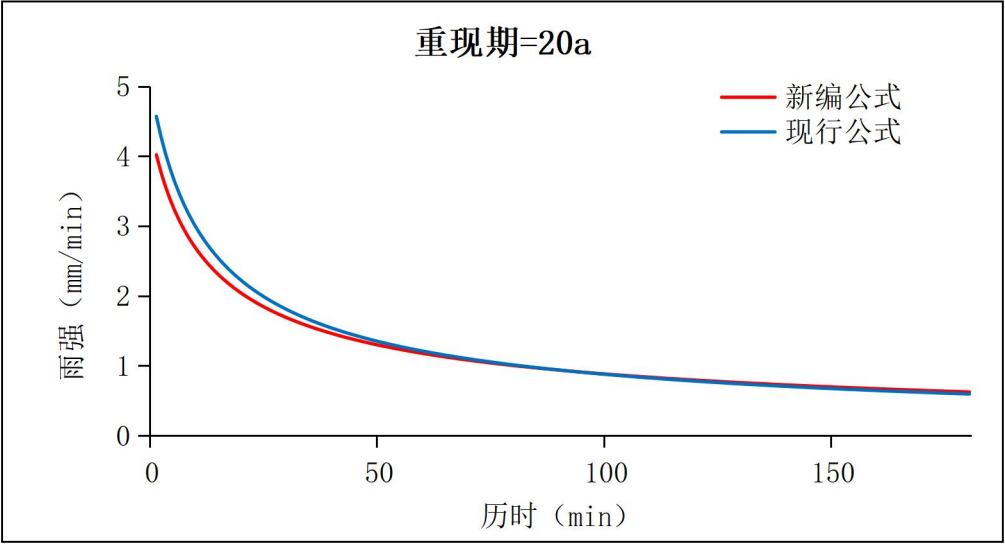
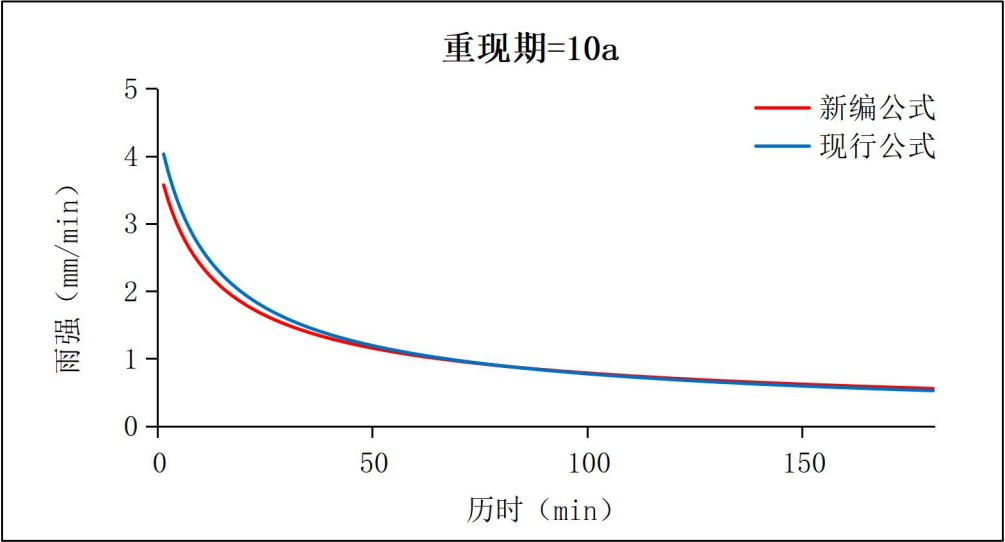
公式存在一定差异，在 5min 至 30min 历时、1 至 10 年重现期条件下，新编公式计算的雨强结果普遍低于现行公式。当降水历时延长至 90min 历时以上、重现期超过 10 年时，新编公式计算的雨强结果开始超过现行公式。随降水历时的延长，雨强差值从负值逐渐过渡到正值。二者差异变化的原因主要是：一是基础数据样本差异，新编公式采用 1993~2024 年共 32 年降水资料，而现行公式基于 1980~2013 年共 34 年资料。两者数据序列重叠部分仅 21 年（1993~2013 年），新编公式剔除了 1980~1992 年的早期数据，增加了 2014~2024 年的近期数据。近年来全球气候变化导致极端降水事件频发，暴雨特征可能发生显著变化，新编公式更能反映当前降水规律。二是城市气候环境变化影响，近 30 年来益阳城市化进程加快，城市热岛效应、下垫面改变等因素可能影响局地降水特征。新编公式使用的气象站数据更能反映当前城市气候环境下的实际降水情况，而现行公式基于的历史数据可能未能充分捕捉这些变化。因此，更新近 11 年数据更能够全面反映气候变化的趋势和特征，有助于提升新编公式的准确性和适用性。各历时具体比较结果见表 8.1、表 8.2、图 8.1 和图 8.2。

表 8.1 益阳市新编暴雨强度公式和现行暴雨强度公式差值
(新编公式-现行公式) (单位: mm/min)

T(min) P(a)											
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1	-0.104	-0.067	-0.043	-0.027	-0.006	0.011	0.019	0.028	0.031	0.033	0.034
2	-0.175	-0.121	-0.087	-0.062	-0.031	-0.006	0.007	0.021	0.027	0.031	0.032
3	-0.217	-0.152	-0.111	-0.083	-0.046	-0.016	0	0.017	0.025	0.029	0.032
5	-0.269	-0.192	-0.143	-0.109	-0.065	-0.029	-0.009	0.013	0.023	0.028	0.031
10	-0.34	-0.246	-0.186	-0.144	-0.09	-0.046	-0.02	0.006	0.019	0.026	0.03
20	-0.411	-0.301	-0.229	-0.18	-0.116	-0.063	-0.033	-0.001	0.015	0.024	0.03
30	-0.453	-0.332	-0.254	-0.2	-0.13	-0.073	-0.039	-0.005	0.013	0.022	0.029
50	-0.505	-0.372	-0.285	-0.226	-0.149	-0.085	-0.048	-0.01	0.01	0.021	0.028
100	-0.576	-0.425	-0.328	-0.261	-0.174	-0.101	-0.061	-0.017	0.006	0.019	0.027







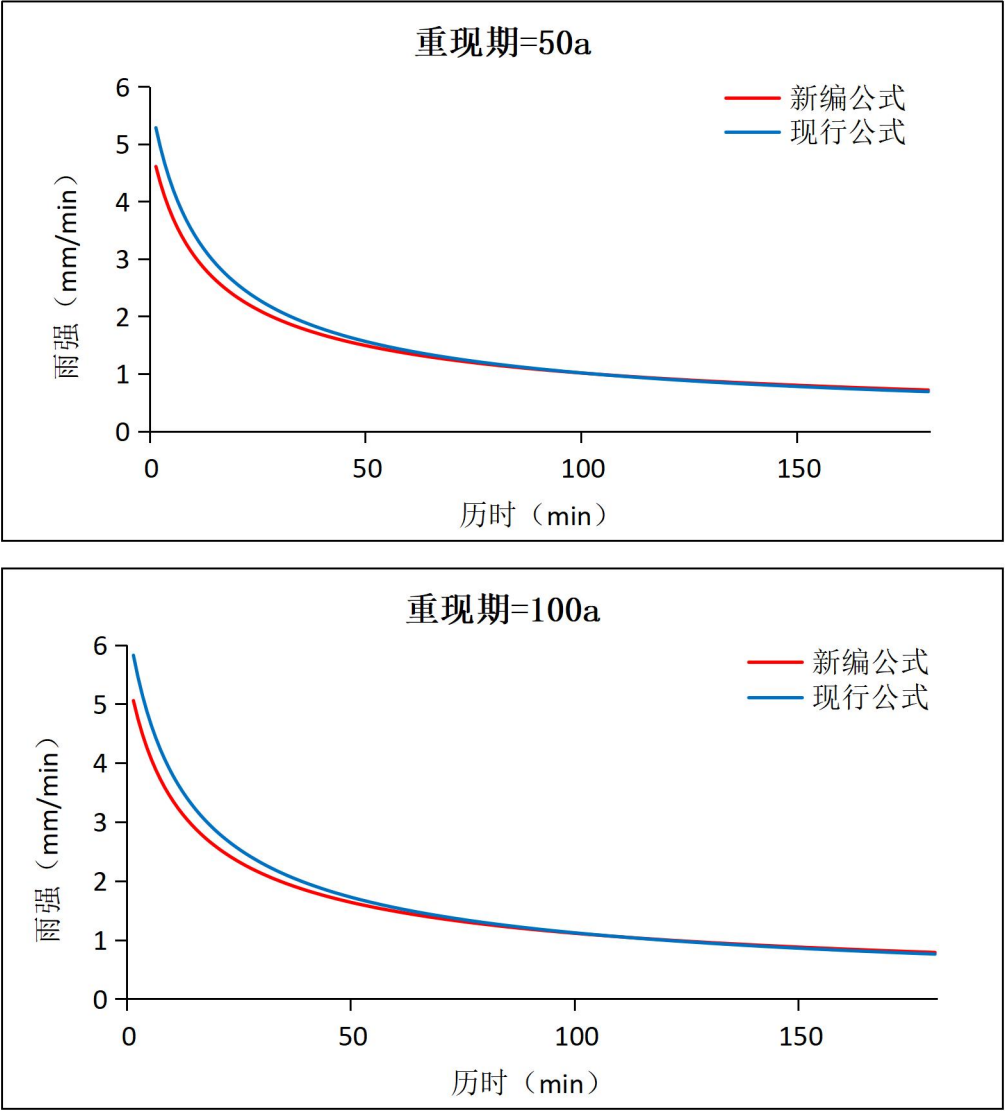
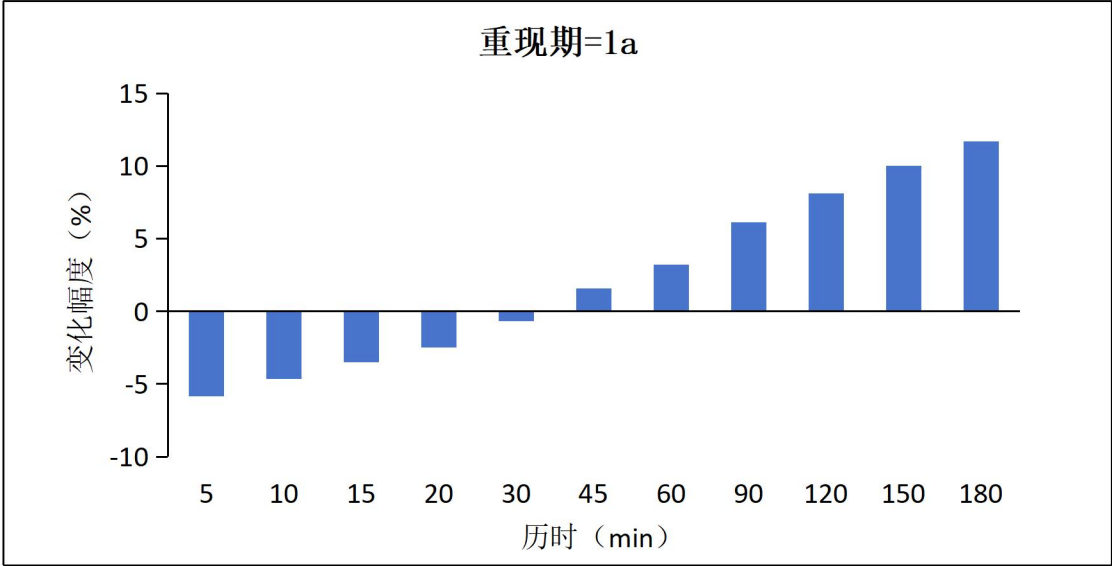
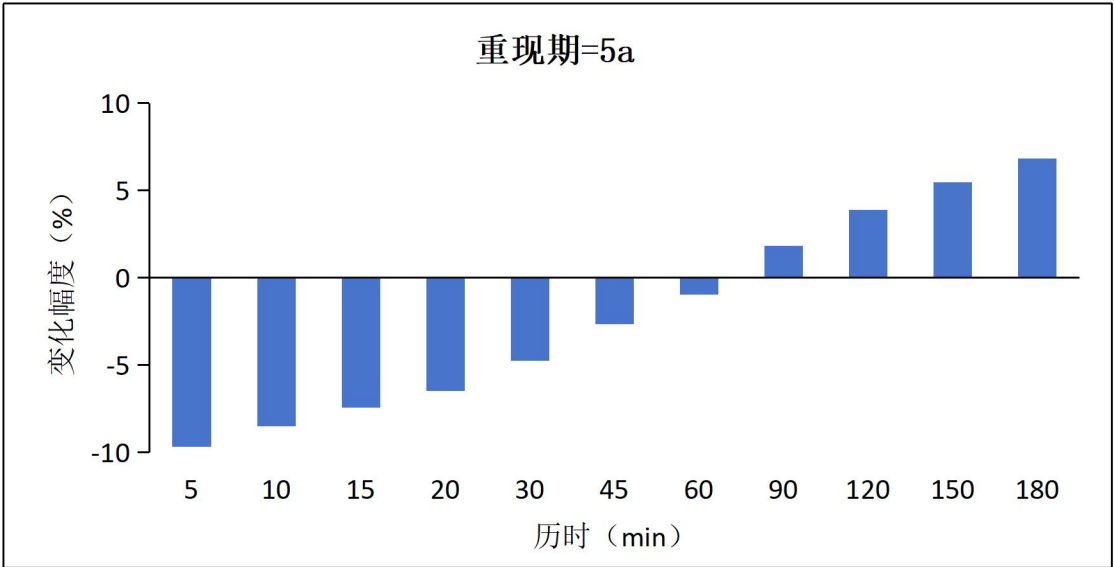
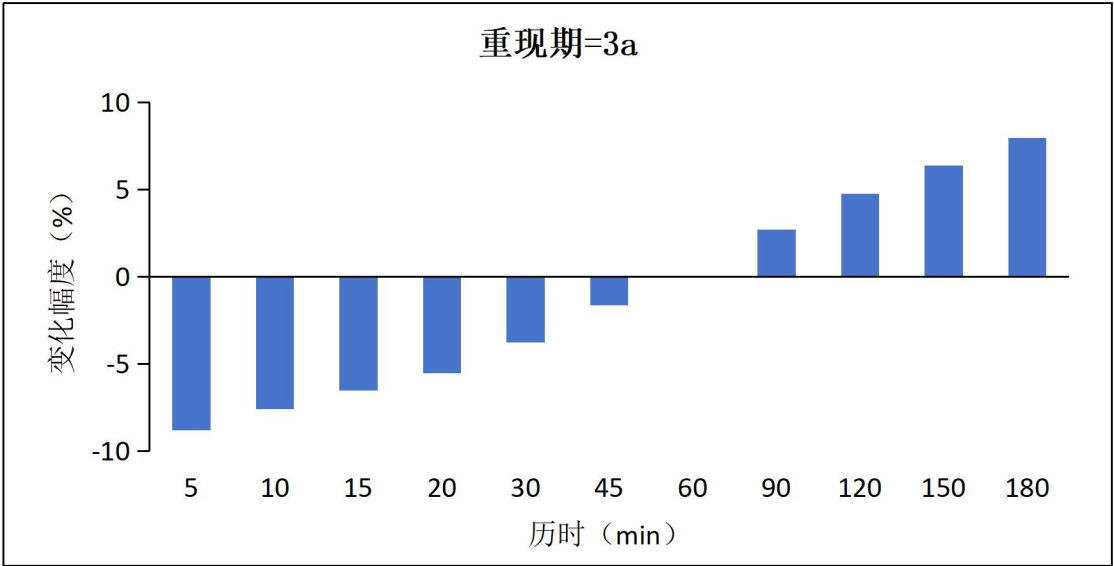
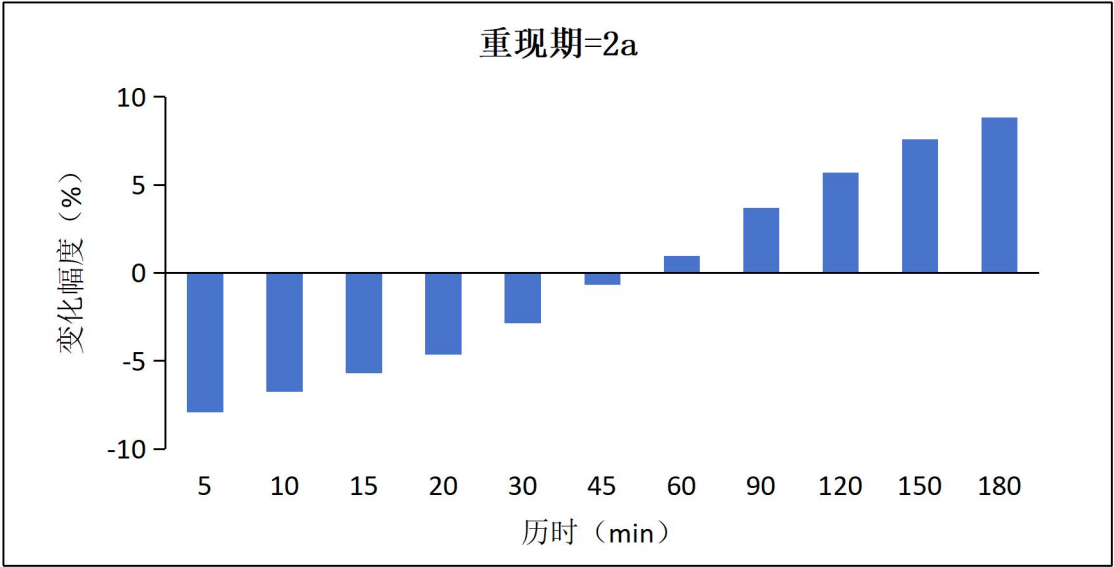


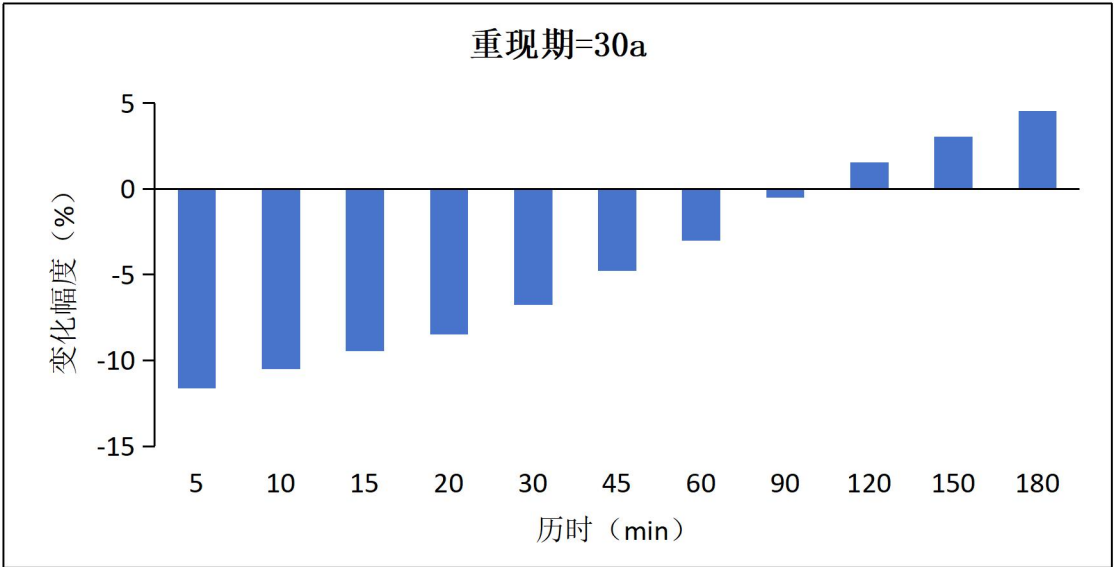
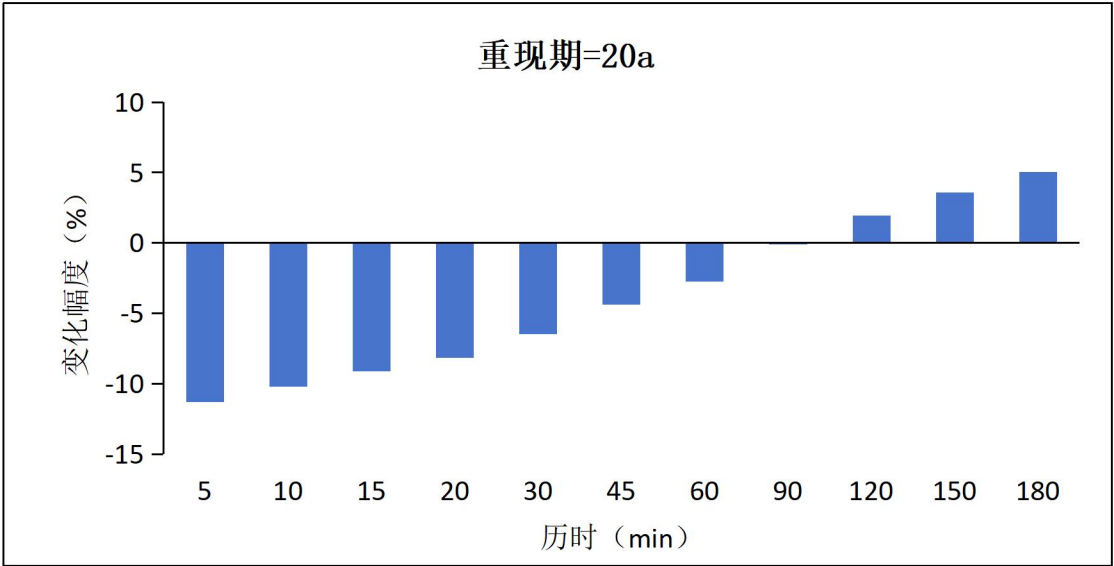
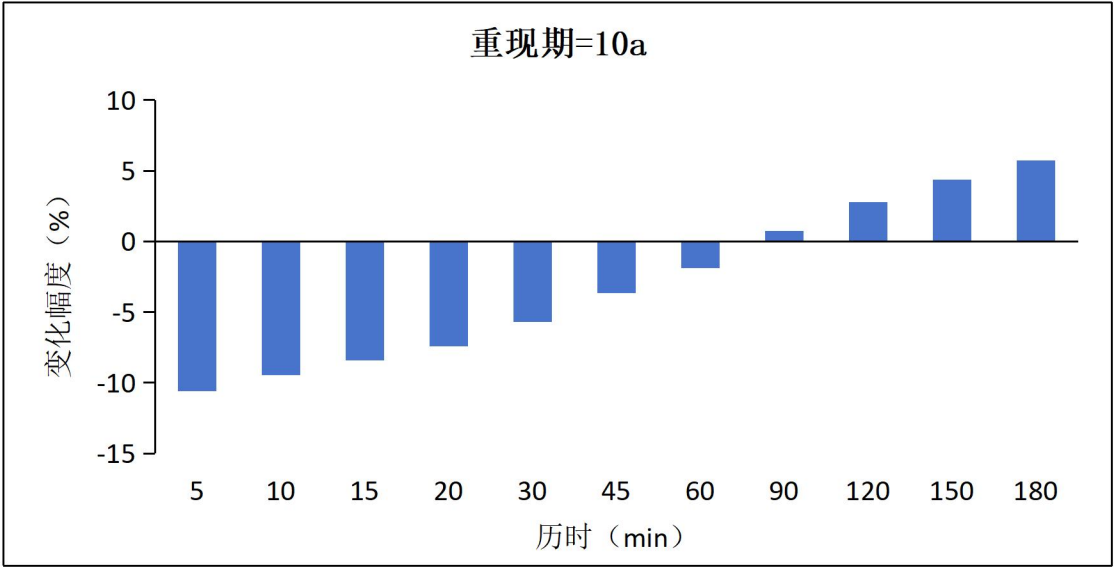
图 8.1 益阳市新编暴雨强度公式和现行暴雨强度公式差值

表 8.2 益阳市新编暴雨强度公式和现行暴雨强度公式变化幅度
((新编公式-现用公式)/现用公式) (单位：%)

T(min) P(a)											
	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
1	-5.843	-4.64	-3.496	-2.502	-0.683	1.571	3.22	6.114	8.136	10.03	11.684
2	-7.919	-6.748	-5.697	-4.63	-2.844	-0.69	0.955	3.691	5.708	7.598	8.84
3	-8.814	-7.611	-6.529	-5.563	-3.789	-1.653	0	2.681	4.744	6.374	7.94
5	-9.683	-8.518	-7.452	-6.473	-4.741	-2.653	-0.977	1.818	3.872	5.458	6.813
10	-10.599	-9.451	-8.394	-7.407	-5.685	-3.645	-1.881	0.726	2.77	4.384	5.714
20	-11.297	-10.196	-9.113	-8.163	-6.462	-4.403	-2.736	-0.107	1.928	3.571	5.042
30	-11.645	-10.52	-9.453	-8.485	-6.774	-4.771	-3.026	-0.499	1.563	3.06	4.553
50	-12.007	-10.9	-9.811	-8.866	-7.181	-5.139	-3.443	-0.923	1.111	2.703	4.064
100	-12.425	-11.3	-10.244	-9.292	-7.608	-5.54	-3.969	-1.424	0.605	2.217	3.557







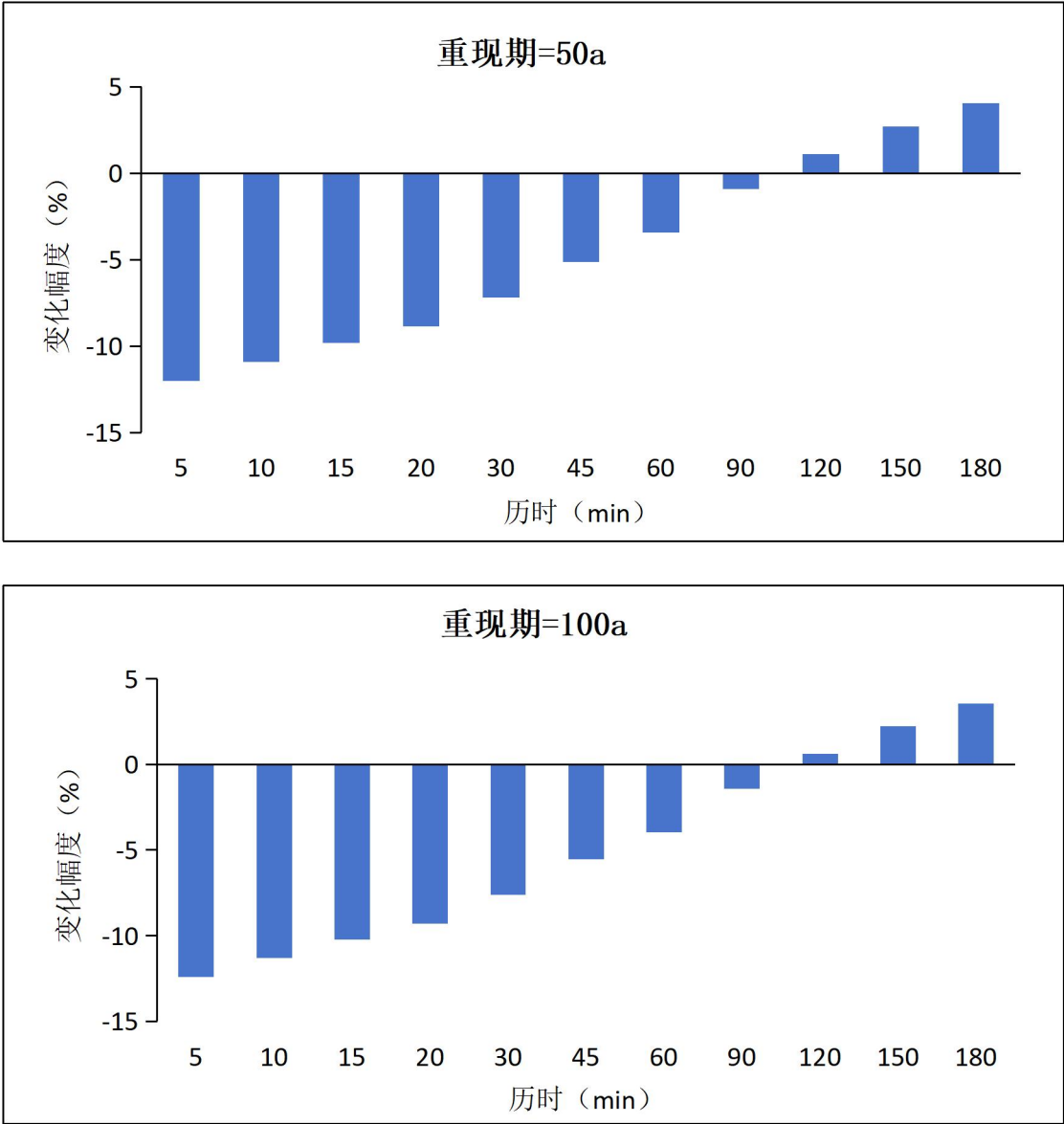


图 8.2 益阳市新编暴雨强度公式和现行暴雨强度公式变化幅度

总体表明，新编公式与现行公式相比，从差异变化趋势来看，新编公式与现行公式的雨强差异随降水历时延长呈现由负转正的单调递增趋势。以 1 年重现期为例，5min 历时时新编公式雨强低于现行公式 0.104 mm/min，随历时延长至 60min，差异由负转正（+0.019 mm/min），至 180 分钟时达到+0.034 mm/min。从差异幅度来看，5min 至 30min 历时条件下的降幅明显大于 120min 至 180min 历时条件下的增幅。最大降幅出现在 100 年重现期、5min 历时（-12.425%），而最大增幅仅为 1

年重现期、180min 历时的 11.684%。上述特征也综合表明，新编公式整体上对 5min-30min 历时暴雨强度有所下调，对 90min-180min 历时暴雨强度有所上调，体现了降水资料更新后暴雨特征的变化，这种变化也为城市排水防涝标准更新提供了更贴合当前气候背景的依据。

第九章 适用性分析

由于强降水具有显著的突发性和局地性，空间分布不均匀，目前暴雨强度公式均基于国家气象站的 30 年以上分钟数据进行推算，在空间代表性上存在一定的局限性，在部分地区可能降水强度显著高于国家气象站所在区域，若全区统一利用同一暴雨强度公式进行排水管网设计，可能会造成部分地区防汛基础设施建设标准偏低，因此本章节对暴雨强度公式的适用性进行分析。

利用 2017~2024 年益阳市区的 36 个区域自动气象站与赫山国家气象站同期降水资料，选取年最大小时降水量、年最大日降水量、年暴雨日数三个特征量，进行区域空间分布差异性分析，进而开展对暴雨强度公式的适应性分析。

9.1 最大小时降水量空间分布差异性

由图 9.1 可见，赫山气象站所在区域 2017~2024 年的平均年最大小时降水量在 40~45mm。

益阳市区北部的资阳区，包括新桥河镇、迎风桥镇、长春镇、张家塞乡、沙头镇、茈湖口镇，以及大码头街道、长春工业园、汽车路街道、赫山街道、会龙山街道、桃花仑街道、金银山街道、朝阳街道、谢林港镇、牌口乡等地平均年最大小时降水量在 30~40mm。

益阳市区中部的兰溪镇、八字哨镇、笔架山乡、龙岭工业园、新市渡镇、龙光桥镇、泉交河镇、沩江岔镇等地平均年最大小时降水量在 40~45mm。

益阳市区南部的沧水铺镇、泥江口镇、岳家桥镇、衡龙桥镇等地平均年最大小时降水量在 45~50mm。

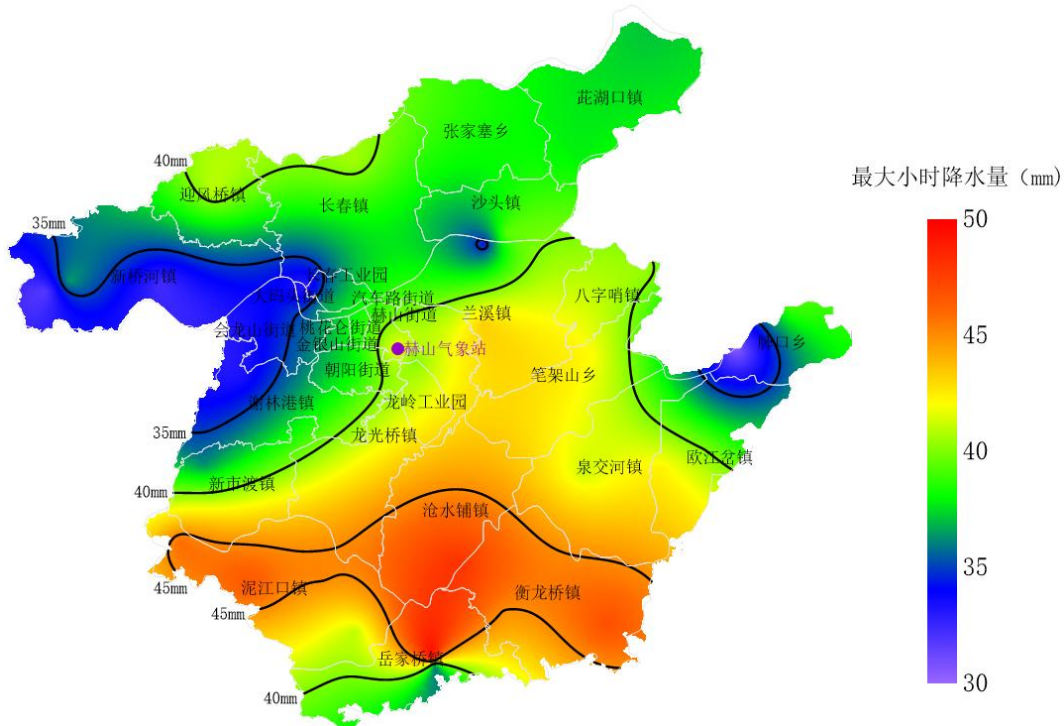


图 9.1 益阳市区 2017~2024 年的平均年最大小时降水量空间分布

9.2 最大日降水量空间分布差异性

由图 9.2 可见，赫山气象站所在区域 2017~2024 年的平均年最大日降水量为 98.9 mm。

益阳市区北部的资阳区，包括新桥河镇、长春镇、张家塞乡、沙头镇、茈湖口镇，以及兰溪镇、八字哨镇、大码头街道、长春工业园、汽车路街道、赫山街道、会龙山街道、桃花仑街道、金银山街道、朝阳街道、牌口乡等地平均年最大日降水量小于 100mm。

益阳市区中部及南部的笔架山乡、龙岭工业园、谢林港镇、新市渡镇、龙光桥镇、泉交河镇、瓠江岔镇、沧水铺镇、泥江口镇、岳家桥镇、衡龙桥镇等地，以及北部的迎风桥镇平均年最大日降水量在

100~120mm。

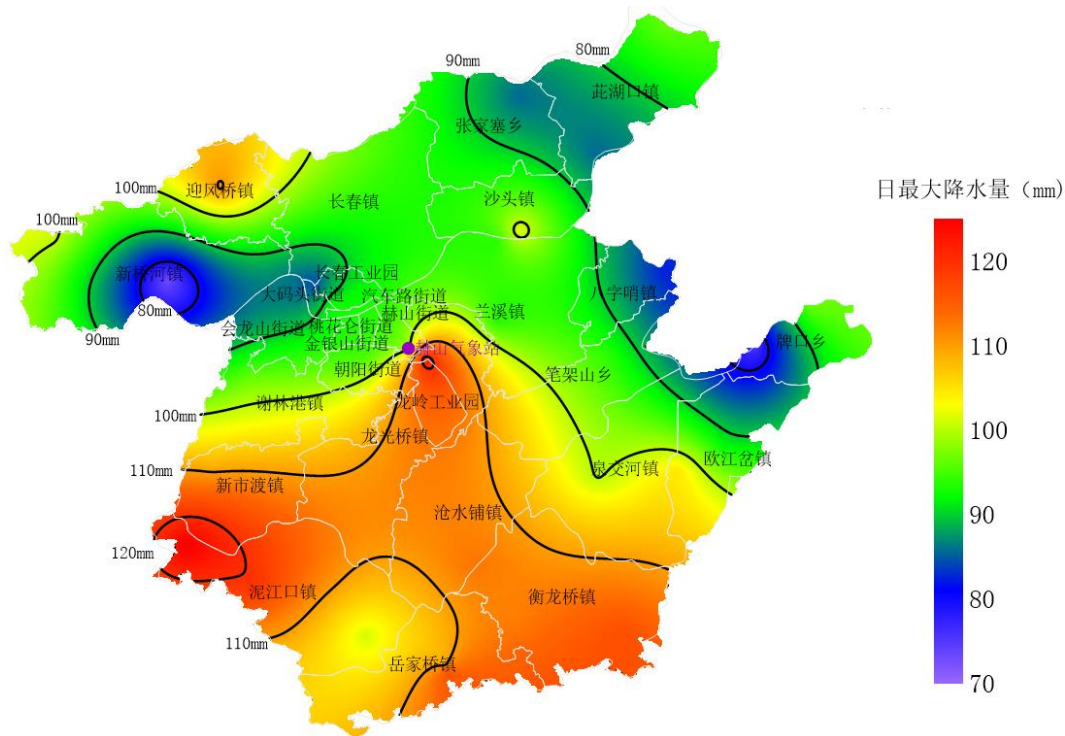


图 9.2 益阳市区 2017~2024 年的平均年最大日降水量空间分布

9.3 暴雨日数空间分布差异性

由图 9.3 可见，赫山气象站所在区域 2017~2024 年的平均年暴雨日数为 3.5 天。

益阳市区大部地区平均年暴雨日数在 3~4 天，新桥河镇及牌口乡镇平均年暴雨日数小于 3 天，泉交河镇、瓠江岔镇等地平均年暴雨日数大于 4 天。

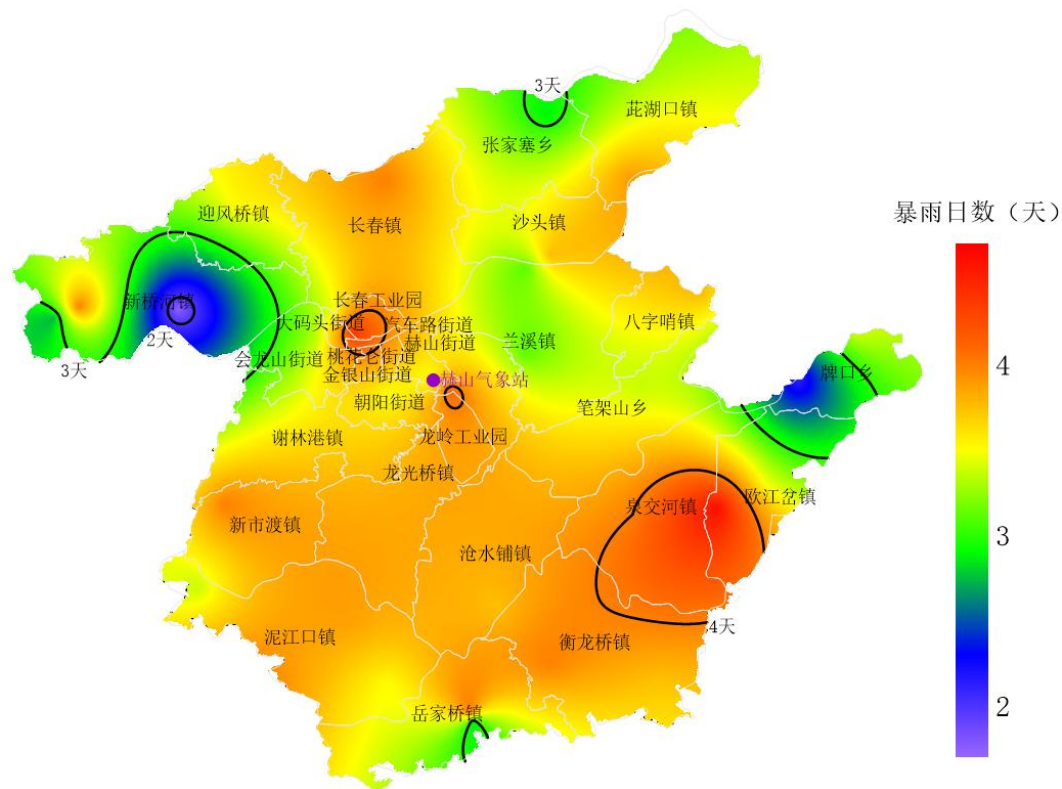


图 9.3 益阳市区 2017~2024 年的平均年暴雨日数空间分布

9.4 暴雨强度公式适用性评估

基于年最大小时降水量、年最大日降水量、年暴雨日数空间分布差异性，建议各地区暴雨强度公式按如下建议进行调整。

其中，适用新公式的乡镇为：新桥河镇、迎风桥镇、长春镇、张家塞乡、沙头镇、芷湖口镇、大码头街道、汽车路街道、赫山街道、桃花仑街道、金银山街道、会龙山街道、鱼形山街道、八字哨镇、兰溪镇。

需要提高标准的乡镇为：龙光桥街道、龙岭工业园、谢林港镇、泉交河镇、沅江岔镇、沧水铺镇、岳家桥镇、新市渡镇、衡龙桥镇、泥江口镇、笔架山乡。

提高标准建议根据 i-P-t 三联表和降水空间部分差异性，估算某降水历时下，相同降水量对应的重现期，即提高当地的重现期标准。

表 9.1 益阳市区暴雨强度公式适用性评估及建议表

地区	乡镇	适用性评估
资阳区	新桥河镇	适用标准
	迎风桥镇	适用标准
	长春镇	适用标准
	张家塞乡	适用标准
	沙头镇	适用标准
	茈湖口镇	适用标准
	大码头街道	适用标准
	汽车路街道	适用标准
赫山区	赫山街道	适用标准
	桃花仑街道	适用标准
	金银山街道	适用标准
	会龙山街道	适用标准
	鱼形山街道	适用标准
	八字哨镇	适用标准
	兰溪镇	适用标准
	龙光桥街道	提高标准
	龙岭工业园	提高标准
	谢林港镇	提高标准
	泉交河镇	提高标准
	瓠江岔镇	提高标准

沧水铺镇	提高标准
岳家桥镇	提高标准
新市渡镇	提高标准
衡龙桥镇	提高标准
泥江口镇	提高标准
笔架山乡	提高标准

第十章 结果与建议

1.本报告利用湖南赫山国家气象观测站 32 年（1993～2024 年）降水资料进行统计分析，得到了益阳市降水特征及其变化趋势，雨量观测条件符合规范，站点观测符合一致性、可靠性要求。通过对赫山年际波动等分析，能较好地反映和代表益阳地区降水气候变化特征，总体表现为近 30 年市区极端短时降水强度略有减弱，但统计意义不显著，年际波动特征明显。2000 年前后及 2006 年为相对少雨时段，而 1997 年、2019 年为多雨峰值年，呈现“丰枯交替”的年代际变化特征。

2.根据 1993～2024 年赫山国家气象观测站降水资料，按《室外排水设计标准》（GB 50014-2021）推荐的皮尔逊-III型、耿贝尔和指数型分布函数对赫山站各历时降水的概率分布进行拟合，对单一重现期暴雨强度公式、区间参数公式、暴雨强度总公式进行推求，并对计算结果进行比较分析。最终，确定短历时暴雨强度公式为满足规范要求且总误差最小的耿贝尔分布最小二乘法拟合的益阳市暴雨强度总公式。总公式如下：

$$i = \frac{8.44 \times (1 + 0.711 \lg P)}{(t + 8.457)^{0.622}} \quad (\text{单位: mm/min}) \text{ 或}$$
$$q = \frac{1407.431 \times (1 + 0.711 \lg P)}{(t + 8.457)^{0.622}} \quad (\text{单位: L/(s} \cdot \text{hm}^2))$$

3.本报告推求的暴雨强度总公式、区间公式和单一重现期公式均达到《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》和《室

外排水设计标准》（GB 50014-2021）的精度要求。其中，单一重现期公式对固定重现期工程精度更高，适用于城市大型或重要雨水泵站、排水泵站等特殊场景；总公式适用于连续重现期计算，普适性更强，建议常规优先采用。

公式适用范围为：时间上基于 32 年（1993~2024 年）降水资料，且明确适用条件为 $t \geq 5\text{min}$ 、 $2 \text{ 年} \leq P \leq 100 \text{ 年}$ ，适用于气候未显著变化场景，气候突变需重估；空间上主要适用于益阳市中心城区，距离较远的地区因地形差异并不完全适用；工程应用上，可用于城市排水管网、泵站等排水工程规划设计改造，及市区小型水利工程、建筑场地雨水排放设计，大型水利工程需综合其他因素。

鉴于益阳市地形起伏大、气候复杂、降水类型多样、短历时降水局地性强，建议当前益阳城区直接采用该公式，其他地区参考使用并根据实际降水情况修订。

4.气候变化具有显著的阶段性特征，降水资料本身存在明显年代际变化，加之在全球气候变化大背景下，短时强降水等极端气候事件不断增多增强，而且城市化建设导致的路面透水性变差，地面坡度改变，以及管道没有及时清理等都是导致城市积涝增多增强的重要因素。建议建立暴雨强度公式定期修订制度，适应气候变化下的降雨非平稳性，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）等有关文件规定，建议每隔 5 年对益阳市中心

城区暴雨强度公式进行修编，或者在出现历史降水极值时及时对暴雨强度公式进行复核和修编。

第十一章 常用图表

11.1 说明

(1) 本计算图表根据赫山国家气象观测站 32 年(1993~2024 年)分钟降水数据记录编制。基于年最大值法选样, 分别利用指数分布、耿贝尔分布和 P-III 分布对降水样本进行曲线拟合, 得到 P-i-t 三联表, 再采用最小二乘法、高斯牛顿法求解单一重现期暴雨强度公式和总公式各参数, 此基础上得到 6 套分公式和 6 个总公式, 根据误差分析推荐使用基于耿贝尔分布、最小二乘法估算参数推算益阳市暴雨强度公式的计算方法。

(2) 以重现期 2、3、5、10、20、30、50、100 (年) 相应的单一重现期暴雨强度公式制表。设计暴雨强度可按选定设计重现期直接查用单一重现期暴雨强度公式, 也可按选定设计重现期直接查表和图。

(3) 若采用其它重现期, 设计暴雨强度总公式计算:

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

式中: q —设计暴雨强度(L/(s · hm²));

t —降雨历时(min);

A_1 —雨力;

b 、 n —常数;

(A 、 b 、 n)按重现期区间参数公式计算。

11.2 暴雨强度公式及参数

11.2.1 暴雨强度公式及参数

总公式:

$$i = \frac{8.44 \times (1 + 0.711 \lg P)}{(t + 8.457)^{0.622}} \quad (\text{单位: mm/min}) \text{ 或}$$

$$q = \frac{1407.431 \times (1 + 0.711 \lg P)}{(t + 8.457)^{0.622}} \quad (\text{单位: L/(s} \cdot \text{hm}^2))$$

式中:

i 或 q —暴雨强度, 单位: (mm/min; L/(s·hm²));

P —设计重现期, 单位: a;

t —降雨历时, 单位: min;

A_1 —雨力参数, 即重现期为 1a 时的 1min 设计降雨量, 单位: mm;

C —雨力变动参数, 反映设计降雨在各历时、不同重现期的强度变化程度;

b —降雨历时修正参数, 即对暴雨强度公式两边求对数后能使曲线化成直线所加的一个时间参数, 单位: min;

n —暴雨衰减指数, 与重现期有关。(下同)

单一重现期公式

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

式中: A —雨力参数, 即不同重现期下的 1min 设计降雨量, 单位: mm; 其余变量和参数同上。

分公式：

表 11.1 益阳市单一重现期暴雨强度计算公式表
(基于耿贝尔分布、年最大值法选样、最小二乘法估算)

重现期/a	公式（单位：L/（s·hm ² ））	公式（单位：mm/min）
1	$2397.118 / (t + 12.076)^{0.770}$	$14.383 / (t + 12.076)^{0.770}$
2	$2370.231 / (t + 10.541)^{0.705}$	$14.221 / (t + 10.541)^{0.705}$
3	$2357.205 / (t + 9.866)^{0.678}$	$14.143 / (t + 9.866)^{0.678}$
5	$2342.008 / (t + 9.103)^{0.648}$	$14.052 / (t + 9.103)^{0.648}$
10	$2385.261 / (t + 8.318)^{0.620}$	$14.312 / (t + 8.318)^{0.620}$
20	$2487.799 / (t + 7.914)^{0.601}$	$14.927 / (t + 7.914)^{0.601}$
50	$2622.735 / (t + 7.420)^{0.584}$	$15.736 / (t + 7.420)^{0.584}$
100	$2724.605 / (t + 7.059)^{0.574}$	$16.348 / (t + 7.059)^{0.574}$

表 11.2 益阳市暴雨强度区间公式参数一览表
(耿贝尔分布、年最大值法选样、最小二乘法估算)

重现期/a	区间	参数	公式
1~10	II	n	$0.720 - 0.049\text{Ln}(T - 0.640)$
		b	$10.992 - 1.270\text{Ln}(T - 0.574)$
		A	$14.262 - 0.157\text{Ln}(T - 0.444)$
10~100	III	n	$0.637 - 0.014\text{Ln}(T - 6.737)$
		b	$9.389 - 0.508\text{Ln}(T - 1.764)$
		A	$12.268 + 0.879\text{Ln}(T - 0.107)$

11.2.2 公式误差

在耿贝尔分布曲线拟合结果下，年最大值法选样，分别利用最小二乘法和高斯牛顿法计算得到的暴雨强度总公式、单一重现期公式，其中，最小二乘计算得到的暴雨强度公式在重现期 2~20 年暴雨强度平均绝对均方根误差、平均相对均方根误差满足《室外排水设计标准》(GB 50014-2021)规定的精度要求。

11.3 益阳市暴雨强度公式计算图表

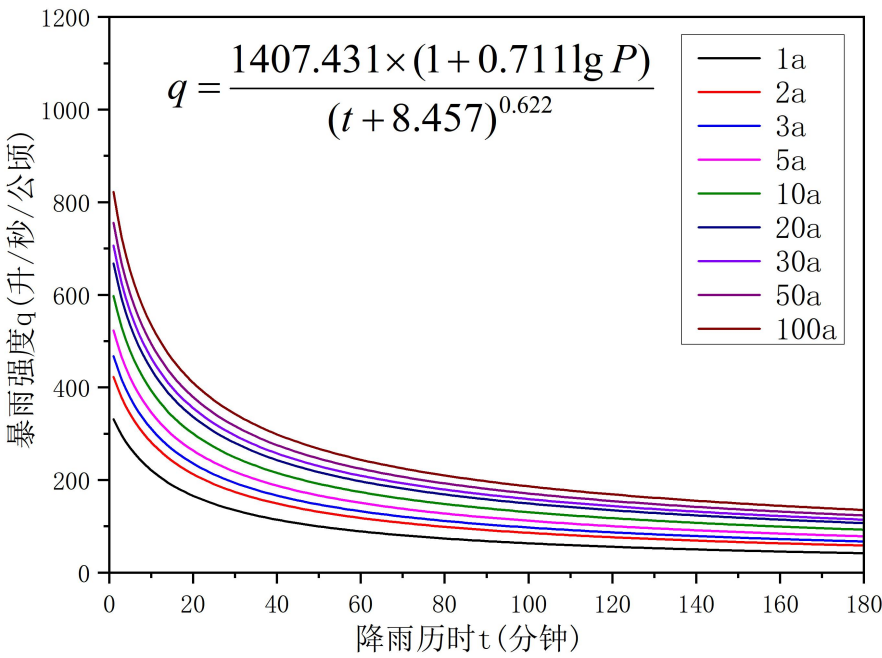


图 11.1 益阳所有单一重现期公式暴雨强度-历时-重现期关系曲线图

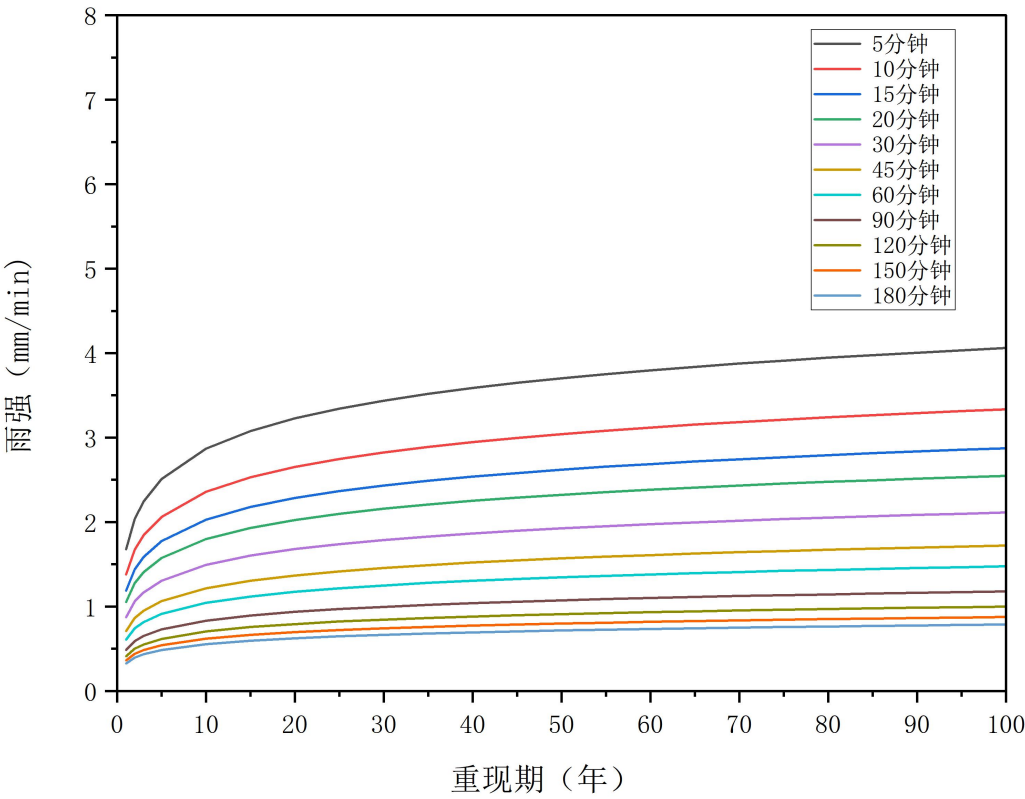


图 11.2 益阳暴雨强度总公式不同历时暴雨强度重现期关系曲线图

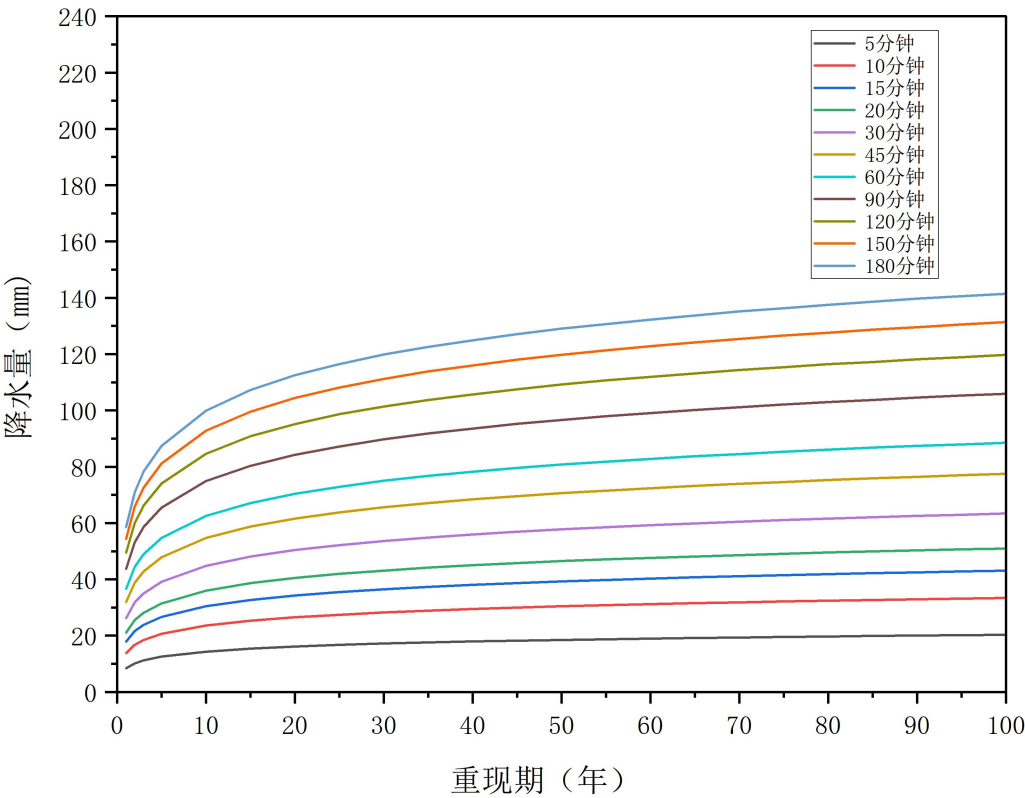


图 11.3 益阳暴雨强度总公式降雨量重现期关系曲线图

表 11.3 8 个重现期短历时暴雨强度查算表 (P-q-t)
P=2 年; t: 分钟 (min); q: 升/秒/公顷 (L/(s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	422.58	37	155.761	73	104.677	109	81.309	145	67.537
2	398.535	38	153.491	74	103.803	110	80.833	146	67.232
3	377.552	39	151.301	75	102.946	111	80.364	147	66.931
4	359.056	40	149.184	76	102.106	112	79.901	148	66.633
5	342.608	41	147.137	77	101.282	113	79.445	149	66.339
6	327.872	42	145.157	78	100.474	114	78.994	150	66.047
7	314.581	43	143.241	79	99.682	115	78.55	151	65.758
8	302.522	44	141.384	80	98.904	116	78.112	152	65.473
9	291.523	45	139.585	81	98.141	117	77.68	153	65.19
10	281.444	46	137.84	82	97.392	118	77.253	154	64.911
11	272.169	47	136.147	83	96.657	119	76.832	155	64.634
12	263.6	48	134.503	84	95.935	120	76.417	156	64.36
13	255.655	49	132.906	85	95.226	121	76.007	157	64.089
14	248.266	50	131.355	86	94.53	122	75.602	158	63.821
15	241.373	51	129.846	87	93.846	123	75.203	159	63.555
16	234.925	52	128.379	88	93.173	124	74.808	160	63.292
17	228.878	53	126.951	89	92.512	125	74.418	161	63.032
18	223.195	54	125.562	90	91.863	126	74.034	162	62.774
19	217.842	55	124.208	91	91.224	127	73.654	163	62.519
20	212.788	56	122.889	92	90.596	128	73.279	164	62.266
21	208.01	57	121.603	93	89.978	129	72.908	165	62.016
22	203.482	58	120.35	94	89.37	130	72.542	166	61.768
23	199.186	59	119.127	95	88.773	131	72.18	167	61.523
24	195.103	60	117.934	96	88.184	132	71.823	168	61.28
25	191.217	61	116.769	97	87.605	133	71.47	169	61.039
26	187.513	62	115.632	98	87.036	134	71.121	170	60.8
27	183.977	63	114.522	99	86.475	135	70.776	171	60.564
28	180.599	64	113.436	100	85.922	136	70.435	172	60.33
29	177.367	65	112.376	101	85.379	137	70.098	173	60.098
30	174.271	66	111.338	102	84.843	138	69.765	174	59.868
31	171.303	67	110.324	103	84.316	139	69.436	175	59.64
32	168.454	68	109.332	104	83.796	140	69.111	176	59.415
33	165.717	69	108.361	105	83.284	141	68.789	177	59.191
34	163.085	70	107.411	106	82.78	142	68.47	178	58.97
35	160.552	71	106.481	107	82.282	143	68.156	179	58.75
36	158.113	72	105.57	108	81.792	144	67.845	180	58.533

P=3 年; t: 分钟 (min) ; q: 升/秒/公顷 (L/ (s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	467.673	37	173.602	73	117.961	109	92.365	145	77.198
2	440.574	38	171.135	74	117.005	110	91.842	146	76.862
3	417.056	39	168.753	75	116.069	111	91.326	147	76.529
4	396.419	40	166.451	76	115.151	112	90.817	148	76.2
5	378.137	41	164.225	77	114.25	113	90.316	149	75.875
6	361.81	42	162.072	78	113.367	114	89.821	150	75.553
7	347.123	43	159.987	79	112.501	115	89.332	151	75.234
8	333.828	44	157.967	80	111.65	116	88.85	152	74.919
9	321.726	45	156.009	81	110.816	117	88.375	153	74.606
10	310.655	46	154.11	82	109.996	118	87.906	154	74.297
11	300.481	47	152.268	83	109.192	119	87.443	155	73.992
12	291.094	48	150.478	84	108.402	120	86.986	156	73.689
13	282.401	49	148.74	85	107.626	121	86.534	157	73.389
14	274.323	50	147.051	86	106.863	122	86.089	158	73.092
15	266.794	51	145.409	87	106.114	123	85.649	159	72.799
16	259.757	52	143.811	88	105.378	124	85.215	160	72.508
17	253.162	53	142.256	89	104.654	125	84.786	161	72.22
18	246.966	54	140.742	90	103.942	126	84.362	162	71.935
19	241.132	55	139.267	91	103.242	127	83.944	163	71.652
20	235.628	56	137.83	92	102.554	128	83.531	164	71.373
21	230.425	57	136.429	93	101.877	129	83.122	165	71.096
22	225.497	58	135.063	94	101.211	130	82.719	166	70.821
23	220.822	59	133.73	95	100.556	131	82.32	167	70.55
24	216.38	60	132.43	96	99.911	132	81.926	168	70.28
25	212.153	61	131.16	97	99.276	133	81.537	169	70.014
26	208.124	62	129.92	98	98.651	134	81.152	170	69.75
27	204.28	63	128.708	99	98.036	135	80.772	171	69.488
28	200.606	64	127.524	100	97.43	136	80.396	172	69.229
29	197.092	65	126.367	101	96.833	137	80.025	173	68.972
30	193.726	66	125.235	102	96.245	138	79.657	174	68.717
31	190.499	67	124.128	103	95.666	139	79.294	175	68.465
32	187.402	68	123.045	104	95.096	140	78.935	176	68.215
33	184.427	69	121.985	105	94.534	141	78.58	177	67.967
34	181.566	70	120.947	106	93.98	142	78.229	178	67.722
35	178.812	71	119.931	107	93.434	143	77.882	179	67.478
36	176.16	72	118.936	108	92.896	144	77.538	180	67.237

P=5 年; t: 分钟 (min) ; q: 升/秒/公顷 (L/ (s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	523.244	37	195.655	73	134.612	109	106.356	145	89.513
2	492.202	38	192.954	74	133.56	110	105.777	146	89.139
3	465.451	39	190.345	75	132.529	111	105.205	147	88.768
4	442.112	40	187.824	76	131.518	112	104.642	148	88.402
5	421.536	41	185.386	77	130.526	113	104.085	149	88.039
6	403.232	42	183.027	78	129.553	114	103.537	150	87.68
7	386.823	43	180.743	79	128.598	115	102.995	151	87.325
8	372.012	44	178.53	80	127.661	116	102.461	152	86.973
9	358.563	45	176.385	81	126.741	117	101.934	153	86.625
10	346.286	46	174.304	82	125.838	118	101.413	154	86.281
11	335.024	47	172.284	83	124.951	119	100.9	155	85.94
12	324.648	48	170.323	84	124.079	120	100.393	156	85.602
13	315.053	49	168.418	85	123.223	121	99.892	157	85.268
14	306.148	50	166.566	86	122.382	122	99.397	158	84.937
15	297.856	51	164.765	87	121.556	123	98.909	159	84.609
16	290.112	52	163.012	88	120.743	124	98.427	160	84.284
17	282.861	53	161.306	89	119.944	125	97.951	161	83.963
18	276.053	54	159.645	90	119.158	126	97.48	162	83.645
19	269.648	55	158.027	91	118.386	127	97.016	163	83.329
20	263.607	56	156.45	92	117.625	128	96.557	164	83.017
21	257.899	57	154.912	93	116.878	129	96.103	165	82.708
22	252.495	58	153.412	94	116.142	130	95.655	166	82.401
23	247.37	59	151.949	95	115.418	131	95.212	167	82.098
24	242.501	60	150.52	96	114.705	132	94.774	168	81.797
25	237.87	61	149.125	97	114.003	133	94.341	169	81.499
26	233.456	62	147.763	98	113.312	134	93.913	170	81.204
27	229.245	63	146.432	99	112.632	135	93.491	171	80.912
28	225.222	64	145.13	100	111.962	136	93.073	172	80.622
29	221.374	65	143.858	101	111.302	137	92.659	173	80.335
30	217.689	66	142.614	102	110.652	138	92.251	174	80.05
31	214.156	67	141.397	103	110.011	139	91.847	175	79.768
32	210.765	68	140.206	104	109.38	140	91.447	176	79.489
33	207.507	69	139.04	105	108.758	141	91.052	177	79.211
34	204.375	70	137.898	106	108.144	142	90.661	178	78.937
35	201.36	71	136.78	107	107.54	143	90.274	179	78.665
36	198.456	72	135.685	108	106.944	144	89.892	180	78.395

P=10 年; t: 分钟 (min) ; q: 升/秒/公顷 (L/ (s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	597.8	37	224.206	73	156.034	109	124.317	145	105.31
2	561.186	38	221.193	74	154.856	110	123.664	146	104.886
3	529.906	39	218.283	75	153.701	111	123.021	147	104.467
4	502.807	40	215.471	76	152.569	112	122.386	148	104.052
5	479.053	41	212.751	77	151.457	113	121.759	149	103.641
6	458.025	42	210.12	78	150.367	114	121.141	150	103.235
7	439.249	43	207.572	79	149.297	115	120.531	151	102.833
8	422.36	44	205.103	80	148.247	116	119.929	152	102.435
9	407.068	45	202.71	81	147.216	117	119.335	153	102.04
10	393.144	46	200.388	82	146.203	118	118.748	154	101.65
11	380.399	47	198.134	83	145.208	119	118.169	155	101.264
12	368.68	48	195.945	84	144.231	120	117.597	156	100.881
13	357.86	49	193.819	85	143.271	121	117.033	157	100.503
14	347.832	50	191.751	86	142.327	122	116.475	158	100.128
15	338.507	51	189.741	87	141.399	123	115.924	159	99.756
16	329.808	52	187.784	88	140.487	124	115.38	160	99.388
17	321.669	53	185.879	89	139.591	125	114.843	161	99.024
18	314.036	54	184.024	90	138.709	126	114.312	162	98.663
19	306.858	55	182.217	91	137.841	127	113.788	163	98.306
20	300.094	56	180.455	92	136.988	128	113.269	164	97.951
21	293.706	57	178.737	93	136.148	129	112.757	165	97.601
22	287.661	58	177.062	94	135.321	130	112.251	166	97.253
23	281.932	59	175.426	95	134.508	131	111.751	167	96.909
24	276.491	60	173.83	96	133.707	132	111.257	168	96.568
25	271.316	61	172.271	97	132.918	133	110.768	169	96.23
26	266.387	62	170.748	98	132.142	134	110.285	170	95.895
27	261.685	63	169.259	99	131.377	135	109.807	171	95.563
28	257.194	64	167.804	100	130.624	136	109.334	172	95.234
29	252.899	65	166.382	101	129.881	137	108.867	173	94.908
30	248.786	66	164.99	102	129.15	138	108.405	174	94.585
31	244.844	67	163.628	103	128.43	139	107.949	175	94.265
32	241.061	68	162.296	104	127.72	140	107.497	176	93.947
33	237.427	69	160.991	105	127.02	141	107.05	177	93.633
34	233.932	70	159.714	106	126.33	142	106.608	178	93.321
35	230.569	71	158.462	107	125.649	143	106.17	179	93.011
36	227.33	72	157.236	108	124.978	144	105.738	180	92.705

P=20 年; t: 分钟 (min) ; q: 升/秒/公顷 (L/ (s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	668.069	37	252.775	73	177.457	109	142.242	145	121.049
2	626.714	38	249.452	74	176.152	110	141.516	146	120.576
3	591.544	39	246.242	75	174.872	111	140.799	147	120.108
4	561.183	40	243.141	76	173.616	112	140.092	148	119.644
5	534.648	41	240.141	77	172.385	113	139.395	149	119.185
6	511.212	42	237.238	78	171.176	114	138.707	150	118.731
7	490.326	43	234.426	79	169.99	115	138.027	151	118.282
8	471.57	44	231.702	80	168.825	116	137.357	152	117.836
9	454.61	45	229.06	81	167.681	117	136.695	153	117.396
10	439.184	46	226.497	82	166.558	118	136.041	154	116.959
11	425.078	47	224.009	83	165.454	119	135.396	155	116.527
12	412.117	48	221.593	84	164.37	120	134.759	156	116.1
13	400.159	49	219.244	85	163.305	121	134.13	157	115.676
14	389.082	50	216.961	86	162.257	122	133.508	158	115.257
15	378.787	51	214.741	87	161.228	123	132.894	159	114.841
16	369.186	52	212.579	88	160.215	124	132.288	160	114.43
17	360.208	53	210.475	89	159.22	125	131.689	161	114.022
18	351.788	54	208.425	90	158.24	126	131.097	162	113.618
19	343.873	55	206.428	91	157.277	127	130.512	163	113.218
20	336.416	56	204.481	92	156.329	128	129.934	164	112.822
21	329.374	57	202.582	93	155.396	129	129.363	165	112.429
22	322.712	58	200.729	94	154.478	130	128.798	166	112.04
23	316.397	59	198.921	95	153.574	131	128.24	167	111.655
24	310.401	60	197.155	96	152.684	132	127.689	168	111.273
25	304.698	61	195.431	97	151.808	133	127.143	169	110.895
26	299.266	62	193.746	98	150.945	134	126.604	170	110.52
27	294.085	63	192.099	99	150.095	135	126.071	171	110.148
28	289.136	64	190.489	100	149.257	136	125.544	172	109.779
29	284.403	65	188.915	101	148.432	137	125.022	173	109.414
30	279.87	66	187.375	102	147.619	138	124.507	174	109.053
31	275.525	67	185.867	103	146.818	139	123.997	175	108.694
32	271.356	68	184.392	104	146.028	140	123.492	176	108.338
33	267.35	69	182.947	105	145.249	141	122.993	177	107.986
34	263.498	70	181.532	106	144.482	142	122.499	178	107.636
35	259.791	71	180.146	107	143.725	143	122.011	179	107.29
36	256.219	72	178.788	108	142.978	144	121.528	180	106.946

P=30 年; t: 分钟 (min) ; q: 升/秒/公顷 (L/ (s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	706.693	37	267.635	73	188.529	109	151.486	145	129.159
2	662.499	38	264.146	74	187.157	110	150.722	146	128.66
3	625.024	39	260.776	75	185.812	111	149.967	147	128.166
4	592.749	40	257.52	76	184.492	112	149.223	148	127.678
5	564.593	41	254.37	77	183.197	113	148.489	149	127.194
6	539.764	42	251.322	78	181.926	114	147.764	150	126.715
7	517.666	43	248.37	79	180.679	115	147.049	151	126.241
8	497.842	44	245.51	80	179.454	116	146.342	152	125.771
9	479.934	45	242.736	81	178.252	117	145.645	153	125.307
10	463.657	46	240.045	82	177.07	118	144.957	154	124.847
11	448.783	47	237.432	83	175.91	119	144.277	155	124.391
12	435.126	48	234.895	84	174.77	120	143.606	156	123.94
13	422.53	49	232.429	85	173.649	121	142.944	157	123.493
14	410.869	50	230.031	86	172.548	122	142.289	158	123.05
15	400.033	51	227.699	87	171.465	123	141.642	159	122.612
16	389.933	52	225.429	88	170.4	124	141.004	160	122.178
17	380.49	53	223.219	89	169.353	125	140.372	161	121.748
18	371.637	54	221.067	90	168.323	126	139.749	162	121.322
19	363.316	55	218.969	91	167.309	127	139.133	163	120.9
20	355.478	56	216.923	92	166.312	128	138.524	164	120.482
21	348.078	57	214.929	93	165.33	129	137.922	165	120.068
22	341.078	58	212.982	94	164.364	130	137.327	166	119.657
23	334.443	59	211.083	95	163.413	131	136.739	167	119.251
24	328.145	60	209.228	96	162.477	132	136.158	168	118.848
25	322.155	61	207.417	97	161.555	133	135.583	169	118.448
26	316.45	62	205.646	98	160.647	134	135.015	170	118.053
27	311.009	63	203.916	99	159.752	135	134.453	171	117.66
28	305.812	64	202.225	100	158.871	136	133.897	172	117.272
29	300.842	65	200.571	101	158.002	137	133.348	173	116.886
30	296.083	66	198.952	102	157.147	138	132.804	174	116.504
31	291.521	67	197.368	103	156.303	139	132.266	175	116.126
32	287.143	68	195.818	104	155.472	140	131.735	176	115.751
33	282.937	69	194.3	105	154.652	141	131.209	177	115.379
34	278.893	70	192.813	106	153.844	142	130.688	178	115.01
35	275	71	191.356	107	153.047	143	130.173	179	114.644
36	271.25	72	189.928	108	152.261	144	129.664	180	114.281

P=50 年; t: 分钟 (min) ; q: 升/秒/公顷 (L/ (s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	755.74	37	286.133	73	202.312	109	163.003	145	139.27
2	707.797	38	282.437	74	200.857	110	162.19	146	138.739
3	667.298	39	278.868	75	199.43	111	161.389	147	138.214
4	632.525	40	275.418	76	198.031	112	160.598	148	137.694
5	602.265	41	272.082	77	196.657	113	159.818	149	137.179
6	575.635	42	268.853	78	195.31	114	159.048	150	136.669
7	551.974	43	265.726	79	193.987	115	158.288	151	136.165
8	530.778	44	262.696	80	192.688	116	157.538	152	135.665
9	511.654	45	259.758	81	191.412	117	156.797	153	135.171
10	494.291	46	256.907	82	190.159	118	156.066	154	134.681
11	478.438	47	254.139	83	188.928	119	155.344	155	134.196
12	463.892	48	251.451	84	187.718	120	154.631	156	133.716
13	450.487	49	248.838	85	186.529	121	153.926	157	133.241
14	438.082	50	246.298	86	185.361	122	153.231	158	132.77
15	426.563	51	243.827	87	184.212	123	152.543	159	132.303
16	415.83	52	241.423	88	183.082	124	151.864	160	131.841
17	405.799	53	239.081	89	181.97	125	151.194	161	131.383
18	396.398	54	236.8	90	180.877	126	150.531	162	130.93
19	387.566	55	234.577	91	179.802	127	149.876	163	130.481
20	379.248	56	232.41	92	178.743	128	149.228	164	130.036
21	371.397	57	230.296	93	177.702	129	148.589	165	129.595
22	363.971	58	228.234	94	176.676	130	147.956	166	129.158
23	356.935	59	226.22	95	175.667	131	147.331	167	128.725
24	350.256	60	224.255	96	174.673	132	146.713	168	128.296
25	343.906	61	222.335	97	173.694	133	146.102	169	127.871
26	337.858	62	220.459	98	172.73	134	145.498	170	127.449
27	332.091	63	218.625	99	171.78	135	144.9	171	127.031
28	326.583	64	216.832	100	170.844	136	144.309	172	126.618
29	321.316	65	215.079	101	169.922	137	143.725	173	126.207
30	316.273	66	213.363	102	169.014	138	143.147	174	125.8
31	311.439	67	211.684	103	168.118	139	142.575	175	125.397
32	306.8	68	210.04	104	167.235	140	142.01	176	124.998
33	302.345	69	208.431	105	166.365	141	141.45	177	124.601
34	298.06	70	206.854	106	165.507	142	140.896	178	124.208
35	293.936	71	205.31	107	164.66	143	140.349	179	123.819
36	289.964	72	203.796	108	163.826	144	139.807	180	123.433

P=100 年；t: 分钟 (min)；q: 升/秒/公顷 (L/ (s·hm²))

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	822.429	37	310.19	73	220.164	109	177.901	145	152.345
2	769.023	38	306.22	74	218.601	110	177.027	146	151.773
3	724.164	39	302.386	75	217.068	111	176.165	147	151.207
4	685.821	40	298.68	76	215.564	112	175.314	148	150.646
5	652.576	41	295.097	77	214.088	113	174.474	149	150.091
6	623.406	42	291.629	78	212.64	114	173.645	150	149.542
7	597.555	43	288.271	79	211.218	115	172.827	151	148.998
8	574.445	44	285.017	80	209.822	116	172.02	152	148.46
9	553.632	45	281.861	81	208.451	117	171.223	153	147.927
10	534.764	46	278.799	82	207.104	118	170.435	154	147.399
11	517.561	47	275.827	83	205.781	119	169.658	155	146.876
12	501.795	48	272.941	84	204.481	120	168.89	156	146.358
13	487.279	49	270.135	85	203.203	121	168.132	157	145.846
14	473.86	50	267.407	86	201.946	122	167.383	158	145.338
15	461.408	51	264.754	87	200.711	123	166.643	159	144.835
16	449.814	52	262.171	88	199.497	124	165.912	160	144.337
17	438.986	53	259.657	89	198.302	125	165.19	161	143.843
18	428.843	54	257.207	90	197.126	126	164.476	162	143.354
19	419.318	55	254.82	91	195.97	127	163.77	163	142.869
20	410.352	56	252.493	92	194.832	128	163.073	164	142.389
21	401.893	57	250.223	93	193.712	129	162.384	165	141.914
22	393.895	58	248.008	94	192.609	130	161.703	166	141.443
23	386.319	59	245.846	95	191.524	131	161.03	167	140.976
24	379.13	60	243.735	96	190.455	132	160.364	168	140.513
25	372.296	61	241.673	97	189.402	133	159.706	169	140.054
26	365.79	62	239.658	98	188.365	134	159.055	170	139.599
27	359.586	63	237.688	99	187.344	135	158.411	171	139.149
28	353.662	64	235.762	100	186.337	136	157.775	172	138.702
29	347.999	65	233.879	101	185.346	137	157.145	173	138.26
30	342.577	66	232.036	102	184.368	138	156.523	174	137.821
31	337.381	67	230.232	103	183.405	139	155.907	175	137.386
32	332.396	68	228.466	104	182.455	140	155.297	176	136.954
33	327.607	69	226.737	105	181.519	141	154.694	177	136.527
34	323.003	70	225.044	106	180.595	142	154.098	178	136.103
35	318.573	71	223.384	107	179.685	143	153.507	179	135.683
36	314.305	72	221.758	108	178.787	144	152.923	180	135.266

表 11.4 8 个重现期短历时暴雨强度查算表 (P-i-t)
P=2 年; t: 分钟 (min); i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	2.53	37	0.933	73	0.627	109	0.487	145	0.404
2	2.386	38	0.919	74	0.622	110	0.484	146	0.403
3	2.261	39	0.906	75	0.616	111	0.481	147	0.401
4	2.15	40	0.893	76	0.611	112	0.478	148	0.399
5	2.052	41	0.881	77	0.606	113	0.476	149	0.397
6	1.963	42	0.869	78	0.602	114	0.473	150	0.395
7	1.884	43	0.858	79	0.597	115	0.47	151	0.394
8	1.812	44	0.847	80	0.592	116	0.468	152	0.392
9	1.746	45	0.836	81	0.588	117	0.465	153	0.39
10	1.685	46	0.825	82	0.583	118	0.463	154	0.389
11	1.63	47	0.815	83	0.579	119	0.46	155	0.387
12	1.578	48	0.805	84	0.574	120	0.458	156	0.385
13	1.531	49	0.796	85	0.57	121	0.455	157	0.384
14	1.487	50	0.787	86	0.566	122	0.453	158	0.382
15	1.445	51	0.778	87	0.562	123	0.45	159	0.381
16	1.407	52	0.769	88	0.558	124	0.448	160	0.379
17	1.371	53	0.76	89	0.554	125	0.446	161	0.377
18	1.336	54	0.752	90	0.55	126	0.443	162	0.376
19	1.304	55	0.744	91	0.546	127	0.441	163	0.374
20	1.274	56	0.736	92	0.542	128	0.439	164	0.373
21	1.246	57	0.728	93	0.539	129	0.437	165	0.371
22	1.218	58	0.721	94	0.535	130	0.434	166	0.37
23	1.193	59	0.713	95	0.532	131	0.432	167	0.368
24	1.168	60	0.706	96	0.528	132	0.43	168	0.367
25	1.145	61	0.699	97	0.525	133	0.428	169	0.366
26	1.123	62	0.692	98	0.521	134	0.426	170	0.364
27	1.102	63	0.686	99	0.518	135	0.424	171	0.363
28	1.081	64	0.679	100	0.515	136	0.422	172	0.361
29	1.062	65	0.673	101	0.511	137	0.42	173	0.36
30	1.044	66	0.667	102	0.508	138	0.418	174	0.358
31	1.026	67	0.661	103	0.505	139	0.416	175	0.357
32	1.009	68	0.655	104	0.502	140	0.414	176	0.356
33	0.992	69	0.649	105	0.499	141	0.412	177	0.354
34	0.977	70	0.643	106	0.496	142	0.41	178	0.353
35	0.961	71	0.638	107	0.493	143	0.408	179	0.352
36	0.947	72	0.632	108	0.49	144	0.406	180	0.35

P=3 年; t: 分钟 (min) ; i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	2.8	37	1.04	73	0.706	109	0.553	145	0.462
2	2.638	38	1.025	74	0.701	110	0.55	146	0.46
3	2.497	39	1.01	75	0.695	111	0.547	147	0.458
4	2.374	40	0.997	76	0.69	112	0.544	148	0.456
5	2.264	41	0.983	77	0.684	113	0.541	149	0.454
6	2.167	42	0.97	78	0.679	114	0.538	150	0.452
7	2.079	43	0.958	79	0.674	115	0.535	151	0.451
8	1.999	44	0.946	80	0.669	116	0.532	152	0.449
9	1.927	45	0.934	81	0.664	117	0.529	153	0.447
10	1.86	46	0.923	82	0.659	118	0.526	154	0.445
11	1.799	47	0.912	83	0.654	119	0.524	155	0.443
12	1.743	48	0.901	84	0.649	120	0.521	156	0.441
13	1.691	49	0.891	85	0.644	121	0.518	157	0.439
14	1.643	50	0.881	86	0.64	122	0.516	158	0.438
15	1.598	51	0.871	87	0.635	123	0.513	159	0.436
16	1.555	52	0.861	88	0.631	124	0.51	160	0.434
17	1.516	53	0.852	89	0.627	125	0.508	161	0.432
18	1.479	54	0.843	90	0.622	126	0.505	162	0.431
19	1.444	55	0.834	91	0.618	127	0.503	163	0.429
20	1.411	56	0.825	92	0.614	128	0.5	164	0.427
21	1.38	57	0.817	93	0.61	129	0.498	165	0.426
22	1.35	58	0.809	94	0.606	130	0.495	166	0.424
23	1.322	59	0.801	95	0.602	131	0.493	167	0.422
24	1.296	60	0.793	96	0.598	132	0.491	168	0.421
25	1.27	61	0.785	97	0.594	133	0.488	169	0.419
26	1.246	62	0.778	98	0.591	134	0.486	170	0.418
27	1.223	63	0.771	99	0.587	135	0.484	171	0.416
28	1.201	64	0.764	100	0.583	136	0.481	172	0.415
29	1.18	65	0.757	101	0.58	137	0.479	173	0.413
30	1.16	66	0.75	102	0.576	138	0.477	174	0.411
31	1.141	67	0.743	103	0.573	139	0.475	175	0.41
32	1.122	68	0.737	104	0.569	140	0.473	176	0.408
33	1.104	69	0.73	105	0.566	141	0.471	177	0.407
34	1.087	70	0.724	106	0.563	142	0.468	178	0.406
35	1.071	71	0.718	107	0.559	143	0.466	179	0.404
36	1.055	72	0.712	108	0.556	144	0.464	180	0.403

P=5 年; t: 分钟 (min) ; i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	3.133	37	1.172	73	0.806	109	0.637	145	0.536
2	2.947	38	1.155	74	0.8	110	0.633	146	0.534
3	2.787	39	1.14	75	0.794	111	0.63	147	0.532
4	2.647	40	1.125	76	0.788	112	0.627	148	0.529
5	2.524	41	1.11	77	0.782	113	0.623	149	0.527
6	2.415	42	1.096	78	0.776	114	0.62	150	0.525
7	2.316	43	1.082	79	0.77	115	0.617	151	0.523
8	2.228	44	1.069	80	0.764	116	0.614	152	0.521
9	2.147	45	1.056	81	0.759	117	0.61	153	0.519
10	2.074	46	1.044	82	0.754	118	0.607	154	0.517
11	2.006	47	1.032	83	0.748	119	0.604	155	0.515
12	1.944	48	1.02	84	0.743	120	0.601	156	0.513
13	1.887	49	1.008	85	0.738	121	0.598	157	0.511
14	1.833	50	0.997	86	0.733	122	0.595	158	0.509
15	1.784	51	0.987	87	0.728	123	0.592	159	0.507
16	1.737	52	0.976	88	0.723	124	0.589	160	0.505
17	1.694	53	0.966	89	0.718	125	0.587	161	0.503
18	1.653	54	0.956	90	0.714	126	0.584	162	0.501
19	1.615	55	0.946	91	0.709	127	0.581	163	0.499
20	1.578	56	0.937	92	0.704	128	0.578	164	0.497
21	1.544	57	0.928	93	0.7	129	0.575	165	0.495
22	1.512	58	0.919	94	0.695	130	0.573	166	0.493
23	1.481	59	0.91	95	0.691	131	0.57	167	0.492
24	1.452	60	0.901	96	0.687	132	0.568	168	0.49
25	1.424	61	0.893	97	0.683	133	0.565	169	0.488
26	1.398	62	0.885	98	0.679	134	0.562	170	0.486
27	1.373	63	0.877	99	0.674	135	0.56	171	0.485
28	1.349	64	0.869	100	0.67	136	0.557	172	0.483
29	1.326	65	0.861	101	0.666	137	0.555	173	0.481
30	1.304	66	0.854	102	0.663	138	0.552	174	0.479
31	1.282	67	0.847	103	0.659	139	0.55	175	0.478
32	1.262	68	0.84	104	0.655	140	0.548	176	0.476
33	1.243	69	0.833	105	0.651	141	0.545	177	0.474
34	1.224	70	0.826	106	0.648	142	0.543	178	0.473
35	1.206	71	0.819	107	0.644	143	0.541	179	0.471
36	1.188	72	0.812	108	0.64	144	0.538	180	0.469

P=10 年; t: 分钟 (min) ; i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	3.58	37	1.343	73	0.934	109	0.744	145	0.631
2	3.36	38	1.325	74	0.927	110	0.741	146	0.628
3	3.173	39	1.307	75	0.92	111	0.737	147	0.626
4	3.011	40	1.29	76	0.914	112	0.733	148	0.623
5	2.869	41	1.274	77	0.907	113	0.729	149	0.621
6	2.743	42	1.258	78	0.9	114	0.725	150	0.618
7	2.63	43	1.243	79	0.894	115	0.722	151	0.616
8	2.529	44	1.228	80	0.888	116	0.718	152	0.613
9	2.438	45	1.214	81	0.882	117	0.715	153	0.611
10	2.354	46	1.2	82	0.875	118	0.711	154	0.609
11	2.278	47	1.186	83	0.87	119	0.708	155	0.606
12	2.208	48	1.173	84	0.864	120	0.704	156	0.604
13	2.143	49	1.161	85	0.858	121	0.701	157	0.602
14	2.083	50	1.148	86	0.852	122	0.697	158	0.6
15	2.027	51	1.136	87	0.847	123	0.694	159	0.597
16	1.975	52	1.124	88	0.841	124	0.691	160	0.595
17	1.926	53	1.113	89	0.836	125	0.688	161	0.593
18	1.88	54	1.102	90	0.831	126	0.685	162	0.591
19	1.837	55	1.091	91	0.825	127	0.681	163	0.589
20	1.797	56	1.081	92	0.82	128	0.678	164	0.587
21	1.759	57	1.07	93	0.815	129	0.675	165	0.584
22	1.723	58	1.06	94	0.81	130	0.672	166	0.582
23	1.688	59	1.05	95	0.805	131	0.669	167	0.58
24	1.656	60	1.041	96	0.801	132	0.666	168	0.578
25	1.625	61	1.032	97	0.796	133	0.663	169	0.576
26	1.595	62	1.022	98	0.791	134	0.66	170	0.574
27	1.567	63	1.014	99	0.787	135	0.658	171	0.572
28	1.54	64	1.005	100	0.782	136	0.655	172	0.57
29	1.514	65	0.996	101	0.778	137	0.652	173	0.568
30	1.49	66	0.988	102	0.773	138	0.649	174	0.566
31	1.466	67	0.98	103	0.769	139	0.646	175	0.564
32	1.443	68	0.972	104	0.765	140	0.644	176	0.563
33	1.422	69	0.964	105	0.761	141	0.641	177	0.561
34	1.401	70	0.956	106	0.756	142	0.638	178	0.559
35	1.381	71	0.949	107	0.752	143	0.636	179	0.557
36	1.361	72	0.942	108	0.748	144	0.633	180	0.555

P=20 年; t: 分钟 (min) ; i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	4	37	1.514	73	1.063	109	0.852	145	0.725
2	3.753	38	1.494	74	1.055	110	0.847	146	0.722
3	3.542	39	1.475	75	1.047	111	0.843	147	0.719
4	3.36	40	1.456	76	1.04	112	0.839	148	0.716
5	3.201	41	1.438	77	1.032	113	0.835	149	0.714
6	3.061	42	1.421	78	1.025	114	0.831	150	0.711
7	2.936	43	1.404	79	1.018	115	0.827	151	0.708
8	2.824	44	1.387	80	1.011	116	0.822	152	0.706
9	2.722	45	1.372	81	1.004	117	0.819	153	0.703
10	2.63	46	1.356	82	0.997	118	0.815	154	0.7
11	2.545	47	1.341	83	0.991	119	0.811	155	0.698
12	2.468	48	1.327	84	0.984	120	0.807	156	0.695
13	2.396	49	1.313	85	0.978	121	0.803	157	0.693
14	2.33	50	1.299	86	0.972	122	0.799	158	0.69
15	2.268	51	1.286	87	0.965	123	0.796	159	0.688
16	2.211	52	1.273	88	0.959	124	0.792	160	0.685
17	2.157	53	1.26	89	0.953	125	0.789	161	0.683
18	2.107	54	1.248	90	0.948	126	0.785	162	0.68
19	2.059	55	1.236	91	0.942	127	0.782	163	0.678
20	2.014	56	1.224	92	0.936	128	0.778	164	0.676
21	1.972	57	1.213	93	0.931	129	0.775	165	0.673
22	1.932	58	1.202	94	0.925	130	0.771	166	0.671
23	1.895	59	1.191	95	0.92	131	0.768	167	0.669
24	1.859	60	1.181	96	0.914	132	0.765	168	0.666
25	1.825	61	1.17	97	0.909	133	0.761	169	0.664
26	1.792	62	1.16	98	0.904	134	0.758	170	0.662
27	1.761	63	1.15	99	0.899	135	0.755	171	0.66
28	1.731	64	1.141	100	0.894	136	0.752	172	0.657
29	1.703	65	1.131	101	0.889	137	0.749	173	0.655
30	1.676	66	1.122	102	0.884	138	0.746	174	0.653
31	1.65	67	1.113	103	0.879	139	0.742	175	0.651
32	1.625	68	1.104	104	0.874	140	0.739	176	0.649
33	1.601	69	1.095	105	0.87	141	0.736	177	0.647
34	1.578	70	1.087	106	0.865	142	0.734	178	0.645
35	1.556	71	1.079	107	0.861	143	0.731	179	0.642
36	1.534	72	1.071	108	0.856	144	0.728	180	0.64

P=30 年; t: 分钟 (min) ; i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	4.232	37	1.603	73	1.129	109	0.907	145	0.773
2	3.967	38	1.582	74	1.121	110	0.903	146	0.77
3	3.743	39	1.562	75	1.113	111	0.898	147	0.767
4	3.549	40	1.542	76	1.105	112	0.894	148	0.765
5	3.381	41	1.523	77	1.097	113	0.889	149	0.762
6	3.232	42	1.505	78	1.089	114	0.885	150	0.759
7	3.1	43	1.487	79	1.082	115	0.881	151	0.756
8	2.981	44	1.47	80	1.075	116	0.876	152	0.753
9	2.874	45	1.454	81	1.067	117	0.872	153	0.75
10	2.776	46	1.437	82	1.06	118	0.868	154	0.748
11	2.687	47	1.422	83	1.053	119	0.864	155	0.745
12	2.606	48	1.407	84	1.047	120	0.86	156	0.742
13	2.53	49	1.392	85	1.04	121	0.856	157	0.739
14	2.46	50	1.377	86	1.033	122	0.852	158	0.737
15	2.395	51	1.363	87	1.027	123	0.848	159	0.734
16	2.335	52	1.35	88	1.02	124	0.844	160	0.732
17	2.278	53	1.337	89	1.014	125	0.841	161	0.729
18	2.225	54	1.324	90	1.008	126	0.837	162	0.726
19	2.176	55	1.311	91	1.002	127	0.833	163	0.724
20	2.129	56	1.299	92	0.996	128	0.829	164	0.721
21	2.084	57	1.287	93	0.99	129	0.826	165	0.719
22	2.042	58	1.275	94	0.984	130	0.822	166	0.717
23	2.003	59	1.264	95	0.979	131	0.819	167	0.714
24	1.965	60	1.253	96	0.973	132	0.815	168	0.712
25	1.929	61	1.242	97	0.967	133	0.812	169	0.709
26	1.895	62	1.231	98	0.962	134	0.808	170	0.707
27	1.862	63	1.221	99	0.957	135	0.805	171	0.705
28	1.831	64	1.211	100	0.951	136	0.802	172	0.702
29	1.801	65	1.201	101	0.946	137	0.798	173	0.7
30	1.773	66	1.191	102	0.941	138	0.795	174	0.698
31	1.746	67	1.182	103	0.936	139	0.792	175	0.695
32	1.719	68	1.173	104	0.931	140	0.789	176	0.693
33	1.694	69	1.163	105	0.926	141	0.786	177	0.691
34	1.67	70	1.155	106	0.921	142	0.783	178	0.689
35	1.647	71	1.146	107	0.916	143	0.779	179	0.686
36	1.624	72	1.137	108	0.912	144	0.776	180	0.684

P=50 年; t: 分钟 (min) ; i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	4.525	37	1.713	73	1.211	109	0.976	145	0.834
2	4.238	38	1.691	74	1.203	110	0.971	146	0.831
3	3.996	39	1.67	75	1.194	111	0.966	147	0.828
4	3.788	40	1.649	76	1.186	112	0.962	148	0.825
5	3.606	41	1.629	77	1.178	113	0.957	149	0.821
6	3.447	42	1.61	78	1.17	114	0.952	150	0.818
7	3.305	43	1.591	79	1.162	115	0.948	151	0.815
8	3.178	44	1.573	80	1.154	116	0.943	152	0.812
9	3.064	45	1.555	81	1.146	117	0.939	153	0.809
10	2.96	46	1.538	82	1.139	118	0.935	154	0.806
11	2.865	47	1.522	83	1.131	119	0.93	155	0.804
12	2.778	48	1.506	84	1.124	120	0.926	156	0.801
13	2.698	49	1.49	85	1.117	121	0.922	157	0.798
14	2.623	50	1.475	86	1.11	122	0.918	158	0.795
15	2.554	51	1.46	87	1.103	123	0.913	159	0.792
16	2.49	52	1.446	88	1.096	124	0.909	160	0.789
17	2.43	53	1.432	89	1.09	125	0.905	161	0.787
18	2.374	54	1.418	90	1.083	126	0.901	162	0.784
19	2.321	55	1.405	91	1.077	127	0.897	163	0.781
20	2.271	56	1.392	92	1.07	128	0.894	164	0.779
21	2.224	57	1.379	93	1.064	129	0.89	165	0.776
22	2.179	58	1.367	94	1.058	130	0.886	166	0.773
23	2.137	59	1.355	95	1.052	131	0.882	167	0.771
24	2.097	60	1.343	96	1.046	132	0.879	168	0.768
25	2.059	61	1.331	97	1.04	133	0.875	169	0.766
26	2.023	62	1.32	98	1.034	134	0.871	170	0.763
27	1.989	63	1.309	99	1.029	135	0.868	171	0.761
28	1.956	64	1.298	100	1.023	136	0.864	172	0.758
29	1.924	65	1.288	101	1.017	137	0.861	173	0.756
30	1.894	66	1.278	102	1.012	138	0.857	174	0.753
31	1.865	67	1.268	103	1.007	139	0.854	175	0.751
32	1.837	68	1.258	104	1.001	140	0.85	176	0.748
33	1.81	69	1.248	105	0.996	141	0.847	177	0.746
34	1.785	70	1.239	106	0.991	142	0.844	178	0.744
35	1.76	71	1.229	107	0.986	143	0.84	179	0.741
36	1.736	72	1.22	108	0.981	144	0.837	180	0.739

P=100 年; t: 分钟 (min) ; i: 毫米/分钟 (mm/min)

t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	4.925	37	1.857	73	1.318	109	1.065	145	0.912
2	4.605	38	1.834	74	1.309	110	1.06	146	0.909
3	4.336	39	1.811	75	1.3	111	1.055	147	0.905
4	4.107	40	1.789	76	1.291	112	1.05	148	0.902
5	3.908	41	1.767	77	1.282	113	1.045	149	0.899
6	3.733	42	1.746	78	1.273	114	1.04	150	0.895
7	3.578	43	1.726	79	1.265	115	1.035	151	0.892
8	3.44	44	1.707	80	1.256	116	1.03	152	0.889
9	3.315	45	1.688	81	1.248	117	1.025	153	0.886
10	3.202	46	1.669	82	1.24	118	1.021	154	0.883
11	3.099	47	1.652	83	1.232	119	1.016	155	0.879
12	3.005	48	1.634	84	1.224	120	1.011	156	0.876
13	2.918	49	1.618	85	1.217	121	1.007	157	0.873
14	2.837	50	1.601	86	1.209	122	1.002	158	0.87
15	2.763	51	1.585	87	1.202	123	0.998	159	0.867
16	2.693	52	1.57	88	1.195	124	0.993	160	0.864
17	2.629	53	1.555	89	1.187	125	0.989	161	0.861
18	2.568	54	1.54	90	1.18	126	0.985	162	0.858
19	2.511	55	1.526	91	1.173	127	0.981	163	0.856
20	2.457	56	1.512	92	1.167	128	0.976	164	0.853
21	2.407	57	1.498	93	1.16	129	0.972	165	0.85
22	2.359	58	1.485	94	1.153	130	0.968	166	0.847
23	2.313	59	1.472	95	1.147	131	0.964	167	0.844
24	2.27	60	1.459	96	1.14	132	0.96	168	0.841
25	2.229	61	1.447	97	1.134	133	0.956	169	0.839
26	2.19	62	1.435	98	1.128	134	0.952	170	0.836
27	2.153	63	1.423	99	1.122	135	0.949	171	0.833
28	2.118	64	1.412	100	1.116	136	0.945	172	0.831
29	2.084	65	1.4	101	1.11	137	0.941	173	0.828
30	2.051	66	1.389	102	1.104	138	0.937	174	0.825
31	2.02	67	1.379	103	1.098	139	0.934	175	0.823
32	1.99	68	1.368	104	1.093	140	0.93	176	0.82
33	1.962	69	1.358	105	1.087	141	0.926	177	0.818
34	1.934	70	1.348	106	1.081	142	0.923	178	0.815
35	1.908	71	1.338	107	1.076	143	0.919	179	0.812
36	1.882	72	1.328	108	1.071	144	0.916	180	0.81

附录 A 专家评审意见

《益阳市暴雨强度公式修编项目技术报告》

专家评审意见

2026年1月27日，湖南省气象局科技与预报处在长沙组织有关专家(名单附后)对湖南省气象灾害防御技术中心(湖南省防雷中心)编制的《益阳市暴雨强度公式修编项目技术报告》(以下简称《报告》)进行了评审。专家组认真听取了编制单位对编制工作的介绍，查阅了相关资料，经质询和讨论，形成如下意见：

1.该报告严格按照《室外排水设计规范》(GB 50014-2021)、《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》、《湖南城市暴雨设计参数确定技术规范》(DB 43/T 1628-2019)开展了益阳市中心城区暴雨强度公式修编工作。所采用的降水观测资料准确、可靠。

2.《报告》经过对比分析，采用年最大值法选样、选取耿贝尔分布曲线拟合、最小二乘法参数求解，推算出益阳市暴雨强度总公式和单一重现期分公式。

专家组同意《报告》通过评审。

专家组组长(签字):



2026年1月27日

附录 B 评审专家名单

益阳市暴雨强度公式修编项目
评审会专家名单

姓名	工作单位	职务/职称	签名
尹新怀	湖南省气象技术装备中心	正高	尹新怀
吴贤云	湖南省气候中心	正高	吴贤云
贾海鹰	湖南省气象服务中心	高工	贾海鹰
苏涛	湖南省气象台	高工	苏涛
余青松	益阳市气象局	高工	余青松