

ICS 07.060

A 47

DB43

湖 南 省 地 方 标 准

DB43/T 1628—2019

湖南城市暴雨设计参数确定技术规范

Technical specification for determining design parameters
of urban rainstorm in Hunan

2019-04-30发布

2019-07-30实施

湖南省市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号和单位	2
5 技术内容和流程	2
6 降雨资料和统计样本	3
7 频率计算和分布曲线拟合	4
8 暴雨强度公式编制	4
9 短历时暴雨雨型确定	5
10 设计降雨量推算	5
11 图表绘制	6
12 适用性分析	6
13 报告编制	6
附录 A(资料性附录) 自记纸降雨记录资料处理	8
附录 B(资料性附录) 理论频率曲线类型	9
附录 C(资料性附录) 暴雨强度公式拟合方法	13
附录 D(规范性附录) 短历时暴雨雨型	15
附录 E(规范性附录) 年径流总量控制率与设计降雨量的计算	18
附录 F(资料性附录) 常用图表格式(样张)	20

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由湖南省气象局提出并归口。

本标准负责起草单位：湖南省气候中心。

本标准参与起草单位：湖南省建筑设计院。

本标准主要起草人员：曾向红、吴浩、王光明、廖玉芳、张文、郭凌曜、张剑明、赵辉、栗志钢、陈积义。

湖南城市暴雨设计参数确定技术规范

1 范围

本标准规定了湖南省城市暴雨设计参数确定的技术内容和流程、降雨资料要求和技术方法。
本标准适用于湖南省城市暴雨强度公式的编制、设计暴雨雨型及设计降雨量的确定。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列标准（规范、导则）中的有关条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB 50014 室外排水设计规范
- GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
- QX/T 52 地面气象观测规范 第8部分：降水观测
- QX/T 22 地面气候资料30年整编常规项目及其统计方法
- QX/T 118 地面气象观测资料质量控制
- 2014 海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建（试行）
- 2014 城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

降雨历时 **rainfall duration**

指连续降雨的时段，为累积雨量的时间长度，以分钟（min）计。

3.2

降雨量 **rainfall amount**

某一时段内降落到水平面上的雨水累积深度，以毫米（mm）计。

3.3

暴雨强度 **rainfall intensity**

指某一历时内单位时间（每分钟或每小时）的降雨量，以 mm/min 或 L/（s·hm²）计。

3.4

短历时降雨 **short duration precipitation**

指降雨历时小于等于 180 分钟的降雨。

3.5

有效暴雨资料样本 **effective rainstorm sample**

作为暴雨强度公式编制、设计雨型及设计降雨量确定的降雨数据样本。

3.6

暴雨重现期 **rainstorm return period**

某一强度的暴雨重复出现的统计平均时间间隔，以年（a）计。

3.7

暴雨强度公式 **rainstorm intensity formula**

指反应短历时暴雨过程中暴雨强度—降雨历时—重现期三者间函数关系的数学表达式，适用于城市小区域降雨规律的定量描述。

3.8

暴雨雨型 **rainstorm distribution**

不同降雨历时内的暴雨强度随时间变化的特征，以不同降雨历时的降雨过程线型表达。

3.9

雨峰 **rain peak**

降雨历时内暴雨强度的峰值（最大值）。

3.10

雨峰位置系数 **peak intensity position coefficient**

表征暴雨强度过程的雨峰位置的参数，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。

3.11

设计降雨量 **design rainfall depth**

为实现一定的年径流总量控制目标（年径流总量控制率），雨水控制与利用设施能消纳的径流总量所对应的降雨量，一般通过当地多年日降雨资料统计数据获取，通常用日降雨量（mm）表示。

3.12

年径流总量控制率 **volume capture ratio of annual rainfall**

通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发等方式，场地内累计一年得到控制（不外排）的雨水量占全年总降雨量的百分比。

4 符号和单位

下列符号和单位适用于本标准。

i——设计暴雨强度，mm/min；

q——设计暴雨强度，L/（s·hm²）；

P——设计暴雨重现期，a；

t——降雨历时，min；

A1、A——雨力参数，经验参数；

C——雨力变动参数，经验参数；

b——降雨历时修正参数，经验参数；

n——暴雨衰减指数，经验参数；

r——雨峰位置系数，无量纲系数；

H——设计降雨量，mm。

5 技术内容和流程

5.1 技术内容包括：气象站站点选择、原始数据整理、降雨资料年限确定、统计样本建立、频率计算和分布曲线拟合、暴雨强度公式参数求解、短历时设计暴雨雨型确定、设计降雨量确定、图表绘制、成

果适用性分析、报告编制等。

5.2 技术流程包括：数据处理、频率计算和分布曲线拟合、暴雨强度公式编制、设计暴雨雨型和设计降雨量确定、适用性分析、报告编制等内容。技术流程详见图 1。

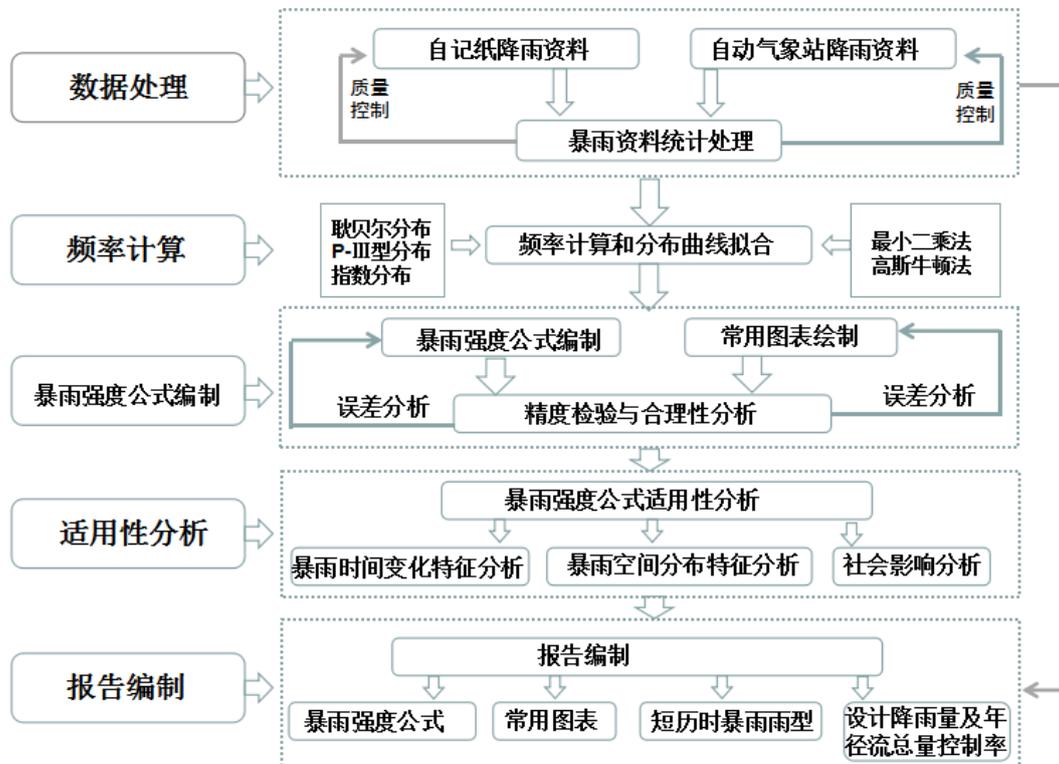


图 1 暴雨设计参数确定技术流程图

6 降雨资料和统计样本

6.1 降雨站点及资料选取

6.1.1 降雨资料的站点选择应满足区域代表性、历史数据连续性和一致性要求。

6.1.2 站点选择应保证原始数据的随机性和独立性，不可采用数个站点的数据混合样本。

6.1.3 选择站点在资料年限内发生迁址、雨量记录仪更换时，须对降雨资料的代表性和一致性进行论证和说明。

6.1.4 编制一个城市的暴雨强度公式，至少应选择一个代表性站点，城市地形地貌及降雨特征差异较大，并具备基础资料条件的城市，宜选择多个代表性站点编制当地不同区域的暴雨强度公式，以分别代表城市的不同区域特征。

6.1.5 短历时暴雨雨型资料站点及设计降雨量资料站点宜与暴雨强度公式站点一致。

6.1.6 选择当地国家气象站或区域气象站作为代表性站点。若研究区域内无国家气象站和区域气象站或已设站点不满足上述要求时，可考虑选择其他行业降雨观测站作为代表性站点或辅助站点，但应依据上述要求，对资料的可用性进行论证。

6.1.7 暴雨强度公式编制和短历时暴雨雨型及设计降雨量采用的基础资料年限至少需要 30 年；宜通过降雨时间变化特征分析，合理选择资料年限，但须包括最近年份的降雨资料。

6.1.8 原始降雨资料宜采用逐分钟自动记录的基础数据，主要包括以自记纸形式记录的逐分钟降雨资料和国家自动气象站自动记录的逐分钟降雨资料。

6.1.9 应按照气象数据审核规范，对原始资料进行数据质量检查、审核。

- 6.1.10 应收集给出基础资料涉及各个观测站的降雨观测沿革。
- 6.1.11 历史日记纸降雨记录资料处理，可按照附录 A 规定进行。

6.2 统计样本选取

- 6.2.1 暴雨强度公式编制的降雨历时应采用 5min、10min、15min、20min、30min、45min、60min、90min、120min、150min、180min 共 11 个历时。
- 6.2.2 短历时暴雨雨型确定的降雨历时采用 30min、60min、90min、120min、150min、180min 共 6 个历时。
- 6.2.3 统计样本选取，应采用逐分钟滑动统计法，选取各降雨历时雨量逐年最大值的降雨场次，记录选定降雨场次过程开始时间及逐分钟降雨量，作为各降雨历时的有效降雨资料样本。同一场次降雨过程中，同一种历时降雨不可以交叉，不受日、月界的限制（但不跨年）。
- 6.2.4 选取各降雨历时雨量的逐年最大值，作为暴雨强度公式编制的有效样本。
- 6.2.5 选取各降雨历时雨量的逐年最大值的降雨场次，记录选定降雨场次过程开始时间、结束时间及逐分钟降雨量，作为短历时雨型统计的有效样本。
- 6.2.6 选取日降雨量作为设计降雨量统计的有效样本。

7 频率计算和分布曲线拟合

7.1 频率和重现期计算

- 7.1.1 样本按照降序排列，样本经验频率按以下公式计算：

$$p = m/(n + 1) \times 100\% \dots\dots\dots (7.1)$$

式中，p 为经验频率；m 为排序数；n 为样本容量，即样本总数。

- 7.1.2 重现期与经验频率按照以下公式换算：

$$P = 1/p \dots\dots\dots (7.2)$$

式中，P 为重现期 (a)，p 为经验频率。

- 7.1.3 年最大值法计算降雨重现期按 2a、3a、5a、10a、20a、30a、50a、100a 等 8 个重现期计算。精度检验重点为重现期 2~20a 区间。

7.2 频率分布曲线拟合

- 7.2.1 频率分布曲线拟合应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，一般选择理论频率分布曲线，如：皮尔逊-III型曲线、耿贝尔分布曲线、指数分布曲线等，详见附录 B。从中选取拟合效果较好的理论频率曲线函数类型。
- 7.2.2 采用理论频率曲线拟合时，应结合当地降雨频率统计分析的经验，宜在控制拟合精度的同时，注意频率曲线的总体协调。
- 7.2.3 根据编制暴雨强度公式重现期的范围要求 (2~100a 区间)，须对拟合确定的频率分布曲线进行适线外延。
- 7.2.4 根据确定的频率分布曲线，得出暴雨强度 (i)、重现期 (P)、和降雨历时 (t) 三者关系值，即 i-P-t 关系表。

8 暴雨强度公式编制

- 8.1 暴雨强度公式可以选用包含重现期的暴雨强度公式 (以下简称为“总公式”) 和单一重现期的暴雨

强度公式（以下简称为“单公式”）。

8.2 总公式的表达形式为式（8.1），拟合方法详见附录 C（1）

$$q = \frac{167A_1(1+C \lg P)}{(t+b)^n} \dots\dots\dots (8.1)$$

式中 A_1 、 b 、 n 为待求的参数， q 为设计暴雨强度， t 为降雨历时。

8.3 单公式的表达式为式（8.2），拟合方法详见附录 C（2）

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \dots\dots\dots (8.2)$$

式中 A 、 b 、 n 为待求的参数， q 为设计暴雨强度， t 为降雨历时。

8.4 为确保计算结果的准确性，应对暴雨强度计算结果进行精度检验，按《室外排水设计规范》（GB 50014—2006，2016 版）的要求，需计算平均均方根误差或平均相对均方根误差。

$$\text{平均均方根误差: } \bar{X}_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{t_i} \right)^2} \dots\dots\dots (8.3)$$

$$\text{平均相对均方根误差: } \bar{U}_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{R'_i - R_i}{R_i} \right)^2} \times 100\% \dots\dots\dots (8.4)$$

式（8.3）、（8.4）中， R' 为理论降雨量， R 为 $i - P-t$ 曲线确定的降雨量， t 为降雨历时， n 为样本数。

8.5 编制重现期 2~100a 范围的暴雨强度公式时，应重点保证重现期 2~20a 区间的拟合精度。在一般降雨强度的区域，平均均方根误差不宜大于 0.05mm/min；在较大降雨强度的区域，平均相对均方根误差不宜大于 5%。

8.6 暴雨强度公式降雨历时范围为 5~180min。降雨历时不在此范围时，设计暴雨强度应进行适当修正或复核，修正或复核应符合下列规定：

- 1) 降雨历时小于 5min，一般出现在地道、下立交、下沉式广场等市政雨水管渠规划设计中，设计降雨强度应乘以 1.2~1.5 的安全系数。
- 2) 降雨历时大于 180min，应考虑降雨在时空分布的不均匀性和管网汇流过程，应采用管网模型法校核雨水设计流量。

9 短历时暴雨雨型确定

9.1 应根据本地条件和需要，研究确定设计暴雨统计模型。推荐采用芝加哥雨型或 Pilgrim&Cordery 雨型。

9.2 芝加哥法雨型确定包括综合雨峰位置系数确定及芝加哥降雨过程线模型确定，技术流程详见附录 D（1）。

9.3 Pilgrim&Cordery 雨型属无级序平均计算雨型，其分析确定的技术流程详见附录 D（2）。

10 设计降雨量推算

10.1 设计降雨量应按日降雨量进行统计分析，小于 2.0mm 的降雨不统计。

10.2 不同年径流总量控制率对应的设计降雨量的计算见附录 E。

10.3 降雨量日值统计分析表（样表）见附录 F。

11 图表绘制

11.1 常用查算图表包括：暴雨强度查算表、暴雨强度曲线图、降雨量曲线图、短历时暴雨过程降雨强度查算表、短历时暴雨雨型图、年径流总量控制率与设计降雨量的关系曲线图。

11.2 可根据暴雨强度总公式或单公式计算编制暴雨强度常用查算图表、绘制暴雨强度曲线、降雨曲线图。曲线图格式可参照附录 E 常用图表格式。

11.3 短历时暴雨雨型图以及设计降雨量图格式可参照附录 E 常用图表格式。

11.4 暴雨强度总公式是基于曲线拟合得到的 $i-P-t$ 表，经最小二乘法和数理方程求解获得，与单公式相比精度略有差异。各地在编制暴雨强度公式及图表时，须统筹协调，并规定适用范围和条件。

12 适用性分析

12.1 时间分布特征分析

12.1.1 分析降雨的长年代变化特征，合理确定暴雨强度公式编制的降雨资料年限。

12.1.2 以各历时降雨量的前 10 个最大值在各年代的分布特征，分析城市强暴雨的时间变化特征。

12.1.3 以本地代表性站点，对采用不同年限降雨资料编制的暴雨强度公式结果进行差异性分析，论证降雨资料年限选择的合理性。

12.2 空间分布特征分析

12.2.1 对于地形地貌差异较大或涵盖范围大的城市，可补充利用本地加密观测的其他降雨资料，分析本地强降雨的区域分布特征，为编制的暴雨强度公式的适用范围提供依据。

12.2.2 对比代表性站点与加密观测站点降雨资料，绘制部分典型历时的暴雨事件发生次数、最大降雨量分布图，以及代表性站点与加密观测站点特征参数的比值或差值等，分析暴雨的区域分布特征。

12.2.3 基础资料条件许可的城市，可编制不同分区代表性站点的暴雨强度公式，并通过其差异性分析，确定暴雨分区的合理性。

12.3 社会影响分析

12.3.1 依据降雨空间分布特征分析结论，说明是否需要划分暴雨分区、站点代表性以及新编暴雨强度公式的适应地域范围。

12.3.2 依据气候变化、城市化发展和强暴雨时间分布特征，说明样本年限确定的合理性和适用性。

12.3.3 开展新编暴雨强度公式与原采用的暴雨强度公式的对比分析，同时应注意代表性站点选择、样本年限、以及年最大值法与年多个样法等不同采样方法产生的差异。

12.3.4 提出推荐报告编制（含公式、图表），并说明其适应范围和条件。

13 报告编制

13.1 城市暴雨强度公式。

13.2 短历时设计暴雨雨型。

13.3 设计降雨量及年径流总量控制率。

13.4 常用图表，其中包括：暴雨强度查算表、暴雨强度曲线图、降雨量曲线图、短历时暴雨过程降雨强度查算表、短历时暴雨雨型图、年径流总量控制率与设计降雨量的关系曲线图。

13.5 附加说明，其中包括：资料说明、方法说明、适用性说明。

13.6 修编建议：对降雨特征分析（包括暴雨强度公式、短历时设计暴雨雨型、设计降雨量）的下次修编时间提出建议，一般建议 5~10a 进行复核或修编。

附录 A
(资料性附录)
自记纸降雨记录资料处理

对以自记纸形式保存的历史降雨自记记录资料,推荐使用中国气象局组织编制的“降雨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,将气象站降雨自记纸图像进行数字化转换,成为逐分钟降雨量,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:

1) 降雨自记纸预处理

在自记纸扫描前,需将装订好的自记纸拆开,挑选出有降雨过程的自记纸,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,既保证得到的扫描图像的清晰度,又有较快的扫描速度。

3) 降雨自记迹线的跟踪

调整合适的阈值,使程序能更好的自动跟踪;在强降雨时,采用强降雨跟踪方法(在非强降雨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,输入这段时间的降雨量;无降雨时的处理方法是从小最早出现降雨的地方开始跟踪,将尾部无降雨的迹线删除;注意与状态库或地面气象观测记录月报表文件中的日降雨量及逐时降雨量进行比对。

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,可运行 ZJJC 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

降雨自记纸数字化处理应得到 3 个数据集:图像数据集、降雨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。

附录 B
(资料性附录)
理论频率曲线类型

1 皮尔逊—III型曲线

皮尔逊—III型曲线又称 P-III型曲线，是一种单峰型正偏曲线，整体不对称，该分布的概率密度的数学表达式为：

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)}(x - a_0)^{\alpha-1}e^{-\beta(x-a_0)}(a_0 < x < \infty), \alpha > 0, \beta > 0 \dots\dots\dots(\text{附 B. 1})$$

式 (附 B. 1) 中： α 、 β 、 a_0 表示 P-III型分布包含的参数；

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1}e^{-x}dx \dots\dots\dots(\text{附 B. 2})$$

式 (附 B. 2) 中： $\Gamma(\alpha)$ 为 α 的伽玛函数；

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2} \dots\dots\dots(\text{附 B. 3})$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x}C_vC_s} \dots\dots\dots(\text{附 B. 4})$$

$$a_0 = \bar{x}\left(1 - \frac{2C_v}{C_s}\right) \dots\dots\dots(\text{附 B. 5})$$

式 (附 B. 3、附 B. 4、附 B. 5) 中： \bar{x} 为均值， C_v 为离差系数， C_s 为偏态系数；

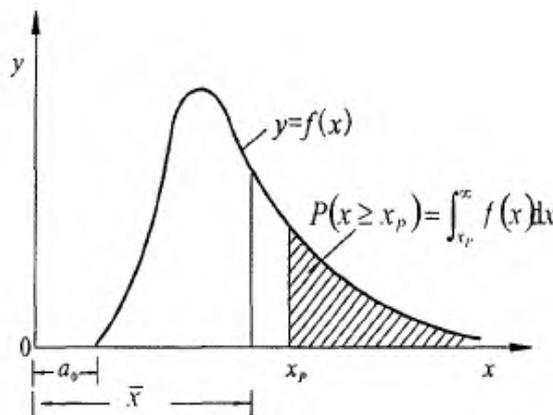
这三个参数的求解可以通过矩法进行初步确定，公式如下：

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum x_i \dots\dots\dots(\text{附 B. 6})$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum(k_i-1)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(\text{附 B. 7})$$

$$C_s = \frac{\sum(k_i-1)^3}{(n-3)C_v^3} \dots\dots\dots(\text{附 B. 8})$$

其中， $k_i = x_i/\bar{x}$ 将上面的公式代入到 P-III型曲线的方程式中，则方程式变成一个关于 x 的函数式，只要给定一个 x 值，就可以计算出一个 y 值，得到的概率密度曲线如下图附 B. 1 所示。



图附 B. 1 P-III型密度曲线

一般计算的是大于或者等于 x_p 所对应的累积频率 P 值, 为了方便计算, 将原来的 P-III 方程式进行变量转换, 积分形式变换为:

$$p(\Phi \geq \Phi_p) = \int_{x_p}^{\infty} f(\Phi \cdot C_s) d\Phi \dots\dots\dots (\text{附 B. 9})$$

式中 $\Phi = \frac{x - \bar{x}}{x C_v}$ 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, 就可以通过式 (附 B. 9) 得出 p 与 Φ 之间的关系。由 Φ 可以求出相应概率的 x 值:

$$x = \bar{x}(1 + C_v \Phi) \dots\dots\dots (\text{附 B. 10})$$

在已知 \bar{x} 、 C_v 、 C_s 的情况下, 由此就可以绘制出 x_p 与频率 P 的关系曲线。实际计算中通过不断调整偏态系数和变差系数的值来得到最优理论频率曲线。

2 耿贝尔 (Gumbel) 分布曲线

耿贝尔分布曲线是极值分布的第一形式在水文统计中的应用, 曲线的分布形态为偏态铃形分布。当选取的样本有 N 个年最大值量, 就有 N 个最大项 x , 最大项即极值项, 因此这些 x 所组成的分布称为极值分布。耿贝尔分布频率曲线是 P-III 型分布曲线中 C_s 固定为 1.14 时的特例情况, 因此只存在 C_v 和 \bar{x} 两个变量, 计算更为简单, 耿贝尔分布的密度函数表达式为:

$$f(x) = a \exp(-a(x-b) - e^{-a(x-b)}) \dots\dots\dots (\text{附 B. 11})$$

式 (附 B. 11) 中: a -尺度参数, b -分布密度的众数。

将耿贝尔分布的密度函数进行积分, 得到耿贝尔分布的函数为:

$$P(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = \exp(-e^{-a(x-b)}) \dots\dots\dots (\text{附 B. 12})$$

式中:

$$a \approx \frac{1.2825}{\sigma} \dots\dots\dots (\text{附 B. 13})$$

$$b \approx \bar{x} - 0.45005\sigma \dots\dots\dots (\text{附 B. 14})$$

则超过积累概率函数为 $P_G(x)$, 表达式如下:

$$P_G(x) = P(X \geq x) = 1 - \exp(-e^{-a(x-b)}) \dots\dots\dots (\text{附 B. 15})$$

将式 (附 B. 15) 两边同时取对数后, 移项再次取对数得:

$$x = b - \frac{1}{a} \ln(-\ln(1 - P_G(x))) \dots\dots\dots (\text{附 B. 16})$$

将式 (附 B. 13) 和式 (附 B. 14) 代入到式 (附 B. 16), 整理得:

$$\frac{x - \bar{x}}{\sigma} = -(0.45005 + 0.7797 \ln(-\ln(1 - P_G(x)))) \dots\dots\dots (\text{附 B. 17})$$

其中 Φ_G 为 x 的离均系数, 由式 (附 B. 17) 可知, Φ_G 中只有 $P_G(x)$ 一个变量, 因此可以直接运用样本的频率值得出离均系数值, 然后代入到式 (附 B. 17) 中即可得出对应的 x 值。

3 指数分布曲线

指数分布曲线又称 Weibull 分布, 频率分布形态呈现乙型分布, 指数分布的密度函数为:

$$f(x) = ae^{-a(x-b)}(b \leq x \leq +\infty) \dots\dots\dots (附 B. 18)$$

式中:

a —为离散程度, $a > 0$

b —分布曲线的下限值

x —暴雨强度

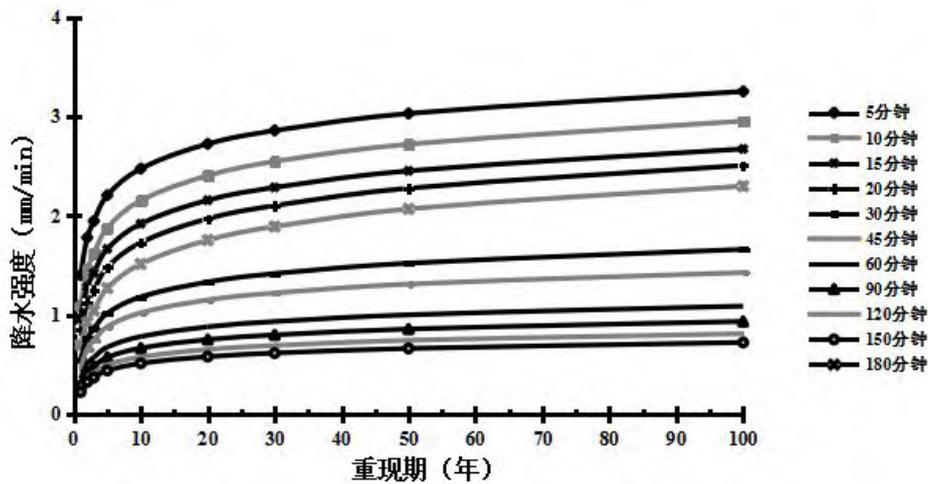
对式(附 B. 18)进行积分, 得到指数分布的函数表达式为:

$$P_W(x) = \int_{x_b}^{\infty} f(x)dx = e^{-a(x-b)} \dots\dots\dots (附 B. 19)$$

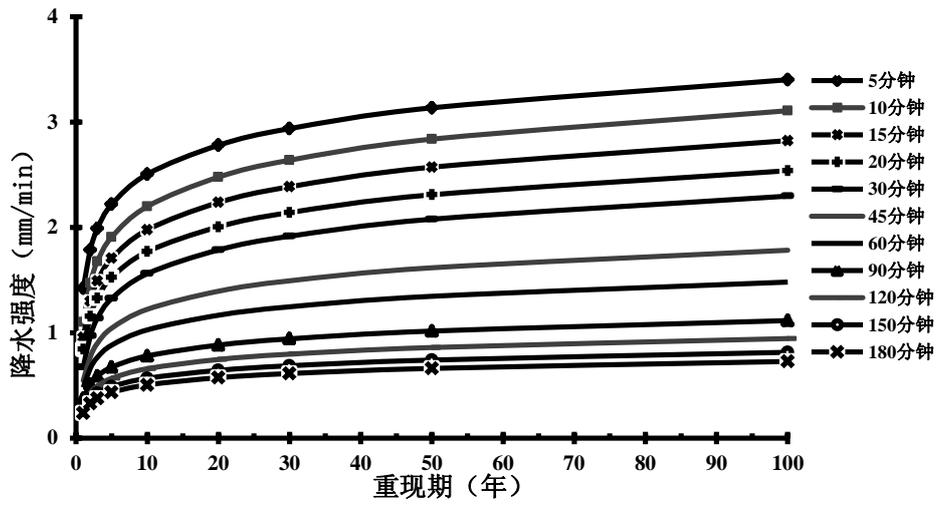
将式(附 B. 19)两端同时取对数得:

$$x = b - \frac{\ln(P_W(x))}{a} \dots\dots\dots (附 B. 20)$$

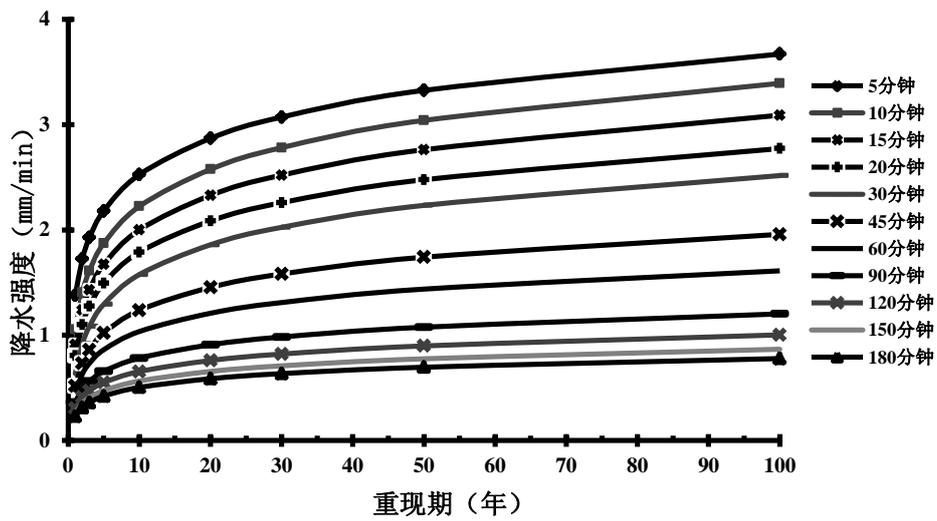
实际计算时, 先根据选出的样本计算出参数 a 和 b 的值, 然后根据式(附 B. 20)推求出 x 的值。下图附 B. 2~图附 B. 4 为根据某市气象站 36a 的降雨资料画出的不同历时降水强度随重现期的变化曲线。在原始降雨资料的基础上, 分别利用 P-III型分布、耿贝尔分布、指数分布曲线拟合出不同历时降水强度随重现期的变化曲线。



图附 B. 2 不同历时降水强度随重现期的拟合曲线 (P-III分布)



图附 B.3 不同历时降水强度随重现期的拟合曲线（耿贝尔分布）



图附 B.4 不同历时降水强度随重现期的拟合曲线（指数分布）

附录 C
(资料性附录)
暴雨强度公式拟合方法

1 包含重现期的暴雨强度公式的拟合

包含重现期的暴雨强度公式的表达形式为

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

式(附 C. 1)中 A_1 、 b 、 n 为待求的参数, q 为暴雨强度, t 为降雨历时。对式(附 C. 1)两端求对数, 得到:

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

设 $y = \ln q - \ln(1 + C \lg P)$, $d_0 = \ln 167 A_1$, $d_1 = -n$, $x = \ln(t + b)$, 则上式可写为:

$$y = d_0 + d_1 x \dots\dots\dots (\text{附 C. 2})$$

采用最小二乘法求出式(附 C. 2)中的 d_0 、 d_1 。

由于式(附 C. 1)中的 b 也是未知数, 可采用“数值逼近法”进行处理: 先给定一个 b 值, 采用最小二乘法进行计算, 得出相应的 A_1 、 n 以及 q' (拟合值), 同时求出公式的平均绝对均方差 $\bar{\sigma}$:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{m_0} \sum_{j=1}^{m_0} \left(\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (q_{ij} - q'_{ij})^2} \right) \dots\dots\dots (\text{附 C. 3})$$

式(附 C. 3)中 m 为 11 个历时, m_0 为 8 个重现期。

不断调整 b 值, 直至使其 $\bar{\sigma}$ 值达到最小。选取使 $\bar{\sigma}$ 最小的一组参数 A_1 、 b 、 n , 即为最佳拟合参数。

2 单一重现期暴雨强度公式的拟合

单一重现期的暴雨强度公式为

$$q = \frac{167 A}{(t + b)^n} \dots\dots\dots (\text{附 C. 4})$$

式(附 C. 4)中 A 、 b 、 n 为待求的参数, q 为暴雨强度, t 为降雨历时。

对式(附 C. 4)两边取对数, 并令: $y = \ln q$, $d_0 = \ln A$, $d_1 = -n$, $x = \ln(t + b)$, 则公式(附 C. 4)可简化为一个一元线性方程形式:

$$y = d_0 + d_1 x \dots\dots\dots (\text{附 C. 5})$$

同上, 采用最小二乘法, 可求出式(附 C. 5)中的 d_0 和 d_1 , 继而则可求出 A 、 b 、 n 。

以此方法, 可将 8 个重现期 (2a、3a、5a、10a、20a、30a、50a、100a) 的暴雨强度公式逐个推算出来。

当实际中需要计算两个单一重现期之间的暴雨强度, 可引入重现期区间参数公式: $y = b_1 + b_2 \ln(P + C)$ 。式中 y 为 A 、 b 、 n 参数中的任一个, P 为重现期, C 为常数。

将 2a 到 100a 划分为 2~10 和 10~100 两个区间, 将 A 、 b 、 n 代入区间参数公式, 得到:

$$A = A_1 + A_2 \ln(P + C_a) \dots\dots\dots (\text{附 C. 6})$$

$$b = b_1 + b_2 \ln(P + C_b) \dots\dots\dots (\text{附 C. 7})$$

$$n=n_1+n_2\ln(P+C_n)\cdots\cdots\cdots\text{(附 C.8)}$$

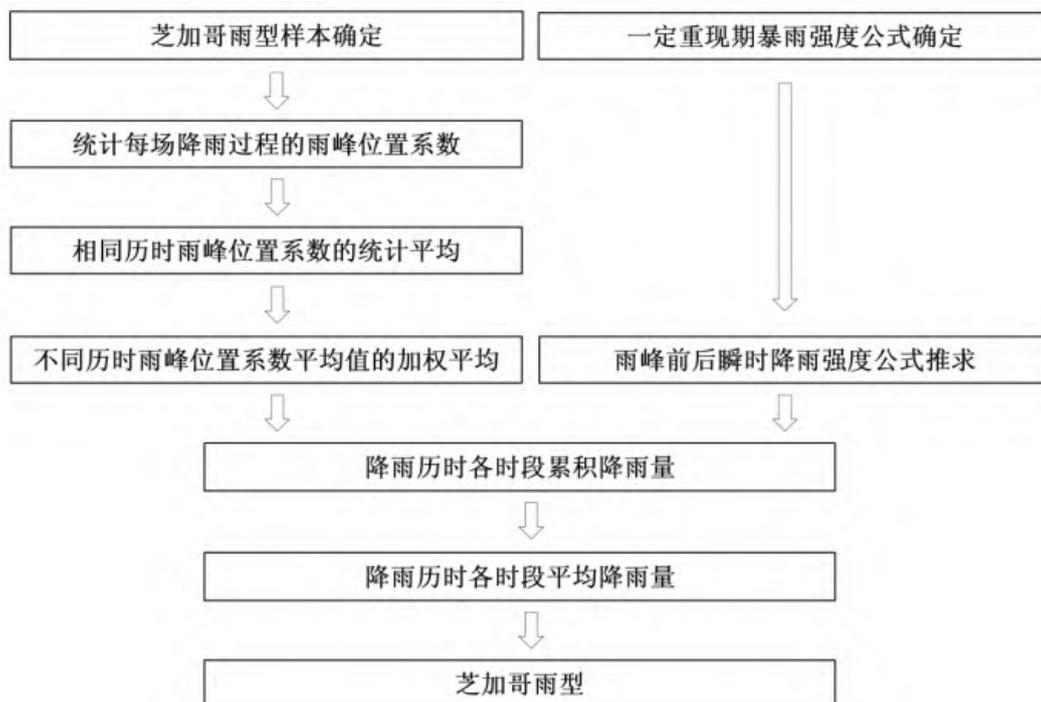
依据前述求得的单一重现期的暴雨强度公式，则 A 、 b 、 n 和 P 是已知数， A_1 、 A_2 、 C_a 、 b_1 、 b_2 、 C_b 及 n_1 、 n_2 、 C_n 都是未知数。与单一重现期暴雨强度公式求解参数方法相同，利用最小二乘法求出 A_1 、 A_2 、 b_1 、 b_2 、 n_1 、 n_2 各值，其中常数 C 分别在 $(-0.25, 0)$ 区间、 $(-1, 0)$ 区间和 $(-10, 0)$ 区间进行取值，采用数值逼近法直至平均绝对方差 $\bar{\sigma}$ 最小即可，求出各区间重现期的 A 、 b 、 n 值，将它们代入到式 (附 C.4)，可得到一个 2~100a 之间的任意一个重现期的暴雨强度公式，也就可以计算任意重现期的暴雨强度。

附录 D
(规范性附录)
短历时暴雨雨型

1 芝加哥雨型

1) 芝加哥法雨型推求技术流程

芝加哥法雨型与复合雨型相当，均为一定重现期下不同历时最大雨强复合而成，雨型的确定同样基于特定重现期下的 IDF 关系曲线。芝加哥法雨型确定包括综合雨峰位置系数确定及芝加哥降雨过程线模型确定，具体流程如下：



图附 D.1 芝加哥雨型推求流程图

2) 综合雨峰位置系数的确定

暴雨强度公式描述的是暴雨的平均降雨强度，这与实际降雨情况并不相符，芝加哥雨型引入综合雨峰位置系数概念，用来描述暴雨的极值时刻，能够更真实的反映一场暴雨的雨强变化情况。芝加哥雨型推求之前要进行综合雨峰位置系数 r 的确定，雨峰位置系数是指整场降雨过程中，最大雨强出现的时刻 t_i 与整个降雨历时 T_i 的比值，这里用 r_i 表示。对于相同历时的雨峰位置系数求取平均值，然后将求得全部历时的平均值进行加权平均，即可得到综合雨峰位置系数 r ，以下为计算公式：

$$r_i = \frac{t_i}{T_i} \dots \dots \dots \text{(附 D.1)}$$

$$r = \frac{t_1 \cdot T_1 + t_2 \cdot T_2 + \dots + t_i \cdot T_i}{T_1 + T_2 + \dots + T_i} \dots \dots \dots \text{(附 D.2)}$$

综合雨峰位置系数 r 的取值范围为0~1。

3) 芝加哥降雨过程线模型

根据雨峰位置时刻，将整个降雨历时分为峰前和峰后两个部分，取暴雨公式为：

$$i = \frac{A}{(t+b)^n} \dots\dots\dots (附 D. 3)$$

这里设整个降雨历时为 $t_{总}$ ，总降雨量为 $H_{总}$ ，其中，峰前瞬时降雨强度为 I_a ，峰前历时为 t_a ，累积降雨量为 H_a ，峰后瞬时降雨强度为 I_b ，峰后历时为 t_b ，累积降雨量为 H_b ，则， $t_{总} = t_a + t_b$ ， $H_{总} = H_a + H_b$ ，根据定义 t_a 和 t_b 的表达式为：

$$t_a = t_{总} \cdot r \dots\dots\dots (附 D. 4)$$

$$t_b = t_{总} \cdot (1 - r) \dots\dots\dots (附 D. 5)$$

将式(附 D. 4)和式(附 D. 5)代入式(附 D. 3)得到峰前和峰后的平均降雨强度：

$$i_a = \frac{A}{\left(\frac{t}{r}+b\right)^n} = \frac{r^n A}{(t+rb)^n} \dots\dots\dots (附 D. 6)$$

$$i_b = \frac{A}{\left(\frac{t}{1-r}+b\right)^n} = \frac{(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} \dots\dots\dots (附 D. 7)$$

将式(附 D. 6)和式(附 D. 7)两边关于 t 求导得到瞬时降雨强度的表达式为：

$$I_a = \frac{d}{dt} \left[\frac{r^n A}{(t+rb)^n} t \right] = \frac{(1-n)r^n A}{(t+rb)^n} + \frac{nbr^{n+1}A}{(t+rb)} \dots\dots\dots (附 D. 8)$$

$$I_b = \frac{d}{dt} \left[\frac{(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} t \right] = \frac{(1-n)(1-r)^n A}{[t+(1-r)b]^n} + \frac{nb(1-r)^{n+1}A}{[t+(1-r)b]^{n+1}} \dots\dots\dots (附 D. 9)$$

将式(附 D. 8)和式(附 D. 9)关于 t 进行积分，即可得到雨量累计过程线，计算式如下：

$$H_a = \int_0^{t_{总}} I_a dt = H_{总} \left\{ r - \left(r - \frac{t}{t_{总}} \right) \left[1 - \frac{t}{r(t_{总}+b)} \right]^{-n} \right\} \dots\dots\dots (附 D. 10)$$

$$H_b = rH_{总} + \int_{rt_{总}}^{t_{总}} I_b dt = H_{总} \left\{ r + \left(\frac{t}{t_{总}} - r \right) \left[1 + \frac{t-t_{总}}{(1-r)(t_{总}+b)} \right]^{-n} \right\} \dots\dots\dots (附 D. 11)$$

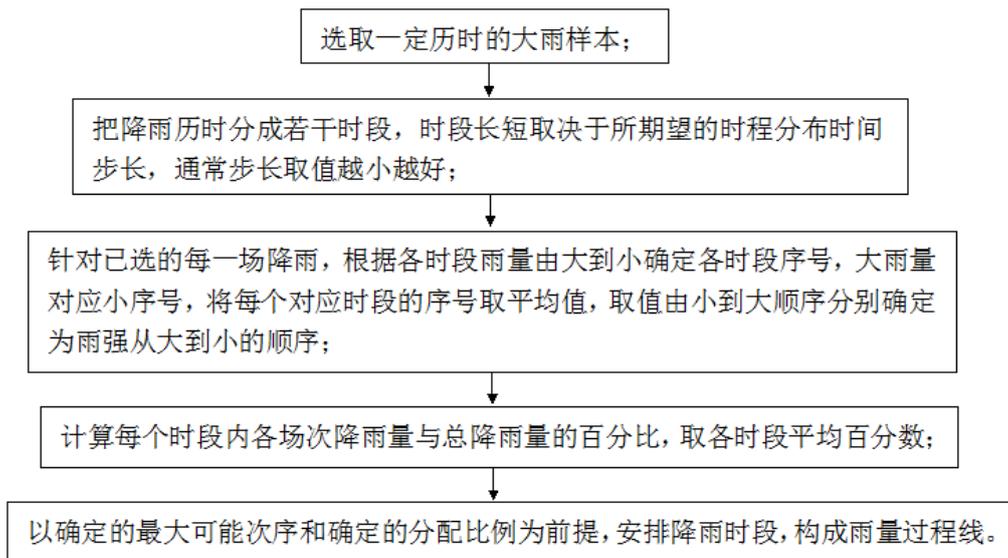
根据式(附 D. 8)和式(附 D. 9)即可合成芝加哥雨量过程线各时段内的累积雨量及各时段内的平均雨量，进而计算出各时段内的平均暴雨雨强，最终得到一定重现期各个历时的芝加哥雨型。

2 Pilgrim&Cordery 雨型

Pilgrim&Cordery 雨型是 1957 年，Pilgrim 和 Cordery 提出的一种无级序平均计算雨型，相比于芝加哥法而言，Pilgrim&Cordery 雨型更符合实际降雨过程，但计算比较繁琐，而且对降雨资料的依赖性强，这样就导致推求出的雨型地域性较强。

Pilgrim&Cordery 雨型（简称 PC 法），基本原理就是将雨峰放在最大可能的位置上，而雨峰时段的雨量依照各场降雨雨峰所占比例的平均值进行计算。其他各位置的雨量按照同样的方法计算得到。具体推求步骤如下所示：

- 1) 求级序：针对已选的每一场降雨，根据各时段雨量由大到小确定各时段序号，大雨量对应小序号，将每个对应时段的序号取平均值。
- 2) 定比例：计算每个时段降雨量与总雨量的比值，取平均值。
- 3) 构建 PC 雨量过程线：通过求得级序平均值，按由小到大顺序分别确定为雨强从大到小的顺序。



图附 D.2 PC 法技术流程图

附录 E

(规范性附录)

年径流总量控制率与设计降雨量的计算

城市年径流总量控制率是海绵城市建设的重要控制指标。

城市年径流总量控制率对应的设计降雨量值的确定，是通过统计学方法获得的。各地应选取至少 30 年（包括近年，以反映长期的降雨规律和近年气候的变化）日降雨（不包括降雪）资料，扣除小于等于 2mm 的降雨事件的降雨量，将降雨量日值按雨量由小到大进行排序，统计小于某一降雨量的降雨总量（小于该降雨量的按真实雨量计算出降雨总量，大于该降雨量的按该降雨量计算出降雨总量，两者累计总和）在总降雨量中的比率，此比率（即年径流总量控制率）对应的降雨量（日值）即为设计降雨量。

设计降雨量是各城市实施年径流总量控制的专有量值，由于我国不同城市的降雨分布特征不同，各城市的设计降雨量值应单独推求。具体推求步骤如下：

1) 数据整理

将日值降雨量数据进行升序排列，忽略降雨量小于等于 2mm 的数据后，得到有效日值降雨量数据序列为 $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 。

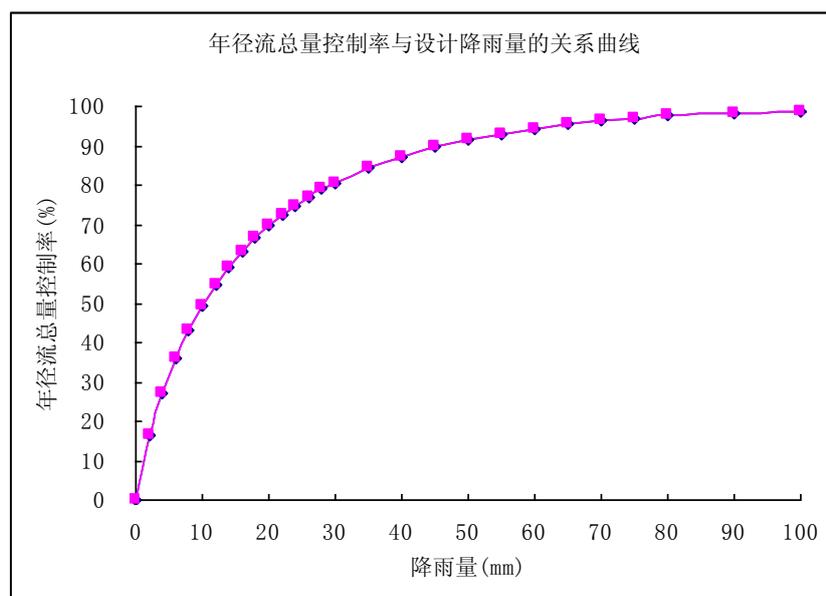
2) 计算年径流总量控制率

年径流总量控制率与设计降雨量为——对应关系。假设需要计算的年径流总量控制率为 P ，而 P 对应的设计降雨量为 X ， $X_i < X < X_{i+1}$ ，从而得到序列为 $\{X_1, X_2, \dots, X_i, X_{i+1}, \dots, X_{n-1}, X_n\}$ 。

$$\text{则 } X \text{ 对应的控制率 } P = \frac{(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_i) + (n-i) \times X}{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n} \quad (\text{附 E. 1}).$$

3) 绘制图表

为了方便实际使用，常将由式（附 E. 1）得到的年径流总量控制率 P 与设计降雨量 X 的关系用图表表示：



图附 E. 1 年径流总量控制率与设计降雨量的关系曲线

表附 E.1 年径流总量控制率对应的设计降雨量

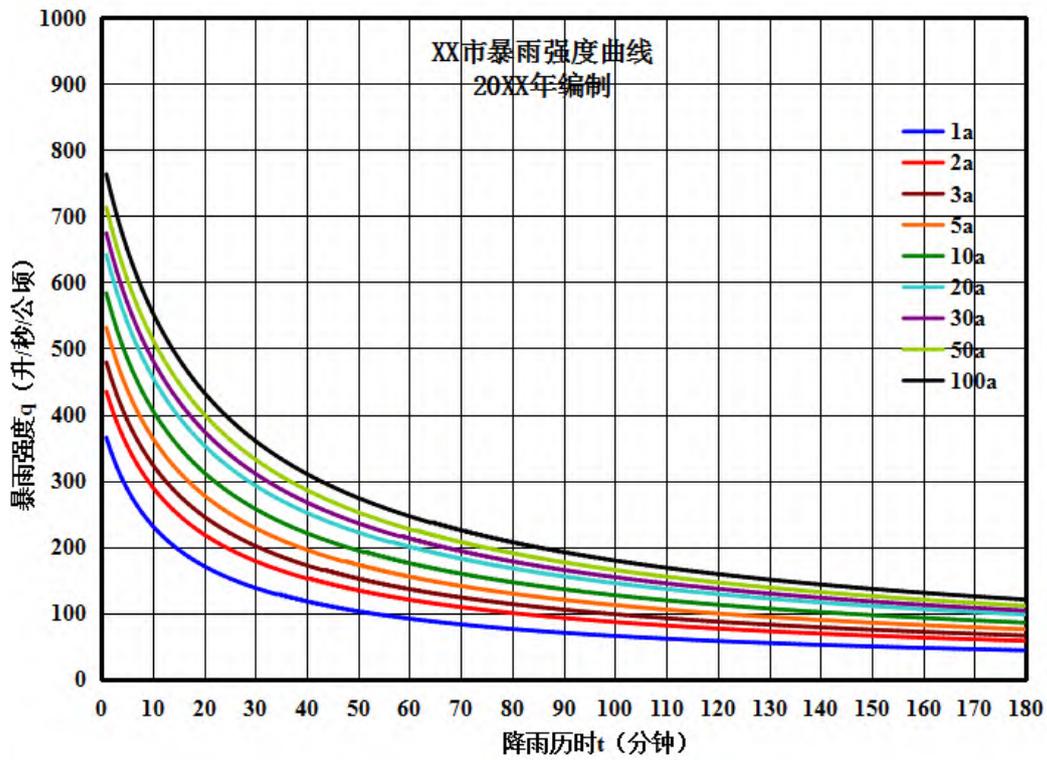
年径流总量控制率/%	设计降雨量/mm
50%
55%
60%
65%
70%
75%
80%
85%
90%
95%

附录 F
 (资料性附录)
 常用图表格式 (样张)

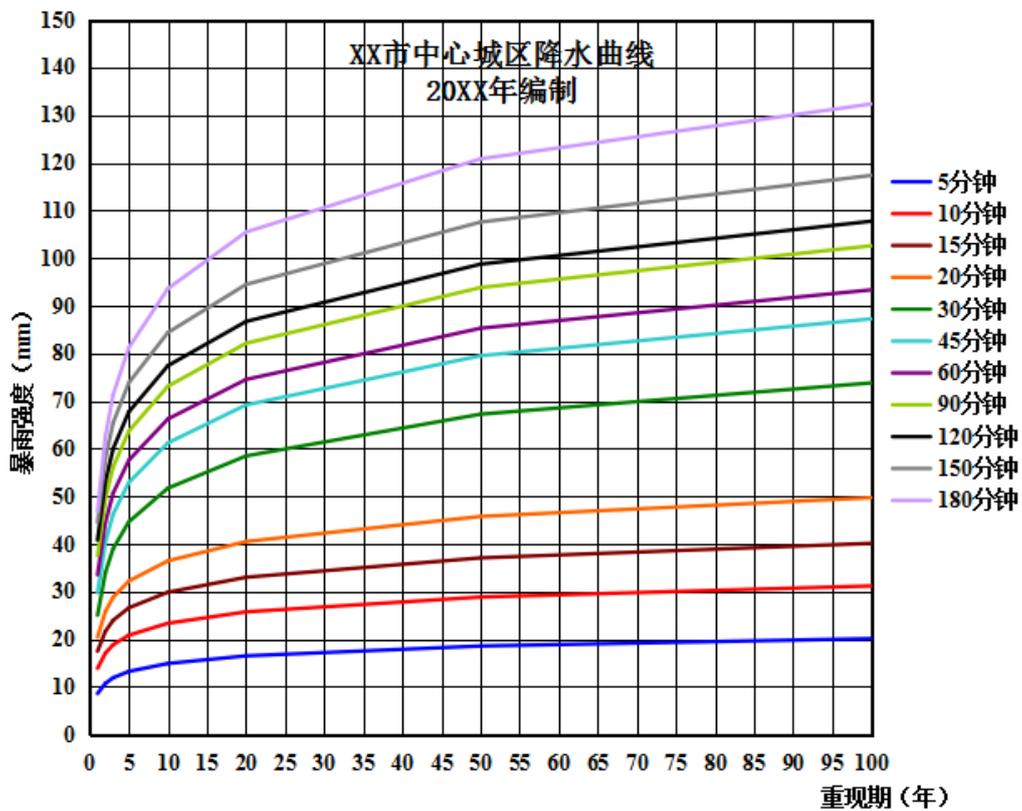
暴雨强度查算表样张

t	P=2a		t (min)		q=L/ (s hm ²)		t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
	t	q	t	q	t	q										
1	512.212	27	198.256	53	136.587	79	107.856	105	90.696	131	79.089	157	70.622			
2	474.126	28	194.522	54	135.114	80	107.041	106	90.169	132	78.715	158	70.341			
3	442.462	29	190.960	55	133.680	81	106.242	107	89.649	133	78.346	159	70.062			
4	415.645	30	187.558	56	132.285	82	105.457	108	89.137	134	77.981	160	69.787			
5	392.585	31	184.306	57	130.925	83	104.687	109	88.632	135	77.620	161	69.514			
6	372.503	32	181.192	58	129.600	84	103.931	110	88.135	136	77.264	162	69.244			
7	354.827	33	178.207	59	128.309	85	103.189	111	87.644	137	76.911	163	68.977			
8	339.126	34	175.344	60	127.049	86	102.459	112	87.160	138	76.563	164	68.712			
9	325.068	35	172.594	61	125.820	87	101.743	113	86.683	139	76.219	165	68.449			
10	312.393	36	169.950	62	124.621	88	101.039	114	86.212	140	75.878	166	68.190			
11	300.897	37	167.406	63	123.450	89	100.347	115	85.748	141	75.541	167	67.932			
12	290.412	38	164.956	64	122.307	90	99.668	116	85.290	142	75.208	168	67.677			
13	280.802	39	162.595	65	121.190	91	98.999	117	84.838	143	74.879	169	67.425			
14	271.957	40	160.317	66	120.098	92	98.342	118	84.392	144	74.553	170	67.175			
15	263.783	41	158.118	67	119.031	93	97.696	119	83.952	145	74.231	171	66.927			
16	256.202	42	155.994	68	117.988	94	97.060	120	83.518	146	73.913	172	66.681			
17	249.148	43	153.940	69	116.967	95	96.435	121	83.090	147	73.597	173	66.438			
18	242.565	44	151.953	70	115.968	96	95.820	122	82.667	148	73.286	174	66.197			
19	236.404	45	150.030	71	114.991	97	95.214	123	82.249	149	72.977	175	65.958			
20	230.623	46	148.167	72	114.034	98	94.619	124	81.836	150	72.672	176	65.722			
21	225.186	47	146.361	73	113.097	99	94.032	125	81.429	151	72.370	177	65.487			
22	220.061	48	144.610	74	112.179	100	93.455	126	81.027	152	72.071	178	65.255			
23	215.221	49	142.911	75	111.279	101	92.886	127	80.630	153	71.775	179	65.024			
24	210.641	50	141.261	76	110.398	102	92.326	128	80.238	154	71.482	180	64.796			
25	206.299	51	139.659	77	109.534	103	91.775	129	79.850	155	71.193					
26	202.177	52	138.101	78	108.687	104	91.231	130	79.467	156	70.906					

暴雨强度~历时~重现期关系曲线图



不同历时的暴雨强度频率曲线 (样张)

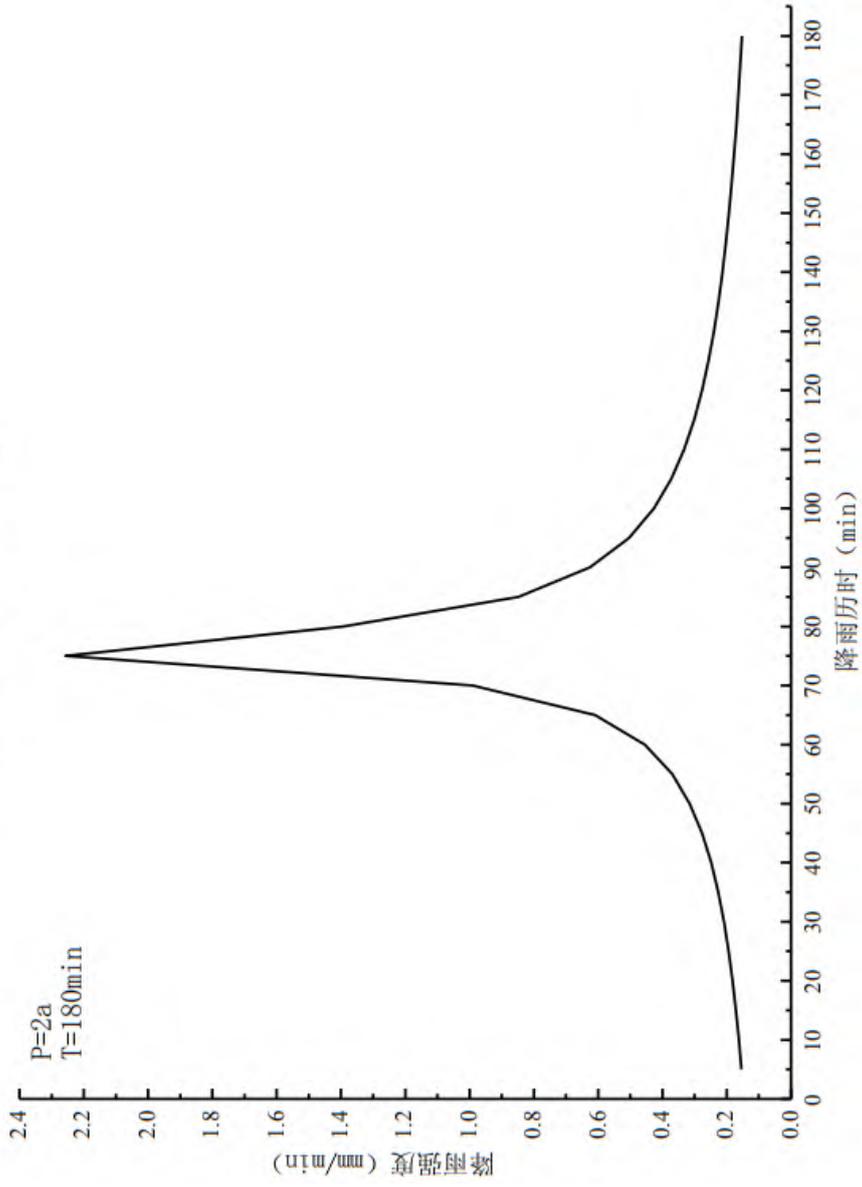


暴雨强度~历时~重现期关系表(样张)

T=180min t(min) i(mm/min)

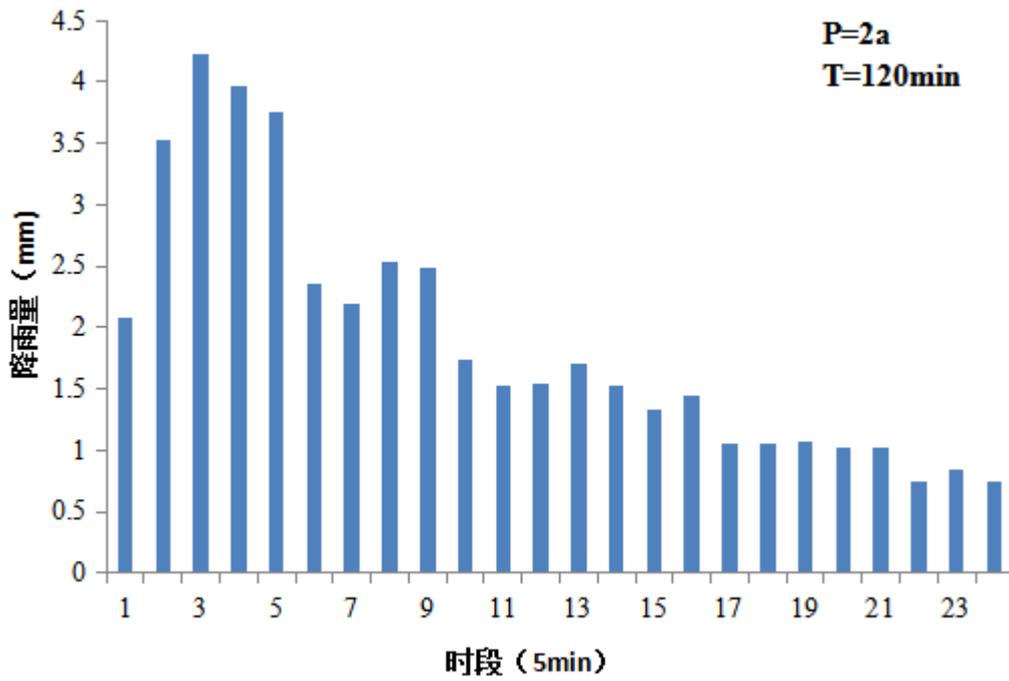
历时 (min)	重现期(P)				
	2a	3a	5a	10a	20a
5	0.154	0.173	0.196	0.228	0.260
10	0.162	0.182	0.207	0.240	0.274
15	0.171	0.192	0.218	0.254	0.289
20	0.182	0.204	0.232	0.269	0.307
25	0.194	0.218	0.247	0.288	0.328
30	0.209	0.234	0.266	0.309	0.353
35	0.226	0.254	0.289	0.336	0.383
40	0.249	0.279	0.317	0.368	0.420
45	0.277	0.311	0.353	0.411	0.468
50	0.315	0.353	0.402	0.467	0.533
55	0.370	0.415	0.471	0.548	0.625
60	0.455	0.510	0.579	0.674	0.768
65	0.609	0.683	0.776	0.903	1.029
70	0.991	1.111	1.263	1.469	1.674
75	2.257	2.531	2.877	3.346	3.814
80	1.394	1.563	1.777	2.066	2.356
85	0.848	0.951	1.081	1.257	1.434
90	0.626	0.702	0.797	0.927	1.057
95	0.504	0.565	0.642	0.747	0.851
100	0.426	0.478	0.543	0.632	0.720
105	0.372	0.418	0.475	0.552	0.629
110	0.332	0.373	0.424	0.493	0.562
115	0.302	0.338	0.384	0.447	0.510
120	0.277	0.311	0.353	0.411	0.468
125	0.257	0.288	0.327	0.381	0.434
130	0.240	0.269	0.306	0.356	0.406
135	0.226	0.253	0.288	0.335	0.381
140	0.213	0.239	0.272	0.316	0.360
145	0.202	0.227	0.258	0.300	0.342
150	0.193	0.216	0.246	0.286	0.326
155	0.184	0.207	0.235	0.273	0.312
160	0.177	0.198	0.225	0.262	0.299
165	0.170	0.191	0.217	0.252	0.287
170	0.164	0.184	0.209	0.243	0.277
175	0.158	0.177	0.202	0.234	0.267
180	0.153	0.172	0.195	0.227	0.258

芝加哥法雨型图 (样张)



t (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180
i (mm/min)	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	0.28	0.32	0.37	0.45	0.61	0.99	2.26	1.39	0.85	0.63	0.5	0.43	0.37	0.33	0.3	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21	0.2	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15

P&C 法雨型图（样张）



t (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
i (mm/min)	2.08	3.53	4.22	3.96	3.75	2.35	2.20	2.53	2.49	1.73	1.53	1.55	1.71	1.52	1.33	1.45	1.06	1.05	1.07	1.02	1.02	0.75	0.85	0.74

降雨量日值统计（样张）

××市降雨量日值统计（19××.1.1—20××.12.31，共××年）

降雨量 日值 (mm)	场次 数	累计 场次	累计 出现 频率 (%)	年均 雨量 (mm)	累计 年均 雨量 (mm)	累计年 均雨量 百分比 (%)	降雨 量日值 (mm)	场次 数	累计 场次	累计 出现 频率 (%)	年均 雨量 (mm)	累计 年均 雨量 (mm)	累计 年均 雨量 百分比 (%)
mm			%	mm	mm	%	mm			%	mm	mm	%
0.01~2	4502			54.53	54.53	4	30.01~35	59	2305	89	64.5	843.55	61
2.01~4	595	595	23	57.45	111.98	8	35.01~40	57	2362	92	70.5	914.05	66
4.01~6	360	955	37	57.95	169.93	12	40.01~45	48	2410	93	68.49	982.54	71
6.01~8	238	1193	46	55.53	225.46	16	45.01~50	26	2436	94	41.20	1023.74	74
8.01~10	199	1392	54	59.80	285.26	21	50.01~55	20	2456	95	34.89	1058.63	77
10.01~12	165	1557	60	60.56	345.82	25	55.01~60	27	2483	96	51.63	1110.26	80
12.01~14	135	1692	65	57.98	403.80	29	60.01~65	20	2503	97	41.83	1152.09	84
14.01~16	124	1816	70	61.93	465.73	34	65.01~70	10	2513	97	22.54	1174.63	85
16.01~18	92	1908	74	52.23	517.96	38	70.01~75	12	2525	98	28.93	1203.56	87
18.01~20	83	1991	77	52.98	570.94	41	75.01~80	13	2538	98	33.52	1237.08	90
20.01~22	69	2060	80	48.15	619.09	45	80.01~90	16	2554	99	44.83	1281.91	93
22.01~24	56	2116	82	43.19	662.28	48	90.01~100	10	2564	99	31.45	1313.36	95
24.01~26	45	2161	84	37.57	699.85	51	100.01~140	12	2576	100	46.33	1359.69	99
26.01~28	45	2206	86	40.58	740.43	54	140.01~250	2	2578	100	11.64	1371.33	99
28.01~30	40	2246	87	38.62	779.05	56	>250	1	2579	100	8.38	1379.71	100
场次合计 (H>0.1mm) 7081 场 场次合计 (H>2mm) 2579 场													