海口市暴雨强度公式

编制报告

海 南 省 气 候 中 心

海 口 市 气 象 局

二 0 一七年 八 月

海口市暴雨强度公式编制报告

委 托 单 位 ： 海口市水务局

承 担 单 位 ： 海南省气候中心

海口市气象局

项 目 管 理 ： 张京红 、潘家利、刘保

项 目 编 制 ： 胡德强、官满元

参 加 人 员： 施思、林津伊、马明明

刘经军、汤驰、曾宪平

项 目 审 核： 邢旭煌、陈挺雄、杨昌贤

目 录

1. 工作开展背景

暴雨强度公式是科学、合理地制定城市排水专业规划和排水工程设计的基础，它给市政建设、水务、规划等部门提供了科学的理论依据和准确的设计参数。根据中华人民共和国国家规范《室外排水设计规范》规定，在进行城市排水工程规划设计时，雨水管网的排水量规划设计应通过当地的暴雨强度公式进行计算，因此合理编制当地的暴雨强度公式是提高城市防灾减灾和防洪排涝能力的现实需要。

当前海口的暴雨强度公式使用资料为1961-1980年，已久未修订，不能准确反映当前的暴雨强度。2013年3月海南省气候中心与海口市气象局受海口市水务局委托，开始编制海口市暴雨强度公式，根据中华人民共和国国家规范《室外排水设计规范》（GB50014－2006，2011版）的要求，所编制的海口市暴雨强度公式推荐使用年多个样法的结果。具体工作流程如下：

（一）2013年3月，成立项目组，完成工作大纲。

（二）2013年4月～5月，完成自计雨量资料读取和暴雨强度资料处理。

（三）2013年6月～7月，完成暴雨强度公式拟合和精度检验，编制暴雨强度公式计算图表。

（四）2013年8月，对不同年代暴雨强度公式的代表性进行分析。

（五）2013年9月，完成暴雨强度时间变化和空间分布特征分析。

（六）2013年10月，完成成果报告编写并通过专家评审。

（七）2013年11月，根据专家评审意见对报告进行修订。

（八）2013年12月，对报告进行复审并呈报市政府。

（九）2014年2月，蒙副市长召开办公会议要求对新旧暴雨强度公式运用进行经济分析比较。

（十）2014年8月，蒙副市长再次召开办公会议对暴雨强度公式进行讨论。

（十一）2016年6月，因2014年2月《室外排水设计规范》（GB50014－2006，2014版）公布实施，新规范要求只能使用年最大值法进行公式拟合。海口市水务局再次委托海南省气候中心与海口市气象局，对海口市暴雨强度公式进行拟合。

（十二）2016年11月，海南省气候中心与海口市气象局对暴雨强度公式重算报告通过由海口市水务局组织的专家评审。

（十三）2017 年 5 月，海口市水务局组织多家设计院对 2016 版暴雨强度公式进行使用意见征求。

（十四）2017 年 8 月，海南省气候中心与海口市气象局就暴雨强度公式重算报告再度综合使用意见，并进行完善。

2. 编制依据

本系统按照下列规范进行编制：

1）《室外排水设计规范》（GB50014－2006，2014 年版）；

2）《城市排水工程设计——暴雨强度公式编制技术指南》；

3）《给水排水设计手册（第 5 册）城镇排水》（ 2003 版）；

4)《地面气象观测规范》（气象出版社 2003 年 11 月版）；

5)《地面气候资料 30 年整编常规项目及其统计方法》（QX/T22-2004）；

6）《气象资料统计规定》，气象出版社，1984 年 7 月出版。

3. 基础资料说明及编制方法

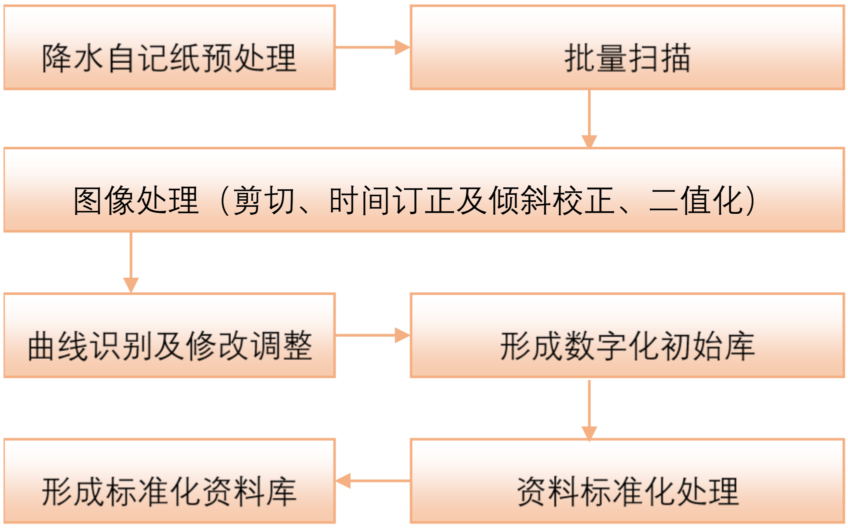
3.1 资料来源及处理

3.1.1 资料来源

本项目资料来源为海口市国家气象站地面观测资料，即海口市国家气象站 1961 年 1 月～2015 年 12 月共计 55 年的自记雨量记录和自动站资料，其中 1961-2003 年为自记纸记录资料，2004-2015 年为自动气象站记录资料，资料均经过审核及一致性检验。

3.1.2 自记纸资料数字化处理

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，推荐使用中国气象局组织编制的“降水自记纸彩色扫描数字化处理系统”进行数字化处理。该系统通过计算机扫描、图像处理、数据处理，将气象站降水自记纸图像进行数字化转换，成为逐分钟降水量，并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，挑选出有降水过程的自记纸，并标注起止日期，时间需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）降水自记迹线的跟踪

降水自记迹线的跟踪主要有：调整合适的阈值，使程序能更好的自动跟踪；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，可采用二次处理法，首先由程序自动计算异常量，然后再将包含异常时段在内的若干小时作异常处理，输入这段时间的降水量；无降水时的处理方法是从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，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 2 分钟，虹吸量是否超范围等。

3.1.3 自动气象站降水资料处理

（1）资料质量控制

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公式的基础资料时，需要对原始数据进行质量检查、审核。

（2）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同期的自记纸降水资料一致性进行分析，产生不一致时，宜采用数值较大的资料序列。

3.2 统计样本的建立

3.2.1 资料的统计

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

（1）时段划分

挑取最大降水量的时段分为 5、10、15、20、30、45、60、90、120 分钟共 9 个时段。

（2）统计方法

A）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 9 个时段最大降水量及相应开始时间；

B）各时段年最大降水量及相应开始时间，只有当 1440 分钟降水量≥10.0mm 时才挑取；

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

D）各时段年最大降水量出现两次或以上相同时，开始时间栏记出现次数。

E）雨量大而降雨历时不足时，要将降雨历时按零雨量外延至降雨历时。

3.2.2 样本资料的选样

暴雨样本资料的选样方法有年最大值法、年超大值法、年超定量法与年多个样法等。目前国家标准《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014 版）推荐使用年最大值法。利用“降水自记纸彩色扫描数字化处理系统”信息化处理后所得的 55 年逐分钟降雨数据，从中分别提取 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 分钟等 11 个降雨历时资料，每年分别求算出 11 个降雨历时的最大值。

4. 暴雨强度公式拟合

4.1 暴雨强度公式拟合方法介绍

4.1.1 暴雨强度公式的定义

（1）公式的定义

依据《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014 版），暴雨强度公式的定义为：

$$q = \frac{167 \quad A_1(1 + C \lg P)}{(t + b)^n} \qquad (4\text{-}1)$$

式（4-1）中：q 为暴雨强度（单位：L/（S•hm^2）），P 为重现期（单位：a），取值范围为 2a～100a；t 为降雨历时（单位：min），取值范围为 1～120min。重现期越长、历时越短，暴雨强度就越大，而 A_1、b、C、n 是与地方暴雨特性有关的需求解参数：A_1 为雨力参数，即重现期为 1a 时的 1min 设计降雨量（单位：mm）；c 为雨力变动参数；b 为降雨历时修正参数，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 为暴雨衰减指数，与重现期有关。

（2）暴雨强度的频率和重现期的计算公式

在暴雨强度频率的计算中，常用频率公式：

$$Pl = \frac{M}{N + 1} \times 100\% \qquad (4\text{-}2)$$

式中 Pl 为频率，N 为样本总数（N =资料年限长度），M 为样本的序号（样本按从大到小排序）。

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。由此得出重现期计算公式为：

$$P = \frac{N + 1}{M} \qquad (4\text{-}3)$$

4.1.2 单一重现期暴雨强度公式拟合

从（4-1）式可以看出，暴雨强度公式为已知关系式的超定非线性方程，公式中有 4 个参数，显然常规方法无法求解，因此参数估计方法设计和减少估算误

差尤为关键。首先对式（4-1）进行线性化处理：

令 $A = A_1(1 + C\lg P)$，那么（4-1）式即变为：

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} \quad (4\text{-}4)$$

式（4-4）即为单一重现期公式，通过式（4-4）分别把 2、3、5、10、20、50 和 100 年一遇等重现期的单一暴雨强度公式推求出来。首先推算各重现期暴雨强度公式的需求参数 A、b、n。将式（4-4）两边取对数得：

$$\ln q = \ln 167A - n\ln(t+b) \quad (4\text{-}5)$$

令 $y = \ln q$，$b_0 = \ln 167A$，$b_1 = -n$，$x = \ln(t+b)$，那么式（4-5）就变为：

$$y = b_0 + b_1 x \quad (4\text{-}6)$$

式（4-6）应用数值逼近和最小二乘法，可求出 b_0、b_1，即 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[3]，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，可将各单一重现期暴雨强度公式逐个推算出来。

4.1.3 几种概率曲线

目前国家标准《室外排水设计规范》(GB50014-2006，2014 版）推荐的理论概率曲线主要有极值分析Ⅰ型（Gumbe1）分布曲线、皮尔逊III型分布曲线、指数分布曲线等。具体计算方法如下：

（1）极值Ⅰ型（Gumbe1）分布曲线

极值Ⅰ型（Gumbe1，即耿贝尔分布）分布函数

$$F(x) = \exp(-\exp(-a(x-u))) \qquad (a > 0, -\infty < u < \infty) \quad (4\text{-}7)$$

公式中 a 为分布的尺度参数， u 为分布的位置参数

重现期为 R（概率为 1/R）时：

$$X_R = u - \frac{1}{a}\left[\ln\left(\frac{R}{R-1}\right)\right] \quad (4\text{-}8)$$

它的参数估计有三种方法：

①矩法

矩法估计在数学计算上最为简单。

一阶矩（数学期望）： $E(x)=\dfrac{y}{a}+u$ (4-9)

其中： $y \approx 0.57722$

二阶矩（方差）： $\sigma^2=\dfrac{\pi^2}{6a^2}$ (4-10)

由此得到：

$$a=\frac{1.28255}{\sigma} \tag{4-11}$$

$$u=E(x)-\frac{0.57722}{a} \tag{4-12}$$

②耿贝尔法

耿贝尔法是一种直接与经验概率相结合的参数估计方法。

假定数据有序序列： $x_1 \le x_2 \le \cdots \le x_n$

则经验分布函数为：

$$F^*(x_i)=\frac{i}{n+1} \qquad i=1,2,\cdots,n \tag{4-13}$$

取如下序列： $y_i=-1n\left(-1n(F^*(x_i))\right) \qquad i=1,2,\cdots,n$ (4-14)

可得：

$$a=\frac{\sigma(y)}{\sigma(x)} \tag{4-15}$$

$$u=E(x)-\frac{E(y)}{a} \tag{4-16}$$

③极大似然法

在统计学理论上，极大似然法估计是一种较优的参数估计方法。极值 I 型分布函数的概率密度函数为：

$$f(x)=F'(x)=a\exp\left[-a(x-u)-\exp\left(-a(x-u)\right)\right] \tag{4-17}$$

当观测资料 $x_1,x_2,\cdots,x_n$ 给定时，作极大似然函数并取对数，得：

$$1nl = n1na - \sum_{i=1}^{n} a\left(x_i - u\right) - \sum_{i=1}^{n} \exp\left(-a\left(x_i - u\right)\right) \tag{4-18}$$

将 a、u 看作变量将上式分别对 a、u 求导并令其为零，得：

$$n\exp\left(-au\right) = \sum_{i=1}^{n} \exp\left(-ax_i\right) \tag{4-19}$$

参数 a、u 可用迭代法求解。

$$n\left(\bar{x} - \frac{1}{a}\right)\exp\left(-au\right) = \sum_{i=1}^{1} x_i \exp\left(-ax_i\right) \tag{4-20}$$

（2）皮尔逊—Ⅲ型曲线

皮尔逊Ⅲ型曲线在包括水文气象等领域的研究中被广为引用。

①皮尔逊Ⅲ型曲线的概率密度函数

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：

$$f\left(x\right) = \frac{\beta^{a}}{\Gamma\left(a\right)}\left(x - a_0\right)^{a-1} e^{-\beta\left(x - a_0\right)} \tag{4-21}$$

式中：$\Gamma(a)$ 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：

$$a = \frac{4}{{C_s}^2} \tag{4-22}$$

$$\beta = \frac{2}{\bar{x} C_v C_s} \tag{4-23}$$

$$a_0 = \bar{x}\left(1 - \frac{2C_v}{C_s}\right) \tag{4-24}$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(K_i - 1\right)^2} \qquad (4\text{-}25)$$

$$C_s = \frac{1}{n\cdot\sigma^3}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^3 = \frac{1}{n\cdot C_v^3}\sum_{i=1}^{n}\left(K_i - 1\right)^3 \qquad (4\text{-}26)$$

其中：

C_v：变差系数，比较两个不同均值系列的离散程度时，采用均方差与均值之比值，用于衡量系列相对离散程度。C_v越大，随机变量 x 的分布越分散，概率分布曲线的左侧抬高，右侧降低；反之，左侧下降，右侧上抬。

C_s：偏态系数，反映密度曲线的对称特征，衡量系列在均值的两侧分布对称或不对称（偏态）程度的系数。对于正偏，C_s＞0(PⅢ曲线)。当其他参数不变时，C_s值越大，则概率曲线的凹度越大，两端都在正态直线以上，中间部分向下。

②皮尔逊Ⅲ型概率曲线及其绘制

计算中，一般需要求出指定概率 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

$$p = p\left(x \geq x_p\right) = \frac{\beta^a}{\Gamma(a)}\int_{x_p}^{\infty}\left(x - a_0\right)^{a-1}e^{-\beta\left(x-a_0\right)}dx \qquad (4\text{-}27)$$

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

$$p\left(\Phi \geq \Phi_p\right) = \int_{\Phi_p}^{\infty} f\left(\Phi \cdot C_s\right)d\Phi \qquad (4\text{-}28)$$

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Φ中。$\Phi = \frac{x - \bar{x}}{xC_v}$ 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：

$$x = \bar{x}\left(1 + C_v \Phi\right) \tag{4-29}$$

（3）指数分布法

如果随机变量 X 的概率密度为

$$f(\mathrm{x}) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \tag{4-30}$$

其中 $\lambda > 0$ 为常数，则称 X 服从参数为 λ 的指数分布，记作 $X \sim e(\lambda)$。

由式（4-30），可得参数为 λ 的指数分布的分布函数 $F(x)$：

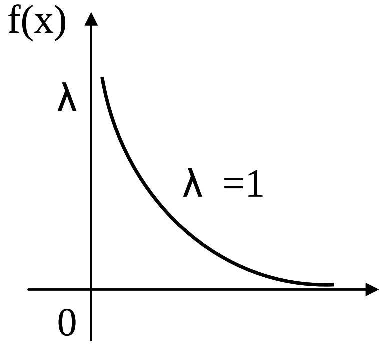
当 $x < 0$ 时，$F(x) = \int_{-\infty}^{0} 0\, dx = 0$，

当 $x \geq 0$ 时，$F(x) = \int_{0}^{x} \lambda e^{-\lambda x} dx = [-\mathrm{e}^{-\lambda \mathrm{x}}]\Big|_0^x = 1 - e^{-\lambda \mathrm{x}}$

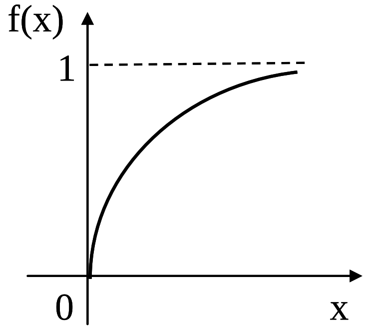
即

$$F(\mathrm{x}) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0. \end{cases} \tag{4-31}$$

X 的概率密度 $f(x)$ 和分布密度函数 $F(x)$ 的图形，分别如图 4-2 所示。



(a)



(b)

图 4-2 概率密度 $f(x)$ 和分布密度函数 $F(x)$ 的图

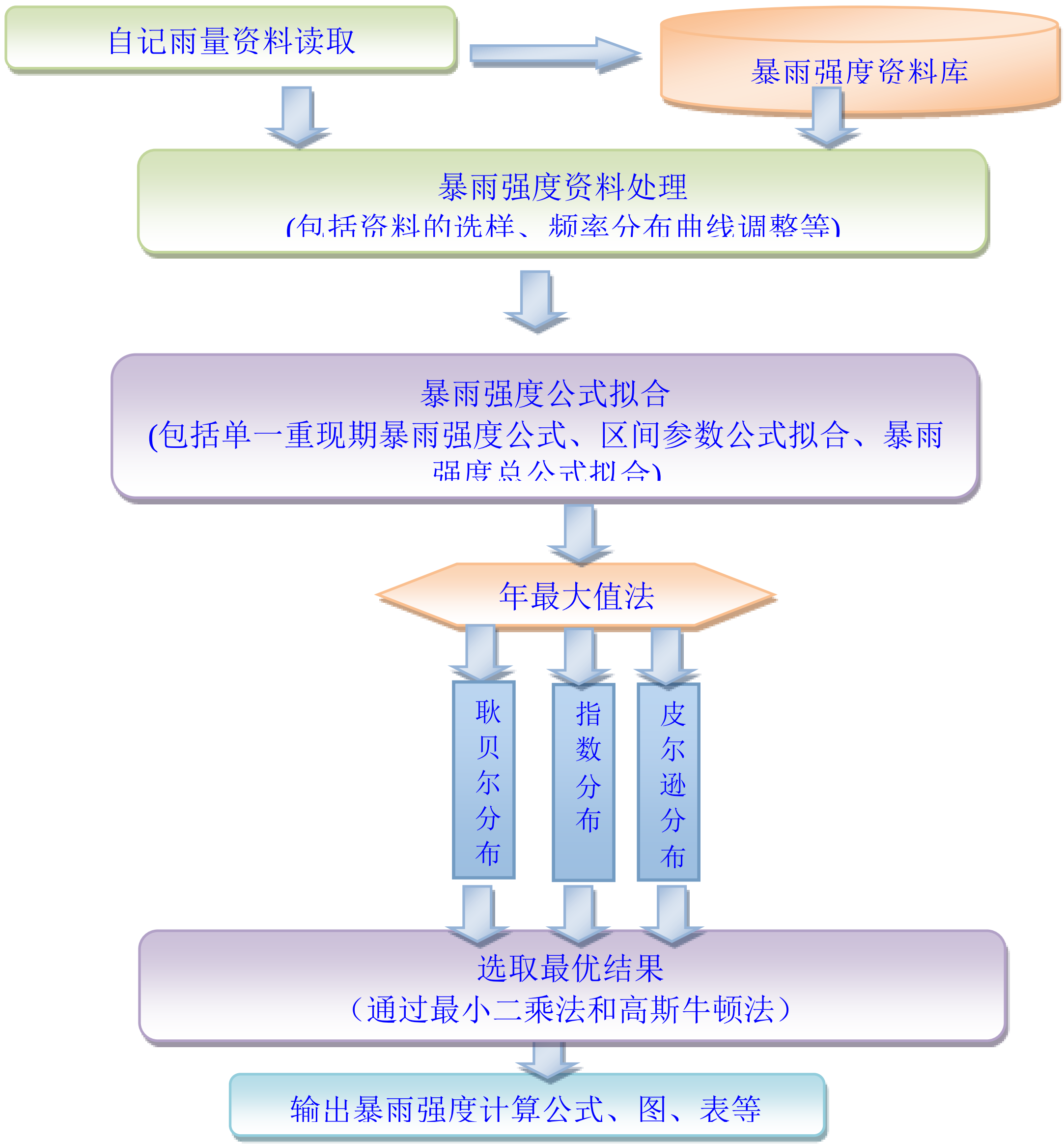
如果 X 服从参数为λ 的指数分布，且当$a < X \le b$时，则有

$$P\left\{a < X \le b\right\} = \int_a^b \lambda e^{-\lambda x} dx = e^{-\lambda a} - e^{-\lambda b} \qquad (4\text{-}32)$$

4.2 海口市暴雨强度公式拟合

本次暴雨强度公式拟合方法为年最大值法。对年最大值法进行耿贝尔分布、指数分布、皮尔逊 III 型分布拟合，然后分别对 3 种拟合方式进行最小二乘法计算和高斯牛顿法计算。本次暴雨公式拟合所采用的计算软件为中国气象局下发的暴雨强度公式计算软件。该软件及计算方式如下图所示：

图 4-1 暴雨强度计算系统



4.2.1 年最大值法

4.2.1.1 耿贝尔分布

分别利用最小二乘法以及高斯牛顿法进行单一重现期暴雨强度公式以及任意重现期暴雨强度公式推算。

表 4-1 耿贝尔分布曲线成果表

耿贝尔分布曲线 $X=-a\times\ln(\ln(P/(P-1)))+b$ 参数 a 与 b 成果表									
参数\降雨历时	5	10	15	20	30	45	60	90	120
a	55.45	48.52	43.80	43.22	41.81	39.41	40.48	38.39	34.49

b	394.42	342.51	306.67	275.59	231.63	187.60	156.34	119.91	98.10

A、最小二乘法

表 4-2 单一重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P （年）	公式
$P=2$	7267.673 / (t + 22.896) ^ 0.832
$P=3$	5509.831 / (t + 20.426) ^ 0.754
$P=5$	3618.89 / (t + 17.550) ^ 0.658
$P=10$	2894.11 / (t + 15.039) ^ 0.575
$P=20$	2628.246 / (t + 13.549) ^ 0.530
$P=30$	2521.7 / (t + 12.860) ^ 0.509
$P=40$	2453.898 / (t + 12.407) ^ 0.495
$P=50$	2404.132 / (t + 12.069) ^ 0.484
$P=60$	2364.72 / (t + 11.799) ^ 0.475
$P=70$	2332.155 / (t + 11.574) ^ 0.468
$P=80$	2304.266 / (t + 11.382) ^ 0.462
$P=90$	2280.051 / (t + 11.214) ^ 0.457
$P=100$	2258.508 / (t + 11.064) ^ 0.452

任意重现期暴雨强度公式： $q=\frac{167A}{(t+b)^n}$

表 4-3 任意重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P （年）	区间	参数	公式
1-10	I	n	0.939 -0.179Ln(P - 0.182)
		b	25.096 -4.976Ln(P - 0.444)
		A	47.165 -17.681Ln(P - 0.771)
10-100	II	n	0.648 -0.043Ln(P - 4.527)
		b	17.179 -1.343Ln(P - 5.080)
		A	18.672 -1.135Ln(P - 6.737)

重现期 2-20 年的暴雨强度计算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差为 0.110（mm/min）；平均相对均方差为 8.26%。

暴雨强度总公式：

$$q=\frac{1876.206\times(1+0.464\ LgP)}{(t+14.006)^{0.565}}$$

重现期 2-20 年的暴雨强度算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差 0.052mm/min；平均相对均方差 5.2%。

B、高斯牛顿法

任意重现期暴雨强度计算公式：

$$q = \frac{1809.083 \times (1 + 0.473 LgP)}{(t + 14.452)^{0.558}}$$

表 4-4 单一重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P（年）	公式
$P = 2$	2066.929/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 3$	2217.760/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 5$	2407.784/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 10$	2665.630/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 20$	2923.476/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 30$	3074.307/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 40$	3181.323/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 50$	3264.331/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 60$	3332.153/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 70$	3389.496/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 80$	3439.169/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 90$	3482.984/ (t + 14.452) ^ 0.558
$P = 100$	3522.177/ (t + 14.452) ^ 0.558

重现期 2-20 年的暴雨强度算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差为 0.067（mm/min)；平均相对均方差为 8.15%。

4.2.1.2 指数分布

分别利用最小二乘法以及高斯牛顿法进行单一重现期暴雨强度公式以及任意重现期暴雨强度公式推算。

表 4-5 指数分布曲线成果表

指数分布曲线 $X = a \times \ln P + b$ 参数 a 与 b 成果表									
参数\降雨历时	5	10	15	20	30	45	60	90	120

a	70.25	60.24	53.09	52.81	51.76	49.40	51.88	49.64	44.97
b	357.21	311.13	279.58	248.46	204.73	161.66	128.60	93.17	73.73

A、最小二乘法

表 4-6 单一重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P （年）	公式
$P=2$	9423.476 / (t + 24.797) ^ 0.876
$P=3$	6608.858 / (t + 21.483) ^ 0.780
$P=5$	3581.148 / (t + 17.383) ^ 0.661
$P=10$	2567.124 / (t + 13.539) ^ 0.548
$P=20$	2254.166 / (t + 11.182) ^ 0.494
$P=30$	2128.916 / (t + 10.184) ^ 0.467
$P=40$	2049.09 / (t + 9.542) ^ 0.448
$P=50$	1990.473 / (t + 9.067) ^ 0.434
$P=60$	1944.047 / (t + 8.690) ^ 0.423
$P=70$	1905.637 / (t + 8.378) ^ 0.413
$P=80$	1872.905 / (t + 8.112) ^ 0.405
$P=90$	1844.348 / (t + 7.879) ^ 0.398
$P=100$	1819.131 / (t + 7.672) ^ 0.392

任意重现期暴雨强度公式：$q=\frac{167\ A}{(t+b)^n}$

表 4-7 任意重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P （年）	区间	参数	公式
1-10	II	n	1.019 -0.226Ln(P - 0.116)
		b	29.727 -7.783Ln(P - 0.116)
		A	62.266 -28.310Ln(P - 0.771)
10-100	III	n	0.657 -0.058Ln(P - 3.422)
		b	15.992 -1.832Ln(P - 6.185)
		A	16.952 -1.336Ln(P - 6.737)

重现期 2-20 年的暴雨强度计算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差为 0.191（mm/min）；平均相对均方差为 13.18%。

暴雨强度总公式：

$$q = \frac{1530.404 \times (1 + 0.581 LgP)}{(t + 12.366)^{0.537}}$$

重现期 2-20 年的暴雨强度算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差 0.063mm/min；平均相对均方差 6.16 %。

B、高斯牛顿法

任意重现期暴雨强度计算公式：

$$q = \frac{1439.804 \times (1 + 0.565 LgP)}{(t + 12.324)^{0.519}}$$

表 4-8 单一重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P（年）	公式
$P=2$	1684.702/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=3$	1827.958/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=5$	2008.440/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=10$	2253.338/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=20$	2498.236/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=30$	2641.492/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=40$	2743.134/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=50$	2821.974/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=60$	2886.390/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=70$	2940.854/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=80$	2988.032/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=90$	3029.647/ (t + 12.324) ^ 0.519
$P=100$	3066.872/ (t + 12.324) ^ 0.519

重现期 2-20 年的暴雨强度算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差为 0.080（mm/min）；平均相对均方差为 10.93%。

4.2.1.3 皮尔逊 III 型分布

分别利用最小二乘法以及高斯牛顿法进行单一重现期暴雨强度公式以及任意重现期暴雨强度公式推算。

表 4-9 皮尔逊 III 型分布曲线成果表

指数分布曲线 $X = a \times \ln P + b$ 参数 a 与 b 成果表											
参数\降雨历时	5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
变差系数 C_v	0.174	0.175	0.176	0.191	0.217	0.234	0.276	0.322	0.353	0.357	0.36
偏态系数 C_s	1.57	1.46	1.24	1.03	1.08	1.04	1.08	1.3	1.3	1.4	1.4

A、最小二乘法

表 4-10 单一重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P （年）	公式
$P = 2$	6615.371 / (t + 22.908) ^ 0.839
$P = 3$	5708.895 / (t + 21.734) ^ 0.779
$P = 5$	4733.949 / (t + 20.495) ^ 0.704
$P = 10$	3360.207 / (t + 16.258) ^ 0.607
$P = 20$	2823.302 / (t + 13.611) ^ 0.549
$P = 30$	2608.039 / (t + 12.095) ^ 0.521
$P = 40$	2471.099 / (t + 11.028) ^ 0.502
$P = 50$	2370.565 / (t + 10.204) ^ 0.487
$P = 60$	2290.906 / (t + 9.533) ^ 0.475
$P = 70$	2224.941 / (t + 8.967) ^ 0.466
$P = 80$	2168.829 / (t + 8.477) ^ 0.457
$P = 90$	2119.731 / (t + 8.045) ^ 0.450
$P = 100$	2076.311 / (t + 7.659) ^ 0.444

任意重现期暴雨强度公式： $q = \frac{167A}{(t+b)^n}$

表 4-11 任意重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P （年）	区间	参数	公式
1-10	I	n	0.929 -0.142Ln(P - 0.116)
		b	23.195 -1.893Ln(P - 0.836)
		A	41.493 -9.117Ln(P - 0.771)
10-100	II	n	0.713 -0.059Ln(P - 3.975)
		b	24.384 -3.637Ln(P - 0.660)
		A	22.833 -2.293Ln(P - 6.737)

重现期 2-20 年的暴雨强度计算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差为 0.032（mm/min）；平均相对均方差为 2.46%。

暴雨强度总公式：

$$q = \frac{2272.659 \times (1 + 0.555 LgP)}{(t + 17.246)^{0.616}}$$

重现期 2-20 年的暴雨强度算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对标准差：0.050mm/min　平均相对标准差：4.72 %。

B、高斯牛顿法

任意重现期暴雨强度计算公式：

$$q=\frac{1830.071\times(1+0.506\,LgP)}{(t+13.883)^{0.571}}$$

表 4-12 单一重现期暴雨强度计算公式表

重现期 P（年）	公式
$P=2$	2108.936/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=3$	2272.061/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=5$	2477.575/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=10$	2756.440/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=20$	3035.305/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=30$	3198.430/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=40$	3314.170/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=50$	3403.944/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=60$	3477.295/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=70$	3539.313/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=80$	3593.035/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=90$	3640.421/ (t + 13.883) ^ 0.571
$P=100$	3682.809/ (t + 13.883) ^ 0.571

重现期 2-20 年的暴雨强度算得的平均绝对均方差、平均相对均方差：平均绝对均方差为 0.060（mm/min）；平均相对均方差为 7.78%。

4.3 精度检验

为确保计算结果的准确性，对暴雨强度计算结果进行了精度检验，计算出重现期 0.25～10 年的暴雨强度，并将算得的暴雨强度理论值和实测值的平均绝对均方误差和平均相对均方误差，与室外排水设计规范（GB50014-2014）规定的精度对照。规范规定：绝对均方差不超过 0.05mm / min，平均相对均方差不宜大于 5%。

平均绝对均方误差：$X_m = \sqrt{\dfrac{\sum\left(\dfrac{R' - R}{t}\right)^2}{N}}$ （4-10）

平均相对均方误差：$U_m = \sqrt{\dfrac{\sum\left(\dfrac{R' - R}{R}\right)^2}{N}} \times 100\ \%$ （4-11）

式（4-10）和式（4-11）中，R' 为单一重现期暴雨强度公式计算值，R 为降水强度（即 P-i-t 三联表对应的 i 值），t 为降水历时，N 为样本数。

对年最大值法采用皮尔逊 III 型分布进行最小二乘法计算的暴雨强度区间公式算得的重现期 0.25～10 年暴雨强度平均绝对均方差为 0.032（mm/min），相对均方差 2.46%，满足《室外排水设计规范》(GB50014-2006，2014 版）提出的平均绝对方差不超过 0.05 mm/min、平均相对方差不超过 5%的精度要求。

对年最大值法采用皮尔逊 III 型分布进行最小二乘法计算的暴雨强度总公式，其重现期 0.25～10 年暴雨强度平均绝对均方差为 0.050mm/min，平均相对均方差为 4.72%，符合《室外排水设计规范》(GB50014-2006，2014 版）提出的平均绝对均方差不超过 0.05 mm/min 的精度要求，也能满足平均相对均方差不超过 5%的精度要求，所以，该总公式也可以使用。

单从两种公式计算精度看，暴雨强度区间公式优于暴雨强度总公式。

表 4-13 各计算方法的 9 类公式总结表

	分布	计算方法	区间公式		总公式	
			平均绝对均方差	平均相对均方差	平均绝对均方差	平均相对均方差
年最大值法	耿贝尔分布	最小二乘法	0.110	8.26%	0.052	5.2%
		高斯牛顿法			0.067	8.15%
	指数分布	最小二乘法	0.191	13.18%	0.063	6.16 %
		高斯牛顿法			0.080	10.93%
	皮尔逊III型分布	最小二乘法	0.032	2.46%	0.050	4.72 %
		高斯牛顿法			0.060	7.78%

4.4 公式择优

根据精度检验结果，可以发现，以皮尔逊 III 型分布概率模型的最小二乘法

拟合的暴雨强度总公式和区间公式均满足《室外排水设计规范》(GB50014-2006，2014 版）要求。接下来对其最大值进行对比分析。

根据表 4-14 可以看到新总公式有 24 次为最大值，区间公式有 33 次为最大值，现行公式有 9 次为最大。但 10 分钟及以下短历时各重现期暴雨强度，现行公式大于新总公式；10 分钟及以下短历时 3 年及以下重现期暴雨强度，区间公式大于现行公式。

综上所述可以得到如下结论：在实际施工中，建筑要求 10 分钟及以下短历时，新的总公式对建筑施工能起到节约成本的作用；建筑要求考虑长历时暴雨强度时，新的总公式对建筑施工能起到更好的雨水防护效果。

区间公式可以作为新的暴雨强度总公式的补充，有经济承受能力、重点工程建筑，60 分钟历时及以内、重现期 3 年及以下，建议使用区间公式。其余情况使用总公式。

表 4-14 符合规范要求的 2 类公式与现行公式对比表

降雨历时（min）		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
重现期2年	皮尔逊III型最小二乘法总公式	392.4	346.3	312.2	285.7	246.7	208.2	182.3	148.9	127.9	113.3	102.3
	皮尔逊III型最小二乘法区间公式	482.0	420.8	374.1	337.3	282.7	228.7	192.9	147.9	120.7	102.3	89.1
	海口现行公式	471.2	386.4	332.0	293.5	242.1	196.0	167.1	132.1	111.3	97.1	86.8
重现期3年	皮尔逊III型最小二乘法总公式	425.3	375.3	338.3	309.6	267.4	225.6	197.5	161.4	138.6	122.7	110.9
	皮尔逊III型最小二乘法区间公式	513.7	448.9	400.2	362.1	306. 0	250.7	213.9	167.5	139.1	119.7	105.6
	海口现行公式	500.9	410.7	352.8	312.0	257.3	208.3	177.6	140.5	118.3	103.2	92.3
重现期5年	皮尔逊III型最小二乘法总公式	466.7	411.9	371.3	339.7	293.4	247.6	216.8	177.1	152.1	134.7	121.7
	皮尔逊III型最小二乘法区间公式	459.5	402.2	360.0	327.5	280.0	233.5	202.5	163.1	138.6	121.6	109.1
	海口现行公式	538.2	441.3	379.1	335.2	276.5	223.8	190.8	150.9	127.1	110.9	99.1
重现期10年	皮尔逊III型最小二乘法总公式	522.8	461.4	416.0	380.6	328.7	277.4	242.8	198.4	170.4	150.9	136.3
	皮尔逊III型最小二乘法区间公式	518.6	455.0	409.5	374.8	324.9	276.3	243.8	202.2	175.9	157.4	143.5
	海口现行公式	588.8	482.8	414.8	366.8	302.5	244.9	208.8	165.1	139.0	121.4	108.5
重现	皮尔逊III型最小二乘法总公式	579.0	511.0	460.6	421.5	364.1	307.2	268.9	219.7	188.7	167.1	151.0

降雨历时（min）		5	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
期 20 年	皮尔逊III型最小二乘法区间公式	569.6	498.7	449.1	411.9	359.0	307.9	274.0	230.3	202.5	182.9	168.1
	海口现行公式	639.5	524.3	450.5	398.3	328.6	265.9	226.8	179.3	151.0	131.8	117.8
重现期 30 年	皮尔逊III型最小二乘法总公式	611.9	540.0	486.8	445.4	384.7	324.6	284.2	232.2	199.5	176.6	159.5
	皮尔逊III型最小二乘法区间公式	598.0	523.6	472.2	434.0	379.7	327.5	292.7	247.9	219.4	199.1	183.8
	海口现行公式	669.1	548.6	471.3	416.8	343.8	278.2	237.3	187.6	158.0	137.9	123.2

4.5 小结

通过以上九个暴雨强度公式的对比分析，我们根据国家标准《室外排水设计规范》（GB50014-2014）的要求，选取重现期 0.25-10 年的暴雨强度平均绝对均方差小于 0.05mm/min、且平均相对均方差小于 5%的计算结果作为海口市暴雨强度公式。推荐海口市暴雨强度公式为：

$$q = \frac{2272.659 \times (1 + 0.555 LgP)}{(t + 17.246)^{0.616}}$$

皮尔逊 III 型分布概率模型的最小二乘法拟合的暴雨强度总公式和区间公式均满足《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014 版）要求。区间公式可以作为新的暴雨强度总公式的补充，有经济承受能力、重点工程建筑，60 分钟历时及以内、重现期 3 年及以下，建议使用区间公式。其余情况使用总公式。

5. 海口市暴雨强度空间分布特征和时间分布特征

5. 1 暴雨的时间变化特征

5.1.1 暴雨样本年代际变化特征

由于城市暴雨公式编制的基础数据是选自本地历史上各种历时雨量最大的208 个样本，因此，在此统计各年代（每 10 年为一个年代）入选样本数占总样本数的百分比来表征与室外排水相关的强降水时间变化特征。

根据海口国家气象站 1961 年 1 月～2012 年 12 月份近 52 年各个历时暴雨数据统计，1960 年代出现的强降水样本分别占总样本量的 20～27％，1970 年代出现的强降水样本分别占总样本量的 17～25％，1980 年代出现的强降水样本分别占总样本量的 11～24％，1990 年代出现的强降水样本分别占总样本量的 17～27％，2000 年代之后出现的强降水样本分别占总样本量的 7～26％。1960s~1970s 期间，除了 90min 历时降水是呈现上升趋势外，其余的呈现下降趋势；自 1970 年代以来，5min~45min 短历时降水是呈现先下降后上升再下降的趋势，而 60min~120min 长历时降水是呈现先下降后上升的趋势，在 1970s~1980s 期间，各历时降水都是呈现下降的趋势，而在 1980s~1990s 期间，各历时降水都是呈现上升的趋势（见图 5-1）。从整体来看，强降水事件短历时（45 分钟以下）有下降情况，但是长历时（60 分钟以上）是明显从 80 年代开始增多；另外从降水的年变化来看，海口市降水有增多趋势（图略），这说明海口市暴雨不仅时长增加，而且雨量增大，对应的暴雨强度公式宜采用更高标准才能适合实际的气候变化特征。

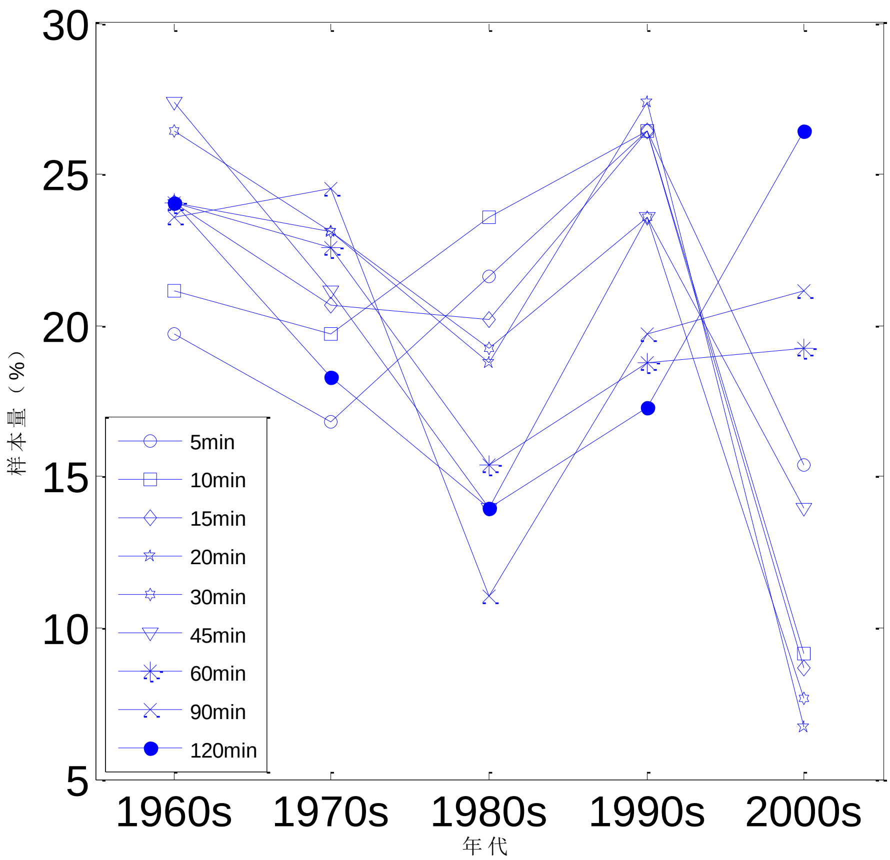


图 5-1 各年代强降水样本占总样本的比例

5.1.2 暴雨样本极值的时间分布

表 5-1 为 1961 ~ 2012 年各历时最大的 10 个降水极值的分布，可以看出，除 45 分钟历时外，1991～2012 年的 22 年中，雨量最大的 10 个降水极值出现次数均多于 1961～1990 年 30 年间的发生次数，各历时雨量的历史最大值均出现在 1991 年以后。可以分析得到，海口市暴雨各历时的降水量和次数都有加大的趋势。

表 5-1 1961～2012 年各历时最大的 10 个降水极值分布

序号	降雨历时(分钟)	1961 ~ 1990 年 30 年间出现的个例数	1991 ~ 2012 年 22 年间出现的个例数	历史极端最大值（mm）/出现年份
1	5	4	6	18.3/2010 年
2	10	2	8	30.2/2010 年

3	15	2	8	38.4/2006 年
4	20	2	8	49.6/1998 年
5	30	3	7	69.3/1998 年
6	45	7	3	103.1/1998 年
7	60	4	6	130.3/1998 年
8	90	4	6	177.1/1998 年
9	120	2	8	198.5/1998 年

5.1.3 暴雨样本均值的时间分布

比较 1961～1990 年与 1961～2012 年两个阶段各历时雨量样本的平均值、重现期历时降水量发现，后者均大于前者（表 5-2）。说明近二十多年的短历时强降水明显大于 1990 年以前的时段，近 20 年来海口市的极端降水事件呈增加趋势。

表 5-2 1961～1990 年与 1961～2012 年两个阶段极端降水对比

序号	降雨历时(分钟)	统计样本均值(mm)		差值/比例（%）
		1961～1990 年	1961～2012 年	
1	5	10.59	10.73	0.14/1.3%
2	10	18.64	18.76	0.12/0.6%
3	15	24.98	25.11	0.13/0.5%
4	20	30.36	30.46	0.1/0.3%
5	30	38.63	38.94	0.31/0.8%
6	45	46.36	46.80	0.43/0.9%
7	60	52.69	53.29	0.6/1.1%
8	90	59.01	60.99	1.98/3.4%
9	120	62.88	65.86	2.98/4.7%

5.2 暴雨强度的空间特征分析

针对暴雨明显的局地特征，根据海口市国家气象站和所属区域的自动气象站降雨资料，分析和研究海口市国家气象站暴雨数据区域代表性和分布特征，对以国家气象站雨量为样本编制的海口市暴雨强度公式的气候合理性作出分析，分析划定各暴雨强度公式使用区域分布图，以满足海口市及所属区域的室外排水规划设计需要。

5.2.1 资料来源及处理

（1）资料来源：近 5 年海口市国家气象站逐分钟降水资料及所属自动气象站（图 5-2）逐分钟降水资料。

（2）资料处理：

首先对自动气象站资料进行业务化质量审核，根据本项目要求进行数据质量检验，从中挑选资料代表性、完整性、可靠性较好，资料年限至少在 5 年以上的站点对数据进行处理，降雨历时按 5、10、15、20、30、45、60、90、120 分钟，每年每个历时选取 8 场最大雨量记录。

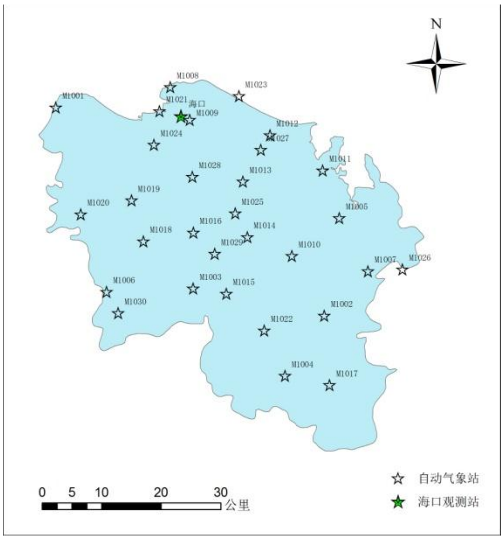


图 5-2　海口市自动气象站分布图

5.2.2 国家气象站和自动气象站短历时最大降水量分析

根据海口国家气象站和周边地区自动气象站同期降水资料，对比分析国家气象站和自动气象站历年 5 分钟、10 分钟、20 分钟、30 分钟、60 分钟、90 分钟、120 分钟等短历时最大降水量，绘制年平均最大降水量分布图，分析海口地区的短历时极端降水量差异特征。

由于暴雨强度统计的样本取自气象站每年每个历时的 8 场最大雨量，同时考虑到数据的一致性和可比性，因此将海口地区国家气象站和自动气象站近 5 年逐年每个历时（5、10、20、30、60、90、120 分钟）最大的 8 场雨量作为基础资料，同样按“年多个样法”原则建立统计样本,即不论年次将 10、20、30、60、90、120 分钟等降水历时资料样本按从大到小顺序进行排序，并从大到小选取年数 4 倍的最大值作为分析样本，计算每站每个历时的平均值，绘制每个历时的平均最大降水量分布图（图 5-3～图 5-9）。

从图 5-3 至图 5-9 可以看出，各历时的平均最大降水量分布趋势基本一致，由东南部向西北部递减，西北部为最小。

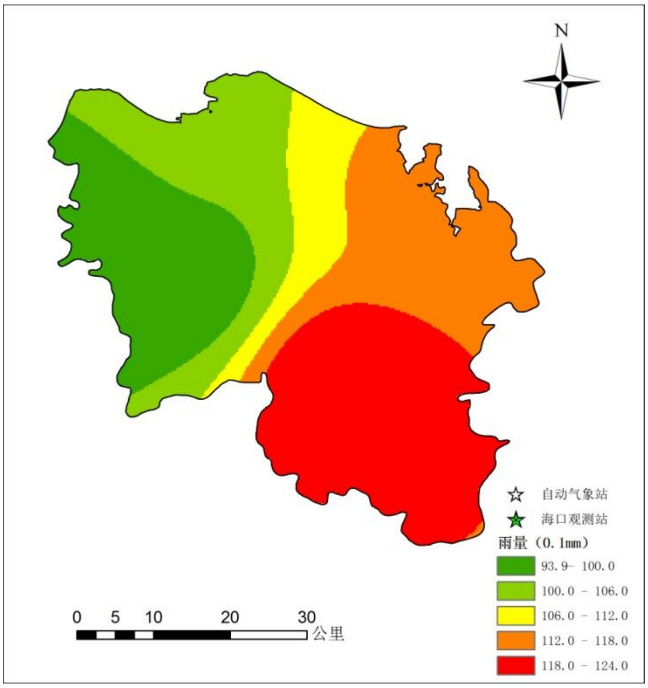


图 5-3　海口地区历时 5 分钟平均最大降水量分布

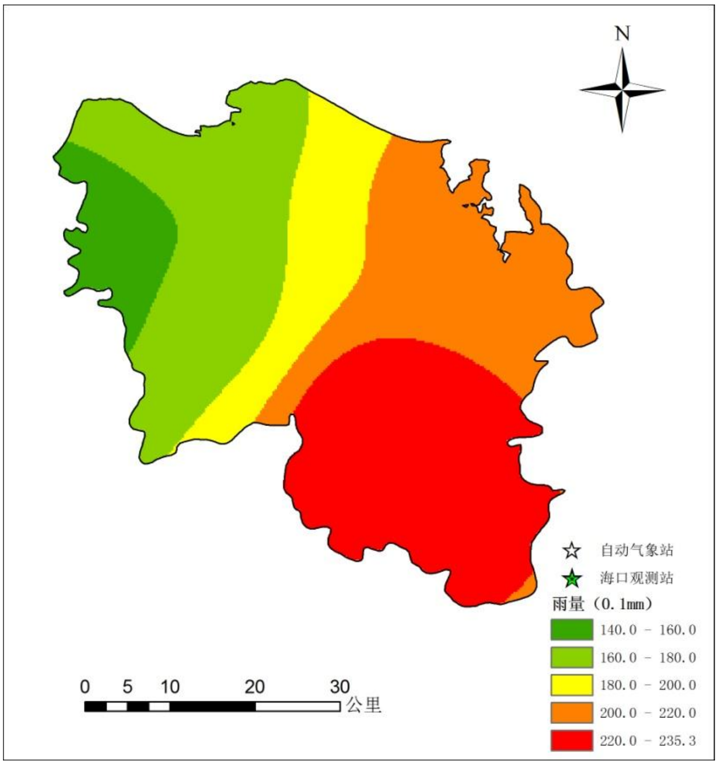


图 5-4 海口地区历时 10 分钟平均最大降水量分布

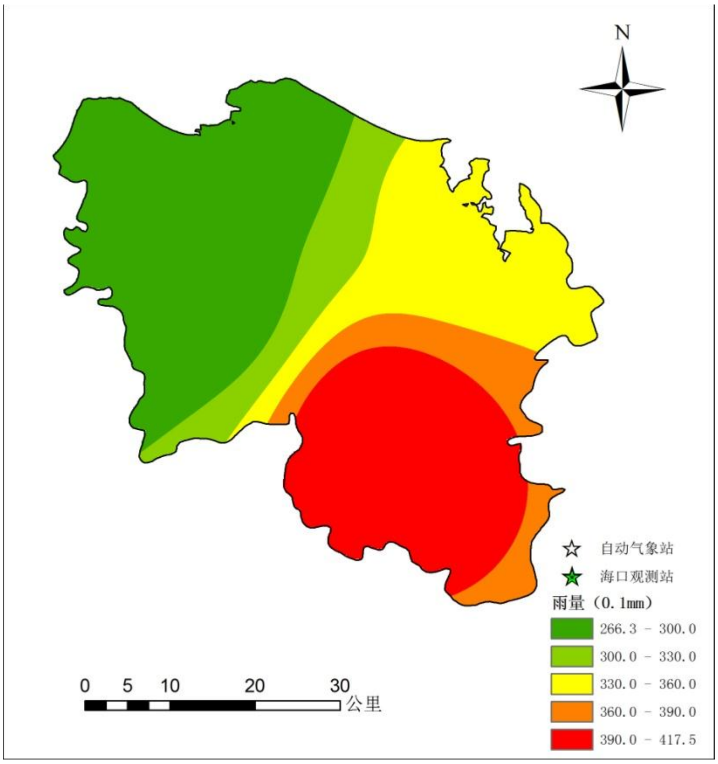


图 5-5 海口地区历时 20 分钟平均最大降水量分布

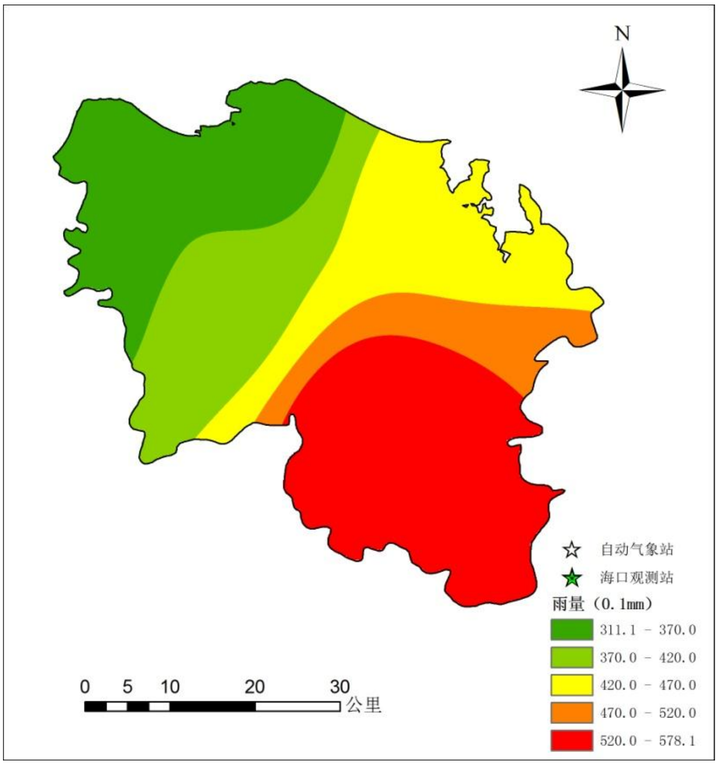


图 5-6　海口地区历时 30 分钟平均最大降水量分布

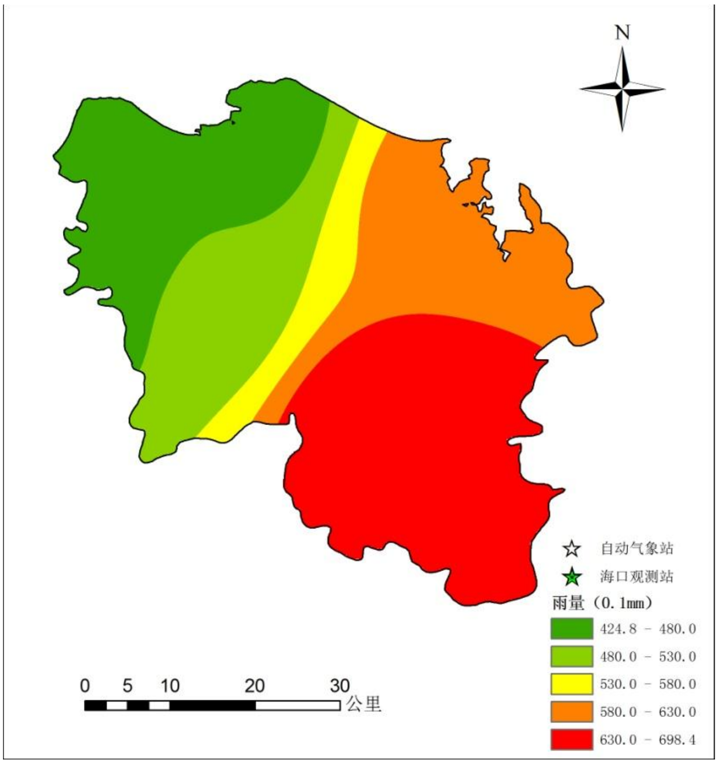


图 5-7　海口地区历时 60 分钟平均最大降水量分布

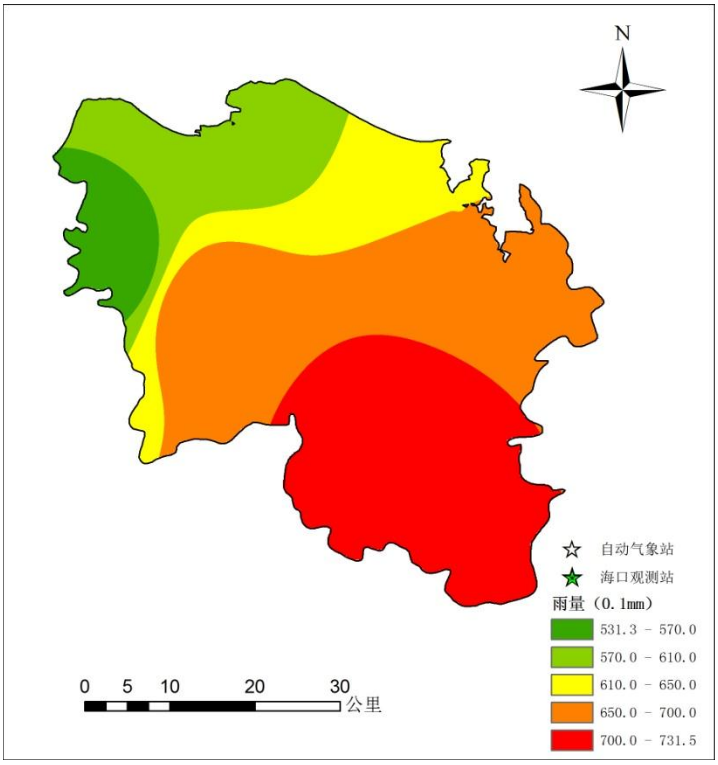


图 5-8　海口地区历时 90 分钟平均最大降水量分布

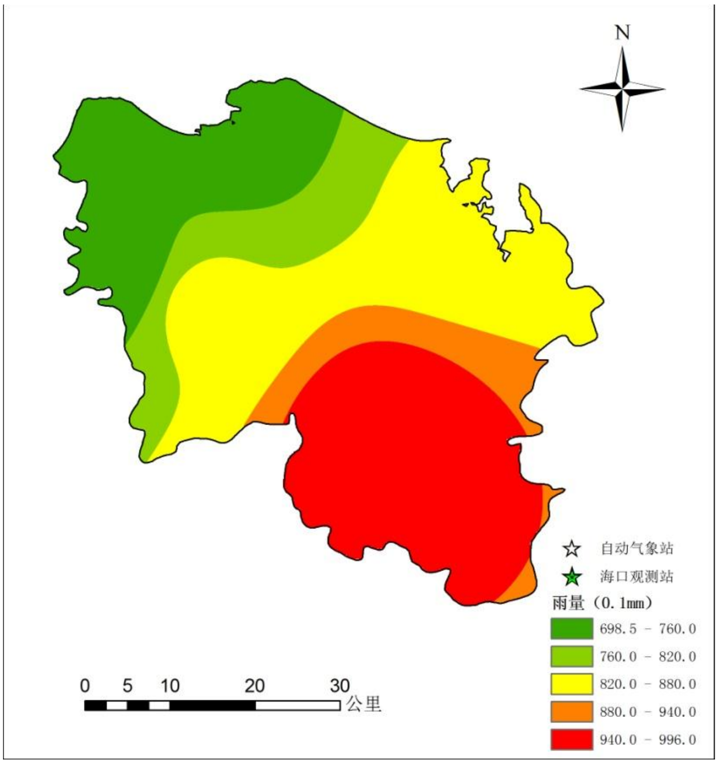


图 5-9　海口地区历时 120 分钟平均最大降水量分布

5.2.3 海口市暴雨强度空间分布特征

根据海口市短历时最大降水量分布特征分析结果，站点一、站点二、站点三、站点四、站点五等国家气象站均位于各地的中心城区，受城市化程度和热岛效应影响，所在区域的暴雨特征无疑是最为明显的。根据空间特征可以得出暴雨强度公式的使用方式：在海口东部和南部地区宜提高使用标准，其他地区直接使用本公式。

6．设计暴雨雨型

城市暴雨强度公式只是反映暴雨的极值情况，并不能描述一场暴雨的实际发生过程，实际上，一场降雨在时间分布上并不均匀，暴雨强度会随着时间而发生变化。一场暴雨其雨强随时间的变化过程也就是雨型，雨型是对降雨时程分布统计关系的一种描述。

数学模型中用到的设计暴雨资料包括设计暴雨量和设计暴雨过程，即雨型。天然降雨过程千变万化，国内外根据对大量降雨过程的分析，可归纳成以下几种模式：单峰雨型、大致均匀雨型、双峰雨型。单峰雨型雨峰分别在前、后和中部。设计暴雨量可按城市暴雨强度公式计算。暴雨雨型可根据本地条件和需要，研究确定设计暴雨统计模型。

6.1 设计雨型方法

雨水设计流量中的设计暴雨量可按城市暴雨强度公式计算，设计暴雨过程（雨型）的确定《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014 版）中推荐了三种方法。

（1）设计暴雨统计模型。结合编制城市暴雨强度公式的采样过程，收集降雨过程资料和雨峰位置，根据常用重现期部分的降雨资料，采用统计分析方法确定设计降雨过程。

（2）芝加哥降雨模型。根据自记雨量资料统计分析城市暴雨强度公式，同时采集雨峰位置系数，雨峰位置系数取值为降雨雨峰位置除以降雨总历时。

（3）当地水利部门推荐的降雨模型。采用当地水利部门推荐的设计降雨雨型资料，必要时需做适当修正，并摈弃超过 24h 的长历时降雨。

住房和城乡建设部及中国气象局发布的《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》中暂推荐采用芝加哥降雨模型确定短历时暴雨雨型。

6.2 芝加哥法雨型

6.2.1 芝加哥法雨型技术流程

芝加哥法雨型为一定重现期下不同历时最大雨强复合而成，雨型的确定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：

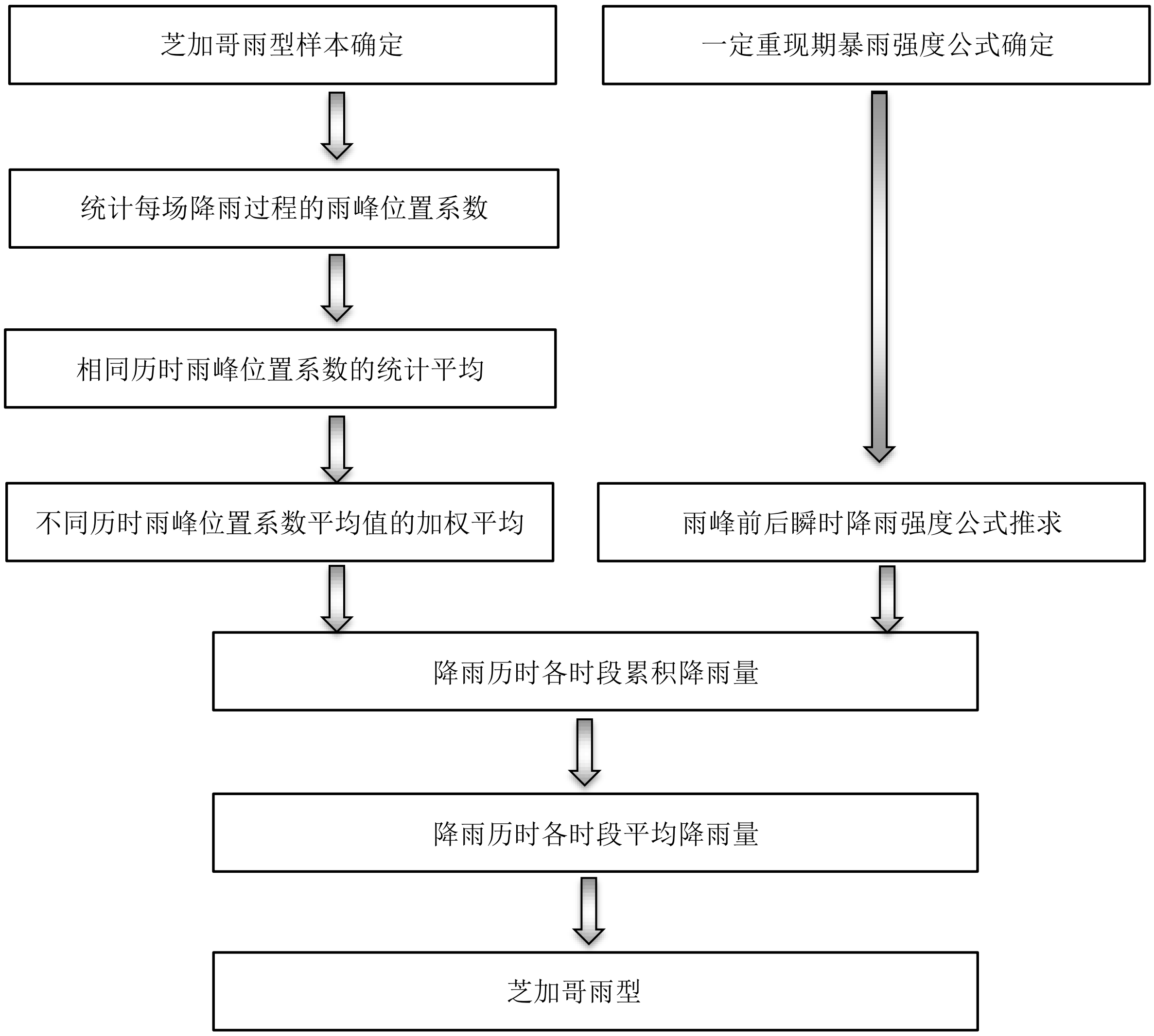


图 6-1 芝加哥法雨型技术流程图

6.2.2 雨峰位置系数

将各降雨历时的逐年最大降雨过程样本，以 5min 为间隔进行分段，统计降雨过程的雨峰位置系数。

$$r_i = \frac{t_i}{T_i} \tag{1}$$

式（1）中，r_i 为雨峰位置系数，t_i 为降雨峰值时刻，T_i 为降雨历时。

先将历时相同的逐年最大降雨样本的雨峰位置系数进行算术平均，再将各历时的雨峰位置系数按照各历时的长度进行加权平均，求出综合雨峰位置系数 r。根据综合雨峰位置系数 r，设计暴雨重现期（P）、设计降雨历时（t），代入根据暴雨强度公式导出的芝加哥法雨型公式，计算出雨峰前后瞬时降雨强度及各个时

段内的平均降雨强度，最终确定出对应一定重现期及降雨历时的芝加哥法雨型

6.2.3 芝加哥降雨过程线模型

芝加哥法雨型以统计的暴雨强度公式为基础设计典型降雨过程。通过引入雨峰位置系数 r 来描述暴雨峰值发生的时刻，将降雨历时时间序列分为峰前和峰后两个部分。

令峰前的瞬时强度为 $i(t_b)$，相应的历时为 t_b，峰后的瞬时强度为 $i(t_a)$，相应的历时为 t_a，取一定重现期下暴雨强度公式形式为：

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

雨峰前后瞬时降雨强度可由下式计算：

$$i(t_b) = \frac{A\left[\frac{(1-n)t_b}{r} + b\right]}{\left[\left(\frac{t_b}{r} + b\right)\right]^{n+1}} \quad (1)$$

$$i(t_a) = \frac{A\left[\frac{(1-n)t_a}{1-r} + b\right]}{\left[\left(\frac{t_a}{1-r} + b\right)\right]^{n+1}} \quad (2)$$

式（1）、（2）中，A、b、n 为一定重现期下暴雨强度公式中的参数，r 为综合雨峰位置系数，是根据每场降雨不同历时峰值时刻与整个历时的比值而加权平均确定的，r 位于 0～1 之间。

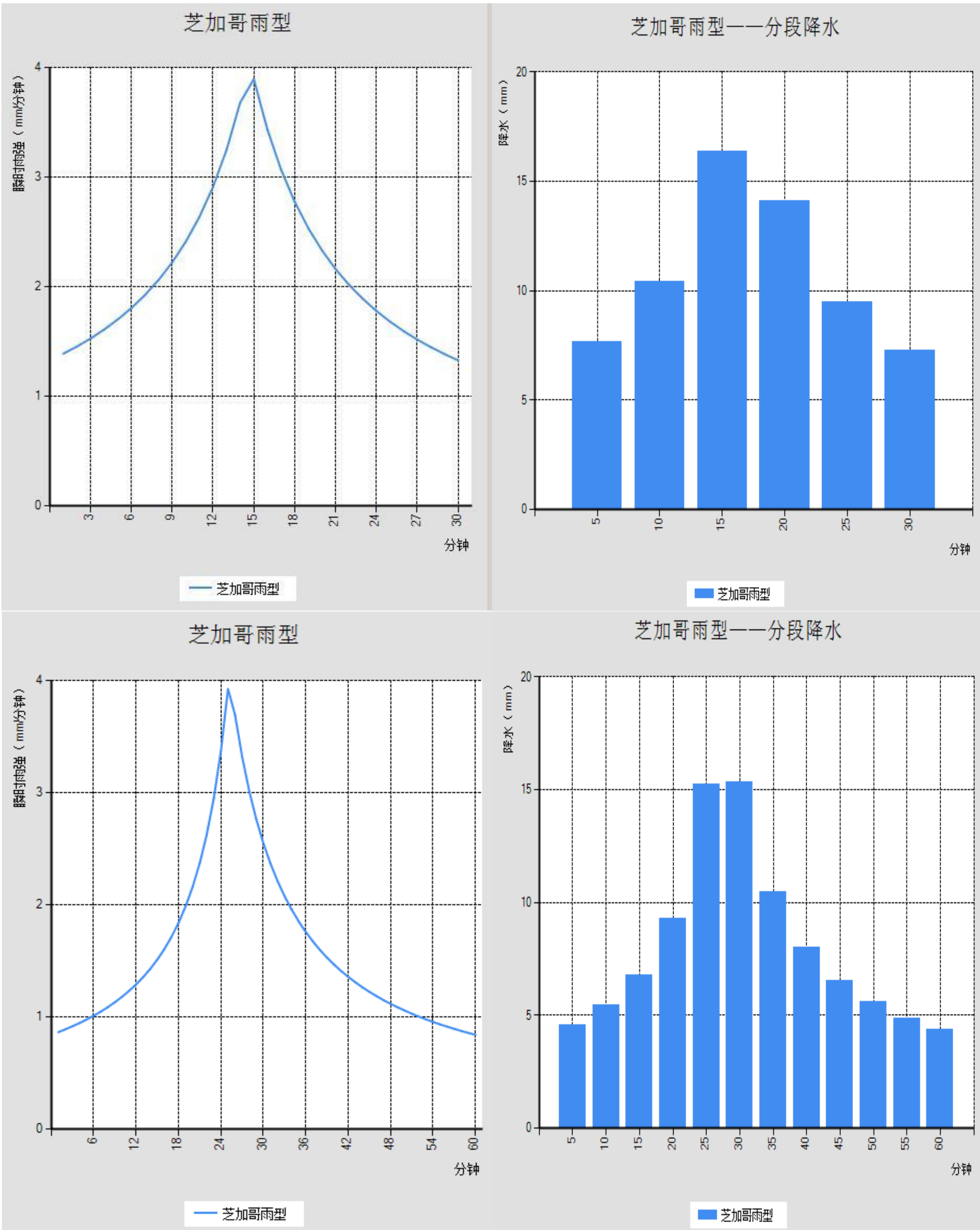
在求出综合雨峰位置系数 r 之后，可利用公式（1）、（2）计算芝加哥合成暴雨过程线各时段（以 5min 计）的累积降雨量及各时段的平均降雨量，进而得到每个时段内的平均降雨强度，最终确定出对应一定重现期及降雨历时的芝加哥法雨型。

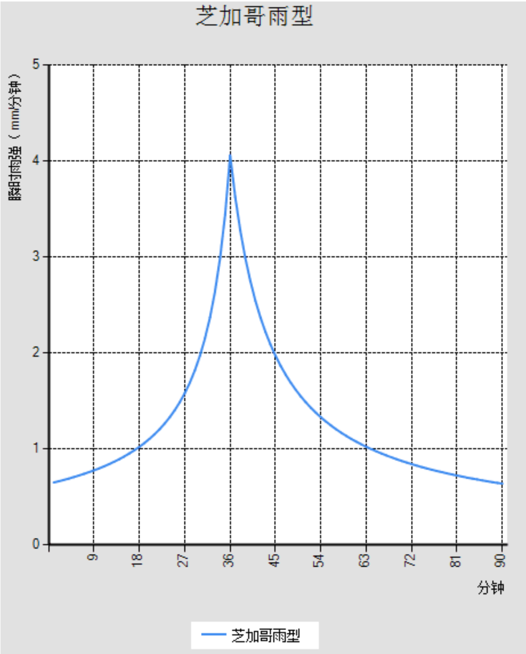
《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》中规定，短历时暴雨雨型确定的降雨历时采用 30、60、90、120、150、180 分钟共 6 个历时。确定综合雨峰位置系数采用推算海口暴雨强度公式的数据，即 1961 年—2013 年 30、60、90、120、150、180 分钟 6 个历时年最大降雨样本。

表 6-1 雨峰位置系数

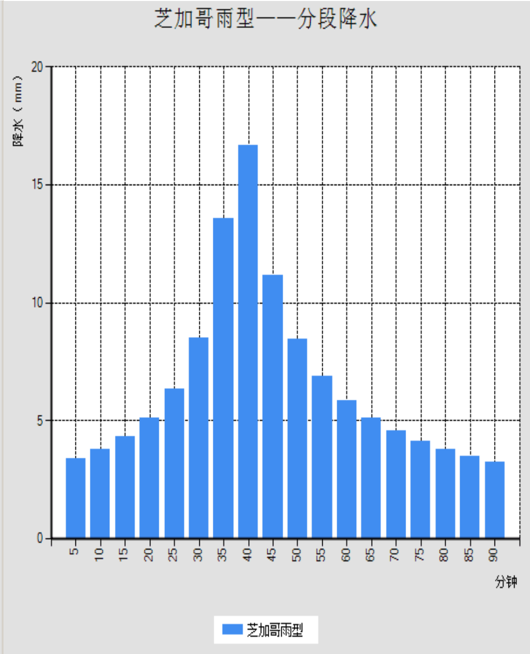
降雨历时	30	60	90	120	150	180
雨峰位置系数	0.49	0.42	0.40	0.39	0.36	0.35
雨峰位置	14.7	25.2	36.0	46.8	54.0	63.0

由表 6-1 可知：30min、60min、90min、120min、150min、180min 共 6 个历时，各历时雨峰位置系数在 0.35～0.49 之间，雨峰主要在前部以及中部。以重现期 10 年为例，分别得到各历时芝加哥雨型曲线图和分段降水图如下：

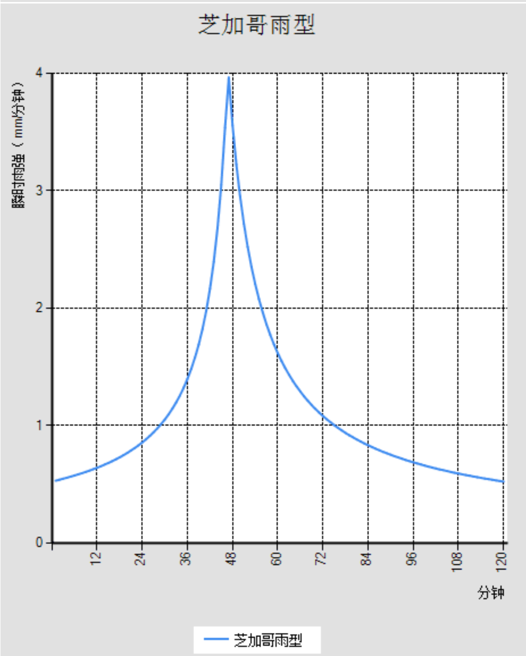




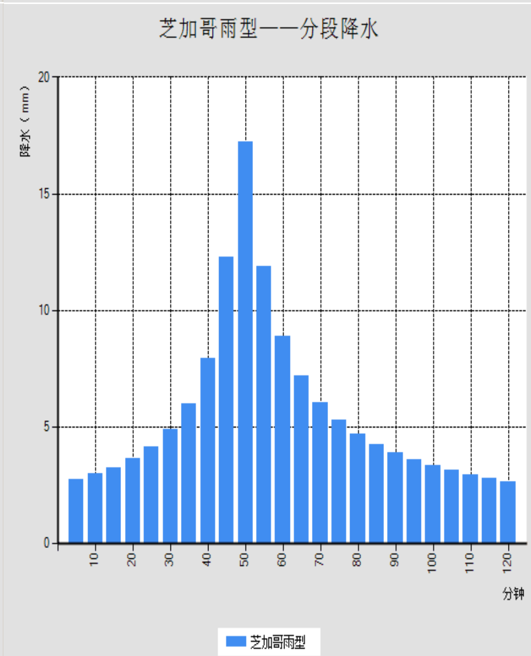
芝加哥雨型
瞬时雨强（mm/分钟）
分钟
芝加哥雨型



芝加哥雨型——分段降水
降水（mm）
分钟
芝加哥雨型



芝加哥雨型
瞬时雨强（mm/分钟）
分钟
芝加哥雨型



芝加哥雨型——分段降水
降水（mm）
分钟
芝加哥雨型

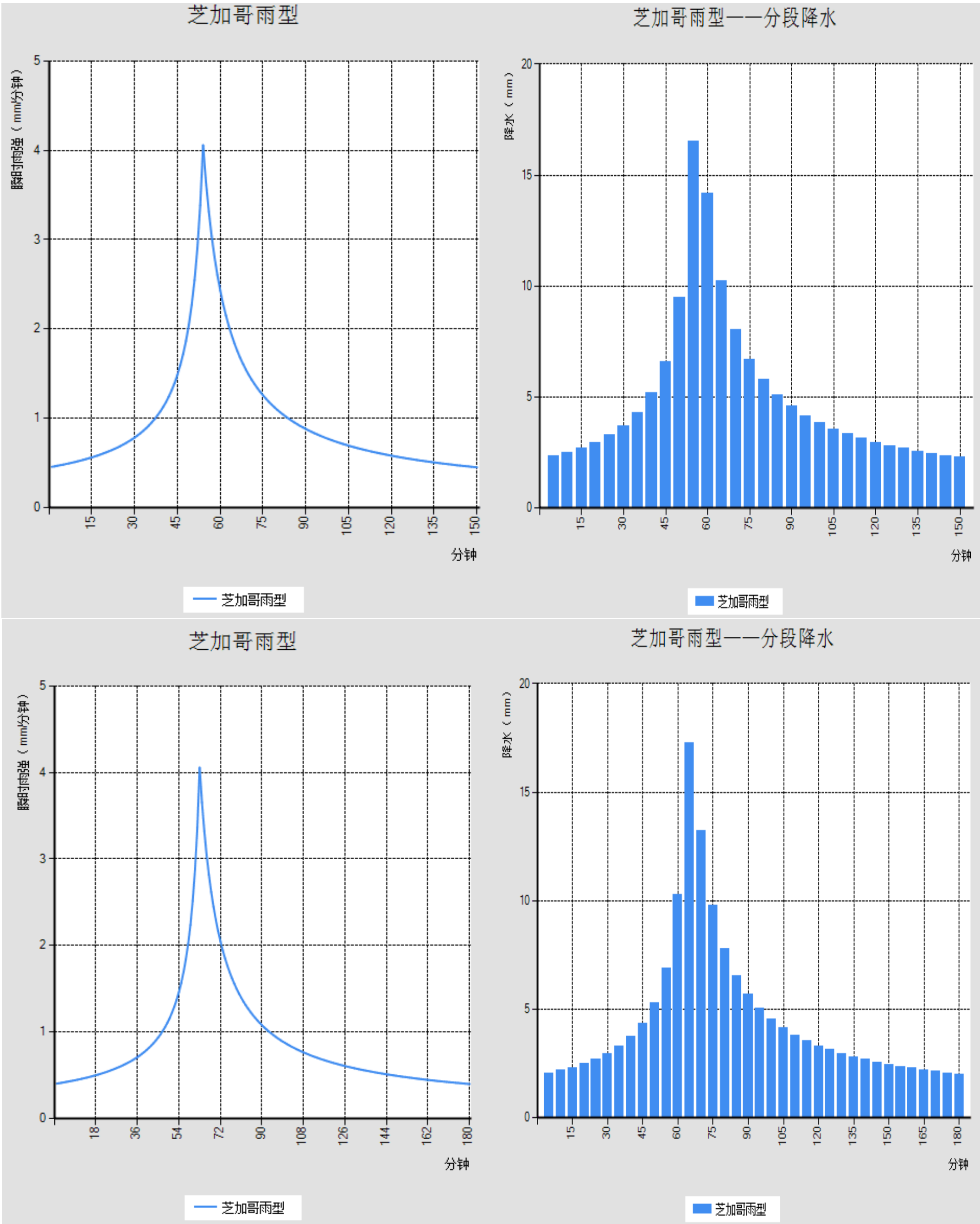


图 6-2 重现期为 10 年的芝加哥法雨型及分段降水图

6.3 暴雨雨型小结

设计暴雨是雨水道系统设计的基础，除了一定历时内的平均雨强外，时程分布形式，即雨型也是一个重要的因素。实测资料和试验研究都表明，雨型对洪峰流量和流量过程线都较大影响。根据住房和城乡建设部及中国气象局发布的《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》确定芝加哥降雨模型为短历时暴雨雨型。按照《城市暴雨强度公式编制和设计暴雨雨型确定技术导则》

中规定，短历时暴雨雨型确定的降雨历时采用30、60、90、120、150、180分钟共6个历时。在求出综合雨峰位置系数r之后，并求出降雨历时各时段累积降雨量以及降雨历时各时段平均降雨量，最终确定出对应一定重现期及降雨历时的芝加哥法雨型。芝加哥法雨型求出各历时雨峰位置系数在0.35～0.49之间，雨峰主要在前部以及中部，雨峰类型为单峰雨型，只有一个峰值。

7. 结论及建议

（1） 本项目采用海口市区国家基本气象站1961年1月～2015年12月份55 年逐分钟降水数据统计生成暴雨强度公式推算数据库，其中自记纸资料由气象部门已业务化运行的“降水自记纸彩色扫描数字化处理系统”对原始数据进行信息化处理，数据通过质量及一致性检验，精度高，能准确实现“不漏场次、不漏最大值”的挑选降雨场次的原则，统计样本准确可靠。

（2） 海口市暴雨强度公式推算依据中华人民共和国国家标准《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014版）推荐的年最大值法拟合，对比分析皮尔逊III 型分布、指数分布以及耿贝尔分布的最小二乘法和高斯牛顿法，通过误差分析和公式择优挑选出海口暴雨强度总公式，计算过程规范，计算结果误差满足规范要求。

（3）对于本次拟合海口市暴雨强度总公式的 9 类公式里，其中皮尔逊 III 型分布的最小二乘法求得的海口市暴雨强度总公式和区间公式符合中华人民共和国国家标准《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014版）要求。推荐总公式为：$q=\frac{2272.659\times(1+0.555LgP)}{(t+17.246)^{0.616}}$。采用年最大值法推算的暴雨强度，会出现大雨年的次大值虽大于小雨年的最大值而不入选的情况，该方法算得暴雨强度小于年多样法的计算值，《给水排水设计手册》（第五册）规定此种情况应当根据公式$P_E=\frac{1}{\ln P_M-\ln(P_M-1)}$进行重现期修正，其中 P_E 为多个样法重现期，P_M 为最大值法重现期。

（4）在实际施工中，建筑要求10分钟及以下短历时，新的总公式对建筑施工能起到节约成本的作用；建筑要求考虑长历时暴雨强度时，新的总公式对建筑施工能起到更好的雨水防护效果。

（5）区间公式可以作为新的暴雨强度总公式的补充，有经济承受能力、重点工程建筑，60 分钟历时及以内、重现期 3 年及以下，建议使用区间公式。其余情况使用总公式。

（6）在海口东部和南部地区宜提高使用标准，其他地区直接使用本公式。

（7） 在气候变化的背景下，各地极端降水特点不断变化，建议根据需要及时对海口市暴雨强度公式进行修编。

参考文献：

[1] 室外设计排水规范（GB50014-2006,2014 年版）.中国计划出版社, 2014.

[2] 城市暴雨强度公式编制及应用方法.金家明.中国市政工程,2010（1）

[3] 水文学中雨强公式参数求解的一种最优化方法.陈正洪,王海军,张小丽等.应用气象学报,2007,18（2）

[4] 上海市短历时暴雨强度公式研究.徐连军,励建全,李田等.中国市政工程,2007（4）

[5] 暴雨强度公式推球方法探讨.邱兆富,周琪,张智等.城市道桥与防洪,2004(1)

[6] 珠江三角洲地区城市暴雨强度公式研究. 毛慧琴,宋丽莉,杜尧东.自然灾害学报,2003,12（2）

[7] 《给水排水设计手册（第 5 册）城镇排水》,中国建筑工业出版社,2003.

[8] 编制兰州市暴雨强度公式中频率曲线的比较.季日臣,郭晓东,刘有录.兰州铁道学院学报（自然科学版）.2002,21（1）

[9] 瑞安市暴雨强度概率分布公式参数估计研究.顾俊强,陈海燕,徐集云.应用气象学报,2000,11（3）

[10] 暴雨强度计算系统及其应用.植石群,宋丽莉,罗金铃等.气象,2000,26(6)

[11] 暴雨选样与频率分布模型及其应用. 邓培德.给水排水,1996,（2）

[12] Chow V. T. ,Statistical and probability analysis of hydrologic data,sec.8-I in handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill,New York,1964

[13] 对现行规范中城市暴雨强度公式编制方法的探讨与建议. 邵尧明.中国给水

排水,2009,25（5）

[14] 城市暴雨强度公式编制及应用方法. 金家明,中国市政工程,2010,（1）

[15] 用高斯-牛顿法确定暴雨公式参数.张子贤,河海大学学报,1995,23(5)

附录　海口市暴雨强度公式及计算图表

海口市暴雨强度公式及计算图表

海南省气候中心

二 0一 六 年 三 月

说　明

1.本计算图表根据海口市国家气象站近 55 年（1961～2015 年）连续自记雨量记录编制。

2.以重现期 0.25、0.33、0.5、1、2、3、5、10、20、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表列数值（单一重现期暴雨强度公式见表一）。

3.若采用其它重现期，设计暴雨强度可用重现期区间参数公式计算：

$$q = \frac{167A}{(t+b)^n} = 166.67 \times I$$

式中：q—设计暴雨强度（升/秒·公顷）I—设计暴雨强度（mm/min）

t—降雨历时（分钟）

A—雨力

b、n—常数

（A、b、n 按重现期区间参数公式计算，公式见表二）

4.暴雨强度总公式：

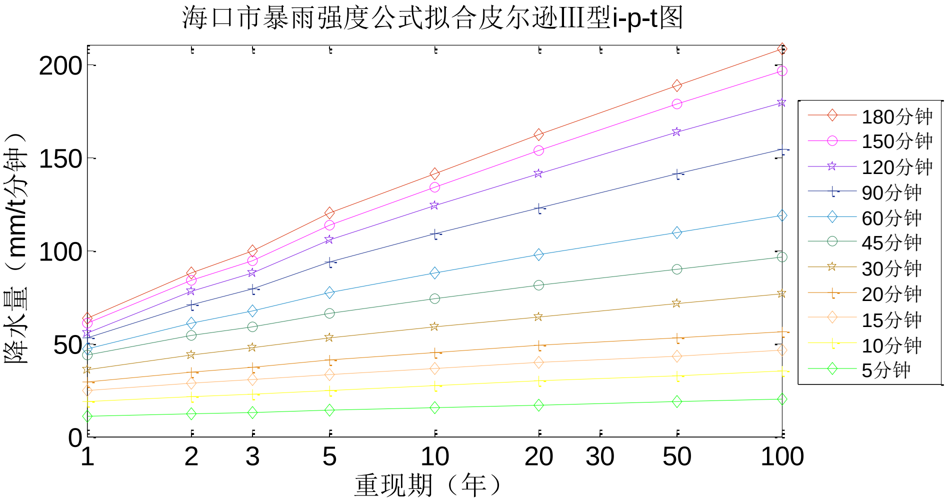
$$q = \frac{2272.659 \times (1 + 0.555 LgP)}{(t + 17.246)^{0.616}}$$

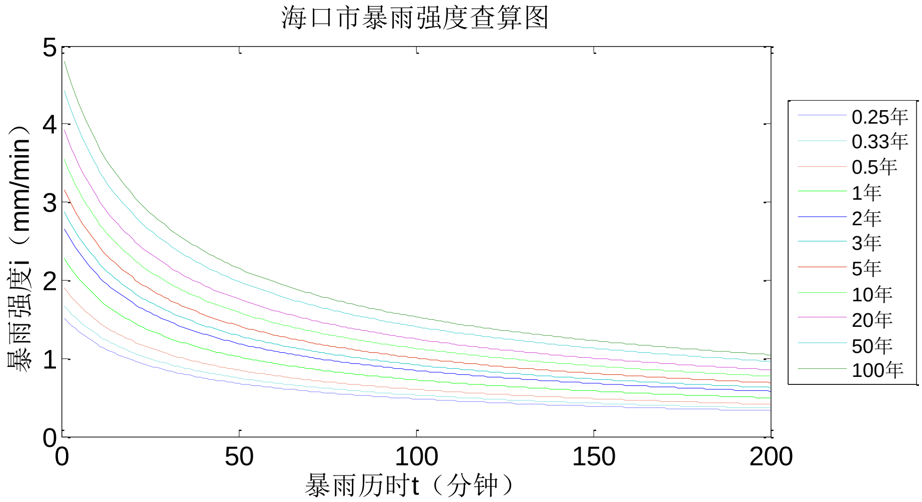
采用年最大值法推算的暴雨强度，会出现大雨年的次大值虽大于小雨年的最大值而不入选的情况，该方法算得暴雨强度小于年多样法的计算值，《给水排水设计手册》（第五册）规定此种情况应当根据公式 $P_E = \frac{1}{\ln P_M - \ln(P_M - 1)}$ 进行重现期修正，对应关系见下表。

P_E	2	3	5	10	20	50	100
P_M	2.541	3.528	5.517	10.508	20.504	50.502	100.501

5.公式误差

应用暴雨强度区间公式算得的重现期0.25～10年暴雨强度平均绝对方差为：0.032（mm/min），平均相对方差为：2.46%。精度符合《室外排水设计规范》（GB50014-2006，2014 版）提出的要求。


海口市暴雨强度公式拟合皮尔逊III型i-p-t图
200
150
100
50
0
降水量（mm/t分钟）
1
2
3
5
10
20
30
50
100
重现期（年）
180分钟
150分钟
120分钟
90分钟
60分钟
45分钟
30分钟
20分钟
15分钟
10分钟
5分钟


海口市暴雨强度查算图
5
4
3
2
1
0
暴雨强度i（mm/min）
0
50
100
150
200
暴雨历时t（分钟）
0.25年
0.33年
0.5年
1年
2年
3年
5年
10年
20年
50年
100年

海口 P_E= 2 年 t 单位：分钟； q 单位：升/秒/公顷															
t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	465.295	26	273.442	51	206.451	76	170.34	101	147.154	126	130.756	151	118.42	176	108.734
2	450.251	27	269.619	52	204.609	77	169.224	102	146.392	127	130.197	152	117.989	177	108.389
3	436.419	28	265.932	53	202.81	78	168.127	103	145.641	128	129.644	153	117.561	178	108.046
4	423.648	29	262.375	54	201.052	79	167.049	104	144.9	129	129.097	154	117.138	179	107.707
5	411.814	30	258.94	55	199.333	80	165.989	105	144.169	130	128.556	155	116.719	180	107.37
6	400.809	31	255.621	56	197.652	81	164.946	106	143.447	131	128.021	156	116.303	181	107.036
7	390.544	32	252.411	57	196.008	82	163.92	107	142.735	132	127.492	157	115.892	182	106.705
8	380.941	33	249.304	58	194.399	83	162.911	108	142.032	133	126.969	158	115.484	183	106.376
9	371.933	34	246.296	59	192.825	84	161.918	109	141.338	134	126.451	159	115.08	184	106.05
10	363.464	35	243.381	60	191.283	85	160.941	110	140.652	135	125.939	160	114.679	185	105.727
11	355.483	36	240.556	61	189.773	86	159.979	111	139.976	136	125.432	161	114.283	186	105.406
12	347.945	37	237.814	62	188.295	87	159.032	112	139.308	137	124.93	162	113.889	187	105.088
13	340.813	38	235.153	63	186.846	88	158.099	113	138.648	138	124.434	163	113.5	188	104.772
14	334.053	39	232.569	64	185.426	89	157.181	114	137.996	139	123.943	164	113.114	189	104.459
15	327.633	40	230.058	65	184.034	90	156.276	115	137.352	140	123.457	165	112.731	190	104.148
16	321.526	41	227.617	66	182.669	91	155.385	116	136.717	141	122.976	166	112.351	191	103.84
17	315.71	42	225.242	67	181.33	92	154.508	117	136.088	142	122.499	167	111.975	192	103.534
18	310.162	43	222.932	68	180.017	93	153.643	118	135.468	143	122.028	168	111.603	193	103.23
19	304.862	44	220.683	69	178.728	94	152.791	119	134.854	144	121.561	169	111.233	194	102.929
20	299.794	45	218.492	70	177.463	95	151.951	120	134.248	145	121.099	170	110.867	195	102.63
21	294.941	46	216.357	71	176.222	96	151.123	121	133.649	146	120.642	171	110.504	196	102.333
22	290.289	47	214.277	72	175.003	97	150.307	122	133.057	147	120.189	172	110.144	197	102.039
23	285.824	48	212.248	73	173.806	98	149.502	123	132.472	148	119.74	173	109.787	198	101.747
24	281.535	49	210.268	74	172.63	99	148.708	124	131.893	149	119.296	174	109.433	199	101.457
25	277.411	50	208.337	75	171.475	100	147.926	125	131.321	150	118.856	175	109.082	200	101.169
海口 P= 3 年 t 单位：分钟； q 单位：升/秒/公顷															
t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q

1	495.32	26	291.087	51	219.773	76	181.331	101	156.649	126	139.193	151	126.062	176	115.75
2	479.304	27	287.016	52	217.812	77	180.144	102	155.839	127	138.598	152	125.602	177	115.383
3	464.58	28	283.092	53	215.897	78	178.976	103	155.039	128	138.009	153	125.147	178	115.018
4	450.985	29	279.305	54	214.025	79	177.829	104	154.25	129	137.427	154	124.697	179	114.657
5	438.387	30	275.649	55	212.195	80	176.7	105	153.472	130	136.852	155	124.25	180	114.298
6	426.672	31	272.115	56	210.406	81	175.59	106	152.704	131	136.282	156	123.808	181	113.943
7	415.745	32	268.698	57	208.656	82	174.498	107	151.945	132	135.719	157	123.37	182	113.59
8	405.522	33	265.391	58	206.943	83	173.423	108	151.197	133	135.162	158	122.936	183	113.241
9	395.933	34	262.189	59	205.267	84	172.366	109	150.458	134	134.611	159	122.506	184	112.894
10	386.918	35	259.086	60	203.626	85	171.326	110	149.728	135	134.065	160	122.079	185	112.549
11	378.421	36	256.078	61	202.019	86	170.302	111	149.008	136	133.526	161	121.657	186	112.208
12	370.398	37	253.16	62	200.445	87	169.294	112	148.297	137	132.992	162	121.238	187	111.869
13	362.805	38	250.327	63	198.903	88	168.301	113	147.595	138	132.464	163	120.824	188	111.533
14	355.608	39	247.576	64	197.391	89	167.323	114	146.901	139	131.941	164	120.413	189	111.2
15	348.774	40	244.903	65	195.909	90	166.361	115	146.216	140	131.423	165	120.005	190	110.869
16	342.274	41	242.304	66	194.456	91	165.412	116	145.539	141	130.911	166	119.601	191	110.541
17	336.082	42	239.777	67	193.031	92	164.478	117	144.87	142	130.404	167	119.201	192	110.215
18	330.176	43	237.317	68	191.633	93	163.557	118	144.209	143	129.902	168	118.804	193	109.892
19	324.535	44	234.923	69	190.261	94	162.65	119	143.556	144	129.405	169	118.411	194	109.571
20	319.139	45	232.591	70	188.915	95	161.756	120	142.911	145	128.913	170	118.021	195	109.253
21	313.973	46	230.318	71	187.593	96	160.874	121	142.273	146	128.426	171	117.634	196	108.937
22	309.02	47	228.103	72	186.296	97	160.006	122	141.643	147	127.944	172	117.251	197	108.623
23	304.268	48	225.944	73	185.021	98	159.149	123	141.02	148	127.467	173	116.871	198	108.312
24	299.702	49	223.836	74	183.769	99	158.304	124	140.404	149	126.994	174	116.494	199	108.003
25	295.312	50	221.78	75	182.54	100	157.471	125	139.795	150	126.525	175	116.121	200	107.697
海口 P_E = 5年 t 单位：分钟； q 单位：升/秒/公顷															
t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	536.261	26	315.146	51	237.938	76	196.319	101	169.597	126	150.698	151	136.481	176	125.317
2	518.921	27	310.74	52	235.815	77	195.034	102	168.72	127	150.054	152	135.984	177	124.92

3	502.979	28	306.491	53	233.742	78	193.77	103	167.854	128	149.417	153	135.491	178	124.525
4	488.261	29	302.391	54	231.715	79	192.527	104	167	129	148.786	154	135.003	179	124.134
5	474.622	30	298.433	55	229.734	80	191.305	105	166.157	130	148.163	155	134.52	180	123.746
6	461.939	31	294.607	56	227.797	81	190.103	106	165.325	131	147.547	156	134.041	181	123.361
7	450.108	32	290.907	57	225.902	82	188.921	107	164.504	132	146.937	157	133.567	182	122.979
8	439.04	33	287.327	58	224.048	83	187.758	108	163.694	133	146.334	158	133.097	183	122.6
9	428.659	34	283.86	59	222.233	84	186.613	109	162.894	134	145.737	159	132.631	184	122.225
10	418.898	35	280.501	60	220.457	85	185.487	110	162.104	135	145.147	160	132.17	185	121.852
11	409.7	36	277.244	61	218.717	86	184.378	111	161.324	136	144.562	161	131.713	186	121.482
12	401.013	37	274.085	62	217.013	87	183.287	112	160.554	137	143.984	162	131.259	187	121.116
13	392.793	38	271.018	63	215.343	88	182.212	113	159.794	138	143.412	163	130.81	188	120.752
14	385.001	39	268.039	64	213.706	89	181.153	114	159.043	139	142.846	164	130.365	189	120.391
15	377.602	40	265.145	65	212.102	90	180.111	115	158.301	140	142.286	165	129.924	190	120.033
16	370.564	41	262.332	66	210.529	91	179.084	116	157.568	141	141.731	166	129.487	191	119.677
17	363.861	42	259.596	67	208.986	92	178.073	117	156.844	142	141.183	167	129.054	192	119.325
18	357.467	43	256.933	68	207.472	93	177.076	118	156.129	143	140.639	168	128.624	193	118.975
19	351.359	44	254.34	69	205.987	94	176.094	119	155.422	144	140.101	169	128.198	194	118.628
20	345.518	45	251.816	70	204.529	95	175.126	120	154.723	145	139.569	170	127.776	195	118.283
21	339.924	46	249.355	71	203.099	96	174.172	121	154.033	146	139.041	171	127.357	196	117.941
22	334.562	47	246.957	72	201.694	97	173.231	122	153.35	147	138.519	172	126.942	197	117.602
23	329.417	48	244.619	73	200.314	98	172.303	123	152.676	148	138.002	173	126.531	198	117.265
24	324.474	49	242.338	74	198.959	99	171.389	124	152.009	149	137.49	174	126.123	199	116.93
25	319.721	50	240.111	75	197.628	100	170.487	125	151.35	150	136.983	175	125.718	200	116.598
海口 P_E = 10 年 t 单位：分钟； q 单位：升/秒/公顷															
t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	595.265	26	349.822	51	264.118	76	217.92	101	188.258	126	167.28	151	151.498	176	139.106
2	576.018	27	344.93	52	261.762	77	216.493	102	187.284	127	166.564	152	150.946	177	138.664
3	558.322	28	340.214	53	259.46	78	215.09	103	186.323	128	165.857	153	150.399	178	138.226
4	541.985	29	335.663	54	257.211	79	213.711	104	185.375	129	165.157	154	149.858	179	137.792

5	526.845	30	331.269	55	255.012	80	212.354	105	184.439	130	164.466	155	149.321	180	137.361
6	512.766	31	327.022	56	252.862	81	211.02	106	183.516	131	163.781	156	148.79	181	136.934
7	499.633	32	322.916	57	250.758	82	209.708	107	182.605	132	163.104	157	148.263	182	136.51
8	487.348	33	318.942	58	248.7	83	208.417	108	181.705	133	162.435	158	147.742	183	136.09
9	475.825	34	315.093	59	246.686	84	207.146	109	180.817	134	161.772	159	147.225	184	135.673
10	464.99	35	311.364	60	244.714	85	205.896	110	179.941	135	161.117	160	146.712	185	135.259
11	454.779	36	307.749	61	242.782	86	204.665	111	179.075	136	160.469	161	146.205	186	134.849
12	445.136	37	304.242	62	240.891	87	203.454	112	178.22	137	159.827	162	145.702	187	134.442
13	436.012	38	300.838	63	239.037	88	202.261	113	177.376	138	159.192	163	145.203	188	134.038
14	427.362	39	297.532	64	237.22	89	201.086	114	176.542	139	158.564	164	144.709	189	133.637
15	419.149	40	294.319	65	235.439	90	199.929	115	175.719	140	157.942	165	144.22	190	133.24
16	411.337	41	291.196	66	233.693	91	198.789	116	174.905	141	157.326	166	143.734	191	132.845
17	403.897	42	288.159	67	231.98	92	197.666	117	174.102	142	156.717	167	143.253	192	132.454
18	396.799	43	285.203	68	230.3	93	196.56	118	173.307	143	156.114	168	142.776	193	132.066
19	390.019	44	282.325	69	228.652	94	195.469	119	172.523	144	155.517	169	142.304	194	131.68
20	383.535	45	279.523	70	227.034	95	194.395	120	171.747	145	154.925	170	141.835	195	131.298
21	377.326	46	276.792	71	225.446	96	193.336	121	170.981	146	154.34	171	141.37	196	130.918
22	371.374	47	274.13	72	223.886	97	192.291	122	170.224	147	153.761	172	140.91	197	130.541
23	365.663	48	271.534	73	222.355	98	191.262	123	169.475	148	153.187	173	140.453	198	130.167
24	360.176	49	269.002	74	220.85	99	190.247	124	168.735	149	152.618	174	140	199	129.796
25	354.9	50	266.531	75	219.372	100	189.245	125	168.003	150	152.056	175	139.551	200	129.428
海口 P_E = 20 年 t 单位：分钟； q 单位：升/秒/公顷															
t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	656.473	26	385.792	51	291.276	76	240.328	101	207.615	126	184.48	151	167.076	176	153.409
2	635.247	27	380.398	52	288.678	77	238.754	102	206.541	127	183.691	152	166.467	177	152.922
3	615.731	28	375.197	53	286.139	78	237.207	103	205.481	128	182.911	153	165.864	178	152.44
4	597.714	29	370.178	54	283.658	79	235.685	104	204.436	129	182.14	154	165.267	179	151.961
5	581.017	30	365.332	55	281.233	80	234.189	105	203.404	130	181.377	155	164.675	180	151.486
6	565.491	31	360.648	56	278.862	81	232.718	106	202.386	131	180.622	156	164.089	181	151.014

7	551.008	32	356.119	57	276.542	82	231.271	107	201.381	132	179.876	157	163.508	182	150.547
8	537.459	33	351.737	58	274.273	83	229.847	108	200.389	133	179.137	158	162.933	183	150.083
9	524.751	34	347.493	59	272.051	84	228.446	109	199.41	134	178.407	159	162.363	184	149.624
10	512.802	35	343.38	60	269.876	85	227.067	110	198.443	135	177.684	160	161.798	185	149.167
11	501.541	36	339.393	61	267.746	86	225.71	111	197.488	136	176.969	161	161.238	186	148.715
12	490.907	37	335.526	62	265.66	87	224.374	112	196.546	137	176.261	162	160.684	187	148.266
13	480.845	38	331.771	63	263.616	88	223.058	113	195.615	138	175.561	163	160.134	188	147.821
14	471.306	39	328.125	64	261.612	89	221.762	114	194.695	139	174.868	164	159.589	189	147.379
15	462.248	40	324.583	65	259.648	90	220.486	115	193.787	140	174.182	165	159.049	190	146.94
16	453.633	41	321.138	66	257.723	91	219.229	116	192.89	141	173.503	166	158.514	191	146.505
17	445.427	42	317.789	67	255.834	92	217.991	117	192.003	142	172.831	167	157.983	192	146.073
18	437.599	43	314.529	68	253.981	93	216.771	118	191.128	143	172.166	168	157.457	193	145.645
19	430.122	44	311.355	69	252.163	94	215.568	119	190.262	144	171.507	169	156.936	194	145.22
20	422.972	45	308.265	70	250.378	95	214.383	120	189.407	145	170.856	170	156.419	195	144.798
21	416.124	46	305.253	71	248.627	96	213.215	121	188.562	146	170.21	171	155.907	196	144.38
22	409.561	47	302.317	72	246.907	97	212.064	122	187.727	147	169.571	172	155.399	197	143.964
23	403.262	48	299.455	73	245.218	98	210.928	123	186.901	148	168.938	173	154.895	198	143.552
24	397.211	49	296.662	74	243.559	99	209.809	124	186.085	149	168.311	174	154.396	199	143.142
25	391.392	50	293.937	75	241.929	100	208.705	125	185.278	150	167.691	175	153.901	200	142.736

海口 P_E = 50 年 t 单位：分钟； q 单位：升/秒/公顷

t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	739.008	26	434.296	51	327.897	76	270.543	101	233.718	126	207.674	151	188.082	176	172.697
2	715.113	27	428.223	52	324.972	77	268.771	102	232.509	127	206.786	152	187.396	177	172.149
3	693.144	28	422.368	53	322.114	78	267.029	103	231.316	128	205.908	153	186.718	178	171.605
4	672.862	29	416.719	54	319.321	79	265.317	104	230.139	129	205.039	154	186.045	179	171.066
5	654.066	30	411.263	55	316.592	80	263.633	105	228.977	130	204.18	155	185.379	180	170.531
6	636.587	31	405.991	56	313.922	81	261.977	106	227.831	131	203.331	156	184.719	181	170.001
7	620.284	32	400.893	57	311.311	82	260.347	107	226.7	132	202.49	157	184.065	182	169.475
8	605.031	33	395.959	58	308.756	83	258.745	108	225.583	133	201.659	158	183.418	183	168.953

9	590.726	34	391.181	59	306.255	84	257.167	109	224.48	134	200.837	159	182.776	184	168.435
10	577.274	35	386.552	60	303.806	85	255.615	110	223.392	135	200.023	160	182.14	185	167.922
11	564.598	36	382.064	61	301.409	86	254.087	111	222.317	136	199.218	161	181.51	186	167.412
12	552.626	37	377.71	62	299.06	87	252.583	112	221.256	137	198.422	162	180.885	187	166.907
13	541.299	38	373.483	63	296.759	88	251.102	113	220.208	138	197.633	163	180.267	188	166.405
14	530.561	39	369.379	64	294.504	89	249.643	114	219.173	139	196.853	164	179.653	189	165.908
15	520.364	40	365.391	65	292.293	90	248.207	115	218.151	140	196.081	165	179.045	190	165.414
16	510.666	41	361.514	66	290.125	91	246.792	116	217.141	141	195.317	166	178.443	191	164.925
17	501.428	42	357.743	67	287.999	92	245.398	117	216.143	142	194.56	167	177.846	192	164.439
18	492.616	43	354.073	68	285.913	93	244.024	118	215.157	143	193.812	168	177.254	193	163.956
19	484.2	44	350.501	69	283.866	94	242.671	119	214.183	144	193.07	169	176.667	194	163.478
20	476.15	45	347.021	70	281.857	95	241.337	120	213.22	145	192.336	170	176.085	195	163.003
21	468.442	46	343.631	71	279.886	96	240.022	121	212.269	146	191.61	171	175.508	196	162.532
22	461.053	47	340.326	72	277.95	97	238.725	122	211.329	147	190.89	172	174.936	197	162.064
23	453.962	48	337.104	73	276.048	98	237.447	123	210.399	148	190.178	173	174.369	198	161.6
24	447.15	49	333.96	74	274.181	99	236.187	124	209.48	149	189.472	174	173.807	199	161.139
25	440.6	50	330.892	75	272.346	100	234.944	125	208.572	150	188.774	175	173.25	200	160.682
海口 P_E = 100 年 t 单位：分钟； q 单位：升/秒/公顷															
t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q	t	q
1	802.02	26	471.326	51	355.855	76	293.611	101	253.646	126	225.381	151	204.119	176	187.422
2	776.088	27	464.736	52	352.68	77	291.688	102	252.334	127	224.417	152	203.375	177	186.827
3	752.245	28	458.382	53	349.579	78	289.798	103	251.039	128	223.464	153	202.638	178	186.237
4	730.234	29	452.25	54	346.549	79	287.939	104	249.761	129	222.522	154	201.908	179	185.652
5	709.835	30	446.33	55	343.586	80	286.112	105	248.501	130	221.59	155	201.185	180	185.071
6	690.866	31	440.608	56	340.689	81	284.314	106	247.257	131	220.668	156	200.469	181	184.496
7	673.172	32	435.075	57	337.855	82	282.546	107	246.029	132	219.756	157	199.76	182	183.925
8	656.62	33	429.72	58	335.082	83	280.807	108	244.817	133	218.854	158	199.057	183	183.359
9	641.094	34	424.535	59	332.368	84	279.095	109	243.621	134	217.961	159	198.36	184	182.797
10	626.496	35	419.511	60	329.711	85	277.41	110	242.44	135	217.078	160	197.67	185	182.239

11	612.738	36	414.641	61	327.108	86	275.752	111	241.273	136	216.205	161	196.986	186	181.687
12	599.746	37	409.915	62	324.56	87	274.119	112	240.122	137	215.34	162	196.309	187	181.138
13	587.453	38	405.329	63	322.062	88	272.512	113	238.984	138	214.485	163	195.637	188	180.594
14	575.799	39	400.874	64	319.615	89	270.929	114	237.861	139	213.638	164	194.972	189	180.054
15	564.733	40	396.546	65	317.215	90	269.37	115	236.752	140	212.8	165	194.312	190	179.518
16	554.208	41	392.338	66	314.862	91	267.835	116	235.655	141	211.971	166	193.658	191	178.987
17	544.183	42	388.246	67	312.555	92	266.322	117	234.573	142	211.15	167	193.01	192	178.46
18	534.62	43	384.263	68	310.291	93	264.831	118	233.503	143	210.337	168	192.367	193	177.936
19	525.485	44	380.386	69	308.07	94	263.362	119	232.445	144	209.532	169	191.73	194	177.417
20	516.749	45	376.61	70	305.89	95	261.914	120	231.401	145	208.736	170	191.099	195	176.901
21	508.384	46	372.931	71	303.75	96	260.487	121	230.368	146	207.947	171	190.473	196	176.39
22	500.365	47	369.344	72	301.649	97	259.08	122	229.348	147	207.167	172	189.852	197	175.882
23	492.669	48	365.847	73	299.586	98	257.693	123	228.339	148	206.393	173	189.237	198	175.379
24	485.277	49	362.435	74	297.559	99	256.325	124	227.342	149	205.628	174	188.627	199	174.879
25	478.168	50	359.105	75	295.568	100	254.976	125	226.356	150	204.87	175	188.022	200	174.382

海口 P_E = 2 年 t 单位：分钟； i 单位：毫米/分钟															
t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	2.792	26	1.641	51	1.239	76	1.022	101	0.883	126	0.785	151	0.711	176	0.652
2	2.701	27	1.618	52	1.228	77	1.015	102	0.878	127	0.781	152	0.708	177	0.65
3	2.618	28	1.596	53	1.217	78	1.009	103	0.874	128	0.778	153	0.705	178	0.648
4	2.542	29	1.574	54	1.206	79	1.002	104	0.869	129	0.775	154	0.703	179	0.646
5	2.471	30	1.554	55	1.196	80	0.996	105	0.865	130	0.771	155	0.7	180	0.644
6	2.405	31	1.534	56	1.186	81	0.99	106	0.861	131	0.768	156	0.698	181	0.642
7	2.343	32	1.514	57	1.176	82	0.984	107	0.856	132	0.765	157	0.695	182	0.64
8	2.286	33	1.496	58	1.166	83	0.977	108	0.852	133	0.762	158	0.693	183	0.638
9	2.232	34	1.478	59	1.157	84	0.971	109	0.848	134	0.759	159	0.69	184	0.636
10	2.181	35	1.46	60	1.148	85	0.966	110	0.844	135	0.756	160	0.688	185	0.634
11	2.133	36	1.443	61	1.139	86	0.96	111	0.84	136	0.753	161	0.686	186	0.632

12	2.088	37	1.427	62	1.13	87	0.954	112	0.836	137	0.75	162	0.683	187	0.631
13	2.045	38	1.411	63	1.121	88	0.949	113	0.832	138	0.747	163	0.681	188	0.629
14	2.004	39	1.395	64	1.113	89	0.943	114	0.828	139	0.744	164	0.679	189	0.627
15	1.966	40	1.38	65	1.104	90	0.938	115	0.824	140	0.741	165	0.676	190	0.625
16	1.929	41	1.366	66	1.096	91	0.932	116	0.82	141	0.738	166	0.674	191	0.623
17	1.894	42	1.351	67	1.088	92	0.927	117	0.817	142	0.735	167	0.672	192	0.621
18	1.861	43	1.338	68	1.08	93	0.922	118	0.813	143	0.732	168	0.67	193	0.619
19	1.829	44	1.324	69	1.072	94	0.917	119	0.809	144	0.729	169	0.667	194	0.618
20	1.799	45	1.311	70	1.065	95	0.912	120	0.805	145	0.727	170	0.665	195	0.616
21	1.77	46	1.298	71	1.057	96	0.907	121	0.802	146	0.724	171	0.663	196	0.614
22	1.742	47	1.286	72	1.05	97	0.902	122	0.798	147	0.721	172	0.661	197	0.612
23	1.715	48	1.273	73	1.043	98	0.897	123	0.795	148	0.718	173	0.659	198	0.61
24	1.689	49	1.262	74	1.036	99	0.892	124	0.791	149	0.716	174	0.657	199	0.609
25	1.664	50	1.25	75	1.029	100	0.888	125	0.788	150	0.713	175	0.654	200	0.607
海口　P_E =　3 年　　t 单位：分钟；　i 单位：毫米/分钟															
t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	2.972	26	1.746	51	1.319	76	1.088	101	0.94	126	0.835	151	0.756	176	0.694
2	2.876	27	1.722	52	1.307	77	1.081	102	0.935	127	0.832	152	0.754	177	0.692
3	2.787	28	1.699	53	1.295	78	1.074	103	0.93	128	0.828	153	0.751	178	0.69
4	2.706	29	1.676	54	1.284	79	1.067	104	0.925	129	0.825	154	0.748	179	0.688
5	2.63	30	1.654	55	1.273	80	1.06	105	0.921	130	0.821	155	0.745	180	0.686
6	2.56	31	1.633	56	1.262	81	1.054	106	0.916	131	0.818	156	0.743	181	0.684
7	2.494	32	1.612	57	1.252	82	1.047	107	0.912	132	0.814	157	0.74	182	0.682
8	2.433	33	1.592	58	1.242	83	1.041	108	0.907	133	0.811	158	0.738	183	0.679
9	2.376	34	1.573	59	1.232	84	1.034	109	0.903	134	0.808	159	0.735	184	0.677
10	2.321	35	1.554	60	1.222	85	1.028	110	0.898	135	0.804	160	0.732	185	0.675
11	2.27	36	1.536	61	1.212	86	1.022	111	0.894	136	0.801	161	0.73	186	0.673
12	2.222	37	1.519	62	1.203	87	1.016	112	0.89	137	0.798	162	0.727	187	0.671

13	2.177	38	1.502	63	1.193	88	1.01	113	0.886	138	0.795	163	0.725	188	0.669
14	2.134	39	1.485	64	1.184	89	1.004	114	0.881	139	0.792	164	0.722	189	0.667
15	2.093	40	1.469	65	1.175	90	0.998	115	0.877	140	0.789	165	0.72	190	0.665
16	2.054	41	1.454	66	1.167	91	0.992	116	0.873	141	0.785	166	0.718	191	0.663
17	2.016	42	1.439	67	1.158	92	0.987	117	0.869	142	0.782	167	0.715	192	0.661
18	1.981	43	1.424	68	1.15	93	0.981	118	0.865	143	0.779	168	0.713	193	0.659
19	1.947	44	1.41	69	1.142	94	0.976	119	0.861	144	0.776	169	0.71	194	0.657
20	1.915	45	1.396	70	1.133	95	0.971	120	0.857	145	0.773	170	0.708	195	0.656
21	1.884	46	1.382	71	1.126	96	0.965	121	0.854	146	0.771	171	0.706	196	0.654
22	1.854	47	1.369	72	1.118	97	0.96	122	0.85	147	0.768	172	0.703	197	0.652
23	1.826	48	1.356	73	1.11	98	0.955	123	0.846	148	0.765	173	0.701	198	0.65
24	1.798	49	1.343	74	1.103	99	0.95	124	0.842	149	0.762	174	0.699	199	0.648
25	1.772	50	1.331	75	1.095	100	0.945	125	0.839	150	0.759	175	0.697	200	0.646
海口 P_E = 5年 t 单位：分钟； i 单位：毫米/分钟															
t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	3.218	26	1.891	51	1.428	76	1.178	101	1.018	126	0.904	151	0.819	176	0.752
2	3.113	27	1.864	52	1.415	77	1.17	102	1.012	127	0.9	152	0.816	177	0.75
3	3.018	28	1.839	53	1.402	78	1.163	103	1.007	128	0.896	153	0.813	178	0.747
4	2.93	29	1.814	54	1.39	79	1.155	104	1.002	129	0.893	154	0.81	179	0.745
5	2.848	30	1.791	55	1.378	80	1.148	105	0.997	130	0.889	155	0.807	180	0.742
6	2.772	31	1.768	56	1.367	81	1.141	106	0.992	131	0.885	156	0.804	181	0.74
7	2.701	32	1.745	57	1.355	82	1.134	107	0.987	132	0.882	157	0.801	182	0.738
8	2.634	33	1.724	58	1.344	83	1.127	108	0.982	133	0.878	158	0.799	183	0.736
9	2.572	34	1.703	59	1.333	84	1.12	109	0.977	134	0.874	159	0.796	184	0.733
10	2.513	35	1.683	60	1.323	85	1.113	110	0.973	135	0.871	160	0.793	185	0.731
11	2.458	36	1.663	61	1.312	86	1.106	111	0.968	136	0.867	161	0.79	186	0.729
12	2.406	37	1.644	62	1.302	87	1.1	112	0.963	137	0.864	162	0.788	187	0.727
13	2.357	38	1.626	63	1.292	88	1.093	113	0.959	138	0.86	163	0.785	188	0.724

14	2.31	39	1.608	64	1.282	89	1.087	114	0.954	139	0.857	164	0.782	189	0.722
15	2.266	40	1.591	65	1.273	90	1.081	115	0.95	140	0.854	165	0.78	190	0.72
16	2.223	41	1.574	66	1.263	91	1.074	116	0.945	141	0.85	166	0.777	191	0.718
17	2.183	42	1.558	67	1.254	92	1.068	117	0.941	142	0.847	167	0.774	192	0.716
18	2.145	43	1.542	68	1.245	93	1.062	118	0.937	143	0.844	168	0.772	193	0.714
19	2.108	44	1.526	69	1.236	94	1.057	119	0.933	144	0.841	169	0.769	194	0.712
20	2.073	45	1.511	70	1.227	95	1.051	120	0.928	145	0.837	170	0.767	195	0.71
21	2.04	46	1.496	71	1.219	96	1.045	121	0.924	146	0.834	171	0.764	196	0.708
22	2.007	47	1.482	72	1.21	97	1.039	122	0.92	147	0.831	172	0.762	197	0.706
23	1.976	48	1.468	73	1.202	98	1.034	123	0.916	148	0.828	173	0.759	198	0.704
24	1.947	49	1.454	74	1.194	99	1.028	124	0.912	149	0.825	174	0.757	199	0.702
25	1.918	50	1.441	75	1.186	100	1.023	125	0.908	150	0.822	175	0.754	200	0.7
海口 P_E = 10 年 t 单位：分钟； i 单位：毫米/分钟															
t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	3.572	26	2.099	51	1.585	76	1.307	101	1.13	126	1.004	151	0.909	176	0.835
2	3.456	27	2.07	52	1.571	77	1.299	102	1.124	127	0.999	152	0.906	177	0.832
3	3.35	28	2.041	53	1.557	78	1.291	103	1.118	128	0.995	153	0.902	178	0.829
4	3.252	29	2.014	54	1.543	79	1.282	104	1.112	129	0.991	154	0.899	179	0.827
5	3.161	30	1.988	55	1.53	80	1.274	105	1.107	130	0.987	155	0.896	180	0.824
6	3.077	31	1.962	56	1.517	81	1.266	106	1.101	131	0.983	156	0.893	181	0.822
7	2.998	32	1.937	57	1.505	82	1.258	107	1.096	132	0.979	157	0.89	182	0.819
8	2.924	33	1.914	58	1.492	83	1.25	108	1.09	133	0.975	158	0.886	183	0.817
9	2.855	34	1.891	59	1.48	84	1.243	109	1.085	134	0.971	159	0.883	184	0.814
10	2.79	35	1.868	60	1.468	85	1.235	110	1.08	135	0.967	160	0.88	185	0.812
11	2.729	36	1.846	61	1.457	86	1.228	111	1.074	136	0.963	161	0.877	186	0.809
12	2.671	37	1.825	62	1.445	87	1.221	112	1.069	137	0.959	162	0.874	187	0.807
13	2.616	38	1.805	63	1.434	88	1.214	113	1.064	138	0.955	163	0.871	188	0.804
14	2.564	39	1.785	64	1.423	89	1.206	114	1.059	139	0.951	164	0.868	189	0.802

15	2.515	40	1.766	65	1.413	90	1.2	115	1.054	140	0.948	165	0.865	190	0.799
16	2.468	41	1.747	66	1.402	91	1.193	116	1.049	141	0.944	166	0.862	191	0.797
17	2.423	42	1.729	67	1.392	92	1.186	117	1.045	142	0.94	167	0.86	192	0.795
18	2.381	43	1.711	68	1.382	93	1.179	118	1.04	143	0.937	168	0.857	193	0.792
19	2.34	44	1.694	69	1.372	94	1.173	119	1.035	144	0.933	169	0.854	194	0.79
20	2.301	45	1.677	70	1.362	95	1.166	120	1.03	145	0.93	170	0.851	195	0.788
21	2.264	46	1.661	71	1.353	96	1.16	121	1.026	146	0.926	171	0.848	196	0.785
22	2.228	47	1.645	72	1.343	97	1.154	122	1.021	147	0.923	172	0.845	197	0.783
23	2.194	48	1.629	73	1.334	98	1.148	123	1.017	148	0.919	173	0.843	198	0.781
24	2.161	49	1.614	74	1.325	99	1.141	124	1.012	149	0.916	174	0.84	199	0.779
25	2.129	50	1.599	75	1.316	100	1.135	125	1.008	150	0.912	175	0.837	200	0.777
海口 $P_E =$ 20 年 t 单位：分钟； i 单位：毫米/分钟															
t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	3.939	26	2.315	51	1.748	76	1.442	101	1.246	126	1.107	151	1.002	176	0.92
2	3.811	27	2.282	52	1.732	77	1.432	102	1.239	127	1.102	152	0.999	177	0.918
3	3.694	28	2.251	53	1.717	78	1.423	103	1.233	128	1.097	153	0.995	178	0.915
4	3.586	29	2.221	54	1.702	79	1.414	104	1.227	129	1.093	154	0.992	179	0.912
5	3.486	30	2.192	55	1.687	80	1.405	105	1.22	130	1.088	155	0.988	180	0.909
6	3.393	31	2.164	56	1.673	81	1.396	106	1.214	131	1.084	156	0.985	181	0.906
7	3.306	32	2.137	57	1.659	82	1.388	107	1.208	132	1.079	157	0.981	182	0.903
8	3.225	33	2.11	58	1.646	83	1.379	108	1.202	133	1.075	158	0.978	183	0.9
9	3.148	34	2.085	59	1.632	84	1.371	109	1.196	134	1.07	159	0.974	184	0.898
10	3.077	35	2.06	60	1.619	85	1.362	110	1.191	135	1.066	160	0.971	185	0.895
11	3.009	36	2.036	61	1.606	86	1.354	111	1.185	136	1.062	161	0.967	186	0.892
12	2.945	37	2.013	62	1.594	87	1.346	112	1.179	137	1.058	162	0.964	187	0.89
13	2.885	38	1.991	63	1.582	88	1.338	113	1.174	138	1.053	163	0.961	188	0.887
14	2.828	39	1.969	64	1.57	89	1.331	114	1.168	139	1.049	164	0.958	189	0.884
15	2.773	40	1.947	65	1.558	90	1.323	115	1.163	140	1.045	165	0.954	190	0.882

16	2.722	41	1.927	66	1.546	91	1.315	116	1.157	141	1.041	166	0.951	191	0.879
17	2.673	42	1.907	67	1.535	92	1.308	117	1.152	142	1.037	167	0.948	192	0.876
18	2.626	43	1.887	68	1.524	93	1.301	118	1.147	143	1.033	168	0.945	193	0.874
19	2.581	44	1.868	69	1.513	94	1.293	119	1.142	144	1.029	169	0.942	194	0.871
20	2.538	45	1.85	70	1.502	95	1.286	120	1.136	145	1.025	170	0.938	195	0.869
21	2.497	46	1.831	71	1.492	96	1.279	121	1.131	146	1.021	171	0.935	196	0.866
22	2.457	47	1.814	72	1.481	97	1.272	122	1.126	147	1.017	172	0.932	197	0.864
23	2.42	48	1.797	73	1.471	98	1.266	123	1.121	148	1.014	173	0.929	198	0.861
24	2.383	49	1.78	74	1.461	99	1.259	124	1.116	149	1.01	174	0.926	199	0.859
25	2.348	50	1.764	75	1.452	100	1.252	125	1.112	150	1.006	175	0.923	200	0.856
海口 P_E = 50 年 t 单位：分钟； i 单位：毫米/分钟															
t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	4.434	26	2.606	51	1.967	76	1.623	101	1.402	126	1.246	151	1.128	176	1.036
2	4.291	27	2.569	52	1.95	77	1.613	102	1.395	127	1.241	152	1.124	177	1.033
3	4.159	28	2.534	53	1.933	78	1.602	103	1.388	128	1.235	153	1.12	178	1.03
4	4.037	29	2.5	54	1.916	79	1.592	104	1.381	129	1.23	154	1.116	179	1.026
5	3.924	30	2.468	55	1.9	80	1.582	105	1.374	130	1.225	155	1.112	180	1.023
6	3.819	31	2.436	56	1.883	81	1.572	106	1.367	131	1.22	156	1.108	181	1.02
7	3.722	32	2.405	57	1.868	82	1.562	107	1.36	132	1.215	157	1.104	182	1.017
8	3.63	33	2.376	58	1.852	83	1.552	108	1.353	133	1.21	158	1.1	183	1.014
9	3.544	34	2.347	59	1.837	84	1.543	109	1.347	134	1.205	159	1.097	184	1.011
10	3.464	35	2.319	60	1.823	85	1.534	110	1.34	135	1.2	160	1.093	185	1.008
11	3.388	36	2.292	61	1.808	86	1.524	111	1.334	136	1.195	161	1.089	186	1.004
12	3.316	37	2.266	62	1.794	87	1.515	112	1.328	137	1.191	162	1.085	187	1.001
13	3.248	38	2.241	63	1.781	88	1.507	113	1.321	138	1.186	163	1.082	188	0.998
14	3.183	39	2.216	64	1.767	89	1.498	114	1.315	139	1.181	164	1.078	189	0.995
15	3.122	40	2.192	65	1.754	90	1.489	115	1.309	140	1.176	165	1.074	190	0.992
16	3.064	41	2.169	66	1.741	91	1.481	116	1.303	141	1.172	166	1.071	191	0.99

17	3.009	42	2.146	67	1.728	92	1.472	117	1.297	142	1.167	167	1.067	192	0.987
18	2.956	43	2.124	68	1.715	93	1.464	118	1.291	143	1.163	168	1.064	193	0.984
19	2.905	44	2.103	69	1.703	94	1.456	119	1.285	144	1.158	169	1.06	194	0.981
20	2.857	45	2.082	70	1.691	95	1.448	120	1.279	145	1.154	170	1.056	195	0.978
21	2.811	46	2.062	71	1.679	96	1.44	121	1.274	146	1.15	171	1.053	196	0.975
22	2.766	47	2.042	72	1.668	97	1.432	122	1.268	147	1.145	172	1.05	197	0.972
23	2.724	48	2.023	73	1.656	98	1.425	123	1.262	148	1.141	173	1.046	198	0.97
24	2.683	49	2.004	74	1.645	99	1.417	124	1.257	149	1.137	174	1.043	199	0.967
25	2.644	50	1.985	75	1.634	100	1.41	125	1.251	150	1.133	175	1.039	200	0.964
海口 P_E = 100 年 t 单位：分钟； i 单位：毫米/分钟															
t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i	t	i
1	4.812	26	2.828	51	2.135	76	1.762	101	1.522	126	1.352	151	1.225	176	1.125
2	4.656	27	2.788	52	2.116	77	1.75	102	1.514	127	1.346	152	1.22	177	1.121
3	4.513	28	2.75	53	2.097	78	1.739	103	1.506	128	1.341	153	1.216	178	1.117
4	4.381	29	2.713	54	2.079	79	1.728	104	1.499	129	1.335	154	1.211	179	1.114
5	4.259	30	2.678	55	2.061	80	1.717	105	1.491	130	1.33	155	1.207	180	1.11
6	4.145	31	2.644	56	2.044	81	1.706	106	1.484	131	1.324	156	1.203	181	1.107
7	4.039	32	2.61	57	2.027	82	1.695	107	1.476	132	1.319	157	1.199	182	1.104
8	3.94	33	2.578	58	2.01	83	1.685	108	1.469	133	1.313	158	1.194	183	1.1
9	3.846	34	2.547	59	1.994	84	1.675	109	1.462	134	1.308	159	1.19	184	1.097
10	3.759	35	2.517	60	1.978	85	1.664	110	1.455	135	1.302	160	1.186	185	1.093
11	3.676	36	2.488	61	1.963	86	1.654	111	1.448	136	1.297	161	1.182	186	1.09
12	3.598	37	2.459	62	1.947	87	1.645	112	1.441	137	1.292	162	1.178	187	1.087
13	3.525	38	2.432	63	1.932	88	1.635	113	1.434	138	1.287	163	1.174	188	1.084
14	3.455	39	2.405	64	1.918	89	1.626	114	1.427	139	1.282	164	1.17	189	1.08
15	3.388	40	2.379	65	1.903	90	1.616	115	1.42	140	1.277	165	1.166	190	1.077
16	3.325	41	2.354	66	1.889	91	1.607	116	1.414	141	1.272	166	1.162	191	1.074
17	3.265	42	2.329	67	1.875	92	1.598	117	1.407	142	1.267	167	1.158	192	1.071

18	3.208	43	2.306	68	1.862	93	1.589	118	1.401	143	1.262	168	1.154	193	1.068
19	3.153	44	2.282	69	1.848	94	1.58	119	1.395	144	1.257	169	1.15	194	1.064
20	3.1	45	2.26	70	1.835	95	1.571	120	1.388	145	1.252	170	1.147	195	1.061
21	3.05	46	2.238	71	1.822	96	1.563	121	1.382	146	1.248	171	1.143	196	1.058
22	3.002	47	2.216	72	1.81	97	1.554	122	1.376	147	1.243	172	1.139	197	1.055
23	2.956	48	2.195	73	1.797	98	1.546	123	1.37	148	1.238	173	1.135	198	1.052
24	2.912	49	2.175	74	1.785	99	1.538	124	1.364	149	1.234	174	1.132	199	1.049
25	2.869	50	2.155	75	1.773	100	1.53	125	1.358	150	1.229	175	1.128	200	1.046