

# 昆明市暴雨强度公式推算与对比

段燕楠 王赞 杨芳园 刘彬 周稀

(昆明市气象局,昆明 650034)

**摘要** 根据昆明国家基准气候站 1981—2014 年 34 年的逐分钟降水资料,基于年最大值数据采样方法,分别采用皮尔逊Ⅲ型、耿贝尔型、指数型 3 种分布函数曲线进行拟合试验,推算昆明市暴雨强度公式;在频率曲线拟合和暴雨强度公式参数估算时分别进行了精度检验,以误差最小为原则,得出耿贝尔型拟合的暴雨强度公式为最优公式。将新编最优公式与昆明市现有的其他 5 个暴雨强度公式进行对比,分析了昆明暴雨强度时空分布特征,验证了公式的合理性和适用性,为昆明城市防涝工程设计和相关设施的建设提供依据和参考。

**关键词** 昆明;暴雨强度公式;推算;适用性

**中图分类号**: P456 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20160112 **文献标识码**: A

## 引言

昆明地处低纬高原地区,气候环境复杂多变,近年来,昆明城市内涝多次发生,造成严重的经济损失和社会影响,成为各界普遍关注的城市问题。暴雨强度公式编制是城市室外排水工程规划设计的重要基础性工作,对研究当地降水气候特征以及预防大面积洪涝的发生具有一定的指导意义<sup>[1-3]</sup>。

目前昆明市推算的暴雨强度公式有 6 个,分别是 1973 年收录的暴雨强度公式(简称“1973 年公式”),推算时使用的资料年限为 10 年;同济大学推算的暴雨强度公式(简称“同济大学公式”),使用 1938—1963 年共 16 年的数据资料编制;2009 年《昆明市城市雨水收集利用若干规定》中收录的昆明市暴雨强度公式(简称“2009 年公式”);2014 年云南省水文水资源局昆明分局等相关单位推算的昆明市暴雨强度公式(简称“2014 年公式”),该公式使用松华坝、大观楼、海埂和呈贡 4 个水文气象观测站资料,推算出 4 个子公式;任恒钦等<sup>[4]</sup>运用了 1958—2002 年资料推算的昆明市暴雨强度公式以及本文推算的“2015 年版公式”。其中同济大学版公式和 2009 年版公式为昆明市现行的暴雨强度公式;2015 年版暴雨强度公式已通过昆明市排水主管部门相关专家评

估认定,于 2015 年 12 月由昆明市政府排水主管部门、城市防汛主管部门、昆明市气象局联合正式行文对社会发布。

近 30 多年来城市化的迅速发展,对降水影响显著<sup>[5-7]</sup>,因此利用新的降水资料对 1973 年版公式及同济大学版公式加以修订是非常必要的;何云玲等<sup>[8]</sup>研究表明昆明降水有 10~15 年的周期变化特征,此外昆明 2008—2013 年连续 5 年发生严重干旱,极端强降水在干旱背景下发生了新的变化,结合近 5~10 年降水资料重新编制在极端强降水天气频发的气候背景下适用性更强、准确性更高的暴雨强度公式十分必要。

本文结合昆明暴雨强度的时空分布特征分析,将 2015 年版公式与其他 5 个版本公式进行对比,验证了公式的合理性和适用性,将为昆明城市防涝工程和排水设计提供更全面有效的科学依据。

## 1 资料选取与公式推算

### 1.1 资料选取与处理

2014 年版公式推算时按年最大值法选样读取 8 个历时资料为样本资料进行公式编制,为使公式更加准确可靠,本文研究的 2015 年版公式推算时采用了昆明国家基准气候站(以下简称“昆明站”),按年

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

昆明市区域创新与科技惠民重点项目(2015-1-S-00169)“滇池周边城市群热岛效应分析与研究”资助

作者简介:段燕楠,女,1986 年生,工程师,主要从事应用气象与气象服务工作,Email:106409944@qq.com

收稿日期:2016 年 2 月 27 日;定稿日期:2016 年 6 月 8 日

最大值法选择读取 11 个历时资料为样本资料进行公式编制。

目前暴雨强度公式的推算常用的暴雨选择方法有年最大值法、年多个样法两种。年最大值法是分别读取 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 11 个历时年最大降水量作为样本资料,即每年每个历时各选一个最大值,其要求的资料年限至少 20 年,最好有 30 年以上资料;该资料不论大雨年或小雨年都有一组资料被选入,其机率为严密的一年一遇的发生值。年多个样法是从每年每个历时选择 8 个最大值,然后不论年次将各历时子样依从大到小的顺序排列,再从中选择资料年数 4 倍的最大值,作为统计的基础资料。金家明等<sup>[9]</sup>指出虽然有文献仍推荐使用年多个样法,但国际上近 30 年来一致采用样本独立性强的一年最大值法,其具有与水文等其他部门数据对应,与城市防洪重现期意义相统一,方便共享,取样简单,独立性强等优点。邓培德等<sup>[10]</sup>也指出雨水管道设计重现期一般不低于 1 年,因此建议使用年最大值法,与国际同步。考虑暴雨强度公式主要运用于城市排水管网设计时雨水流量的计算,应与水文城建等部门数据相对应,且《室外排水设计规范》(GB50014—2006,2014 版)(以下简称《规范》)<sup>[1]</sup>也推荐使用年最大值法,因此,我们在研究中也采用了“年最大值法”进行研究。

考虑到年最大值法取样适用于具有 20 年以上自记雨量记录的地区,故选取昆明站 1981—2014 年 34 年分钟雨量数据作为研究的基础资料,其中 1981—2004 年分钟雨量原始数据通过降水自记纸彩色扫描数字化处理系统获取,2005—2014 年数据通过 J 文件获取。按照暴雨强度公式编制修订的要求,通过编程,分别读出 5、10、15、20、30、45、60、90、120、150、180 min 11 个历时年最大降水量作为样本资料使用。

### 1.2 暴雨强度公式的推算

经过国内外专家学者不断研究,暴雨强度公式的推算目前已有比较成熟的方法,本文研究的暴雨公式时,在选取各历时年最大降水量为样本资料后,分别采用皮尔逊—Ⅲ型、耿贝尔型、指数型等分布函数曲线进行拟合试验,通过误差分析,使用符合规范的频率曲线得出重现期、降雨强度和降雨历时 3 者的关系,即  $P-i-t$  关系值表;再根据此  $P-i-t$  关系值表使用最小二乘法求解暴雨强度公式中的各个参

数,得出相应的暴雨强度公式;通过计算平均绝对均方差和平均相对均方差对暴雨强度计算结果进行精度检验,确保公式的准确性。

### 2 精度检验结果评价及最优公式确定

暴雨强度公式的误差分析需包括两个方面<sup>[11]</sup>,一是频率曲线拟合抽样误差,二是暴雨强度公式参数估算误差。根据《规范》的要求,计算抽样误差和暴雨公式均方差,宜按绝对均方差计算,也可以辅以相对均方差计算。推荐平均绝对均方差不宜大于 0.05 mm/min;平均相对均方差不宜大于 5%是可行的。

从皮尔逊Ⅲ型、耿贝尔型、指数型分布函数曲线对暴雨强度抽样的拟合误差结果可看出(表 1):皮尔逊Ⅲ型曲线拟合时平均相对均方差为 5.07%,不满足《规范》要求,尤其在拟合历时为 90、120、150、180 min 的频率曲线时,对应的相对均方差分别达到 7.14%、7.07%、6.74%、5.87%,理论频率曲线与实际频率曲线吻合度不理想。耿贝尔型、指数型分布曲线拟合的平均绝对均方差均小于 0.05 mm/min,平均相对均方差均小于 5%,满足《规范》要求,且耿贝尔型曲线拟合精度最高。顾骏强等<sup>[12]</sup>研究表明某个概率分布对暴雨强度拟合的精度高,并不说明其对应的暴雨强度公式拟合的精度也相应高,同时考虑到本文中皮尔逊Ⅲ型曲线拟合误差较大且不满足规范要求,因此采用耿贝尔型和指数型频率曲线拟合得出  $P-i-t$  关系值表推算暴雨强度公式。

表 1 3 种频率曲线拟合误差比较

| 拟合曲线  | 平均绝对均<br>方差/(mm·min <sup>-1</sup> ) | 平均相对均<br>方差/% |
|-------|-------------------------------------|---------------|
| 皮尔逊Ⅲ型 | 0.048                               | 5.07          |
| 耿贝尔型  | 0.027                               | 2.47          |
| 指数分布型 | 0.029                               | 3.12          |

在推算暴雨强度公式时,本文采用非线性最小二乘法进行参数求解,因此难免存在一定误差,为确保计算结果的准确性,需对暴雨强度计算结果进行精度检验。耿贝尔型和指数型分布曲线拟合推算出的暴雨强度公式及公式精度检验结果如表 2 所示,从表 2 中可看出。

表 2 两种曲线拟合推求的暴雨强度  
公式及公式精度检验

| 拟合<br>曲线  | 暴雨强度<br>公式                                                          | 平均均方差                      |         |
|-----------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------|
|           |                                                                     | 绝对<br>mm·min <sup>-1</sup> | 相对<br>% |
| 耿贝尔型      | $q = \frac{1226.623 \times (1 + 0.958 \lg P)}{(t + 6.714)^{0.648}}$ | 0.023                      | 2.07    |
| 指数<br>分布型 | $q = \frac{1159.303 \times (1 + 0.997 \lg P)}{(t + 6.133)^{0.641}}$ | 0.042                      | 3.96    |

(1)两个公式的精度检验平均绝对均方差均小于 0.05 mm/min;平均相对均方差均小于 5%,均满足《规范》要求;

(2)根据误差最小原则,平均绝对均方差和平均相对均方差最小的为最优解。耿贝尔曲线拟合的暴雨强度总公式平均绝对标准差为:0.023 mm/min,平均相对标准差为:2.07%,拟合效果最好,为最优公式。

3 昆明市新旧暴雨强度公式对比分析

3.1 昆明市暴雨强度公式编制情况

昆明市 6 个版本的暴雨强度公式如表 3 所示,其中 2014 年版公式松华坝、大观楼、海埂和呈贡 4 个水文气象观测站点中大观楼站和海埂站为昆明主城区站点,且海埂站与本文研究中的昆明站距离较近,位于昆明同一区域,直线距离不超过 2 km,呈贡站和松华坝站为郊区站。

3.2 新旧公式对比分析

将昆明市 1973 年版公式、同济大学版公式、任恒钦公式、2009 年版公式及 2014 年版 4 个公式与 2015 年公式的暴雨强度值进行对比。按照《规范》规定,昆明的城镇类型为大城市,设计重现期时,中心城区为 2~5 年,非中心城区为 2~3 年,中心城区的重要地区为 5~10 年,中心城区地下通道和下沉式广场等为 20~30 年;降雨历时中的地面集水时间一般采用 5~15 min。因此在进行对比时选取的重现期为 1、2、3、5、10、20、30 年,降雨历时为 5、10、15、60 min,进行暴雨强度值计算,结果如图 1(彩页)所示。

(1)在降雨历时为 5 min 时,“1973 年公式”值最高,“2015 年公式”次之。

表 3 昆明市暴雨强度公式汇总表

|               |      |                                                                     |
|---------------|------|---------------------------------------------------------------------|
| 1973 年版公式     |      | $q = \frac{700 \times (1 + 0.775 \lg P)}{t^{0.496}}$                |
| 同济大学版公式       |      | $i = \frac{8.918 + 6.183 \lg P}{(t + 10.247)^{0.649}}$              |
| 2009 年版公式     |      | $i = \frac{12.1 + 14.4 \lg P}{(t + 14.4)^{0.80}}$                   |
| 任恒钦公式         |      | $i = \frac{15.99 + 11.74 \lg P}{(t + 16.28)^{0.793}}$               |
| 2014 年版<br>公式 | 松华坝站 | $i = \frac{12.1 + 14.22 \lg P}{(t + 14.30)^{0.808}}$                |
|               | 大观楼站 | $i = \frac{11.28 + 13.25 \lg P}{(t + 15.60)^{0.771}}$               |
|               | 海埂站  | $i = \frac{17.77 + 17.4 \lg P}{(t + 17.13)^{0.857}}$                |
|               | 呈贡站  | $i = \frac{12.74 + 35.94 \lg P}{(t + 22.31)^{0.873}}$               |
| 2015 年版公式     |      | $q = \frac{1226.623 \times (1 + 0.958 \lg P)}{(t + 6.714)^{0.648}}$ |

注:式中  $q$  为设计暴雨强度(单位: $L/(s \cdot hm^2)$ ), $i$  为设计暴雨强度(单位: mm/min), $t$  为降雨历时(单位:min), $P$  为重现期(单位:年)

(2)重现期为 1、2、3、5 年时,“2015 年公式”与“同济版公式”、“任恒钦公式”较接近,略高于其他公式。

(3)“2015 年公式”与“2014 年海埂站公式”总体上较接近。

(4)重现期越长、历时越长,公式值越接近。

3.3 新旧暴雨强度公式适用性分析

3.3.1 暴雨强度时间分布特征分析

通常将日降雨量在 50~99.9 mm 之间称为暴雨,在 100~199.9 mm 之间称为大暴雨,按此标准统计昆明站 1981—2014 年暴雨次数(图 2,彩页),结合各时期平均最大暴雨强度(图 3,彩页)可看出,在 2009—2013 年昆明地区处于严重干旱的气候背景下,昆明站 2011—2014 年 4 年间暴雨发生次数较常年并无明显减少,总计 7 次,其中大暴雨 1 次;昆明站 2011—2014 年平均最大暴雨强度,特别是历时为 5、10、15、20 min 平均最大暴雨强度较前 30 年明显增大。

根据上述暴雨强度时间分布特征可得出,近 5 年来昆明暴雨呈频发趋势,且短历时平均最大暴雨

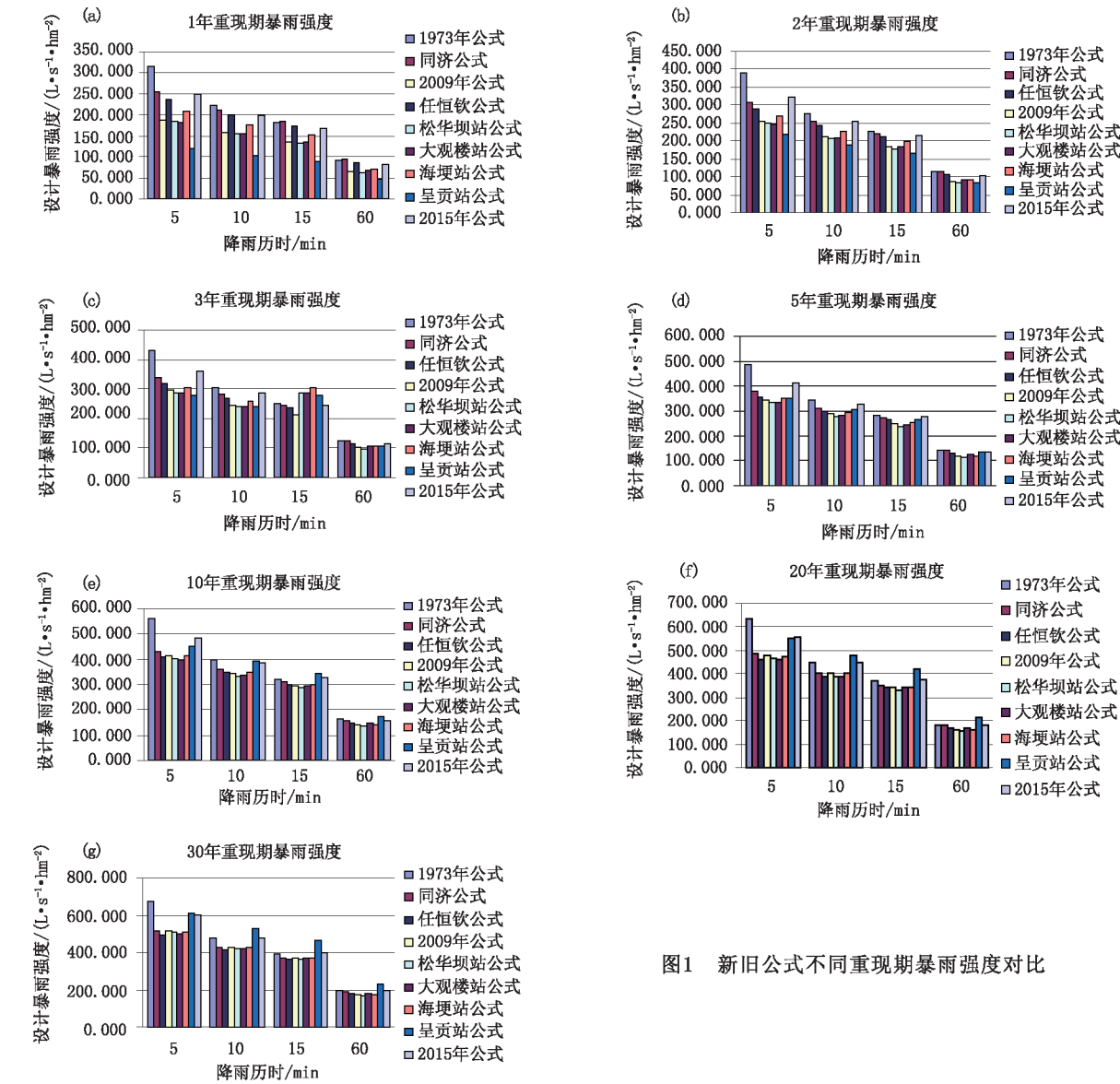


图1 新旧公式不同重现期暴雨强度对比

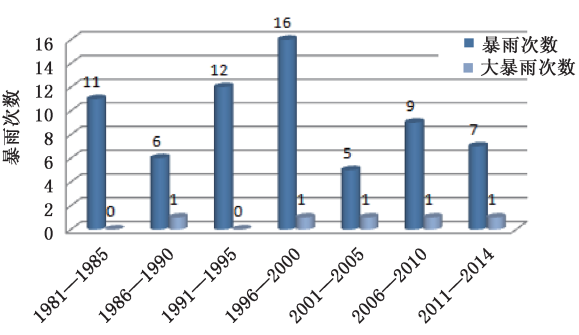


图2 昆明站 1981—2014 年暴雨(大暴雨)次数

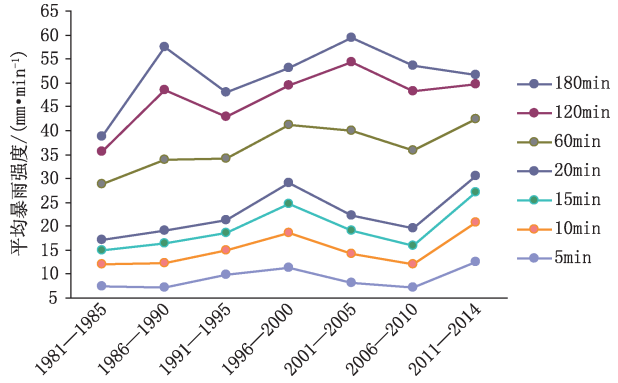


图3 昆明站各历时平均最大暴雨强度变化曲线

强度明显增大,2015 年版公式推算时增加了最近 5 年观测资料作为样本资料,相较 1973 年版、同济大学版、2009 年版公式及任恒钦版公式更具参考性。

### 3.3.2 暴雨强度空间分布特征分析

昆明市 2014 年版暴雨强度公式选取了松华坝、大观楼、海埂和呈贡 4 个水文气象观测站资料进行编制,充分考虑了暴雨分布不均匀性,因此将 2015 年公式与 2014 年版 4 个公式进行对比,用以分析昆明设计暴雨强度的差异,以确定 2015 年公式的适用范围。通过对比可看出:

(1)重现期为 1、2、3、5、10 年时 2015 年版公式设计暴雨强度值高于 2014 年版的 4 个公式。

(2)重现期为 20、30 年,降雨历时为 10、15、60 min 时,呈贡站设计暴雨强度值最高,2015 年版公式值次之。

(3)2015 年版公式与海埂站公式总体上较接近,考虑为 2 个站点间距较小,实际雨量值更接近。

2015 年版公式推算时使用的是昆明站资料,昆明站为国家基准气候站,其资料具有较强的代表性、准确性、连续性和比较性,其观测的降水资料,能较好的反应昆明城区降水变化特点。2015 年版设计暴雨强度值较 2014 年版公式总体略偏大,且与昆明站相邻站点海埂站值接近,说明 2015 年版公式是合理的,且对极端天气的适用性优于 2014 年版公式,因此公式应用于昆明主城区是偏安全的,周边地区可根据实际情况参照使用。

## 4 小结

(1)本文根据昆明站 1981—2014 年 34 年的逐分钟降雨资料,基于年最大值统计方法,分别采用皮尔逊Ⅲ型、耿贝尔型、指数型 3 种分布函数曲线进行拟合试验,使用最小二乘法求解参数,推算暴雨强度公式,通过精度检验,得出采用耿贝尔型拟合的暴雨强度公式为最优公式。

(2)从昆明暴雨强度时间分布特征来看,采用历

史资料结合近 5 年观测数据对暴雨强度公式进行编制修订,其样本资料更具参考性,因此 2015 年版公式相较之前的公式准确性和适用性更高。

(3)从昆明暴雨强度空间分布特征来看,本文推算的暴雨强度公式值相较于 2014 年版公式总体略偏大,但与昆明站相邻站点海埂站值接近,符合近年来极端强降水天气频发的实际情况,公式应用于昆明主城区是合理的也是偏安全的。

综上所述,本文推算的 2015 版暴雨强度公式合理可行,对于昆明城市防涝工程、室外排水工程设计和相关设施建设具有较强的指导意义。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室外排水设计规范(GB50014—2006,2014 版)[S]. 北京:中国计划出版社.
- [2] 张晓婧,马京津,轩春怡. 北京城市和郊区夏季降雨日变化特征及对排水设计的影响分析[J]. 气象科技,2015,43(6):1203-1208.
- [3] 李玲,文明章,张容焱,等. 闽南沿海暴雨特征及可能最大降水估算[J]. 气象科技,2011,39(1):13-18.
- [4] 任恒钦,伍立群,李学辉,等. 昆明市城市暴雨强度公式拟合研究[J]. 人民长江,2009,40(15):21-23.
- [5] 丁瑾佳,许有鹏,潘光波. 杭嘉湖地区城市发展对降水影响的分析[J]. 地理科学. 2010,30(6):886-891.
- [6] 梁萍,丁一汇,何金海,等. 上海地区城市化速度与降水空间分布变化的关系研究[J]. 热带气象学报,2011,27(4):475-483.
- [7] 赵娜,刘树华,虞海燕. 近 48 年城市化发展对北京区域气候的影响分析[J]. 大气科学,2011,35(2):373-385.
- [8] 何云玲,鲁枝海. 近 60 年昆明市气候变化特征分析[J]. 地理科学,2012 32(9):1119-1123.
- [9] 金家明. 城市暴雨强度公式编制及应用方法[J]. 中国市政工程,2010(1):38-42.
- [10] 邓培德. 城市暴雨两种选择方法的概率关系及应用评述[J]. 给水排水,2006,32(6)39-42.
- [11] 陈正洪,王海军,张小丽. 深圳市新一代暴雨强度公式的研制[J]. 自然灾害学报,2007,16(3):29-34.
- [12] 顾骏强,陈海燕,徐集云. 瑞安市暴雨强度概率分布公式参数估计研究[J]. 应用气象学报,2000,11(3):355-363.

(下转第 107 页)

# Calculation and Contrastive Analysis of Rainstorm Intensity Formula for Main Urban Areas of Kunming

Duan Yannan   Wang Yun   Yang Fangyuan   Liu Bin   Zhou Xi

(Kunming Meteorological Service, Kunming 650034)

**Abstract:** Using the minutely precipitation data of the Kunming national basic climate station from 1981 to 2014, the rainstorm formula fitted by Pearson III distribution, Gumbell distribution, and exponential distribution are worked out respectively by the annual maximum value method. Tested by accuracy, based on the principles of minimum error, the formula fitted by the Gumbell distribution proved optimal. Contrasting the newly formulated formula with the five rainstorm intensity formula formulated respectively for Kunming and analyzing the spatial and temporal distribution features of rainstorm intensity in Kunming, the formula proved reasonable and applicable, which can provide the basis and reference for Kunming flood control engineering design and construction.

**Keywords:** Kunming; formula for rainstorm intensity; contrastive analysis; applicability