

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.10.028

不同业界暴雨径流计算的异与同

赵明

(镇江市规划设计研究院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 公路、水利、市政部门经常遇到暴雨径流计算的问题,不同业界从业者运用的计算公式不同,对于重现期的选择差别也比较大,给从业者造成了困扰。通过对不同业界暴雨径流计算异与同的分析,可知:不同业界暴雨径流的计算原理还是一致的,只是根据各自专业特点和要求,在公式形式、参数选择方面做了适应性调整。

关键词: 防洪;排水;暴雨强度;重现期;径流流量

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)10-0100-02

0 引言

排水从业人员经常会遇到“排水、排涝、防洪、防涝、内涝、积水、涝水”等诸如此类的词汇,公路、水利、市政部门运用的暴雨径流计算公式又各不相同,设计重现期高低不一,凡此种种,似是而非,令人难以掌握其要领,本文试图在厘清这些概念、意义、公式及其标准方面做一些思考。

1 概念

“排水”是一般状态下排除降雨径流的过程,“排涝”是指排除地面截存积水(俗称“涝水”)的过程。“防涝”是借助外排设施将所需保护区域的积水状态控制在可以接受的范围之内,在这种状态下,不致引起交通阻断、财物毁损等不良社会影响;城市排水部门判断地面积水是否“内涝”的“阈值”为“居民住宅和工商业建筑物的底层不进水;道路中车道的积水深度不超过15 cm”,超出阈值的积水状态属于“内涝”状态,容易引发“涝灾”。“防洪”是借助挡泄水设施将设计暴雨径流挡在所需保护区之外的过程,不使其越过防洪堤坝或漫上路面。工程上通常将“防洪”、“防涝”纳入综合防灾体系来考虑,所谓“防”,就是要避免出现洪、涝灾害的状态。

2 暴雨径流计算公式

2.1 公路部门暴雨径流量计算公式

《公路排水设计规范》^[1] 9.1.1 路界内各项排水设施所需排泄的设计径流量可按式(1)计算确定:

收稿日期: 2020-04-11

作者简介: 赵明(1972—),男,学士,高级工程师,从事给水排水工程设计工作。

$$Q = 16.67\psi q_{p,t} F \quad (1)$$

式中: Q 为设计径流量 (m^3/s); $q_{p,t}$ 为设计重现期和降雨历时内的平均降雨强度 (mm/min); ψ 为径流系数; F 为汇流面积 (km^2)。

当有 10 a 以上降雨资料时,用式(2):

$$q_{p,t} = (c + d \lg P) / (t + b)^n \quad (2)$$

当缺乏资料时,用式(3):

$$q_{p,t} = c_p c_t q_{5,10} \quad (3)$$

式中: t 为降雨历时, min ; P 为设计重现期, a ; b , n , c , d 为回归系数; c_p 、 c_t 、 $q_{5,10}$ 由表求得。

2.2 水利部门暴雨径流量计算公式

水利部门常用的推理公式为:

$$Q_m = 0.278 \frac{\varphi A}{\tau^n} F \quad (4)$$

式中: Q_m 为设计流量, m^3/s ; τ 为流域汇流时间, h ; ψ 为径流系数; F 为汇流面积, km^2 ; A 为设计频率最大 1 h 暴雨雨量, mm/h ; n 为暴雨强度衰减系数,参照《江苏省暴雨参数图集》,1 h 以内, $n = 0.44 \sim 0.57$, 1~h, $n = 0.63 \sim 0.79$, 6~24 h, $n = 0.65 \sim 0.84$ 。

2.3 市政排水部门暴雨径流量计算公式

《室外排水设计规范》^[2] 3.2.1 采用推理公式:

$$Q_s = q\psi F \quad (5)$$

式中: Q_s 为设计流量, m^3/s ; ψ 为径流系数; F 为汇流面积, hm^2 。

城市暴雨强度公式如下:

$$q = 167A_1(I + C \lg P) / (t + b)^n \quad (6)$$

式中: q 为设计暴雨强度, $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$; t 为降雨历时, min ; P 为设计重现期, a ; A_1 , C , b , n 为根据统计方法确定的参数。

2.4 芝加哥公式

计算机模拟软件如 SWMM、infoWorks ICM

等, 通常使用芝加哥暴雨强度计算公式:

$$\begin{cases} i_{\text{峰前}} = \frac{A_1}{(t_1/r+b)^n} \left(1 - \frac{nt_1}{t_1+rb}\right) \\ i_{\text{峰后}} = \frac{A_1}{[(t_1/(1-r)+b)]^n} \left(1 - \frac{nt_2}{t_2+(1-r)b}\right) \end{cases} \quad (7)$$

芝加哥暴雨强度计算公式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_1} , 相应的历时为 t_1 , 峰后的瞬时强度为 i_{t_2} , 相应历时为 t_2 , 式中 A_1 、 b 、 n 为暴雨强度公式中的参数, 同城市暴雨强度公式计算方法一致, P 为重现期; r 为综合雨峰位置系数, 根据每场降雨的峰值时刻与整个历时的比值再取平均确定, 在 $0 \sim 1$ 之间。

2.5 公式的异与同

分析式(1)~式(5), 计算的结果都是流量, 单位是 m^3/s 或 L/s , 表现形式虽不同, 但都包含四个部分: 单位换算乘数、暴雨强度、径流系数、汇流面积。对于一个具体汇流区的暴雨流量计算, 四个变量中以暴雨强度计算最为复杂, 式(1)内的暴雨强度计算部分为 $q_{p,t}$, 由式(2)或式(3)求得, 单位为 mm/min ; 式(4)内的暴雨强度计算部分为 A/τ^n , 确定 A 和 τ 后计算求得, 单位为 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$; 式(5)内的暴雨强度计算部分为 q , 由式(2)求得, 单位为 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$, 三者单位表现形式不同, 但都可以互为转换。式(7)也是暴雨强度计算公式, 但与式(1)~式(5)不同的是, 式(7)计算的暴雨强度是某一重现期、特定时间点(t_1 或 t_2)的瞬时流量, 而式(1)~式(5)所计算的暴雨强度是某一重现期、 t 时间段内(见图1, 位于雨峰两侧, 不以 i 轴对称, 以 t 时段内取得最大降雨总量为准)的最大平均流量。

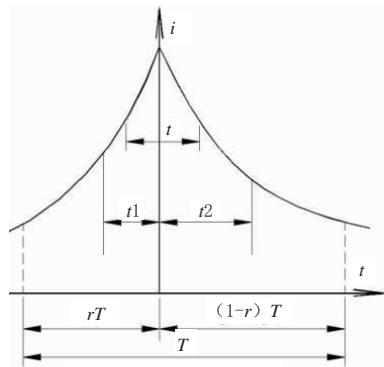


图1 芝加哥雨型

3 设计标准及强度

不同业界的从业者经常问的一个问题是: 对于排水设计重现期, 公路和水利部门用的标准常常

是 $20 \sim 30 \text{ a}$ 一遇, 乃至 100 a 一遇, 而市政部门用的标准常常是 $1 \sim 3 \text{ a}$ 一遇, 公路和水利部门管辖的设施通常位于城市以外, 用的标准通常较高, 市政排水部门管辖的设施通常位于城市以内, 城市内部对交通通畅要求和地面附着物保护要求都应该更高, 而设计标准反而较低, 且标准相差还比较大, 原因是什么? 作为排水的相关专业人员, 有时候也很茫然。有人通过经验比较后, 认为公路、水利部门和城市排水部门用的理论、标准是两套不同的体系, 水利部门常用的 $20 \sim 50 \text{ a}$ 一遇的标准和城市排水部门用的 $1 \sim 3 \text{ a}$ 一遇的标准是相当的, 原因在于, 长期以来, 公路部门、水利部门和市政排水部门各用各的标准, 都基本上满足了排水的要求, 其实, 公路、水利部门和城市排水部门的理论体系还是一套体系, 并无不同, 只是侧重点和表现形式不同而已。实际上, 暴雨强度公式内有两个参数: 重现期 P 和降雨历时 t , 离开降雨历时, 单纯比较重现期是没有意义的, 简单地认为 1 a 一遇的城市暴雨计算标准比 20 a 一遇的水利部门计算标准低, 是欠妥的, 举例说明, 如镇江市新暴雨强度公式如下:

$$q = \frac{167 \times (38.362 \text{ 3} + 39.026 \text{ 7} \lg P)}{(t + 19.137 \text{ 7}) \cdot 0.975}$$

$P=1 \text{ a}$ 一遇, $t=20 \text{ min}$ 的暴雨强度 q 是: $179.41 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$, $P=30 \text{ a}$ 一遇, $t=120 \text{ min}$ 的暴雨强度 q 是: $130.37 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{hm}^2)$, 可见, 当重现期从 1 a 一遇提高至 30 a 一遇, 随着汇流历时 t 从 20 min 增大至 120 min , 设计暴雨强度不增反降了。采用什么方法, 取用什么标准, 与以下 2 个变量有关: (1) 所设计设施的重要性, 一旦出现问题, 会造成多大的损失和影响, 损失越大, 影响范围越大, 其设计标准越高, 重现期越高, 以期尽可能少出问题, 是主观变量; (2) 汇流历时长短, 根据“等流时线原理”, 产流历时等于汇流历时, 全流域的汇流汇至出口断面时, 得洪峰流量, 该变量与汇流面积及其汇流历时有关, 与设计对象的重要程度无关, 是客观变量。城市暴雨计算设计的对象一般是管道, 服务范围小, 影响面小, 汇流历时短, 因此, 取用的重现期较低, 采用短历时暴雨强度计算公式; 水利部门和公路部门暴雨计算设计的对象通常河道、桥梁、过水涵等, 具有较大汇流面积和较大的设计流量, 一旦出现问题, 影响较大, 汇流历时也较长, 因此, 取用的重现期较高, 采用长历时暴雨强度计算公式。芝加哥公式的精度高, 但计算量大, 适合于计算机模拟软件使用。

(下转第 121 页)

$$N=654.63 \text{ kN} < \varphi_x A f = 0.929 \times 31\,730.1 \times 215 = 6\,266.3 \text{ kN}$$

满足设计规范要求。

平面外稳定性计算：

长细比计算如下：

$$\lambda = \frac{uL}{i}$$

其中， $L=31.2$ ， $i=0.357$ 。则其长细比 $\lambda=43.68$ ，查表得稳定系数 $\varphi=0.887$ 。

轴心受压构件整体稳定性计算公式如下：

$$N=654.63 \text{ kN} < \varphi_x A f = 0.887 \times 31\,730.1 \times 215 = 6\,051.1 \text{ kN}$$

满足设计规范要求。

(6)结论(见表2)

表2 最不利工况时钢围堰各构件受力表

杆件名	材料	截面型式	计算结果值 /kN	极限应力值 /kN
面板	Q235B	$\delta 8 \text{ mm}$	39.6	215
横肋	Q235B	I20b	72.4	215
竖肋	Q235B	I25b	151.3	215
内支撑	Q235B	$\phi 1\,020 \times 10$	62	215

(7)封底混凝土计算

a. 封底混凝土计算

检算最不利工况下的围堰抗浮稳定性，围堰受水浮力时可能的失稳形式有两种：封底混凝土抗浮失稳；封底混凝土连同钢围堰整体上浮失稳。根据围堰实际结构情况，围堰内混凝土封底按1.2 m厚度进行验算复核，具体如下：

由图15知，封底混凝土最大拉应力0.55 MPa，小于混凝土的抗拉强度，设计满足规范要求。

b. 封底混凝土抗浮失稳计算

水浮力：

$$F1 = (10 \times 7) \times (31.2 \times 15.2 - 18 \times 3.14 \times 1^2) = 2\,9240.4 \text{ kN}$$

封底混凝土的重量：

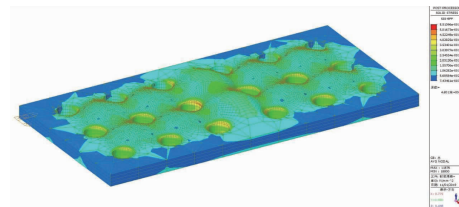


图15 封底混凝土

$$F2 = (31.2 \times 15.2 - 18 \times 3.14 \times 1^2) \times 1.2 \times 25 = 125\,531.6 \text{ kN}$$

混凝土与桩基摩擦力：

$$F3 = 18 \times 3.14 \times 2 \times 1.2 \times 120 = 16\,277.76 \text{ kN}$$

混凝土与钢围堰内壁摩擦力：

$$F4 = (31.2 \times 15.2) \times 2 \times 1.2 \times 120 = 13\,363.2 \text{ kN}$$

抗浮稳定系数：

$$K = \frac{F2+F3+F4+F7}{F6} = 1.48 > 1.3$$

满足规范要求。

因此，采用上述的围堰设计方案，经分析验算，各构件性能满足规范要求，主墩钢围堰施工安全性能得到保障。

6 结语

现状河道内大桥主墩采用钢围堰施工方式，通过对钢围堰进行施工期间最不利工况的的验算，施工期间围堰的变形和应力均满足规范要求，且施工期间围堰内部没有出现大的渗漏、管涌和基坑隆起现象，钢围堰的成功施工，保障了基坑内承台施工的安全，对其它同类工程具有借鉴和参考意义。

参考文献：

- [1] 郭飞,朱育才,桑宏,等.河边岩溶区大面积钢管桩围堰施工技术研究[J].特种结构,2019,36(4):96-102
- [2] 郭万林.大渡河特大桥深水基础钢管桩围堰设计与优化[D].陕西西安:长安大学,2017.
- [3] 张挺.锁扣钢管围堰在桥梁承台施工中的应用[J].浙江建筑,2011.28(1):48-51.
- [4] 王国俊,霍俊晨.大型水库中深基坑围堰施工方案优化设计[J].施工技术,2018,46(9):14-17.

~~~~~  
(上接第101页)

## 4 结语

不同业界对于暴雨径流流量的计算公式和标准不同，但仍是同一体系，与各自专业设施重要性、暴雨径流汇流历时长短、精度要求有着密切的关系，所采用的计算公式亦是按照各专业的特

点“量身打造”的表现形式，符合各自专业特点和需求。

参考文献：

- [1] JTG/T D33—2012,公路排水设计规范[S].
- [2] 王燕生.工程水文学[M].北京:水利水电出版社,1998.
- [3] GB 50014—2006(2016版),室外排水设计规范[S].