

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.11.017

极端降雨频发背景下城市桥梁排水设计探讨

刘晓奎¹, 丁志强², 沈健聪³

[1.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.中交公路规划设计院有限公司上海分公司,上海市 200082;
3.嘉兴市快速路建设发展有限公司,浙江 嘉兴 314000]

摘 要:在极端暴雨天气频发的背景下,桥梁作为城市交通网络的重要一环,桥面排水是否通畅成为影响交通安全的重要因素。在梳理现有桥梁排水设计规范、排水设施和存在问题的基础上,选取全国 16 座城市的暴雨强度公式,计算了典型桥梁结构的排水能力,发现排水管直径和悬吊段底坡是影响排水系统排水量的主要因素。常规桥面排水系统能满足排水要求,但应考虑适当余量以满足极端降雨条件下的排水需求。

关键词:极端降雨;城市桥梁;排水设计;暴雨强度;重现期

中图分类号:U442.5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)11-0066-05

0 引言

随着我国城市化进程的不断推进,桥梁在城市交通网络中成为日益重要的一环。排水设施是城市桥梁设计的一项重要内容,桥面排水不畅会显著降低桥梁的通行能力,阻滞交通,直接影响行车安全(见图 1)。同时,酸性的雨水汇集桥面也会腐蚀桥面板混凝土钢筋,降低桥梁的使用寿命^[1-3]。



图 1 桥面排水不畅引发交通事故

在全球气候变暖的大背景下,极端降雨天气频繁发生,短历时高强度暴雨造成的城市水灾已成为影响城市人居环境的一大制约因素。桥梁工程师应充分重视桥面排水设计,同时和桥面防水相结合,做到“防排结合”,既保障交通安全通畅,又保证桥梁结构的安全耐久。

随着我国汽车保有量的增加,城市桥梁设计车

道数增加,桥面宽度和面积增大,偶发的极端暴雨天气对桥梁排水设计提出了更高的要求。

1 城市桥梁排水设计

1.1 桥面排水设计规范^[4-6]

(1)桥面坡度:规范规定,桥面应设置合理的横向和纵向坡度,使桥面降水能够迅速排向行车道两侧。桥面水汇入泄水口后,通过桥墩处的竖向排水管排入地面集水井。

(2)排水管:为降低对桥梁景观的影响,高架桥梁一般不设置纵向排水管,仅在墩台处设置竖向排水管。规范规定,排水管最小直径为 150 mm,是基于排水量 and 不被杂物堵塞双重考虑。对于南方潮湿地区和西北干燥地区,排水管直径可根据暴雨强度适当调整。

(3)泄水口:设置在桥面行车道边缘处,圆形泄水口的直径宜为 150~200 mm,在桥面凹形竖曲线的最低点处,宜在最低点前后增加设置泄水口。泄水口顶部应采用格栅盖板,其顶面宜比周围桥面铺装低 5~10 mm。

1.2 桥面排水设计

目前工程建设对生态环境保护的要求越来越高,为避免桥面雨水或污染物对地面道路或河流造成污染,城市高架桥梁要求进行集中排水设置。桥面排水设计是否完善,会对桥梁的使用寿命产生较大影响。

1.2.1 排水管

目前城市高架桥面排水最常用的方式是桥面雨水通过纵横坡汇流入泄水口,继而进入排水管道,然后利用墩台位置上的排水立管排入地面集水井或河

收稿日期:2022-10-22

作者简介:刘晓奎(1982—),男,博士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

流中。排水管道一般沿着盖梁和立柱敷设,为减少对景观的影响,一般布置于行车方向立柱背面(见图 2),或者在盖梁立柱侧壁开槽,采用半隐藏式排水管设计(见图 3)。



图 2 上海 S3 周邓公路段排水管布置



图 3 嘉兴市快速路环线工程排水管布置

1.2.2 虹吸式雨水斗

借鉴建筑屋面虹吸排水原理,在排水系统中设置雨水斗和沉砂槽,设计了城市高架桥主动排水系统^[7-8](见图 4)。降雨强度较小时,管内水流速度较慢;降雨强度较大时,管内水流速度很快并产生负压,形成虹吸作用,并进一步加大对桥面雨水的抽吸能力。在暴雨频率较大的地区,管道可以实现冲刷自洁,但在暴雨频率较小的地区,沉砂槽需要定期进行清洁掏空,无法充分发挥系统优势。

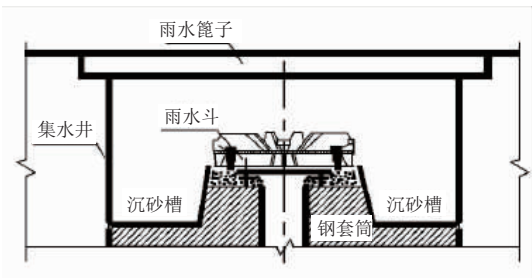


图 4 雨水斗排水装置

1.2.3 装配式线性排水沟

装配式线性排水沟设置于防撞护栏内侧,变传统点式排水为线性排水^[9-10](见图 5)。沟体采用聚合物混凝土,排水沟宽度和高度可根据降雨重现期和降雨强度进行设计,并须能够承受汽车轮压作用。例如,桥面铺装采用 OGFC 排水降噪混凝土,可在排水沟侧壁开孔收取铺装层间水,以延长铺装使用寿命。线性排水沟沿桥面纵向贯通,连续截水,梁体下方无需再设置纵向排水管,在桥墩处排水沟底部开孔与排水管相连接即可达到排水要求。



图 5 装配式线性排水沟

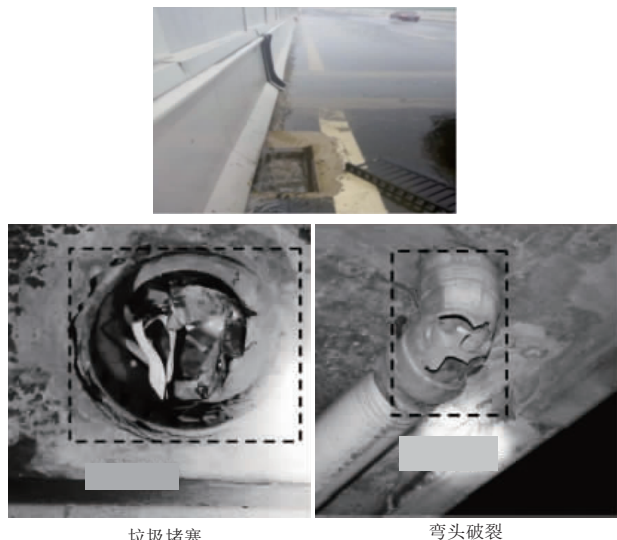
1.3 现状设计存在问题^[11-12]

1.3.1 桥面坡度设计不合理

桥面排水设计既要考虑纵坡,又要考虑横坡,两者的合成坡度既不宜过大,也不宜过小。坡度主要指桥面横坡和纵坡形成的合成坡度。合成坡度过大或过小都会对桥面排水造成不利影响。当坡度过小时,桥面雨水流速慢,如遇暴雨天气容易造成桥面大量积水,影响交通和桥梁自身安全。当坡度过大时,雨水流速过快,排水管排放速度跟不上,雨水会迅速汇聚在泄水口附近,积水深度不断提高,最终造成交通中断。

1.3.2 桥面排水设施失效

桥面排水设施在新建成时能满足排水要求,但由于养护不到位,导致后期排水系统无法正常运转。例如,桥面泄水口未设置过滤层,垃圾淤积在泄水口造成堵塞;排水系统建造材料不达标,泄水口在过往车辆轮压荷载下损坏(见图 6)。其他如泄水槽格栅板丢失、弯头(三通)管道破裂、排水管缺失(断连)等,均会导致排水系统无法正常工作,排水效果大打折扣。



垃圾堵塞

弯头破裂

图6 桥面排水设施失效

1.3.3 高架超高段排水

对于高架超高段桥面排水,国内一般采用中央分隔带护栏开孔的方式,将外侧桥面雨水引入内侧排出。在一般降雨时,对内侧行车安全影响不明显,但在大暴雨时,会显著增加内侧桥面排水压力,而且中央护栏开孔附近较厚的水膜会造成车辆飘滑,影响行车安全。本文建议在桥面外侧中央护栏边缘设置线性排水沟,收集外侧桥面雨水并汇入墩台处竖向排水管。

2 极端暴雨频发背景下的桥面排水设计

2.1 暴雨频发

一方面,地球处于历史性气温上升周期。中国5 000 a气温变化曲线(见图7)显示,近百年气温逐渐上升^[13]。根据研究,年平均气温每上升1℃,中国的年降水量平均将增多200 mm,400 mm降雨线随之大幅度向北移动。中国北方降雨量大幅增长,毛乌素沙漠植被恢复,塔克拉玛干沙漠发生洪灾及降雪(见图8),黄河流域大量植被恢复,河南郑州极端暴雨等,都是北方降水增多的体现。

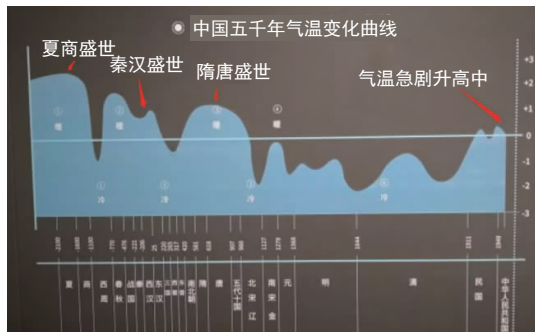


图7 中国5 000 a气温变化曲线

另一方面,随着我国城镇化率的不断提高,热岛



图8 塔克拉玛干沙漠降雪

效应、下垫面变化和气溶胶排放等在一定程度上导致城市极端降雨事件频繁发生。

地球历史性气温和城市化率都处于上升周期,两者的叠加影响使城市短历时强降雨的频率显著增加。2012年7月21日,北京遭遇特大暴雨,城区平均降雨量215 mm,最大24 h降雨量460 mm,接近500 a一遇。2013年9月13日,上海市遭遇100 a一遇特大暴雨,中心城区80多条道路发生短时积水20~50 cm。2021年7月17—21日,河南郑州24 h降水量达到624.1 mm,最大小时降水量高达201.9 mm。

2.2 城市暴雨强度公式

暴雨强度公式是反映降雨规律和指导城市基础设施排水工程设计的重要基础,其准确与否直接影响暴雨强度和降雨量的计算。2014年开始,中国开始新一轮城市暴雨强度公式编制、修订工作,目前中国常用的暴雨强度公式为^[14-15]:

$$q = \frac{167A_1(1+C1gP)}{(t+b)^n} \quad (1)$$

式中: q 为设计暴雨强度, $L/s \cdot \text{hm}^2$; P 为暴雨重现期,a,高架桥梁 $P=10$ a; t 为降雨历时,min. $t=t_1+t_2$, t_1 为桥面积水时间, t_2 为管道内雨水流行时间。 t_1 计算公式如下:

$$t_1 = 1.445 \left(\frac{sL_p}{\sqrt{i_p}} \right)^{0.467} \quad (2)$$

式中: L_p 为泄水口间桥面长度,m; i_p 为桥面坡度; s 为地表粗糙系数,对于沥青混凝土桥面, $s=0.013$ 。

雨水口汇水量计算公式:

$$Q = q\Psi F \quad (3)$$

式中: Q 为雨水口汇水量, L/s ; Ψ 为径流系数,高架桥面 $\Psi=0.95$; F 为汇水面积; hm^2 。

桥梁排水系统一般由排水短管、悬吊管和排水立管三部分组成。其中,排水立管的泄水能力最大,不会影响整个系统的泄水能力;排水短管的泄水量

次之;悬吊管的泄水量最小。因此,整个排水系统的泄水能力是由悬吊管控制的。根据相关研究,悬吊管最大流量并非发生在满流状态,而是在管内水深 $h=0.938D$ 时流量最大,计算公式为^[16]:

$$Q_{\max}=\frac{\sqrt{i_g}D^{\frac{8}{3}}}{2.98n}$$

(4)

式中: i_g 为管道底坡; n 为管道粗糙系数,塑料管 $n=0.01$; D 为管径。

2.3 典型城市暴雨强度计算

选取全国16座城市的暴雨强度公式,其中南方城市选取上海、嘉兴、宁波、杭州、重庆、广州、深圳、海口,北方城市选取北京、济南、潍坊、郑州、太原、西安、盐城,计算在不同暴雨重现期 $P=5\text{ a}$ 、 10 a 、 20 a 、 30 a 、 50 a 的设计暴雨强度,如图9所示。雨水口汇水量如图10所示,汇水面积 F 取 0.12 km^2 。在不同管径、不同管道底坡下悬吊管的最大流量如图11所示。

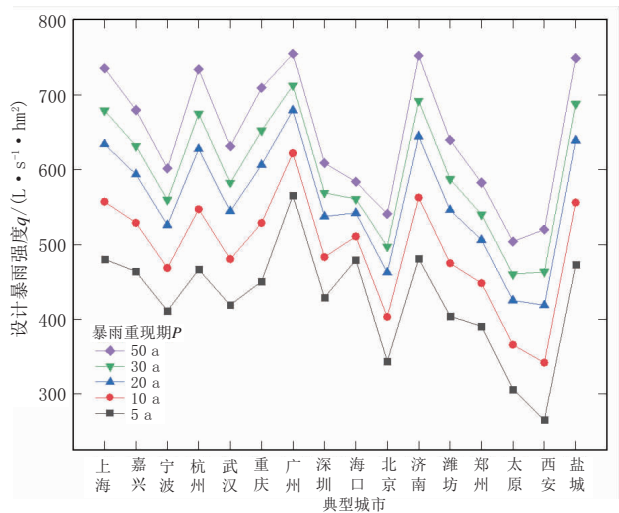


图9 设计暴雨强度

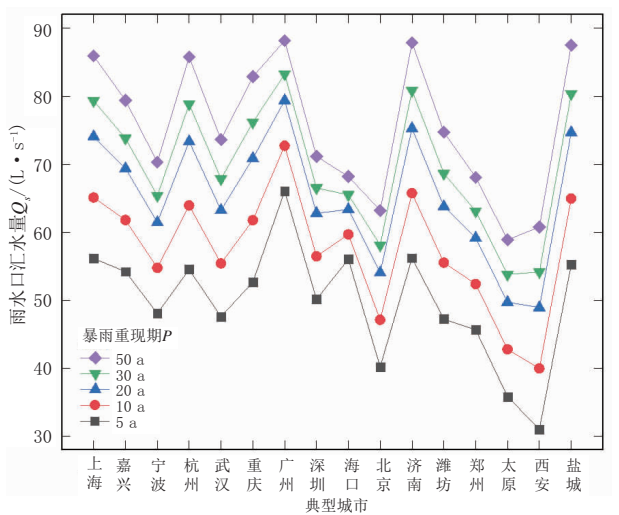


图10 雨水口汇水量

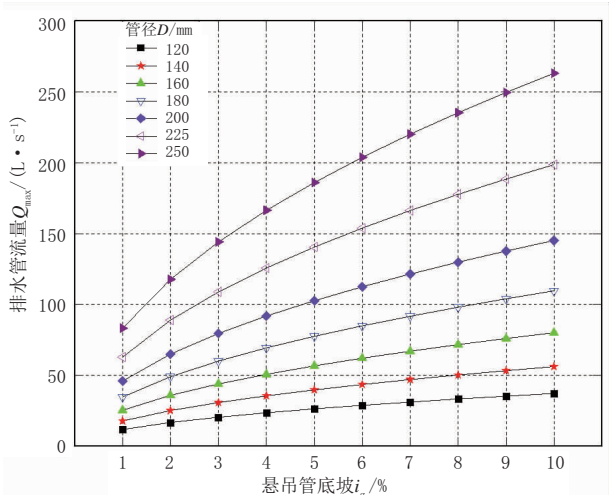


图11 悬吊管最大排水量

从图9、图10可以看出,城市的设计暴雨强度在不同暴雨重现期下差异明显,雨水口汇水量随暴雨重现期的增大而显著增加。对高架桥梁排水系统来说,悬吊管的排水量随悬吊管底坡增大而增大,排水管管径对排水量影响较大,圆形泄水口直径常规选取 $150\sim 200\text{ mm}$ 。

选取悬吊管直径 $D=160\text{ mm}$,计算悬吊管的最大排水量,对比不同暴雨重现期下的雨水口汇水量,如图12~图16所示。从图中可以看出,随着暴雨重现期的增大,悬吊管需要设置较大的底坡才能满足排水量要求。当 $P=5\text{ a}$ 时,除广州外, $i_g=0.05$ 可以满足排水量需求;当 $P=10\text{ a}$ 时,除广州外, $i_g=0.07$ 可以满足排水量需求;当 $P=20\text{ a}$ 、 30 a 时, $i_g=0.10$ 基本可以满足排水量需求;当 $P=50\text{ a}$ 时, $i_g=0.12$ 方能满足排水量需求。

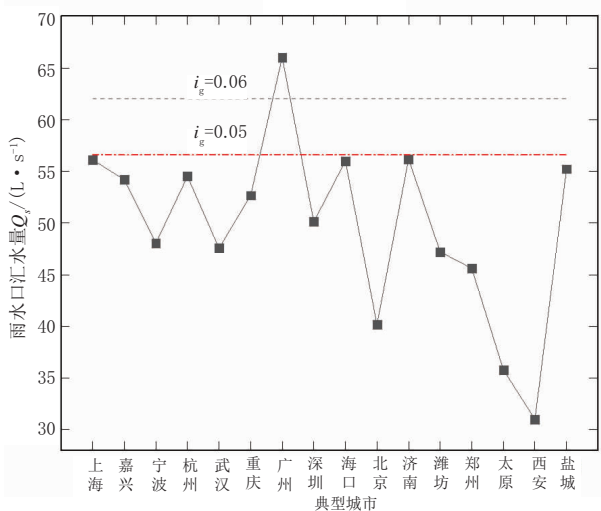
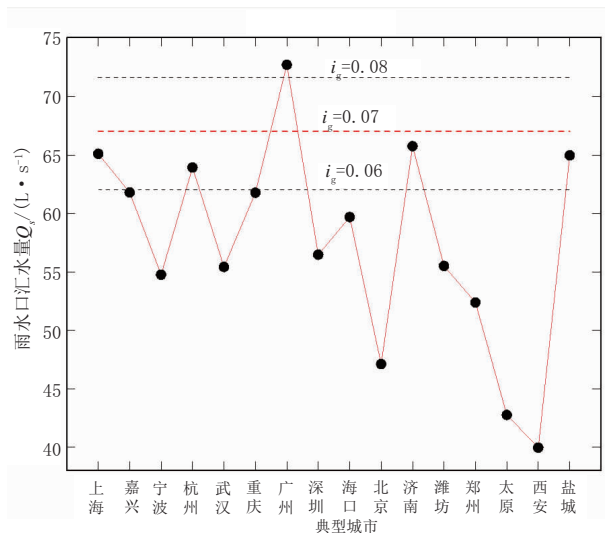
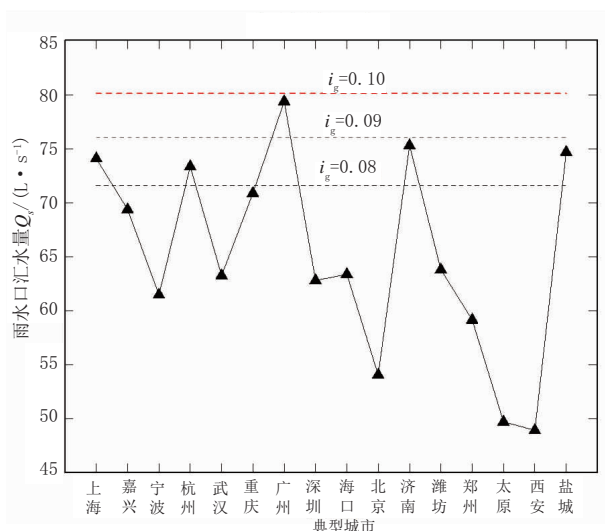
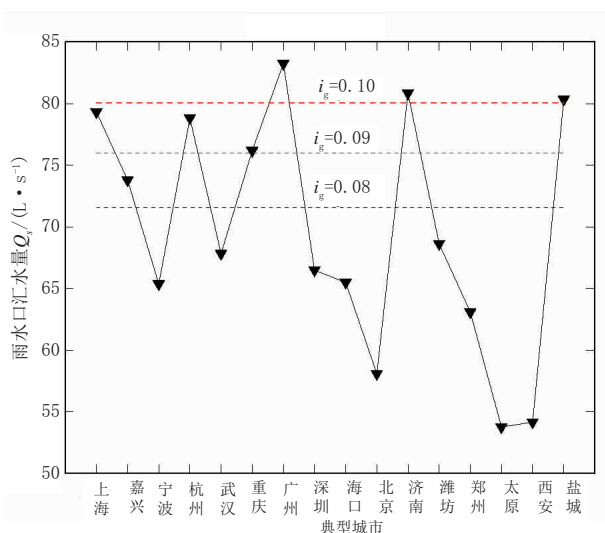


图12 暴雨重现期 $P=5\text{ a}$

3 主要结论

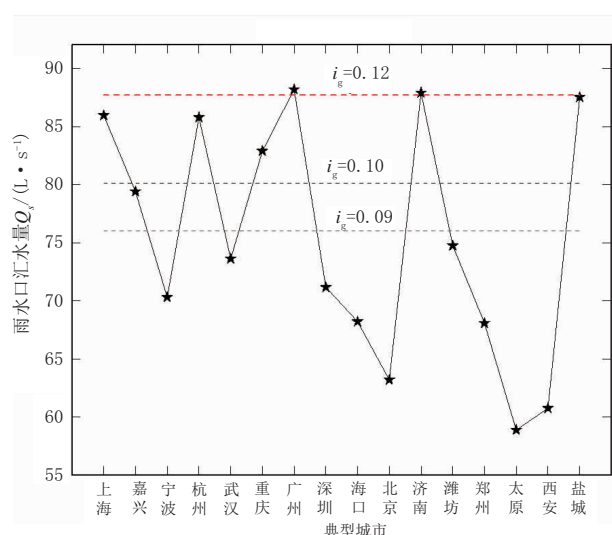
(1)设计暴雨重现期对计算暴雨强度和雨水口汇水量影响较大,高架桥梁易积水点宜选取较大的暴

图 13 暴雨重现期 $P=10$ a图 14 暴雨重现期 $P=20$ a图 15 暴雨重现期 $P=30$ a

雨重现期。

(2) 排水管直径和悬吊段底坡是影响高架桥梁排水系统排水量的主要因素。

(3) 常规排水管直径 $D=160$ mm 和悬吊段底坡

图 16 暴雨重现期 $P=50$ a

$i_g=0.10$ 可以满足常规暴雨强度下的排水需求,但适当增加余量以应对极端降雨条件下的排水需求。

(4) 对高架桥梁易积水点的桥墩,可以增大排水管道直径或每个桥墩设置双排水管,以增加排水管道泄水量。

参考文献:

- [1] 秦发祥,游建峰,郑鹏. 关于拼宽桥面径流宽度问题的研究[J]. 四川建材,2017(9): 162-163.
- [2] 杨自珍. 基于行车安全的桥面排水设计及优化设施研究[D]. 重庆: 重庆交通大学,2014.
- [3] 侯翠婷. 城市高架桥桥面排水系统研究[D]. 成都: 西南交通大学,2014.
- [4] CJJ 11—2011,城市桥梁设计规范[S].
- [5] JTG/T D33—2012,公路排水设计规范[S].
- [6] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].
- [7] 孔丽华. 大跨径市政超宽桥梁桥面排水方案研究[J]. 价值工程,2020(3): 169-170.
- [8] 吴尧康. 城市桥梁桥面排水系统若干问题探讨[J]. 福建交通科技,2021(4): 81-84.
- [9] 孟凡立. 桥梁装配式集中排水设计[J]. 绿色交通,2018(6): 221-222.
- [10] 夏琛,孟红卫,王朝伦. 城市高架桥梁主动排水系统研究[J]. 市政工程,2013(4): 225-227.
- [11] 林涛,李怀明. 城市高架排水问题浅析[J]. 公路,2019(8): 108-111.
- [12] 王荣和,唐剑晖,张力,等. 上海市内环线高架道路雨水排水设施分析研究[J]. 给水排水,2001(8): 5-9.
- [13] 竺可桢. 中国近五千年来的气候变迁的初步研究[J]. 考古学报,1972(1): 15-38.
- [14] DB33/T 1191—2020,暴雨强度计算标准: 浙江省工程建设标准[S].
- [15] 刘俊,周宏,鲁春辉,等. 城市暴雨强度公式研究进展与述评[J]. 水科学进展,2018(11): 898-910.
- [16] 茅泽育,赵璇. 圆形断面管道非满流流速计算表达式[J]. 水科学进展,2007(3): 170-174.