

设计经验

# 海绵城市建设中路沿石开口水力计算及设计优化

梁小光

(福州市规划设计研究院, 福建 福州 350108)

**摘要:** 路沿石开口是海绵城市建设中的常见做法,由于设计标准和设计方法的缺失,工程实践中出现了一些问题。采用美国联邦公路管理局提出的偏沟和立算式雨水口流量计算方法,对一个工程案例进行详细计算,发现不带下凹的路沿石开口收水效率较低,容易造成排水不畅。当路沿石开口下凹时,收水效率大大提高,设计中应优先采用该形式。

**关键词:** 路沿石开口; 水力计算; 漫幅

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)02-0042-04

## Hydraulic Calculation and Design Optimization of Curb Opening in Sponge City Construction

LIANG Xiao-guang

(Fuzhou Planning Design & Research Institute, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** Curb opening is a common practice in the construction of sponge city. Due to the lack of design standards and design methods, some problems have occurred in project practice. In this paper, a project case is calculated by using the method of the Federal Highway Administration. The curb opening without road depression has a low drainage performance, which can easily cause waterlogging. However, when the curb was opened at road depressed, the drainage performance has been greatly improved. The form of curb opening with road depression should be preferred in the design.

**Key words:** curb opening; hydraulic calculation; spread

海绵城市建设中为实现绿地滞蓄雨水的功能,常见做法是使用开口路沿石或直接将路沿石开口,以便路面雨水能流入绿化带。但是,由于我国缺少相应的水力计算方法,设计中普遍出现了一些问题,主要表现在路沿石开口过密或过疏,过密会对景观造成一定影响,过疏则路面排水不畅导致积水。因此,找到一个可行的路沿石开口水力计算方法就显得十分必要。

### 1 计算理论

从功能上看,路沿石开口类似于立算式雨水口,其水力计算方法可参考立算式雨水口。根据路沿石开口位置的不同,其水流形式也有所不同。当开口

位于单向纵坡段时,开口处水流形式类似侧堰,当开口位于竖向凹曲线附近时,开口处水流形式类似正堰。可采用美国联邦公路管理局提出的偏沟和立算式雨水口流量计算方法<sup>[1]</sup>进行计算。

对于单向纵坡段路沿石开口,收集全部偏沟流量所需开口长度为:

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S_L^{0.3} \left( \frac{1}{n S_x} \right)^{0.6} \quad (1)$$

式中  $L_T$ ——收集全部偏沟流量所需开口长度, m

$Q$ ——偏沟流量,  $\text{m}^3/\text{s}$

$S_L$ ——道路纵坡

$S_x$ ——道路横坡

$n$ ——路面粗糙系数

当路沿石开口长度小于  $L_T$  时,其收水效率为:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{L}{L_T}\right)^{1.8} \quad (2)$$

式中  $E$ ——收水效率

$L$ ——路沿石实际开口长度, m

最上游的路沿石开口收集的偏沟流量仅为本段雨水流量,可采用推理公式法计算。

其他路沿石开口收集的偏沟流量除本段流量外,还包括上游路沿石开口未能收集的转输流量,计算公式为:

$$Q = Q_{\text{local}} + (1 - E)Q' \quad (3)$$

式中  $Q_{\text{local}}$ ——本段雨水流量,  $\text{m}^3/\text{s}$

$Q'$ ——上游偏沟流量,  $\text{m}^3/\text{s}$

当路沿石开口位于凹形竖曲线处时,其收水能力为:

$$Q = 1.6Ld^{1.5} \quad (4)$$

式中  $d$ ——开口处水深, m

比较单向纵坡段和凹形竖曲线上路沿石开口计算方法可以发现,单向纵坡段路沿石开口计算公式中未出现开口处水深  $d$ ,这是由于开口处水深  $d$  可通过偏沟流量  $Q$ 、道路纵坡  $S_L$ 、道路横坡  $S_x$  和路面粗糙系数  $n$  求得,计算公式为:

$$d = \left(\frac{nQS_x}{0.376S_L^{0.5}}\right)^{0.375} \quad (5)$$

该处漫幅  $T$  计算公式为:

$$T = \frac{d}{S_x} \quad (6)$$

根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016 年版)第 4.7.2A 条:“立算式雨水口进水处路面标高应比周围路面标高低 5 cm”<sup>[2]</sup>。路沿石开口功能类似立算式雨水口,其亦可执行此条文。当路沿石开口下凹时,收集全部偏沟流量所需开口长度仍可按式(1)计算,但需将横坡  $S_x$  用等效横坡  $S_e$  代替。

$S_e$  计算方法为:

$$S_e = S_x + \frac{a}{W}E_0 \quad (7)$$

式中  $a$ ——下凹深度,根据规范取 0.05 m

$W$ ——下凹宽度,和设计有关,一般与平算宽度相同,取 0.45 m

$E_0$ ——正面拦截百分比

$$E_0 = \frac{1}{1 + \frac{S_w/S_x}{[1 + \frac{S_w/S_x}{T/W - 1}]^{8/3} - 1}} \quad (8)$$

$$S_w = S_x + \frac{a}{W} \quad (9)$$

当凹形竖曲线处路沿石开口下凹时,其收水能力  $Q$  为:

$$Q = 1.25(L + 1.8W)d^{1.5} \quad (10)$$

## 2 案例计算

图 1 为某海绵道路示意图,机动车道总宽度为 22 m,机动车道两侧为绿化带,道路横坡为 1.5%,道路纵坡为 0.3%,路面粗糙系数为 0.015,将雨水口设置在两侧绿化带中,雨水管渠设计重现期为 3 年一遇,允许漫幅为 4 m,当地暴雨强度公式为  $q = \frac{2457.435(1 + 0.633\lg P)}{(t + 11.951)^{0.724}}$ ,路面集水时间统一取 5 min,求路沿石开口长度与布置间距。

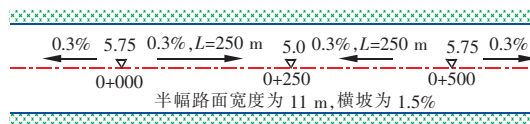


图 1 海绵道路示意

Fig. 1 Plane sketch of sponge road

从图 1 可知,道路中心线标高 5.0 m 处为低洼点,两侧的单向纵坡段长度均为 250 m。假设路沿石开口长度为 60 cm,开口间距为 20 m,其水力计算过程见表 1。对表 1 说明如下:① 0 + 500 ~ 0 + 250 单向纵坡段路沿石开口水力计算过程和 0 + 000 ~ 0 + 250 完全相同。② 0 + 020 处路沿石开口收集 0 + 000 ~ 0 + 020 范围内的本段雨水,由于 0 + 000 为最高点,其汇水面积被一分为二,仅有一半的汇水顺着偏沟流到 0 + 020 处。③ 0 + 000 ~ 0 + 240 范围内漫幅均小于 4 m,满足要求。④ 0 + 000 ~ 0 + 240 范围内路沿石开口收水效率较低,最终仅为 0.18,这说明路沿石开口收水效率是比较低的,稍有不慎很容易造成排水不畅。⑤ 0 + 250 为道路最低点,该处路沿石开口收集的本段雨水来自 0 + 240 ~ 0 + 260 路面,收集的转输流量来自 0 + 240 和 0 + 260 处路沿石开口超越流量。0 + 250 处漫幅直接假定为最大允许值 4 m,对应的开口处水深为 6 cm,采用式(4)计算得到开口长度为 3.41 m。

表1 路沿石开口水力计算

Tab. 1 Hydraulic calculation of curb opening

桩号	本段流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	转输流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	偏沟流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$L_T$ / m	$d$ / cm	漫幅/ m	开口长度/ m	收水效率
0+020	0.004 53	0.000 00	0.004 53	2.29	1.55	1.03	0.6	0.42
0+040	0.009 07	0.002 62	0.011 69	3.41	2.87	1.91	0.6	0.29
0+060	0.009 07	0.008 25	0.017 32	4.02	3.33	2.22	0.6	0.25
0+080	0.009 07	0.012 95	0.022 02	4.45	3.64	2.43	0.6	0.23
0+100	0.009 07	0.016 96	0.026 03	4.77	3.88	2.58	0.6	0.21
0+120	0.009 07	0.020 44	0.029 51	5.03	4.06	2.71	0.6	0.20
0+140	0.009 07	0.023 47	0.032 54	5.24	4.21	2.81	0.6	0.20
0+160	0.009 07	0.026 15	0.035 22	5.42	4.34	2.89	0.6	0.19
0+180	0.009 07	0.028 51	0.037 58	5.57	4.45	2.96	0.6	0.19
0+200	0.009 07	0.030 60	0.039 67	5.69	4.54	3.03	0.6	0.18
0+220	0.009 07	0.032 47	0.041 53	5.80	4.62	3.08	0.6	0.18
0+240	0.009 07	0.034 13	0.043 20	5.90	4.69	3.12	0.6	0.18
0+250	0.009 07	0.071 23	0.080 30	—	6.00	4.00	3.41	—

调整路沿石开口长度和间距,按表1相同方法计算,结果见表2。可见,对于不带下凹的路沿石开口,要满足3年一遇降雨时漫幅不超过4 m,其开口长度较大,并且开口数量较多。因此,路沿石开口不宜采用不带下凹的形式。当路沿石开口处下凹深度为5 cm、下凹宽度为45 cm、开口长度为0.2 m、开口间距为10 m时,其水力计算过程见表3。调整路沿石开口长度和间距,按表3相同方法计算,结果见表4。由表4可见:①方案六和方案九0+250处开口长度为负值,不合理,说明式(10)在小流量时不适用。②带下凹的路沿石开口收水能力明显大于不带下凹的路沿石开口,因此路沿石开口(立算式雨水口)应尽量按有下凹的形式设计。

表2 各方案计算结果

Tab. 2 Calculation results of each scheme m

项 目	开口长度	开口间距	0+250处开口长度	0+000~0+240最大漫幅
方案一	0.4	20	4.80	3.49
方案二		15	3.30	2.73
方案三		10	1.91	1.92
方案四	0.6	20	3.41	3.12
方案五		15	2.25	2.42
方案六		10	1.22	1.67
方案七	0.8	20	2.44	2.81
方案八		15	1.55	2.15
方案九		10	0.80	1.47

表3 路沿石开口水力计算(下凹5 cm)

Tab. 3 Hydraulic calculation of curb opening (5 cm depressed)

桩号	本段流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	转输流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	偏沟流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	$d$ / cm	漫幅/ m	$E_0$	等效横坡	开口长度/m	$L_T$ / m	收水效率
0+020	0.002 27	0	0.002 27	0.92	0.62	1.00	0.13	0.2	0.48	0.62
0+040	0.004 53	0.000 85	0.005 39	1.66	1.10	0.95	0.12	0.2	0.7	0.45
0+060	0.004 53	0.002 95	0.007 49	1.87	1.25	0.93	0.12	0.2	0.82	0.40
0+080	0.004 53	0.004 53	0.009 06	2.01	1.34	0.91	0.12	0.2	0.9	0.36
0+100	0.004 53	0.005 76	0.010 30	2.11	1.41	0.89	0.11	0.2	0.96	0.34
0+120	0.004 53	0.006 75	0.011 28	2.18	1.46	0.88	0.11	0.2	1	0.33
0+140	0.004 53	0.007 55	0.012 08	2.24	1.49	0.87	0.11	0.2	1.03	0.32
0+160	0.004 53	0.008 21	0.012 74	2.29	1.52	0.87	0.11	0.2	1.06	0.31
0+180	0.004 53	0.008 75	0.013 28	2.32	1.55	0.86	0.11	0.2	1.08	0.31
0+200	0.004 53	0.009 2	0.013 73	2.35	1.57	0.86	0.11	0.2	1.1	0.30
0+220	0.004 53	0.009 58	0.014 11	2.38	1.58	0.85	0.11	0.2	1.12	0.30
0+240	0.004 53	0.009 89	0.014 43	2.39	1.60	0.85	0.11	0.2	1.13	0.30
0+250	0.004 53	0.020 32	0.024 85	6.00	4.00	—	—	0.54	—	—

表 4 各方案计算结果(下凹 5 cm)  
Tab.4 Calculation results of each scheme(5 cm depressed)

项 目	开口 长度	开口 间距	0 + 250 处开 口长度	0 + 000 ~ 0 + 240 最大漫幅
方案一	0.2	20	4.04	3.22
方案二		15	2.08	2.41
方案三		10	0.54	1.60
方案四	0.3	20	2.09	2.74
方案五		15	0.75	2.00
方案六		10	-0.13	1.31
方案七	0.4	20	0.94	2.36
方案八		15	0.11	1.72
方案九		10	-0.40	1.15

最终选择路沿石开口处下凹 5 cm,开口长度 0.2 m,开口间距 10 m,最低点处开口 0.54 m 的方案,即表 4 中的方案三,此方案能兼顾路面排水需求、景观需求和行车安全要求。

3 结论与建议

海绵城市建设中路沿石开口是一种常见做法,现阶段我国还没有相关的计算方法和设计标准。通过借鉴美国联邦公路管理局的立算式雨水口收水能力计算方法,对一个实际案例进行了详细水力计算,得出结论和建议如下:

- ① 路沿石开口水力计算方法和立算式雨水口水力计算方法相同,建议尽快制定相应的设计标准。
- ② 路沿石开口宽度和间距应进行水力计算,以防路面出现排水不畅。
- ③ 不带下凹的路沿石开口收水效率较低,应

优先选择收水效率更高的带下凹的路沿石开口。  
④ 美国联邦公路管理局推荐的带下凹的路沿石开口计算方法在小流量时不适用,建议进一步开展相关研究。

参考文献:

[1] Brown S A, Schall J D, Morris J L, et al. Urban Drainage Design Manual [M]. Washington, D. C. : Federal Highway Administration, 2009.  
[2] GB 50014—2006, 室外排水设计规范 (2016 年版) [S]. 北京:中国计划出版社, 2016.



作者简介:梁小光(1985 - ), 男, 江西抚州人, 硕士, 工程师, 武汉大学海绵城市研究中心学术委员会委员, 主要从事城市水系统规划设计和理论研究。

E - mail: liangxiaoguang07@ 163. com

收稿日期:2017 - 10 - 11

国家对水资源依法实行取水许可制度和有偿使用制度