

市政排水标准与水利排涝标准模型衔接方法

张佳奇

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300000)

摘 要:城市市政基础设施的市政雨水排水标准的制定对象是城市的市政雨水排水管道和城市的市政排水支沟等,市政排水标准制定是针对城区局部的短降雨历时快排标准,其标准表达为降雨重现期。水利行业的排涝标准的制定出发点是针对城乡结合部、乡镇、农村尺度的排涝标准,是城市市政排水系统的下游接纳设施,包含排涝沟渠、田间排水设施、承泄区等。水利排水标准表达尺度包含降雨重现期、降雨历时、涝水排除时间、涝水排除程度,其中,水利降雨重现期与市政降雨重现期存在重现期选样方法、统计资料来源、统计计算方法、地表产流汇流理论的不一致,从而导致二者无法直接进行理论计算的衔接。但是,城市的雨水排水系统需要将市政排水标准的降雨排入水利排涝标准的沟渠或者河道中,如何有效地在计算中衔接二者的标准大小和流量关系是困扰工程技术人员的难题。通过对二者标准的理论梳理,指出两者的区别和适用性,同时通过利用 Infoworks ICM 模拟验证山西省长治市典型的城郊结合部河道工程,提出长治市市政雨水排水标准和水利排涝标准的对应关系,为类似高原盆地型城市的两标准统一提供参考。

关键词:市政雨水排水标准;水利排涝标准;Infoworks ICM

中图分类号: TU992.02

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)12-0127-05

0 引 言

近年来,随着强降雨天气的频发,我国城市受排水除涝不利导致的灾害现象逐渐增加。包括北京、天津、武汉、郑州等多个大中城市都发生过严重的城市内涝灾害,造成人员伤亡的同时带给城市巨大的经济损失。国家层面为了解决城市内涝问题大力推行海绵城市建设,并在 2 批海绵试点城市基础上又推行了 3 批全域海绵城市建设示范城市。海绵城市建设一定程度缓解了中小降雨的内涝问题,但是城市的严重内涝往往是超标准降雨造成的,例如郑州“7·20”降雨标准达到了 200 a 一遇,任何一个城市都不可能将城市大面积推行的市政雨水排水设施做到 200 a 一遇标准。实际上,当超标准降雨发生后,城市的市政排水设施在设计上就允许其处于满负荷运行状态,超标准的雨水是会造成城市积水的。当城市发生的 100 a 一遇以上的降雨时,城市排水设施甚至是城市的内河系统完全处于超负荷运转状态,这种降雨造成内涝和损失是必然的,通过加强城市

预警系统和提前关闭典型的风险区域等管理措施,可以降低这些超标准降雨造成的损失。

市政雨水排水系统作为城市的第一阶段排水系统,其服务于局部的小地块,对城市的降雨进行第一道排除。根据《室外排水设计标准》(GB 50013—2021),市政雨水排水标准是针对雨水管渠设计的暴雨重现期。该标准设定的出发点是保护城市的局部地块降雨积水快速排出,并且规定一个城市的不同地块根据地块的重要性可以设置不同的市政雨水排水标准。《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)规定城市一般地块的设计重现期多为 2~5 a 一遇,同时规定城市例如地下通道、下沉广场等重要区域的雨水设计重现期为 10~50 a 一遇。标准的选用根据汇水地区性质、地形特征、城镇类型和经济条件确定。该标准的制定主要是参考国外发达国家的设计经验以及综合考虑我国国情的基础上确定的。推理公式法中采用该标准进行雨水管的道理论计算,计算过程既不需要考虑局部地块低洼点的调蓄能力,也不需要考虑降雨强度在地块的不均匀分布,计算得到的雨量作为设计雨水管渠的依据,考虑地块水快速排放。因此该标准在计算过程中选用的降雨历时一般不超过 2 h。《室外排水设计标准》(GB 50013—2021)提出,当降

收稿日期: 2024-06-06

作者简介: 张佳奇(1991—),男,工学硕士,工程师,从事给排水设计工作。

雨汇水面积超过 2 km^2 时,需要考虑降雨不均匀分布和不同地块汇流特征,采用数字模型法来计算相应标准的市政排除雨水量。

降雨过程是一个复杂的过程,为了工程设计上便于利用,市政雨水排水标准的制定将降雨过程进行简化处理,针对短历时的降雨进行工程措施的快速排放。该标准的制定针对的是已开发的城市,这些城市需要建设雨水管网或设施时采用该标准进行理论计算,若为无市政雨水排水设施的城市开发边界、郊区和农村进行理论计算和设计,该标准并不适用。

水利排涝标准为市政雨水排水系统之后的承接排水系统,主要是雨水排口下游的排涝沟渠、河道和承泄区等。根据《治涝标准》(SL 723—2016)条文,水利治涝标准是保证涝区不发生涝灾的设计暴雨重现期。该标准用设计暴雨重现期、降雨历时、涝水排除时间和排除程度 4 个指标来进行表达。本文主要讨论其设计暴雨重现期。水利治涝标准是针对小流域范围(面积一般小于 50 km^2)的排水标准,其针对农田、城市、乡镇和重要场区进行分别规定。水利排涝标准的的选择与确定主要考虑涝区内发生涝水对相关对象的危害程度,危害程度高者取高值,反之取低值。在《治涝标准》(SL 723—2016)中,规定了农田排涝标准根据不同经济作物耐淹程度为 3~20 a 一遇,城市(市政雨水管网以外)排涝标准根据城市受涝危害和经济规模确定为大于等于 10 a 一遇。乡镇和村庄(无市政雨水排水系统)规定了排涝标准不宜大于 20 a 一遇。重要厂区的排涝标准根据行业标准进行确定。水利排涝标准计算过程考虑地块的洼蓄,同时考虑排涝设施本身的蓄滞能力。计算标准对应的降雨历时多大于等于 24 h。水利排涝标准计算方法多样平均排除法、排涝模数经验公式法、单位线法、水量平衡法、河网水力模型法。水利排涝标准按不同方法计算出来得标准流量在 24 h 甚至 3 d 内排除,使目标涝区的防护对象在排涝时间内降低至某一个不危害水位,减轻或排除涝区受益区的损失。

综上分析,水利排涝标准界定范围更加细致,在计算过程中更多考虑实际的洼蓄和自身调蓄,标准的制定更加全面和合理,针对不同的对象或者数据来源提出了多种水文学的算法,水利排涝标准系统要比市政排水系统标准更加完善。

根据上面的分析,虽然二者标准的出发点和内涵均差别较大,一般城市住建部门用市政排水标准进行市政排水设施的建设,水利部门用水利排涝标

准进行水利排水工程建设,但是因为工程上需要将市政雨水排水设施终端排入沟渠河湖等水利排涝系统或者承泄区,如何将二者标准从标准确定和流量及时排除上进行衔接是困扰工程人员的巨大难题。《治涝标准》(SL 723—2016)明文说明目前二者标准短期内无法达到统一。我国很多科研人员和工程技术人员对该二者标准统一衔接进行了较实用的研究并得到一些成果。

曹利军等^[1]提出了二者标准衔接方法的研究,指出衔接点为管网排入河道排口。刘俊等^[2]提出了管道排水标准和水利排涝标准存在 1 比 10~15 倍的定量关系。田娟等^[3]以合肥市为研究对象,提出二者大概具备 1 比 10 倍对应关系。陈金林^[4]研究指明了地形对地表径流影响巨大,地表径流对内涝排除和排洪道设置影响巨大,地形因素对标准的衔接影响巨大。华南理工大学黄国如^[5]教授团队对两者标准进行较为深入系统的研究,给出了标准衔接方法和方向。

虽然国内科研工作者提出了二者标准衔接的思路和结论,但同时也提出,二者标准^[6,7]的衔接针对不同的城市是不同的,故各个城市二者标准衔接统一均具备特有的意义。

从工程实际出发,采用国际通用的 Infoworks ICM 水力模型软件作为流域面积内的汇水计算工具,在模型中充分考虑地表高程模型和蓄滞因素,考虑地表的产汇流模型和时间空间的传递因素,搭建了长治市城郊结合部的排涝沟渠模型,同时耦合了汇水面积内的地块市政排水管网模型,通过模型的运行分析,得出适用于长治的二者标准衔接方法。

通过文献研究和标准研究,《治涝标准》(SL 723—2016)明确提出,衔接二者标准最好的办法是流量上的衔接和匹配。笔者依托某城市工程搭建模型,以市政排水排口处流量与沟渠排涝水文计算流量匹配上作为二者标准的衔接点。

1 水利排涝标准流量的计算

长治市地处山西省东南部,暖温带半湿润大陆性季风气候,从全市整体地形地貌来看,长治山峦起伏、地形复杂,总体呈盆地状。长治市城区地形呈东高西低,东部为老顶山,西部为漳泽湖。本次模拟的某河道工程东部发起于老顶山,海拔最高为 1 378.2 m,汇集流域汇水后向西排至漳泽湖。

该河道是浊漳南源的一级支流,利用 Arcgis 软

件分析区域地形资料,得到工程末端断面(长北干线桥)以上汇水面积 58.14 km²,河长 14.73 km。流域东部为老顶山森林公园,自然植被较好,森林覆盖率较高,西部为上党盆地平川区,大部分为耕种平地。流域整体地形东高西低,河源高程 1 360 m,河口处高程 899.0 m。本次模拟考虑该河道属于水利界定的小流域范围,水文计算方法采用综合瞬时单位线法和推理公式法。某河道流域范围如图 1 所示。



图 1 某河道流域范围图(自绘)

某河道现状河道的果园村上游已经消失,现状全部为耕地。

流域特征参数通过查询《山西省水文计算手册》附图 2 和附图 4 得到该流域的下垫面产、汇流地类。流域特征参数见表 1。

表 1 流域特征参数

断面	水文下垫面				汇水 面积 / km ²	主河道 长度 / km	平均 纵坡 / (m·km ⁻¹)
	产流 地类	面积 / km ²	汇流 地类	面积 / km ²			
1.计算断面一(桩号4+127)	a	1.8	A	3.92	6.12	4.6	8.1
	b	2.12					
	c	2.2	B	2.2			
2.计算断面二(桩号6+640)	a	6.8	A	11.4	21.2	7.3	6.8
	b	4.6					
	c	5.6	B	9.8			
	d	4.2					
3.计算断面三(桩号8+125)	a	6.8	A	11.4	27.4	8.8	6.5
	b	4.6					
	c	5.6	B	16.0			
	d	10.4					
4.计算断面四(桩号10+560)	a	6.8	A	11.4	41.0	10.9	5.4
	b	4.6					
	c	5.6	B	29.6			
	d	24.0					
5.计算断面五(桩号14+726)	a	6.8	A	11.4	58.14	15.2	4.5
	b	4.6					
	c	5.6	B	46.74			
	d	41.14					

注:a代表灰岩土石山,b代表灰岩灌丛山地,c代表灰岩森林山地,d代表耕种平地,A代表灌丛山地,B代表森林山地。

汇流计算采用综合瞬时单位线法和推理公式法分别计算。耕种平地在汛期农作物(以玉米为主)长势茂盛,且地形平坦,汇流条件接近森林山地;土石山根据实际情况,汇流地类按灌丛山地考虑,确定流域汇流地类为灌丛山地和森林山地,参数 C₂、m 结合实际情况取值。

(1)综合瞬时单位线法

计算参数 n,计算式(1):

$$n=C_{1,A}(A/J)^{\beta_1},C_{1,A}=\sum \partial_i \cdot C_{1,i},i=1,2\cdots \quad (1)$$

式中:A 为流域面积,km²;J 为河道比降,‰;C_{1,A} 为复合地类汇流参数;C_{1,i} 为单地类汇流参数;β₁ 为经验性指数;α_i 为某地类的面积权重,以小数计。

计算 m_{τ1},计算式(2):

$$m_{\tau 1}=C_{2,A}(L/J^{\frac{1}{3}})^{\alpha},C_{2,A}=\sum \alpha_i \cdot C_{2,i},i=1,2\cdots \quad (2)$$

式中:m_{τ1} 为 i_τ=1 mm/h 时瞬时单位线的滞时,h;C_{2,A} 为复合地类汇流参数;C_{2,i} 为单地类汇流参数;α 为经验性指数。

用交点法求解 τ 历时的平均净雨强 i_τ,式(3):

$$m_1=m_{\tau,1}(i_{\tau})^{-\beta_2}$$

$$S_n(t)=\int_0^t u_n(0,t)dt=\Gamma(n,m),m=t/k$$

$$u_n(\Delta t,t)=\begin{cases} S_n(t) & 0\leq t\leq \Delta t \\ S_n(t)-S_n(t-\Delta t) & t>\Delta t \end{cases}$$

$$\bar{i}_{\tau}=\frac{Q_p}{0.278A} \quad (3)$$

$$Q(i\Delta t)=\sum_{j=1}^M u_n(\Delta t,(i+1-j)\Delta t)\frac{\Delta h i}{3.6\Delta t}A$$

$$0\leq i+1-j\leq M\ j=1.2\text{ km}$$

式中:β₂ 为经验性指数;Δt 为计算时段,h;Δh 为时段净雨深,mm;A 为流域面积,km²;3.6 为单位换算系数;m 为净雨时段数。

(2)推理公式法

推理公式法联立方程组见式(4):

$$Qm=\left(\frac{0.278L}{mj^{1/3}\tau}\right)4$$

$$Qm=\begin{cases} 0.278\frac{h_t}{t}A,t_c>\tau \\ 0.278\frac{h_{R,P}}{\tau},t_c\leq\tau \end{cases} \quad (4)$$

$$Ht=H_p(t)-\mu t$$

式中:A 为流域面积,km²;L 为河长,km;j 为河流纵比降,‰;m 为流域汇流参数。

两种水文计算方法得出的 5 a 一遇、10 a 一遇、20 a 一遇、50 a 一遇、100 a 一遇的某河道水利排涝标准计算流量结果见表 2。

表 2 河段洪水成果表

控制断面	河段	汇水 面积 / km ²	洪峰流量 / (m ³ ·s ⁻¹)				
			5 a 一遇	10 a 一遇	20 a 一遇	50 a 一遇	100 a 一遇
1.计算断面 一(桩号 4+127)	0+000 ~ 4+127	6.12	7.3	13.2	22.1	37.0	46.9
2.计算断面 二(桩号 6+640)	4+127 ~ 6+640	21.2	16.5	29.6	49.2	80.7	109.6
3.计算断面 三(桩号 8+125)	6+640 ~ 8+120	27.4	18.5	33.0	55.1	91.0	123.8
4.计算断面 四(桩号 10+560)	8+120 ~ 10+430	41.0	22.7	40.7	67.7	111.9	152.4
5.计算断面 五(桩号 14+726)	10+430 ~ 14+581	58.14	25.3	45.4	75.6	125.1	170.1

经过上述水利排涝标准计算,得到了在图 1 中 5 个计算断面处的水利排涝标准流量数值。利用 Infoworks ICM 模型模拟壁头河河道,同理得出 5 个计算断面在不同市政排水标准处的流量计算数值。

2 Infoworks ICM模型市政排水标准的模拟计算

利用商业模型软件 Infoworks ICM 搭建某河道的排水模型,在该模型搭建的过程中,我们为了得到单纯的市政排水标准的流量数值与水利排涝标准数值进行比较,将河道进行简化处理,即将河道也看做市政管道,用模型汇水面积-节点-管道方式进行模拟。

首先,利用模型自带的高程 TIN 模型功能构建某河道的高程模型,在该高程模型的基础上,将壁头河沿线划分为各个节点,将河道汇水区划分为子集水区连接到节点处,通过不同市政排水标准的降雨数据进行模拟,导出不同标准的降雨流量数据。

模型搭建过程中采用长治新编暴雨强度公式如式(5):

q = 3 450.721(1+0.873 lg P) / (t+21.176)^0.847 (5)

式中:q 为暴雨强度,L/(s·hm²)²;t 为降雨历时,min;P 为重现期,a。

Infoworks ICM 搭建的某河道排水模型平面如图 2 所示。选用 1 a 2 h(1 a 一遇 2 h)、2 a 2 h、3 a 2 h、4 a 2 h、5 a 2 h、6 a 2 h、7 a 2 h、8 a 2 h、9 a 2 h、10 a 2 h、15 a 2 h、20 a 2 h、30 a 2 h 降雨数据进行模拟,降雨分布采用芝加哥雨型,芝加哥雨型曲线见图 3,数据见表 3。

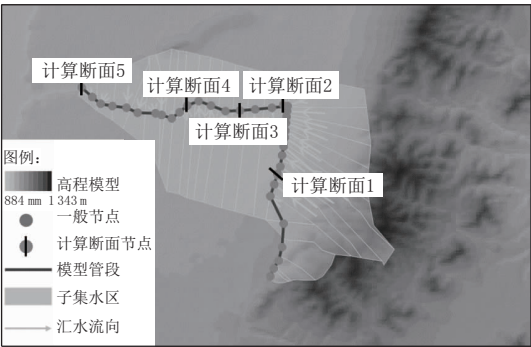


图 2 某河道排水模型平面图(自绘)

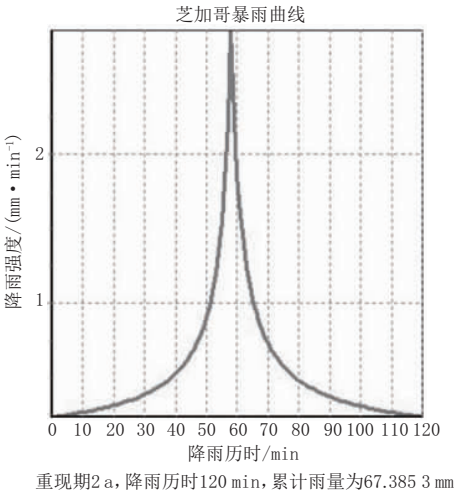


图 3 芝加哥雨型曲线图(自绘)

表 3 降雨雨型数据

时间/min	降雨强度 / (mm·min ⁻¹)	时间/min	降雨强度 / (mm·min ⁻¹)
0	0.240 2	8	0.265 0
1	0.243 0	9	0.268 6
2	0.245 9	10	0.272 3
3	0.248 8	11	0.276 2
4	0.251 8	12	0.280 2
5	0.255 0	13	0.284 3
6	0.258 2	14	0.288 6
7	0.261 6		

上述 13 个市政排水标准通过模型模拟计算出的 5 个计算断面处的流量结果见表 4。

根据模型结果,针对计算断面一,水利排涝标准 10 a 一遇相当于市政排水标准 1 a 一遇,20 a 一遇略小于市政排水标准 3 a 一遇,50 a 一遇略小于市政排水标准 15 a 一遇,100 a 一遇相当于市政排水标准 30 a 一遇;针对计算断面二,水利排涝标准 10 a 一遇略小于市政排水标准 2 a 一遇,20 a 一遇略小于市政排水标准 8 a 一遇,50 a 一遇和 100 a 一遇因汇水区的不均匀增加与市政标准无明显对应关系;针对计

表 4 典型断面计算流量结果表 单位:m³/s

序号	断面 1	断面 2	断面 3	断面 4	断面 5
1	13.39	20.90	30.95	37.24	36.59
2	19.36	30.13	45.25	56.27	59.50
3	23.07	35.88	53.89	67.62	74.66
4	25.78	40.11	60.26	75.67	86.08
5	27.91	43.47	65.33	82.04	95.17
6	29.73	46.27	69.55	87.36	102.69
7	31.27	48.68	73.13	91.92	109.07
8	32.62	50.78	76.37	95.93	114.58
9	33.82	52.67	79.21	99.51	119.45
10	34.90	54.36	81.77	102.73	123.8
15	39.14	61	91.85	115.41	140.59
20	42.22	65.87	99.17	124.65	152.53
30	46.65	72.85	109.74	137.95	169.32

注:1 对应标准 1 a-2 h;2 对应标准 2 a-2 h,余同。

算断面三,水利排涝标准 10 a 一遇相当于市政排水标准 1 a 一遇,20 a 一遇相当于市政排水标准 3 a 一遇,50 a 一遇略小于市政排水标准 15 a 一遇,100 a 一遇大于市政排水标准 30 a 一遇(受汇水区急剧变化影响大);针对计算断面四,水利排涝标准 10 a 一遇大于市政排水标准 1 a 一遇但小于 2 a 一遇,20 a 一遇相当于市政排水标准 3 a 一遇,50 a 一遇略大于市政排水标准 15 a 一遇,100 a 一遇大于市政排水标准 30 a 一遇(受汇水区急剧变化影响大);针对计算断面五,水利排涝标准 10 a 一遇大于市政排水标准 1 a 一遇但小于 2 a 一遇,20 a 一遇相当于市政排水标准 3 a 一遇,50 a 一遇略小于市政排水标准 10 遇,100 a 一遇相当于 30 a 一遇。

3 结 语

市政雨水排水标准和水利排涝标准内涵差别很大,不能直接定量匹配使用。水利排涝标准体系较市政雨水标准体系要更完善。本文仅从设计暴雨重现期参数进行统一,水利排涝标准同时包含降雨历时、涝水排除时间和排除程度。

流量可以作为衔接二者的桥梁之一但是并不是唯一的方法,应考虑除了流量以外,进一步考虑地形地势、汇水面积大小等多种因素融合的衔接方法。

从 Infoworks ICM 模拟结果对比分析可以看出,汇水面积的不规则变化和奇异型变化会影响到两者标准的对应关系。

长治市 10 a 一遇水利排涝标准对应于 1 a 一遇市政排水标准,20 a 一遇水利排涝标准对应 3 a 一遇市政排水标准,50 a 一遇水利排涝标准对应 10~15 a 一遇市政排水标准,100 a 一遇水利排涝标准对应大于等于 30 a 市政排水标准。

参考文献:

[1] 曹利军,徐曙光.城市排水与河道排涝标准的衔接计算方法探讨[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2012,12(3):16-18.
[2] 刘俊,俞芳琴,张建涛,等.城市管道排水与河道排涝设计标准的关系[J].中国给水排水,2007(2):43-45.
[3] 田娟,蒋兆英.市政短历时暴雨与水利 24 h 暴雨重现期探讨[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2014,14(3):17-20.
[4] 陈金林,李鑫,余建平,等.城市地表径流内涝关系与排洪道优化设计研究——以兰州市为例[J].灾害学,2024,39(2):6-11,20.
[5] 曾娇娇.市政排水与水利排涝标准衔接研究[D].广州:华南理工大学,2015.
[6] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].
[7] SL 723—2016,治涝标准[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com