

新规范城市下穿隧道排水泵站的设计

顾雨涵, 李佳钰

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300000)

摘要:通过中山东和路雨水泵站设计实例,对室外排水设计标准下穿隧道泵站设计作出解读:论证第二道横截沟设置的合理性,从而采用“高水高排”、横坡与纵坡相结合的收水方式进行收水,可有效减轻洪峰隧道最低点的收水压力;对设计汇水范围的划定、重现期的选取进行研究讨论,提出新的地面集水时间计算公式。除此之外,下穿立交雨水泵站规模应预留20%的安全空间,以有效降低水泵开始的台数,减少运营成本。最终针对内涝校核的要求,通过建立SWMM模型分别对10a、20a、30a重现期连续3h降雨下排水系统的能力进行模拟分析。结果显示,隧道内均未出现积水情况。开启一台水泵可以应对一年一遇的暴雨,两泵并联运行可应对重现期为5~10a的降雨,三台泵同时开启可满足内涝校核30a一遇的强降雨。针对不同工况进行模拟设计,减少了相同暴雨强度下泵开启的台数与次数,降低了后续运营与维护的成本,对其他工程设计具有借鉴意义。

关键词:下穿隧道;排水泵站;SWMM模型;工程实例

中图分类号: TU992.25

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)02-0130-04

0 引言

地下隧道的发展促进了我国土地资源的充分开发与利用,体现了节能环保的效益。然而,近年来,地下通道的洪水灾害时有发生。除了影响运输外,还可能造成人员伤亡。虽然地下通道的汇水面积较小,但其径流系数较大,急流和洪峰时段较大,导致流出量和洪峰流量增加。近年来,由于全球气候变化,地表降雨分布越来越不规则,极端降雨时有发生。因此,下穿地下通道的排水设计至关重要^[1-2]。由于汇水区域往往小于2 km²,因此采用公式推理计算隧道下雨水泵站的设计规模,排水量采用短历时暴雨强度公式计算。本文结合中山市东和路下穿地下通道段排水泵站工程实例,讨论下穿通道的收水形式,符合最新排水设计标准的相关设计参数的选取,进而最终确定雨水泵站的规模,建立SWMM模型模拟10~30a重现期下排水系统的过流能力与隧道积水情况。

1 道路收水形式的探讨

本次设计秉持“高水高排、低水低排”的设计理念,采取纵向边沟加横沟的方式进行收水。且采用成品一体式线性横截沟,施工方便,而且沟盖连体,既防盗又避免行车跳篦,保障行车安全,增加车行的舒

适性。另外,便于沉泥和清理泥沙。具体横截沟布置位置详见图1。

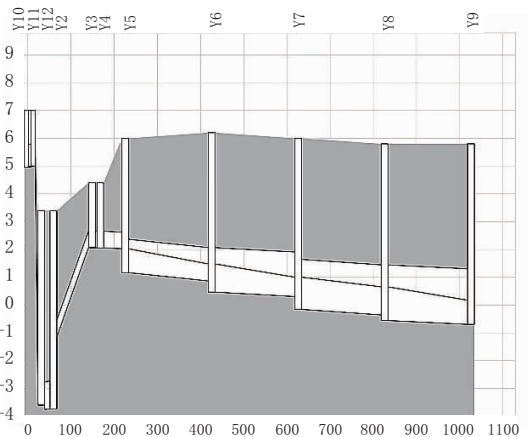


图1 最大雨量时排水系统的纵断面图

首先,在立交地道的驼峰后得进出口处布设横截沟的方式进行收水。第一道横截沟布设于驼峰后10m处,以截留上游跨过驼峰不在汇水面积区间内的客水。第二道横截沟布设于可以就近连接市政雨水管网的最低标高,可有效减少低降雨历时隧道底的收水水量和水泵的开启数量。第三道横截沟布设于道路纵坡突变后的5m处,以减轻地道底部的洪峰收水压力。最后,在隧道最低点布设两道横截沟,汇入地道两侧的0.5 m×0.5 m纵向边沟后进行统一收集排入雨水泵站。两侧敞口段采取同样的方式进行收水。

2 横截沟设置的合理性探讨

本次设计第二道横截沟布设于可以就近连接市

收稿日期: 2022-03-04

作者简介: 顾雨涵(1994—),男,硕士,助理工程师,从事市政给排水设计工作。

政雨水管网的最低标高,与外面雨水系统相连,一旦外面雨水通过第二道横截沟进入隧道,后果严重。因此,本次设计之前对隧道外排水模型进行模拟计算,探究第二道横截沟设置的合理性。本次模拟计算采用30 a一遇连续降雨3 h进行模拟计算,对排口末端涝水位标高作为固定水位简化处理。模拟结果如图1和图2所示。

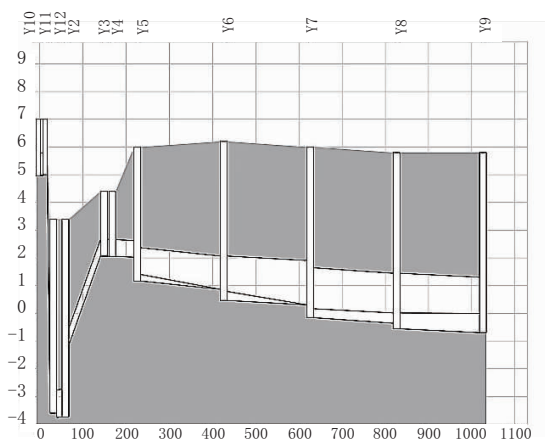


图2 模拟结束时排水系统纵断面图

图1为最大雨量时排水系统的纵断面图。结果显示,管网中的水位低于横截沟的出水管标高,说明外界系统的水并不会进入隧道内,隧道的安全性得到保障。

系统模拟结束时,排水系统管网的水位标高如图2所示。结果显示,由于对涝水位标高进行固定水位处理,模拟结束时外界排水管网中存有积水,但不会影响隧道排水系统,隧道内也无积水,证明了第二道横截沟设置的合理性。

3 泵站流量的计算

3.1 雨水设计的计算

当汇水面积不大于2 km²时,可采用推理公式法。雨水设计流量应按式(1)计算。

$$Q = \psi q F \quad (1)$$

式中: Q 为雨水设计流量,L/s; ψ 为综合径流系数; q 为暴雨强度,L/(hm²·s); F 为汇水面积,hm²。

中山地区暴雨强度公式如下:

$$q = \frac{1829.552(1+0.444 \lg P)}{(t+6.0)^{0.591}} \quad (2)$$

式中: P 为设计暴雨重现期,a; t 为降雨历时, $t=t_1+t_2$, t_1 为地面集流时间, t_2 为管渠内雨水流行时间,min,本次设计取 $t=t_1$ 。

3.1.1 暴雨重现期的取值

设计流量应根据雨水渠设计重现期确定。根据

集水区的性质、城镇类型、地形地貌特征和气候特点,从技术和经济两方面对雨水管道或渠道的设计重现期进行比较后按《室外排水设计标准》(GB 50013—2021)^[3]表4.1.3的规定取值。已知中山市为大城市,重现期应取20~30 a。近年来,我国郑州、武汉等城市遭遇强暴雨袭击,预期之外的降雨频发,引发严重内涝,中山市也有类似现象。因此,为保证隧道的安全运营,本工程设计重现期取规范上限值30 a。

3.1.2 径流系数的取值

国家现行《室外排水设计规范》规定,立体交叉道路径流系数取值宜为0.9~1。本次设计重现期较高,说明与低重现期降雨历时相比,相同时间内未进入管网雨量基本没变化,但总降雨量增大,将直接导致径流系数的增加。规范也有明确规定:采用推理法进行防内涝20~30 a设计校核时,宜将径流系数提高10%~15%。需要补充说明的是,虽然本次下穿立交的设计,设置了绿化侧分隔等低影响开发(LID)设施,但这些海绵设施在遇到强降雨时,往往表现不佳,降水基本形成径流,根据道路的性质进行加权计算径流系数显然是不合理的。且在进行城市内涝模拟时,往往忽略LID设施的影响,因此本工程地道排水设计综合径流系数 ψ 取1.0。

3.1.3 地面集水时间 t 的取值

地面集水时间 t_1 、地面坡度 i 、坡长 L 、地面截留系数与地面粗糙度 n 有关。下穿地道一般取2~10 min,取值范围较广。取值不同,最终会造成流量计算的偏差较大。鉴于地道设计各有特点,作者认为地面集水时间最好通过公式计算确定,之前地面集水时间往往采用公路排水规范中(9-1.4)的计算公式,与现行《城镇内涝防治规范》(GB 51222—2017)^[4](3.3.2-2)公式相比,地面集流时间的计算结果偏大,导致泵站设计规模偏小,不能快速有效应对强降雨。因此,本次设计参考现行《城镇内涝防治规范》公式进行计算:

$$t_1 = \frac{L}{60 k S^{0.5}} \quad (3)$$

式中: L 为地面集水距离,即驼峰至地道最低点的距离,m; k 为地面截留系数,用混凝土、沥青或砖石铺装的地面取6.19,未铺装地面取4.91; S 为地形坡度。项目具体参数见图3。经计算, t_1 (西侧)=6.75 min, t_2 (东侧)=7.71 min。

3.1.4 汇水面积的计算

汇水面积的大小与排水泵站的规模息息相关,汇

水面积过大,工程造价增加;过小则不能保证地道内排水的有效性。立交雨水泵站一般采用高水高排、低水低排,人为创造条件尽量减少客水流入低排水系统^[5]。通常在地道两端设置驼峰以阻止其他区域的雨水涌入地道,从而减少泵站负荷。驼峰之间敞开段道路的投影面积应计为汇水面积。

国家现行《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2019)第 5.2.7 条规定:雨水汇水面积按屋面的汇水面积投影计算,还应考虑侧墙高出屋面的侧墙面的雨水排到裙房屋面上^[6]。因此,将此类侧墙面积的 1/2 纳入其下方地面排水的汇水面积。具体如图 3 所示。

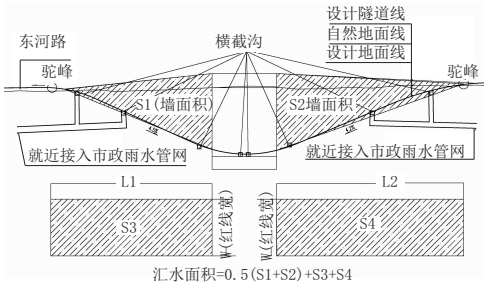


图 3 汇水面积图

因此,本次设计汇水面积 ΣF =东侧敞开段路面面积+西侧敞开段路面面积+0.5×(东侧侧墙面积+西侧侧墙面积)=1.075 hm²。

3.2 计算结果

根据上述取值原则,本工程计算的汇水面积 ΣF =1.075 hm², $\psi=1$,东侧段 $t_1=6.75$ min,西侧段 $t_1=7.71$ min。隧道内各段雨水量 $Q=731.9$ L/s。根据以往设计经验,雨水泵站的设计应预留 20%的安全空间,保证排水迅速。其次,考虑并联折损^[7]。除此之外,对于近年来全国各地极端暴雨频发的情况预留安全空间。国内上海市地标《城市排水泵站设计规程》(DG J 08—22—2018)第 4.1.1 条也有类似规定:雨水泵站设计流量宜按进水总管流量的 120%设计^[8]。因此,本次泵站设计流量为 878.3 L/s。进水总管管径为 1 000 mm。

4 泵站设计

隧道排水泵站的设计在整个排水系统中尤为关键,需要综合雨水泵站的选址、水泵类型、组合方式、数量、布置等来选择最适合本工程雨水泵站设计方案^[9]。

目前,潜污泵因其安装快捷、方便,简化建筑结构及泵站设计,减少土建,节约排水泵站总造价等优点更受设计人员的青睐。近年来的设计和运行数据也表明,潜污泵在排水泵站的实际应用中表现突出。

充分考虑实际运行时的工况对泵的选择至关重要,水泵频繁启闭往往是流量较小导致,推荐采用多台泵组合的配置方式。不同重现期泵站的设计流量见表 1。本次雨水泵房选择内设 350 WQ1100—10—45 潜水泵 4 台(3 用 1 备),水泵流量为 1 100 m³/h,扬程为 10 m;内设冲洗水泵 1 台,冲洗池边沉积物。

表 1 不同重现期泵站的设计流量

重现期/a	1($\psi=0.9$)	5($\psi=0.9$)	10($\psi=0.9$)	20($\psi=1$)	30($\psi=1$)
雨水量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	1 431.7	1 849	2 038.3	24 743	2 634.8
设计流量 $Q'/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	1 718	2 218.8	2 446	2 969	3 161.8

通过建立 SWMM 模型校核排水系统 10~30 a 重现期下 3 h 连续降雨情况下的排水能力。图 4 为 30 a 重现期下最大雨量时排水系统水量断面图。结果显示,即使在 30 a 重现期径流量最大时,隧道内路面和泵站提升后井的路面仍无积水产生,说明系统排水能力足以应对 30 a 暴雨重现期的校核。

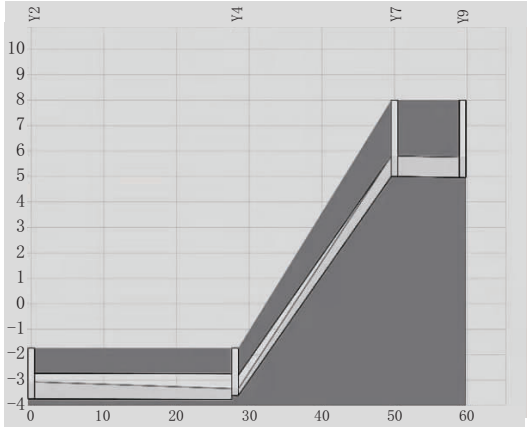


图 4 30 a 重现期下最大雨量时排水系统水量断面图

图 5 为不同重现期下排水系统外排流量曲线图。结果显示,在连续降雨 70 min 时,降雨量达到顶峰,不同重现期下系统的外排流量始终与径流总量维持在一个相对稳定的状态,隧道内雨水均可以快速有效地排出,排水系统足以应对 30 a 一遇连续 3 h 的强降雨。

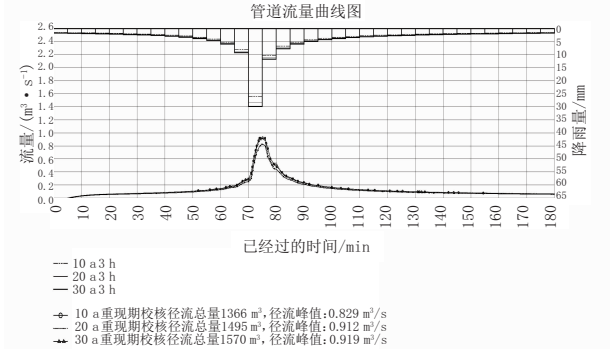


图 5 不同重现期下排水系统外排流量曲线图

雨水泵站设计剖面图如图 6 所示。水泵运行采用超声液位控制。针对不同液位智能控制泵开闭的数量。集水池有效调节容积为单泵 60 s 流量。

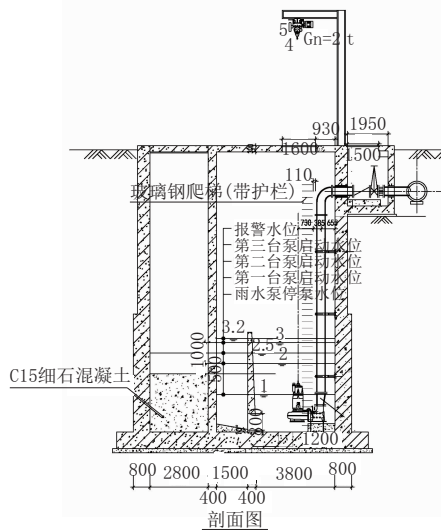
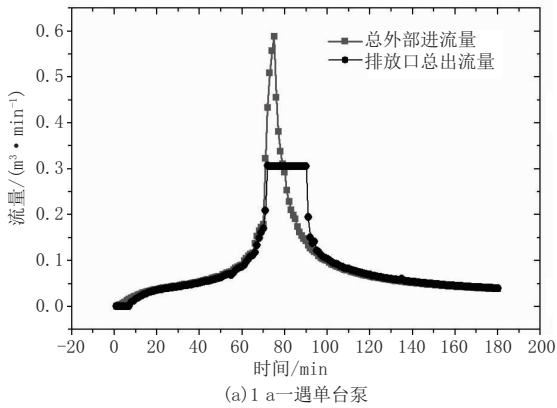


图 6 雨水泵站剖面图

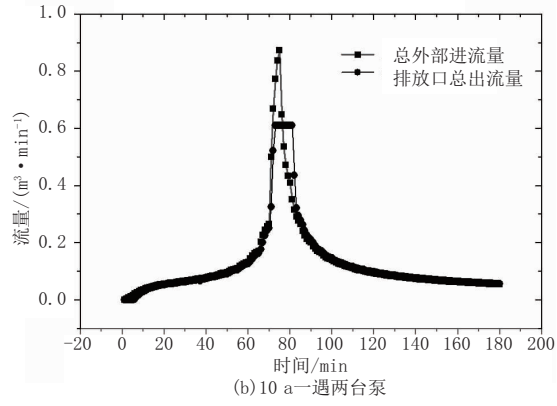
由于本次设计采用高水高排收水形式的设计,低降雨条件下,道路积水少,路面水流速较慢,驼峰后大约 55 m 降雨可被横截沟收集(详见图 3),排入市政雨水管网。

减少隧道的汇水面积,降低隧道底部的洪峰压力,从而减小泵的负荷。通过建立 3 h 连续降雨 SWMM 模型,具体不同工况系统总进流量和出流量随时间的变化曲线图如图 7 所示。

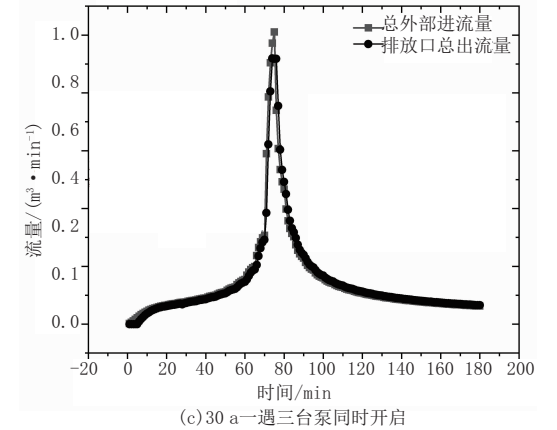
图 7(a)结果显示前 70 min 降雨,只启动一台水泵时,足以应对 1 a 一遇的小降雨;70~80 min 降雨量达到最大值,过流能力相对不足,泵房有一定水量的积累,但地面也没积水产生(若泵站规模不考虑 20%的预留空间,1 a 一遇开启单台泵与 10 a 一遇开启两台泵,在暴雨量最大时,隧道内水不能及时排出,路面会出现积水),但在 10 min 内随着降雨量的下降,排水逐渐通畅,进水量与排水量保持同步,隧道内的雨水被迅速排出。图 7(b)结果与图 7(a)类似,在 75~80 min 两台泵同时运行的过流能力,对应 10 a 一遇的强降雨略显不足,但在之后的 5 min 之内,随着降雨量的下降,泵房的水池内的积水被迅速排出,足以证明两泵同时运行可应对重现期为 5~10 a 的降雨。3 台泵同时开启结果如图 7(c)所示,可见在 3 h 的连续降雨时,泵站的排水能力与降雨量保持同步,隧道内的降雨可被有效排出隧道,3 台泵同时开启可满足内涝校核 30 a 一遇的强降雨。且针对不同工况减少了泵开启的台数与次数,降低了后续运营与维护的成本。



(a) 1 a一遇单台泵



(b) 10 a一遇两台泵



(c) 30 a一遇三台泵同时开启

图 7 系统总进流量和出流量随时间的变化曲线图

5 结 语

本文对中山市某地下隧道排水系统的设计进行阐述,结论与建议如下:

(1)近年来,内涝危害事件频发,下穿地道雨水设计重现期应本着安全、经济的原则按地区重要性合理确定,鉴于我国设计重现期较其他国家偏低,暴雨强度公式年限较久的重现期宜取规范上限值。内涝校核径流系数宜取 1。

(2)第二道横截沟设置的合理性需要论证与计算来确定,切不可盲目设置,增加隧道洪涝的风险。

(3)汇水面积除两侧敞开段道路面积外,还应将两侧侧墙面积的 0.5 倍计入。地面集水时间应通过地形坡度、坡长及地形截留系数计算确定。下穿地下通

(下转第 141 页)

出现错位。然后焊接制作筛子,筛子采用 60# 型重轨、160 mm 工字钢、160 mm 槽钢加工焊接而成(见图 7、图 8)。筛子安装时要选好角度,保证砂砾能够顺利滑落,同时还要保证砂砾过筛时间,底部留取装载机能够进入的铲料空间。采用此种形式每天能够筛分砂砾至少 1 000 t。



图 7 砂砾筛分图片

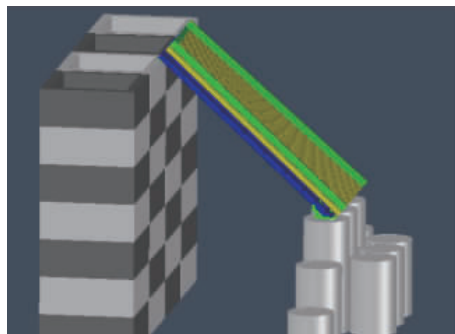


图 8 筛分平台三维图

6 结 语

本文通过对哈萨克斯坦公路项目在施工中遇到的常见问题,从环境、人员、机械、材料等方面阐述了一些解决措施,希望能够为初涉国外项目的企业提供一定的建议和参考,做到一定的预见性,帮助企业做到更好的决策,避免一些项目内部和外部的风险,保证项目能够顺利履约,在海外市场扎稳脚跟。

(上接第 133 页)

道泵站的流量规模还需预留 20% 的安全系数以应对近年来的极端暴雨情况,可在最高 10 a 一遇的暴雨条件下有效降低水泵开启的台数。

(4)以《室外排水设计标准》《城市内涝防治规范》为准绳,采取“高水高排,低水低排”的措施,本次设计通过建立 SWMM 模型对系统不同重现期下的排水能力、系统总进流量和出流量随时间的变化进行模拟分析。结果显示,只启动 1 台水泵时,足以应对 1 a 一遇的小降雨;两泵同时运行可应对重现期为 5~10 a 的降雨;3 台泵同时开启可满足内涝校核 30 a 一遇的强降雨。针对不同工况减少了泵开启的台数与次数,降低了后续运营与维护的成本,对其他工程设计具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 戴立峰,陈雄志,金溪. 基于 SWMM 模型的城市下穿隧道排水设计及校核[J]. 中国给水排水. 2014, 30(8): 45-48.
- [2] 高艳云,张焱臻,刘杰. 快速通道下穿段雨水工程设计讨论[J]. 中国设备工程. 2020(23): 199-201.
- [3] GB 50014—2021, 室外排水设计标准[S].
- [4] GB 51222—2017, 城镇内涝防治技术规范[S].
- [5] 戴立峰,陈雄志. 武汉市城市下穿隧道渍水分析[J]. 中国给水排水. 2016, 32(22): 103-107.
- [6] GB 50015—2019, 建筑给水排水设计标准[S].
- [7] 张培龙. 上海华翔路地道雨水泵站设计[J]. 中国市政工程. 2010(2): 37-39.
- [8] DBJ 08-22—2018, 城镇排水泵站设计标准[S].
- [9] 李媛. 深圳市莲塘隧道排水系统设计探讨[J]. 给水排水. 2015, 51(9): 36-39.