

特大暴雨情况下地下空间类项目排水设计的经验及教训

张 怡

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:近年来,极端天气频发,在面对特大暴雨情况下,地下空间类项目因其特殊性,往往水淹危险性高,一旦淹水很容易出现伤亡事件。因此,通过对“7.20”郑州特大暴雨发生时,郑州某地下空间类项目灾后实地走访,了解现场主要进水部位、受灾情况分析后,提出对于地下空间类项目排水设计的经验、不足及教训。

关键词:特大暴雨;地下空间;排水经验

中图分类号: TU992.02

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0101-05

0 引言

近年来,极端暴雨情况频发,2021年7月20日,郑州普降大暴雨、特大暴雨,根据郑州气象局的数据显示:郑州20日16时至17时,1h的降雨量达到了201.9mm;19日20时至20日20时,单日降雨量552.5mm;小时降水、单日降水均已突破自1951年郑州建站以来60a的历史记录^[1]。这场特大暴雨引发了各种严重的洪涝灾害,造成了难以估计的财产损失。

在特大暴雨的情况下,地下空间类工程项目损失尤其严重,发生了多处隧道被淹、地铁被淹、小区车库被淹等灾害,造成了人员伤亡及巨大的财产损失。现以郑州某地下空间综合体项目为例,结合“7.20”特大暴雨后灾情分析,对于地下空间类项目的排水设计提出经验及教训。

1 工程概况

该项目是集地下公共步行空间、公共停车库、地下车库联络道、综合管廊等多种功能于一体的大型地下空间开发工程;因项目与周边构筑物(如博物馆、大剧院、演播厅等)和交通道路联通,使其具有空间重叠、多重功能及设施综合等特点。

项目主体部分共三层设置(参见图1),其中地下一层为公共步行空间与下沉广场,建筑面积约

111 621 m²;地下二层为车库联络道,全长为3.3 km;地下三层为城市综合管廊,全长约5.3 km;地下公共停车库设置于主体北侧文化广场下方,地下三层设计,总建筑面积约101 964 m²。

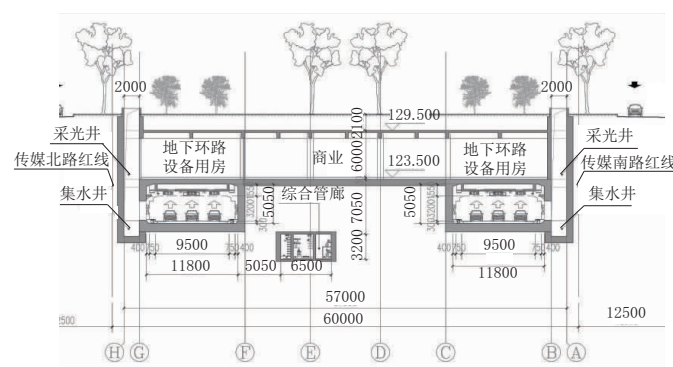


图1 主体建筑横断面图(单位:mm)

2 受灾情况分析

2.1 主要进水部位分析

“7.20”郑州特大暴雨发生时,该项目已基本竣工,仅剩部分后期商业装修未完成,周边地上建筑正在同步土建施工中。而在地下空间综合体的各个区域均有不同程度的雨水倒灌情况发生,主要进水部位分析如下:

- (1)地下公共步行空间(商业):露天下沉广场、露天风井、露天楼梯间进水(见图2、图3)。
- (2)地下车库联络道:对外汽车坡道(见图4)。
- (3)地下综合管廊:引出线口、投料口等(见图5)。
- (4)地下公共停车库:对外汽车坡道。

2.2 受灾财产分析

- (1)装修方面,对于不少已经完工的部位均造成

收稿日期: 2023-03-30

作者简介:张怡(1990—),女,本科,工程师,从事给排水工程设计工作。



图2 下沉广场积水之实景



图3 露天风井之实景

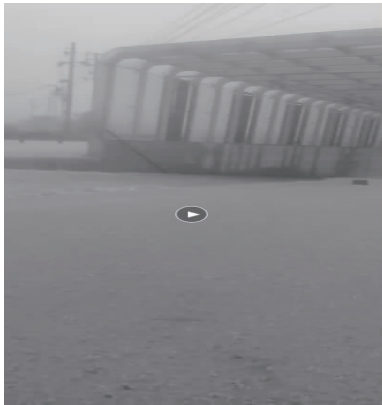


图4 坡道出入口暴雨倒灌之实景



图5 管廊引出线口暴雨倒灌之实景

了不同程度的影响,包括各种装饰材料变形,防火门变形;墙面受潮、掉皮,发霉,大量淤泥进入地下空间内,人工铲除花费巨大的精力(见图6、图7)。



图6 搪瓷钢板变形之实景



图7 腻子、涂料受潮、掉皮之实景

(2)设备安装方面,多数雨水泵房被淹没,泵房内的配电柜有不同程度的损害。特大暴雨情况下,仅靠常规50 a一遇设计的雨水泵房已无法及时排除如此大量的雨水,大量设备受损,无法使用(见图8、图9)。



图8 雨水泵房内设备受损之实景

3 设计上的总结和思考

3.1 设计标准

根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2021)的4.1.3条及《建筑给水排水标准》5.3.12条,对于地下空间类项目的下沉广场、出入口坡道等,设计均按暴雨重现期50 a一遇的标准进行设计,施工图设计于2017年,暴雨强度公式采用郑州市2002年修订公式、2013年华北水利水电学院修编的公式进行计算:

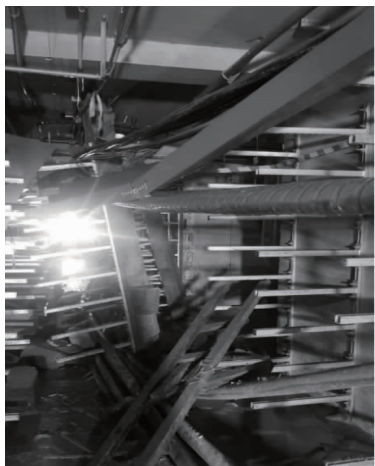


图9 管廊内支架、桥架等受损之实景

(1)郑州市2002年修订公式:

$$q = \frac{238.7(1+0.257 \lg P)}{(t+10.605)^{0.792}} (\text{L/s} \cdot \text{hm}^2)$$

(2)郑州市2013年华北水利水电学院修编的公式:

$$q = \frac{611.3(1+0.812 \lg P)}{(t+23.9)^{0.935}} (\text{L/s} \cdot \text{hm}^2)$$

式中:重现期 $P=50\text{ a}$ 。

降雨历时: t_1 为地面集流时间, t_1 取 5 min ; t_2 为管道内雨水流行时间, min , t_2 取 0 。

则暴雨强度取大值,按照华北水利水电学院修编的暴雨强度公式计算得:

$$q=626.34 \text{ L/s} \cdot \text{hm}^2$$

下沉广场、地下出入口雨水计算流量 Q :

$$Q = \Psi q F (\text{L/s})$$

式中: Ψ 为径流系数,敞开处 $\Psi=0.90$; F 为汇水面积, hm^2 。

因多台水泵共用一根出水管的互相影响,各类雨水泵房配泵流量为 $Q_{\text{泵}}=1.2Q$ 。

3.2 排水系统设计

3.2.1 土建排水措施的设计

土建排水措施包括坡道驼峰、挡墙、敞开楼梯间向上踏步、排水沟等。这些措施设置的主要目的是通过设置土建措施,拦截客水汇入地下空间,同时通过排水沟等,可以做到有组织排水,使雨水尽快地流入设置的雨水集水池内,排至室外。

该项目主要通过设置以下具体的土建排水措施,拦截客水汇入地下空间:

(1)地下商业的下沉广场,地面四周挡水高度距室外地面均不小于 500 mm ;

(2)敞开楼梯间出地面踏步均高出邻近地面不少于 500 mm ;

(3)楼梯间出入口标高高于防洪水位 1 m 以上;

(4)各个汽车出入口坡道均设置不小于 300 mm 的驼峰。

此外,在每处下沉广场、敞开楼梯间平台、汽车坡道处均设置了满足 50 a 一遇暴雨强度容量的排水沟,对雨水进行有组织的快速排放。

3.2.2 雨水泵的设计

考虑到地下空间项目,水淹危险性高,一旦淹水很容易出现伤亡事件,故对于地下车库联络道及地下公共汽车库的坡道、地下商业的下沉广场等开口面积较大的部位,按暴雨强度 50 a 一遇的标准考虑,均配置雨水泵,并设置备用泵。备用泵在极端天气的情况下也能启动,启动时能满足暴雨重现期 100 a 一遇的降雨量。同时,雨水潜水泵均有不间断的动力供应。

3.3 设计上的不足及改进想法

经过现场灾情后实地走访,对于该项目设计上的不足及改进,总结下来有以下几点:

(1)敞开楼梯间及风井过多,造成大量雨水由此灌入。

在项目设计初期,为了周边景观考虑,设置了大量的敞开楼梯间与风井。平时,比起有盖楼梯间及侧开百叶的高风井而言,这种设计确实可以将出地面建筑物藏匿;然而,面对特大暴雨这种极端天气的情况,仅靠楼梯间下的潜水泵的排水能力已远远无法满足。在该项目8个标段的施工单位的反馈中,均反映了敞开楼梯及风井的进水问题。

因此,在今后类似的项目中,应积极与建设方等沟通协调,在满足城市美观的同时,通过设置有盖楼梯间及风井,可以极大地避免这一情况发生;有盖楼梯间可以通过设置玻璃幕墙、绿化等方式,与周边环境相融合。这不仅是排水专业需要思考的问题,同时也需要建筑专业的辅助。

(2)各汽车坡道出入口驼峰高度不足,造成大量雨水由此灌入。

虽然设计时已按 300 mm 设置驼峰高度,但鉴于该项目周边均为同步开发的工地,很多出入口的现状路面标高与最终设计完成路面的标高并不一致,故而在灾情发生时,大量雨水通过车库坡道灌入地下空间内。在其他类似项目中,也能碰到此类情况,地下隧道设计单位与地面道路设计单位不是一家,对于接地点驼峰高度的设置往往会成为被人遗漏的“三不管”。

因此,从设计的角度而言,除了做好与各家设计

院的对接工作外,也可以通过增设一些措施来增加安全系数。例如,增加可活动挡水板(见图10)。挡水板的高度可根据现场雨水情况设置,防汛期间安装方便、快捷、使用周期长;此外,运营单位根据现场情况配合沙袋进行防汛,当特大暴雨发生时,应拦截出入口坡道,防止人员进入。



图10 活动挡水板之实景

(3)配电柜设置较低,受灾情况严重。

各坡道出入口的雨水泵房内配电柜均为就地放置,特大暴雨发生时,因配电柜被暴雨整体淹没,而无法运行(见图11);同时,施工现场人员也反应,因为大量配电柜及电缆均浸泡在水中,为防止触电等二次次生灾害,面对大量倒灌进入地下空间内的雨水,最后选择直接关闭了总电源,放弃使用水泵进行强排。

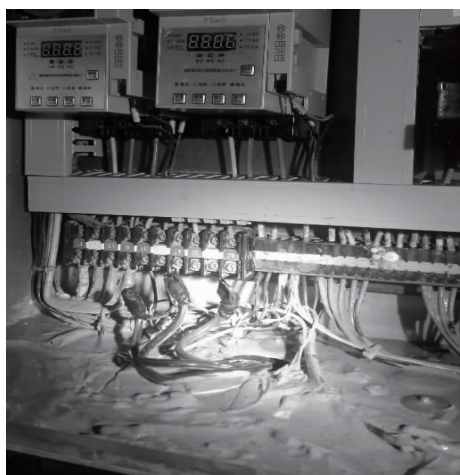


图11 被浸泡后的配电柜之实景

目前设计配电柜采用的防护等级为IP55,可做到防尘、防湿气及防溅水,而要达到防水浸泡、水淹,防护等级需达到IP67(尘密、防水浸)、IP68(尘密、防水淹),目前市面上此类产品很少见。故而,从设计角度而言,可考虑将配电柜抬高,从落地放置调整为挂墙设置,或者直接将配电柜设置在室外地面上,与地面景观协调配合,保证配电柜不受水淹,从而保证排

水泵站的可靠性。

(4)在容易积水的部位缺少液位计,中控室对积水点雨水量无法估计。

常规设计仅在雨水泵房、废水泵房等水泵房的水池内设置液位计,在中控室内能看到的是水池内的水位。然而对于某些容易积水的部位,如管廊管线引出口、下沉广场、隧道最低点处缺少实时的液位计量。根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中的5.10.9条,下穿立交道路宜设置积水自动监测和报警装置,该项目中的地下车库联络道与下立交类似。因此,通过增设积水自动监测装置,可将其结果通过信息控制系统上传至LED智能报警系统或声光报警系统,从而实现水位变化检测、积水智能报警、信息发布和远程监控指挥,做到提前预警和警示。如果当积水水位达到20 cm时,且无有效手段可使水位下降,则应采取限行措施;当积水水位达到25 cm时,且无有效手段可使水位下降,则应采取封闭交通措施,保证人身财产的安全^[2]。同时,通过设置此套系统,也可实时观察,通过对水位上升速度的判断,做好预案,及时备好防洪沙袋等措施,防止灾情发生。

(5)部分场地出入口位于洼地,其他地块雨水倒灌进入地下空间。

根据灾情发生后实地走访发现,部分楼梯间位置选择不合理,处于洼地,虽然设置了不少于500 mm的出地面踏步,但在灾情发生时,周边地块因场地偏高,雨水均流入周边洼地,500 mm的高差已远远不足以抵挡特大暴雨发生时的积水量。故而,在选择建筑出入口的时候,除了满足消防疏散的要求,室外场坪的标高也需要同时考虑。各个出入口应选择周边场地较高的地坪处,同时标高应高于防洪水位1 m以上。

4 施工及管理上的不足及思考

除了设计上的部分不足,通过现场走访发现,施工及管理上也有一些不足,具体如下:

(1)土建施工一标反应,有大量的雨水从广播电视塔的工地汇入,原因是广播电视塔的雨水把该项目的施工围挡的挡土墙冲塌,又因雨水混合土方且水量大,导致该项目地下车库联络道内的抽排系统失效、无法运转,且通过车库联络道与综合管廊之间预留的施工洞,再次流进地下综合管廊内,造成地下综合管廊水淹以及地下综合管廊抽排系统失效及无法运转。造成这种情况的原因,除了特大暴雨造成的

客观条件,挡土墙的质量及雨季是否及时地修补也是一个重要因素。

(2)施工现场绿化填土改变原始地貌,从而影响了水流汇集,存在部分出地面附属结构挡水墙距现状地面高差过低,不能满足要求。此条与前文提到设计上不足中的第二条类似,因施工场地的不断变化,临时地坪的场地标高无法满足最终设计的场坪标高,在雨季就容易发生次生灾害。故而对于此类情况,因对其加盖临时雨棚,对现状临时场地增设截水沟等补救措施,尽量弥补临时场地标高较低所造成的不利影响。

(3)部分地面道路未完工,未敷设市政雨水管线,造成部分雨水泵房启动后无排水出路。此条与上一条类似,也是缺少施工时期临时措施。鉴于地下车库联络道的坡道在雨季加设雨棚已不现实,故而对于此类情况,应为这些泵房考虑设置临时排水系统。通过在未完成的场地上浅埋敷设钢管,将雨水泵房内的雨水排至室外。

(4)大量的雨水泵无法自动开启,只能人工就地开启。“7.20”特大暴雨发生时,该项目已处于后期收尾,准备验收阶段。然而却依然有大量的设备没有调整到自动档,只能靠人工手动就地开启。降雨期间持续时间长,若所有水泵均调整至自动档,在中控室内则可随时观察水池内水位的下降速度,及时提出应急响应方案。当人为意识到下大雨时,再去就地开启水泵已为时已晚。

(5)此次降雨持续时间较长,“7.20”特大暴雨期间,周边区域断电,对整体区域有条件组织抽排水工作带来不便,防汛应急预案针对的物资、设施、设备(尤其是自主备用动力电源、大功率的抽水泵)储备级别不足。根据国务院灾害调查组出具的《河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告》可见,在面对如此灾

情时,相关部门的监管不力,预案准备不到位,都会加剧受灾程度^[1]。

5 结 语

防洪的原则,应以防为主,防、堵、排、救相结合,小汛不进,大汛可排,特大汛能救。面对特大暴雨,地下空间类项目靠人们简单以为的“排”压根无法自救,规范中的50a一遇设计标准仅可满足常规的降雨过程,而为了特大暴雨发生的情况,随意地提高标准,加大水泵流量也是不经济且不合理的。从这一次灾后实地采访中可以发现,在面对特大暴雨这种极端天气情况时,往往在设计和管理中忽视了“防”和“救”。

“防”包括设置各类封闭楼梯间,将出入口设置在地面、加高驼峰高度等措施,《建筑给水排水与节水通用规范》(GB 55020—2021)中的4.5.17条明确:连接建筑出入口的下沉地面、下沉广场、下沉庭院及地下车库出入口坡道,整体下沉的建筑小区,应采取土建措施禁止防洪水位以下的客水进入这些下沉区域。这就是“防”在地下空间类项目排水设计中的最新规范要求,而这条往往需要土建专业一起配合才能实现,这是每一个排水设计人员应在今后的工作中密切注意的一条,有时候“防”往往比“排”更重要。

“救”包括设置积水监测装置、抬高配电柜高度、设置活动挡水板、设置沙袋,封闭交通措施等。“救”这条不仅仅需要设计上的优化,更需要监管和管理部门的共同协作。

参考文献:

- [1] 国务院灾害调查组.河南郑州“7·20”特大暴雨灾害调查报告.
- [2] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].

(上接第56页)

参考文献:

- [1] 侯海方.板桁组合钢桁梁桥受力特性及整体节点细节构造分析[D].兰州:兰州交通大学,2015.
- [2] 彭振华.三桁刚性悬索加劲钢桁梁关键技术研究[D].上海:同济大学,2007.

- [3] 小西一郎.钢桥 第三分册[M].北京:人民铁道出版,1980.
- [4] 秦竟熙,张明金,李永乐.大跨度公铁两用斜拉桥板桁主梁受力特性研究[J].桥梁建设,2014,229(6):46-51.
- [5] 燕飞.正交异性钢桥面板工地接头的疲劳性能研究[D].北京:北方工业大学,2018.