

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.009

城市轨道交通区间排水泵房的设计

李思慧^{1,2}, 程方¹, 周金忠²

(1. 天津城建大学 环境与市政工程学院, 天津 300384; 2. 中铁第六勘察设计院集团有限公司, 天津 300308)

摘要: 针对目前地铁区间排水泵房的常规合建式泵房以及新型内置式泵房两种设计方案, 结合徐州和宁波两地的工程实例进行探讨。综合分析了潜污泵的水力计算、泵房方案的设计思路、集水坑的设计尺寸等, 并对比了两种方案在土建施工风险、结构稳定性、相关设计专业影响、工程投资以及后期运营维护等方面的优缺点, 工程中需结合具体实际情况选取不同方案。新型内置式泵房为城市轨道交通区间排水泵房做出了更为灵活的设计, 但还需要不断总结和完善设计技术。建议若非遇到区间隧道地质条件差、富含水、设置联络通道的施工风险性极大的特殊地段, 应尽量避免选择新型泵房的设计方案。

关键词: 城市轨道交通; 排水设计; 区间排水泵房

中图分类号: TU984 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0056-05

Design of Section Drainage Pump House in Urban Rail Transit

LI Si-hui^{1,2}, CHENG Fang¹, ZHOU Jin-zhong²

(1. School of Environment and Municipal Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China; 2. China Railway Liuyuan Group Co. Ltd., Tianjin 300308, China)

Abstract: At present, there are two design schemes for section drainage pump house in metro area: the conventional co-built pump house and the new built-in pump house, and their applications in Xuzhou and Ningbo were discussed in combination with engineering cases. Hydraulic calculation of the submersible sewage pump, design idea of the pump house scheme and design size of the sump were comprehensively analyzed, and advantages and disadvantages of the two schemes, such as civil construction risk, structural stability, related design professional influence, project investment and later operation and maintenance were compared. Different schemes should be selected according to the actual situation. The new built-in pump house provided a more flexible design for the drainage pump house in urban rail transit section. However, it still needs to summarize and improve the design technology. It was suggested that the design scheme of a new pump house should be avoided as far as possible unless a special section with poor geological condition, rich water and great construction risk of setting up a contact passage was encountered.

Key words: urban rail transit; drainage design; section drainage pump house

在轨道交通中,由于线路区间较长,为保证隧道内正常排水,区间排水泵房一般设置在线路纵断面的最低点位置,兼顾区间联络通道与区间排水泵房相结合,其主要设计目的:①当列车位于区间段

遭遇火灾等灾害、事故停运时,可供乘客由事故隧道向无事故隧道安全疏散使用;②主要排除地下区间结构渗漏水、隧道冲洗水和消防废水。但地下区间联络通道及泵房的施工是整个区间施工的重、难点,

安全风险比较大。当联络通道遇到富含水、稳定性差的软弱地质时施工质量难以控制,加固效果一旦达不到标准,施工期间很容易造成隧道坍塌^[1]。为此,在合理设置区间废水泵房的有效容积的同时,更为灵活的设计也被不断提出。近年来,一种在隧道轨行区设置的新型内置式水泵方案应用在天津、宁波、广州等城市的部分线路^[2]。笔者通过对设计过程中常规情况下区间泵房设置与新型内置式泵房设置进行对比分析,探讨区间废水泵房的设计。

1 区间潜污泵水力计算

1.1 区间排水量的计算

区间废水主要源于地下结构渗漏水、隧道冲洗废水以及消防废水。排水泵的总排水能力,应按照三者之和来确定。根据《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014):“地铁地下车站室内消火栓设计流量不应小于 20 L/s,区间隧道不应小于 10 L/s”,冲洗废水及消防废水排水量与用水量相同,区间隧道消防废水量为 36 m³/h。虽然按照《地铁设计规范》(GB 50157—2013)要求:“隧道工程中漏水的平均渗漏量不应大于 0.05 L/(m²·d),任意 100 m² 防水面积渗漏量不应大于 0.15 L/(m²·d)”,但是根据董飞等^[3]的北京地铁专项检测数据:实际运营期间区间隧道的渗漏水与标准值平均相差 0.5~1.0 倍左右,超过规范要求,从而引起 77% 的隧道病害。这是由于盾构隧道变形所引起的管片张开以及错台导致防水密封垫失效,从而引起隧道地层中存在积水点,导致隧道区间中的结构渗漏水情况严重。考虑到偶然发生的渗漏水、事故水等水量增大的情况,为避免结构渗漏水对区间隧道的危害,建议在正常情况下区间排水量约为 40~50 m³/h。

1.2 区间潜污泵的设置及水位控制要求

区间主排水泵站通常设置两台排水泵,每台排水泵的排水能力应大于最大时排水量的 1/2,平时一用一备,必要时两台水泵同时启动工作,每台水泵流量可选用 20~40 m³/h。以设置两台水泵为例,废水池内应设置四个水位,分别为:低报警水位、停泵水位、第一台水泵启动水位、第二台水泵启动水位兼高报警水位。水位控制要求为:①当水位低至低报警水位时,控制回路应保证两台水泵均处于停止状态,同时发出水位过低警报。②当水位达到停泵水位时,两台水泵均能停止工作。③当水位上升达到第一台水泵启动水位时,第一台泵启动。④当水

位继续上升达到第二台水泵启动水位时,第二台泵启动,控制回路保证两台水泵均处于工作运行状态,并发出报警信号。一般停泵水位取决于不同类型的水泵吸水喇叭口的安装高度以及叶轮的淹没深度,确定停泵水位应该满足不高于集水池最高水位和集水池有效容积的最低水位,同时要满足管道、泵站养护管理所需要的最低水位。潜污泵的停泵水位不仅需要保证废水淹没泵壳顶部,还需要考虑水泵抽水过程中水流形成的漩涡致使水位降低,从而对水泵运行造成的影响。因此如果仅以泵壳顶部确定最低水位可能会导致水泵抽气不抽水,造成水泵的空载运行。水泵的工况性能决定了停泵水位的高度,张远东等^[4]通过调研发现:目前国内水泵厂家同规格水泵的停泵水位相差很大,建议尽量选取性能优良、停泵水位较低的水泵,合理降低集水池的无效水深,减少向下开挖深度。

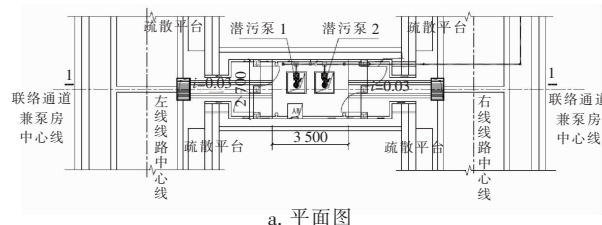
2 常规情况下区间废水泵房的设置

2.1 泵房设计思路

常规情况下区间废水泵房设计思路是:隧道区间的废水、雨水经排水沟收集后汇聚至区间联络通道兼废水泵房下方的集水池,再由池内潜污泵提升,压力废水管经过区间行车方向右侧引至相邻车站后排出地面,消能后接入市政排水系统中。

2.2 废水池尺寸设计

影响区间废水泵房设计的主要因素是区间总排水量及潜污泵性能参数。按照《地铁设计规范》,区间排水泵房集水池的有效容积不应小于最大一台排水泵 15~20 min 的出水量。以单台潜污泵流量为 25 m³/h 为例,集水池有效容积为 6.25~8.33 m³。综合考虑除隧道区间过水下区域以外,一般盾构区间主废水泵站集水池有效容积不应小于 15 m³,非盾构区间集水池有效容积不应小于 20 m³。当然不同城市有不同选择,不同设计院甚至不同设计者设计方式都不尽相同,以徐州地铁某线路为例,常规下区间废水泵房设置见图 1,集水池尺寸 2 700 mm × 3 500 mm,水池进水管至池底高度 2 500 mm。



a. 平面图

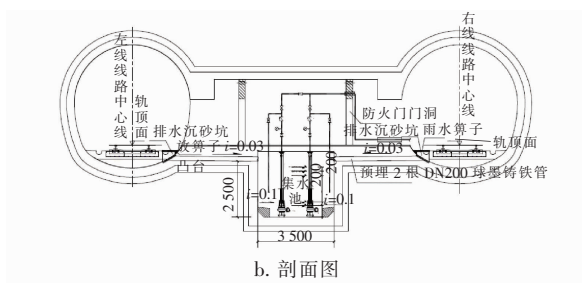


图1 常规情况下区间排水泵房的设置

Fig.1 Setting of section drainage pump house under normal conditions

3 新型内置式废水泵房的设置

3.1 泵房设计思路

内置式泵房的设计思路是:取消线路外侧废水泵房,改为在轨道结构内部设置“内置式”废水泵房。其形式为在线路最低点的左、右线分别独立设置,利用轨道下方空间,在道床中心设置长条形集水坑并内设排水泵进行排水,以取代传统区间联络通道下方的集水池。区间废水、雨水由排水沟收集后排入隧道道床内集水坑,再由潜污泵提升至相邻车站排出地面,消能后接入市政排水系统中。

3.2 集水坑尺寸设计

由于轨道下方空间狭小,为避免对轨道的影响,需要尽量减小内置式泵房容积,为压缩集水坑有效容积,考虑增加水泵数量,经过计算可得出泵房有效容积(见表1)。

表1 废水泵房有效容积计算

Tab.1 Calculation of effective volume of wastewater pump house

单台水泵流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	水泵数量/台	泵房有效容积/ m^3	水泵扬水管流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
25	2	6.25 ~ 8.33	0.54
20	2	5.00 ~ 6.67	0.43
15	3	3.75 ~ 5.00	0.33
10	4	2.50 ~ 3.33	0.22
10	5	2.50 ~ 3.33	0.22

由表1可知,区间排水泵流量越小,由于压力排水管经过区间隧道的路径较长,水泵管径流速会降低,影响提升效果;若选用小管径,则会造成轨道阻力损失增大,导致水泵扬程增大,会影响水泵的运行效果。同时,也有学者证明^[5]:水泵台数的增加会导致水泵运行的实际工作点偏离水泵运行高效区的情况,从而导致水泵叶轮以及轴承的磨损。为此建议选用流量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 的2台潜污泵,泵房有效容

积为 $5.00 \sim 6.67 \text{ m}^3$ 。以宁波地铁某线路为例,考虑到道床下尺寸、轨道布置以及泵房容积等综合性因素,结合轨道专业设计情况,内置式泵房平面设置如图2所示,区间集水池有效容积为 5.76 m^3 。道床中心可设计集水坑尺寸为 $800 \text{ mm} \times 14\,400 \text{ mm} \times 570 \text{ mm}$ 。结合当前国内外水泵的性能参数以及轨道下最大使用高度,该线路选用质量小、尺寸小、性能优良,同时自带冷却系统的潜污泵,确定水位控制高度为:以池底标高为 0.00 ,停泵水位为 300 mm ,一泵水位为 500 mm ,二泵兼高报警水位为 800 mm 。

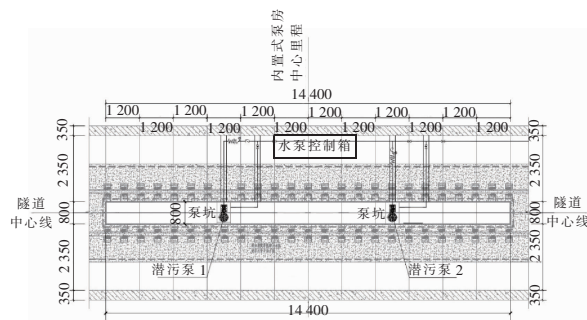


图2 内置式泵房给排水平面布置

Fig.2 Water supply and drainage layout of the built-in pump house

受轨道高度影响,常规道床内集水坑最高可使用的标高为 600 mm ,选用潜污泵高峰时期水位为 800 mm ,集水坑无法满足区间潜污泵安装要求以及吸水高度,所以需要在潜污泵位置处单独设置泵坑,尺寸为 $480 \text{ mm} \times 800 \text{ mm} \times 230 \text{ mm}$,使得水泵处总高度为 800 mm ,满足水泵吸水及水位控制要求。集水池泵坑处布置如图3所示。

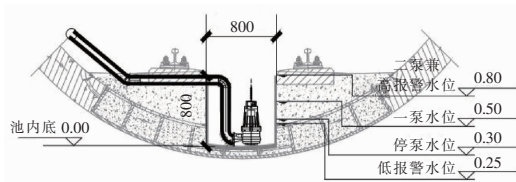


图3 内置式泵房布置

Fig.3 Layout of built-in pump house

3.3 泵房结构设计方案

考虑到水泵设备安装的空间要求,对区间泵房结构进行特殊设计,即在泵房位置处采用钢筋混凝土管片+钢管片组合的复合式衬砌结构,其余位置则采用全环普通钢筋混凝土衬砌环,封顶块F位于隧道正上方顶部,钢管片位于隧道正下方底部。如图4所示,圆环水平中心线位置环宽均为 1.2 m ,管

片厚度为 350 mm,底部集水坑处钢管片厚度为 100 mm,上面设置四个 6.8 级 M18 螺栓,拆除后底板内涂两层 20 mm 厚防水砂浆保护层,泵房内壁用硫铝酸盐微膨胀水泥填充进行结构防水处理。

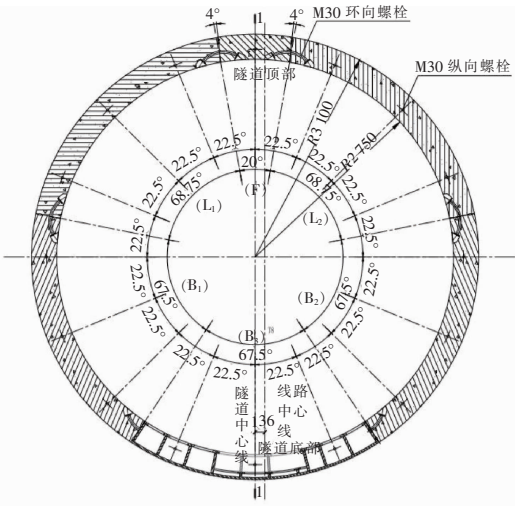


图 4 区间泵房处衬砌圆环构造

Fig. 4 Structure diagram of the lining ring at section pump house

4 两种区间废水泵房设置方式的对比分析

目前,在实际工程中常采用将废水泵房与联络通道合并的建设模式,地铁隧道主体一般采用矿山法或者盾构法进行施工,而联络通道兼废水泵房通常在主体隧道完成后再使用冷冻法进行开挖^[6]。因此在施工过程中,不可避免会对主体结构产生影响,从而间接影响结构防水,严重的将导致隧道塌方。虽然冷冻法施工在北京、上海、广州等城市均有应用,但依然存在专业性强、风险性大等情况,例如 2010 年广州地铁某线联络通道开挖废水泵房过程中导致坍塌,以及 2014 年南宁地铁联络通道进行施工时突发坍塌。

与常规合并建设的泵房模式相比,新型内置式泵房大大减小了施工难度以及施工风险,既能充分利用轨行区下方的道床空间,又可以降低土方开挖的工程造价,在容易保证工程质量的前提下还可以缩短工期。但受到限界与轨道结构的影响,内置式泵房比常规区间泵房有效容积要小很多,对潜污泵的性能参数和液位控制的精度要求高,从几处应用的区间线路运营来看,累计事故换泵不计其数。选用国外进口泵虽能减少频繁启泵带来的磨损,但在后续定期维修上存在一定劣势。由于集水坑设置在

道床中心,在潜污泵处还需下挖泵坑,可能会导致道床结构薄弱、整体性差,曲线内侧的道床混凝土更薄,使得道床结构与管片结构之间连接强度不足。同时集水坑内长期存在积水,对于结构专业而言,随着隧道服役时间的延长,管片耐久性受到影响,主要表现为钢筋材料的锈蚀,此外考虑到废水中霉菌、腐蚀性离子的侵蚀作用,可能导致接头螺栓磨损锈蚀、接缝材料的剥离以及防水密封垫的老化,从而引起严重的渗漏水情况;对于轨道专业而言,道床钢筋混凝土结构的耐受性产生影响,轨道扣件、钢轨等金属件腐蚀严重,不仅影响轨道的稳定性和安全性,降低轨道使用寿命,而且在后期运营阶段存在道床混凝土破碎、翻浆冒泥等病害风险,从而增大了养护维修工作量。综合分析见表 2。

表 2 两种区间废水泵房方案比较

Tab. 2 Comparison of two schemes of section drainage pump house

项 目	常规合并建式泵房	新型内置式泵房
土建施工风险	大	小
对结构专业稳定性影响	正常	整体性受到剥削
对潜污泵性能要求	正常	液位控制精度增加
对轨道专业影响	小	增大钢轨、扣件等轨道节后零部件锈蚀
土建工程造价	费用高	可节约 25 ~ 30 万元
水泵工程造价	正常	维修及更换水泵费用增加
火灾情况下疏散安全问题	无影响	人员掉落风险性加大
对后期运营影响	正常	检修时间和空间限制较大

5 建议

综合考虑目前国内已运营的内置式泵房存在的问题,为了进一步提高区间排水的稳定性与安全性,对新型内置式泵房提出以下建议:①为了避免集水坑内堆积泥沙及杂物堵塞进水管,致使水泵运行受到影响,建议在新型泵房集水坑顶部设置钢板防水算子,同时为防止排水沟阻塞,在轨道排水沟进入区间废水泵房时也应设置不锈钢格栅或沉砂池,定期进行人工清理,确保水泵的正常使用。②由于内置式泵房集水坑深度比常规集水坑深度要小,工业常用的潜污泵不适用,为避免水泵频繁开启造成故障,可以通过液位传感器控制潜污泵的启、停,以便提高控制精度及抗干扰能力。③建议在集水坑内侧以及道床中间设置横向支撑(如图 5 所示),不仅可

以提高道床的横向抗变形能力,还能增加道床与结构的整体性,从而为结构稳定性提供多层保护。④为提高结构管片的耐久性,建议采用带环氧涂层的抗疲劳能力强的钢筋。此外,隧道同步注浆也是保障盾构隧道衬砌结构耐久性的重要手段。⑤由于道床内设置废水泵房后,原来的整体道床被分割成近似两个三角形的承轨台,道床的整体性受到削弱。道床与管片链接处应用遇水膨胀聚氨酯止水胶等高强材料进行填涂,防止在列车高速行驶中导致道床与结构管片剥落。⑥在天津地区运营期间出现锈斑掉块、螺栓脱落等现象,日常运营时应增加人员巡检维护。⑦在运营检测方面,可以考虑引进国内外检测系统,不仅能够实时监测隧道结构及湿度水平变化,还能节省人力成本,提高检测效率。

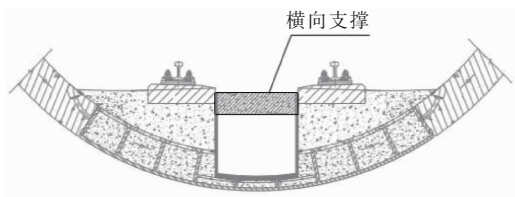


图5 泵房与道床间设置横向支撑示意图

Fig.5 Schematic diagram of lateral support between pump house and track bed

6 结语

当前,新型内置式泵房的设置还处于试点阶段,其设计方案是可行的,但仍然存在一定的问题。由于不同区间隧道的长度、埋设深度以及不同厂家水泵性能都存在差异,因此需结合具体实际情况选取不同方案。结合工程实例,建议若非遇到区间隧道地质条件差、富含水、设置联络通道的施工风险性极大的特殊地段,应尽量避免选择新型泵房的设计方案。新型内置式泵房为城市轨道交通区间排水泵房做出了更为灵活的设计,但还需要不断总结和完善设计技术,同时与结构专业、轨道专业以及线路专业进行更为密切的配合,在不影响区间正常排水的情况下使其更加安全、可靠、经济。

参考文献:

- [1] 杨壮志. 北京地区盾构区间泵房设计及施工的若干建议[J]. 隧道建设,2015,35(10):1071-1076.

YANG Zhuangzhi. Suggestions on design and construction of pump stations of shield-bored running tunnels in Beijing[J]. Tunnel Construction,2015,35(10):1071-1076(in Chinese).

- [2] 杨松,冯杜炀,王冠. 时速160 km城市轨道交通内置式泵房板式道床动力特性分析[J]. 铁道勘察,2020,46(3):89-94.
YANG Song, FENG Duyang, WANG Guan. Dynamic characteristics analysis on slab ballastless track for internal type pump house in 160 km/h speed urban rail transit[J]. Railway Investigation and Surveying,2020,46(3):89-94(in Chinese).
- [3] 董飞,房倩,张顶立,等. 北京地铁运营隧道病害状态分析[J]. 土木工程学报,2017,50(6):104-113.
DONG Fei, FANG Qian, ZHANG Dingli, et al. Analysis on defects of operational metro tunnels in Beijing[J]. China Civil Engineering Journal,2017,50(6):104-113(in Chinese).
- [4] 张远东,陈仰光. 地铁地下区间废水泵房集水池设置研究[J]. 给水排水,2019,45(9):105-108.
ZHANG Yuandong, CHEN Yangguang. Research on the setting of collecting tank in the wastewater pumping station of metro tunnel[J]. Water & Wastewater Engineering,2019,45(9):105-108(in Chinese).
- [5] 刘宗洲. 轨道交通隧道区间排水泵房设计[J]. 隧道建设,2011,31(5):588-592.
LIU Zongzhou. Design of water pumping stations in running tunnels of urban rail transit works[J]. Tunnel Construction,2011,31(5):588-592(in Chinese).
- [6] 吕晓明. 冷冻法在地铁盾构联络通道施工中的应用[J]. 国防交通工程与技术,2016,14(增刊):88-90,87.
LÜ Xiaoming. Application of freezing method in construction of metro shield connecting passage[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence,2016,14(S1):88-90,87(in Chinese).

作者简介:李思慧(1996-),女,河南上蔡人,硕士,助理工程师,从事轨道交通给排水及消防设计工作。

E-mail:393914659@qq.com

收稿日期:2020-11-02

修回日期:2020-11-12

(编辑:孔红春)