

江底隧道防排水关键技术与应用

许华东¹, 朱汉容²

(1.重庆市设计院有限公司, 重庆市 400015; 2.重庆交通大学, 重庆市 400074)

摘要: 水下工程的防排水设计是工程设计中的关键, 依托实际工程设计对地下工程防排水设计进行研究。提出了水下工程设计的关键技术, 并充分考虑现有防水材料的设计使用年限, 提出现有防水设施失效后的防水补求措施。对类似的水下工程的防排水设计具有重要的指导和参考意义, 希望以此推动水下工程建设的进步和发展。

关键词: 水下工程; 防排水设计; 设计年限; 补求措施

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0140-04

0 引言

重庆属于山地城市, 城市高低起伏, 地形落差较大。城市内有两条江穿过, 分别为长江和嘉陵江, 两江在朝天门交汇, 重庆城市交通建设经常与两江形成交叉或跨越, 其中隧道工程多处与两江形成交叉。受到水的影响, 水下隧道工程的防排水处理措施成为隧道安全措施的重点和难点, 渗漏水成为水下工程的一大病害^[1-3]。隧道防排水设计往往是水下隧道最重视的关键技术。

1 工程概况

重庆市嘉陵江磁井段防洪护岸综合整治工程, 该项目起点位于沙坪坝区高家花园大桥处, 终点向北延伸至双碑(见图1), 该项目通过磁器口文物保护单位时, 采用隧道下穿磁器口古镇以及凤凰山, 由于重庆市文物保护要求以及隧道两侧纵坡条件限制, 隧道通过磁器口古镇时形成“倒人字坡”, 竖曲线最低点处于磁器口处嘉陵江下, 给隧道的防排水带来极大的难度和风险(见图2)。磁器口段隧道设计高程要求处于161.5~163.0 m之间, 然而嘉陵江旱限水位约162.0 m, 常年枯水位173.4 m(黄海高程), 常年平均洪水位190.97 m, 50 a一遇洪水位193.69 m, 100 a一遇洪水位195.49 m^[4]。因此该隧道段通过磁器口段时常年处于嘉陵江水位下, 根据水位的不同, 水头高度为1~34 m。该隧道埋深较浅, 隧道顶部覆土为3~7 m之间, 设计采用明开挖

施工方式进行。常年处于嘉陵江水位下的隧道防排水措施成为本项目的关键设计技术, 隧道防排水成为隧道设计中的重难点。

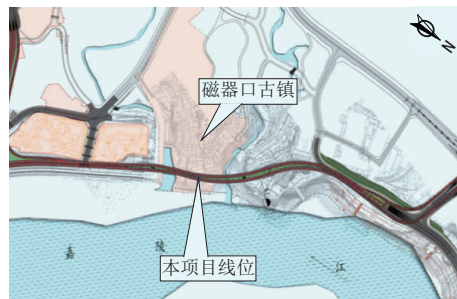


图1 项目线位平面布置图

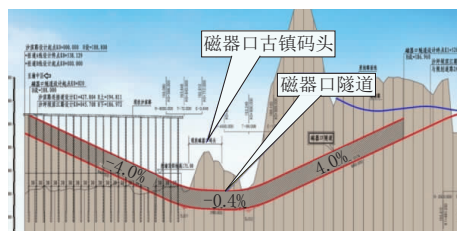


图2 项目纵断面设计图

2 防排水设计标准及原则

隧道主体为全封闭断面, 全包防水, 根据道路纵坡, 隧道设计考虑在磁器口隧道进出口敞开段设置横截沟拦截排水, 保证外水外排、内水内排、结构自防水为主, 外包防水为辅的原则。隧道主体本身禁止隧道外水流入隧道内, 不允许有明显漏水, 隧道结构渗水量要求不超过1 L/m²·d。

3 防水体系研究

磁器口段隧道常年处于江底, 防排水要求高, 实施技术难度大, 土层多为回填土、砂卵石地段, 同时地下水水位高, 地下水发育。根据以往经验及国内外现有

收稿日期: 2023-02-20

作者简介: 许华东(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁结构设计工作。

隧道实际情况来看,水头高度小于 30 m 时,从经济和技术的合理性考虑,采用全封闭堵防水和排导两者相结合的方式是合理可行的^[5-8]。磁器口段隧道衬砌采用的结构方案是根据地质情况、水头高度、江水对结构的腐蚀性、涌水量、以及主体结构形式等多方面因素综合考虑,采用复合式衬砌的防排水措施。设计采用“全封闭外包防水”与结构局部“排导”相结合的复合式防排水体系设计方案^[9],见图 3。目的是为了减少钢筋混凝土主体结构水压力载荷,该隧道“以堵为主,并结合式的内外排放,形成多道防排水体系的永久防排水措施。

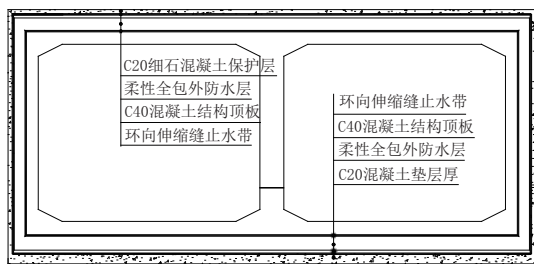


图 3 主体结构全封闭断面图

4 隧道防排水关键技术设计

4.1 隧道结构自防水设计

隧道结构的工程材料根据结构类型、环境等因素、使用要求、受力条件等选用,并考虑结构安全性、可靠性、经济性、和耐久性。根据隧道主体结构使用年限需求,考虑本工程的实际特点,主体结构部分的防水设计为隧道自防水为主,外贴全包防水为辅的全包防水方式进行设计。

根据《地下工程防水技术规范 GB 50108—2008》隧道防水等级为二级,隧道主体结构采用 C40 高性能防水混凝土,混凝土防渗等级为 P12。根据隧道主体结构特性和受力特点,分析了隧道受水作用下和在土压力双重受力作用下,进行了隧道主体结构的强度设计和耐久性设计以及防水设计。并有效提高结构主体的防水性、防腐性和长期耐久性。由于结构处于 I 类环境,混凝土耐久性的基本要求应该满足以下条件:

(1)采用高性能防水混凝土,混凝土材料主要以水泥和骨料为主,其中混凝土强度等级不小于 42.5 MPa 的专用水泥,骨料要求级配合理、坚固耐久、粒径配合良好的干净骨料为原料。

(2)混凝土抗渗等级为 P12,混凝土的渗透系数 K 不大于 0.06 m/s。

(3)采用低水化热水泥,(即 7 d 水化热小于

280 KJ/kg),水泥用量控制在 310 ~ 350 kg/m³。并限制水胶比(小于 0.45),混凝土中可采用高效减水剂(减水率大于 20%)等措施^[10]。为了降低混凝土的水化热,在水泥中可添加质量优质的矿渣粉(不小于 S94)、粉煤灰等级不小于 II 级、等矿物掺和料。

(4)严格控制施工浇筑时混凝土的最高温度不超过 70°,最大温差不超过 25°,混凝土浇筑温度不超过 25°,隧道主体混凝土结构裂缝宽度小于 0.2 mm,(其中水化热差生的干缩裂缝小于 0.1 mm)。

(5)混凝土主要材料(水泥、骨料、矿物掺合剂、拌和料、外添加剂等)中引入的水溶氯离子,混凝土中的凝胶材料对氯离子敏感,较多的氯离子直接影响混凝土的性能,要求氯离子总量不超过凝胶材料总重的 0.1%。另外碱含量对混凝土的后期使用有很大的影响,通常混凝土材料中的碱含量要求(碱量不大于 3 kg/m³)^[10],目的是防止碱料反应;施工后加强混凝土养护,并控制混凝土结构初期未使用时的施工开裂和后期结构使用过程中的回混凝土收缩裂缝,确保结构主体混凝土自防水能力。

4.2 隧道接缝处防水设计

(1)施工缝防水

隧道施工缝分为水平施工缝和纵向施工缝,根据该隧道的重要性和特点,隧道施工缝设计采用多道防排水相结合的体系,施工缝处设置内外结合的多道防水措施,结构中间设置中埋式钢边止水带并结合单组份聚氨酯遇水膨胀密封胶条,结构外侧设置橡胶防水板加强层,以此组成的施工缝防水体系^[10],见图 4 ~ 图 6。

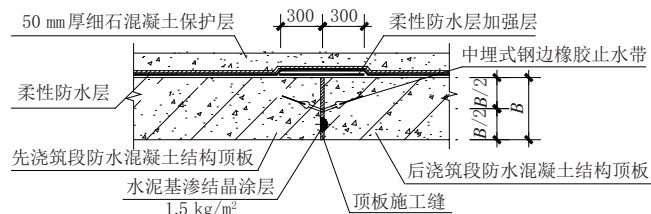


图 4 顶板施工缝防水构造(单位:mm)

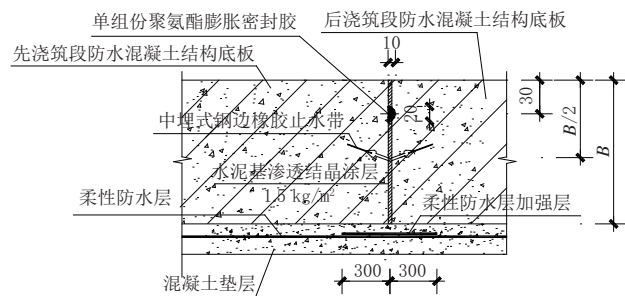


图 5 底板施工缝防水构造(单位:mm)

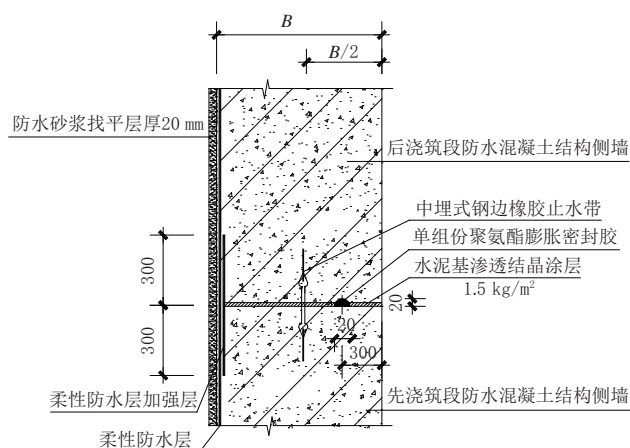


图6 侧墙施工缝防水构造(单位:mm)

中埋式止水带于底板、侧墙、顶板中形成封闭环。在底板处先浇筑 C20 素混凝土垫层,再在垫层上铺设外贴式橡胶止水带,然后将外贴式止水带沿侧墙上翻至顶板面,与顶板面处嵌缝密封胶条相连接,从而构成一个完整封闭圈。在中埋式橡胶止水带和外贴式橡胶止水带之间采用嵌缝膏和遇水膨胀止水条进行填塞。使其增设变形缝的防水性。

(2) 变形缝防水

磁器口隧道变形缝的设置根据地质条件和结构段长度等因素,采用 18~52 m 不等,变形缝处防水设计采用多道防水,从里到外分别为外贴式止水带防水、中埋式止水带防水、嵌缝密封胶堵水等构成封闭环向防水体系,见图 7~图 9。

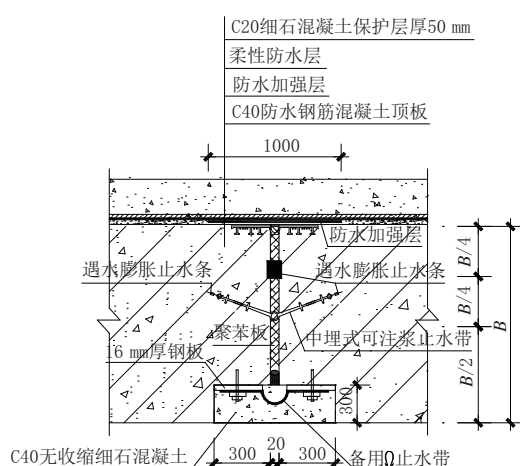


图7 顶板伸缩缝防水构造(单位:mm)

4.3 接缝处防水渗漏解决方案

本次结构接缝设计中采用了中埋式止水带结合背贴式止水带的防水体系,中间嵌入遇水膨胀止水条以及全包辅助的防水设计,然而考虑到在以往工程或水下隧道中在接缝处漏水和渗漏水现象较为较多,结果分析渗漏原因主要为止水带与结构混凝土之间出现连接不密实或有缝隙渗漏^[11]。因此本次设

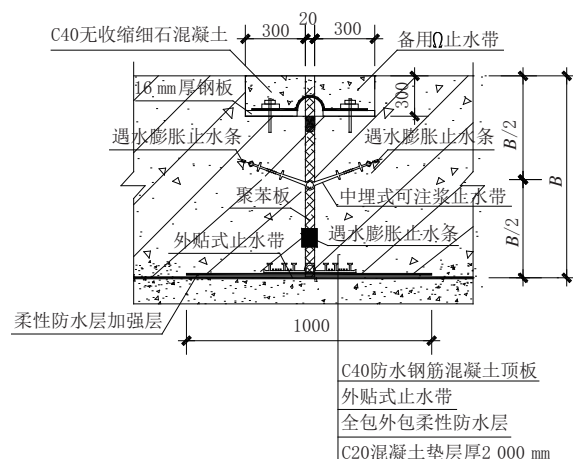


图8 底板伸缩缝防水构造(单位:mm)

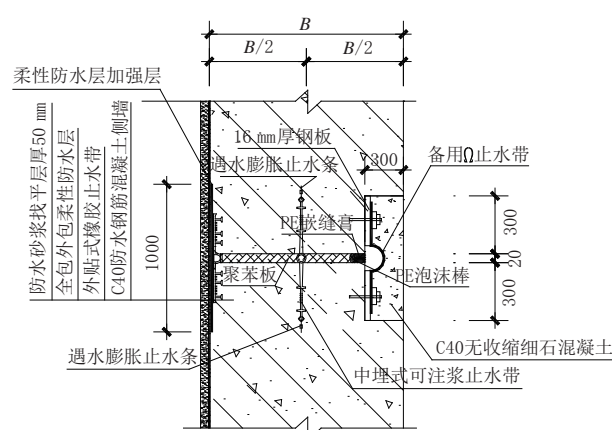


图9 侧墙伸缩缝防水构造(单位:mm)

计中采用可补救的中埋式可注浆止水带代贴传统的中埋式止水带。

可注浆式橡胶止水带是在普通的橡胶止水带基础之上进行的全新改进,即在橡胶止水带的两端增加了可再次注浆的管道和逆止阀,通过可注浆管道和逆止阀可进行快速有效的向止水带内注浆并形成修补,修补后的止水带防水质量安全可靠,渗漏问题不再复发,从而提高了接缝处的防水安全性。若发生渗漏现象,可通过两侧注浆管道向缝内再注浆,能有效快速的进行修补,防水质量可靠,并彻底解决了传统橡胶止水带容易渗漏的缺点。

4.4 橡胶止水带和结构本身设计年限差异的关键技术设计

防水设计中采用中埋式橡胶防水止水带和背贴式橡胶防水止水带,以及全包防水的防水体系,中埋式橡胶防水起到主要和关键的作用,根据现目前技术,中埋式橡胶止水带的设计使用年限通常为 50 a。结构主体的钢筋混凝土结构设计使用年限是 100 a。两者的设计使用年限存在差异,本次设计中对此关键技术进行了专门设计。

考虑到橡胶止水带的使用年限通常为 50 a,本次设计中设计了后续补强方案:

第一步、采用遇水膨胀止水条塞满代贴原止水带,原止水带达到设计使用年限后,将原接缝处理干净,在接缝处缝隙内塞入遇水膨胀止水条,已达到辅助防水目的。

第二步、预留“Ω”形止水带槽口(见图 10),待后期原止水带失效后,在预留槽口内重新安装新的止水带,已达到结构防水止水的目的。

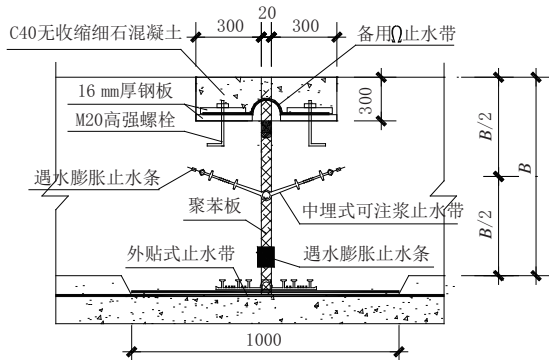


图 10 预留“Ω”形止水带槽口构造(单位:mm)

现主体结构伸缩缝的位置处设置 620 mm × 300 mm 的槽口,该槽口中预留高强螺栓和按压钢板,槽口延变形缝环向设置,待 50 a 后,原止水带失效后,再施作该止水带,从而达到防水的目的

4.5 外防水设计

长期处于水下的结构工程,采用内外兼顾防水的方式是稳定可靠的,外防水包括结构主体外防水和结构接缝处的外防水^[12]。其中隧道接缝处的外防水设计采用背贴式橡胶防水止水带。背贴式橡胶止水带通过凹凸橡胶齿块将混凝土结构与止水带形成锚固、止水密封的同时适应结构在伸缩缝处拉伸变形的特点。背贴式橡胶止水带是主体结构中埋式止水带后的一道防水层,对于隧道主体渗漏水的预防非常重要。隧道主体外防水在隧道主体外全包防水涂料,在顶板、侧墙、表面采用涂刷高分子防水涂料或高分子反水漆,在涂料上采用烧结砖保护层进行填筑保护。高分子渗透防水涂料属于无机矿物材料,渗透入主体结构混凝土内部,与混凝土寿命一致,且性能稳定,具有防腐、防老化、钢筋保护等作用。

4.6 局部排导

隧道外的水处理通常为引排结合的方式,常规隧道外的水有的通过水管引入隧道集中到排水沟统一排放,有的在隧道外安装纵横向排水管将水在隧道外排出,不再引入隧道内,本项目结合充分结合两者优点,隧道主体部分采用全包防水,隧道外的水不

再进入隧道内,直接在隧道外完全排放,在隧道进出口敞口段,天然降水采用横向排水沟收集的方式汇集后排出。隧道内部水在隧道最低点处设置集水坑进行有组织的抽排。横向排水沟的大小根据敞口段的汇水面积计算后得出。

5 结 语

本文结合传统隧道防排水方式,并结合该工程的水位特点,设计出合理可行的江底隧道防排水方案。并依托实际工程技术进行实际验证后得出结论如下:

(1)长期处于水下的结构物,结构的水处理采用“防排导”相结合的方式是合理可行的,以防为主,排和导相辅助的方式适合水下工程水处理方案。

(2)结构主体自防水与新技术、新材料相结合,对隧道的防水的处理是至关重要的。根据本工程的实践表明,中埋式可注浆止水带在后期出现渗漏水时可有效进行二次补充防护,高分子外防水在工程实际中起到关键作用。

(3)采用预设后期补充“Ω”形止水带,解决橡胶止水带设计年限与结构主体设计年限之间的差异问题,有效补充了隧道在设计年限内的防排水问题。

参考文献:

- [1]《中国公路学报》编辑部.中国交通隧道工程学术研究综述·2022[J].中国公路学报,2022,35(4):1-40.
- [2]洪开荣,冯欢欢.中国公路隧道近 10 年的发展趋势与思考[J].中国公路学报,2020,33(12):62-76.
- [3]陈湘生,徐志豪,包小华,等.中国隧道建设面临的若干挑战与技术突破[J].中国公路学报,2020,33(12):1-14.
- [4]重庆市文物局关于嘉陵江磁井段防护岸综合整治工程方案的意见(渝文物[2015]257号)[Z].2015.
- [5]贾逸,徐经纬,张勇.无锡太湖大道隧道结构防水设计[J].地下工程与隧道,2011(增刊2):41.
- [6]凌云鹏,岳岭,吕刚.京张高铁东花园隧道防排水设计与施工[J].国防交通工程与技术,2020,18(2):34.
- [7]瞿守信.厦门翔安海底隧道防排水技术初步应用经验[J].岩石力学与工程学报,2007,11(26):2247-2252.
- [8]张佑钧,刘志春,孙晓迈.不同防排水形式下高压海底隧道物理场分布规律研究[J].国防交通工程与技术,2022,20(2):29-32,80.
- [9]张素磊,鲍彤,YOO Chungsik,等.隧道复合式防排水系统的设计、试验及工程应用[J].中国公路学报,2021,34(4):198-208.
- [10]张敬天.磁器口水下明挖隧道防水技术研讨[J].重庆建筑,2015,15(2):46-48.
- [11]刘强,谭忠盛,任辉,等.临海隧道新型止水带研究[J].中国公路学报,2016,29(12):116-123.
- [12]张稳军,张高乐,李宏亮,等.盾构隧道管片接缝密封垫防水性能及受施工荷载影响研究[J].中国公路学报,2020,33(12):130-141.