

深厚软土明挖隧道防水施工关键技术

周晓

中铁广州工程局集团第二工程有限公司

摘要：隧道防水与施工技术对隧道工程质量及使用寿命至关重要。以广州南沙港隧道为例，详细分析明挖法铁路隧道防水施工工艺及重难点。提出明挖隧道防水工程宜以结构自防水为本，施工缝、变形缝等接缝防水为主，辅以附加防水板加强防水，坚持“以防为主，刚柔结合，多道防线，因地制宜，综合治理”的原则，为类似隧道工程提供参考与借鉴。

关键词：铁路隧道；深厚软土；主体结构；防水技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.02.029

一、工程概况

南沙港隧道位于广州市南沙区南沙港（珠江口龙穴岛）海港大道，工程起于龙穴大道与海港大道交汇路口北西方向约450米。隧道洞身范围下穿海港大道以及三个码头范围的多个闸口及出入口。南沙港隧道主要是为了提升广州港南沙港区的服务效率。隧道采用明挖法施工，长6520m，为单线双箱货线，暗埋段底板最大埋深14.90m。

二、隧道防水措施

南沙港隧道结构防水等级为一级，不允许渗水，结构表面无湿渍。主体结构采用C45，混凝土抗渗等级P10的混凝土。以结构自防水为根本，施工缝、变形缝等接缝防水为重点，辅以附加防水板加强防水。

（一）结构自防水施工

（1）混凝土配合比应通过工作性能、强度和耐久性指标的测定，从源头把好质量关。

（2）基坑开挖至基底设计高程以上30cm时用人工进行基底清理，避免扰动原状土。缩短基底暴露时间，在基底最低点设置集水坑采用水泵抽排，防止基底浸泡变软。

（3）主体工程施工要点：①主体施工中对拉杆均采用三段式止水螺杆，②钢筋净保护层厚度按图纸设计，采用同体混凝土标号水泥砂浆制作，每平方垫块数量不少于4个，均匀、梅花形布置，用绑扎丝绑扎牢固。③满堂支架应符合刚度、强度、稳定性的要求。④混凝土的入模温度不宜高于30度。⑤在浇筑混凝土的过程中，当砣的下落高度大于2m时，应采用串筒输送砣。侧墙混凝土应竖向分层浇筑，层高为30~50cm左右。⑥混凝土的振捣应做到快插慢拔，每一振点的振捣延续时间，应以使混凝土表面呈现浮浆、不出现气泡和不再沉降为准。⑦混凝土初凝后及时覆盖洒水养护，以保持结构表面湿润为准，养护时间不少于14天。⑧缩短主体结构新旧混凝土浇筑时间差。

（二）接缝防水施工

1. 施工缝施工

（1）施工缝宜与变形缝相结合；水平施工缝不应留在剪力与弯矩最大处，应尽量减少施工缝。

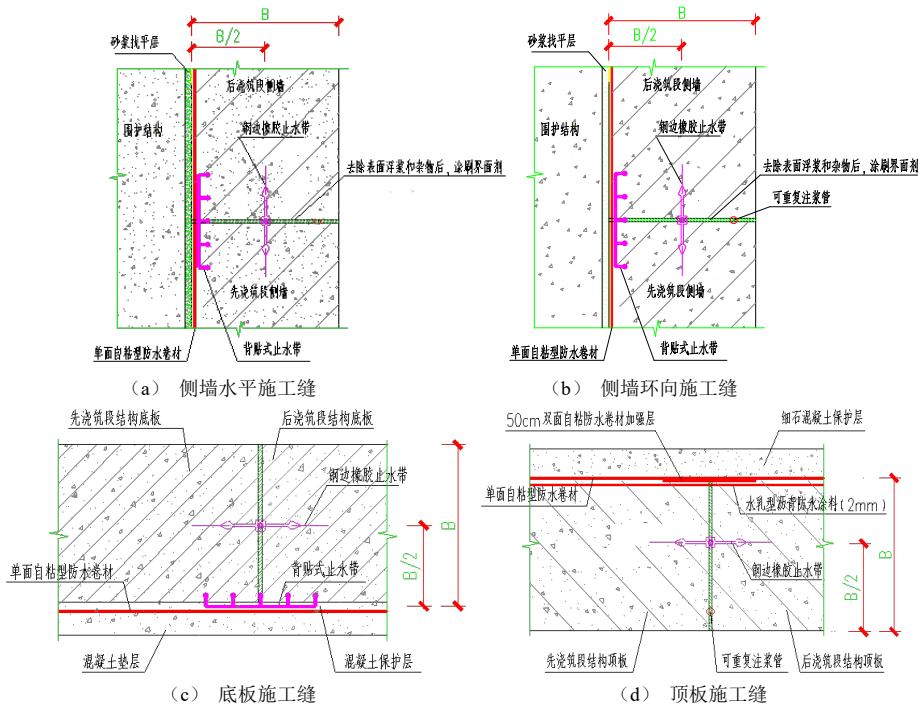


图1 隧道结构施工缝防水构造图

(2) 施工缝采用的措施：①侧墙水平施工缝：采用背贴式橡胶止水带+中埋钢边橡胶止水带，如图1(a)所示；②侧墙环向施工缝：背贴式橡胶止水带+中埋钢边橡胶止水带+可重复注浆管，如图1(b)所示；③底板施工缝：背贴式橡胶止水带+中埋钢边橡胶止水带，如图1(c)所示；④顶板施工缝：50cm宽双面自粘型防水卷材+中埋钢边橡胶止水带+可重复注浆管，如图1(d)所示。

(4) 施工缝防水施工要求：①纵向水平施工缝浇筑混凝土前，应将其表面浮浆和杂物清除，凿毛后铺30mm厚的1:1水泥砂浆，并及时浇筑混凝土。②环向施工缝浇筑混凝土前，应将其表面凿毛并清理干净，再涂刷混凝土界面剂，并及时浇筑混凝土。③在施工缝处新浇混凝土前，应对已硬化混凝土的表面进行凿毛处理并充分湿润，但不得有积水。凿毛后露出的新鲜混凝土面积应不低于总面积的75%。凿毛时，混凝土应达到如下强度标准：用人工凿毛时，强度不低于2.5MPa；用机械凿毛时，强度不低于10MPa。凿毛过程严禁碰触施工止水带。④止水构件（止水带、注浆管等）的安装位置必须准确牢固。⑤在浇注下一阶段混凝土时，在施工缝处应采用弱振，并注意振捣棒不得碰到止水构件，避免损害材料的密封性。⑥为了保证可重复性注浆管的多次注浆效果，每次注浆后，注浆管必须用高压水冲洗或真空泵吸净。⑦浇捣靠近止水带附近混凝土时，应严格控制浇捣的冲击力，避免力量过大，刺破止水带，同时还必须充分振捣，保证止水带和混凝土密贴，施工中如发现有破裂现象，应及时修补。

2. 变形缝施工

(1) 变形缝中置式止水带必须密封成环，橡胶止水带接缝采用小型硫化机现场硫化。

(2) 变形缝采用的措施：①顶板变形缝：双面自粘防水卷材+中埋钢边橡胶止水带+剪力杆，如图2(a)所示；②侧墙及厚度<800mm的底板变形缝：背贴式橡胶止水带+中埋式钢边止水带+剪力杆，如图2(b)~2(c)所示；③厚度≥800mm的底板变形缝：背贴式橡胶止水带+中埋式钢边止水带，如图2(d)所示。

(3) 变形缝防水施工要求：①变形缝在一个断面内应平顺连续，缝宽均匀。②变形缝的填料应按设计要求施工，不允许在变形缝填刚性材料，不得将变形缝做成刚性缝。③变形缝内的钢边橡胶止水带埋设位置准确，其中间“U”圆环与变形缝中心线重合，止水带应有优良的强度弹性，不得使用再生橡胶或废塑料制造止水带。④变形缝间采用双组分聚硫密封胶，接缝连结牢固、可靠。

3. 附加防水卷材施工

(1) 主体结构采用EVA型自粘型防水卷材，单面自粘胎基厚度1.5mm，双面自粘胎基1.2mm。单面自粘防水卷材其背水侧为复合粘结层，迎水侧为复合土工布，双面自粘防水卷材为单面自粘防水卷材搭接处使用。明挖结构底板及侧防水卷材采用预铺法施工，顶板及放坡段侧墙采用后铺法施工。

(2) 基面处理：①铺设防水层前必须对基面进行处理，底板垫层采用自找平处理，侧墙围护结构凸处凿平，凹处抹平，基面平整、无杂物，凹坑深度比不应

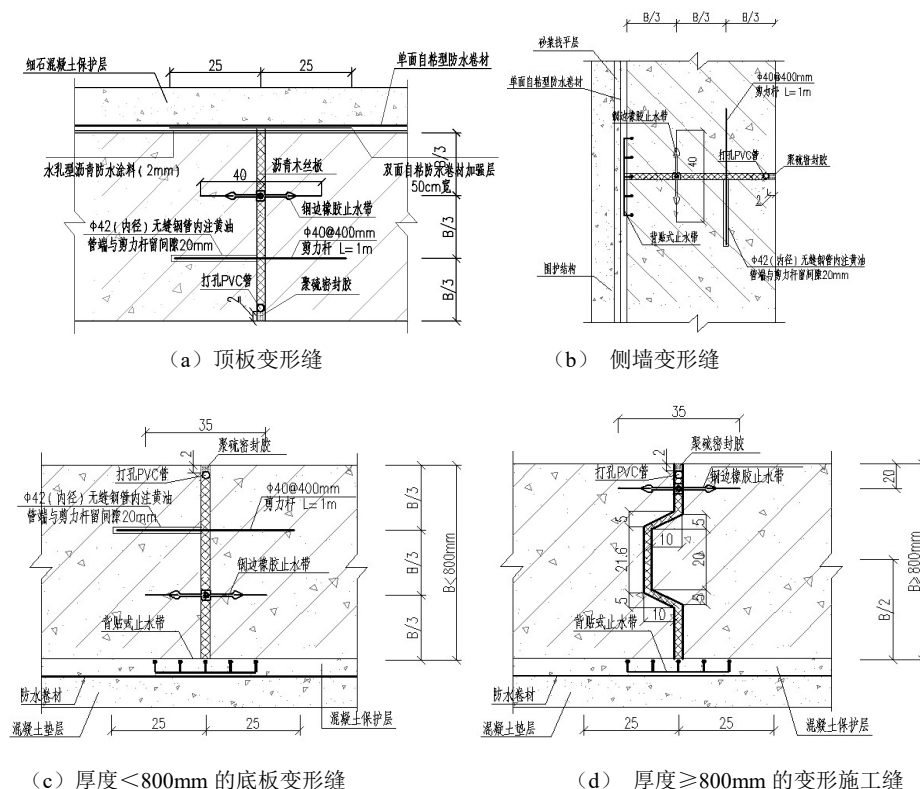


图2 隧道结构变形缝防水构造图

大于1:10。凹坑太大处要抹平补喷混凝土,确保混凝土表面平整、干净、无尖锐棱角,当基面潮湿时,应涂刷湿固化型胶粘剂或潮湿界面隔离剂。②铺设防水层的基面无明流水,对漏水点进行封堵处理,待基层表面无明水时,再施做下道工序。③基面不得有尖锐的毛刺部位、不得有铁管、钢筋、铁丝等凸出物存在,否则应从根部进行凿除,然后在凿除部位采用1:2.5的水泥砂浆抹成圆曲面进行覆盖处理,以免防水板被扎破。④阴角部位均用1:2.5的水泥砂浆做成50×50mm的钝角或半径不小于50mm的圆角,阳角处做成20×20mm的钝角或半径不小于20mm的圆角。⑤抗拔桩破桩头后如发现渗漏水,应先采取措施将渗漏水止住,保证无水作业,桩头须先进行凿毛清洗处理,使其有坚实的基面,桩头须制作15cm高圆形模具重新浇筑,保证防水施工及渗水处理。

(3)防水卷材铺设:①底板防水层施工工序:150mm厚C20混凝土垫层→破除抗拔桩桩头并清理干净→基面清理(检查、处理、验收)→桩基处水乳型沥青防水涂料→桩基处丁基橡胶密封粘带→EVA单面自粘型预铺防水卷材→桩基处丁基橡胶密封粘带及钢筋上止水条→检查验收→浇筑50mm厚的C20细石混凝土保护层→施做结构底板;②侧墙防水层施工工序:无纺土工布或20mm厚1:2.5水泥砂浆找平层→基面清理(检查、处理、验收)→EVA型自粘型高分子预铺防水卷材→检查验收→施做结构内衬墙。③顶板防水层施工工序:顶板混凝土压光抹面→基面清理(检查、处理、验收)→2mm厚水乳型沥青防水涂料→单面自粘型后铺法防水卷材→80mm厚C20细石混凝土保护层→3%水泥级配碎石500mm(仅局部段落设置)→素土分层回填夯实。

(4)施工要点:①防水卷材铺设时应无水作业。②橡胶止水带的搭接长度不小于10cm,采用热压机硫化搭接,中埋式钢板橡胶止水带的钢板搭接,端头采用3mm厚钢板焊接封闭。③背贴止水带设置在防水层表面时,可采用热熔法焊接固定,不得采用水泥钉穿过防水层固定。④墙、板铺设防水材料时,应上层压下层,防水层与基层、防水层搭接缝之间应密贴、平整、无褶皱。防水加强层与防水层之间必须粘结密实牢固,不得出现翘边、空鼓部位。⑤防水卷材接缝不设置在拐角处,且在拐角部位先铺设500mm宽加强层,再铺设大面防水卷材。⑥防水卷材破损部位应采用与防水材料相同的材料进行修补,补丁边缘与破损边缘的最小距离不小于100mm,破损部位浇筑混凝土前必须进行修补,补丁与防水层必须满粘,不得出现空鼓、翘边部位。⑦浇筑混凝土时,防水层表面不得存在隔离纸。

三、施工过程重难点控制

(1)防水卷材基面严格按照要求进行找平处理。垫层混凝土应边浇筑边压光抹平,避免出现过大凹凸部位;垫层表面不允许有明水并应做好排水工作。

(2)围护结构表面的要求基层表面凹凸起伏部位应平缓过渡,凹坑深度比不应大于1:10。

(3)墙、板铺设防水材料时,应上层压下层,防水层与基层、防水层搭接缝之间应密贴、平整、无褶皱。防水加强层与防水层之间必须粘结密实牢固,不得

出现翘边、空鼓部位。

(4)防水卷材接缝不设置在拐角处,且在拐角部位先铺设500mm宽加强层,再铺设大面防水卷材。

(5)搭接缝的有效搭接宽度不得小于15cm,搭接缝双层卷材必须粘结密实牢固,不得出现翘边、空鼓部位。

(6)中埋式钢边橡胶止水带安装必须保证居中,线型顺直。

(7)变形缝在一个断面内应平顺连续,缝宽准确;变形缝填料应按设计要求施工,不允许在变形缝填刚性材料,不得将变形缝做成刚性缝。

(8)接头部位不得留在转角部位,止水带在转角部位的转角半径不得小于20cm。

(9)变形缝内的钢边橡胶止水带埋设位置准确,其中间“U”圆环与变形缝中心线重合,止水带应有优良的强度弹性,不得使用再生橡胶或废塑料制造止水带。变形缝间采用双组分聚硫密封胶,接缝连结牢固、可靠。

四、结论及建议

结合具体案例,提出明挖隧道防水工程宜以结构自防水为根本,施工缝、变形缝等接缝防水为重点,辅以附加防水板加强防水。现场防水施工工艺效果较好,同时根据施工过程中存在问题及改进措施,总结有以下几点经验及建议:

(1)防水卷材铺贴时先沿一侧墙从上至下铺挂,铺至底板垫层处时采用滚铺法至另一侧侧墙,滚铺过程中可采用“压辊”紧随其后碾压可达到紧贴不鼓包,最后从下至上铺挂,既能控制平整度又可解决空气排除困难的问题。

(2)防水卷材在环缝搭接时,爬焊机焊接参数可采用:3.5m~4m/min的焊接速度,温度为350~400℃;背贴式及中埋式止水带搭接长度必须≥20cm,粘结材料可为防水厂家提供的专用粘结材料或万能胶。

(3)底板及侧墙防水卷材施工完成后及时进行保护层浇筑,防水卷材外包保护膜在细石保护层浇筑前不能撕除,避免卷材受到外界污染及破坏。必须在卷材细石保护层浇筑过程中边浇筑边撕除保护膜。

(4)建议现场施工时整个防水工程的每道工序均必须保证施工时基面干燥,无水作业,存在渗漏水的部位,必须将其处理至无渗漏,渗漏处干燥后在进行下道工序施工。每个细节均必须经验收合格后进行下道工序的隐蔽工程。

参考文献

[1]孙守东.富水明挖隧道全包防水施工技术[J].中国住宅设施,2021(02):110-111.

[2]印东.基于长江漫滩区的明挖法隧道施工技术探讨[J].工程质量,2021,39(02):85-87.

[3]刘海涛.明挖隧道主体结构防水施工技术的分析[J].住宅与房地产,2020(06):232.

[4]宋向荣.京雄城际铁路明挖隧道防水设施标准化施工工艺研究[J].工程技术研究,2019,4(22):73-74.