

京雄城际铁路明挖隧道施工关键技术

宋向荣, 杨海生

(中交二航局第四工程有限公司, 安徽 芜湖 241000)

摘要:采用明挖法施工隧道具有安全可控、施工进度快的优点,但也存在工序琐碎、质量控制不稳定以及成本偏高的问题。以标准化理念再造施工流程,能够进一步降低施工风险、提高施工质量、节约工程成本。该文以京雄铁路机场2号线明挖隧道为工程背景,建立基于台车的移动工厂生产模式,对明挖隧道的防水工程、钢筋工程、混凝土工程的标准化工艺进行研究,并结合实践效果总结施工品质或效率的控制要点。

关键词:隧道工程;明挖工艺;施工工艺;标准化

隧道采用明挖方法施工相对简单,具有安全可控、施工进度快等优势,是浅埋式隧道主要采用的施工方法。对于有一定埋深的超长隧道工程,在考虑增加作业面以提高施工效率的情况下,也会采用明挖法进行施工。然而,由于工作面铺展较大,工序往往比较繁琐,质量控制存在不稳定的风险;其次,这种施工方式为工程管理带来了较大挑战,在统筹不良的情况下,易产生不可预见的成本消耗;加之,露天作业面对环境的扰动也比较大,环境保护压力大。

目前关于隧道施工的研究主要集中在安全风险控制方面,对施工过程中土体的稳定性进行监测、处理或者预警,或提出针对复杂地质状况的处理方法,但对总体施工技术的优化程度存在不足。

标准化的主要原理是:将成熟的技术形成固定的操作流程与规程,从而利用其重复性的强化作用,降低技术失控风险。采用标准化理念再造明挖隧道的施工技术,能够大幅度降低工程质量风险。高度集约型的生产模式,可以更为合理地分配生产资源,降低资源消耗,适应绿色环保的要求。

目前,建筑与桥梁工程领域开展了大范围的标准化工技术的应用,大多数采用了预制装配生产模式,以提高构件的生产质量,减少人工投入,发挥机械成本优势,实现最大化的经济效应。隧道工程与建筑或桥梁工程存在差异,需要在既有地质条件下开展现场作业,标准化程度由此受限。

明挖方法可将作业条件规则化,为隧道的标准化作业提供基础条件。液压台车等可移动设备也使得移

动工厂的概念逐渐实现。

该文以京雄城际铁路明挖隧道为背景,开展大断面隧道工程的防水、钢筋、混凝土3大工程的标准化探索,总结用于提升品质与效率的关键施工技术,可为同类工程提供参考。

1 工程概况

京雄城际铁路机场2号线工程北起北京大兴机场地下站,南穿永定河南大堤后露出地面,全长8.34 km。隧道最大埋深28.64 m,设计为单洞双线隧道,洞门采用柱式洞门。路线大部分区段主体结构断面形式为拱形明洞结构,标准断面形式见图1。隧道仰拱厚度为0.85 m,顶板厚度为0.8 m,隧道外侧撑角厚度为1.2 m。隧道具有基坑深、建筑单体尺寸大等特点。

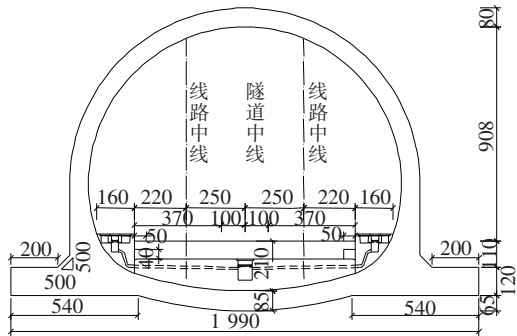


图1 京雄铁路2号线隧道标准断面图(单位:cm)

总体工艺上,采用放坡明挖方法进行施工,以土钉墙、钻孔灌注桩围护、双排钻孔桩围护对边坡进行防

护。施工工序为:首先进行仰拱施工,待仰拱填充施作完成后,利用多功能作业台架铺设防水板、绑扎钢筋。然后采用液压整体式台车进行一次性整体浇筑拱部衬砌。混凝土采用拌和站集中拌和,由混凝土运输车运送至现场浇筑。液压整体式台车相当于“移动工厂”,为作业提供了相对稳定的环境。

防水工程、钢筋工程、混凝土工程是明挖隧道施工的关键工序,其质量与隧道运营的长效耐久密不可分,故该文对这三类关键工艺开展标准化的研究工作,结合实践总结工艺的控制要点。

2 防水工程的标准化工艺

明挖隧道主要采用防水板材进行防水,对施工缝与变形缝一般采取特殊防水措施,由于施工接缝较多,质量失控的风险高,会增加后期的维护成本,故需要以精细化的手段开展施工,以下对标准工艺及施工要点进行介绍。

2.1 标准化工艺

隧道防水施工的标准施工流程划分如图 2 所示。

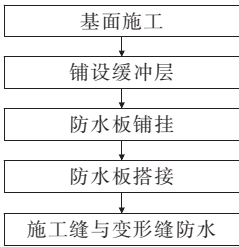


图 2 防水工程的标准施工流程

基面施工前应对基坑表面进行清扫,对尖锐物体进行清理,对基坑漏水情况进行排除,对阴阳角做圆弧处理;缓冲层为柔性材料,应均匀摊铺,采用水泥钉固定于基面上;在缓冲层上铺设防水板后,浇筑 50 mm 细石混凝土保护层,并预先采取施工缝与变形缝防水措施后,再行浇筑主体结构,如图 3 所示。

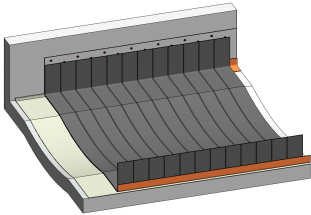


图 3 防水板铺设示意图

对于拱顶,在浇筑混凝土后,在其表面均匀涂刷单组分聚氨酯防水涂料,施作水泥砂浆找平层,铺设防水

板,按照由仰拱至衬砌的顺序进行。

施工缝和变形缝处于衬砌混凝土不连续位置,容易成为漏水关键点,需要加强控制。施工缝分纵向施工缝和环向施工缝两种,纵向施工缝采用镀锌钢板止水带+水泥基渗透结晶型防水涂料+注浆管注浆进行防水,环向施工缝采用中埋式钢边橡胶止水带+水泥基渗透结晶型防水涂料+注浆管注浆。

变形缝可采用复合防水构造的方法,边墙和仰拱部位采用中埋式橡胶止水带(内设加筋)+背贴式止水带,拱部采用中埋式橡胶止水带(内设加筋),拱墙与仰拱部位设置引水盲管,引入侧沟。变形缝铺以聚乙烯泡沫塑料板、双组分聚硫密封膏填充。施工缝防水的标准处理方式见图 4。

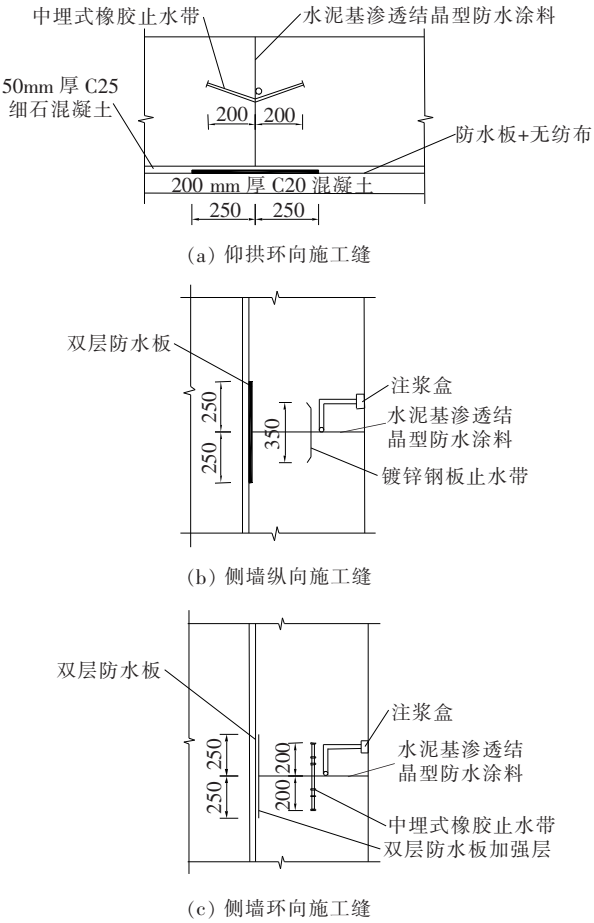


图 4 施工缝标准防水(单位:mm)

2.2 工艺要点

为提高防水措施的施工质量,施工过程中应注意以下控制细节:

- (1) 防水措施铺设前应对基面表面进行细致检查,确认无明显尖刺,表面基本平顺方可施工。
- (2) 在基面凹陷位置应加设圆垫片,避免凹处防

水板无可靠支撑;水泥钉不得超出圆垫片平面,以免刺穿防水板材。

(3) 在绑扎钢筋前,应撕掉卷材隔离膜,及时施作 50 mm 厚 C25 细石混凝土保护层,避免钢筋刺坏防水板材。

(4) 防水材料铺设时避免拉得过紧或出现大的鼓包,铺设好的防水板应与基面凹凸起伏一致,保持自然、平整、服帖。相邻两幅卷材搭接宽度应不小于 150 mm,搭接位置确保粘贴严密。

(5) 止水带在结构钢筋上固定的间距不得大于 400 mm,确保固定牢固,不出现扭曲、变形等现象。

(6) 涂刷或喷涂水泥基渗透结晶防水涂料前,施工缝表面都要浸透,但不能有明水。当涂层凝固后,即可及时喷水或覆盖进行保湿养护,养护时间不得少于 3 d。

(7) 应注意加强井点降水,避免防水设施胶体凝固期间遭受基坑渗漏的侵蚀;对于局部漏水现象,应设置导流措施,避免水流侵蚀,影响防水主体质量。

(8) 加强对现场表观质量的检查,出现渗水或其他质量问题时,应及时采取措施,对防水层进行强化。

(9) 防水板进行充气检测,双焊缝间预留 15 cm 宽的空腔,按照 0.2 MPa 稳压 15 min,压力下降值不得大于 10%。

3 钢筋工程的标准化工艺

结构工程的标准化设计可为钢筋的标准化安装提供良好基础,从施工便利性、精度易于保障的特性入手,提出钢筋的标准化绑扎工艺,对绑扎要点进行分析。

3.1 标准化工艺

钢筋随断面形状布置,需进行分次绑扎。在结构的接缝位置设置钢筋搭接区域,采用套管连接,布置形式较为简洁。通过固定安装顺序,可以实现较高效率的安装。

标准化安装流程为:钢筋机械化配料→仰拱接侧墙钢筋绑扎→底板钢筋绑扎→接侧墙斜筋绑扎→仰拱浇筑→侧墙竖向钢筋绑扎→侧墙拱形钢筋绑扎→拱顶钢筋绑扎。

仰拱、侧墙以及拱顶钢筋绑扎遵循的顺序为:先竖向钢筋再横向钢筋;先底层钢筋再上层钢筋,以架立筋支撑上层钢筋;拱顶上层钢筋安装时,先安装定位筋,再安装定位筋之间的主筋。

采用 BIM 技术对绑扎的可操作性进行验证,钢筋绑扎示意图见图 5。由于钢筋为标准长度设计,其位置比较固定,只需要设置少量的控制点,工人就可以快速地将钢筋绑扎到位,能够提高钢筋绑扎的效率。

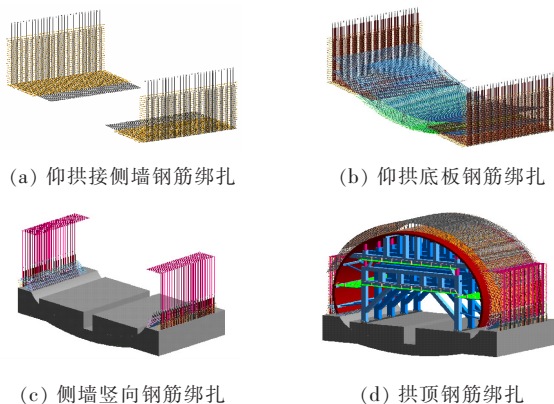


图 5 基于 BIM 的钢筋绑扎过程模拟

3.2 工艺要点

为了提高安装精度、保障结构性能,需按照如下要点进行施工:

(1) 钢筋的加工精度对于安装精度的影响较大,宜采用数控加工设备对钢筋进行精确下料。

(2) 环向钢筋连接位置不得位于拱顶中部,相邻连接位置应相互错开,同一个区段内钢筋接头面积不应大于全部钢筋面积的 50%,且钢筋机械连接满足一级连接要求。

(3) 双排钢筋的上排钢筋与下排钢筋的间距允许偏差按照 ± 5 mm 控制,分布钢筋间距、箍筋间距允许偏差按照 ± 20 mm 控制,保护层厚度允许偏差按照 $+10$ 、 -5 mm 控制。

(4) 为了提高绑扎过程中的稳定性,需要在少量竖向钢筋、横向钢筋上做好横筋标记点,作为钢筋间距的控制标记,竖向钢筋安装后,采用少量的横向筋对位置进行精确定位。

(5) 由于采用分次绑扎、分次浇筑工艺,下层结构浇筑及振捣的时候,应避免对上层结构的钢筋产生扰动,避免位置发生变动。

(6) 仰拱及拱顶钢筋具有一定的弧线形状,对于保护层控制难度较大,应注意控制标记位置的精确性,安装后对位置进行校核,若产生偏差,应查找原因,在调整工艺后方可进行下一步的绑扎作业。

(7) 钢筋绑扎的验收标准为,上下排钢筋间距误差不得超过 5 mm;同一排钢筋在拱部的水平间距误差不大于 10 mm,边墙不大于 20 mm;分布钢筋及箍

筋间距不大于 20 mm;保护层厚度误差应控制为 $-5\sim+10$ mm。

(8) 钢筋绑扎作业的工效与混凝土浇筑养护的工效应合理搭配,以最大化实现流水线作业。

4 混凝土工程的标准化工艺

隧道设计为大断面结构,即使分 3 次浇筑,单次浇筑的方量也大,由于大直径钢筋密布,振捣的难度较高,混凝土质量控制成为重点。对混凝土工程的标准化工艺进行研究,提出工艺要点。

4.1 标准化工艺

仰拱以及衬砌分次浇筑,对浇筑的顺序以及振捣的方式进行严格控制。

仰拱的混凝土标准化工艺流程为:中间布料,对称浇筑→插入式振捣器振捣。

衬砌的混凝土标准化工艺流程为:侧墙布料,对称浇筑→附着式振捣器振捣→拱顶布料,对称浇筑→插入式振捣器与附着式振捣器振捣。

仰拱采用从最低点布料的方式,分层厚度不超过 30 cm;衬砌较高,采用串筒浇筑,混凝土自由倾落高度不超过 2 m;由于侧墙钢筋较密,采用 75 mm 的无缝钢管作为振捣通道进行振捣;拱顶则采用布料孔作为振捣通道进行振捣。

混凝土养护充分发挥台车“移动工厂”的优势,在外侧设置养护棚,隔绝外界对流影响,为混凝土提供相对稳定的养护环境。在低温季节,于棚内采用暖风机进行加温,避免混凝土的温度裂缝。

4.2 工艺要点

为充分振捣并且提高混凝土的质量,需按照如下要点进行施工:

(1) 混凝土拌和均匀,严格控制塌落度,混凝土的初凝时间控制为 6~8 h。

(2) 侧墙浇筑高差不宜超过 50 cm,控制布料的均匀性。

(3) 针对钢筋布置较密的情况,可以采用钢管制作振捣通道,振捣棒沿振捣通道开始振捣,在振捣结束后,将钢管抽离。

(4) 插入式振捣器移动间距不宜大于振捣器作用半径的 1.5 倍,且插入下层混凝土内深度宜为 100 mm。

(5) 每一点振捣的振捣持续时间以混凝土面不再

沉落,表面呈现浮浆为度,防止过振、漏振。

(6) 插入式振捣器振捣完毕,将该层附近的附着式振捣器打开振捣,观察混凝土面无变化之后关掉。

(7) 由于结构壁厚较大,水化温度作用显著,采用棚式方法保持内部温度恒定,可以避免表面产生开裂的情况。

(8) 脱膜后,对表面覆盖薄膜进行保湿养护,定期洒水,同时应继续保持棚内的密闭状态,待内部温度与环境温度相差小于 25 ℃时,方可终止养护。

(9) 施工完毕后对混凝土的质量进行检验,确保强度等检验合格后方可进行下一节段的施工。

5 结语

以京雄铁路机场 2 号线明挖隧道工程为背景,对大断面隧道结构的防水工程、钢筋工程以及混凝土工程的标准化施工工艺进行研究,对关键控制要点进行总结,提出了技术要点与控制参数。

通过建立标准施工方法,能够提高施工效率与施工精度,确保结构的质量,节约资源投入。

参考文献:

- [1] 《中国公路学报》编辑部. 中国隧道工程学术研究综述·2015[J]. 中国公路学报, 2015(5).
- [2] 徐光. 杭州至黄山铁路桐庐隧道方案比选[J]. 交通科技, 2015(2).
- [3] 徐国,王猛,高峰,等. 大断面地铁车站隧道初期支护参数优化研究[J]. 中外公路, 2019(4).
- [4] 陈京贤,曾德荣,王俊召,等. 基于应力释放率的大跨径回填土隧道的围岩稳定性研究[J]. 中外公路, 2018(6).
- [5] 林永贵,陈文明,汪传智. 浅谈深覆土超大断面明挖隧道关键技术[J]. 公路, 2019(8).
- [5] 段志成. 工程项目管理标准化作用机理研究[D]. 天津大学博士学位论文, 2012.
- [6] 李德杰,罗成付,石耀东. 浅析隧道施工现场标准化的管理[J]. 中国标准化, 2018(8).
- [7] 彭成隼,陈传正,莫日雄,等. 港珠澳大桥东人工岛清水立柱标准化、装配化施工工艺[J]. 公路, 2018(8).
- [8] 杜辉. 明挖深基坑隧道主体结构整体式液压台车施工技术[J]. 建筑技术开发, 2019(10).
- [9] 时远东,张培聪,陈建飞,等. 标准化可移动式吊篮在明挖隧道中的设计与应用[J]. 建筑机械, 2018(11).
- [10] 刘强. 拱北隧道明挖段变形缝防水构造优化研究[J]. 现代隧道技术, 2017(2).