

隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺技术研究

侯 强

(中交一公局第一工程有限公司, 北京 102205)

摘 要 二衬施工是隧道工程中最关键的一个环节, 施工中经常存在拱顶空洞和因空洞导致厚度不足等质量缺陷。在现有施工中, 已通过工装设备和工艺、配比优化改造解决了逐孔注浆、混凝土流动性差、泵送压力及次数不足等缺陷, 但仍存在因冲顶过程中隧道拱顶封入了空气囊和混凝土泌水气囊产生“饱和”假象造成拱顶脱空的情况。基于此, 本研究借鉴软基处理中塑料排水板工程原理, 通过现场应用, 提出采用“拱顶安设插塑板+拱顶带模注浆”联合工艺, 旨在对有效解决隧道工程空洞问题有所裨益, 进而提升二衬施工质量。

关键词 衬砌混凝土; 插塑板; 带模注浆; 溢浆

中图分类号: U45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.037

0 引言

二衬施工拱顶空洞现象频发, 表层原因包括未逐孔冲顶、冲顶混凝土流动性不足、泵送压力及次数欠缺等, 根本原因是拱顶无排气排水通道, 气囊与水囊无法排出导致浇筑不密实。需建立有效通道, 保障混凝土泵送饱满。

隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺技术充分利用软基处理塑料排水板的原理, 在隧道拱顶形成连续的排水、排气通道, 确保一次性冲顶饱满, 同时结合隧道拱顶带模注浆工艺, 彻底消除拱顶脱空隐患。

1 隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺技术原理及特点

1.1 隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺技术原理

1. 可沿拱顶防水板纵向连续铺设塑料排水板, 确保与防水板紧密贴合。将拱顶存在的密闭气囊进行联合排放。

2. 塑排板安装方便快捷, 只需简单培训工人就可以进行安装作业。

3. 通过对插塑板端头排水情况进行观察以判断隧道拱顶冲顶饱满程度, 降低误判的概率。

4. 厚度较薄、宽度较窄的塑料排水板不会构成削弱二衬截面及受力的影响。在冲顶结束后, 由于水泥浆充盈了大部分的芯材内部空间, 因此不会留下造成拱顶的有害空间。

5. 带模注浆采用 RPC 管进行注浆, 通过法兰盘进行连接, RPC 管在台车就位混凝土浇筑前进行预埋, 二衬混凝土浇筑完成后 1~2 小时内开始径向带模注浆,

注浆材料采用具有微膨胀性、凝结后强度高、高流动性、不泌水收缩、操作时间长等特性。

1.2 隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺技术特点

1. 塑料排水板材质较轻、具有一定松弛度和柔性, 随着混凝土浇筑紧贴防水板, 充分发挥排水、排气作用。

2. 塑料排水板具有滤水特性(液体能透过外包土工材料而砂粒及以上直径的固体物质不能透过), 在其被浮浆包裹的情况下, 仍对拱顶混凝土浮浆具有浓缩作用, 减少浮浆的水灰比、提高浆体强度、减少浮浆固结收缩产生的拱顶微量脱空^[1]。

3. 衬砌台车上的 RPC 管和排气孔可以兼作观察孔, 管控二衬冲顶是否饱满。

4. 采用 RPC 注浆管、专用注浆料、双液注浆机, 施工作业简便。在混凝土初凝前进行注浆填充, 能够使二衬混凝土与注浆填充物有效结合为一个整体, 确保二衬拱顶无空洞。

2 隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺流程

隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺流程围绕联合工艺展开, 依次完成插塑板定位与安装、二衬钢筋铺设、台车关模、混凝土浇筑冲顶, 再进行 RPC 管预埋、注浆连接件安装、制浆及注浆作业, 最后完成设备拆卸、脱模养护与无损检测处置, 如图 1 所示。

3 隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺技术要点

3.1 插塑板定位

隧道中线、左线线路中线、右线线路中线位置分别设置一条, 在隧道中线与左线线路中线、右线线路

作者简介: 侯强(1989-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 隧道与地下工程。

中线之间加密设置一条,共计五条插塑板,插塑板由测量人员通过全站仪在防水板上进行定位^[2]。

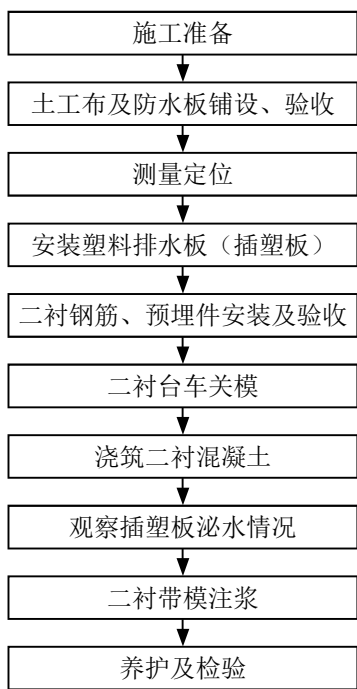


图1 工艺流程图

3.2 安装排水板

插塑板按照定位位置进行安装,安装时在衬砌台车端头外露不少于50 cm,同时在二衬软搭接位置和衬砌中间桩号位置拱顶范围分别环向设置1道。

3.3 安装二衬钢筋

按照设计图纸安装衬砌钢筋,钢筋间距、层距、保护层厚度等均应满足设计及规范要求,钢筋安装完毕,经自检合格、监理报验合格后方可进行移动台车定位。

3.4 二衬台车关模

台车定位后,安装端头模并进行台车整体加固。端头模板采用可视化高分子堵头,能够有效地观察混凝土浇筑情况,辅助判断拱顶混凝土浇筑饱满度。

3.5 混凝土浇筑及冲顶

二衬混凝土浇筑采取四窗振捣、八窗浇筑工艺(四窗布料:一层和二层设置八窗,利用二衬台车布料系统隔窗布料;八窗振捣:一层和二层设置八窗,逐窗振捣),混凝土浇筑至拱顶位置时,混凝土塌落度按不小于200进行控制,同时降低混凝土浇筑速率,确保插塑板具有足够的排水、排气时间,同时通过台车端头可视化高分子堵头对混凝土冲顶情况进行观察,当发现冲顶饱满时暂停10 min后再次泵送,以此循环

3次以上^[3],结合实践情况,得出以下判断标准:持压10 min,插塑板端头滴水间隔 ≥ 2 s时,可判定二衬混凝土冲顶饱满。

4 带模注浆施工技术要点

4.1 技术要求

1. 结合实际情况,选择径向带模注浆工艺,在衬砌台车上设置注浆孔,二衬混凝土施工前安装RPC专用注浆管,在拱顶混凝土浇筑完成1~2 h内进行拱顶带模注浆作业。注浆料采用专用注浆料。

2. 在注浆过程中,注浆压力控制在0.5~1.0 MPa,当注浆压力超过1.0 MPa,而端头无浓浆溢出时,应换孔注浆。

3. 注浆效果检查可以通过地质雷达方法进行检测,对衬砌背后存在空洞的部位进行钻孔注浆处理^[4]。

4.2 施工程序及工艺流程

施工程序如下:台车定位→RPC管安装→衬砌浇筑→注浆件安装→制浆→注浆→拆卸→脱模→蒸汽/喷淋养护→无损检测→缺陷处置(如图2所示)。

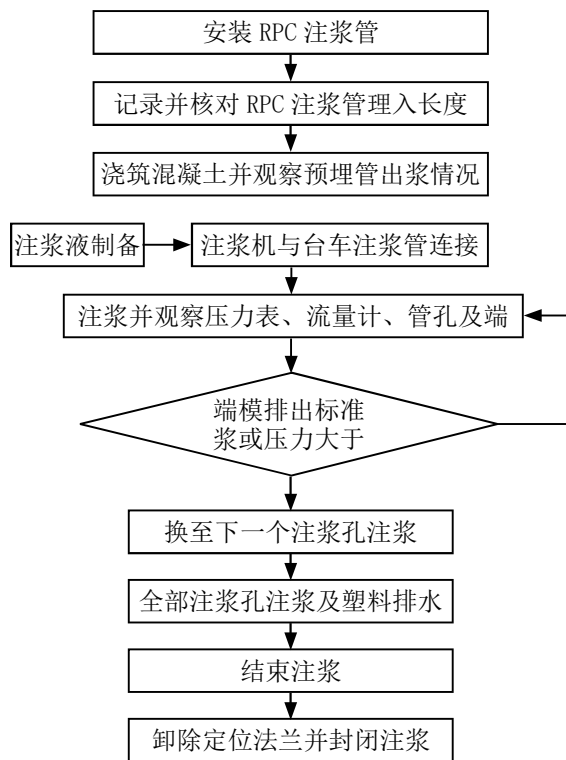


图2 施工程序图

4.3 带模注浆施工工艺

4.3.1 衬砌台车注浆孔设计

衬砌台车设计长度为12.1 m,拱顶设置4个孔径

4 cm 的径向带模注浆孔。1 号孔距软搭接侧施工缝位置 1 m, 4 号孔距端模侧 1.5 m, 2、3 号孔均匀布置。采用法兰盘焊接的方式将注浆孔与模板连接, 法兰盘厚度为 1 cm。螺栓采用 70 mm 的 M22 螺栓。

4.3.2 预埋 RPC 注浆管

台车就位后, 预埋 RPC 管, RPC 管靠防水板管顶为十字形口, 口深 5 cm, 宽 3 cm。安装前, 复核衬砌厚度, 从而确定 RPC 管安装长度。RPC 管通过法兰盘垂直安装, 上部紧贴防水板。

4.3.3 混凝土泌浆记录

注浆管安装完成后进行混凝土浇筑, 冲顶浇筑时, 观察注浆孔是否出现漏浆现象, 满足要求后结束冲顶。冲顶结束后安装径向注浆连接件, 为径向带模注浆做好施工准备。

4.3.4 注浆连接件

本注浆连接件包含: 连接套管、止浆球阀、注浆压力表、快速接头和注浆软管。

4.3.5 制浆

1. 注浆料: 注浆料采用专用注浆料, 或者采用不低于 M20 的水泥砂浆 (水泥采用微膨胀水泥)。

2. 制浆前, 先启动搅拌机, 加入注浆料后启动下料振动电机, 再加入所有的拌和用水, 搅拌 2~3 分钟, 最后加入剩余注浆料, 搅拌均匀后停止搅拌。

3. 打开制浆桶卸料阀门, 使浆体快速流入储浆桶, 然后关闭制浆桶卸料阀门。

4. 按照 2、3 步骤循环制浆。

4.3.6 注浆

1. 将注浆软管末端与注浆连接接头连接, 并将注浆软管与台车固定, 确保注浆稳定。

2. 开启注浆泵进行径向带模注浆作业, 注浆按照从低向高的原则依次进行, 逐孔注浆。

3. 注浆时需要对衬砌台车顶部压力监测表、端模溢浆情况及插塑板泌浆情况进行观察, 如果端头顶部出浆, 同时插塑板泌出浓浆, 则停止此孔注浆, 转入下孔注浆作业, 以此类推直至注浆结束, 注浆过程中如果台车顶部压力监测表压力超过 1.0 MPa, 则立即停止注浆转入下孔注浆作业^[5]。

4. 结束注浆。所有注浆孔注浆结束后, 端头最高处流出与储浆桶相同浓度浆液时, 结束注浆。

5. 留样试验。在注浆管端头和制浆机中进行取样、浆液浓度监测, 浆液浓度与配比相差不得超过 $\pm 1.5\%$ 。同时, 在注浆管端头取样进行抗压强度试验和抗折强度试验。

4.3.7 注浆结束

1. 注浆结束后, 剩余浆液集中处理, 专用注浆料返回仓库进行干燥储存。

2. 清洗带模注浆设备, 严格按照清污分流原则, 将清洗用水通过污水沟排入洞口沉淀池和污水处理站。

3. 待浆体初凝后, 拆卸连接接头, 及时堵塞 RPC 注浆管管口。

5 隧道二次衬砌拱顶防脱空工艺技术应用效果及经济效益

1. 应用效果。根据项目施工情况, 采用拱顶带模注浆单一措施共施工 30 板二衬 (约 360 m)。经第三方检测拱顶脱空达率 10%, 采用“插塑板+拱顶带模注浆”拱顶防脱空技术共施工 40 板二衬, 经第三方检测未发现拱顶脱空, 合格率 100%, 应用效果良好。

2. 推广应用前景。目前隧道拱顶防脱空工艺主要有拱顶径向带模注浆、拱顶纵向注浆两种, 经过实践和研究, 以上两种工艺无法有效解决拱顶因封闭气 (水) 囊造成的脱空问题, 而衬空洞质量缺陷问题频繁。项目提出的“插塑板+拱顶带模注浆”联合工艺, 有效解决了以上问题, 保证了二衬施工质量, 且质量效益明显, 具有良好的推广应用前景。

6 结论

通过两种工艺对比, 采用拱顶带模注浆单一工艺时, 拱顶脱空二衬处理成本相对较高, 同时根据业主质量管控要求, 拱顶脱空且衬砌厚度不足时需要拱顶 120° 范围混凝土凿出重新浇筑, 二衬拱顶脱空处理代价巨大。项目采用“插塑板+拱顶带模注浆联合工艺”联合工艺后, 成效突出。因此, “插塑板+拱顶带模注浆”联合工艺具有较高的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 赵晓春, 刘瑞敏, 严帮伟, 等. 隧道二次衬砌拱顶防脱空注浆材料研究现状及发展趋势 [J]. 江西建材, 2024(02): 9-11.
- [2] 王立川, 葛立辉, 王海彦, 等. 隧道二次衬砌拱部脱空纵向同步灌浆施工方法 [J]. 现代隧道技术, 2024, 61(06): 269-277.
- [3] 戴帅. 二衬带模注浆预防拱顶脱空技术在铁路隧道施工中的应用 [J]. 工程技术研究, 2021, 06(08): 97-98.
- [4] 陈涛. 二衬浇筑防脱空新方法的应用研究 [J]. 铁道运营技术, 2023, 29(02): 22-24.
- [5] 张庆雨. 隧道二次衬砌防脱空综合施工技术探讨 [J]. 四川水泥, 2022(09): 141-143.