

隧道二衬拱顶脱空监理预防措施的探索与实施

莫健宝

广西宁铁监理咨询有限责任公司

摘要: 本文通过对贵南高铁九万大山一号隧道二衬拱顶脱空问题进行分析研究, 制定出有效的防拱顶脱空监控控制流程, 减少隧道二衬拱顶脱空缺陷率, 为今后二衬施工的监理工作提供借鉴。

关键词: 隧道; 二衬拱顶脱空; 监理; 预防措施

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2023. 11. 051

一、引言

2019年12月, 在对贵南高铁九万大山一号隧道进行隧道二衬无损检测检查中发现, 九万大山一号隧道在检测里程段(216米, 共18组)内存在9处欠厚型脱空(其中衬砌厚度不足30cm的有4处), 脱空率为0.042个/米。为确保二衬实体质量及后期运营安全, 需对该隧道存在欠厚型脱空且衬砌厚度不足30cm的二衬浇筑段进行返工处理, 返工不仅造成了较大的经济损失, 还会带来次生的安全质量风险隐患。在此背景下, 通过对九万大山一号隧道二衬拱顶脱空问题进行研究分析, 制定出有效的防拱顶脱空监控控制流程, 减少隧道二衬拱顶脱空缺陷率, 并在管内全部隧道工程中推广使用, 确保隧道衬砌施工质量。

二、病害成因分析

通过深入现场对九万大山一号隧道二衬施工工艺及方法开展前、中、后全过程的跟班写实及调查研究, 分析总结得出该隧道二衬拱顶脱空病害主要成因如下:

(一) 开挖及初支方面

1. 光面爆破效果差

对于III级及以下围岩, 初支一般设计无钢架, 光爆效果差会造成岩面平整度差, 进而导致喷射混凝土很难使初期支护表面平顺, 防水板挂设时与初期支护表面不能良好密贴; 而对于IV级及以上围岩, 光爆效果差则有时会造成钢架架立不平顺, 进而导致喷射混凝土面产生“排肋状”, 局部鼓包等现象, 也使得防水板很难密贴初支面。

2. 操作手操作水平不高

光面爆破效果好, 开挖后围岩平整规则, 但受初期支护施工时喷射混凝土操作手技术水平差或责任心不强等原因影响, 同样也会造成初支表面不平顺。

3. 未开展净空断面量测

二衬施工前, 现场未认真对初期支护净空断面进行量测, 未根据实测断面计算出每组二衬混凝土计算方量, 导致二衬混凝土浇筑时, 不能通过采取实际浇筑方量与计算方量的比对, 来作为判定二衬拱部混凝土是否已充满的重要依据。

(二) 防水层施工方面

1. 防水板预留松弛度不足

铺设松弛度不足, 造成局部紧绷, 使防水板与喷砼面之间形成空腔, 而铺设松弛度过大, 形成褶皱, 导致混凝土浇筑至拱顶时防水板呈紧绷状态, 不能与初支表

面密贴, 造成二衬拱顶脱空。

2. 防水板铺设不牢固

焊点间距过大、数量不足, 防水板搭接宽度、焊接宽度不足, 导致浇筑过程中拱部防水板容易因混凝土摩擦力而下坠, 造成二衬拱顶脱空。

(三) 排气管设置方面

该隧道为正坡施工, 现场所使用的二衬台车只设置了一个径向排气孔, 距已衬砌端0.5m, 而在上坡挡头板拱顶处未设置径向排气孔。在混凝土浇筑过程中, 由于排气能力不足, 且已浇端的三角缝橡胶、软搭接橡胶等设置进一步阻碍了排气, 使拱顶空气无法排除干净, 形成气囊, 气压加大, 导致混凝土泵送压力相对不足, 拱顶部分下游因混凝土自重、自由流动能力及振捣可以使浇筑密实, 而拱顶上游可能会因气压导致出现浇筑不满, 进而导致出现拱顶脱空^[1]。

(四) 混凝土浇筑方面

1. 监理旁站作用发挥不明显

现场监理对旁站工作认识不到位, 认为旁站了就是履职了, 对旁站需要做什么、怎么做缺乏深入地学习与思考, 旁站时把控关键环节能力不强。

2. 封顶混凝土性能不佳

入模前封顶混凝土坍落度过大易导致混凝土和易性差, 粗骨料会在竖向泵管的底部堆积导致堵管; 坍落度过小则混凝土流动性不佳, 不仅容易导致堵管, 而且受地泵压力限制, 难以将拱顶完全压满, 造成二衬脱空。

3. 混凝土振捣不到位

浇筑时插入式振捣器及附着式振捣器未完全使用, 混凝土没有得到有效振捣造成混凝土局部不密实, 浇筑完成后混凝土由于自重产生下沉, 造成拱部脱空。

4. 封顶环节把控不到位

一是二衬封顶时未严格按照规定采用逐孔封顶, 混凝土流动距离过长, 距封顶孔远处易因混凝土供应数量不足、压力不足而造成脱空。二是现场封顶混凝土结束浇筑时机判断不正确, 导致拱顶未充满, 就轻易结束封顶导致造成脱空。

5. 混凝土浇筑不连续

封顶混凝土浇筑不连续, 当间隔时间大于或临近已浇混凝土初凝时间时, 受流动范围限制, 后浇混凝土填满拱顶困难, 造成拱顶脱空^[2]。

(五) 回填注浆方面

1. 注浆压力表无法正常使用

注浆压力表缺失或损坏, 导致注浆时无法判定注浆压力是否符合要求。

2. 注浆液未按批准的配合比拌制

施工单位技术交底不到位, 现场作业人员现场拌制的注浆液过稀, 流动性过大导致注浆液四处溢流, 未能起到拱顶回填作用。

3. 注浆结束过快

现场未严格参照注浆压力达到0.2Mpa或排气孔出浆的判断标准来判断回填注浆是否已注满，就擅自结束注浆。

三、主要做法

(一) 确定监理控制流程

由上述分析可知，影响九万大山一号隧道二衬拱顶脱空的因素涉及开挖、初支、防水板铺设、排气管设置、砼浇筑、回填注浆等环节，对此，结合查阅资料、开会研讨、现场实践等方式方法，总结制定出二衬拱顶防脱空监理控制流程，要求现场监理在现场严格执行并落实。

(二) 开挖控制重点

1. 光面爆破效果检查

检查爆破设计是否按照严格控制超欠挖的原则进行设计，每循环开挖后检查开挖炮眼残留率和超欠挖情况，要求施工单位根据现场实际开挖情况动态调整爆破参数，以达到最佳光面效果。

2. 开挖轮廓尺寸检查

每循环开挖后，采用观察、测量等方式对隧道开挖轮廓尺寸进行检查，根据验标要求，围岩完整石质坚硬岩石个别突出部位最大欠挖值不大于50mm，且每 1m^2 不大于 0.1m^2 ，对不符合要求的，要求施工单位重新进行凿除。检查过程根据验标要求留存影像资料。

(三) 初支控制重点

1. 技术交底情况检查

检查施工单位对现场作业人员技术交底是否到位，现场施工作业人员是否了解和掌握工作标准与工作要求。

2. 钢架安放质量检查

钢架安放前检查钢架是否按照统一标准制作，是否存在长短、弧度不一等情况，对不按统一标准制作的，要求施工单位退场处理；钢筋安放后检查各钢架安放是否位于同一高度、同一平面内，架立是否平顺等，对不符合要求的，要求施工单位重新对钢架进行调整。检查过程根据验标要求留存影像资料。

3. 初支混凝土面检查

采用观察、尺量等方式对初支混凝土面平整度进行检查，根据验标要求，初支混凝土面应符合两突出物之间的深长比 $D/L \leq 1/20$ （D：即初期支护基面相邻两凸面之间凹进去的深度；L：即初期支护基面相邻两凸面之间的距离，且L不大于1m）的规定要求，对不符合要求的，要求施工单位进行补喷混凝土或凿除混凝土处理；采用观察等方式检查初期支护喷射混凝土面应无尖锐物，锚杆端头、钢筋露头等尖锐物应采用护具防护或割除，并采用砂浆抹平，避免刺穿破坏防水层并确保混凝土表面平顺^[3]。

4. 净空断面量测检查

铺挂土工布施工前，督促施工单位对初期支护净空断面进行检查，采用全站仪或三维激光断面扫描仪等测量隧道周边轮廓断面，一是核查初支净空断面不得侵入二衬净空；二是督促施工单位根据实测断面计算每组二衬混凝土用量并提交计划。

(四) 防水层铺设控制重点

1. 技术交底情况检查

检查施工单位对现场作业人员技术交底是否到位，现场施工作业人员是否了解和掌握工作标准与工作要求。

2. 防水板松弛度检查

通过观察并结合用手压触防水板等方式，测试防水板松弛度是否适宜。检查若发现防水板有褶皱、紧绷、空鼓等松弛度不适宜情况的，督促施工单位采取在基面凹凸较大处增加固定点，使防水板与基面紧贴，或者是对问题部位防水板进行切割，另取一小块防水板剪成圆角，将其置于修补处，用手动电热熔接器熔接进行修补处理等方式，使防水板松弛度符合要求。

3. 防水板固定质量检查

防水板环向铺设时，应由隧道拱部向两侧边墙进行，下幅防水板应压住上幅防水板，并将焊缝位置上移，减小接缝开口宽度，防范混凝土下滑时摩擦接缝而撕裂焊缝；检查防水板的搭接宽度不应小于150mm；检查防水板焊接采用双缝焊接，每条焊缝有效宽度不应小于15mm，无漏焊、假焊；检查防水板固定点间距拱部宜为0.5m~0.8m，边墙宜为0.8m~1.0m。检查过程根据验标要求留存影像资料。

(五) 排气管设置控制重点

为加强二衬浇筑时拱顶排气能力，避免因拱顶产生气囊造成二衬拱顶脱空，督促施工单位增加措施如下：

1. 增设塑料排水板

(1) 塑料排水板定位。在隧道中线、隧道线路左、右中线及隧道中线与隧道线路左、右中线之间，分别设置一条纵向塑料排水板（计5条），在已浇筑二衬端和台车中心位置拱部 $142^{\circ}39'24''$ 范围各安装一条环向塑料排水板（计2条），用测量仪器在防水板上测设并标注出位置。

(2) 塑料排水板安装。按照标注的位置安装排水板，其中纵向塑料排水板在二衬台车靠掌子面端头模一端超出30至50cm。塑料排水板可通过胶带与防水板黏结，但浇注过程中应避免脱落而造成切割砼，尤其是素砼段落，所以建议采用条状防水板与拱部防水板紧密焊贴。

(六) 混凝土旁站控制重点

1. 制定完善二衬旁站制度

(1) 完善《二衬混凝土浇筑旁站记录表》。应用标准化管理手段，按照旁站记录表就是旁站控制要点清单表的理念，对原用的《二衬混凝土浇筑旁站记录表》进一步进行了修改及完善，在表中增加了备用设备准备情况，实测坍落度情况，设计方量、计算方量、实浇方量情况，浇筑连续情况，最长停顿时间情况，逐孔封顶情况，带模注浆情况等重点旁站控制内容，使现场监理通过旁站记录表就能了解和掌握二衬旁站需要做什么，应该怎么做，提高监理人员业务水平，切实推动二衬混凝土浇筑旁站监理工作开展取得实效。

(2) 推广使用《隧道二衬浇筑记录表》。为督促施工单位落实二衬混凝土浇筑干部带班制度，特制定了《隧道二衬浇筑记录表》，并要求施工单位现场带班人员在二衬混凝土浇筑过程中如实进行填记，确保二衬浇

筑过程可追溯性,推动工程实体质量提高。

(3) 加强过程反馈。为进一步了解掌握现场监理旁站履职情况,推动现场监理切实做好二衬混凝土浇筑旁站工作,要求现场监理在旁站过程中须每隔2个小时将施工单位记录的《隧道二衬浇筑记录表》及现场旁站情况拍照发至内部微信群;要求现场监理在旁站过程中如实填写好《旁站记录表》,并于旁站结束后立即拍照发至内部微信群;对于现场浇筑过程存在的异常情况及时在内部微信群汇报反馈。

2. 混凝土性能控制

(1) 生产封顶混凝土时,驻站试验监理应根据《铁路隧道衬砌施工技术规程》(Q/CR 9250—2020)(下称《规程》)规定,督促施工单位做好封顶混凝土生产工作。

(2) 开始浇筑、封顶前以及浇筑过程中每50m³混凝土入模前施工单位试验人员须到现场对混凝土坍落度、扩展度、含气量等性能进行检测,现场监理进行见证,性能不符合要求的混凝土严禁入模。

3. 混凝土振捣控制

(1) 督促施工单位配备备用捣固机具,防止因捣固机具发生故障,造成漏捣或捣固不实。

(2) 整个二衬混凝土浇筑过程,现场监理应督促作业人员加强振捣,采用附着式振捣器和插入式振捣器相结合的方式,混凝土振捣过程应有专人观察,防止跑模和漏浆现象发生。

(3) 附着式振捣器开启后振动力较强,长时间开启容易造成台车面板松动及端模爆模,也会导致下部已浇筑好的混凝土表面起砂,故每层振捣器开启时间为3s左右,不宜超过5s,两次开启的间隔时间为5~10min。

4. 混凝土封顶过程控制

(1) 封顶时适当减缓泵送速度,减小泵送压力,以利捣固、排气和观察充填情况。

(2) 封顶混凝土应从已衬砌段向另一端按顺序逐孔冲顶,且混凝土终孔封顶应在已衬砌浇筑孔进行,终孔封顶入模混凝土压力应达到0.03MPa~0.05MPa,并持续稳压3min~5min。

(3) 封顶时,督促施工单位专职技术人员或质检员通过以下措施来判定拱顶部混凝土是否密实、无脱空。

5. 混凝土连续性控制

(1) 现场监理及驻站试验监理在二衬混凝土浇筑前应督促施工单位对搅拌站、运输车、输送带、衬砌台车等按规定进行调试,确保运转正常,且能进行连续正常工作。

(2) 现场监理在签发二衬混凝土浇筑令前,要按《铁路隧道工程施工机械配置技术规程》(Q/CR 9226—2015)规定要求,检查现场是否有备用发电机、备用泵、备用泵管等备用设备,且备用设备是否能够正常使用。

(3) 驻站试验监理加强拌和站管理,不允许生产二衬混凝土的拌和机组穿插生产其他部位的混凝土。在二衬混凝土生产过程中,驻站试验监理须每隔2个小时将该生产二衬混凝土拌和机的生产记录发至内部微信

群,以监理部了解掌握是否存在穿插生产。

(七) 回填注浆控制重点

1. 注浆压力表检查

二衬浇筑施工前,提前检查注浆机有无压力表,或压力表能否正常使用。

2. 注浆液拌制检查

(1) 注浆液拌制时施工单位试验人员应到场指导现场作业人员严格按照审批过的配合比进行拌制,避免出现过浓过稀情况。

(2) 注浆液应搅拌均匀,搅拌时间不应小于3min,在注浆过程中搅拌机应持续搅拌。

3. 注浆过程控制

(1) 注浆过程中应注意观察衬砌施工缝等部位是否漏浆,若漏浆应暂时停止注浆,对漏浆处进行封堵且观察合格后方可继续注浆。

(2) 注浆时,要求施工单位技术员或质检员值班密切观察端头塑料排水板情况,当注浆压力达到0.2Mpa或塑料排水板排出浓浆时,可结束注浆。这时逐一对照塑料排水板外露端头及时进行弯折绑扎止浆,避免浓浆流失。

四、主要成效

(一) 增强现场管理水平,提高二衬施工质量

通过在二衬施工过程中严格落实所制定的监理控制流程,能较好地掌控混凝土浇筑质量,有效预防隧道二衬拱顶脱空问题。据统计,从实施起至2020年底,九万大山一号隧道共计浇筑1692米(141组)隧道二衬混凝土,经地质雷达无损检测,共发现二衬拱顶脱空问题41个,经验证属实37个,脱空率为0.022个/米,是课题实施前0.042个/米脱空率的52.4%,且未发现衬砌厚度不足30cm问题,二衬脱空率得到了有效降低。同时,通过对现场二衬混凝土表面进行观察检查,发现施工冷缝、蜂窝麻面等二衬质量问题也得到了大量减少,二衬施工质量切实得到了提高。

(二) 减少返工成本,创造良好经济效益

根据无损检测结果来看,课题实施前,九万大山一号隧道二衬返工率为22.2%(检测18组,需返工4组),课题实施后,截至2020年底,二衬返工率降为0%。若按课题实施前的返工率估算,截至2020年底,九万大山一号隧道二衬需返工:141组×22.2%≈31组。且根据统计,建设期每组二衬返工所需花费的费用约为39.7万元,故课题实施后可减少的返工成本约为:31组×39.7万元=1230.7万元,减少了大量返工成本,创造了良好的经济效益。

参考文献

[1] 黄种杰. 隧道二衬混凝土开裂原因及施工处治技术[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(12): 158-159.

[2] 刘新福. 隧道二衬拱顶脱空原因分析及防治新技术[J]. 价值工程, 2020, 39(16): 129-130.

[3] 熊晓晖. 隧道二衬搭接技术优化分析及应用研究[J]. 铁道建筑技术, 2022(08): 20-23+60.

作者简介:莫健宝(1995.09-),男,汉族,广西扶绥人,本科,助理工程师,主要从事工程监理工作。