

浅谈隧道二衬拱部防脱空纵向退管带模注浆分析

何 虎

中铁隧道集团一处有限公司 重庆 401120

摘要: 在隧道衬砌施工中存在着较多的质量问题,其中以二衬脱空最为严重,对衬砌结构的影响也较大。二衬脱空在目前公路隧道二衬施工中难以避免,隧道建设数量越来越多,二衬混凝土表面裂缝是隧道工程常见的病害,其会直接影响二衬混凝土的抗渗能力与功能使用,使混凝土耐久性降低,因此,在施工中应严格控制施工质量,将二衬混凝土表面裂缝的病害消除,由此为保证隧道二衬混凝土的施工质量奠定基础。近年来,从国外引进了一种新的混凝土裂缝处理方法—注胶加固法,在不少结构混凝土裂缝处理中起到了较好的效果。

关键词: 注浆工艺; 质量控制; 预防及处理; 成因及不足

Analysis of mold grouting of longitudinal pipe withdrawal belt against cavitation at the second lining arch of tunnel

Hu He

China Railway Tunnel Bureau Group Company Limited Chongqing 401120

Abstract: There are many quality problems in tunnel lining construction, among which the second lining void is the most serious and has great influence on the lining structure. At present, the second lining void is difficult to avoid in the second lining construction of highway tunnel. The number of tunnel construction is increasing. Surface crack of secondary lining concrete is a common disease in tunnel engineering, which will directly affect the impermeability and functional use of secondary lining concrete and reduce the durability of concrete. Therefore, the construction quality should be strictly controlled in the construction, and the disease of the cracks on the surface of the second lining concrete should be eliminated. Thus it lays the foundation for guaranteeing the construction quality of the second lining concrete of tunnel. In recent years, a new method of concrete crack treatment -- glue injection reinforcement method has been introduced from abroad, which has achieved good results in the treatment of many structural concrete cracks.

Keywords: Grouting technology; quality control; prevention and treatment; causes and shortcomings

1. 前言

目前二衬拱部脱空、空洞为隧道常见质量缺陷之一,出现概率较高,造成产生此类缺陷问题的影响因素众多,脱空、空洞在拱部、拱腰的分布位置无规律,隧道施工项目、施工企业对此类质量缺陷整治投入精力、成本较大。二衬砼脱模之后再行注浆回填质量效果,不如在脱模之前进行带模注浆回填效果。

2. 脱空、空洞成因分析及目前常规注浆工艺不足

2.1 二衬脱空、空洞成因分析

常见隧道二衬脱空、空洞缺陷一般分布于拱顶、拱腰范围(隧道中线至两侧约1.5m范围),但在二衬纵向、

横向的具体分布位置并无规律性可循。

产生脱空、空洞的主要原因,为二衬工装及砼封顶灌筑工艺本身无法保证拱部砼能够灌筑饱满,如:砼封顶灌筑饱满度需人为判断则不可避免会有偏差;拱部砼塌落度相对较大,新浇筑砼有自沉、稳定过程,势必造成拱部脱空;因顾及砼灌筑冲顶压力、次数对二衬堵头安装稳固性的影响而未敢必要的富余操作。另外,在砼封顶灌筑过程中,能引起脱空、空洞的其他影响因素很多,如;砼和易性、流动性、保坍性等不佳;砼供应不及时,灌筑不连续;泵送设备性能不良、堵管;拱部超挖较大的部位需泵送砼的更大冲压;钢筋密度、预埋件安装对

砟流动性影响;作业人员经验、技能水平、素质等。

2.2 目前二衬防脱空常规注浆工艺的不足

目前隧道普遍采用的径向RPC管带模注浆回填工艺并未有效针对脱空、空洞缺陷的无规律分布特点,造成实际注浆效果不佳。预埋RPC管一般间隔设4孔,位置是固定的、数量是有限,二衬脱空、空洞位置与注浆管口刚好重合或联通的概率小;预埋管容易被砟冲顶压力挤偏,造成砟浆液堵塞管口而失效;注浆管孔小,注浆浆液通过管端切溢浆槽的扩散范围有限,很难覆盖至脱空、空洞部位;注浆可能因排气不畅影响等。

比径向RPC管带模注浆更早应用的纵向预埋 $\phi 30\text{mm}$ PVC管注浆工艺,效果更差,PVC花管溢浆孔较小,易被浆液堵塞,且浆液去向无法把控、扩散能力不佳,实际应用效果不佳。之后铁路行业才推广径向RPC管注浆工艺。

在以往施工中,即使在二衬封顶灌筑砟过程中已感知某部位可能有脱空、空洞,若此部位没有注浆管口,则大多数在脱模之前无能为力,或对带模注浆能够回填弥补效果毫无把握。二衬砟脱模检测之后再行补注浆,则砟与浆液不能成为一体,砟结构效果不如带模注浆效果^[1]。

3. 纵向退管注浆特点

本方法法基于二衬拱部脱空、空洞缺陷无规律分布的特点,实现二衬拱部全覆盖注浆回填,是目前针对二衬拱部脱空、空洞的最好解决方法,有效提高二衬砟质量水平。配套设备安装、使用对现场其他工序无干扰。

4. 适用范围

本方法可广泛应用于铁路、公路、市政项目的隧道现浇二衬拱部带模注浆回填施工。

5. 方法原理

防水板铺设完成后,沿拱顶中线纵向布设注浆时作为排气管的PVC花管;二衬钢筋(若有)安装完成后,沿着拱顶中线于较高位置纵向布设注浆钢管。二衬模板台车定位及堵头封闭后,将注浆钢管外露段与配套设备连接。二衬砟灌筑完成约1~1.5小时后,启动注浆作业,利用退管注浆配套专用设备,一边退管、一边注浆,在退出预埋钢管过程中,同步完成对钢管途径脱空、空洞的注浆回填,对注浆管道两侧拱腰部位的脱空、空洞,则通过注浆及压力挤推砟进行充填,从而实现对拱部范围脱空、空洞缺陷的全覆盖注浆回填。

6. 操作事项

6.1 操作要点

6.1.1 工法配套设备安装平台

在二衬台车靠掌子面端,需先制作、安装本工法配套设备作业平台(在二衬台车定制时,可将配套设备安装平台一起定制)。设备平台长需约3~4m、宽需约2.5~3m,平台长度可根据现场条件,越长更好,长度若能达到4m则更便于作业时退管及人员的拆、接管操作,平台周边设钢管围栏防护。平台空间高度约按1.5~1.6m控制。

6.1.2 PVC排气管及注浆钢管定位安装

(1)防水板铺挂后,沿测量放样标示的隧道中线紧贴防水板粘贴(防水板切条焊粘)固定纵向 $\phi 20\sim 30\text{mm}$ PVC管作为带模注浆作业的排气管,PVC管需有一侧打孔,孔径2~3mm,孔间距 $\leq 30\text{cm}$ 。安装时,打孔侧应朝上固定,有利于排气。

(2)纵向注浆钢管采用 $\phi 42\text{mm}$ 无缝钢管(非常规管材),由设备厂家加工、提供,钢管3~4m一节,钢管端口为特殊接头,连接成管道约13.5m。钢管可刚柔兼顾,适用于基面起伏、钢筋冲突等现场可能存在的不良状况。砂浆泵送设备注浆软管通过快速接头与纵向钢管尾端连接^[2]。

(3)二衬钢筋安装(若有)完成后,于拱顶较高位置按测量放样标示的隧道中线提前安装注浆钢管,钢管远端管口应贴靠上一组二衬端头砟面(用以避免二衬封顶灌筑时砟较多进入管内而可能影响注浆,即使管口未严格贴紧端头砟面,现场作业中也未见有砟堵塞管口情况)。二衬有结构钢筋时,可用 $\phi 6$ 钢筋制作吊环,悬挂纵向注浆钢管,二衬12m范围均布3~5处吊点,钢管安装时应边连接拧紧、边穿环悬挂。二衬为双层钢筋时,吊环与外环主筋用铁丝绑扎固定;二衬为“单层护面筋+骨架筋”时,吊环与骨架外环主筋用铁丝绑扎固定。

(4)钢筋段纵向注浆钢管安装时,应尽量顺直,并沿测量放样中线点位安装,与退管设备中心位置偏差控制 $\pm 20\text{cm}$ 之内,否则管道与设备连接时可能会有影响。

6.1.3 注浆前准备工作

(1)将防水板或钢筋作业台架推靠二衬台车的设备安装平台,人员作业平台增大后更有利于作业操作及保障作业空间、人员操作安全,可待退出2~3节钢管后再拆管,减少拆接管次数,从而提升注浆作业效率。

(2)二衬砟封顶灌筑还差1~2车砟即将结束时,应启动退管设备自动慢速旋转(3~4转/分钟),一方面,可避免二衬砟包裹注浆管道后造成较大退管阻力,另一方面,还可避免砟冲顶挤压钢管影响而造成退管阻力较大。

(3)注浆管道及设备的连接、调试,按注浆计划开始时间提前拌制注浆砂浆。

6.1.4 注浆作业过程控制

(1) 开始注浆时间

二衬封顶灌筑完后, 砼会有一个自沉稳定过程, 砼初凝约为5小时, 为使带模注浆砂浆与二衬砼能融为一体, 应在拱部砼初凝之前完成注浆, 通过隧道现场应用实践, 单组二衬注浆量一般为1~1.5m³, 用时40~70分钟便可完成注浆, 启动注浆时间加上完成注浆作业时间应满足砼初凝之前完成作业所需时间要求, 因此, 二衬砼灌筑完成1~1.5小时后即应开始注浆, 启动时间不宜过晚。

(2) 作业前段注意事项

注浆钢管远端管口预埋定位时要求贴靠上组二衬砼端面, 为保证输浆顺畅, 在启动注浆前应操控设备先退管约30cm(退1次), 以保障远端管口出浆空间。

二衬顶部砼坍落度一般控制在200~220mm, 实践发现, 砼自沉稳定后, 密闭空间内水蒸气会在二衬顶部形成积水层, 注浆前段可能会排出顶部积水, 一般约3~4分钟, 因此开始注浆后, 可等顶部积水被注入砂浆挤压往近端二衬堵头并基本排完后, 才第1次退管, 后续作业边注浆边退管。

(3) 注浆过程预防漏浆及处理

二衬拱部注浆基本灌满时, 会有浆液从二衬端头中部堵头板缝的较高位置溢出, 属于正常情况, 堵塞并全部退出注浆钢管后封堵孔口即可。

二衬堵头板缝大、背贴止水带与防水板安装密贴性不严时, 则注浆过程中将可能会从二衬堵头部位漏浆, 漏浆范围一般在拱顶往下约1m高度范围(即隧道中线往左右两侧横向距离约2~3m范围), 漏浆对已注入砂浆的保浆能力、饱满度有不利影响, 因此注浆过程中应有人观察二衬堵头及其他缝隙部位是否有异常漏浆情况, 若有则应暂停注浆, 并及时用布条等堵塞漏浆点; 对二衬预埋件、洞室等部位也应查看是否有漏浆, 若有则妥善处置后再注浆; 二衬砼封顶灌筑砼时就应观察及封堵二衬堵头板缝的漏浆点, 避免遗留到带模注浆再处理。

为预防二衬堵头漏浆, 一方面, 应特别重视隧道中线往左右两侧横向距离约2~3m范围的堵头板、背贴止水带的安装质量, 对支撑稳固性、背贴止水带与防水板密贴性、堵头板缝密闭性等进行检查及并提前妥善处理, 特别是在背贴橡胶止水带安装铺设的基面有凹陷时, 堵头板应将背贴橡胶止水带顶撑帖紧防水板及初支砼基面; 另一方面, 在初期支护的喷射砼施工阶段, 可规划出二衬堵头所在断面范围, 有意保障喷射砼基面圆顺性、平整度, 将有益于保证二衬堵头、止水带安装质量以及预防漏浆^[3]。

(4) 注浆作业退管控制

纵向退管带模注浆机可在设备自动控制模式、人工操作模式之间自由、灵活切换。

注浆过程中, 纵向退管带模注浆机可设定注浆时长、注浆压力限值等参数, 以自动控制退管动作。设备退管单次行程约30cm, 可设定每1~2分钟退1次管, 可设定当监测到注浆压力达到限值时(0.2或0.3MPa)退管, 也可按照时间、压力双参数控制退管。

由于二衬拱部脱空、空洞的无规律性以及缺陷形态的不确定性, 综合注浆压力稳压状态、注浆时长、异常漏浆及注满正常出浆状况、二衬砼灌筑时预判可能有脱空部位等, 采取人工手动按钮控制退管频次、退出长度。

一般在注浆作业尾段, 若二衬堵头中部较高位置孔隙已溢浆、漏浆, 则注浆已基本饱满, 此时自动控制退管无太大意义, 应采用人工操作模式。

(5) 注浆量

注浆可采用普通砂浆。通过现场注浆量统计、结合雷达检测结果等经验总结出各级围岩段落二衬带模注浆的需浆量。当存在超挖较大、二衬砼封顶灌筑发生堵管、拱部防空洞报警系统未全亮灯等情况时, 注浆量可能较正常情况大, 可达2~3m³, 甚至更大。注浆量越大则本工法比其他带模方法更有效率、更有效果。

在总结现场注浆用量经验的初期, 可按照1m³、1.5m³、2m³等0.5或1m³倍数作供应量, 未达到灌注饱满判定标准应继续供应。注浆砂浆由拌合站生产, 罐车运输至作业现场。

(6) 注浆压力限值及灌注饱满度判断、保障措施

正常情况二衬拱部超挖基面至纵向注浆钢管布设位置的高差不超40cm, 高度40cm的流动状态砼底部压力有 $P = \rho * g * h = 2500 \text{kg/m}^3 \times 10 \text{N/kg} \times 0.4 \text{m} = 10000 \text{N/m}^2 = 0.01 \text{MPa}$, 因此将0.2MPa作为注浆压力限值已可将砂浆、砼混合料挤压至较高脱空位置, 现场应用监测注浆压力偶尔会短暂超0.2MPa, 约达到0.4MPa(推测为原二衬砼已充填饱满区域)。通过现场应用实践及注浆后雷达检测结果表明, 按0.2或0.3MPa作为压力控制限值即可保障注浆灌注饱满。另外, 按高铁3%线路纵坡, 12m二衬两端高差为 $12 * 3\% = 36 \text{cm}$, 外加管口至拱部超挖基面考虑40cm, $P = \rho * g * h = 2500 \text{kg/m}^3 \times 10 \text{N/kg} \times (0.36 \text{m} + 0.4 \text{m}) = 19000 \text{N/m}^2 \approx 0.02 \text{MPa}$, 因此从注浆压力上, 按0.2或0.3MPa限制控制是可以保障二衬高位端的注浆效果的。

二衬堵头端处于隧道纵坡高端的, 当二衬端头中部较高位置的堵头板孔缝溢、漏浆时, 可判定注浆已基本

饱满,应暂定注浆而先退出钢管,当仅剩余最后一节钢管在二衬内时,应预留2m左右继续注浆1~2分钟以确保尾段及管道退出路径能充填饱满;当二衬堵头端处于隧道纵坡低位的,当剩余最后一节钢管在二衬内时,预留2m左右继续注浆2~3分钟(比设备安装在二衬的高端应加长时间)再全部退管。

注浆过程中须对异常漏浆点位及时封堵,全部退出注浆管后应快速封堵穿管道的预留孔口。

6.1.5 注浆管的退管、拆接、清洗

退出单节或多节注浆钢管后,需拆管时应暂停注浆,人工控制按钮宜先退管1次(单次可退30cm),大概率使远端注浆钢管口埋入二衬砼内以减少拆管时管道的倒浆、漏浆,也可采取小幅度倒转砂浆压送泵,进行泄压后再拆管。拆管后应快速将注浆高压软管(快速接头)接上未拆钢管的尾端,继续注浆作业。注浆钢管循环使用,拆管后应尽快清洗,管口牙扣务必清洗干净。

6.2 劳动力配置

纵向退管式注浆作业:需3~4名工人,即退管注浆主机控制操作1人,砂浆压浆泵放料及控制1人,拆接管2人(拆接管也可仅配1人,由退管注浆主机控制人员兼顾协助拆接管)。

7. 材料与设备

7.1 注浆材料

本纵向退管注浆工艺可采用河砂(经网筛,或用细砂)拌制砂浆作为注浆料,配置砂浆强度应大于等于二衬砼强度,砂浆和易性、保水性、保坍性等作业性能应稳定,细骨料粒径不大于3mm(砂浆泵入料斗加网筛可过滤掉粗颗粒物),以满足砂浆泵颗粒要求及减少砂浆泵送堵管。采用细砂、粉煤灰、水泥、减水剂等拌制砂浆,有利于与二衬砼融合为一体。

7.2 主要设备及机具

隧道二衬纵向退管式带模注浆机1台、变量砂浆压送泵(可实现与注浆机联控)1台、高压注浆软管1根(20米)、对讲机1对。

8. 质量控制

8.1 注浆机、注浆管道安装要求

退管注浆机定位安装应与二衬台车中线位置吻合,需在安装平台放样设备机座精确位置,误差控制 $\pm 2\text{cm}$

之内。要求测量放样隧道拱顶中线,注浆钢管沿中线布设,误差控制 $\pm 10\text{cm}$ 之内,保障注浆钢管于拱顶中部高位,同时避免与已安装的注浆机中心位置偏差大而影响连接。

8.2 排气管安装要求

沿隧道中线在防水板面,采用防水板切成条带粘帖固定打孔PVC排气管,安装定位偏差控制 $\pm 5\text{cm}$ 之内。

9. 安全措施

配合作业台架、设备安装平台应设置围栏,高空作业人员应佩戴安全带,并挂绳于稳固横梁、杆体。

注浆作业时,靠近管道接头人员、拆接管人员须佩戴防护目镜,避免管口接头意外松脱、喷射浆液损伤眼睛。

注浆时拆接管人员应避免站立在软管与钢管接头正后方,以避免接扣因压力过大而突然松脱甩管造成人员伤害。

作业平台应保证充足照明。用电设备应有漏电接地保护,规范接用电管理。

10. 环保措施

对各施工段的注浆需浆量进行统计,总结经验,合理规划拌制浆量,避免剩余浪费,试验室应考虑剩余砂浆回收加工、再利用,妥善安排砼施工衔接,尽量避免剩余砂浆当废料处理。

冲洗设备废水、废弃浆液须经沉淀池等污水处理设施妥善处置,满足环保要求。

11. 结语

隧道二衬脱空、空洞缺陷会影响结构安全、使用寿命及线路运营安全,特别是高铁作为国家名片,隧道建设质量不容忽视,质量强国也是国家建设发展趋势,因此通过改进隧道二衬带模注浆工艺工法,大大减少脱空、空洞质量缺陷,对企业、社会、国家均有重大意义。

参考文献:

[1]刘大琳,邓小知,蒋树平,等.一种隧道二次衬砌防脱空纵向带模注浆拔管装置.

[2]刘大琳,邓小知,蒋树平,李开兰,王明慧,&朱建国等.一种隧道二次衬砌防脱空纵向带模注浆拔管装置.

[3]李成业.“三逐两孔两振”工艺在尚岗二号隧道二衬施工中的应用[J].价值工程,2018年12期.