

公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术的应用研究

孙国栋

(北京市政路桥股份有限公司 北京 101100)

摘要: 本文依照文献对比法和理论分析法首先就技术应用背景、模型建立进行了论述, 其次分别提出了隧道旋喷注浆预加固、拱顶带模注浆加固的技术实施办法以及施工加固具体流程等, 以供参考。

关键词: 公路桥梁; 隧道工程; 灌浆法

引言: 我国地域辽阔, 地形地貌复杂, 在公路隧道所经过的山区, 存在着大量的硫酸根等侵蚀性矿物, 随着车辆行驶时间的延长, 混凝土会受到地下水的侵蚀出现疏松、沉陷、剥离等隧道路面病害问题, 由于这些因素的存在, 使得隧道承载力逐步降低, 从而对其正常工作和运行安全造成了很大的威胁, 因此需做好公路桥梁隧道工程加固处理施工工序, 并明确所采用的灌浆法加固技术以及其运用措施。

1、技术应用背景

最近几年, 有关盾构隧道施工对地面沉降或管片的应力变化的影响的研究, 已经有了一些结果, 并对有关项目的顺利建设起到了指导作用。然而, 在软弱岩层中, 盾构法穿越江河时, 其对地表沉降和管片内力和变形的影响机理尚不明确。在控制隧道变形时需采取有效措施, 需在隧道周围采用孔注浆对地层进行加固, 对此公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术的实施措施以及技术要点较为关键。

2、公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术运用基础——模型建立

2.1 隧道注浆加固数学模型分析

在公路桥梁隧道工程中为合理发挥灌浆法加固技术, 在针对项目隧道进行灌浆处理后, 在隧道周围形成了一种阻止岩体变形的作用力, 使岩体二次应力状态发生变化。其中岩体的抗剪强度会对岩体的受力状况有较大的影响。为方便计算, 把公路桥梁隧道工程隧道周围岩石的应力状况转化成圆环或厚壁圆柱的应力状况, 假设: 巷道周围岩石的内径是 a , 外径是 b , 内部受到的均布压力为 p_a , 外部受到的均布压力为 p_b , 如图 1。

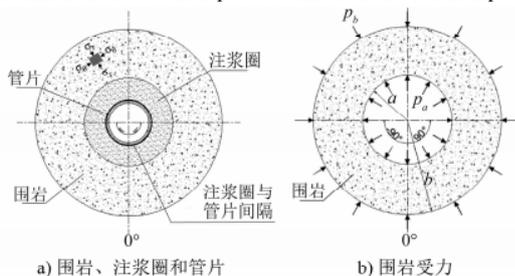


图 1: 注浆加固后隧道围岩受力图

以弹性理论为依据, 在内外压力 p_a 和 p_b 的作用下, 当 $b \geq a$ 时, $p_a = \sigma_0$ 时, 围岩应力值为: 图 2

$$\sigma_r = \sigma_0 \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + p_a \frac{a^2}{r^2} \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_0 \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - p_a \frac{a^2}{r^2} \quad (2)$$

图 2: 计算公式与结果

由图 2 计算结果可知, 在隧道进行注浆加固之后, 其围岩再分布应力 σ_r 和 σ_θ 是由开挖之后围岩的再分布应力和注浆压力造成的额外应力共同构成的。前者是基坑开挖后岩体再分配的应力, 后者是由注浆压力产生的附加应力。在灌浆过程中, 在周围岩石中形成了一个负周向应力, 也就是所谓的张应力。对此可明确的是, 在一定的灌浆压力下, 会增加周边的径向应力, 而降低切向应力, 其本质为, 可合理将巷道内的岩石应力从单一方向改变为双向方向, 从而改善巷道内岩石的承载力和稳定性。但需注意的是, 若注浆压力较大不仅会破坏切向应力还会将切应力加到岩体的抗张强度之上, 严重时也会导致隧道出现失稳情况。所以, 如何选择合适的灌浆压力、灌浆区域, 对于保证隧道加固安全施工较为关键。

1.2 数值模型

结合具体项目实际情况, 明确隧道内、外径, 其中盾构机刀盘直径为 6.4 米, 坑道内的衬砌厚度为 350 毫米, 坑道左右两个圆心之间的距离为 14 米。起始点在左线, 挖掘工作在右线。对此结合具体的工程实际情况, 该地质条件较差, 对此在本项目工程施工中需有效地控制地表沉降和管片的受力变化, 而这一点也是确保建设工程安全性的关键。

1.3 施工过程模拟方法

以 Abaqus 为分析工具, 运用“生死元”方法对盾构施工进行了数值仿真。首先对隧道内的围岩施加重力和边界约束, 拆除衬砌和灌浆等支撑构件, 获取隧道内的初应力场; 通过杀死土体单元来模拟开挖过程, 可启动衬砌和灌浆装置, 随后进行支护过程的仿真处理。

2、公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术运用措施——隧道旋喷注浆预加固

2.1 预加固法原理

在公路桥梁隧道工程中需使用预加固办法完成对本工程的加固处理。预加固法的基本原理为, 按照软岩隧道加固理念, 首先在隧洞围护结构之外打大口径深孔导流, 再用玻璃纤维锚杆对开挖面进行预先加固处理, 随后运用水平旋喷台车在隧道的周围, 用水平旋喷桩取代国内采用的超前大管棚和小导管, 对其进行了部分预先加固处理。该技术在本工程中, 从开挖到支护, 再到二次衬砌, 其机械化水平较高设施配套完善, 可达提升施工效益, 降低施工安全风险的运用效果。

在进行施工时, 可采用 PST—60 钻机进行钻孔, 当钻到了规定的深度之后, 再将钻杆撤回, 然后利用高压泵以超过 35 Mpa 的压力将配制好的浆液注入砂土中, 在喷出时, 要让浆液对一定区域的砂土进行稀释, 并且在喷嘴进行缓慢的转动和前进的过程中, 对砂土进行切割处理, 由此保障沙颗粒可与浆液进行充分的融合、混合。等待浆液完成凝固后, 需使其在水平圆柱

状内以水泥砂土固结体的方式,形成水平旋喷桩。其中水平旋喷桩可改善砂土的力学性能,保障土体强度与结构特性达到规范要求,进而以同心圆方式,在隧道的拱顶和周围,构成封闭的横向旋喷幕。在完成后可达到加固效果,且起到防坍塌、滑塌的作用,并避免出现开挖后所发生的地表沉降问题,有效确保了隧道安全掘进。

2.2 预加固法施工相关参数

(1) 为避免在高压旋喷时由于喷射压力过大而导致掌子面出现坍塌现象,需提前在掌子面完成钻泄水施工处理,其长 11 米,直径 60 毫米,打完后用聚氯乙烯过滤管排水。

(2) 采用 PST-60 型水平旋喷器对引孔进行旋喷,每次循环 15 米,挖深 10 米。在掘进过程中,沿着掘进等高线环向埋设旋喷桩柱。施工参数:桩径 600 mm,桩长 15 米,两根桩之间的夹角为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$,旋喷压力是 40 Mpa,转速为 10 r/min,水泥浆流量为 250 L/min,后退速度为 1 cm/s。在此过程中,需使用 1:1 的普通水泥浆液,且浆液需要在洞外泵站内完成配置工序并采用管道进行输入处理。

(3) 在隧道等高线外侧设环向的真空排水孔,排水孔的直径为 60 毫米,排水孔的长度为 40 米。

(4) 在掌子面的加固过程中,使用的是套管跟进的方法,并对其进行了施展,其长度为 1 m,排列为梅花形,孔距为 1.5 m,一共有 45 到 55 根。同时,需在钻孔中注入 1:1 的普通水泥浆,并在钻孔两端进行 2 米的旋喷式喷锚,以增强锚杆的强度。

2.3 高压旋喷施工工艺

施工前准备工作:(1) 检查钻机和高压灌浆装置的运转情况,以及其他辅助装置的安装情况。(2) 安装钢筋网,用喷射混凝土封闭掌子面,在掌子面上对隧道的施工剖面进行测量,并对其进行定位,并对每根桩进行编号,方便工程数据记载。(3) 开挖排水管及泥浆沉降槽,污水及溢出的泥浆经该排水管流进沉降槽后再排放出去,避免拱脚受到水侵蚀及对施工场地的污染。

水平旋喷机就位:通常情况下,隧道水平旋喷桩的施工从拱脚开始,在 PST-60 水平旋喷机就位的时候,要保证座达到稳定性要求,并合理调整钻机角度、方位,确保可对齐孔位;钻孔位置偏差应控制在 ± 20 毫米以内,倾斜角度偏差通常不应超过 1 度。

水泥浆液配制:按照水平旋喷桩要求,采取单液浆旋喷的处理方式。在此过程中,水泥浆液的配比为 1:1 水泥以 P. 0.42.5 为宜。在实际的工序中,可结合地质条件对水泥浆的配方进行适当的调整,从而达到最佳效果。其中泥浆由洞口的高压泵站调配,再由泵送管道输送到工作面。

水平旋喷机钻进:在 PST-60 型水平旋喷机组中,根据所测得的桩位位置,使用特制的钻孔钻具。首先要将钻孔的位置调整好,将导向钻头放入孔洞中,钻杆由导轨进行取向,其次,在钻进时,需确保使用高压水来进行处理,在钻头前端需留有水眼,在钻井过程中,利用高压水柱对井眼周边的砂土进行切削,从而达到辅助钻井的目的。在钻孔中,每 5 米测量一次斜坡,并做好记录。各倾斜角的误差在 1% 以内。在钻井时,若钻头的倾角满足规定,钻头将均匀地转动,钻杆轨道通常为直线;在钻头不均匀的情况下,由于钻头的不均匀转动,会导致钻头轨道存在位置偏差,对此施工人员需注意的,在钻进过程中,如果出现大于 1% 的偏差,应立即进行校正,直至钻进到设计深度为止^[1]。

高压旋喷成桩:(1) 在 PST-60 水平旋喷机钻进到设计深度后,首先要撤出钻管,然后将带有喷嘴以及调试好的压力钻杆下达设计喷射深度内,并完成对喷嘴位置的调整处理,随后进行水平旋喷作业。在浆液从孔口中流出后,需按照世界提升要求结合旋转速度,并由里向外开始喷射、旋转和提升,直至在设计端点处停止旋转喷射,继续把钢管推进井中,并向井中灌浆。这时将喷管内的钻孔与钻头更换,继续下一孔的施工。

(2) 在实际施工过程中若出现地质较好的情况时,需减小旋喷做固结体尺寸,在此过程中,需增加喷射压力和泵送量,或者减小旋转和提升的速率,并采用二次喷射搅拌的方法进行处理。即可以用水冲洗 1—2 次,然后用水泥浆冲洗 1—2 次。在旋转喷射过程中,时刻对灌浆压力进行观测和记录,若出现压力降低或不稳定的情况,需暂停旋喷,并检查好具体的原则,在压力恢复平稳状态后再继续进行旋喷。

(3) 水平旋喷桩在成桩过程中,在距孔口 1 米的位置上,一定要做好封孔工作,用大球阀作为止浆器。在完成一根水平旋喷桩的施工之后,应该立即用清水对管道和设备进行高压冲洗,保证不会有任何的浆液残留在管内。在清理干净后,继续下一步的工作。由于水泥浆的初凝过程较慢,因此施工时应按一定的间隔进行,每隔 2—3 根桩进行施工较为适宜。

3、公路桥梁隧道工程施工中灌浆法加固技术运用措施——拱顶带模注浆加固

3.1 注浆

(1) 在公路桥梁隧道工程中需采用拱顶带模注浆进行加固处理,该加固办法主要是将经过调配好的化学浆液或水泥浆液,用管子将其注入土体的缝隙中,在两者结合后可产生物化反应并合理提升土体强度,减少所出现的压缩性、渗透性问题等。在此过程中,还需明确的是,该注浆办法主要是针对隧道埋深小于 50m 且稳定性不高的土体。并且在基坑施工中,对易造成坍塌的地质条件较差的部位,采用由上往下的钻孔注浆方法,对基坑周围的岩层和地层进行预先加固处理。

(2) 通常情况下,进行灌浆排水,可以在开挖面提前 30—50 m,由此确保其可形成具有一定厚度且截面比较长的管状加固区,使其达到良好的堵水效果。这种情况也有效降低了注浆作业次数,且更适用于有压地下水以及地下水较为丰富的底层内。

(3) 结合项目实际情况,可采取“以堵为本,限制泄漏”的防渗原理,以达到节约用水的目的。注浆管道的长度一般在 15~30 米之间^[2]。

3.2 工艺特点

(1) 在二衬板上,预留了灌浆管和灌浆排气口,并设置了观测洞,以检查拱顶混凝土的充填情况。

(2) 使用 NMU 高强度注浆管以及微膨胀缓凝早强充填砂浆等灌浆设备,在这些设备中具有结构简单、操作便捷的优势特点。

(3) 该技术操作相对便捷,且灌浆一次模板二次衬砌仅需 2 小时,并不占用二次衬砌的施工周期。

(4) 采用模板灌浆,可以在混凝土进入初凝阶段就进行灌浆,而且灌浆压力要比脱模后灌浆压力大得多。对此可有效提升整体的衬砌混凝土和灌浆工艺的完整性,并对各类混凝土病害进行处理。

(5) 在采用带模法进行灌浆时,有车架模架的保护,不会对二衬混凝土造成损伤。通常情况下,在灌浆时,在压力 6 Mpa

(下转第 22 页)

(上接第6页)

以上则注浆浆液的压力一般不会超过 1.0MPa。

3.3 安装 RPC 注浆管、排气管顶住防水板

按照二衬的几何尺寸,将改装好的 RPC 注浆管道(排出管)放入改装的预留孔中,然后“试穿”测量,在此过程中需确定好 RPC 灌浆管(排气管)的安装长度;并对二衬厚度进行检测,以 RPC 灌浆管(排气管),且顶住防水板长度以 2 厘米为基准^[3]。

3.4 浇筑混凝土并观察预埋管出浆

二次衬砌要均匀浇筑,两边的混凝土表面的高差不得大于 0.5 米,前、后高差不得大于 0.6 米。同时,在浇注时,应逐层从模板窗口内灌入,一般是从下往上,均匀地分层,倾泻的自由高度不能大于 2 m。同时,浇筑拱顶混凝土时,需确保注浆管可作为观察口,在此施工人员需结合项目实际情况利用该观察口查看混凝土是否浇筑到了拱顶内,且需注意观察埋设管道实际情况,应以溢浆为准,必要时,可清除灌浆观测孔,避免其阻塞^[4]。

3.5 注浆液制备及带模注浆

在进行注浆液制备以及带模注浆工序时,需由下而上进行且二次衬砌浇筑完毕后 2—3 小时,灌浆材料为填充灰浆,其中水灰比为 0.18,且在注浆过程中所采用的设备需为一体化设备,由此保障注浆的连续性,避免出现任何断停问题,在拌制的过程中还需控制好材料用量,由此保障浆液达到质量要求^[5]。

3.6 观察压力表和排气孔出浆

灌浆结束标志是已喷出的泥浆和尾端模具中的泥浆为止。在台车模架上的浆液流出压力为 1.0 MPa 时,若还没有出浆需进行重新填充处理,直到可从中间充填口内以及终端口流出黏稠的泥浆为止,注浆完毕后,拆下注浆用胶带,并把注浆管口密封好即可。

结束语:在公路桥梁隧道工程中,需明确所采用的灌浆技术实施标准以及质控措施,由此顺利发挥该技术运用优势,保障达到公路桥梁隧道加固需求。如上结合实际项目提出了灌浆技术加固原理、模型以及施工办法等,其对解决土体问题有着重要的运用意义。

参考文献:

- [1]王久军,刘方,张文龙,等. 多层钢花管注浆加固技术在大直径盾构下穿运营地铁隧道中的应用[J]. 中国铁路,2021(12):120-127.
- [2]李和元. 隧道工程施工中灌浆法加固技术的应用分析[J]. 工程建设与设计,2021(4):209-210.
- [3]陈富华,王忠伟,甘增伟,等. 高速公路隧道突水涌泥段注浆加固技术[J]. 交通世界(上旬刊),2021(11):19-20.
- [4]成杰. 隧道洞口施工地表预加固技术及应用[J]. 四川建材,2021,47(8):130-131.
- [5]马栋,付重滔,李磊. 莲花山隧道进口回填冲沟段加固技术[J]. 公路交通科技,2021,38(6):17-22.