

快速完成水平截渗基底加固施工研究

陈青, 陶志, 李鹏

(长沙市市政工程有限责任公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 随着城市轨道交通的迅速发展, 车站基坑开挖深度增大, 更多的砂砾及卵石层在基坑底部出现, 采用袖阀管注浆加固基底, 阻止地下水从基坑底部涌入, 保证基坑开挖安全, 成为基坑开挖工程基底加固最常见的施工方法。文中结合长沙市轨道交通 3 号线山塘站土建工程袖阀管注浆加固施工, 介绍快速完成基底水平截渗、实现加固地层良好均匀性和整体性的关键技术。

关键词: 隧道; 基坑水平截渗; 基底加固; 袖阀管注浆; 双向密封芯管

中图分类号: U457

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)06-0137-03

基坑开挖中, 止水帷幕无法进入隔水层止水, 对基坑底加固是确保基坑开挖施工安全的关键。采用常规方式袖阀管灌注水泥浆在富水性好、透水性好砂砾及卵石层进行基底加固, 由于注浆量大、注浆压力和渗透半径小, 不利于控制注浆质量及施工成本, 难以形成质量较好的加固体、满足均匀性、强度及渗透性要求。如何快速在基底进行水平截渗, 同时在注浆量、注浆压力之间寻找平衡, 减少环境水影响, 成为施工控制的重点和难点。该文结合实体工程, 研究基底加固措施的关键技术。

1 工程概况

长沙市轨道交通 3 号线山塘站土建工程, 车站主体 YDK5+534.478—629.061 段基坑侧壁范围内结构底板位于冲积粗砂、砾砂、圆砾和卵石层中, 且地下水较丰富、水力影响大、分布范围较广, 勘察报告揭露的地下水水位埋藏深度差异较大, 勘察期间测得各钻孔的稳定水位埋深为 3.00~11.51 m、平均埋深 5.94 m, 水位标高 33.43~48.11 m、平均标高 40.72 m。地下水位的变化与地下水的赋存、补给及排泄关系密切, 并受季节变化影响, 其年变化幅度为 2~5 m。基坑埋深 16.5~23.3 m, 钻孔深度约 43 m, 预测基坑涌水量为 3 189.26 m³/d。施工钻探孔揭露的结构底板以下砂卵石层厚度为 14.5~37.6 m, 设计要求对基底以下 16~22 m 采用袖阀管注浆进行加固。

2 技术应用原理

(1) 加固地基周边孔采用水泥—水玻璃双液浆, 中间孔每孔首段注浆(约 1 m)均采用水泥—水

玻璃双液浆, 其余采用单液浆。分段注浆底端首段注浆料采用快速固结有利于提高注浆质量, 减少环境水影响, 快速完成基底水平截渗, 使基底快速形成单向开口帷幕, 减少浆液往下渗漏。

(2) 改良自密式双向密封芯管, 即注浆芯管出浆段底端分别安放外径略微大于袖阀管内径的钢垫片、聚氨酯环形胶圈、钢垫片, 出浆段上端安放聚氨酯环形胶圈、聚氨酯喇叭形胶圈、钢垫片。严格根据袖阀管花管孔距分段注浆, 减少不同注浆段之间的相互干扰, 降低冒浆、窜浆的可能, 提高首段注浆后分段移动注浆芯管的便利性(芯管管顶泄压后, 管内存在自由液面, 导致管底带压), 减少埋管风险。

(3) 采用控制注浆量及注浆压力的措施, 攻克成本控制与质量难以平衡的难题, 确保注浆效果。通过注浆加固, 使加固区被压溃、劈裂、挤压、水化、置换等物理充填和化学充填, 隔断基底地下水水力联系, 并将加固区的松散砂砾层转变为具有一定强度的固结石体系, 减小注浆区地层渗水系数, 阻截基坑底面的地下水流入基坑, 固结软弱和松散地层, 提高地层强度和自稳能力, 降低基坑围护结构变形及周边环境变形增量。

3 工艺流程及施工技术

根据基底加固袖阀管注浆试验段施工结果, 选取符合设计要求且在多数条件下可达到的浆液扩散半径。采用袖阀管分段跳孔注浆加固法, 袖阀管下到孔底面, 以注浆段的管壁花眼作为出浆孔、外包橡皮箍作为单向阀, 灌浆头由双塞系统止浆塞和灌浆芯管组成。在袖阀管内插入双栓塞芯管, 对基底分层进行压力注浆。

3.1 施工控制参数

3.1.1 布孔间距及注浆高度

根据山塘站袖阀管注浆试验段的对比施工参数、检测单位对试验段加固体的检测报告,考虑到车站地质情况复杂及经济性,注浆孔间距取 1.5 m,呈梅花形布置,注浆高度 6 m;中间孔首段注浆采用 1 m 双液浆封底以减少浆液流失,其余 5 m 采用水泥浆。中间孔首段 1 m 双液浆有利于控制注浆量,快速固结,减少水环境影响。周边 2 排孔采用 6 m 双液注浆且与地连墙的搭接不少于 1.5 m。对于地下连续墙与注浆加固段未完全咬合的加固体,其外围 2 排袖阀管注浆采用水泥-水玻璃双液浆,防止跑浆。袖阀管试验段位置见图 1,中间孔位断面注浆见图 2,检测孔平面布置见图 3。

3.1.2 控制注浆压力

结合试验段检测报告,确定终孔条件之一为:注

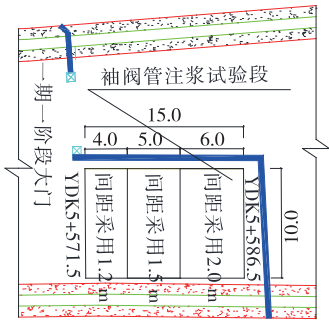


图 1 袖阀管试验段位置(单位:m)

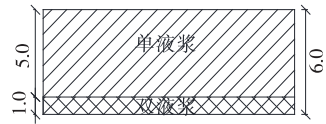


图 2 袖阀管注浆试验段中间孔位断面注浆示意图(单位:m)

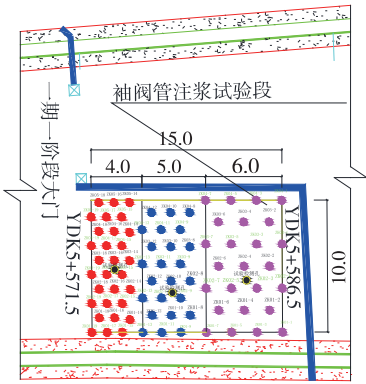


图 3 袖阀管注浆试验段检测孔平面布置(单位:m)

浆孔单液水泥浆注浆压力为 0.4~1.2 MPa,注浆压力从 0.4 MPa 逐步提高,达到相对稳定的注浆终压 1.0 MPa 左右并继续注浆 10 min 以上,注浆量<10 L/min。

3.1.3 控制注浆量

设预留袖阀管每米注浆量为 Q 。根据地质勘察报告,砂砾层透水性中等~强,孔隙率取 0.4。注浆量计算如下:

$$Q=1\,000vn\beta\alpha$$

式中: v 为加固土体积(m^3); n 为土的孔隙率; β 为浆液填充系数, $\beta=0.6$; α 为浆液损耗系数, $\alpha=1.15$ 。

计算得:孔距 1.5 m,每延米注浆量 0.54 m^3 ,每孔注浆量 3.2 m^3 。控制注浆压力和拟定注浆量,达到其中一项条件并满足另一项条件要求的 80%时,则暂定当前注浆孔达到终孔条件。袖阀管注浆试验段注浆量见表 1,加固体渗透系数见表 2。

由表 2 可知:注浆孔间距为 1.2、1.5 m 时,注浆区域的渗透系数满足设计要求;注浆孔间距为 2.0 m

表 1 袖阀管注浆试验段注浆量

注浆孔间距/m	钻孔数量/个	实际注浆量/ m^3	控制注浆量/ m^3	实际注浆量:控制注浆量/%	实际每延米注浆量/ m^3
2.0	25	100.16	165.00	61	0.67
1.5	24	77.88	89.28	87	0.54
1.2	30	70.12	72.00	97	0.39
总计	79	248.16	326.28		

表 2 袖阀管注浆试验段加固体渗透系数

注浆孔间距/m	半径/cm	形状系数/cm	注入流量/ $(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$	水头/cm	渗透系数/ $[\times 10^{-5}(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})]$
1.2	7.6	41.8	0.060	632.5	3.78
1.5	7.6	41.8	0.076	611.3	4.87
2.0	7.6	41.8	0.116	642.6	7.20

时,渗透系数不满足设计要求。

3.2 操作要点

3.2.1 钻孔控制

钻孔过程中循环泥浆泄漏多发生在砂卵石层较厚且透水性强的地层,需采用优质泥浆护壁。该项目采用 $\phi 108$ mm 套管护孔,待孔内下入袖阀管并注入套壳料后,将 $\phi 108$ mm 套管提出孔外、及时注浆,并采用间隔跳孔、逐步约束、先下后上的注浆施工方法。

3.2.2 安装袖阀管,浇筑套壳料

(1) 钻孔至设计深度并用清水清孔后,立即下入按注浆段配备的袖阀花管。下管时及时向管内加入清水,以克服孔内浮力,使其顺畅下至孔底。

(2) 将套壳料通过钻杆泵送至孔底,自下而上灌注套壳料至孔口溢出符合浓度要求的原浆液为止,拔出套管。

(3) 套壳料以膨润土为主、水泥为辅组成,配比为水泥:膨润土:水=1:1.5:2.0,浆液比重为1.3~1.5,漏斗粘度为22~26 s,强度为0.5~1 MPa,主要用于封闭袖阀管与钻孔壁之间的环状空间,防止灌浆时浆液到处流窜,在橡胶套和止浆塞的作用下,迫使灌浆段范围内挤破套壳料而进入地层。

(4) 套壳料浇筑的好坏是保证注浆成功与否的关键,要既能在一定压力下压开填料进行横向注浆,又能在高压注浆时阻止浆液沿孔壁或管壁流出地表。因此,要求套壳料脆性较高,收缩性小,力学强度适宜,既要能防止串浆又要兼顾开环。

3.2.3 拔拉芯管分段注浆

(1) 采用跳孔间隔注浆方式在富水、流变地层进行基底加固,首段1 m 采用双液浆(水泥浆、水玻璃稀释液),配比为0.8:1~1:1。水玻璃加速凝固有利于提高注浆质量,减少环境水影响;双液浆初凝时间一般在45 s左右,能快速水平截渗,较好地在地基快速形成单向开口帷幕,减少浆液往下渗流。

(2) 注浆芯管出浆段两端采用聚氨酯密封环,在完成分段注浆拉拔芯管的过程中,芯管管顶泄压后管内存在自由液面,导致管底带压,易出现注浆芯管卡死、注浆孔报废需重新钻孔注浆或聚氨酯密封环越界、破损导致开环不成功、浆液沿管壁上升至地面等现象。为此,应用自密式双向密封芯管,降低袖阀管注浆开环、芯管拔拉因密封圈跑位导致阀管冒浆、窜浆的发生,提高首段注浆后芯管分段移动注浆芯管的便利性。

(3) 终孔采用控制注浆量及注浆压力的双控措施,攻克成本控制与质量保证难以平衡的难题,确保注浆效果,提高注浆压力,较少钻孔数量,加快施工进度,同时减少浆液对环境的影响。

3.3 施工注意事项

(1) 在可注入的前提下尽量降低注浆压力和流量,降低孔隙水压力突增量,有利于孔隙水压力消散,防止浆液继续流失造成浪费,也有利于提高注浆效果;控制施工节奏,同样有利于降低孔隙水压力突增量,有利于空隙水压力消散,避免应力过分集中。

(2) 发生孔间串浆现象时,调整注浆参数,适当减小注浆压力和速度。可采取间歇注浆、加大跳孔距离等措施防止串浆发生。

4 实施效果及应用结论

4.1 实施效果

(1) 根据地质勘探报告,该项目注浆加固地基底端一般位于粗砂、砾砂、圆砾、卵石层中,基坑周边孔及中间孔首段注浆(约1 m)均采用水泥-水玻璃双液浆,使钻孔加固区形成单向开口帷幕,减少浆液往下渗流,控制注浆量。

(2) 采用自密式双向密封芯管,降低袖阀管注浆开环、芯管拔拉因密封圈跑位导致的阀管冒浆、窜浆的发生,提高首段注浆后芯管分段移动注浆芯管的便利性,减少埋管风险,注浆成孔率高达99%。

(3) 终孔注浆压力一般维持在1 MPa,能满足设计要求;加固体注浆量采取控制注浆压力和计算注浆量的双控措施,达到其中一项条件且满足另一项条件要求的80%时,暂定当前注浆孔达到终孔条件。根据检查单位的检测结果,加固效果满足设计要求,深基坑大面积水平截渗基底加固效果良好。

4.2 技术应用结论

(1) 基底加固中,中间孔首段注浆采用1 m 双液浆封底,可减少浆液流失和水环境影响。

(2) 采用改良的自密式双向密封芯管,在注浆芯管出浆段底端分别安放外径略大于袖阀管内径的钢垫片、聚氨酯环形胶圈、钢垫片,出浆段上端安放聚氨酯环形胶圈、聚氨酯喇叭形胶圈、钢垫片,并严格根据袖阀管花管孔距分段注浆,可降低袖阀管注浆开环、芯管拔拉因密封圈跑位导致的阀管冒浆、窜浆的发生,提高首段注浆后芯管分段移动注浆芯管的便利性,减少埋管风险,极大提升注浆的成功率和

(下转第142页)

岩入渗系数为 0.1。传统理论方法与数值模拟法的计算结果对比见表 3。

表 3 不同方法计算的涌水量对比 m^3/d

计算方法	涌水量	计算方法	涌水量
古德曼公式	1 620	数值模拟法	245
裘布依公式	285	水均衡法	240
经验公式	952	实际涌水量	270

从表 3 可看出:水均衡法和数值模拟计算的涌水量与实际涌水量最接近,与实际情况较吻合,这两种方法可用于 V 级围岩段隧道涌水量预测。

3.2.2 V 级围岩段最小注浆加固圈厚度

以控制流量 $Q=2.5 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$ 为控制标准,研究 V 级围岩段最小注浆加固圈厚度。以围岩注浆加固厚度 B 为 1、2、3、4 m 分别计算涌水量,计算结果见图 4 和表 4。从图 4、表 4 可看出:随着注浆加固圈范围的增大,围岩涌水量减小。

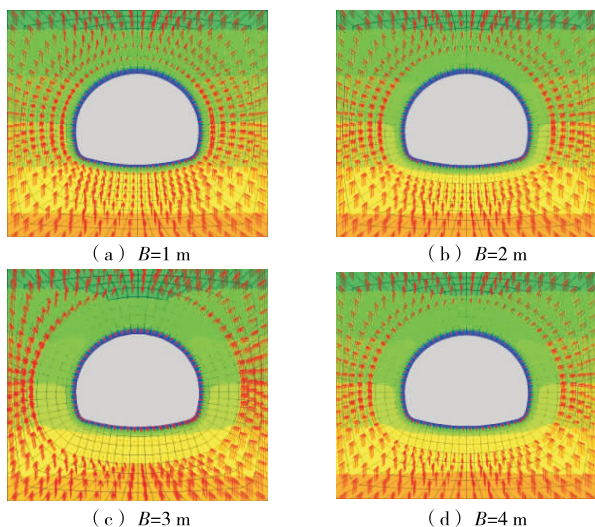


图 4 V 级围岩段不同注浆加固圈厚度下的涌水量矢量图

根据表 4,采用插值法得到注浆圈厚度 2.7 m

时,涌水量小于控制渗流量 $Q=2.5 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$,确定 V 级围岩段注浆加固圈最小厚度为 2.7 m。为便于计量,实际工程中建议采用 3 m。

表 4 注浆加固圈厚度与涌水量的关系

注浆加固圈厚度/m	涌水量/ $[\text{m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{d})^{-1}]$
1	4.5
2	3.2
3	2.2
4	0.8

4 结论

隧道岩溶是地下水的通道,尤其降雨期间地表水的下渗加上隧道的开挖,隧道掌子面形成汇水自由面,会加速地下水的渗流和排放,更易引起涌水事件。隧道开挖引起围岩应力场改变,导致围岩骨架颗粒产生剪切位移,引起围岩裂隙宽度发生变化,改变渗透性能,进而引起渗流场发生改变。合理的注浆加固圈厚度可做到既经济合理,又解决涌水问题。对于吉庆隧道岩溶富水 V 级围岩段,注浆加固圈厚度 2.7 m 时,涌水量小于控制渗流量,确定 V 级围岩段注浆加固圈最小厚度为 2.7 m。为便于计量,实际工程中建议采用 3 m。

参考文献:

- [1] 周渊韬.富水岩溶隧道 IV 级围岩段涌水及注浆加固厚度分析[J].铁道建筑技术,2013(5).
- [2] 傅鹤林,韩汝才.隧道衬砌荷载计算理论及岩溶处治技术[M].长沙:中南大学出版社,2005.
- [3] 朱显镇.长株潭跃进湖段桥改隧方案评价与施工安全控制研究[D].长沙:中南大学,2014.
- [4] 陈涛,马涛,蒋颖.宜万铁路鲁竹坝 2 号隧道的主要工程问题及其处理措施[J].铁道建设标准,2009(9).

收稿日期:2019-03-12

(上接第 139 页)

抽拔注浆芯管操作使用的便利性。

(3) 采用控制注浆量及注浆压力的双控措施,能攻克成本控制与质量保证难以平衡的技术难题,确保注浆效果,提高注浆压力,较少钻孔数量,加快施工进度,同时减少浆液对环境的影响。

参考文献:

- [1] 湖南湖大土木建筑工程检测有限公司.山塘站注水试

验检测报告[R].长沙:湖南湖大土木建筑工程检测有限公司,2018.

- [2] JGJ 79-2012,建筑地基处理技术规范[S].
- [3] GB 50202-2018,建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [4] 《建筑施工手册》编委会.建筑施工手册[M].第五版.北京:中国建筑工业出版社,2013.

收稿日期:2019-07-10