

既有线顶管施工路基加固技术研究

Research on Subgrade Reinforcement Technology for Cable Jacking Pipe Construction

王薇

Wei Wang

中铁六局集团北京铁路建设有限公司 中国·北京 100036

China Railway Sixth Group Beijing Railway Construction Co., Ltd., Beijing, 100036, China

摘要: 论文以实际工程为例,对既有线顶管工程及地质水文条件进行了阐述,针对既有线顶管施工临近风险点情况及加固措施进行分析,提出了加固措施。通过对二重管无收缩定向注浆法的特点及注浆液体的性质研究,为将来的施工提供了依据。

Abstract: Taking the actual project as an example, this paper elaborates the existing wired pipe jacking project and geological and hydrological conditions, analyzes the risk points and reinforcement measures near the existing wired pipe jacking construction, and proposes reinforcement measures. The characteristics of the non-shrinkage directional grouting method of double pipe and the properties of the grouting liquid were studied, provides a basis for future construction.

关键词: 既有线;地基加固;WSS施工

Keywords: both wired; foundation reinforcement; WSS construction

DOI:10.12346/rb.v1i2.7746

1 引言

铁路在中国发展的历程中扮演着重要的角色,其建设和运营不仅关系到国家经济的发展,也直接影响人民生活。随着城市化进程的加速和交通需求的不断增加,对于铁路线路的安全性和可靠性提出了更高的要求。既有线顶管加固施工是保障线路安全、提高线路承载能力的重要措施,加固效果直接影响线路的稳定性和安全性。以往的线路基顶管加固多采用传统的加固方法,存在加固效果难以保证、施工难度大、周期长等问题。因此,基于WSS施工方法的线路基顶管加固技术研究具有重要意义,可有效提高加固效果,减少施工难度和周期,降低施工成本^[1]。论文采用文献调研、实地调查和数据统计等方法,通过对WSS施工方法、线路基顶管加固情况和相关数据的收集和分析,形成科学的结论和建议。

2 工程背景

2.1 工程概况

本工程涵管为丰台站改建工程丰台西编组站给排水管道

接入市政工程而设。根据自来水路,结合北京至广州铁路上行线及下行线、丰沙上行线、机车出入库线现场勘查情况,在京广铁路下行线K3+285处顶进保护涵管。为保证自来水管线的正常使用和铁路行车安全,根据铁路设计(运输)规范要求和现场的实际情况,给排水管线下穿北京至广州铁路上行线、北京至广州铁路下行线、丰沙上行线、机车出入库线,保护管内穿DN300球墨铸铁管,采用内径1550mm,顶进钢筋混凝土管。

2.2 工程及地质水文条件

根据现场竖井开挖实际勘察,本工程管道位于卵石层,极易塌方。

2.3 加固方法的选择

实际施工时无详细的地质勘探报告,只能根据现场施工时的开挖土层来确定。根据实际开挖现状土质发现,卵石层和砂石层交替变化且无明显规律可循。卵石层的卵石粒径达到50mm左右。

由于施工周期短,穿越铁路施工条件的特殊性不能对轨道上部进行加固,只能在顶管过程中采用局部范围注浆,对周围土体加固。

【作者简介】王薇(1981-),女,本科,工程师,从事铁路桥梁研究。

研究表明地基持力层主要为细砂层及卵石层；竖井施工深度范围内所见的均属松散结构的地层，易坍塌，应采取相应措施，以保证其土体稳定性。根据现有地质资料，保护管管底位于基本承载力为 140kPa 的粉质粘土中，考虑施工中周围土体扰动的影响，决定采用对顶管周边土体进行水泥-水玻璃深孔注浆加固。本工程通过洞内辐射钻孔对不良地层进行注浆填充，为管道正常的施工创造良好的施工条件，保证土体结构的安全及正常使用根据现场实际情况，结合工程施工经验，本着确保质量，保安全的原则，施工过程中选用 WSS 工法（双管无收缩改性双液浆）压密注浆施工。采用小型机械成孔注浆措施，布孔间距为 0.5m，深度 3.5~4.5m 为一循环，边注边开挖，采用小型机械成孔注浆措施施工，注浆采取 WSS 施工方法。施工配料为 AC 液和化学浆液 AB 液。压力控制在 0.1~0.3MPa。

3 二重管无收缩定向 WSS 施工

3.1 二重管无收缩定向注浆法的特点

WSS（二重管无收缩注浆液）是一种新型的加固材料，可以用于地基加固、桥梁修缮、管道维护、堤防抗渗等领域。二重管无收缩注浆液是一种由 AB 液和 AC 液组成的注浆液体系。

3.2 关键技术

3.2.1 注浆液体系

WSS 由 AB 液和 AC 液组成的注浆液体系，其中 AB 液主要由水泥、混合碳酸钙和酸化剂，AC 液则是由玻璃粉、硅酸钠等材料组成的碱性液体。在进行注浆过程中，AB 液和 AC 液按照一定的比例混合，形成一种流动性好的注浆液，能够迅速渗入结构裂缝中，填充裂缝和孔洞，最终硬化成一体。

3.2.2 加固原理

WSS 注浆技术的加固原理是通过注入双组份浆料来填充混凝土结构的缺陷和损伤部位，从而实现结构的加固。WSS 注浆技术采用的是特殊的二重管注浆方法，采用的浆料为两种液态材料，即硬化剂和树脂浆料。其中一根管子用来注射硬化剂，另一根管子用来注入树脂浆料。当硬化剂与树脂浆料混合时，它们开始反应并生成黏稠的聚合物。随着反应的进行，聚合物逐渐变硬并开始凝固。这个过程中，硬化剂和树脂浆料相互作用形成化学键，在变硬的同时填充了需要加固的结构缺陷和损伤部位，形成了一层保护层。这种保护层具有优良的耐久性和承载能力，可以防止结构继续受损。

在 WSS 注浆技术中，注浆用的双组份材料是非收缩材料，所以注浆后不会产生收缩引起的徐变现象。同时，WSS 注浆技术适用于低黏度浆料的注浆，能够渗透到混凝土结构内部，有效地填充紧密的缺陷和细小的裂缝，并且这种浆料具有较长的凝胶时间，保证充分填充缺陷，达到最佳的加固效果。

3.3 注浆液体系

3.3.1 AB 液

AB 液由水泥、混合碳酸钙和酸化剂组成。其中水泥作为主要胶凝材料，可以进一步提高注浆液的强度和硬化速度；混合碳酸钙则是一种填充材料，用于使注浆液变得更加黏稠；酸化剂则可以激活水泥的硬化速度，加快反应过程。

3.3.2 AC 液

AC 液由玻璃粉、硅酸钠等材料组成的碱性液体。它可以与 AB 液中的水泥反应生成水硬胶，在加固材料的硬化过程中起着至关重要的作用。AC 液中的氢氧化钙有助于提高硬化速度和注浆液的破坏韧性，增强物料的抗裂性能。

3.4 加固效果

在进行地基加固时，使用 WSS 可以取得比较显著的效果。其主要优点如下：

- ①易于施工：二重管无收缩注浆液使用起来比较简便，操作人员只需要按照加固计划进行混合、喷涂或注浆即可。
- ②抗裂性好：可以提高结构的强度和刚性，增强其防止结构缺陷延伸和扩展的能力。
- ③抗震性能强：WSS 可以增强结构的承载能力，提高其抵抗振动和地震的能力。
- ④耐久性好：二重管无收缩注浆液使用寿命长，可以延长建筑物的使用寿命，有效防止对结构质量造成的影响。

总之，通过使用 WSS，可以对地基进行有效的加固，并且增强结构的耐久性和抗震性能。

灌浆加固是一种常见的地基处理方法。通过灌注水泥浆料或附着材料，使原有土体得到加强和改造。而灌浆压力是灌固加固的重要参数之一，决定了灌固后土体的稳定性和承载力。为了灌浆加固后的路基满足承载力的要求，保证不出现路基鼓包等破坏路基的情况出现，施工现场配置了不同密度的浆液和不同孔隙率的试验段路基，研究不同灌浆密度和孔隙率对砂土中灌浆压力的影响，通过对试验数据的分析，探究灌浆密度和孔隙率对灌浆压力的影响规律，确定实际的注浆压力。WSS 工法中注浆压力的有关数据因具体情况而异，需要在实际施工前进行现场测试以确定合适的注浆压力。通常，注浆压力一般在 0.1~0.3MPa，但也会因不同的工程情况而异。

在不同灌浆深度和孔隙率下，试验得到的灌浆压力数据如表 1 所示。

表 1 灌浆压力数据

孔隙率 (%)	灌浆压力 (MPa)	灌浆压力 (MPa)	灌浆压力 (MPa)	灌浆压力 (MPa)
	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m
40	0.05	0.13	0.20	0.28
45	0.04	0.12	0.18	0.21
50	0.03	0.11	0.16	0.19
55	0.03	0.10	0.13	0.16
65	0.02	0.09	0.12	0.15

数据分析如下：

3.4.1 灌浆深度对灌浆压力的影响

从数据中可以看出,随着灌浆深度的增大,灌浆压力逐渐增大,这是合理的。

3.4.2 孔隙率对灌浆压力的影响

从数据分析看,孔隙率对灌浆压力的影响相对较小,但当孔隙率过大时,压力显著降低。这可能是由于孔隙率的增大导致砂土内部空隙增多,浆液在内部空隙沿过程中流动阻力增大^[2],从而降低了灌浆压力。当孔隙率增大到50%时,灌浆压力出现下降。

通过对试验得到的数据进行分析,可以得到如下结论:

①灌浆深度对灌浆压力影响显著,随着灌浆深度的增大,灌浆压力逐渐增大。

②孔隙率对灌浆压力的影响较小,但当孔隙率过大时,压力显著降低。当孔隙率增大到50%时,灌浆压力出现急剧下降。

因此,在注浆加固的施工中,需要根据不同的土壤类型和工程要求选取合适的灌浆密度和孔隙率,确保灌浆压力能够达到设计要求,同时避免灌浆压力在灌浆过程中受到过大的影响。

在试验段施工过程中路基未出现不规则突起等情况,注浆后钻孔检测加固后的路基压力达到140MPa,满足路基承载力要求。

3.4.3 注浆量的计算原理

在计算注浆量时,需要考虑浆液的密度、局部压力、孔隙率、注浆管的长度和直径等因素的影响。由于浆液的扩散半径、砂层孔隙率、卵石层粒径大影响钻孔位置等因素很难精密确定,因此可按如下公式进行计算:

$$Q=An\alpha(1+\beta)$$

式中:Q——总注浆量, m³;

A——注浆范围为管外皮外2m的体积;

$A=(1.87+4)/2 \times (1.87+4)/2 \times 3.14=27.05\text{m}^3/\text{m}$

n——孔隙率, %;

α ——浆液填充系数(0.7~0.9);

β ——注浆材料损耗系数15%。

设计中, $n\alpha(1+\beta)$ 统称为填充率,填充率按表2选用。

表2 填充率选用表

序号	地质条件	孔隙率 %
1	卵石层	65~70
2	中砂、中粗砂	50~60
3	粉细砂、砂层	40~45
4	粉质粘土、砂土	20~25
5	杂填土	30~35

工程实际路基多为卵石层,因此孔隙率选0.65%,

工程实际总注浆量为:

$$Q=An\alpha(1+\beta)Q=27.05 \times 65\% \times (1+15\%) \times 75.75 \times 2=3065.3\text{m}^3$$

根据本工程实际情况填充率按卵石层的填充率考虑^[3],在注入浆液的过程中,为了保证浆液的流动性和注入的效果,需要保证注浆管内的压力不低于一定的数值。因此,需要对WSS无压缩注浆法的注浆压力进行计算。注浆压力与路基的孔隙率程度、底层水压力、浆液材料的黏度和浆液终凝时间长短等有关,一般情况下根据经验计算,计算公式为:

$$P=KH$$

式中:P——设计注浆压力(终压值)(Mpa);

H——注浆处深度(m);

K——由注浆深度确定的压力系数。

压力系数K的取值如表3所示。

表3 压力系数K的取值

注浆深度(m)	< 8	10-12	12-16	16-20	> 20
K	0.023~0.021	0.021~0.020	0.020~0.018	0.018~0.016	0.016

注浆深度选择5m, $P=0.023 \times 5=0.115\text{MPa}$,因此注浆终压选择0.1~0.3MPa。

4 注浆设备及施工工艺

①钻孔定孔位:根据施工方案要求,钻注过程中隔孔钻进,钻孔角度直接影响加固范围,保证定位的准确性。钻孔的位置和间距应根据设计要求进行规划,以保证注浆后地基的承载力均匀性。对于规划的孔位,应进行清理、标记,以便施工时的定位。要求孔位偏差为 $\pm 3\text{cm}$,角度偏差不大于 1° 。

②在钻孔前,需保证钻机平稳、牢固就位,并进行固定。需要注意的是,钻机应避免在软土或松散土层操作,以免引起振动。

③成孔要求:钻进成孔时,应选择适当的钻头和转速,以保证钻孔直径和深度符合设计要求。在钻孔过程中需注意孔壁稳定性,如出现孔壁松动或塌方等情况应及时处理。开钻时要慢速运转,钻机正常转速时密切观察溢水出水情况,出现大量溢水情况时,应立即停钻,采取注浆封堵措施。

④在钻孔过程中需进行回抽钻杆,以清除孔内淤泥和碎屑。回抽过程中应注意控制回抽速度和深度。

⑤在注浆前,需进行浆液配制和搅拌,以保证浆液的均匀性和流动性。在注浆过程中需要控制注浆压力和速度,以避免泌水和漏浆。

⑥喷入管的设置和钻孔时的方法一样,使用的喷入管直径为 $\Phi 42\text{mm}$,在端点装有管内混合器,使浆材充分混合^[3]。如果达到所定的深度,内管的喷气孔将关闭,以进行横喷射。用注浆泵将A、B(C)两液分别压入外管和内管,并在二重管的端头混合室内混合,通过滤网在水平方向实行喷射,使浆材能渗透到地层中^[4]。

总的来说,WSS二重管无压缩注浆法的施工工艺需要

严格按照设计要求进行,要求操作规范、仪器设备齐全,并严格控制各个环节。只有这样才能保证地基处理的质量和效果,提高路基承载力和稳定性,从而为后续工程提供良好的基础支撑。

5 工程质量保证措施

①制定详细的施工计划:在实施该项工程施工前,应制定详细的施工方案,充分考虑到各环节的施工要求和存在的难点。在施工过程中要重视工程安全监管,确保施工质量。

②严格执行国家和地方的相关标准和规范:在施工过程中,严格执行国家和地方的相关标准和规范,特别是对管道的安装和二重管的施工质量有对应的要求^[5]。在出现质量问题时,要及时采取对应的纠正措施。

③完善的资料记录:在施工过程中,要及时记录每一项的施工数据,针对施工过程中出现的问题,及时予以解决。

④强化安全和环境卫生管理:在实际工程施工过程中,要加强安全和环境卫生管理,确保施工过程的安全性,减少环境污染并确保工作场所的整体环境整洁。

6 结语

综上所述,通过对二重管无收缩定向注浆法施工技术的研究和实际施工表明此技术在既有线施工地基加固过程中有重要意义。该技术可以在不扰动原有地基的情况下对地基进行加固,保证既有线列车的正常运行。故在实际施工中可大力推广应用这种施工技术。

参考文献

- [1] 《工程地质手册》编写委员会.工程地质手册(第3版)[M].北京:中国铁道出版社,1999.
- [2] 交通部第一铁路设计院.铁路工程地质手册[M].北京:人民交通出版社,1975.
- [3] 铁道部第三勘测设计院.铁路工程设计技术手册.桥梁地基和基础[M].第3版北京:中国铁道出版社,1991.
- [4] 毛波.试析常见铁路路基病害即路基加固技术[J].智能城市,2018(8).
- [5] 贾应革,刘卫东.应用水平注浆加固软土路基的试验[J].铁道建筑,2004(1).