

黄太公路注浆施工技术与质量控制研究

吴小冬

中都工程设计有限公司黄石分公司, 湖北 黄石 435000

[摘要]针对黄太公路改造工程中部分路段弯沉值超标及路基刚度不均匀的问题,本研究开展了系统的注浆补强技术应用研究。基于对路段弯沉检测数据的分析,采用了以水泥基浆液为核心材料的压密注浆技术,设计了包括布孔方案、浆液配比、注浆压力与控制流程在内的完整施工体系。通过现场试验与质量检测验证,该技术有效降低了目标路段的弯沉值(复测值 $L_r < 80$),提高了路基整体刚度与均匀性。本研究为公路改扩建工程中类似路基问题的处治提供了可靠的技术路径与实践参考。

[关键词]黄太公路; 注浆补强; 弯沉值; 施工技术; 质量控制

DOI: 10.33142/ec.v8i8.17778

中图分类号: U459

文献标识码: A

Research on Grouting Construction Technology and Quality Control of Huangtai Highway

WU Xiaodong

Huangshi Branch of Zhongdu Engineering Design Co., Ltd., Huangshi, Hubei, 435000, China

Abstract: In response to the problems of excessive deflection values and uneven subgrade stiffness in some sections of the Huangtai Highway renovation project, this study conducted a systematic application research on grouting reinforcement technology. Based on the analysis of the deflection detection data of the road section, a compaction grouting technology with cement-based slurry as the core material was adopted, and a complete construction system including hole layout scheme, slurry ratio, grouting pressure and control process was designed. Through on-site testing and quality inspection verification, this technology effectively reduces the deflection value of the target road section (retest value $L_r < 80$), and improves the overall stiffness and uniformity of the roadbed. This study provides a reliable technical path and practical reference for the treatment of similar roadbed problems in highway reconstruction and expansion projects.

Keywords: Huangtai Highway; grouting reinforcement; deflection value; construction technology; quality control

引言

当前黄太公路路面改造工程正稳步推进,部分碎石化改造路段的水稳基层已铺设完成,然而初步弯沉检测数据表明,道路两侧路基拼宽段存在弯沉值过大的现象,原路面碎石化区域内局部点位的弯沉结果未能满足设计要求,反映出路基整体刚度存在显著的不均匀性。为确保工程最终质量符合设计标准与长期使用要求,并综合考虑当前施工进度,决定对现状道路路基采用注浆补强技术进行加固处理。其处理原则具体如下:针对水稳层顶面弯沉值 $L_r \geq 80$ (0.01mm) 的区域,采取钻孔压浆的方式进行路基补强;补强区域原则上按照 2.0m 的间距布设注浆孔,通过孔洞利用高强度压力将流质材料压入路基土体的空隙中;待流质材料凝固后形成具有一定强度的固体,能够对上部路面结构产生均匀的承托作用,有效恢复路面结构层的整体性,进而达到稳固路面板块的根本目的。具体操作中,钻孔深度需钻穿原有基层并深入其下 10~80cm,孔径统一设定为 $\Phi 50\text{mm}$ 。

2 工艺原理

压密注浆的工艺原理在于,在特定的压力作用之下,把事先已经调配好的水泥、粉煤灰或者其他混合浆液,借助专用的注浆管精准地压入到指定深度的土体内部。在压

入的过程当中,浆液会先对注浆管周围的土体进行挤压,迫使土体内部孔隙当中的空气以及水分都排出来,进而有效地缩小土体的孔隙比,达成对土体的挤压密实效果。经过一段时间的静置养护之后,浆液自身会慢慢凝固起来,把原本呈松散状态分布的土粒或者存在的裂缝黏结成为一个整体,形成一种有着较高强度且类似于“人造石”的新型结构。另一方面来讲,浆液在土体当中并不是简单的填充,而是依靠劈裂、穿透等一系列作用,在凝固之后形成具备空间网状分布特点的浆脉,这些浆脉便成了土体当中的刚性骨架。注浆完成以后,土体内部就会立即形成一道可以有效隔水防渗的帷幕体。所以说,压密注浆工艺能够在很大程度上提高被加固土体的力学强度以及整体刚度,并且还能降低土体的渗透性能。

3 注浆加固设计

在黄太公路注浆加固方案设计中,综合考虑了地质雷达探测结果与弯沉检测数据,以确定浆液配方及施工参数。钻孔布置按照间距 2.0m 的标准,采用正三角形模式均匀布设,该布置方式有利于浆液在土体中的均匀扩散与相互搭接,确保加固效果的连续性。孔径与孔深的控制尤为关键,采用薄壁金刚石水磨钻机或潜孔钻机进行预成孔作业,随后

使用振动锤将直径为 50mm 的注浆钢管打入预定深度。

针对径向孔的注浆作业,需采用快干材料结合铅丝、麻刀或木楔等辅助材料,将注浆孔口的间隙严密堵塞,防止浆液沿孔壁溢出。在正式开展大规模注浆施工前,必须进行现场注浆试验,依据实际地质条件与注浆反应,动态调整注浆参数,为后续施工积累经验数据^[1]。注浆工序完成后,需使用止浆塞或专用堵头及时封闭注浆管,维持孔内压力直至浆液完全凝固。

注浆孔的钻孔施工应遵循跳孔施钻的原则,避免全部钻孔完成后才进行注浆,这种做法能够有效防止相邻孔位之间发生串浆现象,从而减少不必要的清孔工作量与施工难度。通过利用止浆塞保持孔内压力稳定,确保浆液能够充分渗透和凝固^[2]。同时,施工现场需设立专用的排浆沟与集浆坑,对注浆过程中产生的废浆与污水进行集中收集,并做统一排放处理,满足环保施工的要求。

4 注浆技术参数及要求

注浆形式确定为渗透注浆,基于黄太公路路段土体特性,土层中浆液的有效扩散半径按 1.5m 进行计算。注浆材料的选择至关重要,采用 P.O42.5 等级的普通硅酸盐水泥作为主要胶凝材料,浆液搅拌时间严格控制在不少于 3min,以确保其均匀性与工作性能。水泥浆液的水灰比范围应控制在 0.6~1.0 之间,在实际注浆过程中,还需根据压力变化与地层吸浆情况,灵活应用变浆技术和间歇注浆工艺。

注浆压力参数宜控制在 0.3~0.5MPa 之间,施工控制以单桩注浆压力为主,以注浆量为辅进行双控。注浆作业应遵循浆液浓度先稀后浓、注浆压力由低到高、凝胶时间由长到短的基本原则,此举可有效避免因浆液初始黏度过大、注浆压力过小或凝胶时间过短而导致浆液扩散距离不足,最终影响整体注浆质量。

注浆管选用钻杆兼作注浆管。注浆泵的选择标准为泵压不低于 6MPa 帕的高压注浆泵,推荐采用 BW-150 型注浆泵以满足压力与流量需求^[3]。水泥浆液在经过充分搅拌后,必须进行过滤处理,方可进入压浆泵并注入孔内,在压浆过程中,应由专业技术人员同步记录压浆量与对应的压力参数,确保数据真实完整。

对下管深度、终止压浆量及终止压力等关键参数,应进行重点控制与核查,现场必须配备准确的压力计量工具,并定期进行零点校正工作。注浆进程中,需密切观测路基表面变形情况,及时调整注浆参数,防止出现路基隆起等不良现象,注浆结束后应立即进行注浆效果初步检查,全过程均应在相关监控人员监督下进行。

当符合下列条件之一时,即可终止压浆:注浆压力达到 0.5MPa,并持续 10~20s;或者注浆压力虽未达到 0.5MPa,但平均每米注浆量值已达到设计最大值的 2 倍。

5 注浆方法

注浆施工需按序来,先从最外侧和最内侧两排注浆孔着手,随后逐步往中间推进,同一排的注浆孔采用间隔跳

跃方式注浆,防止相邻孔位相互干扰,以注浆孔或其周边出现喷浆、注浆压力骤增作为停止注浆的标准,在实际施工中,施工团队要依据现场实际情况灵活调整注浆顺序和参数,遇复杂地质或异常情况时,要及时采取应对措施,保障注浆质量与施工安全,此法可有效防止浆液过早流失或局部积聚,让浆液在土体里均匀分布,形成连续稳定的加固体系。

能够结合运用间歇式注浆法来开展相关作业,其中注浆操作以 3 次当作一个完整的循环周期,注浆所遵循的顺序是采用隔一注一这样的方式。比如说,在第一孔完成注浆并且达到了特定的压力之后,接下来便要着手进行第三孔的注浆工作,并且要及时利用清水去冲洗第一孔的钢管,随后依照同样的思路持续进行下去,不断地重复这个循环灌注的流程。每次循环之间的时间间隔不可以超出浆液的初凝时长,一般而言这一时长大概会在 45~60min 这个区间范围内。一直持续操作直至最终满足终灌的标准要求为止。这种间歇式的注浆办法可对浆液的扩散范围予以有效的把控,防止浆液出现过度的流失状况,与此同时还有助于浆液在土体当中实现更为充分的渗透以及固结作用。在实际的应用过程当中,施工人员得密切留意注浆压力的具体变化情形,依据压力的变化情况适时地去对注浆的速度以及浆液的浓度做出相应的调整,从而切实保证注浆的效果能够契合设计方面所提出的要求。凭借这样一种精细到位的施工控制手段,能够在很大程度上提升注浆的质量水平,进而确保路基加固之后所呈现出的效果具备良好的均匀性以及稳定性。

6 工艺流程

施工放样以及孔位定位,接着是钻机就位并校准垂直度,然后振动沉入直至达到设计标高,之后留置注浆管并且移动钻机,再让液压注浆系统就位,之后开展分段压力注浆操作,具体是按照每 30cm 的梯度来提升注浆管,最后完成注浆设备的清洗和维护工作。该流程中各个环节的衔接情况如图 3 所示,即压密注浆工艺流程图。

7 工艺要求

施工测量阶段应采用全站仪进行控制点精准测设,将桩孔中心位置偏差严格控制在 50mm 范围内。钻机定位后需校验垂直度,确保钻孔倾斜率 $\leq 1\%$ 。通过振动沉管工艺达到注浆底标高,其深度误差应 $< 50\text{mm}$ 。浆液配比参数需经专项工艺试验验证后方可确定。

注浆作业按照“先周边后中央”的顺序来开展。在注浆期间,要实时对压力变化特性加以监测:刚开始的时候会出现第一个压力峰值,接着会进入到大约 1min 的稳压期,等到出现第二个压力峰值时,就可以把注浆管上提,进而开展下一个区段的施工工作。

施工期间,应当实施如下质量控制举措:恰当设定浆液凝胶所需的时间,以此来预防出现堵管的情况;要是浆液产生离析现象,那就务必要开展二次搅拌操作;一旦注浆流量超出 30L/min,或者发生了浆液渗漏的状况,那就

得及时对工艺参数做出调整。操作人员需要配备防护眼镜等各类劳保用品,从而切实保障施工过程中的安全事宜。

8 质量控制

注浆工程质量管理体系涵盖主控项目以及一般项目这两部分。在主控项目当中,其涉及的方面包含原材料的质量状况、固结体所具有的强度情况以及施工工序等方面的核心指标。并且对于一些特殊的工程而言,还需要对浆液的凝结时间予以监控。而一般项目则包含了材料计量所达到的精度情况、孔位的具体坐标信息、钻孔所能达到的深度情况,还有注浆时的压力大小以及流量等相关工艺参数^[4]。在此,建议运用自动记录仪来实时地采集有关压力以及流量的数据,并且借助对这些动态数据展开分析的方式,以此来对施工决策以及竣工验收起到相应的指导作用。

工程验收阶段可根据抗渗要求选择注水试验或抽水试验等原位检测方法。依据辽宁省《公路养护工程基层注浆补强技术规范》DB21/T3872—2023,地聚合物注浆材料的抗压强度需满足 $3d \geq 5\text{MPa}$ 、 $28d \geq 15\text{MPa}$ 的技术要求。注浆加固效果评定以7d复测弯沉值为关键指标,其控制值应 <80 (0.01mm)。

9 周边环境的影响控制

注浆工艺在实施时,土体先是受到扰动,接着浆液逐渐凝固,最后达成地基改良的效果,这一过程呈现出动态变化的特点,并且还伴随着施工期间土体出现膨胀以及后期产生固结收缩这样复杂的响应机制。要想对环境的影响加以控制,可以采取如下一些施工方面的措施:

优化注浆参数,要确保注入效果,尽可能采用较低的压力与流量,以此来促使孔隙水压力得以消散;推行“多点少注”的工艺,借助加密布孔以及减少单孔注浆量的方式,达成应力的均匀分布;注浆的顺序需要从邻近构筑物的地方朝着远端去推进,从而引导附加应力向外进行扩散;合理地把控施工进度,给土体固结留出必要的时长。

实施全过程的信息化施工管理,具体做法是建立起针对周边环境的监测系统,借助该系统能够实时地采集到变形方面的相关数据。而后通过对所采集的数据展开分析,依据分析结果来动态地对施工参数、工序以及进度做出相应的调整,进而形成一个完整的监测、反馈以及调控相结合的闭环管理机制。

10 常见问题及实施对策建议

水泥基注浆施工常见问题与处理对策如下:

冒浆这一现象往往是因为注浆时压力设置得过高、仅仅在浅层开展注浆操作或者存在渗漏通道等情况而引发的。针对这种情况,可以采取的处理办法有:调整并降低注浆的压力,或者改为使用自流式的注浆方式;提升浆液的稠度,又或者在浆液中掺入细骨料以及速凝剂;严格控制注浆的速率,使其不超过每分钟30~40L;对于出现严重冒浆的区域,可以先用混凝土进行封盖处理,然后再实施注浆操作。

窜浆问题的产生,主要是因为横向裂隙发育情况良好或者孔距过于密集。针对这一问题,可采取的解决办法有:运用跳孔间隔注浆的工艺方式;将相邻孔序施工间隔的时间适当延长;对于出现窜浆现象的孔,实行并联同步注浆的操作。

绕塞返浆的情况往往是因为孔壁本身的完整性存在欠缺,或者密封装置出现了失效状况,又或者是待凝所花费的时间不够充足等原因所致使的。所以务必要切实保障好层间待凝所需要的时间,以此来确保封塞能够达成良好的质量状态。而对于像漏浆、地表出现隆起以及埋塞这类的现象,那就得依据其各自具体的形成原因去采取具有针对性的相关措施才行。

根据DB21/T3872—2023规范要求,针对基层松散类缺陷应准确判别结构类型:对密实型松散基层宜选用超细水泥或高渗透性专用注浆材料,确保加固效果。

11 注意事项

钻孔压浆路基补强处理,应设置100m长试验段,按初步拟定技术参数实施后,根据7d后检测结果,进一步修订参数之后,方可全线实施。地聚合物注浆材料应主要由矿渣粉、粉煤灰、碱激发物、减水剂等组成,根据需要也可掺加偏高岭土、硅灰等。注浆施工前应对注浆点位置、浆液配比、注浆施工技术参数、检测要求等技术文件进行详细掌握。

施工结束后,应检查注浆体强度、承载力等。检查孔数为总量的2%~5%,不合格率大于或等于20%时应进行二次注浆。检验应在注浆后15d(砂土、黄土)或60d(黏性土)进行。对于二级及二级以下公路,当弯沉代表值不符合要求时,可将超出两到三倍标准差的弯沉特异值舍弃,重新计算平均值和标准差。

12 结论

通过对黄太公路弯沉值超标路段实施系统的注浆补强技术,有效提升了路基的整体刚度与均匀性,使弯沉检测值满足设计要求。研究表明,科学的布孔设计、合理的浆液配比、严格的压力控制以及规范的质量检验体系,是确保注浆加固效果的关键。本工程实践为类似公路改扩建项目的路基补强提供了可靠的技术参考与示范。

[参考文献]

- [1]张建克.高速公路隧道浅埋段地表深层注浆施工技术与质量控制[J].交通世界,2020(21):96-97.
- [2]徐富强,杜卫峰,李黄,等.S214线钻孔注浆技术处理水路面脱空的施工工艺及质量控制[J].交通节能与环保,2021,17(6):107-110.
- [3]刘延敏.注浆加固技术在公路路基加固中的研究与应用[J].交通世界,2022(21):159-161.
- [4]黄义淳.钻孔灌注桩桩端后注浆施工技术应用及质量控制措施[J].水利科学与寒区工程,2023,6(9):101-105.

作者简介:吴小冬(1990.11—),男,汉族,本科,毕业院校:武汉工程大学,专业:交通土建。