

浅谈市政道路施工中的软基加固技术

杨艳菊 宋化顺

汉宸国际工程设计集团有限公司

摘要：本文以某城市道路施工项目为研究对象，阐述地区不良地质的主要特征以及潜在危害，并提出了软基加固技术的实现路径，包括换填法、强夯法、旋喷桩施工等，在经技术经济性、施工安全性等指标的评估对比后，最终决定采用旋喷桩施工加固措施，该方法加固效果突出，稳定性优良，其技术手段较为成熟，能够切实保障施工质量。

关键词：地基承载力；旋喷桩施工；市政道路；单管成桩；软基加固

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.16.072

引言

市政道路工程是指用以改善城市交通的基础设施建设，相较于传统的建筑工程来说，施工线路更加复杂、施工时间相对紧迫，容易受人为操作以及区域环境等因素的影响。比如软弱地基，便是最常见的不良地质体，此类土层的承载力较低、透水性差，且遇水湿陷，容易引发塌方、局部沉降等安全事故。为解决此类问题，急需工作人员根据工程特点，采取切实有效的软基加固措施。

一、工程概况

某新建城市主干路起讫桩号K0+018.256~K5+838.380，全长5.82km，路基宽度17.5m，双向四车道，设计时速60km/h。地勘资料显示，项目所处区域以黏土为主，其中K2+467.725~K3+158.763段因地表长期受水浸泡而发生软化，整体呈软-可塑状，局部呈流塑状，工程特性较差，需进行加固处理，以提升地基强度和承载力。软土层分布均匀，层厚在3.2~4.8m之间，具体物理参数详见表1。

表1 软土层物理参数表

天然密度 (g/cm ³)	天然含水量 (%)	塑限 (%)	液限 (%)	饱和度
1.47	17.3	18.2	24.3	16.12

二、软基加固技术实现路径

现阶段我国软基处理技术呈多样化形式，且不同技术适用范围和优缺点差异明显，因此在软基加固开始前，需要施工单位考虑多种加固方案，评估不同加固方法对于本工程的适用性，经过分析对比后，找出最适合的加固工艺。

(一) 常见加固技术

(1) 换填法，是指挖除地基软弱土层，之后更换质地坚硬、性能稳定的砂、碎石、煤渣等材料，采取分层充填，经过夯击、振动后，使之达到技术标准规定的密实度，形成优质人工地基。在换填处理后，土层能够保持极高的承载力，且具有变形小、刚度大的特点，适用于湿陷性黄土和杂填土地基。

(2) 强夯法，该方法主要是利用重锤夯击的形式，在起吊重锤至一定高度后，自由下落，凭借重锤携带的巨大冲击力，夯实地基土，从而提高地基强度，降低地基压缩性，改善地基受力状态的目的。强夯法更适用于砂土以及素填土等地基，也能用于加固大块碎石类土^[1]。

(3) 挤密法。是指借助沉管、爆破等形式，在地基内部挤密填料，之后采用素土、高强度水泥土，凭借分层回填夯实的方法，达到软弱地基加固的目的，能够切实减少地基的沉陷性。在实际应用过程中，需要在机械、爆破成孔后，选择最优含水量的素土或灰土完成填充、夯实，要求挤密处理后，土层压实系数超过0.93，并形成完整的灰土桩。

(4) 注浆法，是指将能够固化的浆液注入地基裂缝与孔隙中，进而改善地基物理力学性质，常见的注浆方法可分为以下几种：硅化法，是指凭借水玻璃制备的水玻璃水泥浆，利用注浆管均匀注入地层，以此赶走土粒间的空气与水，使胶土形成有机整体，产生极高的强度，具备良好的防水性能；碱液法，是指加热NaOH溶液，利用带有孔眼的注浆管，灌入土层，当土层内钙镁离子含量较大时，会提高土粒活化性能，实现自行胶结，促进土体水稳性的增长。该方式对施工设备的要求较低，加固费用相对低廉；高分子化学注浆，即注射环氧树脂、聚氨酯等材料，更适用于砂土地基、断层破碎带的加固；水泥注浆，通常采用普通硅酸盐水泥，并掺入一定量的水玻璃，作为速凝剂，依托劈裂注浆的形式，实现地基加固，更适用于岩石裂隙灌浆。

(5) 旋喷桩，是指通过钻机将旋喷注浆管布置在桩底，之后利用高压喷射装置，使配制好的浆液获得足够能量，集中喷射破坏土体，使浆液与土体充分混合，从而形成柱状固结体，达到加固地基的目的。该方法对于淤泥、粉土、黏性土均具有极佳的加固效果。

(二) 加固方案比对

换填法优势在于操作简易，施工扰动较小，施工快

速且不会产生较高的工程费用,但由于本工程软土层较厚,而换填法又很难精准把控处理界限,因此施工质量控制难度较大。对于强夯法来说,其优势在于处理时间较短,且处理深度能够切实满足质控要求,但施工振动较大,会对周边既有建(构)筑物安全和居民生活造成较大影响。挤密法优势在于施工方法较为成熟,处理后的地基能够维持长时间稳定,但施工难度较大,不利于交叉作业。注浆法来虽然能够取得极佳的黏土地层加固效果,也能保障施工进度和作业安全,但对于致密黏性土来说,渗透性明显不足。旋喷桩工艺其优势在于加固质量有保障、长期稳定性优良,且工艺技术较为成熟,因此综合考虑后,决定将旋喷桩工艺作为软基加固方案^[2]。

(三) 旋喷桩施工工艺

1. 施工准备

在施工开始前,需要工作人员需要做好场地的清理工作,保证施工区域干净、整洁,并预先设好排浆沟,设置泥浆存放池,尽可能采用两排桩完成布设,并在挖设完成后,第一时间疏干地表水,保持基面层干燥。再依照设计要求,进行旋喷桩的桩位测量,采用石灰线标注地基处理长度。同时,还要做好施工材料以及机具的选择与配置。比如对于施工机具来说需要包括,旋转钻机,钻机转速需要达到20r/min,旋喷管,采用外径为 $\Phi 42\text{mm}$ 的地质钻杆;卷扬机;泥浆泵,压力在30mpa左右,流量在80~120L/min;泥浆搅拌机;注浆管,采用外径为 $\Phi 20\text{mm}$ 的高压胶管,要求工作压力达到30mpa。对于浆液材料来说,则应包括,水泥,以普通硅酸盐水泥作为优先选择对象,并在实际使用前,做好性能检测,确保产品质量满足安全标准,禁止将受潮结块的水泥投入施工现场。并在水泥进场后,做好管理区域的划分,注重材料的安全防护,采取遮盖处理,避免水泥受潮。水,需要实施化验检测,确保其达到混凝土拌和用水标准。水泥浆液配合比,通常应控制在1:0.5,保持稠度适宜,避免出现过稠问题,引发喷嘴堵塞。同时,还要结合土样,开展实验分析,确定最佳的浆液配方。为避免出现水泥浆液沉淀速度较快,可在浆液内适当加入膨润土,也能起到防治水泥浆液离析的问题,具备极强的可喷性。在实际使用时需要注意,在旋喷开始前60min内,才可完成水泥浆液的配制,并过滤器夹杂的硬块以及砂石。

2. 施工要点

(1) 在上述准备工作完成后,需要通过试桩作业,确定旋喷速度以及喷浆量,从而保证成桩效果符合预期标准。在试桩过程中,需要工作人员前往施工现场获取各层土样,之后在室内,根据含水量差异性,以及

不同配合比,开展多次试验,选定最佳的浆液配方。依托喷射成桩实验,设计具体的作业参数,直至查明喷射固结体的成桩强度后,便可准确验证设计参数的科学性、合理性,保证施工方案具有一定的推广价值。

(2) 机具就位,在施工现场需要工作人员做好钻机组的装配作业,凭借导轨法完成就位处理,待钻机就位后,以此进行调平、安稳,将转盘对准桩位,调整钻杆轴线,使之与片桩对齐,要求误差不得超过2cm。之后控制好钻杆,使其垂直度保持在1%以内。同时,还要做好平台搭设,分别安装泥浆泵、搅拌机、闸阀以及仪表,此类装置属于辅助设施,在安装过程中需要满足以下标准:制浆机需要位于贮浆罐上方;进浆口要设置滤网,用以过滤碎石、碎渣;泥浆泵需要搭配高压胶管做好与旋喷管的连接。在上述安装作业结束后,需要工作人员做好设备、管理系统的反复校准与检查,确认其满足设计规定,保证连接密封效果优良,并结合实际情况,适当减少注浆管长度,通常需维持在20m以下^[3]。

(3) 要进行设备的试运转作业,用以评估设备的运行状态以及运行性能,确认设备是否无异常,能够直接投入使用。比如:钻机转速需要达到规定值标准,误差不超过10%;设备电压应控制在365~395V,而设备电流则要维持在额定值以内;注浆液管路应保持畅通无阻,也不存在任何渗漏现象;闸阀无破损;仪表显示正确;泥浆泵电机依照核定标准进行运转,转速达标,可维持既定泵压,误差值维持在-2~+2mpa之间;浆液排放量与设计流量保持一致;储液装置齐全,制备浆液装置的制备能力符合要求;人员能够全面梳理作业流程,根据操作章程规范操作行为。

(4) 钻孔,采用单管成孔法,并搭配钻机设备实现预钻导孔,在施工工程中要充分考虑到工程所处区域的地质特点,本工程所在地层中存在中密细砂层,因此不适合直接采用旋喷管进行射水成孔。在钻孔开始前需要施工人员做好钻杆长度的测量,并做好编号处理,在钻杆壁上通过红油漆画出深度控制线,在钻进深度的控制方面,需要将设计桩底标高作为参考依据,保证钻杆入土深度符合预期标准。同时,在钻孔环节,还要做好相关数据记录,要求成孔后的倾斜度控制在1.5%以内。

(5) 制备水泥浆液,通常来说,水泥浆液需要在旋喷管下放前60min内完成制备,严格遵循随配随用的施工原则,在水泥、掺加剂的用量上,则要结合室内试验结果,根据试桩配合比进行科学调控。搭配制浆机实现均匀配制,保证足量使用。之后,将拌制好的材料进行过滤处理,滤除砂石,防止管路堵塞、喷嘴磨损,使水泥砂浆在旋喷时能够高速旋转、搅拌,避免产生沉淀问题。

(6) 下放旋喷管，在导孔成孔结束，且孔深、垂直度均符合设计标准后，需要下放旋喷管，并检查好各组件的连接效果，确认密封圈的密封效果，利用红油漆标注下插深度。在下放过程中，应采用边射水边下插的形式，并控制好射水压力，通常维持在1mpa左右。当旋喷管下插位置与设计深度间隔距离在0.5m时，可停止射水，借助装置的自重作用，使其串动至指定位置。

(7) 试喷，待旋喷管达到指定位置后，还需要完成试喷作业，主要流程表现为：将吸管插入贮水箱，开启空压机，启动泥浆泵，调节泵压，使其匀速上升至规定值，即20mpa；在设计位置旋转旋喷管，保持20r/min转速，并启动注浆泵，持续向孔内灌注清水；在确认设备稳定运行，旋喷管平稳转动之后，开始正式注浆成孔。

(8) 旋喷成桩，在试喷结束后，确定系统能够维持正常运行后，需要开启注浆泵，持续不断地向旋喷管填充水泥浆液，直至估算材料前锋能够流出喷嘴后，再提升旋喷成桩。具体的操作流程表现为：在桩底区域，进行边旋转边喷射的作业形式，持续时间为60s；提升喷灌，完成喷射浆液成桩，转速维持在20r/min，提升速度在25cm/min，泵压则设置在20mpa，流量则调整至80~120L/min。在旋喷成桩时，需要充分考虑设计标准，动态检测泵压、转速以及浆液消耗量，之后记录相关数据参数，做好信息整理。在注浆时，若发现泵压异常波动，甚至出现大量冒浆的问题，则要第一时间停止注浆，防止产生断桩现象。若发现喷浆量不足，则要及时采取重复喷射的形式，切实保障桩体固结效果。若注浆时，出现土粒随浆液沿管道壁冒出的情况，则要确认冒浆量是否超出20%，若是，则要探究问题形成原因，并采取针对性的控制措施；对于注浆管的拆卸作业来说，需要依次停止旋转、注浆以及设备运行，以卷扬机为主，人工作业为辅的形式，提高拆管效率，尽可能缩减停机时长。在停泵处理，并实施二次喷射时，要控制好旋喷管的插入深度，要求数值超过10cm；在喷射结束后，要清理好管内浆液，将吸浆泵放入清水箱，抽取定量清水，倒出管内剩余泥浆，并冲洗钻机、贮浆罐^[4]。

(9) 桩顶补灌，在上述作业结束后，同样需要凭借导轨法进行机具移位，并在移位过程中，由专业人员全程监督，避免设备磕碰，也防止对成桩的旋喷桩固结体产生损坏。同时施工人员还要考虑到，由于水泥浆液本身存在一定的析水现象，并伴有一定程度的收缩，因此很容易引发固结体产生凹穴，为此，可采用0.6水灰比的水泥浆从旋喷桩顶部采取补灌处理。直至作业结束后，使用砂子填平孔洞，做好地面保护。

3. 质量检测

在旋喷桩施工结束后，还要做好质量检验，确定地基加固效果，具体的检验内容主要包括固结体的均匀性、垂直度以及强度，施工质量标准如表2所示。通常来说，对于旋喷桩质量检验，需要在注浆结束的30d后进行。并分别使用动测法、标准贯入试验，准确评价固结体的整体性以及无侧限抗压强度。同时，还要注意，虽然我国旋喷桩工艺应用较为成熟，但施工质量仍在一定程度上由施工人员的专业能力所决定。为此，施工单位需要做好人员教育与培养，使其树立良好的安全意识与责任意识，并积极学习先进的工艺措施，适当结合信息化技术以及数字化设备，实现施工现场的全流程动态管理，保证风险因素的准确识别以及有效处理。搭配考核机制以及奖惩机制，帮助人员找出自身的不足之处，从而及时弥补，利用一定的资金奖励，激发人员的工作积极性，主动提升自我能力。

表2 施工质量检测标准表

项目	允许偏差	检测方式
横纵向位置	50mm	尺测
垂直度	1.5%	采用经纬仪检测钻杆倾斜程度
深度	不小于设计深度	测量钻杆长度
无侧限抗压强度	不小于 4mpa	在桩径方向实施垂直钻芯取样
地基承载力	不小于 0.2mpa	回弹模量法或平板荷载试验

三、结论

综上所述，以工程实例为依托，根据地勘资料分析地质特征后，提出了常见软基加固措施，在经过多种技术方案比对后，结合工程实际情况，决定以旋喷桩法作为软基加固手段，通过施工要要点和质检措施的分析，有效保障了施工质量，实现了地基强度和承载力的显著提升。由此证明针对本工程制定的软基加固方案合理可行，可为同类工程提供借鉴参考。

参考文献

[1] 龙根望. RJP桩软基加固施工技术——以深圳地铁21号线坳背站为例[J]. 未来城市设计与运营, 2023, (02): 23-25.

[2] 杨明理. 软基加固技术在市政路桥中的应用研究[J]. 大众标准化, 2022, (16): 145-147.

[3] 付丽. 软基加固施工技术在市政道路施工中的应用[J]. 住宅与房地产, 2021, (34): 206-207.

[4] 宗敬云. 公路工程软基加固施工中碎石桩技术的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(11): 31+33.