

软弱地基条件下市政桥梁基础加固施工优化技术研究

吴昊喆

新疆可克达拉城建启航建设有限公司 新疆 可克达拉 835219

【摘要】：软弱地基条件下市政桥梁基础加固施工面临着承载力不足、工后沉降控制困难、施工扰动影响显著等技术挑战，施工方案的合理性与工艺的精细化程度直接决定了加固效果的可靠性。本文立足软弱地基的工程特性与基础加固施工的技术难点，从地基处理与桩基施工协同优化、承台施工变形控制、注浆加固工艺参数调控、施工过程动态监测与信息化反馈等方面，系统探讨了基础加固施工优化的技术路径与方法。研究表明，软弱地基条件下基础加固施工优化的核心在于建立“地质条件—施工工艺—监测反馈”三位一体的动态调控体系，通过施工参数的精细化设定、工法工序的合理组织、监测信息的及时反馈与施工方案的动态调整，实现加固施工质量与效率的系统提升。

【关键词】：软弱地基；桥梁基础；基础加固；施工优化；动态监测

DOI:10.12417/2811-0536.26.09.080

1 引言

市政桥梁工程处在城市交通网络的关键位置，基础结构承载能力和稳定情况同桥梁运行安全、使用寿命联系紧密。我国幅员辽阔，工程地质条件千差万别，大量的市政桥梁建设不可避免地会遇到软弱地基^[1]。软弱地基是指承载力小、压缩性大、渗透性差的土层，包括淤泥、淤泥质土、松散填土和部分软黏土等。在该类地基中做桥梁基础加固施工，会遇到诸多技术难题，地基承载力不能达到上部荷载的要求，工后沉降控制困难，施工扰动会对周围环境造成影响，加固效果同地质状况、施工工艺存在紧密联系^[2]。

在软弱地基上做基础加固，施工方案选择和工艺参数确定不能简单照搬规范，必须根据场地工程地质条件、基础形式、上部结构荷载特点和周围环境限制等进行系统优化。加固施工质量不单是采用何种加固技术的问题，更是施工过程中各项工艺参数准确控制、施工扰动有效控制的问题^[3]。因此有必要从软弱地基的工程特性入手，对基础加固施工中出现的关键技术问题进行分析，并探究施工优化的具体途径和控制方法，给软弱地基下市政桥梁基础加固施工提供技术上的借鉴。

2 软弱地基工程特性与加固施工技术难点

2.1 软弱地基的工程特性

软弱地基给桥梁基础施工带来困难的原因是它特有的物理力学性质。首先承载力低，软弱地基的容许承载力一般小于 100kPa，不能满足桥梁基础传递上部荷载的要求，必须经过加固处理后才能作为持力层使用^[4]。其次为压缩性大，软弱土层孔隙比大、压缩模量低，在上部荷载作用下会产生较大的沉降变形，工

后沉降控制困难。第三，透水性差，软弱土层多为细粒土，渗透系数小，排水固结速度慢，直接影响到排水固结类地基处理方法的施工周期和加固效果。灵敏度高，软弱土体在受到施工扰动的时候，其结构强度就会明显下降，因此施工过程中必须严格控制地基的扰动程度，合理安排施工工序和加载速率^[5]。

2.2 基础加固施工面临的主要技术难点

软弱地基下桥梁基础加固施工技术难点有如下几方面。地基处理和基础施工要协调一致。软弱地基加固常常要采取多种措施相结合，即排水固结、深层搅拌、高压旋喷、注浆等，地基处理措施和桩基施工、承台施工之间存在着复杂的相互影响关系，在施工方案设计时需要综合考虑、合理衔接。

施工参数对地质十分敏感。软弱地基条件下，同一加固方法在不同的地质分区中适用性以及施工参数存在较大差别。高压旋喷桩的旋喷压力、提升速度、浆液配比等参数必须根据现场土层情况而定，不能用经验参数代替。根据现场地质条件及实时施工反馈来对施工参数进行动态调整，这是软弱地基下基础加固施工的关键。

施工过程中变形控制和环境保护难度大。桥梁基础加固施工一般会进行大面积的土体开挖、置换或者扰动，可能会引起地基土体的侧向位移、隆起或者沉降，给周边建筑物、地下管线以及市政设施造成潜在的危害。尤其是对于城区密集建成区的桥梁基础加固工程而言，在施工空间受到限制、环境要求极高的情况下，施工变形的控制精度以及实时监测的要求也变得越发严格，给施工组织及工艺控制带来了更大的困难。

3 软弱地基条件下基础加固施工的关键技术优化

3.1 地基处理与桩基施工的协同优化

软弱地基条件下桥梁基础加固施工中,地基处理和桩基施工是两个紧密衔接的环节,二者之间互相配合才能达到加固的整体效果。施工优化的第一项任务就是按照地基处理方法、桩基种类等确定施工顺序及工序衔接时间。

施工顺序上应坚持先处理后成桩的原则,即先处理地基加固,后桩基施工。该原则的确定不是凭空产生的,它是以软弱地基土的力学性质和桩基的承载力为基础的。地基处理先行施工的核心价值就是,用排水固结、深层搅拌或者高压喷浆等技术手段,从源头上改善桩周土体的物理力学性质,提高土体的抗剪强度、降低压缩性、增强均匀性、提高整体性,从而提高土体对桩侧的约束能力,使桩基承载性能得到根本性的保证。

当地基处理采用排水固结法的时候,工序衔接的时间控制十分重要。排水固结法的本质就是利用预压荷载使地基土体中超孔隙水压力逐渐消散、有效应力逐渐增大,这个物理过程需要足够的时间才能完成。施工时要保证在预压荷载作用下地基的固结度达到设计要求后再进行桩基施工。该要求的工程意义就是,如果固结还没有完成就急于成桩,桩基成桩后地基还会继续固结沉降,桩周土体相对于桩身会向下产生相对位移,在桩侧形成负摩阻力。负摩阻力的存在不但不能帮助桩基承受荷载,反而会向下拖曳桩身,增大桩身轴力、增加桩基沉降,最终削弱桩基的承载力,甚至导致桩基超限服役。

当地基处理采用深层搅拌桩或者高压旋喷桩等复合地基方式时,需要在复合地基达到一定的强度后才能进行工程桩施工。深层搅拌桩、高压旋喷桩利用物理化学作用使固化剂和软弱土体混合成具有一定强度的水泥土加固体。强度增长的过程也需要时间,在复合地基强度达到设计要求之后,才能有效地承担和传递上部荷载。若在复合地基尚未达到足够强度的时候就进行工程桩施工,桩基施工过程中钻机行走、钻进振动和混凝土浇筑等工序必然会对尚未稳定的复合地基造成扰动和破坏,使水泥土桩体出现断裂、偏位或者强度降低的情况,严重时还会导致复合地基加固效果消失。施工时应采用现场静力触探或者轻型动力触探等检测手段来确定复合地基强度是否达到要求,只有当复合地基强度满足要求之后才能进行桩基施工。

工序衔接要重视地基处理施工时间和桩基施工时

间间隔。过短的间隔会造成地基处理的效果没有充分发挥出来,过长的间隔则会因为施工设备的二次进场而造成工期延误、成本上升。施工方案编制时要按照室内配比试验及现场试桩结果来决定工序之间的等待时间。同时还要考虑两种施工活动之间空间上的协调,防止地基处理设备和桩基设备在同一个作业面上互相干扰,用合理的施工分区、流水作业组织来达到高效施工的目的。

3.2 承台施工中的变形控制技术

软弱地基条件下,承台施工的突出问题就是大面积基坑开挖造成的地基土回弹以及周边土体变形。承台基坑开挖会卸除上覆土压力,使坑底土体产生回弹隆起,影响已施工桩基的承载能力;同时坑壁土体可能会发生侧向位移,对周围环境产生不良影响。施工优化的重点就是基坑支护方案的选择、开挖方式的优化和坑底加固措施的确。定。

基坑支护方案的选择要兼顾基坑深度,软弱土层厚度,地下水位以及周边环境状况。对深度较深的承台基坑应采用钢板桩或SMW工法桩等刚度较大的支护结构来控制坑壁变形。支护结构入土深度要穿透软弱土层进入相对稳定的持力层,保证支护体系整体稳定。承台基坑开挖时要遵照分层、对称、限时的开挖准则,防止大面积超挖和基坑长时间暴露。坑底应留有保护层,垫层施工前人工清除,减少坑底土体扰动。

对于坑底土体承载力严重不足的情况,在坑底铺设碎石垫层或者浇筑素混凝土垫层,提高坑底的承载能力及工作面稳定性。承台混凝土浇筑时应控制浇筑速度,防止混凝土侧压力过大给基坑支护结构带来过大的荷载。承台混凝土要连续浇筑,防止出现冷缝,保证结构整体性。

3.3 注浆加固工艺参数的优化调控

注浆加固是软弱地基条件下桥梁基础加固的常用辅助方法,在桩底注浆、桩周注浆、基底注浆等场合中使用较多。注浆效果的好坏很大程度上取决于施工参数的合理设置。

注浆压力的确定要考虑软弱土层的劈裂情况。软土地区注浆初始压力应控制在较低范围内,防止高压浆液沿软弱层面发生不可控的串流或者大量流失,给周围环境带来不良影响。注浆压力的选取要依照现场注浆试验成果来执行,施工期间还需依照吸浆量及地表变形监测数据实施及时调节。

浆液配比的优化也属于注浆加固施工质量的保障

内容。软土地区浆液水灰比、外加剂掺量等参数直接影响浆液的流动性、凝结时间、结石体强度。浆液配比要经由室内试验来确定,在现场施工时必须严格依照配比执行,每班次都要对浆液的密度、流动度等指标展开检测。对注浆量大的工程可以采用双液注浆工艺,通过改变水泥浆和水玻璃的体积比来控制浆液凝胶时间,满足不同的地层注浆要求。注浆过程中还要对注浆量进行准确计量,当出现注浆压力突然下降、吸浆量异常增大等异常情况时,应停止注浆并分析原因,必要时调整注浆参数或者注浆方案。

4 施工过程动态监测与信息化施工

软弱地基条件下基础加固施工存在高风险、不确定性,需要建立与工程特点相适应的动态监测体系,把监测信息及时反馈到施工方案的调整中去,从而达到信息化施工的目的。

4.1 动态监测体系的建立

动态监测体系应该包含沉降、位移、应力、孔隙水压力等各方面。沉降监测应贯穿于地基处理、桩基施工、承台施工和上部结构施工等各个阶段,监测点位应布置在承台四角、新旧结构连接处和周围重要的建筑物附近。水平位移监测主要针对基坑支护结构顶部位移和深层水平位移进行观测,用测斜仪做定期测量。对注浆加固施工,在注浆区域应设置孔隙水压力计、土压力盒,观测注浆过程中超孔隙水压力消散及土体应力变化。

根据施工阶段和监测数据的变化速度来调节监测频率。施工扰动大的时候要增加监测频次;当监测数据趋于稳定的时候可以降低监测频率,但是不能低于规范要求的最低频率。监测数据应及时整理、分析并形成监测报告,当监测数据接近预警值的时候,就要立刻执行预警程序。

参考文献:

- [1] 张凯,马建峰.软弱地基公路路基加固施工技术与沉降控制研究[J].建设机械技术与管理,2026(003):039.
- [2] 熊军.市政公路软土地基加固施工技术的优化应用研究[J].建筑工程与设计,2026(3).
- [3] 袁峰.浅析道路桥梁施工中软弱地基的处理技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025(16):138-140.
- [4] 王新宇,赵立业.复合地基法在市政道路软基加固中的应用[J].中国建筑金属结构,2025,24(23):133-135.
- [5] 杨小虎.闸室底板不均匀沉降机理及桩基土体协同加固技术研究[J].地下水,2026(003):048.

4.2 信息化施工的实现路径

信息化施工的关键就是打通监测信息和施工决策之间的通道,把监测数据变成指导施工的依据。因此需要建立监测信息快速反馈机制,当监测数据出现异常变化的时候,现场技术人员应当在最短的时间内完成数据分析并反馈给施工决策层。决策层依据监测信息及时调整施工参数、改善施工工序或者采取应急措施,创建起“监测—分析—回馈—调整”的闭环工作流程。

信息化施工的有效实施要依靠完善的预警管理体系。根据工程特点、地质条件、环境敏感等级进行分层,确定出相应的预警值。预警值不能太严格也不能太宽松,要依靠可靠的依据来确定。一旦发出预警,相应的应对措施要具体明确,责任到人,不能出现预警之后反应迟缓、处置不力的现象。

5 结论

软弱地基条件下市政桥梁基础加固施工是一项系统的技术工作,要考虑地质条件、基础形式、施工工艺、环境约束等诸多方面。本文从软弱地基工程特性入手,对基础加固施工技术难点进行了系统的分析,从地基处理和桩基施工协同优化、承台施工变形控制、注浆加固工艺参数调节、施工过程动态监测和信息化施工等几个方面提出施工优化的技术途径。研究结果表明,在软弱地基上进行基础加固施工优化的关键之处在于创建起“地质状况—施工工艺—监测反馈”三者联动的动态调节机制,把施工质量把控由静态的事后检查变更为动态的过程管控。在实际工程当中,要依照具体的地质状况和工程特性,灵活采用各种优化技术手段,依靠精细化施工并实施科学化的管理,从而保证加固施工质量以及工程安全,给市政桥梁工程的安全运行赋予可靠的根基支撑。