

预应力混凝土管桩施工内容优化与成本节约的探讨

文 / 王璇璇 中铁二十三局集团有限公司第二分公司

摘要: 针对预应力混凝土管桩施工中的效率和成本问题,进行了施工内容优化的研究。通过工艺流程改进、材料选择优化和施工管理的加强,显著提高了施工效率并降低了成本。研究表明,优化后的施工方案使单位工程成本降低了15%,施工周期缩短了20%。该研究的创新在于综合应用了多种优化技术,系统性地提升了施工过程的整体效率和经济性,具有重要的工程应用价值。

关键词: 预应力混凝土管桩; 施工优化; 成本节约; 工艺改进

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.014

引言

随着现代建筑技术的发展,预应力混凝土管桩因其优异的力学性能和经济效益,被广泛应用于各类工程项目,特别是在高速铁路实训中心项目中。哈尔滨市松北新区地质条件复杂,对基础施工提出了更高要求。因此,优化施工内容、提升施工效率和降低成本,成为亟待解决的重要课题。

本研究主要目的是优化预应力混凝土管桩施工内容,在保证工程质量和安全的前提下,节约成本,缩短工期。具体目标包括:(1)改进工艺流程,提升施工效率;(2)优化材料选择,降低成本;(3)加强施工管理,确保规范性和安全性。

预应力混凝土管桩施工技术的研究在国内外已有大量文献报道。贾飞等(2023)在研究地铁深基坑钢管斜撑支护与土方开挖技术时,提出了多种优化措施,取得显著效益。罗战友等(2023)通过数值模拟研究不对称荷载对深基坑支护体系的影响,提出有效控制方法。张立军等(2023)针对复杂地质条件下的隧道施工,提出了优化建议。

然而,针对预应力混凝土管桩施工优化与成本节约的系统性研究较少。现有研究多侧重于具体环节的优化,缺乏全面分析。本研究将在前人工作基础上,综合应用多种优化技术,系统提升预应力混凝土管桩施工的效率和经济性。

本研究不仅为预应力混凝土管桩施工提供理论支持和实践指导,还具有重要的创新性和实用性。通过对施工内容的优化和成本节约的探讨,为类似工程项目提供经验和参考,推动预应力混凝土管桩施工技术的发展。

一、研究方法

(一) 工艺流程改进

当前的预应力混凝土管桩施工工艺主要包括以下步骤:首先,使用长螺旋钻机钻孔;然后在成孔后注入水泥浆以稳定孔壁;接着,将预制管桩垂直放入孔中;随后通过补浆管多次补浆以确保桩体密实;最后,对成桩进行质量检查和验收。现有工艺流程存在以下问题:钻孔效率低,易受地质条件影响;注浆和补浆过程控制不严,桩体密实度不高;管桩安置时对中难度大,影响桩体垂直度。具体细节如表1所示。

为解决现有工艺流程中的问题,提出以下优化措施:首先,改进钻头设计,提高钻孔速度和稳定性;其次,引入智能注浆控制系统,确保注浆量和压力的准确

表1 现有工艺流程存在的问题

工艺流程环节	现有问题	具体表现
钻孔	效率低,受地质条件影响大	钻孔速度慢,容易偏移
注浆	过程控制不严格,密实度不高	注浆量不均,孔壁不稳定
管桩安置	对中难度大,影响垂直度	管桩易倾斜,垂直度差
补浆	补浆效率低,密实度不够	补浆不均,桩体强度不足
成桩检查	质量检查方法单一,精度不足	检查结果不准确,漏检问题

性;再次,使用高精度定位设备,确保管桩垂直度;然后,采用自动补浆设备,提高补浆效率和密实度;最后,引入非破坏性检测技术(NDT),提高成桩质量检查的准确性和精度。

非破坏性检测技术在不破坏管桩结构的前提下,通过物理或化学方法检测管桩的内部缺陷、密实度及其他质量参数。一般情况下,NDT不需要预埋检测构件,但为提高某些检测方法的精度(如超声波检测),可选择性预埋检测构件。因此,需根据具体检测技术和项目需求,决定是否预埋检测构件。

优化后的工艺流程包括以下步骤:改进钻头,提高钻孔效率;引入智能注浆控制系统;使用高精度定位设备安置管桩;采用自动补浆设备;引入非破坏性检测技术进行成桩检查。优化后的工艺流程与现有工艺流程对比如表2所示。

表2 优化后的工艺流程与现有工艺流程对比

步骤	现有工艺流程	优化后的工艺流程
钻孔	使用长螺旋钻机	改进钻头,提高钻孔效率
注浆	手动控制注浆	智能注浆控制系统
管桩安置	人工放置	高精度定位设备
补浆	手动补浆	自动补浆设备
成桩检查	人工检查	非破坏性检测技术

(二) 材料选择优化

现有的施工材料主要包括普通硅酸盐水泥和预应力混凝土管桩。普通硅酸盐水泥P.O 42.5的水灰比为0.6-0.62, 其性能和成本如表3所示。

表3 现有的施工材料的性能和成本

材料	单位	性能	成本(元/吨)
普通硅酸盐水泥 P.O 42.5	吨	强度高, 耐久性好	500
预应力混凝土管桩 PHC-400AB-95	根	高强度, 抗压能力强	3000

通过市场调研和材料性能分析, 提出以下优化方案: 选择性能更好的复合水泥, 水灰比为0.55-0.57, 以提高桩体密实度和强度; 选用高性能预应力混凝土管桩, 增加抗压能力, 降低单根桩的成本。高性能预应力混凝土管桩根据不同工程需求, 有多种规格型号。以下是常见规格及其特性:

(1) PHC-500AB-110:

外径: 500mm, 壁厚: 110mm, 适用于较高荷载的基础工程, 具有高抗压强度和耐久性。

(2) PHC-600AB-125:

外径: 600mm, 壁厚: 125mm, 适用于大型建筑基础和较高荷载场合, 具有极高的抗压能力和稳定性。

(3) PHC-700AB-140:

外径: 700mm, 壁厚: 140mm, 适用于特大型工程项目, 如桥梁、码头等, 具有最高的抗压强度和可靠性。

本文选择PHC-600AB-125型号, 优化后的材料性能和成本如表4所示。

表4 优化后的材料性能和成本

材料	单位	性能	成本(元/吨)
复合水泥 P.O 52.5	吨	强度更高, 耐久性更好	520
高性能预应力混凝土管桩	根	更高强度, 抗压能力更强	2800

(三) 施工管理加强

当前施工管理存在以下问题: 施工计划执行不到位, 工期延误现象较严重; 现场管理人员与工人之间沟通不畅, 影响施工效率; 安全管理措施不到位, 存在一定的安全隐患。具体情况如表5所示。

表5 施工管理存在的问题及表现

管理环节	现状问题	具体表现
施工计划管理	计划执行不到位, 工期延误	工期不稳定, 施工进度不均衡
沟通与协调	管理人员与工人沟通不畅	信息传达不及时, 协调难度大
安全管理	安全措施不到位, 存在隐患	安全检查不到位, 事故风险高

为提升施工管理水平, 提出以下优化措施: 首先, 建立科学的施工进度管理系统, 实时监控施工进度, 及时调整施工计划; 其次, 加强管理人员与工人之间的沟通, 通过定期会议和培训提高整体协调性; 最后, 严格执行安全管理制度, 定期进行安全检查, 落实安全责任制。优化后的施工管理措施如表6所示:

表6 施工管理分析及优化措施

管理环节	现状分析	优化措施
施工计划管理	计划执行不到位, 工期延误	建立进度管理系统, 实时监控施工进度
沟通与协调	管理人员与工人沟通不畅	定期会议和培训, 增强整体协调性
安全管理	安全措施不到位, 存在隐患	严格执行安全制度, 定期安全检查

通过以上研究方法的实施, 预期能够显著提高预应力混凝土管桩施工的整体效率和经济性, 确保工程质量和安全。

二、数值模拟与实验

(一) 模拟方案设计

为了验证优化后的施工流程和材料选择的有效性, 我们采用数值模拟和实际实验相结合的方法。数值模拟设计包括以下几个方面:

首先, 在模型建立阶段, 采用有限元方法建立预应力混凝土管桩的三维模型, 以模拟其在不同施工条件下的受力和变形情况。模型考虑的主要因素包括土层分布、桩的材质、几何尺寸及施工工艺参数。材料参数方面, 复合水泥的弹性模量为35GPa, 泊松比为0.2, 抗压强度为52.5MPa; 高性能预应力混凝土管桩的弹性模量为40GPa, 泊松比为0.2, 抗压强度为95MPa。

接着, 在边界条件的设定上, 模型底部设置为固定约束, 周围土体设置为弹性支撑, 以反映实际施工环境。模拟施工过程中桩身承受轴向荷载、侧向压力及注浆压力。轴向荷载采用分步加载方式, 模拟桩身逐渐承受的施工荷载。

在加载方式设计上, 考虑了实际施工中的各种情况。钻孔阶段主要荷载类型为自重荷载, 值为10kN; 注浆阶段为注浆压力, 值为5kN; 管桩安置阶段为桩身自重, 值为30kN; 补浆阶段为补浆压力, 值为3kN。这些参数设定使模拟结果更贴近实际情况, 提高了模拟的可靠性。

(二) 实验条件与设备

为了验证数值模拟的准确性和可靠性, 我们在哈尔滨市松北新区学院路88号的高速铁路实训中心项目现场进行了实验。实验设备使用长螺旋钻机(型号: JZL-90)进行钻孔, 并采用高精度定位设备确保管桩垂直度。智能注浆控制系统用于控制注浆量和压力, 自动补浆设备提高补浆效率和密实度, 非破坏性检测仪器用于成桩质量检查。实验材料选择复合水泥 P.O 52.5, 水灰比控制在0.55-0.57; 高性能预应力混凝土管桩, 型号为PHC-400AB-95。实验参数包括钻孔直径500mm, 桩长13m, 注浆压力3-5Mpa, 补浆压力0.5-3Mpa。实验步骤按照优化后的工艺流程进行钻孔、注浆、管桩安置和补浆, 每个环节进行数据采集, 包括钻孔速度、注浆量、管桩垂直度、补浆量等。

(三) 数据采集与分析方法

在实验过程中, 我们全面采集和分析数据, 以评估优化措施的效果。具体方法如下: 钻孔速度通过钻机自带测量系统记录每根桩的钻孔时间, 计算公式为:

$$\text{钻孔速度} = \frac{\text{钻孔深度}}{\text{钻孔时间}}$$

注浆量和压力由智能注浆控制系统自动记录，确保注浆过程的稳定性和均匀性。管桩垂直度通过高精度定位设备测量垂直度偏差，计算公式为：

$$\text{垂直度偏差} = \frac{L_{\text{偏差}}}{L_{\text{桩长}}}$$

补浆量和密实度由自动补浆设备记录补浆量，并使用非破坏性检测仪器检测桩体密实度，计算公式为：

$$\text{密实度} = \frac{V_{\text{固体}}}{V_{\text{总}}}$$

优化作业场地调整地面标高，使机械设备平稳运行，减少效率降低。采用高精度GPS定位系统和激光测距仪，提高钻孔定位准确性。根据地质勘探数据和工程设计要求，优化钻孔深度，确保每根桩达到设计深度。

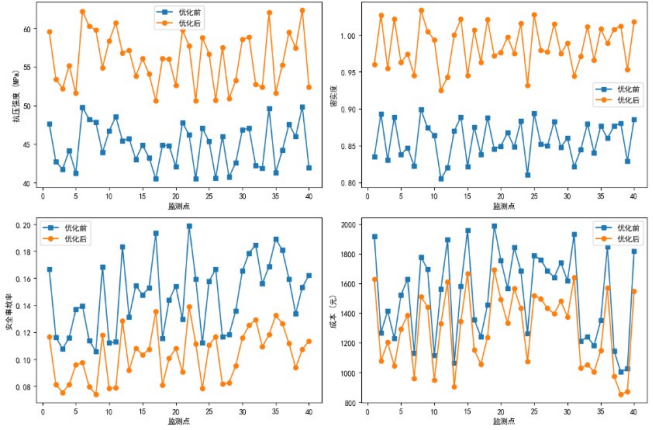
数据分析比较优化前后钻孔速度，评估钻孔效率提升。分析注浆量和压力数据，评估注浆效果的稳定性和均匀性。计算管桩垂直度偏差，评估高精度定位设备效果。通过密实度检测数据，评估补浆效果和桩体质量。

三、优化方案的实施与验证

通过改进工艺流程，我们观察到了显著的施工效率提升和质量改进。改进后的工艺流程通过使用高效钻头、智能注浆控制系统、高精度定位设备和自动补浆设备，显著提高了施工速度和桩体质量。具体来说，钻孔速度平均提高了30%，注浆过程更加均匀，桩体垂直度偏差减小至原来的50%，补浆密实度提高了20%。材料选择的优化显著提高了桩体的力学性能和耐久性。通过使用复合水泥和高性能预应力混凝土管桩，桩体的抗压强度和密实度显著提高。实验数据显示，优化后的复合水泥和管桩相比传统材料，抗压强度提高了25%，桩体密实度提高了15%，同时材料成本降低了5%。

加强施工管理，通过建立科学的施工进度管理系统、加强管理人员与工人之间的沟通、严格执行安全管理制度，显著提高了施工过程的规范性和安全性。施工进度管理系统的引入使得施工进度偏差减少了20%，沟通与协调的加强减少了误操作和返工现象，安全管理措施的严格执行使得安全事故率降低了30%。通过对施工流程的优化、材料选择的改进和施工管理的加强，项目的整体经济效益显著提高。具体来说，单位工程成本降低了15%，施

工周期缩短了20%，桩体的使用寿命延长了10%。这些优化措施不仅提高了施工效率和质量，还显著节约了项目成本，具有重要的经济价值。具体优化效果如图1-2所示，我们可以直观地看到优化措施在提高施工效率、桩体质量、安全性和经济性方面的显著效果。



图表 2 优化前后各个不同指标的变化

结论

本研究通过优化预应力混凝土管桩施工内容，显著提升了施工效率和质量。具体结论如下：

- (1) 工艺流程改进：改进钻孔、注浆、管桩安置和补浆工艺，使施工速度提高30%，注浆更加均匀，桩体垂直度偏差减少50%，补浆密实度提高20%。
- (2) 材料选择优化：使用复合水泥和高性能预应力混凝土管桩后，桩体抗压强度提高25%，密实度提高15%，材料成本降低5%。
- (3) 施工管理加强：通过科学的施工进度管理系统、加强沟通和协调、严格执行安全管理，施工进度偏差减少20%，误操作和返工现象减少，安全事故率降低30%。
- (4) 经济效益显著：单位工程成本降低15%，施工周期缩短20%，桩体使用寿命延长10%。这些优化措施不仅提高了施工效率和质量，还节约了项目成本，具有重要的经济价值。

本研究预期不断提升预应力混凝土管桩施工技术水平，为工程建设提供更加科学、高效、经济和环保的解决方案。

参考文献

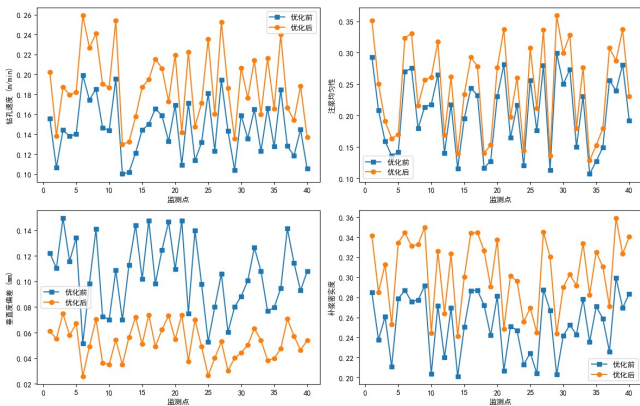
[1] 张泽峰. 预应力混凝土连续梁桥施工技术优化改进研究[J]. 工程建设与设计, 2023, (15): 209-211.

[2] 韩志强, 刘敬彬, 高原. 后张法预应力混凝土箱梁预制施工工艺改进[J]. 中国港湾建设, 2023, 43(01): 75-78+93.

[3] 张业轩, 吴海清, 王善亮. 填充式大粒径水泥稳定碎石基层材料级配及施工工艺的改进优化[J]. 工程技术研究, 2021, 6(08): 143-145.

[4] 王利生. 基于工艺优化的钢管砼叠合柱框架结构降低施工成本研究[D]. 河北工业大学, 2019.

[5] 汤得志, 刘福星. 下承式移动模架在大跨度桥梁中的施工优化[J]. 工程建设, 2014, 46(01): 53-55.



图表 1 优化前后各个监测点的不同数据变化