

软基地层铁路桥梁快速施工关键技术与工程应用

李仁山

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：软基地层具有高含水量、高压缩性、低承载力、低渗透性及显著流变性等不良工程特性，给铁路桥梁施工带来沉降控制难、施工效率低、安全风险高、工期保障难等一系列问题，严重制约铁路工程建设的进度与质量。为破解软基地层铁路桥梁施工瓶颈，实现快速、高效、安全施工，本文结合国内外相关研究成果与工程实践经验，梳理软基地层铁路桥梁快速施工核心技术体系，并结合软土地层铁路桥梁工程，详细阐述关键技术的应用流程、实施要点及应用效果与优化方向，为我国软基地层铁路桥梁工程的快速施工提供理论支撑与工程借鉴。

【关键词】：软基地层；铁路桥梁；快速施工；关键技术；工程应用

DOI:10.12417/2811-0536.26.06.066

引言

随着我国铁路建设向中西部地区及沿海软土分布区不断延伸，越来越多的铁路桥梁工程需穿越软基地层。此类软基地层以湿陷性黄土、沟谷淤积软土为主，兼具高压缩性、低承载力及遇水易变形的特点，地质条件复杂，施工过程中易出现地基沉降超标、桩基施工塌孔、墩台不均匀变形、施工进度滞后等问题，传统施工技术难以兼顾施工速度与工程质量，无法满足铁路工程规模化、快速化建设的需求。目前，我国在软基地层铁路桥梁施工方面，进行了不少技术研发和实际工程尝试，总结出了一套针对性的快速施工技术，但因为不同区域的软基地质不一样，这些技术用起来适配性不够、各施工环节衔接也不够顺畅的问题还比较明显。本文结合具体的工程案例，将快速施工的关键技术应用经验梳理，这对我国铁路桥梁工程高质量、快速推进，有着很实际的意义和工程价值。

1 软基地层铁路桥梁快速施工核心技术体系

软基地层存在高压缩性、低承载力、遇水易变形这些不好的工程特性，在铁路桥梁施工时，会遇到地基沉降不好控制、桩基容易塌孔、各环节配合不顺畅等问题，进而影响施工效率和工程质量，满足不了铁路快速建设的需求。针对这些问题，结合软基地层的这些短板，本文搭建了一套“地基预处理-基础施工-上部结构拼装-全过程管控”的一体化快速施工技术体系，通过各个技术模块的相互配合，让软基地层的铁路桥梁施工更规范、更标准，给后续的工程应用提供一套完整的技术思路，各核心技术模块的设计思路与核心优势结合上述因果逻辑具体如下：

地基预处理技术是快速施工的基础，项目团队通过针对性的工艺，改善软土地基的力学性能，解决地

基沉降不好控制的问题，为后续施工打好基础。该技术体系不再采用传统那种单一的处理方式，而是采用“分类适配、复合增效”的原则，根据不同成因、不同性质的软基地层，搭配合适的处理技术。这样做既保证了处理效果，又能提高施工效率，能在短时间内明显提升地基的承载力、控制沉降变形，从而避免因地基不稳，引发各种施工隐患。

桥梁基础快速施工技术，核心是解决两个问题：一是防止塌孔，二是提高施工速度，同时还要保证施工质量、提升效率。项目团队通过优化钻进工艺、升级护壁技术、实现构件加工标准化这些方式，解决软土地层桩基施工的各种难题，它能适配复杂的软土地质，简化施工流程、缩短施工时间，还能保证基础结构的稳定性和耐久性，给上部结构施工提供可靠的支撑。

上部结构快速拼装技术是在工厂预制构件，到现场再高效拼装，减少现场浇筑的工作量，弥补传统施工技术的不足。在该技术体系下，项目团队借助工厂标准化生产的优势，把桥梁构件加工得更精准，再通过合适的吊装和拼装工艺，在现场快速组装起来，采用相关技术后构件质量有保障、施工效率高，可有效缩短现场施工时间、降低高空作业的风险，进而同时提升施工进度和工程质量^[1]。

全过程管控技术是整个体系的保障，贯穿施工的每一个环节，核心思路是实时监测、动态调整、闭环管控，给快速施工提供全方位的保障。项目团队通过整合智能监测、风险防控、动态调整这些核心功能，实时掌握施工过程中的关键指标变化，一旦发现质量和安全隐患，就能及时处理，还能动态优化施工方案，让整个施工过程看得见、能控制，从而有效避免软基地层施工中的各种风险，确保快速施工的同时，质量

和安全都有保障。

2 工程应用案例详解

2.1 工程概况

某工程为某铁路全线重难点工程，属于大跨度铁路钢筋混凝土拱桥，同时也是该铁路全线的控制性工程，其建成后将进一步完善区域铁路交通网络，有力推动沿线地区经济社会发展，具有重要的交通与社会价值。该工程在河谷地带，地质情况比较复杂，核心施工的地方是湿陷性黄土和沟谷淤积的软土，而且这些软土不仅分布广，性质还不一样，一碰到水容易出现大幅沉降变形，给桥梁施工添了不少麻烦；除此之外，大桥两岸的地形也很复杂，施工作业面的高度差挺大，导致机械设备和建筑材料不好运输，施工难度又加大了不少，如图1所示。由于该工程工期要求严格，传统施工技术难以满足既定工期目标，因此工程施工全面采用本文所述的快速施工关键技术，重点解决软土地基处置、桩基施工隐患、高空作业效率及场地运输受限等核心难题。



图1 工程项目环境概况

2.2 关键技术应用过程

(1) 软土地基预处理：该工程项目中，湿陷性黄土和沟谷淤积的软土混在一起，地质情况挺复杂的，施工团队采用了“分区适配、复合增效”的办法，进行软土地基的快速预处理，既保证质量，又不耽误进度。例如，桥梁桥台和路基过渡的地方全是湿陷性黄土，施工人员使用重锤低落距强夯的技术，将夯击的能量、次数这些关键参数定好，有效解决黄土湿陷的问题。与此同时，施工团队还采用了沉降观测点和智能监测设备，实时盯着夯击时的沉降数据，根据数据随时调整参数，确保地基处理得均匀又稳定；对于河谷沟谷淤积软土的地方，施工人员则采用了真空联合堆载预压的技术，铺了两层密封膜做好密封，靠负压抽水和分级堆载一起发力，加快软土排水固结的速度，有效缩短了预处理的时间^[2]。

(2) 桥梁基础施工：该项目中桥梁基础采用的是大直径的钻孔灌注桩，软基地层的孔壁容易出现坍塌、

缩颈等问题，是施工团队重点优化的方向。首先，施工人员依据土层情况调整钻进方式，如粉质软土采用旋挖，砂质软土就换成冲击钻进，并灵活调整钻进参数。穿软土层的时候，采用优质的膨润土泥浆做护壁，选适配的耐磨钻杆，保证钻孔不歪不斜；而后，通过试验调整泥浆的配比，减少孔壁出问题的概率。同时，还用了桩端后压浆技术，提前埋好注浆管，往桩端底层注入高性能浆液，这样能提高桩基的承载力，还能抵御软土地基的负摩阻影响。除此之外，项目团队还优化了钢筋笼的加工和安装，在工厂里模块化加工，保证精度，到了现场用套筒快速连接，节省了不少安装时间。整个施工过程中，项目团队全程用超声波检测关键工序，发现隐患就及时处理，确保符合验收标准。

(3) 上部结构施工：该工程的主桥是大跨度的铁路钢筋混凝土拱桥，它的拱肋劲性骨架是用高强度型钢做的，结构复杂，拼装的时候要求严格，再加上施工作业面高低差大，物料运输也不方便。因此，施工团队采用了钢混结合段模块化吊装和预制构件拼装一体的快速施工技术。具体来说，施工人员先把拱肋劲性骨架和钢混结合段拆成一个个标准化的模块，在工厂里做好精准加工和预拼装，用三维扫描技术检查好模块的连接精度，再用专用运输设备运到施工现场。接着，施工团队选了大型履带式吊装设备，结合BIM可视化建模技术模拟吊装过程，优化吊装方案和满堂支架的支撑体系，再用双机抬吊的方法，在高空把模块预拼装、精准对接。如此一来，工程项目高空焊接的工作量大幅减少，不仅安全风险和作业强度也降低了，而且保证拼装精度^[3]。至于引桥，用的是标准的预制箱梁，施工团队在工厂里标准化生产，保证构件质量，再根据现场地形优化运输路线，用模块化的方式运输；到了现场，施工人员用高效的架桥设备快速拼装箱梁，拼装的时候用全站仪定位梁体，再结合地基沉降的实时监测数据，随时调整梁体的高度，避免墩台不均匀沉降影响梁体安装精度，也大幅缩短了上部结构的施工时间。

(4) 全过程管控与风险防控：由于工程软土地质复杂，高空作业的安全风险高，施工团队建立了一套“实时监测-动态调整-闭环管控”的全过程智能化管控和风险防控体系，保障施工质量和人员安全。首先，施工人员在地基、桩基、墩台、梁体和周边边坡这些关键地方，安装振弦式传感器、位移计等智能监测设备，通过物联网技术把监测数据实时传到监控中心，重点盯着地基沉降、桩基内力、墩台位移和边坡稳定

性这些核心指标。同时,施工团队还建立了三级预警机制,若监测数据超出安全范围,系统就会自动报警,指导施工人员及时调整施工方案,防范质量和安全隐患。其次,针对软土地基遇水沉降、桩基塌孔、高空吊装坠落这些常见风险,施工团队制定了专门的安全防控方案。施工前,施工人员给所有工作人员做了安全技术交底,把每道工序的安全要点讲清楚;施工过程中,施工团队用无人机巡查加上现场专人值守的方式,增加巡查次数,及时排查安全隐患,规范施工人员的操作行为;施工完成后,项目团队对整个施工过程的安全和质量进行全面复盘,总结经验教训,为后续同类工程的风险防控提供参考,确保整个施工流程形成闭环,不留任何安全隐患。

2.3 应用效果

该工程全程采用了软基地层铁路桥梁快速施工的关键技术,顺利解决了软土地基处理、桩基施工隐患、高空作业效率低、场地运输不方便这些核心难题。在保证工程质量和施工安全的前提下,大幅缩短了施工工期,提前完成了施工任务,真正实现了“快速、优质、安全”的建设目标。工程完工后,第三方做了专业检测,地基沉降、桩基承载力、梁体安装精度还有边坡稳定性,所有指标都符合规范要求,没有任何安全隐患。这次成功的实践,也充分证明了这套快速施工技术体系特别实用、适配性也强,总结下来的核心技术应用经验,也给同类工程提供了宝贵的参考,推广价值很高。

3 技术优化方向

第一,优化地基预处理技术的适配能力。工程项目中,若是遇到深层软土地基(埋深超过20米),或者多种软土交替分布的复杂地质,工程人员就得研发新的复合地基处理技术,将强夯、真空预压和CFG桩这几种技术的优点结合起来,让这种新技术能更好地适配复杂的软土地质,既能进一步缩短地基预处理的时间,还能提高地基的承载力,让沉降控制得更精准

参考文献:

- [1] 何茂周.软土地层轨道交通车站近接下穿城际铁路桥安全施工关键技术研究[J].中国市政工程,2024(5):94-99164,165.
- [2] 郭勇.软土地层小直径管幕快速施工关键技术研究[J].建筑技术开发,2019,46(6):69-71.
- [3] 杨康,谢德宽,章文彬.深埋承台高压旋喷桩施工关键技术研究[J].中国水运(下半月),2023,23(5):133-135.
- [4] 彭磊,俎俊龙,贾鲁.富水超厚淤泥软基施工安全管控技术研究进展[J].市政技术,2023,41(6):254-260267.

[4].除此之外,工程人员还可以结合 Midas GTS 数值模拟技术,建立一个软土地基预处理的数值模型,优化夯击能量、注浆参数这些关键的施工指标,让施工更准确,还能进一步降低施工成本。

第二,提升智能化施工技术的应用水平。工程人员可以把 BIM、物联网、大数据这些技术,更好地融合到软基地层铁路桥梁施工中,搭建一个施工全过程的数字化管控平台,让施工流程能实现可视化、数据化管理。利用 BIM 技术模拟整个施工过程,提前预判软土地层桩基塌孔、高空吊装碰撞这些施工难点,优化施工方案;通过物联网技术,把监测数据和施工设备联动起来,实现钻进速度、注浆压力这些参数的自动调整,进一步提高施工效率和质量。同时,研发适合软基地层施工的智能化钻进、吊装设备,推动施工技术向智能化、自动化升级。

第三,完善技术标准体系建设。相关单位可结合我国软基地层的分布特点,还有各类工程的实际施工经验,修订完善软基地层铁路桥梁快速施工的技术标准,明确各种预处理技术、基础施工技术的适用范围、施工要点、质量控制标准和安全防控要求,给同类工程施工提供统一的技术指导。另外,加强国内外的技术交流与合作,借鉴国外深层软土地基处理的先进技术经验,结合我国的工程实际情况进行本土化优化,不断完善我国软基地层铁路桥梁快速施工的技术体系,推动整个行业的技术进步。

4 结语

本文搭建的“地基预处理-基础施工-上部结构拼装-全过程管控”一体化技术体系,结合这个工程的实践经验分析,软基地层铁路桥梁快速施工,要遵循因地制宜、各环节协同配合、质量安全放在第一位,以及标准化、智能化施工的原则。今后工程人员还需要进一步优化技术,让其能适配更复杂的地质,提升智能化施工水平,完善相关技术标准,为我国铁路工程高质量、快速推进提供支持。