

基于 R=280m 圆曲线的碾盘寺互通 A 匝道桥钢箱梁顶推结构优化与施工技术应用

任志博

中铁十五局集团第三工程有限公司

摘要: 本文围绕苍溪至巴中高速公路碾盘寺互通 A 匝道桥项目深入探讨了基于 R=280m 圆曲线的钢箱梁顶推结构优化与施工技术应用, 文章概述了碾盘寺互通 A 匝道桥项目的基本情况和钢箱梁顶推技术的原理及优势, 随后详细介绍了钢箱梁在设计、结构优化及施工技术上的创新应用, 特别是针对 R=280m 圆曲线的特殊要求, 包括材质、尺寸选择、分段制作以及如何减重、增强稳定性和应对复杂地形。最后对整个顶推施工流程进行了详细解析, 并针对 R=280m 圆曲线提出了特殊的施工技术调整, 通过对该项目的研究旨在为类似复杂地形中的桥梁施工提供参考和借鉴。

关键词: 碾盘寺互通 A 匝道桥; 钢箱梁; 顶推技术; 结构优化

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.08.053

引言: 苍溪至巴中高速公路碾盘寺互通 A 匝道桥作为一项重要的基础设施工程, 其建设不仅关系到区域交通的便捷性, 也是现代桥梁工程技术应用的典范。特别是在该项目中采用的钢箱梁顶推技术对于解决复杂地形中的施工难题提供了创新思路。本文首先对苍溪至巴中高速公路碾盘寺互通 A 匝道桥的整体设计与施工环境进行概述, 强调了钢箱梁顶推技术在桥梁建设中的重要性。特别地针对 R=280m 圆曲线的特殊性深入探讨了钢箱梁的设计要点, 详细解析了顶推施工流程和特殊技术的应用, 为后期施工建设奠定良好的基础保障。

一、碾盘寺互通 A 匝道桥项目概述

位于重要交通节点的碾盘寺互通 A 匝道桥是连接巴达高速与区域主干道的关键枢纽, 该标段以其全长超过 20 公里的壮观规模, 覆盖了包括主线桥、排洪涵洞、天然气保护涵、人行天桥、通道等在内的多元结构, 展现了现代桥梁工程的复杂性和多样性。该匝道桥顶推钢箱梁形式为 (38+60+38) m, 桥梁全长达 1118.721 米, 宽度变化在 12.75 至 24.024 米之间, 最大高度更是达到了 50.6 米, 从而在工程学和设计美学上都留下了深刻的印记^[1]。

A 匝道桥采纳的钢-混凝土组合连续梁结构, 融合了横向节段为 3 片钢主梁和钢横梁、实腹式横隔板以及穿孔板、钢纤维无收缩混凝土组合桥面板的分体式箱型结构, 其结构设计不仅增强了桥梁的稳定性, 也优化了其载重能力。

二、钢箱梁顶推技术概述

在现代桥梁建设中钢箱梁顶推技术被广泛应用于大跨度桥梁的建设, 尤其在地形复杂、对交通干扰要求高的项目中显示出其独特的优势。碾盘寺互通 A 匝道桥正是运用了其技术实现了工程的高效施工和质量保证。钢

箱梁顶推技术涉及将预制的钢箱梁段在现场按序拼接并逐段推进到最终位置, 其方法有效减少了对下方交通的影响, 同时提高了施工安全性。其项目的钢箱梁设计上采用了 Q355q-D 高强度钢材, 提供了优良的结构性能和耐久性。钢箱梁的整体设计考虑到了横向和纵向的强度需求, 在制作过程中将钢箱梁分割成多个节段, 以适应现场的运输和吊装条件。

钢箱梁的设计和制造细节, 例如节段之间的间隙、加劲肋的设置、以及各部分板材的厚度等都经过精密计算和工艺优化, 确保了整体结构的稳定性和安全性。在施工过程中顶推技术的应用提供了一种相比传统吊装更为安全、高效的方案, 通过在已建桥面上设置拼装平台逐步将钢梁推进到位, 该技术在应对其项目特别是 R=280m 圆曲线地形时显示出其独到之处。其施工方法不仅保障了工程的顺利进行, 还为相似复杂环境中的桥梁建设提供了可行的技术参考。

三、R=280m 圆曲线的碾盘寺互通 A 匝道桥钢箱梁顶推结构优化设计

(一) 钢箱梁设计要点: 材质、尺寸、分段等

在碾盘寺互通 A 匝道桥的建设中钢箱梁的设计是一个关键环节, 在施工前与设计人员充分进行了设计的优化沟通。钢箱梁采用的是 Q355q-D 高强度钢材, 其材质不仅保证了结构的稳定性和耐久性, 而且由于其优越的力学性能并极大地提高了桥梁的承载能力和安全性。在尺寸设计方面钢箱梁的主跨为 60m, 确保了足够的跨度以适应复杂的地形条件。此外, 箱体的横坡为 6%, 纵坡为 3.9%, 共 3 箱室, 箱室高 2.62m, 宽 2.5m, 桥面板宽 15.85m, 纵向根据受力情况按 2m, 1.5m, 1.3m, 1m 等共分 74 个小节, 箱体共重 1237.5 吨, 合每延米 9.1 吨, 主跨重量约 546 吨的分体式箱型结构, 其设计在确保结构稳定的同时也充分考虑了排水和维护的需要^[2]。

钢箱梁的制作过程中考虑到现场条件和运输限制采用了分段的方式进行, 每个节段根据实际需要和受力条件被划分为不同长度, 最大的单节长度达到 4.5 米。分段制作不仅方便了现场的运输和安装, 而且在施工过程中提供了更高的灵活性和适应性。详情如图 1。

(二) 基于 R=280m 圆曲线的结构特殊要求

在 R=280m 圆曲线上的桥梁设计中, 面临增加的侧向力和不均匀荷载分布挑战。为确保结构平衡、对称, 设计采用特殊加固, 包括增加加劲肋、调整箱梁厚度和强度。这一独特设计提高了桥梁在曲线部分的稳定性, 确保在复杂应力条件下的安全性和可靠性。施工中采用高精度测量设备和调整施工顺序, 应对半径小、难度大的挑战。其项目独特的地理特征即位于 R=280m 的圆曲线上, 对钢箱梁的设计提出了额外的挑战。在其曲线条件

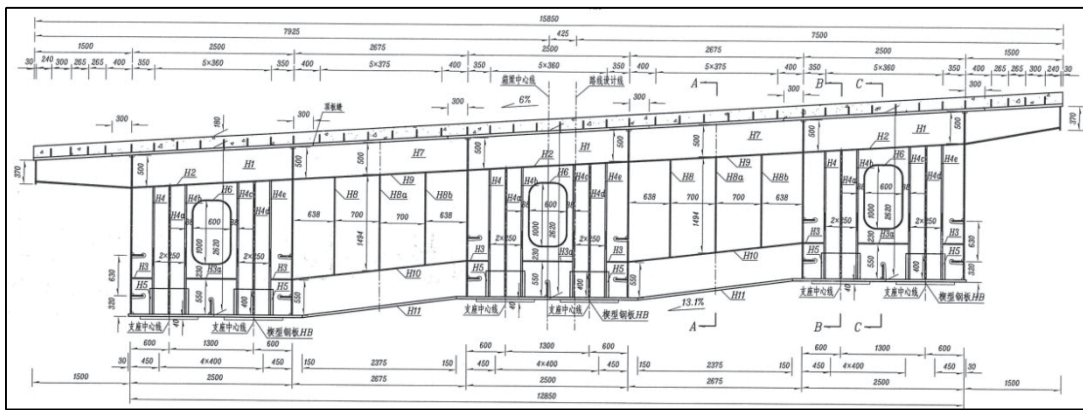


图1 碾盘寺互通A匝道桥钢主梁横断面结构布置图

下桥梁的设计和施工必须考虑到增加的侧向力和不均匀载荷分布的影响。在具体的结构设计上，钢箱梁在此曲线部分采用了特别的加固措施，如增加加劲肋的数量和密度以及调整箱梁的厚度和强度。此外，针对R=280m圆曲线的特殊性，施工过程中也采取了相应的技术措施，如使用高精度的测量设备和调整施工顺序以确保桥梁的准确安装和对准。详情如图2。

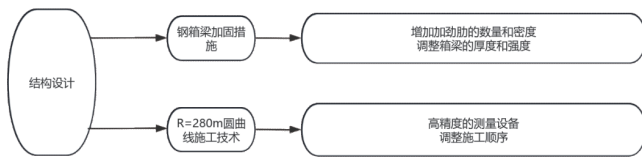


图2 结构设计

(三) 优化措施

1. 减重

在碾盘寺互通A匝道桥的设计与施工中减轻钢箱梁的重量是一项关键的优化措施，重量的减轻对于提高桥梁的整体效率和安全性至关重要，尤其是在复杂地形条件下。为实现其目标项目团队采用了高强度的Q355q-D结构钢作为主要材料。其钢材不仅具有优越的力学性能，由于其高强度特性可以在减少材料用量的同时保持结构的稳定性和安全性。除了选择高强度材料外工程团队还通过优化结构设计来实现减重目的，在钢箱梁的设计中通过调整加劲肋的布置和尺寸减少了不必要的材料使用，同时也保证了结构的整体强度和刚度。此外，分段施工方法也有助于减轻单个部件的重量，简化了运输和安装过程从而整体上降低了桥梁的重量^[3]。

2. 增强稳定性

针对其项目的设计增强结构稳定性是另一个重要的优化方向，桥梁的稳定性不仅影响其使用寿命也直接关系到使用安全。在R=280m的圆曲线区域，桥梁面临着更加复杂的力学环境，因此需要特别的设计来确保稳定性。为了增强稳定性工程团队在设计优化阶段就综合考虑了桥梁的受力特点和环境条件，钢箱梁的设计中采用了适当的厚度和加劲肋配置以增加其对侧向力和扭矩的抵抗能力。此外，为了适应复杂地形带来的挑战，特别是在圆曲线部分工程中采用了增加临时支撑和优化支撑结构的方式，确保了整体结构在施工和使用过程中的稳

定性。

3. 应对复杂地形

其项目所在的地形复杂多变特别是R=280m的圆曲线带来了额外的工程挑战，在此背景下桥梁的设计和施工策略需充分考虑地形因素以确保项目的顺利实施和长期稳定性。在设计优化阶段充分考虑了地形对桥梁结构的影响，如坡度、曲线及地面条件等，在钢箱梁的设计优化中通过调整横向和纵向的坡度以及根据地形变化进行结构强度的调整来适应复杂地形带来的特殊要求。

四、R=280m 圆曲线的碾盘寺互通 A 匝道桥钢箱梁顶推施工技术应用

(一) 施工准备：材料、设备、人员配置

在其项目的施工准备阶段材料选择、设备配置和人员安排的重要性显得尤为关键，项目采用的Q355q-D结构钢作为钢箱梁的主要材料，其高强度和耐久性对确保整个结构的稳定性和长期安全起着决定性作用。优质的材料不仅提供了必要的承载能力，还在保证安全系数的同时减轻了桥梁的总重量。在设备的选择和配置方面考虑到其项目的顶推施工特点，项目特别引入了一系列高效的顶推设备。其设备的引入使得钢梁能够在复杂的工程环境中精确地移动到同时降低了施工过程中的风险^[4]。

此外，为保证施工的精准性和效率项目还配备了高精度测量工具，如全站仪和激光测距仪确保了施工过程中各项参数的准确测量和实时监控。人员配置方面项目组精心选拔了一支由资深工程师、技术专家和经验丰富的施工人员组成的团队，其团队不仅对钢箱梁顶推施工的技术流程有深入的了解，而且具备在复杂地形和工程环境中进行精确施工的能力。

(二) 顶推施工流程详解

在碾盘寺互通A匝道桥的建设中顶推施工流程扮演了至关重要的角色，其精密性和复杂性对项目的成功至关重要，此流程从工厂的预制钢箱梁开始，涉及现场的精确安装和定位直至最终的结构完成。在工厂钢箱梁被预制成各个节段，其节段根据设计需求和施工方便进行定制以便于现场的运输和安装。使用Q355q-D高强度结构钢材质的钢箱梁不仅保证了结构的强度和稳定性，还考虑了节段在运输和安装过程中的实用性。每个节段的尺寸和形状都经过精心计算以适应复杂的地形和设计要

求，同时确保在拼装和顶推过程中的一致性和连续性。详情如图2。

在现场钢箱梁的各个节段被送至拼装区，专业的施工团队使用精确的设备将这些节段逐一组装，形成完整的钢箱梁结构。在拼装过程中重视每个接缝和连接点的精度，确保整体结构的坚固和对接的准确性。顶推过程是整个施工过程中最为关键的部分，在其阶段已拼装好的钢箱梁利用具有400T三向顶推自动回程千斤顶、同步调整液压系统、位移检测系统的起重位移专用顶推设备，通过PLC同步控制、液压安全阀保护负载的液压驱动、压力和位移闭环自动控制多点同步步履式顶推方式逐步推移到桥梁的最终位置。其方法的优势在于其精确性和安全性，能够有效地将重型结构稳定地移动到到位的同时最小化对周围环境的影响。在整个顶推过程中施工团队对钢梁的位置和状态进行了严密的监控，为了增加结构在顶推过程中的稳定性，工程团队在关键位置设置了临时支撑架。支撑架不仅为结构提供了必要的支撑，还防止了在施工过程中可能发生的任何形式的变形或移位。面对场地小，需在建桥面上作业，对桥面要求高的特点，充分考虑到桥面的集中荷载；面对落梁高度较高，风险较大，采用了落梁千斤顶及倒顶垫块支撑，循环逐节切割钢管柱的落梁工艺；面对导梁（35.1m）较长，最大下挠度大（-427mm），导梁制作上设置较大的预拱度等措施。详情如图3。

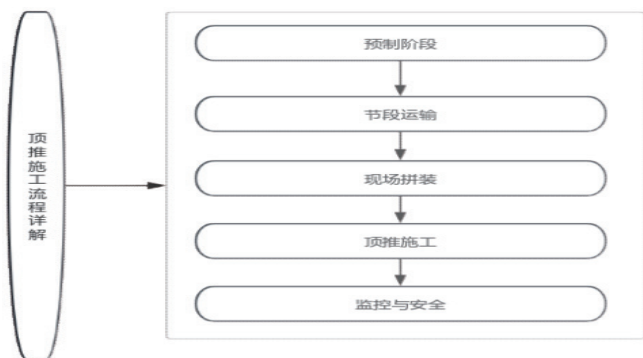


图2 顶推施工流程详解

（三）R=280m 圆曲线的特殊施工技术与调整

对于半径为280米的圆曲线，特殊施工技术与调整至关重要。在施工过程中可以从以下几个方面考虑以确保施工的顺利进行。顶推工艺是在地铁、隧道等工程中

常见的一种施工方法，它可以有效减少对周边环境的影响。对于半径为280米的圆曲线，可以借鉴顶推工艺的经验，通过合理的设计和施工流程，降低施工对周边地区的干扰。这不仅能提高工程的施工效率，还能减轻对周边环境的影响，实现可持续发展。在圆曲线施工中，技术创新是推动工程不断发展的重要动力。可以通过引入先进的施工技术，如激光测量、全站仪等，提高施工的精度和效率。同时，结合人工智能和大数据分析，优化施工过程，减少人为误差，确保曲线的准确性和安全性。在实际施工中，可以通过优化施工应用流程，提高施工的效益。例如，合理规划施工进度，确保各个工序的顺利衔接；采用先进的材料和设备，提高工程的质量和可靠性；实施科学的安全管理措施，确保施工过程的安全性^[5]。

总结：

通过对碾盘寺互通A匝道桥项目的深入研究不仅展示了基于R=280m圆曲线的钢箱梁顶推技术在结构优化与施工中的应用，也证明了其在复杂地形桥梁建设中的高效性和可靠性，该桥位于上跨车流量大的既有高速公路，周围施工环境复杂，曲线设计半径小，跨度长，纵横坡较大，精度要求高，顶推时间长和落梁高度高所带来的安全风险等独特特点，为未来类似工程在设计优化、顶推行走的控制、纵横向及竖向行程调节、预埋件安装及箱梁的焊接、拼装、落梁工艺等方面提供了宝贵经验，也对桥梁工程领域的技术革新和发展贡献了新的思路和解决方案。

参考文献

- [1] 刘建龙. 哈尔滨尚志大桥连续钢箱梁顶推设计与施工技术[J]. 公路工程, 2005, 030(001): 110-112, 129.
- [2] 刘剑国. 南京汤龙公路互通匝道桥圆曲线钢箱梁步履式多点连续同步顶推施工应用[J]. 工程技术研究, 2018(14): 2.
- [3] 夏侯腾福. 临近既有桥梁的钢箱梁顶推施工技术应用[J]. 江西交通科技, 2022(1): 33-36.
- [4] 杜越. 曲线钢箱梁顶推施工技术[J]. 铁道标准设计, 2006.
- [5] 杨勇, 朱志军. 大跨径桥梁工程中钢箱梁顶推施工技术应用难点探讨[J]. 中国水运: 下半月, 2016(11): 2.

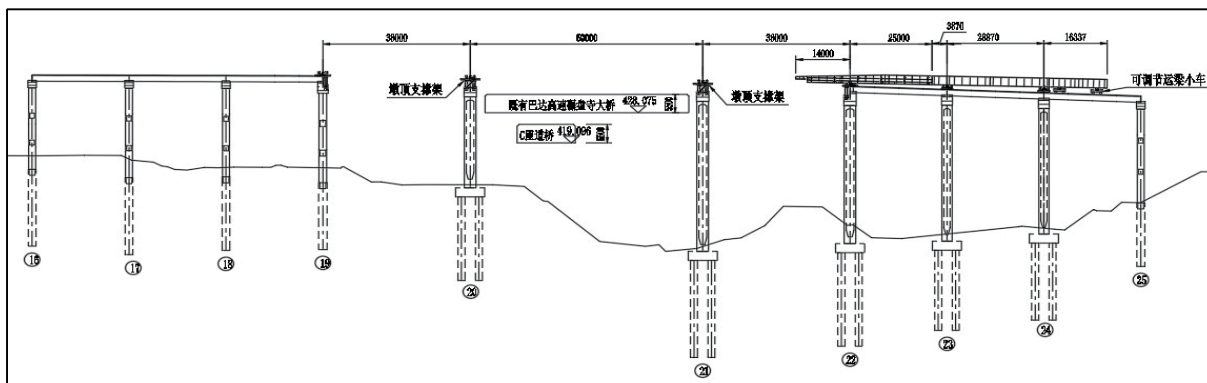


图3 顶推施工图