

关于梁拱组合体系桥梁设计关键技术分析

文 / 邵凯凯 浙江大学建筑设计研究院有限公司

摘要: 作为全新的工程结构, 梁拱组合体系不仅有着很大的结构刚度, 同时施工比较简单, 拥有较强的动力稳定性, 具有显著的使用优势, 所以在桥梁工程中得到了广泛使用。为了更好的应对工程建设需要, 本文将对梁拱组合体系桥梁设计技术展开探讨, 以某路桥项目为例分析梁拱组合体系桥梁的力学特点, 展开桥面受拉对策的探讨, 并进一步研究拱脚处受力状态和构造, 探讨如何应对钢管拱灌注混凝土时应力的对策。

关键词: 梁拱组合体系; 桥梁设计; 关键技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.04.102

前言

在设计梁拱组合体系桥梁的时候, 因为结构特殊所以不论是所用的材料还是技术都有着比较高的要求。施工前必须做好地基方面的处理, 确保地基稳定性和质量, 为后续的梁拱组合体系桥梁施工提供支持。工程设计人员需要充分把握梁拱组合体系桥梁的技术体系以及施工要求。现如今国内很多地区都在使用梁拱组合体系桥梁, 本文的研究不仅可以总结施工经验, 同时也能对梁拱组合体系桥梁技术特点展开分析, 为类似项目提供可行支持, 保障施工效果。

一、项目基本情况

嘉兴秀洲智联健康产业园基础设施配套工程项目-运河路(乍嘉苏高速-新塍大道)道路桥梁改造工程设计共包含3座桥梁, 其中西港河桥为梁拱组合体系结构, 该桥梁横跨西港河。桥梁的总长度为415米, 其中主桥部分长度为90米, 而引桥部分则长达325米。桥梁的标准宽度为33米, 包含了供车辆行驶的车道和供行人

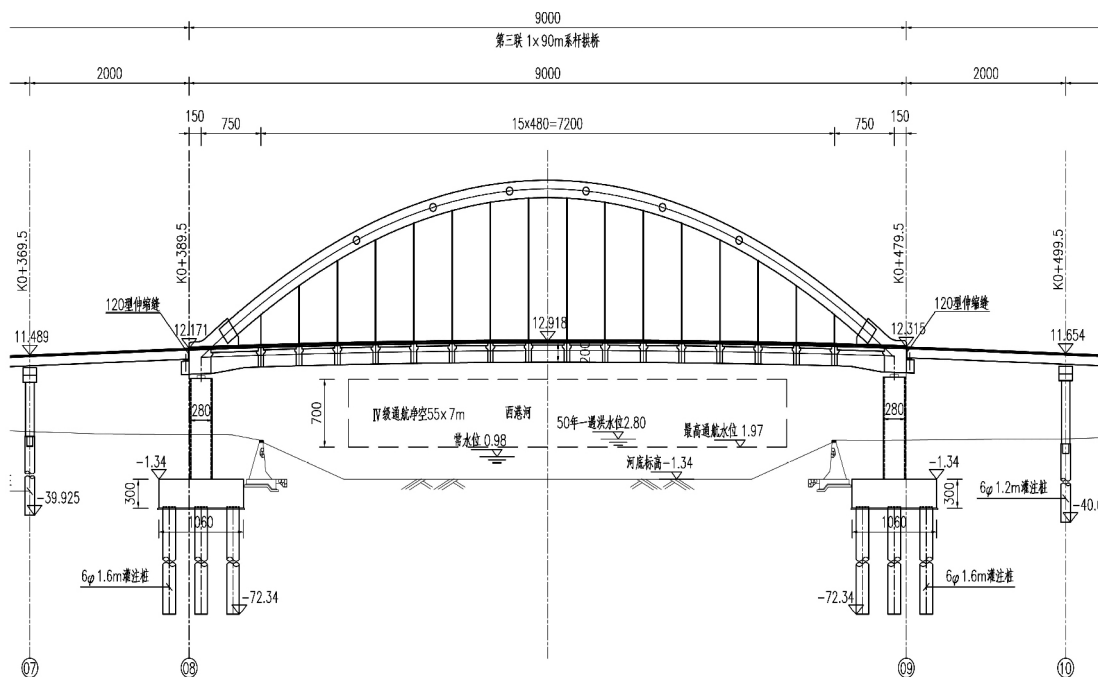
行走的人行道。在设计中, 使用了高强度的钢材, 使得拱肋的高度从原来的1/50跨度比例减少到1/60跨度比例。通过有限元分析, 确定最优的拱肋间距, 主桥采用一跨90米的跨度布局, 主桥的梁体设计为纵横梁体系, 拱肋采用钢管混凝土体系。

二、梁拱组合体系桥梁力学特点分析

在梁拱组合体系桥梁中, 梁与拱的连接部位是至关重要的, 因为其力学行为显著影响着桥梁的总体性能。通过深入的结构分析, 可以观察到在标准载荷作用下, 该连接部位的最大应力可达到210MPa。为了保障这一关键区域的安全决定使用高强度的钢材对该部位进行加固, 目的是将项目的屈服强度提高到至少355MPa, 以确保充足的结构安全余量。支座反力的计算可依据公式

(1) 进行:

$$R = \frac{w}{l} \times \left(\frac{I_1}{L} \right)^2 \quad (1)$$



西港河桥立面图

公式(1)中的R代表的是支座反力, w代表的是均布载荷, I代表的是梁的长度, I1代表的是载荷作用点和支座之间的距离, L代表的是梁的总跨度。

计算梁的弯矩时使用公式(2), 计算拱水平推力的时候使用公式(3)。

$$M = \frac{w \times I^2}{7} \quad (2)$$

$$H = \frac{q \times I^2}{8f} \quad (3)$$

公式(2)中M代表的是弯矩, w代表的是均布载荷, I代表的是拱跨度。公式(3)中H代表的是水平推力, q代表的是均布载荷, I代表的是拱跨度, f代表的是拱矢高。

三、刚梁刚拱纵横梁体系整体桥面受拉性能研究及应对对策

(一) 力学性能研究

在设计桥梁时, 首先要分析其结构的力学性能。施工阶段, 关键在于保证主纵梁、拱形结构和桥墩能够承受相应的负荷。建议横梁设计成可拆卸的, 而主纵梁则应分段浇筑^[1]。对于由刚性梁、拱形结构和横梁构成的桥梁体系, 桥面所承受的张力是一个关键的考量点。在持续的浇筑作业中, 主梁之间的桥面部分通常会遭受收缩引起的张力; 同时, 若拱座尺寸较大, 会产生持续的推力, 进而对桥面施加张力。在桥梁的中央支撑区域, 由于弯矩的影响, 桥面同样会受到张力的作用^[2]。这些因素的综合影响可能导致桥面出现裂缝, 因此, 必须根据具体状况采取适当的应对措施。

(二) 应对对策

对于桥梁上的各种表面裂缝, 在处理的时候, 手段主要包含下述几种方式。桥面作业中, 微膨胀混凝土是很有效的方式, 微膨胀混凝土最大的特性便是可以轻微膨胀, 继而达到混凝土收缩不畅目的, 桥面的里面此时会有预应力的作用。为了保障混凝土抗压水平, 加入适量的聚合物与纤维素是很有效的方法, 能够实现应力过度集中问题的控制, 防止出现新的裂缝。通过使用微膨胀混凝土将预应力施加在桥面是控制裂缝很有效的办法, 能够有效控制混凝土拉应力, 限制裂缝扩展或降低裂缝出现的概率。预压重技术是很有效的作业手段, 通过预压重技术可以实现桥面混凝土潜在压力的去除。对荷载进行均匀分布和计算, 就能应对活载与恒载拉应力^[3]。

除此之外应分析各种方法的优劣, 从中选择合适的技术手段。对各种方法利弊展开判断。不同桥梁有着不同的使用需求。第一种策略, 在施工桥面混凝土时, 首要考虑的是混凝土的收缩问题, 通过施加横向应力来减轻收缩带来的影响, 这种方法虽然有效, 但在管理纵向应力方面存在局限。第二种策略专注于抵抗纵向拉力,

以减少裂缝的出现, 尽管它在预防裂缝方面表现良好, 但其经济效益并不令人满意。第三种策略是在主梁和横梁上施加预应力, 以提高桥面的抗裂性能, 从而减少裂缝发生的概率。最后一种方法适用于恒载和活载作用下的情况, 对于抵消拉应力的效果显著, 缺点是需要使用更大规模的压重设备。

在设计阶段, 选择合适的方法至关重要。在施工初期, 应根据实际状况采取多种策略, 建议在浇筑横梁、纵梁和桥面板时使用微膨胀混凝土, 选择适当的收缩材料, 调整材料的配比, 以提高抗拉性能。在设计阶段, 可以采用在中孔施加额外重力的方法, 也可以在小纵梁与桥面板之间的间隙施加预应力, 以保证预应力在小纵梁上的均匀传递。对于本桥的刚梁刚拱结构, 推荐采用纵横梁结合的桥面结构体系。对于已经存在的问题, 可以在后期进行适当的修复弥补工作^[4]。这种策略不仅具有高度的稳定性和可靠性, 而且能够显著提升桥梁的整体刚度和承载能力。通过采用这种策略能够有效地降低桥梁的结构高度, 从而在控制线路高度方面表现出色。这种策略已经成为目前最为有效的、用于控制线路高度的大跨度空间结构方案之一。不仅在技术上具有创新性, 而且在实际应用中也展现出了卓越的性能, 使得桥梁工程在面对各种复杂环境和荷载条件时, 能够保持长期稳定和安全运行。

四、拱脚受力状态与构造设计

(一) 关键技术

为了深入理解和掌握钢筋混凝土拱脚在实际工程中的力学行为以及其预应力状态, 我们必须采用更为细致和全面的性能分析方法来深入研究和探讨拱肋与主纵梁之间的应力传递过程。这种研究不仅需要考察静态条件下的力学行为, 还应涵盖动态条件下的变化, 以确保分析结果的全面性和准确性。通过这种方法可以更精确地了解拱脚在不同工作条件下的受力情况和应力分布。

同时, 通过运用弹性理论进行定量的分析, 可以对拱脚在各种不同工作状况下的应力分布进行科学预测和评估。这种分析不仅能够帮助我们更好地理解拱脚在实际使用中的力学性能, 还能够为设计和施工提供重要的理论依据。通过精确的计算和模拟可以预测出拱脚在不同荷载和环境条件下的应力变化, 从而为设计提供更为可靠的数据支持。

根据预应力的特性和分析结果, 设计出更为合理和科学的钢筋布置方案。包括确定钢筋的种类、直径、数量以及布置方式等, 以确保拱脚结构在实际使用中的安全、可靠和稳定。在设计过程中, 应充分考虑施工的可行性和经济性, 以确保设计方案的实用性和经济性。

在此过程中应充分挖掘和利用拱脚技术的潜力。包括采用新材料、新技术和新工艺, 以提高拱脚结构的性能和耐久性。同时还应关注和研究国内外在拱脚技术方面的最新进展和成果, 以不断推动和提升我国在这一领域的技术水平和创新能力。通过这些努力可以确保拱脚

结构在实际工程中的高性能和长寿命，为我国的基础设施建设做出更大的贡献。

（二）应对对策

作业中使用三维有限元分析工具对桥梁结构进行评估，并精确地定义了单元的尺寸。在设计过程中，应恰当设定边界条件，并在选择支撑结构时考虑到可能出现的不稳定力作用。此外，需要调整高梁部分底部节点的自由度，以便在承受不利力作用时评估其变形情况。同时，确保梁体的两侧以及拱肋的末端可以作为直接加载区域，这样做可以维持整体结构的自由度不受约束。依据静力平衡原理，可以直接通过整体模型计算出各个截面的内力分量，并通过转换技术得到节点力，从而更好地调整吊杆内力。尽管在拱脚的内圆弧与梁体接触面存在一定的拉应力，但其影响区域较小且数值显著，然而，梁体与拱肋之间并未产生拉应力，所以拉应力的总体水平是可控的。在桥轴线的垂直方向上，拱脚的主压力线与拱轴平行，并向支撑点延伸。主拉力线则在支撑点周围及拱脚内侧的圆弧区域均匀分布，形成曲线，并与主压力线成直角。为了准确了解拱脚的主要应力情况，绘制精确的等应力线图是必要的。

制定设计方案时，鉴于拱肋与主纵梁结合区域的刚性可能不稳定，易导致应力集中，设计时应在拱脚两侧实施圆弧形过渡，以减少刚性突变。通过分析和计算，确认了这一设计方法既合理又可靠。此外，拱肋在水平方向施加的推力必须通过主纵梁的顶部进行传导，因此需特别关注以防止该部位应力过度集中。建议主钢筋沿拱轴线贯穿至与主纵梁轴线相交的连接点，并在拱脚与梁体的结合处安装纵横交错的钢筋网，以增强梁体的结构稳定性。在施工过程中，若遇到拱脚部分混凝土体积较大且钢筋过于密集的情况，可能会导致混凝土浇筑变得困难，进而影响工程进度。为此，建议增加拱脚内部防裂钢筋的直径，并适当增加钢筋之间的距离，确保混凝土的浇筑品质。

五、钢管拱灌注混凝土应力问题应对思路

（一）施工工序

钢管拱结构的建造流程包括：首先在工厂内预制钢管拱的各个管节，随后在桥梁的支撑结构上将这些管节组装成完整的钢管拱，接着移除支撑结构，最后在钢管拱内部灌注混凝土。在进行混凝土灌注时，必须妥善协调局部与整体的结构关系。最后在钢管拱内部填充混凝土。混凝土的填充过程中，需要精确处理局部与整体结构的协调问题。

（二）应对对策

应实时监控钢管拱混凝土灌注施工的整个过程，并利用分析软件基于所收集数据进行计算。研究发现，在建筑施工阶段，钢管拱的刚性未能满足预定的设计标准，导致了位移现象的出现，这种位移表现为非线性的应变模式。这表明在混凝土浇筑期间，钢管拱所承受的力是相当复杂的。尽管初步分析可以借助线性弹性理论

进行，但此方法可能产生误差。为了增强分析的精确度，必须对实际变形进行跟踪观察，探究其原因，并采取相应策略，达成有效控制目的。在规划钢管拱混凝土施工方案时，必须事先设计多种浇筑方案。每个方案需具备特定的混凝土浇筑方法和详尽的操作步骤，以保障施工流程的顺畅和工程质量。具体而言，这些方案应详尽说明混凝土的配制、混合、运输以及浇筑、振实、保养等各阶段的操作细节和注意事项。方案中应明确阐述其技术优势、适用条件以及潜在问题和应对措施，以便为施工人员提供全方位的指导和帮助。通过这种做法确保在实际施工过程中，能够根据现场的具体情况灵活选择最合适的浇筑方案，以提高施工效率和工程质量。结合项目对于混凝土性能的需要，对各种浇筑技术和程序结果展开计算和分析，基于计算获得的数据合理地挑选出最合适的施工方案，确保方案能够满足实际施工的需求。

应进行精确性核查工程。若发现误差，则必须重新测量计算结果以评估其准确性。在这一环节，应利用特定软件，结合线性及非线性弹性理论，对所得数据进行比较和深入分析，从而确保其精确性。

结语

鉴于梁拱组合体系桥梁的结构复杂性及技术细节的多样性，设计此类桥梁时，每个环节都需得到细致的考量和重视。设计团队应严格遵守设计规范，采用科学方法，以保证设计的精确与可靠。在设计阶段，必须全面预估桥梁在使用和维护过程中可能遇到的技术难题，确保其长期的稳定与安全。施工阶段，合理规划施工流程和方法是保证施工品质和效率的关键。通过周密的施工管理，可以最大化地利用结构潜力，为桥梁项目的顺利进行和长期运营奠定坚实基础。同时，施工中也应兼顾环境保护和安全措施，以促进工程的可持续性发展。

参考文献

- [1]姜大欢, 桂水荣, 肖长柏, 等. 连续梁拱桥斜坡预制变坡多点同步顶推施工关键技术研究[J]. 公路, 2024, 69(04): 88-95.
- [2]代保平, 戴军翔. 多跨预应力混凝土连续梁整体平移改造施工关键技术[J]. 世界桥梁, 2024, 52(02): 114-119.
- [3]王雨威, 高望, 朱世峰. 既有混凝土连续梁平转再利用技术[J]. 公路交通科技, 2023, 40(S1): 334-340.
- [4]吴磊, 杨建锋. 曲线钢箱连续梁桥顶推施工技术[J]. 公路, 2023, 68(11): 153-158.
- [5]金耀, 朱强, 徐文城, 等. 多跨波形钢腹板连续梁桥施工控制技术[J]. 公路, 2023, 68(04): 163-166.

作者简介：邵凯凯（1991.08-），男，汉族，硕士研究生，浙江杭州人，工程师；研究方向：从事桥梁工程设计。