

公路旧桥提质改造方案研究

——以呼和浩特市浑河大桥为例

李红金

(上海市市政交通设计研究院有限公司, 上海市 200030)

摘要: 为解决早期公路桥梁老化严重、荷载等级不足及原始资料缺失等问题,以呼和浩特市 S237 浑河大桥改建工程为背景,研究“上部结构损坏严重、下部结构相对完好”型危桥的提质改造策略。首先,基于检测评估结果,确定了“拆除危旧上部结构和桥台,修复并利用现有桥墩,两端各延长 1 跨,新建轻型桥台,全桥更换为承载力更强、自重更轻的上部结构”的总体改建方案;其次,对不同上部结构方案进行综合比选,结果表明组合钢板梁方案较预应力空心板梁方案恒载降低约 47%,总重下降约 24%,可有效化解荷载标准由“汽车—20 级”提升至“公路—I 级”对下部结构承载力的挑战;最后,详细阐述了结构设计要点、桥墩修复方法和装配化施工流程。工程实践结果表明,浑河大桥总体改建方案可安全高效地提升桥梁承载能力,充分利用旧桥资源,实现快速化改造,为同类工程提供可靠技术参考。

关键词: 桥梁改建;组合钢板梁;旧墩利用;装配化施工;结构修复

中图分类号: U445.6;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0235-05

Research on the Quality Improvement and Renovation Plan for Old Highway Bridges -Taking the Hunhe River Bridge in Hohhot as an Example

LI Hongjin

(Shanghai Municipal Transportation Design Institute Co., Ltd., Shanghai 200030, China)

Abstract: To address issues such as severe aging, insufficient load rating, and missing original data of early highway bridges, the study focuses on the upgrading strategy for dangerous bridges with "severely damaged superstructures and relatively intact substructures," taking the reconstruction project of the Hunhe River Bridge on S237 in Hohhot as the background. Firstly, based on the inspection and evaluation results, an overall reconstruction plan has been determined, which involves "demolishing the dangerous old superstructure and abutments, repairing and utilizing the existing piers, extending one span at each end, constructing new lightweight abutments, and replacing the entire bridge with a superstructure with stronger bearing capacity and lighter self-weight." Secondly, a comprehensive comparison of different superstructure schemes reveals that the composite steel plate girder scheme reduces dead load by approximately 47% and total weight by approximately 24% compared to the prestressed hollow slab girder scheme. This effectively addresses the challenge posed by the increase in load standard from "Truck-20" to "Highway-I" on the substructure's bearing capacity. Finally, the key points of structural design, pier repair methods, and prefabricated construction processes are elaborated. The practical engineering results demonstrate that the overall reconstruction plan for the Hunhe River Bridge can safely and efficiently enhance the bridge's bearing capacity, fully utilize old bridge resources, achieve rapid transformation, and provide a reliable technical reference for similar projects.

Keywords: bridge reconstruction; composite steel plate girder; reuse of old piers; prefabricated construction; structural repair

0 引言

随着我国公路交通网络的日益完善和运营年限

的增长,早期建成的大量桥梁逐步步入养护、加固和改建的关键期。截至 2024 年底,我国公路桥梁总数已超过 110 万座^[1]。其中,众多服役超过 20 年、原设计荷载标准偏低的桥梁在重载交通压力下,普遍面临着材料老化、病害累积及承载力不足等严峻挑战,

收稿日期: 2026-01-01

作者简介: 李红金(1991—),女,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

部分桥梁已被评定为4类或5类危桥,严重制约了路网的安全畅通。因此,探索既能消除安全隐患、提升结构性能,又能最大限度地利用旧结构、缩短工期、减少社会影响的高效改建技术,具有重要的工程价值和现实意义。

近年来,国内外学者在旧桥改造领域开展了大量研究与实践。柏超等^[2]系统比选了空心板梁桥在改扩建中的多种加固与更换方案;魏洋等^[3]通过足尺试验,验证了自下而上局部注浆法对提升预应力空心板抗剪承载力的有效性;汪煜钦^[4]研究了公路在役桥梁更换上部结构的关键技术;一些学者^[5-7]对组合梁在旧桥改造中的应用进行了研究。然而,对于上部结构已出现严重结构性损伤(评定为4类或5类),且荷载标准需大幅提升的危桥,传统的加固补强往往难以从根本上保证安全性和经济性。此时,“上部结构整体快速更换”成为了更为可行的方案。其中,组合钢板梁凭借其自重轻、强度高、工厂预制程度高和施工速度快等综合优势,在实现旧桥承载力提升与旧墩资源化利用方面展现出巨大潜力。

本文以呼和浩特市S237公路浑河大桥改建工程为实例,重点研究并实践了“拆除危旧上部空心板梁,整体更换为组合钢板梁,并修复利用原桥墩”的改造方案。针对无原设计图纸的困境,研究旨在:(1)系统阐述基于检测评估的方案制定流程,论证组合梁方案在消除安全隐患、提升荷载等级与减少对旧墩影响三者间取得最优平衡的合理性;(2)总结该方案涉及的关键结构设计、旧墩修复方法及装配化快速施工技术,以期为同类“上坏下好”型危旧桥梁的快速化、低碳化改建提供一个完整的技术范式和工程参考。

1 工程概况与旧桥现状评估

1.1 工程概况

浑河大桥位于呼和浩特市S237公路K110+060位置处,是呼和浩特市土左旗察素齐至清水河县北堡道路养护工程的关键节点。该桥始建于1996年,全长130 m,跨径布置为10×13 m,桥宽为9 m,上部结构为空心板梁,横向布置5片,板宽分别为1.5、1.6 m,下部结构为桩柱式桥墩和重力式桥台;桥面铺装为混凝土,支座采用板式橡胶支座,伸缩缝为模数式伸缩缝,人行道栏杆采用钢栏杆。原设计荷载为“汽车—20级、挂车—100”。

桥梁现状立面图见图1。



图1 桥梁现状立面图

为适应区域交通发展需求,本次改建需将荷载等级提升至“公路—I级”,桥面宽度调整为10 m,防撞护栏等级提升至SA级。

1.2 旧桥技术状况评定与病害分析

该项目委托专业检测机构,依据《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21—2011),对浑河大桥进行了全面检测和评定。

1.2.1 上部结构主要病害

检测报告显示,浑河大桥上部空心板存在严重且普遍的结构性病害。全桥多跨空心板在跨中附近出现典型的“L”形横向贯通裂缝(见图2),从板底延伸至腹板,表明主梁抗弯承载力已严重不足。此外,还存在密集的网状裂缝、混凝土剥落、钢筋锈胀露筋(见图3)等病害。铰缝普遍渗水、勾缝脱落,加速了结构劣化。依据评定标准,浑河大桥上部结构的技术状况等级评定为4类,已无法满足安全使用要求。



图2 空心板梁跨中L型横向结构裂缝



图3 空心板混凝土剥落与钢筋锈蚀

1.2.2 下部结构主要病害

下部结构病害分布不均。南北两侧重力式桥台均出现较大宽度竖向裂缝。其中南侧桥台裂缝(见图4)已完全贯通,最大宽度达60 mm,北侧最大宽度

达 50 mm,导致桥台整体性丧失,评定为 5 类构件,存在倾覆与垮塌的风险。相比之下,原桩柱式桥墩主体结构完整性尚好,评定为 3 类构件。其主要病害表现为盖梁及墩柱的表层混凝土开裂(如 4#盖梁存在长 0.5 m、宽 1 mm 的水平裂缝)、局部破损与渗水,此类病害主要影响结构的耐久性。



图 4 桥台竖向贯通裂缝

1.2.3 综合评定结论

全桥总体技术状况评定为 4 类。更为关键的是,其上部主要承重构件和下部桥台分别为 4 类和 5 类构件,桥梁存在重大安全隐患。根据《公路桥涵养护规范》(JTG 5120—2021)第 3.8.3 条规定,必须采取“及时封闭交通、改建或重建”的养护对策。

1.3 改建面临的主要挑战

- (1)原始设计资料缺失。无原桥设计图纸,无法进行精确的荷载试验与基于原设计的结构复核,增大了传统加固方案的不确定性和风险。
- (2)结构安全风险突出。主梁(4 类)和桥台(5 类)失效风险高,需在严格交通管制下实施快速处治。
- (3)荷载标准显著提升^[8]。设计荷载需从“汽车—20 级”提升至“公路—I 级”,同时桥面加宽、护栏升级导致恒载和活载均大幅增加。
- (4)结构利用与性能提升的矛盾。既有桥墩状况良好,全部废弃不经济;但若采用自重较大的新建混凝土上部结构,可能超出原墩柱及桩基的承载能力。因此,选用轻质高强的上部结构是实现在利用旧墩前提下安全改建的核心。

2 总体方案设计

针对上述挑战,确定总体改造思路为:拆除危旧的上部结构和桥台,修复并利用现有桥墩,两端各延长 1 跨,新建轻型桥台,全桥更换为承载力更强、自重更轻的上部结构。

2.1 上部结构比选

为选择合适的上部结构,重点对预应力混凝土空心板梁、钢—混凝土组合钢板梁^[9-10]这 2 种方案进行综合比选。

2.1.1 基于结构受力的初步比选

表 1 对不同上部结构形式的单跨重量和荷载效应进行了对比。结果表明,在相同的 13 m 跨径、10 m 桥宽及公路—I 级荷载条件下,组合钢板梁方案的单跨恒载、活载及标准组合效应都优于预应力混凝土空心板梁方案,其一期恒载较预应力混凝土空心板梁方案降低约 47%,标准组合效应降低约 24%,能显著减轻对下部结构的负担。

表 1 上部结构形式单跨重量与荷载效应对比表

对比项目	老桥 (空心板)	预应力混凝土 空心板梁	组合钢板梁
跨径/m	13	13	13
桥宽/m	9	10	10
一期恒载/kN	1 673	1 453	764
二期恒载/kN	382	593	593
活载/kN	500(汽—20)	845(公路—I)	845(公路—I)
标准组合效应/ kN	2 555	2 891	2 201
对下部结构的 影响		不利,可能需加固	有利,利于旧墩利用

2.1.2 多维度综合比选

基于受力分析,进一步从施工、经济、耐久性等多个维度对预应力混凝土空心板梁、组合钢板梁进行综合比选(见表 2)。结果表明,组合钢板梁方案凭借其自重优势,能有效缓解荷载提升对旧桥墩的压力,减少甚至避免大规模的墩柱加固;同时,其工厂化预制、现场装配化施工的特点,能极大缩短工期,符合危桥快速改造的要求。

综合以上分析,推荐采用组合钢板梁方案,以充分发挥其在减轻自重、快速施工、利于旧墩利用等方面的突出优势。

2.1.3 桥面板施工方式比选

针对组合梁桥面板,对比现浇与预制这 2 种方式的优劣(见表 3)。考虑到该项目工期紧张、现场作业空间有限,且预制方式在质量、工期和环保方面更具优势,推荐采用预制桥面板方案。

2.2 最终总体设计方案

基于以上比选结果,确定最终设计方案如图 5 所示。浑河大桥总体改建项目包括:

表2 上部结构形式综合比选表

比选项目	预应力混凝土空心板梁	组合钢板梁
自重	大	轻
对下部结构的影响	不利,恒载增加显著,可能需要对原桥墩及基础进行大规模加固	有利,恒载大幅减小,利于旧墩利用
结构性能	刚度大,技术成熟,但跨径适应性一般	充分发挥钢材抗拉与混凝土抗压优势,结构效率高
施工速度	慢,混凝土养护时间长、现场湿作业多	快,钢梁工厂预制,桥面板可预制,现场以吊装、焊接为主,装配化程度高
吊装要求	单片梁吊装重量大,需大型起重设备,对场地和安全性要求高	单片梁吊装重量轻,在设备选用和场地适应性上更灵活
后期养护	简便	钢梁需定期防腐维护
结论	比选	推荐

表3 组合钢板梁桥面板形式比选表

比选项目	预制桥面板	现浇桥面板
施工	现场仅吊装及浇筑湿接缝,需搭设支架、模板,现场绑筋、工作量小,高空作业风险低	浇筑,工序复杂,安全风险较高
工期	工厂预制与下部施工可并行,现场安装快,总工期显著缩短	需现场绑扎钢筋、支模、浇筑及养护,工序串联进行,总工期较长
质量	工厂标准化生产,生产工艺和质量控制更稳定	施工质量受天气、温度等环境因素影响较大
环保	现场湿作业少,建筑垃圾、扬尘、噪声污染小	现场湿作业多,需额外采取环保措施
养护	工厂预制施工质量高,存梁后混凝土收缩徐变小,后期养护问题少	现浇施工质量受现场因素影响大,混凝土收缩徐变常规,后期养护常规
结论	推荐	比选

- (1)跨径布置由原10×13 m=130 m改造为10 m(新建边跨)+10×13 m(利用旧墩)+10 m(新建边跨)=150 m;两端延长以设置新桥台、改善桥头接线。
- (2)桥面宽度改造为0.5 m(防撞护栏)+1.0 m(硬路肩)+7.0 m(车行道)+1.0 m(硬路肩)+0.5 m(防撞护栏)=10 m。
- (3)上部结构采用组合钢板梁,由6片主梁组成。其中I型组合钢板梁钢梁梁高0.5 m,混凝土桥面板厚0.2 m,组合梁总高0.7 m。钢梁顶板宽400 mm,底板宽400 mm,顶板厚14 mm,腹板厚12 mm,底板分别厚25、28 mm。
- (4)下部结构中,拆除原重力式桥台,新建轻型桥台;保留并修复原9个桥墩及盖梁;新建两端桥墩盖梁及钻孔灌注桩。桥墩和盖梁尺寸与原结构保持一致,桥墩尺寸为直径1.2 m,盖梁高1 m,宽1.4 m,

系梁高1 m,宽0.8 m,桩基为φ1.2 m的钻孔灌注桩。

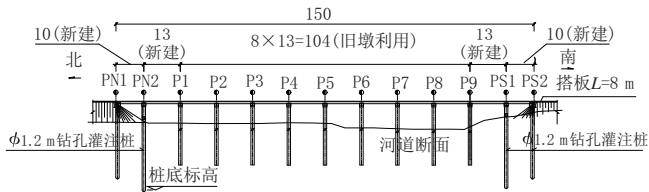


图5 浑河大桥改建后总体布置图(单位:m)

3 关键结构修复与施工技术

3.1 保留桥墩的修复技术

根据检测报告,针对保留桥墩的不同病害类型,制定了对应修复方案。

3.1.1 裂缝修复

裂缝宽度小于0.1 mm时,采用“封闭用压注胶”进行表面封闭处理;裂缝宽度为0.1~1.5 mm时,采用“修复用压注胶”压力灌注法进行封闭处理^[11-12]。

如对于最大宽度为1 mm的4#盖梁水平裂缝、最大宽度为0.2 mm的5-2#墩柱环向裂缝、最大宽度为0.18 mm的6-1#墩柱水平裂缝、最大宽度为0.8 mm的7-1#墩柱水平裂缝,均采用封闭措施处理,并在后续运营过程中加强监测。

3.1.2 混凝土破损、锈胀、露筋

凿除锈蚀钢筋表层混凝土至坚实界面,然后涂刷阻锈剂,再采用混凝土结构加固用聚合物修补砂浆修补复原。

3.1.3 桥墩抗冲刷刷封

为提高耐久性,对桥墩常水位变动区及以下部位,采用C40混凝土进行外包加固,以增强其抗冲刷和抗冻融能力。

3.2 施工流程与控制要点

施工总体遵循“检测评估→交通导改→安全拆除→下部修复→工厂预制→现场装配”的流程,制定专项方案。重点控制以下环节:

- (1)旧桥安全拆除。空心板梁拆除前,先用切割机切断铰缝及支座连接,然后按“先中跨后边跨、对称均衡”的顺序依次拆除,用大吨位吊车分片吊移。桥台拆除采用机械破碎与人工相结合,严格控制振动,并监测相邻保留桥墩的位移。
- (2)新旧结构协同作业。旧墩修复与新建桥台、桥墩、钻孔灌注桩同步施工。钻孔桩采用桩底后压浆技术,以提高单桩承载力、控制沉降,确保新旧基础变形协调。
- (3)组合梁安装与桥面板施工。其中钢梁由工

厂制造,运输至现场后,在临时支架上拼装成整体,并进行精确定位;现场焊接时,需按照规范^[10]要求,对焊缝进行100%无损检测。预制桥面板安装前,在钢梁上翼缘粘贴遇水膨胀橡胶条,以防水和保证结合面密贴。预制板需对号入座,待精确就位后,焊接连接钢筋,铺设湿接缝钢筋网。湿接缝浇筑采用C60微膨胀混凝土,浇筑前对预制板侧面进行凿毛处理并充分湿润;浇筑后采用小直径振捣棒振捣密实,并及时养护,防止出现收缩裂缝。

(4)施工监控。全过程对保留桥墩的沉降、倾斜进行监测;在钢梁吊装、桥面板安装和桥面铺装阶段,对主梁线形和应力进行监测,确保施工安全且成桥状态符合设计预期^[13]。

4 结 语

(1)针对“上部结构严重损坏、下部结构相对完好”的危旧桥梁,提出了“彻底更换上部、修复利用下部、采用轻质高效组合钢板梁结构”的改建技术方案。该方案从根本上消除了原结构的安全隐患,并充分利用了旧桥的残余价值,实现安全、经济与环保的平衡。

(2)组合钢板梁结合预制桥面板技术是改建方案的核心。其自重轻的特性有效解决了荷载提升与旧墩利用之间的矛盾;其工厂预制、现场装配的施工模式,是实现快速化改建、最大限度缩短交通中断时

间的关键。

(3)改建方案综合效益显著,不仅提升了桥梁的安全性和承载能力,而且通过快速施工降低了社会影响,并通过资源化利用体现了绿色建造理念,为同类旧桥改建提供了可复制、可推广的范例。未来可开发集成轻量化监测系统,实现旧桥改造后性能的实时监测、评估和预警。

参考文献:

- [1] 交通运输部.2024年交通运输行业发展统计公报[R].北京:交通运输部,2025.
- [2] 柏超,杨捷.高速公路空心板梁桥改扩建处置方案研究[J].现代交通技术,2025,22(3):50-53.
- [3] LU J, WEI Y, LI H, et al. Shear performance of full-scale prestressed hollow-core slabs reinforced by local grouting from the bottom of the shear span region[J]. Journal of Bridge Engineering, 2025, 30(7): 7084.
- [4] 汪煜钦.公路在役桥梁更换上部结构关键技术研究与实践[J].广东建材,2025,41(1):110-113.
- [5] 张东,赵洪蛟,管锡琨.钢混组合梁在危桥改造项目中的应用及设计关键技术研究[J].山东交通科技,2022(6):115-117.
- [6] 朱静.热轧型钢-混凝土组合梁在危桥改造工程中的应用[J].北方交通,2022(1):25-27.
- [7] 姜红.工字钢-混凝土组合梁在危桥改造中的应用[J].工程建设与设计,2021(8):134-136.
- [8] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].
- [9] JTG D64—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S].
- [10] JTG/T D64-01—2015 公路钢混组合桥梁设计与施工规范[S].
- [11] JT/T 990—2015 桥梁混凝土裂缝压注胶和裂缝注浆料[S].
- [12] JTG/T J22—2008 公路桥梁加固设计规范[S].
- [13] JTG/T 3650-01—2022 公路桥梁施工监控技术规程[S].

(上接第218页)

通流畅、安全第一、与周边环境相协调以及可持续发展这些设计原则,认真做好交通组织、几何、竖向以及附属设施等设计工作,同时结合实际案例持续总结经验,采取加强交通流量调查与分析、引入先进理念与技术、注重多专业协同设计以及强化设计方案评估与优化等策略,可有效提高城市道路平面交叉口的设计水平,改善城市交通状况,为城市居民打造更为便捷、高效以及安全的出行环境,推动城市交通实现可持续发展。未来随着城市交通需求的持续变化以及技术的不断进步,城市道路平面交叉口设计仍需持续创新与完善,以此来契合新时代城市发展的要求。

参考文献:

- [1] 张晨阳.城市道路平面交叉口优化设计与评价方法[J].工程技术研究,2024,9(13):186-188.
- [2] 刘泽球.城市道路平面交叉口优化设计研究[J].工程技术研究,2024,9(13):183-185.
- [3] 彭发展.城市道路平面交叉口渠化设计探讨[J].车时代,2024(10):76-78.
- [4] 陈载阳.城市道路平面交叉口交通组织与渠化设计[J].电脑校园,2024(31):107-109.
- [5] 徐茜.城市道路平面交叉口安全影响因素和改善措施[J].建材与装饰,2024,20(26):118-120.
- [6] 李利锋.市政道路平面交叉口的优化设计要点[J].中国高新科技,2024(1):126-128.
- [7] 马赵军.城市道路平面交叉口交通安全设施设计及改善研究[J].建筑工程与设计,2025,4(2):139-142.
- [8] 耿中伟.市政道路平面交叉口优化设计与评价方法研究[J].工程技术研究,2024,9(16):177-179.