

大跨简支钢桁架桥梁设计

沈子烨^{1,2}

(1. 中建路桥集团有限公司, 河北 石家庄 050000; 2. 河北省公路工程绿色施工技术创新中心, 河北 石家庄 050001)

摘要: 为设计一座跨径为145 m的大跨公路桥梁, 提出适用于下承式钢桁架桥的结构方案并验证其合理性。方案采用等高简支钢桁桥, 主桁中心间距19.4 m, 桁高14.5 m, 高跨比为1/10; 主桁选用三角形桁式, 构件之间采用全焊接连接, 以提升整体性与耐久性; 桥面系采用正交异性钢桥面板, 与主桁下弦结合形成共同受力体系。通过系统阐述结构选型、关键设计参数、计算分析方法及构造细节设计, 对结构性能进行全面评估。结果表明: 设计方案受力明确、传力路径清晰、结构刚度储备充足、经济性良好, 各项计算指标均符合规范要求。

关键词: 钢桁架; 方案比选; 结构设计; 有限元分析

中图分类号: U442.5; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)07-0239-05

Design of Long-span Simple-supported Steel Truss Bridge

SHEN Ziyi^{1,2}

(CSCEC Road and Bridge Group Co., Ltd., Shijiazhuang 050001, China)

Abstract: To design a 145-m long-span highway bridge, a structural scheme suitable for through steel truss bridges is proposed and its rationality is verified. The scheme is to adopt an equal-height simple-supported steel truss bridge, the center spacing of the main truss is 19.4 m, a truss height is 14.5 m, and a height-to-span ratio is 1/10. The main truss is selected as triangular truss, and the fully welded connections are used between components to enhance the integrity and durability. The bridge deck system is an orthotropic steel bridge deck, which combines with the lower chords of the main truss to form a common force-bearing system. By systematically elaborating on the structural selection, key design parameters, calculation and analysis methods, and construction detail design, a comprehensive evaluation of structural performance is conducted. The results show that the design scheme has clear force distribution, clear force transfer paths, sufficient structural stiffness reserves, and good economy. All calculation indicators meet the specification requirements.

Keywords: steel truss; scheme comparison; structural design; finite element analysis

0 引言

钢桁架桥以其优异的跨越能力、清晰的受力性能和良好的经济性, 近年来在公路桥梁建设中得到广泛应用。其中, 下承式钢桁架桥可将桥面布置于主桁下弦, 有效降低桥面标高, 尤其适用于桥下净空受限或高填方路段的跨越工程。近年来, 我国对整体节点的疲劳性能、焊接残余应力、节点构造优化进行了大量的研究, 随着制造技术和施工技术的发展, 整体节点的优点得到显现, 已成为钢桁梁桥发展的必然趋势^[1]。同时, 正交异性钢桥面板作为现代桥梁工程重要的标志性创新成就, 具有自重轻、承载力高、适用范围广等突出优点^[2], 已经成为大跨度桥梁

的首选桥面板结构。黄侨等^[3]采用平面及空间两种方式建立钢桁桥有限元模型计算主要承重结构, 考虑桥面板与钢横梁作为钢-混凝土组合结构共同工作, 符合实际结构工作状态。曹骏驹^[4]以新安京杭运河大桥主桥120 m下承式简支钢桁架桥设计为例, 对主桥构造尺寸拟定(包含桁架高度, 节间长度, 斜杆倾角, 主桁间距, 各杆件及节点板厚度等), 通过有限元软件进行深度分析, 优化构造尺寸。段洪亮^[5]以港周路桥为例, 利用有限元软件构建分析模型, 探讨桥面板正应力结果, 包括钢桥面板应力分析及桥面板有效宽度分析, 从桥面板板厚参数、横梁间距参数、横梁刚度参数3个方面探究了有效宽度参数。

1 工程概况

某公路需跨越一条宽阔河道, 通航要求主跨跨径145 m以上, 为适应桥下净空要求, 避免抬高桥

收稿日期: 2026-01-24

作者简介: 沈子烨(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

面,节约引桥长度和路基工程量,同时提供开阔行车视野和河道景观通透性,从可供选择的主要桥型包括连续梁桥、拱桥、斜拉桥和桁架桥中选择简支桁架桥,因其具有受力明确、施工便捷、造价经济等特点。

三角形桁架是几何不变的最简稳定体系,具有最优的力学效率。对于承受以竖向荷载为主的公路桥梁,其斜腹杆主要承受轴向力,弯矩小,材料利用充分。杆件和节点类型相对统一,有利于工厂标准化制造,降低造价。节点构造清晰,连接相对简单。外观简洁、规则,符合工程美学。作为下承式桥梁,规则的三角形构造能提供良好的空间透视感和行车视野。

通常钢桁梁高跨比在 $1/8 \sim 1/12$ 。桁高需与主桁间距协调,确保横向稳定性和整体空间比例协调。

主桁杆件通常有箱形截面和H型截面两种形式,箱型截面为闭口薄壁截面,其抗扭刚度、抗弯刚度及抗压屈曲稳定性均远优于同面积、同壁厚的H型开口截面。这对于承受复杂应力的压弯弦杆和长细比较大的腹杆至关重要。虽然焊接工艺要求高于H型截面,但现代自动化焊接和检测技术已能保证箱型杆件的质量。

桥面系通常有“密排横梁”和“纵横梁格”两种体系,“密排横梁”将横梁直接焊接在主桁节点上,桥面板荷载通过U肋和横梁直接传递至主桁节点,传力路径最短、最直接。取消纵梁,避免了纵梁与横梁连接处复杂的次应力问题。该体系减少了桥面系构件的种类和连接节点数量,特别是消除了纵梁端部这一传统疲劳敏感区域,大幅提升了桥面系的抗疲劳寿命。其构造简化,构件标准化程度高,有利于制造和安装。从耐久性(抗疲劳)和受力简洁性出发,优选密排横梁体系。

正交异性钢桥面板自重较轻(约为混凝土板的 $1/3 \sim 1/4$),能显著降低主桁和下部结构的恒载,对于145 m大跨径带来的经济效益极为突出。将横梁和桥面板在工厂焊接成一体,可采用大节段整体吊装,现场拼装速度快,对交通和环境影响小。采用U形闭口加劲肋,U肋本身刚度大,更适合承受密集车辆轮载的反复作用。正交异性钢桥面板以其轻质高强、施工快捷、与主桁协同好的综合优势,成为现代大跨钢桁梁桥的标准选择。

上平联常采用“K”形和“X”交叉形,在竖向荷载作用下,主桁上弦杆承受巨大的轴向压力。作为细长的压杆,上弦杆存在面外屈曲风险。上平联的撑

杆为上弦杆提供了防止面外屈曲的侧向弹性支撑点。而“X”形斜杆的作用则是将这些支撑点连接成一个刚性的水平桁架。若节间长度适中,“X”形平联的节点恰好位于主桁节点处,连接方便,且能为主桁上弦杆提供有效、均匀的侧向约束。“K”形的顶点可为弦杆提供额外的中间侧向支撑,特别有利于长节间弦杆的面外稳定性。适用于主桁节间较长、弦杆面外稳定控制设计,且横向荷载不是特别大的桥梁。

杆件连接方式有全栓接、全焊接和栓焊结合三种常用方式。焊接连接可实现构件的刚性连接,形成连续的整体结构,刚度大,变形小,能更有效地发挥箱型截面的性能优势。焊接接头消除了螺栓连接可能出现的松动、锈蚀等维护问题。现代钢材焊接性优良,自动化焊接技术和无损检测技术成熟可靠,能够保证关键焊缝的质量,满足规范对焊缝强度和疲劳性能的要求。全焊接连接是实现结构高性能、高耐久、低维护和美观性的一种现代化连接方式。

经综合比选,决定采用一孔简支145 m跨径等高下承式钢桁架桥。设计荷载:公路-I级;设计车速:100 km/h;桥面宽度:净-17.4 m。设计安全等级为一级,结构重要性系数取1.1。

桥梁总体布置见图1和图2。两片主桁中心间距为19.4 m。桁架采用三角形桁式,端部节间长度11.5 m,中间节间长12 m,上弦11个节间,下弦12个节间。桁高14.5 m,高跨比为 $1/10$,在保证足够刚度的同时,兼具良好的经济性。主桁及腹杆采用箱形截面,上弦杆件外高1200 mm,板厚24~40 mm。下弦杆件外高1400 mm,板厚20~32 mm。腹杆采用箱形截面形式,杆件外宽900 mm,内高720 mm,板厚20~40 mm。节间长度适中,上弦平面联结系在每个节间设成“X”交叉形,采用工字形截面,上平联斜杆高459 mm,腹板厚18 mm,翼缘宽400 mm,厚18 mm。桥面系采用正交异性钢板和“密排横梁”结构,由桥面板、横梁及纵肋三部分组成,其中钢桥面板板厚16 mm,中横梁采用工字形截面,上翼缘兼做桥面板,横梁高1400 mm,腹板厚14 mm,下翼缘宽500 mm,厚24 mm。支座位置端横梁采用箱形截面,腹板厚28 mm,下翼缘宽1350 mm,厚28 mm。桥面板下部的纵肋按28道U形肋和4道防撞护栏下板肋设置。U肋高280 mm,厚8 mm,间距600 mm;板肋高180 mm,板厚16 mm。各构件间连接方式全部为焊接。主桁弦杆、腹杆采用Q420qD,其他构件采用Q345qD钢材。

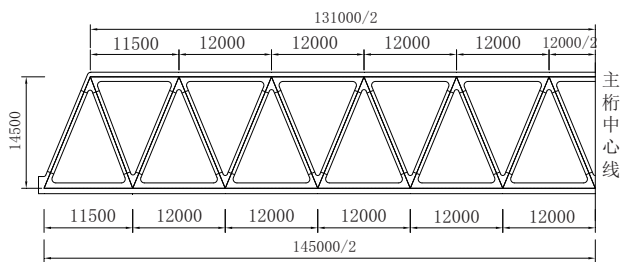


图1 桥梁总体布置图1(单位:mm)

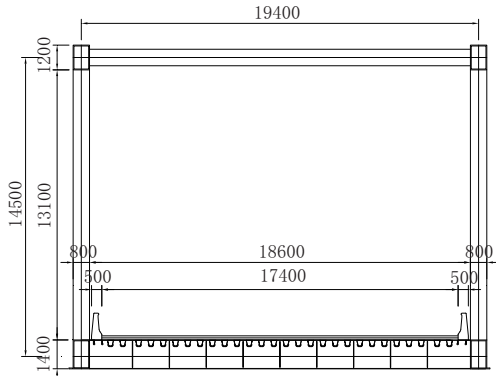


图2 桥梁总体布置图2(单位:mm)

2 结构计算与分析

2.1 有限元模型建立

全桥总体第一体系静力计算按照实际施工过程进行模拟,采用有限元软件 MIDAS Civil 2023 V1.1 建立空间有限元模型,主桁及纵、横梁、上平联按梁单元模拟,桥面板按板单元模拟;计算第一体系受力时,在主桁下弦杆上方建立虚拟纵梁,虚拟纵梁与下弦节点以仅受压连接,将桥面系荷载均施加在虚拟纵梁上,移动活载采用车道荷载模式加载到虚拟纵梁上,得到第一体系内力结果。

第二体系选取6个节段桥面系进行模拟,采用空间有限元分析模式,主桁下弦、横梁、加劲肋按照梁单元,桥面板按照板单元建模,梁单元与板单元通过共节点方式连接,下弦节点位置按支座模拟,消除第一体系受力影响,计算桥面各组成构件将竖向荷载从桥面传至主桁下弦节点的桥面体系,移动活载采用车辆荷载模式,冲击系数按规范取 1.4。

2.2 荷载

- (1)恒载:钢梁自重、铺装及护栏重量。
- (2)汽车活载:公路—I级。冲击系数按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[6]计算。
- (3)温度作用:按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[6]考虑升温 20℃,降温-35℃。
- 桥面板与主桁之间的板桁温差按±10℃考虑。
- (4)风荷载:按《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T

3360-01—2018)^[7]考虑。

(5)荷载组合:有限元计算分析中分别按《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015)^[8](后文简称公路规范)和《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)^[9](后文简称铁路规范)对各种荷载进行荷载组合,并对结构进行验算。

铁路桥梁大量采用大跨、重载的桁架体系,铁路行业对此有长期、深入的研究和实践积累。相比之下,传统公路钢结构桥梁以板梁、箱梁居多。历史上,我国铁路钢桥设计长期采用容许应力法,该方法基于长期的工程经验,本身设计偏于保守。尤其是主桁杆件压杆稳定计算应优先采用铁路规范,主要原因是铁路规范在稳定计算上更成熟,且其核心考量与大型公路桁架桥的关键需求高度契合。在截面分类中,公路规范对复杂箱形截面的指导性不如铁路规范细致。在稳定设计方法中,公路规范未建立基于屈曲模态的整体稳定性量化评估体系,难以有效识别大跨桁架的面外失稳风险。因此针对本桥 145 m 大跨公路钢桁结构的杆件稳定计算采用铁路规范,其余验算采用公路规范。

2.3 主桁强度计算

对主桁弦杆、腹杆、桥门架和上平联的杆件进行强度计算。图3为组合应力包络图,表1为主桁杆件强度应力计算结果。

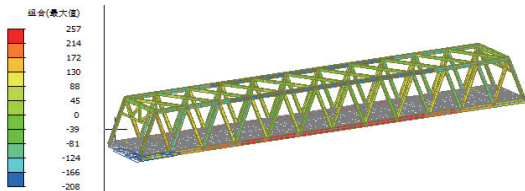


图3 主桁组合应力计算结果(单位:MPa)

表1 杆件强度应力计算结果

位置	组合应力/MPa	强度设计值/MPa	是否满足规范
上弦杆	208	320	是
下弦杆	257	320	是
腹杆	200	320	是
上平联	51	270	是

主桁各杆件拉、压应力均小于材料强度设计值,满足规范要求。

2.4 主桁杆件稳定计算

根据铁路规范 4.2.2 条,对主桁弦杆、腹杆及上平联进行稳定性验算。表2为考虑杆件稳定折减后的应力结果。

考虑受压杆件稳定折减后,上弦杆、腹杆及上平联最大压应力均小于材料容许应力值,满足铁路规范要求。

表2 杆件稳定应力计算结果

位置	偏心受压组合应力/MPa	考虑杆件稳定折减强度容许值/MPa	是否满足规范
上弦杆	184	208	是
腹杆	119	172	是
上平联	11	124	是

2.5 横梁计算

在第一体系计算模型中对钢桁架横梁进行计算。图4所示为横梁第一体系组合应力包络图。

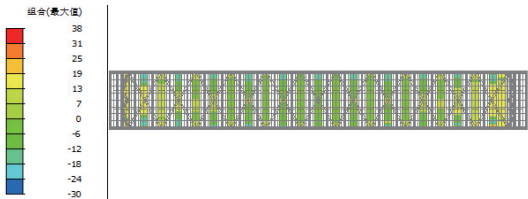


图4 横梁第一体系组合应力计算结果(单位:MPa)

在第二体系计算模型中对钢桁架横梁进行计算。图5所示为横梁第二体系组合应力包络图。

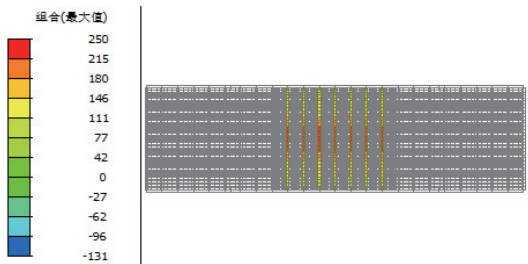


图5 横梁第二体系组合应力计算结果(单位:MPa)

表3为横梁两个体系叠加计算应力结果。

表3 横梁体系叠加应力计算结果

位置	横梁应力/MPa		强度设计值/MPa	是否满足规范
	拉应力最大值	压应力最大值		
第1体系跨中	4	6	270	是
第2体系支点	38	30		是
第3体系跨中	250	98		是
第4体系支点	112	131		是
跨中体系叠加	254	104		是
支点体系叠加	150	161		是

考虑两个受力体系叠加后,横梁最大压应力出现在支点位置为161 MPa,横梁最大拉应力出现在跨中位置为254 MPa,均小于材料强度设计值270 MPa,满足规范要求。

2.6 桥面板计算

在第一体系计算模型中对钢桁架桥面板进行计算,桥面板采用板单元模型。图6所示为桥面板组合应力包络图。

在第二体系计算模型中对钢桁架桥面板进行计算。正交异性钢桥面板有单肋模型、梁格模型和梁板模型三种。其中考虑顶部有效宽度的单肋模型结

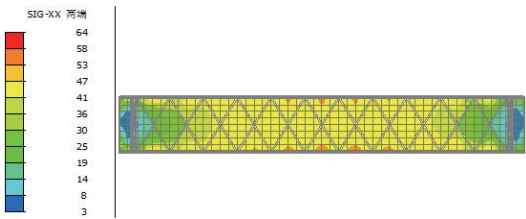


图6 桥面板第一体系组合应力计算结果(单位:MPa)

果偏安全^[10]且计算更高效,本桥面板第二体系采用6跨U肋单肋模型验算,图7所示为桥面板第二体系组合应力包络图。

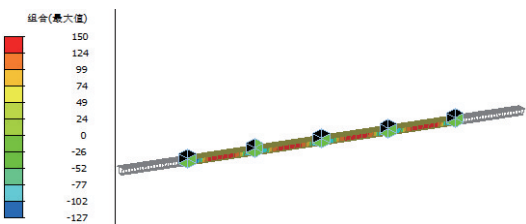


图7 桥面板第二体系组合应力计算结果(单位:MPa)

表4为桥面板两个体系叠加计算应力结果。

表4 桥面板体系叠加应力计算结果

工况	桥面板应力/MPa		强度设计值/MPa	是否满足规范
	拉应力最大值	压应力最大值		
第一体系	99	0	270	是
第二体系	91	78		是
体系叠加	190	78		是

考虑两个受力体系叠加后,桥面板最大拉压应力均小于材料强度设计值,满足规范要求。

2.7 主桁刚度计算

根据公路规范第4.2.3条规定,公路钢桥刚度验算应采用不计冲击力的车道荷载频遇值,挠度不超过跨径的1/500。图8所示为车道荷载频遇组合下变形图,最大挠度为38 mm,小于290 mm(跨径的1/500),刚度满足规范要求。

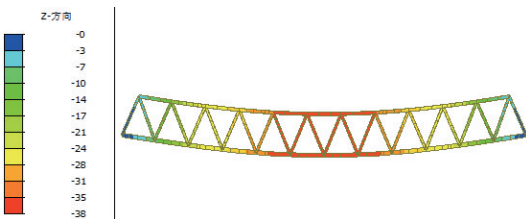


图8 车道荷载频遇组合下挠度值(单位:mm)

2.8 钢桁整体稳定验算

对钢桁架进行整体屈曲稳定分析,变量为结构恒载重力和整幅桥面满布汽车活载组合,系数均为1.0,图9所示为一阶弹性屈曲计算结果,钢桁架一阶屈曲为腹杆和弦杆失稳,屈曲系数9.394,桁架整体第一类稳定系数大于4.0满足规范要求。

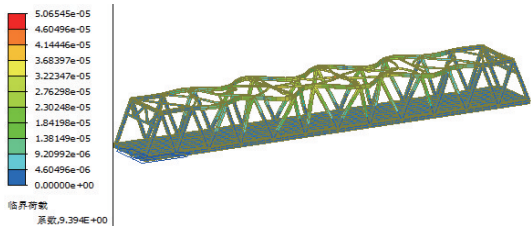


图9 弹性屈曲一阶模态

3 结 语

本文以一座 145 m 大跨简支等高钢桁架桥为工程背景。为满足跨越航道后快速落地及城区景观需求,选用建筑高度低、跨越能力强且景观良好的下承式钢桁桥方案。该桥采用板桁组合结构,桥面板与主桁焊接形成整体,共同参与受力,能有效减小主桁杆件内力、提高结构整体刚度与稳定性。

采用有限元软件进行验算,结果表明,桁架的强度、刚度及总体稳定均满足规范要求。本设计实践

验证了三角形桁架与正交异性钢桥面板组合结构在大跨简支桥梁中的适用性,可为类似工程提供参考。

参考文献:

[1] 李怀峰.大跨径公路钢桁梁桥设计技术[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2022.

[2] 张清华,卜之一,李乔.正交异性钢桥面板疲劳问题的研究进展(双语出版)[J].中国公路学报,2017,30(3):14-30;39.

[3] 黄侨,李莹,杨大伟.下承式城市钢桁架桥上部结构设计与分析[J].城市道桥与防洪,2006(6):54-57.

[4] 曹骏驹.120 m 下承式简支钢桁架桥设计分析[J].现代交通技术,2020,17(6):57-60.

[5] 段洪亮.板-桁组合钢桁架桥面板有效宽度研究[J].工程技术研究,2025,10(9):4-7.

[6] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].

[7] JTG/T 3360-01—2018 公路桥梁抗风设计规范[S].

[8] JTG D64—2015 公路钢结构桥梁设计规范[S].

[9] TB 10091—2017 铁路桥梁钢结构设计规范[S].

[10] 王伟,张国飞.钢箱梁第二体系应力的实用计算方法对比[J].智能城市,2024,10(4):99-101.

(上接第 238 页)

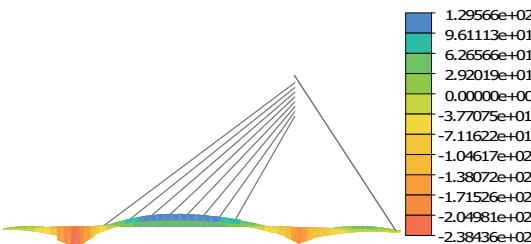


图6 主梁下缘的正应力包络图(单位:MPa)

4 小结与展望

采用了文献调阅、实地调查、结构计算分析相结合的方法,从交通量调查分析、结构受力验算、重车行驶频率等角度进行了细致的研究,形成了如下结论。

(1)断面改造成采用双向 6 车道,远期道路高峰期处于 3 级服务水准,计算通行能力约提升 14%。因此,改造成双向 6 车道能显著提升通行能力。

(2)相邻交叉口改造具备可行性。

(3)经过临江桥的重车数量稀少,钢梁因重车频繁通行造成疲劳损坏的可能性极低。

(4)主梁经改造后能满足现有标准要求的抗弯承载力。

初步判定临江桥提升改造具备可行性。下一阶段建议结合斜拉索检测与更换、桥梁大中修、交通组织等因素,推进落实桥梁改造计划。

参考文献:

[1] 王树东.混凝土斜独塔斜拉桥的稳定分析[J].北方交通,2013(4):84-86.

[2] 胡楠,陈建兵,孙长军,等.非对称独塔斜拉桥索塔锚固区受力机制研究[J].公路与汽运,2024,40(2):93-100.

[3] 何科.独塔斜拉桥钢箱梁计算与分析[J].城市道桥与防洪,2019(7):95-97.

[4] 崔珊珊,连俊峰,王阔昌,等.基于微波雷达的斜拉索智能检测技术应用[J].中国水运,2025(20):113-115.

[5] 廖圆圆,韩菲,魏靖,等.磁致伸缩导波技术在斜拉索检测中的应用[J].公路,2025(4):206-210.

[6] 余忠,邓力文,蒋建军,等.平行钢丝斜拉索更换施工新索无应力长度确定方法研究[J].桥梁建设,2024,54(5):148-155.

[7] 伍剑涛.跨河公路桥斜拉索更换方案比选[J].交通世界,2025(23):149-151.

[8] 王敬民,陈雄飞.江阴长江公路大桥主桥桥面铺装维修[J].公路,2004(5):81-84.

[9] 王结实,曹智,冯泽禹.钢结构斜拉桥状态评估及运营状况检测分析[J].四川水泥,2025(10):203-205.

[10] 李伟.公路桥梁钢箱梁结构性能的试验与评估[J].中国建筑金属结构,2025,24(12):46-48.

[11] 杨海波.正交异性钢桥面板疲劳失效机理与服役寿命评估研究[R].泰安:山东农业大学,2025.

[12] 孙燕.公路钢桥疲劳状况实测与分析[D].上海:同济大学,2007.

[13] 林峰,童浩,姜旭.基于崇启大桥交通流数据归一化处理的钢桥面板疲劳耐久性评估[J].建筑钢结构进展,2025,27(12):30-40.

[14] 卢建,金生斌.高速公路改扩建中既有中小跨径桥梁处置方案[J].公路,2019(2):142-146.

[15] 罗刚.公路改扩建中既有桥梁改造方案研究[J].工程技术研究,2025,10(17):208-210.