

国道105东阿黄河大桥总体设计

丁邦政

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要: 国道105东阿黄河大桥跨越黄河主桥采用(60+190+328+278+180+60)m多塔非对称混合梁部分斜拉桥,主梁采用单箱三室大悬臂截面,悬臂板下设置隔板加劲,桥面全宽35m,在328m中跨设置84m长的钢箱梁段,钢梁与混凝土梁之间设置钢混结合段连接;桥塔采用纵向分叉的人字形独塔,塔梁固结;主桥墩柱采用箱型墩,顶部纵向设置双排支座,墩柱迎水面设置破冰体,基础采用直径2.0m钻孔灌注桩;斜拉索采用平行钢绞线,中央索面双排布置,塔顶设置可换索式鞍座,梁端锚固采用齿块锚固于中间箱室。静力计算结果表明,该桥各构件变形、应力、裂缝宽度以及斜拉索安全系数等指标均满足规范要求。比较了3种减隔震体系的地震效应,选定弹性约束支座体系作为该桥的减隔震体系,动力计算结果均满足规范要求。

关键词: 多塔;部分斜拉桥;混合梁;结构分析

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0066-05

Overall Design of Dong'e Yellow River Bridge in National Highway 105

DING Bangzheng

(China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: The main bridge of Dong'e Yellow River Bridge across the Yellow River in National Highway 105 is a (60+190+328+278+180+60) m multi-pylon asymmetrical composite beam partial cable-stayed bridge. The girder is a single-box three-chamber large-cantilever section, and a partition plate is set under the cantilever plate for reinforcement. The total width of bridge deck is 35 m. An 84 m-long steel box girder segment is set at the 328 m mid span. A steel-concrete composite segment is connected between the steel beam and the concrete beam. The bridge pylon is a vertically branched herringbone-shaped single pylon, and the pylon and the girder are consolidated. The main bridge piers are the box-type piers. The double-row supports are set longitudinally at the top. The ice breaking bodies are set on the upstream face of the pier columns. The diameter-2.0 m cast-in-site pile is used for the foundation. The stayed cable is the parallel steel strands. The central cable plane is arranged in double rows. A replaceable cable saddle is installed at the top of the pylon. The beam end is anchored to the middle box chamber with toothed blocks. The static calculation results show that the deformation, stress and crack width of each component, the safety factor of stayed cable and the other indexes of this bridge all meet the standard requirements. After comparing the seismic effects of three types of seismic isolation systems, the elastic constrained support system is selected as the seismic isolation system of this bridge. The dynamic calculation results all meet the standard requirements.

Keywords: multi-pylon; partial cable-stayed bridge; composite beam; structure analysis

1 工程概况

1.1 桥梁建设背景

新建国道105东阿黄河大桥位于既有平阴黄河大桥下游约4 km处,路线自起点向东经王井村南,在大桥镇大生村西南跨越黄河,前行至平阴县后寨村东跨越济平干渠,于上盆王村东与G105交叉,到达路线终点,路线长8.145 km。实施本项目可优化

区域路网布局,有效解决既有平阴黄河大桥的交通压力,发挥国道干线公路的功能,提高路网的整体服务水平。

1.2 建设条件

1.2.1 地形地貌

该场区地貌上处于鲁西山地与华北平原接壤地带,属黄河泛冲积平原地貌,桥址区仅发育有漫滩、河床等微地貌,无大的地貌单元;沿黄河北岸有零星石灰岩残丘。由于历史上黄河改道漫流,冲决及引黄池、渠的清淤和沉积,形成波状起伏的高岗、缓坡、洼地,其高差5 m左右。地势总趋势是东高西低,向

收稿日期: 2024-10-12

作者简介: 丁邦政(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

北微倾。桥位河段两岸控导工程和险工建设较完善,工程控溜、导流能力强,右岸还有外山、龙桥、田山等天然节点,与河道整治工程一起稳定河势,桥位河段的河势基本得到有效控制,行河流路基本稳定。

1.2.2 地质条件

钻孔揭露深度范围内,上部为人工填土和第四系冲积、湖积形成的亚砂土、黏土、粉细砂、亚黏土等,个别钻孔揭露到了寒武系灰岩地层。钻孔揭露地层无不良地质作用现象,适宜建造。左岸滩地,地层岩性为冲积相亚黏土、亚砂土、冲湖积相黏土,饱和亚砂土为可液化土层,黏土为软土,对工程有不利影响。右岸滩地及残丘,人工填筑土分布于大堤,成分为亚黏土、亚砂土、弃碴。第四系冲积层主要成分为亚黏土、亚砂土。

1.2.3 气象特征

区域气温适中,年平均气温在 12.4~14.0℃,最热月七月份的平均气温为 26.7℃,最冷月一月份的平均气温为-2.0℃,极端最高气温为 39.9℃,极端最低气温为-20.6℃。全年无霜期平均 199 d。沿线地处东亚季风地带,该地区属季风气候区,年风向频率以南风最多,出现频率为 15%。全年各月中以 3~8 月及 10~11 月出现南风的机会最多,9 月和冬季多东北风和北风。年平均风速为 3.3 m/s,年最大风速(1964-04-23)为 24 m/s,风向东北。

2 主要技术标准

- (1)道路等级:一级公路。
- (2)设计时速:80 km/h。
- (3)荷载等级:公路—I 级。
- (4)桥面宽度:双向 6 车道,全宽 35 m。
- (5)地震动峰值加速度:0.1g。
- (6)设计洪水频率:300 a 一遇。
- (7)通航等级:IV 级航道,通航净高大于等于 8 m,通航净宽 150 m。

3 主桥总体布置

3.1 桥位

结合大桥所处的地理位置、路网布局、河道状况、水源地,综合考虑两岸地形、地物、地质、河道水文、接线条件等因素,贯彻路桥综合协调等原则,分别从桥位与有关水利设施的平面位置关系,桥位附近河势变化与桥位断面两岸边界的稳定性,以及建桥对黄河防洪防凌的影响等方面进行方案分析比选。

桥位方案二距离上游平阴黄河大桥约 8.8 km,桥位方案一距离上游平阴黄河大桥约 4.04 km,桥位方案二对黄河河势演变、河道防洪、工程管理等的影响小(见图 1)。但是建设里程长,桥梁长,造价高,作为比较方案。桥位方案一通过适当加大桥梁跨径、增加桥孔跨越堤防险工等措施,保证所在河段不引起壅水叠加,且建设里程短、桥梁短,造价低,对既有平阴黄河大桥的分流作用大,对两县经济发展带动大,对聊城水源地影响小,具有一定的优势;方案一经过下盆王村,分项目建设前该村将完成整体搬迁,不会对分项目造成影响,综合考虑地方政府的意见,方案一作为推荐方案。



图 1 国道 105 东阿黄河大桥桥位示意

3.2 总体布置

3.2.1 跨越黄河主槽要求

国道 105 东阿黄河大桥推荐桥位处于小张庄断面和龙桥断面之间,依据桥位河段的河势和上、下游龙桥、小张庄两个大断面主槽宽度分析,在小浪底水库运用以后,桥位河段主槽形态相对稳定,横向变化较小。桥位处于黄河下游窄河段,桥孔跨度必须满足行凌要求;根据桥位上下游最大冰块尺寸,并参照桥位附近已建大桥的桥孔跨度和与上下游黄河大桥的距离,综合分析确定跨越主河槽内的主桥主跨跨径不小于 328 m,边跨跨径不小于 180 m。为满足行洪、行凌要求,滩地全部建成引桥,单孔宽度不小于 50 m。

3.2.2 跨越大堤要求

堤身断面内不得设置桥墩,桥墩与规划 50 a 后大堤临河侧堤脚的距离不得小于 5 m,并应对桥墩基础进行防渗处理;大堤背河侧的桥墩与大堤规划加高后的坡脚距离不得小于 5 m。

3.2.3 结构总体布置

受黄河主河槽宽度和单孔跨径要求限制,主跨 328 m 已超出普通连续梁合理跨径范围,也超出预应力混凝土连续刚构方案的合理范围^[1-5],主跨可采用钢—混混合梁方案,跨中部分的梁段为钢箱梁,大幅

降低跨中梁段的自重,可有效改善结构受力、减轻结构病害的产生^[3],但其副跨为278 m 预应力混凝土梁,跨径组合和结构受力不合理,因此提出了混合梁部分斜拉桥方案。孔跨布置为(60+190+328+278+180+60)m,总体布置见图2。

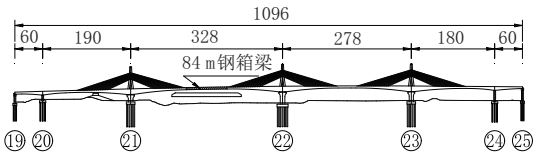


图2 主桥总体布置图(单位:m)

3.3 结构体系

公路部分斜拉桥多采用塔梁固结、墩梁分离的塔梁固结体系或塔梁墩固结的刚构体系^[4]。多塔部分斜拉桥采用的结构体系可以不是单一的,可以将两种结构体系进行组合,即不同桥跨采用不同的结构体系,边跨整体刚度相对较大,可以采用塔梁固结体系,中塔可以采用刚构体系^[5]。

该桥桥长大、墩高较矮,温度效应明显,且孔跨布置采用非对称布置,这就决定了该桥既不适宜采用刚构体系,也不宜采用中塔处塔梁墩固结、边跨塔梁固结墩分离的组合体系,需采用塔梁固结体系。由于塔梁固结体系自身刚度相对较低,且该桥主跨跨中采用了钢箱梁使得整体刚度进一步降低,为改善非对称混合梁部分斜拉桥的刚度问题,本桥采用了弹性约束双排支座体系^[6]。

通过在墩顶纵桥向设置两排支座以实现墩梁间的转动约束,同时纵向相对位移也可以释放,因此双排支座体系在一定程度上吸收了刚构体系优点的同时,还减小了主梁温度变形对桥墩受力的影响,降低了支座吨位^[7]。分别建立体系1单排支座塔梁固结体系、体系2刚构体系、体系3中墩固结组合体系、体系4弹性约束双排支座体系以及体系5固定型双排支座体系五组模型,对弹性约束双排支座体系的力学特性进行验证,主要计算结果见表1。

表1 各体系汽车荷载、温度荷载作用下位移与弯矩

结构体系	汽车荷载			温度荷载
	主跨跨中挠度/mm	主跨主梁跨中弯矩/(kN·m)	中塔处主梁支点弯矩/(kN·m)	边塔处墩底弯矩/(kN·m)
体系1	298	99 623	-211 490	653
体系2	182	79 619	-333 014	5 204
体系3	105	65 849	-276 318	4 654 191
体系4	126	69 983	-162 429	1 975
体系5	107	66 012	-158 344	3 370 346

从5个体系的活载位移响应、活载弯矩响应及温度响应的对比可以看出,双排支座体系具有刚构体

系刚度大、主梁弯矩小的优点,弹性约束双排支座体系同时还具有塔梁固结体系对温度荷载响应小的优点,在多跨长联部分斜拉桥上应用滑动型双排支座体系是十分合适的。

4 结构设计

4.1 主梁

混凝土主梁采用变截面预应力混凝土连续箱梁,截面形式为单箱三室大悬臂截面,标准横断见图3。主墩位置支点梁高为12 m,辅助墩位置支点梁高为8 m,跨中梁高均为4.5 m,梁高按1.8次抛物线变化。箱梁顶板宽度为35 m,底板宽度为15.805~19.6 m,顶板设置横坡,底板保持水平。箱梁腹板厚度在主塔附近由80 cm渐变至50 cm,辅助墩附近由75 cm渐变至50 cm。箱梁顶板厚度30 cm,主墩处底板厚度由根部的100 cm渐变至跨中30 cm,辅助墩处底板厚度由根部的75 cm渐变至跨中30 cm,按1.8次抛物线变化。斜拉索梁端锚固采用齿块锚固于中间箱室,箱室宽3.5 m。主梁支点以及拉索锚固处设横隔板,横隔板厚度为30 cm。悬臂翼缘板下及边室顶板与腹板交界处设加劲肋,标准加劲肋间距为4 m。

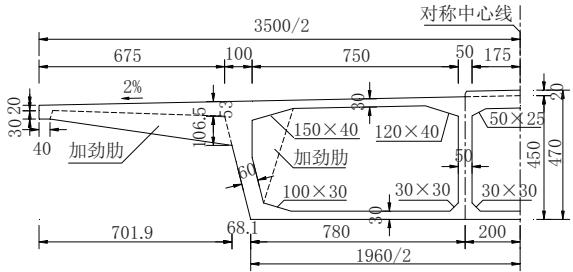


图3 主桥混凝土梁标准横断面(单位:cm)

328 m主跨跨中采用钢箱梁,横断面见图4,钢箱梁区段长为84 m,梁高4.5 m,顶板厚16 mm,底板厚16 mm,腹板厚20 mm;钢梁设置体外预应力束。

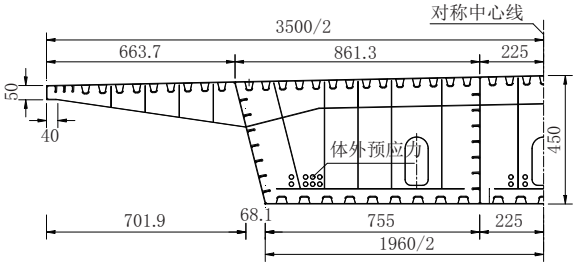


图4 主跨钢箱梁横断面(单位:cm)

钢-混结合段采用有格室-后承压板式构造,总长12.5 m,包含5 m钢梁刚度过渡段、2.5 m钢混结合段及5 m混凝土过渡段(见图5)。预应力钢束锚固于承压板上,承压板厚50 mm。钢格室长2.5 m,高1 m,

采用 PBL 剪力连接件,穿孔钢筋直径 20 mm,标准格室横桥向宽度 0.6 m;中跨最后一排斜拉索锚固于钢格室间的混凝土区域。钢箱梁刚度过渡段加劲肋采用变高 T 肋。

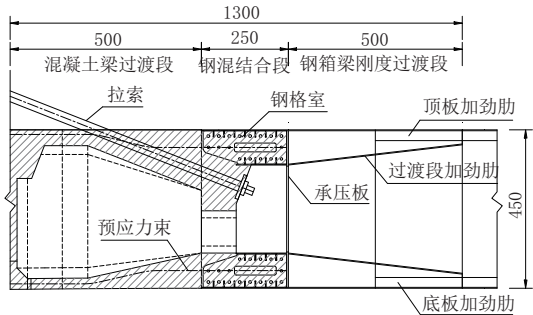


图 5 钢-混结合段纵断面(单位:cm)

4.2 桥塔

桥塔布置在中央分隔带上,并与主梁固接。主塔高度为 48 m,实心矩形截面,塔底采用倒 Y 形设置,顺桥向长度 10 m,横桥向长度 2.8 m。桥塔设置可换索式鞍座,斜拉索及鞍座在横桥向布置两排。桥塔构造见图 6。

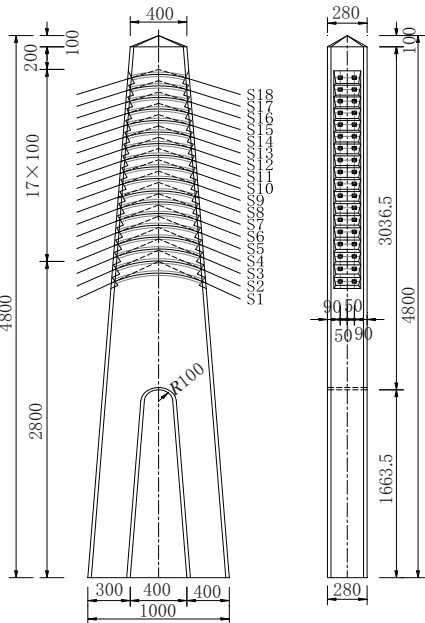


图 6 桥塔构造图(单位:cm)

4.3 斜拉索

斜拉索采用中央单索面,扇形布置,横桥向设两排索,3个塔均设置 18 对 36 根拉索,全桥共计 108 根。斜拉索主梁标准索距 4.0 m,桥塔标准索距 1.0 m,斜拉索在塔顶连续通过鞍座,两侧对称锚于主梁,采用钢绞线拉索群锚体系。斜拉索采用平行钢绞线,由 31~109 根 $\phi_{15.2}$ mm 单根环氧钢绞线组成。

4.4 桥墩及基础

主墩采用空心墩,单箱三室断面,墩身外轮廓尺

寸为横桥向宽 17.5 m×顺桥向宽 10 m,墩顶为布置双排支座纵向设置扩头,墩顶纵桥向宽度 16 m,桥墩纵桥向墩身壁厚 1.5 m,横桥向墩身壁厚 0.8 m,中墩迎水面设置破冰体。塔座高度 2 m,承台厚度为 5 m。基础为钻孔灌注桩,承台下设 35 根桩,桩径 2 m。墩身采用 C40 混凝土,承台采用 C35 混凝土,桩基采用 C35 水下混凝土。桥墩及基础构造见图 7。

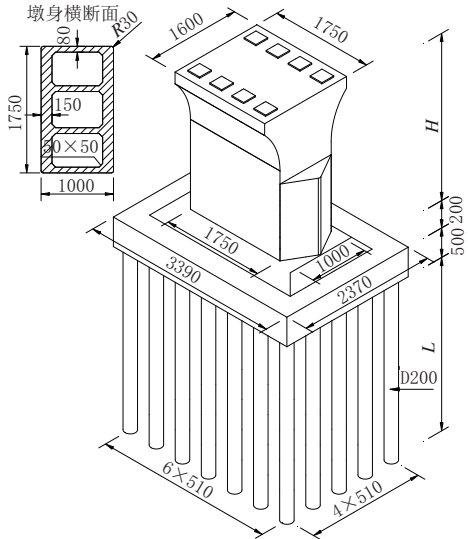


图 7 桥墩及基础构造图(单位:cm)

5 结构计算

5.1 静力分析

采用 MIDAS Civil 软件建立主桥有限元模型,桥塔、主梁、墩柱以及基础采用梁单元,斜拉索采用桁架单元,采用弹簧模拟地基支承刚度,阻尼器和支座均采用弹性连接。考虑恒载、汽车荷载、风荷载、温度荷载、混凝土收缩徐变以及基础不均匀沉降等荷载,按最不利工况组合。

在汽车荷载作用下,278 m 跨混凝土主梁正负挠度绝对值之和 $94 \text{ mm} \leq l/500=556 \text{ mm}$,328 m 跨钢梁正负挠度绝对值之和分别为 $159 \text{ mm} \leq l/400=820 \text{ mm}$,满足《公路斜拉桥设计规范》(JTG/T 3365-01—2020)相关规定;标准组合作用下主梁应力包络图见图 8,钢箱梁最大应力为 146.8 MPa,混凝土主梁全截面受压,上、下缘最大压应力分别为 12.8、15.6 MPa,均满足现行相关规范要求。

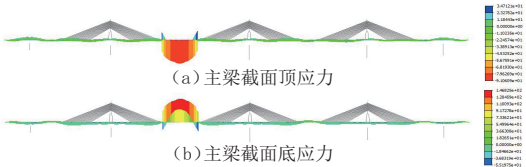


图 8 主梁应力包络图

标准组合作用下,桥塔最大压应力为 23.3 MPa,裂缝宽度小于 0.1 mm;斜拉索最大拉应力为 604.1 MPa,安全系数 $3.08 > 2.5$,最大活载应力幅 29.9 MPa < 80 MPa,各指标均满足现行规范要求。

5.2 抗震分析

该桥主梁自重、联长都比较大,为研究本桥合理的抗震体系,分别提出了 3 种大跨长联桥梁结构抗震约束体系进行地震效应对比分析:体系 1 普通支座+速度锁定器的协同抗震体系;体系 2 摩擦摆支座减隔震体系;体系 3 弹性约束支座减隔震体系。各抗震体系对应的支座形式见表 2。

表 2 3 种抗震体系对应的支座形式							
抗震体系/ 墩台号	19#	20#	21#	22#	23#	24#	25#
体系 1	○	[○]	[○]	●	[○]	[○]	○
体系 2	△	△	△	▲	△	△	△
体系 3	○	○	■	■	■	○	○

注:[]为阻尼器,●/○为普通球形固定/活动支座,▲/△为摩擦摆固定/活动支座,■为弹性约束多功能支座。

动力特性计算结果表明体系 3 周期最大,体系 2 与体系 1 相差较小;各体系纵桥向地震弯矩、剪力响应分别见图 9、图 10,22 号墩地震弯矩响应体系 3 相比体系 1、2 分别减少了 51.2%、42.0%,剪力响应分别减少了 52.3%、51.2%,体系 3 地震总弯矩和总剪力响应是 3 种体系中最小的。这表明体系 3 可以改善桥梁下部结构受力,实现多墩协同受力,应用于大跨长联桥梁抗震效果比较理想,故最终选择体系 3 作为该桥的抗震约束体系。经验算,各体系索塔、桥墩、桩基的控制截面在 E2 地震作用下并未出现截面屈服的情况,其中体系 3 的安全冗余度相对于体系 1、2 更大,结构更安全。

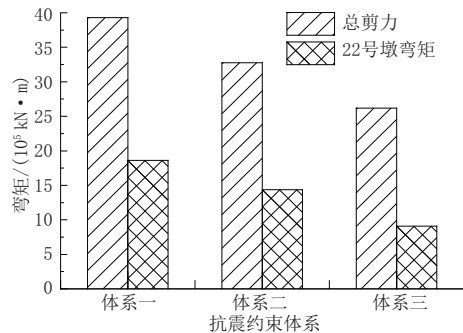


图 9 各体系主墩总弯矩与 22 号墩弯矩(单位:kN·m)

6 结 语

国道 105 东阿黄河大桥是优化区域路网布局、解

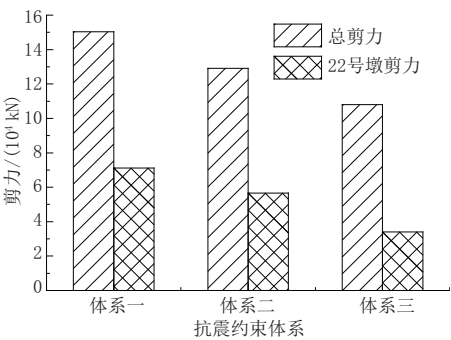


图 10 各体系主墩总剪力与 22 号墩墩剪力(单位:kN)

决既有平阴黄河大桥交通压力的重要工程。经方案比选,采用路线方案二跨越黄河,主桥采用(60+190+328+278+180+60)m 多塔非对称混合梁部分斜拉桥。大桥采用了滑动型双排支座体系,主墩支座采用弹性约束支座,辅助墩及分联墩采用普通球形支座。主梁采用宽 35.0 m 的单箱三室大悬臂截面,悬臂板下设置隔板加劲,在 328 m 主跨设置 84 m 长的钢箱梁段,钢梁与混凝土梁之间设置钢混结合段;桥塔采用塔底纵向分叉的人字形桥塔,塔梁固结;主墩采用箱型墩,迎水面设置破冰体,基础采用直径 2.0 m 钻孔灌注桩;斜拉索采用平行钢绞线,中央索面双排布置,塔顶设置可换索式鞍座,梁端锚固采用齿块锚固于中间箱室。静力计算结果表明,该桥各构件变形、应力、裂缝宽度以及斜拉索安全系数等指标均满足规范要求;比较了 3 种减隔震体系的地震效应,选定弹性约束支座体系作为本桥的减隔震体系,动力计算结果均满足规范要求。

参考文献:

[1] 肖汝城,等.桥梁结构体系[M].北京:人民交通出版社,2013.
[2] 杜阳.钢—预应力砼连续梁桥钢混结合段传力特征研究[D].武汉:武汉理工大学,2011.
[3] 李坚.我国预应力混凝土连续梁桥的发展与工程实践[J].城市道桥与防洪,2001(1):21-26.
[4] 何波.大跨度连续刚构桥设计若干关键技术问题研究[D].武汉:华中科技大学,2007.
[5] 周军生,楼庄鸿.大跨径预应力混凝土连续刚构桥的现状和发展趋势[J].中国公路学报,2000(1):34-40.
[6] 左智君.钢—混混合梁连续刚构桥跨关键参数及梁高优化研究[D].成都:西南交通大学,2014.
[7] 詹建辉,张铭.预应力混凝土部分斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2016.
[8] 王锋.多塔部分斜拉桥合理成桥状态优化研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.
[9] 王德志,严爱国,文望青,等.铁路大跨连续梁桥弹性约束体系力学性能研究[J].铁道工程学报,2023,40(6):46-50.
[10] 林昱,林道锦,王仁贵.多塔斜拉桥双排支座体系研究[J].公路,2014,59(9):137-141.