

DOI: 10.7672/sgjs2025180057

大跨度斜拉桥钢混叠合梁全断面顶推技术*

杨圣峰,李响,刘大成,任初君

(中交一公局集团有限公司,北京 100024)

[摘要] 以沾临公路黄河大桥为依托,该桥为主跨 442m 的双塔双索面钢混叠合梁斜拉桥。该工程采用钢混叠合梁整体顶推方法施工,在边墩搭设拼装及顶推作业平台,拼装钢梁并叠合混凝土桥面板,拼装平台上完成节段叠合梁拼装,滑移至顶推区域分节段顶推,并在顶推范围搭设临时顶推支墩。该顶推施工方法解决了因黄河中下游区域不通航,大节段钢梁原位吊装节段运输难题,节约了施工用地,减少了拼装作业区域,管理难度降低,降低了高空作业风险,提高了施工工效。钢混叠合梁整体顶推施工技术既保证了施工过程中安全,又降低了工程造价,且缩短了施工工期。

[关键词] 桥梁;斜拉桥;钢混叠合梁;顶推;临时结构;施工技术

[中图分类号] U445.462

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)18-0057-05

Full-section Incremental Launching Technology of Steel-concrete Composite Girders of Long-span Cable-stayed Bridge

YANG Shengfeng, LI Xiang, LIU Dacheng, REN Chujun

(China First Highway Engineering Co., Ltd., Beijing 100024, China)

Abstract: Based on Zhanhua-Linzi Highway Yellow River Bridge, this bridge is a double-pylon and double-plane steel-concrete composite girder cable-stayed bridge with a main span of 442m. The whole incremental launching construction method of steel-concrete composite girder is adopted in the project, the assembling and incremental launching platform is built on the side span, the steel girder is assembled and the concrete deck is laminated, and the segmental composite girder assembly is completed on the assembling platform, sliding to push-off area and setting up temporary push-off abutment in push-off area. The incremental launching construction method solves the problem of large-section steel girder in-situ hoisting section due to the non-navigation of the middle and lower reaches of the Yellow River, saves the construction land, reduces the assembly operation area, reduces the difficulty of management, reduces the risk of high-altitude operation, and improves the construction efficiency. The integral incremental launching construction technology of steel-concrete composite girder not only ensures the safety in the construction process, but also reduces the project cost and shortens the construction period.

Keywords: bridges; cable stayed bridges; steel-concrete composite girders; incremental launching; temporary structures; construction

0 引言

顶推施工方法自 19 世纪 50 年代末在奥地利 Ager 桥首创以来,因其对桥下空间无要求,不影响通车、通航的特点,在跨越江河和既有交通线路等桥梁施工方面具有明显优势,已得到广泛应用^[1]。

顶推工艺是指在桥梁跨径某一端头或两端进行梁段浇筑或拼装,利用顶推平台布设千斤顶纵向推动梁体,使主梁滑过各墩台及临时支墩直至落梁到位的施工方法^[2]。顶推施工对桥梁下方无法通航或运输设备难以运输至桥下时具有较强适用性,且主梁拼装与顶推施工可同时进行,具有较强工期优势^[3]。

目前桥梁顶推施工已在我国山区立交^[4]、航道桥引桥及跨既有路线桥建设工程中得到广泛应

* 中交一公局集团有限公司科技研发项目(KJYF-2023-A-02, KJYF-2025-A-01)

[作者简介] 杨圣峰,高级工程师,国家一级注册建造师, E-mail: 865022340@qq.com

[收稿日期] 2024-09-22

1 工程概况

Fig. 1 Facade of the bridge layout (unit: cm)

Fig. 2 Standard section of steel girder

Fig. 3 Standard section of three-dimensional steel girder

2.1 拼装及顶推平台设计

平台主要承重结构由上至下依次为 4 拼 HN700×300 型钢滑移轨道;其下布置 3 拼 HN500×200 型钢桩顶横梁;桩顶横梁下设钢管桩,钢管桩在横断面方向共布置 5 根,因荷载不同采用不同桩径,滑移轨道下的 2 根选用 $\phi 820 \times 9$ 钢管,其余 3 根选用 $\phi 609 \times 8$ 钢管;钢管与钢管间设平联及斜撑,纵桥向钢管平联、竖杆、斜撑均采用 $\phi 426$ 钢管,横桥向钢管平联选用 $\phi 426$ 钢管,竖向立杆选用 $\phi 273$ 钢管,斜撑选用 $\phi 20$ 。平台布置如图 4 所示。

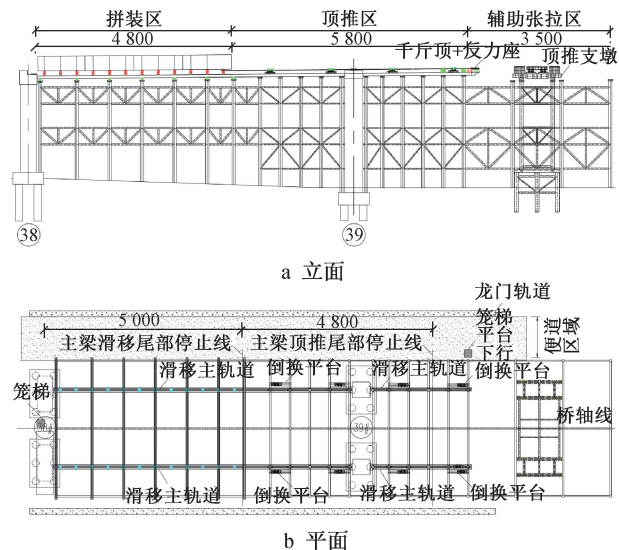


图4 拼装及顶推平台布置(单位:cm)

Fig. 4 Layout of assembly and incremental launching platform(unit:cm)

2.2 滑移系统

主梁钢结构在拼装区拼装完成后通过滑移系统滑移至顶推区域进行桥面板叠合,钢梁滑移系统由拖拉千斤顶、滑移小车、轨道等组成。滑移坦克为钢梁支撑和滑移装置;牵拉连续千斤顶作为主梁滑移的动力系统,通过钢绞线与梁底设置的锚固装置连接,连续拖拉主梁行走;轨道在拼装及顶推区域全长布置,并作为顶推区域千斤顶支撑梁,轨道

选用 4 拼 HN700×300 型钢,并焊接调平钢板使得轨道在同一高程。滑移系统布置如图 5 所示。

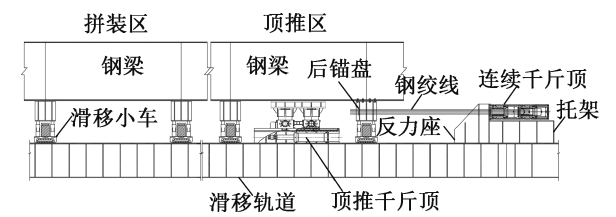


图 5 滑移系统布置

Fig. 5 Layout of sliding system

滑移小车集竖向顶升与滚动行走功能于一体,竖向顶升为 150t 双作用千斤顶,纵向行走为滚动行走。由于结构总高度需大于养护区步履顶推体系高度,为提高结构稳定性,滑移小车下部并排布置 2 台 100t 搬运小坦克,结构长度 650mm、高度 190mm、宽度 200mm+250mm+200mm,每台搬运小坦克上布置 1 台 150t 双作用千斤顶用于顶落梁,每台双作用千斤顶前、后各设置 1 根 $\phi 80$ 可调节高度的无极螺杆,4 根无极螺杆上支撑 600mm×700mm×600mm 箱形钢垫块,滑移前通过螺杆调整使滑移小车与钢梁底面保持密贴。其中,最前端的箱形钢垫块开螺栓孔与钢梁底板连接,作为滑移系统的后端锚固。滑移小车如图 6 所示。



图 6 滑移小车布置

Fig. 6 Layout of slipping cars

2.3 顶推支墩设计

根据顶推千斤顶构造要求及顶推全过程最大支反力进行顶推临时墩设计,单个顶推墩竖向荷载按顶推过程中最大支墩竖向荷载取值,全桥顶推支墩共 20 个,由水中支墩、河滩支墩、塔侧支墩 3 种类

型组成,顶推支墩按最大间距 45m 进行控制。临时支墩立面如图 7 所示。

塔侧支墩采用斜钢梁坐落于承台上;水中支墩单侧上部 4 根钢管,下部转换成 6 根钢管支撑;河滩支墩单侧上部 4 根钢管,下部转换成 8 根钢管支撑;为减少钢材用量,顶推千斤顶下纵梁设置成鱼腹式。顶推支架顶部单侧布置 2 台 2×500t 步履式千斤顶,千斤顶两侧设置支垫,支墩顶结构布置如图 8 所示。

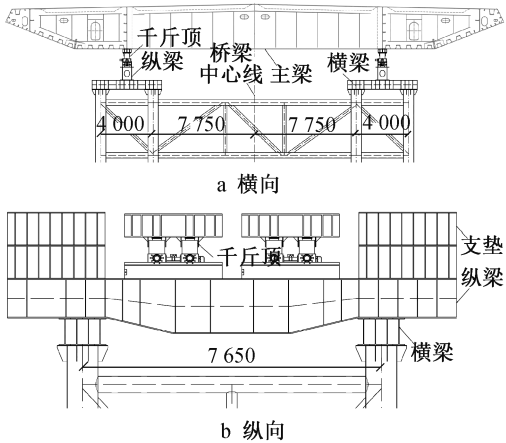


图 8 支墩顶结构布置

Fig. 8 Structure layout on the top of supporting piers

2.4 导梁设计

顶推最大跨径按 45m 设置,导梁设计按顶推最大跨径的 0.6~0.8 倍进行控制,导梁总长度取 30.0m,钢导梁结构形式为变截面设计前端高度为 0.9m,尾端高度为 3.205m,材质为 Q355 钢,顶、底板厚 32mm,腹板厚 20mm,其他加劲板厚度均为 16mm。两导梁中心间距 19.5m,分别对应主梁纵腹板位置,并与主梁纵腹板相连。两导梁间采用钢管桁架连接,横桥向平联为 $\phi 160\times 6$ 钢管,其余平联及斜撑采用 $\phi 120\times 6$ 钢管,钢管与导梁采用法兰盘 M24 螺栓连接,法兰盘与导梁连接处设置钢板局部加强。导梁纵向按 3 段变刚度设计,长度分别为 9.985,9.990,9.995m,3 段导梁采用栓接,连接间隙 1cm,导梁前端考虑到上顶推临时墩,做成台阶状以

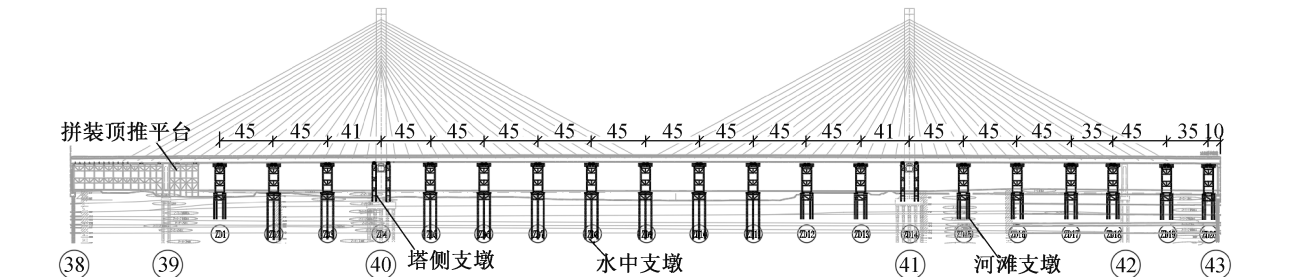


图 7 临时支墩布置(单位:m)

Fig. 7 Layout of temporary supporting piers(unit:m)

便上墩。导梁结构如图 9 所示。

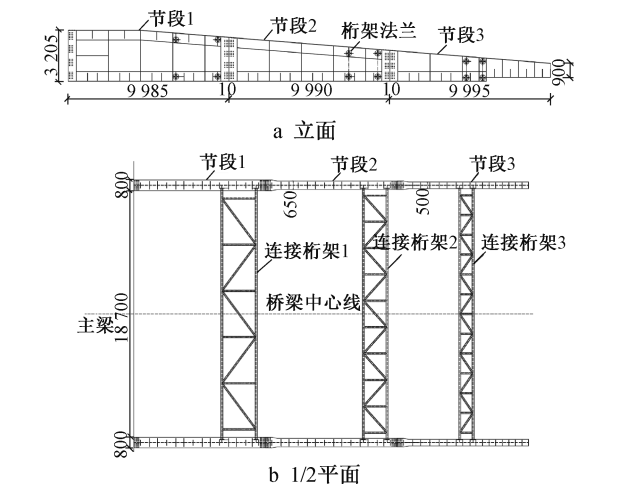


图 9 导梁结构

Fig. 9 Launching nose structure

3 顶推结构受力分析

3.1 顶推过程分析

为模拟顶推施工过程中叠合梁与导梁的受力状态,采用施工阶段建立包含导梁的主梁整体模型,模型中主梁采用联合截面模拟,整体模型如图 10 所示。



图 10 主梁整体模型

Fig. 10 Integral model of main girder

通过有限元施工阶段全过程仿真分析,得到导梁在施工过程中的最大组合应力为 153.9MPa,剪应力最大为 66.0MPa,挠度最大为 60.393mm,导梁强度满足要求。钢主梁最大应力为 50.81MPa(拉)、最小应力为-38.8MPa(压),均小于钢材设计值,满足要求。顶推施工中桥面板应力最大为 4.65MPa(拉),最小为-8.46MPa(压),均小于超高强度混凝土材料的设计值,满足要求。

顶推过程中临时支墩共计 20 个,根据顶推全过程分析,临时支墩最大竖向力出现在 2 号支墩处,支墩最大反力为 13 908.4kN,最小竖向力出现在 20 号临时支墩位置,支墩最小反力为 8 414.1kN。顶推支墩反力如图 11 所示。

3.2 主梁局部应力分析

每个临时墩横向配置 2 套设备,每套设备包括 2 台步履式千斤顶顺桥向并排设置,顶推设备的垫梁受力面积为 2 500mm×650mm,在最大支反力 13 908.4kN 作用下进行叠合梁的局部承载力计算,分析计算模型如图 12 所示。

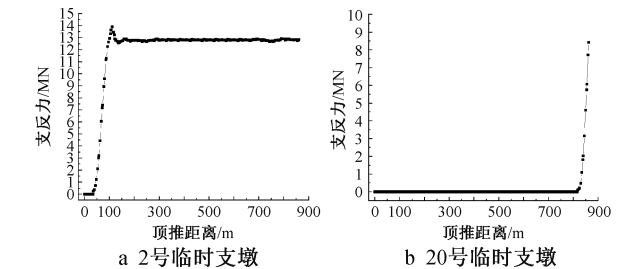


图 11 临时支墩支撑力包络图

Fig. 11 Support force envelope diagram of temporary supporting piers

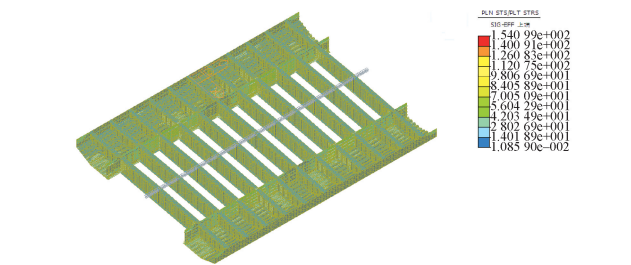


图 12 局部受力计算

Fig. 12 Local force calculation

通过局部受力分析,钢梁的最大局部应力为 154.1MPa,出现在纵隔板与底板对接位置,主梁材料为 Q345 钢,UHPC 桥面板的最大拉应力为 10.87MPa,满足要求。

3.3 临时支墩受力分析

对临时支墩按最大竖向反力进行设计,顶推过程中水平推力按竖向力的 10%进行考虑,并取 30 年一遇最高水位及流水荷载,钢管桩入土部分约束按土层参数选取相应水平基床系数。支墩结构受力如图 13 所示。

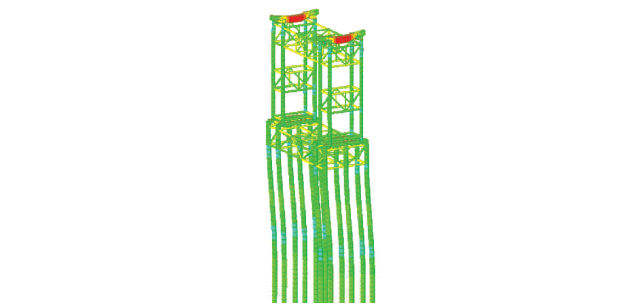


图 13 支墩整体应力

Fig. 13 Overall stress of supporting piers

通过计算,临时支墩 Q355 钢最大组合应力为 242.2MPa、最大剪应力为 148.3MPa,Q235 钢最大组合应力为 147.6MPa、最大剪应力为 72.5MPa,整体纵向位移为 127.5mm,强度及刚度均满足要求。

4 顶推施工流程

钢混叠合梁选用全断面多点步履式不间断顶推工艺施工,钢梁在加工厂分段加工,陆运至桥位组拼厂,钢梁节段在组拼区域拼装好后滑移至顶推区域,在顶推区域进行桥面板叠合及湿接缝混凝土浇筑养护,安装导梁。导梁和钢梁节段在顶推区域三向千斤顶作用下向前顶推,然后采用步履式顶推设备提供顶推力,带动梁体前移,可利用顶升调节里程方位,还可对钢梁局部线形进行横向调整^[12]。具体顶推流程如图 14 所示。

5 结语

由于黄河流域无法通航,因此钢梁水运整体吊装工艺不适用,钢梁节段采用小构件陆运至桥位进行组拼,工程设计图纸指导性施工工艺为钢管少支架施工,现场施工工期较长,高空作业工作量较大,施工区域分散,施工控制难度大。针对以上难题,该工程采用钢混叠合梁整体顶推施工方法,使得钢梁拼装区、桥面板叠合区及养护区相对固定,减少现场协调难度,提高了现场工程质量;拼装、叠合、养护及顶推作业在现场形成流水施工,施工工效大幅度提升,大大缩短了施工工期;由于拼装场地固定,减少了起吊和运输设备投入,降低了施工成本。

参考文献:

[1] 白桦,魏鑫,涂金平,等. 顶推下穿高铁大跨径连续钢箱梁桥设计施工关键技术研究[J]. 公路,2023,68(8):103-108.
BAI H, WEI X, TU J P, et al. Research on design and construction key technology of large-span continuous steel box girder bridge under crossing high-speed railway by incremental launching[J]. Highway,2023,68(8):103-108.

[2] 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.
WU L, YANG J F. Pushing construction technology of curved steel box continuous girder bridge[J]. Highway,2023,68(11):153-158.

[3] 赵人达,张双洋. 桥梁顶推法施工研究现状及发展趋势[J]. 中国公路学报,2016,29(2):32-43.
ZHAO R D,ZHANG S Y. Research status and development trend on incremental launching construction of bridges[J]. China journal of highway and transport,2016,29(2):32-43.

[4] 张明闪. 峡谷地形下斜腿钢构桥主梁分节组拼顶推施工工艺[J]. 公路,2018,63(7):138-142.
ZHANG M S. Construction technology of segmental assembly and jacking of main girder of inclined leg steel structure bridge under canyon terrain[J]. Highway,2018,63(7):138-142.

[5] 伍艺. 重庆南纪门轨道交通专用桥引桥钢箱梁顶推技术[J]. 桥梁建设,2021,51(1):130-135.
WU Y. Incremental launching techniques for steel box girders in approach bridge of Nanjimen Light Rail Bridge[J]. Bridge construction,2021,51(1):130-135.

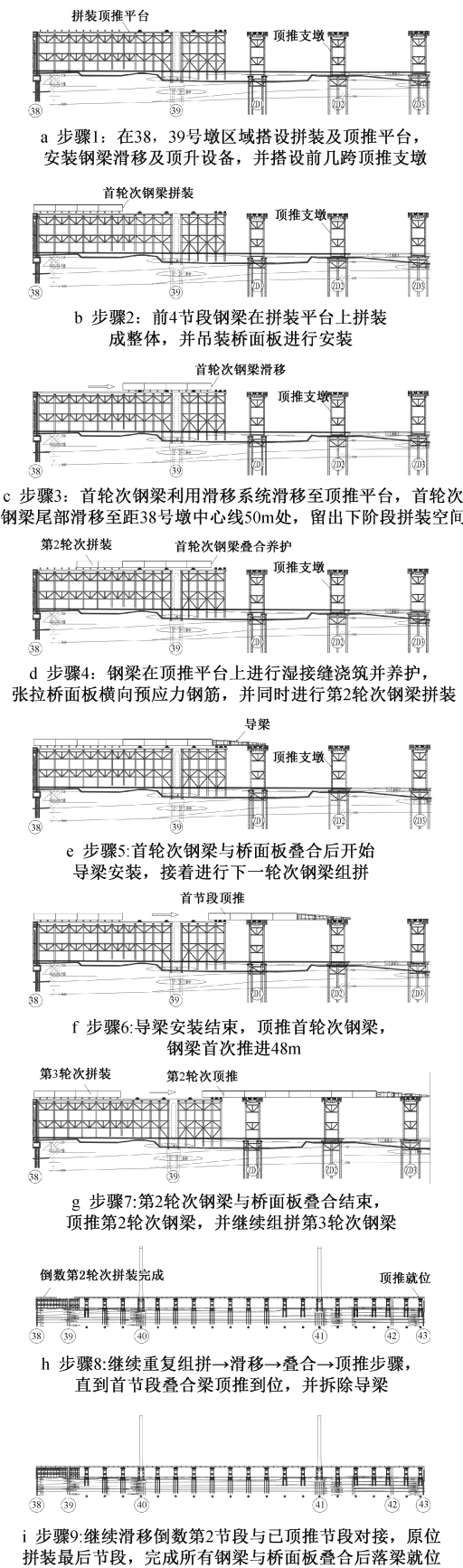


图 14 顶推施工流程

Fig. 14 Incremental launching construction flow

(下转第 97 页)

[8]

JIN S J, ZHANG D S, SHU Z, et al. Grey model theory used in prediction of subgrade settlement [J]. Applied mechanics and materials, 2011, 105-107: 1576-1579.

[9]

刘晓剑,金可云,温勇兵. 基于 GRU 神经网络的软土地区公路路基沉降预测方法 [J]. 公路与汽运, 2023 (2): 62-67.
LIU X J, JIN K Y, WEN Y B. Prediction method of highway subgrade settlement in soft soil area based on GRU neural network [J]. Highways & automotive applications, 2023 (2): 62-67.

[10]

MA S X. Forecast of highway subgrade settlement based on improved BP neural network [J]. Scientific research and reviews, 2020 (2): 589-598.

[11]

陈思远,武小菲,姜宏,等. 陡坡地段土石混填路基压实特性研究 [J]. 路基工程, 2022 (4): 57-63.
CHEN S Y, WU X F, JIANG H, et al. Study on compaction characteristics of soil-rock mixed subgrade in steep slope [J]. Subgrade engineering, 2022 (4): 57-63.

[12]

高福洲,陈思远,张俊云. 交通荷载下红层土石混填路基沉降特性研究 [J]. 路基工程, 2023 (5): 49-55.
GAO F Z, CHEN S Y, ZHANG J Y. On settlement characteristics of red-bed earth-rock mixture subgrade under vehicle loads [J]. Subgrade engineering, 2023 (5): 49-55.

[13]

王新国,王家强,李大鹏. 公路崩塌体路基处理及变形监测方法 [J]. 土工基础, 2015, 29 (6): 96-101.
WANG X G, WANG J Q, LI D P. Remediation of highway embankment collapses and deformation monitoring [J]. Soil engineering and foundation, 2015, 29 (6): 96-101.

[14]

中国有色金属工业西安勘察设计院有限公司,中国有色工程有限公司. 工程测量标准: GB 50026—2020 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.
Xi'an Engineering Investigation and Design Research Institute of China National Non-ferrous Metals Industry, China ENFI Engineering Co., Ltd. Standard for engineering surveying: GB 50026—2020 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021.

[15]

重庆市设计院,中国建筑技术集团有限公司. 建筑边坡工程技术规范: GB 50330—2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Chongqing Architectural Design Institute, China Building Technique Group Co., Ltd. Technical code for building slope engineering: GB 50330—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

[16]

魏道凯,寇海磊. 高速公路高填方路基沉降变形数据拟合与预测研究 [J]. 公路工程, 2018, 43 (1): 251-255.
WEI D K, KOU H L. Study on fitting and prediction of settlement deformation data of high fill roadbed in expressway [J]. Highway engineering, 2018, 43 (1): 251-255.

[17]

谢杰辉,牛富俊,彭智育,等. 滨海高速公路软基变形规律及沉降预测应用 [J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2021, 49 (4): 97-107.
XIE J H, NIU F J, PENG Z Y, et al. Deformation law and settlement prediction application of soft soil subgrade in coastal expressway [J]. Journal of South China University of Technology (natural science edition), 2021, 49 (4): 97-107.

[18]

李志雷,王伟,蔡旺. 曲线拟合法在黄土路基沉降预测中的应用 [J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2023, 47 (5): 952-955, 962.
LI Z L, WANG W, CAI W. Application of curve fitting method in settlement prediction of loess subgrade [J]. Journal of Wuhan University of Technology (transportation science & engineering), 2023, 47 (5): 952-955, 962.

[19]

中交第二公路勘察设计研究院有限公司. 公路路基设计规范: JTG D30—2015 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
CCCC Second Highway Consultant Co., Ltd. Specifications for design of highway subgrades: JTG D30—2015 [S]. Beijing: China Communications Press, 2015.

(上接第 61 页)

[6]

熊斌,虞志钢,马明,等. 下穿上跨既有交通线路钢箱梁桥顶推施工 [J]. 建筑结构, 2022, 52 (S1): 3138-3141.
XIONG B, YU Z G, MA M, et al. Top push construction of steel box girder bridge across existing transportation lines [J]. Building structure, 2022, 52 (S1): 3138-3141.

[7]

李传习,陈卓,董创文,等. 横向四滑道步履式顶推宽幅钢箱梁局部应力分析 [J]. 公路交通科技, 2019, 36 (4): 72-79.
LI C X, CHEN Z, DONG C W, et al. Analysis on local stress of wide steel box beam constructed by transverse four-slide walking-type incremental launching method [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2019, 36 (4): 72-79.

[8]

易善德,王德怀,文定旭,等. 双向超宽变腹板钢箱梁顶推施工工艺 [J]. 公路交通科技, 2021, 38 (S1): 112-117.
YI S D, WANG D H, WEN D X, et al. Construction technology of bidirectional extra-wide steel box girder with variable web [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2021, 38 (S1): 112-117.

[9]

张鸿,张永涛,周仁忠. 步履式自动化顶推设备系统研究及应用 [J]. 中外公路, 2012, 32 (4): 123-125.
ZHANG H, ZHANG Y T, ZHOU R Z. Research and application of walking automatic pushing equipment system [J]. Journal of China & foreign highway, 2012, 32 (4): 123-125.

[10]

汪学进,薛志武. 基于 ANSYS 的钢槽梁顶推施工过程分析与研究 [J]. 中国港湾建设, 2020, 40 (3): 8-12.
WANG X J, XUE Z W. Analysis and research on incremental launching construction process of steel groove beam based on ANSYS [J]. China harbour engineering, 2020, 40 (3): 8-12.

[11]

叶贵如,沈利栋,张治成,等. 梁拱组合体系拱桥整体顶推中的应力测试与分析 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (2): 64-69.
YE G R, SHEN L D, ZHANG Z C, et al. Stress measurement and analysis in overall incremental launching construction of beam-arch composite arch bridge [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2011, 28 (2): 64-69.

[12]

杨增权. 大跨曲线钢槽梁顶推施工关键技术 [J]. 公路交通科技, 2021, 38 (3): 56-62, 72.
YANG Z Q. Key technology of long-span curved steel trough beam incremental launching construction [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2021, 38 (3): 56-62, 72.