

工业厂房皮带廊结构改造托梁换柱加固技术

张进红

(北京建工四建工程建设有限公司, 北京 100024)

[摘要] 随着城市更新的推进, 针对一些大型工业建筑, 不仅要满足结构受力需要, 而且更需满足现代城市生活功能。针对已报废停产的工业厂房皮带廊项目, 为了满足城市园区交通需求, 需拔除旧厂房皮带廊项目跨中的混凝土立柱。最后采用钢托梁替代原混凝土梁的方式, 改变了结构传力路径, 通过ANSYS进行结构受力验算, 最终提出托梁换柱的加固改造方法, 现场安装临时支撑千斤顶进行结构卸载, 该方法不仅满足了原设计拆除部分支撑柱的要求, 同时也实现了结构原状和其历史风貌保护。

[关键词] 工业厂房; 改造; 皮带廊; 托梁换柱; 传力路径; 加固; 有限元分析

[中图分类号] TU758.11

[文献标识码]

A

[文章编号]

Strengthening Technology of Supporting Beam and Replacing Column for Belt Corridor Structure Transformation of Industrial Workshop

ZHANG Jinhong

(BCEG No.4 Construction Engineering Co., Ltd., Beijing 100024, China)

Abstract: With the advancement of urban renewal, for some large industrial buildings, it is not only to meet the needs of structural stress, but also to meet the needs of modern urban life function. This paper focuses on the scrapped and discontinued industrial factory belt corridor project. In order to meet the transportation needs of urban parks, it is necessary to remove the concrete columns in the middle of the old factory belt corridor project. At the end of the project, steel joists were used to replace the original concrete beams, changing the load path of the structure. ANSYS was used for structural force verification, and a reinforcement and renovation method of replacing joists with columns was finally proposed. Temporary support jacks were installed on site for structural unloading. This method not only met the requirements of the original design for dismantling some support columns, but also achieved the protection of the original state and historical appearance of the structure.

Keywords: industrial plant; renovation; belt corridor; supporting beams and replacing column; load path; strengthening; finite element analysis

0 引言

我国 20 世纪期间建造的大量工业厂房, 随着国家产业结构升级改造, 很多已停产, 其废弃的厂房结构多进行重新规划后加以改造, 形成城市新的组成部分。工业厂房的皮带廊^[1], 作为原工业景观的特色组成部分, 通过改造加固保留下来并保留其原有风貌, 是常见的规划方案。采用托梁换柱^[2]施工方法, 利用新增钢结构承托原结构荷载, 通过加固支座、安装承载钢梁、拆除原结构混凝土柱施工技术, 可实现皮带廊改造后的结构安全。同时, 拆除部分原混凝土柱形成大跨度结构, 下部规划道路正常通车后, 使皮带廊工业景观融入新的建筑群体。

1 工程概况

[作者简介]张进红, 工程师, E-mail:

[收稿日期]2024-06-30

怀柔金隅兴发地块科研楼及附属设施项目, 位于北京市怀柔区怀北镇河防口 544 号原兴发水泥厂院内, 工程性质为改造加固及新建, 使用功能为教学科研。本项目原建筑始建于 1991 年, 距今已 30 年, 为满足达到设计要求及后期使用需求, 需对原结构进行局部拆除改造施工。

本工程 3, 6 号皮带廊基础、梁、柱需加固并新增安装承载钢梁, 托换拆除位于道路中央的原混凝土柱, 并保持皮带廊建筑原有的工业风貌。新增钢梁支座一端设在原筒仓结构顶部, 另一端设在 3 轴 (道路边) 柱上部, 皮带廊筒仓一侧底部支座距地面 25m, 新增 500mm×800mm 钢筋混凝土结构梁作为另一侧支座。新增钢梁及拆除柱范围如图 1 所

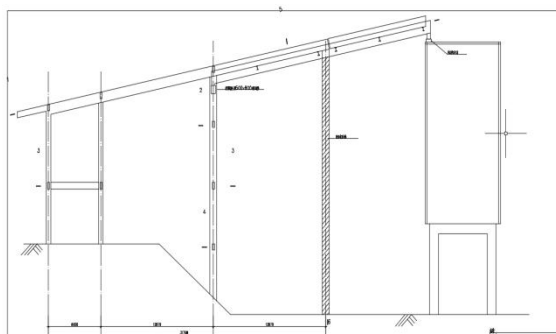


图 1 皮带廊立面

Fig.1 Elevation of belt corridor

2 方案设计

2.1 托梁换柱设计

皮带廊整体的结构改造加固方案^[3]采用托梁换柱的整体设计思路,即在皮带廊原结构下架设 2 道钢主梁,之后拆除原跨中支撑混凝土柱,形成钢梁承载的大跨度结构。

在新增钢主、次梁安装完成后,进行原结构支撑柱、梁拆除工作,使拆改后的结构传力体系按原结构→钢次梁→钢主梁→钢梁支座→支撑梁柱或筒仓墙体→基础的路径传力。

2.2 施工技术路线

1)基础和支座加固:通过采用原混凝土柱扩大截面加固、混凝土柱顶部新增混凝土梁作为钢梁支座,或直接在筒仓原支座位置加固,保证转换承载的钢梁支座稳固可靠。

2)主要机械设备:选用 80t 汽车式起重机、50t 汽车式起重机配合起吊钢梁。钢梁主梁分段起吊就位,搭设操作脚手架或在高空配合曲臂车拼装组焊。

3)传力路径^[4]转换设计:通过在原结构待拆除的柱、梁体系上加设千斤顶用于临时支承结构新增的钢主梁,利用千斤顶承受钢梁和原皮带廊结构重力荷载,在拆除柱顶与原结构连接部位后,利用千斤顶缓慢卸载,避免拆除过程中扰动、突然下沉或不均匀卸载导致结构出现意外安全问题。

2.3 受力分析

2.3.1 采用的分析软件

本次采用大型有限元软件 ANSYS14.5 进行受力分析^[5],其中脚手架采用 beam188

单元进行模拟,材料为 Q355B 钢材,所以定义弹性模量为 $2.06 \times 10^6 \text{MPa}$,密度为 7500kg/m^3 ,屈服强度为 355MPa ,在有限元软件中设置如图 2 所示。

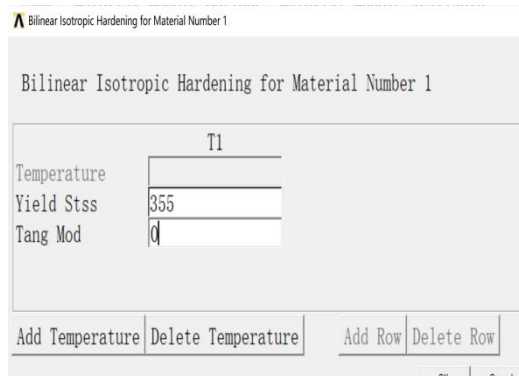


图 2 软件设置

Fig.2 Software settings

2.3.2 荷载设计

整体结构受力按 40kN/m 进行计算,然后按长度进行折合,恒荷载系数按 1.35,如左边第 1 跨 6600mm ,左边数第 1 根纵向托梁受力计算,荷载折合计算按下列公式进行:计算长度 $(6600+6600)/2=6600 \text{mm}$,斜向长度比为 $6600/25200$ (总跨度) $=0.261$,钢梁总长度按勾股定理计算为 25.7m ,所以左边第 1 跨的斜向梁长度为 $0.261 \times 25.7=6.71 \text{m}$,受到的恒荷载为 $1.35 \times 6.71 \times 40=362 \text{kN}$,2 个受力支点按每个点施加 181kN 竖向力进行计算。其余点的受力按同样情况进行简算,如图 3 所示。

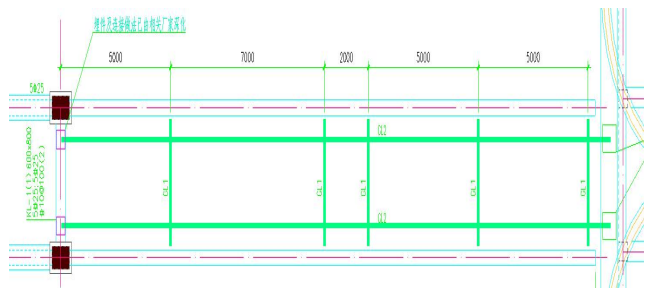


图 3 钢梁受力简化示意

Fig.3 Simplification of steel beam stress

2.3.3 计算结果

1)6 号皮带廊受力验算 (见图 4)

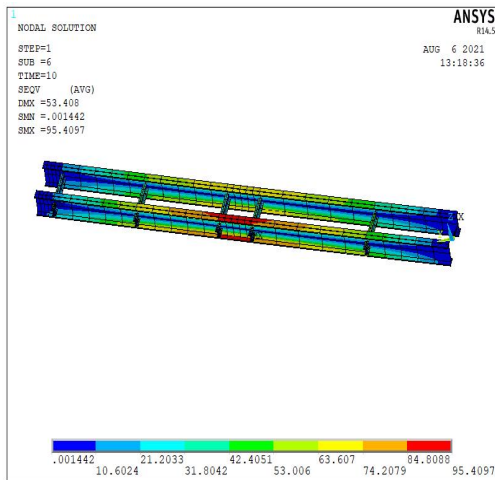


图 4 皮带廊受力验算

Fig.4 Stress calculation of belt corridor

由上述受力分析发现，由于在 6 号皮带廊的受力中考虑了活荷载因素，活荷载按 2kN/m^2 进行计算，6 号皮带廊的最大等效屈服应力约为 95MPa ，最大结构竖向变形为 52mm 。从结构受力角度可看出，整个皮带廊受力安全。

2)6 号皮带廊受风荷载影响受力计算（见图 5）

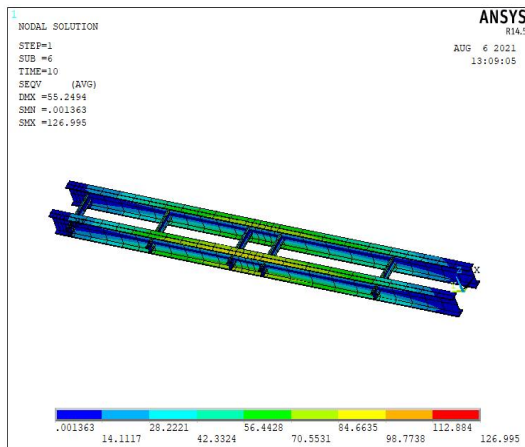


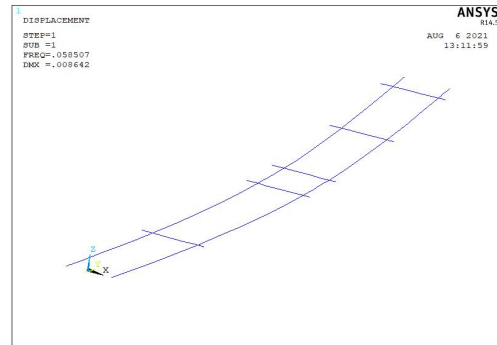
图 5 皮带廊受风荷载验算

Fig.5 Calculation of wind load on belt corridor

由上述受力分析发现，由于在 6 号皮带廊的受力中考虑了风荷载因素^[6]，风荷载按 0.6kN/m^2 进行计算，6 号皮带廊的最大等效屈服应力约为 126MPa ，最大结构竖向变形为 51.1mm ，最大侧向位移为 10.6mm 。从结

构受力角度可看出，整个皮带廊受力安全。

3)6 号皮带廊结构自振周期及风致振动（见图 6）



Available Data Sets:

Set	Frequency	Load Step
1	5.85068E-02	1
2	0.16945	1
3	0.19247	1
4	0.19530	1
5	0.24555	1

图 6 皮带廊自振和风振验算

Fig.6 Calculation of natural vibration and wind-induced vibration of belt corridor

由上述受力分析发现，结构的前 5 阶频率为 0.0585 ， 0.169 ， 0.192 ， 0.195 ， 0.245Hz ，但由于现场结构的约束复杂，质量因素影响较大，所以建议以实测自振频率为主。

由上述计算可知，整体结构受力安全，变形在可控范围内。

3 施工工艺

3.1 施工工艺流程

施工工艺流程为：基础加固→柱、梁边支座加固→筒仓支座加固→搭设操作脚手架→钢主梁吊装就位→钢次梁安装→安装千斤顶临时支撑→拆除跨中柱顶部位→千斤顶卸载→拆除原跨中支撑柱。

3.2 操作要点

3.2.1 基础加固

钢梁支座处结构柱下的基础需加固。基

础加固采用在 2 根结构柱连线正交方向加肋梁，肋梁宽 250mm。同时，原结构柱的独立基础扩大为筏板基础，混凝土设计强度等级为 C30。

3.2.2 柱、梁边支座加固

3.2.2.1 原柱、梁加固

皮带廊支座一般一端为筒仓，另一端为结构柱支撑。因工业厂房改造工程已服役较长年限，支座处梁、柱需扩大截面加固^[7]。

结构柱、梁加固主要采用四面扩大截面方式，柱、梁构件的截面增大尺寸为每边 100~150mm，并配置新的纵向钢筋和箍筋。

3.2.2.2 新增梁及支座埋件

新增混凝土梁埋件位置，在安装钢梁前对应下方位置设置 2 道钢支撑。

3.2.3 筒仓支座加固

筒仓上部新增钢梁及滑动支座安装固定^[8]，如图 7 所示。

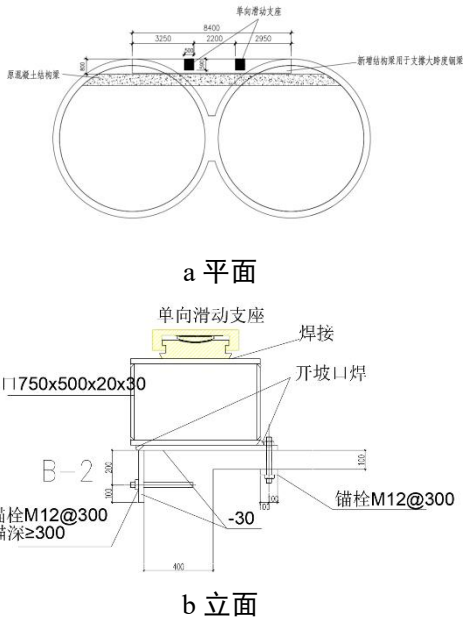


图 7 筒仓支座加固

Fig.8 Reinforcement of silo bearing

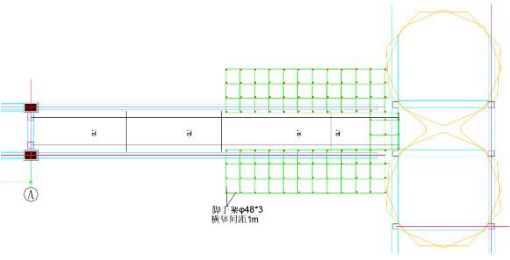
3.2.4 搭设操作脚手架

3.2.4.1 脚手架布置

钢主梁分 2 段吊装，因此脚手架在钢主梁其中一段安装部位搭设即可，减少搭设周转材料使用。

在皮带廊两侧搭设脚手架^[9]，中间为钢

梁安装空间。脚手架设上下马道和作业层通道，方便作业人员通行，如图 8a 所示。



a 脚手架

3.2.4.2 脚手架构造

1)架体底部铺设通长脚手板，保证基础稳固。

2)立杆间距≤1 200mm，在同一水平高度内相邻的立杆连接套管接头位置错开高度>600mm。

3)底层设纵横向水平杆作为扫地杆，距地面高度≤200mm。水平杆步距≤1 500mm。

4)脚手架外围满布剪刀撑，挂密目安全网。

5)操作层设加密小横杆，上部满铺 1 层作业脚手板。

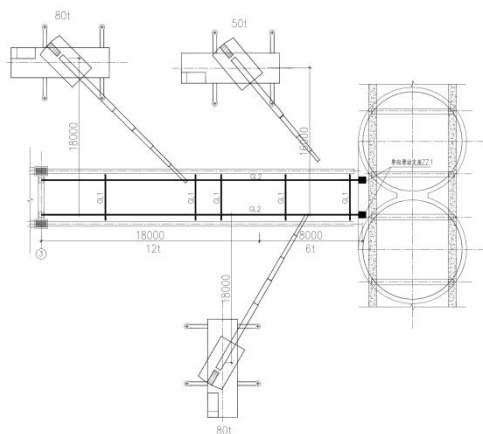
3.2.4.3 抱柱等加固措施

脚手架与已加固完成的混凝土柱进行可靠连接，拉接的竖向间距按 2 步架体的水平杆间距即 3 000mm 实施。整段施工段内的架体形成一个可靠整体，保证架体整体稳定性。

3.2.5 钢梁吊装就位

3.2.5.1 起重设备选用及布置

起重机应根据钢主梁最重的构件确定型号（见图 8b）。



b 起重机

图 8 脚手架与起重机平面位置布置

Fig.8 Plan position layout of scaffolds and cranes

3.2.5.2 吊装准备

为配合现场吊装钢梁，需在皮带廊楼板和屋面对应位置开洞，用于汽车式起重机吊钩穿过，洞口尺寸不小于 $3\,000\text{mm} \times 3\,000\text{mm}$ （开洞数量 4 个），开洞处的预制板后期利用其他待拆除皮带廊预制板替换，保证原结构风貌。

3.2.5.3 钢主梁吊装

钢主梁（GL2）^[10]按分段吊装、高空安装焊接固定的方法施工。需在原皮带廊结构屋面和底板部位开吊装洞，吊钩穿过吊装洞起吊钢梁（见图 9）。

1)安装第 1 段主梁：采用 80t 汽车式起重机将分节钢梁起吊至皮带廊下部，其中一端缓慢塞入柱-梁支撑支座上部。南侧 50t 汽车式起重机从皮带廊上方洞口落钩并与钢梁上方吊点连接，北侧 80t 汽车式起重机从皮带廊上方洞口落钩与钢梁下方吊点连接，2 台汽车式起重机配合将钢梁吊至指定位置。

2)利用北侧 80t 汽车式起重机将上端钢梁提升至指定位置。

3)上、下端大梁吊至接近安装位置后，原结构两侧圈梁上方设置型钢梁（HW200 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 12）用于固定倒链，用倒链调整钢梁角度，采用曲臂车在高空配合拼装组焊，待焊缝检测合格后就位。之后将钢主梁与支座短钢柱焊接并上、下加固。

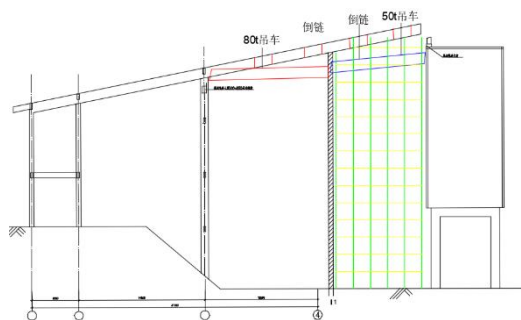


图 9 钢梁吊装入位

Fig.9 Lifting and positioning for steel beams

3.2.5.4 钢次梁吊装

依次安装钢次梁（GL1）并焊接固定。钢次梁采用汽车式起重机吊至脚手架作业面，再用倒链移动至安装部位。

钢次梁（GL1）与皮带廊混凝土梁下方预留 2~3mm 缝隙，缝隙处加塞 4~8mm 楔铁，使钢次梁与混凝土梁贴合密实。

钢次梁（GL1）外侧加设 L 75 $\times$ 5，横向与钢次梁上翼缘焊接并与原结构混凝土梁侧面顶紧，消减风荷载对皮带廊横向作用的整体影响。

3.2.6 安装千斤顶临时支撑

在钢主梁（GL2）下部设置 2 台千斤顶（30t），用于整体卸载时的临时支撑。安装后 2 台千斤顶^[11]应顶紧钢梁下翼缘。

千斤顶设置在临时支撑钢梁（H350 $\times$ 200 $\times$ 10 $\times$ 20）上部，下部设置 2 根撑管（100 $\times$ 100 $\times$ 4），撑管固定于原结构混凝土梁上。原混凝土结构梁下方设置脚手架支撑体系（见图 10）。

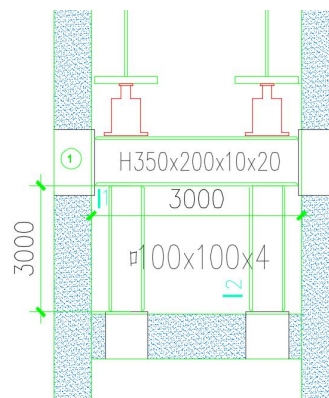


图 10 临时支撑立面布置

Fig.10 Elevation layout of temporary support

3.2.7 钢梁临时支撑卸载

1)切除原跨中柱顶连接部位。将原跨中支撑混凝土柱顶部切除,切除高度约在100mm(大于结构计算变形量),使混凝土柱和原皮带廊混凝土梁分离。利用2台绳锯进行切割拆除,混凝土梁下支撑的2根混凝土柱应同步拆除,拆除过程中控制切割进度,确保切割速度一致,并同步进行结构变形监测。绳锯第1道切割完成后,再切割第2道,随后拆除顶部混凝土块并清理干净。

2)千斤顶卸载。柱顶混凝土块清理完成后,检查结构变形,确认安全后,开始进行千斤顶卸载。缓慢下调2台千斤顶,2台千斤顶卸载过程必须同步,直至整个结构趋于稳定。继续下调千斤顶,使临时支撑的千斤顶与上部混凝土梁间逐渐形成3~5cm高差。这时卸载结束。后续进行3d的结构沉降观测,确认安全后拆除千斤顶。

3.2.8 跨中柱拆除

柱拆除时,按2m一段分段施工,遇有梁时,在梁顶500mm以上设置柱切割缝,上部柱切割完成后方可进行梁切割。结合现场拆除的实际高度,为便于切割块拆除吊运,选用50t汽车式起重机吊运混凝土块。

切割前在混凝土构件上用水钻开孔,开孔直径100mm,穿钢丝绳用汽车式起重机悬挂,切割过程中必须挂住,必要时设置控制绳,防止切断瞬间构件晃动造成安全隐患。

拆除过程中,同步进行脚手架拆除和脚手板铺设,为拆除施工创造作业面,拆除作业面必须满铺脚手板,周边防护齐全有效,作业人员佩带安全带。

切割时全程用雾炮降尘,减少扬尘。

3.3 临时支撑与卸载的质量控制措施

1)由于钢主梁为斜梁,需在钢主梁下增加支撑三角板,用水平靠尺保证支撑三角板水平的平整度。

2)钢支撑架设安装,应用经纬仪控制钢支撑垂直度。

3)千斤顶临时支撑卸载时,对顶部下降位移严格监测,注意其是否在下降规定范围内。确保其无弯曲或变形。

5)对卸载处钢构件焊缝进行严格检查,确保无裂纹。

6)卸载操作过程中,应按程序要求卸载群顶^[12],并根据等距与同时性原则循环卸载。卸载过程中,每卸载5mm行程,作业人员应当及时向指挥者汇报卸载点状况;5mm卸载任务确认完成后,再进入下个卸载程序。

7)卸载到预定值时,对千斤顶退出情况进行观察。若卸载时有部分卸载点出现挠度增大现象,应及时通知指挥者并暂停卸载操作;对位移值进行计算并核对卸载安全性确认无误后再继续卸载。

4 结语

对工业厂房的皮带廊等线性结构进行托梁换柱的加固改造,以扩大其结构跨度,此种做法相关参考资料少,通过创新施工方法,从经济、质量、安全等方面考虑,优化改造结构的传力路径,达到保留原工业景观的设计要求,满足改造工程景观、道路规划的使用要求。

整体改造工程采用设置2台千斤顶临时支撑、拆除原支撑后缓慢同步卸载的方法,保证原结构改变支撑体系过程中传力平稳过渡,确保施工安全。

参考文献:

[1] 陈国辉.某矿精矿堆场皮带廊支座滑落原因分析[J].矿业研究与开发,2001(6):30-32,35.

CHEN G H. Analysis of the causes of sliding support of belt gallery in concentrate yard of a mine [J]. Mining research and development, 2001(6): 30-32,35.

[2] 庞栋戈,张惠聪,娄元清,等.废旧工业厂房托梁换柱加固改造施工技术[J].建筑技术开发,2023,50(3):53-56.

PANG D G, ZHANG H C, LOU Y Q, et al. The reinforcement and retrofitting technology of supporting beams and replacing columns for the old industrial buildings[J]. Building Technology development, 2023, 50(3): 53-56.

- [3] XIANG P, JI H G, ZHANG G Q, et al. Theoretical analysis of grouting reinforcement for surrounding rock of deep shaft based on stability and water inflow control[J]. *Frontiers in earth science*, 2023:1126764.
- [4] LI H H, SHEN L, DENG S W. A generalized framework for the alternate load path redundancy analysis of steel truss bridges subjected to sudden member loss scenarios[J]. *Buildings*, 2022, 12(10):1597.
- [5] 李欢.基于 ANSYS 的掘锚一体机滑移机构受力分析与结构优化 [J]. *建设机械技术与管理*,2023,36(1):84-86.
- LI H. Force analysis and structural optimization of the sliding mechanism of the excavator-anchor machine based on ANSYS [J]. *Construction machinery technology & management*, 2023, 36(1): 84-86.
- [6] 韩忠安. 基于 ANSYS 的钢箱梁顶推过程受力分析[J]. *城市建设理论研究(电子版)*, 2022(29): 118-120.
- HAN Z A. Analysis of stress in steel box girder jacking based on ANSYS[J]. *Urban construction theory and research (electronic version)*, 2022(29): 118-120.
- [7] 张渔.钢盖梁加固独柱墩桥梁抗倾覆性能研究[J].*河南科技*,2022,41(18):68-71.
- ZHANG Y. Research on the anti-overturning performance of single-column pier bridges reinforced with steel cap beams [J]. *Henan science and technology*, 2022, 41(18): 68-71.
- [8] 王晓微,杜晓雷,吴杰良. 高速公路独柱单支座桥梁加固方案选择与实践[Z]. 2022.
- WANG X W, DU X L, WU J L. Selection and practice of reinforcement schemes for single-pillar single-bearing bridges on expressways[Z]. 2022.
- [9] 周泓.盘扣式悬挑脚手架施工关键技术[J].*建筑机械*,2023(3):17-19.
- ZHOU H. Key construction technology of disk button overhanging falsework [J]. *Construction machinery*, 2023(3): 17-19.
- [10] 赵攀.澳氐四桥主桥钢梁安装和监控方案研究[J].*铁道建筑技术*,2023(1):138-142.
- ZHAO P. Study on the installation and monitoring scheme of the steel girder of the main bridge of the Fourth Bridge of the Aomen-Taipa Link [J]. *Railway construction technology*, 2023(1): 138-142.
- [11] 许康,刘继岩.薄片式千斤顶在既有桥梁支座更换中的应用[J].*运输经理世界*,2022(13):115-117.
- XU K, LIU J Y. Application of thin jack in replacement of existing bridge support [J]. *Transport business China*, 2022(13): 115-117.
- [12] 黄中营,王猛,曹伟,等.北京工人体育场大跨度开口单层拱壳钢屋盖卸载技术研究[J].*建筑结构*,2023,53(6):26-30.
- HUANG Z Y, WANG M, CAO W, et al. Study on unloading technology of large-span opening single-layer arch steel roof of Beijing Workers Stadium[J]. *Building structure*, 2023, 53(6):26-30.