

DOI: 10.7672/sgjs2026080036

跨既有设备门式支撑架体系设计与应用*

李 运¹, 张 新¹, 王 睿², 徐志强¹, 朱陟元¹

(1. 山东建筑大学土木工程学院, 山东 济南 250101;

2. 济南市工程质量与安全中心, 山东 济南 250102)

[摘要] 工业建筑施工中,经常遇到先安装设备再施工屋面的情况,屋面是混凝土结构时,由于提前安装的设备占用了支撑架的空间,这就对后续混凝土模板支撑体系设计和施工带来了难题。以济南某自来水厂工程为研究背景,针对屋面板未浇筑且设备已安装的工况,设计了一种跨既有设备的门式支撑架体系。该体系架体采用Z形盘扣架,立杆顶部U形顶托内设置I18连梁,工字钢两侧用木楔顶紧。连梁上方设置横跨设备的工字钢平台,采用6m长I20B及9m长I32C,平台上铺设分配梁后进行屋面混凝土结构支撑架搭设。采用有限元分析软件建立门式平台三维整体模型并进行数值分析,分析结果显示,门式支撑体系的力学特性与结构整体稳定性均符合规范要求。支撑体系拆除阶段,运用“双手拉葫芦协同吊运”拆除方案,通过顶部葫芦垂直提升、侧面葫芦水平牵引,实现狭窄空间内工字钢吊运拆除。基于盘扣架的门式支撑体系有效解决了室内狭小空间跨既有设备的施工难题。

[关键词] 工业建筑;门式支撑架;盘扣式支撑架;设计;有限元分析

[中图分类号] TU744

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)08-0036-06

Design and Application of Portal-type Support Frame System Spanning Existing Equipment

LI Yun¹, ZHANG Xin¹, WANG Rui², XU Zhiqiang¹, ZHU Zhiyuan¹

(1. School of Civil Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, Shandong 250101, China;

2. Jinan Engineering Quality and Safety Center, Jinan, Shandong 250102, China)

Abstract: In industrial building construction, the scenario of installing equipment prior to roof construction is frequently encountered. When the roof is a concrete structure, the pre-installed equipment occupies the space required for support systems, posing significant challenges to the design and construction of the subsequent concrete formwork support system. Focusing on a water plant project in Jinan, this study addresses the working condition where roof slabs are not cast yet but equipment is installing already, by designing a gantry support system spanning over the existing equipment. Z-shaped rosette-type scaffold is employed in the support system, with I18 steel joists placed in the U-shaped jacks at the top of the vertical members, secured on both sides with wooden wedges. Above these joists, a steel platform spanning over the equipment is installed, utilizing I20B steel sections for the 6-meter span and I32C steel sections for the 9-meter span. Distribution beams are laid on the platform to facilitate the erection of the support system for the roof concrete structure. A three-dimensional finite element model of the gantry platform was developed and numerically analyzed. The results demonstrate that the mechanical performance and overall structural stability of the gantry support system comply with standard requirements. During the dismantling phase, a “dual-chain-block coordinated lifting” method was employed, utilizing top-mounted blocks for vertical hoisting and side-mounted blocks for horizontal traction, enabling the safe removal of steel sections within confined spaces. The rosette-based gantry support system effectively resolves construction challenges associated with spanning existing equipment in

* 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)(2021CXGC011204)

[作者简介] 李 运, 硕士研究生, E-mail: 15153184126@163.com

[通信作者] 张 新, 副教授, 硕士生导师, E-mail: 15969698504@163.com

[收稿日期] 2025-10-27

limited indoor spaces.

Keywords: industrial buildings; gantry support frame; plate type supports; design; finite element analysis

0 引言

工业建筑施工过程中,部分设备因尺寸较大或存在特殊工艺要求,需在屋面结构施工前进场安装,由此导致混凝土屋面支撑架需跨越已安装设备,这增加了支撑架搭设难度。

竹永良等^[1]、李成强^[2]采用格构式型钢柱与型钢横梁组成的门式支撑架实现材料运输和跨越既有桥梁。周伟明^[3]、岳帅庆等^[4]、苏少雄等^[5]、陆峰等^[6]提出采用钢管立柱与型钢梁组成门式支撑架,解决了现浇桥梁的门洞支架搭设问题。王欢^[7]、周兴^[8]则采用由钢管立柱与贝雷梁组成的门式支撑架,完成现浇桥梁支架的搭设。赵建民^[9]、梁朝安等^[10]研究设计了大跨度的门洞支架体系,该体系将钢管立柱、型钢横梁与贝雷梁结合,显著提升了支架体系的跨越能力与适应性。

综上所述,目前门式支撑架体系的构造主要采用格构式钢立柱或粗钢管柱作为竖向支撑立柱,横梁采用型钢或贝雷架,该门式支撑架体系构件质量较大,安装与拆除一般都需用到大型吊装机械。房屋建筑室内空间狭窄,支撑架体系的拆除大都需要人工完成,因此目前常见门式支撑架体系难以适用。本文结合济南市某自来水厂室内跨越既有设备门式支撑架的设计与施工,对一种便于安装与拆除的门式支撑架体系进行设计和应用,为类似工程提供参考和借鉴。

1 工程概况

济南市某自来水厂工程为地上1层框架结构,建筑总面积为423.50m²,建筑高度为9.05m。屋面混凝土板厚120mm,梁截面尺寸为250mm×450mm,250mm×500mm,250mm×700mm,300mm×800mm。由于水厂设备尺寸超限,故需在屋面板施工前进场安装完成。建筑平面如图1所示。

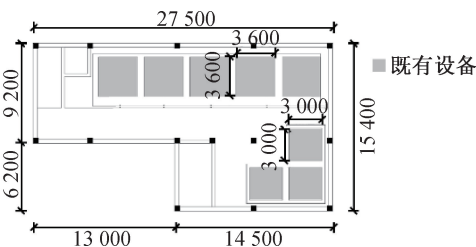


图1 建筑平面

Fig. 1 Building plan

2 重难点分析及方案比选

2.1 重难点分析

水厂设备尺寸较大,需在屋面结构施工前进行安装,导致在设备位置处混凝土支撑架无法落地,需设计跨越设备的门式支撑架。由于后期大型吊装设备无法进入室内,架体拆除都需人工操作,门式支撑架体系的安拆便捷性是设计和施工中的重点。此外,既有设备的保护也是需要重点考虑的问题。

2.2 方案比选

结合目前门式支撑架体系的研究现状和工程实际情况,提出两种门式支撑架设计方案。

1) 方案1。竖向支撑采用粗钢管,钢管间设置连接杆,粗钢管下部设置钢筋混凝土基础。钢管柱顶设置纵向工字钢分配梁,分配梁上部设置横向工字钢作为架体支撑平台,其三维模型如图2所示。

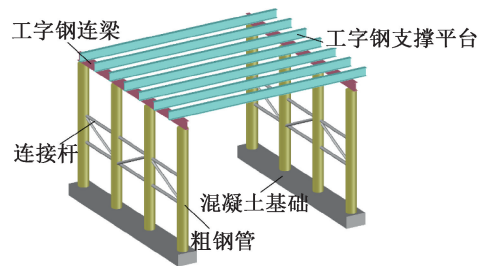


图2 型钢柱式门式支撑架

Fig. 2 Portal-type support frame with rolled steel column

2) 方案2。竖向支撑采用“Z”或“B”形盘扣架,盘扣架立杆底部的可调底座直接放在持力层上。立杆顶部可调U形顶托内设置纵向工字钢分配梁,分配梁上部设置横向工字钢作为架体支撑平台,其三维模型如图3所示。

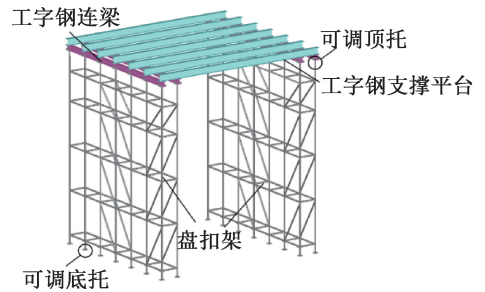


图3 盘扣式钢管门式支撑架

Fig. 3 Portal-type support frame with disk lock steel pipe

对2种方案进行比选,如表1所示。

由于方案1的门式支撑架体系自重较大,其安装与拆除均需大型吊装设备。而在屋面施工完成后,吊装设备无法进入室内进行拆除作业,因此该方案在房

表1 方案比选

Table 1 Scheme comparison

| 方案 | 主要材料 | 造价 | 安拆便捷性 |
|-----|---------------------|--------------------------------|--|
| 方案1 | 粗钢管柱、工字钢、角钢、C30 混凝土 | 构件需加工制作,材料成本高,安拆需大型吊装设备,机械成本高 | 构件自重较大,安拆均需采用大型吊装机械,拆除时由于高度限制需人工与机械相配合 |
| 方案2 | 盘扣式钢管、U形顶托、可调底座、工字钢 | 盘扣架体可租赁,材料成本较低,安拆主要采用人工,人工成本较高 | 盘扣架体安拆均需人工操作,工字钢安装可采用大型吊装设备,拆除时采用人工拆除 |

屋建筑中实施难度较大。相比之下,方案2在安装与拆除方面较为便捷,针对本项目具有更高的可行性。

3 方案设计

门式支撑架系统包含门式支撑平台和上部模板支撑架两部分。

3.1 门式支撑架平台设计

门式支撑架平台包含竖向支撑架和水平支撑平台两部分,具体设计如下。

1) 竖向支撑架设计

支撑架采用盘扣式“Z”形架体,立杆钢管外径为60.3mm,壁厚3.2mm,材质为Q355钢;水平杆和水平斜杆钢管的外径为48.3mm,壁厚2.5mm,材质为Q235钢。支撑架竖向斜杆采用间隔2跨的布置方式,立杆纵、横向间距均为600mm,由于设备两侧施工场地过小,部分立杆横向间距为300mm。

2) 水平支撑平台设计

水平支撑平台需承担模板及架体自重、混凝土浇筑荷载及施工活荷载等竖向荷载。竖向支撑架立杆顶部U形顶托内设置通长I18连梁,连梁可将平台传递的集中荷载均匀分配至多个U形顶托,再由顶托传递至立杆,避免单个顶托或立杆因偏心受压导致失稳破坏。

连梁上部搭设工字钢作为支撑平台,根据已安装设备布置,支撑平台的选型基于对既有结构的保护原则。经设计,跨越4.55m实际跨度的区域,采用6m长I20B;跨越8.1m实际跨度的区域,采用9m长I32C。通过增加工字钢的长度,使其两端能稳固地搭设于门式支撑架的竖向支撑,为下方既有设备提供安全空间。由于上部混凝土梁间距不一,导致梁下立杆位置与平台工字钢位置存在错位,因此平台上部设置I18作为分配梁。节点构造如图4所示。

因现场施工空间狭窄,9m长工字钢另一端放置在已浇筑完成的混凝土框架梁上部,框架梁顶设置

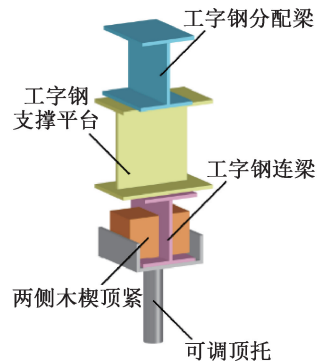


图4 支撑平台节点构造

Fig. 4 Support platform connection detail

U形箍固定工字钢,框架梁下部支撑架保留,直至施工结束,如图5所示。

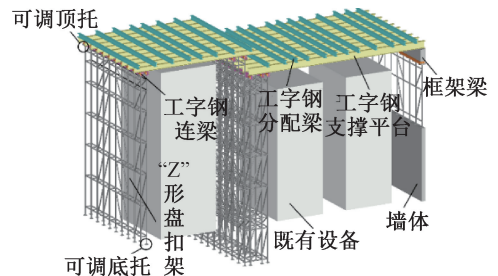


图5 门式支撑架三维设计

Fig. 5 3D design of portal-type support frame

3.2 模板支撑架设计

模板支撑架采用B形盘扣式支架,梁、板模板均选用12mm厚木胶合板。模板下铺设40mm×70mm木方,间距200mm;梁侧及梁底采用同规格木方,其中梁底均匀布置3根。主龙骨均采用φ48.3×3.6双钢管,间距为900mm。立杆步距统一为1500mm,板下立杆按900mm×900mm间距布置;梁下则沿梁方向每900mm设置1根立杆,梁侧立杆与梁下立杆的间距为600mm。架体设置竖向斜杆,按间隔两跨的原则布置。支撑体系平面及剖面如图6,7所示。

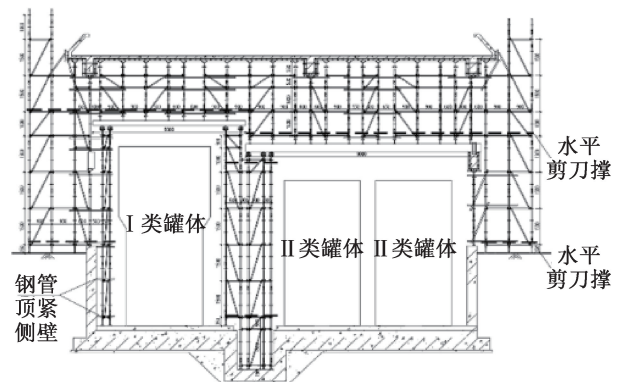


图6 支撑体系平面布置

Fig. 6 Plan layout of support system

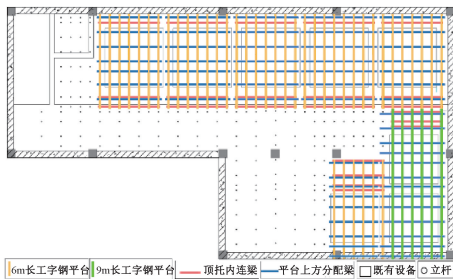


图7 支撑体系剖面

Fig. 7 Profile of support system

3.3 有限元模型建立

采用有限元软件 SAP2000 建立部分门式支撑架的三维有限元模型,对门式支撑架进行承载力、刚度以及整体稳定性分析。

模型中,支撑架底部与地面采用铰接的方式。顶部与工字钢梁同样采用铰接,传递竖向力和水平力,不限制钢梁相对转动,避免附加内力。工字钢门式支撑平台置于结构框架梁一端设铰接,允许转动适应弯曲变形,另加自转约束限制钢梁绕轴转动,确保平台的稳定性。根据 JGJ/T 231—2021《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》,水平杆与立杆是半刚性连接,连接节点具有一定的抗扭转能力,抗扭转刚度取 $8.6 \times 10^7 (\text{N} \cdot \text{mm})/\text{rad}$,竖向斜杆与立杆及水平杆均采用铰接的方式。架体材料参数依据相关规范取值,泊松比为 0.3,弹性模量取 206GPa,密度为 $7850 \text{kg}/\text{m}^3$,三维模型如图 8 所示。

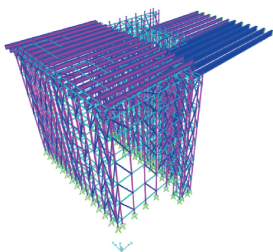


图8 支撑架有限元模型

Fig. 8 Finite element model of the support frame

门式支撑架上部的永久荷载与可变荷载以线荷载形式施加于工字钢梁,以集中荷载的形式施加于立杆顶部。荷载均按《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》、GB 50666—2011《混凝土结构工程施工规范》、JGJ 162—2008《建筑施工模板安全技术规范》、GB/T 706—2016《热轧型钢》等相关规定取值,如表 2 所示。

根据支撑架设计参数计算施加给工字钢门式支撑平台的永久荷载为 $7.33 \text{kN}/\text{m}$,可变荷载为 $1.8 \text{kN}/\text{m}$ 。立杆顶部所施加的永久荷载为 6.60kN ,

表2 荷载取值

Table 2 Load values

| 荷载种类 | 荷载名称 | | 荷载标准值 |
|------|--|-----------|-------|
| 永久荷载 | 模板及主次梁自 | 梁 | 0.57 |
| | $G_{1k}/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$ | 板 | 0.45 |
| | 支撑架体自重 | 梁 | 0.27 |
| | $G_{2k}/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$ | 板 | 0.22 |
| | 钢筋混凝土自重 | 梁 | 25.1 |
| | $G_{3k}/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$ | 板 | 25.5 |
| | 工字钢自重 | I18 | 24.1 |
| | $G_{4k}/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-1})$ | I20B | 31.1 |
| | | I32C | 62.7 |
| | 可变荷载 | 施工人员及设备荷载 | |
| | $Q_{1k}/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-2})$ | | |

可变荷载为 1.62kN 。

支撑架强度与稳定验算所采用的荷载组合为: $1.3 \times$ 永久荷载+ $1.5 \times$ 可变荷载;支撑架刚度验算所采用的荷载组合为: $1.0 \times$ 永久荷载+ $1.0 \times$ 可变荷载。

3.4 有限元分析结果

1) 强度分析

在“1.3 倍永久荷载+1.5 倍可变荷载”的组合条件下,对支撑架进行了内力分析。立杆承受的最大轴力为 65.24kN ,最大弯矩为 $1.74 \text{kN} \cdot \text{m}$,最大应力为 153.69MPa ,小于立杆钢材的强度设计值 300MPa ,立杆的强度满足设计要求。

立杆顶部工字钢梁的最大正应力为 135.03MPa ,小于工字钢钢材的抗拉强度设计值 215MPa ;最大剪应力为 21.08MPa ,小于工字钢钢材的抗剪强度设计值 125MPa ,满足标准要求。

门式支撑架应力比云图如图 9 所示,架体应力比最大值处位于门式支撑架中 9m 工字钢支撑平台位置,数值为 0.776,小于规范限值 1,满足规范要求。

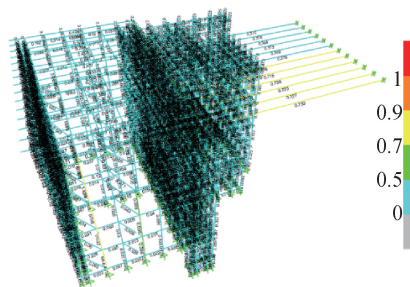


图9 门式支撑架应力比云图

Fig. 9 Stress ratio for portal-type support frame

2) 挠度分析

在“1.0 倍永久荷载+1.0 倍可变荷载”的组合条件下,对支撑架进行了变形刚度分析,支撑架竖向位移云图如图 10 所示。6m 工字钢最大竖向变形为 7.64mm ,小于计算跨度的 $1/250$,满足

GB 50666—2011《混凝土结构工程施工规范》中的变形要求;9m 工字钢最大竖向变形为 24.45mm,小于计算跨度的 1/250,满足要求。因此,立杆顶部工字钢梁的刚度满足设计要求。

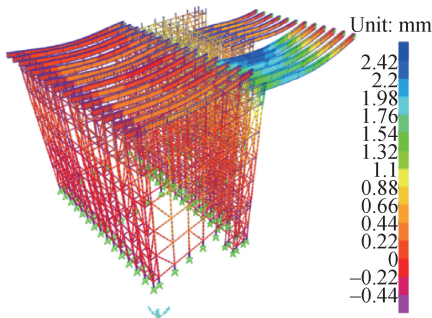


图 10 门式支撑架竖向位移云图

Fig. 10 Vertical displacement for portal-type support frame

3) 稳定性分析

在“1.3 倍永久荷载+1.5 倍可变荷载”的组合条件下,对支撑结构进行了全面的屈曲分析,并考虑了其几何非线性特征。分析结果显示,一阶模态下屈曲因子达到 5.57,屈曲荷载为屈曲因子与实际作用荷载的乘积,屈曲因子越大,说明结构屈曲时的荷载相对于实际初始时的荷载越大,结构越难发生失稳。在上述荷载组合条件下,支撑结构的整体稳定性能够达到设计要求。

4 支撑体系的安装与拆除

4.1 支撑体系安装

1) 门式支撑平台安装

首先进行竖向支撑盘扣架的安装,在安装前,对下方的既有设备采取保护措施,使用防护垫覆盖设备顶部,防止轻微磕碰。施工人员在作业面上,采用人工搭设的方式,按设计间距逐层安装盘扣式钢管立杆,控制立杆位置,确保其能够跨越下方的既有设备,并同步设置水平杆与竖向斜杆,形成稳定的门式支撑架体系。

竖向支撑验收合格后,进行水平支撑平台的安装。因工字钢自重较大,无法依靠人工安装,由于安装时屋面结构尚未施工,故采用汽车式起重机进行吊装作业。在吊装前要明确吊装路径,确保吊臂及平台在起吊、回转和就位全过程均有足够空间。吊装时由专人统一指挥,做到慢起、缓行、精准落位,将平台安装于竖向支撑顶部,支撑平台吊装如图 11 所示。

2) 模板支撑架安装

上部模板支撑架安装时,立杆均需落在分配梁上,为确保立杆位置精确,在分配梁上预设定位桩,

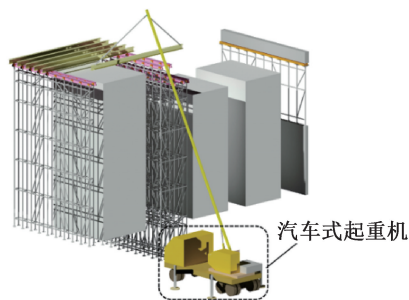


图 11 支撑平台吊装

Fig. 11 Support platform lifting

安装时将定位桩插入立杆底部,从而实现准确定位与固定。安装过程中要确保该部分架体通过水平杆或扣件与周边模板支撑架进行可靠连接,形成稳定的整体受力体系,现场搭设如图 12 所示。



图 12 支撑体系现场搭设

Fig. 12 Installation of support system in the construction site

4.2 支撑体系拆除

由于屋面施工已完成,汽车式起重机无法进入现场,门式支撑平台的拆除工作需完全依靠人工作业。拆除时由上而下逐层进行,严禁高空抛掷,防止构件坠落。

因工字钢自重较大,无法直接由人工拆卸,施工中在屋面结构顶部的结构梁上预埋了吊环,设置两个手拉葫芦与之连接,采用“双手拉葫芦协同吊运”的拆卸方法。工字钢顶部的手拉葫芦承担其主要竖向荷载,使其平稳、垂直起吊;同时通过侧面的手拉葫芦施加水平牵引力,使型钢水平移动,实现双维度控制。此方法有效降低了工字钢失稳、摆动及碰撞的风险。

拆除门式支撑平台前,确保平台上部的模板支撑架全部拆除完毕。工字钢靠近两端的位置选择合适的吊点,将手拉葫芦与其进行可靠连接,若工字钢端部存在锚固,则必须在吊挂保护状态下解除端部锚固。拆除时先操作顶部手拉葫芦,将型钢垂直向上平稳提升一定距离,确保其完全脱离原锚固

位置没有障碍。同步操作侧面牵引手拉葫芦,向型钢下落方向施加水平牵引力,现场平台拆除如图 13 所示。操作顶部手拉葫芦,将型钢垂直向下平稳放置到地面。在整个拆卸过程中手拉葫芦的移动应缓慢、平稳,避免因型钢摆动而碰撞周边结构。

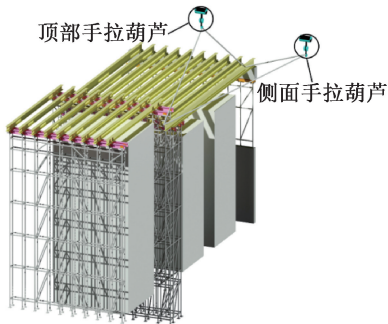


图 13 支撑平台拆除

Fig. 13 Demolition of support platform

5 结语

本文以济南市某自来水厂工程为例,设计了一种在房屋内跨既有设备的门式支撑架体系。将盘扣式支撑架与工字钢相结合,在立杆顶部设 U 形顶托支撑 I18 连梁,用木楔防侧移。将 I20B 或 I32C 作为水平支撑平台,平台上布置 I18 分配梁后进行屋面混凝土结构模板支撑架搭设。采用 SAP2000 对门式支撑架进行有限元分析,分析结果显示其整体稳定性能够达到设计要求。在门式支撑架拆除过程中,采用“双手拉葫芦协同吊运”的方法拆除支撑平台,替代了传统拆除方式。

此类门式支撑体系的设计,不仅安拆便捷,还有效避免了既有设备受到破坏。该支撑体系还具备高度的灵活性和可调性,能够根据不同结构的形状和尺寸搭设支撑架,大大提升了施工效率和安全性,可为类似跨越既有设备的工业建筑施工提供参考。

参考文献:

- [1] 竹永良,张灵传,张敬黎. 杭州奥体中心材料运输通道支撑体系设计[J]. 施工技术,2014,43(S2):476-479.
ZHU Y L, ZHANG L C, ZHANG J L. Design of support system for material transport passage in Hangzhou Olympic Sports Center[J]. Construction technology, 2014, 43(S2): 476-479.
- [2] 李成强. 跨既有立交桥的钢箱梁支撑体系研究与应用[C]//土木工程新材料、新技术及其工程应用交流会论文集(中册),2019.

LI C Q. Research and application of steel box girder support system across existing interchange [C]//Proceedings of the Exchange Conference on New Materials, New Technologies and Their Engineering Applications in Civil Engineering (middle volume), 2019.

- [3] 周伟明. 不同施工环境下混凝土箱梁支架现浇施工技术研究[J]. 施工技术,2017,46(S2):846-849.
ZHOU W M. Study on cast-in-place construction technology of concrete box girder support in different construction environment [J]. Construction technology, 2017, 46(S2): 846-849.
- [4] 岳帅庆,崔登云,高云锋,等. 青岛海湾大桥跨胶黄公路人行门洞支架结构计算分析[J]. 青岛理工大学学报,2011,32(6):20-25.
YUE S Q, CUI D Y, GAO Y F, et al. Analysis of support structure of the pedestrian doorway of Qingdao Gulf Bridge [J]. Journal of Qingdao University of Technology, 2011, 32(6): 20-25.
- [5] 苏少雄,朱俊丽,杨义强. 上跨现役公路圆形现浇箱梁支架体系研究[J]. 工程建设与设计,2023(21):116-118.
SU S X, ZHU J L, YANG Y Q. Research on the support system of circular cast-in-place box girder across active highway [J]. Construction & design for project, 2023(21): 116-118.
- [6] 陆峰,纪雯琇,徐智康,等. 支架现浇箱梁跨线门洞设计及验算研究[J]. 安徽建筑,2023,30(6):126-128.
LU F, JI W X, XU Z K, et al. Research on design and checking calculation of over-line portal for support cast-in-place box girder [J]. Anhui architecture, 2023, 30(6): 126-128.
- [7] 王欢. 跨国道现浇箱梁支架施工技术研究[J]. 工程建设与设计,2020(11):250-251,254.
WANG H. Research on construction technology of cast-in-situ box girder support for cross-border roads [J]. Construction & design for engineering, 2020(11): 250-251, 254.
- [8] 周兴. 钢管贝雷梁高支架体系在铁路现浇梁施工中的应用[J]. 湖北理工学院学报,2022,38(2):44-47.
ZHOU X. Application of steel pipe bailey beam high bracket system in cast-in-place railway beam construction [J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2022, 38(2): 44-47.
- [9] 赵建民. 大跨度大面积贝雷梁门洞支架体系设计与应用[J]. 施工技术,2017,46(S1):394-399.
ZHAO J M. Design and application of large-span large-area bailey beam opening support [J]. Construction technology, 2017, 46(S1): 394-399.
- [10] 梁朝安,欧阳平文,刘玉涛,等. 大跨径门洞支架设计与施工技术[J]. 施工技术,2014,43(S2):223-226.
LIANG C A, OUYANG P W, LIU Y T, et al. Design and construction technology of large-span opening stent [J]. Construction technology, 2014, 43(S2): 223-226.