

DOI: 10.7672/sgjs2025080086

高大梁板模板支撑体系拆除研究

卢勇¹, 谭扬通¹, 冯浩然², 阳安琦², 严穗明², 易检发³

(1. 广东中联建建筑工程有限公司, 广东 深圳 518049; 2. 北京盈建科软件股份有限公司, 北京 100029;
3. 珠海市城建科学研究院有限公司, 广东 珠海 519000)

[摘要] 模板支撑架体的拆除时间需综合考虑梁板实际强度、所受荷载、跨度等因素。在总结高大模板支撑体系分2次拆除的施工经验基础上,通过有限元分析和现场监测验证其可靠性。采用一种全新的梁板支撑脚手架受力分析方法,即将支撑架体模型导入建筑设计模型中,使架体与建筑结构协同受力、变形的有限元建模算法。对脚手架节点按规范建议值设置节点刚度,并依据钢结构设计规范与主体钢筋混凝土结构一起进行计算,模拟0~28d结构及其支撑体系在各楼层混凝土浇筑、养护、拆模过程中梁板及支撑脚手架变形、轴力变化。经数值计算和架体监测发现,随着混凝土龄期增加,梁板刚度逐渐增大。当各层施工速度 $\geq 10\text{d/层}$ 且混凝土强度达到设计值的85%以上时, N 层以上各层施工对第 N 层的影响可忽略不计。对于跨度 $>8\text{m}$ 或高大模板支撑体系,可实现分为14,28d龄期2次拆除,从而加速模板和钢管的周转。研究表明,随着混凝土龄期增加,梁板下方脚手架立杆受力逐渐减小;当梁板能承受上部施工荷载时,该层梁板下方脚手架退出工作,梁板强度与变形均满足设计要求,达到了安全施工和节约成本的目的。

[关键词] 梁板;模板;脚手架;拆除;有限元分析;轴力;变形

[中图分类号] TU755

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)08-0086-06

Demolition of High Beam-plate Formwork Support System

LU Yong¹, TAN Yangtong¹, FENG Haoran², YANG Anqi², YAN Suiming², YI Jianfa³

(1. Guangdong Zhonglian Construction Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518049, China;

2. Beijing Yingjianke Software Co., Ltd., Beijing 100029, China;

3. Zhuhai Urban Construction Science Research Institute Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000, China)

Abstract: The demolishing time of the formwork support frame should take into account the actual strength of the beam-plate, the load, the span and other factors. On the basis of summarizing the construction experience of twice demolition of tall formwork support system, its reliability is verified by finite element analysis and field monitoring. A new force analysis method of beam-plate support scaffold is adopted, that is, the support frame model is introduced into the building structure design model, so that the finite element modeling algorithm of the cooperative force and deformation of the frame body and the building structure is adopted. The joint stiffness of the scaffold joint is set according to the recommended value of the specification, and the calculation is carried out together with the main reinforced concrete structure according to the steel structure design specification. The deformation and axial force changes of the beam-plate and the support scaffold during the concrete pouring, curing and formwork demolition process of the 0~28d structure and its support system are simulated. Through numerical calculation and frame monitoring, it is found that the stiffness of beam-plate increases gradually with the increase of concrete age. When the construction speed of each layer is $\geq 10\text{d/layer}$ and the concrete strength reaches more than 85% of the design value, the influence of the construction of each layer above the N -layer on the N -layer can be ignored. For span $> 8\text{m}$ or tall formwork support system, can be divided into 14,28d twice demolition, so as to accelerate the turnover of formwork and steel pipe. The research shows that with the increase of concrete age, the force of the scaffold under the-beam plate decreases gradually.

[作者简介] 卢勇,高级工程师,国家一级注册建造师,E-mail:1017297555@qq.com

[收稿日期] 2024-05-20

When the beam-plate can withstand the upper construction load, the lower scaffold of the beam-plate withdraws from the work, and the strength and deformation of the beam-plate meet the design requirements, which achieves the purpose of safe construction and cost saving.

Keywords: beam-plate; formwork; scaffold; demolition; finite element analysis; axial force; deformation

0 引言

当前,全现浇多层或高层建筑大型物流库房、工业厂房、公共建筑等高大空间结构形式较多,跨度 $>8\text{m}$ 、搭设高度 $\geq 8\text{m}$ 、集中线荷载(设计值) $\geq 20\text{kN/m}$,一般均规定连续3层不允许拆除模板结构(包括立柱在内),若需提前拆除必须进行科学计算^[1]。各楼层梁板下支架拆除时间需根据混凝土强度增长情况确定^[2],即验算第 N 层梁板强度、变形时,应以其混凝土实际强度为依据,根据上部浇筑混凝土楼面时产生的新增荷载及最不利工况,计算连续多层模板支撑的脚手架和混凝土楼面承受的最大荷载效应,进而确定合理的连续支模最少层数^[3]。

为此,在合理施工进度条件下,研究建筑结构及其支撑体系在混凝土浇筑及拆模过程中各层梁板与支撑体系的轴力、变形规律。在保证安全的前提下,实施分段配模方案^[4],分2次拆除支模架体,以提升模板和钢管的周转率,降低成本。

1 研究路线

以承插型盘扣式钢管脚手架为研究对象^[5],随着现浇混凝土龄期增加,梁刚度逐渐增大,当梁板能承受上部施工荷载时,可拆除该层梁板支模架体。

采用有限元分析与现场监测相结合的方法进行研究,即通过模板安全计算得到其支模架体立杆间距、步距等参数,将模型导入建筑结构有限元分析模型中(配筋与施工图一致),根据模板安装、混凝土浇筑施工进度确定施工荷载。

现场监测支模架体立杆轴力、变形^[6],实测0, 3, 7, 21, 28d同条件养护下的混凝土强度,并建模分析结构在0~28d龄期内各楼层梁板变形。

施工前,完成建筑结构建模及施工图设计;模板搭设前,完成支架建模及模板施工方案论证;拆模前,根据混凝土实测强度(同条件试块或回弹法结果),将支架参数导入有限元模型,确定拆模时间和部位。

2 试验方案

1) 准备同条件养护的混凝土试块,用于计算3, 7, 21, 28d混凝土强度值,每个龄期试块 ≥ 6 组。

2) 使用盈建科 BIM 模板脚手架设计软件 V2023 编制项目脚手架施工方案。

3) 编制高支模支撑系统倾角、轴力、位移、沉降实时监测方案。

3 有限元分析

承插型盘扣式钢管脚手架实质上是一种半刚性空间钢架结构^[7]。基于文献[8-10]研究成果采用有侧移半刚性钢框架计算模型。根据设计施工图,采用盈建科结构设计软件(YJKS),建立结构计算模型,并将脚手架模型导入结构计算模型,预处理计算模型。

盈建科 BIM 模板脚手架设计软件采用通用有限元计算内核,在前处理部分根据脚手架规范要求,合理定义了有限元模型的边界条件和荷载,并校正了计算单元误差范围。例如,针对各类脚手架结构,按规范要求设置荷载及工况,立杆与横杆间按半刚性进行模拟,转动刚度取值 $20\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$ ^[11-12],立杆与结构间为铰接。立杆规格为 $\phi 48.3\times 3.2$ 钢管,杆件弹性模量为 $2.06\times 10^5\text{N}/\text{mm}^2$,插销与连接盘弹性模量为 $1.95\times 10^5\text{N}/\text{mm}^2$,泊松比为0.3,摩擦系数为0.2,建立有限元模型,并设置约束、支撑、荷载等边界条件。软件考虑了主、次龙骨对上部荷载的分配作用,进而对脚手架进行有限元仿真计算,得到内力、变形结果。

后处理部分在模板脚手架设计软件中按现行脚手架规范进行设计,规范要求的长细比及应力比计算均已通过,并可输出计算书。脚手架模型导入结构设计软件后,真实模拟了架体杆件刚度和约束关系,支持与混凝土结构进行整体有限元计算。利用盈建科有限元计算内核进行结构计算,计算结果与现有试验数据吻合较好,具备较高的计算精度。

4 工程实例

珠海市第二中医院门急诊医技楼由2层地下室和地上10层门急诊医技楼组成,层高4.5m,梁跨度 $>8\text{m}$,混凝土强度设计值为C30,楼板厚度为0.12m,且存在超限大梁。选取该门急诊医技楼2~5层梁板支撑体系进行拆除研究。采用盈建科 BIM 模板脚手架设计软件,输入模板脚手架参数如下:板下立杆间距为 $1.2\text{m}\times 1.2\text{m}$;KL41截面尺寸为 $0.7\text{m}\times 0.9\text{m}$,为超限大梁,梁下2根立杆间距为0.6m,跨度方向间距为0.6m,步高为1.5m,顶层步高为1.0m。立杆最大承载力为10.312kN,墙、

梁、板、柱同时浇筑。立杆及监测点布置如图1所示。

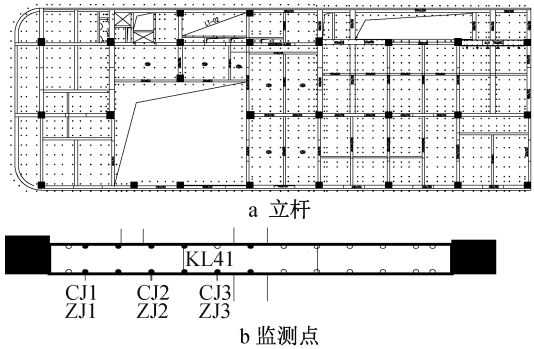


图1 脚手架立杆及监测点布置

Fig.1 Layout of scaffolding poles and monitoring points

4.1 施工进度

各楼层施工进度决定了脚手架加载速度,实际各楼层施工进度如表1所示。

4.2 各层梁板施工工况

2~4层梁板施工工况如图2所示。

1)2层梁板施工工况(见表2)。

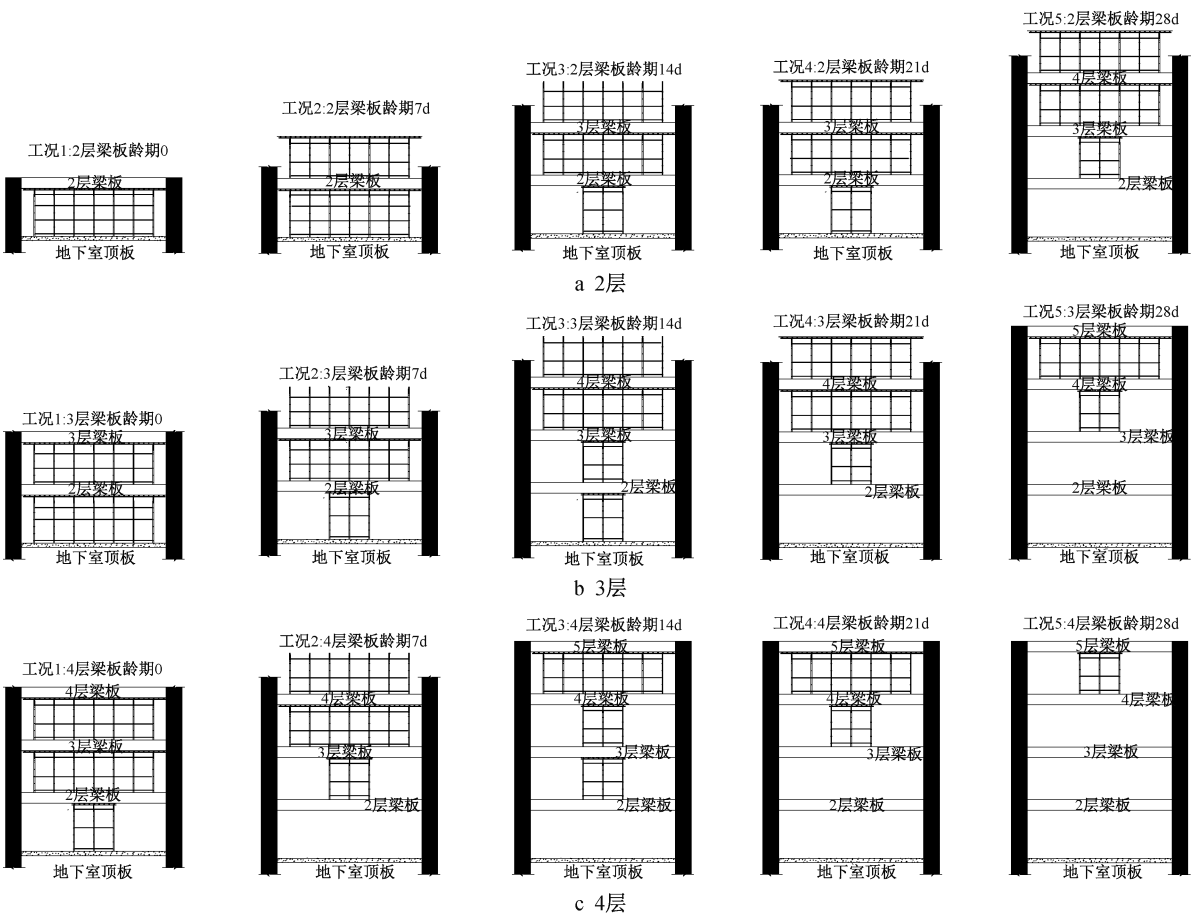


图2 2~4层梁板施工工况

Fig.2 Construction conditions of No.2~No.4 layers beam-plate

表1 各楼层施工进度

Table 1 Construction progress of each layer

施工部位	开始施工日期/(年-月-日)	混凝土浇筑完成日期/(年-月-日)	工期/d
1层墙柱,2层梁板	2023-10-13	2023-10-26	14
2层墙柱,3层梁板	2023-10-27	2023-11-06	11
3层墙柱,4层梁板	2023-11-07	2023-11-18	12
4层墙柱,5层梁板	2023-11-19	2023-12-04	16

2)3层梁板施工工况(见表3)。

3)4层梁板施工工况(见表4)。

4.3 混凝土强度试验

2层梁板同条件养护的混凝土强度试验结果如表5所示。

4.4 稳定性分析

如果各层层高、梁跨度、梁截面尺寸基本相同或逐渐减小,则首层梁板及其支架受力最为不利。

根据图2可知,2层梁板及其支架为最不利楼层,即只分析2层梁板在龄期14,28d的变形(全拆完)和2层梁板下方脚手架在龄期14d(保留跨中1/3)的变形、轴力。

表 2 2 层梁板施工工况

工况	龄期/d	日期/(年-月-日)	荷载情况
1	0	2023-10-26	1) 第 1 层架体满布 2) 第 2 层混凝土结构自重
2	7	2023-11-02	1) 第 1 层架体满布; 2) 第 2 层混凝土结构自重; 3) 第 2 层架体、模板自重
3	14	2023-11-08	1) 第 1 层架体、模板保留主梁跨中 1/3; 2) 第 2 层混凝土结构自重; 3) 第 2 层架体、模板自重; 4) 第 3 层混凝土结构自重; 5) 第 3 层架体自重
4	21	2023-11-15	1) 第 1 层架体、模板保留主梁跨中 1/3; 2) 第 2 层混凝土结构自重; 3) 第 2 层架体、模板自重; 4) 第 3 层混凝土结构自重; 5) 第 3 层架体、模板自重
5	28	2023-11-22	1) 第 2 层混凝土结构自重; 2) 第 2 层架体模板保留主梁跨中 1/3; 3) 第 3 层混凝土结构自重 4) 第 3 层架体、模板自重 5) 第 4 层混凝土结构自重 6) 第 4 层架体、模板自重

表 3 3 层梁板施工工况

工况	龄期/d	日期/(年-月-日)	荷载情况
1	0	2023-11-06	第 3 层混凝土结构自重
2	7	2023-11-12	1) 第 3 层混凝土结构自重; 2) 第 3 层架体自重
3	14	2023-11-19	1) 第 3 层混凝土结构自重; 2) 第 3 层架体、模板自重; 3) 第 4 层混凝土结构自重; 4) 第 4 层架体自重
4	21	2023-11-26	1) 第 3 层混凝土结构自重; 2) 第 3 层架体、模板自重; 3) 第 4 层混凝土结构自重; 4) 第 4 层架体、模板自重
5	28	2023-12-03	1) 第 3 层混凝土结构自重; 2) 第 3 层架体、模板保留主梁跨中 1/3; 3) 第 4 层混凝土结构自重; 4) 第 4 层架体、模板自重; 5) 第 5 层混凝土结构自重

1) 脚手架。2 层梁板在 14d 龄期时,其下方脚手架(保留跨中 1/3)变形<1mm(见图 3),该支架安全可靠。脚手架立杆最大轴力为 9.4kN(见图 4),小于最大值 10.312kN,表明在此工况下,架体处于安全状态,且立杆轴力随时间增加而减小。

2) 各层梁板。2 层梁板在 14d 龄期时,其下方脚手架只保留主梁跨中 1/3,此时梁板变形<1mm(见图 5),说明主体结构安全可靠。2 层梁板在 28d

表 4 4 层梁板施工工况

工况	龄期/d	施工时间/(年-月-日)	荷载情况
1	0	2023-11-18	第 4 层混凝土结构自重
2	7	2023-11-24	1) 第 4 层混凝土结构自重; 2) 第 4 层架体自重
3	14	2023-12-01	1) 第 4 层混凝土结构自重; 2) 第 4 层架体、模板自重; 3) 第 5 层混凝土结构自重
4	21	2023-12-08	1) 第 4 层混凝土结构自重; 2) 第 4 层架体、模板自重 3) 第 5 层混凝土结构自重
5	28	2023-12-15	1) 第 4 层混凝土结构自重; 2) 第 4 层架体、模板保留主梁跨中 1/3; 3) 第 5 层混凝土结构自重

表 5 混凝土强度试验结果

龄期/d	6 组试块强度值/MPa	评定值
7	23, 22, 24, 21, 22, 23	C20
14	26, 27, 26, 25, 26, 27	C25
21	32, 31, 31, 32, 30, 31	C25
28	37, 36, 37, 36, 37, 37	C30

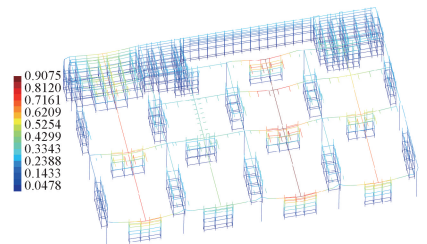


图 3 2 层梁板下方脚手架整体变形(单位:mm)
Fig. 3 Overall deformation of scaffold under 2-layer beam-plate(unit:mm)

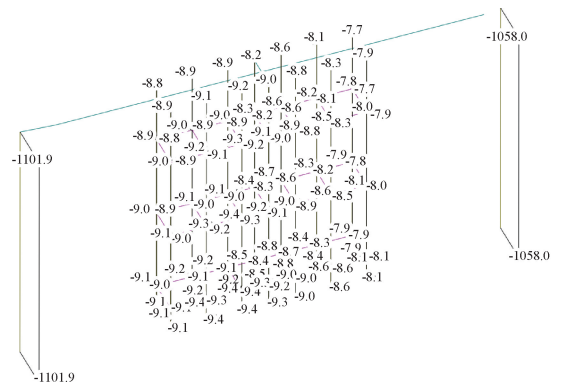


图 4 2 层梁板下方脚手架立杆轴力(单位:kN)
Fig. 4 Axial force of scaffold under 2-layer beam-plate(unit:kN)

龄期时,其下方脚手架全部拆除后,此时 2 层梁板整体变形<2mm(见图 6),说明主体结构安全可靠。

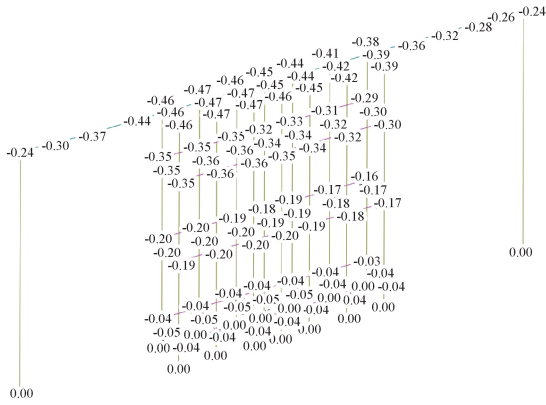


图5 2层梁板变形(单位:mm)

Fig. 5 Deformation of 2-layer beam-plate (unit:mm)

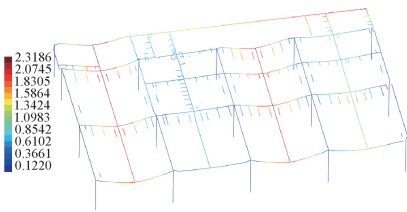


图6 2层梁板整体变形(单位:mm)

Fig. 6 Overall deformation of 2-layer beam-plate (unit:mm)

4.5 脚手架立杆现场监测

对模板支撑体系重要部位进行重点监测,监测点应布设在受力和变形最大位置,如图1b所示。随着施工进度展开,2层梁板下方脚手架立杆沉降、轴力曲线分别如图7,8所示。

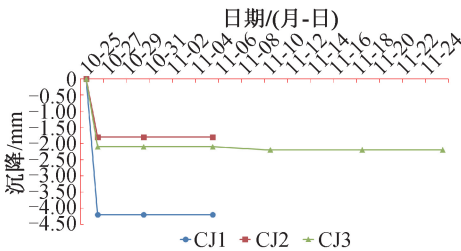


图7 2层梁板下方脚手架立杆沉降曲线

Fig. 7 Settlement curves of scaffold poles under 2-layer beam-plate

1)由图7,8可知,2层混凝土浇筑完成7d后且混凝土强度达到设计值的67%时,随着时间增加,2层梁板下方脚手架立杆轴力、沉降变化很小。

2)由图2可知,11月8日,3层梁板进行混凝土浇筑时,2层梁板混凝土已达到14d龄期,强度为设计值的83%。此时,除2层梁板下跨中1/3架体和悬挑梁板外,其余架体均已拆除。由图7,8可知,11月18日,4层梁板混凝土浇筑对2层梁板下方脚手架轴力、变形影响很小。

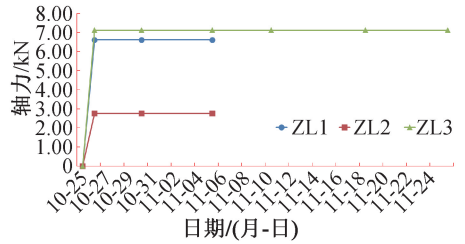


图8 2层梁板下方脚手架立杆轴力曲线

Fig. 8 Axial force curves of scaffold poles under 2-layer beam-plate

4.6 脚手架立杆监测与数值模拟对比分析

1)因模板、木方、顶托间有非弹性变形,监测变形远大于数值模拟得到的弹性变形。

2)脚手架立杆监测轴力最大值为7.13kN,小于数值模拟中立杆最大值10.312kN。

5 结语

1)随着混凝土龄期增加,梁板刚度逐渐增大,其变形逐渐减小,梁板下方脚手架立杆受力也逐渐减小。当梁板能承受上部施工荷载时,该层梁板下方脚手架不再承担荷载。

2)已有项目实践、现场监测、数值模拟分析证实,对于跨度>8m或高大模板支撑体系,当主体混凝土结构施工进度≥10d/层时,梁板混凝土达到设计强度的85%时(龄期10~14d),上层施工对下层架体和梁板影响很小,除主梁跨中1/3架体和悬挑梁板外,其余架体均拆除,第28天二次拆除剩余架体。这样既可以加速材料周转,又可保证梁板和架体的安全,达到安全、节约资源、绿色施工的目的。

参考文献:

[1] 沈阳建筑大学. 建筑施工模板安全技术规范: JGJ 162—2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
Shenyang Jianzhu University. Technical code for safety of forms in construction; JGJ 162—2008 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.

[2] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构工程施工规范: GB 50666—2011[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
China Academy of Building Research. Code for construction of concrete structures: GB 50666—2011 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.

[3] 重庆大学, 中国建筑集团有限公司, 东南大学, 等. 施工脚手架通用规范: GB 55023—2022[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
Chongqing University, China Construction Group Co., Ltd., Southeast University, et al. General code for scaffold in construction: GB 55023—2022 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022.

[4] 卢勇, 杨少勇. 大跨度梁模支撑系统早拆施工技术探讨[J]. 施工技术, 2017, 46(S2): 681-682.
LU Y, YANG S Y. Discussion on early demolition construction

- technology of large-span beam formwork support system [J]. Construction technology, 2017, 46(S2): 681-682.
- [5] 南通新华建筑集团有限公司,江苏速捷模架科技有限公司. 建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准; JGJ/T 231—2021[S]. 北京:中国建筑出版传媒有限公司,2021.
- Nantong Xinhua Construction Group Co. , Ltd. , Jiangsu Rapid Molding Technology Co. , Ltd. Technical standard for safety of disk lock steel tubular scaffold in construction; JGJ/T 231—2021[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2021.
- [6] 广州市建设工程质量安全检测中心. 高大模板支撑系统实时安全监测技术规范; DBJ/T 15—197—2020[S]. 2020.
- Guangzhou Construction Engineering Quality and Safety Inspection Center. Technical code for real-time safety monitoring of higher formwork support system; DBJ/T 15—197—2020[S]. 2020.
- [7] 陈志华,陆征然,王小盾,等. 基于有侧移半刚性连接框架理论的无支撑模板支架稳定承载力分析及试验研究[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(12): 56-63.
- CHEN Z H, LU Z R, WANG X D, et al. Analysis and experimental study on the stability bearing capacity of unbraced formwork support based on the theory of semi-rigid frame with lateral displacement [J]. Journal of building structures, 2010, 31(12): 56-63.
- [8] ZHENG Y F, GUO Z X. Investigation of joint behavior of disk-lock and cuplock steel tubular scaffold [J]. Journal of constructional steel research, 2020, 177: 106415.
- [9] 姜旭,张其林,顾明剑,等. 新型插盘式脚手架的试验和数值模型研究[J]. 土木工程学报, 2008, 41(7): 55-60.
- JIANG X, ZHANG Q L, GU M J, et al. Study of experiment and numerical model on a new disk-type steel scaffold [J]. China civil engineering journal, 2008, 41(7): 55-60.
- [10] LIU H B, CHEN Z H, WANG X D, et al, Theoretical analysis and experimental research on stability behavior of structural steel tube and coupler false work with X-bracing [J]. Advanced steel construction, 2010, 6(4): 949-962.
- [11] 中国建筑一局(集团)有限公司,中国建筑股份有限公司. 建筑施工临时支撑结构技术规范; JGJ 300—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2014.
- China Construction First Building (Group) Co. , Ltd. , China State Construction Engineering Corporation. Technical code for temporary support structures in construction; JGJ 300—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [12] 陈安英,郭正兴,杨启龙. 承插型盘销式钢管支架结构稳定性试验与参数分析[J]. 施工技术, 2015, 44(14): 76-82.
- CHEN A Y, GUO Z X, YANG Q L. Stability test and parameter analysis of socket-type disc-pin steel pipe support structure [J]. Construction technology, 2015, 44(14): 76-82.
- (上接第 52 页)
- [7] 刘新华,周勇,师少辉,等. 山区公路装配化钢-混组合梁桥设计及关键技术研究[J]. 世界桥梁, 2023, 51(6): 15-21.
- LIU X H, ZHOU Y, SHI S H, et al. Design and key techniques of segmental steel-concrete girder road bridges in mountainous area [J]. World bridges, 2023, 51(6): 15-21.
- [8] 宋神友,陈伟乐. 深中通道桥梁工程方案及主要创新技术[J]. 桥梁建设, 2021, 51(5): 1-7.
- SONG S Y, CHEN W L. Bridges of Shenzhen-Zhongshan Link and main innovations [J]. Bridge construction, 2021, 51(5): 1-7.
- [9] 周明生,曾炜,奉思东,等. 超高索塔钢筋网片成型与部品装配技术研究[J]. 施工技术, 2021, 50(9): 41-44, 56.
- ZHOU M S, ZENG W, FENG S D, et al. Research on the technology of steel wire mesh forming and parts assembly of super-high cable tower [J]. Construction technology, 2021, 50(9): 41-44, 56.
- [10] 吴中正,刘景红,程茂林,等. 基于机器人集群化制造的钢筋网片生产线设计[J]. 机床与液压, 2023, 51(7): 107-111.
- WU Z Z, LIU J H, CHENG M L, et al. Design of steel mesh production line based on robot cluster manufacturing [J]. Machine tool & hydraulics, 2023, 51(7): 107-111.
- [11] 蔡诗瑶. 高层建筑自动化与机器人优先发展方向与保障对策研究[D]. 北京:清华大学, 2021.
- CAI S Y. Research on development priorities and guarantee measures for automation and robotics in high-rise buildings [D]. Beijing: Tsinghua University, 2021.
- [12] 王启玲,贾正浩,赵博言. 基于视觉识别的智能钢筋绑扎机器人的研究[J]. 建筑技术, 2023, 54(21): 2632-2635.
- WANG Q L, JIA Z H, ZHAO B Y. Research on intelligent rebar lashing robot based on visual recognition [J]. Architecture technology, 2023, 54(21): 2632-2635.
- [13] 汪生浩,于铭铭,朱猛猛,等. 应用于移动机器人的钢筋交叉点视觉检测系统研究[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(6): 83-85.
- WANG S H, YU M M, ZHU M M, et al. Research on visual inspection system of rebar intersection applied to mobile robot [J]. Industrial control computer, 2023, 36(6): 83-85.
- [14] 董国梁. 基于深度学习的钢筋绑扎机器人视觉系统研究[D]. 北京:北京建筑大学, 2022.
- DONG G L. Research on visual system of steel binding robot based on deep learning [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2022.
- [15] 周泽云,朱明清,曾广成,等. 一种新型钢筋折弯机构的设计与仿真分析[J]. 机床与液压, 2023, 51(2): 136-140.
- ZHOU Z Y, ZHU M Q, ZENG G C, et al. Design and simulation of a new type of device for steel bar bending [J]. Machine tool & hydraulics, 2023, 51(2): 136-140.