

大跨悬挑钢结构临时支撑及散拼组合施工技术应用与分析

胡佳鑫, 王江营, 黄邵杰

(湖南省第六工程有限公司, 湖南 长沙 410015)

摘要: 为了确保大跨度悬挑钢结构安全高效地施工, 研究其关键施工技术及过程控制方法至关重要。文章以某产业园项目眼科防治中心大楼为工程背景, 其悬挑段为钢桁架结构形式, 悬挑最大长度 25.3 m。该悬挑钢结构是本工程技术难度最高、安全风险最大的关键性分部工程。为解决该难题, 通过方案比选, 最终采用临时支撑及高空散拼方式进行安装。同时, 利用有限元软件 ABAQUS 进行建造过程数值仿真, 以解决钢结构安装过程中施工控制及临时支撑回顶的难题, 保证大跨悬挑钢结构安装质量及施工安全。结果表明: 1) 对构件进行合理拆分及临时支撑的安拆方法是工程能够顺利实施的重要环节; 2) 采用数值分析的方法可以辅助工程师解决施工难题, 当临时支撑位于结构板上时, 易产生冲切效应, 需要采取回顶等方式进行加固。

关键词: 大跨悬挑钢结构; 临时支撑; 散拼安装; 数值模拟

中图分类号: TU974; TU391

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)12-0068-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2025.12.153

Application and analysis of large-span cantilever steel structures by temporary support and segmented assembly construction technology

HU Jiaxin, WANG Jiangying, HUANG Shaojie

(Hunan No. 6 Engineering Co., Ltd., Changsha 410015, Hunan, China)

Abstract: In order to ensure the safe and efficient construction of large-span cantilevered steel structures, it is of vital importance to study their key construction technologies and process control methods. This article takes the eye prevention and treatment center building of an industrial park project as the engineering background, its cantilever section is in the form of a steel truss structure, with a maximum overhanging length of 25.3 m. This cantilevered steel structure is the key sub-project with the highest technical difficulty and the greatest safety risk in this project. To solve the difficulty of installation, through construction scheme comparison and selection. Finally, considering temporary support and segmented assembly construction technology for installation. Meanwhile, numerical simulation of the construction process is carried out by using the finite element software ABAQUS to solve the problems of deflection control and temporary support during the installation of steel structures, ensuring the installation quality and construction safety of large-span cantilever steel structures. Research shows that: 1) Project success hinges on proper disassembly sequencing and temporary support design; 2) Numerical analysis is key to addressing related challenges. Temporary supports on structural slabs can induce punching shear, necessitating local reinforcement such as additional propping from below.

Key words: large-span cantilever steel structures; temporary support; segmented assembly; numerical simulation

建筑外形随着社会经济的发展呈现多元形式, 传统自下而上保持外形一致性的结构无法满足功能

及视觉效果, 出现了大许多大跨度悬挑结构。而对于建造者而言, 悬挑结构施工面临诸多困难, 包括施

收稿日期: 2025-03-19

基金项目: 湖南建工集团科技项目(JGJTK2022-52)

作者简介: 胡佳鑫(1996—), 男, 工程师, 一级建造师, 从事工程施工技术管理工作。

工工艺调整、质量控制及施工过程安全保障等方面。

建筑物在往上建造的过程中, 一般利用已完成的工作面搭设支撑架建造上一层, 周而复始完成建造工作。对于悬挑结构, 往往无法有较好的支撑平台, 增加了施工难度^[1]。若利用散拼法进行施工, 安全隐患较大, 且往往需要精准的施工控制来保证质量。喻青桥等^[2]对大跨度钢桁架“支撑胎架+高空散拼”的安装过程进行控制, 研究结果表明该方法经济性好、工期短, 但安全和质量控制难度大, 支撑卸载、体系转变是工序管控的关键点。王晋等^[3]对大跨度连廊钢结构临时支撑体系进行计算分析, 利用有限元分析软件对支撑体系进行承载力复核, 并验算了临时支撑体系下发混凝土的变形, 确定了连廊竖向变形的监测位置, 保证了施工的精度和安全, 实测结果与数值分析结果较为接近, 效果较佳。陈达贤等^[4]对双向大跨度悬挑结构拆撑方案对比进行研究, 研究表明: 卸载带来结构内力重分布, 合理的卸载方案能够避免杆件局部受力过大, 保证卸载过程安全。

因此, 针对遇到的实际工程问题, 本文以某产业园项目眼科防治中心悬挑钢桁架结构为研究对象, 采用临时支撑及高空散拼组合工艺进行施工, 对上述工艺施工进行研究, 并采用 ABAQUS 有限元分析软件对悬挑结构建造过程进行数值仿真, 对施工方案复核, 确保结构施工安全, 控制结构线性以保证工程质量。

1 工程概况

本项目位于长沙市岳麓区梅溪湖路西沿线与映日路交汇处西南角, 其单体建筑眼科防治中心呈东西走向, 其效果图如图 1 所示。



图 1 眼科防治中心效果图

单体工程总用钢量约 2 500 t, 采用 Q355B 及 Q355GJB 钢材, 地上五层, 地下两层, 基础形式

为桩-筏基础, 最大分段节点 4.1 t, 采用一台 PT7527A-18 塔式起重机及一台 80 t 汽车吊辅助进行施工。该单体工程西侧整体悬挑段为 3~5 层, 如图 2 所示, 图示红色部分为悬挑结构示意。悬挑段采用三榀桁架作为主要受力结构, 自南向北分别位于 A'、D'、E' 轴线处。各榀桁架通过钢梁连接, 面上采用钢筋桁架楼承板, 浇筑混凝土形成整体。每榀桁架采用临时支撑及高空散拼组合方法进行安装, 各榀桁架之间钢梁采用高空散拼方法连接。

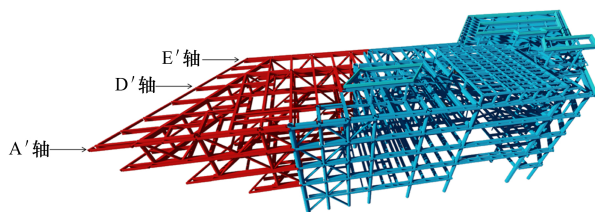


图 2 悬挑钢结构位置示意

2 工程重难点及技术方案

2.1 工程重难点

眼科防治中心单体工程存在分段大悬挑, 施工难度较大, 需要对结构进行合理拆分, 按顺序依次吊装, 在施工过程中增加临时支撑辅助施工, 保证施工安全与质量。针对分段安装产生累计误差的问题, 应当在施工前对结构安装进行数值分析, 计算结构安装挠度, 指导施工以调整预起拱值, 随时校核钢梁姿态。

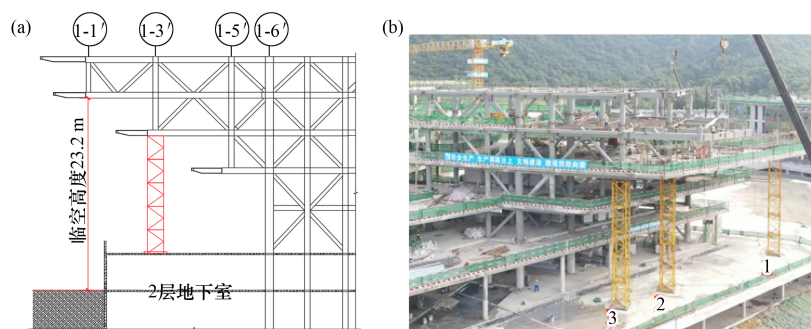
2.2 技术方案选择

针对本工程悬挑钢结构的特点, 考虑采用临时胎架+高空散拼的组合方法进行施工, 计划对 1-1'至 1-6'轴之间的悬挑结构, 利用现场的塔吊标准节作为临时支撑构件辅助安装。考虑到 1-1'轴位置其基底均位于地下室顶板以外的基坑回填土上, 承载力不足, 且搭设高度较高, 成本较大, 如图 3(a) 所示。故仅对 1-3'轴钢桁架中部梁柱交接点放置临时胎架支撑, 共计 3 处, 对应编号为 1、2、3 号, 如图 3(b) 所示。

3 钢结构安装施工技术

3.1 钢结构施工

眼科防治中心结构最大悬挑长度为 25.3 m,



(a) 临时支撑剖面示意图; (b) 现场实拍图

图 3 临时支撑示意图

考虑到大跨悬挑钢结构节点构件较多,高空焊接工作量大,危险性较高,安装要求严格的特点。根据进度安排,本工程计划首先对非悬挑主体结构进行施工,为悬挑段施工提供锚固位置。然后分三段依次进行悬挑钢结构安装,各段自下而上施工,如图 4 所示。

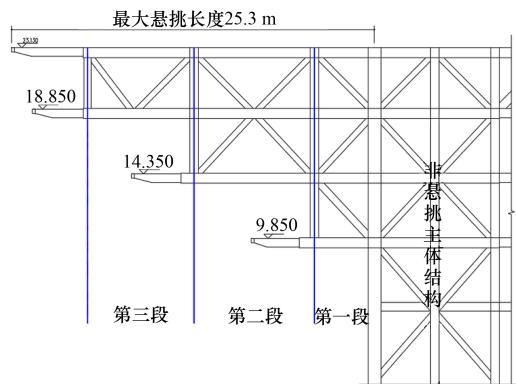


图 4 悬挑施工分段示意 mm

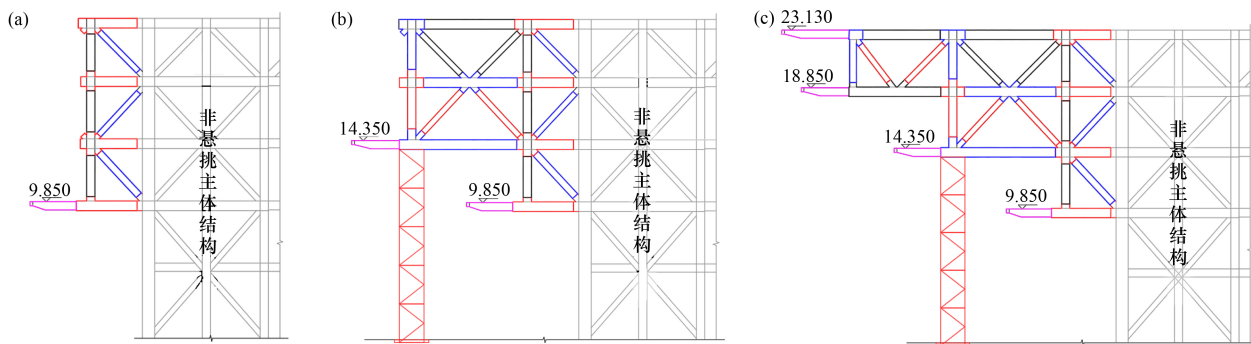
针对悬挑段结构构件较多,截面尺寸较大的特点,结合以往工程类似经验及本工程施工次序,对构件进行预拆分,工厂加工预制,以现场分段吊装的方式进行安装。图 5 为三段悬挑桁架结构

安装顺序,图示红、蓝、黑颜色为构件拆分示意。对于单个封闭桁架而言,施工顺序如下:上、下层结构钢梁安装→支撑柱安装→桁架间斜撑安装。对于每段结构而言,施工顺序如下:第 n 层单个封闭桁架安装→ n 层桁架间主、次梁安装→ n 层钢筋桁架楼承板安装→第 $n+1$ 层单个封闭桁架安装→ $n+1$ 层桁架间主、次梁安装→ $n+1$ 层钢筋桁架楼承板安装,自下而上完成整段安装工作。在第二段结构安装前,安装临时支撑辅助钢结构安装。各层钢结构完成后开始楼板混凝土浇筑。

悬挑结构每段钢梁施工前,其端部按照设计要求,参照数值分析结果(详见 4.1 节)进行预起拱。对于散拼安装的第一、三段悬挑钢结构,采用手动葫芦的方式进行预起拱,如图 6 所示。对于临时支撑辅助安装的第二段悬挑钢结构,通过调整临时支撑顶部高度进行预起拱。达到预定标高后,待安装钢梁通过临时耳板进行固定。

3.2 临时支撑施工

临时支撑需要满足受力及稳定性的要求,且能够精确调整高度,能够快速安拆,减少工期影



(a) 第一段安装; (b) 第二段安装; (c) 第三段安装

图 5 构件拆分及分段安装示意

mm

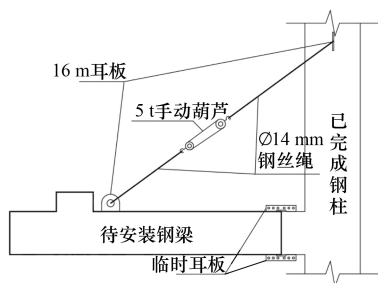


图6 悬挑钢梁临时固定示意图

响。此外,临时支撑需要便于人员上下进行焊接或测量工作。

按照上述要求,根据现场设备及材料情况,本工程考虑采用 $1.76\text{ m} \times 1.76\text{ m} \times 2.8\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)的塔吊标准节作为标准支撑构件,另考虑利用 $400\text{ mm} \times 400\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 箱形截面钢梁及 $16\#$ 工字钢及部分钢板组合形成支撑顶部部件,如图7所示。

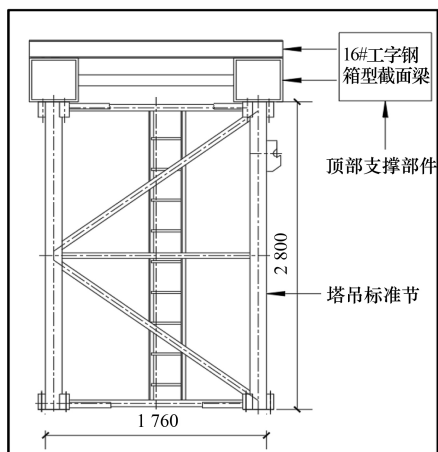


图7 临时支撑体系示意

mm

临时支撑底部位于地下室顶板上,此部分后期为园林铺装区域,结构板顶相对标高为 -0.65 m 。参照相关类似工程经验,考虑采用C30混凝土基础,基础尺寸为 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m} \times 0.3\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),配筋为HRB400 $\varnothing 12@150\text{ mm}$ 双层双向钢筋网,预埋螺栓对临时支撑进行固定。根据4.2.2节计

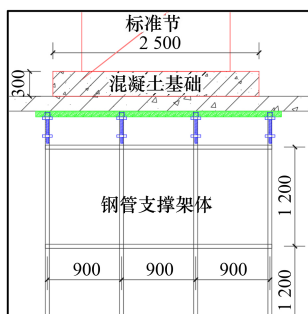


图8 支撑回顶剖面图及现场实施效果图

mm

算结果,地下室顶板受力较大,有开裂风险。故采用 $\varnothing 48\text{ mm}$ 钢管脚手架,间距为 $900\text{ mm} \times 900\text{ mm}$,步距为 1200 mm ,对临时支撑基础边线范围内进行回顶支撑,回顶至地下室底板,如图8所示。

临时支撑安装前,其基础混凝土强度应当达到设计强度。其安装高度约 14.90 m ,计划共安装5节标准节,随时做好垂直度校核,并与主体结构临时连接提高其稳定性。安装完标准节后,再进行顶部支撑部件安装,调整至计算高程。

临时支撑拆除前,悬挑段各层结构均已安装完成,楼板混凝土浇筑完成并达到设计强度。拆除流程:1)首先切割支撑顶部构件,分离支撑与主体结构;2)松开最底部两标准节之间的固定螺栓;3)采用2根 $\varnothing 16$ 钢丝绳,从楼板预留洞口,利用塔吊起吊,分离底部标准节;4)利用5t叉车转运底部标准节;5)塔吊放下剩余标准节。重复上述步骤逐一拆除各标准节,待全部拆除后逐层对楼板预留洞口采用高一强度等级微膨胀细石混凝土进行封堵,如图9所示。

4 悬挑钢结构施工数值模拟

工程钢结构悬挑段最大长度达到了 25.3 m ,悬挑结构超长。由于采用高空散拼分段分节进行连接,层层误差的累积将会使结构最终成型状态与设计使用状态有差距,增加施工的不确定性。对此,为保证结构施工安全及安装精度,采用通用有限元软件ABAQUS对悬挑钢结构安装进行数值模拟,以指导施工。

4.1 施工阶段挠度分析

4.1.1 数值分析参数选取

为保证数值分析模拟结果能够较好地指导施工,对钢结构悬挑段进行全尺寸建模分析。对于

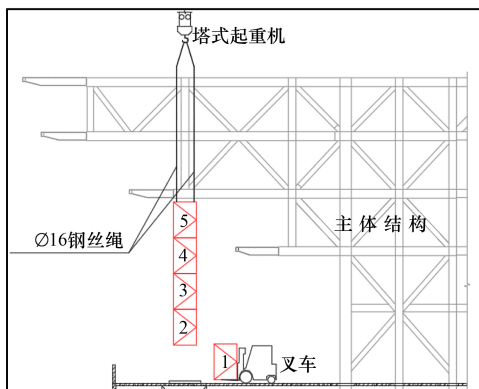


图 9 临时支撑标准节拆除外运示意图

钢结构部分,施加自重荷载。而对于混凝土钢筋桁架楼承板,楼板厚度均为 100 mm,考虑钢筋混凝土的容重,在有限元软件中以 2.5 kN/m^2 均布面荷载的方式进行荷载施加,并在模型中考虑 1 kN/m^2 的施工动荷载。采用软件中的“生死单元”模块模拟钢结构分段安装的过程。

模型中各梁柱均采用梁单元,楼板采用面单元进行模拟。对于边界条件,柱与基础固定良好,考虑结构柱底部为固定连接;各梁柱焊接良好,考虑采用绑定连接。

4.1.2 数值分析结果

挠度模拟结果如图 10 所示,为临时支撑拆除后,最终悬挑钢结构前段挠度数值云图,根据模拟结果,悬挑段最大挠度为 6.4 mm。按照施工过程,提取各阶段梁端挠度数据。其前端挠度变化如图 11 所示。由图 11 可知,由于第二段钢梁采用临时支撑进行施工,在临时支撑拆除之前,各段钢梁前段挠度值变化均较小,为 1 mm 左右。临时支撑拆除后,各段钢梁挠度变化较大,5 层钢梁前段挠度达到了最大值 6.4 mm,悬挑结构整体满足《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020)中 $L/1\ 500$ ($25\ 300/1\ 500 = 16.9 \text{ mm}$) 的要求,其余各层钢梁前段挠度变化基本随悬挑长度,

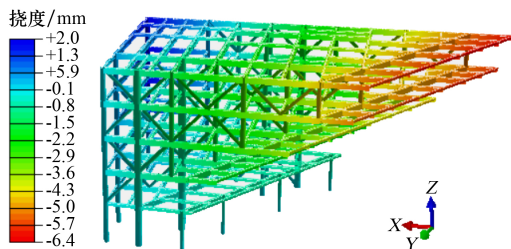
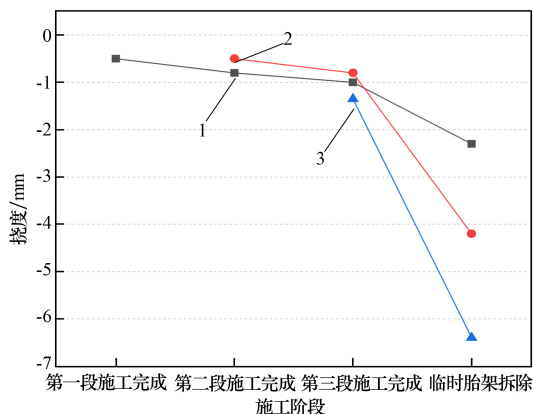


图 10 最终完成状态挠度云图



1—三层钢梁; 2—四层钢梁; 3—五层钢梁。

图 11 各层悬挑钢梁随施工过程挠度变化图

呈线性变化的规律。整个施工过程中,钢梁最大应力为 36.1 MPa,远小于钢结构强度设计值。

根据这一规律,参照上述数值模拟的挠度结果,考虑到一定施工误差,对各段钢梁前段预起拱,各段钢梁前段预起拱值分别为 10、6、3 mm。

4.2 地下室顶板受力分析

根据第 4.1 节施工过程分析中提取的临时支撑轴力计算云图,本工程 1 号支撑对地下室顶板产生的轴力最大,如图 12 所示,达到了 $1.6 \times 10^6 \text{ N}$,即混凝土顶板局部受到 160 t 的荷载。因此,有必要进行承载力分析,故采用通用有限元软件 ABAQUS,建立混凝土楼板实体模型,对临时支撑下方顶板进行承载力分析。

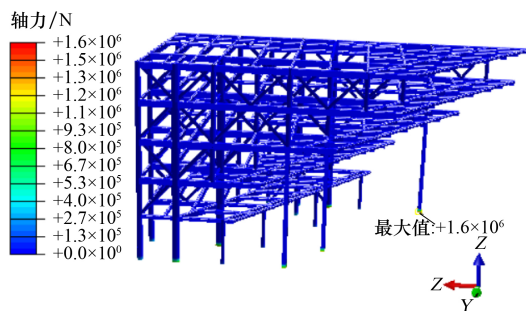


图 12 临时支撑轴力云图

4.2.1 数值分析参数选取

本工程地下室顶板采用 C35 混凝土,钢筋采用 HRB400 级钢筋,底部钢筋双向 $\Phi 12@150 \text{ mm}$,面上钢筋双向 $\Phi 12@170 \text{ mm}$ 。根据上述特征,对于混凝土本构,参照文献 [5] 采用混凝土损伤塑性本构模型,其相关主要参数如表 1 所示。对于钢筋本构,考虑采用理想弹塑性本构模型,其相关主要参数如表 2 所示。

表 1 混凝土损伤塑性本构模型主要参数

膨胀角	偏心率	双轴与单轴 抗压强度比	硬化系数	黏性系数
38°	0.1	1.16	0.666 7	0.005
立方体抗压强度 标准值/MPa	轴心抗压强度 标准值/MPa	轴心抗拉强度 标准值/MPa	弹性模量/MPa	泊松比
35	26.6	2.502	3×10^4	0.2

表 2 钢筋本构模型主要参数

屈服强度/MPa	弹性模量/MPa	泊松比
360	2×10^5	0.3

考虑到本模型的需求,在数值分析中,混凝土采用 C3D8R 实体单元,钢筋采用 T3D2 桁架单元。对于板的四周,其边界条件考虑采用固定端约束,以模拟四周混凝土梁的约束效果。荷载值为钢结构安装轴力+临时支撑自重+钢筋混凝土基础自重,经计算共约 170 t,以面荷载的形式均布施加在标准节基础范围。分析模型如图 13 所示。

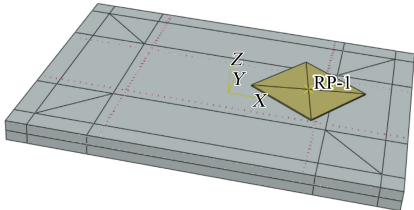


图 13 有限元分析模型

4.2.2 数值分析结果

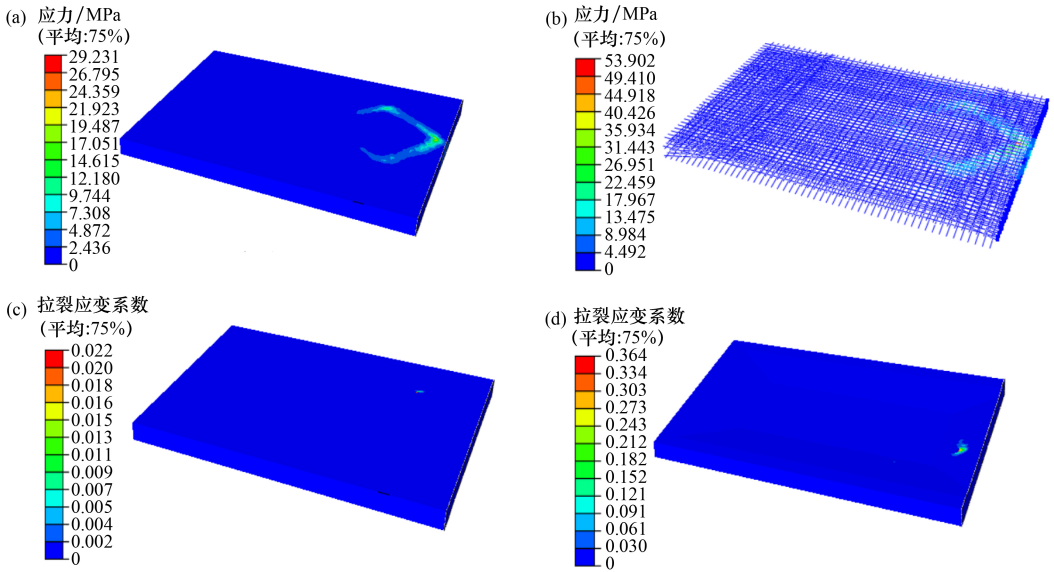
如图 14 (a) 所示,混凝土最大应力达到了

29.2 MPa,局部所受压力较大。从图 14(c)、(d) 可知,混凝土板出现了一定拉压损伤,表明其内部结构已受到损害,可能产生可见裂缝,影响构件承载力和耐久性。对应图 14(b) 所示板钢筋最大应力为 53.9 MPa,远未达到屈服应力,钢筋保持弹性工作状态。

从上述混凝土及钢筋分析结果可知,混凝土板构件在临时支撑作用下,其作用类似混凝土局部受压的效果,预埋基础作用范围的混凝土板易产生应力集中效应,故需要采取施工措施或增加构造钢筋,防止局部冲切破坏。根据上述数值模拟结果,本工程考虑对临时支撑下部进行回顶支撑,回顶至地下室底板。

5 结 语

本文总结了某产业园项目眼科防治中心大跨悬挑钢结构临时支撑及高空散拼组合安装的工法,并运用数值分析方法对安装过程重难点进行分析,



(a) 混凝土 mises 应力图; (b) 钢筋 mises 应力图; (c) 混凝土受压损伤图; (d) 混凝土受拉损伤图

图 14 计算结果云图

用以指导施工,得出结论如下。

(1) 针对眼科防治中心大跨悬挑结构,采用临时支撑及高空散拼组合安装的工法具有较好的应用价值,解决了施工难题。对构件进行合理拆分及临时支撑的安拆方法是本工法能够顺利实施的重要环节。对于其余类似项目,本文章提供相关经验可供参考。

(2) 本工程采用数值分析的方法以解决钢梁预起拱及支撑回顶的难题,该方法能够较好地让工程师以更高效、精确和经济的方式应对复杂挑战。根据数值分析结果,用以指导现场钢梁预起拱。当临时支撑位于混凝土板上时,其荷载较大,易对混凝土板产生冲切效应,需要采取回顶或采取构造配筋的方式进行楼板加固。

参考文献:

- [1] 王懂,巨若冰,慕丰丞,等. 大跨度悬挑钢结构施工及临时支撑技术[J]. 施工技术(中英文),2025,54(11):82-87.
 - [2] 喻青桥,曹培伟. 大跨度钢桁架结构施工的质量和安全控制[J]. 工程建设,2020,52(8):64-68.
 - [3] 王晋,马天龙,李玉强,等. 大跨度连廊钢结构临时支撑体系施工阶段计算分析[J]. 建筑钢结构进展,2018,20(3):97-103.
 - [4] 陈达贤,潘文智,赵文雁,等. 双向大跨度悬挑结构拆撑方案对比研究[J]. 施工技术(中英文),2025,54(2):71-75.
 - [5] 陈志为,施宇,张尧. 基于混凝土损伤塑性模型的弯曲损伤 RC/PC 桥梁动力学特性研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2024,51(7):50-61.
-
- (上接第 57 页)
- [5] 李乐天. 基于卷积神经网络的复杂工况下旋转机械故障诊断方法[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2023.
 - [6] 雒伟勃,李龙,汪来,等. 基于残差神经网络的盾构土舱压力预测[J]. 隧道建设(中英文),2024,44(11):2171-2180.
 - [7] 姜炜,宋仁杰,伍毅敏,等. 基于融合时空注意力机制的掌子面前方围岩 1D-CNN 预测[J]. 隧道建设(中英文),2025,45(10):1906-1918.