

DOI: 10.7672/sgjs2026020008

超高层塔楼连廊钢结构提升关键技术研究*

王成武¹, 侯彦果², 王晓冬¹, 单宏伟¹, 张志超³, 傅强³, 刘强斌³, 闻陈宝²

(1. 中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410000; 2. 清华大学土木工程系, 北京 100084; 3. 中建五局华南建设有限公司, 广东 深圳 518000)

[摘要] 超高层塔楼连廊钢结构在提升到合龙过程中存在多种失稳风险,可能引发重大安全事故及经济损失。以深超总C塔工程为例,采用全过程分析方法,系统研究连廊提升施工过程的风险点,包括连廊脱离胎架、正常提升到最后合龙的各阶段。利用有限元软件 ANSYS 进行数值分析,重点研究了连廊脱离胎架全过程的稳定性、提升过程中索组失效的安全性以及环境温度变化对结构变形和合龙的影响。研究旨在最大限度地降低安全风险发生的可能性,并确保施工方案在风险发生时具备足够的安全储备。

[关键词] 高层建筑; 钢结构; 连廊; 提升; 环境温度; 有限元分析

[中图分类号] TU758

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)02-0008-07

Research on Key Technology of Steel Structure Lifting for Super High-rise Tower Corridors

WANG Chengwu¹, HOU Yanguo², WANG Xiaodong¹, SHAN Hongwei¹,
ZHANG Zhichao³, FU Qiang³, LIU Qiangbin³, WEN Chenbao²

(1. China Construction Fifth Engineering Bureau Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China;

2. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. China Construction Fifth Division Southern Construction Subsidiary Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China)

Abstract: There are many risks of instability in the process of lifting and closing the corridor steel structure of a super high-rise tower, which may lead to major safety accidents and economic losses. Taking the Tower C project of the Shenzhen Bay Super Headquarters Base as an example, the whole process analysis method is used to systematically study the risk points of the corridor lifting construction process, including the various stages of the corridor detaching from the support frame, normal lifting, and final closure. The finite element software ANSYS was used for numerical analysis, focusing on the stability of the complete process of the corridor detaching from the support frame, the safety of the cable group failure during the lifting process, and the influence of environmental temperature changes on structural deformation and closure. The research aims to minimize the possibility of safety risks and ensure that the construction plan has sufficient safety reserves when risks occur.

Keywords: tall buildings; steel structures; corridor; lifting; environmental temperature; finite element analysis

0 引言

近年来,大跨度钢结构连廊整体提升施工技术

广泛应用于高层建筑中,但施工过程中的结构稳定性、同步性控制及精准对位等一直是研究的热点问题。王军等^[1]结合济南明湖国际科创中心项目,研究了连廊提升过程中提升吊点的安全性。马云峰等^[2]针对北京保利未来科技城项目,提出了分层吊装策略并校验关键结构的应力。

在提升同步性控制方面,闫明婷等^[3]以南昌经开区文体中心项目为例,模拟分析了多点同步提升

* 国家自然科学基金面上项目(52378164);河北省科技计划资助项目(22284501Z);中建五局重点研发项目;超高层项目智能建造成套关键技术研发及应用(CSCEC5B-2024-5);中施企协青年课题:基于结构检测的复杂连廊施工安全控制方法研究(2024-B-011);中施企协青年课题:超重大跨度连廊及上托下挂幕墙异型钢结构高空施工关键技术(2024-B-008)

[作者简介] 王成武,正高级工程师,E-mail:185088043@qq.com

[收稿日期] 2025-08-10

过程,发现提升位移差超过 50mm 时结构变形显著增大,需严格控制同步性。杜立春^[4]针对刚度不均匀结构,提出吊点优化方法及同步提升控制系统,提高了施工可控性。刘家彬等^[5]在南京六合金融大厦项目中采用液压整体提升技术,通过加固桁架端部并优化同步控制措施,解决了不同步提升导致的应力集中问题。

对于精准施工,严格控制变形、位形预调和监测在提升施工中发挥重要作用。郭文峰等^[6]通过对比有限元模拟与实测数据,评估了保利珑门连体结构的受力状态。郑文锦等^[7]和王峰等^[8]分别研究了深圳自贸中心高位连廊和悬挑桁架的变形预调值计算及施工成型态控制,强调了混凝土楼板浇筑过程对结构应力分布的影响。叶冬晨等^[9]针对杭州云门项目提出塔楼复位方法,通过施加水平荷载消除提升引起的塔楼变形,确保精准对位。

综合上述研究发现,目前对于连廊结构稳定性的研究聚焦于结构某静态时的应力和位移特征,然而,这类方法难以全面反映连廊从提升至合龙全过程的动态稳定性,尤其是提升过程中结构的整体稳定性,但往往这些可能引发重大安全风险和经济损失。因此本文综合考虑连廊提升至合龙全过程的诸多导致结构失稳的风险因素,基于有限元软件 ANSYS 开展数值分析,重点研究以下关键问题:①连廊脱离胎架全过程的稳定性;②提升过程中索组失效的安全性;③环境温度变化对结构变形及合龙精度的影响。研究旨在最大限度降低安全风险,并确保施工方案在风险发生时具备足够的安全储备。

1 工程概况

1.1 结构特点

深超总 C 塔项目整体结构效果如图 1 所示。该建筑由 A、B 两座塔楼组成,其中东侧 A 座塔楼高 393.2m,西侧 B 座塔楼高 329m,总建筑面积达 54.74 万 m²,总用钢量 7.2 万 t。两座塔楼均采用核心筒-外框钢管混凝土柱混合结构体系,并通过高空连廊相互连接。连廊桁架顶部设有大型共享空间,下方悬挂连廊吊挂层及其他附属结构。连廊上托与下挂结构呈现西高东低的特点。此外,塔楼底部区域围绕核心筒设置了裙摆钢结构及幕墙体系。

1.2 连廊钢结构

连廊、上托及下挂区的分区和连廊钢结构分解如图 2 所示。图 2a 呈现了连廊和相邻结构的位置关系,连廊位于塔楼 19~23 层南北两侧,其底部标高为 119.150m。图 2b 为连廊结构分解图,连廊整

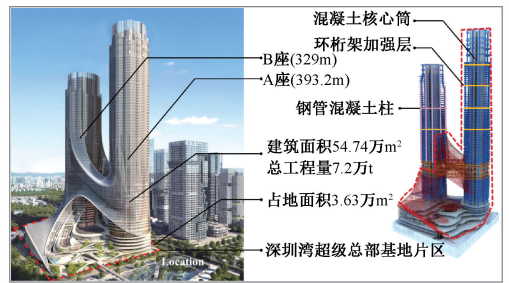


图 1 项目整体结构效果

Fig. 1 Overall structural effect of the project

体为 1 个 3 层桁架结构体系,呈现大跨度外扩弧形,其中 19 层为吊挂层,20~23 层为桁架层,整体连廊结构高度为 24.9m。单侧连廊自重约 2 400t,两侧总重约 4 800t。连廊内侧跨度 54m,外侧跨度 80m,南北侧连廊靠近 B 座位置设置拱桥结构,连廊的内、外侧主桁架共划分为 6 个节间,节间长 12.8~14m。连廊结构可拆解为主体桁架和联系杆件,其提升支撑系统由塔楼的框架柱和部分连廊结构组成。主体桁架采用 Q460 钢材,联系杆件采用 Q355 钢材,截面以方矩管为主,框架柱为圆形钢管混凝土。

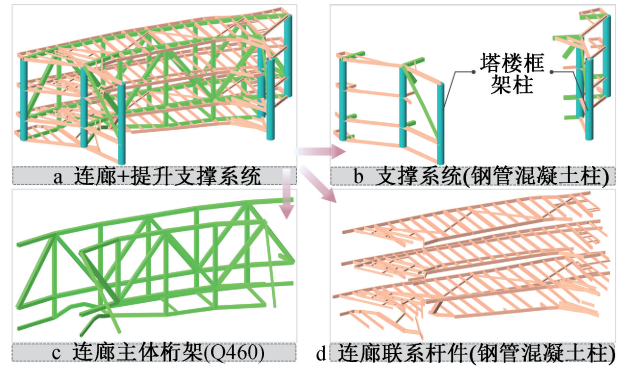


图 2 连廊钢结构

Fig. 2 Steel structure of the corridor

2 有限元模型

连廊提升钢结构有限元模型如图 3 所示。结构材料为 Q460 钢和 Q355 钢,钢材弹性模量为 206GPa,泊松比为 0.3,密度为 7 850kg/m³。连廊主桁架采用 Q460 钢,连廊联系杆件采用 Q350 钢,钢框柱为钢管混凝土构件。

连廊采用梁单元模拟,提升索组和支撑胎架采用桁架单元模拟。其中,提升索组位置以 TSS1, TSS2, TSS3, TSS4 标记,如图 3a 所示。其中, TSS1 和 TSS2 索组分别由 6 根索组成, TSS3 和 TSS4 索组分别由 4 根索组成。支撑胎架设置为只压不拉。施工计算模型不考虑混凝土楼板。

图 3a 显示了连廊结构边界条件和网格划分情况,边界约束设置在提升架上(即塔楼外框柱),分

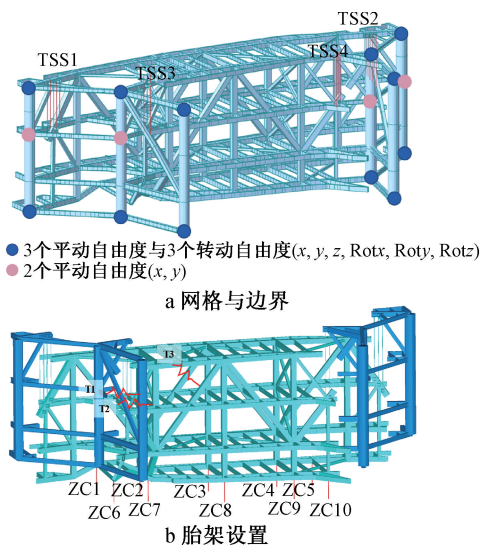


图 3 连廊有限元模型

Fig. 3 Finite element model of the corridor

别设置 12 个刚性约束,即约束所有平动和转动位移(蓝色点);设置 4 个平动约束,约束面内平动(红色点)。图 3b 为设置支撑胎架的有限元模型,并且针对胎架位置进行了标号。

此外,连廊中间约束非共线(3 个点平动位移,见图 3b 中 T1, T2, T3),以防约束不足产生刚体位移引起计算不收敛。需要注意,对于连廊脱离胎架全过程分析研究中, T1, T2, T3 为弹簧约束;对于温度影响和提升索意外失效完全性分析研究, T1, T2, T3 为刚性约束。

3 连廊脱离胎架全过程分析

在连廊提升的初始阶段,其自重完全由支撑胎架承担。随着提升索的牵引,连廊逐渐脱离胎架支撑。此过程为非稳态过程,胎架在竖直方向上经历了从受压到逐渐卸载的过程。此外,由于提升过程中胎架可能发生倾斜,因此会产生水平方向的作用力,导致水平方向的平衡状态不断变化。为了准确分析连廊脱离胎架的平衡变化过程,即连廊落于胎架到逐渐脱离胎架的过程,建立全过程分析动态模型,如图 4 所示。通过水平弹簧,构建结构水平方向约束,当弹簧完全不承受作用力,则说明提升点的提升合力通过提升结构的重心,此时结构实现稳定提升,不发生水平晃动。

通过模拟 4 组提升索降温牵引过程,释放弹簧竖向自由度,耦合弹簧 2 个节点的竖向位移,以确保其在提升过程中始终保持水平。同理,为避免产生垂直于弹簧方向的分力,耦合了两端节点垂直于弹簧方向的平动位移。本节选取的弹簧刚度分别为 412, 824, 2 060, 4 120, 20 600, 41 200, 206 000,

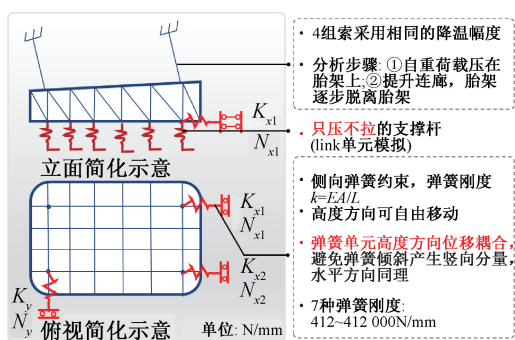


图 4 计算模型

Fig. 4 Computational model

412 000 N/mm。

不同侧向弹簧刚度对连廊脱离胎架的影响如图 5 所示。图 5 中红色和蓝色竖向虚线分别表示短跨侧和长跨侧完全脱离胎架时的提升高度。可以看出,胎架的脱离顺序取决于连廊结构的变形,呈现从两端向跨中发展的趋势。跨度较小的一侧总体先于跨度较大的一侧脱离。长跨侧具有更高的对称性,其对称位置处胎架的脱离过程曲线基本吻合(如 ZC2 和 ZC4 对应的曲线);而短跨侧的对称性较弱,对称位置处胎架的脱离曲线存在一定偏差(如 ZC7 和 ZC9 对应的曲线),这主要是由于短跨侧结构本身存在一定的不对称性。此外,长跨侧胎架间的变形和位移差较大,导致图中相邻胎架对应曲线的间隔较大。总体而言,水平晃动对连廊脱离胎架的顺序和所需提升高度的影响较小。短跨侧完全脱离胎架时对应的提升索提升高度约 30mm,长跨侧约 40mm。

连廊提升过程中侧向弹簧随提升高度变化的变形收敛情况如图 6 所示。提升过程中,弹簧位移的大小和方向持续变化,其受力一部分与倾斜胎架的作用力相抵消,另一部分则与提升索的拉力相平衡。当弹簧刚度较小时,对连廊的水平约束较弱,导致提升前期出现显著波动(见图 6c, 6b);而当弹簧刚度较大时,水平约束增强,波动相对平缓(见图 6c, 6d)。胎架完全脱离时,对应的提升高度约为 40mm,此时弹簧位移显著收敛。此外, T1 和 T2 弹簧的位移和受力呈现数值相等、方向相反的规律(见图 6 中黑线和红线),形成力矩。分析表明,倾斜拉索 T1 和 T2 的波动幅度与 T3 弹簧的波动幅度呈负相关关系,其中 T1 和 T2 弹簧的方向垂直于 T3 弹簧。

侧向弹簧刚度对 T1, T2 以及 T3 的位移与内力影响如图 7 所示,图中不同颜色区块对应提升过程中位移和力的波动区间,弹簧内力波动区间随着弹簧刚度变化。当弹簧刚度较小时,水平弹簧的位移

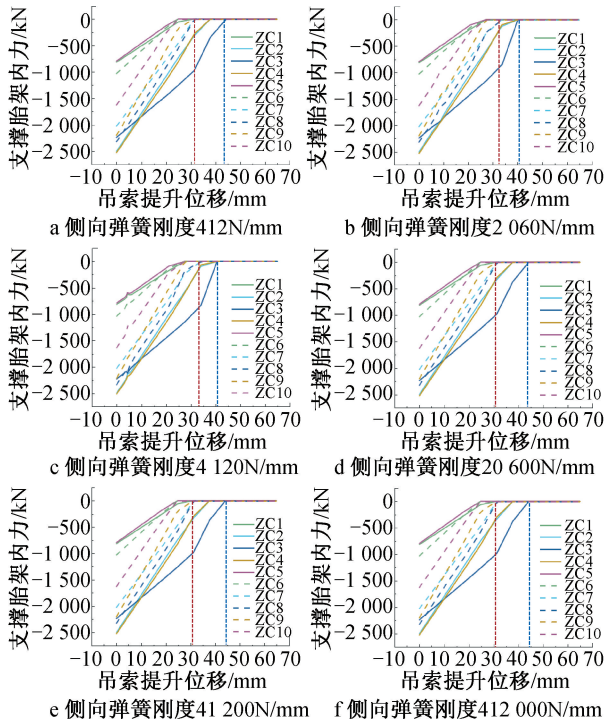


图 5 不同侧向弹簧刚度下对连廊脱离胎架的影响

Fig. 5 Influence of different lateral spring stiffnesses on the corridor detached from the formwork

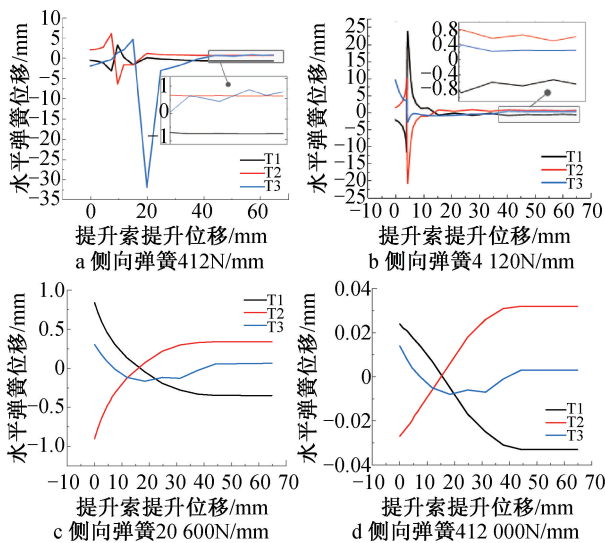


图 6 提升过程中水平弹簧变形收敛性分析

Fig. 6 Convergence analysis of horizontal spring deformation during lifting process

波动相对较大,随着弹簧刚度增大,结构位移波动减小。整体上,T1 和 T2 波动幅值正相关(对比图中黑线和红线),其位移、作用力方向相反,数值相等;T1,T2 与 T3 波动幅值呈现负相关,但 T1,T2,T3 弹簧波动幅值与弹簧刚度无明显联系。

以上分析均是对提升过程中侧向弹簧的影响,侧向弹簧刚度对结构水平位移和弹簧内力的影响如图 8 所示。随着弹簧刚度的增加,结构的水平位

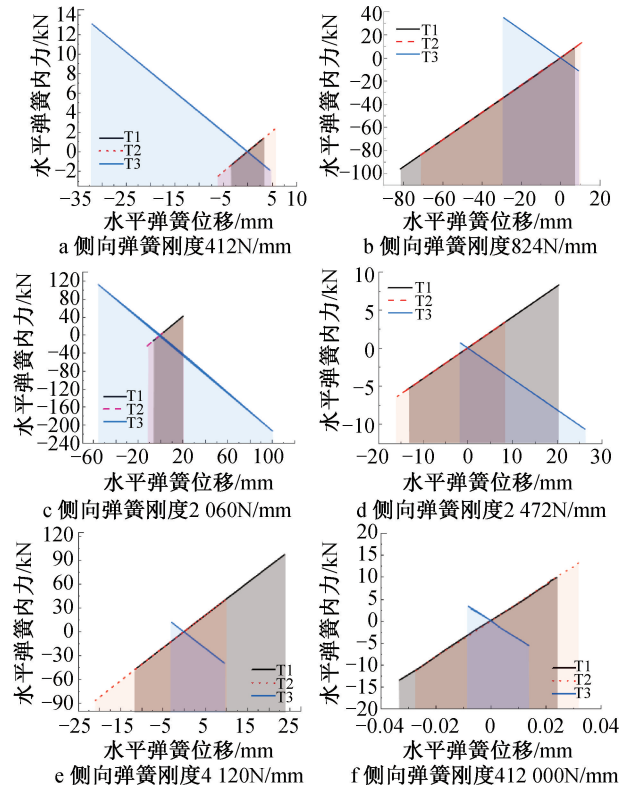


图 7 提升过程中水平弹簧的位移和内力

Fig. 7 Displacement and internal force of horizontal spring during lifting process

移逐渐收敛。整体而言,位移从 0.8mm 降低到 0.04mm,如图 8a 所示。弹簧刚度越小,结构水平位移波动越大;当弹簧刚度为 0 时,结构处于自然状态下的提升过程,即水平方向可自由晃动。计算结果表明,本施工方案中提升索位置较接近结构的平衡位置,即使侧向弹簧约束刚度很小(412N/mm),平动位移仅 0.8mm。对于长跨 80m、短跨 54m、高度 24m 的连廊结构而言,此计算精度已足够。需要注意的是,当完全没有弹簧约束时,结构位移会略大于 0.8mm。T1 和 T2 弹簧内力最终收敛于 14kN,与提升索力平衡;T3 弹簧最终处于无力状态。

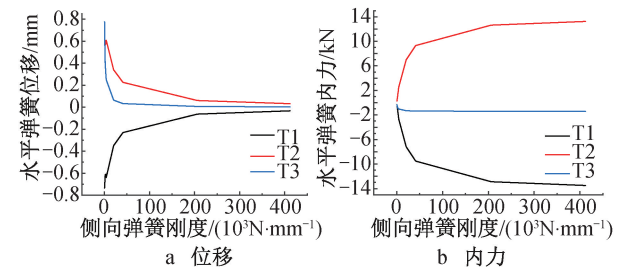


图 8 弹簧刚度对侧向位移和内力的影响

Fig. 8 Influence of spring stiffness on the lateral displacement and internal force

4 连廊提升索意外失效安全性分析

提升过程中,若发生索组或提升系统失效,将

造成不可估量的安全风险和经济损失。实际提升可能发生单根索失效情况,索组失效概率较低,但是为保证结构提升的安全性,本研究取不利情况,即聚焦于某组提升索失效后结构的稳定性和安全性。首先将连廊提升至脱离地面胎架的位置,随后某索组失效,使结构达到新的平衡状态。在此状态下,重点研究连廊的变形模式、内力分布规律以及剩余工作索索力的变化情况。

分别考虑 4 种工况:TSS1 索组失效、TSS2 索组失效、TSS3 索组失效、TSS4 索组失效(见图 9)。4 组索均正常工作时,结构最大位移为 25.9mm,最大应力为 104MPa。另外,考虑 TSS1 和 TSS2 失效的情况,通过有限元分析发现这两种情况的结构分析难以收敛,由图 9a,9b 可知,结构不仅自身位移改变,而且发生了明显的刚体翻转,最大位移约 11m,说明此时结构已经失稳或者平衡状态发生改变,所以导致计算无法收敛。注意,图 9a 和 9b 只是分析能计算到的荷载步,而不是最终状态。长跨侧的提升索对于提升时结构的稳定性起到十分重要的作用,决定提升过程是否能稳定进行,这是由于重心偏向于长跨侧,当长跨侧索组失效,偏心导致整体结构发生刚体转动。实际施工时,结构虽然发生刚体转动,但 3 组索最终能确定新的平衡状态。但这个过程十分危险,可能导致提升结构撞到塔楼主体,同时失稳状态可能导致人员伤亡。当然,这是极不利的破坏模式,实际工程很难发生 1 个索组 6 根索全部失效的情况。

然后,考虑 TSS3 和 TSS4 失效对于结构变形和索力的影响。TSS3 索组失效时,结构最大变形为 83.5mm,而 TSS4 索组失效时,结构最大变形为 124.1mm,表明此时结构依旧能保持平衡状态,不发生刚体转动。同样是由于重心靠近长跨侧,短跨的索组失效,偏心不会导致连廊转动。与索组均正常工作相比,短跨侧索组失效导致连廊构件最大应力提升 20MPa 左右,如图 10 所示。

TSS3 或 TSS4 索组失效后,剩余工作索索力变化如图 11 所示。注意,每个索组中包含的索数量不同。定义索力增大系数为某索组失效后剩余工作索索力与所有索正常工作时对应位置的索力比值。当该值大于 1 时,表明断索后剩余索的索力增加。当 TSS3 索组失效时,单根索索力最大增至 2.04 倍,而整个 TSS4 索组的索力增至 1.92 倍,如图 11a 所示。同理,当 TSS4 索组失效时,单根索索力最大增至 2.1 倍,而整个 TSS3 索组的索力增至 1.97 倍,如图 11b 所示。由图 11 可知,当短跨侧索组失效时,

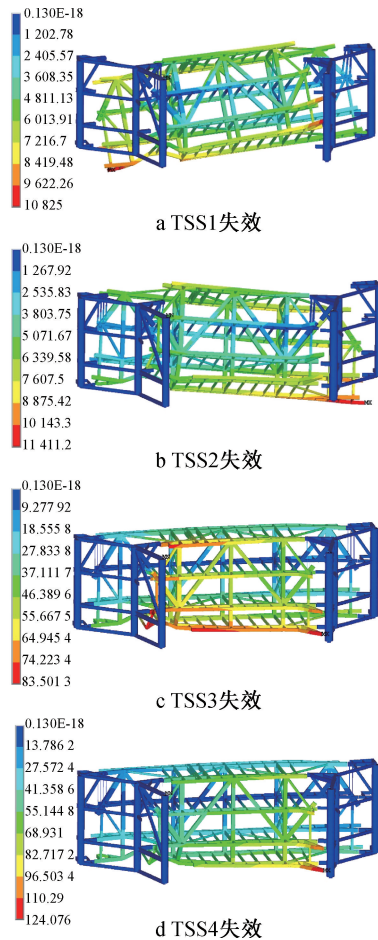


图 9 不同提升索失效时结构变形(单位:mm)

Fig. 9 Structural deformation for failure of different lifting cables(unit : mm)

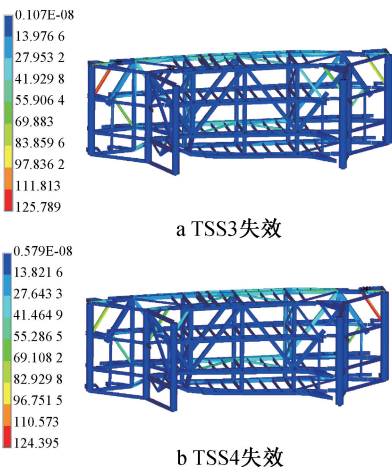


图 10 不同提升索失效时结构应力(单位:MPa)

Fig. 10 Structural stress for failure of different lifting cables(unit : MPa)

长跨侧 2 个索组的索力大致呈现反对称关系,即 TSS1 索组索力增加时,TSS2 索组索力减少,且两者的增减数值大致相等,如图 11 所示红线和黑线关系。

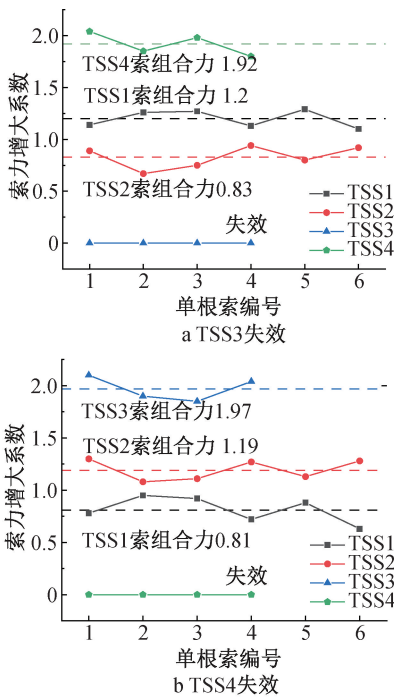


图 11 索组失效后剩余工作索索力变化

Fig. 11 The change of the remaining working cable force after failure of certain cables

5 环境温度对连廊合龙的影响

环境温度是影响连廊合龙的重要因素。工厂内的环境温度、现场施工期间的环境温度以及现场施工环境的昼夜温差均会对结构产生影响。深圳 5 月平均气温介于 23.6~29.5℃,温差为 5.9℃;6 月平均气温介于 25.7~21.3℃,温差为 5.6℃。因此,温度影响分析基于上述统计数据,并适当扩大实际分析的温差范围(ΔT)为-6~12℃,以期更全面地捕捉温度变化带来的影响。

本节重点研究温度变化对后补构件长度的影响,选取连廊桁架与提升架之间所有后补段作为分析对象,如图 12 所示。首先,对比设计长度与自重作用下构件长度的差异;其次,对比自重作用下构件长度与温度作用下构件长度的差异。由于实际构件长度远大于温度引起的长度变化,故采用两者的比值直观呈现长度变化情况,如图 13 所示。

首先,由于结构南北方向非对称,长跨一侧更重导致该侧位移偏大,因此对结构进行调平处理,维持提升顶面处于同一平面。图 13a 结果表明,关键后补构件在自重作用下的长度变化呈现约 50% 构件伸长(以 1,8,15 号位置最为显著),50% 构件缩短(4,10,11 号位置缩短幅度最大,平均达到设计长度的 0.9974 倍),这是由于自重下连廊受弯,其受压区后补段空隙增大,受拉区后补段空隙缩短。整

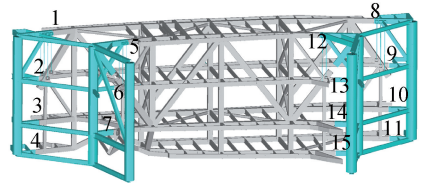
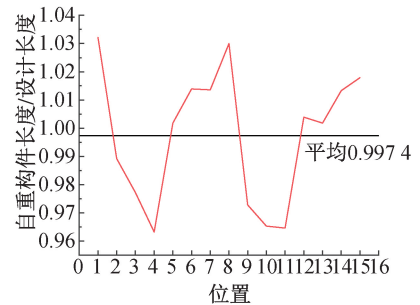
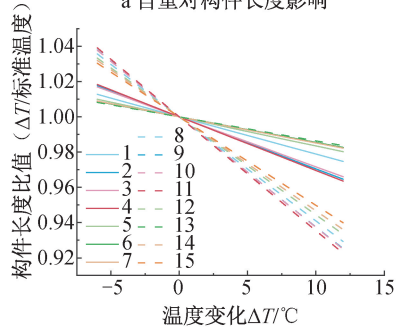


图 12 后补段定位以及编号

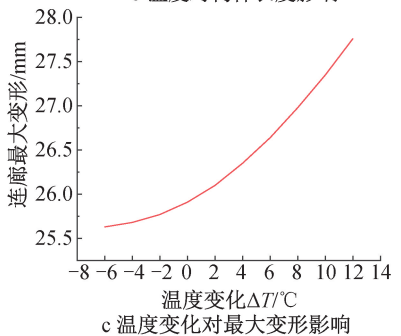
Fig. 12 Positioning and numbering of post-installed members



a 自重对构件长度影响



b 温度对构件长度影响



c 温度变化对最大变形影响

图 13 结构自重和温度对后补构件的影响

Fig. 13 Influence of structure weight and temperature on the supplementary components

体而言,自重作用下对后补构件长度影响不大。图 13b 揭示了温度对后补构件长度的影响规律,其中纵坐标为温度变化后构件长度与标准温度下长度的比值,两者均考虑自重影响。总体而言,升温导致提升架与提升结构间隙减小,从而需要增加后补构件长度;降温则导致间隙增大,从而需要缩短后补构件长度。具体而言,当升温 12℃ 时,位置 11 的构件缩短比例最大,约为 8%;当降温 6℃ 时,位置 11 的构件增长比例最大,约为 4%。图 13c 呈现了温度

对结构整体变形的影响,随着温度的升高,结构最大变形呈现出非线性增长的趋势。

6 结语

1) 连廊提升过程中,拼装胎架脱离顺序为先两侧后中间、先短跨后长跨;长跨侧相邻胎架脱离时间间隔较大;侧向约束对胎架脱离顺序影响较小。

2) 连廊重心偏向长跨侧,由于偏心效应,长跨侧索组失效会导致整体结构发生刚体转动失稳,危险性极大,需要严格监测;短跨侧索组失效,结构仍能在原变形基础上维持平衡。

3) 当短跨侧索组失效时,长跨侧2个索组的索力大致呈现反对称关系,即 TSS1 索组索力增加时, TSS2 索组索力减少,且两者的增减数值大致相等。

4) 自重作用下由于连廊受弯,其受压区后补段空隙增大,受拉区后补段空隙减小。环境温度下降导致提升架和提升结构间隙增大,后补构件所需长度增大;环境温度上升,规律与之相反。

参考文献:

- [1] 王军,董鹏,李世铎,等. 非对称钢结构连廊整体提升过程力学性能研究[J]. 低温建筑技术,2025,47(2):10-13.
WANG J, DONG P, LI S D, et al. The mechanical properties of asymmetric steel corridor during whole lifting process [J]. Low temperature architecture technology, 2025, 47(2): 10-13.
- [2] 马云峰,刘汝超,初善忠,等. 高层塔楼核心筒钢结构及连廊施工技术分析[J]. 中国建筑金属结构,2025(5):16-18.
MA Y F, LIU R C, CHU S Z, et al. Analysis on construction technology of core tube steel structure and corridor of high-rise tower [J]. China construction metal structure, 2025(5): 16-18.
- [3] 闫明婷,王仁俊,黄玉柱,等. 大跨连体钢桁架同步整体提升技术[J]. 施工技术(中英文),2023,52(24):107-113.
YAN M T, WANG R J, HUANG Y Z, et al. Synchronous overall

lifting technology of large-span connected steel truss [J]. Construction technology, 2023, 52(24): 107-113.

- [4] 杜立春. 刚度不均匀重载钢结构分区域累积提升及测控技术[J]. 施工技术(中英文),2022,51(16):115-119.
DU L C. Sub-regional cumulative lifting and measurement and control technology of heavy-duty steel structure with uneven stiffness [J]. Construction technology, 2022, 51(16): 115-119.
- [5] 刘家彬,郭正兴,夏虎. 大跨连体钢桁架整体提升施工技术[J]. 建筑技术,2017,48(2):126-129.
LIU J B, GUO Z X, XIA H. Construction technique for integral lifting of wide-span connected steel truss [J]. Architecture technology, 2017, 48(2): 126-129.
- [6] 郭文峰,叶鹏,张立,等. 高层连体结构钢连廊整体提升安全监测研究[J]. 施工技术(中英文),2023,52(20):1-7.
GUO W F, YE P, ZHANG L, et al. Safety monitoring of integral lifting of high-rise connected structure steel corridor [J]. Construction technology, 2023, 52(20): 1-7.
- [7] 郑文锦,闻陈宝,孟凡光,等. 高层建筑高位连廊安装施工技术[J]. 工业建筑,2024,54(10):240-246.
ZHENG W J, WEN C B, MENG F G, et al. Installation and construction techniques for elevated corridors in high-rise buildings [J]. Industrial construction, 2024, 54(10): 240-246.
- [8] 王峰,侯彦果,郑文锦,等. 高空长悬挑桁架施工变形预调控制技术[J]. 工业建筑,2024,54(11):220-225.
WANG F, HOU Y G, ZHENG W J, et al. Pre-set deformation technology of long-span cantilevered truss construction in high altitude [J]. Industrial construction, 2024, 54(11): 220-225.
- [9] 叶冬晨,宗荣,贾尚瑞,等. 基于整体提升施工技术的高层连体结构塔楼复位研究[J]. 建筑钢结构进展,2024,26(8):96-103.
YE D C, ZONG R, JIA S R, et al. Tower centering of high-rise connected structure based on integral lifting construction technology [J]. Progress in steel building structures, 2024, 26(8): 96-103.

(上接第7页)

- [5] 郭文峰,叶鹏,张立,等. 高层连体结构钢连廊整体提升安全监测研究[J]. 施工技术(中英文),2023,52(20):1-7.
GUO W F, YE P, ZHANG L, et al. Safety monitoring of integral lifting of high-rise connected structure steel corridor [J]. Construction technology, 2023, 52(20): 1-7.
- [6] 闫明婷,王仁俊,黄玉柱,等. 大跨连体钢桁架同步整体提升技术[J]. 施工技术(中英文),2023,52(24):107-113.
YAN M T, WANG R J, HUANG Y Z, et al. Synchronous overall lifting technology of large-span connected steel truss [J]. Construction technology, 2023, 52(24): 107-113.
- [7] 王峰,侯彦果,郑文锦,等. 高空长悬挑桁架施工变形预调控制技术[J]. 工业建筑,2024,54(11):220-225.
WANG F, HOU Y G, ZHENG W J, et al. Pre-set deformation technology of long-span cantilevered truss construction in high altitude [J]. Industrial construction, 2024, 54(11): 220-225.
- [8] 叶冬晨,宗荣,贾尚瑞,等. 基于整体提升施工技术的高层连

体结构塔楼复位研究[J]. 建筑钢结构进展,2024,26(8):96-103.

- YE D C, ZONG R, JIA S R, et al. Tower centering of high-rise connected structure based on integral lifting construction technology [J]. Progress in steel building structures, 2024, 26(8): 96-103.
- [9] 马云峰,刘汝超,初善忠,等. 高层塔楼核心筒钢结构及连廊施工技术分析[J]. 中国建筑金属结构,2025(5):16-18.
MA Y F, LIU R C, CHU S Z, et al. Analysis on construction technology of core tube steel structure and corridor of high-rise tower [J]. China construction metal structure, 2025(5): 16-18.
- [10] 张佳健,倪英,赵正杰,等. 大跨度桁架分段吊装技术探讨[J]. 四川建筑,2025,45(1):178-180.
ZHANG J J, NI Y, ZHAO Z J, et al. Discussion on segmental hoisting technology of large-span truss [J]. Sichuan architecture, 2025, 45(1): 178-180.