

乌鲁木齐奥体中心体育场钢结构施工技术研究

贾尚瑞, 邢遵胜, 刘洋*, 卢福生
(浙江精工钢结构集团有限公司, 浙江绍兴 312030)

摘要: 乌鲁木齐奥体中心体育场屋盖钢结构采用大开口索承网格结构体系, 作为一种刚柔结合体系, 施工过程中存在较多技术难点。本文通过对钢结构和索网结构的研究和实践, 提出了屋盖网格面模块化吊装和单点式分块支撑施工技术, 减少了高空作业, 优化了支撑措施用量; 提出了大体量辐辏式索承网格预应力索系有障碍整体提升技术, 避免了大体量索体拼装胎架的搭设, 加快了施工工期; 研发了一种有障碍倾斜钢结构分块安装方法, 提高了幕墙结构安装效率; 提出了大悬挑索承网格结构张拉后卸载施工技术, 加快了张拉效率, 节省了张拉成本。以上技术可为今后类似工程提供借鉴和参考。

关键词: 大开口索承网格结构; 模块化; 提升施工; 幕墙结构; 单点式分块支撑施工技术; 张拉后卸载施工技术

中图分类号: TU758.11

文献标志码: A

文章编号: 1671-9379(2025)12-0101-10

DOI: 10.13969/j.jzgjgz.20240702001

Research on Steel Construction Technology for the Urumqi Olympic Sports Center Stadium

JIA Shangrui, XING Zunsheng, LIU Yang*, LU Fusheng
(Zhejiang Jinggong Steel Building Group Co., Ltd., Shaoxing 312030, China)

*Corresponding author: liuyangln@jgsteel.cn

Abstract: The Urumqi Olympic Sports Center Stadium adopts a large-opening spoke-wheel type cable-supported grid structure. As a rigid-flexible combined system, there are many technical difficulties during construction. Through targeted research and practice on the steel structure and cable network, a modular hoisting and single point block support construction technology for the roof grid surface was proposed, which reduces high-altitude operations and optimizes the number of supports used. An overall lifting technology for large-scale spoke-wheel type cable-supported grid prestressed cable systems with obstacles was introduced, which avoids the installation of large cable assembly frames and shortens the construction period. A block installation method for inclined steel structures with obstacles was developed, which improves the efficiency of curtain wall structure installation. Finally, a post-tensioning unloading construction technique for large cantilever cable-supported grid structures was proposed, which improves the tensioning efficiency and saves the cost. The above technologies can provide reference and guidance for similar projects in the future.

Keywords: large-opening spoke-wheel type cable-supported grid structure; modularization; lifting construction; curtain wall structure; single point block support construction technology; post-tensioning unloading construction technique

新疆乌鲁木齐奥林匹克体育中心是乌鲁木齐市面向 新世纪着力打造的重要文化体育设施, 位于乌鲁木齐市

收稿日期: 2024-07-02

作者简介:

贾尚瑞(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事钢结构设计、加工制作及现场施工等方面的研究。E-mail: jiashangr@jgsteel.cn。

邢遵胜(1982—), 男, 博士研究生, 正高级工程师, 主要从事钢结构设计、加工制作及现场施工等方面的研究。

通信作者:

刘洋(1994—), 男, 博士, 工程师, 主要从事钢结构设计、钢结构施工及结构分析等方面的研究。E-mail: liuyangln@jgsteel.cn。

米东区喀什路东延以南、会展大道二期以北,占地约615亩,总建筑面积约30.5万 m^2 。项目包含1.2万座体育馆、3万座体育场、3000人游泳馆、全民健身馆、综合田径馆、运动员宾馆、配套商业及架空平台、体育馆下架空覆土停车场、公共设施配套和体育公园,如图1所示。



图1 项目效果图

Fig. 1 Project rendering

体育场下部主体结构为钢筋混凝土框架-剪力墙-支撑结构,上部屋盖为大开口轮辐式索承网格钢结构。地上5层,无地下室,看台最高点标高23.820 m,屋盖最高点标高40.000 m,结构嵌固端为基础面,下部主体结构和屋盖结构均不设缝,为整体结构。屋盖结构整体造型呈马鞍形曲面,平面为椭圆形;屋盖平面尺寸为263.5 m \times 227.5 m,屋盖中心洞口尺寸为195.4 m \times 127.4 m,东西方向短轴屋盖檐口标高为34.738 m,南北方向长轴屋盖檐口标高为39.667 m。体育场尺寸图及细部构造如图2所示。

体育场钢结构以外圈三角桁架为界,主要分为外部落地幕墙系统与内部索承网格系统两个部分。落地幕墙系统由折线形立柱、柱间环杆、拉索以及各类支撑组成,上端支撑于三角桁架上,下端东西立面通过销轴节点固定于混凝土楼层,南北立面为大悬挑结构。内部索承网格系统由索网和撑杆、径向梁、内环梁、环杆以及各种支撑组成。中间三角桁架两端连接幕墙系统和索承网格系统,下部通过72套成品铰支座支承于下部土建混凝土柱顶,其中索承网格结构一周通过销轴节点与三角桁架连接,如图3所示。构件主要以圆管及箱形截面为主。屋盖刚性结构节点大部分为刚接,索杆体系的撑杆两端均为销轴铰接连接,索夹采用铸钢节点。结构主要材质有Q460GJC、Q420GJC、Q345GJC、Q345B/C等。

1 施工总体安装方案

大开口轮辐式索承网壳结构体系,是一种新型自平衡预应力空间结构体系^[1-4],其结构构造形式与弦支穹顶结构^[5]相似,均由下部的索杆体系和上部的单层网格组

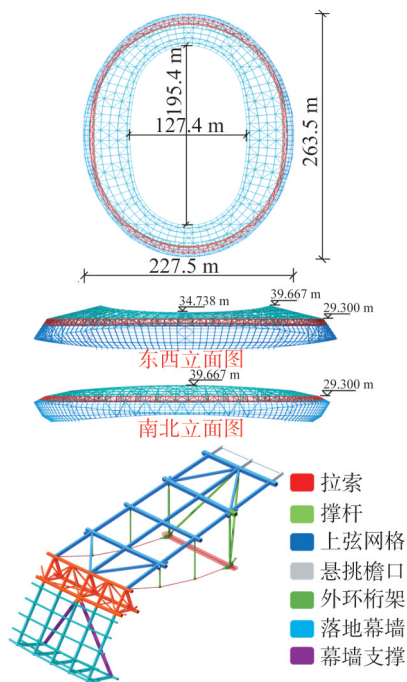


图2 体育场尺寸及细部构造

Fig. 2 Dimension and detailed construction of stadium

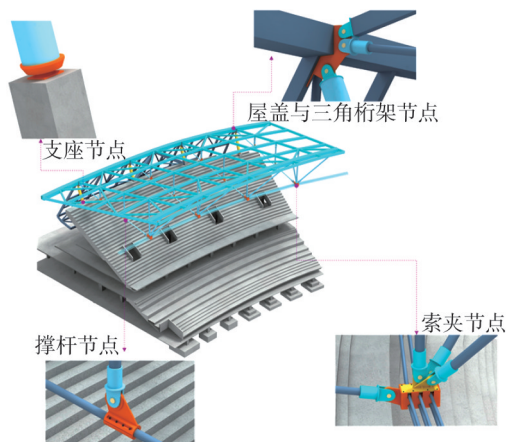


图3 体育场轴测图及节点图

Fig. 3 Axonometric diagram and joint diagrams of stadium

成。其安装方式一般采用先安装屋盖网格结构,然后安装下部索系,最后张拉索系缓慢形成索承网格整体受力体系。

根据结构形式、现场场地条件和工期要求,体育场钢结构屋盖共分为四个区段,设置四道合龙缝,以减小结构因尺寸大带来的温度变化对施工过程产生的不利影响,如图4所示。结合土建进度,在施工顺序上,首先安装土建结构量较小的A-1和A-2区,然后再施工A-3和A-4区;每个区施工方向为由中间向两端,如图5所示。

对于屋盖网格、三角桁架和幕墙结构,均采用搭设支撑架、大型履带吊分块吊装方法进行安装;同时为充分利用场地条件,保障施工工期,采用场内、场外机械同步吊

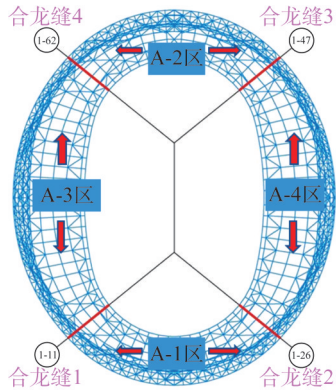


图4 屋盖钢结构施工分区

Fig. 4 Construction zoning of roof steel structure

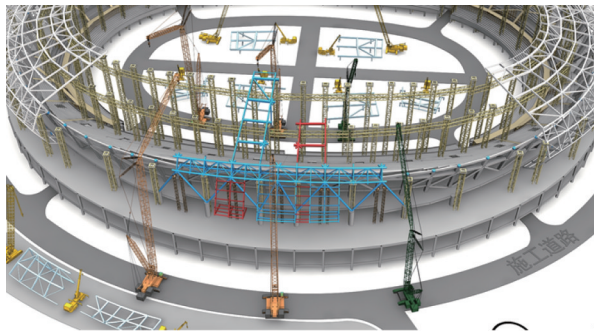


图5 屋盖钢结构施工示意图

Fig. 5 Construction schematic diagram of roof steel structure

装方式,其中场外机械吊装幕墙、三角桁架及屋盖网格外侧分段,场内机械吊装屋盖网格内侧分段。根据场地情况和分段重量,主要机械采用450 t履带吊。安装顺序上,首先安装三角桁架,以三角桁架为基础,外侧外挂安装幕墙结构,内侧支承屋盖网格结构,从而进行流水施工作业。

屋盖网格下部索网结构由撑杆及索网组成,其中撑杆与屋盖网格采用销轴节点连接,随屋盖网格进行安装。屋盖网格拼装时,将撑杆水平放置;屋盖网格起吊时,撑杆随起吊升高自动旋转至垂直状态。首先将索网在地面组装成整体,然后采用液压提升器整体提升至设计位置后,与撑杆连接固定,最后进行拉索的分批分级张拉施工^[6],如图6所示。

2 施工关键技术

2.1 屋盖网格模块化施工技术

对于大开口索承网格结构形式的体育场,屋盖网格下部的土建结构一般较为复杂。以乌鲁木齐奥体中心体育场为例,下部土建结构为高低不平的看台,支撑架支承困难,且看台结构承载力较弱,需要进行加固处理。此外,为了获得较空旷的内部空间,一般体育场结构总高度



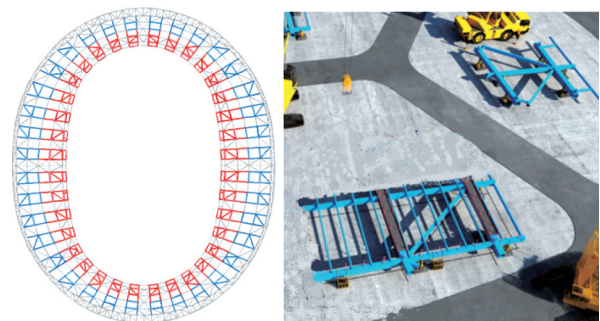
图6 索网整体提升施工

Fig. 6 Overall lifting of cable net construction

较大,使得屋盖网格施工需要设置更高的支撑架,措施量大。

针对上述屋盖网格施工中存在的问题,综合考虑工期、经济、安全等因素,考虑采用大型模块化吊装技术^[7],根据结构的受力特点、结构对称性、拼装便利性、现场场地条件、分块重量以及网格悬挑长度,径向方向以两个网格为分界,环向方向以一个网格为分界,将整个刚性屋盖面分为72个大分块,内圈36个分块,外圈36个分块,如图7所示。将钢结构划分成尽可能大的分块,同时将附属檩条、施工用的安全通道等与屋盖网格一起地面拼装,整体吊装。此种方式不仅大大减少高空对接焊接作业量,降低高空作业风险和安全隐患,而且由于吊装分块的数量大幅度减小,吊装效率提高,有效节约了项目的吊装工期。

常规矩形钢结构分块安装,需在分块四个角部设置



a) 吊装分块图

b) 模块化效果图



c) 现场施工图

图7 模块化吊装分块和施工

Fig. 7 Modular lifting and construction

支撑架进行临时支撑以保证分块单元的的稳定,如图8所示。因体育场支撑架高度较高,且支撑架下部主要为高低不平的混凝土看台,不仅支撑架用量大,设置难度也大,故一般采用格构式支撑架以保证支撑架的稳定性。

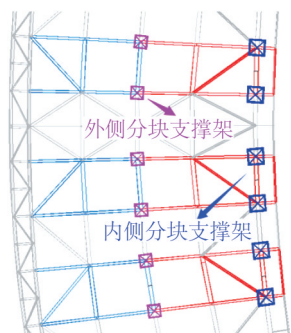


图8 支撑架布置图

Fig. 8 Arrangement of support frames

鉴于上述难点,本文提出一种单点式分块支撑技术,即将在分块两个端部设置的支撑架,调整为在跨中设置一个支撑架。为解决单点支撑架两侧悬挑较大易导致分块变形较大的问题,把在格构支撑架形心点进行支撑的方式,调整为在支撑架两个边缘进行支撑的方式,即单点双支撑方式,解决了单点支撑悬挑端部变形过大的问题,如图9所示。此外,为使得单个支撑架两点支撑的间距更大,也可将支撑架旋转90°后支撑,如图10所示,支撑点位于支撑架对角线立柱的正上方。此方式增加了支撑点间距,有利于控制悬挑结构变形,但支撑荷载分别由支撑架单根立柱承受,不能保证支撑架四个立柱受力的协同性,可能使得支撑架立柱规格偏大。当采用已确定规格的支撑架,且承载力满足要求时,宜优先采用此支撑方式。现场施工过程中支撑布置情况如图11所示。

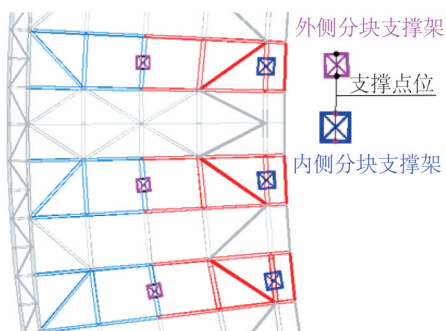
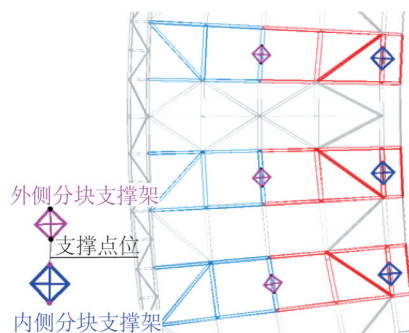


图9 单点双支撑布置图

Fig. 9 Arrangement of support frames of one joint with double supports

常规看台楼层加固采用反顶措施的方式,由于加固措施在混凝土楼层内部,无法采用机械吊装,只能采用人



10 旋转90°支撑布置图

Fig. 10 Arrangement of the support frames by rotating 90 degrees



a) 支撑架整体布置图

b) 顶部两点支承图

图11 支撑架现场施工

Fig. 11 On-site construction of support frames

工搬运、手拉葫芦等措施进行安装,费时费力。该工程预先在混凝土结构上预留支撑架立杆孔洞以方便支撑架安装,同时为保证支撑架的稳定性,在洞口位置采用钢筋与混凝土连接的方式,将支撑架立柱水平方向固定,如图12所示。



a) 加固措施整体图

b) 洞口处节点处理图

图12 支撑架下部楼面加固现场施工

Fig. 12 On-site construction of the reinforced floor under the support frame

2.2 索网整体提升施工技术

对于轮辐式索承网格结构,其预应力索系由径向索系和环向索系组成,其中径向索为轮辐式布置,环向索一般采用多根索平行并排布置,如图13所示。其中径向索

共72根,有100 mm和120 mm直径两种规格;环向索由八根并排的直径为128 mm的索组成,单根长度约590 m,仅拉索重量达500 t。为同时固定8根环向索,环向索索夹尺寸较大,单个索夹重达7 t,索夹总重约500 t。此外,由于单根环向索长度较长,加工和运输均较为困难,该工程中环向索分为四段进行加工,分别运输至现场拼装。

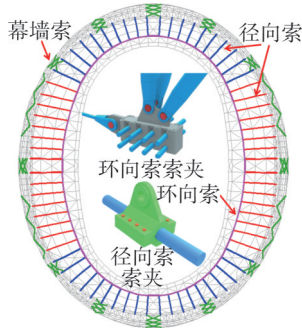


图13 索系布置图

Fig. 13 Arrangement of the cables

常规索承网格索系施工方式如表1所示。

表1 索承网格索系施工方式

Table 1 Construction methods of cable-supported grid structure

索系类型	施工方式
径向索	单独牵引提升安装 与环向索一起提升安装
环向索	根据索段分段提升安装 整体提升安装

对于环向索施工,当采用分段提升安装时,由于环向索索头对接处为铸钢件,索头重量大(单根环向索的对接索头重达1 t),且提升后索体有悬链效应,故人工安装困难,需要在下部搭设支撑和操作平台,措施量较大,高空作业安装效率低,如图14所示。



图14 环向索分段提升高空对接现场施工

Fig. 14 On-site construction of high-altitude docking for circumferential cable segments

对于轮辐式径向索施工,当与环向索一起提升施工时,提升到位后,径向索需要和撑杆连接,由于榫数较多,安装时间长,占用绝对工期。该工程中采用单独牵引安装,通过卷扬机或者吊机,将径向索首先与撑杆安装,径向索端部索头采用钢丝绳临时悬挂固定在环向索索夹处,待环向索提升到位后,再与环向索夹固定。径向索的安装可以和屋盖同步流水施工,不占用绝对工期,施工安装过程如图15所示。



图15 径向索牵引安装现场施工

Fig. 15 On-site construction for radial cable traction installation

对于环向索整体提升安装,可以在地面上将环向索拼装成整体后再提升安装,避免了高空作业,施工效率高。环向索整体提升过程中,由于提升器提升时需沿一个方向固定提升,钢绞线摆动角度非常有限,当提升上空存在障碍物与提升索网干涉时,钢绞线摆动角度超过限值会导致钢绞线与提升器卡死而无法提升。故一般通过将索系拼装平台上移至障碍物之上的方式来解决,如图16所示,在此情况下需将整个环形索网拼装平台铺平,故要搭设大量支撑平台。



图16 环向索地面拼装措施现场施工

Fig. 16 On-site construction of the circumferential cable assembled on the ground

常规提升器提升施工时钢绞线最大倾角为 2° ,调节范围较小,当障碍物遮挡较严重时,将无法调整,如图17所示。为解决上述问题,本文提出了一种大体量轮辐式索承网格预应力索系有障碍整体提升施工技术,通过调

整提升器位形,使其能够适应钢绞线在大倾角状态下的自由提升,避免了搭设大体量的索体拼装胎架,节省了施工措施量,加快了索体的施工进度,使整个索网安装施工更安全、经济、高效。该项目采用如下方式调整提升过程中提升器位形,提升施工过程如图18所示,以满足被提升结构所需的较大水平位移。首先在提升器一侧设置支架,支架由两榀三角架组成,顶部设置横梁与三角架连接成一体,形成一个竖向和水平均稳固的结构;其次在横梁靠近提升器一侧设置一槽钢轨道,用于放置千斤顶。提升过程中,在被提升索系接近障碍物时,通过对索系的水平牵引,让被提升索系避开障碍物(钢绞线与提升器成一定角度 β),此时,在支架上使用千斤顶顶推提升器,使提升器倾斜 β 角度,并在提升器下部垫设钢楔块,使提升器与倾斜钢绞线在一条直线上,避免钢绞线卡死,从而提升器可以在倾斜条件下继续提升。此外,由于提升器为倾斜状态下作业,为避免提升器失稳,需在提升器顶部通过吊带将提升器固定在支架上。当索系被提升到障碍物之上后,首先解除索系的水平牵引,让索系结构回归到原位置,随后通过千斤顶顶升提升器,将钢楔块取出后缓慢卸载千斤顶,使提升器回归原始位置后,再正常提升索系结构。



图17 环向索有障碍提升现场施工

Fig. 17 On-site construction of the circumferential cable lifting with obstacle

环向索提升过程中,由于索夹重量较大,单个索夹重达7t,为保证提升到位后索夹的精度控制,提升点均设置在索夹位置处。此外由于环向索接头位置也为铸钢件,重量较大,为避免接头位置下悬变形过大影响两端索夹安装,同样需设置提升点,本工程共设置76个环向索提升点。此外,因与屋盖钢网格干涉,故索夹正上方无法设置提升器,为便于在索系提升到位后索夹节点的安装,需保证提升过程中索夹不扭转,单个提升点处需设置两套提升器,分别提升索夹两端,如图19所示。下吊点采用吊带进行绑扎固定,分别设置在索夹两端,通过缠绕方式固定在索体上,避免刚性物体损伤索体,如图20所示。

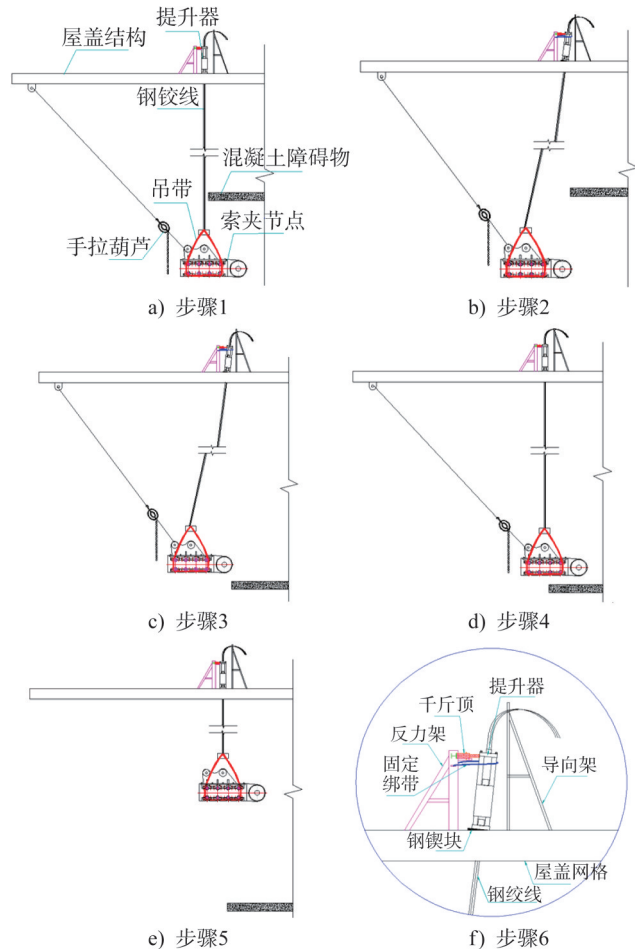


图18 环向索有障碍提升过程

Fig. 18 Process of the circumferential cable lifting with obstacle



a) 提升器布置图 b) 提升下吊点布置图

图19 环向索提升点布置图

Fig. 19 Arrangement of the circumferential cable lifting points

2.3 幕墙结构分块吊装施工技术

对于体育场的结构类型,在看台外侧为获得较大的使用空间,常采用悬挑板的结构形式,同时为满足外立面幕墙的造型需求,悬挑板悬挑跨度往往较大,如图21所示。该项目体育场看台顶部外侧悬挑板最大悬挑跨度为5.5m,幕墙结构沿悬挑边缘布置,其下部插入混凝



a) 下吊点绑扎整体图 b) 下吊点绑扎细节图

图20 下吊点绑扎图

Fig. 20 Binding diagram of the lower lifting points

土内部,当倾角较大时,存在采用吊机无法直接安装的情况。一般情况下采用搭设支撑架进行散装,安装时需采用手拉葫芦或者卷扬机等方式,施工效率低,措施费用高。



图21 幕墙结构

Fig. 21 Curtain wall structure

项目人员研发了一种有障碍倾斜钢结构分块安装方法^[8],克服了体育场幕墙结构采用散装安装方法的诸多不足,如图22所示。该方法采用幕墙分块地面拼装,大型吊机进行整体起吊,侧面采取手拉葫芦配合滑轨牵引就位的安装方式,可以有效提高安装效率,节约人力和时间成本,保障施工进度。此外,在地面完成钢结构拼装可以明显降低高空作业风险,提高结构安装精度。具体施工步骤如下:

(1) 将幕墙分块在地面拼装完成,并在结构标高较高处沿钢结构竖向中线对称焊接两个吊耳,吊机吊钩通过吊耳将幕墙分块吊起;

(2) 幕墙分块吊起后,将幕墙分块吊至安装位置附近,保持吊机不松钩,利用手拉葫芦将幕墙分块下部对接口牵引至混凝土支座附近,利用吊机将吊点缓缓下移,同时利用液压千斤顶对幕墙分块位置进行细部调节,使对接口缓缓落在滑轨上;

(3) 利用手拉葫芦拉动幕墙分块,使下部对接口沿着滑轨滑动。在滑动过程中,利用吊机同步调整吊点高度以减小幕墙分块对滑轨的压力,从而减小下部对接口

滑动的摩擦力;

(4) 下部对接口滑动到位之后,完成销轴节点安装;

(5) 利用吊机使幕墙分块绕下部销轴转动,将幕墙分块上部对接口转动至安装位置处附近,同时利用手拉葫芦进行细部调整后焊接,完成幕墙结构上部对接口的安装。

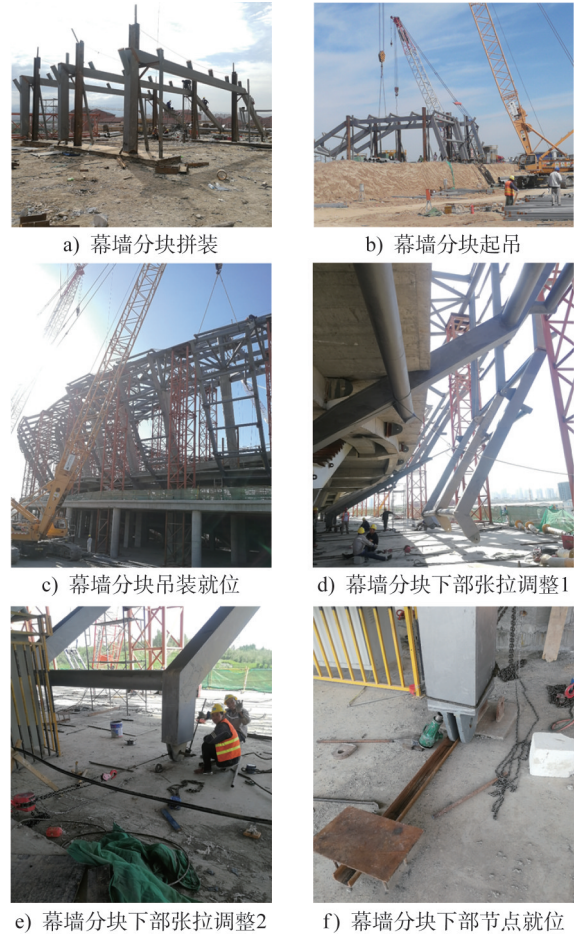


图22 幕墙安装过程

Fig. 22 Process of the curtain wall installation

2.4 屋盖张拉后卸载施工技术

为获得较大的悬挑跨度,大开口轮辐式索承网格结构往往会在环向索节点处朝内侧设置悬挑支撑杆,用于支撑大悬挑屋盖,如图23所示。该项目屋盖在环向索内部悬挑长度为8.2 m~13.7 m。屋盖网格施工时,需在悬挑端部设置支撑架,而对于较大的悬挑屋盖网格,悬挑处往往为下挠变形的趋势。在拉索张拉到设计位置后,较大悬挑处的网格支撑架无法自动脱架,需要在张拉过程中增加一道卸载程序。对于预应力结构来说,卸载和张拉相互影响较为明显,卸载时机的选择往往直接影响结构预应力的建立。

对于预应力结构体系,张拉完成后索力的大小至关重要,在进行预应力张拉之前,需要确定合理的张拉顺序

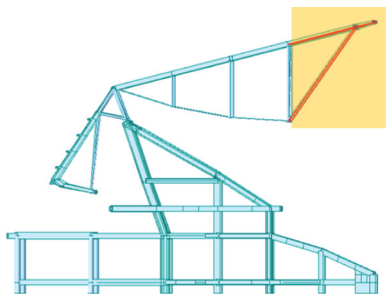


图 23 结构悬挑断面示意图

Fig. 23 Schematic diagram of structural cantilever cross section

和张拉力控制值,对整个施工过程进行详细的模拟分析,研究拉索张拉过程中结构内力和位移的变化,对体系的形成过程进行安全控制^[9]。施工态与设计态预应力值应保持一致,这将直接影响到结构的安全性。为保证张拉完成后结构索力的准确性,对于需要卸载的预应力结构,往往在张拉过程中卸载(如张拉到50%或80%预应力后卸载),最后张拉完成的索力即为设计索力,此种方法更易于控制索力;若张拉完成后卸载,卸载过程其实也是对预应力结构的再次张拉,受施工过程中许多不确定因素的影响,施工完成时索力的大小较难控制,一旦卸载完成后索力与设计态索力偏差较大,将较难处理。特别对于轮辐式结构,由于拉索数量多,一般采用分批张拉,分批张拉过程中,后面批次的张拉对前面已张拉的索力影响较大,仅最后一个分批的拉索索力为准确值,由于施工因素其他批次与理论值可能产生一定的误差。在此基础上若考虑张拉完成后卸载,更不易控制施工完成态的索力值。但张拉过程中卸载存在如下弊端:(1)张拉索力大,由于提前卸载,导致最终拉索张拉力等于卸载后索力值;(2)张拉施工周期长,张拉过程中需要暂停,给卸载施工提供作业周期,使得专业的张拉设备和人员产生窝工现象。

项目通过对索承网格结构大悬挑处支撑架卸载过程的精细化控制,包括卸载过程中网格面变形、支承荷载大小以及预应力索网索力的监测控制,来保证张拉后卸载索承网格结构的整体成型状态和预应力索网索力的稳定性。卸载后索承网格的结构位形和预应力索网索力值的大小,与支撑架卸载前支撑架承受的荷载大小密切相关。结构张拉完成后,屋盖整体刚度已经成型,在卸载过程中的每个状态,支撑架支承荷载 P 、屋盖网格竖向位移 W 、索网索力大小 F 为一一对应关系。根据此原则,从卸载前、卸载中和卸载后三个方面进行支撑架的卸载控制:

(1) 卸载前:在卸载开始前,需测量 P 、 W 和 F 与理论

值是否一致,若有偏差,需分析找出原因;

(2) 卸载中:卸载过程分为多级进行卸载,以保证卸载过程中对结构的控制,为保证卸载过程中如 P 、 W 和 F 与理论值出现不一致时方便采取措施进行处理,首次卸载量占比宜尽量小(不超过卸载量的20%)。每级卸载过程中实时监测 P 、 W 和 F 与理论值是否一致,一旦出现偏差,应立即停止卸载,找到原因消除误差后再进行下一级卸载,直至整个结构卸载完成;

(3) 卸载后:卸载完成后,在保证 W 和 F 与理论值一致的基础上,还需观察一段时间(一般不小于1天) W 和 F 的稳定性,以确保结构的整体稳定性。

为实现对支撑架卸载的控制,项目采用漏斗式砂箱卸载,并采用轮辐式压力计监测支撑架反力,如图24和图25所示。漏斗式卸载砂箱具有卸载速度缓慢、均匀等优点,通过卡尺可以较好地控制卸载量大小。轮辐式压力计可以实时读取支撑架的支撑反力值。



图 24 漏斗式砂箱

Fig. 24 Funnel-shaped sandbox



图 25 轮辐式压力计

Fig. 25 Spoke pressure meter

应力监测采用振弦式索力计,根据结构特点和施工需求,其中径向索选择短轴、长轴和45度角处分别监测一榀,共3榀;环向索由8根并排索组成,为保证环向索索力监测的准确性,8根环向索需同时监测,并位于同一断面处,同时环向索监测点选择在卸载过程中索力变化最大的位置处,同时也是结构悬挑最大处下方环向索段,如图26所示。

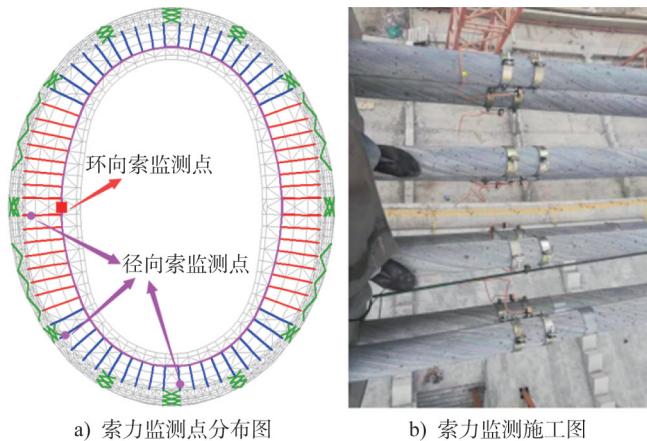


图26 索力监测图

Fig. 26 Cable force monitoring diagram

3 结论

在乌鲁木齐奥体中心体育场钢结构工程中,屋盖施工主要采用了地面拼装、分块吊装的施工方法,索网施工采用了整体提升施工技术。本文系统介绍了其钢结构和索网施工过程中的关键施工技术,可为今后类似工程提供借鉴和参考。主要结论如下:

(1) 提出了屋盖网格面模块化吊装及单点分块支撑施工技术,通过对网格面施工方式的调整和支撑方式的优化,较大地减小了体育场类网格屋盖的支撑措施用量,降低了土建看台支撑架的设置难度,同时也减少了高空作业,缩短了施工工期。

(2) 提出了大体量轮辐式索承网格预应力索系有障碍整体提升施工技术,通过对提升器位形的调整,使其适应钢绞线在大倾角状态下的自由提升,避免了搭设大体量的索体拼装胎架,节省了施工措施,加快了索体的施工速度,使整个索网安装更安全、经济、高效。

(3) 研发了一种有障碍倾斜钢结构分块安装方法,克服了当下体育场幕墙采用散装安装方法的诸多不足。该方法采取幕墙分块地面拼装,大型吊机整体起吊,侧面采取手拉葫芦配合滑轨牵引就位的安装方式,有效提升了安装效率,可节约人力和时间成本,保障施工进度。

(4) 提出了大悬挑索承网格结构张拉后卸载施工技术。通过对索承网格结构大悬挑处支撑架卸载过程的精细化控制,包括卸载过程中网格面变形、支撑荷载大小以及预应力索网索力的监测控制,来保证张拉后卸载索承网格结构的整体成型状态和预应力索网索力的稳定性。避免了张拉过程中因卸载而出现的张拉周期长、张拉索力大等问题。

参考文献:

[1] 冯远,向新岸,王恒,等.大开口车辐式索承网格结构构建及其受力机制和找形研究[J].建筑结构学报,2019,40(3):69-

80.DOI:10.14006/j.jzjgxb.2019.03.007.

FENG Yuan, XIANG Xin'an, WANG Heng, et al. Mechanical behavior and form-finding research on large opening spoke-wheel-type cable supported grid structure [J]. Journal of Building Structures, 2019, 40(3): 69-80. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2019.03.007. (in Chinese)

[2] 赵文雁,马滔,罗斌,等.大开口车辐式索承网格结构预应力施工技术研究[J].建筑结构学报,2020,41(5):23-33.DOI:10.14006/j.jzjgxb.2019.0438.

ZHAO Wenyang, MA Tao, LUO Bin, et al. Construction technology of large opening spoke-wheel-type cable supported grid structure [J]. Journal of Building Structures, 2020, 41(5): 23-33. DOI: 10.14006/j.jzjgxb.2019.0438. (in Chinese)

[3] 王丰,徐刚,吕品,等.徐州奥体中心体育场环向悬臂索承网格预应力施工关键技术[J].施工技术,2014,43(14):78-82. WANG Feng, XU Gang, LYU Pin, et al. Prestressed construction of the ring cantilever cable supported latticed structure in Xuzhou Olympic sports center stadium [J]. Construction Technology, 2014, 43(14): 78-82. (in Chinese)

[4] 强旭红,张至毅,张猛,等.轮辐式索承网格屋盖钢结构单道胎架施工技术[J].建筑钢结构进展,2024,26(8):87-95,114.DOI:10.13969/j.cnki.cn31-1893.2024.08.010.

QIANG Xuhong, ZHANG Zhiyi, ZHANG Meng, et al. Key construction technology of the single jig frame for spoke-type cable-supported steel roof grid structure [J]. Progress in Steel Building Structures, 2024, 26(8): 87-95, 114. DOI: 10.13969/j.cnki.cn31-1893.2024.08.010. (in Chinese)

[5] 陈志华.弦支穹顶结构研究进展与工程实践[J].建筑钢结构进展,2011,13(5):11-20.

CHEN Zhihua. Research progress and engineering practice on suspen-dome structure [J]. Progress in Steel Building Structures, 2011, 13(5): 11-20. (in Chinese)

[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.索结构技术规程:JGJ 257—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical Specification for Cable Structures: JGJ 257—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012. (in Chinese)

[7] 陈国栋,王煦,封叶剑,等.港珠澳大桥香港边检大楼模块化施工关键技术[C]//第十七届全国现代结构工程学术研讨会论文集.天津:天津市钢结构学会,2017.

CHEN Guodong, WANG Xu, FENG Yejian, et al. Key technology of modular construction for Hong Kong Passenger Clearance Building (HKPCB) [C]//Proceedings of the 17th National Symposium on Modern Structural Engineering. Tianjin: Tianjin Steel Structure Society, 2017.

[8] 徐常森,贾尚瑞,吴楚乔,等.有障碍倾斜钢结构分块安装装置及安装方法:202011497281.8[P].2022-04-20.

XU Changsen, JIA Shangrui, WU Chuqiao, et al. Installation device and method for block installation of inclined steel

- structures with obstacles; 202011497281.8 [P]. 2022-04-20. (in Chinese)
- [9] 苏英强, 全书敬, 俞福利, 等. 第十三届冬运会速滑馆屋盖结构预应力施工仿真分析[J]. 建筑钢结构进展, 2016, 18(1): 80-88. DOI: 10.13969/j.cnki.cn31-1893.2016.01.010.
- SU Yingqiang, TONG Shujing, YU Fuli, et al. Simulation of construction process of the roof structure in Urumchi speed-skating gymnasium[J]. Progress in Steel Building Structures, 2016, 18(1): 80-88. DOI: 10.13969/j.cnki.cn31-1893.2016.01.010. (in Chinese)