

倾斜双曲面网壳跨混凝土滑移施工卸载技术

李蒙蒙 秦琪 李波

陕西西咸中央商务区建设发展有限公司 西安 710116

摘要: 针对郑州奥体中心项目体育馆倾斜双曲面网壳跨混凝土结构滑移施工特点, 详细设计了一套网壳卸载工艺方法, 即充分利用结构自身悬挑设计特点, 使网壳提前进入部分悬挑状态, 利用结构渐变微变形(弹性变形)进行分批分级同步卸载使前端网壳逐级下落就位, 实现了网壳滑移卸载同步性控制, 同时在支座上设计限位板以实现倾斜网壳卸载竖向下落, 有效规避了网壳自重作用下整体卸载水平偏移问题, 提高了网架安装精度, 确保了施工质量和安全, 降低了施工成本。

关键词: 滑移支撑体系; 网壳卸载; 卸载精度控制; 自平衡体系

1 工程概况

郑州奥体体育馆采用正放四角锥焊接球网架结构, 如图1所示, 屋盖南北向约122m, 东西向约150m, 最大跨度100m, 北侧悬挑长度约22m, 东侧悬挑长度为20m, 角点悬挑41m, 整个屋盖东高西低, 北高南低, 最大高差约6米, 网架通过球铰支座支承于下部环形看台钢筋混凝土柱上。

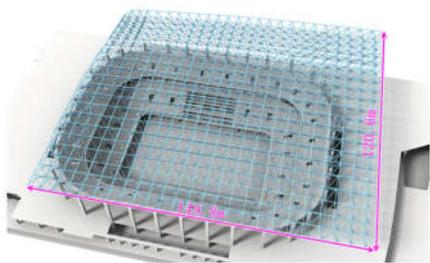


图1 体育馆屋盖网架效果图

结合结构特点和场地情况, 网壳安装采用“累积滑移”法施工, 自西向东滑移。充分利用自平衡原理, 根据结构不对称分布, 沿东西向布设三条不等宽平行滑移轨道, 其中南北两条轨道中部架设于体育馆南北侧四层混凝土结构板上, 两端支撑于格构式胎架顶部; 中部轨道设于内场, 下部支撑于格构式胎架上, 两端伸至混凝土环梁内侧。轨道布置如图2:

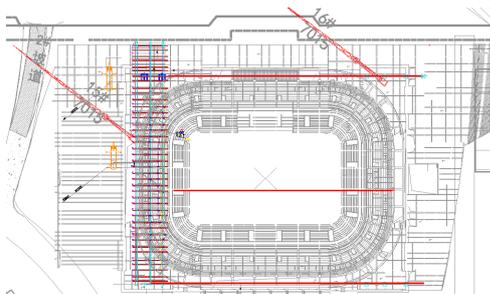


图2 网架滑移轨道布置图

体育馆屋盖各点标高不一, 东西方向高差达到6m左右, 为保证滑移平稳进行, 在网架下部设置发射状临时支撑钢管, 与网壳形成稳定滑移支撑体系, 如图3所示:

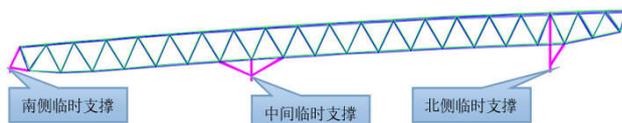


图3 滑移支撑侧视图

2 施工重难点分析

2.1 网壳滑移卸载同步性控制

重难点: 本工程采用不对称三轨道跨混凝土结构滑移技术施工, 轨道上部网壳支撑点位多, 标高偏差大, 采用千斤顶整体同步卸载设备需求量大, 费用高, 同步性控制难度大, 易偏位。

对策: 结合滑移施工概况, 充分利用结构自身悬挑设计特点, 在东侧端部网壳跨过混凝土环梁前提前切除滑移撑杆, 依靠东侧环梁以西的滑移撑杆支撑网壳整体自重, 即利用结构设计自平衡体系提前进入部分悬挑状态。考虑网壳滑移标高较设计标高仅高3cm, 待网壳滑移就位后, 采用从东向西分区、分批逐级下降法拆除滑移撑杆, 利用结构渐变微变形(弹性变形)实现前端网壳逐渐下落就位, 实现了网壳平稳同步卸载。

2.2 网壳卸载精准就位控制

难点: 网壳东高西低, 北高南低, 东西最大高差约6米, 南北高差约4米, 针对这种倾斜设计结构, 在自重作用下必然存在偏移趋势, 因此如何实现网壳支点精准就位是本工程卸载的一个难点。

对策: 网壳下部有10个半球形支点, 在每个支点对应的支座上设置限位板, 确保网壳卸载过程中支点沿限位板竖向下落, 避免网壳卸载下落过程发生偏位, 实现网壳卸载精度控制。

3 网架卸载总体思路及工艺流程

3.1 体育馆卸载思路

根据网架施工方法和结构概况，待11单元滑移就位后进行网架卸载，总体卸载顺序由东向西按照滑移单元分块逐级卸载。考虑三条轨道长度不一，南侧轨道最长，因此南侧轨道先单独卸载，待南侧轨道由东向西卸载至东侧混凝土环梁位置，即三条轨道撑杆沿南北向处于同一直线上，此时三条轨道撑杆实行同步卸载。

3.2 卸载原则

钢结构屋盖卸载过程是屋盖缓慢协同空间受力的过程，期间结构发生较大的内力重分布，并逐渐过渡到设计状态，因此本工程网壳卸载应遵循以下原则：

(1) “变形协调、卸载均衡”的原则。通过分级修割，经多次循环微量下降来实现“荷载平衡转移”，严

格检测每级卸载过程，确保卸载同步协调控制。

(2) “分区、分阶段，逐级同步卸载”的原则。即采用分区、分阶段自东向西逐级同步卸载；

3.3 网架卸载工艺

网架滑移就位后，按照同步分批分级进行网架卸载，每个滑移单元作为一个卸载区域，同一区域三条轨道同一排滑靴的临时撑杆归为同一个批次，自东向西同步分批分级卸载。卸载时，采用火焰切割的方法分批卸载，同一批次的临时撑杆先卸载斜撑杆，再卸载竖向撑杆，斜向撑杆一次卸载完成，竖向撑杆分级重复修割卸载，每级卸载高度控制在1cm，重复循环卸载直至网架短立柱降至支座上，将承载力转移至支座，从而实现卸载脱胎。

3.3.1 网架卸载施工流程

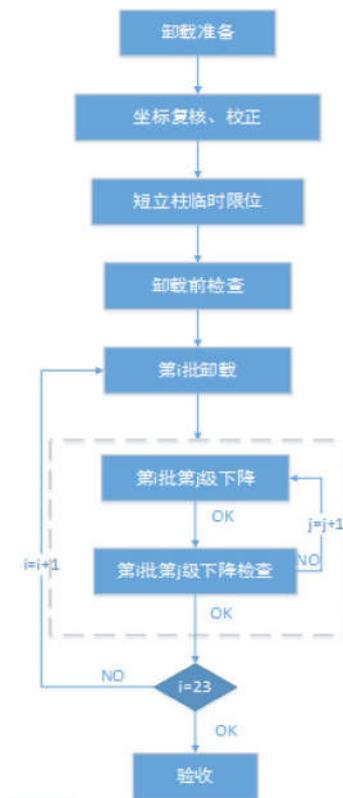


图4 网架卸载施工流程

3.3.2 卸载准备

卸载前做好卸载技术、人员和设备准备。

3.3.3 坐标复核、校正

卸载前，必须对各临时支撑点进行坐标测量复核，特别是标高复核。采用全站仪测出各临时支撑点焊接球顶标高及位置，并记录下来，作为调整依据。

3.3.4 支座及短立柱限位

网架卸载前，所有卸载区域滑移铰支座必须按照设计要求安装完成且验收合格，并对支座进行加固，加固采用码板将上支座板与下支座板焊接固定，防止卸载过程支座转动，另外为防止卸载过程中网架支座上部短立柱发生偏移，在网架卸载前，对短立柱进行限位处理，待网架卸载就位后且所有短立柱焊接完成后，方可拆除限位板和支座码板。

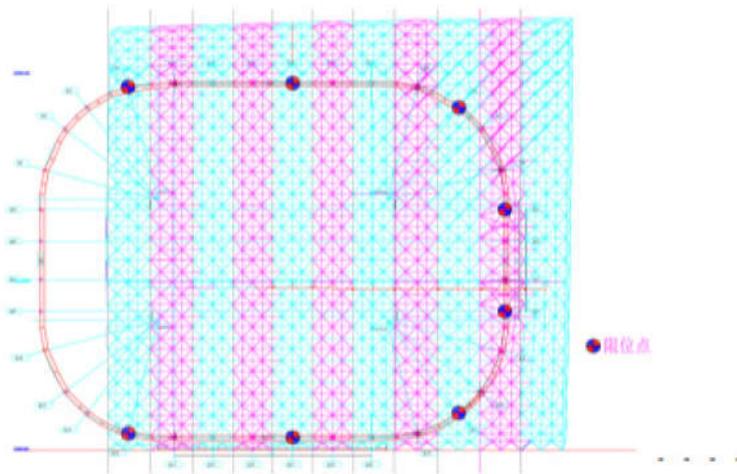


图5 网架立柱限位点布置图

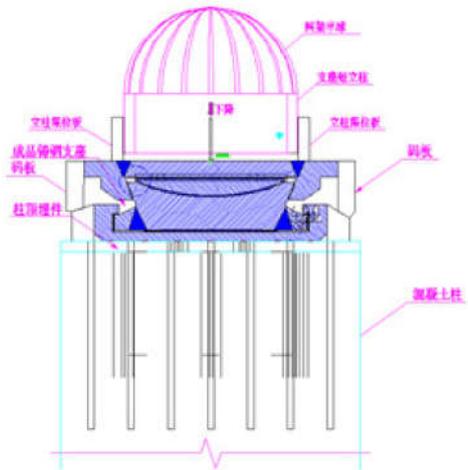


图6 支座及立柱限位大样图

3.3.5 第一步卸载

检查及准备工作完毕后，在卸载总指挥的统一指挥下，开始第一步（即第一批）卸载。

卸载顺序：第一级卸载→第一级卸载情况检查→第二级卸载→第二级卸载情况检查→第三级卸载→第三级卸载情况检查；

3.3.6 第i步卸载

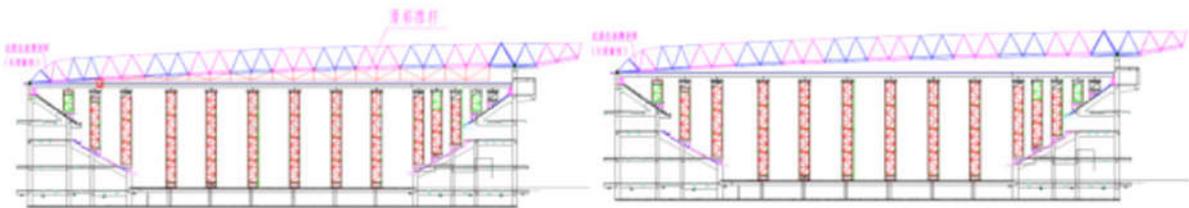
一个批次作为卸载一标准步，第一步卸载完成后，参照第一步的标准，进行其他步骤的卸载操作。

每步操作，都必须密切注意以下事宜：

- ①必须在总指挥统一指挥下协同操作，用哨音统一协调；
- ②必须按刻度尺/刻度线来控制每次下降值；
- ③必须在规定时间缓慢完成，不得过快或过慢；
- ④必须执行每段卸载后检查制度，检查网架、胎架、轨道位移情况；
- ⑤必须严格执行现场卸载过程检查、上报机制。操作工有责任注意所负责的临时支撑点及邻近结构构件异常情况并上报分区负责人。

3.3.7 滑移撑杆卸载总体流程

网架从东向西逐步卸载，以中间轨道为例，总体卸载流程如图7所示：



(a) 第一步：卸载第一排滑靴

(b) 继续卸载后续滑靴至十一单元滑移支撑卸载完成

图7 网壳总体卸载流程

3.3.8 滑移撑杆卸载细部流程

滑移支撑系统切割卸载细部操作应按照以下顺序进行卸载：

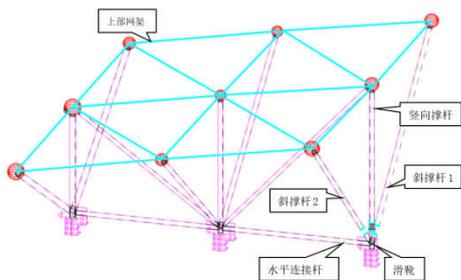


图8 临时支撑卸载细部示意图

卸载斜撑杆1（切割10cm）→卸载斜撑杆2（切割10cm）→卸载竖直撑杆（分3级进行同步切割卸载，每级1cm）

4 卸载注意事项

- (1) 卸载操作时，作业人员站在桁架空格内，确保人身安全。
- (2) 割除的撑杆废料应妥善放置，使用绳索缓慢吊至地面。
- (3) 切除撑杆时，必须先将滑靴通过码板固定于轨道梁上，待滑靴上部撑杆切割完成后再进行滑靴拆除，保证拆除过程中滑靴的稳定性，避免滑靴侧倾伤人；

5 卸载控制及监测

空间网架结构在卸载过程中结构变形监控是重点,为防止结构突变失稳,保证网壳平稳精准落位,需做好网架高空卸载全程监测工作。

(1)采用全站仪测量未卸载前各支撑点的坐标,并做好记录。

(2)掌握各次卸载量,每步卸载严格按照预定的卸载量进行卸载,进行跟踪监测控制。

(3)载量的控制都要严格参照该画线量取。

(4)每次卸载后均应测量卸载点的标高,以确定下一次卸载的调整值。

6 结语

本文详细介绍了异形倾斜双曲面网壳跨混凝土滑移施工卸载技术,该技术的成功应用极大的促进了郑州奥体体育馆设计效果的完美实现,有效解决了网壳自重作用下整体卸载水平偏移问题,提高了网架安装精度,确保(3)卸载施工人员配置一小段钢尺,以量取每次的

卸载量,提前在支撑处画上标记线,每次卸了施工质量和安全,降低了施工成本,缩短了工期。该技术科学合理,经济实用,具有广泛的推广性,可为以后类似工程施工提供宝贵经验。

参考文献

[1]《空间网格结构技术规程》:J1072—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[2]王育民,张志榕,林显志.空间曲面不对称钢屋盖桁架结构整体卸载施工技术[J].施工技术,2017,S1:351-354.

[3]唐志强.曲面网架屋盖分块、临时支撑设计及卸载技术[J].建筑工程技术与设计,2016,31:222-228.

[4]黄沛林,司法强,潘钧俊,等.超大面积空间双曲面钢网架屋盖的卸载施工技术[J]建筑施工,2021,43(04):601-603.

[5]钟红春,杨启鸥,蔡伟,等.四角锥网架钢结构卸载技术研究及应用[J]施工技术,2017,46(S2):450-453.