

# 高铁站房工程中屋盖钢结构施工技术的应用研究

文 / 单云波 中国铁路济南局集团有限公司津潍高铁代建段工程建设指挥部

**摘要:** 高铁站房建筑造型独特, 结构复杂, 屋盖结构具有跨度大、节点复杂的特点。使用钢结构施工工艺, 具有适应性。如何保障屋盖钢结构施工质量要求, 确保结构的承载力、稳定性是施工技术应用的核心关键。本文结合实际工程案例, 建立屋盖钢结构有限元模型, 采用滑移施工方案, 确保屋盖钢结构施工全过程的力学参数符合要求, 重点监测结构构建中的关键节点, 避免出现结构失稳的情况, 控制屋盖钢结构的质量符合标准。

**关键词:** 高铁站房; 屋盖结构; 钢结构; 累计滑移法

【DOI】 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2025. 06. 020

## 引言

高铁站是我国重要的交通枢纽, 截至2023年底, 我国的高铁客站数量达到1000座以上, 大量的站房使用钢结构屋盖构造, 以确保站房的空间功能。钢结构屋盖具有跨度大、自重轻、强度高、结构灵活的特点, 拥有良好的抗震性能。施工期间, 应结合实际的施工布设方案, 做好钢结构构件的对接和组装作业, 确保安装精度的同时, 减少内力变形影响建筑结构质量。

### 一、工程概况

#### (一) 工程简介

某高铁站房位于城市的核心位置, 车站中心里程为DK225+296, 站内规模为4台10线, 中间站台数量为4座, 总建筑面积达到8.5万m<sup>2</sup>, 顺轨方向的柱距为25.2m至76.3m, 垂轨方向的柱距在12m至34m之间。站房屋盖结构为空间桁架结构, 桁架长度为85.45m, 宽度为78.62m, 横向跨度达到78.52m, 悬挑长度为4.2m。纵向跨度为69.93m, 悬挑长度为4.15m。屋盖结构钢材型号为Q345, 主体重量达到3800kN以上。依据《钢结构设计规范》文件中的要求, 钢材结构应满足屈服强度345MPa的基本要求, 安全系数应达到1.2, 许用应力值应达到290MPa左右。整个屋面结构使用弦杆、斜腹杆、檩条焊接组合而成, 焊条烘焙后放置在保温箱内, 随时取用。具体屋面钢结构的组成如表1所示。

表1 屋面钢结构构件数量及情况

类型	数量	备注
桁架(纵)(t)	150	12榀
桁架(横)(t)	120	10榀
支撑及系杆(t)	180	-
支座(t)	20	铰(72)
檩条(t)	220	-
马道(t)	45	280m
涂装(m <sup>2</sup> )	13245	-

#### (二) 施工方案及流程

站房施工方案选择应考虑到施工安全性、施工进度、施工成本等多种因素。分别采用以下两种施工方案进行对比分析: 满堂脚手架支撑散拼作业, 需要搭建接近5万立方的脚手架, 在大跨度工程项目中应用效果比

较差, 施工成本达到130万元以上; 施工分片累积滑移施工方法, 按照自西向东滑移, 自东向西安装钢屋盖, 采用9个步骤即可完成屋盖的拼装和滑移作业, 随后进行拆卸。滑移施工的精度控制较高, 辅助应用信息技术, 能够完成整个屋盖钢结构拼装的流水作业, 施工成本大致在120万元左右, 成本低、安全性高、技术可行性比较强。因此, 在屋盖钢结构施工作业方案选择上, 使用分片累积滑移法安装+分级分阶段卸载施工方案, 具体施工流程如图1所示。

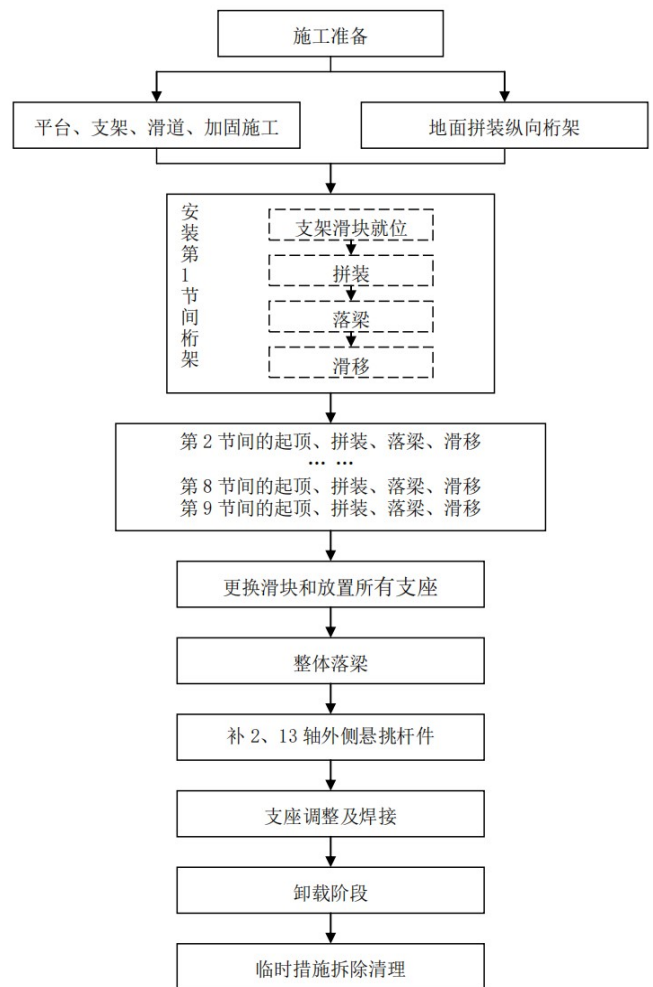


图1 分片累积滑移法施工流程图

在整个屋盖滑移施工过程中，共计需要划分为26个工况。施工人员需要在特定的区域内设置高空拼装支架、反拉支架、起顶支架和卸载支架，滑道、滑道支架、脚手架操作平台等。纵桁架安装作业使用起吊车定位，形成滑移单元，滑移节间后，同步完成檩条、马道、补漆、涂料等作业。卸载作业的目的是完成滑块更换，在第一阶段滑移施工完成后，将高度450mm的滑块更换为高度为160mm的铰支座，按照每条轴线对称更换2个滑块，进行钢垫板的卸载和支撑架的拆除。卸载作业共计涉及14个工况，每步量级为50mm，有效避免屋盖滑移施工期间产生较大变形。

在施工方案中，累积滑移施工存在结构位移变化和杆件应力变化现象，整个施工过程涉及的杆件包括腹杆、弦杆等，涉及种类和数量比较多，需要严格监测各区域内的应力变化情况。滑移拼装期间如何控制实际施工线型与设计方案的一致性，将是工程项目施工的重点。由于站房屋盖属于大跨度空间结构，卸载期间会出现累积误差，如何控制误差，避免杆件应力变形，科学控制屋盖结构荷载和边界条件改变在合理范围内，是钢结构施工的难点。本项目在施工过程中，使用JMZX212AT传感器设备，配合测试仪使用，监测施工期间钢结构的温度、应力变化，实现对屋盖滑移施工期间的全过程监测，项目共计设置监测点数量15个，分布在整体结构的斜腹杆（4个）、轴斜腹杆（1个）、上弦杆（3个）下弦杆（7个）区域，实现对整个施工过程中的结构参数进行监测和调整<sup>[1]</sup>。

## 二、站房屋盖钢结构施工模型构建

### （一）整体模型

对于站房屋面桁架结构，结合累积滑移施工过程，建立有限元模型，模拟各工况的实际情况，进行桁架、马道、檩条等连接件的结构参数计算，并模拟结构卸载过程中屋面的荷载与约束边界条件变化。屋面桁架以梁为单元参与模型计算，在模型中输入位移值，对各对应点进行强制位移，释放屋盖各荷载点的水平自由度，进行工况的模拟分析。有限元模型构建能够对屋面的实际受力状态进行描述，模拟各工况下的实际受力状态变化，实现了施工过程的动态演变分析。部分模型情况如图2所示。

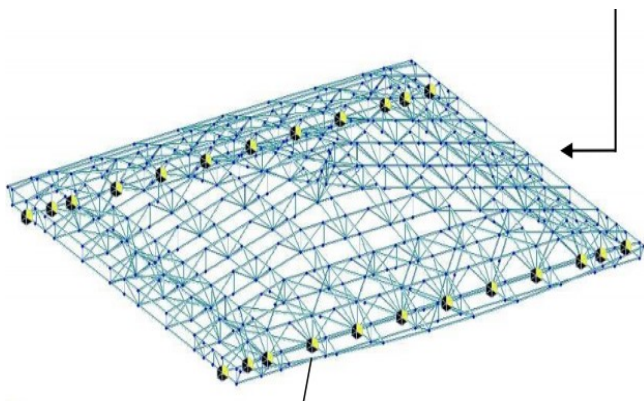


图2 屋盖安装过程力学模型图

## （二）有限元力学分析

### 1. 支座反力

由于屋盖施工过程中，整体钢结构的内部杆件受力状态会发生明显的变化，利用有限元模型能够对施工期间产生的应力变化情况进行反馈，使施工人员准确把控施工参数，避免出现位移、形变等影响工程质量的现象产生。施工期间产生的各支点结构反力如表2所示。

表2 部分工况下屋盖钢结构支撑点反力模拟结果（kN）

工况	滑块1	滑块2	滑块3
工况1	50	96	54
工况2	102	196	154
工况3	32	75	81
工况4	32	76	125

由表2可知，在屋盖安装过程中，工况不同会导致支座反力位置、数值发生明显的变化。在对所有工况模拟后发现，屋盖钢结构安装期间，产生的最大支座反力数值达到350kN以上，在桁架结构构件强度控制过程中，应着重对反力较大的区域进行控制。

### 2. 构件应力

杆件安装过程中，受滑移工况和现场实际施工情况的影响，杆件会产生相应的应力。按照《钢结构设计规范》文件中对压弯和拉弯构件的要求，应力计算公式如下：

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M}{y_x W_{nx}} \leq f$$

$$\frac{N}{\theta_x A} \pm \frac{\beta_{mx} M}{y_x W_{1x} (1 - 0.8 \frac{N}{N'_{ex}})} \leq f_c$$

公式中的f、f<sub>c</sub>分别表示钢材的强度设计值，即拉弯杆件强度和压弯杆件强度，按照标准，应满足310MPa的基本要求。N表示杆件的轴力，A<sub>n</sub>表示净截面面积，A表示毛截面面积，M表示杆件的弯矩，y<sub>x</sub>表示塑性发展系数，本工程中使用无缝钢管，塑性发展系数值为1.15。W<sub>nx</sub>和W<sub>1x</sub>分别表示抵抗弯矩净截面模量和毛截面模量，θ<sub>x</sub>表示轴心受压构件的稳定系数，β<sub>mx</sub>表示等效弯矩，M<sub>x</sub>表示最大弯矩，N<sub>ex</sub>表示常规参数。为了进一步验证杆件的应力稳定性，在计算过程中，以实际轴力大小和承载力为标准，进行最大应力比计算，将最大应力比作为评价钢结构杆件整体稳定性的指标。具体部分杆件强度计算结果如表3所示。

表3 部分工况最大应力变化情况（Mpa）

工况	杆件拉应力	杆件压应力	最大应力比
工况1（拼装）	38.5	-39.2	-
工况2（滑移）	129	-123	0.75
工况3（起顶）	35	-34	0.16
工况4（拼装）	46	-45	-
工况5（滑移）	138	-127	0.73
工况6（起顶）	49-	-37	0.17

经由模型计算结果可知，施工期间的最大应力为190MPa，为拉应力，最大应力比为0.9，位于斜腹杆位置。屋盖钢结构拼装过程中，最大应力比在1以内，处于比较稳定的状态，满足施工的基本要求<sup>[2]</sup>。

### 3. 构件挠度

挠度是指结构构件在受力作用下产生的弯曲变形量。在屋面钢结构滑移安装中，由于施工过程中的各种荷载和约束条件的变化，构件会产生一定的挠度。屋盖钢结构构件拼装所产生的挠度值比较低，几乎可以不考虑。滑移和起顶作业中，屋盖结构会产生挠度，产生的最大挠度值为170mm，竖向位移值在160mm左右。

### 4. 卸载应力及挠度

卸载施工是保持屋盖平稳缓慢过渡的关键，在卸载施工期间，边界约束和荷载会使得局部产生细微的变化。在有限元模型中，罗列产生变化的情况，对结构构件应力和位移情况进行细致的分析。卸载施工屋盖结构的最大应力值为-210.3MPa，挠度最大值为-92.5MPa。

## 三、站房屋盖钢结构滑移施工技术应用

### (一) 支撑体系

站房屋盖滑移施工过程中，使用支撑体系为钢结构滑移提供稳定的基础。按照屋盖钢结构滑移施工的标准要求，支撑体系包括支撑架、承轨桁架、滑移轨道、反顶装置、拼装平台、稳定装置等。按照标准要求，支撑架的设计应根据屋盖钢结构的荷载分布和施工过程中的受力情况进行，确保其具有足够的强度、刚度和稳定性。滑移轨道的选型要根据滑移荷载和行程要求确定，轨道的材质和规格应满足承载能力和耐磨性的要求。轨道的安装精度至关重要，要确保轨道的直线度、平行度和水平度符合设计标准。反顶措施的设置要根据结构的特点和受力情况进行计算确定，防止结构在施工过程中出现下挠或变形过大。拼装平台的基础要坚实、平整，能够承受拼装过程中的荷载。平台的尺寸和形状应满足钢结构拼装的要求，具有足够的操作空间。本案例中，拼装平台的尺寸为22m×220m，使用贝雷架叠拼而成，平台内分为堆料区域、笼梯、走道等，采用对称结构布置。滑轨数量共计12道，其中6道长度为120m，6道短滑轨长度为52m。承轨桁架结构为三角形，高度为3.2m，宽度为2.45m，为满足结构支撑的基本要求，采用三类滑轨结构，安装水平联系桁架、附墙等结构，保障了整个支撑体系结构的稳定性<sup>[3]</sup>。

### (二) 推顶施工

屋盖滑移施工的核心重点是滑移参数的控制。本项目施工使用液压顶推系统，利用液压缸施加推力，完成钢结构滑移的过程。液压缸装置在滑移速度、滑移量控制上具有明显的优势。施工期间，准备好液压缸装置，并将其与滑移轨道对接，确保平直度、直线度符合标准，轨道与基础连接可靠后，开始顶推作业，并实时监测和控制顶推的压力、速度、滑移轨道的实际状态等。本工程中，滑移单元与轨道桁架的下弦杆连接，共计

布置46个滑移单元，每个轨道布置顶推点的数量3个，共计布置21个顶推点，28个从动点和6个泵源。施工期间，屋盖钢结构构件与顶推装置使用销轴连接，启动液压机设备向前顶推，完成一个步距后，松开装置，完成缩缸过程。

### (三) 屋盖施工全过程监控

屋盖滑移施工的核心重点是应力的变化和位移变化。累计滑移施工期间，采用全过程监控的施工方案，对各测点内的应力值进行测试，并观察施工过程中的实际位移情况。落梁、推移、起顶操作期间，各节点内的应力数值变化测试结果输入到系统中，超出阈值后进行自动化调节。部分滑移节点内的应力变化参数如表4所示。

表4 部分节点滑移测点应力计算值和实际值

测点位置	变化值 (μ ε)	实测值 (MPa)
1	2013	78.5
2	1985	62.7
3	1897	-25.4
4	2004	60.3

在各个工况内，实时监测不同工序内钢结构测点内的应力值变化和位移值变化，实时调整相关参数，以确保整个屋盖钢结构安装过程中的质量符合标准。当出现超出标准时，停止滑移作业，调整工艺参数<sup>[4]</sup>。

### 结论

综上所述，本文在屋盖钢结构施工技术应用过程中，在对工程项目施工方案进行全面、系统性的分析后，将智能建造技术应用到屋盖钢结构施工中。施工期间，在施工场地建立滑移支撑体系，利用有限元模型顶推处理，使用计算机系统完成同步滑移控制精度控制，有效解决了站房屋盖钢结构施工的复杂性问题。监测整个屋盖施工的参数变化，利用传感器设备获取施工参数，反力、应力、挠度等均处于标准范围内，整体结构的稳定性、耐久性得以保障。

### 参考文献

- [1]林江,朱祝府,瓮雪冬,等.基于智能建造技术的屋盖钢结构滑移施工方法研究[J].建筑技术,2024,55(20):2532-2536.
- [2]胡诗珠.悬挂楼层与钢结构屋盖逆向接力整体提升施工技术研究[J].建筑施工,2024,46(08):1260-1263.
- [3]刘大鹏,刘彪,田振宇,等.大跨度悬挑曲面屋盖结构施工技术研究——以西安华润国际文化商业中心项目为例[J].中国建筑装饰装修,2024,(14):164-166.
- [4]王新明.钢结构屋盖整体提升施工技术与分析——以浙江某高铁站项目为例[J].建筑科技,2024,8(05):188-192.