

双向找坡屋面精细化施工综合技术研究

郭起轩, 刘伟, 孙翌博, 许凯悦, 刘家书
北京城建集团有限责任公司, 北京 100088
DOI:10.61369/ERA.2026100040

摘 要 : 针对结构找坡屋面模架施工中存在的标高体系复杂、架体受力不均、立杆高度不一、特殊结构构件与结构梁、板找坡衔接困难等问题, 以布基纳法索博博机场项目为例, 研究一种双向结构找坡屋面精细化模架搭设技术。采用顶层立杆使用旋转扣件搭接并附加十字扣件的专项加固工艺, 建立 15 m² 标准化单元分区立杆高度计算体系, 利用顶托 300mm 可调余量消化分区内标高高差, 并针对柱帽等水平不找坡构件制定专项节点控制措施。工程应用结果表明, 该技术有效解决了大跨度双向结构找坡屋面模架标高控制难、架体稳定性差的难题, 屋面坡度精度、结构平整度及节点成型质量均满足设计与规范要求, 可为同类结构找坡屋面模架工程施工提供技术参考与借鉴。

关 键 词 : 双向变坡屋面; 结构找坡; 立杆搭接; 分区高度计算; 精细化施工

Research on Fine Erection Construction Technology of Formwork Support System for Bidirectional Sloped Roof

Guo Qixuan, Liu Wei, Sun Yibo, Xu Kaiyue, Liu Jiashu
Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing 100088

Abstract : To address the problems encountered in the construction of formwork support systems for structurally sloped roofs, including complex elevation systems, uneven load distribution within the support frame, inconsistent vertical tube heights, and difficulties in connecting special structural members with sloped beams and slabs, this study takes the Bobo Airport Project in Burkina Faso as an example to investigate a refined formwork support system construction technology for bidirectional structurally sloped roofs. A special reinforcement method is adopted, in which the top-layer vertical tubes are lapped using swivel couplers and additionally reinforced with right-angle couplers. A zoned vertical-tube height calculation system based on standardized 15 m² units is established, and the 300 mm adjustable range of the U-head jacks is utilized to accommodate elevation differences within each zone. Special joint control measures are also developed for horizontal non-sloped components such as column capitals. The engineering application results demonstrate that this technology effectively resolves the difficulties of elevation control and poor support-frame stability in large-span bidirectional structurally sloped roofs. The roof slope accuracy, structural flatness, and joint forming quality all meet the design and specification requirements, providing a technical reference for the construction of formwork support systems for similar structurally sloped roof projects.

Keywords : bidirection ally sloped roof; structural slope; vertical tube lapping; zoned height calculation; refined construction

引言

大型公共建筑屋面常采用结构找坡设计, 以满足屋面排水、建筑造型等功能要求, 但结构找坡屋面普遍存在标高变化复杂、模架搭设高差大、立杆高度不统一标准等施工难题, 极易出现架体受力不均、结构成型平整度偏差超标、质量差等问题。

布基纳法索博博机场项目航站楼屋面为大跨度双向找坡钢筋混凝土结构, 屋面东西向长 126m、南北向长 65.5m, 整体采用双向找坡设计。屋面找坡体系分为两个维度: 东西向采用 5% 统一单向找坡, 实现屋面纵向排水导流; 南北向以 D 轴为中心高点, 分别向南北两侧 3% 对称找坡, 形成中部高、两侧低的双向排水体系, 兼顾屋面排水效率与建筑外观造型。

在屋面结构构件设计上, 本工程屋面梁采取差异化找坡方式: 梁底长向随屋面找坡, 短向不找坡。屋面竖向承重构件采用圆柱, 柱顶设置柱帽, 柱帽底面不找坡, 为水平平面, 有效简化了柱帽节点模板施工难度。

本工程屋面模架体系采用扣件式钢管脚手架^{[2][4]}。针对双向结构找坡屋面, 标高多变的施工特点, 采用模架顶层步距立杆搭接的搭设方式, 通过扣件加固与分区标高计算适配屋面双向结构找坡的复杂工况, 保障模架整体稳定性^[10]。

作者简介: 郭起轩 (1995.04-), 男, 汉族, 山西省汾阳人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 建筑施工。

一、施工重难点分析

结合本工程双向找坡屋面结构形式与模架搭设方案,施工重难点主要集中在以下四个方面,是控制工程安全与质量的关键。

1. 屋面标高体系复杂,无统一搭设基准。极易造成模板高低偏差、屋面坡度偏差超标,影响屋面排水功能与结构外观质量。

2. 模架顶层立杆搭接工艺稳定性要求高。本工程采用模架顶层立杆搭接替代对接扣件通长连接立杆,搭接位置为模架受力薄弱点,需通过旋转扣件组合加固工艺提升搭接节点的稳定性。立杆按不小于50mm的偏心距进行承载力验算^[9],高大模板支架的立杆按不小于100mm的偏心距进行承载力验算^[9]。

3. 屋面不找坡构件与找坡构件衔接难度大。本工程主次梁短向、圆柱柱帽底面均为水平不找坡,侧模加工尺寸较多,需要精准的进行计算^[9]。

4. 双向结构找坡屋面标高计算繁琐。大跨度、双向找坡导致模架立杆标高差异较大,逐点计算工作量大,若无标准化计算单元,易出现计算误差。

二、适用范围

本技术适用于大型公共建筑现浇钢筋混凝土单向、双向及对称结构找坡屋面的模架搭设施工,尤其适用于跨度大、标高连续渐变、立杆高度差异大的超长结构找坡屋面工程。本技术仅需常规扣件式钢管脚手架即可实施^[9],可有效减少立杆钢管切割损耗。

三、核心施工工艺与技术措施

(一) 模架顶层步距立杆搭接专项加固工艺

普通模架区域顶层步距立杆搭接采用2个旋转扣件,搭接长度不小于0.8m,高大模架区域顶层步距立杆搭接采用3个旋转扣件,搭接长度不小于1m^[11]。

为验证立杆搭接工艺的可靠性,现场搭设试验架体进行验证。搭设立杆间距1m,水平杆步距1.5m,顶层步距立杆搭接采用2个旋转扣件,搭接长度0.8m的试验架体,立杆顶托上布设主次龙骨及木模板,堆载5.2t荷载^[9],静载试验24小时后,架体稳定,立杆搭接扣件均无向下滑移,验证合格。



图1 旋转扣件搭接立杆堆载试验

基于规范与堆载试验的验证,针对双向结构找坡屋面模架立杆高度差异化的实际情况,本工程模架体系统一采用顶层步距立杆搭接搭设方式,并在搭接立杆底端加设1个十字扣件作为抗滑移^{[7][8]}支撑点,适配屋面连续渐变的标高变化,有效避免了大量不同高度立杆钢管,常规立杆对接扣件通长连接,切割适配接长立杆钢管的不同高度,造成浪费。



图2 模架顶层步距立杆搭接加固现场应用

该立杆搭接加固工艺可有效提升搭接节点的整体稳定性及扣件抗滑移的强度,弥补立杆搭接相较于通长立杆连接的偏心及扣件抗滑移受力薄弱环节,确保变坡屋面高低错落的立杆体系受力均匀。

(二) 分区立杆高度计算体系

为解决结构找坡屋面模架立杆标高计算复杂、误差大的难题,采用分区计算法,充分利用顶托300mm可调节余量范围,分区统一固定模架立杆搭设高度,通过顶托余量调节适配分区内的较小标高差异,既减少了模架立杆不同高度、简化了施工工序,又有效抵消了分区计算误差,减少了模架搭设难度,大幅提升了屋面结构坡度与平整度控制精度。

(三) 不找坡结构构件模架施工控制

本工程柱帽及主次梁高度为800mm,楼板厚度为150mm。屋面结构东西向5%找坡,南北向以D轴为中心高点,分别向南北两侧3%对称找坡。主次梁短向、圆柱柱帽底面均为水平不找坡,主次梁长向随屋面结构找坡。

结合屋面双向结构找坡特性,梁截面高度不低于设计高度,梁低侧侧模模板统一按650mm标准高度,梁高侧侧模模板高度根据对应找坡坡度精准计算确定,东西向梁按梁宽 $\times 3\%$ 、南北向梁按梁宽 $\times 5\%$ 计算高侧侧模模板高度加高尺寸,精准适配屋面渐变坡度。

针对屋面结构构件交叉,标高复杂,施工易错问题,制定

“先梁交点、后柱帽、再整梁”的支模顺序，首先精准定位两道梁相交区域，完成梁交叉节点底模支设，然后进行柱帽底模支设，最后依托已支设节点区域底模标高及位置，逐段完成梁底模支设，顶托与梁板底模主龙骨间加设与屋面结构找坡坡度吻合角度的三角形木楔子，保证顶托与梁板底模主龙骨全接触传递浇筑混凝土的施工荷载，保证屋面结构几何尺寸与坡度准确。

（四）屋面结构面层成型控制

屋面结构混凝土浇筑前，完成屋面结构面层顶标高控制方格网的计算及控制点测设，通过密布的方格标高控制点将屋面结构成型面划分为若干小单元，以此控制双向找坡精度，保障屋面结构成型面坡度满足设计要求。

混凝土浇筑过程中采用多次收面工艺，使屋面达到压光混凝土成型效果，取消防水层找平层，屋面结构成型压光混凝土可直接进行卷材防水施工^[6]，简化了屋面防水构造做法，节约了工期与材料。



图3 屋面混凝土浇筑成型效果

四、施工操作要点

测量放线：根据结构轴线与控制网测设梁、柱帽、板边线及标高控制点，做好醒目标记，复核无误后方可进入下道工序。

模架搭设：分区进行模架立杆标高布设：按15 m²分区模架立杆统一高度逐区布设立杆，利用顶托300mm 调节余量调整底模标高，插入立杆顶端可调顶托伸出顶层水平杆的悬臂长度大于500mm 时，模架顶层水平杆上部根据屋面结构找坡坡度增设倾斜设置纵横向杆件，保障顶托底至最上部水平杆间距不超过500mm[4]。

模板支设：严格执行“先梁交点、后柱帽、再整梁”的支模顺序，梁两侧侧模高度按计算配置。

模板复测：混凝土浇筑前对模板标高、坡度、位置及几何尺寸进行全面复测，偏差超标部位进行整改。

混凝土浇筑：浇筑全过程安排专人控制屋面结构面层坡度及标高。

拆模与成品保护：混凝土达到规范规定的拆模强度^[3]后，按“后支先拆、先支后拆”原则依次拆除模板及架体，及时覆盖保湿

养护，保护屋面混凝土面层。

五、质量控制

（一）标高坡度质量控制

施工前完成全部屋面结构构件标高建模计算，严格按照15 m²分区单元制定模架立杆高度施工交底，明确每个分区立杆的搭设高度。各分区利用顶托300mm 调节余量进行底模标高调整，确保屋面结构找坡坡度准确。

（二）模架稳定性控制

模架顶层步距立杆搭接接长所用旋转扣件为核心受力构件，为施工验收重点检查项目，所有扣件紧固力矩按50N·m 控制^[7]，安排专人逐点检测记录，确保扣件拧紧牢固，杜绝因紧固力矩不足导致搭接接长立杆滑移。

（三）模板关键节点质量管控

梁与梁交接、梁与屋面板交接、梁与柱帽交接、柱帽与屋面板交接的模板关键节点，单独编制专项施工交底，安排专人指导施工。混凝土浇筑前对模板节点进行全面复核。

六、效益分析

本工程采用的双向结构找坡屋面精细化模架施工技术，相较于传统模架施工工艺，具备显著的技术与经济效益。其一，15 m²分区模架立杆高度统一，结合顶托可调余量，适配126m 超长双向结构找坡屋面的标高变化。其二，模架顶层步距立杆搭接使用旋转扣件附加1个十字扣件的加固工艺，有效弥补了立杆搭接的受力薄弱点，有效避免了常规立杆对接扣件通长连接，需切割适配接长立杆钢管的不同高度，造成浪费。减少立杆钢管切割损耗的同时，保障了模架整体稳定性与承载力。^[2]其三，针对柱帽等不找坡结构构件的专项节点控制，实现了其与找坡结构构件的准确衔接，杜绝了节点标高、坡度偏差的质量通病。其四，屋面实现压光混凝土成型，取消防水层找平层，直接进行卷材防水施工^[6]，缩短了工期，节约了材料成本。

该技术体系成功应用后，屋面结构坡度平整度、成型质量均满足设计及规范要求⁵，模架安全可控，施工效率显著提升，取得了良好的社会效益与经济效益，符合建筑工程高质量、绿色化的发展方向。

七、结束语

双向结构找坡屋面精细化模架搭设施工技术通过模架顶层步距立杆搭接专项加固、15 m²标准化分区立杆高度统一及模板关键节点专项控制等技术措施，有效解决了大跨度双向结构找坡屋面模架标高控制难、架体稳定性差的施工难题。该技术标准化、精

细化、实用性强，能够精准适配各类双向、单向结构找坡屋面的模架施工需求，有效提升结构成型质量与施工安全性^[4]，降低施工偏差与质量通病发生率，可为同类大型结构找坡屋面模架工程的施工与质量控制提供技术参考。

参考文献

[1] GB 50666-2011 混凝土结构工程施工规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

[2] JGJ 130-2011 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2011.

[3] JGJ 162-2008 建筑施工模板安全技术规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2008.

[4] GB 51210-2016 建筑施工脚手架安全技术统一标准 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2016.

[5] GB 50207-2012 屋面工程质量验收规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[6] GB 50009-2012 建筑结构荷载规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[7] GB/T 15831-2023, 钢管脚手架扣件 [S]. 北京：中国标准出版社，2023.

[8] 宋建学. 脚手架扣件抗滑移试验及分析 [J]. 建筑技术, 2011, 42 (10): 937-938.

[9] 张文友. 对《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》JGJ130—2011 中满堂支撑架计算的解析 [J]. 施工技术, 2012.

[10] 陈园卿. 水平荷载作用下混凝土结构扣件式钢管模板高支撑体系受力分析 [J]. 建筑技术, 2007.