

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.S1.007

# 玻璃天窗开合屋盖结构拼装定位控制及施工监测研究

周海洋<sup>1</sup>, 钟声<sup>2</sup>, 周家文<sup>3</sup>, 李元鑫<sup>2</sup>, 曾峰<sup>1</sup>, 李存宝<sup>2</sup>

(1. 中铁建设集团有限公司, 北京 100131; 2. 四川大学建筑与环境学院, 成都 610065;

3. 四川大学水利水电学院, 成都 610065)

**摘要:**玻璃天窗开合屋盖结构是未来商业建筑的一种重要发展趋势, 本文结合贵阳市西南国际商贸城玻璃天窗开合屋盖结构施工与监测, 介绍了玻璃天窗异于其他开合屋盖结构体系的特点。由于其屋面材料具有自重大、易劳损的特点, 玻璃天窗开合屋盖结构的制作、拼装和定位直接影响到开合机械运行的安全和稳定, 故此类玻璃天窗开合屋盖结构的拼装和定位要求具有更高的安装精度。本文对玻璃天窗开合屋盖结构的构件制作、工艺流程及控制要求、屋盖结构支座定位、钢结构箱梁拼装及吊装方法、玻璃天窗网架及轨道安装方法等关键技术进行了总结。同时, 还对工程现场的屋盖体系在不同受力工况和运行状态下振动信号和振动频率进行了监测研究, 分析结果表明此项目开合屋盖拼装定位控制的施工方法和工艺流程完全能达到开合机械运行的精度要求, 确保了玻璃天窗开合屋盖体系的安全和稳定, 也为其他同类工程的玻璃天窗开合屋盖结构拼装定位控制及施工提供了参考依据。

**关键词:**开合屋盖结构; 玻璃天窗; 拼装; 定位控制; 监测

中图分类号: TU393 文献标志码: A 文章编号: 1674-4764(2014)S1-0024-06

## Research on Assembly Construction, Positioning Control and its Detecting Technology for Retractable Roof Structure of Glass Skylight in Guiyang Southwest International Trade City

Zhou Haiyang<sup>1</sup>, Zhong Sheng<sup>2</sup>, Zhou Jiawen<sup>3</sup>, Li Yuanxin<sup>2</sup>, Zeng Feng<sup>1</sup>, Li Cunbao<sup>2</sup>

(1. China Railway Construction Group Co. Ltd., Beijing 100131, P. R. China;

2. College of Architecture and environment, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China)

**Abstract:** The retractable roof structures are developing technology for commercial buildings. The characteristics of retractable roof structure of glass skylight, which is different with other retractable roof structure were introduced through an actual project in Guiyang southwest international trade city. Due to the heavy deadweight and easy-damaged feature of glass skylight, the safety and stability of the retractable roof system directly depends on the fabricating, assembly and positioning of each element of retractable roof structure of glass skylight. Therefore, more accurate methods and technologies are required in its construction. In this paper, the component fabrication, technological process and its control requirements, bearing positioning, assembly and lifting of the steel girder, setting of skylight rails were concluded and introduced. The vibration signals and frequencies in different force status and running state are detected and analyzed. The results show that the construction method and technological process of assembly and positioning which applied in the project can meet the requirement of accuracy control of the retractable roof structure of glass skylight, and it provides a helpful method to other similar projects.

**Key words:** retractable roof structure; glass skylight; assembly construction; positioning control; detecting

随着社会的进步, 回归自然、低碳环保的理念已成为各类商业设施、文化建筑和体育场馆的重要发展趋势, 而开合式屋盖结构是人们以向往大自然的空气、阳光和天空为动机, 将不断发展的建筑结构设计理念和机械设备安装技术相结合的产物, 它是集建筑、结构、机械、控制等诸多领域于一体的综合技术的体现<sup>[1-3]</sup>。开合式屋盖建筑已然成为一个越

来越重要的发展趋势, 我国著名建筑大师马国馨院士更把开合屋盖建筑称之为第三代建筑<sup>[4]</sup>。目前国内大面积的开合屋盖结构大多用于体育场馆建筑, 它们的屋面材料也大多是非金属薄膜或复合金属薄板等轻质材料, 但随着商业建筑的进一步升级换代, 商业步行街和中庭也开始采用大面积的开合屋盖结构, 且它们的屋面材料往往不同于体育场馆, 采用

收稿日期: 2014-05-20

基金项目: 教育部长江学者创新团队(IRT1027)。

作者简介: 周海洋(1979-), 男, 高级工程师, 主要从事结构工程、地基与基础工程方面的研究工作。

钟声(通信作者), 男, 博士, 讲师, (E-mail)zhongsheng@scu.edu.cn。

的是自重相对较大的玻璃天窗,加上闭合状态时要求屋盖结构的防水效果和运行过程中要求控制机械开合噪音,这就使得玻璃天窗开合屋盖体系的结构设计技术和施工安装精度有了更高的要求。

对于商业用途的玻璃天窗开合屋盖结构从文献上看还比较有限,但作为体育场馆而言,国内外都做了不少工程实践和基础研究方面的尝试。从 20 世纪 60 年代开始,大型开合屋盖工程在欧美、日本等发达国家得到快速发展<sup>[5-6]</sup>。1961 年,美国建成了用现代牵引技术驱动的刚性开合结构的匹兹堡市民体育场<sup>[7]</sup>;1989 年加拿大建成的直径 208 m 的多伦多天空穹顶多功能体育场是现代大型开合屋盖结构中的经典之作;美国 1998 年建成菲尼克斯棒球场与亚利桑那州棒球场,2000 年建成休斯敦棒球场和米勒棒球场均为开合屋盖结构。日本在 20 世纪 90 年代初至 2000 年初是开合屋盖建设的鼎盛时期,如石川县小松市的小松穹顶、福冈市的福冈穹顶以及大分县的大分体育场等。在欧洲已经建成的开合屋盖建筑中,最知名的是 1997 年建成的荷兰阿姆斯特丹体育场和 2005 年竣工的英国温布利足球场。

国内现已建成的开合屋盖的大型建筑还比较少,2000 年建成的浙江黄龙体育场、2005 年建成的上海旗忠网球馆、2006 年建成的南通体育会展中心以及 2011 年建成的鄂尔多斯东胜体育场是目前国内规模较大的开合屋盖建筑。在开合屋盖结构设计和施工的研究方面,为数不多的工程人员和学者对这类新兴建筑做了工程实践探索和基础设计分析。范重等<sup>[8]</sup>结合国内外多个大型体育场馆对开合屋盖结构设计的关键技术进行了较为全面的论述;陈以一等<sup>[9]</sup>以南通市体育会展中心主体育场为工程背景对大型开闭屋盖结构的极端状况进行了研究,又以上海旗忠森林体育城网球中心<sup>[10]</sup>为背景研究了开闭钢屋盖与预应力混凝土看台组成的结构体系的性能;郭昌生等<sup>[11]</sup>以浙江省黄龙体育中心网球馆开合结构为分析对象分析了大型开合屋盖结构动力特征及抗震性能;李寿科等<sup>[12-14]</sup>研究了大跨度体育场馆的风荷载、雪荷载等取值规则。从以上文献可以看出,国内对开合屋盖结构方面的研究分析几乎是本世纪伊始才开始起步,积累下来的设计和施工技术理论还非常有限,更无相应的结构设计规范和施工技术规程。

本文将结合贵阳市西南国际商贸城工程,详细介绍商业步行街大面积玻璃天窗屋盖结构拼装过程中的变形控制措施和一些重要施工技术特点,并对屋盖结构体系在开合过程中的变形进行了监测分析。这些拼装定位控制和施工监测技术为上部开合机械轨道体系运行和玻璃天窗防水效果提供了有力的保障。

## 1 工程概况

贵阳市西南国际商贸城项目,位于贵阳市观山湖区西南部,规划面积约 10 km<sup>2</sup>,投资总额 600 亿元,总建筑面积约 1 420 万平方米,是一个集市场经营、国际贸易、现代物流、电子商务、次级 CBD 于一体的大型综合性商业集群。一期项目建筑面积 220.6 万平方米,规划建设成服装、小商品鞋帽百货、装饰建材、五金机电和食品土特产五大类专业商贸批发市场及必要的商业配套,共计约 36000 个商铺,图 1 所示为贵阳市西南国际商贸城项目一期工程效果图。



图 1 贵阳西南国际商贸城项目一期工程效果图



图 2 步行街混凝土框架和钢结构屋盖

贵阳市西南国际商贸城的商业步行街采用的是开合式玻璃天窗屋盖结构,开合式玻璃天窗屋顶结构为钢结构屋架,其上安装可以整体平动开合的玻璃天窗。屋盖宽度 43.2 m,最大跨处 21.6 m,其中一期项目所需安装的开合式玻璃天窗屋盖结构长度就超过 400 m,如图 1 所示,可见商业步行街的规模体量巨大。由于玻璃天窗异于其他开合屋盖结构体系所用屋面材料,其具有自重大、易劳损的特点,故此类开合式玻璃天窗屋盖结构的拼装和定位有更高的精度要求,以确保玻璃天窗屋盖结构的安全稳定和开合机械装置的正常运行。图 2 所示为商业步行街开合式玻璃天窗屋盖结构的施工现场。

## 2 工程特点与难点

与传统屋盖结构不同,玻璃天窗开合屋盖结构有着自身的工程结构特点和施工技术难点。以贵阳市西南国际商贸城一期工程 2# 地块为例,该区域的玻璃天窗覆盖面积为 11 691.11 m<sup>2</sup>。2# 地块玻璃天窗屋盖结构包含固定天窗和滑动天窗。玻璃天窗主骨架设计为钢结构,以相邻单体的钢筋混凝土柱作为下部传力构件,设计和施工须考虑地震、温度等引起的水平位移。

玻璃天窗屋盖构造(从上至下):钢化夹胶玻璃作为防水层,与型钢梁网架组合成独立板块,型钢梁网架设置 6 组 12 个滑轮,并搁在下部主承重钢梁上的轨道系统上,通过齿条传动机构和消防联动系统自动启闭,满足采光、封闭、消防排烟要求;下部主承重构件为伸臂式箱型钢梁。屋盖采用双坡屋顶的形式,玻璃天窗的排水坡度为 6%。以上组成部分,每片开合屋盖为 10.8×10.8 m<sup>2</sup> 的正方形,由 42 块钢化夹胶玻璃作为防水层,每片钢化夹胶玻璃重量为 250 kg,防水层自重较大,所以可称之为大自重开合屋盖结构。每片开合屋盖

都由属于自己的驱动设备控制其开闭运行,操作控制互不影响。图 3 和图 4 所示分别为玻璃天窗屋盖构造示意图和现场照片。

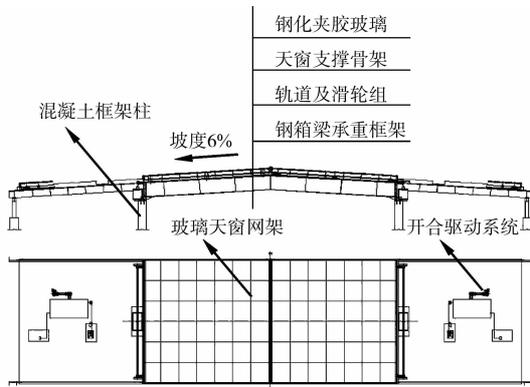


图 3 玻璃天窗屋盖(部分)构造立面和平面示意图

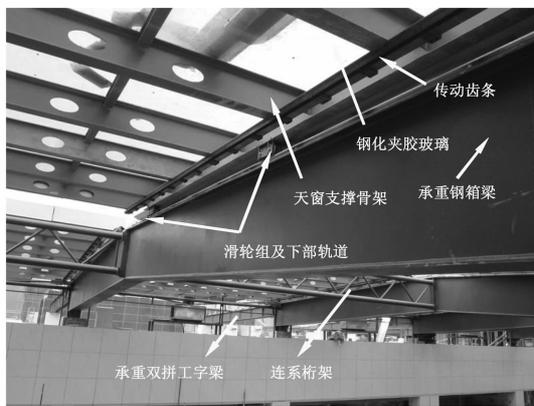


图 4 玻璃天窗屋盖(部分)现场照片

贵阳市西南国际商贸城的玻璃天窗开合屋盖结构虽不是很复杂,跨度也不算大,但其体量非常大,且有自身的一些工程特点和难点,这主要体现在:

1) 开合屋盖采用的屋面防水材料为钢化夹胶玻璃,自重大,易劳损,开合运行频率高于体育场馆,其开合屋盖两侧的楼面主体有停车场,故要求轨道平整度高,以减少商业区的噪音和振动,同时还要对支座处进行优化设计,减少周围屋面车辆振动的影响;

2) 开合机械的轨道安装要求精度高,作为轨道安放位置的钢箱梁主承重结构拼装、吊装和定位的精度也变得愈加严苛;

3) 由于开合屋盖是以两侧的混凝土框架结构作为支座,施工空间局限在商业步行街内,且混凝土框架结构预留支座位置距离地面达 23.61 m,这使得吊装高度较大,增加了吊装的难度和精确度;

4) 对于每片玻璃天窗开合屋盖两侧的滑轮组和轨道必须保持同样的坡度,不能出现高低不同或坡度不一的情况,否则开合屋盖将无法安全运行,对玻璃天窗也将产生很大的次生应力,钢化玻璃损坏坠至商业步行街将造成重大的安全事故。

### 3 拼装定位控制技术

玻璃天窗开合屋盖结构的制作、拼装和定位直接影响到

机械开合运行的安全性和稳定性,以下关键技术需要严格控制其质量和精度,构件制作、工艺流程及控制要求、屋盖结构支座定位、钢结构箱梁拼装及吊装方法、玻璃天窗网架及轨道安装方法等等。下面将针对这些拼装定位控制技术予以详细阐述。

#### 3.1 钢结构构件制作技术要求

为保证天窗工程施工的准确性,在箱梁、天窗构件制作前校核设计施工图,并对已建结构进行复测无误后再进行箱梁、天窗钢构件的加工作。天窗所采用的材料、零构件确保符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205-2001,经验收合格后再开始加工,制作和安装。玻璃天窗屋盖结构的每一钢构件都在厂内制作完成。构件在制作过程中严格跟踪检查,出厂前进行质量自检,每次检验按构件的 5% 进行抽样检查。

##### 3.1.1 审查图纸及原材料核对

- 1) 认真阅读施工图、图纸说明和设计变更通知单等;
- 2) 构件的几何尺寸是否齐全;
- 3) 相关构件的尺寸是否齐全;
- 4) 节点是否清楚,是否符合国家标准;
- 5) 构件之间的连接形式是否合理;
- 6) 图纸审查后,根据图纸材料表计算各种钢结构材料的净用量,再加上一一定量的损耗,编制材料预算计划。

##### 3.1.2 深化图设计及编制工艺流程

加工厂技术人员在设计图的基础上进行深化详图的设计,将其分解为零构件的加工图、安装制造图。

###### 1) 箱梁加工工艺流程

下料→组拼→焊接→探伤→前处理并防腐→检验→标识→出厂;

###### 2) 钢骨架加工工艺流程

下料→配孔(焊接)→探伤→前处理并防腐→检验→标识→出厂。

##### 3.1.3 关键工艺控制要求

###### 1) 钢结构放样,下料和剪切工艺要求

放样制作样板,样杆和下料,根据图纸和工艺要求预置制作和安装时的焊接收缩与梁、切割缝余量和铣、刨的余量。放样与样板允许偏差见表 1。

表 1 放样与样板允许偏差表

项目	允许偏差
平行线距离和分段尺寸	±0.5 mm
对角线差	1.0 mm
宽度、长度	±0.5 mm
孔距	±0.5 mm
加工样板的角度	±20"

###### 2) 下料控制与表面要求

构件制作要求无毛刺,按图纸倒角;表面平整;角钢等型钢的弯曲度应小于等于  $L/1000$ 。材料的厚度允许偏差: ±0.5 mm; 长度及角度的允许偏差: ±10 mm。

###### 3) 焊接要求

焊条、焊剂、焊丝和施焊用的保护气体,必须符合设计、作业指导书和钢结构焊接的国家相关规定的要求;组装前,

零件部位应经检查合格,连接接触面和沿焊缝边缘每边 30~50 mm 范围内的铁锈、毛刺、污垢、尘土等应清除干净;在钢构件上点焊的卡具拆除时不得损伤母材,对残留的焊疤应修模平整。

#### 4) 钢结构的防腐

防腐工序是非常重要的工序,质量的好坏将直接影响到构件的防腐年限。所有的钢材表面均涂刷环氧富锌底漆两道;根据设计要求进行表面除锈处理,质量等级为 Sa2.5 级;当天使用的涂料当天配置,不得随意添加稀释剂。

### 3.2 拼装定位控制技术及应用

#### 3.2.1 屋盖结构基础复核与支座定位调整

1) 结合设计图纸复核预埋件的数量、规格尺寸、相邻距离、水平标高;

2) 检查预埋件对应的中心位置,预埋件的位置是否符合设计要求;

3) 对于现场的柱子标高不一致的情况,按照设计或变更要求进行调整,利用工字型钢与过渡钢板修正标高,图 5 所示为玻璃天窗屋盖支座标高调整节点图。

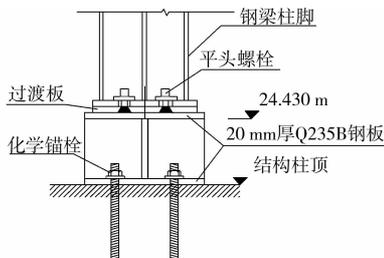


图 5 玻璃天窗屋盖支座标高调整节点图

#### 3.2.2 屋盖结构箱梁的拼装关键技术

图 6 所示为部分玻璃天窗屋盖结构体系示意图,对于屋盖结构的箱梁拼装,采用不同的施工方法其精度控制会有不同的效果。屋盖结构箱梁在厂内制作好之后,运至施工现场,在地面进行拼装,拼装方法采用“两点定位立式拼装”技术,如图 7(a)、图 7(b)所示为两种箱梁拼装方法,经比较,采用图 7(b)所示方法能有效控制箱梁与屋盖基础的精确连接,并能保证钢箱梁在吊装前已调整好屋盖坡度,使得轨道安装在合理的误差范围内。这种拼装方法与图 7(a)相比,可以更少地依赖现场地面的平整度。该拼装方法的具体步骤如下:

1) 根据之前规划的路线,将箱梁运到指定的位置,利用 25 t 的吊车,吊到楼板,两头底下用方木垫高,与地面隔开,防止箱梁浸水,锈蚀箱梁;

2) 根据设计图纸的要求,将两个编号组装为一榀箱梁放在一起;

3) 利用 25 t 汽车吊,将两根箱梁组拼对接,放在方木上,利用手拉葫芦调节对接焊缝的位置,齐平;

4) 在焊缝扣加入衬板,点焊上,利用钢尺检查这榀箱梁的尺寸,严格控制在 5 mm 的误差范围内;

5) 利用水准仪测出这榀箱梁的平整度,按如下测点测量这几点的高差,严格控制在 5 mm 的误差范围内;

6) 检查无误后,对接焊缝满焊,其要求要符合一级焊缝的要求,在施焊前要清除焊缝接口周边的铁锈,污垢,天气太冷,必须对其母材进行预热处理;

7) 待焊接完成 24 小时之后,需对焊缝进行探伤,此焊缝

为一级焊缝,要求必须 100% 探伤。

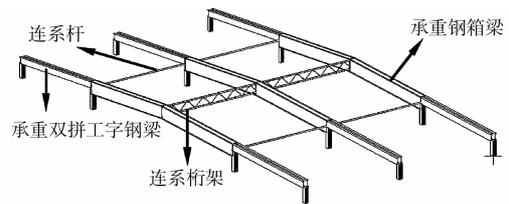


图 6 玻璃天窗屋盖结构体系示意图

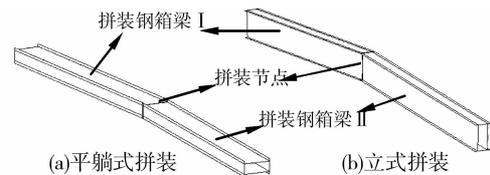


图 7 玻璃天窗屋盖结构钢箱梁的拼装示意图

#### 3.2.3 屋盖结构箱梁的吊装技术要求

由于开合屋盖钢梁截面较大,钢丝绳捆绑时比较困难而且风险又大,开合屋盖钢梁吊装前,首先在钢梁中心向外 3 米处各焊接一个吊装专用吊耳。用相夹将钢丝绳与钢梁连接吊装。吊装前还应做好生命线和挂笼准备工作。吊装中间系杆(桁架)时,作业人员需在钢梁上部行走进行穿高强螺栓、卸吊扣等工作。同时,作业人员在梁上作业时须佩戴双保险绳安全带以保证安全。

吊装步骤分三步:

第一步:第一榀钢梁吊装。由于第一榀梁为单梁,与其他结构无连接,为保证其安全定位,钢梁未吊装前在梁中心处每边各结扎一钢丝绳,待钢梁吊装就位螺栓坚固后将中心处两钢丝绳拉紧、固定。

第二步:第二榀钢梁吊装。第二榀钢梁吊装方法与第一榀钢梁一样,待钢梁吊装就位螺栓坚固后,为防止梁倾斜,一台吊车钢丝绳不松下,另一台吊车钢丝绳松下来,将准备好的桁架支撑吊起安装到位,使两榀钢梁形成一个空间稳定体,然后将两台吊车钢丝绳全部松下。

第三步:后续钢梁安装。后续所有钢梁均按以上方案依次类推安装。

#### 3.2.4 玻璃天窗网架及轨道安装关键技术

##### 1) 钻孔植筋与螺栓定位

箱梁放置到位后再次复核放样轴线,按设计图纸核实梁中心、轨道中心。在轨道的中心位置两侧钻孔植筋,在箱梁上按定位点焊接轨道的定位螺栓。

钻孔植筋工艺按要求进行,调整垫板同时放置在螺栓上,图 8 所示为轨道定位螺栓示意图。

##### 2) 轨道安装

在箱梁与钻孔植筋的同时就可以将轨道钢转运至各箱梁附近,为轨道的铺设提供便利;按箱梁的安装顺序铺设轨道钢至调整垫板上。按设计图核实轨道的中心,调整轨道中心位置、对角线、垂直度、水平度。调整定位时用点焊固定,确认后再螺栓紧固并焊接。

##### 3) 玻璃天窗网架安装

轨道铺设准备工作完成后,根据施工现场的地形及周围环境,用 25 t 汽车吊装玻璃天窗网架;吊装时四个支腿应支

撑在专用的支撑钢梁上,站位和吊装箱梁时一样,确定好位置和吊装半径。

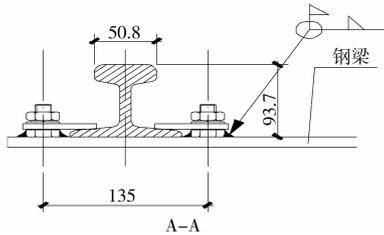


图 8 轨道定位螺栓图

天窗材料根据设计图纸分类,利用 6 t 叉车将相应的材料从各区域分别吊装到消防通道后分别运到各个区域。或从表带内圆中直接吊到表带上,然后用叉车将料导到相应的区域;按设计图纸要求核实天窗的尺寸与轨道中心尺寸。

用汽车吊将天窗在连廊内进行组拼,组拼完成后拧紧螺栓再吊到轨道上。吊装时应注意避免与钢梁的相碰。下方注意带缆绳,以保持起吊过程中的平稳;放置到位后调整天窗的水平与对角线。调整后在拧紧螺栓。

为了整体控制玻璃天窗网架位置,玻璃天窗网架的吊装步骤为:先吊装固定在箱梁上的天窗网架主钢梁;再吊装平行于箱梁的主钢梁;再吊装垂直于箱梁的次钢梁。

## 4 施工监测及分析

### 4.1 检测设备与方法

若开合屋盖结构拼装和定位精度达到设计要求,则开合机械由于构件拼装定位误差导致的结构次生应力和机械振动频率也能控制在合理范围之内,并确保玻璃天窗开合屋盖结构稳定和运行安全。本项目对玻璃天窗的钢梁主要控制截面进行了应力监测,对玻璃天窗运行至不同位置时钢梁的应力变化情况进行了测试;并监测分析了钢梁在不同受力工况和运行状态下振动信号和振动频率的变化,该结果对开合屋盖拼装定位控制的效果进行了有力的实测证明。本次检测的设备如表 2 所示。

表 2 试验仪器及设备一览表

序号	设备名称	规格型号	数量
1	振弦式表面应变计	JTM-V5000F	16 个
2	振弦测试仪	JM3850	1 台
3	笔记本电脑	联想	1 台
4	动静态应变仪	DH5920	1 台
5	拾振器	DH610V	2 个
6	数码相机	松下	1 台

根据 2# 地块屋顶玻璃天窗的实际布置情况,选取 A—B 楼的屋顶为监测对象,在 A—B 楼轴线为 AK、AL 的两榀钢梁上布置相应的应力测点。

每榀钢梁上各布置 7 个应力测点(1#~14#),分布在 21.6 m 跨钢箱梁(中跨)及 10.8 m 跨工字钢(边跨)的 1/4、1/2、3/4 等分点处。根据现场条件,对于中跨钢箱梁的应变测点布置于钢箱梁的顶板上,对于边跨工字钢的应变测点布

置于工字钢的底面上。同时为明确 AK、AL 的两榀钢梁之间的相互作用,在 AK、AL 两榀钢梁连系梁上布置 2 个应力测点(15#、16#)。

全部应力测点共计 16 个,应力测点平面布置图如图 9 所示。

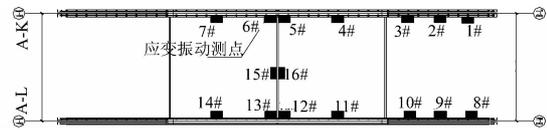


图 9 应力测点平面布置示意图

限于篇幅,文中仅给出了各工况脉动(滑动)频率测试数据表,如表 3。通过对西南国际商贸城滑动玻璃天窗的钢梁主要控制截面应力、振动数据进行监测分析,可得出如下分析成果:

1)在天窗位于滑移轨道不同位置时(静态),中跨钢箱梁的实测应变范围为  $-101.9 \sim 118.0 \mu\epsilon$ ,边跨工字钢最大实测应变范围为  $-110.5 \sim 103.6 \mu\epsilon$ 。钢箱梁间的连系梁及玻璃天窗网架的应变并不随滑移位置变化而产生变化,或可忽略不计。

2)在天窗位于滑移轨道不同位置时,中跨钢箱梁实测脉动振动频率范围为 10.74~14.65 Hz,边跨工字钢实测脉动振动频率范围为 10.16~11.13 Hz。

3)在天窗滑移过程中,中跨钢箱梁由滑动引起的最大竖向加速度为  $0.304 \text{ m/s}^2$ ,中跨钢箱梁实测强迫振动频率为 13.87 Hz;边跨工字钢由滑动引起的最大竖向加速度为  $0.089 \text{ m/s}^2$ ,边跨工字钢实测强迫振动频率为 8.98 Hz。

由此结论分析可知,玻璃天窗由于构件安装误差导致的结构次生应力很小。玻璃天窗运行过程中的竖向加速度也控制在安全范围内,能确保玻璃天窗安全开合运行。

表 3 各工况脉动频率测试数据表 Hz

测试工况	脉动/滑动实测频率	
	中跨	边跨
开启状态	13.28	10.55
从开启运行至闭合	13.87	8.59
闭合状态	10.74	10.74
从闭合运行至开启	11.52	8.98

## 5 主要结论

玻璃天窗开合屋盖结构是未来商业建筑的一种重要发展趋势,本文结合贵阳市西南国际商贸城玻璃天窗开合屋盖结构的设计、施工与监测,介绍了玻璃天窗异于其他开合屋盖结构体系的特点。文中对玻璃天窗开合屋盖结构施工的关键技术进行了总结,同时还对工程现场的屋盖体系进行了不同受力工况和运行状态下振动信号和振动频率的监测,主要得到了以下一些结论:

1)商业建筑中的玻璃天窗开合屋盖结构屋面材料具有自重大、易劳损的特点,开合运行频率高于开合屋盖体育场,噪音和振动要求更小,开合机械的轨道安装要求精度高,作为轨道安放位置的钢箱梁主承重结构拼装、吊装和定位的

精度也更加严苛;

2)对贵阳市西南国际商贸城玻璃天窗开合屋盖结构的制作、拼装、吊装和定位的工程特点和难点进行了总结;

3)文中对玻璃天窗开合屋盖结构施工的关键技术及其优点进行了总结,这主要包括屋盖结构的构件制作、工艺流程及控制要求、屋盖结构支座定位、钢结构箱梁拼装及吊装方法、玻璃天窗网架及轨道安装方法等等。

4)对工程现场的屋盖体系进行了不同受力工况和运行状态下振动信号和振动频率的变化,分析结果表明,此项目开合屋盖拼装定位控制的施工方法和工艺流程完全能达到开合机械运行的精度要求,可确保玻璃天窗开合屋盖体系运行的安全和稳定。

#### 参考文献:

- [1] 范重,彭翼,胡纯场,等. 开合屋盖结构设计关键技术研究[J]. 建筑结构学报,2010,31(6):132-144.
- [2] 关富玲,徐旭东,杨超辉,等. 开合屋盖结构的设计——奥体体育场[J]. 力学与实践,2008,30(3):15-23.
- [3] 张凤文,刘锡良. 开合屋盖结构的发展及开合机理研究[J]. 钢结构,2001,16(4):1-6.
- [4] 苏建华,韩大建,黎志军. 折叠开合式膜屋盖建筑简介[J]. 钢结构,2006,(4):1-4.

- [5] 范重,赵长军,李丽,等. 国内外开合屋盖的应用现状与实践[J]. 施工技术,2010,39(8):1-7.
- [6] 关富玲,程媛,余永辉,等. 开合屋盖结构设计简介[J]. 建筑结构学报,2005,26(4):112-116.
- [7] 李沛玲,黄呈伟,高永林,等. 建筑开合屋盖结构的概述及其发展[J]. 钢结构,2007,22(10):1-5.
- [8] 范重,彭翼,胡纯场,等. 开合屋盖结构设计关键技术研究[J]. 建筑结构学报,2010,31(6):132-144.
- [9] 陈以一,江晓峰,陈扬骥. 大型开闭屋盖结构极端状况研究[J]. 建筑结构学报,2007,28(1):21-27.
- [10] 陈以一,张大照,薛伟辰,等. 承载开闭钢屋盖的预应力混凝土看台结构抗震性能研究[J]. 土木工程学报,2007,40(8):22-28.
- [11] 郭昌生,吴开成. 开合屋盖结构动力特征及抗震性能分析[J]. 地震工程与工程振动,2006,26(3):124-127.
- [12] 李寿科,李寿英,陈政清,等. 大跨开合式屋盖峰值风压的试验研究[J]. 振动与冲击,2010,29(11):66-72.
- [13] 范重,王义华,栾海强,等. 开合屋盖结构设计荷载取值研究[J]. 建筑结构,2011,41(12):39-51.
- [14] 侯国勇,关富玲,霍国锋. 开合结构风压计算的数值模拟研究[J]. 科技通报,2010,26(4):576-581.

(编辑 吕建斌)

(上接第19页)

雷州半岛临近世界最大台风生成区,夏秋季节台风活动频繁,受多强对流天气影响,雷暴发生率远超过全国其它沿海地区。冬季冷空气可沿鉴江等河谷南下而使半岛北部出现低温阴雨、霜冻等冷害。全年降水极不均匀,各地蒸发量大于降水量,极易导致洪涝与干旱交替出现,以春旱尤重。强风暴、龙卷风等强对流天气时有发生。

基于雷州半岛自然地理气候条件的影响,建筑的防水、防火、防风、遮阳甚至防御成为了需要平行考虑的因素。雷州古人创造性地将这些平行影响因素与封火山墙的形式结合在一起,巧妙地解决了雷州半岛地区各种不利因素的影响。研究发现,每一种功能的融合就会为封火山墙的形式变化提供一种可能。封火山墙将多种功能复合在一起,其样式的多样性也因此成为了一种必然。

## 5 结 语

雷州民居中的封火山墙既有显著的功能性,又不失为一种标志性的装饰语汇。它的产生是客观世界发展的必然,也是传统居住建筑顺应自然,和谐共生理念的一种表现。古人对建筑功能的表达并不是简单苍白的,而是借助于特定环境下具体的材料、结构方式和加工手段使之成为行之有效的、实实在在的可见形式。这种形式的大量使用,又使民居的地域特色充分彰显。雷州民居“因此才显得亲切而不媚俗,精美而不奢华,纯朴而不粗鄙、自然而不造作,从而显示出当地人民自然恬静的耕读文化,高尚的志趣与山水情怀<sup>[8]</sup>。”

功能与形式的统一是雷州传统人居智慧的优秀典范。在丰富的地域自然条件下,封火山墙通过各种功能的融合并根据当时人们的作息规律,有效地调节了传统建筑的人居微气候,创造了宜人的居住环境。雷州半岛与其他地区气候条件的微差会导致山墙主导功能的差异化发展,这些差异直接导致了表达形式的多样化发展,再加之民间社会、文化、经济活跃因素的影响,雷州半岛势必衍生出中国传统民居中最为丰富多样的封火山墙。

#### 参考文献:

- [1] 汪晓东. 山墙与五行象征的质疑[J]. 集美大学学报:哲学社会科学版,2012,15(4):49-54.
- [2] 郭华瑜. 试论硬山屋顶之源起[J]. 华中建筑,2006(11):94-97.
- [3] 崔垠. 硬山建筑探源[J]. 山西建筑,2007(1):30-31.
- [4] 孙智,关瑞明,林少鹏. 福州三坊七巷传统民居建筑封火墙的形式与内涵[J]. 福建建筑,2011,153(3):51-54.
- [5] 刘燕霞. 清代广州十三行研究[D]. 广州:广州大学,2009.
- [6] 林秀琴. 浅析闽南传统建筑屋顶文化的形成[J]. 福建文博,2009,66(1):50-56,98.
- [7] 刘俊杰. 雷州半岛自然灾害类型特征及减灾对策[J]. 广东史志,2000(3):14-19.
- [8] 罗意云. 浅议岭南民居封火墙[J]. 中华建设,2011,74(7):148-149.

(编辑 薛婧媛)