

不锈钢金属屋面技术研究及施工要点

——大型复杂关键性工程技术报告

高义斌

广东重工建设监理有限公司

DOI:10.12238/btr.v8i2.4668

[摘要] 本文以茂名奥林匹克体育中心项目(体育馆、会展馆、游泳跳水馆、垃圾房及地下室)两馆金属屋面施工为例,介绍了不锈钢金属屋面工程施工技术,并分析了施工过程中的复杂性及关键性的技术要点,旨在研究和解决大型复杂不锈钢金属屋面工程的关键性技术问题。

[关键词] 不锈钢金属屋面工程; 复杂造型; 关键性技术问题; 抗风揭性能; 数字化加工; 数控加工设备; 自动化焊接

中图分类号: TG43 文献标识码: A

Research on Stainless Steel Metal Roof Technology and Key Construction Points

——Technical Report on Large, Complex and Critical Engineering Projects

Yibin Gao

Guangdong Heavy Industry Construction Supervision Co., Ltd

[Abstract] This article takes the construction of two metal roofs of the Maoming Olympic Sports Center project (gymnasium, exhibition hall, swimming and diving hall, garbage room, and basement) as an example, introduces the construction technology of stainless steel metal roofs, and analyzes the complexity and key technical points in the construction process. The aim is to study and solve the engineering technical problems of major and complex stainless steel metal roof projects, and implement them.

[Key words] stainless steel metal roof engineering; complex design; key technical issues; wind resistance; digital processing; CNC machining equipment; automated welding

1 工程概况

茂名奥林匹克体育中心项目(体育馆、会展馆、游泳跳水馆、垃圾房及地下室),项目将作为第十七届省运会的主要举办场馆,体育馆10120坐席、游泳跳水馆2034坐席,位于广东省茂名市电白区茂名新城核心片区,该项目建成后定位为城市的赛事文化活动中心、社区化奥体公园,可承办各项大型赛事活动和社会综合性活动,总建筑面积123862m²,室外总体占地面积约73583m²。两馆的不锈钢金属屋面为超大型的金属屋面工程,是当前较为领先的大型场馆屋面防水工程。两馆屋面总面积约3万多平方米。因建筑设计追求独特外观与耐久性,选用不锈钢金属屋面系统。该屋面造型复杂,涵盖大量曲面与不规则转角,且需满足防水、防火、保温及抗风要求,对屋面工程技术提出了极高的施工技术要求。

2 关键技术问题分析

2.1 复杂造型的精准加工与安装: 屋面造型不规则,存在大

量曲线、折面与异形节点,传统施工方法难以保证构件加工精度与现场安装定位准确性,易导致安装误差累积,影响整体结构稳定性与外观效果。

2.2 防水与密封难题: 传统的金属屋面因板材拼接、节点构造多,在长期风吹、日晒、雨淋及温度变化下,易出现渗漏隐患。特别是复杂造型部位,常规防水密封材料与工艺难以适应变形要求,确保防水不渗漏、耐久性提高成为关键的施工环节。

2.3 防火性能提升: 该工程对防火要求严格,不锈钢虽为不燃材料,但屋面系统中的透气膜层、TP0防水等,并不是A级防火材料。如何在保证屋面整体性能前提下,提升防火等级成为关键问题。

2.4 保温隔热性能保障: 对室内保温隔热环境要求,需在满足屋面结构与防水前提下,优化保温隔热设计。金属材料导热系数高,若保温措施不当,易造成热量散失或室内结露现象,影响建筑能耗与使用舒适度。

2.5抗风揭性能保障: 工程所在地风荷载较大,本工程靠近海边约20公里,受台风影响较强。另外,复杂造型屋面风吸力分布不均,局部区域易形成强风负压区。普通屋面固定方式难以满足抗风要求,本工程采用针对性的固定与连接技术,确保屋面在强风下的稳定性。并对此做法1:1实体取样,安装在监测点位,进行抗风揭实验,符合要求方可实施。

3 技术解决方案

3.1数字化加工与定位技术。运用三维建模软件对屋面复杂造型进行精确建模,将模型数据导入数控加工设备,实现不锈钢板材的高精度加工,板材长宽加工误差控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内。安装时,采用全站仪结合三维坐标定位技术,对每一块板材进行精准定位,确保拼接缝宽度均匀一致,误差控制在 $\pm 1\text{mm}$,有效保证了屋面外观效果与防水功能。

3.2数字化加工技术。(1)BIM建模: 利用建筑信息模型BIM技术,对体育馆不锈钢金属屋面进行三维建模,精确呈现屋面的形状、尺寸、坡度等信息,项目采用“BIM+3D扫描”技术,两馆C型钢檩条3600多根、体育馆几字檩2100多根(游泳跳水馆未采用)和近700多块超长屋面板量身定做专属三维模型。(2)参数化设计: 针对复杂形状的屋面,通过参数化设计软件,设定相关参数和规则,快速生成不同尺寸、形状的不锈钢屋面板模型,实现批量生产。通过参数化设计优化屋面分格,将尺寸差异在 $\pm 5\text{mm}$ 以内的面板合并,形成大面积宽度相同局部微曲的超长版不锈钢板块。(3)数控加工设备: 根据BIM模型和参数化设计生成的加工数据,驱动数控切割设备、数控弯折设备等,对不锈钢板材进行精确加工。如数控等离子切割机可按照预设路径对不锈钢板进行切割,数控折弯机可精准控制折弯角度和尺寸。(4)自动化焊接技术: 采用自动化焊接设备和工艺,提高焊接质量和效率,保证不锈钢屋面板之间的连接强度和密封性。像不锈钢连续焊接屋面系统,适用于体育馆等金属屋面不锈钢结构焊接,焊接速度可达3.9m/min,焊缝成型美观、密封性好、耐腐蚀。

3.3定位技术。(1)全站仪测量定位: 在体育馆施工现场,使用全站仪对屋面的控制点、轴线等进行精确测量,建立测量控制网。通过全站仪坐标测量,获取实际位置数据,并与BIM模型数据进行对比,指导不锈钢屋面板的安装位置调整。(2)3D扫描定位: 利用3D扫描机器人对现场主体结构进行扫描,生成点云模型,将其与BIM模型进行匹配和对比,实时监测和调整不锈钢屋面板的安装精度。将实际安装精度控制在2毫米内。(3)激光定位技术: 在屋面板安装过程中,使用激光经纬仪、激光投线仪等激光定位设备,投射出水平或垂直的激光线,为屋面板的铺设提供精确的定位基准,确保屋面板的平整度和直线度。

4 采用不锈钢焊接技术实现其防水密封功能

4.1原理。不锈钢焊接是通过高温使不锈钢板材的边缘熔化并融合在一起,形成一个连续、无间隙的“十字锁边+欧姆扣”的整体结构。这样就从根本上消除了板材之间的缝隙,而这些缝隙正是雨水等可能渗透进入屋面的通道,从而实现防水密封的基础功能。

4.2优势。(1)高强度与耐久性: 不锈钢材质本身强度高,经过焊接形成的屋面结构稳固,能承受较大荷载,且不易受外界环境腐蚀,可长期保持防水密封性能。(2)整体密封性好: 焊接能使屋面形成一个完整的整体,相比其他连接方式,如螺栓连接或铆接等,几乎不存在因连接部位缝隙导致的渗漏问题。(3)美观性佳: 焊接后的不锈钢屋面表面光滑,线条流畅,能为体育馆建筑增添现代感和美观度,且无明显的连接节点破坏整体外观。(4)施工效率相对较高: 采用智能焊接机器人施工,在熟练的施工团队操作下,焊接技术可以快速完成板材的连接,缩短施工周期,尤其对于大面积的体育馆屋面施工,优势更明显。

4.3施工要点。(1)焊接前准备: 要确保不锈钢板材表面清洁,无油污、锈迹等杂质,以保证焊接质量。同时,根据板材的厚度、材质等因素,选择合适的焊接材料和焊接工艺参数,如焊接电流、电压、焊接速度等。(2)焊接过程控制: 焊接操作需由专业且经验丰富的操作人员进行,严格按照焊接工艺规范操作,控制好焊接速度和焊接路径,保证焊缝均匀、连续,避免出现虚焊、漏焊、气孔、夹渣等焊接缺陷。(3)焊接后处理: 焊接完成后,要对焊缝进行检查,可采用外观检查、无损检测等方法,如超声波检测、渗透检测等,确保焊缝质量。对检查出的问题及时进行修补。

5 防火性能优化

5.1材料选择。(1)采用不燃性芯材: 不锈钢金属屋面常采用夹芯板结构,在芯材选择上,选用岩棉、玻璃棉等不燃性芯材。岩棉的主要成分是天然岩石,经高温熔融后制成纤维,再加入适量粘结剂固化成型,其熔点高达 1000°C 以上,能有效阻止火焰蔓延,且具有良好的隔热性能,可降低火灾时热量向室内的传递速度。(2)提升不锈钢板材耐火性能: 尽管不锈钢本身具有一定耐热性,但在高温下强度仍会下降。可选用经过特殊处理的高耐火不锈钢板材,如添加特定合金元素,优化冶炼工艺,提高其在高温下的强度保持率和抗氧化性能,延长在火灾中的有效承载时间。

5.2防火构造设计。(1)设置防火分区: 根据体育馆的规模和布局,合理划分防火分区,利用防火隔离带将屋面分割成相对独立的区域。(2)优化节点构造: 对屋面的檐口、天沟等节点部位进行精心设计,确保在火灾时这些部位不会成为火势蔓延的通道。例如,在檐口处采用防火密封材料填充缝隙,防止火焰和高温烟气通过缝隙渗透到其他区域;天沟与屋面的连接部位采用防火构造,避免火灾时天沟内的可燃物被引燃,进而引发更大范围的火灾。

6 高效保温隔热系统设计

选用岩棉板导热系数低至 $0.035\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、玻璃棉导热系数低至 $0.038\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,作为保温材料根据屋面结构与热工计算确定合理保温层厚度。在金属屋面板与保温层之间设置隔汽层,防止室内水汽渗透进入保温层影响保温效果。同时,采用空气间层技术,进一步增强保温隔热性能,经检测,屋面传热系数满足设计要求。

6.1玻璃棉和岩棉材料的特点。(1)良好的保温隔热性能:岩棉纤维细长且相互交织,形成大量孔隙,这些孔隙能有效阻止热量传导,降低体育馆内热量散失或外界热量传入,减少空调等设备能耗,实现节能环保。(2)防火性能卓越:主要成分为天然岩石等无机材料,属不燃材料,能在火灾时延缓火势蔓延,为人员疏散和消防救援争取时间,提高体育馆消防安全等级。(3)吸音降噪效果好:能吸收和反射声音,减少体育馆内回声和噪音干扰,为观众和运动员营造良好声学环境。(4)化学稳定性强:不易与其他物质发生化学反应,耐老化、耐腐蚀,在体育馆复杂环境下能长期保持性能稳定,使用寿命长。(5)绿色环保:不释放有害物质,对人体和环境无害,符合环保设计要求。

6.2施工安装要点。(1)基层处理:安装前需确保不锈钢金属基层清洁、平整、干燥,无油污、灰尘和杂物,若有不平整需进行打磨或修补。(2)岩棉板安装:根据体育馆和游泳跳水馆铺装的部位较平整且大致水平,采用错缝平铺的方式。(3)接缝处理:岩棉板之间接缝要紧,尽量减小缝隙,对较大缝隙用岩棉条或密封胶填充密封,防止热量和空气泄漏。(4)防潮处理:在岩棉板外侧设置防潮层,如防潮膜或防潮涂料,防止外界水分进入岩棉板影响保温隔热性能。(5)收口处理:在体育馆阴阳角、门窗洞口等部位进行收口处理,采用专用配件或密封材料密封,保证保温系统完整性和密封性。

7 新型抗风揭固定系统

7.1体育馆和游泳跳水馆,屋面系统的稳定性至关重要,尤其是在面对强风等恶劣天气条件时。为了确保体育馆的安全与耐用,我们采用“滑移支座+满焊不锈钢面板+铸铝锁夹”装置新型抗风揭固定系统,极大地提升了屋面的抗风性能。

7.2铸铝锁夹装置具有轻质、高强度和耐腐蚀的特点。其独特的设计能够紧密地固定不锈钢金属面板,有效抵抗风的上拔力。与传统的固定方式相比,铸铝锁夹装置的安装更加简便快捷,能够提高施工效率,同时减少了因安装不当导致的安全隐患。

7.3不锈钢金属面则具有出色的耐候性和耐久性。它不仅能抵御风吹雨打、紫外线辐射等自然因素的侵蚀,还能在长期使用过程中保持良好的外观和性能。不锈钢的高强度特性也使得屋面能够承受更大的压力,进一步增强了抗风能力。

7.4新型抗风揭固定系统通过模拟实际风荷载的动态和静态测试,展现出卓越的抗风性能。在强风作用下,铸铝锁夹装置能够紧紧抓住不锈钢金属面板,防止其被风吹起或移位,确保屋面的整体稳定性。

7.5该系统还考虑到了屋面的热胀冷缩问题,通过合理的结构设计,如采用新型的滑移支座,允许屋面在温度变化时自由伸缩,避免了因温度应力导致的结构损坏。

7.6体育馆采用的铸铝锁夹装置新型抗风揭固定系统与不锈钢金属面的结合,是一种创新的屋面解决方案。它为体育馆提

供了可靠的抗风保护,确保了场馆在各种天气条件下的安全使用,同时也为类似建筑项目的屋面设计和施工提供了有益的参考。

7.7通过增加夹具数量、优化布置间距,将屋面风荷载均匀分散到主体结构上。在屋面边缘、角部等风吸力较大区域,加密抗风夹具布置,并采用高强度螺栓与主体结构连接。经抗风揭试验验证,屋面系统可承受10428Pa的风荷载,远超当地设计风荷载标准。

8 实施预期效果

8.1质量方面。屋面整体外观平整、光滑,造型精准还原设计效果,拼接缝整齐美观。防水性能优异,达到长期使用无渗漏现象;防火性能达到设计要求;抗风性能稳定,能够经受住强风考验,结构安全可靠。

8.2进度方面。数字化加工与定位技术提高了施工效率,施工进度较有保障,为后续工程顺利开展创造了条件。

8.3经济方面。虽然前期在技术研发与材料选用上投入相对较高,但从长期使用来看,减少了屋面维修、更换成本,且因防火、防水性能提升,降低了潜在的经济损失风险,具有良好的综合经济效益。

9 结束语

茂名奥林匹克体育中心项目(体育馆、会展馆、游泳跳水馆、垃圾房及地下室)不锈钢金属屋面工程,通过对不锈钢金属屋面关键技术问题的深入研究与创新解决,成功克服了复杂造型、防水、防火及抗风揭等难题,为类似重大、复杂工程提供了宝贵的技术经验与实践范例。在未来建筑工程中,不锈钢金属屋面系统凭借其独特优势,结合先进技术手段,将具有更广阔的应用前景。

【参考文献】

[1]王海荣,杜影,张肇庆.国家体育总局训练局比赛馆金属屋面施工技术[J].建筑技术,2008,39(11):4.

[2]童根树.GB50017-2017《钢结构设计标准》中多高层框架-支撑架的稳定解读[J].钢结构,2019(1):3.

[3]山西省建设厅.GB 50207-2002屋面工程质量验收规范[M].中国建筑工业出版社,2002.

[4]中华人民共和国建设部.建筑工程施工质量验收统一标准:GB 50300-2001[M].中国建筑工业出版社,2001.

[5]胡武文.金属屋面曲面施工技术[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(12):4.

作者简介:

高义斌(1967--),男,汉族,黑龙江人,本科,工程师,任茂名奥林匹克体育中心项目(体育馆、会展馆、游泳跳水馆、垃圾房及地下室)总监理工程师;研究方向:土木工程(建筑工程)。