

DOI: 10.7672/sjgs2024150012

直立锁边曲线型屋面防渗漏控制技术*

郑志涛^{1,2}, 李 闯^{1,2}, 李 昕^{1,2}, 郅伦海³, 施旭光¹, 章 程¹, 谢福美¹(1. 中国建筑第五工程局有限公司, 湖南 长沙 410000; 2. 中建五局第二建设有限公司, 安徽 合肥 230000;
3. 合肥工业大学, 安徽 合肥 230000)

[摘要] 铝镁锰板直立锁边曲线型屋面渗漏现象时有发生, 为此通过 BIM+Fuzor 软件建立屋面模型, 找出暴风、暴雨和暴雪天气条件下屋面渗漏水易发部位, 优化屋面排水及关键节点施工方案。研发直立锁边曲线型屋面卷材防水槽密封装置, 解决屋面固定支座施工破坏防水卷材完整性的问题, 保证防水卷材的有效性。采用无缝焊接铝镁锰板代替泛水板, 解决直立锁边曲线型屋面天窗侧边泛水板收口易渗漏的问题。

[关键词] 金属屋面; 渗漏; 防水卷材; 密封装置; 建筑信息模型; 焊接

[中图分类号] TU57

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)15-0012-05

Anti-leakage Control Technology of Vertical Locking Curved Roof

ZHENG Zhitao^{1,2}, LI Chuang^{1,2}, LI Xin^{1,2}, ZHI Lunhai³, SHI Xuguang¹,
ZHANG Cheng¹, XIE Fumei¹(1. China Construction Fifth Engineering Division Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China;
2. 2nd Construction Co., Ltd. of China Construction Fifth Engineering Division Co., Ltd., Hefei, Anhui 230000, China;
3. Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230000, China)

Abstract: The leakage of vertical locking roof of aluminum magnesium manganese plate occurs frequently. Therefore, the roof model is established by BIM and Fuzor software to find out the prone parts of roof leakage under the conditions of storm, rainstorm and snowstorm, and to optimize the roof drainage and key node construction scheme. The vertical locking curved roof waterproof roll-roofing materials groove sealing device is developed to solve the integrity problem of waterproof roll-roofing materials damaged by the construction of roof fixed base and ensure the effectiveness of waterproof roll-roofing materials. Using aluminum magnesium manganese plate seamless welding instead of flashing plate, the problem of leakage of flashing plate at the side of vertical locking roof light is solved.

Keywords: metal roof; leakage; waterproof roll-roofing materials; sealing device; building information modeling (BIM); welding

0 引言

铝镁锰板直立锁边曲线型屋面板具有轻质、高强、耐腐蚀、美观等优点^[1], 近年来被广泛应用于高铁站台、会展中心、体育场馆等大型建筑工程中^[2-3], 有效解决了传统屋面施工不便捷、耐久性差等问题^[4]。与平屋面相比, 曲线型屋面造型复杂, 板间拼缝和防水卷材铺贴平整度控制难度大, 防渗漏性能差, 在暴风、暴雨和暴雪天气条件下易出现

渗漏问题, 其主要原因在于材料质量和施工方技术水平参差不齐, 且相关标准制定相对滞后。为解决金属屋面渗漏问题, 高树鹏^[5]研究了金属屋面、玻璃采光顶、智能型滑移开启天窗组合大型屋面系统防水技术; 高志斌等^[6]研究了哈尔滨机场航站楼金属屋面自防水系统; 朱巍斌^[7]研究了西安国际会展中心二期博览馆外围护防水抗风性能; 张少杰等^[8]研究了国家速滑馆屋面高延性防水卷材力学性能。上述研究成果主要针对平屋面或变化较缓的曲线型屋面, 并不适用于变化复杂的曲线型屋面。

本文所述工程屋面表面曲率较大、弯曲弧度大, 靠近屋檐处水平夹角接近 90°, 屋脊处均为变化

* 国家自然科学基金(52278495); 中建股份科技研发课题(CSCEC-2021-Z-37)

[作者简介] 郑志涛, 博士, 高级工程师, E-mail: zztzheng@qq.com

[收稿日期] 2024-04-18

复杂的曲面,施工难度大,屋面节点复杂,穿出物多,导致防漏水难度增大。在暴风、暴雨和暴雪天气条件下易出现渗漏水问题。为此,本文研发直立锁边曲线型屋面卷材防水压槽密封装置^[9],对直立锁边曲线型屋面进行密封的同时兼作固定支座。同时,对屋面天窗侧边构造进行优化,采用无缝焊接铝镁锰板代替泛水板,解决了屋面渗漏水问题,提高了屋面防水工程施工质量。

1 工程概况

聚变堆主机关键系统综合研究设施园区 6,8,9 号楼(试验厂房)及配套工程位于安徽省合肥市庐阳区,总建筑面积为 32 140. 06m²,共 3 栋单体建筑。6,8,9 号试验厂房建筑面积分别为 4 867, 11 074. 71,16 198. 35m²。该厂房屋面设计为铝镁锰板直立锁边+卷材防水组合曲线型屋面,屋面坡度为 20°~65°(见图 1)。

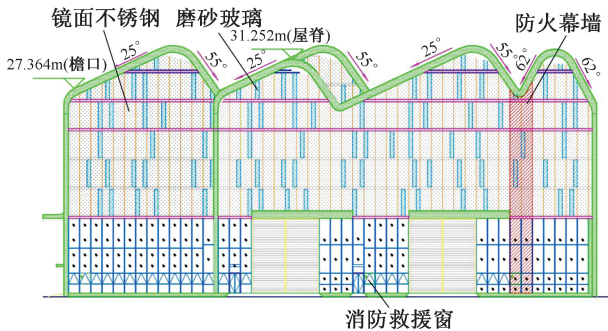


图 1 试验厂房立面
Fig. 1 Facade of test plant

本工程屋面整体结构分为试验厂房屋面、室外连廊、开放展览平台、消防水池及泵房部分。屋面做法主要为压型钢板复合保温屋面,采用 4mm+3mm 厚聚酯胎自粘聚合物改性沥青防水卷材满贴铺设。在现行规范的基础上,2 道防水卷材可更有效阻挡雨水浸入保温材料,提高了保温材料耐久性。防水等级为一级,采用柔性防水形式,主要采用虹吸雨水系统进行排水。屋面按照施工图要求做泛水,屋面找坡层以 4m×4m 为分仓进行分隔,分隔缝采用 XPX 板充填。考虑到通风、采光和排烟要求,在屋面上设计较多天窗^[10],天窗侧边为易渗漏水区域,本工程采用无缝焊接铝镁锰板代替泛水板。

2 屋面易渗漏点及产生原因分析

2.1 BIM 建模分析

结合工程实际情况及施工图纸,利用 tekla 软件建立直立锁边曲线型屋面模型(见图 2),采用 BIM+Fuzor 软件模拟暴雨、暴雪等极端天气,研究发现雨水易集中在天窗下口上坡、天沟、檐口等部位。根

据施工工艺流程可判断本工程天沟和檐口部位防渗漏结构可靠,天窗下口与屋面板之间采用泛水板构造,有发生渗漏的风险。现场对天窗部位进行淋水试验,根据试验结果可知屋面渗漏水部位主要位于屋面曲线变化处和天窗下口,与模型分析结果基本一致(见图 3)。

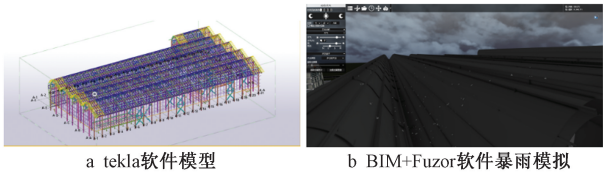


图 2 屋面模型建立与暴雨模拟
Fig. 2 Roof model establishment and rainstorm simulation

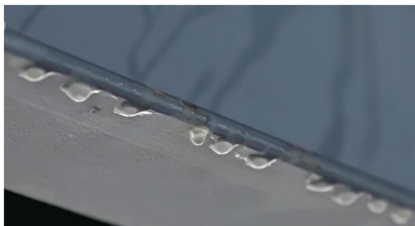


图 3 屋面漏水情况
Fig. 3 Roof leakage

2.2 材料自身引发的漏水

对本工程屋面渗漏水现象进行分析,得到影响屋面防水性能材料自身方面的主要因素包括以下方面。

1)金属屋面板搭接处有少量水流聚集,可能原因如下:①底板安装时吊具可能未采用柔性材料,从而损伤了底板防腐涂层,吊点未采取相应的支撑措施导致底板变形引发屋面变形、漏水;②构造层施工时隔汽膜选用聚烯烃涂层纺粘聚乙烯膜,透汽膜选用 100% 高密度纺粘聚乙烯膜,在温度发生较大变化时防渗效果有所减退;③屋面采用的 4mm+3mm 厚聚酯胎自粘聚合物改性沥青防水卷材铺贴时过分拉伸会导致防水效果减弱。

2)金属屋面板间曲线变化区域聚集大量水流,因为螺钉穿透金属屋面板,当温度变化时,屋面板热胀冷缩引起的板间咬合缝错位问题引发漏水。

3)天窗下口与金属屋面板连接处水流聚集现象较严重,因天窗与金属屋面板连接处等特殊部位热应力变化不同步,导致错缝裂曲变形从而形成漏水隐患。

2.3 屋面构造缺陷引发的漏水

屋面构造影响防水性能的主要因素包括以下方面。

1)金属屋面板搭接处有少量水流聚集,由于曲

线部位屋面板铺装时异形板材拼缝施工困难,施工人员作业时易踩踏屋面板,板面易发生应力集中,同时底板安装时需与主檩条垂直,屋面底板纵向搭接 1 个波峰,横向搭接 100~200mm,横向搭接部位需控制在主檩条上,而悬空搭接易导致搭接不牢固引发漏水。

2) 金属屋面防水收口处出现较多水流聚集,主要是因为防水收口采用不锈钢压条固定,对于复杂的曲线型屋面易导致压条固定不牢引发漏水。

3) 金属屋面固定支座处的水流现象明显,主要是因为固定支座施工会破坏防水卷材完整性导致渗漏,或因金属板面缝隙弯曲现象严重造成缺陷处产生室内外通风通道,暴风或室内外气压差使雨水飘进室内,形成倒流水现象。

4) 天窗接缝处水流现象明显,这是因为本工程天窗下口与屋面板之间采用泛水板构造,屋面坡度为 20°~65°,造成泛水板难以全部覆盖天窗接缝处,屋面弧度导致各板块间拼缝易张开,在暴雨、暴雪天气下易渗漏。

3 关键施工技术

3.1 施工工艺流程

为解决暴风、暴雨和暴雪天气条件下曲线型屋面易渗漏问题,基于自主研发的直立锁边曲线型屋面卷材防水压槽密封装置,对直立锁边曲线型屋面进行密封的同时兼作固定支座,采用无缝焊接铝镁锰板代替泛水板,施工工艺流程为底板及构造层施工→防水卷材施工→密封装置施工→曲线型屋面施工→屋面天窗施工。

3.2 底板及构造层施工

3.2.1 底板施工要点

屋面底板安装施工前,首先根据屋面板布置方案放线,然后裁切下料,裁切前注意板面斜角部位下料尺寸,现场核对正确后开始裁切^[11]。

底板安装时需与主檩条垂直,屋面板不应发生弯折,搭接部位需留有足够宽度。主檩条上固定的自钻螺丝应定位精准,保证固定牢靠且完整安装,屋面板波谷处均需固定自钻螺丝。底板纵向搭接 1 个波峰,横向搭接 100~200mm,横向搭接部位不能悬空,需控制在主檩条上(见图 4)。

3.2.2 构造层施工要点

构造层包括隔汽膜、岩棉板、透汽膜等,金属屋面岩棉内外侧贴有隔汽膜和透汽膜,保温层厚 80cm,容重 140kg/m³。安装时为避免结构尺寸不合产生冷桥效应,需对构造层进行裁切拼装,保温岩棉铺贴严密,不得有缝隙(见图 5)。



图 4 底板施工效果

Fig. 4 Floor construction effect



图 5 构造层施工效果

Fig. 5 Structure layer construction effect

3.3 防水卷材施工

本工程屋面采用 4mm+3mm 厚聚酯胎自粘聚合物改性沥青防水卷材满贴铺设(见图 6),可有效阻挡雨水浸入保温材料。依据现场实际施工情况,定位卷材铺贴方向,并在基层弹出卷材控制线,对卷材进行试铺。铺贴卷材应对齐基准线且不能用力拉伸,避免产生相应误差。铺贴完成后立即用压辊从卷材中部向两侧滚压,快速排出空气,使卷材与基层牢牢粘贴。金属屋面防水收口采用不锈钢压条固定,并进行≥48h 淋水试验。

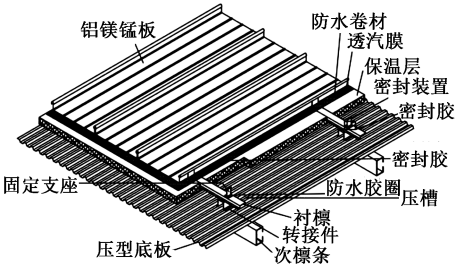


图 6 屋面构造

Fig. 6 Roof structure

3.4 密封装置施工

本工程采用的密封装置底座为矩形突出压槽,利用防水卷材弹性试压形成闭水,密封装置采用自攻螺丝固定,自攻螺丝上设置防水垫片,保证卷材上部积水不沿底座和自攻螺丝渗入卷材下部(见图 7)。为确保不渗漏,对底座四周及自攻螺丝采用打胶的方式进行二次封堵。密封装置安装位置需位于同一直线,安装偏差需在允许范围内,否则在屋

面板安装前需进行调整。

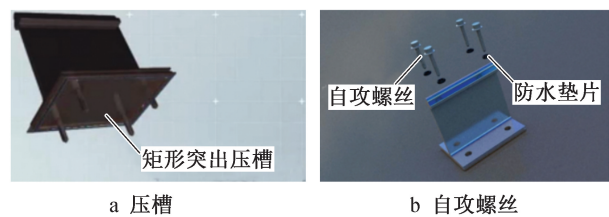


图 7 密封装置
Fig. 7 Sealing device

3.5 曲线型屋面施工

本工程曲线型金属屋面板采用板型为 430/65 的直立锁边铝镁锰合金板,板厚为 0.9mm。用于屋面板固定的压槽密封装置利用铸压铝合金固定支座与檩条固定,并用锁边机扣合屋面板与支座梅花头。屋面板施工无须螺钉穿透,而是将其与支架通过锁边机械连接为抗风防渗整体结构,以有效避免温度变化下屋面板热胀冷缩引起的板间咬合缝错位问题,且整个屋面板体系可自由滑动伸缩。另外,进行屋面防水收口时,严格控制防水收口处不锈钢压条固定质量,防止出现因压条固定不牢产生的渗漏问题。

3.6 屋面天窗施工

屋面坡度为 20°~65°,且屋面天窗位于边坡位置,天窗吊装施工困难,为此根据金属屋面坡度,在 revit 软件中建立天窗及屋面三维模型,定位所有支座位置并逐一标注,对屋面天窗进行整体预吊装,确定合理施工工序。现场施工时,将焊接完成的天窗按照测量放线部位吊装并临时固定于檩条上方,并用全站仪复测金属屋面坡度及标高是否符合深化图纸要求,确认无误后将天窗与金属屋面檩条固定(见图 8)。



图 8 屋面天窗整体吊装
Fig. 8 Integral hoisting of roof light

天窗侧边采用铝镁锰板无缝焊接方法,焊接前须使用角磨机打磨施焊部位铝合金面漆。电弧引燃后在焊接开始的位置预热 3~5s,形成熔池后开始加入铝焊条,并以合适角度将焊条均匀送入。焊枪应稳定向前移动,两边左右摆动施焊时动作稍慢,

中间稍快。收弧时缓慢将电弧引到坡口一边,避免形成收缩孔,如果形成收缩孔需仔细打磨干净方可施焊。焊接过程中防水卷材需割除至焊接边缘 50mm 以上,天窗泛水板收口施焊前施焊区域须铺设隔热板,防止焊接过程引燃构造层,天窗泛水板收口焊接效果如图 9 所示。



图 9 天窗泛水板收口焊接效果
Fig. 9 Welding effect of roof light flashing plate

4 效益分析

4.1 经济效益

与传统技术相比,采用本研究提出的直立锁边曲线型屋面防渗漏控制技术施工时,主要增加了 120 万元人工费用,但该技术改善了屋面渗漏问题,减少渗漏维修费用约 135 万元,合计节约 15 万元左右。

4.2 社会效益

本研究提出的直立锁边曲线型屋面防渗漏控制技术以无缝焊接铝镁锰板代替泛水板,降低了材料损耗,达到绿色环保施工要求。同时对屋面天窗侧边泛水板收口等易渗漏部位做到了有效处理,保证了大型厂房正常施工。通过应用压槽密封装置,解决了屋面固定支座施工破坏防水卷材完整性的问题,减少了完工后的修复工作,有利于推动大型场馆快速建设。

在暴风、暴雨和暴雪环境下,采用合理的金属屋面防渗漏措施可避免屋面破坏后修复困难的问题,本工程园区内摆放大量精密仪器,有效的金属屋面防渗漏措施保障了科学工作顺利开展。

5 结语

1)利用 BIM+Fuzor 软件建立复杂屋面模型,模拟暴风、暴雨和暴雪等天气,可快速查找屋面易渗漏点,从而可有针对性地进行屋面排水及关键节点优化。

2)通过研发直立锁边曲线型屋面卷材防水压槽密封装置,解决了屋面固定支座施工破坏防水卷材完整性的问题,确保了防水卷材的有效性,实现了屋面零渗漏。

3)曲线型屋面天窗下口采用泛水板易产生渗

漏水现象,将天窗下口与屋面板间进行无缝焊接处理,可有效解决屋面天窗侧边泛水板收口渗漏问题。

参考文献:

- [1] 崔家春,巫燕贞,李亚明,等. 铝合金单层网壳屋面板蒙皮效应研究[J]. 建筑结构,2020,50(18):34-38,33.
CUI J C, WU Y Z, LI Y M, et al. Study on skin effect of aluminum alloy single-layer reticulated shell roof panel [J]. Building structure, 2020,50(18): 34-38,33.
- [2] 刘飞,王博,周志健,等. 国家会展中心(天津)工程超大面积高强铝镁锰节能金属屋面设计与施工[J]. 施工技术(中英文),2021,50(24):20-24,44.
LIU F, WANG B, ZHOU Z J, et al. Design and construction of super large area high strength aluminum magnesium manganese energy-saving metal roof of National Convention and Exhibition Center (Tianjin) project [J]. Construction technology, 2021,50(24): 20-24,44.
- [3] 任建. 连续焊接不锈钢金属屋面系统温度循环作用下工作性能试验研究与理论分析[D]. 青岛:青岛理工大学,2019.
REN J. Experimental research and theoretical analysis on the working performance of continuous welded stainless steel metal roofing system under temperature cycle [D]. Qingdao:Qingdao University of Technology, 2019.
- [4] 刘彦彬. 中华麒麟阁主楼仿古建筑设计[J]. 建筑结构,2022,52(S1):247-250.
LIU Y B. Structural design of the main building of China Kylin Pavilion[J]. Building structure, 2022,52(S1): 247-250.
- [5] 高树鹏. 金属屋面、玻璃采光顶、智能型滑移开启天窗组合大型屋面系统防水技术[J]. 建筑技术,2015,46(7):625-628.
GAO S P. Waterproofing technology of metal roofing, glass lighting roof, intelligent sliding open skylight combined large roofing system [J]. Architecture technology, 2015,46(7): 625-628.
- [6] 高志斌,王跃. 哈尔滨机场航站楼金属屋面自防水系统研究[J]. 中国建筑防水,2020(6):24-26,47.
GAO Z B, WANG Y. Research on the metal roof self-waterproofing system of Harbin Airport Terminal [J]. China building waterproofing, 2020(6): 24-26,47.
- [7] 朱巍斌. 西安国际会展中心二期博览馆外围防水抗风设计[J]. 中国建筑防水,2021(7):23-27.
ZHU W B. Waterproofing and wind-resistant design of the outer enclosure of the second phase of the Xi'an International Convention and Exhibition Center [J]. China building waterproofing, 2021(7): 23-27.
- [8] 张少杰,苏振华,罗惠平,等. 国家速滑馆屋面高延性防水卷材力学性能研究[J]. 工业建筑,2022,52(4):171-178.
ZHANG S J, SU Z H, LUO H P, et al. Research on mechanical properties of high ductility waterproofing membrane for the roof of National Speed Skating Oval[J]. Industrial construction, 2022, 52(4): 171-178.
- [9] 章程,施旭光,潘祥健,等. 直立锁边屋面卷材防水压槽密封结构及施工方法:CN114000661A[P]. 2022.
ZHANG C, SHI X G, PAN X J, et al. Sealing structure and construction method of standing seam roof membrane waterproof groove:CN114000661A[P]. 2022.
- [10] 王乐. 复杂空间金属屋面复合系统应用技术[J]. 门窗,2017(1):225.
WANG L. Application technology of complex space metal roof composite system [J]. Doors & windows, 2017(1): 225.
- [11] 山西建筑工程(集团)总公司,浙江省长城建设集团股份有限公司. 屋面工程技术规范:GB 50345—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
Shanxi Construction Engineering (Group) Co., Zhejiang Great Wall Construction Group Co., Ltd. Technical code for roof engineering:GB 50345—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.