

绿色低碳大型纺纱工业建筑钢结构屋面系统施工技术研究

胡铭扬

中冶天工集团有限公司 天津 300308

【摘要】：随着“中国制造”“新型基础设施建设”和“双碳”目标的深入推进，钢结构建筑以其轻质高强、施工快捷、绿色环保、材料可回收等突出优点，已成为建筑产业现代化转型升级的重要方向。大型纺纱厂房对生产环境的恒温恒湿、洁净度及结构跨度提出了极高要求，其屋面系统作为建筑外围护结构的关键部分，其施工质量的优劣直接关系到建筑的整体安全、使用功能及能源消耗。本文通过分析纺纱厂房的工艺特性与绿色低碳要求，针对传统屋面系统存在的能耗高、资源消耗大、热舒适性差等问题，从结构选型、材料适配、关键施工工艺、质量控制四个维度展开研究，提出“工厂预制+现场装配+精准管控”的一体化施工方案。该技术能够有效解决屋面渗漏、冷桥结露、热工性能不足等常见问题，确保屋面系统达到结构安全、功能完备、耐久可靠的目标，为纺纱工业的高效生产提供坚实保障，为构建绿色低碳的现代化纺纱工厂提供了重要的技术路径与实践参考。

【关键词】：大型纺纱厂房；钢结构屋面；施工技术；屋面保温；防水防腐；质量控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.059

引言

在“碳达峰、碳中和”战略引领下，工业建筑绿色低碳转型成为必然趋势。大型纺纱工业建筑作为纺织生产的核心载体，其屋面系统不仅需承担结构安全功能，还需满足车间恒温（20-25℃）、恒湿（60%-70%）、通风采光、防渗漏、防腐蚀等特殊工艺需求。此类建筑普遍具有跨度大、屋面面积广（单厂屋面面积常超3万m²）、施工周期紧等特点。传统钢结构屋面施工存在安装精度不足、防水节点处理不当、保温层铺设不均等问题，易导致屋面渗漏、能耗偏高、使用寿命缩短等隐患，严重影响纺纱生产的连续性。因此，研究并应用一种绿色、低碳、高效的大型纺纱工业建筑钢结构屋面系统的施工技术，不仅能满足纺纱工业的工艺需求，还能降低建筑全生命周期碳排放，推动纺织工业与绿色建筑的深度融合，对提升屋面系统的安全性、耐久性与使用性能，保障纺织生产稳定运行，降低后期维护成本具有重要的工程实践与环保意义。本文旨在总结一套行之有效的施工技术方案，以指导实践并提升工程质量。

1 绿色低碳大型纺纱工业建筑钢结构屋面功能需求

1.1 核心功能需求

核心功能需求主要分为结构安全和工艺适配两个方面，在结构安全方面需能承受风载、雪载等外部荷载，大跨度桁架须具备足够的强度与刚度，挠度控制在允许范围；适应厂房大面积施工的整体性要求，结构连接可靠，抗变形能力强。工艺适配上需维持室内恒温恒湿，减少空调能耗，屋面传热系数需满足节能要求；屋面须具备优异的防水性与防腐性，避免滴水影响生产；车间高湿环境下，需避免屋面渗漏与钢结构腐蚀，防止影响纺纱设备与产品质量；屋面系统接缝处气密性良好，内部不产生冷凝水；必须设置完整、连续的隔汽层，阻止室内水蒸气进入保温层；保障充足自然光与空气流通，改善生产环境，降低机械通风能耗。

1.2 绿色低碳需求

优先选用再生材料、低能耗材料，减少建材生产阶段碳排放；采用装配化施工，减少现场湿作业，降低施工机械能耗与废料产生；通过节能构造设计，降低建筑运行阶段的采暖、通风能耗；屋面系统构件便于拆卸回收，提高资源循环利用效率。

2 绿色低碳大型纺纱工业建筑钢结构屋面系统深化设计与材料选择

2.1 系统深化设计

工业建筑围护系统宜采用屋面防水保温一体化系统，具有同时提升施工效率、降低施工及系统成本等优势。融合轻质高分子防水卷材（TPO、PVC、EPDM）、环保玻璃棉（岩棉）、高强阻燃聚丙烯（聚乙烯）贴面，功能协同强化的全自动在线复合工艺。

2.2 材料选择

钢结构屋面板采用高耐候性聚酯（HDP）或PVDF涂层的镀锌铝、铝镁锰钢板，新型压型钢板能将屋面板正反方向直接无缝转折，减少屋面在屋脊和檐口折弯处的收边和接缝处理；特质防水结构，卡件与固定钉隐藏，接缝处用进口设备机械锁缝，肋高结构强度高，板肋左右对称线条流畅；采用适当板宽减小屋面板块和接缝数量，独立锁缝条，可从两个方向进行铺设，加快安装进度且更换屋面板便捷方便；具有板型对称、强度高、无缝转折、实现双向施工和更换，螺钉隐蔽、水密性好、板面整洁等优点。

轻质高分子防水卷材凭借出色的柔性可与基层保温层紧密贴合增强界面粘结效果，有助于提高运输和施工效率，减少对保温层的压缩损伤，保障保温层的长期节能性能，具有轻质高效、高柔抗变、均质防漏、强韧耐候等优势。

保温层采用（粉红色）无甲醛无丙烯酸玻璃棉或岩棉，采用生物基的粘结剂技术和先进的成纤工艺，全程自控固化技

术、全自动打包设备,便于铺设紧密,减少接缝;绿色环保,具有卓越的憎水性能、良好的回弹性能、一流的保温性能和优异的抗拉伸性能。

隔汽层贴面作用是防止水汽渗透,保证保温材料性能、提供额外的机械性能(顶破强力、拉伸断裂强力),防火安全、高耐久性、高耐腐蚀,对结构安全,提供更好的室内观感;优先采用高分子聚乙烯隔汽膜、高强阻燃聚丙烯或铝箔。以高强阻燃聚丙烯贴面为例,聚丙烯薄膜作为面层,以增强阻燃玻纤布作为背衬层,构成绝热系统的外保护层或装饰层。其不含金属铝箔与纸张成分,特殊结构设计,使产品长期在高湿度的环境下,不会产生氧化和腐蚀的现象;具有良好的防火阻燃效果,能在火焰中保持稳定,不燃烧、不熔化,有效阻止火势蔓延,达到A级不燃;抗红外线老化,满足长期使用性能;在特殊的高腐蚀高湿环境下运行,仍能保持原有的强度,耐化学腐蚀强。

结露是当潮湿空气接触到等于或低于结露点的物体表面时所产生的一种现象。结露是所有类型建筑潜在的问题。对于轻钢建筑,当湿气穿透保温层,遇到较冷的物体使湿空气迅速达到饱和形成露水。露水将会使墙面板倒塌或从屋面板滴落入屋顶保温层,使保温层丧失保温效果。所以钢结构屋面的防冷桥施工尤为重要。屋面系统是防止渗漏的首选,足够的保温棉是维持室内温度的必备材料,密封的内衬板是阻止湿气渗透的有效手段,三者组成屋面系统+足够保温材料+密封的内衬板=防冷桥系统。防冷桥支座一般按位置分为两种,下部支座用高防冷桥支座,高度根据实际需求确定,抗压强度不小于30KN,抗拉强度不小于12KN,1000小时热老化后抗拉特征值121N/mm,上部支座用L型防冷桥滑动支架,高度根据实际需求确定;与压型钢板、轻质高分子防水卷材、环保玻璃棉(岩棉)、高强阻燃聚丙烯(聚乙烯)贴面共同协同防止结露。

采光材料采用PC中空阳光板(厚度10mm),透光率 $\geq 85\%$,保温性能优异,抗冲击性强。

施工前利用BIM模型进行碰撞检查,对所有复杂节点进行三维可视化深化设计,生成精确的加工图和安装指导书。

3 绿色低碳大型纺纱工业建筑钢结构屋面系统施工关键技术研究

3.1 钢桁架工厂预制与质量控制

采用BIM技术进行桁架深化设计,拆分构件并生成加工图纸,确保预制精度;构件下料采用数控等离子切割,尺寸偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$,焊接采用二氧化碳气体保护焊,焊缝质量等级 $\geq$ 二级;预制完成后进行除锈防腐处理,底漆涂刷均匀,无漏涂、流挂现象,构件编号标识清晰。

3.2 大跨度钢桁架现场吊装

选用25t/50t起重机吊装,吊装顺序从屋脊向两侧对称进行,避免单侧受力不均;桁架吊装采用两点绑扎法,吊点设置

在桁架上弦节点处,吊装过程中用溜绳控制构件姿态,防止碰撞;桁架安装标高通过激光水准仪实时监测,偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 内,水平度采用经纬仪校正,偏差 $\leq L/1000$;桁架拼接采用高强度螺栓连接,螺栓拧紧分初拧、复拧、终拧三步进行,终拧扭矩值 $\geq 450\text{N}\cdot\text{m}$,确保连接可靠。

3.3 屋面围护系统施工

(1) 檩条安装

与桁架连接板采用螺栓固定,檩条标高偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$,间距偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$,使用全站仪等精密仪器对檩条安装位置进行复测,确保檩条顶面平整度,为屋面板安装提供精确基准。

(2) 隔汽层与保温层施工

保温棉应分层错缝铺设,接缝严密,缝隙宽度 $\leq 2\text{mm}$,采用专用扎带固定在檩条上,防止滑移,确保保温层连续完整,靠近屋面板处宜设置透气层,排出可能侵入的潮气;隔汽膜铺设应平整、张紧,顺水方向搭接宽度不小于100mm,横向搭接不小于150mm,所有搭接处均用专用胶带密封严密。

(3) 轻质高分子防水卷材施工

屋面防水保温一体化系统轻质高分子防水卷材与最上层环保玻璃棉(保温棉)复合一体施工,纵横向搭接宽度 $\geq 80\text{mm}$;在常温 23°C 纵横向拉伸强度均 ≥ 3.0 ,拉断伸长率均 ≥ 200 ;高温 60°C 纵横向拉伸强度均 ≥ 0.4 ,拉断伸长率均 ≥ 100 ,撕裂强度纵横向 ≥ 10 ;材料分子结构浑然一体,全断面性能一致,从源头杜绝屋面局部渗漏,守护大面积屋面滴水不漏,耐 $-40^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 温差及腐蚀,长效胜任屋面防水。

(4) 屋面板安装

固定座是连接屋面板与檩条的关键部件,必须按设计位置精准定位、固定,并考虑温度变形的补偿。采用专用吊具进行整体吊装,避免划伤屋面板涂层,板与板之间应加垫软物以防摩擦,防止板材变形。将第一块屋面板按放线位置准确就位,其公口边应对准固定座的卡口。将屋面板的公口边扣入固定座的卡口内,暂时不需要咬合。依次铺设后续屋面板,每块板的母口边搭接在前一块板的公口边上。检查板的位置是否端正。接缝处用进口设备机械锁缝,独立锁缝条。锁边质量是防水的核心,必须确保锁紧、锁牢,无松动或过度锁边。锁边完成后,应在板肋开口处注入专用密封胶,形成第二道防水防线。

(5) 细部节点处理

设置屋脊盖板,与两侧面板咬合连接,板下应填充泡沫密封条,并打耐候密封胶,防止雨水渗透;安装滴水槽,设置完整的檐口挡板、泛水板,确保雨水被有效导入天沟,并防止风将雨水吹入保温层,檐口面板固定牢固,避免风荷载作用下掀起;山墙泛水板应包住屋面板端头,并用自攻螺钉固定,螺钉处及搭接处均需打胶密封。对通风器、采光带、管道等穿出屋

面的构件,必须使用定制化的泛水套件,采用“雨衣原理”进行防水处理,采光板与屋面板搭接长度 $\geq 150\text{mm}$,上口高、下口低,泛水板与屋面板之间用密封胶封严,增强防水性。

4 质量控制与验收

4.1 过程质量控制

所有进场材料(面板、保温棉、固定座、密封胶)需提供出厂合格证、检验报告,钢材、高强度螺栓、防水卷材等关键材料抽样复检,合格后方可使用;检查保温材料的导热系数、面板的涂层厚度、防水卷材性能,确保符合设计要求。对隔汽层、保温层的铺设及密封进行逐项验收,合格后方可进行下一道工序。抽样检查锁边后的咬合紧密度、面板平整度,平整度 $\leq 2\text{mm}/2\text{m}$,无波浪形变形、松动等问题,必要时进行抗拉拔测试;钢结构安装重点检查桁架垂直度、间距偏差、螺栓扭矩值,焊缝进行无损检测(UT检测),合格率需达到100%;防水工程对屋面,特别是所有节点部位进行不少于2小时的持续淋水试验,检查有无渗漏,屋面施工完成后进行24小时闭水试验,分段注水(水深100mm),无渗漏视为合格;施工完成后检测屋面传热系数,确保 $K \leq 0.40\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,满足节能要求。

参考文献:

- [1] 屋面工程技术规范《GB 50345-2012》.
- [2] 钢结构工程施工质量验收标准《GB 50205-2020》.
- [3] 王宏伟,刘刚.大型工业厂房屋面直立锁边系统施工关键技术[J].钢结构,2022,37(05):90-94.
- [4] 张伟.工业厂房钢结构屋面防水施工技术研究[J].施工技术,2021,50(12):89-92.
- [5] 王军.铝镁锰合金屋面系统安装工艺优化[J].建筑技术开发,2022,49(6):56-58.

4.2 成品保护及资料记录

屋面表观质量平整,板面无划伤,锁边线条顺直;施工记录、隐蔽工程验收记录、材料合格证等应完整齐全,并整理归档。施工过程中避免尖锐物体划伤屋面面板与防水卷材;保温层铺设后及时覆盖防水卷材,防止受潮变质;施工完成后封闭屋面区域,禁止无关人员进入,避免损坏成品。

5 结语

综上所述,针对大型纺纱工业建筑大跨度、高湿、保温防水要求高的特点,提出的“工厂预制+现场装配+精准管控”施工方案,可有效解决传统施工中的精度不足、防水失效等问题,显著提升屋面系统的安装精度、防水性能与保温效果;屋脊、檐口、穿出物等细部节点的精细化设计与施工,是杜绝渗漏和冷桥的决定性环节,完整连续的隔汽层是防止内部结露、保证保温效果持久性的生命线,从材料、测量到安装、验收的全过程精细化质量控制,是确保最终施工质量的根本途径。未来,拓展引入数字化施工技术(如BIM+GPS定位),研发更适配高湿环境的防腐防水材料,探索屋面系统智能化监测技术等方向,实现钢结构安装的精准定位与实时监控、主动维护智能化升级。