

雪道层保冷自控系统设计

王迪, 吕湘林, 刘杰

上海宝冶集团有限公司, 上海 201900

DOI:10.61369/ETQM.2025120016

摘 要 : 传统滑雪场受季节和气候限制, 而室内滑雪场可实现全年开放, 满足滑雪爱好者的需求。本文针对室内滑雪场雪道保冷需求, 设计了一套高效的自控系统。该系统通过集成温度控制、湿度调节、能耗监控和故障诊断等功能, 实现了雪道环境的精确调控。文章对系统的整体设计、硬件构成、软件实现和实际应用效果等方面进行了详细的阐述。研究结果表明, 该自控系统能够有效维持雪道温度, 降低能耗, 提高运营效率, 为室内滑雪场的可持续发展提供了技术支持。

关 键 词 : 室内滑雪场; 雪道保冷; 自控系统; 温度控制; 能耗优化

Design of snow layer insulation automatic control system

Wang Di, Lv Xianglin, Liu Jie

Shanghai Baoye Group Corp., LTD., Shanghai 201900

Abstract : Traditional ski resorts are constrained by seasonal and climatic limitations, whereas indoor ski facilities can operate year-round to meet the demands of skiing enthusiasts. This paper designs an efficient automated control system for maintaining thermal insulation in indoor ski slopes. By integrating temperature regulation, humidity adjustment, energy consumption monitoring, and fault diagnosis functions, the system achieves precise environmental control of ski slopes. The paper provides a detailed explanation of the system's overall design, hardware configuration, software implementation, and practical application outcomes. Research findings demonstrate that this automated control system effectively maintains slope temperatures, reduces energy consumption, enhances operational efficiency, and offers technical support for sustainable development of indoor ski resorts.

Keywords : indoor ski resort; snow track cooling; automatic control system; temperature control; energy consumption optimization

引言

冰雪运动在许多国家普及, 室内滑雪场必然面临冷空气流失导致雪层融化的问题。但需要消耗大量能源才能维持雪道低温环境, 在提高运营成本的同时, 也会对环境造成负担。于是, 设计一套高效的雪道保冷自控系统就成了迫在眉睫的问题。本文旨在开发一种能够精确控制雪道温度、优化能耗的自控系统, 以提高室内滑雪场的运营效率和环境友好性^[1]。

国内外学者开展了一些雪场保冷技术方面的研究。国外如日本、瑞士等国家在雪场保冷系统方面积累了丰富的经验, 而国内相关研究相对较少。本文在借鉴国外先进技术的基础上, 结合国内实际情况, 提出了一套适用于我国室内滑雪场的保冷自控系统解决方案。

一、概况

室内滑雪场雪道弱电自控系统是确保滑雪场安全、高效运行的核心系统之一。室内滑雪场雪道弱电自控系统通过自动化控制、监控和管理, 保障滑雪场的安全性和高效性, 提升用户体验。该系统继承了多种弱点技术没实现对雪道环境、设备运行和安全监控的全面管理^[2]。项目冷区占地面积4.1万平方米, 暖区占地面积0.9万平方米, 总建筑高度109.9米, 冷区垂直高差85米, 净空17~20米, 东西总长427.4米, 南北宽61.5~127.4米。



图1:项目概况

作者简介: 王迪 (1989.02-), 男, 陕西西安人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 项目管理。

二、系统硬件设计与实现

感应器网络构成系统的感知层，包含多种类型，如温度感应器、湿度感应器和风速感应器。这些传感器被部署在实时收集环境数据的雪道各个关键地点。其中，温度传感器采用了确保测量精度达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的高精度数字式设计。湿度传感器则以电容式原理为基础，测量范围为 0~100%RH，精度为 $\pm 2\%\text{RH}$ 。传感器节点通过无线通信模块将数据传输至控制器，有效降低了布线难度和维护成本。

作为系统核心部件的控制器采用高性能的 PLC(可编程逻辑控制器)作为主要控制单元。PLC 具备强大的数据处理能力和稳定的运行性能，能够迅速响应环境变化并做出精准控制决策。执行部件包括变频压缩机、电子膨胀阀、风扇等设备，制冷系统的运行状态根据控制器的指令进行调整。该系统在变频控制技术的帮助下，能够对冷量进行精确调节，达到高效节能的运转^[3-4]。

三、自控系统要求

自控系统采用集散控制系统(DCS)，由控制站、操作员站、工程师站、通信系统、仪表组成，基于微处理器和网络，微处理器为 PLC。

(一) 控制站

完成系统的运算处理控制，主要分布在控制室(DCPJF 机房控制柜)、雪场桁架(DCP1~DCP14 桁架控制柜)、制冷室(空压机、新风机组等自带控制柜)、管道温度采集站(DCP15~DCP16 桁架控制柜)。实时采集压缩机状态，密闭冷却塔状态，水泵状态；实时采集压缩机运转资料；压缩，关闭冷却塔，控制水泵运转，控制电力消耗。采集冰蓄冷系统、造雪机系统的实时状态及实时数据；冰蓄冷系统、板换装置、空压机、新风机组，干燥机，浇冰水箱等系统实时状态。控制站软件采集冷风机、电伴热，电加热相关状态与回风口实时温度数据；采集雪炮机、造雪机状态，连接造雪机外接阀门状态数据；采集地盘管冷层、暖层温度实时数据。采集雪场内的温湿度和采集 CO₂ 浓度的实时数据，监测新风机组的运行状态。按雪场温度自动控制启停的末端风机和电动阀门；末尾有自动化霜的作用^[5-6]。

(二) IO 站

雪场桁架(DCP1~14 柜)，采集对应区域冷风机、阀门以及地盘管冷热管温度。传感器采集截取就近的 IO 站；管道温度采集站(DCP15~16 柜)，采集对应区域管道温度。传感器采集接入就近的 IO 站。

(三) 操作员站

设置在值班室内，是操作人员对生产过程进行显示、监视、操作控制和管理主要设备，完成人机界面功能、供操作员操控监视。图样：流程图，总览图，控制组，调整动向，报警报文存档，报表存档，用户管理。制冷系统、造雪系统、新风系统设备的运行状态，由操作员站软件采图形化动态显示；压缩机的各种实时数据，都是数字化实时显示的；数字实时显示每一个温度，

湿度，压力，液面的实时数据；实时记录各不实运行参数的压缩机数据。系统内设备故障、数据异常事件的发生与恢复，采集地盘管冷层、暖层温度实时数据提供历史事件记录、查询、打印服务；可按作息时间安排或人工切换，可一键切换到操作方式，非操作保温方式，造雪方式；某一区市单独造雪，可以在界面上进行控制；AutoMode，它可以自动地按照集中战略所设定的模式运转；手动模式，每个制冷设备都可以通过操作员手动操控；电量统计制冷系统有关设备；对传感器异常报警、上下限报警等功能进行设置，做到心中有数^[7]。

(四) 工程师站

设置在值班室内，工程师除包含操作站的工作内容外，利用此站对 DCS 进行离线组态工作及系统在线监督、控制程序调试和维护等工作。并可实时监控各工作站在 DCS 运行时的运行状况。

(五) 通讯系统

把 DCS 的各个部分串联起来，形成一个整体。本项目主站(DCPJF)和 IO 站(DCP1~16)之间是基于以太网总线物理连接方式的 Profinet 通讯；主站(DCPJF)和循环泵变频器(JFDCP-JFAP 内变频器)、其他设备自带控制器、电能表、能量计之间是基于 RS485 总线物理连接的方式的 Modbus 通讯，通过网关接入交换机；预留网口用于与 BA 系统做数据交互，将制冷系统数据传至 BA 系统；另外配 4G 物联网网关，上传素有测量参数及设备状态数据，供网站平台及 App 软件后台使用，达到系统远程查看的私密化与差异化^[8]。

四、系统原件设计与实现

控制算法是采用模糊 PID 控制算法的系统核心软件模块。该算法融合了模糊控制的灵活性和 PID 控制的精确性，可以有效应对雪道环境的非线性特性。系统动态调整 PID 参数，根据实时采集的环境数据，实现制冷系统的精确控制。

系统配备了先进的监控界面，基于组态软件开发而成。监控界面将温度、湿度等参数实时显示在雪道的各个区域，同时也显示了制冷设备的操作状态。操作者可以通过这个界面，对系统参数进行远程调整，对历史资料和报警资料进行查阅。系统还具有自动识别常见故障类型和提供相应处理建议的故障诊断功能，使系统可靠性和维修效率得到显著提高^[9]。

通过将温度传感器安装在不同的区域，实现监控不同区域的温度，并执行对环境状况的检测。并通过反馈数据实时进行温度调整。

1. 在雪道表面布置温度传感器，并且在高流量区域（起点、终点）增加传感器密度，温度设定为 -6°C ，传感器布置每 100~200 平，边界每 100 米。

2. 在冷盘管表面的雪层中布置传感器，根据传感器反馈的温度，采用变频技术调节制冷剂流量，保持温度稳定。温度设定为 -8°C 至 -10°C （由上到下，由外向里温度设定逐渐增加），每 50~100 米冷盘管。

3. 在滑雪场空间内（雪道上方、空调出风口附近）布置传感

器，调节空气的温度和湿度，温度设定为 -4℃至 -6℃，。

4.在滑雪者活动区域（缆车起点、休息区）布置传感器，适当提高温度，保障舒适度，温度设定为 -2℃至 -4℃。

5.设备运行区域，在造雪机、压雪机等设备运行区域附近布置传感器，抵消设备运行产生的热量，确保雪道温度稳定，温度设定为 -6℃至 -8℃，每个设备布置1-2个。

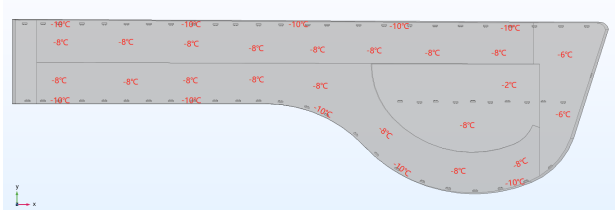


图2：雪场内传感器温度设定（一）

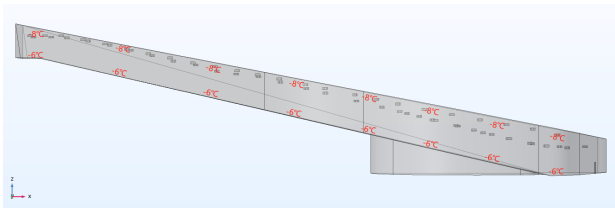


图3：雪场内传感器温度设定（二）

五、系统应用与效果分析

在本项目中，我们进行了系统应用测试。测试结果显示，该系统能够将雪道温度维持在 $-6 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的范围内，完全满足滑雪运动的需求。相较于传统手动控制方式，该系统可节省能耗约

20%，每年可减少电费支出数百万元。另外，系统自动化使运行效率明显提高，人工操作失误也得到有效降低。

该制度也显示出了环保方面的良好效益。对滑雪场的可持续发展做出了积极贡献，通过优化能源使用，温室气体排放量大大减少。同时，该系统的成功应用也为其他同类场所的制冷系统设计提供了宝贵的借鉴。

六、结论

一套室内滑雪场地雪道保冷自控系统已在本次研究中设计并实现。该系统通过将先进的传感技术、控制算法和监控界面相结合，实现精确控制雪道环境，优化能源消耗。实际应用显示，该系统具备高可靠性、显著的节能效果以及便捷的操作维护等优势，为室内滑雪场的运营提供了坚实保障。

未来研究可进一步探索人工智能技术在系统中的应用，例如，利用深度学习算法预测雪道温度变化，以实现更智能的控制策略。同时也可以考虑进一步提高系统的环境友好性，把可再生能源和系统结合起来。此外，随着物联网技术的不断进步，该系统未来能够在更高水平上实现能源管理和优化，与更广泛的智能楼宇管理系统实现融合^[10]。

这一研究为室内滑雪场地雪道保冷提供了既有助于降低运营成本，又能降低对环境的影响，促进冰雪产业可持续发展的高效、智能的解决方案。希望本研究成果能为相关领域的研究和实践提供有益参考，促进室内滑雪场技术的持续进步和创新。

参考文献

- [1] 张刚, 刘志坚, 李德路, 侯文宝. 模糊控制在中央空调节能系统中的应用研究 [J]. 智能建筑与城市信息, 2014(12).
- [2] 罗辉. PLC 在地铁指挥中心楼宇自控系统中的应用 [J]. 智能建筑电气技术, 2012(01).
- [3] 王珏. 基于人工智能的智能空调系统研究 [J]. 制冷与空调 (四川), 2006(02).
- [4] 吴滔, 吴辉. 广州地铁集中冷站的自动控制 [J]. 制冷, 2003(02).
- [5] 张永明, 于杰生, 颜哲. 碳中和背景下建筑电气行业变革与对策 [J]. 智能建筑电气技术, 2022(03).
- [6] 何一婷. 智能建筑楼宇自控系统设计及技术研究 [J]. 智能城市, 2025(02).
- [7] 周文锐. 智能建筑楼宇自控系统设计及技术探讨 [J]. 智能城市, 2024(01).
- [8] 瞿小平, 洪宇卫. 智能建筑楼宇自控系统再认识及发展趋势 [J]. 智能建筑与城市信息, 2008(04).
- [9] 焦聚州. 智能建筑的楼宇自控系统探究 [J]. 科技传播, 2016(13).
- [10] 高磊. 楼宇自控系统在荆州市中心医院中的应用研究 [J]. 绿色建造与智能建筑, 2024(02).