

国家雪车雪橇中心氨制冷系统的电气安全设计探讨

张威

(北京北控城市发展集团有限公司)

【摘要】文章根据国家雪车雪橇中心建设特点,充分利用国际专家意见、国内规范,结合笔者亲身工作经验,对国家雪车雪橇中心氨制冷系统电气安全设计分析与说明,希望能够为今后国内的冰雪项目建设提供一定参考。

【关键词】氨;制冷;防爆区域;电气安全;联动

中图分类号:TU85

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2026.03.041

Discussion on Electrical Safety Design of the Ammonia Refrigeration System in the National Bobsleigh and Skeleton Center

ZHANG Wei

(Beijing Beikong Urban Development Group Co., Ltd.)

【Abstract】Based on the construction characteristics of the National Bobsleigh and Skeleton Center, this article makes full use of international expert opinions and domestic standards, and combines the author's personal work experience to analyze and explain the electrical safety design of the ammonia refrigeration system at the National Bobsleigh and Skeleton Center. It is hoped that this will provide some reference for future domestic ice and snow project constructions.

【Keywords】ammonia; refrigeration; explosion-proof area; electrical safety; interlocking

1 引言

“绿色、共享、开放、廉洁”的办奥理念构成了北京2022年冬奥会的核心指导思想,并成为推动赛事可持续发展的行动准则。在此框架下,中国政府依托冬奥筹办契机,把可持续性融入北京冬奥会筹办各个方面。其中在“环境正影响”领域中,着重坚持“场馆建设生态优先”原则。

近些年来,鉴于氟利昂类制冷剂使用导致的大气臭氧层损耗及温室效应等环境问题,全球已达成一致意见,全面禁止氟氯碳(CFC)制冷剂,逐步减少对半环保型冷媒(HCFC)的使用。当今世界各国正积极研发氟利昂替代品,旨在遏制臭氧层损耗与温室效应,推动环保进程。

2 工程概况

2.1 场馆概况

国家雪车雪橇中心(“雪游龙”)位于北京2022年冬奥会延庆赛区南区,是国际雪车联合会认证的亚洲第三条、世界第17条雪车雪橇赛道,也是中国的首条雪车雪橇赛道。承接北京2022年冬奥会期间,雪车、钢架雪车及雪橇项目竞赛计划已全面部

署。作为冬季运动领域速度类项目的典型代表,“冰雪F1”的美誉彰显其专业水准与安全保障能力。国家雪车雪橇中心以国际领先设计理念打造赛道系统,核心设施涵盖赛道主体、发令区、终点区域(含媒体服务中心)、训练道冰屋、车队驻地车库、制冷设备间以及运行保障和后勤服务等多个功能分区。赛道最大高差121m,赛道最大坡度18%,主赛道包含17个弯道,总长1975m。

2.2 赛道制冷系统

依据《危险化学品安全管理条例》(国务院令591号,2017年修订)与《产业结构调整指导目录(2011年版)》(国家发展和改革委员会公告第21号,2013年修正),对项目产业政策和布局条件的要求,国家雪车雪橇中心项目不属于限制类和淘汰类项目。本项目经北京市人民政府同意,列入“一会三函”的审改试点项目。

国家雪车雪橇中心项目经过技术对比,最终采用氨直接蒸发式制冰系统,技术来源为外方德国DEYLE公司,该技术已应用在韩国平昌冬奥会等多条赛道,技术成熟可靠,并且得到国际有舵雪橇和俯式冰橇联合会(简称IBSF)和国际无舵雪橇联合会

(FIL)的联合认证

本项目制冷系统包括制冷机房动力中心、制冷管道、制冷阀门、赛道混凝土内蒸发换热器等组成,制冷机房设在主赛道南侧最低点位置。制冷管道铺设在赛道下面,主赛道被分成54段调节站来控制,每段调节站有供液、回汽两路主管。

该制冷系统以R717作为工质介质,采用氨泵强制供液的运行模式,设计时总充注量约为87.5吨。主机配置五台具备变频调节与内容积比控制功能、内置经济器补气装置的单级螺杆式压缩机,并通过集中式的经济器实现高效热交换过程。冷凝环节运用蒸发式冷却技术,配套设备安装于专用空调房内。废热回收子系统中换热模块与蒸发冷凝单元并联设置,借助热泵机组完成能量转换及提升目标,给本项目区域提供采暖热源。系统设置两台低压气液分离器装置,位于制冷机房内。赛道共分四个区域分区供液,分别为高区、低区、终点区、冰屋训练区;供液方式为“下进上出”;调节站设置在赛道下方,主赛道下方共设置54个调节站。

2.3 氨制冷系统爆炸危险性评估

氨(Ammonia)是氮和氢的化合物,分子式为 NH_3 ,分子量为17,其主要特征如下。①氨气密度比空气小,泄漏时极易上升至屋顶。②极易溶于水,常温常压下1体积水可溶解700倍体积氨,水溶液又称氨水。③氨具有刺激性气味且有一定的毒性。当特定区域内某种物质浓度达到临界阈值时,人员暴露其中可能对健康造成潜在危害,具体风险表现详见表1。一方面,其独特的嗅觉属性可直接作用于鼻腔与咽喉黏膜,引发局部不适感;另一方面,该特性使其易于被人体感知,在微量泄漏情况下亦能迅速察觉并作出反应。④氨的引燃温度组别为T1级,在较高的温度下,氨气与空气按特定比例混合(体积浓度16%~25%)时,遇明火极易引发爆炸。其燃点位于700°C至780°C之间,着火下限比烃类及天然气高出3到7倍,但燃烧热值仅为后者的约一半水平。

表1 不同浓度的氨对人体的影响

空气中的浓度 PPM/(mg/Kg)	一般反应及对人体的影响	允许暴露时间
5	感觉气味阈值,近部分人有感觉	无害
20	大多数人有明显的刺激感,无害	无害
25	以时间加权的安全阈值	每天8h,每周40d,长期无害

续表

空气中的浓度 PPM/(mg/Kg)	一般反应及对人体的影响	允许暴露时间
100	多数人有不适感,无害	不宜长期滞留
250	刺激鼻喉	30min~60min,无严重影响
400	人体可以忍受的极限,无害	不宜长期滞留
700	刺激眼睛	30min~60min,无严重影响
1700	剧烈咳嗽,严重刺激鼻、喉、眼	30min以上可能导致死亡
2000~5000	剧烈咳嗽,严重刺激鼻、喉、眼	15min以上可能导致死亡
>5000	引起痉挛性呼吸困难,窒息	不允许停留,否则迅速导致死亡
160000~250000	较高温度下遇明火可以引起爆炸	生命危险

3 制冷系统电气安全设计

1) 供配电系统设计

根据标准《冷库设计规范》GB 50072-2010和《体育建筑电气设计规范》JGJ354-2014的规定,兼顾系统安全性和竞赛可靠性,其中通信网络间、消防和安防系统、运维保设施为一级负荷中特别重要负荷,安全防爆设备(事故风机)为一级负荷,主要制冷系统按二级负荷供电,其余设备为三级负荷,详见表2^[1-2]。

表2 制冷机房负荷分级情况

序号	设备名称	设备功率	额定电压
一	一级负荷中特别重要负荷		
1	弱电间、消防应急照明	20kW	380V
2	运维保设施	50kW	380V
	合计	70kW	
二	一级负荷		
1	安全防爆设备(事故风机)	96kW	380V
2	分界室、配电室设备	60kW	380V
	合计	156kW	
二	二级负荷		
1	压缩机启动柜AC1	450kW	380V
2	压缩机启动柜AC2	450kW	380V
3	压缩机启动柜AC3	450kW	380V
4	制冷机房动力APJF1	96kW	380V
5	制冷机房动力APJF2	96kW	380V
6	制冷机房动力APJF3	95kW	380V
	合计	1637kW	
三	三级负荷		
1	压缩机启动柜AC4	450kW	380V
2	压缩机启动柜AC5	450kW	380V

续表

序号	设备名称	设备功率	额定电压
3	制冷机房动力 APJF4	80kW	380V
4	制冷机房动力 APJF5	60kW	380V
5	制冷机房动力 APRB	250kW	380V
	合计	1290kW	
	总计	3153kW	

氨制冷机房西侧设置氨制冷机房变配电室,由本建筑内分界室引进2路10kV电源,分界室电源引自延庆赛区内110kV玉渡变电站和110kV海陀变电站。供电线路保证为不同时受到损坏的专线电源。因此在本系统内,变配电室设2台2500kVA为氨制冷机房和冰屋供电,满足动力、照明等各级负荷用电。低压配电示意图如图1所示。

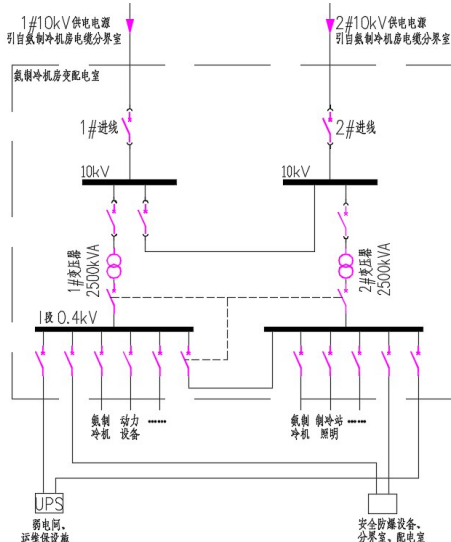


图1 低压配电示意图

网络设备间、系统值班室配置UPS,在市政电力中断的情况下,控制室专用备用电源系统可实现连续运行长达30min。应急照明装置采用自带蓄电池供电模式,其中疏散指示标志灯的电池容量应保证至少60min的有效工作时长,而其他类型的备用照明设施则需满足不低于180min的续航性能要求^[3]。

鉴于氨制冷系统属于高能耗且具二级负荷特性的设备,其设计方案采用单路低压供电模式,并通过电气隔离措施确保运行稳定性。当高压电源出现故障时,虽可能导致冷冻间温度瞬时波动,但借助低压母联切换装置与分时段投切控制策略,仍可有效保障二级负荷的持续可靠供电需求。

为保证事故状态初期,事故风机能快速排除氨气不受影响,故单独设置一个配电箱,采用双电源进线,上端来自不同变压器母线段,为一级负荷。事故

风机过载保护作用于信号报警而不直接停止风机。同时,在有人值班控制室排风机控制柜上和机房门外墙上距地1.4m处,安装人工启停控制按钮,在探测器失灵时人工快速启动事故风机^[4]。

2) 爆炸危险区域划分和防爆电气设备的选择

根据2018年德国DEYLE公司《延庆竞赛区国家雪车雪橇中心爆炸危险性评估》和《国家雪车雪橇中心氨制冷系统防爆问题专题论证会》专家意见,氨制冷机房可不按照爆炸危险区域考虑,氨制冷赛道不属于爆炸危险区域。

考虑到制冷机房内,储氨量达到87.5t,罐区构成了三级危险化学品重大危险源(大于10t)。因此在制冷机房故障情况下,将氨输送管道系统以氨管道为中心,半径为4.5m,顶部与氨管道的距离为7.5m,将氨气管道等至地坪以上的范围、氨制冷机房等区域划分为爆炸性气体环境危险区域2区。根据工艺要求,区域内事故运行的电气设备,需按《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058-2014),按氨爆炸性气体混合物IIA级、T1组选择防爆型^[5-6]。

该区域内事故运行电气设备保护级别选用Ga、Gb或Gc型,电气线路沟道、电缆/钢管及配电盘柜箱电缆穿底板处,以非燃性材料严密堵塞,钢管连接螺纹涂铅油或磷化膏。

4 结语

本文结合国家雪车雪橇中心氨制冷系统的工程特点与氨介质的爆炸危险性特征,依托国际技术经验与国内现行规范,完成了系统供配电负荷分级、防爆区域划分及防爆电气设备选型等核心电气安全设计,明确了一级负荷双电源供电、事故风机特殊保护、危险区域IIA级T1组防爆配置等关键设计要点,为国内冰雪场馆氨制冷系统的电气设计提供了具体的工程参考,也为特种体育建筑高危介质制冷系统的电气安全设计积累了实操经验。

参考文献

- [1] JGJ354-2014. 体育建筑电气设计规范[S].
- [2] GB 50072-2010. 冷库设计规范[S].
- [3] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供配电设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [4] GB 50054-2011. 低压配电设计规范[S].
- [5] GB 50016-2014 (2018年版). 建筑设计防火规范[S].
- [6] GB 50058-2014. 爆炸危险环境电力装置设计规范[S].