

关于寒冷地区新风机组冻伤事故的分析与思考

蒋明佳

北京首农发展有限公司 北京 100076

摘要：本文通过寒冷地区冬季新风机组实际运行过程中新风机组冻伤的两起典型案例，介绍了防冻开关选用和安装的注意事项以及机组设计选型时校核盘管水流速的重要性，通过分析冻结原因和实施整改以后取得了预期效果。通过反思得到了一些可供实践中借鉴的经验，也为其他类似系统在极端天气条件下的可靠运行提供了参考。

关键词：新风机组；冻伤；提高流速；控制策略；防冻开关

前言

北方地区冬季寒冷漫长，新风机组承担着保障室内空气品质的重任，北方地区公共建筑新风机组，在冬季极端天气运行过程中普遍存在冻坏现象。冻伤影响了新风机组的正常运行、增加了设备的维修和用户的运行管理费用。因此，对空调新风机组冬季防冻措施的探讨具有重要的现实意义。

1 工程概况

城市大道项目位于北京环球影城主题公园的主入口，由电影院、餐饮、零售、步行枢纽及办公、后勤用房、设备用房构成。地上一~三层，高度均不超过24米，其总建筑面积52942平方米，地上建筑面积44931平方米，地下建筑面积8011平方米。由8栋多层建筑组成，建筑整体布局为沿中央街两侧分布。除影院大空间外，其余均以独立对外营业的沿街小型餐饮及零售店面为主，空调水系统为两管制，影院等大空间采用全空气系统，其他部位采用采用风机盘管加新风系统，本项目共有新风机组47台。

2 盘管冻裂故障现象

该系统于2020年11月10日全部空调设备施工完毕进入调试阶段，大部分机组采取24h不停机连续运行模式，期间北京市气温平稳，系统运行良好，未发现异常。2020年12月30日，北京市大风天气，气温突然骤降，实测夜间室外最低温度为-13℃，当日晚11时值班人员巡查发现有两处位置多个机组漏水渗出，经检查加热盘管已冻裂，现场人员随即停机，关闭阀门，吹扫管道剩余积水，现场采取了紧急处理。

2.1 冻伤位置一：位置一新风机组位于商业街南侧二层屋面，新风机组处于开启状态，防冻开关未报警，共冻伤3台。

2.2 冻伤事故二：位置二新风机组位于商业街北侧二层屋面，新风机组处于关闭状态，防冻开关报警，但盘管仍然冻伤，共冻伤1台机组。

3 冻伤分析

维修过程中相关人员仔细检查机组管道、排气阀、过滤器等部位，排除了由于盘管内堵塞、积气等因素导致水流不畅引发冻伤^[1]。

3.1 位置一冻伤分析：防冻开关安装不规范。

三台机组冻伤部位均处于加热盘管两侧偏下部（见图1），现场勘查发现防冻开关温控器的传感单元（毛细管）施工安装极其随意，呈斜十字交叉布置，且弯折扭曲、混乱不一，加热盘管下部无传感器测点，部分毛细管已经压扁损坏。经测试，防冻开关已失去有效报警功能；其中一台空调机组因表冷器与湿膜加湿之间空间较小，无法将防冻开关安装在表冷器背风面，施工安装时将防冻开关竖向缠绕在进水口处，感温元件位于水循环有利点，并未有效覆盖全部加热盘管（见图2）。三台冻伤机组防冻开关均没有按产品要求安装，导致了冻伤事故。



图1 加热盘管侧面冻裂处



图2 防冻开关错误安装

本项目新风机组采用FT6961型防冻开关，经核查产品安装注意事项为（1）感温毛细管要均匀布满整个区域，尤其是下部分区域，并以5cm的距离对角弯曲低经过热交换器。（2）防冻开关毛细管应Z字形布置在热交换器翅片下游表面，可选择水平安装和垂直安装（见图3、4）。（3）毛细管的最小弯曲半径不小于50mm。（4）不可将温控器的感温毛细管弄扁、凹陷，会改变原来的标定结果，使动作温度低于刻度盘设定值。（5）温控器的感温毛细管应先从盘管的底部开始安装，逐渐到盘管顶部。

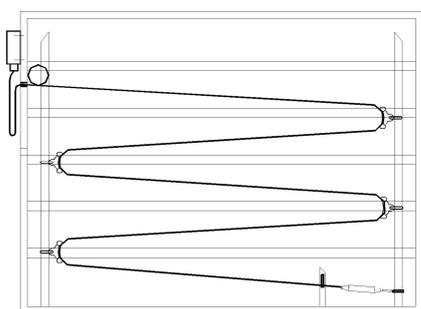


图3 防冻开关水平布置

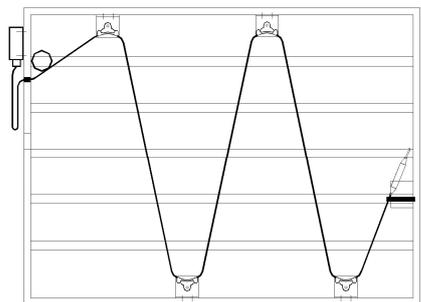


图4 防冻开关垂直布置

事故处理：（1）对现场所有新风机组防冻开关进行了排查整改，按产品要求重新更换；（2）对安装空间不足的一台机组，在换热盘管与加湿器中间增设2个温度传感器，使温度探头安装位置在靠近表冷器下部最不利点，对换热盘管下部增加保护，使传感器接入BA防冻控制系统。

3.2 位置二防冻分析：热水盘管内水流速过低

冻伤发生时位置二机组处于关闭装状态，调节水阀自动设定最小开度10%。防冻开关状态安装基本负荷要求。对该机组性能参数进行核实：冷热水接管规格为DN60；风量为13500CFM；表冷器采用直径为10mm的紫铜管，孔距38mm；进出水温度为60/45；供热量123.83KW。根据公式： $Q = CM\Delta T$ 可以得出加热盘管内的水流速，冬季此机组在空调水的电动阀门全开的状态下铜管内的平均水流速为0.33m/s。盘管更换后，经现场

实测调节阀开度最小状态10%时，铜管内平均水流速仅0.08m/s，处于最易冻结流速区（在理想状态下，直径为10mm的铜管，在流速小于0.1m/s时，管道内的液体为层流）。另现场勘查发现此机组加热盘管距离新风引入口距离较近（约800mm），与风机连锁风阀虽然闭合，但未采用密闭保温阀，阀片间缝隙处约1厘米宽。因冻伤夜晚为大风天气，形成了冷风倒灌进一步恶化了盘管的工作环境。

事故处理：（1）将机组原来故障电动阀更换为电动密闭保温阀；（2）增设室外温度传感器，调整机组控制逻辑：当冬季室外温度 $> 5^{\circ}\text{C}$ 时，空调水阀门根据送风温度进行调节；当 $0 \leq \text{室外温度} < 5^{\circ}\text{C}$ 时，空调水阀门可以根据送风温度进行调节但阀门开度不得低于30%；当室外温度 $< 0^{\circ}\text{C}$ 时，空调水阀门可以根据送风温度进行调节但阀门开度不得低于50%。

4 案例防冻措施总结

4.1 防冻开关选择不当或位置安装不正确

防冻开关的选型和安装应引起从业人员的足够重视。防冻开关是空调机组中比较微小的零部件，经常被人忽视，但它却是一项重要的保护装置，有时甚至是冬季机组防冻的唯一“屏障”，笔者调查发现很多施工现场防冻开关的安装都极不规范，归其原因主要为重视程度不足，管理把关不严。技术管理人员对产品功能及安装要求一知半解，仅凭“经验”指导现场，施工安装人员未经厂家专业技术培训环节，不了解产品安装注意事项，导致产品失效比比皆是。除安装质量原因外，在实际工程中因防冻开关选型不当而引起的冻伤事故也屡见不鲜，笔者曾经历过某酒店防冻开关选型不当引发的冻伤事故：其采用TE-6315P平均温度传感器为防冻开关，探头长度为2400mm，布置在易冻区域的盘管表面，测量盘管表面平均温度，当探头测量的平均温度低于设定值时，启动防冻措施。由于感温毛细管长度较长，而且测定的是盘管的平均温度，当盘管内最不利点低于设定温度并开始结冰时，探头测量的平均温度还在设定值以上，未能触发报警温度而引发冻伤事故。

4.2 提高盘管流速

水在管道中流动时结冰的主要原因为室外空气温度为负值时流速过低，在管中流动呈层流状态，而我国新风机组常用加热器的管径为 $d = 0.015\text{m}$ ，则其流速为0.15m/s时即为层流。在层流状态下，靠管壁处的流速接近于0m/s，而管壁的热阻又小，故管壁处的水温趋近空气温度^[2]。因而空气加热器接触室外空气一侧的第一排盘管薄弱的部位弯头处常会冻结，随着箱体温度不断下

降,虽然防冻开关开启报警保护,电动水阀100%开启,但为时已晚。

空调机组在设计时,大多为两管制盘管,即夏季制冷和冬季加热共用一个盘管^[3],为保证盘管性能,均以制冷时参数作为盘管选型依据,而在冬季运行时,由于热水温差大,需要换热面积小,盘管内水流速会降低。其次,自控系统调节时也会引起的流速降低。空调水阀自控调节逻辑为:当送风温度低于设定温度时,安装在回水管路上的水阀逐渐打开;当送风温度高于设定温度时,水阀逐渐关闭^[4]。水阀的开关比例大小直接影响了盘管的内水流速,当风机正常运行时,盘管中的水流速过低或静止时,盘管就会被迅速降温,最终导致内部水结冰从而冻裂盘管。因此,加热盘管选型时的表面积安全度不能太大,比计算值不应超过10%;盘管中水的流速在任何情况下都不得小于0.15m/s。如采用变水量控制,设计时应对外为0℃的情况进行复核计算。提高流速是盘管防冻伤的关键。

本项目曾尝试在机组前引入管道泵与新风阀连锁启动的方式提高管道流速(见图5),当有结冻危险时(即室外温度为负值时),水泵即投入运行使管中的流速为1m/s。此方案的优点是机组防冻保障性更高,即使极端天气也能起到很好的效果,缺点是改造工作量大,运行时增加水泵能耗。通过设置室外温度传感器调整控制策略提高流速,结合运维管理,可以满足大部分情况使用,改造量较小且达到了运行节能的目的。

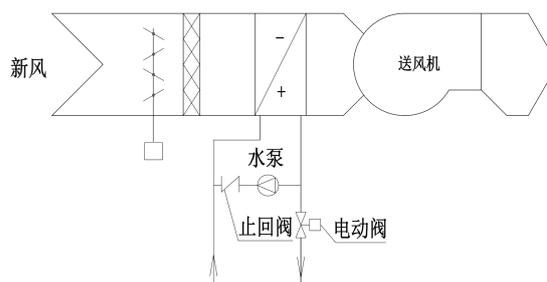


图5 增设管道泵提高流速

5 结语

寒冷地区冬季新风机组冻伤的原因往往是多方面综合作用导致的,设计选型、施工调试、产品质量、维护管理各个环节中任何一个环节考虑不周,都会导致加热器冻裂。除本文中提及的方法,其他常采用的方法还有:机组增设预热段、更换低凝固点载冷剂、机组设置多组盘管并联等,应根据不同实际情况,采取有针对性的实用措施。

参考文献

- [1]李德林,仝攀瑞,黄翔等.西安某大厦供热初期风机盘管冻裂故障分析[J].暖通空调,2005,35(9)
- [2]陆耀庆.实用空调设计手册.北京:中国建筑工业出版社,2007
- [3]李娥飞.暖通空调设计与通病分析第二版.北京:中国建筑工业出版社,2004.8
- [4]赵文成.中央空调节能及自控系统设计.北京:中国建筑工业出版社,2018.8