

文章编号: 1671-6612 (2019) 02-178-05

某核电厂电气厂房空调系统滴水原因浅析

谢顶良 徐维会

(广西交通设计集团有限公司 南宁 530001)

【摘要】 介绍了南方某核电厂电气厂房空调系统的形式, 分析了电气厂房空调系统运行中滴水的原因, 并提出了相应的解决方案。

【关键词】 核电厂; 电气厂房; 空调; 滴水; 分析

中图分类号 TU834.3 文献标识码 A

Leakage of Air Conditioning System Analysis of Electrical Building of a Nuclear Power Plant

Xie Dingliang Xu Weihui

(Guangxi Communications Design Group Co., Ltd, Nanning, 530001)

【Abstract】 This paper introduces air conditioning system mode of electrical building of a nuclear power plant in the south, and analyzes the reason of leakage of air conditioning system operation of electrical building, finally puts forward the solution.

【Keywords】 Nuclear Power Plant; Electrical Building; Air Conditioning; leakage; analysis

0 引言

在民用建筑或工业建筑中, 空调系统运行中滴水现象时有发生, 无论对于建筑本体、还是建筑内的管道和设备, 甚至人员, 空调系统滴水都会产生不良影响。在核电厂中, 空调系统是保证核电厂安全运行的重要系统, 空调系统运行中滴水的产生, 可能影响到核电厂工艺使用功能及工艺设备的安全。因此, 本文以南方某核电厂电气厂房空调系统滴水为例, 浅析空调系统运行中滴水的原因, 并给出相应的解决方案。

1 电气厂房空调系统简介

电气厂房布置在核辅助厂房旁边, 为核系统各厂房服务, 没有直接对外的外围护结构, 室内热负荷主要是设备负荷, 散热量比较固定^[1]。电气厂房空调系统用于电气厂房内各房间的降温通风, 以保证各功能房间的温湿度满足设备运行和人员长期停留的需要, 电气厂房空调系统根据工艺需求, 室

内空气不循环, 空调系统采用直流式全空气系统, 另根据各房间功能不同, 在温湿度需求高的房间设有二级冷却盘管系统^[2]。第一级冷却盘管 007RF, 服务于电气房间, 同时作为第二级冷却盘管的预处理设备用; 第二级冷却盘管 008RF, 服务于更衣室。另外, 为了控制更衣室的温湿度, 另设有电加热器 001RS。空调系统设有温湿度控制系统, 冷却盘管 007RF 设有温度传感器 101MT, 通过温度传感器控制冷水管上电动三通阀 001VD 的开度来控制空调出风温度; 冷却盘管 008RF 设有温度传感器 102MT, 通过温度传感器控制冷水管上电动三通阀 002VD 的开度来控制空调出风温度; 另设有温湿度传感器 103MT、101MZ, 通过温湿度控制更衣室电加热器 001RS 的运行。各传感器设定值为: 101MT—30℃, 102MT—20℃, 103MT—25℃, 101MZ—70%。电气厂房空调系统流程图如图 1 所示。

作者(通讯作者)简介: 谢顶良(1981.11-), 男, 本科, 工程师, E-mail: 83790171@qq.com
收稿日期: 2018-12-28

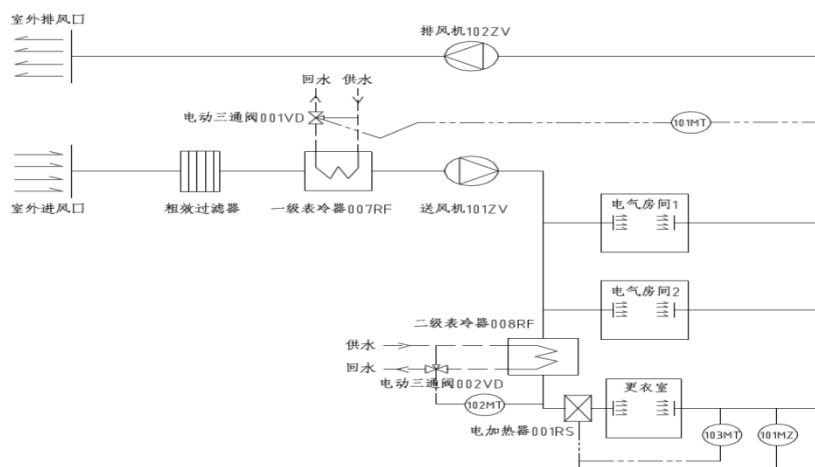


图1 空调系统流程图

Fig.1 Air conditioning system flow chart

2 问题描述

2016年夏天,随着室外环境温度的升高,2号机组电气厂房空调机房内风管出现滴水现象,随着室外温度升高,风管滴水情况越来越严重,并沿着

空调风管蔓延到电气房间1,引起电气房间1内电气盘柜受潮而报警,严重影响2号机组安全稳定运行。因此,电厂运行方委托设计单位现场调查并给出解决方案。电气厂房空调布置及滴水位置见图2。

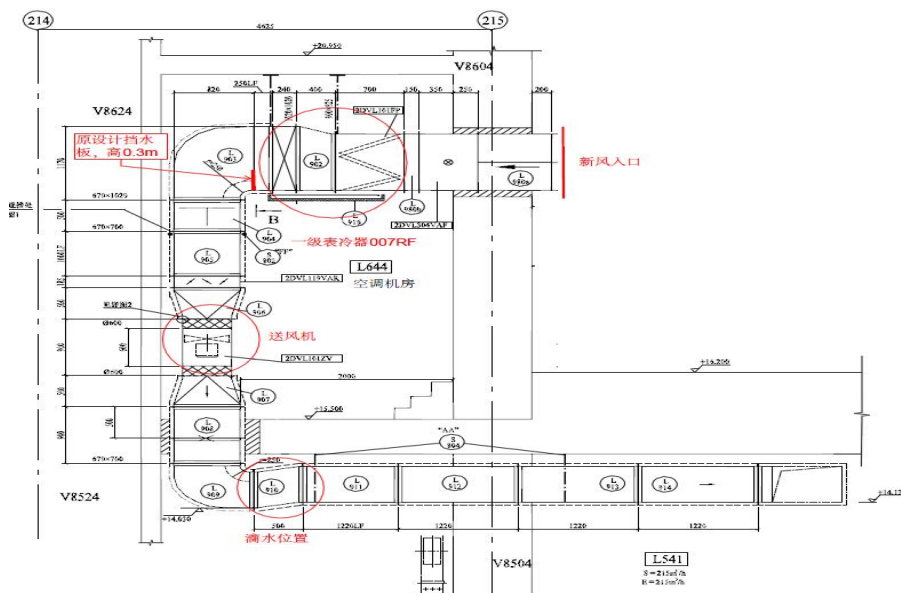


图2 空调布置图

Fig.2 Air conditioning layout

3 原因分析

3.1 空调系统产生冷凝水原理

空气中一般都含有水蒸气,被称之为湿空气,湿空气中水蒸气的状态由其分压力 P_v 和湿空气的温度 t 确定。对于未饱和湿空气,若保持水蒸气分压力不变的情况下加以冷却,使湿空气温度下降,

当温度下降到一定值时,尽管水蒸气含量不变,但是湿空气也会达到饱和状态,此温度值为湿空气的“露点温度”,如温度持续下降,则空气中水分将凝结出来,俗称结露^[3]。结露是一种物理现象,当物体表面温度低于所处空气的露点温度时,那么空气中的水蒸气就会凝结在物体表面^[4]。空调系统

正是运用空气结露这种物理现象,使空气流过表面温度低于空气露点温度的冷却盘管,把空气中水蒸气凝结出来,达到降温降湿的目的^[5]。

3.2 现场数据测量及设备构造

经现场测量,第一级冷却盘管 007RF 表面温度 15℃,冷却器出口空气温度 22.2℃;第二级冷却盘管出口空气温度 20.2℃;电气间 1、电气间 2

室内平均温度 26.5℃,相对湿度 68%;更衣室室内温度 26℃,相对湿度 66%;室外空气温度 32.1℃,相对湿度 73%;送风机风量 8745m³/h,送风机入口端压力-121Pa,送风机出口端压为 255Pa;冷却盘管 007RF 宽度 1.02m,高度 1.02m,流通有效率 0.8(摘自设备数据表),冷却盘管 007RF 设备构造图见图 3。

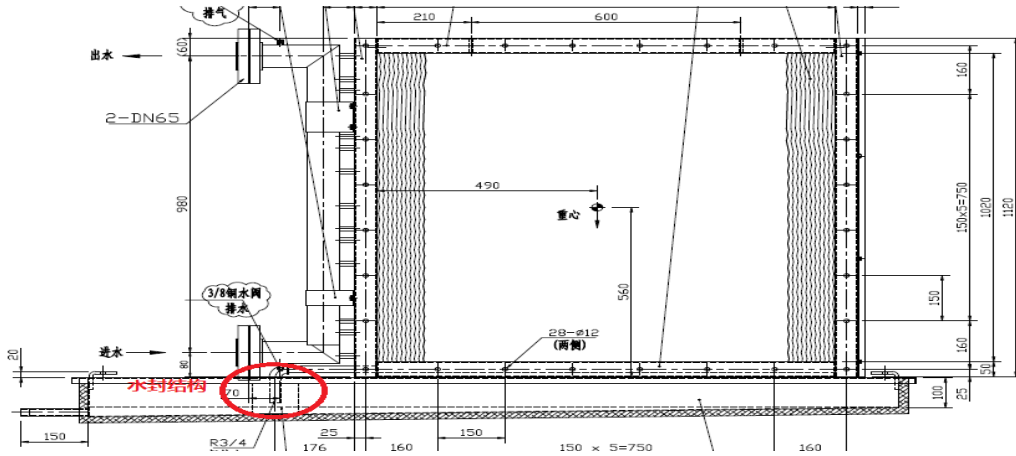


图 3 设备构造图

Fig.3 Equipment construction plan

3.3 原因分析

(1) 水的来源

通过现场数据测量,第一级冷却盘管 007RF 表面温度 15℃,室外空气露点温度约为 26.3℃,室外空气通过冷却盘管 007RF 时,冷却盘管表面将产生冷凝水。另外,现场检查发现风管保温良好,保温外表面无冷凝水产生。因此,空调风管内水的来源主要是空调冷凝水。

(2) 冷却盘管风速

《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50019—2015)^[6]第 8.5.4 条对冷却盘管有如下规定:迎风面的空气质量流速宜采用 2.5kg/(m²·s)~3.5kg/(m²·s),当迎风面的空气质量流速大于 3kg/(m²·s)时,应在冷却盘管后设置挡水板。冷却盘管 007RF 迎风面风速按下式计算:

$$V = \frac{Q \cdot \rho}{3600S} \tag{1}$$

式中: V 为迎风面空气质量流速, kg/(m²·s); Q 为通过冷却盘管风量, m³/s; ρ 为计算温度对应的空气平均密度, 取 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$ 。

经计算, 迎风面空气质量流速

$$V = \frac{Q \cdot \rho}{3600S} = \frac{8745 \times 1.2}{3600 \times 0.832} = 3.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

大于规范规定的迎风面空气质量流速最大值 3kg/(m²·s), 冷却盘管出口处应设置挡水板, 以防止冷凝水被风带到风管内。经现场调查, 在距离冷却盘管出口 0.25m 处设有高 0.3m 的挡水板, 挡水板位置见图 2 所示。

下面再计算冷却盘管出口到挡水板处运行时间 t_1 及冷凝水从冷却盘管最高点落到滴水盘需要的时间 t_2 , 计算公式如下:

$$t_1 = \frac{L \cdot \rho}{V} \tag{2}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} \tag{3}$$

式中: t_1 、 t_2 为运行时间, s; L 为距离长度, m; V 为迎风面空气质量流速, kg/(m²·s); ρ 为计算温度对应的空气平均密度, 取 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$; h 为高差, m; g 为重力加速度, 取 $g=9.8\text{m/s}^2$ 。

$$\text{经计算, } t_1 = \frac{L \cdot \rho}{V} = \frac{0.25 \times 1.2}{3.5} = 0.086 \text{ s,}$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.02}{9.8}} = 0.45s, t_1 < t_2, \text{ 从冷却盘}$$

管出口到挡水板处运行时间 t_1 比冷凝水从冷却盘管最高点落到滴水盘需要的时间 t_2 短, 在距离冷却盘管 007RF 出口 0.25m 处设挡水板无法完全挡处空调冷凝水。

(3) 水封高度

水封高度按下式计算:

$$\Delta h = \frac{P}{2g} + 50 \quad (4)^{[7]}$$

式中: Δh 为水封高度, mm; P 为冷却盘管出口处压力, Pa; g 为重力加速度, 取 $g=9.8m/s^2$; 50 为安全裕量。

经计算, 水封高度

$$\Delta h = \frac{P}{2g} + 50 = \frac{121}{2 \times 9.8} + 50 = 56 \text{ mm}, \text{ 从设}$$

备构造图 3 可知, 设备配套的水封高度为 100mm, 满足要求。

(4) 自动控制

电气厂房室内热负荷主要是设备负荷, 散热量比较固定, 二级冷却盘管 008RF 采用定送风温度的控制方式。在现场调查期间, 更衣室房间的温度传感器 103MT 出现高温报警, 说明此时 008RF 担负的更衣室房间温度超过 25°C, 从图 1 可以看出,

温度传感器 101MT 测量的是更衣室及电气间的回风混合温度, 当 103MT 升高时, 相应的 101MT 也相应的升高, 而 101MT 升高会使冷水管上的电动三通阀 001VD 开度增大, 冷水流量增大, 进一步加剧了冷凝水的产生^[8]。

综合以上分析, 空调风管滴水主要有以下两个方面原因:

①挡水板设计不合理。第一级冷却盘管 007RF 迎风面空气质量流速超过 $3kg / (m^2 \cdot s)$, 但从冷却盘管出口到挡水板距离过短, 挡水板未完全起作用, 冷凝水被风带入风管内, 并顺着竖直风管流至最低点, 从风管法兰连接处漏出。

②温度传感器设置位置不合理。温度传感器 101MT 设置在更衣室与电气间回风混合后的风管上, 测量的温度不能反映电气间实际温度, 且随着更衣室房间温度升高, 温度传感器 101MT 测得的温度也将升高, 引起水管上的电动三通阀 001VD 开度加大, 通过第一级冷却盘管 007RF 的冷水流量增大, 007RF 冷却盘管将产生更大的冷凝水量。

4 处理方案及结果

现场调查发现, 空调机房面积过小, 已经无法通过修改空调机房内的风管来解决问题。同时, 对于房间内的风管, 因电气盘柜不能停机, 风管也不能作大改动且不能动火。鉴于此, 处理风管滴水问题建议从以下两个方面考虑:

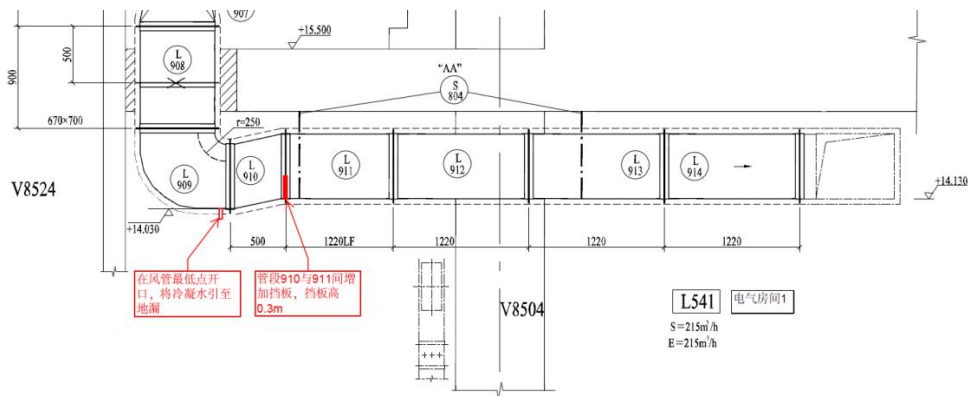


图 4 风管改造方案

Fig.4 Air duct retrofit plan

(1) 局部改造末端风管, 增加冷凝水排出管。

对竖直风管最低点进行改造, 改造方案见图 4。

风管改造方案主要包括以下 3 点:

①在 L910 与 L911 管段之间增加挡水板, 挡水板高 0.3m, 防止冷凝水随风流入 L911 后管段。

②更换 L909 与 L910 管段之间连接法兰垫片,

换为密封性更好的 B 性垫片（丁基橡胶垫片），减少冷凝水从法兰连接处漏水。

③在 L909 管段最低点开口，并增加排水管，将冷凝水排至地漏。

改造完成后，L909 管段新增疏水管不断有冷凝水排出，改造效果明显，风管漏水量减少，但仍有部分冷凝水从风管漏出。

(2) 调整温度设定值。

查相关设计文件，更衣室房间设计温度为 22~

25℃，房间温度超过 25℃时报警。为降低更衣室内温度，在室内散热量不变情况下，需降低二级冷却盘管送风温度，原送风温度定值 102MT 为 20℃，房间热负荷导致空气温升大约 6℃，为将房间温度降至 25℃，决定将送风温度 102MT 调整至 18℃。另外，在原设计状态下，101MT 的测量值为 26.5℃，说明此时电气房间的温度低于设定值，也有调整空间。定值调整对 007RF 冷凝水量影响见图 5。

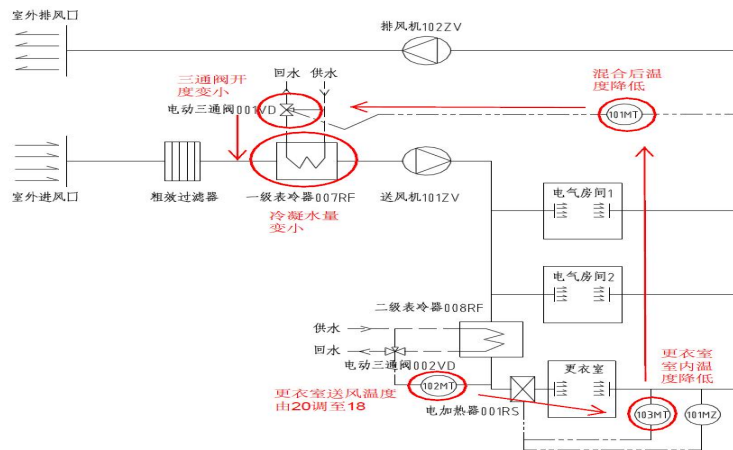


图 5 定值调整影响图

Fig.5 Influence diagram of fixed value adjustment

温度传感器 102MT 定值调整后，更衣室送风温度由 20℃降为 18℃，房间温度下降，温度传感器 103MT 高温报警消除。而回风温度降低后，温度传感器 101MT 将调整三通阀 001VD 开度，阀门角度由调整前 30°降至 10°，流过一级冷却盘管 007RF 的冷水流量明显减小。此时，第一级冷却盘管 007RF 出风口温度由 22.2℃升高至 24℃，007RF 冷凝水产生量减少，对应的电气间室内温度升高至 28.8℃，在设定范围值内。温度传感器 102MT 调整定值后，持续观察一个月，空调系统风管未再出现滴水情况，滴水问题得到解决。

5 结论

电气厂房空调系统风管滴水问题的排查，为后续同类问题提供了思路；同时，对于解决方案，是以不能对现状空调系统作大调整为前提的，也为后续处理同类问题提供了借鉴方案。另外，空调系统在设计时，对于二级盘管系统，一级盘管可以根据情况设置成干盘管系统；自动控制方面，温湿度建议采用需控制房

间的回风温湿度作为基准。

参考文献：

- [1] 谢顶良,李新志.火电厂厂用配电装置室通风设计[J].制冷与空调,2014,28(6):687.
- [2] DL/T 5035—2016,发电厂供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:国家能源局,2016.
- [3] 沈维道,童钧耕.工程热力学[M].北京:高等教育出版社,2001:341-355.
- [4] 刘威等.某核电站常规岛地下空间防结露浅析[J].暖通空调,2016,46(8):98-99.
- [5] 何天祺.供暖通风与空气调节[M].重庆:重庆大学出版社,2002:40-67.
- [6] GB 50019—2015,工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [7] 陆耀庆.实用供热空调设计手册（第二版）[M].北京:中国建筑工业出版社,2008:160-181.
- [8] 刑纪锋.浅谈某银行办公楼暖通空调系统改造设计[J].制冷与空调,2018,32(1):31-35.