

## 基于有限元法的户外环网柜防凝露方法研究

张俊强

深圳市赛斯电气技术有限公司 广东深圳

**【摘要】**电力设备的防潮，有助于提高电力设备的可靠性，传统的防潮措施是通过添加风机、除湿机等设备，虽然能有效地防潮，但是需要定期对设备进行维护、加大维修人员的工作量。本文对环网柜容易产生凝露的原因进行了分析，分析了外界条件对环网柜内部温湿度的影响效果，概括出两个重要的原因，并提出了相应的改进措施，采用有限元分析软件 ANSYS 对改进土建基础的环网柜的温度场和湿度场进行仿真计算，仿真结果验证改进基础后的理论可行性，最后，采用设计的新土建基础对某线路进行改造，通过定期监测温湿度的变化验证了本设计的有效性。

**【关键词】**有限元法；户外环网柜；防凝露；策略

**【收稿日期】**2022 年 12 月 14 日 **【出刊日期】**2023 年 2 月 23 日 **【DOI】**10.12208/j.j.eea.20230003

### Study on the method of outdoor ring network cabinet based on finite element method

*Junqiang Zhang*

*Shenzhen Seth Electric Technology Co., LTD., Shenzhen, Guangdong*

**【Abstract】** The moisture-proof of power equipment, help to improve the reliability of power equipment, the traditional moisture-proof measures are by adding the fan, dehumidifier and other equipment, although can effectively moisture-proof, but need to maintain the equipment regularly, increase the workload of maintenance personnel. This paper analyzes the causes of the ring network enclosure, analyzes the influence results of the external conditions, summarizes the two important results, and makes the changes of the temperature and humidity monitoring regularly.

**【Keywords】** finite element method; outdoor ring network cabinet; anti-condensation dew; strategy

#### 引言

激光焊接技术是目前焊接技术发展的一个热点。激光焊接是以激光为热源，利用激光具有较高的能量密度，将激光辐射到材料的表面，通过加热将其融化，从而实现焊接。随着城市现代化建设的加快，道路改造，城市的美化，配网 10kV 架空线路逐步下地、将杆塔 T 接的用户高压电缆，改接到环网柜，环网柜在配电网扮演越来越重要的角色，许多街道的电缆线路，环网柜、箱变等越来越多，随之而来的问题是环网柜、箱变底部防潮、除湿。为了延长箱变、环网柜、电缆分支箱的使用寿命，环网柜、箱式变底部防潮、除湿刻不容缓。如何延长箱式变、环网柜、电缆分支箱的使用寿命，减少箱式变、环网柜、电缆分支箱底部潮气，成了我们

最头疼的问题，如何减少箱式变底部潮气，能够使电缆的正常运行，就可以为居民连续可靠供电。抛开环网柜设备本身的质量问题，在讨论电器设备运行过程中离不开两个参数：温度和湿度。温度过高会加速电力设备的绝缘老化，缩短电器设备寿命。同时使空气中水蒸气含量上升，夜晚来临，周围环境温度降下来，空气中能容纳的饱和水蒸气量变少，多余的水蒸气就会从空气中渗出，当柜体内部空气相对湿度小于空气中相对湿度时，就会在箱变柜体内部或者环网柜柜体表面产生水珠，从而降低设备的绝缘性<sup>[1]</sup>。

#### 1 户外环网柜凝露产生的基本原因

凝露产生的基本原因是冷热空气混合，混合后的空气温度降低，达到露点温度，从而凝结出水珠。

热空气 A 与冷空气 B 混合后的混合空气 C 落在结露区, 释放出  $\Delta d$  水珠后, 成为饱和空气 D。凝结水大量聚集条件: A、持续冷源; B、持续湿空气。

户外空气湿度常因季节交替而产生严重变化, 空气一般可视为由绝干空气、水汽及尘埃构成。空气的相对湿度是指一单位空气在特定的压力和温度条件下水汽的含量。饱和湿度则为在特定环境下所能含有的最大水汽含量。一般来说, 温度越高, 空气的饱和湿度就会越大。在保持原有空气湿度的情况下降低温度, 在其达到临界值后, 空气中的水汽含量就会最大。而在此情景下继续降低空气温度, 便会产生常说的“凝露”现象。在掌握了凝露产生的具体概念后, 对其产生的具体原因进行分析阐述。

(1) 环网柜一般在户外环境中使用, 冬季时空气湿度及昼夜温差均较大, 从而导致相对湿度变化差异明显。在内部温度与气压不变的环境下, 由于湿度变化而造成凝露现象的出现。但由于环网柜长期裸露在户外环境下, 箱体表面受外界温度及湿度的影响较大, 导致环网柜内部温度产生明显变化, 环网柜内部由于负载变大从而温度变高, 导致环网柜箱体内外温度差异变化明显, 当内部温度高达临界值时, 内部水汽在箱体顶端凝露成冰<sup>[2]</sup>。

(2) 环网柜低端安装着特有的加热装置, 但由于冬季夜晚温度极低, 加热器很有可能无法实现内部的加热需求, 从而导致环网柜顶端和低端产生较大温度差异, 所以出现凝露现象。

(3) 环网柜在搭建时电缆沟常在高压侧内部, 且不与室外进行通风处理, 沟内气温明显高于室外环境温度, 昼夜温度差异较大, 夜晚沟内热气常通过电缆沟传送到箱体高端, 导致箱内温度及湿度更高。另外, 环网柜的设计初期并未有通风及防凝露设置, 在装置问题上便容易导致凝露问题。

## 2 环网柜的运行环境和仿真分析

### 2.1 仿真模型建立和参数设定

利用 solidworks 软件依照环网柜的几何尺寸建立模型。整体是一个空心长方体, 总体分为三个部分, 最下层是电缆沟模型是长 45.8m, 宽 17 m, 高 18 m 的长方体, 上面是一个环网柜模型也是长 37 m, 宽 16 m, 高 13m 的长方体, 我们在电缆沟和环网柜底座之间上进行防水设计, 采用木板和钢筋隔离, 留出 6 个电缆排管口, 并用混凝土现浇。彻底

隔绝水源。又因为有电缆从沟内穿出, 然后穿入到环网柜底部电缆室, 在封堵不严密的情况下水蒸气可能顺着电缆进入电缆室, 因此在现浇的基础上添加 6 个小长方体, 长 0.2 m, 宽 0.2 m, 高 0.25m, 再次抬高环网柜箱体底座与电缆沟的距离, 利用自然风的流动降低水蒸气进入环网柜的量, 环网柜内部有一排的配电柜, 单个配电柜宽 1m, 高 2 m, 深 1 m, 共 6 个长方体底部至配电柜有 6 个小孔, 直径为 0.5cm, 模拟随着环网柜运行电缆封堵不密情况。总体模型如图 1 所示。

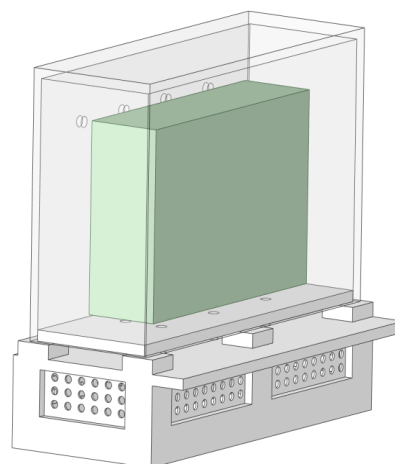


图 1 改进后环网柜模型

采用 ANSYS 的 Icpak 模块进行流固耦合求解。选择 k- $\epsilon$  湍流模型作为计算模型, 它能较好地处理压力梯度较小的流动, 同时开启能量守恒方程和组分运输方程。求解参数的设定直接影响仿真结果的准确性, 通过现场监测, 环网柜内部每个配电柜的运行损耗为设定为 0.5 kW, 6 个柜总能耗约为 3 kW。对环网柜的运行环境进行了现场查勘, 在电缆沟底部放置一个水源<sup>[3]</sup>, 模拟电缆沟内有积水无法排除的情况, 根据实际环境条件冬季和夏季的温湿度情况, 设定室外温度 25℃, 相对湿度 77%。配电室内运行环境要求温度不大于 40℃、相对湿度不大于 80%, 根据该条件初步算得需要的风量为 3.4m<sup>3</sup>/s。

同时, 考虑到房间少量气流会渗入机柜内, 设置孔率为 0.01, 进风格栅孔隙率为 0.4。根据现场的监测数据, 整理后的仿真参数见表 1。

### 2.2 仿真分析

上述步骤完成后,进行仿真计算结果查勘:

结果显示在外部室外温度设置  $25^{\circ}\text{C}$  的条件下,柜内空气最高温度  $41.85^{\circ}\text{C}$  且靠近左上角离环网柜内配电柜较远,实际靠近配电柜最高温度仅为  $39.85^{\circ}\text{C}$ ,最低温度  $26.85^{\circ}\text{C}$  如图 4 环网柜内部空气包温度分布图所示。环网柜柜内配电柜最高温度为  $37.85^{\circ}\text{C}$ ,最低温度  $36.85^{\circ}\text{C}$ 。图 5 环网柜内部配电柜温度分布图所示。外部室外湿度 77% 设置的条件下,柜内空气最高湿度 72.05%,最低湿度为 59.96%。低于设置的大气湿度 77%,不会发生凝露现象。环网柜湿度-空气湿度= $72.05\% - 77\% = -4.95\% < 1.5\%$

### 2.3 实际效果验证

基于上面仿真结果,建设了 3 个防潮设计新基础,对环网柜湿度进行跟踪检测,实际测量结果绘制表 2。通过数据检测得知,采用防潮设计新基础后,环网柜湿度平均值-空气湿度平均值= $62.6\% - 62.6\% = 0\% < 1.5\%$ 。

图 7 为 10kV 梧廉线玉伍廉租房环网柜电缆室照片,该环网柜建设于 2020 年 5 月 24 日,照片拍摄于 2020 年 10 月 10 日(前几天一直小雨绵绵)早上 9 点 35 分,室外温度  $17^{\circ}\text{C}$ ,天气阴,经过 5 个月的天气变化,环网柜电缆室的玻璃上并未出现凝露现象。

图 8 为环网柜基础中间层垫高部分及箱底。从图中可以看到箱底干燥且无积水<sup>[4]</sup>。

表 1 环网柜环境仿真参数

仿真参数	数值
风机流量/m <sup>3</sup> /s	1
热源数量	6
热源功率/kw	0.5
室外温度/ $^{\circ}\text{C}$	25
室外相对湿度/%	77

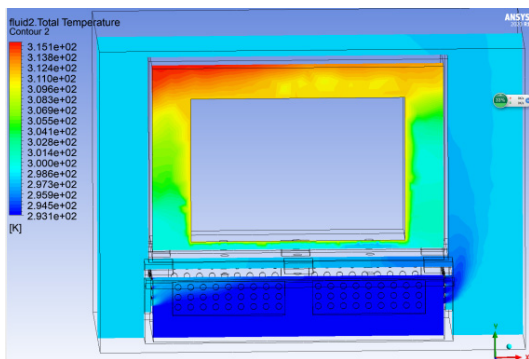


图 4 环网柜内部空气包温度分布图

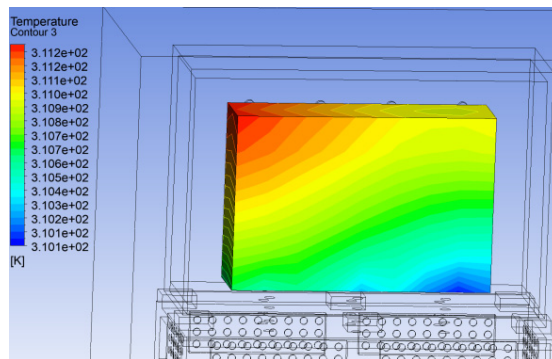


图 5 环网柜内部配电柜温度分布图

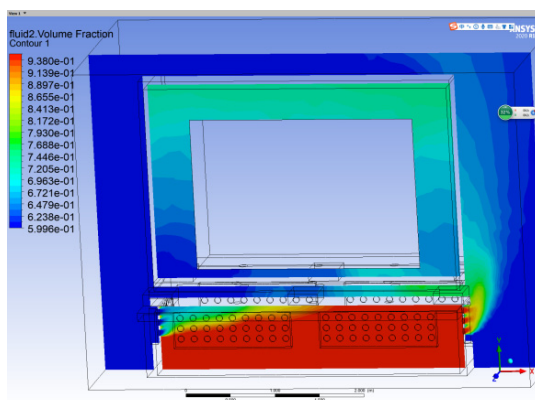


图 6 环网柜内部湿度分布图

表 2 实际测量数据

序号	更改后名称	投运时间	空气湿度%	环网柜湿度%	差值	箱体底部湿度(外)%
1	10kV 梧廉线玉伍廉租房环网柜	4月22号	62	63	1	95
2	10kV 黄玉线人民路环网柜	6月12号	62	63	-1	92
3	10kV 黄玉线玉广支线明珠宾馆环网柜	6月12号	62	62	0	90



图 7 10kV 梧廉线玉伍廉租房环网柜电缆室照片



图 8 环网柜基础中间层垫高部分及箱底。

### 3 户外环网柜凝露应对措施

#### 3.1 箱柜

箱柜相关的主要应对措施有结合历史运行经验或仿真计算结果，优化柜体通风结构和设备布置，并保证柜体密封性，改善通风效率，具体如下。

凝露仿真方面，考虑到环网柜通常采用下进风上出风的散热形式，并将风机设在柜体的中插板、断路器室顶部或母线室顶部，多数仿真模型物理结构以此为基础设定空气传质的进出口边界条件。通过计算不同凝露条件下触头盒局部电场分布发现，凝露导致的电场强度畸变不足以直接击穿空气，进一步结合周围环境分析发现事故变电站附近存在煤矿企业，含硫含氮的工业粉尘易在密闭空间内堆积

形成干污秽，高湿度条件下形成凝露时则吸水、润湿形成导电溶液，最终导致电晕放电和腐蚀问题，增加击穿概率。因此建议控湿防尘双管齐下、同时尽量将加热器和通风装置设置在靠近电缆室柜壁上。

#### 3.2 绝缘子

绝缘子起到固定支撑母线和绝缘的作用，由支撑芯体和复合外套、组成。按照材料类型可以分为硅橡胶复合绝缘子和电瓷、玻璃材料绝缘子 3 大类，其中硅橡胶绝缘子的应用最为广泛，具有湿闪污闪电压高的特点。

一般来说，在一定湿度范围内绝缘子的放电电压随湿度面升高，这是因为湿空气中水分子具有吸

附自由电子的作用；而当绝缘子表面凝露时，则会发生沿面放电导致闪络电压降低。对憎水性的硅橡胶来说，局部放电首先发生在水珠、硅橡胶和空气的结合处，局部场强集中，绝缘子表面易产生强烈局部放电现象。此外，绝缘子表面的污秽使得表面更容易润湿，还会显著促进凝露液滴的融合，而且表面污秽凝露量越大，污秽层电导率越低，相应的闪络电压也越低。随着环境湿度的增加，当硅橡胶绝缘子表面的凝露表现为密集分布的大直径（1~2mm）、大体积液滴，甚至形成直径2mm以上的超大尺寸液滴或连续水膜时，局部液滴形态和电场严重畸变，进而出现火花放电现象，而且电晕放电与水反应生成的硝酸也是加速劣化的重要因素。长此以往，绝缘表面憎水性遭受破坏、干区放电问题恶化，最终闪络电压大幅下降<sup>[5]</sup>。

### 3.3 湿度控制方法

常见的湿度控湿手段大多采取加热法，部分采用半导体冷凝法，还有研究人员提出干燥气源置换法。目前，前两种方法应用较为广泛，但均存在防潮死区和各自的优缺点，并且需要优化安装位置、空气流通路径和控制策略才能充分发挥控湿作用。其中加热法通过提高内部空气容纳水汽的能力来达到控湿目的，由于柜内空气交换率较低，湿气容易滞留、累积，并在高湿条件下温度出现剧烈波动时，导致柜内局部凝露，而且温度过高不仅意味着高功耗，还会造成设备的绝缘老化问题。而半导体冷凝除湿法，直接降低柜内空间的绝对含湿量，破坏凝露形成条件，但无法应对某些部件表面迅速降温而先行凝露的情形。干燥气源置换法基于以控湿为主、控温手段做辅助备用的思想，利用转轮除湿机制备干燥气源、输送至环网柜各个隔室，进行置换除湿，再配合加热除湿技术实现全柜防潮、防凝露，目前

该技术路线尚处方案阶段<sup>[6]</sup>。

## 4 结束语

户外环网柜的应用极为广泛，分析其内部产生凝露现象的原因并提出对应的解决措施将大大提高环网柜的工作年限及大幅降低电力事故出现的可能性，减少工作人员的检修维护风险，杜绝人员伤亡。在本文提出的措施基础上，结合山地风电场地区的气候环境特点，综合考虑所有影响因素，选择合适的处理措施，确保环网柜的长期稳定工作，实现安全可靠运行。

## 参考文献

- [1] 李涛, 李蜀予.基于有限元法的户外环网柜防凝露措施分析[J].南方农机, 2021, 50(22):179-180.
- [2] 林剑文.基于有限元法的户外环网柜防凝露措施分析[J].企业技术开发, 2021, 34(09):81+83.
- [3] 罗顺熹.基于有限元法的户外环网柜防凝露措施[J].科技与创新, 2021, (01):134-135.
- [4] 周军, 等.开关柜防凝露控制技术浅谈[J].工业技术, 2021(1): 57-57.
- [5] 麦琳.环网柜防凝露方法探讨[J].科技风, 2022(11): 28-29.
- [6] 王阳.户外环网柜凝露现象分析及解决方案[J].中国新技术新产品, 2022(8): 15-16.

版权声明：©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS