

基于热管理的低压配电柜结构散热设计与仿真

葛康

南京大全电气有限公司

摘要: 本文聚焦于基于热管理的低压配电柜结构散热设计与仿真。首先阐述了热管理在低压配电柜中的重要性,包括对配电柜性能的影响以及在设计中的作用。接着对低压配电柜的热源进行分析,识别与分类主要热源并介绍其热量计算方法。随后探讨散热设计的基本原则与方法,涵盖理论基础和常用方法技术。进而详细论述低压配电柜结构散热设计,涉及散热通道的设计优化以及散热材料的选择应用。还介绍了仿真技术在散热设计中的应用,包括仿真软件的选择和仿真模型的建立验证。最后对未来低压配电柜散热技术的发展趋势进行了展望。

关键词: 热管理; 低压配电柜; 散热设计; 仿真技术

一、热管理在低压配电柜中的重要性

1.1 热管理对配电柜性能的影响

做好配电柜的热管理工作,能把柜子内部的温度降下来。这样一来,里面的电气元件就不会因为温度太高,出现性能变差、用不了多久就坏了的情况。柜子运行起来也会更稳当、更可靠,出故障的情况会少很多。整个电力系统能一直正常工作,也和这有很大关系。另外,热管理做得合理,还能让配电柜在转换能量的时候效率更高,不会浪费太多能源。像一些大型工厂的配电房里,通过加装通风设备、优化散热通道这些简单的办法,就能明显看到温度降了下来,元件故障的次数也少了不少。

1.2 热管理在配电柜设计中的作用

配电柜设计里,热管理是绕不开的核心环节。它得保证柜内的开关、继电器这些电气元件能在合适温度下正常运行,还会影响整个柜子的空间安排和结构调整。

提前做好热管理设计,能把可能出现的散热问题先找出来解决掉,不用等设备装好了再因为散热不好返工改造,这样既能少花钱,也能让设计进度更快。从安全角度看,热管理也很关键。它能降低设备因为温度太高起火的风险,让现场工作人员和电气设备都更安全。

二、低压配电柜的热源分析

2.1 主要热源的识别与分类

在低压配电柜的散热设计与仿真研究里,热管理是核心方向之一,而准确找出并区分那些会产生热量的部分,是整个研究过程中绕不开的关键步骤。配电柜运行时会不断释放热量,如果这些热量散不出去,设备的工作状态就会受影响,用的时间也可能变短。精准定位和划分热源,能让散热设计更有针对性,不用盲目做方案。比如知道了哪些部件发热多,

就能在这些地方重点布置散热结构,这样热管理的效果会更好,也能避免资源浪费。

低压配电柜的热源通常可以分成设备内部产生的和外部环境带来的两类。内部的热量主要来自正在工作的电气元件——像断路器、接触器、变压器这些部件,电流通过时会因为电阻产生焦耳热;连接这些元件的导线也一样,电流在里面流动时,导线本身的电阻会让它发热;还有电容这类元件,在反复充放电的过程中也会释放出一部分热量。外部的热源则和设备所处的环境有关。如果配电柜安装在温度比较高的地方,周围环境的热量会通过柜体传到内部,让柜内温度升高;在一些露天安装的场景里,太阳直接照射产生的辐射热,也会成为外部热源的一部分,给配电柜的散热增加难度。

2.2 热源产生的热量计算方法

在低压配电柜的散热设计与仿真研究中,热管理是核心环节,而准确算出设备运行时产生的热量,是做好散热设计的关键前提。低压配电柜运行时会产生多种热量,比如电流通过导体时因电阻产生的热量、铁芯在交变磁场中产生的损耗热量,还有开关操作时电弧带来的热量等。这些热量如果不能及时散出去,可能会影响设备的正常工作。

对于电阻产生的热量,我们可以用焦耳定律来计算,公式是 $Q = I^2 R t$, Q 代表热量, I 是电流, R 是电阻, t 是时间。只要测出电气元件的电流和电阻,再确定它的工作时长,就能算出电阻损耗产生的热量。铁芯产生的热量计算要复杂一些,它包括磁滞损耗和涡流损耗两部分。磁滞损耗和磁性材料的特性、磁场变化的频率有关,需要结合材料参数和磁场变化情况用公式估算;涡流损耗则和导体的电阻率、磁通量变化率有关,同样需要用特定公式计算。

开关过程中电弧产生的热量计算,要考虑电弧的电压、

电流和持续时间。因为电弧的产生和熄灭过程比较复杂，通常需要借助实验数据和经验公式来估算热量。

在实际计算时，不能只单独算某一种热源的热量，还要考虑不同热源之间的相互影响，这样才能让计算结果更准确，为后面的散热设计提供可靠的参考。

三、散热设计的基本原则与方法

3.1 散热设计的理论基础

在低压配电柜的散热设计与仿真研究里，热管理相关的理论基础是整个研究的核心。热管理能让配电柜稳定工作、安全运行，而这背后得有扎实的散热设计理论做支撑才行。从配电柜的实际使用来看，温度太高会让里面的电气元件用不了多久，工作起来也没那么高效。热传递的基本原理里，散热设计主要涉及三种方式：热传导、热对流和热辐射。在低压配电柜中，热传导是通过固体材料把热量从温度高的地方传到温度低的地方；热对流要靠空气这类流体流动来带走热量，自然对流和强制对流是比较常见的两种形式；热辐射则是物体以电磁波的形式向外释放能量。要做好散热设计，得把这三种热传递方式都考虑进去。比如得看配电柜的具体结构是怎样的，热源分布在哪些位置，然后选择合适的散热办法，这样才能让热量散得更快、更有效。

3.2 散热设计的常用方法与技术

一是自然冷却技术，主要依靠空气自己流动来把热量散出去，这种方式适合那些发热不多的低压配电柜。它的好处很明显，结构简单不说，成本也低，而且不用额外消耗能源。二是强制风冷技术，得装风扇这类设备来让空气快速流动，这样能让热量更快散掉，散热效果比自然冷却好不少。一般发热大的配电柜会用这种方式，不过运行的时候会有噪音，而且得定期给风扇做维护。三是热管散热技术，热管的导热能力特别强，能很快把热源的热量传到散热的地方。这种技术散热效率高，占的空间也小，但成本比前两种要高一些。四是液冷技术，利用液体能吸收很多热量的特点来带走配电柜里的热，散热效果很突出，尤其是那种对散热要求特别高的场合会用到。不过这套系统比较复杂，还得担心液体漏出来的问题。

四、低压配电柜结构散热设计

4.1 散热通道的设计与优化

在低压配电柜的散热设计与仿真研究里，热管理是绕不开的核心问题，而散热通道的设计和优化在其中占着特别重要的位置。毕竟要让配电柜稳定工作，就得先把内部的热量

及时散出去，散热通道就是热量排出的“主干道”。首先得搞清楚配电柜里的热源情况。比如哪些元件会发热、发热的程度有多大，这些都得先摸清楚。像断路器、接触器这些常用元件，都是主要的发热源，得先把它们的发热量算明白。知道了热源分布，设计散热通道时就得尽量让热量走最短的路。简单说就是别让热量在传递过程中遇到太多阻碍，得让它能顺顺当当从发热的地方跑到能散出去的区域。举个例子，要是把发热量大的元件放在靠近散热口的位置，就不容易让热量在柜子里堆着。

另外，通风顺不顺也很关键。如果用强制风冷的话，通风口的位置和大小得设计好，得让空气能形成对流，带着热量跑出去。要是自然冷却的柜子，就得顺着空气自然流动的规律来设计通风口，让热量自己“飘”出去。从材料和结构上也能优化散热通道。比如用导热好的材料做通道壁面，热量传起来就快；给通道表面做点特殊处理，像增加点粗糙度，能让空气和通道壁面换更多热，散热效果更好。通道的形状也不能随便来。别弄太窄或者太弯的地方，不然热量容易堵在那儿。流线型的设计就不错，空气在里面流得顺，不会产生太多乱流，也不会浪费能量。通道尺寸也得算准，太大了费钱占地方，太小了热量散不出去，得根据柜子的功率、发热情况来定。最后还能靠仿真技术来帮忙。建个和实际情况差不多的模型，模拟不同工作状态下通道里的热量分布和温度变化，再根据模拟结果调整设计，这样就能找到最适合的散热方案了。

4.2 散热材料的选择与应用

在散热材料的挑选上，得先看导热能力强不强，像铜、铝这类金属就挺合适的。它们能把热量从发热的地方快速导出去，避免热量在元件里面越积越多。有些时候，设备可能要在特殊环境下工作，这时候就得选那些不容易被腐蚀、在高温下性能也不会变的材料。这样用的时间久了，散热材料的效果也能保持稳定。具体到低压配电柜的应用上，得结合它的结构和实际散热需求来布置材料。比如说，在发热元件和散热片之间涂一层导热硅脂，就能把两者之间的小缝隙填上，让热量传递更顺畅，散热效果自然就更好了。另外，还可以试试热管技术，利用热管里的物质从液态变成气态再变回去的过程，把热量高效地传走，进一步提升散热效果。

五、仿真技术在散热设计中的应用

5.1 仿真软件的选择与介绍

选择仿真软件时，得把计算准不准、用起来顺不顺手、

功能全不全、划不划算这些点都考虑到。现在市面上能做散热设计的仿真软件有不少，像 ANSYS、Fluent、COMSOL Multiphysics 都是常见的。ANSYS 功能很全面，里面的求解工具速度快，还收集了各种材料的数据，能分析热和流体相互作用的复杂情况。Fluent 在流体力学仿真这块做得特别好，散热通道里流体怎么流动、热量怎么传递，用它模拟都很合适。COMSOL Multiphysics 的特点是能同时分析好几种物理场，要是散热设计里涉及到多个物理现象，用它就能满足需求。这些软件各有各的长处，设计人员可以结合项目具体要做什么、手里的预算有多少，来挑最合适的。

5.2 仿真模型的建立与验证

在低压配电柜散热设计与仿真研究里，仿真模型的搭建和验证是绕不开的关键步骤，能给实际散热设计提供科学依据和可靠参考。搭建仿真模型时，得先按照低压配电柜的实际构造和热源分布来精确建模。比如要先弄清楚柜子里哪些是主要发热部件，不同电气元件发热情况不一样，像断路器、接触器这类元件，运行时都会散发出不少热量。得先把这些元件的发热量算准确，再结合热传导、热对流和热辐射的基本原理，把这些物理过程转化成数学模型加到仿真里。

模型初步搭好后，还得验证它准不准、靠不靠谱。验证一般要对比实验数据，还要模拟不同工作状态。可以在实验室里测试实际低压配电柜的散热情况，记录下关键位置的温度、热流密度等数据，再和仿真模型在相同条件下算出的结果对比。如果误差在能接受的范围内，说明模型精度还不错。另外也可以调整模型里的参数，比如改变热源功率、环境温度，模拟不同工况下的情况，看看模型的反应符不符合实际，这样能进一步确认模型的可靠性。经过严格验证的仿真模型，才能给后面优化散热设计提供有力支持。

六、未来低压配电柜散热技术的发展趋势

6.1 新型散热材料的研究进展

材料科学的进步让不少新的散热材料在低压配电柜的散热环节有了更多发挥空间。像纳米流体这种新的散热介质，现在受到很多关注。它的做法是在基础液体里加一些纳米级的小颗粒，这样就能让液体传递热量的能力变强，散热的效果自然也更好了。另外还有石墨烯这类二维材料，它不仅传递热量的能力突出，在机械性能上也有优势，所以在散热材料这一块能用到的地方不少。研究人员也在做相关的尝试，比如开发石墨烯材质的散热涂层和散热片，希望能让低压配电柜散掉多余热量的效率再提高一些。

6.2 智能化散热管理系统的展望

智能化散热管理系统将成为未来低压配电柜散热技术的重要发展方向。借助先进的传感器技术，能够实时、精准地监测配电柜内部的温度、湿度等关键参数，为散热控制提供精确依据。利用智能算法和控制系统，可根据实时监测的数据自动调整散热策略，例如根据温度变化自动调节风扇转速、智能切换散热模式等，实现散热效率的最大化和能耗的最小化。智能化散热管理系统还具备远程监控和故障预警功能，运维人员可以通过移动终端或电脑远程获取配电柜的散热状态信息，及时发现潜在问题并采取相应措施，大大提高了运维效率和配电柜的可靠性。

结语

电力行业发展越来越快，低压配电柜的散热问题也成了影响设备稳定的关键。从实际运行来看，热管理做得好不好，直接关系到配电柜能不能长时间可靠工作。比如设备里的元器件会发热，这些热量如果散不出去，就可能导致故障。现在很多研究都在关注怎么优化散热设计。比如先分析配电柜里哪些地方容易发热，再根据这些特点制定散热方案，像调整通风口位置、选择更好的散热材料等。用仿真技术来模拟不同设计的散热效果，也能帮着找到更合理的方案，让散热性能提升不少。

新型散热材料的出现给这个领域带来了新机会，比如一些导热性更好的复合材料，能更快把热量导出去。还有人在研究智能化的散热系统，比如能自动调节风扇转速的装置，这些都让未来的散热设计有了更多可能。从长远来看，技术创新会让低压配电柜的散热设计越来越完善。更科学的结构、更高效的材料，加上智能管理系统，都能让设备在各种环境下稳定运行，给整个电力系统的安全添一份保障。

参考文献

- [1] 肖孟男;黄凯;陈怀宇.安全级低压配电柜耐温极限研究电气应用[J].2021,40(01):60-65.
- [2] 李纪昆.数字化低压配电柜的设计与研究[J].电力设备管理,2024(20):223-225.
- [3] 冯钦玉.低压智能配电柜设计研究[J].现代工业经济和信息化,2022(09):51-52+118.
- [4] 凌宏卫.基于物联网技术的建筑高低压配电柜热管理系统设计研究[J].电气技术与经济,2024(04):327-329.
- [5] 徐峰.数字化低压配电柜设计技术[J].科学技术创新,2024(13):5-8.