

# The Discussion of Generator Air-Air Cooler Design

Yan Li, Qianglong Zou, Guoqi Chen

Zhuzhou Zhongche Motor Co. Ltd., Zhuzhou Hunan  
Email: liyan0794@163.com

Received: Dec. 10<sup>th</sup>, 2015; accepted: Dec. 27<sup>th</sup>, 2015; published: Dec. 30<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Temperature rise is one of the key issues in the design of the generator. High parameters and low cost are the developing trend of the motor industry. In order to improve the heat dispersion of the motor and solve motor temperature rise, the design points of key parts in the cooler motor cooling system are explained in this paper. Based on the research of the cooler heat transfer principle and design, the basic design method of generator air-air cooler is concluded. Then, the cooler structure has been optimized. The company achieves good effects of decreasing cost and increasing benefit.

## Keywords

Generator, Cooler, Heat Exchanger, Heat Transfer

---

# 发电机空 - 空冷却器设计浅谈

李 岩, 邹强龙, 陈国旗

中车株洲电机有限公司, 湖南 株洲  
Email: liyan0794@163.com

收稿日期: 2015年12月10日; 录用日期: 2015年12月27日; 发布日期: 2015年12月30日

---

## 摘 要

温升问题一直是设计发电机时需要关注的重点问题之一。高参数、低成本是电机行业的一个发展趋势。

文章引用: 李岩, 邹强龙, 陈国. 发电机空 - 空冷却器设计浅谈[J]. 仪器与设备, 2015, 3(4): 147-154.  
<http://dx.doi.org/10.12677/iae.2015.34022>

为了提高电机的散热性能,改善电机的温升,本文就电机冷却系统中的关键零部件冷却器设计要点进行简单的阐述。通过对冷却器热交换原理与设计的研究,得出了电机空-空冷却器的基本设计方法。后续通过对冷却器结构进行了优化,公司取得良好的降本增效的效果。

## 关键词

发电机,冷却器,换热管,传热量

## 1. 引言

近代电机都采用较高的电磁负荷,以提高材料的利用率,因此必须对电机进行冷却,以提高其散热能力。空-空冷却器是电机冷却的一种常用设备,利用环境空气冷却电机内部的热循环空气。相比起空-水冷却器而言,空-空冷却器不受用水条件的限制,而且维护费用也较低,因此,空-空冷却器在电机的冷却中占有非常重要的地位[1][2]。空-空冷却器的形式各异,从管束整体排列形式可分为矩形、M形或V形等;从管束局部排列形式又可分为顺排和错排等。因此,电机通风冷却系统设计时,需要对冷却器设计选型进行充分考虑,才能保证整个电机的温升。

本文通过对一款径向通风的发电机冷却器研究,确立了空-空冷却器的传热计算模型,再结合冷却器换热原理,考虑冷却器内换热管布置形式,设计出满足要求的冷却器,为类似的空-空冷却器设计计算提供理论指导。

## 2. 空-空冷却器通风形式

下面以一款径向通风的发电机为例,对发电机的空-空冷却器的结构和流动模型进行说明。空-空冷却器中布置3块隔板,引导内风路流动,中间的隔板与两侧的隔板距离相等。发电机通过转子旋转,带动内风路循环。从电机中出来的内风自下而上沿着径向流入冷却器,在隔板的作用下,分两路横向流过管束至冷却器上部空间,再转向向下横向流过管束。发电机内的热量就这样通过内风路传递到换热管,再通过换热管传递到外风路。被冷却后的电机内风从左右两侧出口径向流出冷却器,流入电机。外风在换热管内轴向流动,从一端流入,另一端流出。整个发电机内、外风路循环见图1所示。

## 3. 空-空冷却器换热原理

通常热量由壁面一侧的流体通过壁面传到另一侧流体中去的过程称传热过程,传热过程实际上是两种流体的热交换。目前,为了计算方便,传热计算都是采用的牛顿冷却公式[3],见图2传热基本原理图。

$$\Phi = KA(t_{f2} - t_{f1}) \quad (1)$$

式(1)中,  $\Phi$ : 总传热量;

$K$ : 总传热系数;

$A$ : 传热面积;

$t_{f1}$ : 待冷却流体平均温度;

$t_{f2}$ : 冷却流体平均温度。

工程实践中,通常以  $\Delta t_m$  代替  $(t_{f1} - t_{f2})$ , 式(1)也可写下式。

$$\Phi = KA\Delta t_m \quad (2)$$

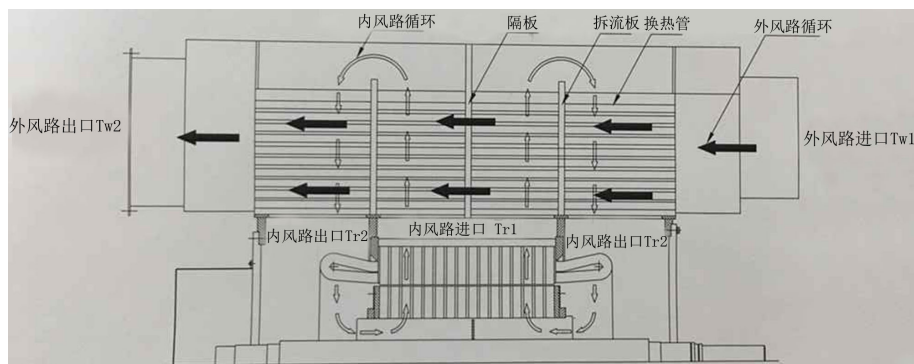


Figure 1. Generator inner and outer air duct circulation

图 1. 发电机内、外风路循环

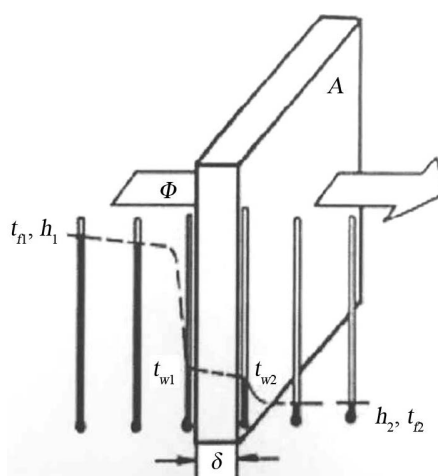


Figure 2. Basic principle of heat transfer

图 2. 传热基本原理图

式(2)也可写成类似于电工学中欧姆定律的形式:

$$\sum R = \frac{\Delta t_m}{\Phi} = \frac{1}{KA} \quad (3)$$

式(2)中  $\Phi$ : 传热量, 相当于欧姆定律的电流;

$\Delta t_m$ : 传热平均温差, 相当于欧姆定律的电压;

$\sum R$ : 传热热阻, 传热系数与传热面积乘积的倒数, 相当于欧姆定律的电阻。

而对于空-空冷却器的换热过程, 又可以通过图 3 冷却器传热原理图看出。冷却器传热过程主要分为三个部分: 换热管内的空气对流、换热管的导热、换热管管外的空气对流。再根据上述流体欧姆定律, 得出传热方式为串联的空-空冷却器传热方程式[3]。

换热管内空气对流传热:

$$\Phi = h_i \pi d_i l (t_{f1} - t_{w1}) = \frac{(t_{f1} - t_{w1})}{\frac{1}{h_i \pi d_i l}} \quad (4)$$

式(4)中,  $h_i$ : 管内空气膜传热系数;

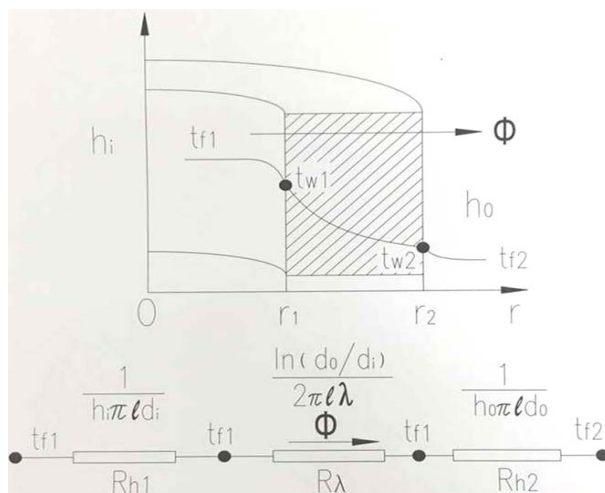


Figure 3. The schematic of cooler heat

图 3. 冷却器传热原理图

$d_i$ : 换热管内径;

$l$ : 换热管长度;

$t_{w1}$ : 换热管内壁温度。

换热管导热:

$$\Phi = \frac{(t_{w1} - t_{w2})}{\frac{1}{2\lambda\pi l} \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right)} \quad (5)$$

式(5)中,  $t_{w2}$ : 换热管外壁温度;

$\lambda$ : 管材的导热系数;

$d_o$ : 换热管外径。

换热管管外空气对流:

$$\Phi = h_o\pi d_o l (t_{w2} - t_{f2}) = \frac{(t_{w2} - t_{f2})}{\frac{1}{h_o\pi d_o l}} \quad (6)$$

式(6)中,  $h_o$ : 管外空气膜传热系数。

根据上式, 结合流体欧姆定律可以得出, 总传热系数  $K$ 。

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i\pi d_i l} + \frac{1}{2\pi\lambda l} \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right) + \frac{1}{h_o\pi d_o l}\right)A} \quad (7)$$

结合电机本身, 可以知道  $\Phi$  传热量即发电机损耗, 所有其他三个参数中只要知道其中两个参数, 就可以求出第三个参数。冷却器设计时通常是预先估计一个总传热系数  $K$  值, 计算出对数平均温差  $\Delta t_m$  两个参数, 来求出散热面积  $A$ , 然后通过计算出的散热面积确定冷却管的规格、数量、排列方式来校核设计是否合理。

#### 4. 空 - 空冷却器换热管布置

空 - 空冷却器换热管的排列形式对冷却的  $K$  值有一定的影响, 管束从整体排列和局部排列上都有一

定的讲究。

#### 4.1. 换热管局部排列形式

换热管局部排列形式分为顺排和错排，而其中又可分为三角形和正方形两种，见图 4。与正方形相比，等边三角形排列比较紧凑，管外流体湍流程度高，表面传热系数大[3] [4]。正方形虽排列松散，传热效果也差，但管外清洗方便，对易结垢的流体更为适用。如将正方形排列的管束倾斜 45 度安装，可以在一定程度上提高表面传热系数。

早在国外就有专家对流体冲刷错排和顺排管束的景象进行研究，如图 5 所示。错排时流体在管间交替收缩和扩张的弯曲通道中流动，比顺排时在管间走廊通道的流动扰动剧烈[5]。

#### 4.2. 换热管整体排列形式

换热管整体布置形式又有以下几种：矩形、“M”形，冷却管在冷却器内按一定管距纵横交错的布满整个冷却器，它的排列像矩阵一样，我们称之为矩阵型，如图 6(a)；另外一种布置方式是换热管不布满整个冷却器，而是将所需的冷却管平分四组，习惯称这种结构形式的为“M”形，如图 6(b)。

“M”形空-空冷却器多用于采用径向通风的电机中，电机使用“M”形空-空冷却器时，热风从电机中部排出后立即被分成四路分别通过四个换热管带，然后再分成六路(每端三路)进入两端部，进入端部的空气再次分成四路穿过四个管带后进入电机，和热风必须至少通过十余排甚至数十排的矩阵型空-空冷却器相比，它的风阻明显要小很多，风阻的显著减小，使电机的冷却散热获益匪浅[6]。

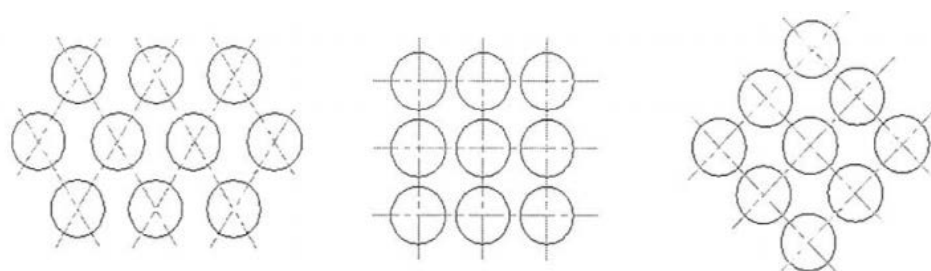


Figure 4. Local heat exchange tube arrangement

图 4. 换热管局部排列形式

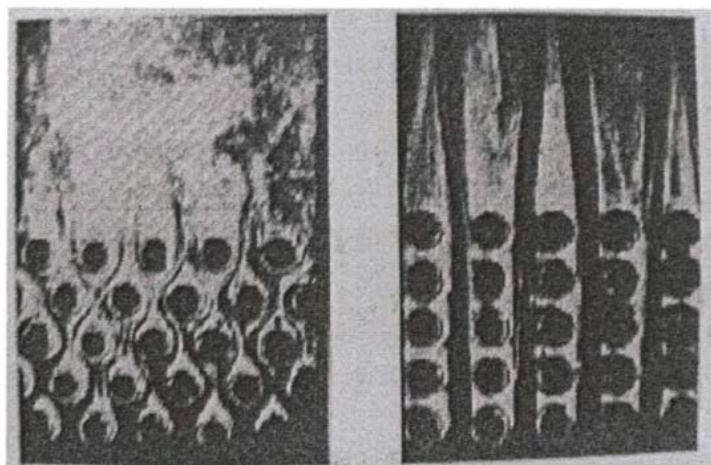


Figure 5. The flow of the fluid lateral flushing tube bundle

图 5. 流体横向冲刷管束时的流动景象

## 5. 空 - 空冷却器折流挡板布置

安装折流挡板的目的是为了提高管外表面传热系数, 为获得良好的传热效果, 挡板的形状和间距必须适当。折流挡板不仅可防止流体短路、增加流体流速, 还迫使流体按规定路径多次错流通过管束, 使湍流程度大大增加。常用的折流挡板高度一般取整个冷却器壳体高度的 75%~80% [3] [7], 过高或者过低都不利于传热, 见图 7 所示。

因此, 在冷却器设计计算时, 应选取合适的折流挡板的尺寸, 这也是影响冷却器换热效果的直接因素。

## 6. 空 - 空冷却器换热管材质

换热管选材时, 需要考虑冷却器的整体重量、成本和防腐等要求。通常情况下, 空 - 空冷却器可选用碳钢管、铝管等作为换热管。目前, 铝合金换热管由于重量轻、成本低、防腐性能好而受到广泛换热器厂家青睐。冷却器厂家常用 3A21 合金铝管, 该材料为 Al-Mn 系合金, 是应用最为广泛的防锈铝。

## 7. 空 - 空冷却器设计计算流程

结合以上分析, 大致可以得出空 - 空冷却器设计流程, 见图 8。

## 8. 小结

经过近几年不断的改进和创新, 公司在结合自身产品的同时, 对空 - 空冷却器从换热管排列形式、管材等方面进入了更深入的研究, 按照以上的设计思路开发了一系列大功率箱式发电机。发电机性能优良,

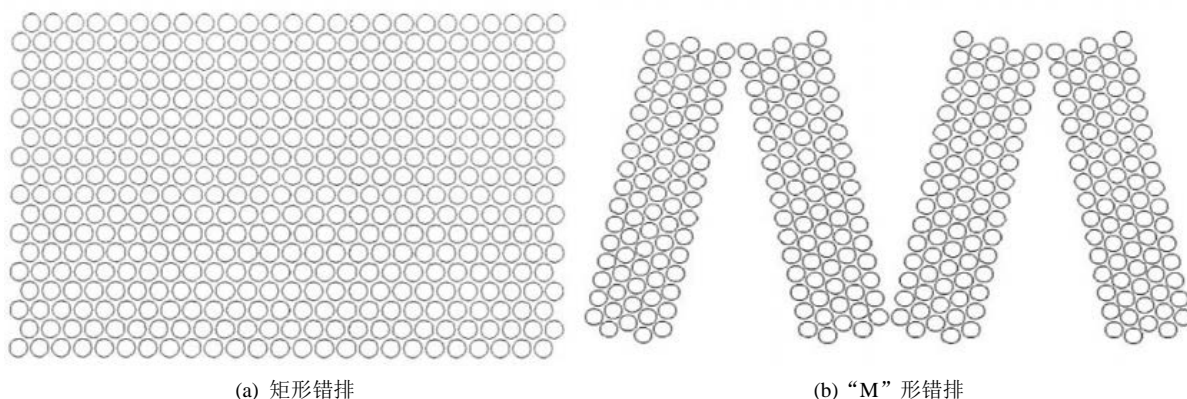


Figure 6. The overall arrangement of heat transfer tubes

图 6. 换热管整体布置方式

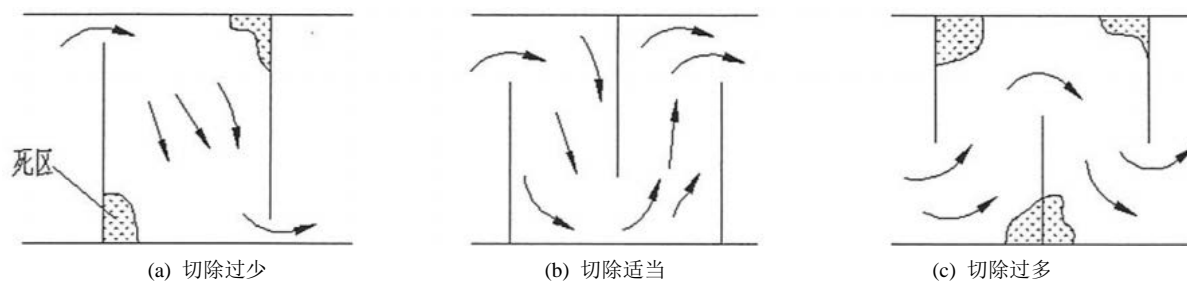


Figure 7. Baffles resection impact on the flow

图 7. 折流挡板切除对流动的影响

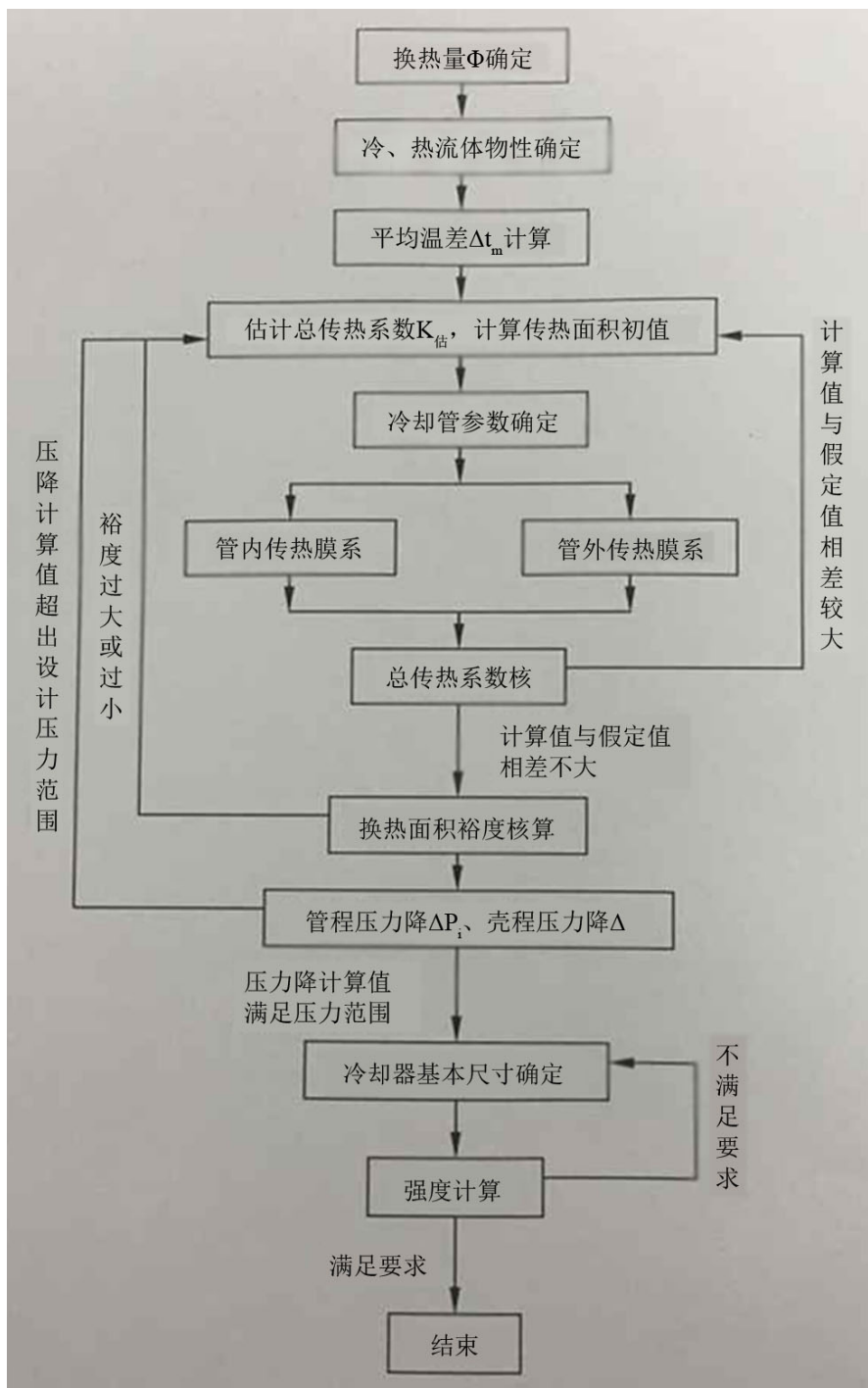


Figure 8. Flow chart of design and calculation of the cooler  
图 8. 冷却器设计计算流程图

外观美观大方，温升高，给公司带来了更多的订单，为公司创造了很好的经济效益。

### 参考文献 (References)

- [1] 周凤. YKK 高压电动机冷却器通风计算[J]. 宁夏机械, 2006(3): 19-20.

- [2] 张海凤, 成函. 电机径向通风的空气 - 空气冷却器传热计算[J]. 能源研究与信息, 2012, 28(2): 116-119.
- [3] 钱颂文. 换热器设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [4] 鲍里先科, 丹科, 亚科夫列夫. 电机中的空气动力学与热传递[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- [5] 赵镇南. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [6] 李贤明, 李芳, 刘淑军, 焦明. 中型高压电动机空 - 空冷却的研究与设计[J]. 中小型电机, 2003, 30(5): 11-13.
- [7] 李贤明, 李培德, 陈鲲. 大中型高压电动机空 - 空冷却器设计[J]. 电机技术, 2013(5): 26-31.