

桥巩水电站发电机的通风冷却

赵亚虎,张 宁,花敏辉

(中国水利水电第七工程局有限公司机电安装分局,四川 彭山 620860)

摘要 大容量贯流式机组采用二次循环冷却方式导致发电机的散热问题日趋严重。为解决通风散热问题,单机容量为 57 MW 的桥巩水电站经过设计和计算最终采用一次循环冷却的方式,即以河水作为冷却水,减少二次循环水与河水间的热量传递环节。采用该方式后电站发电机的冷、热风温度及发电机相应的运行温度均明显下降,提高了发电机运行的可靠性,对延长发电机绝缘寿命,改善发电机舱内的运行环境及设备运行条件都比较有利。

关键词 贯流式水轮机 发电机 通风冷却 桥巩水电站

中图分类号 TV734 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2008)S2-0046-02

贯流式机组发电机转速较低,转子极数多,而其灯泡外径又受水轮机流道的限制,因此定子基座中的通风空间小,通风路径狭长,通风散热比立式机组更为困难。正是由于其结构的特殊性和工作条件的恶劣性,贯流式机组的通风冷却历来是设计重点关注的问题。目前已投入运行的灯泡贯流式机组的发电机通常采用径、轴向混合强迫循环空气冷却,热空气的冷却大部分采用带冷却套的二次循环冷却。二次循环冷却方式是利用河水来冷却放置于发电机冷却套夹层内的冷却水(水质为蒸馏水,加防腐、防锈剂),再由该冷却水来冷却通过发电机空气冷却器的热风。从已投入运行的灯泡贯流式机组的运行情况看,大部分机组都能正常运行。但随着贯流式机组单机容量的增大,发电机的散热问题日趋严重,特别是当机组容量达到 30 MW 以上时问题更加严峻,大容量贯流式机组发电机温度偏高已经是包括进口机组在内的所有机组的普遍现象,究其原因除贯流式机组本身空间狭小,风流不畅外,冷风温度高是重要原因之一。

1 贯流式机组的通风冷却方式

1.1 二次循环冷却

在二次循环冷却中,发电机冷却温度取决于二次循环冷却水的温度,二次循环冷却水通过空气冷却器将发电机热风中的热量置换出来后需通过冷却套的外壁将热量传递给河水,在这一热传导过程中二次冷却水与河水之间有一个温度梯度。因此,采

用二次循环冷却方式时,发电机的冷风温度相对较高。所以,要想解决大容量贯流式机组发电机通风散热问题,除了优化结构布置,设计通风良好的灯泡体结构,形成良好的通风及冷却环境外,降低发电机的冷风温度是关键所在。

之所以在灯泡贯流式机组中采用二次循环冷却方式,是由于灯泡体是布置在流道中,浸泡在水内,有采用二次循环冷却的条件。采用这种冷却方式可取消电站的冷却水系统,或将冷却水系统简化。对容量较小的机组,这无疑是很好的冷却方式,但当机组容量增大到一定程度导致发电机的通风散热已成为严重问题之后,就应该重新考虑是否还采用二次循环冷却方式了。

1.2 一次循环冷却

采用一次循环冷却方式,即以河水作为冷却水冷却通过发电机空气冷却器的热风。由于减少了二次循环水与河水间的热量传递环节,发电机的冷、热风温度及发电机相应的运行温度均会明显下降,能够解决大容量贯流式机组发电机的通风散热问题,可提高发电机运行的可靠性,对延长发电机绝缘寿命,改善发电机舱内的运行环境及设备运行条件都比较有利。当然,河水直接冷却方式也存在一些问题,如冷却器可能会被泥沙或污物淤堵,但只要采取相应的措施,诸如装设滤水器、采用正反向供水等措施,可以有效地解决这些问题。机组采用二次循环冷却方式和一次循环冷却方式的比较见表 1。

表 1 2 种冷却方式的比较

冷却方式	冷却系统结构	冷却套夹层	膨胀水箱	空气冷却器				灯泡头内环境	冷却水位置	冷却水压力	运行及维护	可靠性	成本
				体积	冷却水介质	进水温度	出风温度/℃						
一次循环冷却	简单	无	无	小	河水	低	40	舒适	灯泡体外	低	容易	高	低
二次循环冷却	复杂	有	有	大	蒸馏水	高	45	闷热	灯泡体外	高	稍困难	稍差	高

2 桥巩水电站发电机的通风冷却

2.1 通风冷却方式的选取

桥巩水电站机组单机额定容量为 57 MW,是我国目前已投入运行的单机容量最大的灯泡贯流式机组,且转子每极所占空间小,设计制造难度大,通风冷却问题更为突出,在夏天河水温度较高时,定、转子的运行温度不可能有较大余量。因此,桥巩水电站如果采用一次循环冷却方式,可给机组留有一定余量,且常年保持不变。

2.2 通风系统计算

利用加拿大 GE 公司引进的发电机通风计算软件 VENT 进行计算,发电机等效风路模型网络见图 1。

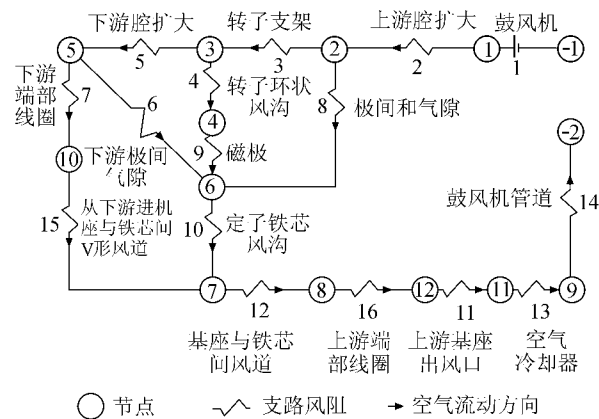


图 1 发电机等效风路模型网络

2.3 三维温度场有限元分析与计算

根据等效热路法计算结果,选取定子槽内绕组温度最热段,利用三维温度场有限元分析方法进行计算,进一步研究各段各部分温度分布的情况,以确定桥巩水电站发电机所采取的通风结构和形式。

2.3.1 三维热传导方程及其等价变分问题

稳态时三维热传导方程为

$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}) = -q$$

式中: T 为物体的温度; $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ 分别为 x, y, z 方向的导热系数; q 为热源密度。

若边界面由 s_1 和 s_2 两部分组成, s_1 和 s_2 上的边界条件分别为

$$T|_{s_1} = T_1$$
$$\alpha(T - T_f)|_{s_2} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n}$$

式中: T_1 为 s_1 面上的给定温度; T_f 为 s_2 面周围介质温度; α 为 s_2 面的散热系数。根据变分原理,上述混合边值问题可转化为相应的泛函和条件变分问题:

$$\begin{cases} \min J(T) = \frac{1}{2} \int_V \left[\lambda_x \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \lambda_y \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \lambda_z \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - Tq \right] dv + \frac{1}{2} \alpha \int_{s_2} (T - 2T_f) T ds \\ T|_{s_1} = T_1 \end{cases}$$

2.3.2 计算区域和基本假定

多数水轮发电机的通风系统是径向对称的,定子齿槽沿圆周方向为周期性分布,因此计算区域可取定子 1/2 轴向长度,周向半个齿、半个槽的范围。为便于计算,假设:①定、转子之间无热交换;②在通风沟中风速取平均值,通风沟中风的温度线性递增;③由于水轮发电机定子半径较大、极数较多,可忽略定子曲率的影响,在直角坐标系下求解方程;④槽楔宽度近似与槽宽相同,将定子绕组的匝间绝缘合并到主绝缘中;⑤因为温度与散热面的面积、散热系数、损耗密度和周围环境温度有关,而与物体形状无关,所以认为端部绕组是与实际绕组同长的直线绕组,且鼻端啮合处以直线连接;⑥齿压板是圆环结构;⑦定子绕组的涡流损耗对每根股线取平均值;⑧考虑到通风结构及定子结构的对称性,认为槽中心面、齿中心面和电机轴向中心截面为绝热面。

2.3.3 计算结果及分析

通风计算得到的风量大于电磁计算带走全部损耗所需要的风量,而且其各支路的风量分配也较为合理。因此,桥巩水电站的通风冷却系统设计的结构满足发电机的冷却需要。电机各部分的温度低于电机绝缘等级所许可的允许温度,可以保证桥巩水电站贯流式水轮发电机的安全运行。

3 结 语

大容量贯流式机组发电机采用一次循环冷却方式可以明显降低发电机的冷、热风温度及发电机相应的运行温度。采用一次循环冷却方式,对冷却水装设滤水器,采用正反向供水等措施,可以有效地解决发电机的通风散热问题。桥巩水电站发电机通风冷却方式的选取、冷却结构的设计满足发电机的冷却需要,可为类似工程提供一定的经验。

(收稿日期 2008-12-15 编辑 骆超)