

# Research on the Cooling System of Guide Bearing of Hydro-generator

Juanjuan Cui Panke Wang

Yellow River Survey, Planning, Design and Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450003, China

## Abstract

In the entire power system, the hydropower unit is mainly responsible for peak regulation and frequency regulation, with the purpose of ensuring the stable operation of the power system. Therefore, whether to ensure the safe and stable operation of hydropower units has become the primary task of hydropower workers. Based on actual cases, the paper analyzes the operation problems of the cooling system of the guide bearing of the hydro-generator and proposes reasonable technical measures.

## Keywords

hydropower unit; failure; technical measures

## 水轮发电机导轴承冷却系统探究

崔娟娟 王攀科

黄河勘测规划设计研究院有限公司, 中国·河南 郑州 450003

## 摘要

在整个电力系统中,水电机组主要承担着调峰、调频作用,目的是保障电力系统的稳定运行。因此,能否确保水电机组安全稳定运行成为水电工作者的首要任务。论文结合实际案例,分析水轮发电机导轴承冷却系统运行问题,提出合理的技术措施。

## 关键词

水电机组;故障;技术措施

## 1 引言

一般来讲,水电机组的故障大致分为三种类型:机组电气故障、机组机械故障、机组水力故障。据以往的调研表明,水电机组非正常运行工况多是机械方面的原因所造成的,其中尤以机组轴承问题居多。而水电机组多发的“烧瓦”现象,是电厂稳定运行的严重隐患,能否确保水电机组安全稳定运行成为水电工作者的首要任务。

随着大型机组的不断投入,水轮发电机组导轴承散热问题也越来越严重,2008年1月27日在对金岩水电站1、2号机组运行监测中发现,两台机组导轴承瓦温均不能在允许温度范围内运行,给机组的安全稳定运行造成严重威胁,停机检修后发现引起水导轴承瓦温高的根本原因是轴承的发热量大于轴承的散热量,也就是说水导轴承及其冷却系统没有达到预期的设计效果<sup>[1]</sup>;株树桥水电厂1号水轮发电机组在运行

过程中由于油槽内少油和缺油引起导轴承推力瓦烧毁,造成机组停机<sup>[2]</sup>。因此,研究水轮发电机导轴承冷却系统十分有必要。

## 2 导轴承结构介绍

水轮发电机导轴承主要承受机组转动部分的径向机械和电磁的不平衡力,使机组在规定的摆度和振动范围内运行。小型水轮发电机或一些老机组曾采用过套筒型导轴承。现在大部分中、大型发电机都采用分块式扇形瓦导轴承,这种轴承具有较大的承载能力,容易调整且结构紧凑。导轴承可以布置在推力轴承镜板工作面或推力头工作面的外圆处<sup>[3,4]</sup>。

导轴承的结构布置和数量与发电机的容量、转速及机组总体布置有关。通常是满足轴系刚度和临界转速的要求,一般要求机组的第一阶临界转速至少为最大飞逸转速的125%。

对于轴系较长的高速悬式机组,发电机般采用具有上、下两个导轴承的总体结构布置;中、低速的伞式或半伞式机组可根据轴承的临界转速和轴法兰处的摆度要求,选择导轴承的数量。大容量(400MW及以上)发电机,电磁负荷高,各种难以预见的因素多,因此导轴承数量的设置不能单从轴系的稳定性考虑,还需从整个机组的安全和可靠运行全面考虑。

根据发电机总体布置,导轴承主要有以下两种结构型式。

## 2.1 具有独立油槽的导轴承

此种结构型式的导轴承为一个独立的油槽。一般有滑转子,导轴承瓦直径较小,瓦块数也少,导轴承结构,如图2-1所示,这种结构的导轴承具有良好的运行条件,而且轴承损耗也小。独立油槽的导轴承一般适用于大、中型悬式发电机或半伞式发电机的上导轴承。

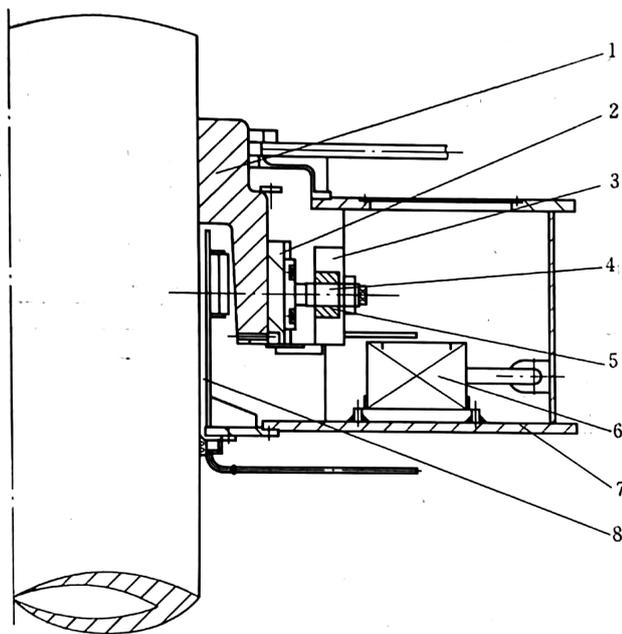


图1 独立油槽的导轴承

- 1-滑转子; 2-导轴承瓦; 3-座圈; 4-支柱螺钉;  
5-套筒; 6-油冷却器; 7-机架; 8-挡油管

## 2.2 合用油槽的导轴承

导轴承与推力轴承合用一个油槽,如图2-2所示,推力头兼作导轴承的滑转子,结构紧凑,但是导轴承直径较大,瓦块数较多,轴承损耗较大。合用油槽的导轴承结构适用于全(半)伞式发电机的下导轴承和中、小型悬式发电机的上导轴承。

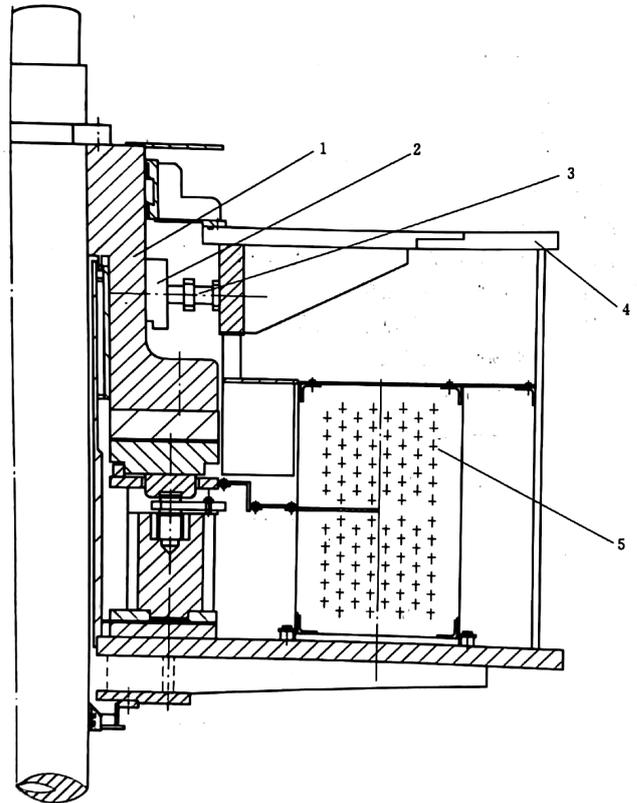


图2 合用油槽的导轴承

- 1-推力头; 2-导轴承瓦; 3-支柱螺钉;  
4-机架; 5-油冷却器

## 3 导轴承油循环冷却系统

### 3.1 独立油槽导轴承油循环冷却系统

独立油槽导轴承是采用自身泵油循环冷却系统。为了向轴瓦供油,在滑转子下缘开有径向供油孔。导轴承运行时,在径向孔的离心力作用下,使上浮的热油通过座圈上的孔流向冷却器进行循环和冷却。一些中、小型水轮发电机的导轴承,也有采用在滑转子上开有斜向孔的结构。冷却油靠离心力作用向轴瓦供油后,油靠自重流向冷却器进行循环和冷却<sup>[5,6]</sup>。

### 3.2 独立油槽导轴承油循环冷却系统

导轴承的油循环冷却系统与推力轴承油循环冷却系统合用一个油槽。为了加强导轴承的润滑冷却,常在镜板(或推力头)上加工若干个径向孔,向瓦而注油。对于这种结构,应特别注意轴系的甩油。导轴承的油面,一般在1/2导轴承瓦高度附近(最低不能小于1/3导轴承瓦高)。润滑后的热油通过座圈上的孔流向推力轴承油槽内的冷却器进行循环和冷却。在一些大型伞式(或半伞式)水轮发电机中,与推力轴承同一油槽的导轴承润滑后的热油直接通过油管进入推力轴承油槽

内的冷油区,混合后再重新进入导轴瓦进行润滑,此时油温较高,可能会影响导轴承的瓦温,合用油槽的导轴承油循环冷却系统,其冷却器是与推力轴承共用一个油冷器,一般导轴承不单独设有油冷却器<sup>[7]</sup>。

## 4 导轴承散热效果计算与模拟

目前,研究水轮发电机组导轴承散热系统的散热效果主要是通过布置测点以及计划检修<sup>[8]</sup>,但测点的数据只能反映该处的温度变化情况,对整个油槽以及导轴承瓦的温度不能完全把握,且无法得知内部润滑油以及瓦面温度变化情况,对冷却器的布置及优化提供参考价值不大。综合以上分析可以运用目前市场上比较流行的 CAE 前处理软件以及后处理软件,通过建立导轴承散热系统的物理模型进行模拟分析,此方法对研究散热具有指导意义,但工程实际中,对已投产的导轴承也可以通过计算的方法进行估计散热效果,下面简单介绍计算的主要内容。

### 4.1 水导瓦摩擦功发热量计算

$$W = K \frac{0.616\eta\mu L}{\varphi}, \quad \mu = \frac{\pi ND}{60}, \quad \varphi = \frac{\delta}{D}$$

式中:

$\delta$ ——轴瓦间隙。

$K$ ——间隙比沙麦尔德系数。

$u$ ——圆周速度。

$L$ ——轴承高度。

$\delta$ ——计算间隙。

$D$ ——水导轴直径。

$\eta$ ——运动粘度系数。

### 4.2 冷却器冷却铜管计算

冷却器冷却铜管的计算主要包括冷却铜管的容量,以及由它所关联的冷却水的流速。该项主要是通过经验计算,这里不再赘述。

### 4.3 上油量计算

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

式中:

$Q_1$ ——由轴承两端压差引起的沿轴承间隙的流量。

$Q_2$ ——由轴承两端压差引起的沿润滑油槽的流量。

$Q_3$ ——由旋转的主轴表面和润滑油槽作用而造成的沿油槽的流量。

当  $Q_3$  远远大于  $Q_1$  和  $Q_2$  时,可以忽略  $Q_1$  和  $Q_2$ 。那么,

$$Q = Q_3。$$

$$Q = \frac{\pi D N a c Z \cos \beta}{2(1 + \frac{a}{c})[1 + (4\frac{a}{c} + 1)\frac{S}{a}]} * 10^3$$

式中:

$D$ ——水导轴承的轴领直径。

$N$ ——机组额定转速。

$a$ ——螺旋槽槽口深度。

$c$ ——螺旋槽槽口宽度。

$\beta$ ——设计上油升角。

$S$ ——设计瓦单边间隙。

### 4.4 进油量计算

$$H = 0.56 a n^2 (R^2 - r^2) * 10^{-5}$$

式中:

$H$ ——油柱高度, cm。

$R$ ——轴承进油孔外端到轴中心, cm。

$a$ ——系数。

$n$ ——机组额定转速。

$r$ ——转动油箱中油的自由表面,被通过个进油孔的平面所截成的面的半径, cm。

## 参考文献

- [1] 唐鹏程. 水轮发电机组水导轴承瓦温过高原因分析及技术改造 [J]. 水电站设计, 2011(01):112-114.
- [2] 徐治淮. 水轮发电机组下导轴承烧毁原因分析与修复 [J]. 湖南水利水电, 2009(03):86-87.
- [3] 谢斐, 郭勇, 姚文俊, 李权. 水轮机水导油循环系统优化 [J]. 水电与新能源, 2018(05):54-57.
- [4] 张志勇. 水轮发电机组下导轴承瓦温偏高的处理 [J]. 机电信息, 2018(12):66-67.
- [5] 瞿吉国. 水轮发电机导轴承温度升高原因分析 [J]. 数码设计, 2017(06):120-121.
- [6] 陈锡芳. 水轮发电机结构运行监测与维修 [M]. 中国水利水电出版社, 2008(02):220-250.
- [7] Xu Zhang, Bangcheng Han, Xu Liu, Yulin Chen, Luxin Zhai. Prediction and experiment of DC-bias iron loss in radial magnetic bearing for a small scale turbomolecular pump [J]. Vacuum, 2019, 163.
- [8] 王昆. 葛洲坝大江电站水轮发电机导轴承结构优化方案 [J]. 防爆电机, 2018(03):24-25.