

银盘水电站推力轴承支撑性能 及镜板泵外循环技术研究

雷 霆, 胡鑫凡, 秦留生
(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要: 为了评估银盘水电站推力轴承支撑性能对机组运行的稳定性以及验证镜板泵外循环技术在设计工况下的冷却效果, 通过不同结构特点推力轴承支撑性能进行分析, 阐述了银盘水电站推力轴承弹性油箱支撑结构在轴流转桨式水轮发电机组中自动调整各轴瓦受力平衡的优点; 同时, 利用流体力学计算公式, 对银盘水电站镜板泵外循环系统工作压头和流量进行了计算分析, 结合现场机组运行工况进行了试验验证。研究表明: 采用弹性油箱支撑结构的推力轴承, 能使推力轴承轴瓦间受力不均匀的问题得到根本改善, 大大提高了机组运行的稳定性; 通过计算分析, 结合机组运行监测数据, 得出了银盘水电站镜板泵实际压头系数和流量系数, 证明镜板泵外循环系统能够在设计工况点附近工作, 从检测数据来看系统冷却效果较好。

关键词: 推力轴承; 支撑性能; 镜板泵; 外循环技术; 银盘水电站

中图分类号: TV547.3; TH133.3; TH3

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)09-1042-04

Research on thrust supports performance and runner-pump extrinsic technology of silver plate hydropower station

LEI Ting, HU Xin-fan, QIN Liu-sheng
(Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In order to evaluate the silver plate thrust bearing support hydropower station on the unit operation performance of stability and validate mirror the circulation technology in the plate pump the cooling effect of the design condition, according to the different structure features thrust bearing support performance analysis, the advantages of the silver plate hydropower station thrust bearing elastic support structure in the shaft mailbox circulation paddle type hydraulic power generating automatic adjustment in the bearings force balance was expounded. At the same time, the use of fluid mechanics formula to silver plate hydropower station board pump cycle system outside mirrors work pressure head and flow were calculated, combining with the unit operation condition test. The experimental results show that the elastic mailbox of the support structure thrust bearing, can make the thrust bearing bush force between the uneven get the basic improvement, greatly improving the unit operation of stability. Through calculation and analysis, combined with the unit operation monitoring data, it is concluded that the silver plate hydropower station mirror board pump real pressure head coefficient and flow coefficient, lens board the circulation system can pump in near design working conditions, the inspection data to see system cooling effect is better.

Key words: thrust block; bearing performance; runner-pump; extrinsic cycle technology; silver plate hydropower station

0 引 言

对于大型水轮发电机组, 推力轴承系统的设计和制造技术是非常重要的, 推力轴承是水轮发电机最为关键的重要部件之一, 它对实现机组运行的安全可靠

性和经济性以及安装维护的方便性至关重要, 而推力轴承支撑结构的好坏又直接影响到推力轴承的性能^[1]。同时, 油循环系统对机组推力轴承的润滑以及冷却也是至关重要的, 外循环冷却的特点是冷却器与推力轴承分别安装在油槽的外部 and 内部, 外循环又依循

收稿日期: 2012-03-19

作者简介: 雷 霆(1980-), 男, 甘肃渭源人, 主要从事流体机械及工程方面的研究. E-mail: leiting2007@163.com

环动力的方式分为自身泵和外加泵两种形式。自身泵外循环适宜在高转速机组上使用:一是推力轴承PV值高;二是轴承的尺寸较小。自身泵是利用轴承旋转部件加工数个径向或后倾泵孔形成。当机组运行时,可形成稳定的压头。在旋转体的外侧,附加有集油槽,其作用是将泵打出的油汇集入系统油管并进入油冷却器,经冷却后沿环管、喷油管再喷到瓦的进油边附近。其结构复杂,设备投资比内循环的大,管路部件多,管理维护不便。但其优点是:拆卸推力瓦不需拆卸冷却器,油冷却器、推力轴承检修相对便利。单个冷却器可拆卸维修,不影响其他冷却器的使用^[2]。

基于推力轴承弹性油箱支撑自动均衡负载的特点以及外循环冷却系统的优点,银盘水电站采用弹性油箱支撑的镜板泵外循环推力轴承。通过对不同的推力轴承支撑结构特点的分析并结合国内外目前应用状况,本研究阐述推力轴承弹性油箱支撑的优点,同时,基于外循环自身泵冷却系统的优点,对镜板泵外循环冷却系统工作压头以及流量关系进行计算分析,结合现场机组运行情况,验证其设计选型的合理性,并为其轴流转桨式水轮发电机生产提供技术经验。

1 推力轴承支撑性能研究

1.1 推力轴承支撑结构特点以及应用

推力轴承被称为水轮发电机组的心脏,其好坏直接影响着机组的安全运行。而推力轴承支撑结构又与轴承运行性能有着密切的关系^[3]。无论是立式机组还是卧式机组,都有推力轴承。在立式机组中,轴向推力有两部分,即转动部分的重力和作用在水轮机转轮上的水推力;而卧式机组的轴向力就只有作用在水轮机转轮上的水推力。对于立式水轮发电机组来说,推力轴承是极其重要的轴承。推力轴承的作用是承受运行中的水推力和转动部分的重量,并保持转动部分在高度上的稳定,如果推力轴承发生故障或损坏,将有可能导致机组损坏^[4]。

推力轴承是应用液体润滑承载原理的机械结构部件。大中型水轮发电机组多采用摆动瓦块、动压的推力轴承,推力瓦的倾角可随负荷和转速的变化而改变,以产生适应轴承润滑的最佳油楔。推力轴承按支撑结构特点分,有弹性垫支撑、弹性圆盘支撑、活塞支撑、弹簧支撑、刚性支撑、弹性油箱支撑和平衡块支撑多种形式,其中弹性垫支撑只能用于小推力负荷机组。国内制造的水轮发电机推力轴承,小容量机组多采用刚性支撑和弹性垫支撑,中、大容量机组多采用弹性油箱支撑和平衡块支撑;近几年,我国从欧美、日本等国引进的机组,多采用小弹簧支撑、双支点弹簧

轴支撑和弹性圆盘支撑^[5]。各种支撑形式都有其特点,适用于不同的机组。选择合理的支撑系统,对提高推力轴承的可靠性具有重要作用。

1.2 银盘电站弹性油箱支撑特点

对于弹性油箱支撑结构,机组运行时,不均匀负荷主要来自于:① 机组制造精度、安装精度等误差;② 扇形瓦、支撑系统、轴承支架应力不平衡的变形;③ 机组运行时负荷的变化。由于机组安装受力调整时机组为静态,受力调整只能将静态时显现的负荷均匀分配到各轴瓦上。动态运行时,上述各种原因造成的动负荷在各瓦上的分配是不均匀的。对较大负荷的推力轴承,如果发生瓦间受力不均的情况,受力较大的轴瓦可能承受比设计值高出几倍的应力而首先失效,进而危及其他轴瓦直至整个推力轴承失效。采用弹性油箱支撑形式,能使推力轴承轴瓦间受力不均的问题得到根本改善。

银盘水电站设计转轮重量 300 t,转子重量 680 t,机组转速 83.3 r/min,推力轴承承载负荷 28 958 kN。机组推力负荷增加,对推力轴承的要求也就增高,负荷大,随之而来的是比压的增长及轴承油膜温度升高,一方面会使粘度下降,从而使承载力下降,油膜边薄,另一方面由于润滑油温升会使轴瓦及镜板推力头因温差引起的热变形增大也会导致同样的结果。根据银盘水电站水头低、负荷大等特点,推力轴承采用的弹性油箱支撑结构如图 1 所示。

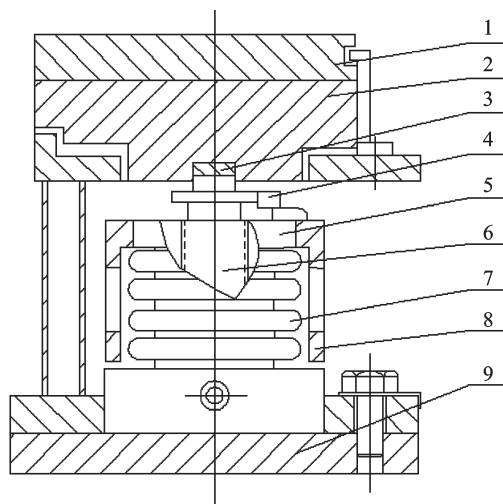


图1 弹性油箱支撑

1—推力瓦;2—托瓦;3—抗重垫块;4—锁定板;5—支铁;
6—支柱螺栓;7—弹性油箱;8—保护套;9—轴承底盘

弹性油箱支撑的推力轴承,支撑托瓦的支柱螺钉落座在弹性油箱上,各油箱之间用油管互相连通,其中注满具有一定压力的透平油,整台机的弹性油箱是一个密闭的液压连通器。当某块瓦受力超过其他瓦时,液压连通器自动调整各瓦受力,达到受力均匀的目的。

的,改善了刚性支撑形式推力轴承不能自动均衡负载的运行工况,大大提高了机组推力轴承的可靠性^[6-7]。

2 镜板泵外循环系统研究

2.1 镜板泵外循环特点

推力轴承的循环冷却方式有外循环或内循环两种,这两种方式现已普遍采用^[8]。内循环是冷却器安装在推力油槽内,油的循环动力一般认为来自3个方面:①粘附在旋转表面的油,当转速达到一定时被甩出;②镜板下的部分热油被甩出,这部分油的温度很高,与前一部分油混合后通过冷却器冷却;③由油冷器引起的冷、热油对流,热油上升,冷油下沉。转子旋转时,油槽内的油面呈抛物面,外圆向上,如果密封不好,会造成动压的损失。若密封较好,则这部分动压会转为静压,构成油循环动力。另外,轴承座与冷油器之间的隔板,也应注意密封,避免冷、热油短路。外循环的特点是油冷器装置设在推力油槽外,用油管和一些装置将它与油槽连接成循环回路。外加泵外循环装置的安装高程应低于油槽底面,并需配置备用油泵,有的还配有使用直流电源的油泵,以提高轴承运行的可靠性。镜板泵外循环是在镜板(或推力头)上加工数个径向或后倾方向的泵孔,构成简易离心泵。在镜板的外缘装有相当于泵壳的集油槽,用以汇集热油;在镜板的内缘装有导流圈,相当于油泵的吸油管。镜板泵具有节省油泵和辅助设备,又能在机组启动时立即建立油循环的优点,避免外加油泵因控制系统失灵造成的断油事故。基于镜板泵外循环的优点,银盘水电站采用的镜板泵外循环系统如图2所示。

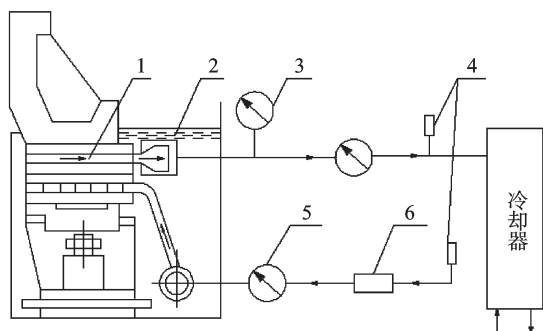


图2 镜板泵外循环系统

1—镜板泵孔;2—集油槽;3—压力表;4—温度计;5—流量计;6—过滤器

2.2 镜板泵压头流量关系计算

镜板泵的工作效率对于整个润滑系统至关重要,而镜板泵的效率主要取决于泵孔的大小和泵孔的布置形式,主要是运行的流量和压头。镜板泵的最高压头和流量计算关系式^[9]如下:

泵的压头 H_0 (单位: kg/cm^2):

$$H_0 = \eta \frac{\gamma}{g} (u_2^2 - u_1^2) \times 10^{-4} \quad (1)$$

式中: u_2 —镜板外圆周边速度, m/s ; u_1 —镜板内圆周边速度, m/s ; γ —润滑油比重, kg/m^3 ; g —重力加速度, $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$; η —镜板泵压头系数。

泵的流量 $Q_{\max}$ (单位: l/min):

$$Q_{\max} = 60 K A u_2 \times 10^3 \quad (2)$$

式中: A —镜板泵孔总的截面积, m^2 ; K —流量系数。

压头与流量的关系:

$$H = H_0 \left(1 - \frac{Q^2}{Q_{\max}^2} \right) \quad (3)$$

式中: Q —某一运行流量, H —某一运行流量对应的压头。

从上述关系式可知,镜板泵的设计好坏与实际压头系数和流量系数有很大关系。根据银盘水电站设计文件,机组转速为 $83.3 \text{ r}/\text{min}$,镜板内圆直径为 $3\,130 \text{ mm}$,外圆直径为 $4\,240 \text{ mm}$,润滑油比重为 $\gamma = 882 \text{ kg}/\text{m}^3$,镜板泵孔数为 32 个,镜板泵孔为 20 mm ;将设计数值代入式(1~3),得:

$$H_0 = 1.3992 \eta \quad (4)$$

$$Q_{\max} = 11\,170.86 K \quad (5)$$

根据银盘水电站机组运行数据可知,在额定转速 $83.3 \text{ r}/\text{min}$ 下,其镜板泵压头压力表显示数据为 0.4 MPa ,流量计显示流量为 $0.0335 \text{ m}^3/\text{s}$,从而得出其镜板泵实际压头系数和流量系数为:

$$\eta = 0.286, K = 0.18。$$

3 机组运行工况

为了验证银盘水电站弹性油箱支撑的镜板泵外循环推力轴承选型^[10]以及设计的合理性和优点,本研究取机组空载状态以及满负荷工况下动态实时检测数据进行对比,其动态检测数据如表1所示。针对机组运行工况笔者采用在线检测系统对机组各个部位温度、压力、流量、震动、摆度等进行实时检测。

银盘水电站推力轴承镜板泵的设计中,空载压头为 0.736 MPa ,工作压头 0.42 MPa 。

对银盘电站推力轴承瓦温以及镜板泵外循环工作性能进行的检测数据表明:推力轴承各瓦温以及油循环系统满足正常工况运行要求。各个瓦温数据偏差很小,说明弹性油箱支撑能够自动均衡负载;对于镜板泵外循环系统,其工作压头为 0.42 MPa ,两种工况实测值为 0.4 MPa 和 0.38 MPa ,其实际工作压头与设计值接近,实际工作压头偏低与系统中集油槽密封和滤油器关系较大。

表1 机组空载、满负荷状态动态检测数据

检测项目	空载状态	满负荷状态
转速/(r·min ⁻¹)	83.3	83.3
推力轴承2#瓦温/℃	29.2	32
推力轴承4#瓦温/℃	28.8	32.9
推力轴承6#瓦温/℃	28.5	32.3
推力轴承8#瓦温/℃	28.7	32.5
推力轴承10#瓦温/℃	28.8	32.4
推力轴承12#瓦温/℃	28.9	32
冷却器入油温度/℃	27.7	29.1
冷却器出油温度/℃	19.8	21.3
冷却油流量/(m ³ ·s ⁻¹)	0.033 5	0.033 2
镜板泵出口压力/MPa	0.4	0.38
喷油管出口压力/MPa	0.22	0.21
冷却器进水温度/℃	15.9	16.4
冷却器出口温度/℃	17.2	19.3

4 结束语

本研究从推力轴承支撑特点出发,阐明了银盘水电站采用弹性油箱支撑对机组运行的优点,即当某块瓦受力超过其他瓦时,液压连通器自动调整各瓦受力,达到受力均匀的目的,大大提高了机组推力轴承的可靠性。通过分析推力轴承内、外循环的特点,基于镜板泵外循环系统的优点,本研究通过对镜板泵压头和流量关系的计算,结合机组运行的数据,得出了银盘水电站镜板泵实际压头系数和流量系数($\eta=0.286$, $K=0.18$),通过机组运行工况检测数据来看,推力轴承各个瓦温偏差较小,说明弹性油箱支撑

能够自动均衡负载,能够保证机组运行安全可靠,同时镜板泵外循环系统能够在设计工况点附近工作,从进、出口油温变换来看,能够极大地提高冷却作用,为机组轴瓦润滑提供保障。

通过机组运行工况来看,银盘水电站采用弹性油箱支撑的镜板泵外循环推力轴承其设计选型可靠,可为大中型轴流转桨式水轮发电机生产提供技术经验。

参考文献(References):

- [1] 单文培. 水电站机电设备的安装运行与检修[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 武中德,张 宏,张仁江,等. 水轮发电机镜板泵外循环技术[J]. 华中电力,2004,17(6):32-34.
- [3] 罗正平. 水轮发电机推力轴承支撑结构性能的研究[J]. 东方电气评论,2000,14(3):142-147.
- [4] 于兰阶. 水轮发电机组的安装与检修[M]. 北京:中国水利水电出版社,1995.
- [5] 黄 瑛. 浅谈推力轴承的几种支撑形式[J]. 水电站机电技术,2003(3):18-21.
- [6] 张振祥,陈永清. 基于线阵CCD的轴承外圆表面缺陷检测[J]. 轻工机械,2010,28(4):70-72.
- [7] 王学锋. 汽轮机径向滑动轴承损坏原因及预防[J]. 现代制造技术与装备,2011(4):58-60.
- [8] 刘大凯. 水轮机[M]. 3版. 北京:水利水电出版社,1997.
- [9] 白延年. 水轮发电机设计与计算[M]. 北京:机械工业出版社,1982.
- [10] 盛英英,黄德杰,尹迪江,等. 轿车轮毂轴承耐久性试验载荷谱的研究[J]. 机电工程,2010,27(6):40-43.

[编辑:罗向阳]

(上接第1038页)

参考文献(References):

- [1] 刘兴洲. 超燃冲压发动机性能初步研究[J]. 航空发动机, 2007,33(2):1-4.
- [2] 任加万,谭永华. 冲压发动机燃烧室热防护技术[J]. 火箭推进,2006(4):38-42.
- [3] 鲍 文,周伟星,周有新,等. 超燃冲压发动机再生冷却结构的强化换热优化研究[J]. 宇航学报,2008,29(1):246-251.
- [4] LIN K C, TAM, C J, JACKSON K. Fueling study on Scramjet Operability Enhancement [C]//Proceedings of 45th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit. Denver: [s.n.], 2009.
- [5] LI Song-jing, ZANG Zeng-wei, LI Yong-hong, et al. thermodynamic analysis of friction pairs inside a high temperature flow rate control valve for scramjet engines[J]. **Materials Science Forum**, 2008, 575-578(4): 1240-1245.
- [6] SOUKHANOVSKII V A, KUGEL H W, KAITA R, et al. Supersonic gas injector for plasma fueling [C]//Proceedings-Symposium on Fusion Engineering. Knoxville, TN, United states: [s.n.], 2005: 1-4.
- [7] 何立明,赵 罡,程邦勤. 气体动力学[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
- [8] 王福军. 计算流体力学分析—CFD软件原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [9] 周文祥,黄金泉,周人治. 拉瓦尔喷管计算模型的改进及其整机仿真验证[J]. 航空动力学报,2009,24(11):2601-2606.
- [10] 陈卓如,金朝铭,王洪杰,等. 工程流体力学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

[编辑:张 翔]