

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.05.016

汽轮机调节油系统高压脉冲式冲洗方法研究

王珂,游宇,桑钱锋

(中广核工程有限公司,广东深圳518000)

摘要:针对电厂汽轮机调节油系统采用常规冲洗方法冲洗工期长的问题,对阳江核电厂调节油系统的结构以及几种常规冲洗方法的特点进行了分析,提出了利用系统中的蓄能器进行扩容增压蓄能对管线进行高压高速脉冲式冲洗的实施方案。基于气体运动学及流体力学理论和工程经验,计算了冲洗时蓄能器的容积变化量及管道的最大流速,并对冲洗准备工作及实施流程进行了归纳,解决了常规冲洗方法时间长、效率低的问题。研究表明,采用高压脉冲式冲洗方法可有效缩短调节油系统冲洗工期,将调节油各模块的平均冲洗工期控制在5~10天内,且冲洗效果非常显著,具有良好的应用前景和推广价值。

关键词:调节油;冲洗;高压;脉冲

中图分类号:TH39;TK26

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)05-0585-04

High pressure pulse flushing method of steam turbine control oil system

WANG Ke, YOU Yu, SANG Qian-feng

(China Guangdong Nuclear Power Engineer Co. Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: Aiming at the problem that flushing cost long time of Steam turbine control oil system by conventional flushing method, the high pressure pulse flushing method was proposed according to the analysis on some conventional flushing methods and the characteristics of the Yangjiang nuclear power plant. The accumulator was used to flush the pipelines, the volume variation of accumulator and the largest velocity in the pipe were calculated based on the related theory and engineering experience. The preparatory work and the implementation process was summarized, the problem of low efficiency of conventional flushing method was solved. The results indicate that the flushing time can be shortened to 5~10 days and better flushing effect can be obtained by the high pressure pulse flushing method which has good prospect and value to be expanded.

Key words: control oil; flushing; high pressure; pulse

0 引言

汽轮机调节油系统向汽轮机高压主汽门、高压调节汽门、再热主汽门、再热调门的油动机以及汽轮机超速保护控制器提供高压动力油,调节油的品质直接影响汽轮机的安全运行。安装阶段设备及管路中会引入沙、焊渣、灰尘、铁锈等杂质,如果不去除这些污染物,可能会造成油动机动作故障,给汽门的动作和汽轮机的控制带来很大的危害。因此需对油系统管路进行冲洗,以彻底清除油管中的杂物,保证启动前的油循环质量。根据电力行业标准,在机组试运前,调节油系统油质颗粒度应达到NAS 6级^[1-3]。

根据常规冲洗方法的经验,单模块式调节油系统冲洗周期一般需要一个月以上。阳江核电厂调节油系统采用三模块供油设计,其冲洗工作量相当于单模块系统(如宁德、红沿河等核电厂)的3倍。如采用常规方法对3个模块进行冲洗,整体工期预计需要3个月。因此,有必要对冲洗方法进行改进,缩短工期,提高工作效率。

本研究针对阳江核电厂调节油系统的结构以及几种常见冲洗方法的特点进行分析。

1 汽轮机调节油系统介绍

汽轮机调节油系统的功能是向汽轮机调节系统和

汽轮机保护系统提供处理过的具有合格品质和运行参数的控制油,常见的单模块调节油系统主要包括控制

油回路、过滤回路、再生回路和冷却过滤回路。系统流程如图 1 所示。

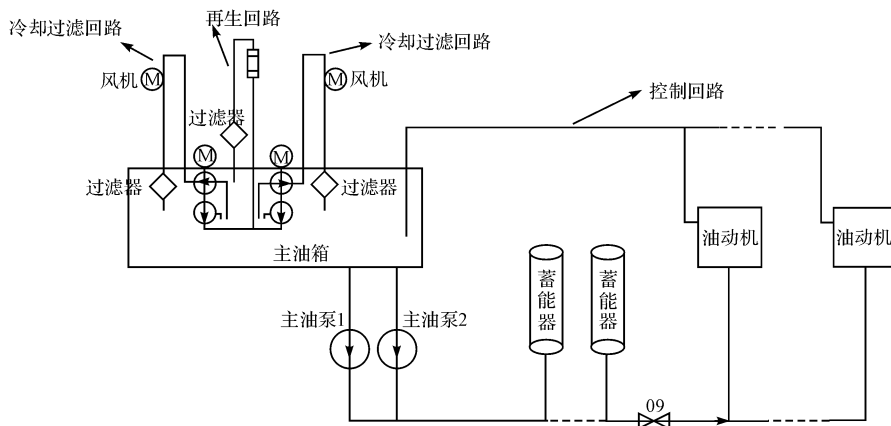


图 1 单模块调节油系统示意图

控制油回路包括两台主油泵、一组蓄能器,控制油回路的任务是使液压蓄能器达到运行压力并保持此压力。蓄能器用于积蓄能量,减缓管路压力波动。冷却过滤回路的任务是冷却控制油到需要的温度,当温度高于 60 ℃时,风扇投入运行对回路上的调节油进行冷却,同时经过过滤器可保持液压系统的清洁度。再生回路的任务是维持调节油的化学特性,再生回路中的再生容器内包含离子交换器和分子筛,离子交换器主

要由能减少调节油中性离子的树脂组成,分子筛可减少控制油中的水含量^[4]。

阳江核电厂调节油系统采用的是西门子三模块设计,每个模块的部件设备构成与图 1 的常规单模块设计类似。三模块由 1 个高压模块和 2 个低压模块组成,其中高压模块用于给高压缸前的主汽门油动机供油,另外 2 个低压模块分别给 2 个低压缸一侧的再热门油动机供油。阳江核电厂调节油系统的主要参数如表 1 所示。

表 1 阳江核电厂调节油系统参数

主油泵流量/(L·min ⁻¹)	额定功率/kW	主油泵转速/(r·min ⁻¹)	电压/V	主油泵类型	系统油压/MPa	正常油温/℃	蓄能器类型
50	18.5	1 460	380	柱塞泵	16	40 - 50	皮囊式

2 常规调节油冲洗方法

目前,常规的调节油系统循环冲洗的方法种类较多,下面介绍两种常用的方法。

2.1 方法一

该方法通过主油泵对管线进行连续或间歇性冲洗,通过增加外置滤油机对油箱内的调节油进行连续不间断的过滤净化直至油质合格。冲洗管路时需要隔离蓄能器,后续通过多次充排油对蓄能器进行单独冲洗。为增大流量可同时启动两台主泵,并通过主油泵出口溢流阀调整冲洗压力,需关注油箱以及滤油机的清洁度状态^[5]。

该方法实施比较简单,主要包括两个回路:主油泵冲洗回路和滤油机再净化回路,流程如图 2 所示。

由于冲洗管线与净化管线取油均来自系统油箱,冲洗管线油品的清洁度无法保证。外置滤油机对油箱连续净化时,虽然可通过增加磁棒等方式减少滤油机的滤网更换频次,但总体冲洗效率较低。根据经验,整

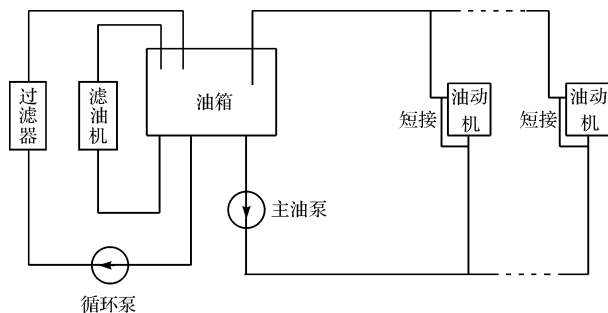


图 2 常规冲洗方法一

个管道冲洗及油箱清理等周期需要 40 天以上。

2.2 方法二

由于调节油系统油箱容积较小,本研究可通过在冲洗流程中增设辅助油箱。即在原冲洗回路的基础上增设了主油箱至辅助油箱的净化回路,通过滤油机将油全部倒换至辅助油箱,然后对主油箱进行清理,最后可保证送回主油箱的油质合格。外置过滤回路与冲洗回路通过辅助油箱相连,连接流程如图 3 所示。

该冲洗方法可以缩短方法一的油循环冲洗的时间,但因需要经常对调节油进行倒油并清理油箱,效果

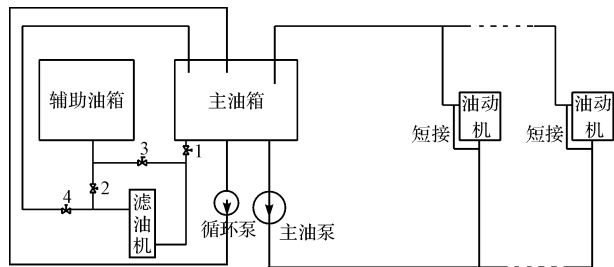


图3 常规冲洗方法二

不是很明显。对单模块油系统而言,使用该冲洗方法的工期约30天。

3 阳江核电厂调节油系统高压冲洗方法

对于阳江核电厂如采用常规冲洗方法对3个油模块进行冲洗,总冲洗工期至少需要3个月。由于整体工期时间较长,对后续调试工作带来很大影响。本研究结合调节油系统高压特性以及蓄能器的空间结构,基于气体运动学及流体力学相关理论分析,提出了利用蓄能器进行扩容增压蓄能,对系统管线进行高压高速脉冲式冲洗的实施方案,并将其他电厂冲洗时的良好经验反馈进行了应用。

3.1 冲洗流程

该冲洗方法连接方式如图4所示,管线冲洗采用一对一方式进行,即一次只冲洗其中一根管线(通过开关旁路阀实现),可以保证管线内部流量足够大。同时,充分利用蓄能器的空间和压力进行蓄能,提高冲洗油总流量和冲洗压力。

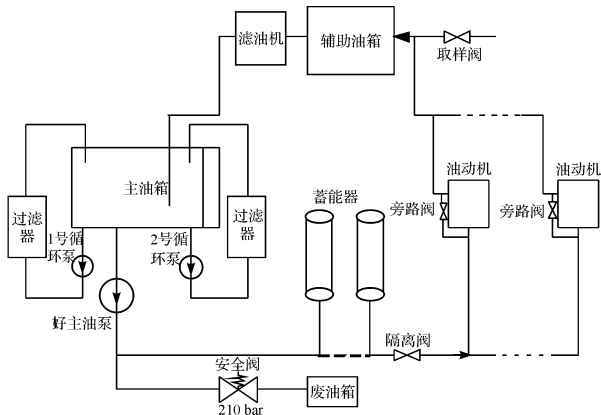


图4 高压高速脉冲法示意图

3.2 冲洗方法的理论计算

蓄能器内气囊的体积变化直接反应了冲洗管道的调节油流量,蓄能器储能变容过程气体状态变化满足玻意耳定律,放液时的体积 ΔV 与蓄能器体积 V 关系

存在如下关系^[6]:

$$V = \frac{\Delta V}{\frac{P_1}{P_2} \left(\frac{P_2}{P_3} \right)^{\frac{1}{m}} \left[\left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]} \quad (1)$$

式中: P_1 —充气压力,MPa; P_2 —系统最低工作压力,MPa; P_3 —系统最高工作压力,MPa; n —绝热变化时多变指数; m —充液时多变指数。

由于蓄能器内氮气冲压泄压非常迅速(几秒内),整个膨胀和压缩过程非常快,可认为是绝热变化过程,且由于压力仅在10 MPa ~ 16 MPa内波动,氮气性质接近理想气体的特性,可简化采用多变指数 $n = m = 1.4$ ^[7]。计算可得,当压力由16 MPa降至10 MPa时,蓄能器内氮气体积扩容至原来的1.3989倍。

HYDAC SB330-50A1/114A9-330A型蓄能器有效容积47.5 L,高压/低压模块分别有3/6个蓄能器。按照一次冲洗脉冲4 s计算,调节油体积分别为60 L 117 L。调节油管道尺寸为48.3 × 5.08 mm,一次冲洗可分别填满53 m/103 m的管道。

另外,按照高压小口管径模型,蓄能器出口附近最大流速可按照工程流体力学中薄壁孔口伯努利方程经验公式进行计算^[8-10]:

$$v = C_v \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

式中: C_v —流速系数; ΔP —前后差压,Pa; ρ —流体密度,kg/m³。

根据经验参数, C_v 取0.97,计算可得最大流速 $v = 95$ m/s。该流速远远超过正常运行时管道内的流速,对整个管路起到很好的冲刷作用。

3.3 冲洗方案实施过程

3.3.1 冲洗准备

冲洗前需进行以下准备工作:

- (1) 油箱清理。对调节油油箱进行清理,并通过滤油机(3 μm)对油箱进行注油,保障油箱油质合格。
- (2) 蓄能器充氮。对蓄能器预冲压至10 MPa(氮气纯度为99.99%);
- (3) 打压试验。分别在0 MPa、4 MPa、8 MPa、12 MPa、16 MPa、20 MPa、24 MPa压力平台进行保压,确保无泄漏。

(4) 安装冲洗安全阀。母管压力依靠泵出口安全阀进行调整,同时为保障安全,在管线上增设一路安全阀(21 MPa),确保管线不憋压。

3.3.2 系统冲洗

整个冲洗过程采用蓄能、冲洗、再蓄能的方式进行。冲洗步骤如图5所示。

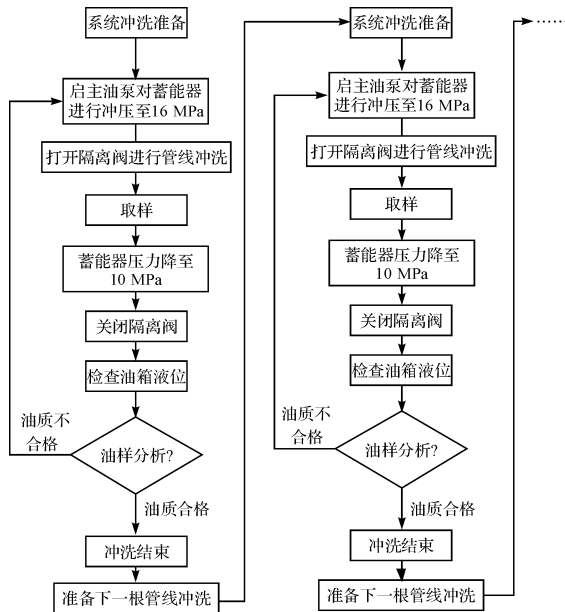


图 5 高压脉冲法冲洗步骤

本研究将蓄能器全部投入,调节主油泵出口压力,使蓄能器冲压至 16 MPa,通过快速打开、关闭模块出口隔离阀进行管线冲洗。通过控制阀门开度,使蓄能器压力由 16 MPa 快速降至 10 MPa,降压时间控制在 4 s 左右,保证有足够的压力和流速对管线进行冲洗。在打开模块出口阀门瞬间蓄能器能够迅速释放储能,将高压、高速、高能流体射出对管道进行冲刷,高速流体与管线摩擦带走管道内颗粒杂质,摩擦促使动能转化为热能对管道进行急剧加热,达到变温冲洗的效果。重复该过程,每根支管冲洗 50 次后通过取样阀取样化验。

调节油在冲刷管道后,直接进入辅助油箱,由滤油机净化送回主油箱。该过程可保障主油箱内油质合格,防止主油箱被管道杂质污染,有效的减少对主油箱的清理次数。由于主油箱所使用的油质均为通过过滤的调节油,可保证每次管线的冲洗质量。另外,在冲洗过程中,可用铜锤敲击管路及焊口,有利于清除焊渣及其他杂物^[11]。

3.3.3 试验结果

实践证明,采用该方法对调节油各模块进行冲洗的平均时间可控制在 5 ~ 10 天内,且冲洗效果非常显著。通过表 2 的最终取样分析结果可以看出,冲洗完成后调节油系统油箱的颗粒度为 NAS 2 等级(高于

NAS 6 等级),达到了对调节油系统的冲洗目的。

表 2 取样结果表

尺寸范围/ μm	颗粒数/ 100 mL^{-1}
5 ~ 15	990
15 ~ 25	60
25 ~ 50	0
50 ~ 100	0
> 100	0

4 结束语

本研究通过介绍汽轮机调节油系统的结构和常规的油冲洗方法,对系统蓄能器特性进行了分析研究,结合理论计算,提出了新的调节油冲洗方法。该方法利用蓄能器高压扩容蓄能,产生高压高速流体对管线进行脉冲式冲洗,并通过在冲洗回路中增加串联滤油设备等措施,保障了调节油系统冲洗的质量。通过实践证明该方法可提高调节油系统的冲洗效率,冲洗后的颗粒度等级可达到 NAS 2 等级,冲洗效果显著,并可为后续在建电厂调节油系统制定冲洗方案时提供参考。

参考文献(References):

- [1] 卢如飞,王敏史,浩杰. 1000MW 汽轮机油系统清洁度控制技术[J]. 发电设备,2011,25(3):190-192.
- [2] 赵运宏. 汽轮机运行中调节系统常见故障分析[J]. 机电信息,2011,25(36):105-106.
- [3] 全国电气化学标准化技术委员会. DL/T 571-2007. 电厂用磷酸酯抗燃油运行维护导则[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [4] 包锦华,陈明刚. 超超临界 1000MW 汽轮机控制油系统特点[J]. 发电设备,2008,22(5):386-388.
- [5] 林贵生. 国产 600MW 汽轮发电机组抗燃油循环冲洗方法[J]. 科技信息,2011(21):362-363.
- [6] 范贵喜,刘春峰,任国龙,等. 气囊式蓄能器选型计算[J]. 煤矿机械,2005,5(5):18-19.
- [7] 封士彩. 气囊式蓄能器气体多变指数理论值和实际值的确定[J]. 液压与气动,2002,36(5):3-4.
- [8] 张祝新,程晓新. 对工程流体力学中节流孔口流量特性的讨论[J]. 机床与液压,1999,24(6):68.
- [9] 宋忠荣,陶国庆,刘建峰,等. 最小流量调节内部流场及流量特性模拟研究[J]. 流体机械,2014,42(5):31-34.
- [10] 罗强,刘聪聪,孙贺,节流孔板音速流动条件分析[J]. 液压气动与密封,2015,35(6):72-74.
- [11] 李洪,李清. 汽轮机油系统冲洗调试质量管理[J]. 华东电力,2000,28(5):22-23.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

王珂,游宇,桑钱锋,等. 汽轮机调节油系统高压脉冲式冲洗方法研究[J]. 机电工程,2016,33(5):585-588.

WANG Ke, YOU Yu, SANG Qian-feng. High pressure pulse flushing method of steam turbine control oil system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(5):585-588.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>