

机组冷态启动中几种投运方案经济性分析

朱慧强

(东北电力大学能源与动力工程学院,吉林 吉林 132012)

[摘 要] 以华能丹东电厂亚临界 350 MW 机组为例,针对前置泵与小汽轮机同轴驱动的汽动给水泵(汽泵)组在机组冷态启动中的投运方式进行分析,并对 3 种投运方案的经济性进行了计算比较。结果表明:机组冷态启机初期锅炉上水、锅炉冲洗及提高锅炉温度至汽轮机转速达到 2 900 r/min 暖机期间均采用电动给水泵(电泵),之后投入第 1 台汽泵至机组负荷达到 30% 的方案 3 经济性和安全性最佳。因此,并非所有机组的冷态启动均适用汽泵启动,而应综合考虑各机组的实际情况,提出合理的启动方案。

[关 键 词] 亚临界;350 MW 机组;冷态启动;汽动给水泵;电动给水泵

[中图分类号] TK223.5⁺² **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1002-3364(2014)11-0012-03

[DOI 编号] 10.3969/j.issn.1002-3364.2014.11.012

Economic analysis on several operation schemes for steam-driven feedwater pump group during unit cold starting

ZHU Huiqiang

(School of Energy Power Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: By taking a subcritical 350 MW unit in Huaneng Dandong Power Plant as an example, the operation schemes of the steam-driven feedwater pump group of which the booster pump and small steam turbine are driven coaxially were investigated. Moreover, the calculated economy of three schemes was compared. The results show that, the Scheme III has the optimum economy and safety, in which the motor-driven feedwater pumps were adopted during water feeding, boiler washing and furnace temperature enhancing until the steam turbine speed increases to 2 900 r/min in the initial stage of unit cold state startup, then the first steam-driven feedwater pump was put into service when the unit load reached 30%. Therefore, not all units are fitted for using steam-driven turbine to accomplish cold state startup. The reasonable startup schemes should be proposed by considering the actual situation of each unit comprehensively.

Key words: subcritical, 350 MW unit, cold state startup, steam-driven feed pump, motor-driven feed pump

1 给水泵组配置型式及其特点

华能丹东电厂亚临界 350 MW 机组的给水系统配置 2 台 50% 容量汽泵和 1 台 30% 容量电泵,其主要参数见表 1—表 3^[1]。该机组的汽泵前置泵与

主泵由小汽轮机同轴驱动,具有高效率、低可靠性、动静间隙非常小之特点,因此故障率较高。另外,该泵生产厂家不允许其在低负荷下长期运行。

为了寻找该泵组在机组冷态启动中投入运行的安全、经济性,本文提出 3 种投入方案进行分析。

收稿日期: 2014-02-12

作者简介: 朱慧强(1990—),男,辽宁丹东人,工学硕士,研读方向为大型火电机组调峰与寿命管理。

E-mail: 690787463@qq.com

表 1 小汽轮机主要参数

Table 1 Main parameters of the feed-water pump turbine

项 目	内 容
型号	EMM32A
型式	冲动、凝汽式
轴功率/kW	3 873~5 271
额定转速/(r·min ⁻¹)	5 370
工作转速范围/(r·min ⁻¹)	2 500~6 000
高压汽源温度/℃	538
高压汽源压力/MPa	16.7
低压汽源温度/℃	413
低压汽源压力/MPa	1.6
辅汽汽源温度/℃	260
辅汽汽源压力/MPa	1.5

表 2 电泵主要参数

Table 2 Main parameters of the motor-driven feed pump

项 目	设备名称	
	主泵	前置泵
型号	4X12CB-6	4X12CSB-6
型式	卧式离心泵	卧式离心泵
流量/(t·h ⁻¹)	450	450
扬程/m	122	93
泵效率/%	82	82
轴功率/kW	3 357	75

表 3 汽泵主要参数

Table 3 Main parameters of the steam-driven feed pump

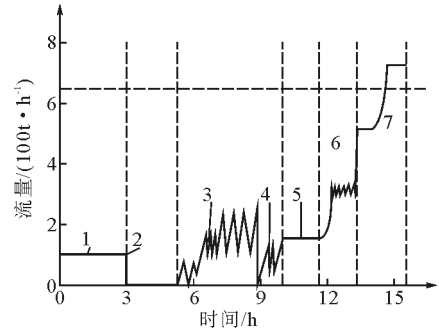
项 目	设备名称	
	主泵	前置泵
型号	6×14CSB-4	8HPX021A
型式	卧式圆桶多级离心泵	卧式离心泵
扬程/m	2 143	122
泵效率/%	83	79.80
轴功率/kW	3 873~5 271	183.3

2 给水泵组 3 种投运方案安全经济性分析

由于机组负荷大于 30% 时,给水泵组运行与设计要求一致,因此仅对机组开始冷启动至机组负荷达到 30% 之前时给水泵组在 3 种投运方案下的耗能进行分析,其锅炉给水流量变化见图 1。

2.1 方案 1

由于汽泵的前置泵与主泵由小汽轮机同轴驱动,因此启动汽泵时需要同时启动循环水系统、凝结水系统、真空泵系统及轴封供汽系统。



1—3 h冷炉上水 2—锅炉上水结束,锅炉点火,升温升压
3—锅炉投旁路 4—停旁路,汽轮机冲转
5—汽轮机2 900 r/min暖机 6—并网至30%负荷
7—投2号汽泵至满负荷

图 1 机组冷态启动中给水流量变化规律

Fig. 1 Variation of the feed water flow during the unit cold starting

按规程要求锅炉上水时间夏季时 ≥ 2 h,冬季时 ≥ 4 h,本文取其平均值 3 h 作为参考。此时循环水泵功率 P_x 约为额定功率的 80%,其耗功 W_x 为:

$$W_x = P_x t = 1\ 860 \times 80\% \times 3 = 4\ 464 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (1)$$

凝结水泵变频运行时约为额定功率的 1/3,其耗功 W_n 为:

$$W_n = P_n t = 474 \times \frac{1}{3} \times 3 = 474 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (2)$$

真空泵功率 P_z 为 92 kW,其耗功 W_z 为:

$$W_z = P_z t = 92 \times 3 = 186 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (3)$$

锅炉上水期间汽泵功率 P_q 约为额定功率的 25%,则汽泵耗功 W_q 为:

$$W_q = P_q t = 3\ 873 \times 25\% \times 3 = 2\ 904.75 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (4)$$

由于该汽泵的结构特点,锅炉点火不需要上水 3 h,为了保证给水泵能正常运行,不产生汽蚀,则必须满足泵的有效汽蚀余量不小于必需汽蚀余量^[2]。所以汽泵在此期间必须低负荷空载运行,其耗功为:

$$W_m = P_m t = 3\ 873 \times 20\% \times 3 = 2\ 323.8 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (5)$$

然后,机组负荷达到 30% 的 6 h 内,汽泵以额定功率的 30% 运行,其耗功为:

$$W_m = P_m t = 3\ 873 \times 30\% \times 6 = 6\ 971.4 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (6)$$

因此,机组启动初期负荷达到 30% 时,采用方案 1 的耗功为:

$$W_1 = W_x + W_n + W_z + W_q + W_m = 4\ 464 + 474 + 186 + 2\ 904.75 + 2\ 323.8 + 6\ 971.4 = 17\ 323.95 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (7)$$

此外,如果汽泵空负荷连续运行,将耗费临机大量高品位的辅助蒸汽,使临机供电煤耗大幅度上升;主机和小汽轮机轴封供汽也将消耗一部分临机较高品位的蒸汽。因此,全部采用汽泵启机所造成的耗功将大于计算结果。并且,如果汽泵在启机期间频繁启停,对小汽轮机和给水泵的安全影响较大。

2.2 方案 2

根据厂商推荐方案,锅炉上水至机组负荷 30% 前均采用电泵,当机组负荷达到 30% 时投入第 1 台汽泵,当机组负荷 60% 时投入第 2 台汽泵。首先采用电泵为锅炉上水 3 h,此时,电泵功率 P_{e1} 约为额定功率的 50%,取 1 600 kW。则上水过程中电泵耗功为:

$$W_{e1} = P_{e1}t = 1\,600 \times 3 = 4\,800 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (8)$$

第 4 个小时开始,锅炉点火期间不上水,电泵停运 2.5 h。在电泵重新启动至机组负荷达到 30% 之间的 6.5 h 内,电泵功率 P_{e2} 约为额定功率的 55%,取 1 800 kW 其耗功为:

$$W_{e2} = P_{e2}t = 1\,800 \times 6.5 = 11\,700 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (9)$$

因此,机组启动初期负荷达到 30% 前,采用方案 2 的耗功为:

$$W_2 = W_{e1} + W_{e2} = 4\,800 + 11\,700 = 16\,500 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (10)$$

比较式(7)、式(10)可见,汽泵代替电泵为锅炉上水并不经济。

另外,该厂目前仅 1 期 2 台机组,当 2 台机组全部停机后,启动第 1 台机组时将无辅助蒸汽,仍需用电泵启动。若已经运行 1 台机组,当第 2 台机组启动时,可考虑尽早投入汽泵,停运电泵节约厂用电^[3]。

2.3 方案 3

该机组锅炉无蒸汽推动加热系统,冷态启机只能采用除氧器加热。因此,机组冷态启机初期锅炉上水、锅炉冲洗及提高锅炉温度至汽轮机转速达到 2 900 r/min 暖机期间采用电泵,之后投入第 1 台汽泵至机组负荷达到 30%。锅炉上水初期与方案 2 相同,采用式(8)计算结果。从第 4 个小时开始,同样停电泵约 2.5 h。

在电泵重新启动至主机 2 900 r/min 暖机之间 5.5 h 内,电泵耗功为:

$$W_{e3} = P_{e3}t = 1\,800 \times 5.5 = 9\,900 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (11)$$

投入第 1 台汽泵至机组负荷 30% 期间,汽泵耗功为:

$$W_{e4} = P_{e4}t = 3\,873 \times 30\% \times 1 = 1\,161.9 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (12)$$

因此,机组启动初期负荷达到 30% 前,采用方案 3 的耗功为:

$$W_3 = W_{e1} + W_{e3} + W_{e4} = 4\,800 + 9\,900 + 1\,161.9 = 15\,861.9 \text{ (kW} \cdot \text{h)} \quad (13)$$

另外,采用汽轮机 2 900 r/min 暖机时投运第 1 台汽泵,机炉整体水循环完全建立;运行操作量相对减少,便于进行小汽轮机的启动操作。

综上所述,该机组启动初期给水泵组采用方案 3 的经济性、安全性最佳。

3 结 语

随着蒸汽参数的提高和单机容量的增大,电厂辅机的单机功率也日益增大。因此,当前提高辅机效率,减少辅机能量损失,降低厂用电,已成为电力工业出力挖潜的重要方向^[4]。在机组启动过程中全程采用汽泵为锅炉上水是火力发电厂节能减排技术中一个新的研究方向,有一定的发展前景。但是在应用的过程中,应充分考虑各电厂的实际情况,慎重而全面地分析采用新技术对机组经济性、安全性及机组寿命的影响。此外,不适用此技术的机组也可适当采取合理有效的电、汽动给水泵给水优化方案,以提高机组的经济性、安全性。

[参 考 文 献]

- [1] Q/HNDD-101.01.01-2007, 锅炉运行技术标准[S]. Q/HNDD-101.01.01-2007, The operation technology standards of boiler[S].
- [2] 阮大伟. 给水泵最小流量的技术分析及其控制系统改造[J]. 热力发电, 1999, 28(4): 55-57. RUAN Dawei. The technical analysis and control system transformation of feedwater pump in minimum flow[J]. Thermal Power Generation, 1999, 28(4): 55-57.
- [3] 易立强. 汽动给水泵采用备用汽源冲转的可行性和经济性分析[J]. 热力发电, 2005, 34(10): 87-88. YI Liqiang. Feasibility and economic behavior analysis of rotation impulsing for steam driven feed water pump by using the standby steam source to shorten starting up time [J]. Thermal Power Generation, 2005, 34(10): 87-88.
- [4] 洪波, 杨自奋, 高鄂. 动态规划法在火电厂给水泵优化运行中的应用[J]. 热力发电, 1996, 25(5): 25-30. HONG Bo, YANG Zifen, GAO E. Application of dynamic programming in optimum feedpumps in fossil power plants [J]. Thermal Power Generation, 1996, 25(5): 25-30.