# 大型火电站给水泵组的配置与布置分析

余丽萍
（中国电建集团上海能源装备有限公司，上海　201316）

**摘　要**：大型火电站给水泵组选择不同的配置类型、调速方式和布置方案，对厂用电、辅机耗功及机组经济性等会形成不同影响。对国内外和实际工作中给水泵组配置、布置方案进行了技术、经济比较，认为单台 100% 容量的汽动给水泵作日常运行配置、主给水泵和前置泵同轴异位布置是较为合理的选择。

**关键词**：火电站；汽水系统；给水泵；汽动泵；电动泵；前置泵；节能降耗；变速调节
**中图分类号**：TK 223.5$^{+}$2　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：1674－1951(2017)12－0004－04

## 0　引言

大型火电站汽水循环系统是机组工艺流程的关键环节，给水泵组是汽水系统的重要辅机之一。随着近年来火电机组装机容量及规模的持续不断增大，给水泵驱动功率已占到主机功率的 3% 左右[1]，是电站耗电量最多的辅助设备，其运行的可靠性与经济性尤为重要，泵组的投资在整个电站中也占有较大比例，因此，给水泵组的地位可与三大主机相提并论。

在超低排放、节能降耗等产业政策大趋势下，给水泵的变速调节应用广泛，通过调节给水泵转速，调整泵的性能曲线，改变供向锅炉的给水流量和压力，由泵的中间抽头向再热器提供减温水或事故喷水，适应单元机组的启停、负荷变化、定压和滑压复合运行，满足电网对机组调峰、调频、变负荷的需要，提高机组变工况运行的经济性和安全、可靠性。给水泵组的调速配置主要有汽轮机驱动给水泵调速、电动机驱动液力偶合器调速和交流电动机变频调速等[2]。第 1 种调速方式又可根据机组要求的不同，配置不同容量和台数。所以，同一类型机组，给水泵组的配置类型和布置方案也有多种可供选择。选择不同的驱动装置、调速方式和布置方案，会形成对厂用电、辅机耗功及机组经济性要求的不同差异[1]。

## 1　给水泵组的配置类型

我国大型火电站主给水泵大多采用工业小型汽轮机（以下简称小汽机）驱动方式，工业小汽机以主汽轮机抽汽为介质驱动给水泵旋转，直接利用动能，不耗费厂用电负荷，热效率高。改变小汽机的进汽量进行变速调节，能充分适应大机组负荷变化，减少节流损失。从目前电网按发电机端输出功率进行调度的特点来看，汽动给水泵（以下简称汽动泵）比电动给水泵（以下简称电动泵）节约了占主机功率 3% 左右的厂用电，可增加机组的净供电量，提高经济性和能源利用效率。

### 1.1　国内大型火电机组给水泵组典型配置

结合中国电建集团上海能源装备有限公司生产的 2 000 台套以上给水泵组配置分布情况，分析国内大多数大型火电机组给水系统配置现状如下。

#### 1.1.1　300 MW 机组等级

泵组配置 1 台 100% 容量的汽动泵作为运行泵，1 台 50% 容量（相对于最大给水量，下同）的电动调速给水泵（以下简称电调泵）作启动备用泵[3]，有华能珞璜电厂、淮阴电厂、达拉特电厂等；泵组配置 2 台 50% 容量的汽动泵并联运行，1 台 50% 容量的电调泵作启动备用，有云南开远电厂、哈尔滨热电厂、四川白马电厂等；泵组配置 3 台 50% 容量的电调泵作主给水泵，机组在额定负荷下，2 台给水泵运行，1 台泵备用[4]，备用容量大，系统布置简单，有太原第二热电厂、山西宏光电厂等。

#### 1.1.2　600 MW 机组等级

给水系统常规为单元制，给水泵组一般配置为 2 台 50% 容量的汽动泵并列运行，另设 1 台 50% 容量或 25% ~35% 容量的启动备用电动泵组，该配置方式运行灵活，不因泵组故障或检修影响主机运行[3]，如华电长沙电厂、安徽宿州电厂、云南黔东电厂等；泵组配置 1 台 100% 容量的汽动泵和 1 台 30% 容量的电动泵，有华电邵武电厂等；泵组配置 3 台 50% 容量的电调泵，如山西漳山电厂、安徽田集电厂二期等；泵组配置 1 台 100% 容量的汽动泵和 1 台 50% 容量的电动泵，有濮阳龙丰电厂、宁夏枣泉电厂等；亚临界机组泵组配置 2 台 50% 容量的汽动泵和 1 台 15% 容量的电动泵，有新疆北一电厂、华

**收稿日期**：2017－11－30；**修回日期**：2017－12－06

电常德电厂、金元茶园电厂等;泵组配置 2 台 50% 容量的汽动泵,并且和驱动给水泵的小汽机配置各自独立的凝汽器[3],不另设电动泵,有华电贵港电厂、山西华光电厂等。

1.1.3　1 000 MW 机组等级

给水泵组配置一般为 1 台 100% 容量的汽动泵,另设 1 台小容量的启动电动泵,有华电长兴电厂、国电哈密大南湖电厂、华电邵武电厂三期等;泵组配置 2 台 50% 容量的汽动泵和 1 台 30% 容量的电动泵,有华电句容电厂、华润贺州电厂、中电投平圩电厂等;也有泵组配置 2 台 50% 容量的电调泵和 1 台 30% 容量的电动泵。

### 1.2　国外大型火电机组给水泵组配置

目前欧、美、日大型火力发电机组给水系统配置现状:大型机组泵组一般配置 1 台 100% 容量的汽动泵作主泵,2 台 50% 容量的电动泵作启动备用,多泵联合运行[1],如英国 500 MW 机组、法国 600 MW 机组采用 1 台 100% 容量的给水泵作主泵,2 台 50% 容量或 2 台 25% 容量的电动泵作备用泵;德国近年来在 1 000 MW 级超(超)临界机组给水泵组均采用 1 台 100% 容量的汽动泵作日常运行,2 台 40% 容量的电动泵作启动备用,典型代表有 NIEDERAUSSEM 电厂 K 机组、Lippendorf 电厂、Boxberg 电厂和黑泵电厂[5];德国目前在大型超(超)临界火电技术领域具有领先优势,其 800 ~ 1 000 MW 等级发电机组采用 100% 容量给水泵组的运行相当稳定[5],与美国 Mountaineer 电厂 1 300 MW 机组相当。美国 1 000 MW 超超临界机组泵组多配置 2 台 50% 容量的汽动泵、2 台 60% 容量的汽动泵或 1 台 100% 容量的汽动泵作日常运行,不设电动泵组[1],如 AEP 集团有 6 台 1 300 MW 超临界机组配置了 1 台 100% 容量的汽动锅炉给水泵组,不设置电动泵,分别是 Gavin1, Gavin2, Amos3, Rockport1, Rockport2 电厂,Mountaineer1[5],至今运行情况良好。AEP 集团早在 20 世纪 50 年代末就采用单台给水泵,成功经验丰富[5]。日本大多数火电厂 600 MW 机组典型的泵组配置情况与中国传统的配置方案一样,为 2 台 50% 容量的汽动泵作日常运行,1 台 25% 容量的电动泵作启动用[1]。

### 1.3　国外大型机组单台给水泵组配置

美国 Mountaineer 电厂于 1980 年 9 月投入运行,执行电网调峰任务,负荷控制在 500 ~ 1 325 MW 之间,运行至今,虽曾因给水泵及小汽机附属设备引起 6 次机组强迫停机,但给水泵未发生过重大故障[5]。

综上所述,通过国内外大型机组给水泵组配置的一般分析比较,单台 100% 容量的汽动泵作日常运行,配小容量泵作启动的模式,是给水泵组配置的一个推荐发展方向。

## 2　给水泵组布置方案比较

下面根据实际工作中的案例,分析各种布置方案的差异。

### 2.1　汽动泵组布置

大型火电站汽动泵组一般采用多泵联合运行方式,在容量上有 1 台 100% 容量的汽动泵或 2 台 50% 容量的汽动泵等配置方式;在排汽冷却方式上有湿冷、间接空冷和直接空冷 3 种方式;在布置上有汽机房 0 m 层布置、运转层布置和汽机房 0 m 层、运转层分层布置 3 种方式;在运行方式上有给水泵与前置泵串接的单套给水运行系统,给水泵与电动前置泵串接、两套串接再并联的双套给水运行系统等[4]。

2.1.1　主给水泵与前置泵异轴布置(方案 1)

给水泵由调速型工业汽轮机直接驱动,布置在汽机房运转层,电动机直接驱动前置泵单独布置在 0 m 层,目前国内的 300 ~ 1 000 MW 机组多采用此种布置方式。此方案布置可不设暖泵系统,机组启动前仅需开启前置泵 20 ~ 30 min,保证上下筒体温差 15 ℃ 以下,即可直接启动主给水泵。轴向距离短,维护方便。但是,由于前置泵驱动需独立的动力源,需要配置前置泵电机和配套电气系统,大大增加了投资和运行厂用电。

2.1.2　主给水泵与前置泵同轴异位布置(方案 2)

小汽机采用双出轴,一端驱动主给水泵,另一端通过减速箱驱动前置泵,布置在汽机房运转层。该布置方式虽然省去了电动机,节省了厂用电,但因与主泵一同布置在运转层,除氧器至前置泵入口的静压头降低,使得有效汽蚀余量(NPSHa)大大降低,泵组的安全性不如方案 1,且前置泵由小汽机一同带动,故无法预先开启前置泵保证主泵筒体温差,所以,此种方案下建议设置简易的预暖系统。

前置泵是否同轴对除氧器布置层高的影响:当机组在锅炉最大连续蒸发量(BMCR)工况甩负荷时,前置泵入口 NPSHa 会出现最小值,其小于必须汽蚀余量(NPSHr)时,前置泵会发生汽蚀。为避免出现这种情况,除氧器布置层高选择时应确保 BMCR 工况甩负荷运行时前置泵入口压力满足 NPSHr 要求。常规布置中,给水泵与汽轮机布置在汽机运转层,前置泵由电动机带动布置在汽机房的 0 m 层,除氧器层标高 24 m,但是当前置泵由给水泵汽轮机同轴驱动布置在运转层时,要保证前置泵的汽蚀余

量,经暂态计算,除氧器层的标高提高到30 m。其他条件一致时,同轴比不同轴布置的土建费用有了增加[6]。

2.1.3 主给水泵与前置泵同轴邻位布置(方案3)

主给水泵采用双出轴,一端连接小汽机,另一端通过减速箱连接前置泵(如图1所示),布置在汽机房运转层。该布置方式与方案2有相同的优缺点,且检修也较为不便,因目前大容量机组给水泵均采用双壳体筒体泵,在检修时轴向需要一定的空间来抽取芯包(建议检修距离约4 m),在检修时需拆去主泵与前置泵间的减速箱和联轴器,大大增加了检修时间。前置泵与主泵同轴布置,省去了电动机,因而每台机组厂用电可减少1 200 kW,节省运行费用。某电厂2×660 MW超临界纯凝燃煤发电机采用单机2×50%容量的汽动泵组[6],前置泵异轴、同轴布置比较见表1。

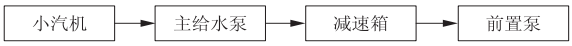


**图1 主给水泵与前置泵同轴邻位布置示意**

按表1数据,2台机组年节约103.70万元[6],但汽动泵初投资较大,与电动泵相比设备较多,各种设备及管道占用场地面积大。

## 2.2 电动泵组布置方案[7]

电动泵不但初投资小,而且装置简单、运行可靠,同时布置灵活、占用场地小、检修方便,在这些方面比汽动泵要好,但机组功率变大后,启动容量相应增大,厂用电量会相应增加。目前的电动泵功率一般不超过6 MW,限制了电动泵在大功率机组上的使用。电动泵组采用液力偶合器调速还是以变频交流电动机变频调速,必须针对不同机组的不同需求,考虑可靠稳定性和调速准确性等特点,分类适配,设计选择经济合理的调速装置。

2.2.1 电机直接驱动给水泵布置

电机直接驱动给水泵,大型电机的同步转速只有1 500 r/min和3 000 r/min,受此限制,该方案给水泵只能作启动冲管用。

2.2.2 采用液力偶合器调速的布置

采用液力偶合器调速的电动泵组主要有电动机、主给水泵、液力偶合器、前置泵等组成。目前国内外主流布置形式如图2所示。

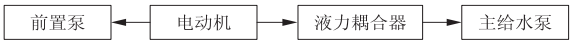


**图2 国内外主流布置形式**

电动泵组的给水泵由电动机一端通过液力偶合器驱动,前置泵由电动机另一端同轴驱动;前置泵、给水泵、电动机、液力偶合器安装于各自的底座,固定在一个共同的混凝土基础上,布置在汽机房0 m层。液力偶合器作为节能设备,在电动机转速不变的情况通过转矩的传递而改变给水泵转速,这种方式工作平稳,能够实现无级变化输出转速。给水泵在部分负荷工况下,与节流式相比节省了相当大的功率损失。电动机启动电流小,可选用较小容量的电动机,节省投资。工作轮间无机械联系,通过液体传递扭矩,隔振效果良好,能大大减缓两端设备的冲击负荷。

根据液力偶合器效率特性曲线,偶合器传动效率等于其传动比,从偶合器工作轮本身来讲,长期处于高传动比下工作,才能获得最佳经济效益[8],如需长期在降负荷工况运行是不经济的。电泵组效率计算公式如下:

$$\eta_{泵组}=\frac{N_{前置泵}\times\eta_{前置泵}+N_{主泵}\times\eta_{主泵}}{N_{前置泵}+\dfrac{N_{主泵}}{\eta_{耦合器}}}\times\eta_{电机}\times 100\%\ 。$$

可以看出,在降负荷工况运行时,电泵的整体效

**表1 某2×660MW机组前置泵异轴、同轴布置比较[6]**

| 项目 | | 前置泵布置 | |
|---|---|---|---|
| | | 异轴 | 同轴 |
| 热耗及差价 | 热耗率验收(THA)工况热耗差/[kt·(kW·h)$^{-1}$] | 基准 | 9 |
| | 热耗率验收(THA)工况发电标准煤耗差/[g·(kW·h)$^{-1}$] | 基准 | 0.34 |
| | 年利用小时数/h | 4 500 | 4 500 |
| | 单台660 MW机组年标准煤耗差/(t·a$^{-1}$) | 基准 | 1 009.8 |
| | 单台660 MW机组年标准煤耗差价/万元 | 基准 | 77.75 |
| 厂用电耗及其差价 | THA工况单台机组前置泵轴功率/kW | 基准 | -1 200 |
| | 单台660 MW机组前置泵每小时的运行电耗差价/元 | 基准 | -288 |
| | 年利用小时数/h | 4 500 | 4 500 |
| | 单台660 MW机组2种配置方案每年的运行电耗差价/万元 | 基准 | -129.60 |
| 每台机组年收益合计/万元 | | 基准 | 51.85 |

率很低。

2.2.3　采用交流电动机变频调速的布置

交流电动机变频(以下简称变频电机)调速是一种无附加转差损耗的高效调节方式,在火电机组给水系统中应用,可根据负荷变化高效地改变出力,节约大量电能,获得可观的经济效益[2]。这种调速方式的优点在于可使给水泵平稳无级变速,启动能耗低,调速效率高,调速范围较宽,动态响应速度快,可实现给水泵软启动并始终处于高效点运行,具有显著的节能效果[4]。变频电机的布置示意如图 3 所示。

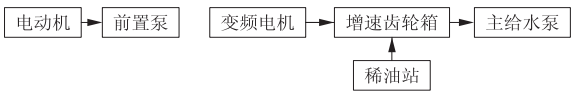


**图 3　变频电机的布置示意**

可以看出,采用变频电机的布置较为复杂,主要原因如下:在低转速工况下,变频电机转速较低,如变频电机采用双出轴与前置泵直连,前置泵出口压力就不能满足主泵的 NPSHr,会发生汽蚀。故前置泵需单独配置小电机,使前置泵转速保持在 2 985 r/min。变频电机最高变频转速在 3 600 r/min 左右,若要满足主泵的工作转速(5 000 r/min),需布置增速齿轮箱,并需加入稀油站为泵组提供润滑油。另外,变频调速设备最大的缺点是技术复杂,初始投资较高,尤其是高压变频器,并且对电网有干扰,需要较高水平的使用和维护技术[2];受环境温度、湿度、振动等因素影响较大,易受干扰不稳定,柜内元器件散热要求高,相对可靠性低,还不能在大型机组上广泛应用。

## 3　结束语

给水泵组的配置与布置方案是业主与给水泵组制造厂重点讨论的内容,电站给水系统的选型配置、设计布置以及节能改造,应充分综合系统的给水压力、除氧器安装高度、给水泵汽蚀、机组调峰需求、检修方便、初期投资和后续投入、运行费用、安全可靠性和经济效益等要素,分析研究运行实例和节能效果,考虑经济实用价值和技术先进性,选择配置最优、最合理的给水泵组配置与布置方案。

**参考文献:**

[1]沈坚,黄兆华,陈昕,等. 1 000 MW 火电机组给水泵组配置对机组运行的影响[J]. 节能,2013,32(1):39 – 42.

[2]赵力. 电厂给水泵变频改造研究[D]. 保定:华北电力大学,2014.

[3]石磊. 600 MW 亚临界机组给水系统优化[J]. 中国电力,2006,39(8):37 – 40.

[4]曹雪源. 电站锅炉给水系统变负荷下“协同调节”研究[D]. 吉林:东北电力大学,2014.

[5]俞兴超. 1 000 MW 超超临界火电机组给水泵配置及分析[J]. 华东电力,2008,36(9):90 – 94.

[6]曹钖. 汽动给水泵组的前置泵同轴布置经济性分析[J]. 科技创新与应用,2013(26):115.

[7]王勇. 330 MW 机组电动给水泵改汽动给水泵的研究与实践[D]. 北京:华北电力大学,2014.

[8]张慧梅,贾同帅. 液力偶合器的性能特点与经济性分析[J]. 内蒙古科技与经济,2006(7):123 – 124.

(本文责编:白银雷)

**作者简介:**

余丽萍(1966—),女,江苏无锡人,高级工程师,从事火电站锅炉给水设备的设计研发工作(E-mail:yulp1126@163.com)。

(上接第 3 页)

## 4　结论

工程验证及煤粉流速调平试验表明,磨煤机出口粉管煤粉流速调平装置灵活可调,能有效地对各支管风粉速度进行在线调平。试验对 A – F 磨煤机进行反复调平后,单个管道的流速相对偏差可控制在 7% 以内,各磨煤机各管道煤粉流速与平均流速的平均偏差可控制在 1% ~5%,较好地解决了锅炉燃烧不均衡的问题。

**参考文献:**

[1]李强,陈敏. 600 MW 亚临界锅炉燃烧优化试验研究[J]. 华电技术,2013,35(1):10 – 15.

[2]熊钟,文震林. 景德镇电厂锅炉一次风系统优化调整[J]. 能源研究与管理,2012(3):93 – 96.

[3]尹民权,高西. 锅炉燃烧工况异常状态诊断分析[J]. 华电技术,2008,30(6): 36 – 39,63.

[4]高峰. 锅炉热经济性燃烧调整分析[J]. 锅炉技术,2007,38(4):43 – 46,60.

[5]杨兴森. 一次风管内流动特性与流速测量[J]. 仪器仪表学报,2006,27(z2): 1194 – 1195.

[6]何晋,杜瑞铭,聂利辉. 锅炉飞灰含碳量偏高原因分析及处理对策[J]. 热力发电,2003,32(9):32 – 33.

(本文责编:白银雷)

**作者简介:**

吕宏彪(1970—),男,河南平顶山人,高级工程师,从事锅炉技术及设备节能管理方面的工作(E-mail:18538163820@163.com)。