

# 水轮机调速器主配压阀结构分析与特点论述

朱廷忠, 曹维福, 王丽萍

( 东方电机控制设备有限公司, 四川 德阳 618000)

**摘要:** 介绍了水轮机调速器主配压阀的原理, 分类叙述了中国市场上主流的大型主配压阀结构, 说明了其不同之处以及对使用的影响, 希望能对水电站调速器选型做一些参考, 促进中国水电调速事业健康发展。

**关键词:** 调速器; 主配压阀; 选型

中图分类号: TM312 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2018)02 - 0063 - 05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.02.015

## Structure Analysis and Characteristic Discussion on Main Distribution Valve of Hydro - turbine Governor

Zhu Tingzhong, Cao Weifu, Wang Liping

( Dongfang Electric Machinery Co., Ltd., Deyang 618000, Sichuan, China)

**Abstract:** The working principle of main distribution valve of hydro - turbine governor is introduced, and their structures and performances are described by classification as well as their differences and influences, which will give some reference for the type selection of governor so as to promote the healthy development of governor system.

**Key words:** governor; main distribution valve; type selection

### 0 引言

调速器是水轮发电机组中的重要控制设备, 主配压阀是调速器的最核心部件之一, 其性能和可靠性直接关系到电能质量和机组的可靠运行; 因此选择一款性能优秀的主配压阀十分重要。然而因为机组的大小不同、类型不同、保护系统结构不同、电站维护水平不同等因素, 对主配压阀的要求不能一概而论, 合理分析电站需求、选择合适的设备才能发挥出最大的效能。

### 1 主配压阀原理

主配压阀是调速器机械液压系统中的功率级放大器, 液压原理是 1 只超大型 O 型机能的三位四通伺服换向阀, 结构上它是 1 只四边滑阀, 阀芯的伺服换向控制着接力器开/关操作或保持某一位置不动, 如图 1 所示。当阀芯在中间位置时, 换向阀的 P、T、A、B 油口各自封闭, 使接力器能够稳

定在某一位置<sup>[1]</sup>。

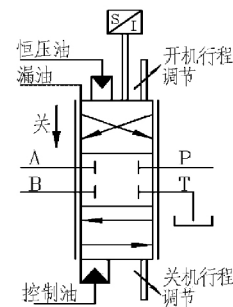


图 1 主配压阀原理

为使接力器快速达到并稳定在指定位置, 主配压阀需要有良好的动态响应性能、回中性能和一定的中位密封性能。根据控制原理不同, 需要采用不同的方式保证活塞快速准确动作和回中; 中位密封性能主要是通过合理设计阀芯与阀套(或壳体)之间的径向间隙和一定的轴向搭叠量来实现的, 搭叠量的设计需要兼顾快速响应性能和密封性能, 径向间隙也要保证活塞能够自由灵活运动。

主配压阀活塞(阀芯)的伺服运动都是由液压力来推动的, 一般采用单腔控制, 原理与单作用液压

缸类似,即一端作为控制腔,另一端采用恒压腔或者弹簧提供阀芯复位的推力,控制油的液压作用力通过辅助接力器或者活塞作用于主配压阀活塞,推动活塞运动。主配压阀活塞也有采用双腔控制的,如南瑞的ZFL系列主配压阀。

## 2 主配压阀结构

### 2.1 主配压阀壳体

主配压阀一般由壳体、衬套、活塞3个主要部件。壳体作为主体件,是整个阀体的流道和对外接口,一般采用铸件或者锻件制造,铸件流道特性好,可用于较复杂的结构,价格合理,广泛应用于各大厂家的调速器产品。

### 2.2 主配压阀衬套

主配压阀衬套采用高合金钢锻造后加工,经热处理后表面主配压阀渗氮,与活塞配合的内圆面经过磨削加工,具有很高的加工精度、表面硬度和良好的耐磨性能。衬套是空心回转体零件,可以方便地在径向加工出各种大小的窗口,使主配压阀取得与电站的接力器容量相匹配动态特性;通过改变开孔形状,可以调节流量增益,使主配压阀更好地适应微调和大波动调节等不同工况。衬套的窗口端面经过磨削加工,可以精确控制衬套与活塞的搭叠量,提高调节性能。在衬套和壳体之间设置了径向密封,实现主配压阀各腔液压隔离。

### 2.3 主配压阀活塞

活塞是主配压阀的运动部件,一般采用优碳钢锻造后加工,经调质、表面淬火后精磨,具有很高的加工精度、较高的表面硬度和优良的综合机械性能。作为较大的伺服运动件,活塞需要有较高的加工圆度、同轴度以及装配同轴度。由于活塞的伺服运动特性,活塞各腔之间都采用间隙密封,通过漏油孔将最端部的漏油接到油箱,因此多数主配压阀上都设置了漏油口。

### 2.4 无衬套结构主配压阀

在20世纪90年代,也出现了一些取消了衬套的主配压阀,由阀芯和壳体直接相配合。无衬套结构的主配压阀径向尺寸减小,能够减少活塞与衬套之间的压力损失。壳体加工难度加大,也难以获得与衬套同样的性能。

### 2.5 主配压阀附件

主配压阀主要任务是功率放大,接受先导控制信号完成开机、运行、停机、紧急停机等功能。为了满足调节需要还配置了开/关机时间调整及锁紧、阀芯位置传感器、主配压阀不动接点、中位调整装置等构件,这些构件集中布置在主配压阀端部的狭小空间,合理的设计对装配、安装、维护、检修十分重要。

## 3 主配压阀分类

### 3.1 按布置型式分类

根据主配压阀布置型式可以分为立式和卧式。立式主配压阀因活塞径向受力平衡,拆装方便而应用广泛,市场上除GE公司FC阀外多采用立式结构。图2为FC卧式主配压阀结构图,这种卧式主阀壳体采用铸件结构,对外主要油口都分布在主配压阀壳体底部,采用支撑式安装,主配压阀在支撑面以上,管路部分隐藏在支撑面以下;主配压阀上的开关机时间整定、主配压阀位移传感器等机构布置在阀体两端,空间相对宽松,日常维护/调整较方便。

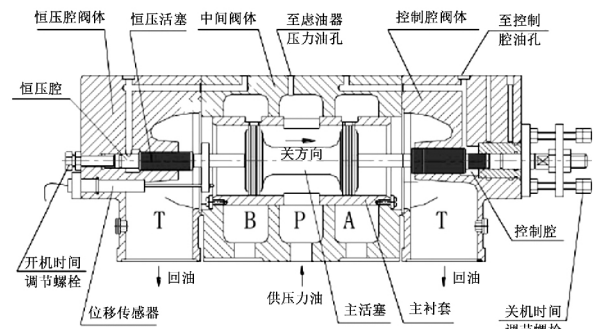


图2 GE公司FC卧式主配压阀

### 3.2 按活塞结构分类

根据四边滑阀阀芯的工作边分布可把主配压阀活塞分为两阀盘结构和三阀盘结构,两阀盘结构主配压阀的4个工作边分布在主配压阀活塞的2个阀盘上;相应的三阀盘结构主配压阀的4个工作边分布在3个阀盘上,包括中间与压力油口相对的中间阀盘的2个工作边和靠近中间阀盘的另2个工作边。两阀盘结构因为布置紧凑、主配压阀轴向尺寸小、阀芯运动部件重量轻、运动灵活响应速度快而受到青睐,市场上绝大多数主配压阀都属于两阀盘结构;三阀盘结构也应用在Alstom DN 80及更小的主配压阀上。

### 3.3 按活塞控制原理分类

根据阀芯液压伺服控制原理以及回中方式可以

分为电控回中、液压反馈回中、弹簧对中、定中缸对中等,各种对中形式结构差异较大,配置不尽相同,也形成了不同主配压阀的功能和性能的差异,下面将具体展开分析。

### 4 几种控制原理的主配压阀

#### 4.1 电控回中主配压阀

电控回中控制采用电气柜的控制信号,通过电液转换器精确控制主配压阀位置,这种控制方式采集主配压阀位移信号并参与控制,对主配压阀活塞进行闭环位置伺服控制,主配压阀的开启/关闭/回中都由电气控制,典型原理图如图3所示。这种控制方式用于 Andritz、Alstom(图4左)、GE、东方电机(图4中)和南瑞等公司的 MDV 系列主配压阀。

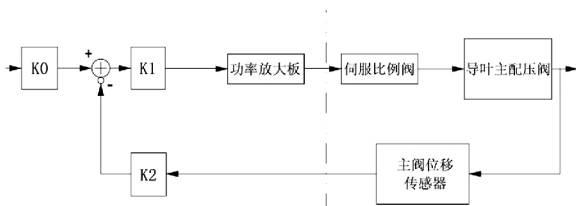


图3 典型电控回中原理

这种控制方式的特点是:主配压阀关闭方向加载恒液压压力,控制腔的压力作用面积大于恒压腔的面积,通过电液转换器改变控制腔的液压油体积来控制主配压阀活塞的伺服运动,活塞的回中依赖于电液转换器和电气控制,主配压阀活塞的控制精度高,动态响应性能好。

HGS-H型主配压阀除采用全自动控制外,还可嵌入液压反馈复中装置——流量反馈阀以实现

主配压阀在手动操作时液压复中,与一般液压反馈复中型主配压阀不同,这种流量反馈阀阀芯采用了液压复位,简化了机械结构,可靠性得到了提高。

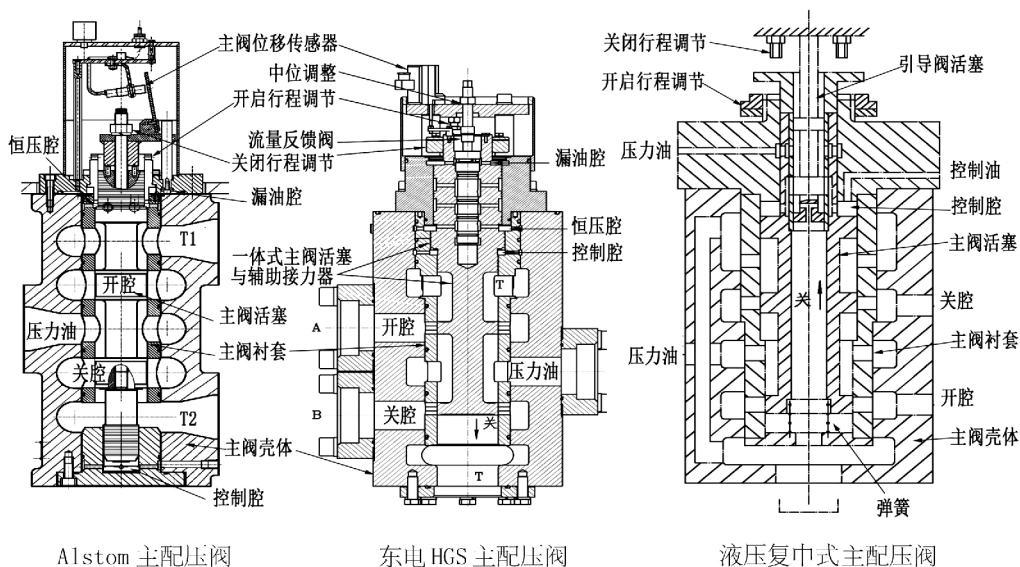
进口的主配压阀一般没有考虑纯手动操作功能和掉电复中功能,在这方面中国处在了领先水平。也可以通过机械结构将进口主配压阀的活塞位移引出外设液压反馈实现自复中,但流量反馈阀的管路无法通过钻孔方式隐藏在主配压阀之中,外部管路复杂。

电气复中的主配压阀当电气控制故障时,活塞的动作规律交由先导液压控制逻辑进行决策,可以切换至纯手动控制使主配压阀复中,也可以将主配压阀控制腔接通回油使主配压阀关闭。

#### 4.2 液压反馈复中主配压阀

液压反馈复中式主配压阀也采用单腔控制,一侧通过弹簧或者恒压加载使主配压阀活塞保持关闭方向的作用力,一个调节任务将要完成时,电气控制停止输出,主配压阀活塞在流量反馈阀(也称引导阀)作用下回复到中间位置。流量反馈阀是一个两位三通伺服换向阀,一般地,流量反馈阀的衬套随着主配压阀活塞一起运动,将主配压阀活塞的位移等量地传递到反馈阀上。当阀芯固定不动时,反馈阀输出一个控制主配压阀活塞与当前运动方向相反的流量信号到控制腔,驱动主配压阀活塞回向中间位置。

这种结构的主配压阀有两种控制方式:一种是将电气控制信号转换成液压流量直接输入到主配压阀的控制腔,反馈阀芯固定不动,如图4右所示,属于流量输入型,这种控制方式的电液转换元件多



Alstom 主配压阀

东电 HGS 主配压阀

液压复中式主配压阀

图4 MDV系列主配压阀

采用比例阀,代表性的产品有能事达、长控、三联等;另一种控制方式是将电气控制信号转换成位移信号加载在流量反馈阀的阀芯上,阀芯具有复中功能,一个调节任务将要完成时,阀芯复中驱动主配压阀活塞复中,这种方式常用于能事达、长控、三联步进/伺服电机型主配压阀,如图5所示。

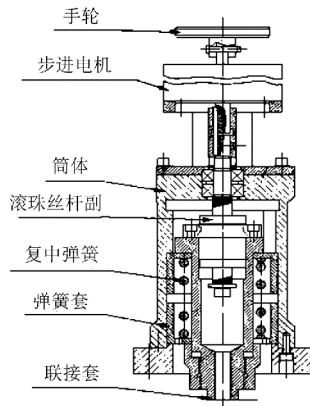


图5 主配压阀的位移输入

电机输出的角位移信号经过滚珠丝杠转换成直线位移信号连接到反馈阀阀芯,在丝杠的螺母与反馈阀阀芯之间设置了弹簧复中机构,复中机构由复位弹簧、两端的弹簧座、弹簧座限位装置等组成。复位弹簧通过两端的弹簧座将螺母始终推向中间位置,只有当施加外部控制的时候螺母才会偏离中位。螺母、引导阀阀芯、主配压阀活塞,它们通过机械结构耦合在一起,实现自复中<sup>[2]</sup>。

这种主配压阀的特点是:复中与外部控制信号不相关,流量反馈阀始终加载在主配压阀活塞的控制腔,当外部控制信号消失,自动实现复中;反馈阀是主配压阀活塞伺服运动的关键元件,参与伺服控制。主配压阀的动态性能与外部输入与反馈流量耦合程度相关。

### 4.3 弹簧对中主配压阀

弹簧对中主配压阀两端都装有对中弹簧,弹簧力通过弹簧座作用于主阀活塞上,在主配压阀衬套上设有弹簧座限位装置,在没有外部控制输入时,弹簧推动弹簧座压紧在限位止口,使活塞复位到中间位置。这种结构见于南瑞ZFL系列主配压阀,它采用双腔控制,比例阀两个输出口分别与活塞两端的控制腔相连,紧急停机时需要有压力油通向关机侧控制腔,推动活塞到关闭位置。在主配压阀的顶部,设置了一根与主配压阀活塞相连的伸出杆,用于主配压阀的位移输出以及开关机时间调整。

弹簧复中型主配采用了机械定位,手动操作时,与液压对中一样有较高的定位精度,中位不漂移,容易实现较精确的手动控制;但弹簧相对液压的操作力较小,主配压阀更容易出现卡阻。自动工况下,弹簧对中采用比例阀双腔控制,设置有主配压阀位移传感器,有很高的定位精度和相应速度,但复位弹簧始终会给主阀活塞施加一个与控制方向相反的阻力,将主配压阀推向中间位置。

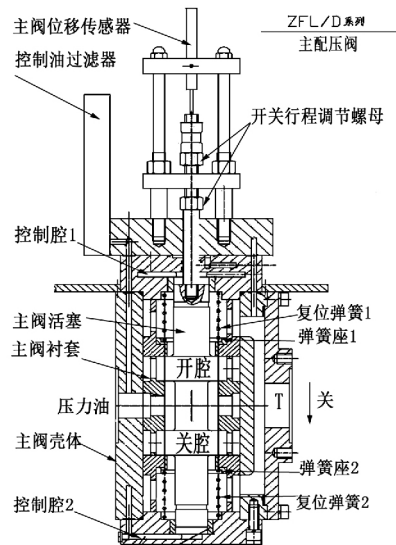


图6 ZFL型主配压阀

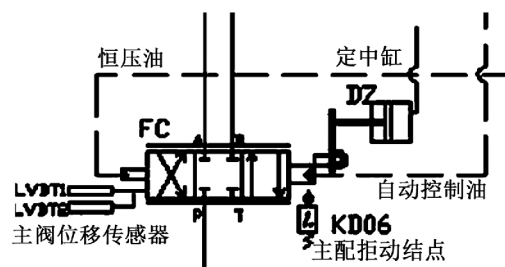


图7 MDV型主配压阀原理

### 4.4 定中缸对中主配压阀

定中缸结构主配压阀采用单腔液压控制,电液转换器采用比例阀,另一腔通恒压油,自动工况下由电气控制自动回中,定中缸仅用于手动控制。手动工况下,控制腔接通回油,恒压腔液压力将主配压阀推向关机一侧,定中缸活塞伸出限制主阀活塞行程,使活塞停留在中间位置。当需要关闭操作时,收回定中缸活塞,开启时向主阀控制腔通压力油,开启结束又接通回油。该结构实现了主配压阀复中,能够完成手动控制功能,但在开启、复中、关闭过程中,对控制腔和定中缸之间来回切换操作,比较复杂,不利

于实现较为精确的纯手动控制。

## 5 国产主配压阀现状

目前中国在主配压阀选材、加工、热处理上面具有十分成熟的技术和丰富的应用经验,拥有一批较为成熟的产品,主配压阀通径系列涵盖了从 DN50 至 DN250 各种大小,压力等级适用于 2.5 ~ 6.3 MPa,能够满足各大、中、小型水轮发电机组的控制<sup>[3]</sup>。

由于市场方面原因,国产主配压阀质量参差不齐,但从巨型水电机组上应用的产品来进行技术比较,国产主配压阀的活塞、衬套、引导阀等关键部件在选材、热处理、加工精度、使用寿命等方面与国外同类产品相当甚至更高,在壳体铸造工艺和流道设计上较进口产品还有一些差距,但对使用性能几乎没有影响。功能上国内主配压阀拥有集成的流量反馈装置可用于主配压阀掉电复中和手动控制,领先于国外产品;此外国产主配压阀具有齐全的功能附件,布置合理,便于操作。

应当注意,目前掉电复中型主配压阀应用越来越多,需要指出的是掉电复中必须结合电站的保护系统结构,保证极端故障失电时机组能够可靠停机。

## 6 结 语

通过对各种主配压阀结构和原理的了解,用户可以从安全性、控制性能、可靠性等方面结合电站自身情况进行分析,选择合适的主配压阀和控制逻辑,提高水轮机调节水平,保证水轮发电机组长期安全、可靠运行。

### 参考文献

- [1] 李壮云. 液压元件与系统(第二版) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 魏守平. 现代水轮机调节技术 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [3] 吴应文, 余志强, 王丽娟. 我国大型水轮机调速器主配压阀 [C]. 中国水电控制设备论文集, 2009: 222 - 231.

作者简介:

朱廷忠(1984), 工程师, 长期从事调速器液压控制系统设计和研究。

(收稿日期: 2017-09-15)

(上接第 28 页)

- [3] 丁明, 王伟胜, 王秀丽, 等. 大规模光伏发电对电力系统影响综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 1 - 14.
- [4] Pingzhou Tang, Di Chen, Yushuo Hou. Entropy Method Combined with Extreme Learning Machine Method for the Short-term Photovoltaic Power Generation Forecasting [J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2015(89): 243 - 248.
- [5] Honglu Zhu, Xu Li, Qiao Sun, et al. A Power Prediction Method for Photovoltaic Power Plant Based on Wavelet Decomposition and Artificial Neural Networks [J]. Energies, 2016, 9(1): 1 - 15.
- [6] 阳霜, 罗滇生, 何洪英, 等. 基于 EMD-LSSVM 的光伏发电系统功率预测方法研究 [J]. 太阳能学报, 2016, 37(6): 1387 - 1395.
- [7] 赵唯嘉, 张宁, 康重庆, 等. 光伏发电出力的条件预测误差概率分布估计方法 [J]. 电力系统自动化, 2015, 39(16): 8 - 15.
- [8] Wang Yufe, Sun Lu, Xue Hua. Photovoltaic Output Power Chaotic Characteristic and Trend Prediction Based on

the Actual Measurement Data [C]. Proceedings of the 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, 2016, 1(1): 326 - 331.

- [9] Chen Jun - Ma, Wang Bing, Lu, Zhou - Xin, et al. Photovoltaic Power Generation Prediction Based on MEA - BP Neural Network [C]. 2017 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation, 2017, 1(1): 387 - 392.
- [10] 王守相, 张娜. 基于灰色神经网络组合模型的光伏短期出力预测 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 37 - 41.
- [11] 熊志斌. ARIMA 融合神经网络的人民币汇率预测模型研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2011(6): 64 - 76.
- [12] 周明, 聂艳丽, 李庚银, 等. 基于小波分析的短期电价 ARIMA 预测方法 [J]. 电网技术, 2005, 29(9): 50 - 55.

作者简介:

詹仲强(1987), 硕士研究生, 主要从事新能源并网技术研究。

(收稿日期: 2017-12-10)