

中国水力发电工程学会水电控制设备专委会学术会议

2004

中国水电控制设备 论文集

主编 孔昭年



黄河水利出版社

中国水力发电工程学会水电控制设备专委会学术会议

2004 中国水电控制设备论文集

主编 孔昭年

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

2004 中国水电控制设备论文集 / 孔昭年主编. — 郑州:
黄河水利出版社, 2004. 10
ISBN 7-80621-827-0

I. 2… II. 孔… III. 水力发电站—自动控制设备—
学术会议—文集 IV. TV734-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 093188 号

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话及传真: 0371-6022620

E-mail: yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位: 黄河水利委员会印刷厂

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 31

字数: 713 千字

印数: 1—1 500

版次: 2004 年 10 月第 1 版

印次: 2004 年 10 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7-80621-827-0/TV·368

定价: 60.00 元

为我国大型骨干水电
厂控制设备的国产化
努力工作

周大真
二〇〇四年九月

2004 中国水电控制设备学术讨论会组织委员会

名誉主任委员:	邴凤山	中国水力发电工程学会秘书长
主任委员:	杨晓东	水电控制设备专委会主任委员
		中国水利水电科学研究院副院长
执行委员:	孔昭年	中国水力发电工程学会理事
		水电控制设备专委会常务副主任
委	员:	秦汉军 广州电器科学院副院长
		贾宝良 长办长江控制设备研究所所长
		邵宜祥 国电南京自动化研究院电控所总工
		冯士芬 中国科学院等离子物理所所长助理
		王德宽 中国水利水电科学研究院自动化所所长
		杨远生 天津电气传动设计研究所水电分所副所长
秘	书:	田忠禄 中国水利水电科学研究院经营开发部主任

2004 中国水电控制设备学会讨论会论文集编委会

主任委员:	孔昭年	中国水利水电科学研究院
委	员:	李 晃 天津电气传动设计研究所
		曾继伦 国电南京自动化研究院
		吴应文 长办长江控制设备研究所
		黄景湖 水利部天津机电研究所
		龚大元 中国水利水电科学研究院

编辑说明

2003 年秋开始策划 2004 年中国水电控制设备学术交流会议的有关事宜,得到中国水力发电工程学会秘书处领导的大力支持。2003 年末将基本思路与部分科研、制造部门商议,取得共识。征文通知发出后,得到热情回应。本书编委会于 2004 年 6 月 1~3 日在北京召开了工作会议,从总计 80 余篇论文中筛选出 76 篇论文,总体上反映近期我国水电控制设备及其他水电自动化设备技术方面的巨大进展。

为体现对青年科技工作者热心培养、提携的好传统,本书专门辟有新人篇,该篇论文的执笔者中,有一位是河海大学在读的博士生,两位是中国水利水电科学研究院刚刚毕业走上新工作岗位的硕士研究生,另有三位分别是武汉大学和陕西理工大学在读硕士生。他们的论文观点鲜明,文笔流畅,成果颇丰。调速系统和励磁系统篇中共计 48 篇论文,集中探讨了在水轮机调节和水轮发电机励磁调节中遇到的重要技术问题。在编辑过程中传来三峡右岸电站控制设备国内采购的消息,并有幸参加有关技术交流活动,这是我国水电控制设备重大技术进步的国家认可,也是国内数千名水电控制设备科技工作者几十年如一日艰辛拼搏的最重要回报。通读本文集,可感到国家这一决策的正确性。在自动化控制系统及装置篇中的 20 篇论文涉及范围更广。我历来主张从事控制设备的科技工作者要广泛蓄纳其他新开辟专业的成果。技术有专业分工,而计算机技术的发展又使大家的共同兴趣和视点越来越多,这种融会正是现代科技发展的重要特征。特别是农村水电控制设备,要求综合知识的集成度更高。

本文集编入有本会资深专家及重要著述简介。20 多年来,水轮机调速器分专委会学术活动一直不断,这批热心学术活动又学术有成的专家先后到了退休年龄,陆续淡出科技第一线,他们领办的科技企业已成为当今水电控制设备重要供货方,他们的成果及著述至今还有着重要的参考和借鉴价值,且桃李满天下。由于各种原因,励磁专委会活动中断了不短的时间,而水电控制设备专委会又成立不久,希望将来有机会将励磁方面的专家更多的补入。入选专家按年龄排序。本书的出版得到水电控制设备厂商的支持,企业支持学会的活动,而学会成员们的成果又为企业新产品的开发开拓了思路,这是一个双赢的平台。

编者希望本书既具有高的学术性,又有手册的实用性,望读者反馈宝贵意见。

编 者

2004 年 8 月于北京木樨地

目 录

工作研究及最新动态

水轮机调节技术的发展及展望·····	孔昭年 吴应文 饶培棠(3)
基于 PFC 的发电机组频率电压综合控制装置·····	熊迪祥(10)

新人篇

基于逆控制方法的水力机组非线性控制·····	方红庆 沈祖诒 邓磊等(21)
电力生产企业资源管理及 Agent 技术的运用·····	王峥瀛 王桂平 孔昭年(25)
WAP 技术在水情测报系统中的应用·····	张颖琦 孙增义 孔昭年等(30)
基于 RBF 协联的水轮机 PP41 步进式双调整调速器·····	吴罗长 南海鹏 余向阳(34)
用改进遗传算法优化水轮机调节系统单神经元 PSD 控制参数 ·····	潘峰 蔡维由 陈光大(39)
基于 MATLAB 的水轮机神经网络模型仿真·····	李萍 蔡维由 卢万里等(45)

水轮机调速系统篇

逻辑插装技术在水轮机调速器中的应用问题探讨·····	张建明 张治宇 刘同安(53)
步进电机-凸轮直控主配压阀式调速器电液随动系统的研制 ·····	杨远生 刘卫亚 刘晓鹰(57)
BWST 步进电机 PLC 调速器在八盘峡水电厂的应用·····	刘晓鹰 刘卫亚 张吉川(62)
冲击式水轮机调速器的发展及研制·····	刘卫亚 杨远生 张振中(68)
基于 GPRS 的调速器远程调试维护系统·····	魏伟 蒋克文 蔡晓峰(72)
插装阀式水轮机调速器的应用·····	陈东民 蒋克文 陈登山(76)
水轮机调速器液压系统仿真研究·····	曾继伦 陈东民 李建华等(79)
百龙滩水电厂水轮机调速系统的改造·····	蔡卫江(86)
水轮机二次型最优控制系统研究·····	张江滨 杨晓萍 焦尚彬(92)
步进电机在 PCC 调速器中的应用·····	余向阳 吴罗长 姚李孝(99)
PCC 可编程计算机控制器在水轮机控制系统中的应用·····	周平(104)
响洪甸抽水蓄能水轮机调速器特点及现场试验·····	周平 金守迁(111)
基于 IPC 工控机的大型贯流式微机调速器研制·····	邬廷军(121)
全液控电液随动系统研制开发及应用·····	唐旭(126)
双冗余 PCC 步进式调速器·····	周志军 申建亮(132)
自动复中无油高精度电-位移转换器·····	刘钰 林昌杰 高文进等(138)
NEYRPIC 调速器在三峡左岸电站的应用及其特点分析·····	余志强 张辉 陶克(142)
三峡左岸电站调速系统液压冗余电液转换器问题分析与解决方案·····	王广宇(148)

采用可编程计算机(PCC)的水轮机调速器和同步发电机励磁装置

.....	潘熙和	严国强	张祖贵(155)
几种常用电液转换元件的特点对比及其应用.....	王丽娟(163)		
水轮机电液调速器及电/机转换器的频率特性	吴应文	吴浩洋(169)	
高油压调速器.....	郭建业	郭恩	王党生(175)
无油自复中电/机转换器的调速器在电站的应用	向家安	李红	张新华(178)
步进式冗余调速器的可靠性设计.....	吕桂林	陈启明	徐建文(183)
基本型逻辑控制器在水轮机调速系统中的应用.....	吕桂林	李浩(191)	
一种极具推广和使用价值的水轮机微机调速器.....	周泰经	魏守平	吴应文等(196)
明满交替流特征隐式格式法计算模型及工程应用研究.....	陈乃祥	樊红刚(200)	

水轮发电机励磁系统篇

组态编程技术在励磁系统中的应用研究.....	吴国兵	许敬涛	李孔潮等(209)
同步发电机控制方式的探讨.....	王剑	毛宗源(214)	
发电机空载强励灭磁仿真研究.....	尹华杰	许敬涛(219)	
EXC9000 励磁系统简介及调节器模型参数的试验分析	许敬涛	张兴旺	李孔潮等(229)
CAN 总线在励磁系统中的应用	吴国兵	许敬涛	张兴旺等(237)
水轮发电机磁场能量估算新法.....	陈贤明	朱晓东	王伟(242)
三相四线制电力有源滤波器瞬时控制策略研究.....	王彤	朱晓东	曾继伦(250)
晶闸管整流系统同步异常及其对策.....	何长平(258)		
正温度系数电阻电子开关与高能氧化锌非线性电阻在同步发电机灭磁与过电压 保护装置中的研究应用.....	吴光军	王波(263)	
2500A 热管晶闸管整流装置.....	吴光军(269)		
智能自适应微机励磁控制技术研究及试验分析.....	胡国庆	毛承雄	余翔(276)
无刷双馈电机及控制技术应用于小水电的可行性分析.....	王华君(282)		
基于 PCC 的高可靠性励磁调节器	南海鹏	王涛	杨晓萍(287)
新一代励磁调节器的原理及特点.....	胡嘉纯	梅玉林	冯炜等(292)
GER-1000 型中小型水电站发电综合控制装置	王丹	申明	钟敦美等(295)
智能化图形人机交互技术在微机励磁调节器中的应用.....	石雨涛	李朝晖(301)	
发电机微机励磁系统发展趋势及选型参考.....	汪晓兵(307)		
触摸屏在微机励磁系统中的应用.....	刘伟(312)		
基于热管技术的大功率整流装置的可靠性分析.....	罗祥栋	章贤(314)	
大型水轮发电机引进灭磁装置存在问题的探讨.....	冯士芬	彭辉	符仲恩等(323)
由电子式磁场断路器(DDL)组成的冗余灭磁系统在大中型水电站中的设计和应用	符仲恩	彭辉	冯士芬等(329)

自动化控制系统及装置篇

水轮机振动数据处理与分析·····	罗予如	魏宇欣(337)
PLC 直接上网 LCU 通讯问题探讨 ·····	刘晓波	张玉平(341)
四川华能明台水力发电厂计算机监控系统改造·····	姚维达	毛崎 云晓科(347)
鲁布革电厂闸门监控的设计与改造·····	蒋克文	朱祥 蔡晓峰(350)
农村小水电站新型配套设备·····	徐锦才	(354)
小水电站经济实用型自动化模式·····	徐锦才	张巍 徐国君等(358)
PLC 型转速信号装置的研制 ·····	刘时贵	(362)
内蒙古绰勒水电站电视监视系统设计·····	郭江	汪慧(366)
水电站小型控制系统的 InTouch 数据库解决方案·····	雷志宏	张文剑(371)
磁致伸缩位移测量系统在水电站闸门中的应用·····	雷志宏	黄建平(378)
水轮发电机组振因分析·····	贾彦博	马得莲 滕玉楠(383)
万家寨引黄入晋工程水力控制方式及计算机监控系统简介 ·····	骆恩蓉	况光彦 刘保华(391)
水电站油压装置、调速器的油泵及压力罐容量的探讨 ·····	郭中枹	(400)
新型机械补气装置·····	郭中枹	刘立梅 栗新艳等(407)
水轮机桨叶的电—机操作机构·····	周泰经	魏守平 吴应文等(410)
机械过速保护装置的研制与应用·····	姚宏钢	(413)
水电厂技术供水的过滤器·····	林昌杰	陈育平 喻红(418)
黄河上游梯级水库防凌调度问题浅析·····	段肖华	郑永恒(423)
冗余型船闸监控系统的实现·····	吕在生	周伟民(429)
流媒体实时图像传输方法·····	武炜	(436)

资深专家及重要著述简介

叶鲁卿·····	(445)
陈仲华·····	(447)
刘炳文·····	(448)
周泰经·····	(448)
沈祖诒·····	(449)
魏守平·····	(451)
吴应文·····	(452)
李晃·····	(453)
刘保华·····	(453)
郭建业·····	(454)
孔昭年·····	(455)
黄秉铨·····	(456)
陈叔霖·····	(456)

曾继伦.....	(456)
雷践仁.....	(457)
葛鸿康.....	(457)

水电站控制设备制造厂商及其主要产品简介

中国水利水电科学研究院及北京中水科工程总公司.....	(461)
南京南瑞集团公司电气控制分公司.....	(463)
广州电器科学研究院.....	(463)
天津电气传动设计研究所.....	(465)
武汉长江控制设备研究所.....	(466)
杭州亚太水电设备成套技术有限公司.....	(466)
哈尔滨电机厂有限责任公司控制设备事业部.....	(467)
东方电机控制设备有限公司.....	(468)
能达通用电气股份合作公司.....	(468)
维奥机电设备(北京)有限公司.....	(469)
北京华科同安监控技术有限公司.....	(470)
武汉洪山电工科技有限公司.....	(471)
武汉事达电气股份有限公司.....	(472)
武汉三联水电控制设备有限公司.....	(473)
武汉四创自动控制技术有限责任公司.....	(474)
武汉星联控制系统工程有限责任公司.....	(474)
武汉市汉诺优电控有限责任公司.....	(475)
河北工业大学电工厂.....	(476)
天津市天骄水电成套设备有限公司.....	(477)
天津市顶佳工业泵制造厂.....	(477)
南京申瑞电气系统控制有限公司.....	(478)
长沙华能自控集团.....	(479)
长沙星特自控设备实业有限公司.....	(479)
科大创新股份有限公司.....	(480)
西安恒新水电科技发展有限公司.....	(481)
西安航天自动化股份有限公司.....	(482)
后记.....	(484)

工作研究及最新动态

水轮机调节技术的发展及展望

孔昭年

(中国水利水电科学研究院)

吴应文

(长江控制设备研究所)

饶培棠

(武汉星联自动控制自控系统有限公司)

近十多年来,在我国水轮机调节行业中,广泛运用微型计算机技术、机电一体化技术和现代液压技术的新成果,并将其他工业部门先进的技术成果移植到水轮机调节技术中来。各专业制造公司和科研开发单位,在激烈的市场经济的竞争中,极大地发挥工程技术人员的创造性,不断推出调速器新品种。水轮机微机调速器产品的主要技术指标一般都能达到国家技术标准的要求,部分厂家的产品达到国际先进水平,较好地满足了我国水电建设事业发展的要求。目前,除了因为非技术因素的调速控制设备还需要从国外进口外,混流式、轴流转浆式、贯流式、冲击式水轮机组所需配套的调速器国内都能生产,三峡右岸电站水轮机控制设备实现国内采购就是这一状况的重大标志。国内调速器生产厂家还与国际知名的调速器生产厂家配套生产微机调速器,国产化的水电控制设备已能配套出口到国外,参与国际竞争。我国水轮机调节行业技术取得了较大的发展,整体技术水平达到了国际先进水平。

1 我国水轮机调节技术和水轮机微机调速器技术进步的主要表现

(1)采用国际知名品牌的工业控制机(IPC)、可编程控制器(PLC)或可编程计算机(PCC)作调速器电气柜硬件核心,使我国调速器电气柜的质量、工艺水平及可靠性达到国际先进水平^[1]。

(2)大中型机组的调速器大多采用了电子调节器加电液随动系统的结构模式,提高了调速器动态和静态特性技术指数。

(3)近几年来,在微机调速器中开始采用工业标准液压件,例如,采用电液比例阀作调速器电液转换部件,采用逻辑插装阀作油泵组合阀、分段关闭装置、油压截止阀等,结束了水轮机调节技术长期游离于现代液压技术之外,制约着液压新技术在调速器中应用的不正常局面。

(4)采用数控机床中成熟的步进电机、交流伺服电机和直流伺服电机作调速器的电/机转换部件,构成具有我国自己知识产权的用伺服电机控制的水轮机微机调速器新品种,这类调速器具有很强的抗油污能力,结构简单,可靠性高,特别适合油质清洁度难以保证和管理水平不高的水电站使用。

(5)调速器工作油压普遍提高,大型水轮机调速器采用4.0MPa和6.3MPa,部分中小

型水轮机调速器工作油压提高到 14~16MPa,并且采用皮囊式蓄能器。

(6)微型计算机具有强大的运算能力、记忆能力、逻辑判断能力和通讯功能,因而微机调速器具有许多先进的功能,目前已将与上位机通讯、频率跟踪、电气开度限制、人工失灵区、故障诊断及处理列为必须实现的功能。大多数微机调速器设有手动自动无条件、无扰动切换,离线诊断、维护功能和计算机辅助试验功能,除此以外,现代微机调速器还可以实现事故数据记录功能,防错、容错控制功能,死区和零点漂移的动态补偿等先进的功能。

(7)近年来,由于用交流伺服电机和步进电机式的电/机转换部件被不断完善,实现了失电后自动复中的功能。这种具有自动复中功能的电/机转换器在电液随动系统中直接与引导阀连接,使系统结构简化,提高了随动系统的可靠性。由于这类电/机转换部件无卡阻和失灵的可能,因而使在调速器中取消防止电液转换器失灵而设置的机械开度限制机构及其杆件系统成为可能,近年来在我国出现的直接式无杆件、无机械开限和机械反馈的调速器,其动态和静态性能指标优越,机械液压部分机构的简洁程度已不亚于采用比例阀和液压集成式结构的调速器。

(8)采用触摸式高分辨率的彩色显示屏作人机交互界面,界面友善、内容丰实,便于对调速器的状态监视、参数修改、试验曲线显示等^[1]。

(9)我国具有独立知识产权的水轮机调速器试验用实时仿真系统的研制取得成功并得到普遍应用,该系统可以在实验室阶段、现场蜗壳充水前对调速器进行全面检查试验^[2]。

(10)积极参加国际电工委员会关于水轮机调速器标准的制定和讨论工作,提出有价值的建议和意见,引起国际同行的关注,制定了十余种有关水轮机调速器的国家标准、行业标准,在技术标准上较好地实现国际接轨。

2 几个共同关注的问题

我国水轮机调节技术取得了长足进步,微机调速器产品不断推陈出新,有关人士对当前微机调速器的发展方向产生不同的意见和看法,不同的用户对水轮机调速器提出的要求也不尽相同,在众多的意见中有如下几条为大家所共同关注。

2.1 具有一级电液随动系统和二级电液随动系统的微机调速器的比较

当今国内外微机调速器的系统结构模式归纳起来大多属于电子调节器加一级电液随动系统和电子调节器加二级随动系统的结构模式,后者也被称之为具有中间接力器的结构模式。两种结构模式的系统结构框图如图 1 和图 2 所示。

仅具有一级电液随动系统结构模式的调速器,其转速死区计算公式为

$$i_{x1} = b_p i_a$$

式中: b_p 为调速器永态转差系数; i_a 为电液随动系统的不准确度。

由于电液随动系统放大系数可以调节,系统的稳定性可以用电气或软件方法校正,因此一般电液随动系统不准确度容易做到 0.3%~0.5%,甚至更小。当 b_p 为 6% 时,仅有一级电液随动系统的结构模式的调速器的转速死区 i_x 很容易达到 0.02%~0.04% 甚至更好的水平。

电液随动系统导叶位置采用电气反馈,不需要装设机械位置的反馈。因此,这类结构

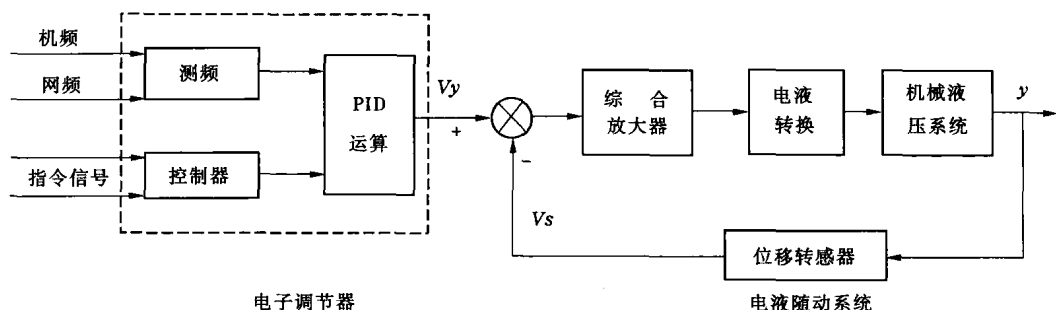


图 1 电子调节器 + 电液随动系统的调速器系统结构框图

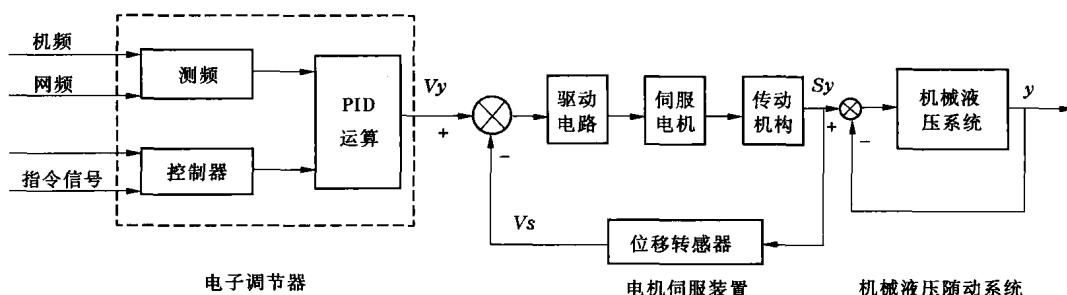


图 2 电子调节器 + 电机伺服装置 + 电机械液压随动系统的系统结构框图

模式的调速器在电站布置十分方便,尤其是大型水轮发电机组和一些不便于安装机械反馈的特殊调速器适合采用这类结构。这类结构模式的调速器静态和动态特性指标较好,机构简单,在电站布置方便,所以成为大中型水电站调速器的首选方案。

电子调节器加两级随动系统结构模式的调速器一般由三大部分组成,即电子调节器(或微机控制器)、电机伺服装置(或中间接力器)和机械液压随动系统。在我国这类结构模式的调速器,多用伺服电机或步进电机构成的电机伺服装置作为电气-机械位移的转换部件,也是前级随动系统。在国外一般用电液伺服阀或比例电磁阀和中间接力器构成的电液随动系统,作为该调速器电气-机械位移的转换部件。末级都是机械液压随动系统,这类结构模式的调速器的弊病是机械液压随动系统导叶位置必须采用机械位置反馈,当反馈链长、传递路径曲折时,不宜采用这类结构,但是如果将调速器的机械液压柜布置于水机层的接力器附近时,反馈链缩短,这类调速器也能显现其独特的优势。所谓座式调速器都布置于接力器附近,国外比较流行。我国葛洲坝电厂 21 台水轮发电机组采用的都是这类系统结构模式的调速器,调整、试验和维护方便,深受电厂欢迎^[1]。另外,我国中小型调速器大多是组合式的,调速器的机械液压部分和接力器组合在一起,接力器位置反馈十分方便。应该指出,由于这类调速器具有接力器位置的机械反馈,其手动操作系统具有接力器位移反馈的闭环系统。这种手动操作可靠,手动时也不溜负荷,这一特点备受大型机组和重要水电站的重视。

具有两级随动系统结构模式的调速器转速死区 i_{x2} 较仅有一级随动系统调速器转速死区 i_{x1} 为大。

转速死区 i_{x2} 的计算公式为

$$i_{x2} = b_p(i_{a1} + i_{a2})$$

式中: b_p 为调速器永态转差系数; i_{a1} 为前一级随动系统的不准确度; i_{a2} 为末级机械液压随动系统的不准确度。

一般情况下, $i_{a1} \ll i_{a2}$, 可以忽略不计, i_{a2} 是机械液压随动的不准确度, 降低 i_{a2} 主要途径是增大输入杆件的传动比和减小主配压阀的搭叠量。所以, 一般机械液压随动系统的不准确度 i_{a2} 都要比电液随动系统的不准确度大。通过精心设计和加工制造, i_{a2} 可以达到 0.5% 的水平。因此, 这类调速器的转速死区 i_{x2} 可以达到国家调速器标准的要求。

2.2 调速器的两种转换部件——伺服电机和比例阀

由于电液转换器抗油污能力差、故障率高, 故我国水轮机调节的工程技术人员一直在寻求抗油污能力强、可靠性高的电/液或电/机转换部件。20 世纪末, 能达公司研制的采用步进电机控制的调速器投运成功, 并通过省(部)级鉴定, 推动了我国采用步进电机、伺服电机控制的微机调速器的发展, 国内大多数调速器专业厂商都开发出了用电机控制的微机(或可编程)调速器, 在不到十年的时间里, 这类调速器已生产一千多套, 形成了具有我国自己知识产权的一类调速器。近年来, 长沙星特首先解决了以电机作为电/机转换部件失电时自动复中的难题, 使用伺服电机或步进电机的电/机转换部件用于一级电液随动系统真正获得成功。

就在我国采用伺服电机(含步进电机)控制的微机调速器蓬勃发展时, 国外调速器主要厂商却用电液比例阀或电磁比例阀作微机调速器转换部件, 我国仅有少数专业生产厂成功地应用了比例阀。不少调速器选型用户不约而同地发出疑问, 为什么国外调速器制造厂不用步进电机和伺服电机作调速器转换部件呢? 还怀疑用伺服电机和步进电机的调速器速度满足不了水轮机控制的要求。长期工作在水轮机调节行业的技术人员都知道, 我国曾在 20 世纪 80 年代采用进口的电液伺服阀作调速器转换部件进行过深入研究, 但都以失败告终, 究其原因, 都是调速器用油的清洁度得不到保证所致。加上我国的油压装置上都没有对油液的精细过滤和处理系统, 大多中小电站受管理水平限制, 油质清洁度难以保证。因此, 微机调速器的研究开发人员在认可油质清洁度较差的前提下来寻求抗油污能力强的电/机转换部件, 在这个前提下数控机床的驱动机构中应用成熟的步进电机和伺服电机就成为首选方案。事实证明, 用步进电机和伺服电机控制的调速器, 确实能适应油质清洁度较差的环境, 而且动态指标都能满足国家调速器技术标准的要求。由于可靠性高, 使用和维护方便, 深受广大用户欢迎。

电磁比例阀和伺服比例阀是液压工业中的标准件, 生产量大, 在工业控制系统中得到广泛应用, 用做水轮机调速器电液随动系统的电液转换部件是十分适合的。通常由伺服比例阀和辅助接力器等构成电气液压伺服系统, 如图 3 所示, 我国有一些单位采用比例阀时, 遵守了比例阀应用条件, 保证油液中杂质 $< 20\mu$, 都取得了满意的效果。将比例阀和液压逻辑控制元件集成于功能模块上, 调速器的结构十分紧凑。由于在采用比例阀控制的调速器中控制信息的传递和变换都是流量, 可以实现无间隙的传递。极大地降低了死区, 提高了反应的灵敏度, 使调速器整机静动特性优越。这类调速器也很受用户欢迎。据

不完全统计,近年来,这类调速器的生产量也在逐年增加。

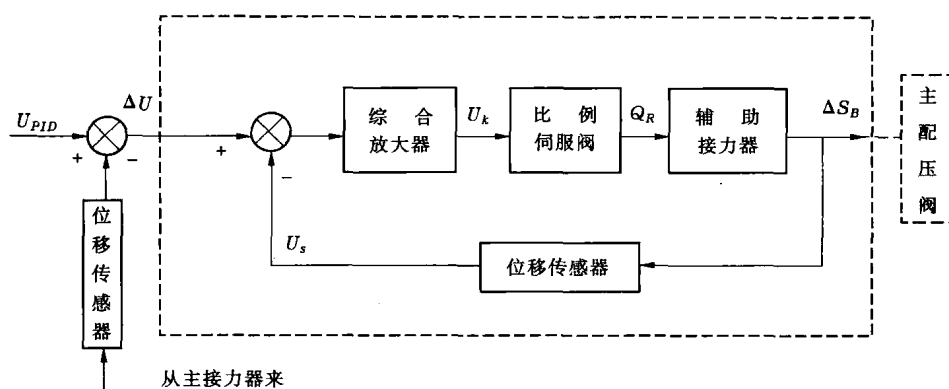


图3 作为前置放大的电气液压伺服系统

应该指出的是,有人认为比例阀的通频带大于 10Hz,而试验测出用伺服电机的电/机转换部件的频带宽度仅为 3Hz。据此说明比例阀速动性高于采用伺服电机的电/机转换部件是不对的。比例阀的输出是流量,其通频带宽度是反映比例阀的输出流量对输入控制信号的响应速度,还不能反映辅助接力器对输入信号的响应速度,可以预计,由放大器、比例阀、辅助接力器和位移传感器构成的位置伺服系统的频率响应带宽较比例阀本身的带宽要小得多。但是,大量已投入运行的调速器证明,频带宽为 3Hz 的电/机转换器和频带宽为 10Hz 的比例阀都能满足调速器动态和静态特性的要求。

2.3 接力器位置机械反馈和机械开度限制机构

目前国内生产的电机(步进、伺服)控制的调速器,由于电/机转换部件可靠性高,调速器的故障降低,逐渐取消了机械开度限制机构和接力器位置的机械反馈,使调速器的机械部分结构简单,安装调整和维护方便,深受用户欢迎。长沙星特生产的“四无”型微机调速器就属于这一类。所谓“四无”是指电/机转换器不用油,无机械开度限制机构,无接力器位置的机械反馈和无调节杆件。目前国内几家专业生产厂在有了能自动复中的电/机转换部件以后,都推出了取消机械反馈和机械开度限制的微机调速器新产品。这是当今微机调速器发展的必然趋势。20 世纪末,国外一些知名的调速器制造商,在采用电伺服比例阀和液压集成块结构的同时,也取消了机械反馈和机构开度限制。但是国内一些大型水电站和重要的电站,投标时十分强调要在微机调速器中保留机械开度限制机构和接力器位移的机械反馈,这些要求是十分正常和可以理解的。尤其是采用伺服比例阀的调速器,这类调速器信号的传递都是在液压集成块内的流量,而没有显现在外的机械位移,在电源消失时或电气故障时主配压阀的机械位置、接力器位置都没有指示,也没有任何可以人工控制和操作的机构,给事故处理、事故分析造成困难。因此,在给大型水力发电机组配套调速器时保留机械开度限制、接力器的位置机械反馈和系统机械手动操作机构是十分必要的。

2.4 关于双机冗余的问题

为了提高微机调速器的可靠性,20 世纪 80 年代我国设计的微机调速器大多采用了双机冗余结构,一台微机工作,另一台热备用,每台机对自己的模块和分管的部件进行自