

中国水利水电科学研究院
科技著作出版基金支持项目

SHUILUNJIKONGZHIXITONGDESHEJIYUJISUAN



水轮机控制系统的 设计与计算

孔昭年 等著

长江出版社

中国水利水电科学研究院
科技著作出版基金支持项目

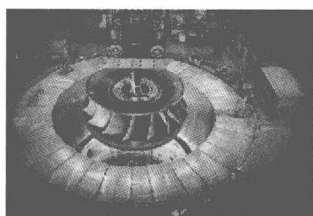
TK73
1014-1



NUAA2014018899

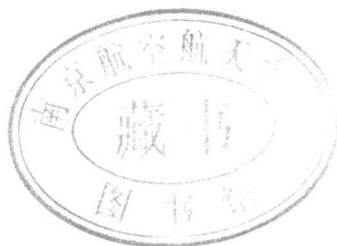
TK73
1014

SHUILUNJIKONGZHIXITONGDESHEJIYUJISUAN



水轮机控制系统的 设计与计算

孔昭年 等著



长江出版社

2014018899

图书在版编目(CIP)数据

水轮机控制系统的设计与计算/孔昭年等著. —武汉: 长江出版社,
2012.2

ISBN 978-7-5492-0837-1

I. ①水… II. ①孔… III. ①水轮机—控制系统设计②水轮机—
控制系统—计算 IV. ①TK730.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 020942 号

水轮机控制系统的设计与计算

孔昭年等 著

责任编辑: 高伟

装帧设计: 蔡丹

出版发行: 长江出版社

地 址: 武汉市解放大道 1863 号

邮 编: 430010

E-mail: cjpub@vip.sina.com

电 话: (027) 82927763 (总编室)

(027) 82926806 (市场营销部)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 武汉理工大学印刷厂

规 格: 787mm×1092mm

1/16

27.75 印张

580 千字

版 次: 2012 年 2 月第 1 版

2012 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5492-0837-1/TK · 2

定 价: 58.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

C009109108

前 言

我国水轮机控制技术从无到有,伴随着新中国的成长而发展,取得了巨大的进步,整体技术水平已达到了国际先进水平,并实现了基地型骨干水电厂水轮机控制设备的国产化。三峡右岸地下电站水轮机控制设备实现国内采购、投运,完成用户验收,就是这一状况的重大标志。创新是民族的灵魂,如何才能保持我国水轮机控制技术的良好发展势头,是现在值得思考的议题。

本书针对微机调速器的设计计算,就行业中急需的技术问题开展论述,例如液压系统惯性对控制系统的影响、控制方案的比较、在并联PID调节器中设置可控积分器的必要性、镇定参数的影响等。在试验技术上作者提出的主配—接力器死区试验、水轮机空载开度下水轮机力矩特性系数试验求取方法、水电控制设备液压系统惯性时间的试验及校正等试验项目和方法已引起同行的关注和支持,希望将来能纳入有关标准中。本书针对水轮机控制系统的动力学计算,试图把古典法和现代法结合起来,展开水轮机控制系统稳定性计算分析:水弹性对水轮机调节系统的稳定性计算、过渡过程品质分析、水轮发电机组惯量的选取及水电站调压井设置的计算准则、水轮机调节系统极点分布域及调速器参数的整定、水轮机调速器的最优整定、非线性特性的影响、带有调压井的水轮机调节系统稳定性及过渡过程的研究、带有双调压井的水电站调节系统稳定性的研究。展开的讨论和结果补充了国内外有关著述的空白,系作者本人获得的计算分析方面的体会。

特别感谢中国水利水电科学研究院、天津电气传动设计研究所在作者从事的水轮机控制技术研发业务工作方面长期以来给予的关心、支持和培养。

本书的出版,承中国水利水电科学研究院老院长陈炳新教授级高级工程师,田忠禄博士、教授级高级工程师,王德宽博士、教授级高级工程师等的热心推荐,得到中国水利水电科学研究院科技著述出版基金的支持。感谢中国水利水电科学研究院教授级高级工程师张建明,天津电气传动设计研究所水电分所所长、教授级高级工程师杨远生,教授级高级工程师李晃,长江控制设备研究所教授级高级工程师吴

应文,武汉大学教授陈光大博士和程远楚博士,长江三峡能事达电气股份有限公司副总经理周志军,东方电机控制设备有限公司副总经理、总工程师唐旭和副总工程师邬廷军,国网电力科学研究院水电公司总经理、教授级高级工程师刘观标,电控公司总经理、教授级高级工程师邵宜祥,哈尔滨电机厂有限责任公司控制事业部经理、高级工程师杨开黎,副总设计师、高级工程师朴秀日等在技术资讯方面的的热情相助和支持。从一定意义上讲,本书也反映了我国水轮机控制设备方面的专家们的学术成果。整理书稿过程中中国水利水电科学研究院阎黄凤、张松、于云静工程师做了大量工作,最后感谢长江出版社副社长高伟在本书出版中付出的辛劳。

本书第二、三、四章由刘同安执笔,第一、五、六章由孔劲执笔,其余均由作者负责编写并统稿。

希望本书对从事水轮机控制系统设计、制造、选型、运行、管理的技术人员和大专院校相关专业高年级大学生们有益。

孔昭年

2012年1月于北京车公庄

目 录

1 概 论

1.1 水轮机控制系统的系统功能	2
1.2 水轮机控制系统的性能参数汇总	3
1.3 水轮机控制系统的设计参数	4
1.4 水轮机控制系统的系统结构	5
1.5 水轮机控制系统几种重要运行工况	10

2 典型水轮机控制系统

2.1 T-100 型机械液压调速器	16
2.2 YTT 型机械液压调速器	27
2.3 BDT-100 型电气液压调速器	32
2.4 岩滩水电厂及三峡地下电厂 WB(L)T 型微机调速器	37
2.5 CVT/ZT 系列数字式调速器	55
2.6 HGS 型大型水轮发电机组调速器	76
2.7 ABB 公司 HPC-800M 型调速器	89
2.8 小湾水电厂 700MW 水电机组调速器	96
2.9 带调压阀控制的调速系统	105
2.10 功果桥水电厂 WT-150-6.3 型电液调速器	116
2.11 压力油源系统	125

3 水轮机控制器主要原部件及工作原理

3.1 离心飞摆的设计计算	129
---------------------	-----

3.2	缓冲器的结构和动力学分析	131
3.3	主配压阀—接力器系统的设计计算	140
3.4	微机调速器的技术特点	152
3.5	插装阀应用	158

4 自动控制技术原理

4.1	自动调节系统的组成环节	172
4.2	环节的各种耦合及结构图的简化	181
4.3	罗斯—侯维智稳定判据	185
4.4	三阶正则方程的极点分布	187
4.5	连续系统数字仿真	189
4.6	控制技术的优化技术基础	193
4.7	非线性环节的数字仿真	200

5 水轮机调速器的动力学特性

5.1	缓冲型调速器	204
5.2	两种调速器布置方案的比较	206
5.3	两种微机型调节器的比较	208
5.4	关于给定的计算分析	210
5.5	可控积分器的应用	211
5.6	建议的水轮机微机调速器原理图	213

6 水电站引水系统的动力学特性

6.1	弹性水击的数学模型	215
6.2	近似弹性水击的数学模型	216
6.3	刚性水击的数学模型	216

7 作为控制对象的水轮发电机组的特性

7.1 水轮机过渡过程特性	220
7.2 线性化混流式水轮发电机组特性	228
7.3 在水轮机调节系统动力学分析中描述水轮机非线性特性的一种新方法	234
7.4 水轮发电机组甩负荷最大速率上升及水击升压的计算与分析	239

8 水轮机控制系统的动力学计算与分析

8.1 水轮机自动调节系统稳定性分析	243
8.2 水弹性对水轮机调节系统稳定性的影响	247
8.3 镇定参数对水轮机调节系统过渡过程的影响	251
8.4 带有 PID 调速器的水轮机调节系统的动态特性及参数整定	255
8.5 水轮机调节系统极点分布域及调速器参数的整定	262
8.6 水轮发电机组 GD^2 的选取及水电站调压井设置的计算分析	267
8.7 带有调压井的水轮机调节系统稳定性的研究	272
8.8 带有双调压井的水轮机调节系统稳定性的研究	280
8.9 水轮机调速器的最优整定	293
8.10 水轮机控制系统非线性特性的影响及优化	302
8.11 带有调压井的水轮机调节系统品质特性	317

9 水轮机控制系统试验

9.1 水轮机控制系统常规试验规定	324
9.2 水轮机控制系统补充试验项目	336
9.3 水轮机调节系统被控对象实时仿真技术与精度分析	339
9.4 水轮机调节系统自动测试及实时仿真装置技术条件	346
9.5 GTS-3 型水轮机调速系统多功能试验装置	352
9.6 测试系统误差或分辨率要求	361

10 附录:大型骨干水电站水轮机控制设备实现 国产化的专项研究及建议

10.1	大型骨干水电站水轮机控制设备实现国产化的建议	363
10.2	国产大型水轮机控制设备调研	370
10.3	进口大型水轮机调速器的技术特点	380
10.4	大型水轮机水电控制设备研发单位厂内试验	397
10.5	国产高油压大流量三螺杆泵的调研与试验	403
10.6	对水电控制设备招标和设计中的重要建议	404
10.7	液压伺服阀、比例阀、数字阀在水轮机调节行业中的应用	406
10.8	步进式电机不动时间的计算分析	415
10.9	我国大型水电控制设备主配压阀制造工艺及经验	418
10.10	主配压阀、油压装置压力罐及泵的选择计算和系统用油	422
10.11	关于微机水轮机调速器的数字测频	426
10.12	PLC 调速器的频率测量	428
10.13	不同运行水头条件下机组空载开度 $Y_0 = f(H)$ 的确定	430
10.14	水电控制设备液压系统惯性时间的试验及校正	431
主要参考文献		433
后 记		434

1 概 论

近十多年来,我国水轮机调节行业,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,并吸收其他行业领域先进的技术成果,移植到水轮机控制技术中来。各专业制造公司和科研开发单位在激烈的市场竞争中,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,使我国水轮机调节技术达到一个新的水平。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,部分厂商的产品技术指标达到国际先进水平,较好地满足了我国水电建设事业发展的要求。目前,往往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、轴流转桨式、贯流式、冲击式水轮机组所需配套的调速器都能由国内生产配套,三峡右岸地下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。同时,国产化的水电控制设备已能配套出口到国外,参与国际竞争并受到好评。

我国在水轮机控制领域取得了巨大的进步,整体技术水平达到了国际先进水平,主要表现在以下几个方面:

(1)积极参加国际电工委员关于水轮机调速器标准的制订和讨论工作,提出有价值的建议和意见,引起国际同行的关注;制订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了与国际接轨,在本专业领域内做出了突出的成绩。如 GB/T9652.1—2007《水轮机控制系统技术条件》、GB/T9652.2—2007《水轮机控制系统试验验收规程》、JB/T8191—2008《电工术语 水轮机控制系统》、DL/T120—2009《水轮机调节系统自动测试及实时仿真装置技术条件》、DL/T563—2004《水轮机电液调节系统及装置技术规程》、DL/T496—2001《水轮机电液调节系统及装置调整试验导则》、DL/T792—2001《水轮机调速器及油压装置运行规程》等。

(2)采用国际知名品牌的工业控制机(IPC)或可编程控制器(PLC)或可编程计算机(PCC)作调速器电气柜硬件核心。

(3)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技术指数。

(4)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、分段关闭装置和油压截止阀等。

(5)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,构成具有我国自主知识产权的用伺服电机控制的水轮机微机调速器新品种。

(6)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。

(7)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,因而微机调速器可以实现许多先进的功能,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/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功能等先进的功能。

(8)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成功并得到普遍应用,该系统可以在试验室阶段、现场蜗壳充水前对调速器进行全面检查试验。该项成果长期处于国际领先水平。

1.1 水轮机控制系统的系统功能

水轮发电机组是将水能转换成电能的动力机械,所发出的交流电通过电网送到用户,由于电网不能存储电能,必须设置能自动控制进入水轮发电机组水能的调速器,以保证进入水轮机的能量与输出的电能保持平衡。因此,水轮机调速系统一般都是由被控制对象和水轮机调速器两大部分构成。如图 1.1.1 所示的被控制对象通常是指压力过水系统、水轮机、发电机、电网和电力负荷。现代水轮机调速器一般由频率(转速)测量机构、控制和调节决策机构以及执行机构三大部分组成。由频率测量机构测量发电机组或所并入电网的频率,执行机构受控制调节机构的控制,调节进入水轮机的水量的多少。所构成的闭环自动调节系统维持着水轮发电机组频率恒定,即保持了输入水能和输出电能的平衡。

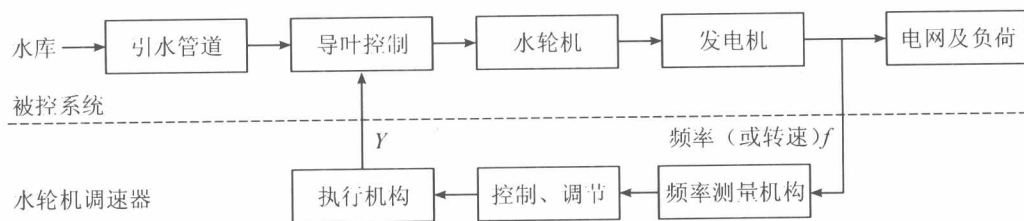


图 1.1.1 水轮机调速系统结构图

1.1.1 水轮机控制系统的基本功能

(1)水轮机控制系统的整体功能应与水电厂无人值班、少人值守的总体目标相适应。其总体设计应把安全可靠放在第一位,系统应简单实用,不片面追求性能指标,技术上不与其他水轮发电机组自动化系统重叠、盲目扩充。

(2)水轮机控制系统选型合理。其主配压阀关闭方向相对整定行程(整定行程与设计行程之比)应大于 0.5,过小表明主配压阀选型过大,会影响水轮机控制系统的动态特性。

(3)水轮机控制系统应具有好的节能效果。机组在稳定开度下运行或停机等待状态下,油压装置油泵处于空载或停泵的时间与打油时间之比为 15/1~40/1。

(4)水轮机控制系统具有频率、功率、开度、水位调节功能,且切换方便。

(5)机组开机升速过程应简单、安全可靠。根据水压变化、主轴振摆、轴向水推力、转轮动应力所允许的开启速度、机组惯性时间常数 T_d 等确定启动规律。

1.1.2 水轮机控制系统基本技术功能

(1) 机组和电网的频率测量精度及分辨率应小于 0.002Hz , 且测频范围宽、线性度好, 测频时间常数小、响应速度快, 对被测信号源的适应性好、抗干扰能力强。应能满足机组在各种工况下的安全稳定运行, 具有良好的频率/功率控制水平、保持电网稳定的能力。

(2) 空载运行时, 机组频率自动跟踪电网频率, 实现快速并网功能。

(3) 并入电网后, 按永态转差系数 b_p 和频差自动调整机组出力的功能。

(4) 能识别工作状态, 自动改变工作模式, 调节相应参数的功能。

(5) 除能接受中央控制室的脉冲控制指令外, 还具有与上位机通讯的功能。

(6) 能采集水头信号, 自动修正启动开度, 限制开度和最大功率限制开度的功能。

(7) 对转桨式水轮机, 可实现轮叶转角与水头及导叶开度之间的精确的协联关系。

(8) 具有友善的人机界面, 具有采集并显示调速系统运行工况、工作状态、调速器参数和故障部位的功能。

(9) 具有实现自动工况至手动工况无条件无扰动的切换功能。

(10) 具有在自动和手动工况下可进行开机和停机操作功能。

(11) 当自动部分发生故障时可切换到手动操作功能。

(12) 当机组和辅助设备发生故障时, 接受指令可实现紧急停机的功能。

(13) 具有在线故障诊断和处理功能: ① 机组频率信号和电网频率信号的在线监测、诊断和处理功能; ② 导叶和轮叶位置反馈信号的在线监测诊断和处理功能; ③ 水头信号的监测、诊断和处理功能; ④ 电/液或电/机转换部件故障监测、诊断和处理功能; ⑤ 电液随动系统的故障诊断和处理功能; ⑥ 微机主要模块故障检测和处理功能。

(14) 其他特殊功能:

a. 容错控制功能: 容错控制功能是指当调速器控制系统中的部件发生故障时, 控制系统自动采取一些修补措施, 允许调速器在降低一些性能指标的情况下保证机组带负荷继续运行。① 双微机系统冗余: 设置两套相同的微机系统, 一机工作, 另一机热备用, 双机相互通讯, 一般微机系统均设有自检功能, 工作机检测到自身故障后切换到备用机; ② 双电液转换部件冗余; ③ 双导叶位置传感器冗余; ④ 残压测频和齿盘测频冗余。

b. 离线诊断和维护功能。

c. 调试和试验功能。

d. 事件数据记录功能。

1.2 水轮机控制系统的性能参数汇总

1.2.1 考核水轮机控制系统的性能参数

技术标准是水轮机控制行业性推荐标准, 允许业主根据系统要求, 合理地适当放宽如转速死区、接力器不动时间等有关指标。调速系统静态特性应符合下列规定:

(1) 静态特性曲线应近似为直线。

(2) 测至主接力器的转速死区 and 在水轮机静止及输入转速信号恒定的条件下接力器摆

动值不超过表 1.1.1 中的值。

表 1.1.1 接力器摆动值

项目	调速器类型	大型	中型	小型		特小型
		电调	电调	电调	机调	
转速死区 i_r (%)		0.02	0.06	0.10	0.18	0.20
接力器摆动值 (%)		0.1	0.25	0.4	0.75	0.8

(3)转桨式水轮机调速系统桨叶随动系统的不准确度不大于 0.8%，实测协联曲线理论协联关系曲线的偏差不大于桨叶接力器全程的 1%。

(4)冲击式水轮机调速系统静态品质在稳态工况下,对于多喷嘴冲击式水轮机的任何两喷针之间的位置偏差,在整个范围内均不大于 1%，每个喷针位置对所有喷针位置平均值的偏差不大于 0.5%。

(5)对于每个导叶单独控制的水轮机,任何两个导叶接力器的位置偏差不大于 1%，每个导叶接力器位置对所有导叶接力器位置平均值的偏差不大于 0.5%。

(6)功率输出控制时, $i_r \leq 0.2\%$ ；水位控制时, $i_r \leq 2\%$ 。

1.2.2 水轮机调节系统动态特性应符合下列规定

(1)调速器应保证机组在各种工况和运行方式下的稳定性。在空载工况自动运行时,施加一阶跃型转速指令信号,观察过渡过程,以便选择调速器的运行参数。待稳定后记录转速摆动相对值,大型调速器不超过 $\pm 0.15\%$,中小型调速器不超过 $\pm 0.25\%$,特小型调速器不超过 $\pm 0.3\%$ 。如果机组手动空载转速摆动相对值大于规定值,其自动空载转速摆动相对值不大于相应手动空载时转速摆动相对值。

(2)机组启动开始至机组空载转速偏差小于同期带($+1\% \sim -0.5\%$)的时间 t_{SR} 不得大于从机组启动开始至机组转速达到 80%额定转速的时间 $t_{0.8}$ 的 5 倍。

(3)甩 100%额定负荷后,在转速变化过程中,超过稳态转速 3%额定转速值以上的波峰不超过两次。

(4)从机组甩负荷时起,到机组转速相对偏差小于 $\pm 1\%$ 为止的调节时间 t_E 与从甩负荷开始至转速升至最高转速所经历的时间 t_M 的比值,中低水头反击式水轮机不大于 8,高水头反击式水轮机和冲击式水轮机应不大于 15,从电网解列后给电厂供电的机组,甩负荷后机组的最低相对转速不低于 0.9(对投入浪涌控制及桨叶关闭时间较长的轴流转桨式和贯流式机组除外)。

(5)转速或指令信号按规定形式变化,接力器不动时间,电调不大于 0.2s,机调不大于 0.3s。

1.3 水轮机控制系统的设计参数

1.3.1 镇定环节的设计参数

并联 PID 调速器调节参数:比例增益 K_P 为 0.5~20,积分增益 K_I 为 0.05~10(1/s),

微分增益 K_D 为 $0 \sim 5s$ 。

缓冲式调速器参数:暂态转差率 b_t 为 $1\% \sim 100\%$,有效暂态转差率 b_e 为 $1\% \sim 20\%$,缓冲时间常数 T_d 为 $1 \sim 20s$,加速时间常数 T_n 为 $0 \sim 2s$ 。

缓冲反馈型和并联型电子调速器都可以有 PID 调节规律,两者调节参数定义和物理意义不相同,镇定环节参数具有如下关系:

$$K_P = \frac{T_D + T_n}{b_t T_d} \quad K_I = \frac{1}{b_t T_d} \quad K_D = \frac{T_n}{b_t}$$

为有更广泛的使用性,业主方可要求供货方在同一人机界面上提供整定和显示以上两种镇定环节参数的双参数体系,以使业主能享受更丰富的技术资源,获得参数的优化。

1.3.2 整定值的整定时间

整定时间应略大于水轮机导叶的最短接力器开启/关闭时间(T_g/T_f)。

各整定的全部范围($0 \sim 100\%$),速度整定时间为 $20 \sim 100s$,功率(开度)整定时间为 $10 \sim 80s$,导叶开度限整定时间为 $10 \sim 80s$ 。

接力器时间常数 T_y 的推荐值为:导叶/喷针接力器 $0.05 \sim 0.25s$,转轮接力器 $0.2 \sim 0.8s$,折向器 $0.05 \sim 0.1s$,辅助接力器 $0.05 \sim 0.1s$ 。

1.4 水轮机控制系统的系统结构

以下图例是最常用的结构,并应用了下述符号:被控变量—— x ,指令变量期望值—— c ,校正变量(目标值)—— y ,控制器输出变量—— s ,先导控制器输出值也是主伺服定位器输入值—— s_v ;下标 n 为转速, p 为功率, h 为水头。

1.4.1 并联结构

两个调节器以并联方式作用于一个伺服定位器,或通过选择器作用于几个伺服定位器(见图 1.4.1 和图 1.4.2)。

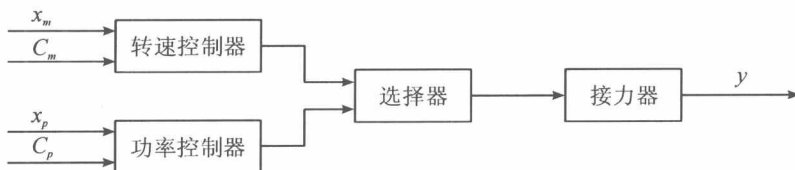


图 1.4.1 转速和功率控制器并联的控制系统

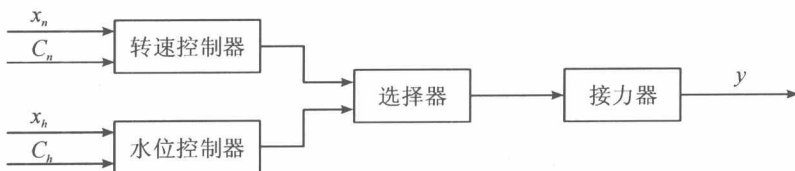


图 1.4.2 转速和水位控制器并联的控制系统

1.4.2 串联结构

功率控制器或水位控制器置于转速调节器之前,它们作用于转速控制器的转速整定点调整装置(见图 1.4.3)或导叶开度限制调整装置(见图 1.4.4)。

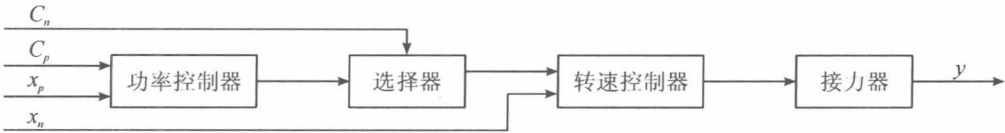


图 1.4.3 转速控制器和功率控制器串联的控制系统

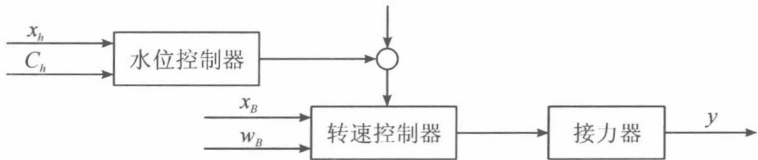


图 1.4.4 水位控制器和转速控制器的串联控制系统

图 1.4.3 和图 1.4.4 的结构都是典型的示例。然而,也有功率控制器作用于转速控制器的开度限制调整装置的结构,或者水位控制器作用于转速整定点调整装置的结构形式。在功率控制和水位控制时,转速控制器基本上起定位器的作用。

1.4.3 其他结构

(1)借助于设有功率反馈的转速控制器的功率控制结构,从转速控制切换功率控制是采用从实际转速信号切换至实际功率信号的方法(见图 1.4.5)。

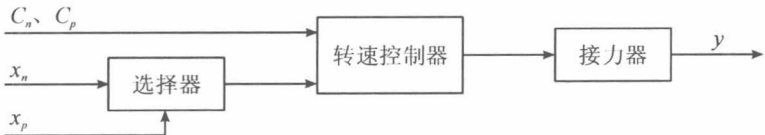


图 1.4.5 通过转速控制器的功率控制系统

(2)没有转速控制器的水位控制器,在简单情况下(例如感应发电机组的情况),它的水位控制器直接作用于伺服定位器(见图 1.4.6)。



图 1.4.6 没有转速控制器的水位控制器

1.4.4 伺服定位器的结构

1.4.4.1 没有随动控制的调速系统

在伺服定位器中,导叶接力器的偏移信号作为反馈量直接传递给控制器(见图 1.4.7)。

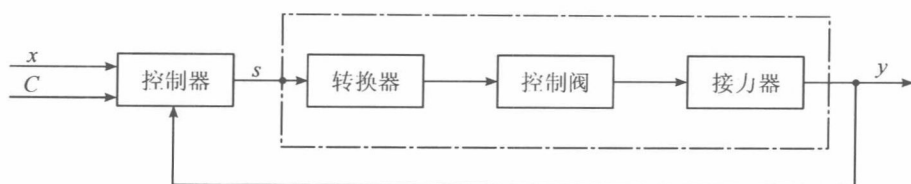


图 1.4.7 没有顺序控制的调速系统

1.4.4.2 带有顺序控制的调速系统

在这种伺服定位器中,主接力器的校正偏移信号由前级伺服定位器的校正偏移来引导,中间接力器的校正偏移信号再反馈给控制器。在高驱动能量情况下,可能还会需要另外的伺服定位器级(见图 1.4.8)。

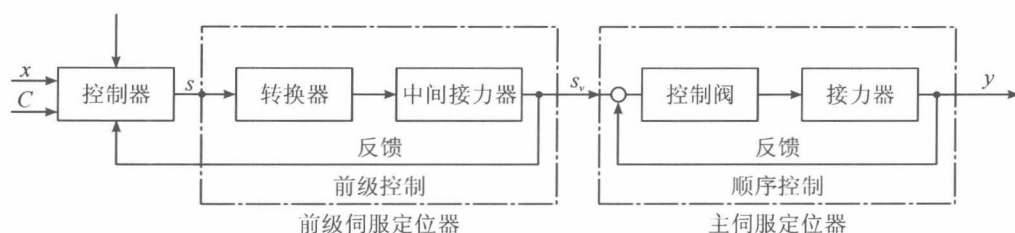


图 1.4.8 带有顺序控制的调速系统

1.4.4.3 多个校正部件的控制

具有可控制导叶和桨叶的水轮机双重控制及抽水蓄能式水轮机单个导叶接力器控制的情况下采用多个校正部件控制方式。

(1) 并联结构见图 1.4.9。

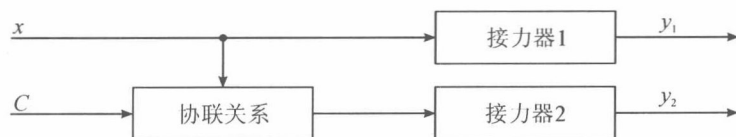


图 1.4.9 具有规定协联关系并叠加附加信号的并联结构

(2) 串联结构见图 1.4.10。

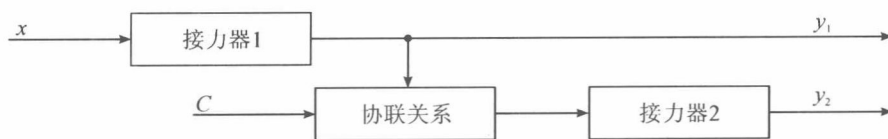


图 1.4.10 具有规定函数关系并叠加附加信号的串联结构

以上图中通过规定函数的插值可提供校正部件间的非线性关系,通常在一个校正部件的放大器上还要叠加一个附加参数(如轴流转桨式水轮机,水头可改变导叶—桨叶的关系)。在多于两个校正部件的情况下(如单个接力器控制)仅采用并联控制。

1.4.4.4 手动控制

在调速器安装调试及发生故障时,手动控制可以调整导叶和喷针开度,或保持水轮机继续运行。

在电子调速器的情况下,用机械的比例定位方式进行手动控制仅在与接力器的机械反馈连在一起才可能提供,因此造价昂贵,当要求平滑切换时,必须装设调速器手动控制设定值的平衡装置。

(1)没有随动控制的调速系统:跨越调节器和转换器手动装置直接作用于控制阀(见图 1.4.11),在有电子反馈装置的情况下,机械反馈并联装设。

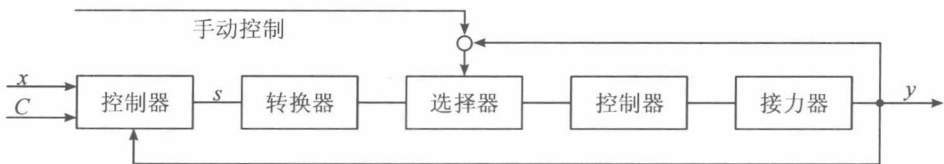


图 1.4.11 手动控制调节系统不带随动结构

(2)带有随动控制的调速系统:手动控制系统直接作用于中间接力器(见图 1.4.12),在带有电液随动控制系统时,手动信号施加在输出 S_v 和反馈综合点处。

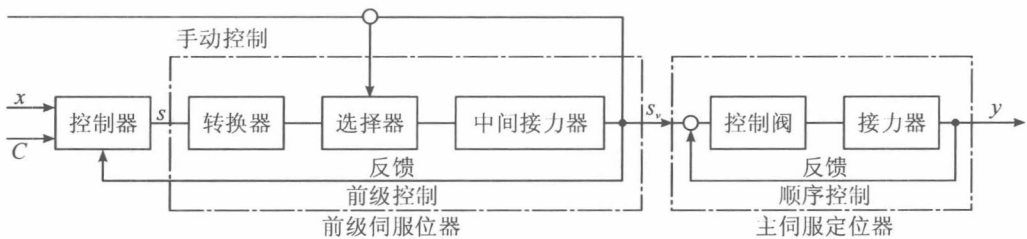


图 1.4.12 手动控制调节系统带有随动结构

(3)没有反馈的手动控制调速系统(脉冲控制)见图 1.4.13。

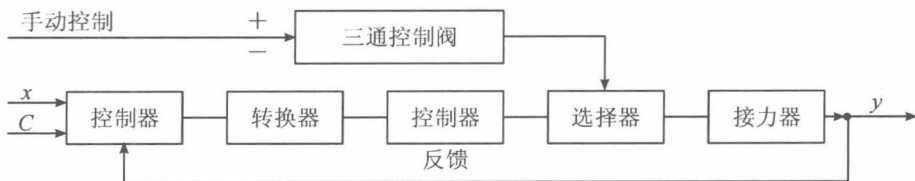


图 1.4.13 没有反馈的手动控制(脉冲控制)调速系统

1.4.4.5 微机电子调节器框图

电子调节器加电液随动系统的系统结构,即一级随动系统结构,其系统框图如图 1.4.14 所示。

(1)加速度—缓冲式调节器:缓冲式系统结构的调速器只能形成比例加积分(PI)调节规律,加速度—缓冲式调速器是在缓冲式调速器中串联加速度环节,构成具有比例加积分加微