

ICS 27. 140

K 55

# SL

## 中华人民共和国水利行业标准

SL 755—2017

### 中小型水轮机调节系统技术规程

Technical code for small and medium-sized hydraulic  
turbine governing systems

(IEC 61362—2012, Guide to specification of hydraulic turbine  
governing systems, NEQ) (IEEE 1207—2011, IEEE Guide  
for the application of turbine governing systems for  
hydroelectric generating units, NEQ)

2017-12-01 发布

2018-03-01 实施



中华人民共和国水利部 发布



中华人民共和国水利部

关于批准发布《中小型水轮机调节系统技术规程》等 2 项水利行业标准的公告

2017 年第 29 号

中华人民共和国水利部批准《中小型水轮机调节系统技术规程》(SL 755—2017) 等 2 项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	中小型水轮机调节系统技术规程	SL 755—2017		2017.12.1	2018.3.1
2	水工混凝土施工组织设计规范	SL 757—2017	SL 512—2011	2017.12.1	2018.3.1

水利部

2017 年 12 月 1 日

## 目 次

前言	V
引言	VI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 适用条件	6
4.1 正常使用环境及工作条件	6
4.2 非正常使用条件	7
5 总体要求	7
6 系统功能	7
7 系统性能	9
7.1 可靠性指标	9
7.2 静态性能	9
7.3 动态性能	10
7.4 温度漂移及综合漂移	13
7.5 抗干扰能力	13
8 电子调节器	13
8.1 调节器硬件	13
8.2 调节器软件	15
9 液压部分	16
9.1 液压随动系统	16
9.2 油压装置	18
10 组装和工艺	20
10.1 机械液压元件/组件及附件组装和工艺要求	20
10.2 电气元件/组件及附件组装和工艺要求	20
10.3 产品结构及标志	21
11 试验及验收	21
11.1 试验	21
11.2 验收	21
12 包装、运输与储存	21
13 保证期	21
附录 A (规范性附录) 油压装置压力容器的容积	22
附录 B (资料性附录) 水轮机调节系统基本结构	25
附录 C (资料性附录) 调节参数选择参考资料	29
附录 D (资料性附录) 水轮机调节系统的空载转速摆动	31
附录 E (资料性附录) 水轮机调节系统应用软件模块化结构软件模块	32
图 1 信号转换组件的静特性曲线	3
图 2 转速死区示意图	3

图 3 随动系统不精确度示意图	4
图 4 频率扰动响应调节过程	4
图 5 机组转速波动曲线	5
图 6 机组输出功率波动曲线	5
图 7 开机升速至同期转速过程曲线	10
图 8 甩负荷调节过程曲线	12
图 9 负荷扰动调节过程	12
图 10 开度扰动调节过程	13
图 A.1 压力罐的容积和压力	22
图 B.1 微机调节器驱动电液随动系统的结构框图	25
图 B.2 加速度-缓冲式 PID 调节器	25
图 B.3 含有电液随动系统的并联 PID 调节器	26
图 B.4 频率 PID 调节系统结构图 1	27
图 B.5 频率 PID 调节系统结构图 2	27
图 B.6 开度/功率 PID 调节的结构图	27
图 B.7 含有可控积分器的水轮机并联 PI 型调节器的原理图	28
图 B.8 含有可控积分器的水轮机缓冲型调节器的原理图	28
图 B.9 水轮机导叶开度指令方案	28
表 1 机组惯性时间常数 $T$ 规定值	6
表 2 手动空载转速波动规定值	6
表 3 水轮机调节系统转速死区规定值	10
表 4 自动空载转速摆动规定值	11
表 C.1 修正系数 $K$ 值表	30

## 前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的要求，编制本标准。

本标准共 13 章和 5 个附录，主要技术内容有：

- 适用条件；
- 总体要求；
- 系统功能；
- 系统性能；
- 电子调节器；
- 液压部分；
- 组装和工艺；
- 试验及验收；
- 包装、运输与储存；
- 保证期。

本标准为全文推荐。

本标准批准单位：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部农村水电与水库移民司

本标准解释单位：水利部农村水电与水库移民司

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：张建明 张治宇 李 越 赵 维 刘同安 田忠禄 姜明利

本标准审查会议技术负责人：程文韬 张中亚

本标准体例格式审查人：陈 昊

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

## 引 言

本标准参考 IEC 61362—2012《水轮机调节系统技术规范导则》、IEEE 1207—2011《水电机组水轮机调节系统应用导则》编制，与 IEC 61362—2012、IEEE 1207—2011 的一致性程度为非等效。

本标准的编制顺应农村小水电发展需求，旨在规范中小型水轮机调节系统技术要求，将对小水电建设及技术改造工作提供技术支持。在编制过程中结合了我国近 15 年来在中小型水轮机调节系统领域的研制成果和使用中积累的实践经验，并兼顾未来的发展趋势，力求先进、实用、可操作性强；统一了中小型水轮机调节系统选型、设计、生产、试验验收等环节的技术规范，为生产单位、设备使用单位对产品性能和功能的评价提供必要的行业标准依据。

考虑到机械液压调速器、模拟电路调速器在我国均已停产十多年，目前的水轮机调速器产品都以微机型调速器为主，故本标准以微机型调速器产品为对象而展开。由于尚有相当数量的机械液压调速器、模拟电路调速器在我国众多中小水电厂中运行，该方面的内容可参考 GB/T 9652.1《水轮机控制系统技术条件》、GB/T 9652.2《水轮机控制系统试验》等标准，本标准不再涉及。

“水轮机调节系统 (hydraulic turbine governing system)”采用 IEC 61362—2012 的定义直译后，作为本标准的规范术语。

本标准将接力器操作容量  $75000\text{N}\cdot\text{m}$  及以下的水轮机调节系统规定为中小型水轮机调节系统，与 IEC 61362—2012、IEEE 1207—2011、GB/T 9652.1—2007 的主要差别如下：

- 对系统功能、性能、电气硬件/软件、液压系统的要求进行了大量的补充完善；
- 增加强迫停运率指标；
- 增加带有调压阀控制的调节系统的技术要求；
- 对转速死区考核指标进行了补充完善；
- 对冲击机组调节系统的技术要求进行了补充；
- 对手动状态接力器位置漂移进行了规定；
- 增加了故障保护与容错功能要求；
- 对空载转速摆动考核指标进行了补充完善；
- 增加空载频率扰动性能指标的规定；
- 增加测频分辨率的规定；
- 增加涉网功能及性能的规定；
- 增加了油压装置压力下降及启泵间隔的要求；
- 对甩负荷动态过程考核要求进行了补充完善；
- 增加了功率阶跃响应、开度阶跃响应考核指标；
- 增加了孤网调节技术指标。

## 中小型水轮机调节系统技术规程

### 1 范围

本标准规定了中小型微机水轮机调节系统的适用条件、总体要求、系统功能、系统性能、电子调节器、液压部分、组装和工艺、试验及验收、包装、运输与储存等要求。

本标准适用于接力器容量 75000N·m 及以下的中小型微机水轮机调节系统的设计、制造、试验、验收。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB 150.1 压力容器 第1部分：通用要求
- GB 150.2 压力容器 第2部分：材料
- GB 150.3 压力容器 第3部分：设计
- GB 150.4 压力容器 第4部分：制造、检验和验收
- GB/T 3047.1 高度进制为20mm的面板、架和柜的基本尺寸系列
- GB/T 3452.2 液压气动用O形橡胶密封圈 第2部分：外观质量检验规范
- GB/T 4025 人机界面标志标识的基本和安全规则指示器和操作器件的编码规则
- GB/T 4588.1 无金属化孔单双面印刷板分规范
- GB/T 4588.2 有金属化孔单双面印刷板分规范
- GB/T 4798.2 电工电子产品应用环境条件 第2部分：运输
- GB/T 6995.2 电线电缆识别标志方法 第2部分：标准颜色
- GB/T 8564 水轮发电机组安装技术规范
- GB/T 9652.1 水轮机控制系统技术条件
- GB/T 9652.2 水轮机控制系统试验
- GB 11120 涡轮机油
- GB/T 11805 水轮发电机组自动化元件（装置）及其系统基本技术条件
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14039 液压传动油液四体颗粒污染等级代号
- GB/T 16935.5 低压系统内设备的绝缘配合 第5部分：不超过2mm的电气间隙和爬电距离的确定方法
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 20663 囊式蓄能器用压力容器
- GB/T 25133 液压系统总成管路冲洗方法
- GB/T 31066 电工术语 水轮机控制系统
- DL/T 496 水轮机电液调节系统及装置调整试验导则
- DL/T 1107 水电厂自动化元件基本技术条件
- DL/T 1120 水轮机调节系统自动测试及实时仿真装置技术条件
- DL/T 1245 水轮机调节系统并网运行技术导则
- HG/T 2331 液压隔离式蓄能器用胶囊
- JB/T 966 用于流体传动和一般用途的金属管接头O形圈平面密封接头



- JB/T 982 组合密封垫圈  
 JB/ZQ 4187 分体式高压法兰  
 JB/T 7035 液压囊式蓄能器型式和尺寸  
 JB/T 7036 液压隔离式蓄能器技术条件  
 JB/T 7041 液压齿轮泵  
 JB/T 7043 液压轴向柱塞泵  
 JB/T 8091 螺杆泵试验方法  
 JB/T 8097 泵的振动测量与评价方法  
 NB/T 47015 压力容器焊接规程

### 3 术语和定义

GB/T 31065 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**水轮机调节系统** hydraulic turbine governing (regulating) system

调节水轮机开度(导叶、转轮叶片、喷针、折向器位置)的技术设备。水轮机调节系统一般由液压和电气部分组成,即“液压调节装置”和“微机电子调节器”。

#### 3.2

**接力器容量** servomotor capacity (actuating energy)

$E_R$

最小规定压力  $P_R$  与接力器总有效工作容积  $V_S$  的乘积:  $E_R = P_R V_S$ , 即操作功(调速功), 也称驱动能量。单位为  $N \cdot m$ 。

#### 3.3

**双调整调节装置** double regulating governor

实现对转桨式水轮机的导叶与轮叶、冲击式水轮机的喷针与折向器(偏流器)、带有调压阀(空放阀)水轮机的导叶与调压阀双重调整的调节装置。

#### 3.4

**强迫停运率** forced outage ratio

$F. O. R$

水轮机调节系统强迫停运小时数  $t_f$  对投入小时数  $t_i$  与强迫停运小时数  $t_s$  之和的比。

$$F. O. R = \frac{t_f}{t_i + t_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$t_f$ ——水轮机调节系统强迫停运小时数, h;

$t_i$ ——水轮机调节系统投入运行小时数, h。

#### 3.5

**信号转换组件静态特性** static characteristics of signal converter

电气——机械/液压转换组件、位移传感器、压力/功率变送器信号转换组件带最大实际负载、稳定状态下, 输入量与输出量的对应关系, 见图 1。

#### 3.6

**信号转换组件线性度误差** linearity error of signal converter

信号转换组件静态特性曲线上各点与平均斜线间的最大输入信号偏差  $\Delta I_{\max}$  与额定输入量  $I_n$  的百分比, 见图 1。

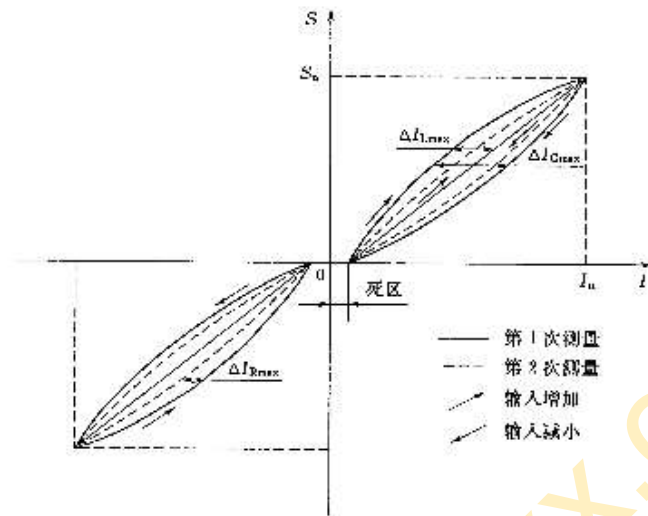


图1 信号转换组件的特性曲线

## 3.7

信号转换组件滞环 hysteresis of signal converter

输入信号在一次往复循环中,同一输出量对应的输入量最大差值  $\Delta I_{Cmax}$  与额定输入量  $I_n$  的百分比,见图1。

## 3.8

信号转换组件重复精度 repetitive accuracy of signal converter

在某一输出参数下,从一个方向多次重复施加输入信号;多次输入量的最大差值  $\Delta I_{Rmax}$  与额定输入量  $I_n$  的百分比,见图1。

## 3.9

信号转换组件死区 control dead band of signal converter

使输出信号偏离零位所需的输入信号大小,如图1所示。

## 3.10

转速死区 speed dead band

$i_n$

能够被水轮机调节系统检测并被响应的最小相对转速变化范围,或者说接力器位移控制信号恒定时,不起调节作用的两个转速参量相对值间的最大区间;也就是为改变接力器位移方向所需的,并以额定转速百分比表示的稳态转速最大变化值;见图2。类似地,若被控参量转换为功率  $\alpha_{ns}$  或水头  $x_h$  时,则分别为功率死区  $i_p$ 、水头死区  $i_h$ 。

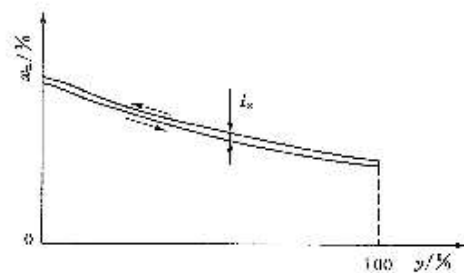


图2 转速死区示意图

## 3.11

人工死区 artificial dead band

在自动运行状态下,能人为地在规定的被控参量范围内使调节系统不起调节作用的最大区间。

## 3.12

随动系统不准确度 servo-system inaccuracy

$i_a$

随动系统中,对于不变的输入信号,相应输出信号的最大变化区间相对值,见图 3。

3.13

机组惯性比率 unit inertia ratio

$R_i$

压力引水系统水流惯性时间常数  $T_w$  与水电机组惯性时间常数  $T_s$  的比值。

$$R_i = \frac{T_w}{T_s} \dots\dots\dots (2)$$

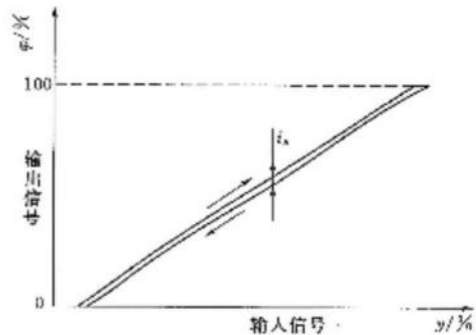


图 3 随动系统不准确度示意图

3.14

配压阀 distributing valve, directional/flow control valve

流体的输出液流方向和流量随阀芯移动方向和行程大小而改变的液压控制(调节)阀,也称方向/流量控制阀。

3.15

主配压阀 main distributing valve, main servomotor control valve

控制导叶(喷嘴)或轮叶(折向器/偏流器)接力器运动的配压阀,也称(主)接力器控制阀,简称主配、主控阀。

3.16

最小规定压力 minimum oil pressure required

$P_{is}$

保证接力器关闭所需的最低压力,单位为 MPa。也称最低操作油压、最低要求油压,见附录 A。

3.17

频率变化衰减度 damping intensity of frequency variation

$\psi$

在频率调节过程中,与起始偏差符号相同的第 2 个转速偏差峰值  $\Delta f_1$  与起始偏差峰值  $\Delta f_{max}$  之比,见图 4。

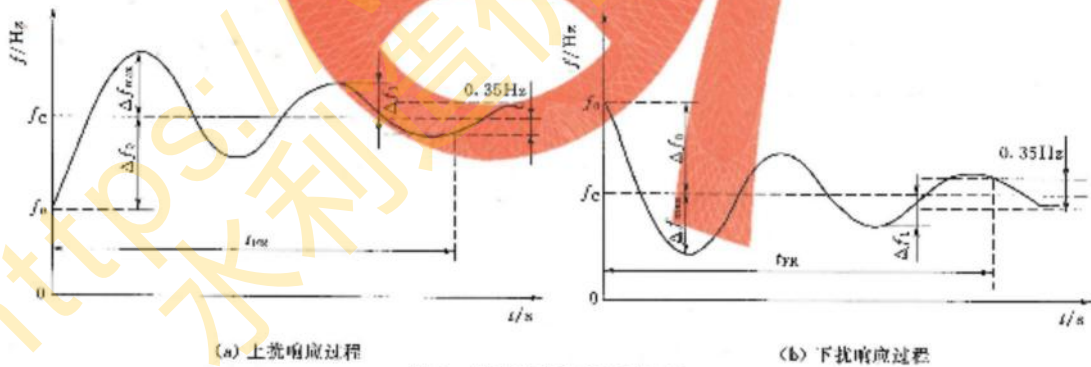


图 4 频率扰动响应调节过程

3.18

波动次数 wave number

$Z$

在动态调节过程中,被控量的波峰个数与波谷个数之和的一半。

3.19

转速摆动 rotational speed swing (speed stability index, steady-state governing speed band)

$\delta x_n$

空载或孤网频率（转速）控制模式下，水轮发电机组转速持续波动峰-峰值与转速给定值（目标值、参考值） $n_{set}$  之比的平均，即实际转速与给定值偏差相对值的最大区间、频率（转速）调节的稳态转速带，也称转速稳定性指数，见图 5。

$$\delta x_n = \pm \frac{|\Delta n_{max}/n_{set}| + |\Delta n_{min}/n_{set}|}{2} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\Delta n_{max}$  —— 持续波动周期内的转速最大波峰值，r/min；

$\Delta n_{min}$  —— 持续波动周期内的转速最小波谷值，r/min；

$n_{set}$  —— 转速给定值，r/min。

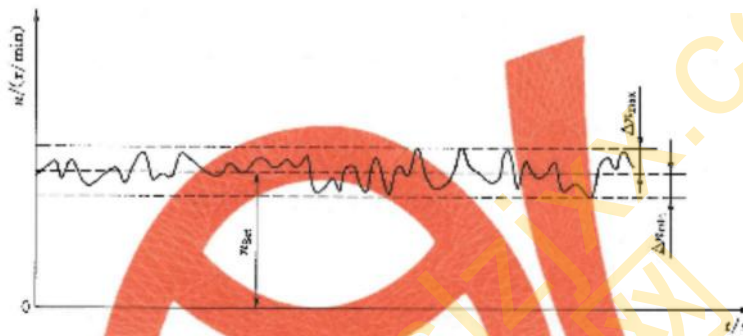


图 5 机组转速波动曲线

3.20

功率稳定性指数 power stability index (active power swing, steady-state governing power band)

$\delta x_{PG}$

机组并网运行，在水轮机调节系统功率控制模式下，机组输出功率持续波动峰-峰值与机组额定功率  $P_r$  之比的平均，即机组实际输出功率与给定值（目标值） $P_{set}$  偏差相对值的最大区间，见图 6。

$$\delta x_{PG} = \pm \frac{|\Delta P_{max}/P_r| + |\Delta P_{min}/P_r|}{2} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Delta P_{max}$  —— 持续波动周期内，机组输出功率的最大波峰值，MW；

$\Delta P_{min}$  —— 持续波动周期内，机组输出功率的最小波谷值，MW；

$P_r$  —— 机组额定功率，MW。

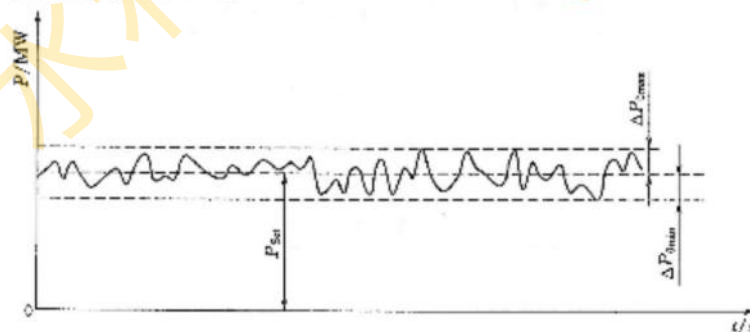


图 6 机组输出功率波动曲线

## 4 适用条件

### 4.1 正常使用环境及工作条件

- 4.1.1 水轮机调节系统接力器的工作容量应大于水轮机正常运行所需的工作容量。
- 4.1.2 工作地点海拔不宜大于 2500m。在海拔超过 2500m 的地方使用时，应考虑介电性能的降低与空气冷却效果的减弱，液压系统油泵吸油与输油能力的降低、液压件易出现气穴或空蚀现象、油液的热温特性发生变化以及液压件与密封件的密封能力降低等因素，此时用户应与制造厂相互协商。
- 4.1.3 工作环境空气温度宜为 0~45℃。
- 4.1.4 工作地点的空气最大相对湿度不应大于 90%，且无凝露。
- 4.1.5 调节系统油质应符合 GB 11120 中 46~68 号汽轮机油、抗磨液压油或黏度相近的同类型油的规定，工作油温范围宜为 10~50℃；油液的清洁度等级不应低于 GB/T 14039 第 21/18/15 级。
- 4.1.6 管道安装、焊接、清理与检查应符合 GB/T 8554、GB/T 25133 的规定。
- 4.1.7 对调节系统工作环境的振动和冲击要求如下：
- 调节系统控制柜：振动频率在 10~500Hz 范围时，加速度不应大于 10g；
  - 其他部分：振动频率在 10~500Hz 范围时，加速度不应大于 20g。
- 4.1.8 对被控对象的要求如下：
- 水轮发电机组应在正常工况下运行；
  - 用于频率测量的电网及机端电压互感器与齿盘测速装置、接力器位移传感器、水压传感器等信号质量应满足 GB/T 11850 的要求；
  - 水轮机导水机构、转桨机构、喷针及折向器操作机构、调压阀操作机构、调速轴及反馈传动机构的制造及安装质量应符合 GB/T 8564 及制造厂有关规定；
  - 转桨式机组应防止至轮叶接力器的管道中有电流通过；
  - 充水前对接力器操作检查的开启和关闭最低油压应符合 GB/T 8564 的规定，且接力器运动应平稳；
  - 无调压阀的水轮机过水系统的水流惯性时间常数  $T_w$  不应大于 4s，水流惯性时间常数  $T_w$  与水击波相长时间常数  $T_s$  之比应大于 1；
  - 有调压室的水轮机调节系统，调压室稳定断面面积宜大于临界稳定断面面积；
  - 机组惯性时间常数  $T_i$  应符合表 1 的规定；
  - 机组惯性比率  $R_i$  不应大于 0.4；
  - 水轮发电机组应能在手动各种工况下稳定运行。在发电机励磁装置自动运行且电压调差率取较大的正值、接力器 10min 内位置漂移不超过  $\pm 0.2\%$ ~ $0.2\%$  的条件下，任意 3min 内的机组手动空载转速摆动相对值  $\delta n_r$  不应超过表 2 规定值。对于空载开度小于 1% 的冲击式机组除外。

表 1 机组惯性时间常数  $T_i$  规定值

单位：s

机组运行方式	机组型式			
	混流式	轴流式或斜流式	屏流式	冲击式
并网（大网）运行	$\geq 4$	$\geq 4$	$\geq 3.5$	$\geq 2$
孤网运行	$\geq 4$	$\geq 4$	$\geq 4.5$	$\geq 4$

表 2 手动空载转速摆动规定值

%

机组型式	调节系统操作功容量 $E_h/(N \cdot m)$	
	$18000 < E_h \leq 75000$	$E_h \leq 18000$
冲击式	$\pm 0.25$	$\pm 0.2$
混流式	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$

表 2 手动空载转速波动规定值 (续)

%

机组型式	调节系统操作容量 $F_R/(N \cdot m)$	
	$18000 < F_R \leq 75000$	$F_R \leq 18000$
轴流转桨或斜流式	$\pm 0.25$	$\pm 0.4$
轴流定桨式	$\pm 0.35$	$\pm 0.37$
混流式	$\pm 0.4$	$\pm 0.4$

#### 4.2 非正常使用条件

超出 4.1 规定的正常使用条件范围或规定值之外, 应视为非正常使用条件, 此时宜由用户和制造厂在合同或有关文件中对有关性能取得协议, 但不应影响机组的安全稳定运行。

#### 5 总体要求

5.1 调节系统宜采用微机调节器加液压随动系统结构, 也可采用微机调节器加中间接力器加机械——液压随动系统结构; 水轮机调节系统基本结构参见附录 B。

5.2 微机调节器宜采用工业级中央处理器 (CPU) 的控制器的硬件平台。

5.3 液压随动系统宜采用具有互换性的机械液压元件/组件, 液压集成块方式连接。

5.4 液压随动系统的工作油压等级可划分为 2.5MPa、4.0MPa、6.3MPa、10MPa、12.5MPa、14MPa、16MPa 等。

5.5 设计参数要求如下:

- a) 永态差值系数  $b_p/e_p$  应能在零至最大设计值范围内整定; 最大设计值不应小于 10%;
- b) 机组及电网频率的测量, 应采用测周期法或计时计数法的直接数字测频, 其高速计数器计数频率, 不宜低于 300kHz;
- c) 人工频率 (转速) 死区  $F$  应能在  $-2\% \sim +2\%$  额定转速范围内整定;
- d) 应能设置人工功率死区  $E_p$ , 其整定范围宜为  $-2\% \sim +2\%$ ;
- e) 调节参数应具有两种参数体系表达方式, 其调整范围应分别包容如下规定值:
  - 1) 并联 PID 参数体系:
    - 比例增益  $K_P$ :  $0 \sim 20$ ;
    - 积分增益  $K_I$ :  $0 \sim 10s^{-1}$ ;
    - 微分增益  $K_D$ :  $0 \sim 5s$ 。
  - 2) 串联 PID (加速度—缓冲式) 参数体系:
    - 暂态转差系数  $b_s$ :  $(1 \sim 200)\%$ ;
    - 缓冲时间常数  $T_b$ :  $1 \sim 20s$ ;
    - 加速时间常数  $T_a$ :  $0 \sim 2s$ 。
  - 3) 上述参数应能连续整定或分档整定, 还应根据机组运行工况自动转换。
- f) 频率/转速指令信号宜在  $(8 \sim 52)Hz$  范围内整定;
- g) 开度/负荷指令信号应能自零至最大开度/负荷范围内任意整定。应设有接收远方控制信号的接口, 其整定时间应大于接力器全行程最短动作时间, 并符合设计规定, 宜为  $20 \sim 80s$ ;
- h) 接力器的开启时间  $T_o$  和关闭时间  $T_c$  应能根据需要调整, 并应满足调节保证计算设计要求。

#### 6 系统功能

6.1 基本功能、配置应符合 GB/T 9652.1 的规定。

6.2 应保证机组在下列工况下稳定运行:

- a) 空转或空载运行；
  - b) 联网（大网）运行；
  - c) 孤网或单机带负荷运行；
  - d) 调相运行。
- 6.3 应能实现机组以自动及手动方式启动、功率增/减、停机、快速事故停机和紧急事故停机；应设有接收远方自动开/停机操作信号的接口。
- 6.4 除用负荷直接作用于停机的机组外，水轮机调节系统应具有甩负荷后维持机组额定转速运行的能力。
- 6.5 空载/空转运行时，应具备机组频率自动跟踪电网频率或频率给定值的功能。
- 6.6 对于具有黑启动要求的水轮机调节系统，应满足黑启动单机带负荷时频率调节的稳定性。
- 6.7 应具备根据机组工作状态自动改变控制模式、调整相应参数的功能。
- 6.8 应具有与计算机监控系统现地控制单元（LCU）通信的功能。
- 6.9 对于具有与 LCU 时钟同步功能的水轮机调节系统，其时钟同步误差不宜大于 1s。
- 6.10 应能根据水头信号自动修正导叶/喷针启动或加速开度、轮叶启动转角、空载限制开度、最大功率限制开度、空蚀限制开度等。
- 6.11 转桨式水轮机的双调整调节装置要求如下：
- a) 应具备根据协联关系曲线实现协联关系的装置或功能；
  - b) 应具备采集水头信号并按实际水头自动选择相应协联关系的功能；
  - c) 在停机过程完成后，应自动将轮叶调整至启动转角；
  - d) 在机组启动过程中，应使轮叶转角从启动转角自动转换到正常的协联关系；
  - e) 应具备手动控制轮叶转角的组件或功能。
- 6.12 冲击式水轮机的双调整调节装置要求如下：
- a) 应具备折向器的投/退及协同控制的组件或功能；
  - b) 折向器与喷针可采用协联控制，也可采用直联（并联）控制；
  - c) 多喷嘴冲击式水轮机在负荷调整过程中，应以对称喷针依次投入或退出，且调整应平稳；
  - d) 机组频率在正常范围时，折向器宜先于喷针打开、后于喷针关闭；
  - e) 当机组转速上升达到折向器折入（挡水）的条件时，折向器应以设计的最快速度可靠关闭；
  - f) 带有反向喷针控制的调节系统，当接收到停机令且转速低于 70% 额定转速时，反向喷针应投入，当转速进一步低于 35% 额定转速时，反向喷针应退出。
- 6.13 带有调压阀控制水轮机的双调整调节装置要求如下：
- a) 应具备通过纯机械液压联动控制的方式，对调压阀进行投/退及协同控制；
  - b) 应具备实现调压阀快速开启、缓慢关闭的功能，且开启和关闭时间，应能在调节保证计算设计范围内任意整定；
  - c) 导叶接力器处于稳定位置时，调压阀应关闭；
  - d) 导叶开度小幅度变化时，调压阀应关闭；
  - e) 导叶开度增加时，调压阀应关闭；
  - f) 机组负荷大幅度减小时，调压阀应快速开启，导叶应快速关闭，两者应协调同步；调压阀开启动作与导叶关闭动作的时间差不应大于 0.2s；
  - g) 机组负荷大幅度减小时，若调压阀未能同步开启，则导叶接力器应以调节保证计算设计确定的慢关速度关闭。
- 6.14 调节参数、人工死区、水态差值系数以及随动系统参数等应在人机界面上可查询和调整。
- 6.15 在稳定状态下，调节系统的频率控制、功率控制、开度控制、水位控制和流量控制模式相互切换时，水轮机主接力器的行程变化不得超过其全行程的  $\pm 1\%$ 。

- 6.16 在稳定状态下,调节系统手动方式、自动方式相互切换时,水轮机主接力器的行程变化不得超过其全行程的 $\pm 1\%$ 。
- 6.17 手动状态下,接力器处于稳定位置时10min内位移漂移量,在离网状态,不得超过其全行程的 $\pm 0.2\%$ ;在并网运行状态,不得超过其全行程的 $\pm 0.5\%$ 。
- 6.18 机组和辅助设备事故时,应能接受外部指令实现快速事故停机或紧急事故停机。
- 6.19 水轮机调节系统的故障保护与容错功能要求如下:
- 电源装置应能同时接入交、直流电源,或同时接入2路直流电源,且能互为备用。其中任意一路电源故障时,应能自动切换并发出报警信号。电源切换引起的水轮机主接力器行程变化不得超过全行程的 $\pm 1\%$ 。
  - 在机组稳定发电运行时,当频率信号、水头信号、功率信号、位移信号消失时,应能使机组保持信号故障前所带的负荷,引起的水轮机主接力器的行程变化不得超过其全行程的 $\pm 1\%$ ,同时应不影响机组的正常停机和事故停机。
  - 对于有人值班的电站,当工作电源完全消失,或机频信号、接力器反馈信号等重要信号消失时,在并网发电状态,接力器行程应保持当前位置不变,在离网状态,应实行关机保护;当电源或信号恢复时,接力器位移波动不得超过其全行程的 $\pm 1\%$ 。对于无人值班电站,可采取关机保护的措施。
- 6.20 下列辅助功能及装置,可由供需双方协商选定:
- 多喷嘴冲击机组启动喷嘴的任意选择;
  - 远方/就地切换选择开关或功能;
  - 一次调频投/切选择开关或功能;
  - 历史信息查询功能;
  - 调试及试验功能;
  - 事故配压阀、重锤关机阀;
  - 机械超速保护装置;
  - 导叶或喷嘴不同步报警;
  - 对转桨式机组的浪涌控制;
  - 对贯流式机组的泄水控制;
  - 对双向贯流式机组旋转方向的识别功能。

## 7 系统性能

### 7.1 可靠性指标

7.1.1 调节系统平均故障间隔时间(MTBF),不应小于12000h。

7.1.2 在被控机组及其他相关设备均工作正常时,由调节系统自身故障导致的年强迫停运率,不应大于0.3%。

### 7.2 静态性能

7.2.1 频率测量分辨率,应小于 $0.005f_{Lz}$ 。

7.2.2 静态特性曲线的线性度误差 $\varepsilon$ 不应超过5%。

7.2.3 测至导叶或喷嘴主接力器的转速死区 $i_s$ 的考核应以水态差值系数 $b_p$ 为基数,不同操作功容量的水轮机调节系统转速死区不得超过表3的规定。

7.2.4 转桨式水轮机调节系统的轮叶随动系统不准确度 $i$ ,不得超过0.8%,实测协联关系曲线与理论(设计)协联关系曲线的偏差不应大于轮叶接力器全行程的 $\pm 1\%$ 。



表 3 水轮机调节系统转速死区规定值

项 目	调节系统操作功容量 $E_R/(KN \cdot m)$		
	$18000 < E_R \leq 75000$	$3000 < E_R \leq 18000$	$350 < E_R \leq 3000$
转速死区	$1.5\% \delta_n$	$2.5\% \delta_n$	$5\% \delta_n$

7.2.5 在稳态工况下,对多喷嘴冲击式水轮机的任何两喷嘴之间的位置偏差,在整个范围内均不应大于 $1\%$ ;每个喷嘴位置对所有喷嘴位置平均值的偏差不应大于 $\pm 0.5\%$ 。

### 7.3 动态性能

7.3.1 在调节系统开环增益不小于 $60\%$ 极限开环增益的条件下,输入阶跃频率信号,各种调节参数组合下的动态响应过程,应具有比例-积分(PI)或比例-积分-微分(PID)调节规律,不得出现控制信号或接力器抽动及其他异常现象。

7.3.2 由电子调节器的时域动态响应示波图上求取的 $K_P$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ ,或 $b_1$ 、 $T_A$ 、 $T_n$ ,与理论值的偏差不得超过 $\pm 10\%$ 。

7.3.3 水轮机调节系统的参数整定,应保证在各种工况下均能稳定运行;其参数整定方法及原则参见附录C。

7.3.4 自机组启动开始至空载转速(频率)达到同期带,即 $99.5\% f_n \sim 101\% f_n$ ,所经历的时间 $t_{sk}$ 不得大于自机组启动开始至机组转速达到 $80\%$ 额定转速 $n_n$ (或额定频率 $f_n$ )的升速加速时间 $t_{n,0}$ 的5倍,见图7。

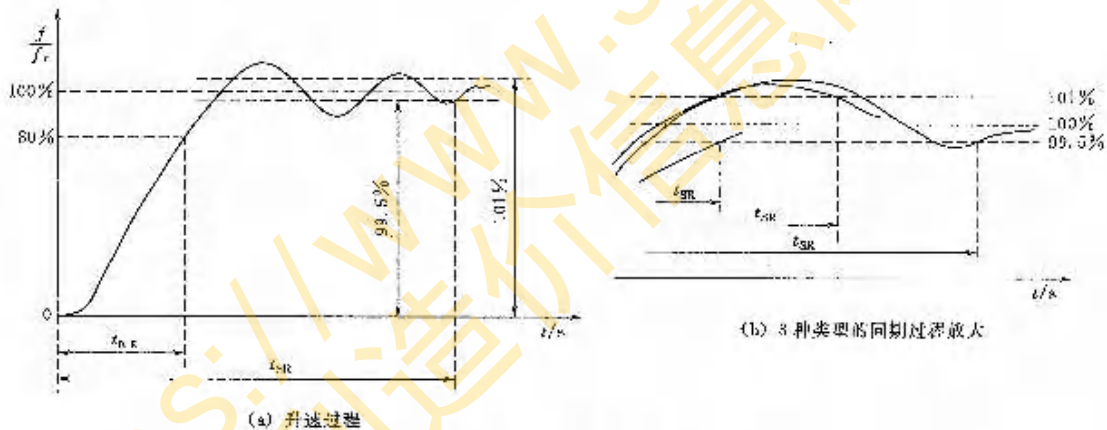


图 7 开机升速至同期转速过程曲线

7.3.5 机组启动规律应根据水压变化、机组振动和主轴摆度、水推力、转轮动应力、机组结构刚度等所允许的开启速度、机组惯性时间常数、水流惯性时间常数等确定。

7.3.6 机组在空载工况运行,当频率阶跃变化的有效频差 $\geq 4\%$ 额定频率时,调节系统空载扰动响应过程的动态调节品质(见图4)要求如下:

- 频率变化衰减度 $\psi$ 不应大于 $25\%$ ;  
注:若频率变化是单调无超调响应过程,则衰减度 $\psi$ 视为 $0$ 。
- 频率最大超调量 $\Delta f_{max}$ 不得超过扰动量 $\Delta f_0$ 的 $35\%$ ;
- 由扰动开始,到调节稳定为止的调节时间 $T_{sk}$ 不得超过 $25s$ ;
- 在调节时间 $T_{sk}$ 内,频率超过 $\pm 0.3511z$ 的波动次数 $Z$ 不得超过 $2$ 次;
- 对于不满足4.1.8 d)、g)、i)规定的机组、接力器分段关闭拐点大于空载开度且分段关闭速率过小的机组,其空载扰动响应过程的动态品质可由供需双方协商,但不应影响机组安全稳

定运行。

7.3.7 自动空载运行时,任意 3min 内机组转速摆动相对值  $\delta n$  要求如下:

- 当手动空载转速摆动相对值满足 4.1.8 j) 规定的值时,机组转速摆动相对值不得超过表 4 的规定值;
- 手动空载转速摆动相对值不满足 4.1.8 j) 规定值时,其自动空载转速摆动相对值不得超过相应于手动空载转速摆动相对值;
- 对于不满足 4.1.8 f)、g)、i) 规定的机组、空载开度小于 1% 的冲击式机组,其空载转速摆动指标可由供需双方协商,但不应影响机组安全稳定运行。参见附录 D。

表 4 自动空载转速摆动规定值

%

机组型式	调节系统操作功容量 $E_R/(N \cdot m)$	
	$18000 < E_R \leq 75000$	$E_R \leq 18000$
冲击式	$\pm 0.18$	$\pm 0.2$
混流式	$\pm 0.2$	$\pm 0.25$
轴流转浆或斜流式	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$
轴流定桨式	$\pm 0.3$	$\pm 0.35$
贯流式	0.33	$\pm 0.35$

7.3.8 除采用先慢后快特殊关机规律的机组、喷针接力器关闭时间大于 35s 的机组外,接力器不动时间  $T_n$  不得超过 0.2s。

7.3.9 机组用 100% 负荷时的动态品质(见图 8) 要求如下:

- 最大转速上升与最大水压上升应满足调节保证计算设计要求;
- 在甩负荷调节过程中,偏离稳态转速 3% 以上的波动次数  $Z$  不得超过 2 次;对于解列后需要带厂用电的机组,甩负荷后机组最低转速  $n_{min}$  不得低于额定转速  $n_r$  的 90%;
- 调节时间应满足下列要求之:
  - 从甩负荷后接力器首次向开启方向移动时起,到机组转速摆动相对值不超过  $\pm 1\%$  为止,历时  $T_s$  不得大于 40s;
  - 从甩负荷开始至机组转速摆动相对值不超过  $\pm 1\%$  为止的调节时间  $T_r$  与从甩负荷开始至转速升至最高转速所经历的时间  $T_w$  的比值,对中、低水头反击式水轮机不得大于 8, 轮叶关闭时间较长的转浆式水轮机不得大于 10; 对高水头反击式水轮机和冲击式水轮机不得大于 15。
- 上述 b)、c) 要求对于下列情况除外:不满足 4.1.8 f)、g)、i) 规定的机组、轮叶全行程关闭时间大于 45s 或投入浪涌控制的转浆式机组、接力器分段关闭拐点高于空载开度且分段关闭速率整定值小于 0.5%/s 的机组、采用先慢后快特殊关机规律的机组、甩负荷后直接作用于停机的机组。

7.3.10 调节系统一次调频性能要求应按 DL/T 1245 执行。

7.3.11 对于具有功率调节模式的调节系统,机组在带负荷工况下稳定运行,调节系统处于功率控制模式;当施加有功功率的阶跃扰动时,按照图 9 所示的负载扰动响应过程的动态调节品质:

- 有功功率最大超调量  $\Delta P_{max}$  不得超过机组额定有功功率  $P_r$  的 5%;
- 当有功功率的阶跃扰动量不小于额定有功功率  $P_r$  的 25% 时,在调节过程中每分钟的平均有功功率调节量,即  $|P_{min} - P_r| \times 60 / T_T$ , 不应小于额定有功功率  $P_r$  的 50%; 当有功功率的阶跃扰动量小于额定有功功率  $P_r$  的 25% 时,每分钟的平均有功功率调节量不应小于额定有功功率  $P_r$  的 25%;
- 在调节过程稳定后,功率稳定性指数不应超过  $\pm 3\%$ ;
- 上述考核要求对于下列情况除外:不满足 4.1.8 f)、g)、i) 规定的机组、轮叶全行程关闭时

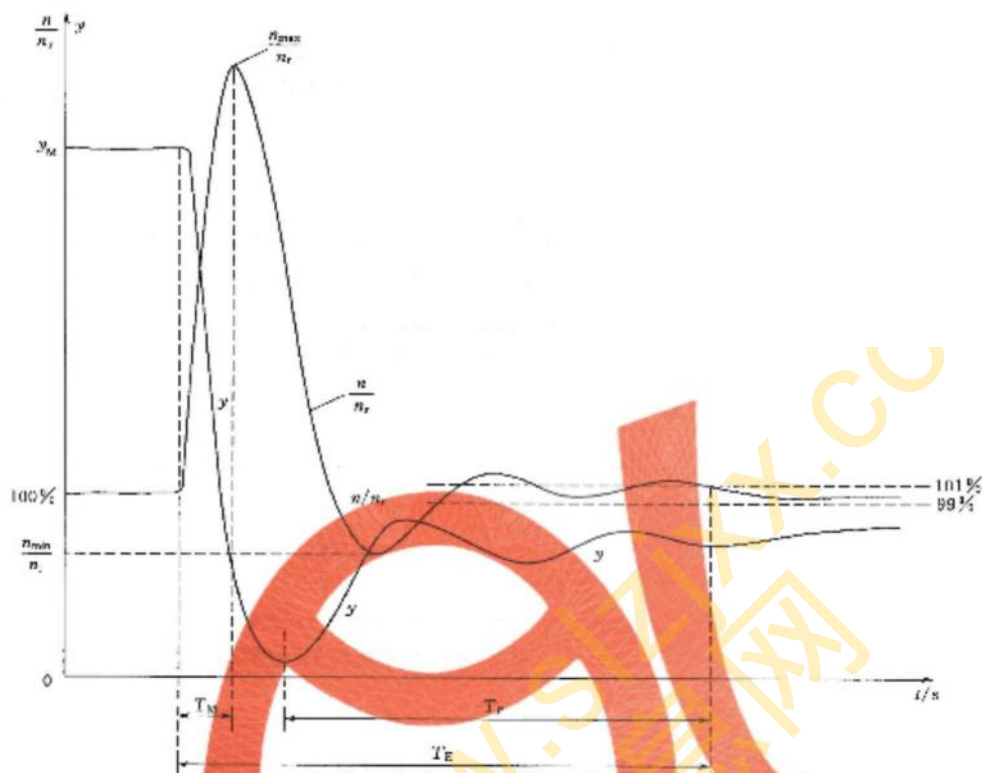


图8 用负荷调节过程曲线

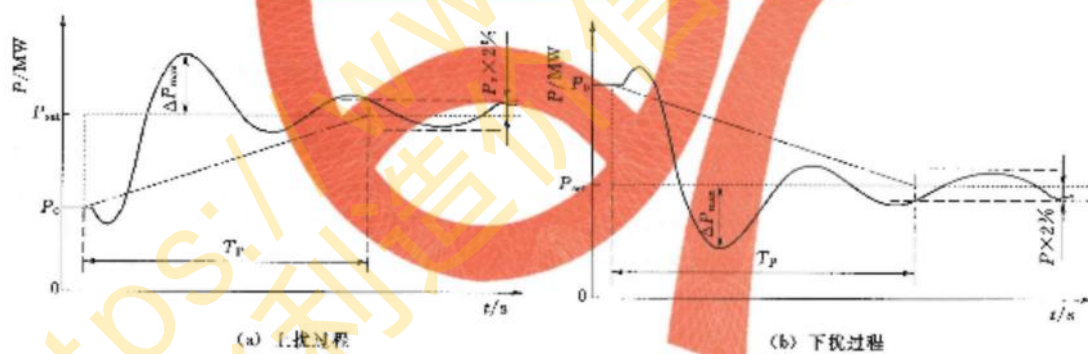


图9 负荷扰动调节过程

调速定值大于 40s 的转桨式机组、接力器开启或关闭速率整定值小于 0.5%/s 的机组, 但不影响机组的安全稳定运行。

7.3.12 机组在带负荷工况下稳定运行, 调节系统处于开度控制模式; 当施加开度阶跃扰动时, 按照图 10 所示的开度扰动响应过程的动态调节品质:

- a) 开度最大超调量  $\Delta Y_{max}$  不得超过接力器全行程  $Y_r$  的 2%;
- b) 当导叶或喷针主接力器开度阶跃扰动量不小于接力器全行程  $Y_r$  的 15% 时, 在调节过程中每分钟的平均开度调节量, 即  $|Y_{set} - Y_0| \times 60 / T_T$ , 不应小于接力器全行程  $Y_r$  的 120%; 当开度阶跃扰动量小于接力器全行程  $Y_r$  的 15% 时, 每分钟的平均开度调节量不应小于接力器全行程  $Y_r$  的 60%;

- c) 当机组及调节保证计算设计要求的接力器运动速率低于上述规定值时, 每分钟的开度调节量应满足设计提出的要求;
- d) 在调节过程稳定后, 接力器实际开度与给定值(目标值)  $Y_{set}$  的偏差不应超过  $\pm 0.4\%$ 。

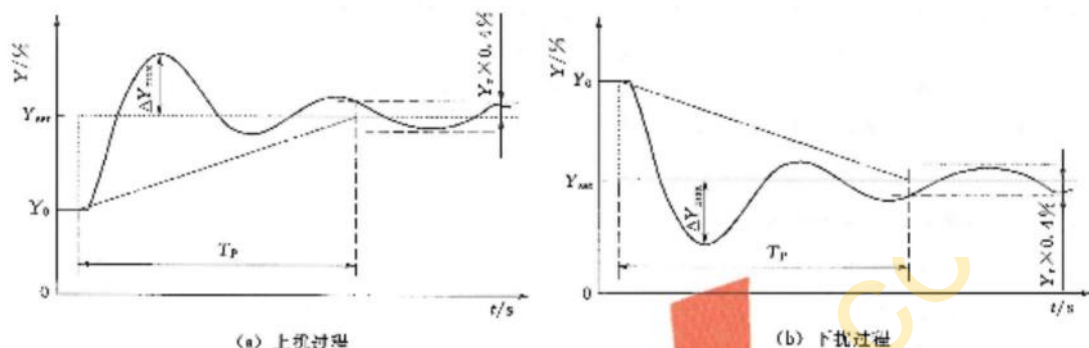


图 10 开度扰动调节过程

7.3.13 调节系统应具有孤网自动识别能力, 保证机组在孤网运行工况下的稳定运行; 当外部负荷发生变化(不大于机组额定功率的 15%) 而引起频率变化时, 调节过程中频率变化衰减度  $\phi$  不应大于 25%; 在无外部负荷突变的条件下, 频率波动应在  $\pm 3\%$  范围内。

#### 7.4 温度漂移及综合漂移

7.4.1 水轮机调节系统的温度漂移折算为机组转速相对值不得超过  $0.02\%/^{\circ}\text{C}$ 。

7.4.2 综合漂移值折算为机组转速相对值不得超过  $0.6\%/8\text{h}$ 。

#### 7.5 抗干扰能力

7.5.1 水轮机调节系统应具有良好的电磁兼容性能, 在电站正常工作条件下, 不得因各种干扰信号引起主接力器及指示仪表的异常变动。

7.5.2 对水轮机调节系统按 GB/T 17626.4 之规定进行电快速脉冲群抗扰度试验(试验等级为 3 级), 干扰引起的接力器行程变化不得超过  $\pm 1\%$ 。

### 8 电子调节器

#### 8.1 调节器硬件

##### 8.1.1 硬件平台

8.1.1.1 按 5.2 的规定选择调节器硬件平台。

8.1.1.2 调节器的硬件配置, 应保证测量与调节精度、调节的实时性及系统的可靠性, 应能适应水电厂现场电磁干扰的工作环境。

8.1.1.3 微机调节器的硬件结构宜采用单微机系统。

##### 8.1.2 电源

8.1.2.1 外部供电应采用交流电源与直流电源或 2 路直流电源双重供电的方式。

8.1.2.2 当主用电源故障时, 应能自行切换至备用电源。

8.1.2.3 电源在空载及额定负载状态下, 当输入电压波动不超过  $-15\% \sim +10\%$  时, 输出电压波动应不超过  $-1\% \sim +1\%$ 。

### 8.1.3 频率测量环节

8.1.3.1 频率测量分辨率应符合 7.2.1 的规定。

8.1.3.2 频率测量环节应能适应正弦波、方波或梯形波等被测信号源，在信号电压为 0.5~150.0V 时能稳定可靠工作，且能承受 220.0V 信号电压不少于 1min。

8.1.3.3 频率测量环节应能滤除被测信号源的谐波分量 and 电气设备投/切引入的瞬间干扰信号。

8.1.3.4 在±10%额定转速范围内，频率测量环节响应时间  $T_{\text{res}}$  不宜大于 40ms；响应延滞时间  $T_{\text{del}}$  不宜大于 25ms。

### 8.1.4 模拟量输入、输出环节

8.1.4.1 总体要求如下：

- a) 信号转换时间不应大于 10ms；
- b) 抗干扰能力应满足 7.5 的要求；
- c) 分辨率不应小于 12 位；
- d) 应具有和外部信号的电气隔离，隔离强度 1500VAC/min。

8.1.4.2 模拟量输入要求如下：

- a) 模拟量输入信号应经调理电路处理及变换后，送模数 (A/D) 采集模块。
- b) 信号范围宜为：
  - 电流型：0~20mA、4~20mA；
  - 电压型：±5V、±10V、0~5V、0~10V。
- c) 输入阻抗宜为：
  - 电流型  $\leq 500\Omega$ ；
  - 电压型  $\geq 5k\Omega$ 。
- d) 模拟量输入信号可包括：
  - 导叶/喷针接力器行程；
  - 轮叶/折向器接力器行程；
  - 水轮机工作水头；
  - 水轮机流量；
  - 机组有功功率；
  - 开度给定信号；
  - 功率给定信号。

8.1.4.3 模拟量输出要求如下：

- a) 信号范围宜为：
  - 电流型：0~20mA、4~20mA；
  - 电压型：±10V、0~10V。
- b) 负载能力宜为：
  - 电流型  $\leq 500\Omega$ ；
  - 电压型  $\geq 500\Omega$ 。
- c) 模拟量输出信号宜包括：
  - 导叶/喷针接力器位移控制信号输出；
  - 轮叶/折向器接力器位移控制信号输出；
  - 导叶/喷针接力器实际位移信号上传；
  - 轮叶/折向器接力器实际位移信号上传。

### 8.1.5 开关量输入

8.1.5.1 开关量输入信号应与控制器内部隔离，并能抑制外部干扰；开关量输入反应时间宜为1~10ms；且应具有通、断状态指示。

8.1.5.2 开关量输入信号宜包括下列类型：

- a) 操作信号：开机、停机、发电转调相、调相转发电等；
- b) 增/减脉冲控制信号：频率给定、开度给定、功率给定增加/减小等；
- c) 状态信号：发电机出口断路器辅助接点信号、发电机出口变压器高压侧断路器辅助接点信号、锁锭位置信号、刹车信号等；
- d) 调节模式选择信号：频率调节、开度调节、功率调节、水位调节、流量调节、浪涌控制、泄水控制、中网频率跟踪信号等；
- e) 运行方式切换信号：自动运行、手动运行、双机主/备用切换、控制模式（频率、功率、开度、水位、流量控制等）切换、一次调频功能投/退等；
- f) 保护信号：快速事故停机、紧急事故停机信号等。

### 8.1.6 开关量输出

8.1.6.1 开关量输出信号应具有隔离及功率放大特性，并具有过载保护和内部保护电路；应采用无源接点输出；且应具有通、断状态指示。

8.1.6.2 开关量输出信号宜包括下列类型：

- a) 故障报警信号：机频故障、网频故障、导叶/喷针反馈断线、轮叶/折向器反馈断线、随动系统伺服故障、功率反馈断线、水头信号断线、电源消失、继电器拒动等；
- b) 运行方式指示信号：自动/手动运行、主用/备用、一次调频投/退等；
- c) 操作控制信号：电磁阀投入与退出信号、操作电机启动与停止信号、一次调频动作等；
- d) 调节模式信号：频率调节、开度调节、功率调节、水位调节、流量调节等。

### 8.1.7 放大/驱动环节

8.1.7.1 宜在放大/驱动环节内设置带有比例—微分或比例—积分等功能的校正环节。

8.1.7.2 放大器或驱动器可与电气—机械/液压转换组件集成在一起，也可分置。若是分置的，则两者之间的安置距离不应大于60m。

### 8.1.8 通信接口

调节系统与监控系统通信接口可采用串行通信、以太网、现场总线等方式。

### 8.1.9 人机接口

人机接口可采用触摸屏或数码管、开关、按钮、模拟表计、指示灯构成。

## 8.2 调节器软件

### 8.2.1 软件结构

8.2.1.1 调节器应用软件宜采用模块化结构，参照附录E。

8.2.1.2 软件结构应能反映第5章、第8章规定的功能。

### 8.2.2 通信协议

与监控系统的通信，可采用MODBUS规约或ME+、Profibus、CAN等现场总线规约。

## 9 液压部分

### 9.1 液压随动系统

#### 9.1.1 一般规定

- 9.1.1.1 液压随动系统设计制作应符合 5.3 的规定。
- 9.1.1.2 宜在液压随动系统的操作油口、控制油口处设置供调试、检查、故障诊断用的测压点。
- 9.1.1.3 控制阀不得超过其功率极限运行。
- 9.1.1.4 在第 4 章规定的使用条件下，液压随动系统应正确、可靠工作。
- 9.1.1.5 应具有手动操作功能，手动状态下的接力器位置漂移应符合 6.17 的规定。
- 9.1.1.6 在调节参数、指令信号及输入信号不变的条件下，油压在正常工作范围内变化时，所引起的主接力器位移波动不得超过全行程的 $\pm 0.5\%$ 。

#### 9.1.2 电气—机械/液压转换组件

- 9.1.2.1 电气—机械/液压转换组件可采用流量输出型结构，也可采用位移输出型结构。
- 9.1.2.2 静态特性：传递系数实际值与设计值误差应小于 5%，线性度误差小于 5%，死区及滞环小于 0.5%，重复精度小于 0.2%。
- 9.1.2.3 动态性能：响应频宽应不小于 5Hz，阶跃调整时间宜为 10~25ms。

#### 9.1.3 主配压阀（接力器控制阀）

- 9.1.3.1 主配压阀宜采用具有衬套（阀套）的阀座结构。
- 9.1.3.2 阀体应能承受不低于 1.5 倍的额定压力。
- 9.1.3.3 主配压阀实际最大工作行程与设计行程之比应大于 0.5。
- 9.1.3.4 通过主配压阀及连接管道的最大压力降宜为额定油压值的 20%~30%。

#### 9.1.4 油路集成块

- 9.1.4.1 油路集成块宜采用碳钢锻件。
- 9.1.4.2 互不相通的孔道间以及孔道与块体表面间的最小壁厚应满足强度条件，最小壁厚不宜小于 5mm。
- 9.1.4.3 安装液压阀、管接头、法兰、传感器及其他元件的各方面应留有足够的安装及检修空间。

#### 9.1.5 辅助液压件

- 9.1.5.1 手动换向阀、行程换向阀应符合下列要求：
  - a) 最大压力损失不大于 0.5MPa；
  - b) 使用寿命不小于 3000 万次。
- 9.1.5.2 电磁换向阀应符合下列要求：
  - a) 最大压力损失不大于 1MPa；
  - b) 换向与复位时间不超过 50~200ms；
  - c) 换向频率不低于 60 次/min；
  - d) 使用寿命不小于 3000 万次。
- 9.1.5.3 滤油器要求如下：
  - a) 可采用网式滤油器、纸质或化纤式滤油器、不锈钢纤维滤油器；滤油器宜安装在泵的吸油口、先导压力油路或主供压力油路、回油路等位置；

- b) 滤油器应配置压差报警器；
- c) 通油能力宜至少大于实际通过流量的 2 倍以上；
- d) 油泵吸油口滤油器的绝对过滤精度可选择  $100\sim 180\mu\text{m}$ ；
- e) 对于先导控制油路，滤油器的绝对过滤精度不应大于  $25\mu\text{m}$ ；对于主油路，绝对过滤精度不应大于  $100\mu\text{m}$ ；滤油器的过滤比不应小于 75；
- f) 滤油器的过滤效率不应小于 98%；
- g) 滤芯饱和压差不应小于  $0.45\text{MPa}$ ；
- h) 在符合本标准规定的正常工作压力及油温下，滤油器不应出现破损或腐蚀现象；
- i) 应定期更换及维护滤油器滤芯。

#### 9.1.5.4 液压锁锭要求如下：

- a) 锁锭控制阀宜采用具有阀芯机械定位功能的双稳液阀；锁锭位置行程开关触点应动作可靠，防护等级不低于 IP62；
- b) 对于采用电磁阀进行远方操作的液压锁锭，还应具备现地手动操作功能。

#### 9.1.5.5 分段关闭装置要求如下：

- a) 分段关闭拐点位置应根据调节保证计算设计的要求，在全行程范围内任意整定，且动作稳定可靠，其分段拐点位置偏差不应超过接力器全行程的  $\pm 3\%$ ；
- b) 重要机组的分段关闭装置宜采用通过行程阀作用的机械液压控制方式。由分段关闭拐点触发的行程阀至主控制阀之间的油管路长度不宜大于  $10\text{m}$ 。

#### 9.1.5.6 事故配压阀应符合下列要求：

- a) 在调节系统正常情况下，事故配压阀应保证主配压阀至接力器油路的畅通，对调节系统的调节性能无任何影响；
- b) 自事故配压阀动作起到主接力器开始动作的延时不宜大于  $0.5\text{s}$ ；事故配压阀最低切换压力不宜大于  $1.7\text{MPa}$ ；
- c) 关机时间的整定不应小于快速事故停机时的最短接力器关闭时间；
- d) 宜设置反映阀芯动作状态的位置信号；
- e) 过流能力应与主配压阀相同或略大于主配压阀。

#### 9.1.5.7 重锤关机阀要求如下：

- a) 在调节系统正常情况下，重锤关机阀应保证主配压阀至接力器油路的畅通，对调节系统调节性能无任何影响；
- b) 自重锤关机阀动作到主接力器动作延时不应大于  $0.6\text{s}$ 。

#### 9.1.5.8 机械超速保护装置要求如下：

- a) 机械超速保护装置的飞摆及换向阀应根据整定的转速准确动作换向，且能人工手动返回，其转速动作误差不宜大于  $3\%$  整定值；
- b) 自机械超速保护装置动作起到接力器开始动作的延时不应超过  $2\text{s}$ 。

#### 9.1.5.9 最小压力阀应符合下列要求：

- a) 最小压力阀应根据整定的压力值准确动作换向，并立即作用于事故低油压紧急停机；
- b) 实际动作油压值与整定值的偏差，不得超过整定值的  $\pm 2\%$ 。

### 9.1.6 管路及附件

9.1.6.1 压力油管、操作油管路的设计流速参考值宜为  $5\sim 7\text{m/s}$ ，回油管路的油液流速不应大于  $4\text{m/s}$ ，吸油管路的油液流速不应大于  $1.2\text{m/s}$ 。

9.1.6.2 管道应短捷、布置整齐、转弯少，弯曲角度不应小于  $90^\circ$ ，最小曲率半径宜大于 3 倍管道外径；高/低压管道应有色彩区别。



9.1.6.3 管接头应符合 JB/T 986 的规定。

9.1.6.4 法兰应符合 JB/ZQ 4187 的规定。

9.1.6.5 管接头、法兰用的 O 型密封圈应符合 GB/T 3452.2 的规定，管接头的组合密封垫圈应符合 JB/T 982 的规定。

## 9.2 油压装置

### 9.2.1 一般要求

9.2.1.1 油压装置正常工作油压的变化范围应在名义工作油压的±5%以内。

9.2.1.2 应保持油液的清洁，应经过精密过滤后注入系统，且清洁度符合 4.1.5 的要求。

9.2.1.3 应防止空气混入系统，油的空气含量不得超过 3%。

9.2.1.4 油温应控制在 10~50℃，否则应设置油温调节装置。

9.2.1.5 压力容器（压力油罐/蓄能器）可采用油、气接触式压力罐，也可采用液压隔离式（油、气分离式）蓄能器。

9.2.1.6 压力容器的油压和油位均在正常工作范围内时，关闭所有阀门，8h 后油压下降不得大于额定油压的 4%。

9.2.1.7 在机组停止或调节系统稳定状态下，对于间歇运行的油压装置，油压从正常操作油压上限降至正常操作油压下限的时间应大于 25min。

### 9.2.2 压力油罐

9.2.2.1 压力油罐容积的选择按附录 A 执行。

9.2.2.2 压力油罐的设计、制造、焊接和检查，应符合 GB 150.1、GB 150.2、GB 150.3、GB 150.4、NB/T 47015 等有关规定。

9.2.2.3 压力油罐的工作油压不宜超过 6.3MPa。

9.2.2.4 压力油罐在正常工作油压上限时，罐内油和空气体积比宜为 1/3~1/2。

9.2.2.5 压力油罐应设置允许放油的截止阀。

9.2.2.6 压力油罐内部表面应清理。

9.2.2.7 压力油罐内、外部防锈涂层应与系统的油液和大气环境相容。

9.2.2.8 压力油罐应具有下列永久和明显标志：

- 制造商或供应商的名称和简要地址；
- 制造商或供应商的产品标识；
- 额定压力；
- 壳体总容积；
- 制造商系列号或批号；
- 允许的温度范围，以℃为单位。

### 9.2.3 液压隔离式蓄能器

9.2.3.1 液压隔离式蓄能器容积的选择按附录 A 执行。

9.2.3.2 液压隔离式蓄能器的设计、制造、焊接和检查，应符合 GB 150.1、GB 150.2、GB 150.3、GB 150.4、GB/T 20883、NB/T 47015、JB/T 7035、JB/T 7036、HG/T 2331 等的有关规定。

9.2.3.3 液压隔离式蓄能器充气压力  $P_0$  的取值宜为最小规定压力  $P_R$  的 0.93 倍，见附录 A。

9.2.3.4 液压隔离式蓄能器的最大输油量不得超过设计极限。

9.2.3.5 液压隔离式蓄能器和配套受压元件支撑应符合供应商说明书的规定；其安装位置应便于接

近和维修。

9.2.3.6 在解体液压隔离式蓄能器之前，液体侧和气体侧应完全释压。

9.2.3.7 液压隔离式蓄能器标识除符合 9.2.2.8 的要求之外，还应具有下列永久和明显标志：

提示语：“警告—压力容器，拆卸前排出油液”；

额定充气压力；

提示语：“仅用氮气作为充气介质”。

#### 9.2.4 油泵

9.2.4.1 应根据最大工作压力、额定流量、转速、容积效率、总效率、自吸特性、噪声等因素选择油压装置的油泵。

9.2.4.2 油泵运转应平稳；油泵的输油量应能满足调节系统正常用油的需要；对于非孤网运行的油压装置，油泵从正常工作油压下限启动开始至压力升至停泵压力，即正常工作油压上限，所经历的最长时间不宜大于 60s；在用于孤网运行的情况下，不宜大于 25s。

9.2.4.3 应保证油泵的吸油高度，不得出现吸空或气穴现象。

9.2.4.4 螺杆泵在规定工况下无汽蚀运行时，其轴承处的振动烈度应符合 JB/T 8097 的规定；在额定压力下的输油量和轴功率的性能容差应按 JB/T 8091 执行，泵的效率下降值不得超过产品规定值的 5%。

9.2.4.5 齿轮泵、柱塞泵的额定流量，在额定压力、额定转速工况下的容积效率和总效率不得低于 JB/T 7041、JB/T 7043 的规定。

#### 9.2.5 回油箱

9.2.5.1 在正常工作或维修条件下，回油箱应能容纳所有来自于系统的油液；回油箱的容积不应小于调节系统全部油量总和的 1.1 倍。

9.2.5.2 回油箱中的油位应能维持油泵正常吸油所需的工作高度，在最高液面以上应留出不小于回油箱总容积 20% 的空气容量。

9.2.5.3 在回油箱内，宜利用隔板或滤网，将回流油液与泵吸入口分隔。

9.2.5.4 当元件被安装在回油箱内或回油箱顶部时，应防止结构振动和噪声。

9.2.5.5 应设置可供维护人员接近回油箱内部各处进行清洗和检查的检修孔。

9.2.5.6 回油箱应设置放油的截止阀。

9.2.5.7 回油箱的结构宜适于叉车或吊具和起重机搬运，且不致引起永久的变形；起吊点宜做出标记。

9.2.5.8 回油箱顶部宜设计和制造成能避免形成聚集和存留外部固体、油液污染物及废弃物的区域。

9.2.5.9 向回油箱注油前，应清除内部表面潮气、污垢、切屑、焊剂、氧化皮、熔渣、纤维状材料和任何其他污染物。

9.2.5.10 回油箱内、外部防锈涂层应与系统的油液和大气环境相容。

9.2.5.11 安装回油箱的液位计、油冷却器、电加热器、空气滤清器、吸油过滤器、回油过滤器、人孔盖、放油阀、法兰等附件/组件时，连接螺栓应均匀拧紧，密封应无泄漏/渗漏。

#### 9.2.6 油泵组合阀

9.2.6.1 油泵组合阀的加载/卸载时间应能设置与调整。

9.2.6.2 溢流或卸载过程应正确、可靠、无强烈振动和噪声。

9.2.6.3 油泵经组合阀向压力罐/蓄能器输油时，油泵出口至压力罐/蓄能器的压力降，不应大于 0.2MPa。

9.2.6.4 油泵组合阀回油管宜直接与回油箱连通，若与其他回油管并联时，其背压不应超过 0.2MPa。

9.2.6.5 当油压高于工作油压上限 2% 以上时，安全阀应开始排油；在油压高于工作油压上限的 10% 以前，安全阀应全部开启，并使压力容器中油压不再升高。

9.2.6.6 当油压低于工作油压下限前，安全阀应完全关闭，其泄漏量不应大于油泵输油量的 1%。

#### 9.2.7 油压装置附件

9.2.7.1 油压装置附件宜包括压力表/压力信号器与传感器、液位计/液位信号器与传感器、自动补气装置、空气安全阀、油温传感器、油混水信号器、空气滤清器、冷却器和/或加热器、主供截止阀（隔离阀）等。

9.2.7.2 油压装置附件技术性能与功能应符合 GB/T 11805 与 DL/T 1107 等的规定。

#### 9.2.8 油压装置控制柜

9.2.8.1 对于重要机组的水轮机调节系统，油压装置控制逻辑宜由可编程控制器（PLC）实现。

9.2.8.2 当油泵电机功率大于 37kW 时，宜采用软启动方式。

### 10 组装和工艺

#### 10.1 机械液压元件/组件及附件组装和工艺要求

10.1.1 所有元件/组件应有合格标记，外购件应有合格证；对于因保管或运输不当造成损坏而影响产品质量的组件，不得用于装配。

10.1.2 元件/组件装配时需敲击，不得使用铁制锤头敲打，可用橡皮锤、铜锤、铜棒或铝棒。

10.1.3 阀的安装与使用应考虑重力、冲击、振动对阀内主要零件的影响。

10.1.4 质量大于 15kg 的所有元件/组件宜设有起吊点。

10.1.5 应保持液压元件/组件及附件、密封件和管路附件的清洁。

10.1.6 液压件的清洗应在专用清洗台上进行。

10.1.7 连接螺栓/螺钉应均匀拧紧，不得用锤子敲打或强行扳拧，不得拧偏；有力矩规定要求的紧固件，应采用力矩扳手紧固。

10.1.8 密封件如有损伤及超过生产厂提供的使用有效期等情况，不得用于装配。

10.1.9 装配时使用的密封填料或密封胶不得进入油路系统。

#### 10.2 电气元件/组件及附件组装和工艺要求

10.2.1 控制柜外形尺寸应符合 GB/T 3047.1 的规定。

10.2.2 柜体表面应平整光滑、漆层牢固，防护等级应不低于 IP41。在保证通风散热条件下，应有防止异物进入柜内的措施。

10.2.3 控制柜上指示灯和按钮颜色应符合 GB/T 4025 的规定。

10.2.4 控制手柄、按钮等操作器件的安装高度，应便于操作。

10.2.5 信号线与动力线应分开布线。柜内配线应整齐美观，配线颜色应符合 GB/T 6995.2 的规定，接线端子线号应清楚，不得变色、磨损。

10.2.6 各电气组件、功能模块应标示与图纸一致的代号。端子排上的可拆线头应标出与图纸一致的线号。

10.2.7 电气结构设计应符合 GB/T 16935.5 的规定。

10.2.8 电子元器件、组件应选用工业级产品。

- 10.2.9 同类电气插件或组件模块应具有互换性。
- 10.2.10 印刷电路板应符合 GB/T 4588.1 和 GB/T 4588.2 的规定。

### 10.3 产品结构及标志

10.3.1 产品结构应便于装配、安装、调试、运行及维护，外形应美观。

10.3.2 产品标志要求如下：

- a) 铭牌主要内容应包括产品名称、产品型号、主要技术参数、制造厂名、出厂编号、制造日期；
- b) 电机旋转方向、手轮及手柄动作方向，均应有箭头标牌。

## 11 试验及验收

### 11.1 试验

常规试验项目应按 GB/T 9652.2、DL/T 496、DL/T 1120 执行；涉网试验项目应按 DL/T 1245 执行。

### 11.2 验收

11.2.1 调节系统及装置在交货前，应按本标准和相关标准，进行出厂验收。

11.2.2 设备运到使用现场后，应在规定的时间内进行现场开箱检查。检查以下内容：

- a) 产品应完好无损，装箱单中的名称、数量应与箱内的实物和图纸资料相符；
- b) 随产品供给用户的易损件及备品备件齐全，并具有互换性；
- c) 随产品一起提供给用户的技术文件齐全。这些技术文件应包括：产品原理、安装、调整、使用及维护说明书；产品原理图、外形图、安装连接尺寸、配线图；出厂检查试验报告、合格证证明书及装箱单。对于压力罐的技术资料还应符合 GB 150.4 的要求。

11.2.3 调节系统及装置经现场安装、调整、试验完毕，并连续运行 72h 试运行合格后，应对其进行投产前的现场交接验收，并应符合下列规定：

- a) 各项功能、性能指标均符合本标准及有关技术协议的要求；
- b) 设备本体完好无损，备品备件、技术文件符合 11.2.2 的规定；并提交现场试验记录与试验报告。

## 12 包装、运输与储存

12.1 包装应按 GB/T 13384 执行。

12.2 运输应按 GB/T 4798.2 执行。

12.3 包装好的设备应储存在室内，储存地点海拔不应超过 5000m，环境温度宜为  $-25\sim+55^{\circ}\text{C}$ ，湿度不宜大于 90%，储存环境应无凝露、无腐蚀性和爆炸性气体和强电磁场作用，不受灰尘和雨水侵蚀。

12.4 制造厂应指明设备储存期限及超过规定期限后应采取的措施。

## 13 保证期

在遵守保管、安装和使用规则的条件下，产品的保证期为：自供方发货之日起 2 年。

附录 A  
(规范性附录)  
油压装置压力容器的容积

A.1 压力罐的容积

A.1.1 一般规定

压力罐的容积和压力范围如图 A.1 所示。

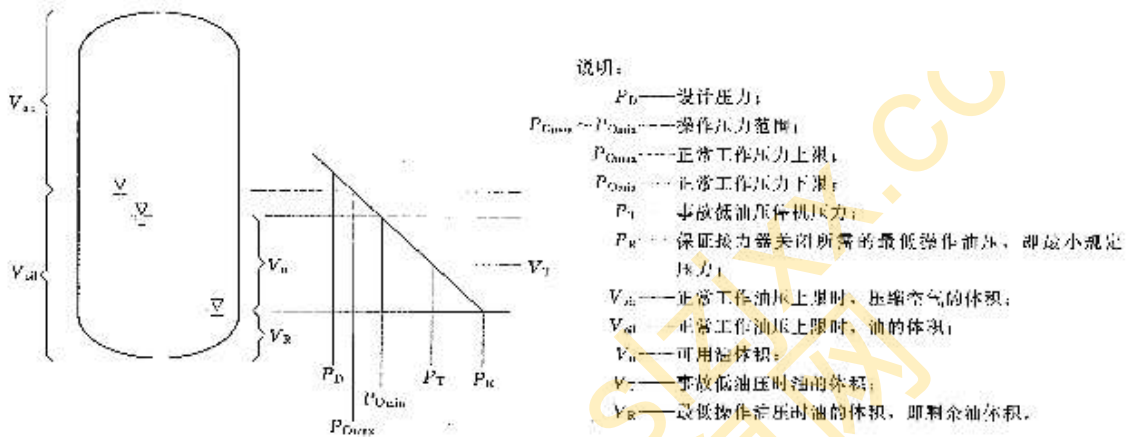


图 A.1 压力罐的容积和压力

A.1.2 推荐的压力范围

正常操作压力范围宜按下列公式确定：

$$P_{0max} = (0.85 \sim 1.0) P_D \quad (A.1)$$

$$P_{0min} = (0.8 \sim 0.9) P_D \quad (A.2)$$

且规定  $P_{0min} > P_T > P_K$ ，即  $P_T$  的选择是要使其操作压力在事故停机之后不降到  $P_K$  之下：

$$P_K = (0.58 \sim 0.75) P_D \quad (A.3)$$

A.1.3 推荐的可用油体积

单调整（单回路）控制：

$$V_{用} = 3V_{容} \quad (A.4)$$

式中：

$V_{容}$ ——导叶接力器总有效工作容积。

双调整（双回路）控制：

$$V_{用} = 3V_{容1} + 2V_{容2} \quad (A.5)$$

或

$$V_{用} = 3V_{容2} + 2V_{容1} \quad (A.6)$$

或

$$V_{用} = 3V_{容3} + 4V_{容4} \quad (A.7)$$

式中：

$V_{容1}$ ——转桨机构接力器总有效工作容积；

$V_{容2}$ ——折向器接力器总有效工作容积；

$V_{容3}$ ——喷针接力器总有效工作容积；

$V_{sc}$ ——调压阀（空放阀）接力器总有效工作容积。

在用于孤网运行的情况下，应适当加大可用油体积  $V_u$ ，宜为上述数值的 1.5~2 倍。

#### A.1.4 推荐的压力罐容积选择计算

压力罐容积  $V_p$  宜按式 (A.8) 计算进行选择：

$$V_p = \frac{V_u}{\sqrt{\frac{P_{Omax}}{P_R}}} + V_u + V_R \quad \text{..... (A.8)}$$

式中各符号的定义同前。

#### A.1.5 推荐的剩余油体积选择计算

剩余油体积  $V_R$  宜按下述方法计算确定：事故低油压机组紧急停机后压力罐内剩余油的油面应高出油管管口高 2 倍的出油管管径，防止压力罐内空气进入压力管道；如压力罐装在回油箱上，其油面的高低还应能使于油面显示，宜取  $V_R = (0.1 \sim 0.2) V_{sc}$ 。

### A.2 气囊式或活塞式蓄能器的容积

#### A.2.1 一般规定

具有油和氮气间密封隔离的气囊式或活塞式蓄能器，其应用压力较高，可得到更为经济的效果，在使用中可不必提供剩余油体积和自动补充气体的设施。

#### A.2.2 推荐的压力范围

正常操作压力范围宜按下列公式确定：

$$P_{Omax} = (0.8 \sim 1.0) P_D \quad \text{..... (A.9)}$$

$$P_{Omin} = (0.75 \sim 0.9) P_D \quad \text{..... (A.10)}$$

且规定  $P_{Omin} > P_T > P_R$ ，即  $P_T$  的选择应使操作压力在事故停机之后不降到  $P_R$  之下：

$$P_R = (0.5 \sim 0.75) P_D \quad \text{..... (A.11)}$$

式中各符号的定义同前。

#### A.2.3 推荐的可用油体积

单调整（单回路）控制：

$$V_u = 3V_{Sc} \quad \text{..... (A.12)}$$

双调整（双回路）控制：

$$V_u = 3V_{Sc} + 2V_{Sv} \quad \text{..... (A.13)}$$

或

$$V_u = 3V_{Sc} + 2V_{Sv} \quad \text{..... (A.14)}$$

或

$$V_u = 3V_{Sv} + 4V_{Sv} \quad \text{..... (A.15)}$$

式中各符号的定义同前。

在用于孤网运行的情况下，应适当加大可用油体积  $V_u$ ，宜为上述数值的 1.5~2 倍。

#### A.2.4 推荐的蓄能器容积选择计算

蓄能器容积  $V_s$  宜按式 (A.16) 计算进行选择：

$$V_6 = \left[ \frac{V_u}{\sqrt{\frac{P_{0min}}{P_R} - 1}} + V_u \right] \sqrt{\frac{P_R}{P_3}} \dots\dots\dots (A.16)$$

式中：

$P_0$ ——蓄能器充气压力，宜取  $P_0 \approx 0.93P_R$ ；

其他符号的定义同前。



**附录 B**  
**(资料性附录)**  
**水轮机调节系统基本结构**

**B.1 微机调节系统框图**

微机调节器驱动电液随动系统的典型结构框图如图 B.1 所示。根据设计及使用需要, 可把位移反馈比较放在微机调节器内, 以方便故障容错及保护功能的实现。

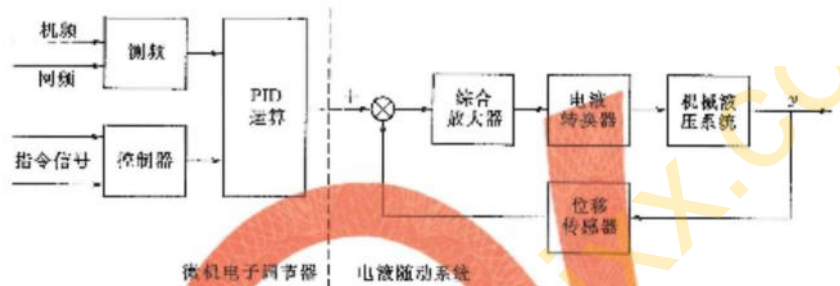


图 B.1 微机调节器驱动电液随动系统的结构框图

**B.2 加速度-缓冲式调节器**

缓冲式系统结构的调节系统只能形成比例加积分 (PI) 调节规律, 加速度-缓冲式调节系统是在缓冲式调节系统中串联加速度环节, 构成具有比例加积分加微分调节规律的调节器 (PID), 其系统结构如图 B.2 所示。

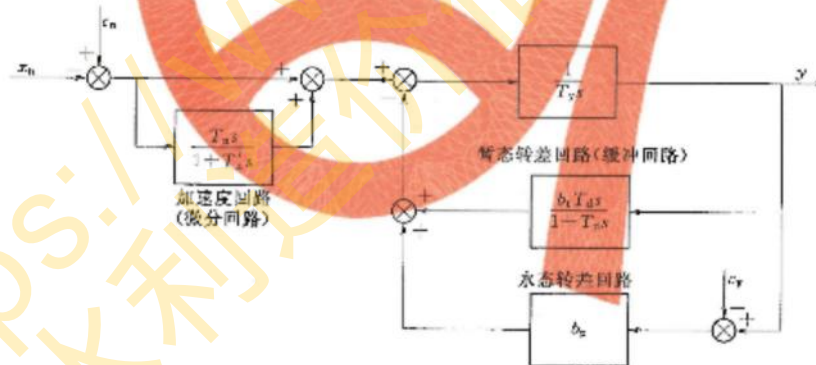
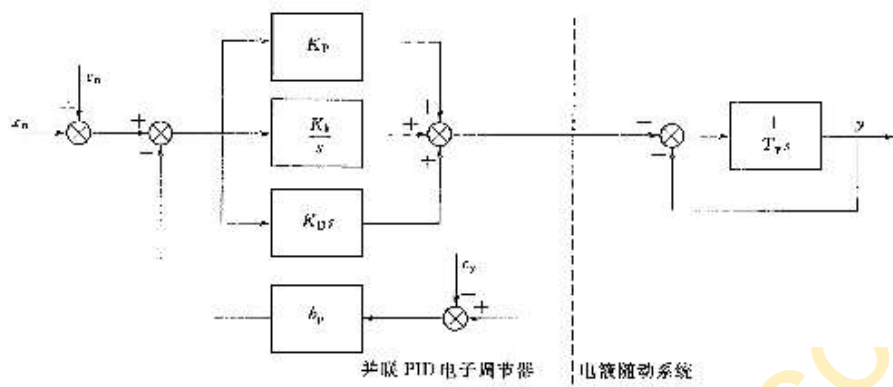


图 B.2 加速度-缓冲式 PID 调节器

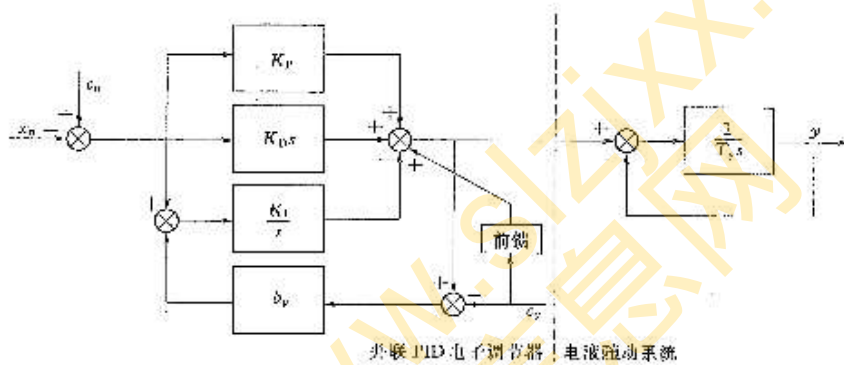
**B.3 含有电液随动系统的并联 PID 调节器**

电子调节器加电液随动系统 (或装置) 的调节系统 (简称电子调节器式系统结构) 结构框图如图 B.3 所示, 其系统结构的特征是测量、调节规律形成和驱动执行器 (接力器) 的职能分别由具有单一功能的转速测量环节、电子调节器和电液随动装置实现。调节规律由有源校正回路-电子调节器对转差信号直接变换而形成的。电液随动装置在调节系统中的作用仅仅只是复现电子调节器的输出信号, 驱动接力器。

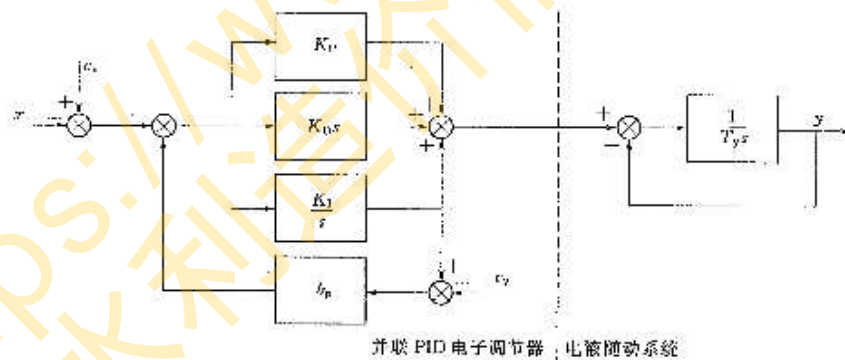




(a) 并联 PID 控制模型 1



(b) 并联 PID 控制模型 2



(c) 并联 PID 控制模型 3

图 B.3 含有电液随动系统的并联 PID 调节器

#### B.4 一次调频工况中的调节结构图

在图 B.4、图 B.5 中，直接对转速/频率偏差进行 PID 调节，这种一次调频的 PID 调节结构图，与水轮机调节系统其他工况的 PID 调节结构图完全相同，仅仅只是调节参数不同，从而使得水轮机调节系统只需 1 套统一的 PID 调节器结构，系统简洁明了。

当采用功率控制模式时，应由计算机监控系统直接将功率给定值（目标值）送达图 B.4、图 B.5 中的功率给定入口  $c_n$ 。

当采用开度控制模式时，可由计算机监控系统将开度给定值送达图 B.4、图 B.5 中的开度给定入口  $c_y$ 。

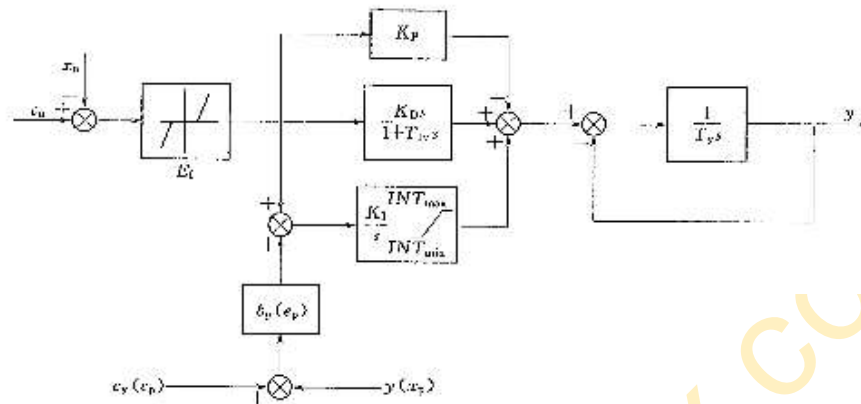


图 B.4 频率 PID 调节系统结构图 1

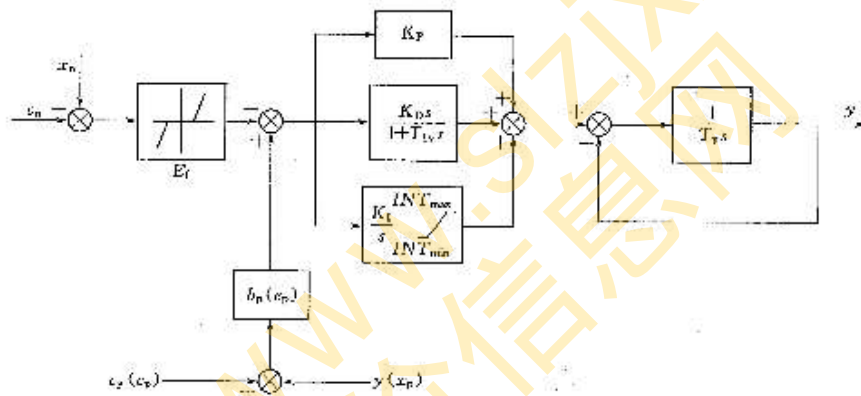


图 B.5 频率 PID 调节系统结构图 2

在图 B.6 中，根据频率直接计算机组功率或开度偏差进行 PID 调节，这种一次调频的 PID 调节结构图，与火电机组的调节器框图类似，但与水轮机调节系统其他工况的 PID 调节结构图完全不同，而达到的调节效果与图 B.4、图 B.5 结构图相仿；这使得水轮机调节系统具有 2 套不同 PID 调节器结构，导致系统较为复杂，故实际应用不多。当图 B.4、图 B.5 中的比例增益及积分增益为图 B.6 中的比例增益及积分增益的  $1/b_p(e_p)$  倍时，则两者的一次调频动态响应性能是完全一样的。

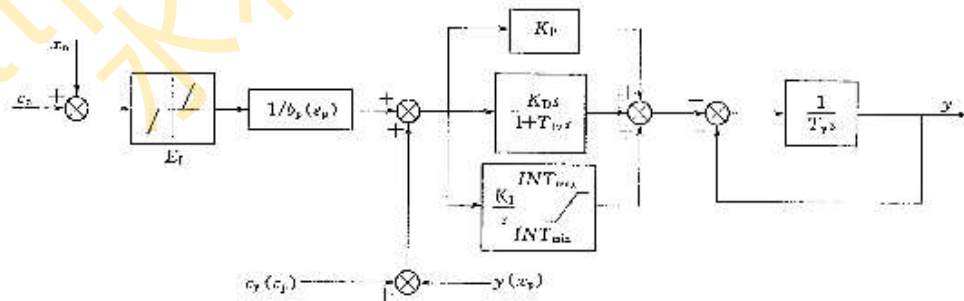


图 B.6 开度/功率 PID 调节的结构图

B.5 可控积分器

无论是并联 PID 还是缓冲型微机调节器，在其输出端增设可控积分器（见图 B.7、图 B.8）后，可提高系统的动态性能和对机组的可控性；其  $T_i$  应小于或等于后级随动系统的  $T_i$  值。

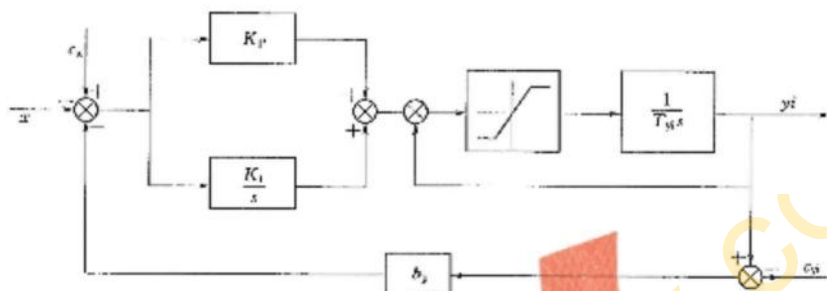


图 B.7 含有可控积分器的水轮机并联 PI 型调节器的原理图

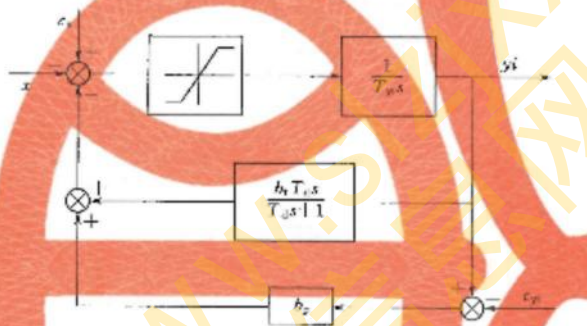


图 B.8 含有可控积分器的水轮机缓冲型调节器的原理图

B.6 开度指令点的后移及开度-功率函数器的应用

图 B.9 中  $[Y_{max}]$  为开度限制，将开度指令与水轮机接力器反馈相比较，信号直接送至主配压阀综合信号处；在自动化设计上，当断路器跳开时， $c_y$  应迅速按最短关机时间  $T_i$  的要求迅速关至空载位置，以防止机组过速。图中的开度-功率函数模块  $p=f(h, y)$ ，可用于替代常规功率传感器。

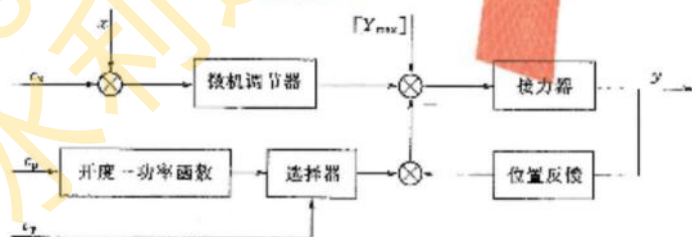


图 B.9 水轮机导叶开度指令方案

附录 C  
(资料性附录)  
调节参数选择参考资料

### C.1 调节参数概述

影响调节系统动态响应的调节参数,对PID调节规律有 $b_1$ 、 $T_d$ 、 $T_n$ (或 $K_P$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ ),对PI调节规律有 $b_1$ 、 $T_d$ (或 $K_P$ 、 $K_I$ ); $b_p$ 值的大小通常对调节系统稳定性和动态响应品质影响较小,但对转速死区有很大影响。对于带基荷的机组, $b_p$ 值宜整定在4%~6%;承担调频任务的机组, $b_p$ 值宜在2%~4%。

两种调节参数体系表示法的参数之间具有如下关系:

$$K_D = \frac{T_d + T_n}{b_1 T_d} \quad \text{..... (C.1)}$$

$$K_I = \frac{1}{b_1 T_D} \quad \text{..... (C.2)}$$

$$K_D = \frac{T_n}{b_1} \quad \text{..... (C.3)}$$

$$b_1 = \frac{2}{2K_P - T_M} \quad \text{..... (C.4)}$$

$$T_d = \frac{2K_P - T_M}{2K_I} \quad \text{..... (C.5)}$$

$$T_n = \frac{T_M}{2K_I} \quad \text{..... (C.6)}$$

其中

$$T_M = K_P - \sqrt{K_P^2 - 4K_I K_D}$$

调节参数应经现场试验、调整、分析对比,才能最终确定。这里介绍的若干预估公式,是在一定假设条件下得出的,只供试验前初步预选PID调节器参数时参考。

### C.2 空载工况下调节参数的计算

C.2.1 对缓冲式PI调节规律的水轮机调节系统,吴应文推荐如下公式:

$$T_n = 3.7 \sqrt{T_s T_d} \quad \text{..... (C.7)}$$

$$b_1 = 1.3 \sqrt{\frac{T_{M1}}{T_s}} \quad \text{..... (C.8)}$$

式中:

$T_s$ ——机组惯性时间常数, s;

$T_d$ ——小波动时接力器反应时间, s。

公式的适用条件为

$$T_w < 2.6 T_M T_d$$

式中:

$T_w$ ——水流惯性时间常数, s。

C.2.2 对电子调节器+电液随装置构成的PID调节规律的水轮机调节系统,横田浩推荐如下公式:

$$K_P = 0.8 \frac{T_s}{T_w} \quad \text{..... (C.9)}$$

$$K_I = 0.24 \frac{T_s}{T_w^2} \quad \text{..... (C.10)}$$

$$K_D = 0.27 T_s \quad \text{..... (C.11)}$$

## C.3 单机带负荷工况下调节参数的计算

## C.3.1 T. 斯坦因 (Stein) 推荐如下公式:

对 PI 调节规律的水轮机调节系统

$$T_d = 4T_w \quad \text{..... (C.12)}$$

$$b_i = 1.8 \frac{T_w}{T_d} \quad \text{..... (C.13)}$$

对 PID 调节规律的水轮机调节系统

$$T_n = 0.5T_w \quad \text{..... (C.14)}$$

$$T_d = 3T_w \quad \text{..... (C.15)}$$

$$b_i = 1.5 \frac{T_w}{T_d} \quad \text{..... (C.16)}$$

当电站水头较高 (超过 200m) 时, 应计及压力引水系统管壁和水体弹性, 仍可采用上述公式, 但对  $T_w$  进行修正, 即将上述公式中的  $T_w$  乘以修正系数  $K$ 。K 值可从表 C.1 查得。

表 C.1 修正系数 K 值表

$T_r/T_w$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
K	1.050	1.125	1.200	1.275	1.350

注:  $T_r$ —水击波长时间常数, s。

## C.3.2 L. M. 蒙维 (Illovev) 推荐如下公式:

$$T_d = 4T_w \quad \text{..... (C.17)}$$

$$b_i = \frac{T_w}{T_d} K_c \quad \text{..... (C.18)}$$

$$K_c = \frac{1}{a_n} \quad \text{..... (C.19)}$$

式中:

 $K_c$ ——修正系数; $a_n$ ——空载开度。

注: 斯坦因推荐的公式是按频率波动时过渡过程最佳的原则推导的; 而蒙维推荐的公式则是按负载扰动时过渡过程最佳的原则推导的。

## C.4 确定并网运行工况下调节参数的一般原则

为保证机组有功功率调节的速动性, 机组并入大网运行时的  $b_i$ 、 $T_d$  值通常要比空载运行或单机带负荷 (孤立运行) 时小得多。但经验表明, 为保证负荷调节的稳定性,  $b_i$  值不宜调整为零, 应根据机组和电网的具体情况, 通过分析和试验确定。

注: 一般水轮机调节系统的空载调节参数与负载调节参数是通过发电机断路器的辅助接点分/合切换的, 然而这种切换方式不能判断发电机断路器关合后机组是处于大电力系统 (大网或联网) 并列运行, 还是孤网运行 (孤岛运行或孤立运行)。如果在孤网运行时仍采用大网运行工况下的调节参数, 则势必影响调节系统的稳定性, 因此对于那些可能参与孤网运行的机组, 应采取必要的技术措施。在未采取相应技术措施之前, 可先按孤网运行的要求整定调节参数, 以确保调节系统因线路切换或从大电网解列后运行的稳定性。

## 附录 D

## (资料性附录)

## 水轮机调节系统的空载转速摆动

## D.1 概况

除水轮机调节系统自身的控制作用外,空载转速摆动还与机组类型、压力引水系统及其水力特性等非调节装置因素有着密切的关系,它是调节装置、水轮发电机组及其引水与泄水系统(即被控系统)共同作用的结果。

## D.2 手动空载摆动

手动空载转速摆动是衡量被控系统固有稳定性及可控性的重要数值指标。为了确认空载转速摆动在多大程度上是由被控系统自身因素,即非调节装置因素引起的,有必要进行手动空载摆动值的测定考核,此时宜保持接力器在空载位置固定不动,以避免接力器位置漂移对转速摆动的影响。实践表明,手动空载转速摆动与水流惯性时间常数、机组惯性时间常数、机组惯性比率、机组制造与安装质量<sup>1)</sup>、水力干扰<sup>2)</sup>、发电机励磁<sup>3)</sup>等因素有着密切的关系。

## D.3 自动空载转速摆动

自动空载转速摆动是衡量水轮机调节装置控制性能和被控系统固有稳定性的综合结果。除被控系统自身因素外,此时,水轮机调节系统的死区、开环增益、PID调节参数或其他特殊调节规律参数、接力器响应时间常数等因素,对空载转速摆动具有重要影响。

## D.4 自动空载转速摆动值的测定

为尽可能减少被控系统随机性的扰动等非调节装置因素对转速摆动测量值的影响,一般取任意3min的转速峰-峰值作为自动空载转速摆动值的测量结果。

## D.5 空载调节的调整原则

## D.5.1 空载调节平稳性

追求过小的自动空载转速摆动值,在有些情况下将导致水轮机调节系统控制动作频繁;此时,使用者对于获得较小的自动空载转速摆动值指标与由控制动作频繁引起的额外磨损的利弊权衡,一般根据现场对不同具体机组的要求,做出相应的取舍。

## D.5.2 空载摆动超差的特殊情况

有时还会遇到由被控系统不利影响引起的机组转速过大的波动,而仅仅从水轮机调节装置自身的调整入手,已难以充分补偿前者的影响,例如,不满足本标准 4.1.8 f)、g)、i) 时,将可能出现空载转速摆动值超出本标准表 4 的数值规定。考虑到这种局限性,此时若按表 4 的数值规定考核自动空载转速摆动值已没有实际意义;此时可将转速摆动值的差别及变化趋势作为辅助评价与分析比较一台特定机组及其调节装置,在调试时采用的不同控制策略与调节参数整定值的参考依据,以选择适中的空载调节参数。

- 1) 如导水机构密封非连续性,机组中心不对称、轴承不正、轴承刚度不够、导轴承间隙过大、转子动/静不平衡、转动部件与固定部件碰擦、法兰连接质量不良、定子/机座变形或松动等。
- 2) 如叶片卡门漏压、导叶尾缘水密紊乱、筒圈磨损、转轮叶片数与导水叶片匹配不合理、转轮直径与导叶布置圆匹配不合理、转轮叶片出水不均匀、导叶开口不均、尾水管压力脉动、调压井压力脉动等。
- 3) 如可控硅励磁系统的电压调差率接近于零时,其调压过程将与机组转速直接耦合,也会加剧转速波动。

附录 E  
(资料性附录)

水轮机调节系统应用软件模块化结构软件模块

E.1 机组工况管理软件模块

根据外部命令、内部状态量及故障信息,进行工况的转换及故障容错应急处理。可将设备工况分为“自动状态”与“手动状态”,“自动状态”又分为“停机备用态”“开机过程态”“空载态”“发电/负载态”“调相态”“停机过程态”等。在每个工况下,设备应只响应特定的命令,工况转换应动作明确、防止误动作。

E.2 测量及滤波模块

实现频率信号及机组各种模拟量信号的测量,一般包括机组频率、电网频率、大轴齿盘转速、导叶(轮叶、喷针、折向器)接力器行程、机组有功功率、上位机给定功率、水头信号、流量信号等。

E.3 水轮机调节系统控制规律综合模块

应根据设计的控制原理图,采用优化的实时调节算法进行编程。

E.4 故障诊断模块

它不仅对一般的模拟量,如机频、水头、功率、开度等信号进行信号级故障判断,还能对关键环节动作规律的异常进行诊断,并发出信号。

E.5 随动系统控制模块

随动系统控制模块的任务是控制导叶(或轮叶、喷针、折向器)接力器的行程。

E.6 人机交互功能模块

人机交互部分主要完成数据及状态信息的监视、状态的切换、参数的设置与修改等。

E.7 控制权的决策模块

实行控制权的获取与释放,实现两套控制器主/备关系的转换,控制权竞争机制之间的控制。

## 水利水电技术标准咨询服务中心 简介

### 中国水利水电出版社标准化出版分社

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近四万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准出版、发行单位，主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文案及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版、发行及推广工作。

主任：王德鸿 010-68545951 电子邮件：wdh@waterpub.com.cn  
副主任：陈昊 010-68545981 电子邮件：hero@waterpub.com.cn  
主任助理：王启 010-68545982 电子邮件：wqi@waterpub.com.cn  
责任编辑：王丹阳 010-68545974 电子邮件：wdy@waterpub.com.cn  
覃思洁 010-68545995 电子邮件：zsj@waterpub.com.cn  
覃薇 010-68545889 电子邮件：qwei@waterpub.com.cn  
刘媛媛 010-68545948 电子邮件：lyuan@waterpub.com.cn  
赵智 010-68545622 电子邮件：zz@waterpub.com.cn

传 真：010-68317913