

ICS 27.140

P 59

备案号: 53877-2016

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

**DL/T 563 — 2016**

代替 DL/T 563 — 2004

---

## 水轮机电液调节系统及装置 技术规程

Code of electro—hydraulic regulating system and  
unit for hydraulic turbine

2016-01-07 发布

2016-06-01 实施

---

国家能源局 发布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 适用条件	11
5 技术要求	13
6 试验及验收	25
7 包装、运输与储存	25
附录 A（规范性附录） 油压装置压力容器的容量	26

## 前 言

本标准是根据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》编制的。

本标准是 DL/T 563—2004《水轮机电液调节系统及装置技术规程》的修订版，修订的主要技术内容如下：

- 适用范围的工作容量从大于或等于  $3000\text{N}\cdot\text{m}$  的水轮机电液调节系统及装置调整为  $350\text{N}\cdot\text{m}$  及以上的水轮机电液调节系统及装置；
- 对术语和定义进行了调整补充；
- 对适用条件进行了修改补充；
- 增补了可逆式蓄能机组电液调节系统及装置的有关条款；
- 增补了冲击式机组电液调节系统、带调压阀控制水轮机电液调节系统的技术要求；
- 修订了转速死区考核要求；
- 增补了手动接力器位置漂移值的指标要求；
- 对手动、自动空载频率摆动规定值进行了调整与补充；
- 增补了空载频率扰动的动态响应方面的技术要求；
- 增补了油泵启动间隔时间的指标要求；
- 对接力器不动时间考核指标进行了分级与调整；
- 增补了一次调频、孤网调节方面的技术要求；
- 对甩 100% 负荷考核要求进行了调整补充；
- 增补了漏油量及静耗油量的规定；
- 对电气装置、机械液压部分、油压装置的性能要求进行了调整补充；
- 对结构、元件和工艺要求进行了修改补充；
- 删除了 2004 版的附录 A.2 “角标和专用符号”；
- 对油压装置压力容器的容量规定进行了调整补充。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电站自动化标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国水利水电科学研究院。

本标准参加起草单位：长江控制设备研究所、国网湖南省电力公司电力科学研究院、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网电力科学研究院、哈尔滨电机厂有限责任公司。

本标准主要起草人：张建明、潘熙和、孟佐宏、李华、蔡卫江、朴修日。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- SD 295—1988；
- DL/T 563—1995；
- DL/T 563—2004。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 水轮机电液调节系统及装置

## 技术规程

### 1 范围

本标准规定了水轮机电液调节系统及装置的基本参数、技术条件及试验验收、标志、包装、储运要求。本标准适用于接力器容量  $350\text{N} \cdot \text{m}$  及以上的水轮机电液调节系统及装置。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- 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 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 11120 涡轮机油
- GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术条件
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 14039 液压传动 油液固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
- 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 25133 液压系统总成 管路冲洗方法
- DL/T 496 水轮机电液调节系统及装置调整试验导则
- DL/T 1245 水轮机调节系统并网运行技术导则
- JB/T 7036 液压隔离式蓄能器 技术条件

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**水轮机电液调节系统** **electro-hydraulic regulating (governing) system for hydraulic turbines**  
由水轮机电液调节装置和被控系统组成的闭环控制系统。

## DL/T 563 — 2016

## 3.2

**被控系统 controlled system**

水轮机调节装置所控制的对象，称为被控系统。它包括水轮机、引水和泄水管道，装有电压调节器的发电机及其所并入的电网。

## 3.3

**水轮机电液调节装置 electro-hydraulic governor for hydraulic turbines; electro-hydraulic control system for hydraulic turbines**

为实现水轮机调节及相应控制作用而设置的电子（电气）组件、机械液压组件、控制机构及指示仪表的组合，称为水轮机电液调节装置，也称水轮机电液控制系统。一般包括电子调节器、电液随动装置、油压装置、分段关闭阀组件、快速/紧急事故停机阀组件等。其基本功能为测量和监视水轮机组的被控参量，例如转速、功率、水位、流量等，将被控参量的测量值与目标值（预期值或给定参量）的偏差按一定特性转化为控制信号，放大该信号，并产生主接力器动作以削减这种偏差，从而实现水轮机组的转速调节或有功功率调节，并能执行机组启动、停机、工况转换、快速事故停机、紧急事故停机等操作，有时也用于水位或流量的调节。以实现转速调节为主要目的的水轮机电液调节装置称为水轮机电液调速器，简称电调。

## 3.4

**接力器容量 servomotor capacity****驱动能量 actuating energy** $E_R$ 

当操作油压为最小规定压力  $p_R$  时，使主接力器以最短的时间  $t_f$  关闭或最短的开启时间  $t_g$  开启时的净作用力  $F$ ，与接力器最大行程  $Y_{max}$  的乘积，即操作功（调速功） $E_R = FY_{max}$ ，称为接力器容量，也称驱动能量。

注：单位为  $N \cdot m$ 。

## 3.5

**电液调节装置类别 electro-hydraulic governor classification**

电液调节装置分为大型、中型、小型、特小型，按接力器容量（即操作功）或主配压阀（接力器控制阀）直径大小来划分，具体划分见表 1。

表 1 电液调节装置类别的划分

类别	划分依据
大型	接力器容量 $E_R > 75\,000N \cdot m$ ，或主配压阀直径 $D \geq 80mm$
中型	接力器容量： $18\,000N \cdot m < E_R \leq 75\,000N \cdot m$
小型	接力器容量： $3000N \cdot m < E_R \leq 18\,000N \cdot m$
特小型	接力器容量： $350N \cdot m \leq E_R \leq 3000N \cdot m$

注：当调节装置主配直径大于 80mm 时，其接力器容量也一定是大于 75 000N·m 的

## 3.6

**双调整电液调节装置 double regulating electro-hydraulic governor**

实现对转桨式水轮机、冲击式水轮机、带调压阀（空放阀）水轮机的导叶与转轮叶片、喷针与折向器（偏流器）、导叶与调压阀双重调整的电液调节装置。

## 3.7

**电子调节器 electro-governor**

将被调量偏差按一定调节规律转换成电气输出信号的一些环节的组合。

## 3.8

**随动装置 servo-positioner**

使输出复现输入信号变化规律，并具有功率放大能力的位置反馈控制系统或装置。

## 3.9

**电液随动装置 electro-hydraulic servo-positioner**

由电子和液压部件组成的随动装置。

## 3.10

**协联装置 combination device**

双调整电液调节装置中用来保证各种运行水头下转轮叶片与导叶或折向器与喷针之间协联关系的机构、电气单元或程序功能模块。

## 3.11

**自动运行 automatic operation**

由被控参量和/或给定信号通过水轮机调节装置对水轮机进行自动控制的运行方式。

## 3.12

**手动运行 manual operation**

以手动方式通过水轮机调节装置的有关部件来控制水轮机的运行方式。

## 3.13

**平均故障间隔时间 mean time between failures; MTBF**

工作设备的故障之间所能期望的间隔时间。

## 3.14

**强迫停运率 forced outage ratio****F.O.R**

指水轮机电液调节装置强迫停运小时数  $t_f$  对投入小时数  $t_s$  与强迫停运小时数  $t_f$  之和的比，用百分比表示。水轮机电液调节装置强迫停运率按下式计算：

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

式中：

$t_f$  ——水轮机电液调节装置强迫停运的小时数，h；

$t_s$  ——水轮机电液调节装置投入运行的小时数，h。

## 3.15

**频率（转速）控制 frequency (speed) control**

在孤立运行或空载/空转运行时，使机组频率（转速）跟踪于频率（转速）指令信号；机组并列运行时，频率（转速）通过稳态差值系数和调节系统的动态特性来影响电网频率的控制。

## 3.16

**功率控制 power control**

机组并网运行中，调节系统接收功率指令信号绝对值，并使功率跟踪于功率指令信号的控制。

## 3.17

**开度控制 opening control**

机组并网运行中，调节系统接收开度指令信号，并使开度跟踪于开度指令信号的控制。通常，调节系统是通过接收监控系统的增、减脉冲命令来改变开度指令信号的；该控制方式是机组并网发电中必备的、最基本的控制方式。

## 3.18

**水位控制 level control**

机组并网运行中，调节系统接收水位指令信号，并使水位跟踪于水位指令信号的控制。

## DL/T 563 — 2016

## 3.19

**流量控制 flow control**

机组并网运行中, 调节系统接收流量指令信号, 并使流量跟踪于流量指令信号的控制。

## 3.20

**浪涌控制 surge control**

在低水头转桨式水轮机中, 甩负荷时通过对水轮机导叶和转轮叶片特定的控制, 以限制河流里的浪涌。

## 3.21

**空转运行 idling operation**

机组未并网, 以额定转速运行, 但励磁系统未投入, 称为空转运行。

## 3.22

**空载运行 no-load operation**

机组未并网, 以额定转速运行, 且励磁系统投入, 称为空载运行。

## 3.23

**并网运行 grid connected operation**

机组接入电网, 以额定转速及额定电压运行的状态。

## 3.24

**并联运行 parallel generating operation****大网运行 interconnected grid generating operation**

指本台机组与其他机组在同一电网互联的运行方式。最大单机容量小于电网总容量的 8% 时, 也称为大网运行。

## 3.25

**孤网运行 isolated grid (island) generating operation**

电网中只有一台机组或本台机组容量在当前电网容量比重占 8% 以上的运行方式, 称为孤网运行, 有时也称小网运行; 孤网运行是孤岛运行、孤立运行的统称。

## 3.26

**孤岛运行 islanded operation**

本台机组与数量较少的其他机组互联的发电运行, 称为孤岛运行或岛域式运行, 例如将岛域与大电力系统(大网)相联的线路开关偶然跳闸后就会出现这种情况。

## 3.27

**孤立运行 isolated operation**

本台机组没有与其他机组互联的发电运行方式, 称为孤立运行, 即单机带负荷运行。

## 3.28

**稳定状态 steady state**

机组在恒定的负荷、给定信号和水头下运行, 水轮机调节系统的所有变量都处于平衡的运行状态。

## 3.29

**一次调频 primary frequency control (regulation); PFC (PFR)**

一次调频系水轮机调节系统的基本功能, 在机组发电运行过程中, 当电网频率变化超过调节系统的频率(转速)死区时, 水轮机调节系统将根据频率静态特性(调差特性)所固有的能力, 按整定的调差率/永态转差系数自行改变导叶/喷针开度(或轮叶/折向器开度), 从而引起机组输出功率的变化, 进而影响电网频率的调节过程。

## 3.30

**测频单元响应时间 response time of speed sensor**

$T_{rxn}$

从测频单元输入量发生阶跃变化时刻起, 至输出量达到变化量 95% 的时间间隔。

注：单位为 s。

### 3.31

测频单元响应延滞时间 **hysteretic (arrearage) time of speed sensor**

$T_{hxn}$

从测频单元输入量发生阶跃变化时刻起，至输出量达到变化量 5% 的时间间隔。

注：单位为 s。

### 3.32

电气-机械/液压转换组件静特性 **static characteristics of electro-hydraulic/mechanical converter**

电气-机械/液压转换组件带最大实际负载，在稳定状态下控制量与输出量的对应关系，如图 1 所示。

当用作电液随动装置的比例元件时，图 1 曲线具有正、负两个方向的输入/输出，即曲线处于第 1、第 3 象限；当用于中间继电器输出，即作为积分元件使用时，图 1 曲线只有处于第 1 象限才有效。其静特性主要指标包括线性度误差、滞环、重复精度。

### 3.33

电气-机械/液压转换组件的线性度误差 **linearity error of electro-hydraulic/mechanical converter**

电气-机械/液压转换组件静特性曲线上各点与平均斜线间的最大输入信号偏差  $\Delta I_{Lmax}$  与额定输入量  $I_n$  的百分比，称为电气-机械/液压转换组件的线性度误差，如图 1 所示。

### 3.34

电气-机械/液压转换组件的滞环 **hysteresis of electro-hydraulic/mechanical converter**

输入信号在做一次往复循环中，同一输出量对应的输入量最大差值  $\Delta I_{Gmax}$  与额定输入量  $I_n$  的百分比，称为电气-机械/液压转换组件的滞环，如图 1 所示。

### 3.35

电气-机械/液压转换组件的重复精度 **repetitive accuracy of electro-hydraulic/mechanical 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，称为电气-机械/液压转换组件的重复精度，如图 1 所示。

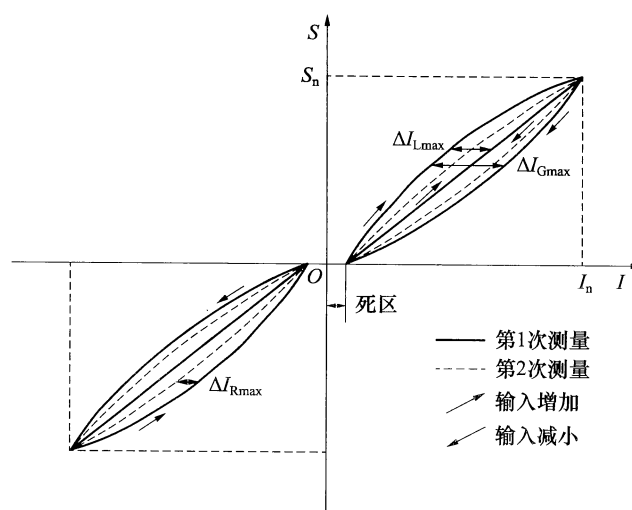


图 1 电气-机械/液压转换组件的静特性曲线示意图

### 3.36

转速死区 **speed dead band**

转速死区是指能够被水轮机电液调节装置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



## DL/T 563—2016

所需的，并以额定转速百分比表示的稳态转速最大变化值，如图 2 所示。类似地，若被控参量替换为功率  $x_{PG}$  或水头  $x_h$  时，则分别为功率死区  $i_p$ 、水头死区  $i_h$ 。

造成转速死区的主要因素包括频率（转速）测量环节的实现方式、继电器控制阀（主配）的搭叠量、机械传递环节的间隙与滞环等。增大转速死区会降低调节系统频率控制的精度，也将引起调节系统继电器不动时间的增加。量的符号为  $i_x$ 。

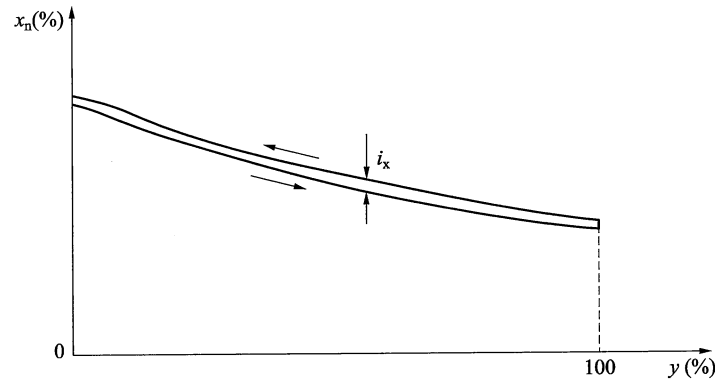


图 2 转速死区示意图

## 3.37

不灵敏度 **insensitivity**

转速死区的一半称为不灵敏度。

## 3.38

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。

## 3.39

随动系统不准确度 **servo-system inaccuracy**

$i_a$

随动系统中，对于所有不变的输入信号，相应输出信号的最大变化区间的相对值，如图 3 所示。

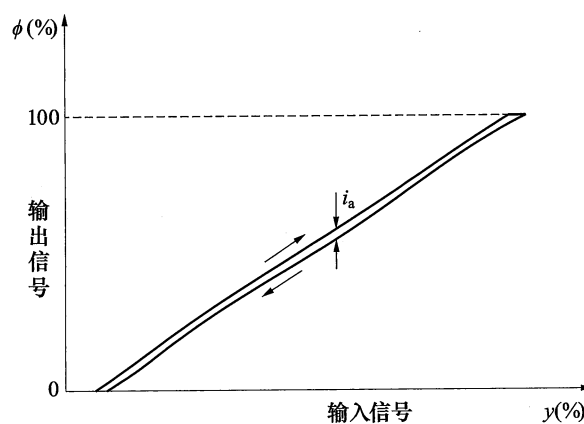


图 3 随动系统不准确度示意图

## 3.40

继电器不动时间 **servomotor dead time**

$T_q$

给定信号按规定形式变化起至由此引起主继电器开始移动的时间  $T_q$ ，定义为继电器不动时间，

如图 4 所示。其中,  $T_f$  为接力器最短关闭时间,  $T_h$  为延缓时间,  $y_h$  为分段关闭拐点。

注: 单位为 s。

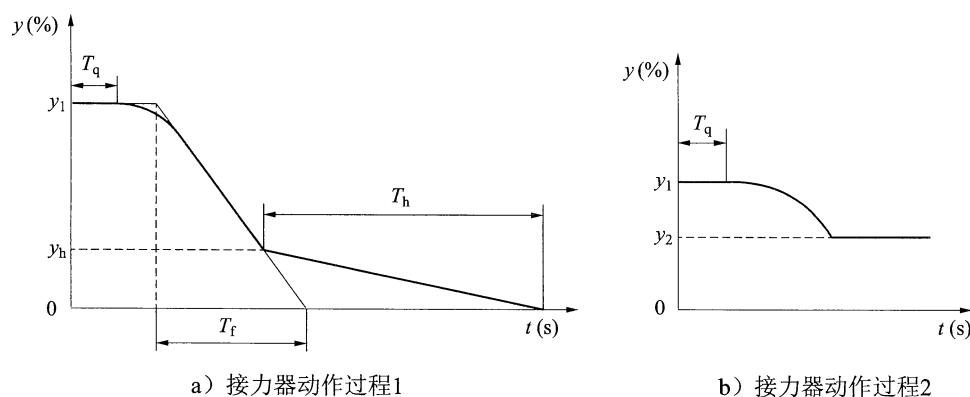


图 4 接力器不动时间示意图

### 3.41

**调压阀 pressure regulator (regulating valve); pressure relief valve**

当水轮机导水机构快速关闭时, 能同步快速开启并泄放一部分流量, 以限制压力水管内水锤压力的调节阀, 称为调压阀, 有时也称空放阀。

### 3.42

**分段关闭装置 (阀) step closing device (valve)**

由主接力器的预定位置  $y_h$  开始直到全关闭位置 (不包括接力器端部的延缓段), 使主接力器运动速度改变的装置 (阀)。

### 3.43

**水流惯性时间常数 water inertia time constant**

$T_w$

引水管道中的水流在额定水头  $H_r$  作用下, 流量从零增加到额定流量  $Q_r$  所需的时间; 它表征过水管道中水流惯性的大小。

$$T_w = \frac{Q_r}{gH_r} \sum \frac{L}{S} = \sum \frac{Lv}{gH_r} \quad (2)$$

式中:

- $S$ ——每段过水管道的截面积,  $m^2$ ;
- $L$ ——相应每段过水管道的长度,  $m$ ;
- $v$ ——相应每段过水管道内的流速,  $m/s$ ;
- $Q_r$ ——水轮机额定流量,  $m^3/s$ ;
- $H_r$ ——额定水头,  $m$ ;
- $g$ ——重力加速度,  $m/s^2$ 。

注: 单位为 s。

### 3.44

**水击波相长时间常数 penstock reflection time**

$T_r$

压力波从阀门处到水库端再到阀门处所用的时间。

$$T_r = \frac{2L}{a} \quad (3)$$

式中：

$L$ ——管道总长度，m；

$a$ ——水击压力平均波速，m/s。

注：单位为s。

### 3.45

**机组惯性时间常数 unit inertia time constant; unit acceleration constant**

$T_a$

在额定转矩  $M_r$  的作用下，机组从转速为零加速到额定转速  $n_r$  所需要的时间，它是机组在转动中惯性大小的量度；在数值上为机组在额定转速时的动量矩与额定转矩之比。

$$T_a = \frac{J\omega_r}{M_r} = \frac{GD^2 n_r^2}{3580 P_r} \quad (4)$$

式中：

$J\omega_r$ ——额定转速时机组的动量矩， $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ；

$M_r$ ——机组额定转矩， $\text{N} \cdot \text{m}$ ；

$GD^2$ ——机组飞轮力矩， $\text{kN} \cdot \text{m}^2$ ；

$n_r$ ——机组额定转速， $\text{r}/\text{min}$ ；

$P_r$ ——机组额定功率， $\text{kW}$ 。

机组惯性时间常数  $T_a$  也可通过甩负荷试验数据得到，如图5所示，在甩负荷录波图上求出甩负荷起始时刻转速变化曲线的斜率  $d(\Delta n/n_r)_0/dt$ ，即可按下式得出：

$$T_a = \frac{P_0/P_r}{d(\Delta n/n_r)_0/dt} \quad (5)$$

式中：

$P_0$ ——机组甩负荷幅度， $\text{kW}$ ；

$\Delta n$ ——机组转速变化， $\text{r}/\text{min}$ 。

当  $GD^2$ 、 $P_r$  和  $n_r$  分别采用  $\text{t} \cdot \text{m}^2$ 、 $\text{kW}$  和  $\text{r}/\text{min}$  为单位时：

$$T_a = \frac{GD^2 n_r^2}{365 P_r} \quad (6)$$

注：单位为s。

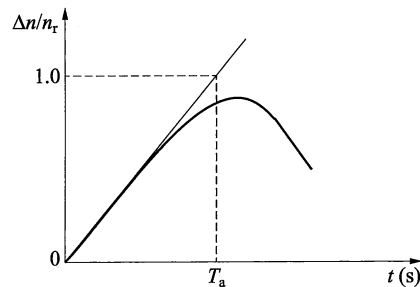


图5 甩100%负荷时机组加速过程曲线

### 3.46

**水轮机组惯性比率 unit inertia ratio**

$R_I$

机组惯性比率是指水流惯性时间常数  $T_w$  与水轮机组惯性时间常数  $T_a$  的比值，其表达式为：

$$R_I = \frac{T_w}{T_a} \quad (7)$$

## 3.47

配压阀 **distributing valve**

方向/流量控制阀 **directional/flow control valve**

流体的输出液流方向和流量随阀芯移动的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。

## 3.48

主配压阀 **main distributing valve**

主接力器控制阀 **main servomotor control valve**

控制导叶（喷针）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。

## 3.49

名义工作油压 **nominal operating oil pressure**

$P_n$

水轮机调节系统工作油压上限与下限的平均值。

注：单位为 MPa。

## 3.50

事故低油压 **tripping oil pressure**

$P_T$

应使机组紧急关闭的油压装置压力罐或蓄能器的供油压力  $p_T$ 。

注：单位为 MPa。

## 3.51

最小规定压力 **minimum required oil pressure**

$P_R$

为保证接力器关闭所需的最低压力  $p_R$ ，也称最低操作油压、最低要求油压。

注：单位为 MPa。

## 3.52

水轮机调节系统静态特性 **droop graph of turbine regulating system**

转速（频率）控制时，当给定信号恒定，水轮机调节系统处于平衡状态，被控参量转速（频率）的相对偏差值  $x_n$  与接力器行程相对偏差值  $y$  的关系曲线图，如图 6 所示。

水位控制时，当给定信号恒定，水轮机调节系统处于平衡状态，被控参量水位的相对偏差值  $x_n$  与接力器行程相对偏差值的关系曲线图，如图 7 所示。

## 3.53

永态差值系数 **permanent droop**

转速（频率）控制时，在水轮机调节系统静特性曲线图上，某一规定运行点处斜率的负数，如图 6 所示。此时的永态差值系数也称永态转差系数。

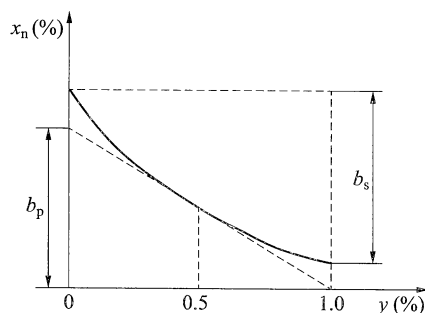


图 6 转速控制时的关系曲线图

$$b_p = -\frac{dx_n}{dy} \quad (8)$$

水位控制时，在水轮机调节系统静特性曲线图上，某一规定运行点处斜率，如图 7 所示。

$$b_p = \frac{dx_n}{dy} \quad (9)$$

若图 6 表示的是，当给定信号恒定时，水轮机调节系统处于平衡状态，被控参量转速的相对偏差值  $x_n$  与机组输出功率相对偏差值的关系，则称为调差率或功率差值系数  $e_p$  (speed regulation, power droop)。

图 6、图 7 中， $b_s$  为最大行程的永态差值系数。

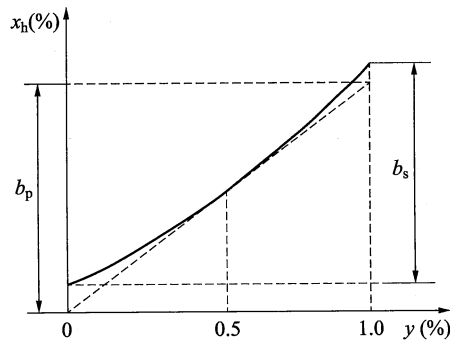


图 7 水位控制时的关系曲线图

### 3.54

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，即  $\psi = \Delta f_1 / \Delta f_{\max}$ ，如图 8 所示。

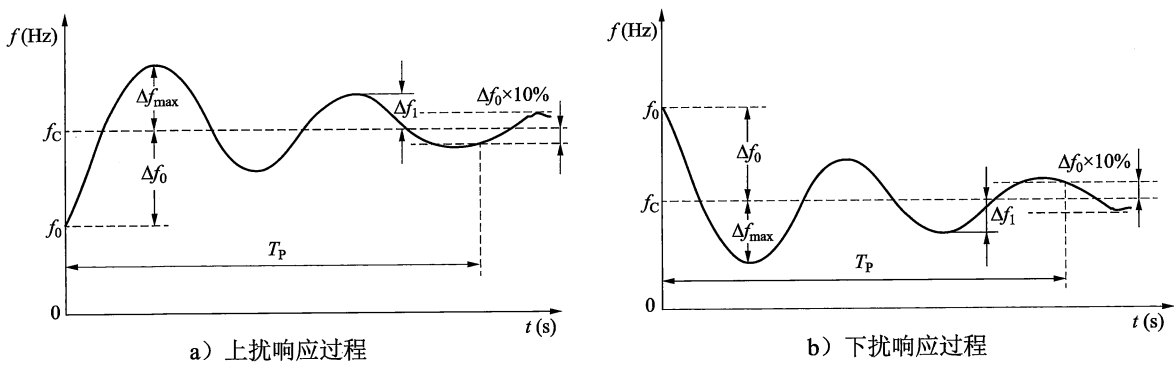


图 8 频率扰动响应调节过程

### 3.55

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，定义为波动次数，如图 8 所示。

### 3.56

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

$\delta x_n$

转速摆动是指空载或孤网频率（转速）控制模式下，水轮机组转速持续波动的峰-峰值与目标值（给

定值)  $n_c$  之比, 即频率 (转速) 调节的稳态转速带, 有时也称转速稳定性指数, 如图 9 所示。

$$\delta x_n = \pm \frac{|n_{\max} - n_{\min}|}{2n_c} \times 100\% \quad (10)$$

式中:

$n_{\max}$  ——持续波动周期内的转速最大值, r/min;

$n_{\min}$  ——持续波动周期内的转速最小值, r/min;

$n_c$  ——转速给定值, r/min。

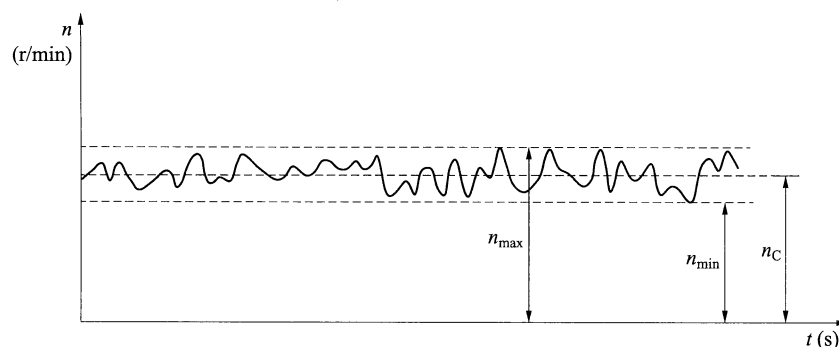


图 9 机组转速波动曲线

### 3.57

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

$\delta x_{PG}$

功率稳定性指数是指机组并网运行, 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的峰-峰值与机组额定功率  $P_r$  之比, 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, 如图 10 所示。

$$\delta x_{PG} = \pm \frac{|\Delta P_{0\max}| + |\Delta P_{0\min}|}{2P_r} \times 100\% \quad (11)$$

式中:

$\Delta P_{0\max}$  ——持续波动周期内, 机组输出功率的最大波峰值, MW;

$\Delta P_{0\min}$  ——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。

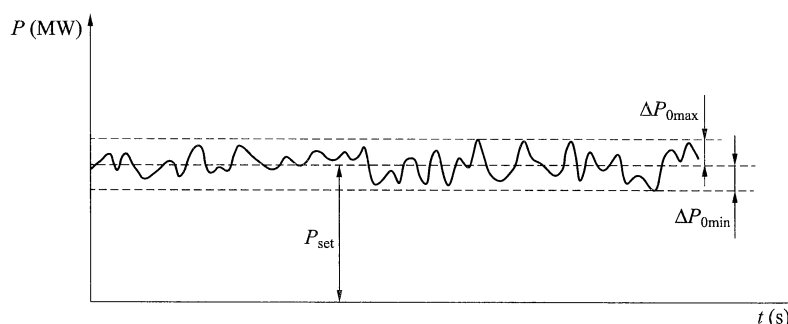


图 10 机组输出功率波动曲线

## 4 适用条件

4.1 与水轮机组配套的电液调节装置、油压装置及接力器的工作容量选择应符合 GB/T 9652.1 与

DL/T 1245 的规定。

4.2 对于大型电液调节装置，导叶实际最大开度应与接力器最大行程相对应；对于中、小型和特小型电液调节装置，导叶实际最大开度至少应对应于接力器最大行程的 80% 以上。

4.3 使用地点海拔高度不大于 2000m。

4.4 电液调节装置周围环境空气温度为  $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，且温度变化率不大于  $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；相对湿度应不大于 90%，且无凝露。

4.5 电液调节装置所用油的质量应符合 GB 11120 中 46 号~68 号汽轮机油或黏度相近的同类型油的规定，工作油温范围为  $10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；油液的清洁度等级为 GB/T 14039 第 21/18/15 级。

4.6 应按照 GB/T 8564、GB/T 25133 的有关规定，对管道规范安装、焊接、清理与检查。

4.7 电液调节装置工作环境的振动和冲击：

- a) 电液调节装置控制柜：振动频率在 10Hz~500Hz 范围时，加速度不大于 10g。
- b) 其他部分：振动频率在 10Hz~500Hz 范围时，加速度不大于 20g。

4.8 对被控系统的要求：

- a) 水轮机组应在正常工况下运行。
- b) 用于频率测量的系统及机端电压互感器、齿盘测速装置、接力器位移传感器、水压传感器等外接信号装置或组件、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。
- c) 对于转桨式机组，应防止至轮叶接力器的管道中有电流通过。
- d) 对于具有非同步导叶的可逆式蓄能机组，非同步导叶的投入数量、投入及退出规律应满足机组空载稳定性及并网运行要求。
- e) 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。
- f) 无调压设施的水轮机过水系统的水流惯性时间常数  $T_w$  不大于 4s，水流惯性时间常数  $T_w$  与水击波相长时间常数  $T_i$  之比大于 1。机组惯性时间常数  $T_a$ ：反击式机组不小于 4s，冲击式机组不小于 2s。同时，机组惯性比率  $R_i$  不大于 0.4。
- g) 对于有调压室的水轮机调节系统，其稳定面积设计安全系数应大于 1.15。
- h) 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、接力器 30min 内位置漂移不超过  $-0.2\%\sim 0.2\%$  的条件下，机组手动空载转速摆动相对值  $\delta x_n$  应不超过表 2 规定值。

表 2 水轮机电液调节系统手动空载转速摆动规定值

单位：%

机组形式	调节系统		
	大型	中型	小型、特小型
冲击式	$\pm 0.25$	$\pm 0.25$	$\pm 0.3$
混流式	$\pm 0.2$	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$
轴流转桨或斜流式	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$	$\pm 0.4$
定桨式	$\pm 0.33$	$\pm 0.35$	$\pm 0.37$
贯流式	$\pm 0.35$	$\pm 0.4$	$\pm 0.4$
可逆混流式机组	$\pm 0.25$	$\pm 0.35$	$\pm 0.4$

## 5 技术要求

### 5.1 系统要求

5.1.1 电液调节装置宜采用电子调节器加电液随动系统结构、电子调节器加中间继电器（或电-机伺服机构）加机械-液压随动系统结构。

5.1.2 永态差值系数  $b_p / e_p$  应在零至最大设计值范围内整定；最大设计值不小于 10%，零刻度实际值不大于 0.1%。

5.1.3 人工频率（转速）死区  $E_f$  应在  $-2\% \sim +2\%$  额定转速范围内整定。

5.1.4 可设置人工开度死区  $E_v$  / 功率死区  $E_p$ ，其整定范围宜为  $-2\% \sim +2\%$ 。

5.1.5 应具备空载/空转运行时，自动跟踪电网频率或频率给定的功能选择与切换。

5.1.6 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：

a) 参数体系 1：

比例增益  $K_p$ ：0~20；

积分增益  $K_I$ ：(0~10) 1/s；

微分增益  $K_D$ ：(0~5) s。

b) 参数体系 2：

暂态转差系数  $b_t$ ：(1~200) %；

缓冲时间常数  $T_d$ ：(1~20) s；

加速时间常数  $T_n$ ：(0~2) s。

c) 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。

5.1.7 频率（转速）指令信号宜在 48Hz~52Hz 范围内整定。

5.1.8 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，其整定时间应大于继电器全行程最短动作时间，并符合设计规定，一般为 20s~80s。

5.1.9 继电器的开启和关闭时间，应能在调节保证计算规定的设计范围内任意整定。

5.1.10 水轮机电液调节装置应能实现机组以自动和手动方式启动、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。

5.1.11 水轮机电液调节装置应具有甩负荷后维持额定转速运行的能力；对于甩负荷直接作用于停机的机组除外。

5.1.12 对于大型电液调节装置和重要电站的中小型电液调节装置，宜设置一个以上的测频信号源。

5.1.13 电液调节装置应保证机组在下列工况下稳定运行：

a) 空转或空载运行。

b) 并联运行。

c) 单机带负荷运行。

d) 调相运行。

e) 可逆式蓄能机组的抽水运行。

f) 可逆式蓄能机组的背靠背启动运行。

5.1.14 对于转桨式水轮机电液调节装置，应具备：

a) 根据转桨式水轮机协联关系曲线实现协联关系的装置或功能。

b) 能接受水头信号并按实际水头自动选择转桨式水轮机相应协联关系的功能。

c) 在停机过程完成后，自动将转桨式水轮机轮叶调整至启动转角。

d) 在机组启动过程中，使转桨式水轮机的轮叶转角从启动转角自动转换到正常的协联关系。

e) 手动控制轮叶转角的组件或功能。



5.1.15 对于冲击式水轮机电液调节装置，应具备：

- a) 折向器的投/退及协同连锁控制的组件或功能。
- 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、后于喷针关回；
- 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电液调节装置，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。

5.1.16 对于带有调压阀控制的水轮机电液调节装置，应具备：

- a) 通过纯机械液压联动控制的方式，对调压阀进行投/退及协同连锁控制的功能。
- b) 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，调压阀关闭。
- d) 导叶开度小幅度变化时，调压阀关闭。
- e) 导叶开度增加时，调压阀关闭。
- f) 机组负荷大幅度减小时，调压阀应快速开启，导叶快速关闭，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。

5.1.17 可逆式蓄能机组电液调节装置应满足：

- a) 水头-开度协调控制。在水泵工况下运行时，电液调节装置应根据扬程或转轮前后压差与接力器开度关系曲线，自行调整接力器开度，使机组以相应扬程的最高效率运行。
- b) 在机组甩负荷或水泵失去动力时，电液调节装置应根据机组运行方式按调节保证计算设计的规律关闭导叶，满足水力过渡过程的要求。
- c) 与监控系统配合，实现各种方式的自动开、停机操作。应具有静止变频启动、背靠背启动、机组由静止至抽水、抽水至静止、静止至水泵调相、水泵调相至静止以及静止至发电、发电至静止、静止至发电调相、发电调相至静止、静止至黑启动等功能。所有操作应动作正确，操作时间符合机组与监控系统设计要求。
- d) 与监控系统配合，实现各种运行工况的转换，包括水泵调相转抽水、抽水转水泵调相、发电调相转发电、发电转发电调相、水泵工况转发电工况、发电工况转水泵工况，转换过程应动作正确，转换调整时间符合机组与监控系统设计要求。
- e) 在背靠背启动时，控制拖动机的电液调节装置对导叶开度的控制应满足拖动力矩和转速差的要求。
- f) 对于空载频率调节性能难以满足本标准 4.8 h)、5.2.7.5 的可逆式水轮机，宜采取特殊控制策略，改善水轮机工况的空载频率调节性能。

5.1.18 电液调节装置应具备下列故障保护与容错功能：

- a) 电源装置应能同时接入交、直流电源，或同时接入两路直流电源，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大于全行程的 2%。
- b) 在机组稳定发电运行时，当网频信号、水头信号、功率信号消失时，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 2%，同时要求不影响机组的正常停机和事故停机。
- c) 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 2%。对于无人值班电站，调节装置可采取关机保护的原则。

- 5.1.19 在稳定状态下，电液调节装置的频率控制、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 2%。
- 5.1.20 在稳定状态下，电液调节装置手动方式、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 2%。
- 5.1.21 电液调节装置应具有对机组的一次调频功能。
- 5.1.22 对于具有黑启动要求的电液调节装置，应满足黑启动单机带负荷时频率调节的稳定性。
- 5.1.23 下列辅助功能及装置，宜由供需双方协商选定：
- a) 按实际水头自动整定启动开度和/或空载开度。
  - b) 按实际水头自动整定限制开度。
  - c) 多喷嘴冲击机组启动喷针的任意选择。
  - d) 远方/现地切换选择开关或功能。
  - e) 一次调频投/切选择开关或功能。
  - f) 触摸屏人机界面。
  - g) 接力器分段关闭装置。
  - h) 事故配压阀、重锤关机阀。
  - i) 机械超速保护装置。
  - j) 导叶或喷针不同步报警。
  - k) 对转桨式机组的浪涌控制。
  - l) 对可逆式机组或双向贯流式机组旋转方向的识别功能。
- 5.1.24 对数字式电液调节装置数字调节器部分的基本技术要求：
- a) 宜采用工业级控制器作为数字调节器的微机硬件平台。
  - b) 用于机组及电网频率测量的高速计数器计数频率，对于大型调节装置及重要电站的中小型调节装置，宜不低于 2MHz~10MHz；对于一般电站的中小型调节装置，宜不低于 250kHz~1MHz；对于特小型调节装置，宜不低于 125kHz~200kHz。
  - c) 应具备故障诊断能力。一般可包括控制器的主要模板或模块、频率测量信号、功率测量信号、位移测量信号、水头/扬程信号、电气-机械/液压转换组件、滤油器、电液随动装置故障诊断等。
  - d) 采用双微机系统时，应具有双微机跟踪功能，且应满足无扰动的切换要求，主、备用微机切换时，引起的水轮机主接力器的行程变化不得超过其全行程的 2%。
  - e) 与外部输入、输出环节之间，应采取隔离及抗干扰措施。
  - f) 与电站控制系统之间的信号接口，宜根据电站情况配置下列形式的接口：
    - 1) 与电站级或监控系统现地控制级计算机之间的串行通信接口或以太网接口。
    - 2) 脉冲控制给定方式的输入接口。
    - 3) 绝对值给定方式的模拟量输入接口，信号标准为 0V~5V 或 4mA~20mA。
  - g) 计算机软件应采用模块化设计，并具备程序和数据的失电保护功能。
  - h) 应能显示或测量电液调节系统的主要参量。
  - i) 应能显示不同工况下的各调节参数，并方便用户查询、修改。
  - j) 应能对电液调节装置主要故障发出报警及显示信息，并能上传至计算机监控系统。
- 5.1.25 对电液随动系统的基本技术要求：
- a) 电液随动系统的工作油压等级划分为 2.5MPa、4.0MPa、6.3MPa、10MPa、12.5MPa、16MPa 等。
  - b) 宜采用液压集成块方式连接。

- c) 宜采用具有互换性的机械液压元件/组件。
- d) 选用的滤油器绝对过滤精度，对先导控制油路应不大于  $25\mu\text{m}$ ，对主油路应不大于  $100\mu\text{m}$ 。
- e) 电气-机械/液压转换元件或组件宜根据设计及使用需要采用位移输出型或流量输出型结构形式。
- f) 主配宜选择便于检修、维护的立式或座式结构；对于大型电液调节装置或重要电站中小型电液调节装置，宜采用具有衬套而且其遮程为正的主配结构，阀体应采用铸钢件或锻钢件。
- g) 应避免控制阀超过其功率极限运行。
- h) 宜在电液随动系统的操作油口、控制油口处设置测压点。
- i) 分段关闭装置宜采用通过行程阀作用的纯机械液压控制方式，不宜通过计算机监控系统控制分段关闭装置。

#### 5.1.26 对油压装置的基本要求：

- a) 油压装置的压力容器可采用油、气接触式压力罐，也可采用油、气分离式蓄能器。油、气接触式压力罐的工作油压不宜超过  $10\text{MPa}$ 。
- b) 在正常工作油压上限，油、气接触式压力罐内油和空气体积比通常为  $1/3\sim 1/2$ 。
- c) 系统油温应保持在  $10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$  之间，否则应设置油温调节装置。
- d) 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%。
- e) 在机组静止或稳定状态下，对于间歇运行的油压装置压油泵，其启动间隔应大于  $30\text{min}$ 。对于漏油量（不包括调节装置自身的泄漏）超过油泵额定流量 30% 的转桨式机组、接力器窜油超过油泵额定流量 30% 的机组、工作油压超过  $12.5\text{MPa}$  的调节装置除外。

## 5.2 性能要求

5.2.1 电液调节装置的主接力器容量及主配压阀的流量特性、压力特性应符合 GB/T 9652.1 及制造厂的设计要求。

5.2.2 平均故障间隔时间 (MTBF) 不少于  $12\ 000\text{h}$ 。

5.2.3 在被控系统及其他相关设备均工作正常时，由水轮机电液调节装置故障导致的年强迫停运率，对于中小型及特小型调节装置应不大于 0.3%；对于大型调节装置及重要电站的中小型调节装置，应不大于 0.1%。

5.2.4 手动状态下，接力器处于稳定位置时  $30\text{min}$  内位移漂移量，在空载状态，应在其全行程的  $-0.2\%\sim 0.2\%$  范围内；在并网运行状态，应在其全行程的  $-0.5\%\sim 0.5\%$  范围内。

#### 5.2.5 电液调节装置的静态性能

5.2.5.1 频率测量分辨率，对于大型调节装置及重要电站的中小型调节装置，应小于  $0.003\text{Hz}$ ；对于一般中、小型调节装置，应小于  $0.005\text{Hz}$ ；对于特小型调节装置，应小于  $0.01\text{Hz}$ 。

5.2.5.2 静态特性曲线的线性度误差  $\varepsilon$  不超过 5%。

5.2.5.3 测至导叶或喷针主接力器的转速死区  $i_x$  按下述规定考核：

- a) 以永态转差系数  $b_p$  为基数，大型电液调节装置不超过  $0.5\% b_p$ ，中型电液调节装置不超过  $1.5\% b_p$ ，小型电液调节装置不超过  $2.5\% b_p$ ，特小型电液调节装置不超过  $5\% b_p$ 。
- b) 在输入转速信号恒定的条件下接力器摆动值  $\Delta y$ ：对大型电液调节装置不得超过 0.2%，对中小型电液调节装置不得超过 0.3%，对特小型电液调节装置不得超过 0.4%。
- c) 在进行转速死区测定试验时，永态转差系数  $b_p$  一律按 4% 取值。

5.2.5.4 转桨式机组电液调节装置的协联随动系统不准确度  $i_a$  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应不大于轮叶接力器全行程的 1%。

5.2.5.5 在稳态工况下,对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%。

5.2.5.6 对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%。

5.2.5.7 对于蓄能机组电液调节装置,实测的扬程与导叶开度关系曲线与理论(设计)关系曲线的偏差,应不大于导叶接力器全行程的1%。

## 5.2.6 电液调节装置调节器的动态响应特性

5.2.6.1 在电液调节装置或电液随动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,不得出现控制信号抖动或接力器抽动及其他异常现象。

5.2.6.2 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 $b_t$ 、 $T_d$ 、 $T_n$ ,与理论值的偏差不得超过10%。

## 5.2.7 水轮机电液调节系统的动态响应性能

5.2.7.1 水轮机电液调节系统应保证在各种工况下均能稳定运行。

5.2.7.2 自机组启动开始至空载转速(频率)达到同期带,即 $99.5\% f_r \sim 101\% f_r$ ,所经历的时间 $t_{SR}$ 不得大于从机组启动开始至机组转速达到80%额定转速 $n_r$ (或额定频率 $f_r$ )的升速时间 $t_{0.8}$ 的5倍,如图11所示。

5.2.7.3 机组开机升速过程应简单、可靠,宜根据水压变化、机组振动和主轴摆度、水推力、转轮动应力、机组结构强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启动规律。

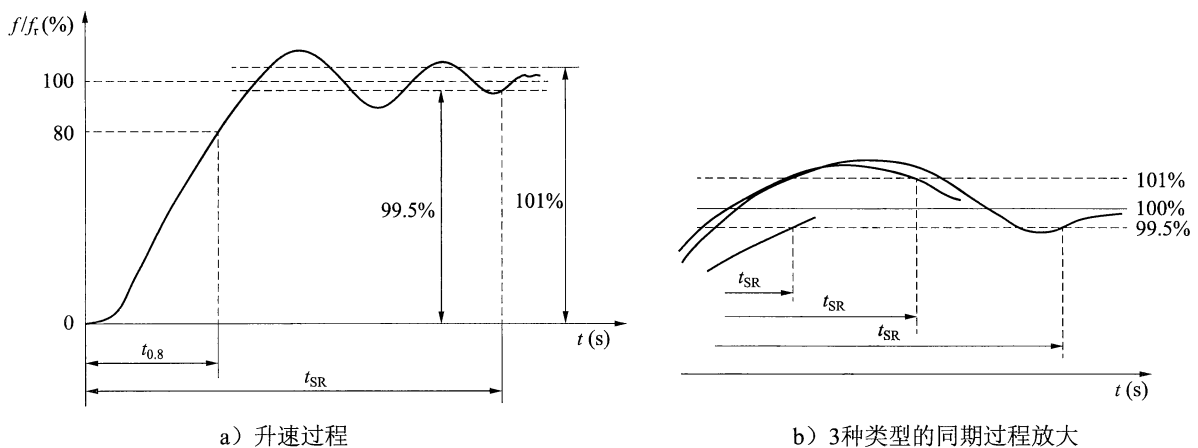


图11 开机升速至同期转速过程曲线

5.2.7.4 机组在空载工况运行,当频率阶跃变化的有效频差不小于4%额定频率时,电液调节系统空载扰动响应过程的动态调节品质应满足如下要求:

- 频率变化衰减度 $\psi$ 应不大于25%。
- 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 $T_p$ 不得超过25s。
- 在调节时间 $T_p$ 内,频差超过 $\pm 0.35\text{Hz}$ 的波动次数 $Z$ 不得超过2次。

5.2.7.5 自动空载运行时,3min内机组转速摆动相对值 $\delta x_0$ 应满足如下要求:

- 对于配置不同类型电液调节装置的机组,当手动空载转速摆动相对值满足本标准4.8 h)的规定值时,任意3min内机组转速摆动相对值不得超过表3的规定值。

- b) 手动空载转速摆动相对值不满足本标准 4.8 h) 规定值的机组, 其自动空载 3min 内转速摆动相对值不得超过相应手动空载转速摆动相对值。

表 3 水轮机电液调节系统自动空载转速摆动规定值

单位: %

机组形式	调节系统		
	大型	中型	小型、特小型
冲击式	±0.18	±0.18	±0.2
混流式	±0.15	±0.2	±0.25
轴流转桨或斜流式	±0.18	±0.25	±0.35
定桨式	±0.2	±0.3	±0.35
贯流式	±0.2	±0.33	±0.35
可逆混流式机组	±0.2	±0.25	±0.3

5.2.7.6 转速或指令信号按规定形式变化, 接力器不动时间  $T_q$ : 对于配用主配压阀 (接力器控制阀) 直径 200mm 及以下的电液调节装置的系统, 不得超过 0.2s; 对于配用主配压阀直径 200mm 以上的电液调节装置的系统, 不得超过 0.3s。对于采用先慢后快特殊关机规律的除外。

注: 接力器不动时间除了受到调节装置的测频环节及实现方式、控制周期、死区、电气-机械/液压转换组件的响应速度、主配流量增益及搭叠量、接力器活塞直径等影响外, 还受到外部操作油管路的管径、长度、布置及走向等因素的影响。

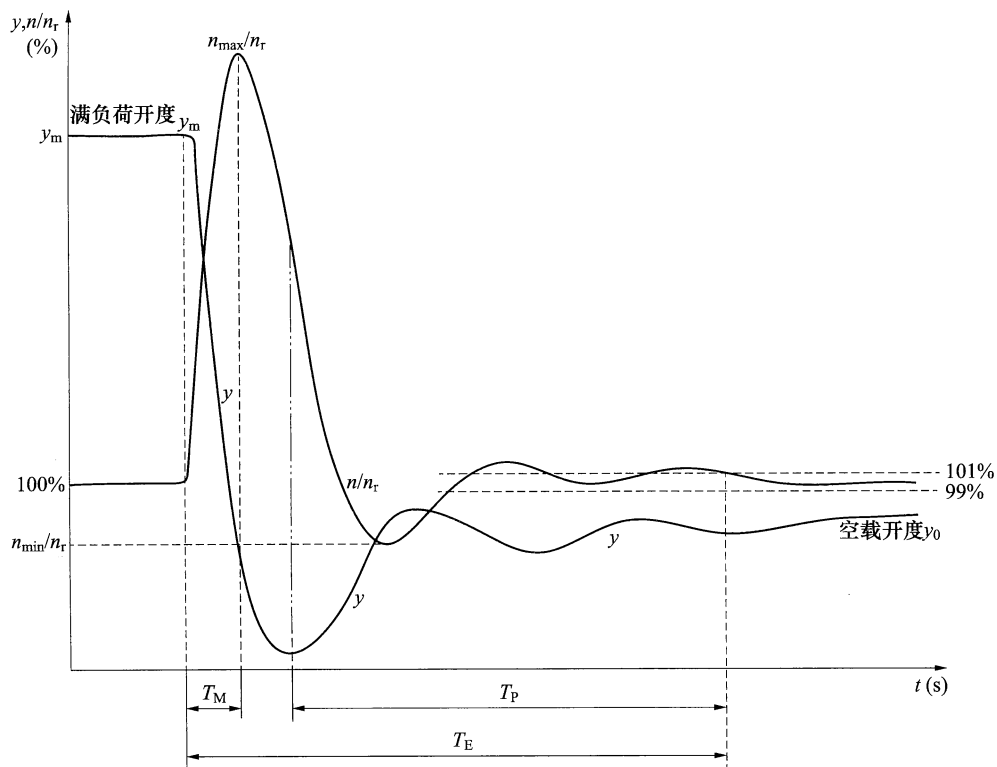
5.2.7.7 机组甩 100% 负荷时的动态品质应满足下列要求 (甩负荷调节过程曲线如图 12 所示):

- 最大转速上升与最大水压上升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% (1.5Hz) 以上的波动次数  $Z$  不超过 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  $n_{\min}$  不低于额定转速  $n_r$  的 85%。
- 调节时间应满足如下要求之一:
  - 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 ±1% 为止, 历时  $T_p$  不大于 40s。
  - 从甩负荷开始到机组转速摆动相对值不超过 ±1% 为止的调节时间  $T_E$  也可按下述原则考核: 从甩负荷开始到机组转速升至最大值所经历的升速时间  $T_M$  为基数, 中低水头反击式水轮机电液调节系统的调节时间  $T_E$  不超过  $8T_M$ , 冲击式和高水头反击式水轮机电液调节系统的调节时间  $T_E$  不超过  $15T_M$ 。
- 上述 b)、c) 考核要求对于下列情况除外: 不满足本标准 4.8 f)、g) 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桨式机组、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可逆式机组、甩负荷后直接作用于停机的机组。但应不影响机组的安全稳定运行。

5.2.7.8 电液调节系统一次调频性能要求按 DL/T 1245 执行。

5.2.7.9 对于具有功率调节模式的电液调节系统: 机组在带负荷工况下稳定运行, 电液调节系统处于功率控制模式, 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, 按照图 13 所示的电液调节系统负荷扰动响应过程的动态调节品质应达到:

- 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%。
- 在调节过程中每分钟的平均有功功率调节量, 即  $|P_{\text{set}} - P_0| \times 60 / T_p$ , 应不小于额定有功功率  $P_r$  的 50%。



说明：y 为开度； $n/n_r$  为相对转速。

图 12 甩负荷调节过程曲线

- c) 在调节过程稳定后，功率稳定性指数宜在  $-1\% \sim 1\%$  范围内。  
 d) 上述考核要求对于下列情况除外：不满足本标准 4.8 f)、g) 规定的机组、轮叶全行程关闭时间整定值大于 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。

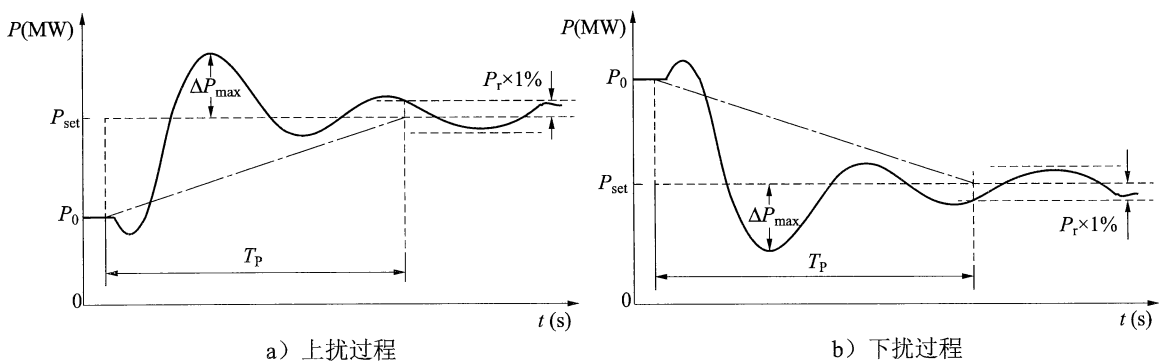


图 13 电液调节系统负荷扰动响应过程

5.2.7.10 机组在带负荷工况下运行，电液调节系统处于开度控制模式，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 20% 时，按照图 14 所示的电液调节系统开度扰动响应过程的动态调节品质应达到：

- 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) 在调节过程中每分钟的平均开度调节量，即  $|Y_{\text{set}} - Y_0| \times 60 / T_p$ ，应不小于接力器全行程  $Y_r$  的 98%。  
 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，继电器实际开度与给定值（目标值） $Y_{\text{set}}$  的偏差应在  $-0.4\% Y_r \sim 0.4\% Y_r$  范围内。

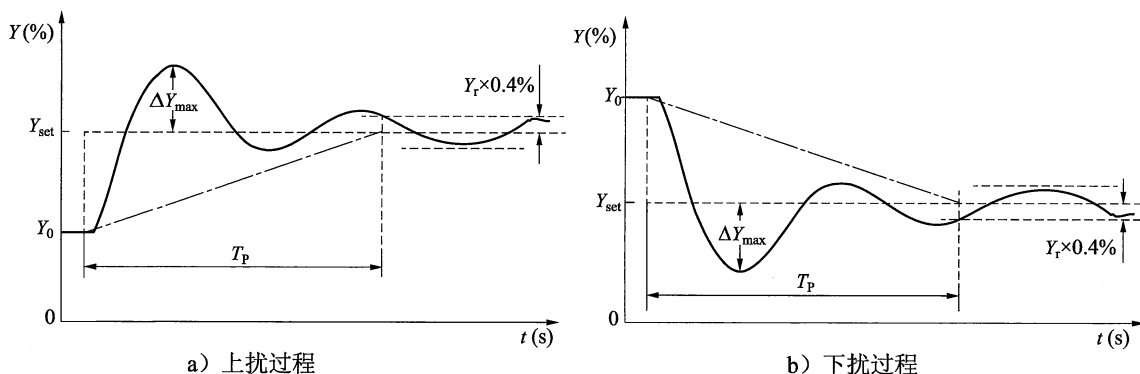


图 14 电液调节系统开度扰动响应过程

5.2.7.11 电液调节装置应具有孤网自动识别能力，保证机组在单机带负荷、孤岛运行工况下的稳定运行；当外部负荷发生变化而引起频率变化时，调节过程中频率变化衰减度  $\psi$  应不大于 25%；在无外部负荷突变的条件下，频率摆动应在  $\pm 3\%$  范围内。

## 5.2.8 电气装置的性能要求

### 5.2.8.1 对数字式电液调节装置测频单元的要求：

- 应采用测周期法或计时计数法的直接数字测频，用于数字测频的高速计数器的计数频率应满足本标准 5.1.24 b) 的要求。
- 应能适应正弦波、方波或梯形波等被测信号源，在信号电压有效值为  $0.5V \sim 150V$  时应能稳定可靠工作，且应能承受  $200V$  信号电压，历时不小于  $1\text{min}$ 。
- 应能滤除被测信号源的谐波分量和电气设备投/切引入的瞬间干扰信号，在各种干扰情况下可靠工作。
- 测频分辨率应满足本标准 5.2.5.1 的要求。
- 测频范围宜为  $10\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$ 。
- 在  $\pm 10\%$  额定转速范围内，测频单元响应时间  $T_{\text{rxn}}$  宜不大于  $40\text{ms}$ ；响应延滞时间  $Y_{\text{hxn}}$  宜不大于  $25\text{ms}$ 。

### 5.2.8.2 对模拟式电液调节装置测频单元的要求：

- 对测频信号源的适应性应满足本标准 5.2.8.1 b) 的规定。
- 测频稳定性应满足本标准 5.2.8.1 c) 的规定。
- 在  $\pm 10\%$  额定转速范围内，静态特性曲线的线性度误差不超过  $5\%$ 。
- 在  $\pm 2\%$  额定转速范围内其传递系数实测值与设计值误差应在设计规定值的  $\pm 5\%$  以内。
- 在  $\pm 70\%$  额定转速范围内测频单元应能正常工作，且静态特性曲线是单调变化的。

5.2.8.3 继电器行程反馈环节的测量精度宜小于  $0.05\%$ ，线性度误差不超过  $0.5\%$ 。

5.2.8.4 功率反馈环节的测量精度宜小于  $0.5\%$ ，线性度误差不超过  $0.5\%$ 。

5.2.8.5 模拟式电液调节装置形成调节规律的缓冲电路，其动态特性应为对称的指数衰减曲线；与理论曲线比较，其时间常数偏差应在  $\pm 10\%$  以内。

5.2.8.6 模拟式电液调节装置的参数刻度应以实际单位标出，刻度值与实际值的误差不得超过满刻度的  $5\%$ 。

5.2.8.7 电源模块在空载及额定负载状态下，当输入电压波动不超过  $-15\% \sim +15\%$  时，输出电压值波动应不超过  $-1\% \sim +1\%$ 。

5.2.8.8 在温度为  $15^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$  及相对湿度为  $45\% \sim 75\%$  的环境中，各电气回路间及其与机壳和大地间的

绝缘电阻不得小于  $1M\Omega$ 。

5.2.8.9 在本标准 5.2.8.8 规定的环境及海拔 2000m 的条件下，各电气回路间及其与机壳和大地间按表 4 要求进行历时 1min，漏电流不大于 5mA 的工频耐受电压试验，不得出现击穿与闪络现象。

表 4 工频耐受电压试验

单位：V

工作电压	50Hz 试验电压	工作电压	50Hz 试验电压
$U \leq 60$	500	$125 < U \leq 250$	1500
$60 < U \leq 125$	1000	$250 < U \leq 500$	2000

可将表 4 中规定的试验电压提高 10% 历时 1s 进行试验。试验地点海拔高度低于 2000m 时，海拔高度每降低 100m，表 4 中试验电压值应增加 1%；海拔高度高于 2000m 时，海拔高度每升高 100m，表 4 中试验电压值应减小 1%。重复进行工频耐受电压试验时，其试验电压值应为前次的 75%。

5.2.8.10 电气装置的温度漂移和综合漂移折算为机组转速相对值不得超过表 5 规定。

表 5 温度漂移及综合漂移允许值

调节装置类型	温度漂移 %/°C	综合漂移（每 8h） %
大型	0.01	0.3
中型、小型、特小型	0.02	0.6

5.2.8.11 电气装置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。

5.2.8.12 对电气装置按 GB/T 17626.4 规定进行电快速脉冲群抗扰度试验（试验等级为 3 级），干扰引起的输出变化不得大于 1%。

## 5.2.9 机械液压部分的性能要求

5.2.9.1 在本标准第 4 章规定的使用条件下，电液随动装置应正确、可靠工作。

5.2.9.2 主配压阀实际最大工作行程与设计行程之比应大于 0.5。

5.2.9.3 电气-机械/液压转换组件在实际负载下的静态性能和动态性能应满足下列要求：

- a) 静态性能：传递系数实际值与设计值误差应小于设计值的 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%。
- b) 动态性能：响应频宽应不小于 5Hz~7Hz，阶跃调整时间不超过 10ms~25ms。

5.2.9.4 由各类微型电动机构成的电-机转换装置，除应满足本标准 5.2.9.3 的要求外，还应符合下列要求：

- a) 对于有人值班的电站，电-机转换装置用于电液随动装置时，其位移输出在电源消失时应能自动复中；用作中间接力器输出时，其位移输出在电源消失时应保持原位。
- b) 对于无人值班电站，电-机转换装置用于电液随动装置时，其位移输出在电源消失时应能偏向关机侧；用作中间接力器输出时，其位移输出在电源消失时应全关至零。

5.2.9.5 具有自复中功能的电液调节装置，在自复中功能投入时，主接力器在 30 min 内位移漂移量，应不大于 1%。

5.2.9.6 在电液调节装置的调节参数、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变化不得大于全行程的 0.5%。

5.2.9.7 各液压阀及接力器装配调整后，在本标准规定油温及额定油压下，电液随动装置接力器处于



全关状态的漏油量与任意稳定位置时的静耗油量  $q_{Lmax}$ ，其最大值不得超过表 6、表 7 的规定。当采用外购标准液压阀时，漏油量或静耗油量应符合制造厂的设计要求。

5.2.9.8 受压铸件的质量应符合 GB/T 12229、GB/T 13927 的规定。

5.2.9.9 操作油管路的设计流速参考值宜不大于 5m/s，回油管路的油液流速应不大于 4m/s，吸油管路的油液流速应不大于 1.2m/s。

5.2.9.10 操作油管路的最大压力冲击瞬时峰值不得超过额定工作压力的 1.5 倍。

表 6 压力等级 10MPa 及以下时，漏油量或静耗油量最大允许值

主配压阀公称通径 mm	最大允许值 mL/min
≤10	70
10~16	70~170
16~25	170~340
25~50	340~1600
50~80	1600~2200
80~100	2200~3500
100~150	3500~6000
150~200	6000~8000
200~250	8000~12 000

表 7 压力等级 12.5MPa 及以上时，漏油量或静耗油量最大允许值

主配压阀公称通径 mm	最大允许值 mL/min
≤10	100
10~16	100~250
16~25	250~500
25~50	500~1900

5.2.10 油压装置的性能要求：

- a) 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。
- b) 当油压高于工作油压上限 2%以上时，安全阀应开始排油；当油压高于工作油压上限的 10%以前，安全阀应全部开启，并使压力罐/蓄能器中的油压不再升高；当油压低于工作油压下限以前，安全阀应完全关闭，此时安全阀的漏油量不得大于油泵输油量的 1%。
- c) 油压装置宜设置至少 2 台油泵，油泵运转应平稳，油泵的输油量应能满足电液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，所经历的最长时间宜不大于 60s；在用于孤网运行时，宜不大于 35s。
- d) 当油压低于工作油压下限的 6%~8%时，备用油泵应启动。
- e) 当油压继续降低至事故低油压时，作用于快速事故停机的压力信号器应立即动作；当主接力器在事故低油压下完全关闭后，压力罐/蓄能器的剩余压力应高于最低操作油压。
- f) 油压装置各压力信号器动作油压值与整定值的偏差，不得超过整定值的±2%。
- g) 压力罐/蓄能器应具有足够的容量，在不启动油泵的情况下，自正常工作油压下限至最低操作油压之前，其可用油体积至少应满足如下要求：对于混流式及定桨式机组的单调整调节装置为导

叶接力器总容积的 3 倍；对于转桨式机组的双调整调节装置为导叶接力器总容积的 3 倍再加轮叶接力器容积的 2 倍；对于冲击式机组的双调整调节装置为折向器接力器总容积的 3 倍再加喷针接力器总容积的 2 倍；对于带调压阀控制的双调整调节装置为导叶接力器总容积的 3 倍再加调压阀接力器容积的 4 倍。

- h) 压力罐/蓄能器在额定油压下，油位处于正常位置时，关闭各连通阀门，保持 8h，油压下降值不得大于额定油压的 4%。
- i) 空气安全阀的动作值应为名义工作油压的 114%。空气安全阀动作应正确、可靠，无强烈噪声。
- j) 回油箱容积应能容纳电液调节系统所有用油量并至少有 10%的余量。
- k) 自动补气装置动作应正确、可靠，不得出现漏气现象。
- l) 液位信号器动作值与整定值的偏差，不得超过±10mm。

### 5.3 检测、信号和参数显示

#### 5.3.1 电气装置的下列环节宜具有可检测性：

- a) 测频（测速）环节；
- b) 永态差值环节；
- c) 暂态转差环节；
- d) 缓冲时间环节；
- e) 加速度环节；
- f) 比例环节；
- g) 积分环节；
- h) 微分环节；
- i) 电子调节器；
- j) 频率给定环节；
- k) 开度/功率给定环节；
- l) 人工死区环节；
- m) 综合放大器；
- n) 位移传感器；
- o) 功率变送器；
- p) 水头/扬程传感器；
- q) 电源。

#### 5.3.2 电液调节装置宜设置下列信号指示：

- a) 转速指示；
- b) 导叶/轮叶、折向器/喷针接力器位置或开度指示；
- c) 工作电源和备用电源指示；
- d) 导叶接力器锁锭状态指示；
- e) 机组运行工况指示；
- f) 电液转换组件控制电流的平衡指示；
- g) 喷针工作方式指示；
- h) 大网/孤网运行状态指示；
- i) 一次调频动作指示；
- j) 手/自动状态指示；
- k) 调节（控制）模式指示；
- l) 快速事故停机指示；

m) 故障信号指示。

5.3.3 电液调节装置应能显示下列参数：

- a) 导叶或喷针开度；
- b) 导叶或喷针开度限制；
- c) 轮叶或折向器开度；
- d) 电网频率；
- e) 机组频率；
- f) 开度给定值；
- g) 功率给定值；
- h) 频率给定值；
- i) 人工频率（转速）死区；
- j) 人工开度或功率死区；
- k) 机组有功功率；
- l) 各调节参数；
- m) 永态差值系数；
- n) 调节（控制）输出；
- o) 水轮机工作水头；
- p) 水泵扬程（可逆式机组）。

5.3.4 所有指示表计的精度不应低于 2.5 级。

5.4 结构、元件和工艺

5.4.1 压力罐/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、JB/T 7036 的有关规定。

5.4.2 回油箱及附件结构和工艺要求：

- a) 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；起吊点宜作出标记。
- b) 回油箱顶部设计和制造应避免聚集和存留外部固体、油液污染物及废弃物。
- c) 安装液位计、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。

5.4.3 机械液压元件/组件及附件安装和工艺要求：

- a) 元件/组件的装配应按照图纸要求和技术文件的规定进行，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。
- b) 元件/组件装配时如需敲击，不得使用铁制锤头敲打，可以使用橡皮锤、铜锤、铜棒或铝棒。
- c) 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。
- d) 质量大于 15kg 的所有元件/组件宜设有起吊点。
- e) 应保持液压元件/组件及附件、密封件和管路附件的清洁。
- f) 液压件的清洗应在专用清洗台上进行。
- g) 连接螺栓应均匀拧紧，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。
- h) 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。
- i) 装配时使用的密封填料或密封胶不得进入油路系统。

5.4.4 电气柜结构和工艺要求：

- a) 电气柜外形尺寸应符合 GB/T 3047.1 的规定。
- b) 电气柜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。

- c) 电气柜上指示灯和按钮颜色应符合 GB/T 4025 的有关规定。
  - d) 控制用手柄、按钮等操作器件的安装高度，应便于操作。
  - e) 信号线与动力线应分开布线。柜内配线应整齐美观，配线颜色按 GB/T 6995.2 的有关规定，接线端子线号应清楚，不得变色、磨损。
  - f) 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。
  - g) 电气结构设计应符合 GB/T 16935.5 的规定。
- 5.4.5 电子元器件、组件应选用工业级产品。
- 5.4.6 同类电气插件或组件模块应具有互换性。
- 5.4.7 印刷电路板应符合 GB/T 4588.1 和 GB/T 4588.2 的规定。
- 5.4.8 产品结构应便于装配、安装、调试、运行及维护，外形应美观。
- 5.4.9 产品的标志：
- a) 铭牌主要内容宜包括产品名称、产品型号、主要技术参数、制造厂名、出厂编号、制造日期。
  - b) 电动机旋转方向、手轮及手柄动作方向均应有箭头标牌。

## 6 试验及验收

### 6.1 试验

应按照 DL/T 496 的相关规定进行。

### 6.2 验收

6.2.1 电液调节装置在交货前，应按本标准和有关标准，以及订货合同的要求，进行出厂验收。

6.2.2 设备运到使用现场后，应在规定的时间内，在厂方代表认可的情况下，进行现场开箱检查。检查应包括以下内容：

- 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。这些技术文件宜包括产品原理、安装、调整、使用及维护说明书；产品原理图、外形图、安装联接尺寸、配线图；产品出厂检查试验报告、合格证明书及装箱单。对于压力罐的技术资料还应满足 GB 150.4 的要求。

6.2.3 电液调节装置经现场安装、调整、试验完毕，并连续运行 72h（对于常规机组）或 15d 试运行（对于可逆式抽水蓄能机组）合格后，应对其进行投产前的现场交接验收。内容包括：

- 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、技术文件符合本标准 6.2.2 的规定；并提交现场试验记录与试验报告。

## 7 包装、运输与储存

7.1 包装应按 GB/T 13384 执行。

7.2 运输应按 GB/T 4798.2 执行。

### 7.3 储存

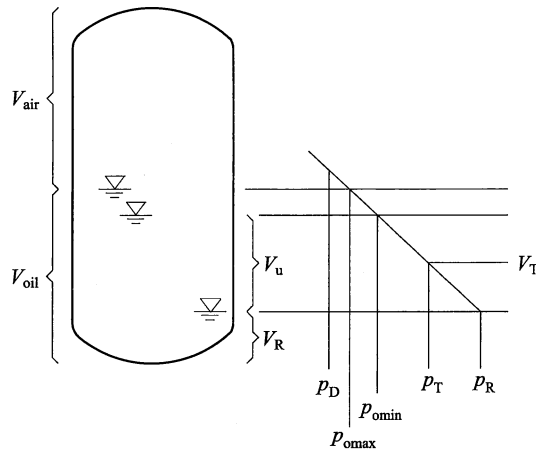
7.3.1 包装好的设备应储存在室内，环境温度为 $-5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 、湿度不大于 90%、无凝露、无腐蚀性和爆炸性气体和强电磁场作用，不受灰尘和雨水侵蚀。

7.3.2 制造单位应指明设备储存期限及超过规定期限后应采取的措施。

附录 A  
(规范性附录)  
油压装置压力容器的容量

### A.1 压力罐的容量

对于油、气接触式压力罐容量的计算选择，按下述原则进行。  
压力罐的容量和压力范围如图 A.1 所示。



说明：

$p_D$  为设计压力；

$p_{Omax}$  至  $p_{Omin}$  为操作压力范围；

$p_{Omax}$  为正常工作压力上限；

$p_{Omin}$  为正常工作压力下限；

$p_T$  为事故低油压停机压力；

$p_R$  为保证接力器关闭所需的最低操作油压，即最小规定压力；

$V_{air}$  为正常工作油压上限时，压缩空气的体积；

$V_{oil}$  为正常工作油压上限时，油的体积；

$V_u$  为可用油体积；

$V_T$  为事故低油压时油的体积；

$V_R$  为最低操作油压时油的体积，即剩余油体积。

图 A.1 压力罐的容量和压力范围

#### A.1.1 推荐的压力范围

$$p_{Omax} = (0.85 \sim 1.0) p_D \quad (A.1)$$

$$p_{Omin} = (0.8 \sim 0.9) p_D \quad (A.2)$$

且规定： $p_{Omin} > p_T > p_R$ ，即  $p_T$  的选择应使压力罐的操作压力在事故停机之后不降到  $p_R$  之下：

$$p_R = (0.58 \sim 0.75) p_D \quad (A.3)$$

#### A.1.2 推荐的可用油体积

单调整（单回路）控制：

$$V_u = 3V_s \quad (\text{A.4})$$

式中:

$V_s$ ——导叶接力器的总容积。

双调整(双回路)控制:

$$V_u = 3V_s + 2V_{ru} \quad (\text{A.5})$$

或

$$V_u = 3V_{de} + 2V_{nz} \quad (\text{A.6})$$

或

$$V_u = 3V_s + 4V_{rv} \quad (\text{A.7})$$

式中:

$V_{ru}$ ——转桨机构接力器的容积;

$V_{de}$ ——折向器接力器的总容积;

$V_{nz}$ ——喷针接力器的总容积;

$V_{rv}$ ——调压阀(空放阀)接力器的容积。

在用于孤网运行的情况下,需适当加大可用油体积,一般为上述数值的1.5倍~2倍。

## A.2 皮囊式或活塞式蓄能器的容量

具有油和氮气间密封隔离的皮囊式或活塞式蓄能器,其应用压力较高,一般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.2.1 推荐的压力范围

$$p_{Omax} = (0.8 \sim 1.0)P_D \quad (\text{A.8})$$

$$p_{Omin} = (0.75 \sim 0.9)P_D \quad (\text{A.9})$$

且规定:  $p_{Omin} > p_T > p_R$ , 即  $p_T$  的选择应使蓄能器的操作压力在事故停机之后不降到  $p_R$  之下:

$$p_R = (0.5 \sim 0.75)p_D \quad (\text{A.10})$$

### A.2.2 推荐的可用油体积

单调整(单回路)控制:

$$V_u = 3V_s \quad (\text{A.11})$$

双调整(双回路)控制:

$$V_u = 3V_s + 2V_{ru} \quad (\text{A.12})$$

或

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

或

$$V_u = 3V_s + 4V_{rv} \quad (\text{A.14})$$

在用于孤网运行的情况下,需适当加大可用油体积,一般为上述数值的1.5~2倍。

中华人民共和国  
电力行业标准  
水轮机电液调节系统及装置  
技术规程

DL/T 563—2016

代替 DL/T 563—2004

\*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京传奇佳彩数码印刷有限公司印刷

\*

2016年6月第一版 2016年6月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 2印张 55千字

印数 001—200册

\*

统一书号 155123·3055 定价 17.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

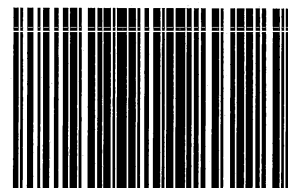
版权专有 翻印必究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.3055