

ICS 27.140

K 55

备案号: 53875-2016

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 496 — 2016

代替 DL/T 496 — 2001

水轮机电液调节系统及装置 调整试验导则

**Regulating and testing guide of electro-hydraulic
regulating system and device for hydraulic turbines**

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 调整试验的类别、项目及一般规定 | 1 |
| 3.1 调整试验的类别 | 1 |
| 3.2 调整试验的项目 | 1 |
| 3.3 调整试验前应具备的条件 | 1 |
| 3.4 调整试验的准备工作 | 1 |
| 3.5 试验仪器、仪表 | 2 |
| 4 调整试验的内容及方法 | 2 |
| 4.1 一般检查试验 | 2 |
| 4.2 油压装置的调整试验 | 2 |
| 4.3 共通电气组件的调整试验及设备绝缘与电磁兼容性实验 | 4 |
| 4.4 数字式电液调节装置电气部分试验 | 5 |
| 4.5 模拟式电液调节装置电气部分试验 | 11 |
| 4.6 电气备用组件更换试验 | 12 |
| 4.7 电气-机械/液压转换装置试验 | 13 |
| 4.8 机械液压部分的调整试验 | 13 |
| 4.9 电液随动装置试验 | 15 |
| 4.10 电液调节装置的整机调整试验 | 16 |
| 4.11 机组充水后电液调节系统的调整试验 | 26 |
| 附录 A (规范性附录) 调整试验类别及项目 | 32 |
| 附录 B (规范性附录) 测试系统误差和分辨率 | 35 |
| 附录 C (资料性附录) 死区、不准确度及线性度误差计算方法简介 | 36 |
| 附录 D (资料性附录) 试验报告的基本内容及格式示例 | 39 |

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》规定制定的。
本标准是对 DL/T 496—2001《水轮机电液调节系统及装置调整试验导则》的修订，主要修改如下：
- 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。
 - 对调整试验类别及项目表进行了补充、调整；
 - 对试验条件要求进行了修改、补充；
 - 对油压装置调整试验内容进行了增补、修改与完善；
 - 补充与修改了共通电气组件的调整试验内容；
 - 对电磁兼容性试验内容进行了调整；
 - 增加了导叶、喷针同步试验内容；
 - 对频率测量环节的试验内容进行了补充；
 - 对电子调节器参数校验方法进行了补充与调整；
 - 补充与调整了故障保护与容错功能的试验内容；
 - 对接力器反应时间常数的测定方法进行了补充与调整；
 - 对接力器不动时间测定方法进行了修改与增补；
 - 对电液调节系统转速死区测量方法进行了补充；
 - 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试验内容；
 - 对调节模式试验、工况转换试验内容进行了补充与调整；
 - 增补了可逆式蓄能机组电液调节系统及装置试验的有关条款；
 - 补充与调整了事故低油压、事故低油位关机试验的内容；
 - 补充了空载扰动试验方法；
 - 增加了一次调频试验、孤网调节试验等内容；
 - 增补了负荷/开度扰动试验内容；
 - 删除了 2001 版的附录 A “调节参数选择参考资料”；
 - 增补了对测量系统误差和分辨率的相关规定。

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。

本标准实施后代替 DL/T 496—2001。

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、国网陕西省电力公司电力科学研究院、国网湖南省电力公司电力科学研究院、哈尔滨电机厂有限责任公司、国网电力科学研究院。

本标准主要起草人：张建明、潘熙和、李华、孟佐宏、朴修日、蔡卫江。

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 调整试验导则

1 范围

本标准规定了水轮机电液调节系统及装置调整试验的项目、条件和方法，并给出了一些试验常用参考资料。

本标准适用于接力器容量为 $350\text{N}\cdot\text{m}$ 及以上的水轮机电液调节系统及装置型式试验、出厂试验、交接验收试验和检修后的调整试验。

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/T 9652.1 水轮机控制系统技术条件
- GB/T 13850 交流电量转换为模拟量或数字信号的电测量变送器
- 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 26164.1 电业安全工作规程 第1部分：热力和机械
- DL/T 563 水轮机电液调节系统及装置技术规程
- DL/T 792 水轮机调节系统及装置运行与检修规程
- DL/T 1120 水轮机调节系统自动测试与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

3 调整试验的类别、项目及一般规定

3.1 调整试验的类别

调整试验分为三类，即出厂试验、电站试验和型式试验。试验中的性能指标及功能与性能要求应符合 GB/T 9652.1、DL/T 563、DL/T 1245 的规定。其中，电站试验项目可结合 DL/T 792 的相关规定执行。

3.2 调整试验的项目

调整试验项目宜按照附录 A 进行。

3.3 调整试验前应具备的条件

3.3.1 调整试验前，应检查调节系统及装置有无明显缺陷。

3.3.2 出厂调试或电站调试前，电液调节装置各部分应安装完毕，具备充油、充气、通电条件，液压系统工作介质及电源符合 DL/T 563 的规定。

3.3.3 在电站进行调试时，调试工作所在机组段，不得有影响调试工作的作业。

3.3.4 在进行机组充水后的调试时，被控制机组及其控制回路、励磁装置和有关辅助设备均安装、调试完毕，并完成了规定的检查与模拟试验，具备开机条件。

3.4 调整试验的准备工作

3.4.1 根据附录 A，确定调试项目，编写试验大纲。

3.4.2 配备所需的工具、设备、仪器、仪表及试验电源。

3.4.3 调试现场应具备良好的照明条件及通信联络设备，并规定必要的联络信号。

3.4.4 在进行电站调整试验时，应事先了解被试设备及相关设备的状态，根据 GB 26164.1 制定安全防护措施。

3.5 试验仪器、仪表

3.5.1 计量仪器、仪表应处于检验或检定的有效期内。

3.5.2 试验前应对需采集的各物理量的变换系数进行率定。

3.5.3 测试系统误差和分辨率应符合附录 B 的规定。

3.5.4 进行电液调节系统仿真试验时，应在试验报告中注明仿真对象（被控系统）的主要特征参数。

3.5.5 调整试验所采用的自动测试与实时仿真装置应符合 DL/T 1120 的要求。

4 调整试验的内容及方法

4.1 一般检查试验

4.1.1 开箱检查

盘柜上标志应正确、完整、清晰，各部件无缺损，按装箱单检查文件资料、装置及其附件、备品备件等是否齐全。

4.1.2 表计初步检查

对平衡表、电压表、转速表/频率表、导叶/喷针和轮叶/折向器开度表、压力表等表计的外观、标注、刻度范围、精度等级等进行检查。

4.1.3 电气接线检查

对电气接线进行正确性检查，其标志应与图纸相符，屏蔽线的接法应符合抗干扰的要求。

4.2 油压装置的调整试验

4.2.1 油泵试验

4.2.1.1 油泵运转前的准备

- a) 油泵腔体内注满工作油。
- b) 人工转动油泵，检查是否灵活，然后通电检查油泵转动方向是否正确。

4.2.1.2 油泵磨合运转试验

4.2.1.2.1 试验在阀组调整前进行，油泵先空载运转 1h，然后分别在 25%、50%、75% 额定油压下各运行 10min，最后在额定油压下运行 1h。

4.2.1.2.2 试验中，油泵应连续运转，工作应平稳正常，无异常震动和噪声；在每个压力下运转过程中应监视电动机电流有无异常变化。

4.2.1.2.3 运行中油温不得超过 50℃，如超出应停泵，待油温降低后继续试验，此时运转时间可累计。

4.2.1.3 油泵输油量的测定

在压力罐的油压接近额定值，油温在 30℃~50℃ 的条件下，启动油泵向压力罐输油，测量压力罐

油位上升 100mm 所需的时间，按下式计算油泵的输油量：

$$Q = \frac{7.85D^2}{1 \times 10^5 t} \quad (1)$$

式中：

Q —— 油泵的输油量，L/s；

D —— 压力罐的内径，mm；

t —— 油位上升 100mm 所需时间，s。

测定 3 次油泵输油量，取其平均值。

对于采用油、气分离式蓄能器的油压装置，考虑到蓄能器的油位无法直接测量，油泵输油量的测定，可根据回油箱油位下降 50mm 所需时间与回油箱面积进行折算。

除上述方法外，还可采用流量计直接测定油泵输油量。

4.2.2 阀组调整试验

4.2.2.1 卸载阀的调整试验

4.2.2.1.1 对于采用纯机械方式加载/卸载的阀组，需通过改变节流孔大小，调整加载/卸载时间；当油泵达到额定转速时，卸载阀排油孔应正好被封闭。

4.2.2.1.2 对于采用电磁阀控制加载/卸载的阀组，则只需直接通过油压装置电气控制柜（箱）设置加载/卸载时间。

4.2.2.2 安全阀的调整试验

4.2.2.2.1 调整安全阀的调节螺栓，使油压高于工作油压上限 2% 时，安全阀开始排油，油压高于工作油压上限的 10% 以前，安全阀应全部开启，且压力罐/蓄能器中油压不再升高。

4.2.2.2.2 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%。

4.2.2.2.3 在上述调整试验过程中安全阀应无剧烈的振动和噪声。

4.2.2.3 单向阀（止回阀）的试验

压力罐/蓄能器油压在额定油压以下时，手动启动油泵，当压力升至正常压力上限时停泵，油泵的反转不得超过 2 周。

4.2.3 油压装置的密封性试验

4.2.3.1 压力罐/蓄能器的油压和油位均保持在正常工作范围内，关闭所有阀门，8h 后油压下降不得大于额定油压的 4%；宜在油泵停动 30min 后开始记录压力和油位，8h 内环境温差应不大于 8℃。

4.2.3.2 若油压下降而油位不变，则说明是漏气所致。当油压、油位均下降时，可启动油泵将油位恢复到原值，若油压能恢复至原值，则说明是漏油所致；若油压仍低于原值，则表明在漏油的同时，还有漏气现象。

4.2.3.3 对于采用油、气分离式蓄能器的油压装置，考虑到蓄能器的油位无法直接观测，可根据回油箱油位变化反推蓄能器油位变化。

4.2.4 压力信号器和油位信号器整定

通过对压力罐/蓄能器输油和排油的方式来改变油压和油位，进行压力信号器和油位信号器的整定。压力信号器动作值与整定值的允许偏差为整定值的 ±2%；油位信号器的动作值允许偏差为 ±10mm。对

于油、气分离式蓄能器的油位，可通过回油箱油位间接反映。

4.2.5 油压装置自动运行的模拟试验

4.2.5.1 试验时，通过对压力罐人为排油、排气的方法控制油压和油位的变化，使压力信号器和油位信号器动作，以控制油泵按各种方式运转并对压力罐进行自动补气。

4.2.5.2 通过模拟试验，检查油压装置电气控制回路、控制流程及压力信号器、油位信号器动作的正确性。

4.2.5.3 不得采用人工拨动信号器接点的方式进行模拟试验。对于采用油、气分离式蓄能器的油压装置，只需通过对蓄能器人为排油的方法进行油泵自动启、停试验。

4.3 共通电气组件的调整试验及设备绝缘与电磁兼容性试验

4.3.1 电源的检查试验

4.3.1.1 在空载及额定负载下，使电源的输入电压偏离额定值 $-15\% \sim +15\%$ ，检查电源组件直流输出电压波动是否为 $-1\% \sim +1\%$ 。

4.3.1.2 在交流与直流供电相互切换时，检查输出直流电压波动是否为 $-1\% \sim +1\%$ 。

4.3.1.3 若是型式试验，还应检查电源输出短路保护动作是否正确。

4.3.2 转速表的校验

4.3.2.1 用频率信号发生器作信号源，在信号频率为额定值时，调整转速测量电路或表计附加电路，使转速表的指示为额定转速值，然后逐次改变信号频率，校验转速表的其他刻度。

4.3.2.2 在 $15\text{Hz} \sim 85\text{Hz}$ 内，表计指示的误差应为 $-1.5\% \sim +1.5\%$ ，否则应检查表计和转速测量电路，并进行调整。

4.3.3 开度表的校验

4.3.3.1 用模拟的电压或电流作为信号源接入开度表，其输出信号电压或电流幅度应与开度表的实际测量电压或电流范围相当。

4.3.3.2 在信号电压或电流为最小值时，调整表计附加电路，使开度表的指示为零；在信号电压或电流为最大值时，调整表计附加电路，使开度表的指示为满度。然后逐次改变信号电压或电流，校验开度表的其他刻度。

4.3.3.3 在 $0\text{V} \sim 10\text{V}$ 或 $4\text{mA} \sim 20\text{mA}$ 内，表计指示的误差应为 $-1.5\% \sim +1.5\%$ ，否则应检查表计及附加电路，并进行调整。

4.3.4 有功功率变送器的校验

按 GB/T 13850 的相关规定执行。

4.3.5 绝缘试验

4.3.5.1 试验时应采取措施，防止电子元器件及表计损坏，对于不能承受规定的绝缘电阻表电压的元件如半导体元件、电容器等，试验时应将其短接，或采取绝缘措施。

4.3.5.2 分别用 250V 电压等级的绝缘电阻表（回路电压小于 100V 时）和 500V 电压等级的绝缘电阻表（回路电压为 $100\text{V} \sim 250\text{V}$ 时）测定各电气回路间及其与机壳、大地间的绝缘电阻，在温度为 $15\text{℃} \sim 35\text{℃}$ 、相对湿度为 $45\% \sim 75\%$ 的环境中，其值应不小于 $1\text{M}\Omega$ 。

4.3.5.3 在绝缘电阻合格后，按 DL/T 563 的有关规定进行绝缘强度试验，应无击穿或闪络现象。试验时对于不能承受规定电压的元件或组件模块，应将其短接或断开；安装在带电部件和裸露导电部件之间

的抗干扰电容器不应断开，应能耐受试验电压。

4.3.6 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

4.3.6.1 按 GB/T 17626.4 有关规定进行试验，试验等级为 3 级，试验参数见表 1。

表 1 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验参数

| 开路输出试验电压（±10%）和脉冲群的重复率（±20%） | | | |
|------------------------------|-------------|------------|-------------|
| 在供电电源端口 | | 在频率信号输入端口 | |
| 电压峰值 kV | 重复频率 kHz | 电压峰值 kV | 重复频率 kHz |
| 2 | 5 | 1 | 5 |

4.3.6.2 电气部分在额定工作条件下进行试验，其输出应整定在中间值，从供电电源端口和频率信号输入端口输入瞬变脉冲干扰信号，试验持续时间应不少于 1min，干扰引起的输出变化量不得大于 1%，在试验过程中，允许其显示装置的显示性能暂时降低，但应能自行恢复；试验结束后，电气部分的性能还应满足 DL/T 563 的规定。

4.3.6.3 试验应在专用设备上进行，在输入干扰信号时应采取保护措施，防止受试设备损坏。

4.4 数字式电液调节装置电气部分试验

4.4.1 模块通电检查

接入频率信号、继电器行程信号和各外部控制信号，接通电源，检查各功能模块的指示灯或测点电位，确认各模块处于正常工作状态。

4.4.2 频率测量环节试验

对频率信号整形电路的各路频率输入通道，分别输入与实际电压互感器（TV）信号电压相当的频率信号（包括系统 TV、发电机机端 TV），以及反映机组大轴转速的齿盘探头脉冲信号，逐一改变信号频率，记录频率测量值与输入值。在设计的工作频率范围内，其分辨率、测频稳定性、线性度、测频响应的实时性、对频率信号源的适应性等测量性能，应满足 DL/T 563 的要求。

4.4.3 参数整定及显示的检查试验

4.4.3.1 检查调节装置面板上的指示仪表，显示器件及相应的人机交互设备工作是否正常。

4.4.3.2 通过键盘或触摸屏分别输入 b_p 、 K_p 、 K_I 、 K_D （或 b_p 、 b_i 、 T_d 、 T_n ）等参数，观察显示值是否与整定值相同，并检查各参数范围是否符合设计值。

4.4.3.3 模拟改变机组频率/电网频率信号、继电器行程信号、机组的有功功率信号、水头/扬程信号，分别记录输入值和显示值，检查显示是否正确。

4.4.4 通信功能检查

通过 RS232/RS422/RS485 串行通信接口或其他与监控系统约定的通信接口，将调节器与计算机连接，检查其双向通信功能。

4.4.5 数字调节器静态特性试验

4.4.5.1 将 K_p 、 K_I 置最大值， K_D 置于零（或 b_i 、 T_d 、 T_n 置最小值），接入频率信号源。在输入频率信号

为额定值时，用“功率给定”或“开度给定”将调节器输出相对值调整至 50%。

4.4.5.2 分别将永态转差系数 b_p 置于 2%、4%、6%、8%，改变输入频率信号，测量调节器输出电压 $Y_{u,1}$ 、 $Y_{u,2}$ 。按下式计算 b_p 的实测值：

$$b_p = \frac{-(f_2 - f_1) / f_r}{(Y_{u,2} - Y_{u,1}) / Y_{u,\max}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

f_r —— 额定频率，Hz；

f_1 、 f_2 —— 调节器的输入频率，Hz；

$Y_{u,1}$ 、 $Y_{u,2}$ —— 调节器相应的输出电压，V；

$Y_{u,\max}$ —— 调节器输出电压最大值，即基准值，V。

4.4.5.3 为保证试验精度，应使 $(Y_{u,2} - Y_{u,1}) > 50\% Y_{u,\max}$ 。

4.4.6 数字调节器动态特性试验

4.4.6.1 概述

通过动态特性试验，检查数字调节器的调节规律是否正确，并对调节参数进行校验。

4.4.6.2 调节器的参数体系

比例-积分-微分 (PID) 或比例-积分 (PI) 数字调节器的调节规律应符合下列传递函数及参数体系的规定：

$$\frac{\Delta y_u(s)}{\Delta x(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_D s}{T_v s + 1} \quad (3)$$

$$K_p = \frac{T_d + T_n}{b_i T_d} \quad (4)$$

$$K_i = \frac{1}{b_i T_d} \quad (5)$$

$$K_D = \frac{T_n}{b_i} \quad (6)$$

当 $K_d \neq 0$ 时：

$$b_i = \frac{T_m}{2K_1 K_d} \quad (7)$$

$$T_d = \frac{2K_d}{T_m} \quad (8)$$

$$T_n = \frac{T_m}{2K_1} \quad (9)$$

其中， $T_m = K_p - \sqrt{K_p^2 - 4K_1 K_d}$

当 $K_d = 0$ 时：

$$b_i = \frac{1}{K_p} \quad (10)$$

$$T_d = \frac{1}{b_i K_1} \quad (11)$$

$$T_n = 0 \quad (12)$$

式中:

$\Delta y_u(s)$ ——PID 调节器输出的拉氏变换值;

$\Delta x(s)$ ——PID 调节器输入的拉氏变换值;

K_p ——比例增益;

K_I ——积分增益, 1/s;

K_D ——微分增益, s;

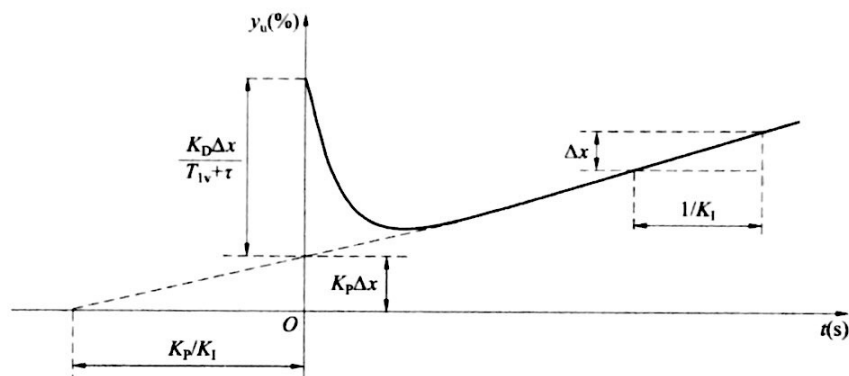
T_{1v} ——微分衰减时间常数, s;

b_t ——暂态转差系数;

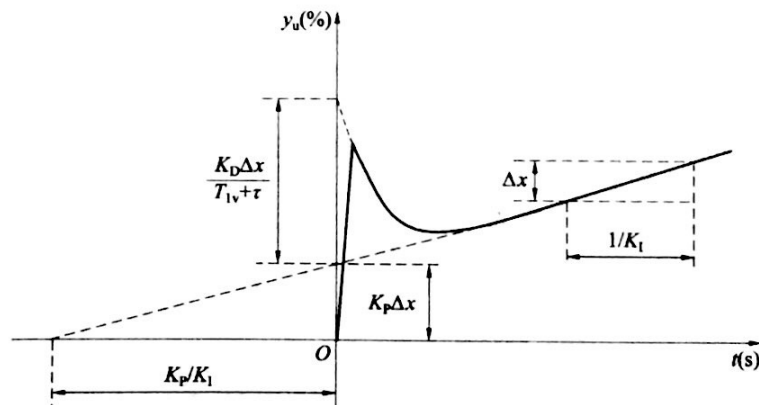
T_d ——缓冲时间常数, s;

T_n ——加速时间常数, s。

反映上述 PID 数字调节器正常调节规律的控制输出过渡过程曲线, 见图 1; 其中, y_u 轴为调节器控制输出的相对值。



a) 数字调节器内部计算的控制输出



b) 从模拟量接口记录的控制输出

图 1 PID 数字调节器控制输出过渡过程曲线

4.4.6.3 调节器输出响应的记录

对模拟量输出的数字调节器, 直接按 4.4.6.4~4.4.6.7 所述方法进行校验; 对数字量输出的数字调节器, 校验时将功率放大器 (综放) 的放大系数置为 1, 时间常数置最小值, 视功率放大器的模拟输出为数字调节器的输出, 按同样方法进行校验; 当无法提供上述测试接口时, 也可通过继电器位移响应曲线进行参数校验。

4.4.6.4 K_p 的校验

4.4.6.4.1 试验条件

b_p 、 K_D (或 T_n) 置于零, K_I 置于零 (或 T_d 置最大值), 人工频率/转速死区 E_r 置于零, 将 K_p (或 b_1) 置于待校验值。

4.4.6.4.2 试验方法

对数字调节器施加相当于一定相对转速的频率阶跃扰动信号 Δx , 用自动记录仪记录调节器输出的过渡过程曲线, 见图 2。

4.4.6.4.3 试验结果处理

图 2 中 OBC 是通过模拟量接口实测的过渡过程曲线, OAC 为调节器内部计算的控制输出。将直线段 BC 反向延长, 与 y_0 轴交于 A 点, 则 $OA = K_p \Delta x$, 即:

$$K_p = \frac{OA}{\Delta x} \quad (13)$$

$$b_1 = \frac{\Delta x}{OA} \quad (14)$$

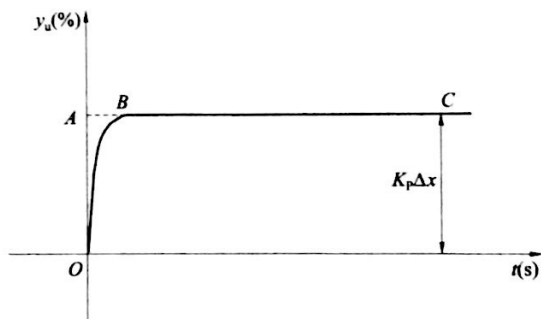


图 2 调节器输出的过渡过程曲线 1

4.4.6.5 K_I 的校验

4.4.6.5.1 试验条件

b_p 、 K_D (或 T_n) 置于零, 人工频率/转速死区 E_r 置于零, K_p (或 b_1) 置于已校验值, 将 K_I (或 T_d) 置于待校验值。

4.4.6.5.2 试验方法

对数字调节器施加相当于一定相对转速的频率阶跃扰动信号 Δx , 用自动记录仪记录调节器输出的过渡过程曲线, 见图 3。

4.4.6.5.3 试验结果处理

图 3 中 OBC 是通过模拟量接口实测的过渡过程曲线, ODC 为调节器内部计算的控制输出。将直线段 BC 反向延长, 与 t 轴 (时间轴) 交于 A 点, 与 y_0 轴交于 D 点, 则调节参数的实测值可按下列各式求出:

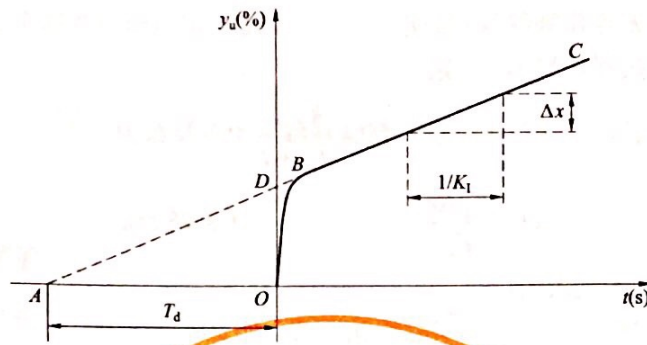


图3 调节器输出的过渡过程曲线 2

$$K_I = \frac{OD}{OA \cdot \Delta x} \quad (15)$$

$$T_d = OA \quad (16)$$

4.4.6.6 用频率阶跃法校验 K_D

4.4.6.6.1 试验条件

K_p (或 b_1) 置于已校验值, b_p 、 K_I 置于零 (或 T_d 置最大值), 人工频率/转速死区 E_r 置于零, K_D (或 T_n) 置于待校验值。其中, 自动记录仪的测量时间常数应小于 20ms。

注: 用本方法试验时, 记录仪测量环节的时间常数对 K_D 、 T_{IV} 的校验结果有影响。

4.4.6.6.2 试验方法

对数字调节器施加相当于一定相对转速的频率阶跃扰动信号 Δx , 记录调节器输出的过渡过程曲线, 见图 4。

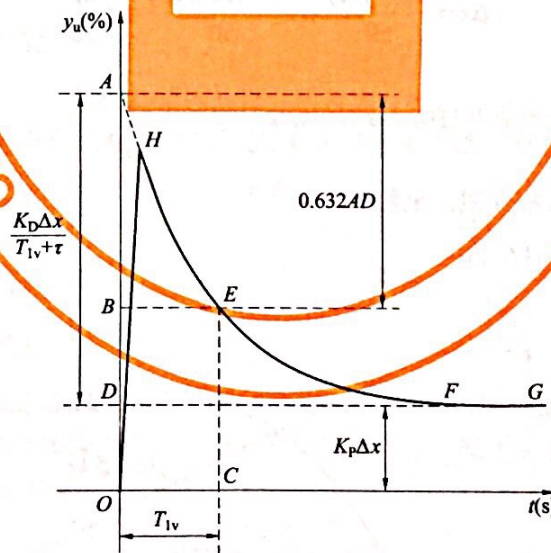


图4 调节器输出的过渡过程曲线 3

4.4.6.6.3 试验结果处理

图 4 中 $OHEFG$ 是通过模拟量接口记录的过渡过程曲线, $OAEFG$ 为调节器内部计算的控制输出。曲线后部 FG 接近于水平线, 延长 GF 与 y_u 轴相交于 D , 依据 $AB = 0.632AD$ 求出 B 点, 过 B 点作水平

线与曲线交于 E 点，再过 E 点作垂线与 t 轴交于 C 点，则 OC 可近似视为微分衰减时间常数 T_{IV} 值。

记 PID 数字调节器的采样周期为 τ ，则：

$$AD = \frac{K_D \Delta x}{T_{IV} + \tau} \quad (17)$$

或
$$AD = \frac{K_D \Delta x}{T_{IV}} \quad (\text{忽略 } \tau \text{ 值})$$

K_D 、 T_n 的近似值可按下式求出：

$$K_D = \frac{AD \cdot (T_{IV} + \tau)}{\Delta x} \quad (18)$$

或
$$K_D = \frac{AD \cdot T_{IV}}{\Delta x} \quad (\text{忽略 } \tau \text{ 值})$$

$$T_n = \frac{K_D}{K_p} \quad (19)$$

4.4.6.7 用斜坡规律的频率信号校验 K_D

4.4.6.7.1 试验条件

将 K_p 、 K_i 、 b_p 置于零，人工频率/转速死区 E_f 置于零， K_D 置于待校验值。其中，自动记录仪的测量时间常数应小于 20ms。

注：用本方法试验时，记录仪测量环节的时间常数不影响 K_D 校验值，但对 T_{IV} 的校验结果有影响。

4.4.6.7.2 试验方法

对数字调节器施加相当于一定相对转速的频率斜坡扰动信号 Δx ：

$$\Delta x = \frac{50 - f(t)}{50} = \frac{50 - (50 \pm kt)}{50} = \pm \frac{kt}{50} \quad (20)$$

式中：

k —— 频率变化斜率；一般取 0.1Hz/s 或 0.2Hz/s；

t —— 时间，s。

记录调节器输出的过渡过程曲线，见图 5。

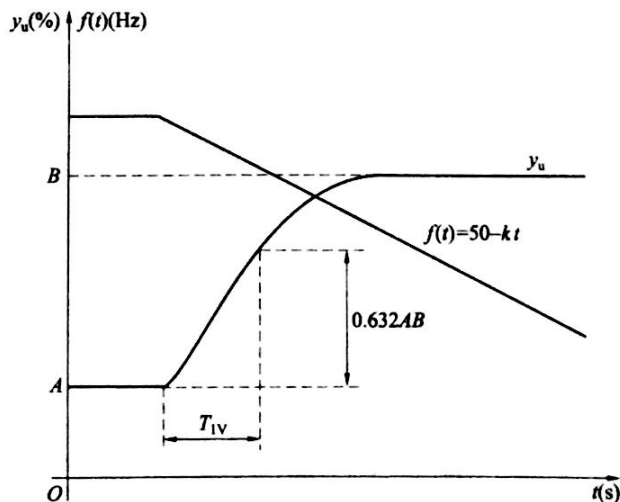


图 5 频率斜坡信号和调节器输出的过渡过程曲线

4.4.6.7.3 试验结果处理

根据图 5 可得出： $K_D = \frac{AB}{k}$ ；从频率变化开始时刻起，至 y_u 响应值为目标值的 0.632 倍为止的历时，即为微分衰减时间常数 T_{1v} 。

4.4.7 电气协联的调整试验

4.4.7.1 将水头信号调整到某一待试验值，输入并逐次改变模拟导叶接力器行程的电气量，测量电气协联的输出量，据此绘制该水头信号下以电气量表示的实际协联关系曲线。

4.4.7.2 用上述同样的方法绘制各水头信号下的实际协联关系曲线，与转换为电气量的理论（设计）协联关系曲线比较，误差超过 1% 时应进行修正。

4.4.7.3 当使用 X-Y 函数记录仪直接记录各水头下，以电气量表示的实际协联关系曲线时，应保证记录的各点数据为稳态值。

4.5 模拟式电液调节装置电气部分试验

4.5.1 频率测量环节试验

4.5.1.1 测频环节带实际负载或模拟负载。

4.5.1.2 逐一改变输入信号的频率，测量相应频率下测频环节的输出电压，并绘制测频环节静态特性曲线。

4.5.1.3 静态特性曲线的线性范围应为 $50\text{Hz} \pm 5\text{Hz}$ ，线性度误差应小于 5%。

4.5.1.4 在 $50\text{Hz} \pm 1\text{Hz}$ 范围内，测频环节传递系数的实测值与设计值相比，其误差不得超过设计规定值的 5%。

4.5.1.5 在 $15\text{Hz} \sim 85\text{Hz}$ 内，测频环节静态特性曲线应是单调变化的。

4.5.2 暂态反馈回路试验

4.5.2.1 暂态转差率 b_t 刻度校验

置 b_t 于待校验刻度，将暂态反馈回路电容短路，向暂态反馈回路输入与接力器全行程反馈电压相等的电压，测出暂态反馈回路输出电压 U_{bt} 。按下式计算出该刻度下的实测 b_t 值：

$$b_t = K_{bt} U_{bt} \quad (21)$$

式中：

K_{bt} ——由制造厂给出的折算系数， V^{-1} 。

4.5.2.2 缓冲时间常数 T_d 刻度校验

置 T_d 于待校验刻度，向暂态反馈回路分别输入正、负阶跃信号，用自动记录仪记录输出量衰减的过渡过程曲线。输出量由初始值 100% 衰减到 36.8% 的历时即为该刻度下 T_d 的实测值。试验 3 次，取其平均值。时间常数偏差 Δt 按下式计算：

$$\Delta t = \frac{T - T_d}{T} \times 100\% \quad (22)$$

$$T = \frac{t_{0.1}}{2.3} \quad (23)$$

式中：

T ——理论时间常数，s；

$t_{0.1}$ ——暂态反馈回路输出量由初始值 100% 衰减到 10% 的历时，s。

4.5.3 电子调节器静态特性试验

4.5.3.1 将 b_t 、 T_d 和 T_n 置于最小值（或 K_p 、 K_i 置于最大值， K_D 置于零），用直流电压或测频环节输出电压作为输入信号（对应于频差）。在输入信号为零时，用“功率给定”或“开度给定”将调节器输出相对值调整至50%。

4.5.3.2 分别将永态转差系数 b_p 置于2%、4%、6%、8%的刻度，改变输入电压信号，测量调节器某两个输出电压 $Y_{u,1}$ 、 $Y_{u,2}$ 。

4.5.3.3 按下式计算 b_p 的实测值：

$$b_p = \frac{-(U_2 - U_1)}{\frac{K_r f_r}{(Y_{u,2} - Y_{u,1})} \times 100\%} \times 100\% \quad (24)$$

式中：

K_r ——测频环节传递系数，V/Hz；

f_r ——额定频率，Hz；

U_1 、 U_2 ——调节器的输入电压，V；

$Y_{u,1}$ 、 $Y_{u,2}$ ——调节器相应的输出电压，V；

$Y_{u,max}$ ——调节器输出电压最大值，即基准值，V。

4.5.3.4 为保证试验精度，应使 $|Y_{u,2} - Y_{u,1}| > 50\% Y_{u,max}$ 。

4.5.4 电子调节器动态特性试验

参照本标准4.4.6的方法进行，但采样周期 τ 取值为零。

4.5.5 电气协联函数发生器调整试验

4.5.5.1 将电气协联函数发生器的水头电路调整到待试验的水头下，输入并逐次改变模拟导叶接力器行程的电气量，测量电气协联函数发生器的输出量，据此绘出该水头下以电气量表示的实际协联关系曲线。

4.5.5.2 用同样的方法绘出各水头下的实际协联关系曲线，并与转换为电气量的设计（理论）协联关系曲线比较，误差超过1%时应进行调整。

4.5.5.3 当使用X-Y函数记录仪直接记录各水头下，以电气量表示的实际协联关系曲线时，应保证记录各点数据为稳态值。

4.6 电气备用组件更换试验

4.6.1 更换前的准备工作：

- a) 记录更换前电液调节装置的工作状态和有关参数。
- b) 更换前应对备用组件的调节参数、放大倍数及电路的其他特征参数进行调整，使其与待更换组件的参数相同。

4.6.2 操作步骤及试验检查：

- a) 将电液调节装置切为手动控制方式，并切除电源，然后更换组件。
- b) 组件更换后，恢复供电，并作必要的检查及调整，然后切为自动控制方式，此时电液调节装置应能恢复到更换前的状态。
- c) 对调节规律有影响的组件，更换后应重新进行电液调节装置的动态特性试验，其动态特性应与更换前一致。

4.7 电气-机械/液压转换装置试验

4.7.1 试验条件

试验应在装置工作正常、零位调整完毕的条件下进行。试验时环境温度、油温及工作油压应在 DL/T 563 规定的范围内，当正常工作需颤振分量时，应加入规定的颤振信号。

4.7.2 线圈内阻及绝缘电阻的测定

各类电气-机械/液压转换装置的线圈内阻用电阻表测量；各线圈间及各线圈对壳体间的绝缘电阻用绝缘电阻表测量。工作线圈的额定工作电压小于 48V 时，采用额定电压为 250V 的绝缘电阻表；工作线圈的额定工作电压为 48V~500V 时，采用额定电压为 500V 的绝缘电阻表。

4.7.3 静态特性试验

装置带实际负载，逐次增大或减小输入控制信号，每次稳定平衡后，测量相应的输出信号，对于位移输出型电气-机械转换装置，测量其位移输出；对于流量输出型电气-液压转换装置，则测量其相应的输出流量，测点不得少于 10 点，绘制其静态特性曲线；由曲线求出其工作范围、传递系数、死区、滞环、重复精度。

4.7.4 动态特性试验

用频率法进行试验。装置带实际负载，输入 0.1Hz~10Hz 的正弦波信号，输入信号的幅值应使装置工作在线性范围内，必要时可加入偏置信号。对于位移输出型电气-机械转换装置，用位移传感器测量输出位移；对于流量输出型电气-液压转换装置，可用动态流量变送器或用带有位移或速度传感器的试验伺服缸测量其输出流量。同时，用自动记录仪记录输入、输出信号的波形图，求出其幅频、相频特性。

4.7.5 电气-液压转换装置油压漂移的测定

4.7.5.1 对于位移输出型电气-液压转换装置，保持输入控制信号为零，装置带实际负荷，在 DL/T 563 规定的正常油压范围内，改变油压大小，测量相应的位移变化量。该变化量与工作行程之比，即为相对油压漂移。

4.7.5.2 对于流量输出型电气-液压转换装置，保持输入控制信号为零，在 DL/T 563 规定的正常油压范围内，改变油压大小，测量其相应的输出流量。使输出流量恢复至零所需的输入信号的变化值与额定信号之比，即为相对油压漂移。

4.7.6 电气-机械转换装置及位移输出型电气-液压转换装置负载漂移的测定

保持装置输入控制信号不变，使其位移输出处于中位，改变负荷大小，测量其相应的位移变化，该变化与工作行程之比，即为相对负载漂移。

4.7.7 电气-液压转换装置静态耗油量的测定

在正常工作油压下带实际负载，输入控制信号为零，测定电气-液压转换装置每分钟静态耗油量，并记录当时油温。

4.8 机械液压部分的调整试验

4.8.1 概述

4.8.1.1 机械液压部分调整试验时，油压装置宜投入自动，如油压装置为手动运行方式，则应及时向压

力罐/蓄能器补油。

4.8.1.2 机械液压部分的调试顺序一般应按照先手动操作部分，后自动操作部分，先在低油压下调试，后在高油压下调试的原则进行。

4.8.1.3 单调整电液调节装置的机械液压部分的调整试验按 4.8.2~4.8.7 所述进行。

4.8.2 充油前的检查和初步调整

4.8.2.1 充油前，应检查部件的制造及安装质量，如带有机械反馈部件，应确认其构成负反馈。

4.8.2.2 检查后将手动操作机构置于全关位置（对比例式手动操作机构）或中位（对积分式手动操作机构），对参与手动操作的各部件进行初步调整，使机械液压部分充油后主配压阀能明显偏向关机侧。

4.8.2.3 当调节系统带有事故配压阀时，充油前应采取措施，使其在低油压时不切断主配压阀到主接力器的操作油路。

4.8.3 充油

4.8.3.1 在完成充油前的检查和初步调整工作后，将油压升至额定工作油压的 1/3，缓慢打开主供截止阀（隔离阀），检查各充油部分。

4.8.3.2 如有漏油，则先关闭主供截止阀，再予以处理。充油过程中，如发生振动，可对有关充油部分进行排气处理或调节主供截止阀开度，改变充油速度，使振动逐渐消失。

4.8.3.3 充油后主配压阀应偏向关机侧，主接力器应无开机趋势。

4.8.4 低油压下手动操作部分的调整试验

4.8.4.1 对于比例式手动操作方式，释放接力器锁锭后，先将手动操作机构慢速调整至全开位置，然后调整参与手动操作的有关部件，使主接力器也刚好达到全开位置，再用手动操作机构将主接力器关至 50% 的位置，重复上述调整，使水平调节杆件处于水平位置，使机械反馈转动部件的转角等于全行程对应转角的一半。

4.8.4.2 对于具有中间接力器的电液调节装置，在锁锭释放前，先把中间接力器视为主接力器，参照 4.8.4.1 所述的方法和要求，调整对中间接力器进行手动操作的有关部件；然后手动将中间接力器关至全关位置，此时主配压阀应偏向关机侧；再把中间接力器的位移输出视为比例式手动操作机构的位移输出。参照 4.8.4.1 所述的方法和要求，对参与主接力器手动操作的有关部件进行调整，使得主接力器的位移与中间接力器一一对应。

4.8.4.3 对于采用电气-机械转换装置，如伺服电动机或步进电动机直接产生相当于中间接力器位移输出的电液随动装置，无论是专设手动操作机构，还是以手动旋转电动机进行操作，均属于比例式手动操作方式，可按 4.8.4.1 所述的方法和要求进行调整。

4.8.4.4 对于积分式手动操作方式，释放接力器锁锭后，先用手动操作机构将主接力器调整至任一位置，然后调整手动操作机构和主配压阀的中间位置，使主接力器能在手动操作机构复中时稳定于任意位置，同时主接力器 30min 内位置漂移不得超过 $-0.2\% \sim +0.2\%$ 。

4.8.5 手动排气

用手动操作机构使主接力器在全行程内由慢到快地反复开关，将各充油部分的空气排除干净，使接力器能平稳、无振动地运动。

4.8.6 额定油压下的调整试验

将油压升至额定工作油压，按 4.8.4 所述的方法和要求对有关部件进行精确的调整试验，并校准开度表。调整完毕后，将各调整螺母锁紧。

4.8.7 自动调节部分的调整试验

- 4.8.7.1 自动调节部分的调整试验应在接力器开度未受限制的条件下进行。
- 4.8.7.2 对于电气-机械/液压转换装置与主配引导阀直连的电液随动装置，应通过调整其连接件，使电气-机械/液压转换装置工作电流为零时，主配压阀处于中位，主接力器可稳定于任意位置。
- 4.8.7.3 对于电气-机械/液压转换装置通过调节杆件与主配压阀相连的电液随动装置，各连接件的调整原则是：在电气-机械/液压转换装置工作电流为零时，调节杆件处于水平位置，主配压阀处于中位，主接力器可稳定于任意位置。
- 4.8.7.4 对于由流量输出型电气-液压转换装置与主配压阀、辅助接力器构成的电液随动装置，应消除辅助接力器的反馈死区，核对反馈接线，确认其构成负反馈。然后通过对电气-液压转换装置的调整，使电气-液压转换装置工作电流为零时主配压阀处于中位，主接力器可稳定于任意位置。
- 4.8.7.5 对于具有中间接力器的电液随动装置，在电气-液压转换装置工作电流为零时，中间接力器应能稳定于任意位置。
- 4.8.7.6 对于用电气-机械转换装置直接作为中间接力器位移输出的电液随动装置，应通过调整使其位移输出与主接力器位移一一对应。

4.8.8 双调整电液调节装置机械液压部分的调整试验

- 4.8.8.1 用于转桨式、冲击式机组或带调压阀控制的双调整电液调节装置，其导叶（或喷针）控制部件的调整试验与 4.8.2~4.8.7 所述相同；控制轮叶或折向器的协联控制部件或功能的调整试验，也应按同样的步骤并参照其相应的方法和要求进行。
- 4.8.8.2 通常在导叶或喷针控制部件的每一调试步骤完成后，即应进行轮叶或折向器控制部件的同一步骤的调试。
- 4.8.8.3 对于带调压阀控制的双调整电液调节装置，应校核调压阀接力器快速开启与导叶接力器快速关闭的同步协调功能、导叶分段关闭功能、调压阀拒动时的保护功能是否动作正常、是否符合调节保证计算设计要求。

4.9 电液随动装置试验

4.9.1 极限开环增益测定

- 4.9.1.1 试验应在接力器开关机时间调整至调节保证设计值后进行。
- 4.9.1.2 试验时，接力器置于任意位置，改变放大系数以改变电液随动装置的开环增益，然后，观察在各种开环增益下的接力器动作稳定性。
- 4.9.1.3 能使电液随动装置保持稳定的最大开环增益即为极限开环增益。

4.9.2 动态特性试验

4.9.2.1 确定电液随动装置开环增益置整定值

开环增益置整定值的确定原则是：在满足转速死区和随动装置不准确度考核指标要求的前提下选取较小值，且不宜超过极限开环增益的 60%。

4.9.2.2 阶跃激励

在自动方式下向电液随动装置施加 20%最大反馈电压的阶跃扰动信号，记录接力器运动的过渡过程，最大超调量应小于 2%。

4.9.3 静态特性试验

将开环增益置于整定值，按同一方向逐次增大或减小输入信号，待接力器稳定后，记录各输入信号值及相应的接力器行程，求出随动系统死区 i_x 和不准确度 i_s 。

4.9.4 油压漂移试验

接力器分别置于 25%、50%和 75%的开度，在调节参数、指令信号及输入信号不变的条件下，使油压在 DL/T 563 规定的正常工作范围内变化，测量接力器在不同位置时的行程漂移值，并取其平均值。

4.10 电液调节装置的整机调整试验

4.10.1 位移变送器的调整试验

4.10.1.1 试验时位移变送器应带实际负载，并由电液调节装置的电源供电。

4.10.1.2 在全行程范围内手动操作接力器，同时调整位移变送器并观测其输出量，接力器的全行程应在位移变送器的线性工作范围内，且位移变送器两端应留出至少 5%的行程余量。

4.10.1.3 手动操作接力器至全关或全开位置，然后手动逐次操作接力器向全开或全关方向移动，在接力器每次变化稳定后，记录位移变送器的输入-输出值；然后按相反方向重复上述试验。

4.10.1.4 根据上述试验数据，得出位移变送器的输入-输出特性。

4.10.2 接力器开关时间的调整

4.10.2.1 接力器开关操作

将开度限制机构置于全开位置，然后采用下述方法，使接力器全速开启或关闭：

- a) 在自动方式下向电液调节装置突加全开、全关的控制信号。
- b) 操作快速事故停机阀动作和复归。
- c) 对于装有事故配压阀或重锤关机阀的电液调节装置，还应通过动作事故配压阀或重锤关机阀，使接力器全速关闭。

4.10.2.2 接力器开关时间测量

取接力器在 75%与 25%之间运动时间的两倍，作为接力器的开启和关闭时间，以排除接力器两端的缓冲段对测量时间的影响。

上述各操作方法下测得的开关机时间应一致，误差宜在 0.5s 以内。

4.10.2.3 接力器开关时间调整

对于不同结构的主配压阀、事故配压阀或重锤关机阀，可通过调整阀芯行程的限位或改变节流孔大小来调整接力器的开启及关闭时间，使之满足调节保证计算设计要求和机组运行的要求。

4.10.2.4 接力器分段关闭时间整定

当接力器具有分段关闭装置时，应在直线关闭时间调整完毕后，再投入分段关闭装置，按调节保证计算设计要求调整接力器全行程关闭时间和拐点位置，调整后用自动记录仪记录接力器开、关过程曲线。

4.10.3 继电器反应时间的测定

4.10.3.1 缓冲式、加速度-缓冲式电液调节装置的继电器反应时间测定

电液调节装置处于模拟的并网发电状态，开环增益置于整定值， b_f 、 T_d 和 T_n 置于最小值（或 K_p 、 K_i 置于最大值， K_D 置于最小值）， b_p 置于零，人工频率/转速死区 E_f 置于零。输入稳定的额定频率信号，调整主配（继电器控制阀）的中位，使继电器能稳定于任意位置。然后在额定频率的基础上，施加绝对值逐次增加的正/负频率阶跃信号，测量信号频率和相应的继电器速度，绘出以相对值表示的继电器速度与频率的关系曲线，见图6，按图示方法分别求出小波动和大波动时的反应时间 T_{y1} 和 T_{y2} 。

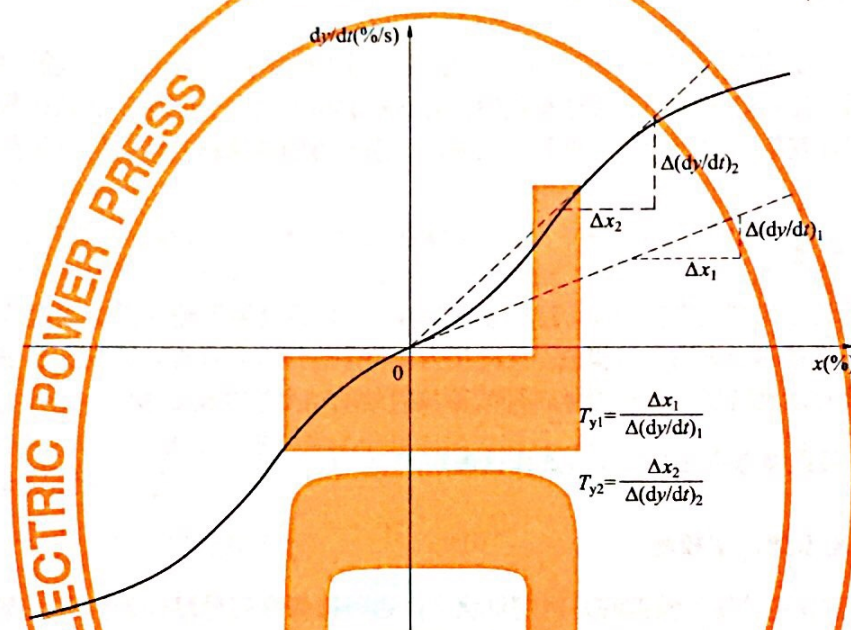


图6 继电器速度与频率的关系曲线

4.10.3.2 电子调节器+随动系统型电液调节装置的继电器反应时间测定

4.10.3.2.1 概述

本方法适用于电子调节器+随动系统型电液调节装置、缓冲式及加速度-缓冲式电液调节装置。

4.10.3.2.2 试验方法1

使电液调节装置处于模拟的并网发电状态， K_p 、 K_D 、 b_p 置于零，人工频率/转速死区 E_f 置于零， K_i 置于选定值（一般可取1或其他整数），对调速器施加绝对值逐渐增大的正/负频率阶跃信号，测量并记录主配压阀行程和主继电器速度，绘制主配压阀相对行程 s 与主继电器相对速度 dy/dt 的关系曲线，曲线斜率的倒数即为继电器反应时间常数 T_y 。

4.10.3.2.3 主配压阀相对行程的折算

主配压阀相对行程按下式定义：

$$s = S / S_r \quad (25)$$

式中：

S ——主配阀实际行程，mm；

S_r ——主配压阀行程基准值, mm。

在确定主配压阀行程基准值时, K_p 、 K_D 、 b_p 置于零, 人工频率/转速死区 E_r 置于零, K_I 置 10 (该值需要实际校验), 施加 0.5Hz (对应 1% 转速变化) 的频率阶跃扰动下的主配压阀动作行程 S_1 , 扩大 10 倍作为基准值 S_r 。

4.10.3.2.4 试验方法 2

通过调整调节装置内部程序进行随动系统的开环阶跃试验, 绘制阶跃量与主接力器相对速度的关系曲线, 同时将内部阶跃量折算至随动系统的输入点, 分析计算接力器反应时间常数 T_y 。

4.10.4 转速指令校验

置 $b_p = 4\%$, b_1 、 T_d 和 T_n 置于最小值 (或 K_p 、 K_I 置于最大值, K_D 置于零), 当输入额定转速信号时, 调整开度指令信号, 使接力器能稳定于任意位置, 再将转速指令信号分别整定在两个极端位置和待校位置, 改变转速信号, 使接力器回到同一位置, 此时, 分别测得的转速信号即为转速调整范围和待校验位置的整定值。

4.10.5 功率指令校验

电液调节装置处于模拟的并网发电状态, 置 $b_p = 4\%$, 向调节装置输入额定频率信号, 置调节装置于功率调节模式, 将功率指令调至待校值, 此时接力器将产生运动, 模拟功率变送器输入有功功率反馈信号。使接力器停止运动时的功率信号值, 即为待校验处的功率指令整定值。

4.10.6 电液调节装置静态特性试验及转速死区测定

4.10.6.1 永态转差系数 b_p 值校验

4.10.6.1.1 电液调节装置处于模拟的并网发电状态, 由外接频率信号源作为机组频率信号, 开环增益置于整定值, 人工频率/转速死区 E_r 置于零, 开度限制置于最大值, b_1 、 T_d 和 T_n 置于最小值 (或 K_p 、 K_I 置于最大值, K_D 置于零)。

4.10.6.1.2 当 b_p 分别置于 2%、4%、6%、8% 刻度时, 改变输入信号频率, 测量电液调节装置接力器某两个输出值 Y_1 、 Y_2 及对应的输入信号频率值 f_1 、 f_2 。

4.10.6.1.3 按下式计算各刻度下的实测永态转差系数:

$$b_p = \frac{-(f_2 - f_1)}{\frac{f_r}{(Y_2 - Y_1)}} \times 100\% \quad (26)$$

式中:

Y_{\max} ——接力器最大行程, mm;

f_r ——额定频率, Hz。

4.10.6.1.4 为保证试验精度, 应使 $|Y_2 - Y_1| > 50\% Y_{\max}$ 。

4.10.6.2 用静态特性法测定转速死区 i_t

4.10.6.2.1 电液调节装置处于模拟的并网发电状态, 开环增益置于整定值, 人工频率/转速死区 E_r 置于零, 开度限制置于最大值, K_D (或 T_n) 置于零, K_I 置于最大值 (或 T_d 置于最小值), K_p (或 b_1) 置于实际整定值, b_p 置于 4%, 由外接频率信号源作为机组频率信号。

4.10.6.2.2 输入稳定的额定频率信号, 用“功率给定”或“开度给定”或手动操作的方法, 将导叶或

喷嘴接力器调整到 50%行程位置。然后调整输入信号频率值，使之按一个方向逐次升高或降低，在接力器每次变化稳定后，记录该次输入信号频率值及相应的接力器行程。

4.10.6.2.3 在 10%~90%的接力器行程范围内，测点不得少于 8 点。如有 1/4 以上测点不在曲线上、或测点反向、或接力器摆动值超过 DL/T 563 的规定，则此试验无效。

4.10.6.2.4 根据上述试验数据，绘制接力器开关两个方向的静态特性曲线，用作图法或一元线性回归法（见附录 C）求出转速死区 i_x 和线性度误差 ε 。

4.10.6.3 用阶跃频率信号法测定转速死区 i_x

4.10.6.3.1 K_D （或 T_n ）置于零， K_p 、 K_I （或 b_1 、 T_d ）置于实际整定值， $b_p=4\%$ ，其他试验条件同 4.10.6.2。

4.10.6.3.2 输入稳定的额定频率信号，用“功率给定”或“开度给定”或手动操作的方法，将接力器调整至 20%的行程位置。

4.10.6.3.3 在额定频率的基础上，用正、负阶跃频率信号对电液调节装置进行阶跃扰动。

4.10.6.3.4 开始选取的阶跃信号幅值应小于被试电液调节装置可能最小转速死区的一半，在此信号作用下，接力器不产生运动。

4.10.6.3.5 然后逐次增大阶跃信号幅值进行上述扰动。当信号幅值增至某值，接力器开始产生与此信号相对应的运动时，在该信号下重复 3 次正、负扰动，要求接力器的运动方向每次均与该信号的正、负正确对应，否则还应继续增大信号幅值，直至出现满足上述要求的最小信号。

4.10.6.3.6 用同样的方法求出接力器在 50%和 80%行程位置时满足上述要求的最小信号。

4.10.6.3.7 上述所得 3 个信号中的最大值的两倍即为该电液调节装置的转速死区。

4.10.6.3.8 试验中，每次扰动应在前次扰动引起的接力器运动稳定之后进行，阶跃频率信号和接力器行程信号应由自动记录仪记录。

4.10.6.4 用 X-Y 记录仪测定转速死区 i_x

4.10.6.4.1 试验在模拟并网发电状态或实际发电状态下进行，在模拟并网发电状态，调速器机频输入端接实际电网频率，在实际发电状态则输入实际机频信号； K_D （或 T_n ）置于零， K_p 、 K_I （或 b_1 、 T_d ）置于实际整定值， $b_p=4\%$ ，其他试验条件同 4.10.6.2。

4.10.6.4.2 用 X-Y 记录仪自动记录频率信号、接力器行程信号或机组有功功率信号，试验应持续 24h；试验期间记录的频率变化、接力器行程/机组有功功率变化见图 7。

4.10.6.4.3 根据图中的试验数据点，作两条包络线（图 7 中的虚线），使 90%的点处于包络线内，则上下两条包络线在频率轴方向距离，即为转速死区 i_x 。

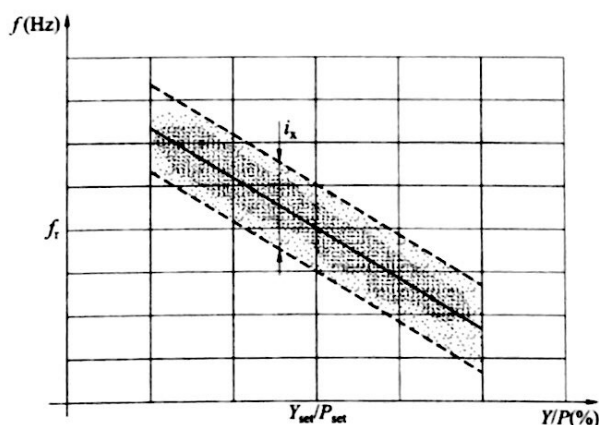


图 7 用 X-Y 记录仪测定转速死区 i_x

4.10.6.5 人工频率/转速死区刻度校验

转速死区 i_x 测定后,投入人工频率/转速死区 E_f ,并置于待校验值或刻度,参照 4.10.6.2 的方法进行试验,但只需作一条曲线,同时在人工频率/转速死区附近应增加测点。

4.10.6.6 导叶/喷针同步试验

4.10.6.6.1 对于多喷嘴冲击式水轮机或每个导叶接力器单独控制的机组,导叶/喷针间的同步要求见 DL/T 563。试验在制造厂内或现场机组静水状态下进行,试验条件同 4.10.6.2。

4.10.6.6.2 选任一导叶/喷针接力器为参照对象。在 50%~80%导叶/喷针接力器行程之间,沿一个方向缓慢增大或减小开度给定值或频率值,用 X-Y 记录仪记录接力器位置(纵坐标)和其他选定的导叶(喷针)接力器位置(横坐标),得出系列位置增大和减小的封闭滞环曲线。

4.10.6.6.3 从上述滞环曲线中求取 2 个导叶(喷针)接力器位置的偏差和任一导叶(喷针)接力器位置对所有导叶(喷针)接力器平均位置的偏差。

4.10.7 电液调节装置动态特性试验

电液调节装置处于模拟的并网发电状态,由外接频率信号源作为机组频率信号,开环增益置于整定值,人工频率/转速死区 E_f 置于零,开度限制置于最大值, b_p 、 T_n (或 K_D) 置于零, b_f 、 T_d (或 K_p 、 K_I) 分别置于待校验的刻度或数值,用“功率给定”或“开度给定”使接力器稳定在某一行程,对调节装置施加相当于 $\pm 2\text{Hz}$ 频率偏差的阶跃信号 Δx ,记录接力器行程变化的过渡过程曲线。

4.10.8 接力器不动时间的测定

4.10.8.1 用频率阶跃法测定接力器不动时间 T_q

4.10.8.1.1 试验条件

试验在制造厂内或现场机组静水状态下进行,若在制造厂进行试验,则大型电液调节装置试验用接力器,其直径应不小于 350mm、容积应不小于 270L。试验时,电液调节装置处于模拟的并网发电状态,由外接频率信号源作为机组频率信号, $b_p = 4\%$,调节参数置于实际设定值,开环增益置于整定值,开度限制置于最大负载开限。输入额定频率信号,用功率/开度给定或手动操作的方法,将接力器调整至 50%位置。

4.10.8.1.2 试验方法

在额定频率的基础上,使输入信号的频率突增 0.2Hz,用自动记录仪记录输入频率信号和接力器位移信号,即可得出以输入信号频率突变瞬间为起点的接力器不动时间 T_q 。试验重复 3 次,取其平均值。

4.10.8.2 用斜坡规律的频率信号测定接力器不动时间 T_q

试验条件同 4.10.8.1,在额定频率的基础上,施加以斜坡规律变化的频率信号,对大型电液调节装置为 1Hz/s,对中、小型及特小型电液调节装置为 1.5Hz/s;用自动记录仪记录输入频率信号和接力器位移信号,确定以频率信号上升 0.1%为起点的接力器不动时间,见图 8。试验重复 3 次,取其平均值。

4.10.8.3 甩负荷试验测定接力器不动时间 T_q

4.10.8.3.1 在电站通过机组甩负荷试验,获得机组甩 25%负荷示波图,从图上直接求出自发电机定子电流消失为起点的接力器不动时间 T_q 。

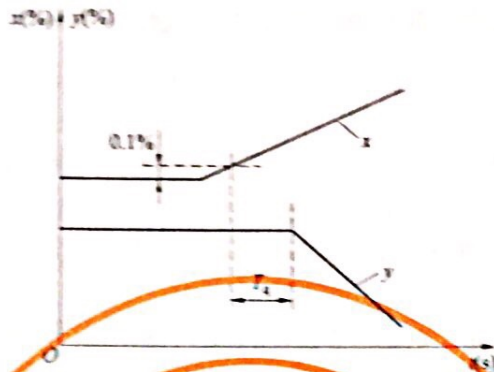


图8 以斜坡规律变化的频率信号测定接力器不动时间

4.10.8.3.2 也可用 10%~15% 负荷，以机组转速上升到 0.1% 时为起始点，求出接力器不动时间。

4.10.8.3.3 测试时应短接油液调节装置所用的发电机断路器辅助接点信号。

4.10.8.3.4 用自动记录仪记录机组转速、接力器行程和发电机定子电流，应保证时间分辨率不小于 50mm/s，接力器行程分辨率不小于 5mm/1%，频率分辨率不小于 50mm/Hz。

4.10.8.3.5 应在甩负荷前启动记录仪，以确定甩负荷前机组处于稳定状态，再进行断路器跳闸操作。

4.10.9 转桨式机组电液调节装置的协联关系校验

4.10.9.1 将水头信号置于某一待试验值，导叶控制部分切为手动，轮叶控制部分置于自动。

4.10.9.2 逐次手动改变导叶接力器行程，待轮叶接力器稳定后，记录导叶接力器行程和相应的轮叶接力器行程（或轮叶转角），并用设计（理论）曲线校核。

4.10.9.3 其他水头下的协联曲线也按上述同样方法进行校核。

4.10.9.4 如有误差，按 4.4.7 及 4.5.5 的规定予以调整。

4.10.9.5 为便于数据自动记录，还可采用本标准 4.10.6.2 静特性试验方法，导叶、轮叶控制部分均置于自动，通过输入频率的变化，使导叶接力器行程根据频率变化自动逐次增加或减小，测试仪将自动记录导叶、轮叶接力器行程的稳态点。

4.10.10 冲击式机组电液调节装置喷针与折向器协同控制功能校核

4.10.10.1 以外接频率信号源作为机组频率信号，分别检查以下不同模拟工况下喷针与折向器的协同控制功能。

4.10.10.2 在开机过程中，与启动喷针对应的折向器应先于喷针打开；在正常停机过程中，应待喷针全关后，折向器再关回。

4.10.10.3 在模拟并网发电状态，对于多喷针电液调节装置的负荷调整过程，应以对称喷针依次投入或退出，且喷针投/切平稳，与工作喷针对应的折向器应先于喷针打开、后于喷针关回。

4.10.10.4 甩负荷至空载或大网运行转孤网运行时，若频率上升达到折向器折入条件，则折向器应以整定的速度快速关闭；当频率低于某一整定值时，与工作喷针对应的折向器应打开。

4.10.10.5 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。

4.10.11 可逆式蓄能机组电液调节装置扬程与导叶开度关系校验

在模拟的水泵工况抽水运行状态，输入并逐次改变模拟扬程信号的电气量，测量相应的导叶接力器位移输出，据此绘出扬程与开度的关系曲线，并与设计（理论）关系曲线比较，误差超过 1% 时应进行修正。

4.10.12 充水前或静水状态下操作回路检查及模拟动作试验

4.10.12.1 检查及试验准备

根据设计图纸检查操作回路，调整各信号接点，分别对各回路进行模拟动作试验，正确无误后，进行开/停机、负荷调整、工况转换等模拟动作试验。

4.10.12.2 开机模拟

4.10.12.2.1 由监控系统发开机令，电液调节装置的开度限制应增至加速（启动）开度，导叶或喷针接力器也随之开启至加速开度；模拟机组转速逐渐上升至额定值，与此同时导叶或喷针接力器将调整至空载开度附近，即完成了模拟开机过程。

4.10.12.2.2 对于转桨式水轮机，在开机过程中，轮叶将从启动转角缓慢关至设计值。

4.10.12.2.3 对于冲击式水轮机，在开机过程中，与启动喷针对应的折向器将先打开。

4.10.12.3 负荷增减模拟

4.10.12.3.1 在空负荷状态下，模拟合发电机出口断路器，开度限制即自动增至与水头对应的负荷开度限制值。当中控室发出增功率指令时，导叶/喷针开度增加，模拟带负荷和增功率过程；当发出减功率指令时，导叶/喷针开度减小，模拟减负荷过程。

4.10.12.3.2 对于转桨式水轮机，当进入协联工况后，轮叶亦将按协联关系随导叶协联动作。

4.10.12.3.3 对于多喷嘴冲击式水轮机，将根据负荷大小以对称喷针依次投入或退出，与工作喷针相对应的折向器将与喷针协调动作或联锁；先于喷针打开、后于喷针关回；且不应出现折向器挡水现象。

4.10.12.4 发电—调相—发电模拟

4.10.12.4.1 电液调节装置处于模拟的并网发电状态，监控系统向电液调节装置发调相令，使导叶或喷针正常关闭，从而使机组由发电转为调相运行。

4.10.12.4.2 当监控系统撤销调相令信号，此时导叶或喷针将开启至预定开度，使机组从调相状态转入发电状态，并等待监控系统的负荷调节命令。

4.10.12.5 停机模拟

4.10.12.5.1 监控系统发停机令，导叶/喷针将关至空载位置附近，同时模拟发电机断路器跳闸、机组解列，导叶/喷针开度及开度限制降至零；模拟机组转速下降至零，即完成了模拟停机过程。

4.10.12.5.2 对于转桨式水轮机，停机后轮叶还将调整至启动转角，为下次启动准备条件。

4.10.12.5.3 对于带有反向喷针控制的冲击式水轮机，停机过程中，当频率降低低于 70% 额定转速时，反向喷针将投入，当频率进一步低于 35% 额定转速时，反向喷针退出。停机后折向器处于全关位置。

4.10.12.6 快速事故停机模拟

4.10.12.6.1 电液调节装置处于模拟的空负荷或并网发电状态，监控系统或保护装置向电液调节装置发快速事故停机令，此信号立即作用于电液调节装置的快速事故停机电磁阀，水轮机接力器将按调节保证计算要求的关闭规律与关闭时间关闭。

4.10.12.6.2 对于带调压阀控制的电液调节装置，在快速事故停机过程中，调压阀快速开启与导叶接力器快速关闭同步进行，当导叶接力器全关后，调压阀将按调节保证计算设计确定的慢关速率关闭。此外，还应模拟调压阀拒动时的情形，当调压阀拒动时，导叶接力器应以调节保证计算确定的慢关速率关闭。

4.10.12.7 事故低油压、低油位关机模拟

4.10.12.7.1 电液调节装置处于模拟的空载或并网发电状态，油压装置切手动，通过对压力罐手动排气或排油与排气相结合的方法，使油压逐渐降至事故低油压，并通过压力信号器发信，此时该信号将触发监控系统或保护装置的事故停机流程，进而作用于电液调节装置的快速事故停机电磁阀，水轮机接力器将按调节保证计算要求的关闭规律与关闭时间关闭。

4.10.12.7.2 对于采用油、气分离式蓄能器的油压装置，只需通过对蓄能器人为排油的方法进行事故低油压试验。

4.10.12.7.3 通过对压力罐/蓄能器手动人为排油的方法，使油位逐渐降至事故低油位，并通过油位信号器发信，此时该信号将触发监控系统或保护装置的事故停机流程，进而作用于电液调节装置的快速事故停机电磁阀，水轮机接力器将按调节保证计算要求的关闭规律与关闭时间关闭。

4.10.12.7.4 对于采用油、气分离式蓄能器的油压装置，可根据回油箱油位上升至高限整定值反映蓄能器油位下降至事故低油位。

4.10.12.8 紧急事故停机模拟

4.10.12.8.1 概述

对于带有事故配压阀或重锤关机阀的电液调节装置，还应通过操作事故配压阀或重锤关机阀的动作和复归，验证紧急事故停机动作是否正常，并校验接力器关闭规律与关闭时间是否符合调节保证计算设计的要求。

4.10.12.8.2 试验过程

4.10.12.8.2.1 电液调节装置处于模拟的空载或并网发电状态，然后分别采用下述 3 种方法，触发事故配压阀或重锤关机阀动作，使接力器紧急关闭。

4.10.12.8.2.2 用信号发生器向转速继电器输入 1 级超速信号、同时向监控系统发电液调节装置拒动信号，以触发监控系统的紧急事故停机流程，使事故配压阀动作。

4.10.12.8.2.3 用信号发生器向转速继电器输入 2 级超速信号，以触发监控系统的紧急事故停机流程，使事故配压阀或重锤关机阀动作。

4.10.12.8.2.4 人为切换机械超速保护装置的机动换向阀（运行时受控于超速摆），从而通过触发油路信号，使事故配压阀或重锤关机阀动作。

4.10.12.9 调节模式转换模拟试验

4.10.12.9.1 试验准备

模拟并网发电，接力器置于某一位置，电液调节装置处于自动状态并接入模拟的有功功率信号，使电液调节装置进入功率调节模式。

4.10.12.9.2 功率调节转开度调节

当电液调节装置处于功率调节模式时，撤销模拟的有功功率信号，此时调节装置应进入开度调节模式，转换过程中接力器行程变化不得超过其全行程的 2%。

4.10.12.9.3 功率/开度调节转频率调节

将频率信号源接入调速器机频测量端，由频率信号源输出额定频率信号。分别在功率调节模式、开

度调节模式下，通过信号源在额定频率基础上施加正、负偏差的频率阶跃信号，有效频率偏差绝对值应不小于 0.5Hz；此时调节系统应能自动转入频率调节模式（孤网运行），同时接力器位移或有功功率也将产生相应变化。

4.10.12.9.4 频率调节转功率/开度调节

在频率调节模式下，当频率信号源恢复至额定频率后，延时一定时间，调节系统应返回功率调节模式或开度调节模式。

4.10.12.10 可逆式蓄能机组电液调节装置的自动开、停机模拟试验

4.10.12.10.1 由监控系统发各种开/停机操作命令，执行各种方式的自动开、停机模拟试验，一般包括：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。所有操作应动作正确，操作时间符合监控系统与机组设计要求。

4.10.12.10.2 背靠背拖动机启动运行时，宜考虑水轮机转矩特性和强度时间要求，为避免拖动机与被拖动机之间产生失步现象，作为拖动机的接力器开启速率宜整定为每秒 0.1%~0.6%，具体整定值需要通过真机试验后确定。

4.10.12.11 可逆式蓄能机组电液调节装置运行工况转换试验

4.10.12.11.1 由监控系统发各工况转换操作命令，模拟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等，转换过程应动作正确，转换调整时间符合监控系统与机组设计要求。

4.10.12.11.2 水泵工况转发电工况、发电工况转水泵工况的转换操作，宜采用抽水-静止-发电和发电-静止-抽水，即增加一个静止过渡状态。

4.10.13 手自动切换模拟试验

电液调节装置处于模拟的空载或发电运行状态，进行自动、电气手动、机械手动等控制方式之间的相互切换，检查接力器行程变化是否满足 DL/T 563 的要求。

4.10.14 故障保护与容错功能试验

4.10.14.1 概述

应按不同类型电液调节装置的设计特点进行相应的故障保护与容错功能试验，分别模拟主要组件模块故障，机组频率信号和电网频率信号消失故障，电液随动系统故障，以及电源电压降低和消失故障，检查调节器对故障的诊断能力，以及电液调节装置故障后的动作是否符合 DL/T 563 及设计要求。模拟故障试验时，应先做好安全措施。

4.10.14.2 电源切换及消失模拟试验

电液调节装置处于自动控制方式，两路电源同时作为工作电源供电，接力器调整至某一稳定位置，分别切除其中的一路或同时切除两路电源，随后逐一恢复供电，观测并记录接力器位移的变化情况，并检查有关状态指示、报警信号是否符合 DL/T 563 及设计的规定。

模拟电源消失故障时，在电源恢复后，还应检查调节器的主要调节、控制功能和主要调节参数是否保持原有状况。

4.10.14.3 机组频率信号消失模拟试验

电液调节装置处于自动控制方式，切断电液调节装置机频测量环节的输入信号，分别检查在并网发电状态、离网状态下的故障保护与容错功能是否符合 DL/T 563 及设计的规定。

4.10.14.4 导叶或喷针接力器位移信号消失模拟试验

电液调节装置处于自动控制方式，切断电液调节装置导叶或喷针接力器位移信号，分别检查在并网发电状态、离网状态下的故障保护与容错功能是否符合 DL/T 563 及设计的规定。

4.10.14.5 机组有功功率信号消失模拟试验

按本标准 4.10.12.9 进行。

4.10.15 电液调节装置漏油量及静耗油量的测定

4.10.15.1 漏油量的测定

4.10.15.1.1 电液调节装置处于手动控制方式，切断油压装置向电液调节装置以外的机组自动化元件等各部位供油的通路，接力器处于全关位置。

4.10.15.1.2 根据压力罐油位在一定时间内下降的高度和压力罐内径，即可计算出单位时间内电液调节装置的总漏油量。

4.10.15.1.3 对于采用油、气分离式蓄能器的油压装置，则根据回油箱油位在一定时间内上升的高度和回油箱面积，计算出单位时间内电液调节装置的总漏油量。

4.10.15.2 静耗油量的测定

置电液调节装置于自动控制方式，接力器调整至 50%行程的位置，并处于稳定状态，其他试验条件及试验方法与 4.10.15.1 相同，即可求得单位时间内电液调节装置的静耗油量。

4.10.16 综合漂移试验

4.10.16.1 试验准备

按正常运行的要求将电液调节装置与相关设备连接，用稳定的频率信号源模拟机组的额定转速信号。置电液调节装置于自动控制方式，所有调节参数置于中间值，并将接力器调整至 50%行程的位置。

4.10.16.2 试验记录

试验仪器与被测装置通电 15min 以后，用自动记录仪记录信号频率值、电源电压、环境温度和接力器行程，持续 8h。试验记录开始后不得对电液调节装置进行调整和操作，输入信号频率值也不应发生变化，否则试验无效。

4.10.16.3 试验数据处理

将 8h 试验过程中接力器位移的变化量，按实际整定的 b_p 值折算成转速偏差相对值，此值即为综合漂移值。

大型电液调节装置的综合漂移值应不超过 0.3%；中小型、特小型电液调节装置的综合漂移值应不超过 0.6%。

4.11 机组充水后电液调节系统的调整试验

4.11.1 手动开机试验

4.11.1.1 手动开机的准备工作

4.11.1.1.1 在机组及其他相关设备均具备开机条件并采取了安全措施后，方可开机。首次手动开机时，应装设独立的机组转速监测仪表。

4.11.1.1.2 对于转桨式水轮机，手动开机前宜将轮叶随动系统切至自动状态，且轮叶事先置于启动转角。

4.11.1.1.3 对于冲击式水轮机，当需要手动开机时，应首先打开与启动喷针对应的折向器。

4.11.1.2 手动开机操作

4.11.1.2.1 手动开机时应逐渐增加导叶或喷针开度至加速（启动）开度，当机组转速接近于 80%额定转速时，再将导叶或喷针调整至空载开度附近的位置，然后根据转速变化在空载开度附近小幅度调整导叶或喷针开度，使机组转速平稳地达到额定转速。

4.11.1.2.2 对于转桨式水轮机，当手动开启导叶时，随着机组的逐渐加速，当频率高于 26Hz 时，轮叶将自动从启动转角缓慢关至零。

4.11.2 齿盘测速通道校验

4.11.2.1 对于配置齿盘测速功能的电液调节装置，宜在机组首次开机至空载或空转后，对齿盘测速通道进行一次校验。

4.11.2.2 调速器处于手动空载或空转状态，通过人机界面（HMI）对齿盘测速环节各有关参数进行整定，直至该环节的转速测量值与残压测频的显示值一致；然后，手动改变机组转速，检查在不同的转速下，齿盘测速与残压测频的显示值是否一一对应。

4.11.3 手动空载转速摆动值测定

4.11.3.1 机组空载运行并稳定于额定转速后，励磁装置投入并置于自动运行方式，用自动记录仪测定机组手动空载工况下任意 3min 内转速波动的峰-峰值，重复测定 3 次。

4.11.3.2 若手动空载工况下接力器 30min 内位置漂移超出 $-0.2\% \sim +0.2\%$ ，则本次试验结果无效；应对电液随动系统的平衡位置重新进行调整后，再行试验。

4.11.4 空载扰动试验及自动空载转速摆动值测定

4.11.4.1 通过改变频率给定的空载扰动试验

4.11.4.1.1 试验条件

手动空载运行状态下，将“频率给定 f_c ”置于额定频率 50Hz，预置一组调节参数，再将电液调节装置切至自动，使机组转速稳定于额定转速附近的稳态转速带。

4.11.4.1.2 试验操作

在不同的调节参数组合下，观察能使机组稳定的调节参数范围。选择若干组有代表性的调节参数，分别在上述各组参数下，通过改变“频率给定 f_c ”的方法，对电液调节系统施加幅度不小于 4%额定转速的阶跃给定，记录机组转速和接力器行程等参数的过渡过程。

4.11.4.1.3 空载调节参数整定值的选取

在调节品质满足 DL/T 563 的前提下, 选定转速过渡过程超调量小、收敛快、波动次数少且转速摆动值最小的一组调节参数作为空载调节参数。

4.11.4.2 通过手动改变频率的空载扰动试验

试验条件同 4.11.4.1, 自动空载稳定工况下, “频率给定 f_c ” 始终置于额定频率 50Hz, 将调节装置切至手动, 通过手动增减接力器位移的方法, 改变机组当前的实际转速, 当转速变化幅度超过 4% 额定转速时, 再切至自动, 观测并记录机组转速、接力器行程等参数的过渡过程, 见图 9。

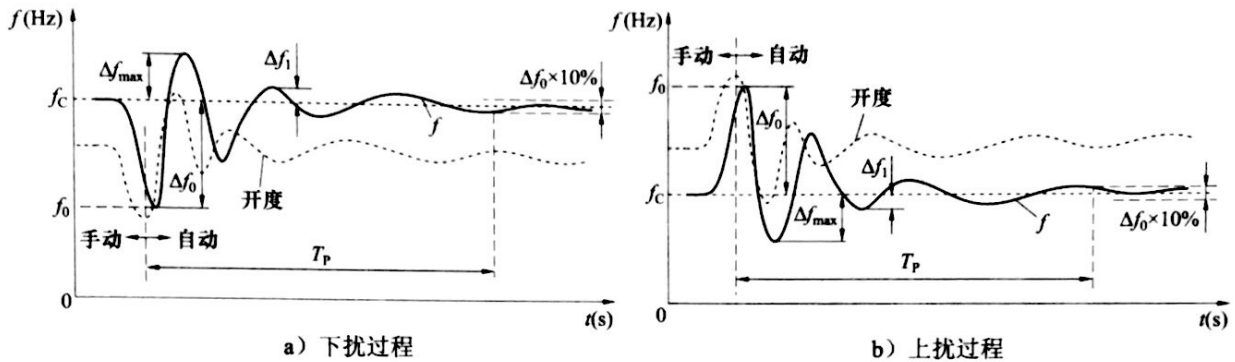


图 9 通过手动操作激励空载频率扰动的调节过程

4.11.4.3 自动空载转速摆动值测定

自动空载稳定工况下, “频率给定 f_c ” 置于额定频率 50Hz, 在上述空载扰动试验选定的空载调节参数下, 测定自动空载工况下任意 3min 内转速波动的峰-峰值, 重复测定 3 次, 试验结果取其平均值。

4.11.5 自动开、停机试验

空载试验完成后, 手动停机。然后调节装置切至自动, 由监控系统发开、停机命令, 进行机组的自动开机、停机试验。用自动记录仪记录开机、停机过程中机组转速、接力器行程、水压等参数的变化过程。

4.11.6 负荷增减试验

4.11.6.1 试验操作

机组已并网发电, 在不同的调节参数组合下, 电液调节装置接受监控系统的增减负荷指令, 实现机组负荷增减。观察并记录机组转速、水压、有功功率和接力器行程等参数的过渡过程, 通过对过渡过程的分析比较, 选定负载工况时的调节参数。

4.11.6.2 试验注意事项

负荷增减时, 应考虑对机组的最大和最小负荷进行限制, 防止有功超限运行, 同时应避免机组频繁穿越或长时间运行在振动区。

4.11.7 发电-调相-发电试验

4.11.7.1 机组处于并网发电状态, 监控系统向电液调节装置发调相令, 使导叶或喷针正常关闭, 此时

机组将从电网吸收有功功率，从而使机组由发电转为调相运行。

4.11.7.2 在调相运行状态，当监控系统撤销调相令信号，此时导叶或喷针接力器将开启至预定开度，机组从调相状态转入发电状态，并等待监控系统下一步的负荷调节命令。

4.11.8 并列运行下负荷/开度扰动试验

4.11.8.1 试验条件

机组处于并网发电状态，电液调节系统处于功率/开度控制模式，使机组在选定的水轮机工作点带10%~95%额定负荷稳定运行。

4.11.8.2 试验操作

通过改变调节装置开度/功率给定的方法进行负荷阶跃扰动，负荷变化量宜不小于机组额定负荷的25%，记录开度/负荷改变前后接力器行程、水压和机组有功功率等信号的变化过程，通过对过渡过程的分析比较，选定负载工况时的调节参数。

4.11.9 孤网频率调节试验

4.11.9.1 概述

电液调节系统处于并列运行状态或孤立运行状态，调整孤网运行的相关调节参数，通过较大幅度的负荷/频率扰动，记录频率、开度/有功功率、水压等信号的变化过程，选择一组稳定性好、频率变化衰减度小的调节参数，以供孤网运行使用。

4.11.9.2 孤网运行参数的初步整定

使机组处于空载额定转速运行工况，短接进入电液调节装置的发电机出口断路器辅助接点信号，使调节装置处于模拟的孤立发电状态，通过频率扰动的方法，整定调节参数，取得一组调节过程快捷且满足DL/T 563规定的参数，作为孤网调节的初选参数。有效频率扰动的偏差绝对值应不小于2Hz。

4.11.9.3 实际孤网频率调节试验

机组处于大电网并列运行，带不少于25%的额定负荷，待负荷稳定后，通过输电线路的操作，使机组突然切入孤网，观测并记录机组频率、接力器行程/有功功率等信号在大网转孤网过程中的变化，及其随后的孤网运行中的过渡过程，验证调节过程是否正常稳定；在此过程中，可以进一步调整、优化4.11.9.2初选的调节参数。

4.11.9.4 单机带负荷模拟

当实际孤网试验条件不具备时，可采用本方法验证：机组处于大电网并列运行，带不少于25%的额定负荷，待负荷稳定后，使主变高压侧断路器跳闸，但发电机出口断路器依然保持合位，观测并记录机组频率、接力器行程等信号在此切换过程中的变化，验证调节过程是否正常稳定；在该试验过程中，也可以对4.11.9.2初选的调节参数进行适当调整、优化。

4.11.10 一次调频频率阶跃扰动试验

4.11.10.1 试验准备

将电液调节装置切至手动，断开电液调节装置机频测量端，将试验用频率信号源接入电液调节装置

机频测量端，由频率信号源输出额定频率信号。然后将电液调节装置切自动运行方式，投入一次调频功能，机组带 60%~90% 额定负荷稳定运行。

4.11.10.2 阶跃激励

通过频率信号源在额定频率基础上施加正、负偏差的频率阶跃信号，有效频率偏差绝对值应不小于 0.1Hz，记录信号源频率、接力器行程、机组有功功率等信号的变化过程。

4.11.10.3 数据分析处理

以目标功率/开度为依据，根据试验记录数据计算一次调频滞后时间 T_{hx} 、上升时间 $T_{0.9}$ 、稳定时间 T_s 等数值指标，见图 10。根据试验结果优化调整一次调频调节参数，在性能指标满足 DL/T 1245 规定的前提下，选取功率反调 p_{fp} 小的一组参数作为实际并网运行的一次调频调节参数。

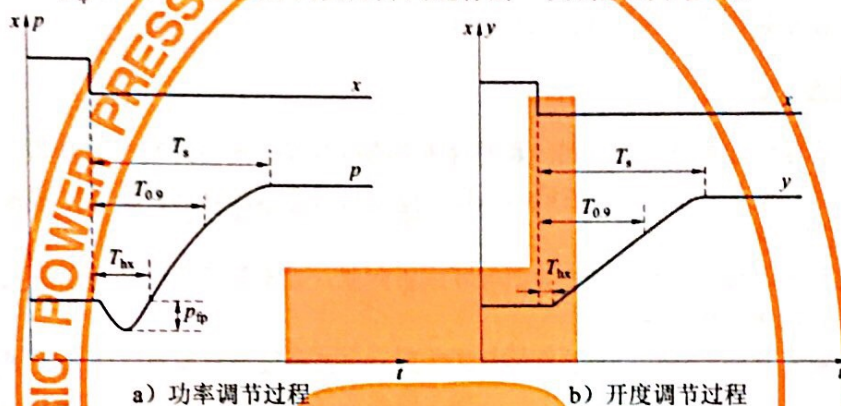


图 10 频率阶跃扰动时的有功功率/开度调节过程

4.11.11 实际电网频率扰动下的一次调频试验

4.11.11.1 通过试验仪再现实际电网频率信号

在自动方式下，投入一次调频功能，人工频率/转速死区 E_f 置于 0.05Hz 或其他定值，机组带 60%~90% 额定负荷运行。

通过试验用频率信号源，向电液调节装置施加一段与实际电网频率扰动过程相似的频率信号，有效频率偏差绝对值应不小于 0.1Hz，记录信号源频率、接力器行程、水压、机组有功功率等信号的变化过程曲线。

4.11.11.2 直接采用当前实际频率信号

试验条件同 4.11.11.1，但电液调节装置的机频及网频信号输入来自机组及电网实际频率，记录实际电网频率变化时机组频率、接力器行程、水压、机组有功功率等信号的变化过程曲线；试验记录时间宜不小于 10min。

4.11.11.3 一次调频 24h 连续运行试验

现场有条件时，宜进行一次调频 24h 连续运行记录，测评实际运行过程中一次调频性能是否符合 DL/T 1245 的要求与电网调度部门的规定。

4.11.12 甩负荷试验

4.11.12.1 试验准备及注意事项：

- a) 甩负荷前，应复核输入自动记录仪各信号的率定值。

- b) 甩负荷试验应做好安全措施,防止机组飞逸和水锤事故。

4.11.12.2 试验操作:

- a) 将空负荷及负荷调节参数置于选定值,机组先后带 25%、50%、75%、100%额定负荷。
- b) 在额定负荷的 25%、50%、75%、100%下分别跳开发电机出口断路器,进行甩负荷试验,用自动记录仪记录机组转速、接力器行程、蜗壳进口(或导叶前)水压、尾水管进口水压及发电机定子电流等信号的过渡过程。

4.11.13 事故低油压关机试验

4.11.13.1 试验条件及注意事项

机组并网带额定负荷运行,如因水头低等条件限制不能带额定负荷时,则应带当前水头下的最大负荷。试验过程中应在水轮机进水阀门或进水口快速闸门处设专人负责安全工作。

4.11.13.2 试验操作

4.11.13.2.1 油压装置切为手动运行方式,通过对压力罐排气或排油与排气相结合的方法,使油压逐渐降至事故低油压。此时压力信号器的事故低油压信号应通过监控系统或保护装置作用于电液调节装置的快速事故停机电磁阀,使机组停机。

4.11.13.2.2 如在事故低油压下不能可靠关闭导叶或折向器,或不能可靠打开调压阀,说明事故低油压整定值偏低,应调整后重新进行试验。

4.11.13.2.3 对于采用油、气分离式蓄能器的油压装置,只需通过对蓄能器排油的方法进行事故低油压关机试验。

4.11.14 可逆式蓄能机组背靠背启动试验

4.11.14.1 背靠背拖动机启动

拖动机(原动机)与泵机组(被拖动机)的导叶均处于全关位置,使两台机组的输入与输出之间通过电气联系在一起,并分别投入励磁;作为拖动机的电液调节装置接收监控系统“背靠背启动”命令后,电液调节装置将控制拖动机的导叶以整定的速度缓慢开启。

4.11.14.2 背靠背泵机组启动

随着拖动机导叶的开启,拖动机从静止状态开始向水轮机旋转方向逐渐加速,同时泵机组受拖动机的驱动,也将从静止状态开始向水泵旋转方向逐渐升速。

4.11.14.3 启动完成

当泵机组到达额定转速附近时,泵机组启动断路器分、泵机组运行断路器合,泵机组即进入水泵调相状态。同时作为拖动机的电液调节装置在接收监控系统的“停机”命令后,将控制导叶全关至零并停机。

4.11.15 可逆式蓄能机组水泵启动—调相—抽水试验

4.11.15.1 水泵启动过程

4.11.15.1.1 背靠背启动

见本标准 4.11.14。

4.11.15.1.2 变频启动

泵机组（被拖动机）导叶处于全关位置，泵机组启动断路器合，利用变频启动方式使泵机组转速逐渐上升，励磁装置投入并进行调节，当泵机组转速达到额定转速附近，泵机组启动断路器分、泵机组运行断路器合，泵机组进入水泵调相状态。随后即可进行充水建压等一系列水泵抽水运行的准备工作。

4.11.15.2 水泵抽水运行

当充水建压过程完成后，监控系统向电液调节装置发送“水泵抽水”命令，电液调节装置将自动根据扬程与导叶开度关系曲线，将导叶调整至相应最优开度，机组进入水泵抽水运行状态。在水泵抽水方式下运行时，导叶开度完全由扬程决定。

4.11.16 可逆式蓄能机组的水泵工况失去动力试验

机组处于抽水运行工况，使泵机组运行断路器跳闸，机组抽水动力电源中断，接力器将由抽水开度关至全关位置；观测并记录机组转速、水压、接力器行程等参数的变化过程。

4.11.17 可逆式蓄能机组水泵工况转发电工况试验

4.11.17.1 抽水转静止

由监控系统向电液调节装置发送“水泵转发电”或“停机”命令，电液调节装置将控制导叶全关至零，同时泵机组运行断路器分，等待机组转速逐渐下降。

4.11.17.2 静止转发电

当机组转速下降至零，且其他设备的准备工作已完成，由监控系统向电液调节装置发送“水轮机开机”命令，电液调节装置将控制导叶开启，使机组向水轮机方向逐渐升速，进而将机组转速调整至额定转速附近。在机组满足同期条件后，合发电机断路器，电液调节装置将根据监控系统的负荷增减命令调节机组负荷。

4.11.18 带负荷 72h 连续运行试验

电液调节系统及装置的全部调整试验与机组的其他试验完成之后，拆除试验接线，使机组所有设备恢复到正常运行状态，然后进行带负荷 72h 连续运行试验。

4.11.19 可逆式蓄能机组电液调节装置 15d 试运行

电液调节系统及装置的全部调整试验与机组的其他试验完成之后，拆除试验接线，使机组所有设备恢复到正常运行状态，然后进行 15d 试运行。

15d 试运行期间，机组运行方式由电网调度，但为了达到考核目的，平均每天启动次数宜不少于 2 次。

附录 A
(规范性附录)
调整试验类别及项目

A.1 水轮机电液调节系统及装置的调整试验类别及项目见表 A.1。

表 A.1 调整试验类别及项目汇总表

| 序号 | 调整试验项目 | 出厂试验 | 电站试验 | 型式试验 |
|-----|-------------------------|------|------|------|
| 1 | 一般检查试验 | △ | △ | △ |
| 2 | 油压装置的调整试验 | | | |
| 2.1 | 油泵试验 | △ | △ | △ |
| 2.2 | 阀组调整试验 | △ | △ | △ |
| 2.3 | 油压装置的密封试验 | △ | △ | △ |
| 2.4 | 压力信号器和油位信号器整定 | △ | △ | △ |
| 2.5 | 油压装置自动运行的模拟试验 | △ | △ | △ |
| 3 | 共通电气组件的调整试验及设备绝缘与电磁兼容试验 | | | |
| 3.1 | 电源的检查试验 | △ | △* | △ |
| 3.2 | 转速表的校验 | △ | △* | △ |
| 3.3 | 开度表的校验 | △ | △* | △ |
| 3.4 | 有功功率变送器校验 | △ | △* | △ |
| 3.5 | 绝缘试验 | △* | | △ |
| 3.6 | 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验 | | | △ |
| 4 | 数字式电液调节装置电气部分试验 | | | |
| 4.1 | 模块通电检查 | △ | △ | △ |
| 4.2 | 测频环节试验 | △ | | △ |
| 4.3 | 参数整定及显示的检查试验 | △ | △ | △ |
| 4.4 | 通信功能检查 | △ | △ | △ |
| 4.5 | 数字调节器静态特性试验 | △* | △* | △ |
| 4.6 | 数字调节器动态特性试验 | △* | △* | △ |
| 4.7 | 电气协联的调整试验 | △ | △ | △ |
| 5 | 模拟式电液调节装置电气部分试验 | | | |
| 5.1 | 频率测量环节试验 | △ | △* | △ |
| 5.2 | 暂态反馈回路试验 | △ | △* | △ |
| 5.3 | 电子调节器静态特性试验 | △* | △* | △ |
| 5.4 | 电子调节器动态特性试验 | △* | △* | △ |
| 5.5 | 电气协联函数发生器调整试验 | △ | △ | △ |

表 A.1 (续)

| 序号 | 调整试验项目 | 出厂试验 | 电站试验 | 型式试验 |
|-------|---------------------------------|------|------|------|
| 6 | 电气备用组件更换试验 | △ | △* | △ |
| 7 | 电气-机械/液压转换装置试验 | | | |
| 7.1 | 线圈内阻及绝缘电阻的测定 | △* | △* | △ |
| 7.2 | 静态特性试验 | △* | △* | △ |
| 7.3 | 动态特性试验 | △* | △* | △ |
| 7.4 | 电气-液压转换装置油压漂移的测定 | △ | △* | △ |
| 7.5 | 电气-机械转换装置及位移输出型电气-液压转换装置负载漂移的测定 | △* | | △ |
| 7.6 | 电气-液压转换装置静态耗油量的测定 | △* | △* | △ |
| 8 | 机械液压部分的调整试验 | | | |
| 8.1 | 充油前的检查和初步调整 | △ | △ | △ |
| 8.2 | 充油 | △ | △ | △ |
| 8.3 | 低油压下手动操作部分的调整试验 | △ | △ | △ |
| 8.4 | 手动排气 | △ | △ | △ |
| 8.5 | 额定油压下的调整试验 | △ | △ | △ |
| 8.6 | 自动调节部分的调整试验 | △ | △ | △ |
| 8.7 | 双调整电液调节装置机械液压部分的调整试验 | △ | △ | △ |
| 9 | 电液随动装置试验 | | | |
| 9.1 | 极限开环增益测定 | △* | △* | △ |
| 9.2 | 动态特性试验 | △* | △* | △ |
| 9.3 | 静态特性试验 | △* | △* | △ |
| 9.4 | 油压漂移试验 | △* | △* | △ |
| 10 | 电液调节装置的整机调整试验 | | | |
| 10.1 | 位移变送器的调整试验 | △ | △ | △ |
| 10.2 | 继电器开关时间的调整 | △ | △ | △ |
| 10.3 | 继电器反应时间的测定 | △* | △* | △ |
| 10.4 | 转速指令校验 | △* | △* | △ |
| 10.5 | 功率指令校验 | △* | △* | △ |
| 10.6 | 电液调节装置静态特性试验及转速死区测定 | △ | △ | △ |
| 10.7 | 电液调节装置动态特性试验 | △* | △* | △ |
| 10.8 | 继电器不动时间的测定 | △* | △ | △ |
| 10.9 | 转桨式机组电液调节装置的协联关系校验 | △ | △ | △ |
| 10.10 | 冲击式机组电液调节装置喷针与折向器协同控制功能校核 | △ | △ | △ |
| 10.11 | 可逆式蓄能机组电液调节装置扬程与导叶开度关系校验 | △ | △ | △ |
| 10.12 | 充水前或静水状态下操作回路检查及模拟动作试验 | △ | △ | △ |

表 A.1 (续)

| 序号 | 调整试验项目 | 出厂试验 | 电站试验 | 型式试验 |
|-------|-----------------------|------|------|------|
| 10.13 | 手自动切换模拟试验 | △ | △ | △ |
| 10.14 | 故障保护与容错功能试验 | △ | △* | △ |
| 10.15 | 电液调节装置漏油量及静耗油量的测定 | △ | △* | △ |
| 10.16 | 综合漂移试验 | △* | △* | △ |
| 11 | 机组充水后电液调节系统的调整试验 | | | |
| 11.1 | 手动开机试验 | | △ | △ |
| 11.2 | 齿盘测速通道校验 | | △ | △ |
| 11.3 | 手动空载转速摆动值测定 | | △ | △ |
| 11.4 | 空载扰动试验及自动空载转速摆动值测定 | | △ | △ |
| 11.5 | 自动开、停机试验 | | △ | △ |
| 11.6 | 负荷增减试验 | | △ | △ |
| 11.7 | 发电-调相-发电试验 | | △ | △ |
| 11.8 | 并列运行下负荷/开度扰动试验 | | △* | △ |
| 11.9 | 孤网频率调节试验 | | △* | △ |
| 11.10 | 一次调频阶跃扰动试验 | | △* | △ |
| 11.11 | 实际电网频率扰动下的一次调频试验 | | △* | △ |
| 11.12 | 甩负荷试验 | | △ | △ |
| 11.13 | 事故低油压关机试验 | | △ | △ |
| 11.14 | 可逆式蓄能机组背靠背启动试验 | | △ | △ |
| 11.15 | 可逆式蓄能机组水泵启动-调相-抽水试验 | | △ | △ |
| 11.16 | 可逆式蓄能机组水泵工况失去动力试验 | | △ | △ |
| 11.17 | 可逆式蓄能机组运行工况转换试验 | | △ | △ |
| 11.18 | 带负荷 72h 连续运行试验 | | △ | △ |
| 11.19 | 可逆式蓄能机组电液调节装置 15d 试运行 | | △ | △ |

A.2 表 A.1 中注“△”符号的是应做项目、“△*”是可选项目，各项调整试验的顺序可根据实际情况确定。

附录 B
(规范性附录)
测试系统误差和分辨率

B.1 一般测试系统误差要求

| | |
|-------------|--|
| 转速测量系统误差 | $-0.25\% \leq f_x \leq 0.25\%$ |
| 温度测量系统误差 | $-0.5^\circ\text{C} \leq f_t \leq 0.5^\circ\text{C}$ |
| 水压测量系统误差 | $-10\% \leq f_{pw} \leq 10\%$ |
| 油压测量系统误差 | $-1.5\% \leq f_{pD} \leq 1.5\%$ |
| 时间测量系统误差 | $-5\% \leq f_t \leq 5\%$ |
| 功率测量系统误差 | $-1\% \leq f_N \leq 1\%$ |
| 流量测量系统误差 | $-1.5\% \leq f_Q \leq 1.5\%$ |
| 指令信号测量系统误差 | $-5\% \leq f_d \leq 5\%$ |
| 接力器行程测量系统误差 | $-1\% \leq f_y \leq 1\%$ |

B.2 特殊要求测试系统误差或分辨率要求

转速信号（转速死区、综合漂移测定试验）测量系统分辨率应不大于 0.002Hz。

接力器行程（转速死区、不准确度测定试验、位置漂移）测量系统（含转换机构、传感器、A/D 变换）误差相对值应不大于 0.05%。

主要测试仪表的容许系统误差范围要求：

| | |
|-------------|---|
| 超低频信号发生器 | (分辨率 $\leq 0.002\text{Hz}$) |
| 数字频率计 | (分辨率 $\leq 0.002\text{Hz}$, 采样周期 $\leq 0.04\text{s}$) |
| 位移传感器 | (精度: 0.05%) |
| 压力变送器 | (精度 0.5 级) |
| 各型流量计 | (精度 1.5 级) |
| 功率测量变送器 | (精度 0.2 级~0.5 级) |
| 真空压力表 | (精度 1.5 级) |
| 工频周波表 | (精度 0.2 级~0.5 级) |
| 交直流电流表 | (精度 0.2 级~0.5 级) |
| 交流电压表 | (精度 0.2 级~0.5 级) |
| 直流电压表 | (精度 0.2 级~0.5 级) |
| 压力表 | (精度 1.5 级) |
| 自动记录仪/微机测试仪 | (所配超低频信号发生器、频率计及位移传感器等的要求同上) |

附录 C (资料性附录)

死区、不准确度及线性度误差计算方法简介

C.1 概述

除了作图法、最小二乘法，还可采用一元线性回归分析法对电液调节装置、随动装置以及其他环节和装置的静态特性试验结果进行数据处理，求出其死区、不准确度和线性度误差，具体方法简介如下。

C.2 回归直线方程的参数计算

根据一元线性回归理论，某直线与全部观测数据 X_i ($i=1, 2, \dots, n$) 的离差平方和比其他任何直线与全部观测数据的离差平方和都小，则该直线就是代表 Y 与 X 之间关系最为合理的一条直线，并称之为 X 和 Y 之间的回归直线，其直线方程记作：

$$\hat{Y} = a + bX \quad (\text{C.1})$$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{C.2})$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \quad (\text{C.3})$$

式中：

X_i 、 Y_i —— 第 i 个试验点测得的两个数据；

n —— 该组试验中试验点的个数。

C.3 死区计算

为计算死区，应在同一试验条件下进行正向和反向两组静态特性试验，然后用 C.1 节所述的方法求出两条相应的回归直线方程， $\hat{Y}_1 = f_1(X)$ 和 $\hat{Y}_2 = f_2(X)$ ，然后求出同一 X_i 值对应的 \hat{Y}_1 和 \hat{Y}_2 值，则两值之差的绝对值 $|\hat{Y}_1 - \hat{Y}_2|$ 即为第 i 个试验点处的死区。求出规定范围内回归直线两端点处的死区，则其中较大的死区即为该两组静态特性曲线的死区。

C.4 线性度误差计算

第 i 个试验点与回归直线的相对偏差为：

$$\delta_i = \frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad (\text{C.4})$$

式中：

Y_i —— 第 i 次试验数据；

\hat{Y}_i —— 在回归直线上与 X_i 相对应的函数值；

Y_{\max} 、 Y_{\min} —— 试验数据 Y 的最大值和最小值。

求出所有试验点的相对偏差，则其中最大的正、负相对偏差的绝对值之和，即为该静态特性曲线的线性度误差 ε 。

C.5 应用注意事项

当采用本方法计算电液调节装置的转速死区 i_x 和其静态特性的线性度误差 ε 时，横坐标为接力器行程，纵坐标为输入频率（或转速）。试验应在 10%~90% 的接力器行程范围内进行。按 C.3 节求得的死区转化为频率（或转速）相对值，即为电液调节装置的转速死区 i_x 。如将横坐标与纵坐标所表示的物理量互换，即可求出随动装置的不准确度 i_a 。

C.6 应用举例

测得某电液调节装置接力器的开启和关闭两个方向的静态特性试验数据，见表 C.1，其接力器最大行程为 800mm，试用一元线性回归分析法求其转速死区 i_x 和线性度误差 ε 。

表 C.1 实例的试验数据

| 序号 i | 开启方向 | | 关闭方向 | |
|--------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | 接力器位移 X_i mm | 输入频率 Y_i Hz | 接力器位移 X_i mm | 输入频率 Y_i Hz |
| 1 | 204.5 | 50.8 | 708.0 | 49.0 |
| 2 | 261.0 | 50.6 | 654.0 | 49.2 |
| 3 | 312.5 | 50.4 | 604.5 | 49.4 |
| 4 | 365.0 | 50.2 | 536.0 | 49.6 |
| 5 | 421.0 | 50.0 | 477.0 | 49.8 |
| 6 | 472.5 | 49.8 | 422.5 | 50.0 |
| 7 | 532.5 | 49.6 | 368.5 | 50.2 |
| 8 | 601.0 | 49.4 | 315.0 | 50.4 |
| 9 | 651.0 | 49.2 | 263.5 | 50.6 |
| 10 | 703.0 | 49.0 | 207.0 | 50.8 |

C.6.1 根据试验数据求回归直线方程

根据开启方向的试验数据计算得：

$$\sum_{i=1}^n X_i = 4524$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 452.4$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^2 = 230\,408.7$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = 499$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i = 49.9$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = 224\,826.3$$

将上述结果代入 C.3 节各公式即可求得：

$$b = -0.003\,578\,84, \quad a = 51.519\,07$$

故开启方向试验数据的回归直线方程为：

$$\hat{Y} = 51.519\,07 - 0.003\,578\,84X \quad (\text{C.5})$$

用同样方法可得关闭方向试验数据的回归直线方程：

$$\hat{Y} = 51.524\,63 - 0.003\,565\,91X \quad (\text{C.6})$$

C.6.2 转速死区 i_x 的计算

用 C.3 所述方法分别求出接力器行程为 10% 和 90% 时死区。

当接力器行程为 10% 时（即 $X=80\text{mm}$ ），将 X 值代入公式（C.5）和公式（C.6），得：

$$\hat{Y}_1 = 51.232\,766\text{Hz}$$

$$\hat{Y}_2 = 51.239\,358\text{Hz}$$

故该点死区为：

$$|\hat{Y}_1 - \hat{Y}_2| = 0.006\,592\text{Hz}$$

同理求出当接力器行程为 90% 时（即 $X=720\text{mm}$ ）的死区为：

$$|\hat{Y}_1 - \hat{Y}_2| = 0.014\,848\text{Hz}$$

取其中较大者（即 0.014 848Hz），转化为频率相对值，即为该电液调节装置的转速死区：

$$i_x = \frac{0.014\,848}{50} \times 100\% = 0.029\,696\% \approx 0.03\%$$

C.6.3 线性度误差 ε 的计算

以开启方向的试验数据为例，将各 X_i 值代入开启方向试验数据的回归直线方程，分别求出相应的 \hat{Y}_i 值。另由试验数据可知：

$$Y_{\max} - Y_{\min} = 50.8\text{Hz} - 49.0\text{Hz} = 1.8\text{Hz}$$

将各 \hat{Y}_i 及相应的 Y_i 代入公式（C.4），求出各试验点的 Y_i 与回归直线的相对偏差 δ_i 。

在所有 δ_i 中找出最大的正值 $\delta_5 = 1.560\,38\%$ 及最大的负值 $\delta_8 = -1.766\,04\%$ 。

从而求得该静态特性的线性度误差：

$$\varepsilon = |\delta_5| + |\delta_8| = 3.326\,42\% \approx 3.33\%$$

附录 D

(资料性附录)

试验报告的基本内容及格式示例

D.1 试验报告的基本内容

试验报告的编写是为了正式记载所观测到的数据、计算及分析结果。它应含有足够的辅助资料，以证明按本标准所做的各项试验已达到试验目的。完整的试验报告除了将各试验结果列出表格或绘制曲线之外，还可包括经过证实的原始记录日志页（或复制本），其中，测量仪表的读数应按观测所得记录。

D.2 试验报告的基本格式

试验报告基本格式的示例如下，其中，附图的图幅应与试验报告规格一致。各试验单位及有关部门还可根据实际情况，对试验报告所涉及的内容范围做出相应调整。

D.2.1 试验报告基本格式封面示例

| |
|------------------------------|
| 编号： |
| 水轮机电液调节系统 及装置试验报告 |
| _____水电厂_____号机组 |
| 编写： |
| 校验： |
| 审定： |
| 试验类型： |
| 依据标准： |
| 设备型号： |
| 制造单位： |
| 试验单位： |
| 试验日期： |

D.2.2 试验报告基本格式内文示例

一、电站、机组及电液调节装置概况

(一) 电站

1. 电站形式:
2. 机组功率 P_{Gr} : MW
3. 额定转速 n_r : r/min
4. 机组台数:
5. 水头:
 - 额定水头 H_r : m
 - 最大水头 H_{max} : m
 - 最小水头 H_{min} : m
6. 水流惯性时间常数 T_w : s
7. 电站运行方式: 单机 并网 调峰 调相

(二) 水轮机

1. 型号:
2. 额定流量 Q_r : m^3/s
3. 导叶/喷针接力器:
 - 型式: 直缸接力器 环形接力器 其他
 - 个数:
 - 行程 Y_{max} : mm
 - 直径 D_a : mm
4. 轮叶/折向器/调压阀接力器
 - 行程 Z_{max} : mm
 - 直径 D_o : mm
5. 制造厂家:

(三) 发电机

1. 型号:
2. 励磁方式:
3. 机组飞轮力矩 GD^2 (含水轮机转动部分): $kN \cdot m^2$
4. 机组惯性时间常数 T_a (含水轮机转动部分): s
5. 制造厂家:

(四) 电液调节装置

1. 型号:
2. 出厂编号及出厂日期:
3. 测频方式:
4. 测频环节传递系数 K_f : V/Hz
5. 电源电压及供电方式:
 - 交流: V
 - 直流: V
 - 供电方式:

6. 人工频率/转速死区 E_r 范围: %

7. 调节参数范围:

b_p :

b_i :

T_d :

T_n :

K_p :

K_i :

K_D :

8. 协联方式:

9. 电气-机械/液压转换装置:

型号:

传递系数 K_{sc} :

工作行程 S_{cmax} 或额定输出流量 Q_{cn} :

10. 主配压阀直径 D_v : mm

11. 主配压阀最大行程 S_{max} : ± mm

12. 额定油压 p_r : MPa

(五) 油压装置

1. 型号:

2. 出厂编号及出厂日期:

3. 额定油压 p_r : MPa

4. 油泵型号及台数:

5. 油泵输油量 Q_p : L/s

6. 压力罐/蓄能器容积 V_0 : m^3

二、试验目的、依据

三、各项试验记录

序 号:

试验记录表

附图编号:

| |
|--------------|
| 1. 试验项目 |
| 2. 试验条件、试验方法 |
| 3. 试验仪器 |
| 4. 试验数据 |
| 5. 试验结果 |

试验:

校核:

年 月 日

四、试验结果汇总表

| 序 号 | 试 验 项 目 | 试 验 结 果 | 考核指标或技术要求 | 评 价 |
|-----|---------|---------|-----------|-----|
| | | | | |

五、试验结论

六、试验主持、参加单位和试验人员

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
调整试验导则

DL/T 496—2016

代替 DL/T 496—2001

*

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 2.75印张 84千字
印数001—200册

*

统一书号 155123·3121 定价 23.00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

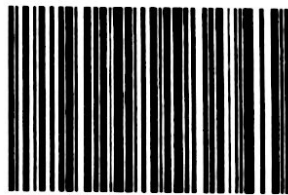
版权专有 翻印必究



中国电力出版社官方微信



掌上电力书库



155123.3121

上架建议：水利水电工程/

水力发电