

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了中小型同步电机励磁系统的基本技术要求。

本标准适用于下列范围的 50Hz(60Hz)同步电机励磁系统:

- a. 10 000kW 以下的水轮发电机;
- b. 6 000kW 以下的汽轮发电机;
- c. 3 200kW 及以下的内燃发电机;
- d. 10 000kW 及以下的同步电动机。

## 2 引用标准

GB 755 旋转电机 基本技术要求

GB 3797 电控设备 第二部分:装有电子器件的电控设备

GB 1497 低压电器基本标准

## 3 一般要求

励磁系统除满足本标准要求之外,应符合 GB 755 的规定。同步电动机励磁系统还应符合 GB 3797 的规定。

## 4 术语、代号

### 4.1 励磁机 exciter

为同步电机提供励磁电流的电源。

注:此电源可以是:直流电机;交流电机及其整流设备;一个或几个变压器及其整流设备。

### 4.2 励磁系统 excitation system

为同步电机提供励磁电流的设备,包括励磁机及所有的调节和控制元件,以及灭磁和保护装置。

### 4.3 励磁控制系统 excitation control system

包括同步电机及其励磁系统的反馈控制系统。

### 4.4 反馈控制系统 feedback control system

通过所选择的系统变量与给定值的差值去影响控制,以达到这些变量间预先规定关系的控制系统。

### 4.5 额定励磁电流 $I_{FN}$ rated field current

同步电机在额定电压、额定电流、额定功率因数和额定转速下运行时,励磁绕组中的直流电流。

### 4.6 额定励磁电压 $U_{FN}$ rated field voltage

当冷却介质处于最高温度、电机励磁绕组处在额定负载和额定条件下对应的温度时,为了产生额定

励磁电流而需要在电机励磁绕组端施加的直流电压。

#### 4.7 空载励磁电流 $I_0$ no-load field current

当电机在空载和额定转速时,为了产生额定端电压而需要的直流电流。

#### 4.8 空载励磁电压 $U_0$ no-load field voltage

当励磁绕组温度为 25℃时,为了产生空载励磁电流而需要在励磁绕组端施加的直流电压。

#### 4.9 励磁系统顶值电流 $I_p$ excitation system ceiling current

在规定的一段时间内,励磁系统所能提供的最大直流电流。

#### 4.10 励磁系统顶值电压 $U_p$ excitation system ceiling voltage

在规定条件下,励磁系统所能提供的最大直流电压。

注:①当励磁系统的电源决定于同步电机的电压和电流时,电力系统扰动的性质、励磁系统和同步电机的具体设计参数,将影响励磁系统的输出。对这种系统,顶值电压的确定应考虑适当的电压降低和电流增加。

②采用旋转励磁机的励磁系统,顶值电压在额定转速下确定。

③励磁绕组温度为对应于额定工况下的规定值。

④对于电压源励磁系统,顶值电压的确定应考虑励磁电源的降低。

#### 4.11 顶值电压倍数(强励倍数) $K_p$ ceiling voltage times

励磁系统顶值电压与额定励磁电压之比。

#### 4.12 励磁系统电压响应时间 $t_e$ excitation system voltage response time

在规定条件下,励磁系统输出电压达到顶值电压与额定励磁电压之差的 95%所需时间的秒数(见图 1)。

#### 4.13 高起始响应励磁系统 high initial response excitation system

励磁系统电压响应时间小于或等于 0.1s 的励磁系统。

#### 4.14 励磁系统电压-时间响应 excitation system voltage time response

在规定条件下,用时间的函数来表示的励磁系统输出电压。

#### 4.15 励磁系统电压响应比 $V_E$ excitation system nominal response

由励磁系统电压响应曲线确定的励磁系统输出电压增长率与额定励磁电压的比值。

励磁系统输出电压增长率,是从励磁系统电压-时间响应曲线的初始点  $a$ (见图 1),按照第一个 0.5s 内(或另有规定)增加的面积  $abc$  与实际曲线增加的面积  $abd$  相同、所作的直线  $ac$  的增长率。即:

$$\text{增长率} = \frac{ce - ao}{oe} = \frac{\Delta U_E}{0.5} \quad (\text{V/s}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{响应比 } V_E = \frac{ce - ao}{(oe)(ao)} = \frac{\Delta U_E}{0.5U_{fn}} \quad (\text{s}^{-1}) \dots\dots\dots (2)$$

#### 4.16 稳态电压调整率 steady-state voltage regulation

在无功补偿器切除、原动机转速及功率因数在规定范围内变化以及发电机负载在满载与空载之间变化时,发电机端电压的变化与额定电压之比。

根据发电机励磁系统的不同类型以及不同的动行方式,稳态电压调整率可用式(3)或式(4)计算。选用何式应在专项标准中规定。采用式(3)时,发电机的负载应从满载降低到空载:

$$\delta_{st} = \frac{U_0 - U_L}{U_N} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

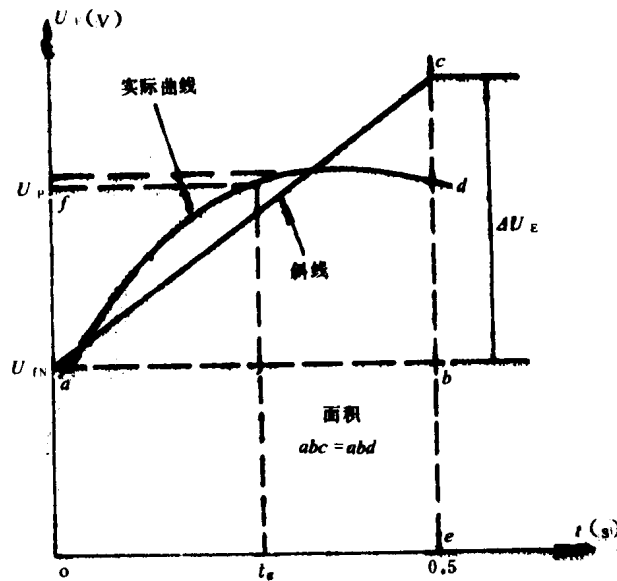
式中:  $U_0$ ——发电机空载电压, V;

$U_L$ ——发电机满载电压, V;

$U_N$ ——发电机额定电压, V。

$$\delta_{stu} = \pm \frac{U_{stmax} - U_{stmin}}{2U_N} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $U_{stmax}, U_{stmin}$ ——负载在满载与空载之间变化时, 发电机端电压(有效值)的最大值和最小值, V;  
 $U_N$ ——发电机额定电压, V。



励磁系统电压响应比  $V_E$  和响应时间  $t_s$  的确定

$oa$ ——同步电机额定励磁电压, 即  $U_{IN}$ ;  $af$ ——顶值电压与额定励磁电压之差的 95%, 即  $af = (U_p - U_{IN}) \times 95\%$ ;

$og$ ——电压响应时间;  $oe = 0.5s$  或另有规定;  $o$ ——扰动(或强励)开始时间

4.17 电压调差率 quadrature current droop compensation

在无功补偿器投入、同步发电机在功率因数等于零的情况下, 无功功率从零变化到额定定子电流时, 发电机端电压的变化。用式(5)计算:

$$\delta_{QCC} = \frac{U_0 - U_Q}{U_N} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中:  $U_0$ ——空载电压, V;

$U_Q$ ——发电机在零功率因数下, 输出额定定子电流时的端电压, V;

$U_N$ ——额定电压, V。

4.18 瞬态电压调整率 transient voltage regulation

由于负载突然变化所产生的电压最大偏差与额定电压之比。

4.19 瞬态电压增加(超调) transient voltage overshoot

在额定转速和额定功率因数下突然甩掉额定负载后, 发电机端电压最大增加量与额定电压之比, 用式(6)表示:

$$\delta_{+dynu} = \frac{\hat{U}_{dynmax} - \hat{U}_N}{\hat{U}_N} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中： $\hat{U}_{\text{dynmax}}$ ——甩掉负载后的最大电压(峰值)，V；  
 $\hat{U}_N$ ——额定电压(峰值)，V。

#### 4.20 瞬态电压降 transient voltage drop

在额定转速、额定空载电压和正常励磁调节时，突然把发电机接到一对称的负载(负载应在额定电压下能承受额定电流，功率因数在 0.4~0 之间，滞后)所产生的电压降与额定电压之比，用式(7)表示：

$$\delta_{\text{-dynu}} = \frac{\hat{U}_{\text{dynmin}} - \hat{U}_N}{\hat{U}_N} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中： $\hat{U}_{\text{dynmin}}$ ——突加负载后的最小电压(峰值)，V；  
 $\hat{U}_N$ ——额定电压(峰值)，V。

#### 4.21 电压恢复时间 voltage recovery time

从扰动开始，到发电机端电压与稳态值之差不超过额定值的±3%(或另有规定)并维持在这一区域内所需时间的秒数。

### 5 使用条件

#### 5.1 工作场所

本标准所规定的励磁系统应安装在室内，移动电源可安装在有气候防护的场所。

#### 5.2 海拔

海拔不超过 1000m。

注：在海拔高于 1000m 的地方使用的励磁系统，应考虑介电性能的降低和空气冷却效果的减弱。因此用户应与制造厂协商。

#### 5.3 环境空气温度

- a. 户内环境空气温度为 -5~40℃；
- b. 户外环境空气温度为 -15~40℃；
- c. 环境空气温度的日平均值不超过 35℃。

注：① 如用于户内环境空气温度低于 -5℃ 但不低于 -10℃，或户外的环境空气温度低于 -15℃ 但不低于 -25℃ 时，用户应向制造厂申明。

② 如用于环境空气温度超过 40℃ 或低至 -40℃ 时，用户应与制造厂协商。

#### 5.4 空气相对湿度

使用地点最湿月的月平均最高相对湿度为 90%，同时该月的月平均最低温度不高于 25℃。

#### 5.5 环境

在空气清洁及无爆炸危险的环境中，并且周围空气中无足以腐蚀金属和破坏绝缘的气体及导电尘埃。

#### 5.6 其他

其他特殊使用条件由用户与制造厂协商确定。

### 6 励磁系统型式与灭磁方式

本标准适用的励磁系统型式有：直流励磁机励磁系统、交流励磁机励磁系统和静止励磁系统等三种。

#### 6.1 直流励磁机励磁系统

可分为他励直流励磁机励磁系统和并励直流励磁机励磁系统。

注：直流励磁机的拖动方式可采用与主发电机同轴或非同轴的方式。

#### 6.2 交流励磁机励磁系统

可分为交流励磁机-静止整流器励磁系统、交流励磁机-旋转整流器励磁系统(无刷励磁系统)和交流励磁机-静止可控整流器励磁系统。

### 6.3 静止励磁系统

可分为电压源-可控整流器励磁系统、复励-可控整流器励磁系统、相复励励磁系统和利用同步电机气隙磁场能量的励磁系统。

### 6.4 灭磁方式

励磁系统的灭磁方式有以下五种:

- a. 励磁绕组与放电器(线性电阻器、非线性电阻器、灭弧栅等)连接;
- b. 切除旋转励磁机的磁场;
- c. 同时切除旋转励磁机和同步发电机两者的磁场;
- d. 逆变灭磁;
- e. 低压小型同步发电机可采用续流灭磁或停机灭磁。

## 7 同步发电机励磁系统的性能要求

### 7.1 长期负载能力

当同步发电机的励磁电压和电流为发电机额定励磁电压和电流的 110% 时,励磁系统应保证连续运行。

### 7.2 顶值电压倍数

- a. 水轮发电机和汽轮发电机励磁系统一般不小于 1.6;
- b. 内燃发电机励磁系统一般不小于 1.5;
- c. 有特殊要求时,由用户与制造厂协商。

注:① 由同步发电机端经整流变压器供电的电压源-可控整流器励磁系统(除另有规定),应按发电机端电压正序分量为额定值的 80% 规定顶值电压倍数。

② 采用旋转励磁机的励磁系统,顶值电压倍数在额定转速时确定。

### 7.3 允许强励时间

允许强励时间应不小于 10s,但不大于 50s。

### 7.4 励磁系统电压响应比

直流励磁机励磁系统一般规定为 0.5~1.0/s,高起始响应励磁系统按响应时间评价。

### 7.5 整流过电压

当励磁电流达到额定励磁电流的 110% 时,加到励磁绕组两端的整流电压的最大瞬时值,应不大于 7.18 条所规定试验电压峰值的 30%。

### 7.6 运行过电压

励磁系统应考虑可能发生的发电机转子励磁回路过电压,并应保证在任何可能的工况下,磁场绕组出线端的电压瞬时值不大于 7.18 条所规定试验电压峰值的 65%。

### 7.7 控制电压偏差

当励磁系统控制用的直流和交流电压偏差不超过 +10%~-15%、频率偏差不超过 +2~-3Hz 时,励磁系统应保证同步发电机正常运行的要求。

### 7.8 空载电压整定范围

7.8.1 需并联运行的水轮发电机和汽轮发电机,应保证在 80%~110% 空载电压范围内稳定平滑调节。

7.8.2 内燃发电机及其他只作孤立运行的同步发电机,应保证在 95%~105% 空载电压范围内稳定平滑调节。

### 7.9 稳态电压调整率的选用

稳态电压调整率规定为 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 2.5\%$ 、 $\pm 5.0\%$ 三种,各种励磁系统所选用的数值应在其标准中作出规定。

#### 7.10 瞬态电压调整率及电压恢复时间

7.10.1 低压同步发电机的突甩额定负载时的瞬态电压增加(超调)规定为 $20\%$ 、 $25\%$ 、 $35\%$ 三种。

7.10.2 低压同步发电机在突加额定无功负载时瞬态电压降规定为 $-16\%$ 、 $-22\%$ 、 $-32\%$ 三种。

7.10.3 负载突变后的电压恢复时间与7.10.1和7.10.2条所规定的三种瞬态电压增加或降低相对应,应不大于 $1.5$ 、 $1.5$ 、 $2.5$ s。

7.10.4 高压同步发电机在空载情况下且阶跃响应为 $\pm 10\%$ 时,其超调量应不大于阶跃量的 $50\%$ 。

#### 7.11 并联运行

7.11.1 除非另有规定, $100\text{kW}$ 及以上的同步发电机均应考虑并联运行。励磁系统应采取措施,保证稳定并联运行和无功功率合理分配。

7.11.2 需要与其他电源或不同功率、型号、规格的机组并联运行时,励磁系统应保证同步发电机电压调整率在下列范围内可进行调整:

- a. 半导体型调节器为 $\pm 10\%$ ;
- b. 电磁型调节器为 $\pm 5\%$ 。

7.11.3  $100\text{kW}$ 以下的同步发电机有并联要求时,用户需向制造厂申明。

#### 7.12 端电压随频率的变化

自动电压调节器应保证发电机在空载运行状态下频率变化 $\pm 1\%$ 时,同步发电机端电压变化不应大于下列数值:

- a. 半导体型调节器 $\pm 0.5\%$ ;
- b. 电磁型调节器 $\pm 3\%$ 。

#### 7.13 零起建压

当同步发电机在额定转速下起励建立空载额定电压时,电压调节器应保证:

- a. 调节时间不大于 $5$ s;
- b. 端电压摆动次数不大于 $5$ 次;
- c. 端电压超调量对高压同步发电机为不超过额定值的 $15\%$ ;对低压同步发电机为不超过7.10.1条所规定的数值。

注:调节时间为从给定建压信号到发电机端电压与稳态值之差超过额定值的 $\pm 3\%$ 时所需时间的秒数。

#### 7.14 手动控制单元

励磁系统可设手动控制单元,该单元应保证同步发电机励磁电压从空载励磁电压的 $40\%$ 到额定励磁电压的 $110\%$ 范围内稳定地平滑调节。

#### 7.15 噪声

强迫冷却的励磁设备(不包括旋转励磁机),单柜的噪声值(声功率级)应不大于 $80\text{dB(A)}$ 。

注:旋转电机应符合相应标准的要求。

#### 7.16 附加控制单元

根据用户需要,励磁系统可以装设:

- a. 远距离给定及其控制单元;
- b. 磁场过电流限制器;
- c. 磁场欠电流限制器;
- d. 其他附加单元。

#### 7.17 灭磁

除采用停机灭磁的小型同步发电机励磁系统外,其他励磁系统应具有灭磁能力,并保证能可靠地灭磁。

### 7.18 耐电压试验

励磁系统各电气回路应能承受耐电压试验而绝缘不受损坏。

与磁场绕组直接或经整流器相连的电气回路(旋转电机除外),当同步电机额定励磁电压为 500V 及以下时,试验电压为 10 倍额定励磁电压,但不小于 1500V。不与磁场绕组直接相连的电气回路,当额定电压为 60V 及以下时,试验电压为 1000V;大于 60V 时为 2 倍额定电压加 1000V,但不小于 1500V。

工地验收试验电压为规定试验电压的 75%;允许重复的及维修后的试验电压为规定试验电压的 65%。

试验电压为工频交流正弦波有效值,其波形尽可能接近正弦波,试验时间为 60s。

印刷线路板、电子设备的试验,按相应标准的规定。

### 7.19 接地端子

自成一体的励磁系统的金属体应设有接地端子,并用符号  $\equiv$  作出明显的标志。接地端子不能作其他用途。

## 8 同步电动机励磁系统的性能要求

### 8.1 励磁系统输出能力

励磁系统应保证在额定输出电压的 40%~100% 范围内,能输出额定电流并连续运行。

### 8.2 按转差率投全电压

当同步发电机采用降压起动时,励磁系统应具有自动投全电压的控制环节,并在转差率为 0.11~0.09 时投全电压。

### 8.3 按转差率投励磁

励磁系统应保证在转子转差率为 0.05~0.03 时,能实现顺极性主励投励,投励时应能输出顶值电压。

注:顺极性主励投励是指励磁电流与电机磁场绕组中感应电流的方向一致时投励磁。

### 8.4 恒流调节励磁偏差

当电网电压为额定值的 80%~110%、磁场绕组热态电阻增加不大于额定电阻值的 10% 时,应能保证恒流励磁调节偏差不大于  $\pm 5\%$ 。

### 8.5 恒无功功率励磁调节偏差

当同步电动机采用恒无功功率调节、负载从空载到两倍额定负载范围内变动时,应能保证同步电动机无功功率的变化不大于  $\pm 10\%$ 。

### 8.6 输出电压可调范围

励磁系统输出电压应能保证在额定值的 10%~125% 范围内平滑可调。

### 8.7 过流和欠流保护整定范围

励磁系统应具有过流和欠流保护。过流保护的整定范围为额定值的 80%~170%,欠流保护的整定范围为额定值的 20%~50%。

### 8.8 控制电压偏差

当控制电压偏差不超过  $+10\% \sim -15\%$  时,励磁系统应能可靠地工作。

### 8.9 顶值电压倍数

当电网电压为额定值的 80% 时,励磁系统应能保证顶值电压倍数不小于 1.4。

### 8.10 允许强励时间

允许强励时间为不超过 50s。

### 8.11 动力制动控制环节

当采用恒无功功率调节方式时,应设有供动力制动用的控制环节。

### 8.12 承受过电压能力

磁场绕组并联一不大于 10 倍转子电阻的起动电阻时,励磁系统应能承受同步电动机起动及失步过程中产生的过电压。

### 8.13 起动保护

同步电动机异步起动时,如过早投励或起动完毕后不投励,励磁系统应能自动跳闸停机。

### 8.14 失步保护

同步电动机产生失步时,励磁系统应能立即切除直流输出电压,并使同步电动机联锁停机。

注:对于带有失步再整步环节的励磁系统,如再整步失败,也应立即切除直流输出电压,并使同步电动机联锁停机。

### 8.15 噪声

同 7.15 条。

### 8.16 灭磁

励磁系统应有灭磁装置,并保证能可靠地灭磁。

### 8.17 耐电压试验

同 7.18 条。

### 8.18 接地端子

同 7.19 条。

## 9 励磁系统的成套性

### 9.1 成套励磁系统应包括的装置与设备:

- a. 励磁机;
- b. 把电能引入励磁系统的开关设备(同步发电机励磁系统不包括整流变压器一次侧开关);
- c. 灭磁设备;
- d. 励磁系统的冷却装置;
- e. 励磁调节及控制设备(不包括直接测量定子电压、电流的互感器);
- f. 用户与制造厂商定的其他设备。

注:根据订货要求确定供货范围。

### 9.2 备品、备件

对易损坏的元器件,制造厂应提供必要的备品备件。

### 9.3 随机文件

- a. 产品合格证;
- b. 安装、使用、维护及原理说明书;
- c. 单柜及柜间接线图、原理接线图;
- d. 其他安装使用维护所必需的技术资料;
- e. 装箱清单。

## 10 励磁系统的试验

### 10.1 出厂试验

励磁系统应进行出厂试验,合格后才能出厂。出厂试验项目如下:

同步发电机励磁系统:

- a. 耐电压试验的;
- b. 操作、保护和控制回路动作试验;
- c. 励磁系统开环试验,并初步整定自动电压调节器各工作点;
- d. 用户与制造厂商定的其他项目。

同步电动机励磁系统:



- a. 耐电压试验；
- b. 操作、保护和控制回路动作试验；
- c. 输出电压可调范围的检验；
- d. 按转差率投励磁试验；
- e. 按转差率自动投全电压试验；
- f. 过早投励和起动完毕不投励时，励磁系统自动跳闸停机试验；
- g. 用户与制造厂商定的其他项目。

## 10.2 型式试验

凡遇下列情况之一者，励磁系统应进行型式试验：

- a. 新试制的励磁设备；
- b. 已定型的励磁设备，当工艺或关键元器件(或材料)更改有可能影响产品性能时，需进行有关的型式试验项目。

同步发电机励磁系统的型式试验项目如下：

- a. 励磁系统顶值电压倍数、响应比及响应时间的测定；
- b. 同步发电机端电压整定范围的测定；
- c. 稳态电压调整率的测定；
- d. 电压调差率的测定；
- e. 手动控制单元调整范围的测定；
- f. 突加和突甩负载试验；
- g. 自动/手动切换试验；
- h. 建立额定电压试验；
- i. 控制用直流、交流电压、频率在规定范围内变化时，励磁系统操作及运行可靠性的检验；
- j. 灭磁试验；
- k. 整流设备额定电流试验；
- l. 励磁设备噪声的测定；
- m. 最高和最低环境温度试验；
- n. 试运行试验；
- o. 全部出厂试验项目。

同步电动机励磁系统的型式试验项目如下：

- a. 励磁控制系统调节偏差的测定(恒流或恒无功功率调节方式)；
- b. 励磁系统顶值电压倍数的测定；
- c. 励磁系统过励和欠励整定范围的测定；
- d. 控制电压在规定范围内变化时，励磁系统操作及运行可靠性的检验；
- e. 灭磁试验；
- f. 整流设备额定电流试验；
- g. 励磁设备噪声的测定；
- h. 最高和最低环境温度试验；
- i. 试运行试验；
- j. 全部出厂试验项目。

## 11 标志、包装、运输和贮存

### 11.1 铭牌

自成一体的励磁系统应具有铭牌，制造铭牌的材料及刻划方法应能保证其字迹在设备的整个使用

时期内不易磨灭。铭牌上应表明的项目如下：

- a. 制造厂名称；
- b. 设备名称；
- c. 设备型号；
- d. 技术标准代号；
- e. 额定输出电压，V；
- f. 额定输出电流，A；
- g. 操作控制电压：交流(A. C.)，直流(D. C.)，V；
- h. 出厂编号；
- i. 出厂时间：年月。

### 11.2 包装

励磁设备应按有关标准要求进行包装，保证包装质量。包装保证时间为从出厂之日起不超过六个月。

### 11.3 运输

除非另有规定，运输过程中的温度为 $-25\sim 55^{\circ}\text{C}$ 之间。

### 11.4 贮存

励磁设备应贮存在库房内，并要求贮存环境符合5.3, 5.4, 5.5条的规定。长期存放时应按产品标准的要求进行维护。

## 12 批量生产和质量保证期

### 12.1 批量生产

励磁系统必须经过型式试验和鉴定后方可进行批量生产。

### 12.2 质量保证期

保证期应在相应的标准或订货协议中规定。

---

### 附加说明：

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会提出并归口。

本标准由天津电气传动设计研究所和上海电器科学研究所负责起草。