

ICS 29. 160. 40

K 55

# SL

## 中华人民共和国水利行业标准

SL 774—2019

### 小型水轮发电机励磁系统技术条件

Specifications for excitation systems of  
small hydraulic generators

2019-02-11 发布

2019-05-11 实施



中华人民共和国水利部 发布



中华人民共和国水利部

关于批准发布《中小河流水能开发规划编制规程》等  
3项水利行业标准的公告

2019年第1号

中华人民共和国水利部批准《中小河流水能开发规划编制规程》(SL 221—2019)等3项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	中小河流水能开发规划编制规程	SL 221—2019	SL 221—2009	2019. 2. 11	2019. 5. 11
2	大中型喷灌机应用技术规范	SL 280—2019	SL 280—2003 SL 295—2004	2019. 2. 11	2019. 5. 11
3	小型水轮发电机组磁系统技术条件	SL 774—2019		2019. 2. 11	2019. 5. 11

水利部

2019年2月11日

## 目 次

前言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 使用条件 .....	2
4.1 使用环境 .....	2
4.2 振动 .....	2
4.3 海拔 .....	2
4.4 供电要求 .....	2
4.5 安装倾斜度 .....	2
5 技术要求 .....	2
5.1 基本要求 .....	2
5.2 静止励磁系统 .....	3
5.3 无刷励磁系统 .....	5
6 试验及验收 .....	6
6.1 试验 .....	6
6.2 验收 .....	7
7 技术文件 .....	7
8 铭牌、包装、运输及贮存 .....	7
9 质保期 .....	8

## 前 言

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

本标准共9章，主要技术内容包括：

- 使用条件；
- 技术要求：
  - 试验及验收；
  - 技术文件；
- 铭牌、包装、运输及贮存；
- 质保期。

本标准全文推荐。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部农村水利水电司

本标准解释单位：水利部农村水利水电司

本标准主编单位：水利部农村电气化研究所

本标准参编单位：水利部机电研究所

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：熊杰 王晓罡 周丽娜 郭江 张志华 胡长硕 徐立尉

本标准审查会议技术负责人：徐洪泉

本标准体例格式审查人：于爱华

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

## 小型水轮发电机励磁系统技术条件

### 1 范围

本标准规定了小型水轮发电机励磁系统及其装置的基本技术要求、试验及验收、技术文件等。  
本标准适用于单机容量为 10MW 以下的小型水轮发电机的静止励磁系统和无刷励磁系统。

### 2 规范性引用文件

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

- GB/T 191—2008 包装储运图示标志 (ISO 780: 1997, MOD)
- GB 1094.1—2013 电力变压器 第 1 部分: 总则 (IEC 60076-1: 2011, MOD)
- GB 1094.2—2013 电力变压器 第 2 部分: 液浸式变压器的温升 (IEC 60076-2: 2011, MOD)
- GB 1094.3—2013 电力变压器 第 3 部分: 绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙 (IEC 60076-3: 2000, MOD)
- GB 1094.11—2007 电力变压器 第 11 部分: 干式变压器 (IEC 60076-11: 2004, MOD)
- GB/T 2900.25—2008 电工术语 旋转电机 (IEC 60050-411: 1996, IDT)
- GB/T 3797 电气控制设备
- GB/T 7409.1—2008 同步电机励磁系统 定义 (IEC 60034-16-1: 1991, MOD)
- GB/T 7409.2—2008 同步电机励磁系统 电力系统研究用模型 (IEC 60034-16-2: 1991, MOD)
- GB 10585 中小型同步电机励磁系统基本技术要求
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 18494.1—2014 交流变压器 第 1 部分: 工业用交流变压器 (IEC 61378-1: 2011, IDT)
- GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- DL/T 294.1 发电机灭磁及转子过电压保护装置技术条件 第 1 部分: 磁场断路器
- DL/T 294.2 发电机灭磁及转子过电压保护装置技术条件 第 2 部分: 非线性电阻

### 3 术语和定义

GB/T 2900.25、GB/T 7409.1、GB/T 7409.2 和 GB 10585 界定的以及下列术语适用于本标准。

#### 3.1

**静止励磁系统** static rectified excitation system

用静止晶闸管整流器将来自交流电源整流成直流，供给同步发电机可调励磁电流的系统及装置。包括励磁变压器、功率整流单元、励磁调节器、起励、灭磁、保护、监视装置和仪表等。

#### 3.2

**无刷励磁机** brushless exciter

装有旋转整流器的转枢式交流发电机，旋转整流器与发电机励磁绕组相连接。

#### 3.3

**无刷励磁调节器** brushless excitation regulator

提供无刷励磁机磁场电流的控制箱，包括调节单元、控制单元、起励单元、功率单元、灭磁单元、保护单元及其他辅助单元。

### 3.4

#### 发电机副绕组 second winding of generator

提供励磁系统功率电源的一个绕组，与发电机定子绕组安装在同一个铁芯上，产生与定子绕组同频率的交流电压。

### 4 使用条件

#### 4.1 使用环境

最高环境温度不超过 $+40^{\circ}\text{C}$ ，最低温度不低于 $-10^{\circ}\text{C}$ ，且24h内的平均温度不超过 $+35^{\circ}\text{C}$ 。运行地点的最湿月月平均最高相对湿度不超过95%，无凝露，同时该月月平均最低温度不高于 $25^{\circ}\text{C}$ 。

应在清洁和无爆炸危险的环境中使用，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。

#### 4.2 振动

装置安装地点所允许的振动条件：当振动频率范围为 $10\sim 150\text{Hz}$ 时，振动加速度不大于 $5\text{m/s}^2$ 。

#### 4.3 海拔

使用地点的海拔不宜超过2000m。

当使用地点海拔超过2000m时，应考虑因海拔升高产生介电性能的降低和空气冷却效果的减弱对励磁系统的影响。

#### 4.4 供电要求

在下述供电电源电压及频率偏差范围内，励磁系统应能保证发电机在额定工况下长期连续稳定运行：

- a) 交流380/220V系统，电压允许偏差为额定值的 $\pm 20\%$ ，频率允许偏差为额定值的 $\pm 20\%$ ；
- b) 直流220/110V系统，电压允许偏差为额定值的 $-20\%\sim +15\%$ 。

#### 4.5 安装倾斜度

对于垂直安装的装置，安装倾斜度不得超过5%。

### 5 技术要求

#### 5.1 基本要求

5.1.1 当水轮发电机的励磁电压和电流不超过其额定励磁电压和电流的1.1倍时，励磁系统应能连续运行。

5.1.2 励磁系统顶值电压倍数宜为1.4~1.8，励磁系统顶值电流倍数应与励磁系统顶值电压倍数相同。

5.1.3 励磁系统允许强励时间应不小于10s，但不大于20s。

5.1.4 无刷励磁系统的响应比应为 $0.5\sim 1.0\text{s}^{-1}$ 。

5.1.5 静止励磁系统响应时间应不大于0.1s。

5.1.6 自动电压调节器应保证能在发电机空载额定电压的70%~110%内进行稳定、平滑地调节。

5.1.7 励磁系统的手动控制单元，应保证同步发电机励磁电流能在空载励磁电流的20%到额定励磁电流的110%内稳定、平滑地调节。

5.1.8 同步发电机在空载运行状态下，自动电压调节器和手动控制单元的给定电压变化速度应在发

电机额定电压的 0.3%~1.0%。

5.1.9 励磁系统应能保证发电机电压调差率整定范围在±15%内。

5.1.10 励磁系统应保证发电机机端电压静差率在±1%内。

5.1.11 励磁系统应保证在发电机空载运行情况下，频率值每变化1%时，发电机电压的变化值应在额定值的±0.25%内。

5.1.12 当发电机电压给定阶跃量为±10%时，发电机电压超调量应不大于阶跃量的50%，振荡次数应不超过5次，调节时间应不超过10s。

5.1.13 当发电机100%电压起励时，自动电压调节器应保证其端电压超调量不超过额定值的15%，电压振荡次数应不超过5次，调节时间应不超过10s。

5.1.14 在额定功率因数下，当发电机突然甩掉额定负载后，发电机电压超调量应不大于额定值的15%，振荡次数应不超过5次，调节时间应不大于10s。

5.1.15 励磁系统应能可靠起励。起励方式包括残压起励、交流起励和直流起励。起励电流宜控制在空载励磁电流的20%以下。

5.1.16 调节单元宜采用微机励磁调节器，且满足下列要求：

- a) 应具有自动电压调节(AVR)功能和手动励磁调节(FCR)功能。
- b) 应具有恒无功和恒功率因数调节功能。
- c) 应能按设定的机端电压和励磁电流起励，宜能跟踪系统(母线)电压起励。
- d) 应具有友好的人机界面。
- e) 应设有远方控制接口，与电站自动化系统连接。
- f) 宜设有通信接口与上位计算机进行通信。
- g) 应采用标准的通信协议传输信息。

5.1.17 励磁调节器应具备以下功能：

- a) 无功电流补偿(调差)。
- b) 强励反时限限制。
- c) 电压/频率限制(V/Hz)。
- d) 欠励限制。
- e) 过无功限制。
- f) 电压互感器断线保护。
- g) 发电机空载过电压保护。

5.1.18 励磁系统屏柜噪声在离柜1m处应不大于80dB(A)。

## 5.2 静止励磁系统

### 5.2.1 功率装置

5.2.1.1 功率整流器满足下列要求：

- a) 发电机励磁系统宜采用三相全控桥式整流器。
- b) 功率整流器冷却方式可为自然冷却方式(含热管散热方式)、强迫风冷方式。
- c) 功率整流器应设置保护及报警装置，包括功率元件换相过电压保护器、功率元件快速熔断器、功率元件故障、脉冲故障报警以及风机故障报警装置，宜配置交流侧阳极过电压吸收和保护器、直流侧过电压吸收和保护器等。
- d) 功率元件反向重复峰值电压应不低于2.5倍励磁变压器二次额定电压幅值。
- e) 并联运行的支路数冗余度可按照不小于N+1的模式配置。在N模式下应保证发电机所有工况的运行。在发电机额定励磁电流情况下，均流系数不低于0.85。



- f) 当励磁电流小于 1.1 倍额定值时, 励磁绕组两端所加的整流电压最大瞬时值应不大于规定的励磁绕组出厂试验电压幅值的 30%。

注:  $N$  指并行运行的支路数。

5.2.1.2 快速熔断器正常工况下应能保护晶闸管的安全, 在整流器输出短路等极端工况下应能有效分断故障电流以防止故障进一步扩大, 并满足下列要求:

- a) 标称电压可按照 1.2 倍过压工况的有效值选取。
- b) 标称电流应满足强迫工况时其负载电流的方均根值不大于晶闸管标称电流所对应允许的方均根值, 并留有一定的裕度, 且其分断能力应满足分断短路电流的能力。

5.2.1.3 脉冲变压器满足下列要求:

- a) 容量应满足对应功率器件的强触发功率要求, 输出脉冲形状不应畸变和产生振荡。
- b) 输出绕组介电强度应符合功率单元一次回路要求。

## 5.2.2 灭磁装置

5.2.2.1 励磁系统励磁绕组回路应装设灭磁装置。

5.2.2.2 励磁系统灭磁方式包括线性电阻开关灭磁、非线性电阻开关灭磁、逆变灭磁和续流灭磁等。正常停机宜采用逆变灭磁方式, 事故停机宜采用电阻开关灭磁。

5.2.2.3 其他技术要求应满足 DL/T 294.1、DL/T 294.2 的要求。

## 5.2.3 转子过电压保护装置

5.2.3.1 转子过电压保护装置宜由非线性电阻、晶闸管跨接器组成。

5.2.3.2 转子过电压保护装置动作应可靠, 并能自动恢复, 采用的元件容量应有足够的裕度。

5.2.3.3 在任何运行情况下, 应保证励磁绕组两端过电压时的瞬时值不超过出厂试验时其对地耐压试验电压幅值的 70%。

## 5.2.4 起励装置

5.2.4.1 起励电源可采用厂用直流电源或厂用交流电源。

5.2.4.2 起励装置应具有起励失败报警功能以及手动和自动投切功能。

5.2.4.3 当采用直流起励方式时, 输出应装设二极管。

## 5.2.5 励磁变压器

5.2.5.1 安装在户内时, 应采用干式变压器, 在户外可采用油浸式变压器, 高、低压绕组之间宜有可靠接地的静电屏蔽层。

5.2.5.2 干式变压器绝缘耐热等级应采用 B 级及以上。

5.2.5.3 三相电压不对称度不应大于 5%。

5.2.5.4 应满足励磁系统长期运行和强迫工况要求。

5.2.5.5 容量应按照 GB/T 18494.1 考虑整流器产生的特征及非特征谐波损耗使变压器产生附加发热的影响。

5.2.5.6 短路阻抗宜在 4%~10% 内。

5.2.5.7 其他技术要求应满足 GB/T 18494.1、GB 1094.1~3、GB 1094.11 的要求。

## 5.2.6 绝缘及耐压试验

5.2.6.1 与发电机励磁绕组直接连接或经整流器相连接的电气组件, 当额定励磁电压小于等于 500V 时, 其出厂试验电压值应为 10 倍额定励磁电压, 最低不小于 1500V。

- 5.2.6.2 现场交接试验电压为出厂试验电压的 70%，应执行 GB 50150 规定。
- 5.2.6.3 试验电压以波形畸变系数不大于 5% 的工频交流正弦波电压有效值计，耐电压时间为 1min。
- 5.2.6.4 对其余不与励磁绕组直接连接的电气与电子组件的要求应按照 GB/T 3797 的规定执行。
- 5.2.7 温升限值

当同步发电机的励磁电压和电流不超过其额定励磁电压和电流的 1.1 倍时，励磁系统各部位的温升不应超过表 1 中的温升限值。

表 1 励磁系统各部位的温升限值

各 部 位 名 称		温升限值/K	
		干式	湿式
变压器		30	65
铜母线及连接处	铜线		25
	连接处	无保护层	45
		有锡青铜保护层	55
		有银保护层	70
铝母线及连接处	铝线	25	
电阻元件	连接处		30
	距外表面 30mm 处的空气		25
	电路板上的电阻表面		30
	绝缘导线		20
	功率整流元件（与散热器接合处）		45
	晶闸管（与散热器接合处）		40
	励磁器连接处		45

### 5.3 无刷励磁系统

#### 5.3.1 励磁电源

励磁电源可取自励磁变压器、副励磁机或发电机副绕组，低压机组亦可直接取用发电机机端电源。

#### 5.3.2 功率整流器

5.3.2.1 功率整流元件可为晶闸管（SCR），亦可为绝缘栅门极晶体管（IGBT）。

5.3.2.2 冷却方式应采用自然空气冷却。

5.3.2.3 应设置保护，包括交流侧过电压吸收和保护器、直流侧过电压吸收和保护器、功率元件换相过电压保护器、功率元件快速熔断器。

#### 5.3.3 灭磁装置

5.3.3.1 宜采用逆变灭磁或续流灭磁。

5.3.3.2 对于没有装设灭磁开关的无刷励磁调节器，在其技术文件中应明确说明。

#### 5.3.4 无刷励磁机

5.3.4.1 在主发电机全工况条件下，无刷励磁机应能保证长期连续运行。

5.3.4.2 旋转硅整流二极管应选用具有良好机械性能、能承受高速旋转离心力的专用型旋转硅整流二极管。旋转硅整流二极管的反向重复峰值电压（VRRM）应不小于2000V。

5.3.4.3 交流励磁机为旋转电枢式三相同步发电机，其输出功率应能满足主发电机对励磁功率的要求（包括强励工况下的励磁功率）。

### 5.3.5 绝缘及耐压试验

5.3.5.1 试验时无刷励磁机的整流环与励磁机电枢可一起进行耐电压试验，但需与同步发电机励磁绕组分开进行，且整流器两端子正负两端预先短接。

5.3.5.2 与发电机励磁绕组直接连接或经整流器相连接的电气组件，当额定励磁电压等于或小于500V时，其出厂试验电压值为10倍额定励磁电压，最低不小于1500V。

5.3.5.3 现场交接试验电压为出厂试验电压，应执行GB 50150规定。

5.3.5.4 试验电压以波形畸变系数不大于5%的工频交流正弦波电压有效值计，耐压时间为1min。

5.3.5.5 对其余不与励磁绕组直接连接的电气与电子组件的要求应按照GB/T 3797的规定执行。

### 5.3.6 温升限值

当同步发电机的励磁电压和电流不超过其额定励磁电压和电流的1.1倍时，无刷励磁系统各部位的温升不应超过表2中的温升限值。

表2 无刷交流励磁机各部位的温升限值

各部位名称	温升限值/K	各部位名称	温升限值/K
电枢绕组	85	二极管与引线接合处	80
励磁绕组	90	熔断器与散热器或引线接合处	45
二极管与散热器接合处	45		

## 6 试验及验收

### 6.1 试验

6.1.1 试验分为型式试验、出厂试验与现场试验。

6.1.2 所有试验均应有试验记录。

6.1.3 试验项目应符合表3的规定，出厂试验和现场试验项目可由制造厂与用户协商后确定。

表3 试验项目

序号	试验项目	型式试验	出厂试验	现场试验
1	励磁系统各部件的介电强度试验	√	√	√
2	自动电压调节器各单元及附加单元静态特性试验以及总体静态特性试验	√	√	√
3	操作控制回路动作试验	√	√	√
4	励磁系统各部件温升试验	√	—	—
5	功率晶体管均流试验	√	√	√
6	噪声声测定	√	—	—
7	用模拟方法检验保护及监视装置	√	√	√
8	自动电压调节器电压整定范围的测定	√	√	√
9	手动励磁调节器整定范围的测定	√	√	√

表3 试验项目(续)

序号	试验项目	型式试验	出厂试验	现场试验
10	静共率的测定	√	—	√**
11	调共的测定	√	—	√*
12	自动电压调节/手动励磁调节切换试验	√	√	√*
13	转子过电压保护装置试验	√	√	—
14	灭磁试验	√	—	√*
15	阻负荷试验	√	—	√*
16	发电机空载状态下,电压阶跃响应试验	√	—	√*
17	励磁变压器试验	√	√	√
18	交流励磁机和永磁励磁机试验	√	—	√
19	带自动电压调节器的同步发电机效率变化1%时,端电压变化率的测定	√	—	√*
20	检测各附加单元稳定与动作正确性	√	√	√*
21	起励试验	√	—	√*
22	励磁系统顶值电压、响应时间与电压响应时间的测定	—	—	√**
23	励磁系统环境和电磁兼容性试验	√	—	—

注1:“\*”表示交接试验;“\*\*”表示特殊试验,有需要时协商确定。  
注2:“√”表示需进行的试验项目;“—”表示不需要进行的试验项目。

## 6.2 验收

6.2.1 励磁系统及其装置在交货前,应进行出厂验收。

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。

6.2.3 励磁系统及装置经现场安装、调整、试验完毕,并连续运行72h试运行合格后,应对其进行投产前的现场交接验收。

## 7 技术文件

7.1 产品说明书,主要包含产品原理、安装、使用及维护等内容。

7.2 图纸,主要包括产品原理图、外形图、安装图、配线图、接线图。

7.3 出厂记录,主要包括装箱单、产品出厂检查试验记录报告、产品出厂合格证明书、主要部件(含外购件)的检查试验记录、交货明细表。

## 8 铭牌、包装、运输及贮存

8.1 每台产品应在适当的明显位置固定产品铭牌,其主要内容如下:

- 产品名称。
- 产品型号。
- 额定输出电压, V。
- 额定输出电流, A。
- 操作控制电压,交流(AC) V,直流(DC) V。
- 出厂编号。
- 制造日期。
- 制造厂名。

8.2 励磁系统的包装、运输、贮存应符合 GB/T 191 和 GB/T 13384 的相关规定。

- 8.3 产品包装应按合同要求及运输方式采取防雨、防潮、防霉、防尘、防振以及防盐雾等措施。
- 8.4 产品运输及装卸过程应按包装箱上的标志及有关规则进行。供方发运的件数、箱数、标志、发运时间、车次等应在发运的同时通知收货单位。
- 8.5 贮存产品的库房室内要求如下：
- a) 环境温度为 $-5\sim 140^{\circ}\text{C}$ 。
  - b) 相对湿度不大于90%。
  - c) 室内无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体和强电磁场作用。
  - d) 不受灰尘、雨蚀的库房内。
- 8.6 自到货之日起，供方应保证在正常贮存条件和不损坏包装的情况下，1年内产品不发生锈蚀等问题。

## 9 质保期

在遵守保管、安装和发电规则的条件下，产品质保期为自供方发货之日起2年或产品投入运行1年，以先到为准。

质保期内因质量问题而产生损坏或不正常工作时，供方应无偿地为用户更换或修理。

## 水利水电技术标准咨询服务中心 简介

### 中国水利水电出版社标准化出版分社

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

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

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

主 任：王德鸿 010-68545951 电子邮件：wdh@waterpub.com.cn

副 主 任：陈 昊 010-68545981 电子邮件：hero@waterpub.com.cn

主任助理：王 启 010-68545982 电子邮件：wqi@waterpub.com.cn

责任编辑：王丹阳 010-68545974 电子邮件：wdy@waterpub.com.cn

章思洁 010-68545995 电子邮件：zsj@waterpub.com.cn

覃 薇 010-68545889 电子邮件：qwei@waterpub.com.cn

刘媛媛 010-68545948 电子邮件：lyuan@waterpub.com.cn

赵 智 010-68545622 电子邮件：zz@waterpub.com.cn

李今今 010-68545613 电子邮件：ljj@waterpub.com.cn

传 真：010-68317913