



UNITED NATIONS  
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



# 小水电技术导则 机组

## 第2部分：水轮发电机

SHP/TG 003-2: 2019



## 免责声明

本导则未经联合国正式编辑。本导则内采用的名称和资料并不代表联合国工业发展组织的秘书处关于各国、领土、城市、地区或其当局的合法地位，以及关于国土、边界的界定、或对经济体系及其发展程度等问题的任何意见和立场。例如“发达的”、“工业化的”和“发展中”等一类词汇只为方便统计，未必表示一个国家或者地区的真实发展程度。本导则中提及的公司名称或者商业产品并非联合国工业发展组织为其代言。本导则尽可能保持内容的准确性，但联合国工业发展组织及其成员国均不对使用本导则可能产生的结果承担任何责任。本导则可被自由引用或转载，但需注明出处。

© 2019 UNIDO/INSHP – 版权所有

# 小水电技术导则 机组

## 第 2 部分：水轮发电机

## 鸣谢

本导则是联合国工业发展组织（UNIDO）和国际小水电联合会（INSHP）共同合作努力的成果，约 80 名国际专家和 40 家国际机构参与了导则的编制、同行审查，并提出了具体意见和建议，使导则更具实用性和专业性。

UNIDO 和 INSHP 非常感谢许多机构在制定本导则期间作出的贡献，特别是以下国际组织：

——东南部非洲共同市场（COMESA）

——全球区域可持续能源中心网（GN-SEC），特别是西非国家经济共同体可再生能源和能源效率中心（ECREEE）、东非可再生能源和能源效率中心（EACREE）、太平洋可再生能源和能源效率中心（PCREEE）和加勒比可再生能源和能源效率中心（CCREEE）。

中国政府推动了本导则的最终定稿，对其完成具有重要意义。

以下人士为编制本导则作出了贡献，包括有价值的投入、审查和提供建设性意见：Mr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Mr. Adoyi John Ochigbo, Mr. Arun Kumar, Mr. Atul Sarthak, Mr. Bassey Edet Nkposong, Mr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Ms. Chang Fangyuan, Mr. Chen Changju, Ms. Chen Hongying, Mr. Chen Xiaodong, Ms. Chen Yan, Ms. Chen Yueqing, Ms. Cheng Xialei, Ms. Chileshe Kapaya Matantilo, Ms. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Mr. Deogratias Kamweya, Mr. Dolwin Khan, Mr. Dong Guofeng, Mr. Ejaz Hussain Butt, Ms. Eva Kremere, Ms. Fang Lin, Mr. Fu Liangliang, Mr. Garaio Donald Gafiye, Mr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Mr. Guo Chenguang, Mr. Guo Hongyou, Mr. Harold John Annegam, Ms. Hou ling, Mr. Hu Jianwei, Ms. Hu Xiaobo, Mr. Hu Yunchu, Mr. Huang Haiyang, Mr. Huang Zhengmin, Ms. Januka Gyawali, Mr. Jiang Songkun, Mr. K. M. Dharesan Unnithan, Mr. Kipyego Cheluget, Mr. Kolade Esan, Mr. Lamyser Castellanos Rigoberto, Mr. Li Zhiwu, Ms. Li Hui, Mr. Li Xiaoyong, Ms. Li Jingjing, Ms. Li Sa, Mr. Li Zhenggui, Ms. Liang Hong, Mr. Liang Yong, Mr. Lin Xuxin, Mr. Liu Deyou, Mr. Liu Heng, Mr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Ms. Lu Xiaoyan, Mr. Lv Jianping, Mr. Manuel Mattiat, Mr. Martin Lugmayr, Mr. Mohamedain Seif Elnasr, Mr. Mundia Simainga, Mr. Mukayi Musarurwa, Mr. Olumide TaiwoAlade, Mr. Ou Chuanqi, Ms. Pan Meiting, Mr. Pan Weiping, Mr. Ralf Steffen Kaeser, Mr. Rudolf Hüpfel, Mr. Rui Jun, Mr. Rao Dayi, Mr. Sandeep Kher, Mr. Sergio Armando Trelles Jasso, Mr. Sindiso Ngwenga, Mr. Sidney Kilmete, Ms. Sitraka Zarasoa Rakotomahefa, Mr. Shang Zhihong, Mr. Shen Cunke, Mr. Shi Rongqing, Ms. Sanja Komadina, Mr. Tareqemtairah, Mr. Tokihiko Fujimoto, Mr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Mr. Tan Xiangqing, Mr. Tong Leyi, Mr. Wang Xinliang, Mr. Wang Fuyun, Mr. Wei Jianghui, Mr. WU Cong, Ms. Xie Lihua, Mr. Xiong Jie, Ms. Xu Jie, Ms. Xu Xiaoyan, Mr. Xu Wei, Mr. Yohane Mukabe, Mr. Yan Wenjiao, Mr. Yang Weijun, Ms. Yan Li, Mr. Yao Shenghong, Mr. Zeng Jingnian, Mr. Zhao Guojun, Mr. Zhang Min, Mr. Zhang Liansheng, Mr. Zhang Zhenzhong, Mr. Zhang Xiaowen, Ms. Zhang Yingnan, Mr. Zheng Liang, Mr. Zheng Yu, Mr. Zhou Shuhua, Ms. Zhu Mingjuan.

使用中如有其他意见和建议，欢迎提供，以便再版更新。

## 目 次

前言 .....	II
引言 .....	III
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 .....	1
5 技术要求 .....	2
5.1 基本技术要求 .....	2
5.2 电气特性 .....	2
5.3 机械特性 .....	8
5.4 结构基本要求 .....	9
5.5 通风冷却系统 .....	9
5.6 制动系统 .....	9
5.7 灭火系统 .....	10
5.8 检测系统 .....	10
5.9 励磁系统 .....	10
6 供货范围和备品备件 .....	10
6.1 供货范围 .....	10
6.2 备品备件 .....	11
7 技术文件 .....	11
8 检验和验收 .....	11
9 铭牌、包装、运输和保管 .....	11
9.1 铭牌 .....	11
9.2 包装、运输和保管 .....	12
10 安装、运行和维护 .....	12
10.1 安装 .....	12
10.2 运行和维护 .....	12
11 质量保证(保修)期 .....	12
附录 A (资料性附录) 水轮发电机主要备品备件 .....	13
附录 B (资料性附录) 水轮发电机验收检验项目 .....	14

## 前 言

联合国工业发展组织(UNIDO)是旨在促进全球包容和可持续工业发展(ISID)的联合国专门机构。为联合国和各国未来 15 年可持续发展提供框架的《2030 年可持续发展议程》和联合国可持续发展目标,已将 ISID 列为其可持续发展的三大支柱之一。能源对经济、社会发展和提高生活质量不可或缺,UNIDO 的 ISID 任务明确将支持建立可持续能源体系。过去 20 年里,国际社会对能源的关注和讨论越来越多,扶贫、环境风险和气候变化等问题正成为焦点。

国际小水电联合会(INSHP)是一个协调和促进全球小水电发展的国际组织,各区域、次区域和国家对口单位、相关机构、公共单位和企业自愿加入,以社会效益为其主要目标。INSHP 旨在通过发达国家、发展中国家和国际组织间的三方经济技术合作促进全球小水电发展,为广大发展中国家的农村提供环保、负担得起、充足的能源,从而增加就业机会、改善生态环境、减少贫困、提高农村生活文化水平和经济发展水平。

UNIDO 和 INSHP 自 2010 年起合作编制的《世界小水电发展报告》显示,全球对小水电的需求和其发展程度并不匹配,技术缺乏是大多数国家发展小水电的主要障碍之一。UNIDO 和 INSHP 决定基于成功发展经验并通过全球专家合作,共同编制《小水电技术导则》(简称导则)以满足各成员国的需求。

本导则根据 ISO/IEC 指令第二部分(详见 [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives))的编制规则起草。

提请注意,本导则中的一些内容可能涉及专利权问题。UNIDO 和 INSHP 不负责识别任何此类专利权问题。

## 引 言

小水电是广泛认可的解决偏远农村地区电气化问题的重要可再生能源。尽管欧洲、北美、南美和中国等大多数国家都拥有很高的装机容量,但许多发展中国家受到许多因素的阻碍(包括缺乏全球认可的小水电好案例或标准),仍有大量小水电资源未得到开发。

本导则将通过应用全球现有的专门知识和最佳实践,解决目前缺乏适用于小型水电站的技术导则的问题,让各国利用这些达成共识的导则来支持他们目前的政策、技术和生态环境。对于机构和技术能力有限的国家,将夯实他们发展小水电的知识基础,从而制定鼓励小水电发展的优惠政策和吸引更多的小水电投资,以促进国家经济发展。本导则对所有国家都是有益的,特别是在技术知识比较缺乏的国家中分享经验和最佳实践。

本导则适用于装机容量 30 MW 及以下的小型水电站,可作为小型水电站规划、设计、建设和管理的技术性指导文件。

- 《小水电技术导则 术语》给出了小型水电站常用的专业技术术语和定义。
- 《小水电技术导则 设计》给出了小型水电站设计的基本技术要求、方法学和程序,专业涵盖了电站选址规划、水文、工程地质、工程布置、动能计算、水工、机电设备选型、施工、工程造价估算、经济评价、投资、社会与环境评价等。
- 《小水电技术导则 机组》对小型水电站水轮机、发电机、调速系统、励磁系统、主阀和监控保护及直流电源系统设备提出了具体的技术要求。
- 《小水电技术导则 施工》对小型水电站施工技术提出了规范性指导意见。
- 《小水电技术导则 管理》对小型水电站项目管理、运行维护、技术改造和工程验收等技术方面提出了规范性指导意见。

# 小水电技术导则 机组

## 第 2 部分:水轮发电机

### 1 范围

本部分规定了水轮发电机产品的技术要求、供货范围、备品备件、技术文件、检验与验收、包装、运输、贮存、安装、运行与维护的基本要求。适用于额定容量 12.5 MVA 及以下,与水轮机连接的三相 50 Hz 或 60 Hz 凸极同步水轮发电机产品。

### 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)适用于本文件。

ISO 1680 声学 旋转电机发射的空气噪声测试规程

IEC 60034-1 旋转电机 定额和性能

IEC 60034-2-1 标准方法从测试确定的损耗和效率

IEC 60034-2A 量热法测定电机的损耗

IEC 60038 标准电压

IEC 60050-411 电工术语 旋转电机

IEC-60085 电机绝缘材料分类

SHP/TG 001 小水电技术导则 术语和定义

### 3 术语和定义

IEC 60034-1、IEC 60050-411 和 SHP/TG 001 界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 使用条件

水轮发电机应安装在掩蔽的厂房内,在下列使用条件下应能连续额定运行:

- a) 海拔:不超过 1 000 m。在海拔超过 1 000 m 的地方使用时,应考虑介电性能的降低和空气冷却效果的减弱,需方应与供方协商;
- b) 温度:冷却空气温度不超过 40 °C;空气冷却器和油冷却器等水轮发电机的热交换器进水温度不高于 28 °C,不低于 5 °C;
- c) 湿度:厂房内相对湿度不超过 85%;
- d) 使用地点地震烈度与对应的设计加速度值应满足表 1 的规定。

表 1 不同地震烈度设计加速度值

设计加速度	地震烈度(度)		
	7	8	9
水平方向	0.2g	0.25g	0.4g
垂直方向	0.1g	0.125g	0.2g

注：g 为使用地点的重力加速度。

## 5 技术要求

### 5.1 基本技术要求

#### 5.1.1 额定容量输出

在下列情况下,水轮发电机应能输出额定容量:

- 在额定转速及额定功率因数时,电压与其额定值的偏差不超过 $\pm 5\%$ ;
- 在额定电压和额定功率因数时,频率与其额定值的偏差不超过 $\pm 1\%$ ;
- 在额定功率因数时,当电压与频率同时发生偏差(两者偏差分别不超过 $\pm 5\%$ 和 $\pm 1\%$ ),若两者偏差均为正偏差时,两者偏差之和不超过 $6\%$ ;若两者偏差均为负偏差或为正与负偏差时,两者偏差的百分数绝对值之和不超过 $5\%$ 。(当电压与频率偏差超过上述规定值时应能连续运行,此时输出容量以励磁电流不超过额定值、定子电流不超过额定值的 $105\%$ 为限)。

#### 5.1.2 额定功率因数

水轮发电机的额定功率因数不宜低于 $0.8$ (滞后)。如需方有特殊要求,可由供需双方商定。

#### 5.1.3 额定电压

水轮发电机的额定电压由供需双方商定,并应符合 IEC 60038 的规定。优先选用下列电压等级(kV): $0.4, 0.48, 0.69, 3.15, 3.3, 4.16, 6.3, 10.5, 11$ 。

#### 5.1.4 额定转速

水轮发电机的额定转速优先在表 2 中选择:

表 2 水轮发电机额定转速

单位:r/min

50 Hz	60 Hz
1 500、1 000、750、600、500、428.6、375、333.3、300、250、214.3、200、187.5、166.7、150、142.9、136.4、125、115.4、107.1、100、93.8、88.2、83.3、75	1 200、900、720、600、514.3、450、400、360、300、257.2、240、225、200、180、171.5、163.7、150、138.5、128.5、120、112.6、105.8、100、90

## 5.2 电气特性

### 5.2.1 容量

5.2.1.1 允许用提高功率因数的方法把水轮发电机的有功功率值提高到额定容量(视在功率)值。如需

方有要求,水轮发电机可设置最大容量,此时的功率因数、电气参数值、允许温升以及与连续运行有关的水轮发电机的性能由供需双方商定。

5.2.1.2 水轮发电机应具有长期、连续进相和滞相运行的性能。其允许进相和滞相的容量和运行范围及带空载线路允许的充电容量由供需双方商定。

## 5.2.2 效率和损耗

### 5.2.2.1 额定效率

水轮发电机在额定容量、额定电压、额定功率因数及额定转速运行时的额定效率保证值应在供需双方签订的订货合同中规定。

水轮发电机的额定效率宜为:

- a) 额定容量 0.6 MVA 至 1.25 MVA 的水轮发电机,效率 90%~95%;
- b) 额定容量大于 1.25 MVA 至 2.5 MVA 的水轮发电机,效率 90%~96%;
- c) 额定容量大于 2.5 MVA 至 6.25 MVA 的水轮发电机,效率 92%~96.5%;
- d) 额定容量大于 6.25 MVA 至 12.5 MVA 的水轮发电机,效率 93%~97%。

### 5.2.2.2 加权平均效率

加权平均效率是水轮发电机在额定电压、额定转速及规定的功率因数和不同容量工况下对应的水轮发电机效率的加权平均值。加权平均效率保证值应在供需双方签订的订货合同中规定。

水轮发电机的加权平均效率按公式(1)计算得出,其中加权系数由需方提供。

$$\eta = A\eta_1 + B\eta_2 + C\eta_3 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$A、B、C\dots\dots$  ——对应规定的功率因数和容量工况下的加权系数, $A+B+C+\dots\dots=1$ ;

$\eta_1、\eta_2、\eta_3\dots$  ——对应规定的功率因数、容量及加权系数的效率值。

### 5.2.2.3 损耗

5.2.2.3.1 水轮发电机的损耗和效率可采用直接法、间接法或量热法测定,其损耗包括:

- a) 定子绕组的铜损耗;
- b) 转子绕组的铜损耗;
- c) 铁芯损耗;
- d) 风损耗和摩擦损耗;
- e) 导轴承损耗;
- f) 推力轴承损耗(仅计及分摊给水轮发电机转动部分的损耗值);
- g) 杂散损耗;
- h) 励磁系统损耗。
- i) 电刷电气和摩擦损耗;
- j) 其他损耗。

5.2.2.3.2 确定各绕组的  $I^2R$  损耗值时,绕组的直流电阻应换算到对应于水轮发电机铭牌上标明的绝缘等级的基准工作温度时的数值,如按照低于结构使用的热分级来规定温升或额定温度,则应按较低的热分级规定其基准工作温度,见表 3。

表 3 水轮发电机绝缘热分级规定的基准工作温度

绝缘结构的热分级	基准工作温度 ℃
130(B)	95
155(F)	115
180(H)	130

### 5.2.3 电气参数和时间常数

水轮发电机的电气参数如同步电抗、瞬态电抗、超瞬态电抗和短路比及时间常数等应满足电力系统运行的要求,并在供需双方签订的订货合同中规定。

### 5.2.4 全谐波畸变因数

水轮发电机定子绕组接成正常工作接法时,在空载额定电压和额定转速时,线电压全谐波畸变因数(THD)宜不超过 5%。

### 5.2.5 绕组、定子铁芯等部件温升

水轮发电机在第 4 章规定的使用条件及额定工况下,应能长期连续运行,其定子绕组、转子绕组和定子铁芯等的温升限值应不超过表 4 的规定。定子和转子绝缘应采用耐热等级为 130(B)级及以上的绝缘材料。

表 4 水轮发电机定子绕组、转子绕组和定子铁芯等部件允许温升限值

水轮发电机部件	不同等级绝缘材料的最高允许温升限值(K)					
	130(B)			155(F)		
	温度计法 Th	电阻法 R	检温计法 ETD	温度计法 Th	电阻法 R	检温计法 ETD
定子绕组	—	80	85	—	100	105
定子铁芯	—	—	85	—	—	105
两层及以上的转子绕组	—	80	—	—	100	—
表面裸露的单层转子绕组	—	90	—	—	110	—
集电环	75	—	—	85	—	—

### 5.2.6 非基准运行条件和定额时温升限值的修正

5.2.6.1 当水轮发电机使用地点在海拔 1 000 m 以上至 4 000 m,且最高环境空气温度不超过 40 ℃时,其温升限值可不作修正。当海拔超过 4 000 m 时,应由供需双方商定。

5.2.6.2 当水轮发电机使用地点在海拔 1 000 m 及以下,且环境空气或水轮发电机空气冷却器出风口处冷却空气的最高温度与 40 ℃有差异时,表 4 中规定的温升限值应作如下修正(限于用埋置检温计法测量):

- 冷却空气温度低于 40 ℃时,温升限值按冷却空气温度不超过 40 ℃的差值增加;
- 冷却空气温度高于 40 ℃但不超过 60 ℃时,温升限值降低的数值为冷却空气温度超过 40 ℃的

差值；

c) 冷却空气温度超过 60 °C 时,温升限值降低的数值应由供需双方商定。

5.2.6.3 对每天起停 3 个循环及以上的频繁起动的的水轮发电机,可对表 4 中的温升限值降低 5 K~10 K。

### 5.2.7 轴承温度

水轮发电机在正常运行工况下,其轴承的最高温度采用埋置检温计法测量,并且应不超过表 5 的规定。

表 5 水轮发电机轴承允许温度限值

水轮发电机部件	最高允许温度限值 °C
推力轴承巴氏合金瓦	75
导轴承巴氏合金瓦	70
推力轴承塑料瓦体	55
导轴承塑料瓦体	55
座式滑动轴承巴氏合金瓦	80
滚动轴承	95(温度计法)

### 5.2.8 特殊运行要求

5.2.8.1 水轮发电机在事故条件下允许短时过电流。定子绕组过电流倍数与相应的允许持续时间按表 6 确定,但达到表 6 中允许持续时间的过电流次数平均每年不超过 2 次。

表 6 水轮发电机定子绕组允许过电流倍数与时间关系

定子过电流倍数(定子电流/定子额定电流)	允许持续时间 min
1.10	60
1.15	15
1.20	6
1.25	5
1.30	4
1.40	3
1.50	2

注:对具有过负荷运行要求的水轮发电机(见 5.2.1.1),其定子绕组允许过电流倍数及持续时间由供需双方商定。

5.2.8.2 水轮发电机的转子绕组应能承受 2 倍额定励磁电流,持续时间不少于 50 s。

5.2.8.3 水轮发电机在不对称电力系统中运行时,若任一相电流不超过额定电流  $I_N$ ,且其负序电流分量( $I_2$ )与额定电流之比(标么值)不超过 12%时应能长期运行。

5.2.8.4 水轮发电机在故障情况短时不对称运行时,能承受的负序电流分量与额定电流之比(标么值)的平方与允许不对称运行时间  $t$  之积  $(I_2/I_N)^2 \times t$  为 40 s。

5.2.9 同期并入系统

水轮发电机应采用准同期方式与系统并列。

5.2.10 主引出线、中性引出线和相序

5.2.10.1 主引出线和中性引出线

水轮发电机定子绕组主引出线数目宜为 3 个或 6 个。定子绕组引出线的方向和布置以及中性引出线引出方式应由供需双方商定。

5.2.10.2 相序

水轮发电机出线端相序排列宜为：面对水轮发电机出线端，从左至右水平方向的顺序为 U、V、W。如采用其他相序排列，应由供需双方商定。

5.2.11 绝缘性能与耐电压试验

5.2.11.1 绝缘性能

5.2.11.1.1 水轮发电机定子绕组对机壳或绕组间的绝缘电阻值在换算至 100 °C 时，应不低于按公式 (2) 计算的数值：

$$R = \frac{U_N}{1\,000 + 0.01S_N} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R —— 对应温度为 100 °C 的绕组热态绝缘电阻计算值，MΩ；

U<sub>N</sub> —— 水轮发电机的额定线电压，V；

S<sub>N</sub> —— 水轮发电机的额定容量，kVA。

对于干燥清洁的水轮发电机，在室温 t (°C) 时的定子绕组绝缘电阻值 R<sub>t</sub> (MΩ) 可按公式 (3) 进行修正：

$$R_t = R \times 1.6^{(100-t)/100} \dots\dots\dots (3)$$

5.2.11.1.2 转子单个磁极挂装前及挂装后在室温 10 °C ~ 40 °C 用 500 V 或 1 000 V 兆欧表测量时，其绝缘电阻值应不小于 5 MΩ。挂装后转子整体绕组的绝缘电阻值应不小于 0.5 MΩ。

5.2.11.1.3 水轮发电机定子绕组在实际冷态下，各分支间直流电阻最大与最小两相间的差值，在校正了由于引线长度不同引起的误差后应不超过最小值的 2%。

5.2.11.1.4 水轮发电机定子绕组的极化系数 R<sub>10</sub>/R<sub>1</sub> 应不小于 2.0。额定电压 2.5 kV 及以下的不作考核。

注：R<sub>10</sub> 和 R<sub>1</sub> 为在 10 min 和 1 min，温度为 40 °C 以下分别测得的绝缘电阻值。

5.2.11.1.5 水轮发电机定子绕组常态介质损耗角正切及其增量的限值应符合表 7 的规定 (额定电压 2.5 kV 及以下的不考核)。

表 7 水轮发电机常态介质损耗角正切及其增量限值

试验电压	0.2U <sub>N</sub>	0.2U <sub>N</sub> ~ 0.6U <sub>N</sub>
介质损耗角正切值及其增量	tanδ	Δtanδ = tanδ <sub>0.6U<sub>N</sub></sub> - tanδ <sub>0.2U<sub>N</sub></sub>
指标值 (%)	≤ 3	≤ 1
注：U <sub>N</sub> 为水轮发电机额定线电压，kV。每台水轮发电机按 3% 抽检，如不合格则加倍抽检。		

5.2.11.1.6 有对地绝缘要求的水轮发电机的推力轴承、导轴承、座式滑动轴承及埋置检温计,其绝缘电阻值在 10℃~30℃测量时,应不小于表 8 的规定。

表 8 水轮发电机轴承各部绝缘电阻值

轴承部件	绝缘电阻 MΩ	兆欧表电压 V	备注
推力轴承	1	1 000	在推力轴承、导轴承装入温度计注入润滑油前测量。
分块式导轴承瓦	5		
座式滑动轴承	1		测轴承座对地绝缘电阻。
埋置检温计	5	250	

5.2.11.2 耐电压试验

5.2.11.2.1 额定电压为 6.3 kV 及以上的水轮发电机在进行交流耐电压试验前,应对定子绕组进行 3 倍额定电压的直流耐电压和泄漏测定。试验电压分级稳定地升高,每级应为 0.5 倍额定电压,且持续 1 min。泄漏电流应不随时间延长而增大,各相泄漏电流的差值应不大于最小值的 50%。

5.2.11.2.2 定子绕组绝缘工频击穿电压值宜为 5.5 倍~6 倍额定电压,平均升压速度为 1 000 V/s,并通过抽样试验进行验证。

5.2.11.2.3 水轮发电机的定子绕组和转子绕组应能承受表 9 中所规定的工频交流(波形为实际正弦波形)耐电压试验,历时 1 min 而绝缘不被击穿。

表 9 水轮发电机绕组绝缘耐电压试验标准

线圈或绕组试验		试验电压 kV		备注
		$U_N < 6.3$	$6.3 \leq U_N \leq 13.8$	
定子绕组	a) 成品线圈	$2.75U_N + 4.5$	$2.75U_N + 6.5$	
	b) 下线打槽楔后	$2.5U_N + 2.5$	$2.5U_N + 2.5$	
	c) 定子装配完成	$2.25U_N + 2.0$	$2.25U_N + 2.0$	
	d) 对浸漆固化后的定子	$2.0U_N + 2.0$	$2.0U_N + 2.0$	整体浸渍。
	e) 水轮发电机总装配完成	$2.0U_N + 1.0$	$2.0U_N + 1.0$	
转子绕组	a) 转子装配完成	10 倍额定励磁电压+0.5(最低为 2.0 kV)		
	b) 水轮发电机总装配完成	10 倍额定励磁电压(最低为 1.5 kV)		

注 1:  $U_N$  为水轮发电机的额定电压(kV);  
 注 2: 非整体浸渍的定子绕组不执行 d)项;整体浸渍的定子绕组的耐压试验从 d)项开始执行;  
 注 3: 对现场验收的定子和转子,其绕组的交流耐电压试验值为水轮发电机总装配完成试验电压值的 0.8 倍。

5.2.11.2.4 额定电压为 6.3 kV 及以上的水轮发电机,当使用地点海拔为 1 000 m 及以下时,其定子单个线圈应在 1.5 倍额定电压下不起晕;整机耐电压时,在 1.05 倍额定电压下,端部应无明显的金黄色亮点和连续晕带。当海拔超过 1 000 m 时,电晕起始电压试验值如下:

a) 定子绕组的电晕起始电压值应不低于公式(4)所求得的数值:

$$U_{BS} = 1.5U_N \frac{1 - KH_S}{1 - KH_A} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$U_{BS}$ ——定子绕组的电晕起始电压，kV；

$U_N$ ——发电机的额定线电压，kV；

$K$ ——电晕起始电压随海拔升高的递减率，取  $K$  等于  $0.1, km^{-1}$ ；

$H_S$ ——电机试验地点的海拔高度，km；

$H_A$ ——电机安装地点的海拔高度，km。

b) 整机的电晕起始电压值应不低于公式(5)所求得的数值：

$$U_{JS} = 1.3U_{\phi} \frac{1 - KH_S}{1 - KH_A} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

$U_{JS}$ ——发电机的电晕起始电压，kV；

$U_{\phi}$ ——发电机的额定相电压，kV。

### 5.3 机械特性

5.3.1 水轮发电机的规定旋转方向，从非驱动端看应为顺时针方向。如有特殊要求，应在供需双方签订的订货合同中规定。

5.3.2 水轮发电机组的转动惯量  $GD^2$  值，应满足水电站调节保证计算以及技术经济合理性的要求。水轮发电机的  $GD^2$  值未能满足水电站的调节保证计算要求时，可由供需双方商定。

5.3.3 水轮发电机和与其直接连接的辅机，应能在最大飞逸转速下运转 5 min 而不产生有害变形和损坏。

5.3.4 水轮发电机各部分结构强度应能承受在额定转速及空载电压等于 105% 额定电压下，历时 3 s 的三相突然短路试验而不产生有害变形。同时还应能承受在额定容量、额定功率因数和 105% 额定电压及稳定励磁条件下运行，历时 20 s 的短路故障而无有害变形或损坏。

5.3.5 水轮发电机的结构强度应能承受转子半数磁极短路产生的不平衡磁拉力的作用，而不产生有害变形或损坏。

5.3.6 水轮发电机的定子和转子组装后，定子内圆和转子外圆半径的最大或最小值分别与其设计半径之差应不大于设计气隙值的  $\pm 4\%$ 。定子和转子间气隙的最大值或最小值与其平均值之差应不超过平均值的  $\pm 8\%$ 。

5.3.7 水轮发电机允许双幅振动值，应不大于表 10 的规定。

表 10 水轮发电机各部位振动允许限值

单位：mm

机组型式	项目	额定转速 $n_N/(r/min)$				
		$n_N < 100$	$100 \leq n_N < 250$	$250 \leq n_N < 375$	$375 \leq n_N \leq 750$	$750 < n_N$
立式机组	带推力轴承支架的垂直振动	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03
立式机组	带导轴承支架的水平振动	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04
卧式机组	各部轴承垂直振动	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04

振动值系指机组在除超速运行以外的各种稳定运行工况下的双幅振动值。

5.3.8 水轮发电机的噪声水平，应不大于表 11 的规定。

表 11 水轮发电机噪声水平

机组型式	测量的位置	额定转速 $n_N/(r/min)$		
		$n_N \leq 250$	$250 < n_N < 750$	$n_N \geq 750$
立式机组	在上盖板外缘上方垂直距离 1 m 处	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)
卧式机组	在非传动端距离机组 1 m 处	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)

5.3.9 水轮发电机与水轮机组装完毕后,机组转动部分的第一阶临界转速应不小于最大飞逸转速的 120%。

5.3.10 水轮发电机的承重机架,在最大轴向负荷作用下的垂直挠度值应不大于 1.5 mm。

#### 5.4 结构基本要求

5.4.1 水轮发电机的结构型式应根据水轮机的型式、机组转速、额定容量、厂房型式和布置及机组运行稳定性等因素,经技术经济分析比较后确定。

5.4.2 水轮发电机与传动端的连接宜采用刚性或弹性的同轴传动结构,不宜采用皮带传动结构,如需使用由供需双方商定。

5.4.3 采用滚动轴承结构的水轮发电机不宜承受轴向推力;要求承受轴向推力的水轮发电机,负荷值由供需双方商定。

5.4.4 采用滑动轴承结构的水轮发电机宜采用自循环轴承,卧式机组(不包括轴伸贯流式机组)优先采用二支点结构。

5.4.5 额定容量 1 MVA 以上水轮发电机的转子应设置阻尼绕组(或具有阻尼作用的结构)。额定容量 1 MVA 及以下水轮发电机的转子不设置阻尼绕组,如需设置由供需双方商定。

5.4.6 立式水轮发电机的结构应便于维护和检修。在结构允许的条件下,水轮发电机宜设计成其下机架及水轮机的可拆部件在安装和检修时能通过定子铁芯内径而不需拆除定子。

5.4.7 采用轴承合金瓦的推力轴承和导轴承,在油槽油温不低于 10 °C 时,允许水轮发电机组起动,并允许水轮发电机在停机后立即起动。采用弹性金属塑料瓦的推力轴承和导轴承,在油槽油温不低于 5 °C 时,允许水轮发电机组起动,并允许水轮发电机在停机后立即起动。

5.4.8 水轮发电机如需要设置电热除湿系统,由供需双方商定。

#### 5.5 通风冷却系统

5.5.1 水轮发电机可采用以下通风冷却系统:

- a) 开启式自通风冷却系统:适用于额定容量为 1 MVA 及以下的水轮发电机;
- b) 管道通风冷却系统:适用于额定容量大于 1 MVA 但不大于 4 MVA 的水轮发电机;
- c) 密闭循环通风冷却系统:适用于额定容量大于 4 MVA 的水轮发电机。

5.5.2 空气冷却器的冷却水压力宜按 0.15 MPa~0.3 MPa 进行设计,也可根据实际情况确定工作压力,并由供需双方商定。冷却器的试验水压力应为工作水压力的 1.5 倍,最低不小于 0.4 MPa,历时 60 min。

#### 5.6 制动系统

5.6.1 采用滚动轴承结构的水轮发电机应不设置制动装置。

5.6.2 采用滑动轴承结构的立式水轮发电机应设有制动装置。额定容量为 1 MVA 以上的立式水轮发电机宜装设一套采用压缩空气或压力油操作的机械制动装置,制动系统靠液压供油应能顶起机组转动

部分,并可靠地锁定。

5.6.3 采用滑动轴承结构的卧式水轮发电机需设置制动装置时,由供需双方商定。

5.6.4 水轮发电机采用机械制动时,可使用压力为 0.5 MPa~0.7 MPa 的压缩空气,也可使用压力油作制动介质。机械制动系统应能在规定的时间内将机组转动部分从 20%~30%(采用塑料瓦的水轮发电机为 10%~20%)额定转速下连续制动停机。当由于水轮机导叶漏水量使机组所产生的转矩不大于水轮机额定转矩的 1%时,机械制动系统应保证机组制动停机。

## 5.7 灭火系统

灭火系统的设置要求应满足:

- a) 额定容量为 12.5 MVA 的水轮发电机,可在定子绕组端部装设水灭火装置;
- b) 额定容量为 12.5 MVA 以下的水轮发电机可不装设灭火装置;
- c) 发电机的灭火系统设置宜按所在国的消防规范进行选择。

## 5.8 检测系统

5.8.1 水轮发电机宜设置残压测速装置。若采用其他方式测速,应由供需双方商定。

5.8.2 测量定子绕组和定子铁芯的温度时,应在水轮发电机定子槽内至少埋设下列数量的电阻温度计:

- a) 额定容量为 1 MVA 及以下的水轮发电机不埋设温度计;
- b) 额定容量大于 1 MVA 但不大于 12.5 MVA 的水轮发电机埋设 6 个。

5.8.3 测量推力轴承和导轴承的温度时,至少应埋设下列数量的电阻温度计(信号温度计):

- a) 额定容量大于 1 MVA 的水轮发电机推力轴承瓦埋设 4 个,导轴承瓦内埋设 2 个,推力轴承和导轴承油槽内分别埋设 1 个;
- b) 额定容量 1 MVA 及以下的水轮发电机在推力轴承和导轴承油槽内分别埋设 1 个,用于测量油槽热油的温度。推力轴承和导轴承如需埋设电阻温度计(信号温度计),由供需双方商定;
- c) 在卧式水轮发电机的座式滑动轴承内应至少埋设 1 个;座式滑动轴承带推力轴承的,其推力轴承瓦至少埋设 1 个。

5.8.4 在每个空气冷却器上均应埋设测量冷风温度的电阻温度计 1 个,在每台水轮发电机的其中 2 个空气冷却器上应埋设测量热风温度的温度计各 1 个,空气冷却器 2 个及以下的埋设测量热风温度的温度计 1 个,温度计应易于更换。

5.8.5 水轮发电机采用的自动化检测系统由供需双方商定进行配置:如液位检测装置、冷却水示流装置、油混水检测装置、压力检测装置、加热干燥和除湿检测装置等。

对每一种自动化检测系统和装置的型式和性能要求以及与计算机监控系统接口的配置由需方与供方商定,通信接口宜采用 RS-485。

## 5.9 励磁系统

水轮发电机的励磁系统型式为自并励晶闸管整流励磁系统。若采用其他励磁方式,应由供需双方商定。

## 6 供货范围和备品备件

### 6.1 供货范围

6.1.1 水轮发电机本体及其附属设备。

6.1.2 励磁系统成套装置的供货由供需双方商定。

6.1.3 安装和检修所需的专用工具、特殊工具。

## 6.2 备品备件

6.2.1 水轮发电机主要备品备件的项目和数量可按照附录 A 规定执行。

6.2.2 其他备品备件由供需双方商定。

## 7 技术文件

供方向需方提交必要的技术文件,主要包括:

- a) 水轮发电机外形布置图、基础图、埋件图;
- b) 水轮发电机总装配图、水轮发电机各部件的装配图、空气冷却器外形尺寸和布置图、吊转子示意图、装拆推力头示意图、盘车示意图;
- c) 水轮发电机主要电气参数、主要部件尺寸和重量;
- d) 水轮发电机空载、短路特性曲线、效率特性曲线;
- e) 制动系统原理图及布置图、水轮发电机油水气管路布置详图、水轮发电机辅助接线详图;
- f) 水轮发电机安装、使用、维护说明书,出厂检验报告和交货明细表等。

## 8 检验和验收

8.1 每台(件)产品应经检验合格后才能出厂,并应附有产品质量检查合格证。

8.2 对能在供方工厂进行总装配和起动试运行的水轮发电机应按表 B.1 的出厂试验和交接试验项目进行检验和验收。

8.3 对不能在供方工厂进行总装配或起动试运行的水轮发电机应按表 B.1 的交接试验项目进行检验和验收。

8.4 供方应提供水轮发电机关键部件出厂合格证明文件、材料化学成分、力学性能报告,包括:

- a) 转轴锻件材料化学成分、力学性能、无损试验;
- b) 转子支架(磁轭)材料化学成分、力学性能;
- c) 镜板锻件材料化学成分、力学性能;
- d) 硅钢片的磁化特性及损耗;
- e) 绕组导线尺寸、导电率、绝缘强度等指标。

8.5 对只能在电站现场组装的设备,供方应对部件出厂的工件尺寸、装配尺寸进行校验,对部件(定子分瓣机座、圆盘式转子支架、导轴承和推力轴承装配及盖板、挡风板装配等)进行必要预组装。

8.6 现场验收包括:

- a) 起动试运行验收项目按表 B.1 的起动试运行项目进行;
- b) 性能试验验收项目按表 B.1 性能试验项目进行。

## 9 铭牌、包装、运输和保管

### 9.1 铭牌

铭牌的制作材料及刻划方法应能保证其上的字迹在设备的整个使用时期内不易磨灭,应标明的项目如下:

名称、型号;额定容量(MVA、kVA)、额定电压(V)、额定电流(A)、额定频率(Hz)、额定功率因数( $\cos\varphi$ );额定转速(r/min)、飞逸转速(r/min);额定励磁电压(V)、额定励磁电流(A);相数、定子绕组接

线法、绝缘等级；国家名称；制造厂名、出厂年月、编号等。

## 9.2 包装、运输和保管

9.2.1 包装由供需双方商定并符合设备进口国的有关规定，设备有特殊要求的应在包装箱上注明。

9.2.2 包装箱应按照装箱图样制作，在其外壁应注明下列事项：

- a) 需方名称和地址；
- b) 供方名称和地址；
- c) 名称、型号及编号；
- d) 净重、毛重、包装箱重心线、吊索位置以及包装箱的外形尺寸；
- e) “轻放”、“防潮”及“不准倒置”等字样和标志。

9.2.3 包装前应做好下列准备工作：

- a) 检查设备外观有无损坏，表面有无灰尘；
- b) 在设备外部加工表面上采取必要的防锈措施和防变形措施；；
- c) 易碎怕震部件及表计应拆下，并另行妥善包装；
- d) 设备内部可动零部件与机体固定；
- e) 随设备一起供应的备品备件、合格证和有关技术文件齐全，并经包扎后固定在一定位置。

9.2.4 设备运抵水电站现场拆箱后，均应存放在有掩体的库房内，储存温度不低于 5℃，应防潮防湿，妥善保管，不得随意叠放。

## 10 安装、运行和维护

### 10.1 安装

应按照供方提供的产品安装、使用、维护说明书的规定进行。

### 10.2 运行和维护

运行和维护应符合规范性引用文件、供方提供的安装、使用、维护说明书和水电站相关运行规程的规定。

供方应对设备在安装、使用和维护过程出现的问题提供技术支持，并对需方进行设备安装、使用和维护等方面的培训。

## 11 质量保证(保修)期

在正确地保管、安装和使用条件下，质量保证期为自 72 h 试运行完成之日起一年，或自最后一批货物交货之日起两年，以先到期为准。质量保证期内如因制造质量引起的设备损坏或不能正常工作，供方应无偿修理或更换。

附 录 A  
(资料性附录)  
水轮发电机主要备品备件

表 A.1 水轮发电机主要备品备件表

序号	名称	单位	数量			备注
			1~2 台机	3~4 台机	5 台机及以上	
1	制动块、密封圈、弹簧	台份	1	1	1	
2	碳刷	台份	每台机 1 台份			
3	旋转硅	只	每台机 2 只			
4	刷握	台份	1/4	2/4	3/4	
5	轴承用绝缘板、绝缘套筒等	台份	1	1	1	
6	测温元件	个	每台机各类型各 1 个			
7	定子绕组线圈	台份	1/15	2/15	3/15	
8	定子槽楔		数量按线圈备用量的 1/3 乘以每槽条数			
9	推力轴承瓦	台份	1	1	1	
10	导轴承瓦	台份	1	1	1	
11	套筒轴承瓦(卧式轴承)	台份	1	1	1	
“台份”系指每台机所需的份数(或数量)。						

**附 录 B**  
(资料性附录)  
**水轮发电机验收检验项目**

表 B.1 水轮发电机验收检验项目表

序号	检验项目	出厂 试验	交接 试验	起动 试运行	性能 试验	备注
1	关键部件及材料化学成分、力学性能检查		√			按供需双方商定
2	定子铁芯磁化(铁损)试验		√			按供需双方商定
3	定子成型线圈介电强度检查		√			适用于分瓣定子在水电站工地完成定子装配
4	绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定	√	√			
5	测温元件绝缘电阻测定	√	√			
6	绕组在实际冷态下直流电阻的测定	√	√			
7	定子绕组对机壳及绕组相互间直流耐电压试验及泄漏电流测量	√	√			$U_N \geq 6.3$ kV
8	绕组对机壳及绕组相互间工频交流耐电压试验	√	√			
9	转子单个磁极交流阻抗测定	√	√			按供需双方商定
10	转子平衡试验	√	√			
11	轴承绝缘电阻测定	√	√			滚动轴承无绝缘的不测
12	冷却器耐压试验	√	√			
13	制动器耐压试验	√	√			
14	油—气—水系统试验			√		
15	轴承温度的测定	√		√		轴承已装测温装置的
16	动平衡校准			√		有必要时
17	制动功能检查			√		
18	超速试验	√		√		
19	相序测定	√		√		
20	轴电压测定			√		滚动轴承无绝缘的不测
21	空载特性试验	√		√		
22	过压试验	√		√		
23	三相稳态短路试验	√		√		
24	过电流试验	√		√		
25	振动、摆度测定			√		
26	额定励磁电流和电压变化率的测定				√	
27	绕组电抗和时间常数的测定				√	

表 B.1 (续)

序号	检验项目	出厂 试验	交接 试验	起动 试运行	性能 试验	备注
28	电压波形全谐波畸变因数 THD 测定				√	
29	噪声水平测定				√	
30	温升试验				√	
31	效率和损耗的测定				√	按供需双方商定
32	过励调相及欠励进相运行试验				√	按供需双方商定
33	甩负荷试验				√	在额定负荷的 25%、50%、 75%和 100%下进行
34	三相突然短路试验				√	按供需双方商定
35	飞逸转速试验				√	按供需双方商定
<p>注 1: 表中标有符号“√”的为应做项目;</p> <p>注 2: 如被试设备不具备与某试验项目有关的结构和功能,则该项目无需进行;</p> <p>注 3: 对未列入表中的环节功能和外购件,可按供方规定进行试验;</p> <p>注 4: 出厂试验中部分在供方工厂无法进行的试验项目,可在水轮发电机组安装完毕后在水电站现场补充完成。</p>						



**UNITED NATIONS  
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION**

Vienna International Centre  
P.O. Box 300 · 1400 Vienna · Austria  
Tel.: (+43-1) 26026-0  
E-mail: [info@unido.org](mailto:info@unido.org)  
[www.unido.org](http://www.unido.org)



**INTERNATIONAL NETWORK  
ON SMALL HYDROPOWER**

136 Nanshan Road  
Hangzhou · 310002 · P.R.China  
Tel.: (+86-571)87132793  
E-mail: [secretariat@inshp.org](mailto:secretariat@inshp.org)  
[www.inshp.org](http://www.inshp.org)