

ICS 29.160.10

K 52

备案号: 18567-2006

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1003 — 2006

---

## 水轮发电机组推力轴承润滑 参数测量方法

The measurement of lubricating parameters for  
thrust bearing of hydro-generator unit

2006-09-19 发布

2007-03-01 实施

---

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语及定义..... 1

4 总则..... 1

5 测量方法和测量系统的一般规定..... 2

6 安装..... 3

7 试验工况..... 4

8 试验方法..... 5

9 数据处理..... 5

10 试验报告..... 5

附录 A（规范性附录） 格拉布斯准则..... 7

附录 B（资料性附录） 试验报告格式..... 8

## 前 言

本标准是根据国家发展改革委办公厅《关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业[2005] 739 号）安排制定的，由电力行业水轮发电机及电气设备标准化技术委员会组织编写。

本标准规定了水轮发电机组推力轴承润滑参数的测量方法，为推力轴承出厂验收和现场试验提供相对统一的依据。

本标准的附录 A 是规范性附录、附录 B 是资料性附录。

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水轮发电机标准化技术委员会解释并归口。

本标准起草单位：中国水利水电建设集团公司、北京万瑞达监控技术有限公司。

本标准主要起草人：付元初、刘万景、李红春。

# 水轮发电机组推力轴承润滑参数测量方法

## 1 范围

本标准规定了水轮发电机组推力轴承润滑参数的测量方法。

本标准适用于各类型立式水轮发电机（发电/电动机）推力轴承润滑参数的测量，测量结果作为推力轴承出厂、现场型式试验、现场验收和同类产品性能比较的依据。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是已注明日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

DL/T 622—1997 立式水轮发电机弹性金属塑料推力轴瓦技术条件

JB/T 10180—2000 水轮发电机推力轴承弹性金属塑料瓦技术条件

IEC 994—1991 水力机械（水轮机、蓄能泵和可逆式水泵水轮机）振动和脉动现场测量导则

## 3 术语及定义

### 3.1

**推力轴承润滑参数** lubricating parameters of thrust bearing

表征推力轴承滑动摩擦副间润滑介质物理特性的量。主要指轴承的油膜压力、油膜温度、油膜厚度。

### 3.2

**油膜压力** pressure of oil film

镜板与推力瓦面间油润滑层某一点的压力。它与油膜厚度和推力负荷等因素有关，亦称动油膜压力。

### 3.3

**油膜温度** temperature of oil film

镜板与推力瓦面间油润滑层某一点的温度。它与推力负荷、镜板与推力瓦面的相对运动速度等因素有关。

### 3.4

**油膜厚度** thickness of oil film

镜板与推力瓦面间油润滑层某一点的厚度。它与镜板和推力瓦面的相对运动速度、油的黏度、油膜温度、瓦面平均比压等因素有关。

### 3.5

**初始值** initial value

传感器安装后，机组在静止状态下各传感器的稳态输出值。

## 4 总则

4.1 本标准中提出的一些规定主要来源于实践经验。

4.2 本标准所推荐的测量设备和测量方法是以现有成熟技术为基础，并经实践检验。不排斥更先进、可靠的其他测量设备和测量方法的采用。

4.3 本标准力求制定进行各类型水轮发电机组推力轴承润滑参数测量和试验时所使用的统一规则，确定测量和试验数据处理的方法，使各类型水轮发电机组推力轴承所积累的实测数据具有一致性。

4.4 本标准的计量单位统一采用中华人民共和国法定计量单位。

## 5 测量方法和测量系统的一般规定

### 5.1 测量方法

宜选用电涡流位移传感器作为油膜厚度的检测元件，蓝宝石压力传感器作为油膜压力的检测元件， $P_t$ 型热电阻温度传感器作为油膜温度的检测元件，转速信号可由机组相应转速测量系统提供，同时应设置键相信号，该信号可由电涡流传感器或其他方法获得。上述信号被转换成相应的电信号，输入到数据采集装置，以采集数据，显示、储存和分析测量结果。

### 5.2 测量系统构成及功能

#### 5.2.1 测量系统构成

测量系统由传感器和数据采集装置等构成，系统示意图如图 1 所示。

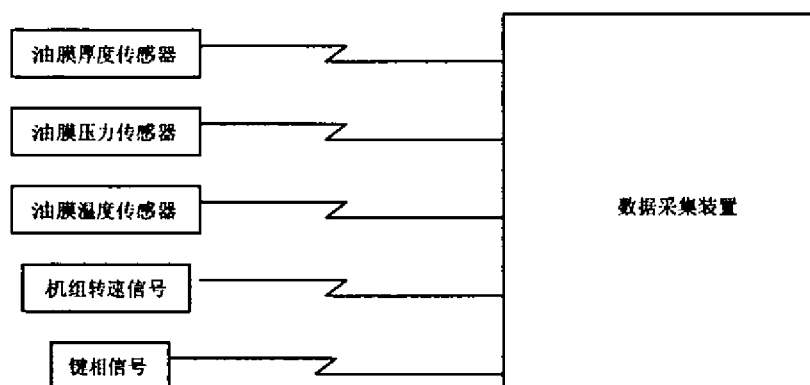


图 1 测量系统构成示意图

#### 5.2.2 测量系统功能

测量系统功能有参数设定，测点选择或巡检，数据采集、储存和分析计算，查询和追忆，绘图与打印测试结果。

## 5.3 测量系统技术指标

### 5.3.1 油膜厚度传感器技术指标

- a) 线性量程范围：0 $\mu\text{m}$ ~1000 $\mu\text{m}$ 。
- b) 灵敏度：8mV/ $\mu\text{m}$ 。
- c) 线性度： $\pm 1\%$ （使用段）。
- d) 工作温度：0 $^{\circ}\text{C}$ ~150 $^{\circ}\text{C}$ 。
- e) 工作压力：0MPa~20MPa。
- f) 温漂： $\pm 0.1\%$  F·S/ $^{\circ}\text{C}$ 。
- g) 连接方式： $\leq$ M6 螺杆。

### 5.3.2 油膜压力传感器技术指标

- a) 线性量程范围：0MPa~20MPa。
- b) 精度：0.5% F·S。
- c) 工作温度：0 $^{\circ}\text{C}$ ~150 $^{\circ}\text{C}$ 。
- d) 温漂： $\pm 0.02\%$ / $^{\circ}\text{C}$ 。
- e) 连接方式： $\leq$ M10 螺杆。

### 5.3.3 油膜温度传感器技术指标

- a) 线性量程范围：0 $^{\circ}\text{C}$ ~150 $^{\circ}\text{C}$ 。

- b) 精度:  $\pm 0.2\% F \cdot S$ 。
- c) 工作压力:  $0 \text{ MPa} \sim 20 \text{ MPa}$ 。
- d) 连接方式:  $\leq M6$  螺杆。

#### 5.3.4 键相信号传感器技术指标

当机组键相信号由电涡流位移传感器获得时, 传感器应达到下列技术指标:

- a) 量程范围:  $\geq 2 \text{ mm}$ 。
- b) 工作温度:  $0^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ 。
- c) 连接方式:  $\leq M10$  螺杆。

#### 5.3.5 数据采集装置技术指标

- a) 采集装置应能接收 5.3.1~5.3.4 所推荐的传感器输出的模拟信号。
- b) 通道数量不低于传感器的数量。
- c) A/D 变换器的分辨率不低于传感器的分辨率。
- d) 采样频率应满足动态信号分析的分辨率的要求。
- e) 需要时, 可以提供传感器工作所需要的直流电源。

## 6 安装

### 6.1 测点及布置

#### 6.1.1 测点

油膜压力、油膜温度、油膜厚度的测点可分别在不同的试验瓦面上布置, 每种润滑参数的测点数应不少于 9 个, 布置参考图如图 2 所示。

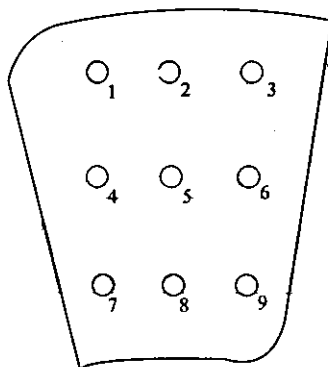


图 2 测点布置参考图

#### 6.1.2 测点布置

测点在推力瓦面上的布置应能全面反映润滑参数在瓦面上的分布特征, 并满足下列要求:

- a) 能测取到最大油膜压力和压力场分布。
- b) 能测取或推算到最高油膜温度和温度场分布。
- c) 能测取到通过瓦面径向中心圆周或支承中心圆周上进出油边油膜厚度及瓦面的综合变形。

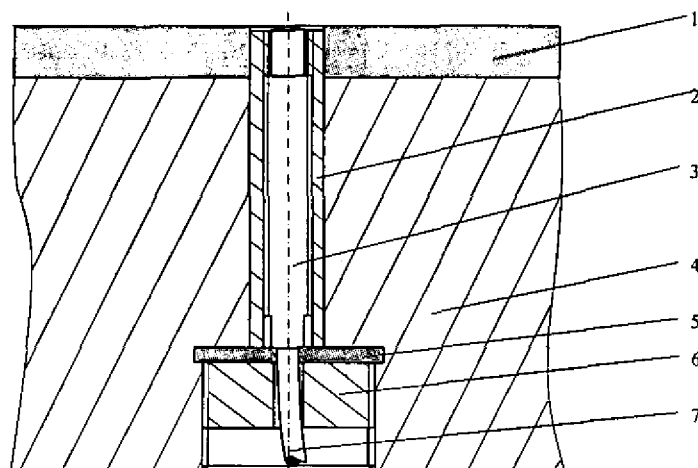
### 6.2 传感器安装方法及要求

#### 6.2.1 传感器安装方法

传感器的安装应保证推力瓦仍能保持良好的工作特性, 如瓦面的润滑特性、瓦体的受力特性等。传感器的安装要求牢固, 不应有泄漏, 传感器不得产生相对位移, 推荐安装方法如下:

- a) 所有传感器均应安装在瓦体内垂直于瓦面开设的通孔中, 具体方法如图 3 所示。
- b) 开通孔后安装过渡套, 过渡套外径与孔应采用过盈配合。
- c) 过渡套内孔加工螺纹, 以便安装传感器和调整传感器安装位置。

- d) 传感器安装合适后, 用丝堵固定过渡套和传感器, 防止受油压后过渡套和传感器向下移动。
- e) 丝堵安装前, 应先填环氧树脂胶, 用以消除过渡套和传感器与丝堵之间的间隙, 同时防止渗漏、泄压。丝堵槽的深度不应大于瓦坯厚度的  $1/4$ 。



1—乌金层或弹性复合层; 2—过渡套; 3—传感器; 4—推力瓦坯;  
5—环氧树脂胶层; 6—丝堵; 7—传感器出线

图3 传感器安装示意图

### 6.2.2 传感器安装要求

传感器在试验瓦内的安装应满足下列要求:

- a) 传感器端部距瓦面的距离应尽可能小, 可按如下要求调整: 对测油膜厚度的电涡流传感器, 其距离可调整为  $0.2\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ ; 对测油膜温度和油膜压力的传感器, 其距离可调整为  $0.1\text{mm}$ 。
- b) 键相信号传感器可安装在水轮机导轴承座上, 在对应的大轴上视轴径大小沿圆周方向在同一截面上粘贴一定数量的靶片, 以提高测量分辨率为原则。
- c) 传感器引线应密封、铠装, 平滑布线, 沿途固定牢固, 但不宜拉的太紧, 以免断线。
- d) 传感器的变送器至数据采集装置的电缆应屏蔽, 并避开磁场较强的地方布线, 屏蔽网应一端接地。

## 7 试验工况

试验工况一般分为暂态(过渡过程)和稳态两种工况, 可根据现场试验条件有选择性的进行。

### 7.1 暂态工况

- a) 冷态启动。
- b) 热态启动。
- c) 停机和惯性停机。
- d) 甩  $50\%$  和  $100\%$  负荷。
- e) 推力轴承其他型式试验工况。

### 7.2 稳态工况

- a) 变转速工况:  $75\%$ 、 $100\%$ 、 $110\%$ 、 $115\%$  额定转速。
- b) 变负荷工况:  $0$ 、 $25\%$ 、 $50\%$ 、 $75\%$ 、 $100\%$  机组额定出力(入力)。
- c) 最大出力工况(若机组本身容许或机组有最大出力工况时)。
- d) 满出力(入力)工况下推力轴承油冷却器断水(只对塑料瓦面的推力轴承)。
- e) 可逆式机组还应在不同旋转方向的工况下分别进行。

## 8 试验方法

### 8.1 试验前的准备工作

传感器安装前应进行温漂、压漂及时漂标定,获取修正值。用来测量油膜厚度的电涡流传感器应以实际安装情况重新标定线性度。在最终结果计算时应用此值对测量值进行修正。确认系统连线无误后,应通电预热 30min,全面检查测试系统工作是否正常。推力油槽充油后,落下转子,采集各传感器的初始值,尤其是油膜厚度的初始值需输入数据采集装置参与数据处理。

### 8.2 试验顺序

应先进行启、停机试验,再进行变转速,变出力(入力)试验,最后进行甩负荷试验。

### 8.3 数据采集

稳态工况:到达该工况应稳定 5min 后再开始采样,采样不少于 32 个周期,以便能够剔除干扰带来的误差影响。

暂态工况:应在改变工况前 10s 开始采样,采样不少于 32 个周期,以便能够剔除干扰带来的误差影响。

### 8.4 试验完成

试验完成后,拆除所有连线和仪表,并用工作瓦更换试验瓦。

## 9 数据处理

### 9.1 取值准则与方法

#### 9.1.1 取值准则

- a) 稳态工况:将测量数值按“格拉布斯准则”剔除粗值(见附录 A),得到该工况下的测量结果。
- b) 暂态工况:从连续记录的采样数据中根据所需提取某个时段内的测量值。

#### 9.1.2 各参数值与数据采集装置采样电压值的换算

- a) 油膜厚度=(采样平均值-初始值)/灵敏度+修正值。
- b) 油膜压力=采样平均值/灵敏度+修正值。
- c) 油膜温度=采样平均值/灵敏度+修正值。

注:油膜厚度值以 $\mu\text{m}$ 计量,分辨率为 $1\mu\text{m}$ ;油膜温度以 $^{\circ}\text{C}$ 计量,分辨率为 $0.2^{\circ}\text{C}$ ;油膜压力以 $\text{MPa}$ 计量,分辨率为 $0.1\text{MPa}$ 。

### 9.2 误差分析

可按“方和根法”计算系统误差,综合误差等于各局部误差平方和的平方根,即 $\delta = \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \cdots + \delta_n^2}$ ,公式中 $\delta_1, \delta_2, \cdots, \delta_n$ 为测量系统中各组成部分的误差,如 $\delta_1$ 为传感器误差, $\delta_2$ 为数据采集装置误差等。

## 10 试验报告

### 10.1 试验报告内容

#### 10.1.1 前言

- a) 电站名称。
- b) 电站的所属单位。
- c) 试验日期。
- d) 进行试验的原因。
- e) 对测量过程的大致描述。
- f) 要求测量的单位。



- g) 进行测量的单位。
- h) 补充说明。

#### 10.1.2 试验项目及资料

- a) 整个机组特别是推力轴承结构特点和运行状态的描述。
- b) 主要技术数据。
- c) 推力轴承总装配图和轴瓦装配图（如果可以得到）。
- d) 具体试验项目介绍。
- e) 试验过程中有关运行和维修的情况资料。

#### 10.1.3 试验过程

- a) 试验合同的规定和有关规程的说明。
- b) 所有其他与试验有关的初步协议的陈述。
- c) 试验方法、试验条件及试验工况的说明。
- d) 试验时间表。

#### 10.1.4 试验仪器和设备

- a) 测量仪器设备一览表及说明。
- b) 以文字和图示形式描述的传感器位置和传感器的安装。
- c) 若在测量前和/或试验后对测量设备进行率定，则叙述率定值并说明其来源。
- d) 测量系统示意方框图。

#### 10.1.5 试验结果、分析及评定

- a) 列出所有测量结果表格。
- b) 列出测量参数的典型曲线图。
- c) 按委托方要求的其他成果提供方式或表达方式。
- d) 试验结果的分析讨论。
- e) 对机组不同运行工况下推力轴承性能的评估和比较。
- f) 对机组及推力轴承现时状态的分析或可能作出的结论。
- g) 其他需要说明的问题。
- h) 评定和计算方法的说明，以及为进行评定所需的设备（如果使用）说明（示意方框图）。
- i) 只要可能，对一个选定的试验进行计算示例。
- j) 评定结果文字描述或图表。

#### 10.1.6 参加试验的人员

- a) 试验负责人的名字。
- b) 试验组人员名单，包括姓名、性别、职务、从事专业、单位名称等。
- c) 由电站所有者（业主）和/或签约者选派的监督员名单。

### 10.2 试验报告格式

试验报告格式参见附录 B。

附 录 A  
(规范性附录)  
格 拉 布 斯 准 则

格拉布斯准则为一种剔除不合理读数的准则。

令  $y_i$  为读数值  $y$  中离  $\bar{y}$  最远的值,  $\bar{y}$  是所有读数值的算术平均值,  $\sigma$  为读数值的均方根误差, 按照下列公式算出数值  $T$ , 当  $T$  超过表 A.1 给出的临界值, 那么就认为是粗值, 应该剔除。剔除粗值之后, 还应对剩余读数重复上述过程, 直至无粗值出现。

$$T = |y_i - \bar{y}| / \sigma \quad (\text{A.1})$$

式中:

$T$  ——最大偏差值;

$y_i$  ——读数中离  $\bar{y}$  最远的值;

$\bar{y}$  ——读数算术平均值;

$\sigma$  ——读数的均方根误差。

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (\text{A.2})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (\text{A.3})$$

表 A.1 格拉布斯准则允许的最大偏离值

测量次数 $N$	有 0.95 置信概率的 $T$ 值
3	1.15
4	1.48
5	1.71
6	1.89
7	2.02
8	2.13
9	2.21
10	2.29
11	2.36
12	2.41
13	2.46
14	2.51
15	2.55

**附录 B**  
(资料性附录)  
**试验报告格式**

<p><b>推力轴承润滑参数 测试报告</b></p>          <div style="text-align: right;"> <p>□□□□□□□□</p> <p>(试验单位名称)</p> <p>年 月 日</p> </div>
---

图 B.1 首页格式

<p>受试电站: □□□</p> <p>受试机组: □□□</p> <p>报告编号: □□□</p>          <div style="text-align: right;"> <p>编写: □□□</p> <p>审核: □□□</p> <p>批准: □□□</p> </div>
--

图 B.2 次页格式

推力轴承润滑 参数测试报告	编号:		
	共 页	第 页	

图 B.3 报告页格式

推力轴承润滑 参数测试报告	编号:		
	共 页	第 页	
时间			...
工况			...
油膜厚度			
测点 No.1	No.2	No.3	...
油膜温度			
测点 No.1	No.2	No.3	...
油膜压力			
测点 No.1	No.2	No.3	...

图 B.4 数据页格式