

ICS 27.140
K 55



中华人民共和国国家标准

GB/T 17189—1997
neq IEC 994:1991

水力机械振动和脉动现场测试规程

Code for field measurement of vibrations and
pulsations in hydraulic machines

1997-12-26 发布

1998-09-01 实施

国家技术监督局 发布

目 次

| | |
|---|----|
| 前言 | 1 |
| 第一篇 概论..... | 1 |
| 1 适用范围和目的 | 1 |
| 2 引用标准 | 1 |
| 3 术语、定义、符号和单位 | 2 |
| 4 关于保证值..... | 11 |
| 第二篇 试验的实施 | 12 |
| 5 试验计划..... | 12 |
| 6 试验程序..... | 15 |
| 第三篇 测量方法及数据采集处理方法 | 16 |
| 7 测量方法..... | 16 |
| 8 率定..... | 20 |
| 9 信号记录..... | 21 |
| 10 数据处理与分析 | 23 |
| 11 测量不确定度 | 24 |
| 12 试验报告 | 25 |
| 附录 A(标准的附录) 用应变花进行动应力测量时的主应力计算公式及信号处理 | 26 |
| 附录 B(标准的附录) 用应变片技术测量轴扭矩和连杆轴向载荷时的计算公式 | 28 |
| 附录 C(提示的附录) 试验报告举例 | 29 |
| 附录 D(提示的附录) 传感器装在长连接管上时压力脉动测量结果的偏差 | 35 |

前 言

水力机械的振动发生于运行中的各类水电站和抽水蓄能电站。振动的大小取决于许多因素,其中最重要的包括:不同工况下流道内的流态、机组结构,以及制造、安装、维修的质量。

极限情况下,水力机械的振动可导致裂纹的产生,引起疲劳破坏以及其他故障。

水力机械的强烈振动不仅会缩短它们的使用寿命,而且还会影响调速器控制系统和电气仪表的正常运行,对运行人员的健康以及厂房结构等产生不良影响。

水力机械的振动状态通常根据机组结构的某些关键点上的振动测量结果来评价。标准试验方法得出的结果能够充分表明机组的一般振动情况。如果在标准试验中发现某些重要部件上有较强的局部振动(共振),应另外采用具有针对性的试验方法对有关部件作更加深入的专门试验研究。水轮机流道中的流态对机组振动有着重要的影响。为了准确地分析机组振动,除测量一些有代表性部位的振动(见 5.2.1 和 5.2.2)外,尚需测量有关部位的脉动及其他一些重要的脉动参数(见 5.2.3~5.2.10)。

在每个具体机组上,试验的种类、实际测点位置和数量等取决于机组的结构型式、设备的具体条件以及重要性。不要求每种情况下都进行本规程所列的全部项目的测量。

本规程非等效采用国际电工委员会 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》(“Guide for measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (Turbines, storage pumps and reversible turbines)”)并根据我国的具体情况编写。

本规程与 IEC 994 相比主要有以下不同:

——根据国标 GB/T 1.1—93 的规定,增加了“引用标准”一章。

——为适应我国的情况,本规程对 IEC 994 第 4、5 章的内容和编排作了大幅度的调整,对 IEC 994 其他各章的内容和条款也有所改动。

——本规程的适用范围比 IEC 994 有所扩大,部分技术条款的条件或范围也有所放宽。

就规程的本质内容而言,本规程和 IEC 994 是一致的。在涉外的试验中,如有关各方同意,也可直接采用 IEC 994。

本标准的附录 A 和附录 B 是标准的附录。

本标准的附录 C 和附录 D 是提示的附录。

本标准由全国水轮机标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位:中国水利水电科学研究院、哈尔滨大电机研究所。

本标准主要起草人:李启章、曹春林、付联桂、李志民、阮华福。

中华人民共和国国家标准

水力机械振动和脉动现场测试规程

GB/T 17189—1997
neq IEC 994:1991

Code for field measurement of vibrations and
pulsations in hydraulic machines

第一篇 概 论

1 适用范围和目的

1.1 适用范围

1.1.1 本规程适用于一切反击式、冲击式水轮机、可逆式水泵水轮机、蓄能泵，也适用于与它们连接的发电机或电动机的机械部分。

1.1.2 本规程可用于振动、脉动的标准试验。试验目的如下：

——从振动的角度评价水力机械的设计、制造和安装质量。

振动评价标准的制定和施用也依赖于振动、脉动试验的标准化。

——提出有利于机组运行的建议，为故障诊断及改善机组振动、脉动水平提供依据。

——评价机组在使用寿命期限内振动特性的变化及正常运行工况下的振动水平。

非标准试验也应参照本规程提出的原则进行。

1.1.3 每次试验的试验项目和测量项目应参照本规程由有关方面协商确定。规程中列出的试验项目和测量项目并非每次试验时都是必须的。

1.2 目的

确定统一的振动、脉动试验方法、测量方法及试验数据的处理方法，使测量结果在同类的不同型号水力机械上具有一致性和可比性。

1.3 不包括的内容

1.3.1 本规程不包括为研究目的所作的专门振动和脉动试验。

1.3.2 本规程一般不包括实验室模型和制造厂未组装的真机零部件的振动和脉动试验。但当检验原型和模型机组的某个相似特性参数时，例如尾水管涡带压力脉动，则原型和模型的测试方法应当一致并符合本规程。

1.3.3 本规程不包括土木结构的振动测量问题，一般也不包括电机（轴、轴承等机械部分除外）的电气参数脉动的测量问题。

1.3.4 在水电站中，水轮机调速系统可能引起水力、机械或电气参量的脉动。但本规程不包括对调速器系统进行人为扰动试验的有关规定。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

IEC 41:1991(第三版)

IEC 994:1991

3 术语、定义、符号和单位

3.1 单位

本规程采用国家法定计量单位。国家法定计量单位以国际单位制(SI)为基础。

3.2 术语

本规程所用水轮机、水泵水轮机和蓄能泵的术语、定义和符号与 IEC 41 和 IEC 198 有关规定*相一致,有关振动、脉动和数学的术语、定义和符号与 ISO 2041 和 IEC 184、IEC 222 相一致。

3.3 本规程专用术语一览表

本规程使用的术语、定义、符号和单位如下。本节中没有定义的术语在规程中说明。

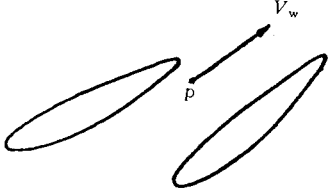
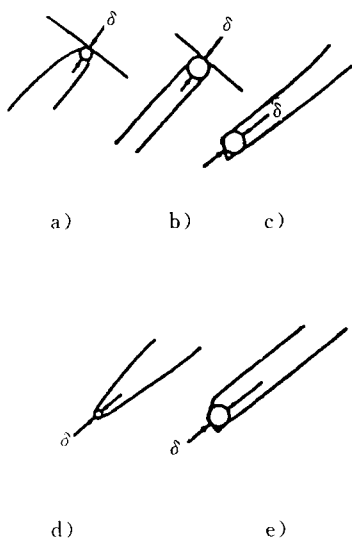
| 条 | 术 语 | 定 义 | 符 号 | 单 位 |
|---------|--|-------------------------------------|-----------------------|------------|
| 3.3.1 | 说明振动和脉动时域函数的术语 | | | |
| 3.3.1.1 | 振动位移 vibration displacement | 振动质点偏离参考平均位置的距离 | U, D | $m, \mu m$ |
| 3.3.1.2 | 振动速度 vibration velocity | 振动质点运动的速度,等于位移对时间的一阶导数 | V | m/s |
| 3.3.1.3 | 振动加速度 vibration acceleration | 振动质点运动的加速度,等于速度对时间的一阶导数或位移对时间的二阶导数 | W, a | m/s^2 |
| 3.3.1.4 | 绝对振动量(位移、速度、加速度) absolute parameter (displacement, velocity, acceleration) | 振动的参考坐标为惯性坐标或大地(基础) | | |
| 3.3.1.5 | 相对振动量(位移、速度、加速度) relative parameter (displacement, velocity, acceleration) | 振动的参考坐标为非惯性坐标或另一振动体 | | |
| 3.3.1.6 | 压力脉动 pressure pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内液体压力相对于平均值的往复变化 | $\Delta H, \tilde{p}$ | Pa |
| 3.3.1.7 | 应变脉动 strain pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内应变相对于平均值的往复变化 | $\tilde{\epsilon}$ | m/m |
| 3.3.1.8 | 应力脉动 stress pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内应力相对于平均值的往复变化 | $\tilde{\sigma}$ | Pa |

* 目前为“Document 4 (Center office)48”

| 条 | 术 语 | 定 义 | 符 号 | 单 位 |
|----------|--|---|---------------|-------|
| 3.3.1.9 | 主轴扭矩脉动 shaft torque pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内主轴扭矩相对于平均值的往复变化 | \tilde{M}_s | N·m |
| 3.3.1.10 | 转速脉动 rotational speed pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内转速相对于平均值的往复变化 | \tilde{n} | rad/s |
| 3.3.1.11 | 功率脉动 power pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内功率相对于平均值的往复变化 | \tilde{P} | W |
| 3.3.1.12 | 导叶扭矩脉动 guide vane torque pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内导叶扭矩相对于平均值的往复变化 | \tilde{M}_g | N·m |
| 3.3.1.13 | 径向载荷脉动 radial load pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内导轴承径向载荷相对于平均值的往复变化 | \tilde{F}_r | N |
| 3.3.1.14 | 轴向载荷脉动 axial load pulsation | 在选定时间间隔 Δt 内推力轴承轴向载荷相对于平均值的往复变化 | \tilde{F}_a | N |
| 3.3.2 | 有关振动和脉动参数的一般术语 | | | |
| 3.3.2.1 | 振动 vibration 脉动 pulsation | 机械系统相对于平衡位置随时间的往复变化; 除振动外其他物理量相对于平均值随时间的往复变化 | | |
| 3.3.2.2 | 周期性振动和脉动 periodic vibration and pulsation | 经相等的时间间隔后能重复出现的量 | | |
| 3.3.2.3 | 周期 period | 周期量的一个循环的时间 | T | s |
| 3.3.2.4 | 频率 frequency | 单位时间内周期量的循环数,等于周期的倒数 | f | Hz |
| 3.3.2.5 | 基波 fundamental frequency | 频率为最小的正弦分量 | | |
| 3.3.2.6 | 谐波 harmonic | 频率为基波整数倍的正弦分量 | | |
| 3.3.2.7 | 角频率 angular frequency | 正弦波频率与 2π 的乘积 | ω | rad/s |
| 3.3.2.8 | 简谐振动或脉动 simple harmonic vibration or pulsation | 可用一项正弦函数表示的周期振动或脉动 | | |
| 3.3.2.9 | 相位角(相位) phase angle; phase | 表示正弦量相对于某基准信号位置的角度偏移值 | φ | rad |

| 条 | 术 语 | 定 义 | 符 号 | 单 位 |
|----------|---|---|------------------------|-----|
| 3.3.2.10 | 振幅 amplitude | 正弦量的最大值 | A | |
| 3.3.2.11 | 峰-峰值 peak to peak value | 一个量的最大值与最小值的代数差, 正弦量的峰-峰值为振幅的两倍, 即 $2A$ | ΔX_{pp} | |
| 3.3.2.12 | 复合振动或脉动 compound vibration or pulsation | 由几个简谐振动或脉动叠加而成的振动或脉动 | | |
| 3.3.2.13 | 共振(谐振) resonance | 在强迫振动中, 激励频率的任何微小的变化都会使系统响应明显降低这种状态 | | |
| 3.3.2.14 | 随机振动或脉动 random vibration or pulsation | 在任一给定瞬时, 其大小不可能预先准确确定的振动或脉动 | | |
| 3.3.3 | 数学术语 | | | |
| 3.3.3.1 | 平均值或算术平均值 average value; mean value; arithmetic mean value | <p>a) 一组同一变量的离散值的平均值等于这些值的代数和除以它们的总个数:</p> $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ <p>式中: X_i 为第 i 个值, n 为离散值的总个数。</p> <p>b) 在 $t_1 \sim t_2$ 时间间隔内连续函数 $X(t)$ 的平均值为:</p> $\bar{X} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} X(t) dt$ | \bar{X} | [x] |
| 3.3.3.2 | 标准偏差(相对于平均值的有效偏差值) standard deviation or effective value referred to the mean | <p>一组数(或一个函数)与其平均值的偏差的均方根值(有效值)</p> <p>a) 对于一组数 X_1, X_2, \dots, X_n</p> $\bar{X}_{\text{eff}} = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right\}^{1/2}$ <p>b) $X(t)$ 为 t 的连续函数, 则 t_1 至 t_2 时间间隔内该函数的标准偏差为:</p> $\bar{X}_{\text{eff}} = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} (X(t) - \bar{X})^2 dt \right\}^{1/2}$ | \bar{X}_{eff} | [x] |

| 条 | 术 语 | 定 义 | 符 号 | 单 位 |
|---------|---|---|-------------------|-------------------|
| 3.3.3.3 | 均方根值(有效值) root-mean-square value; rms value (effective value) | <p>a) 一组数的均方根值等于这些数的平方的平均值的平方根:</p> $X_{rms} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 \right\}^{1/2}$ <p>b) 在 $t_1 \sim t_2$ 时间间隔内, 连续函数 $X(t)$ 的均方根值等于此间隔内该函数平方的平均值的平方根:</p> $X_{rms} = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} X(t)^2 dt \right\}^{1/2}$ <p>注: 根据振动理论, 振动的平均值等于零。此时均方根值 X_{rms} 等于标准偏差 \bar{X}_{eff}; 均方根的平方值等于方差; 当简谐振动的幅值为 A 时, 其有效值为 $A/\sqrt{2}$</p> | X_{rms} | [x] |
| 3.3.3.4 | 方差 variance | <p>标准偏差的平方</p> <p>注: 当变量的平均值为零时, 方差等于该量的有效值的平方</p> | \bar{X}_{eff}^2 | [x ²] |
| 3.3.3.5 | 均方值 mean square value | <p>在给定区间内某函数(或一组数)的均方值等于该区间内这个函数(或一组数)的平方的平均值</p> <p>注</p> <p>1 均平值为均方根值的平方;</p> <p>2 当平均值为零时, 均方值等于方差;</p> <p>3 若平均值 \bar{X} 不等于零, 则</p> $X_{rms}^2 = \bar{X}_{eff}^2 + \bar{X}^2$ | X_{rms}^2 | [x ²] |
| 3.3.4 | 其他专门术语 | | | |
| 3.3.4.1 | 导叶或扩散段导叶数目 number of guide or diffuser vanes 水斗式水轮机喷嘴数目 number of pelton nozzles | | Z_0 | |
| 3.3.4.2 | 转轮叶片或泵轮叶片数目 number of runner/impeller blades 水斗式水轮机水斗数目 number of pelton buckets | | Z_1 | |

| 条 | 术 语 | 定 义 | 符 号 | 单 位 |
|---------|---|---|-----------------|----------|
| 3.3.4.3 | 相对流速 relative flow velocity | 在边界层厚度以外(如 p 点)水流流过所研究的部件的相对流速(图 1) | V_w | m/s |
| | |  <p>图 1 相对流速的定义</p> | | |
| 3.3.4.4 | (转轮叶片、导叶等)出水边厚度 thickness of trailing edge of a hydraulic profile (guide vane, runner blade etc.) | 靠近叶型出水边、切于两相对表面间圆形的最大直径(见图 2) | δ | m, mm |
| | |  <p>图 2 出水边厚度的定义</p> | | |
| 3.3.4.5 | 极限频率(下限/上限) limit frequency (lower, upper) | 待研究过程的频率范围的下限/上限 | f_L/f_U | Hz |
| 3.3.4.6 | 测量通道频率下限/上限 lower/upper limit frequency of measuring channel | 测量系统实际频率下限/上限,它们对应频率响应曲线上与平坦部分偏离 3 dB 的频率范围 | f_{Lr}/f_{Ur} | Hz |
| 3.3.4.7 | 功率谱密度 power spectral density | 某量单位频率带宽内的均方值。在极限情况下,带宽趋近于零,平均时间趋于无穷大 | $G(f)$ | $[x^2]s$ |

| 条 | 术 语 | 定 义 | 符 号 | 单 位 |
|----------|---|--|---------|-----|
| 3.3.4.8 | 分析仪的恒等百分比带宽 constant relative (percentage) bandwidth of an analyzer | 比率 $\beta = \frac{f_1 - f_2}{\sqrt{f_1 \cdot f_2}} \times 100\%$ | β | % |
| 3.3.4.9 | 信号记录时间 signal record- ing time | 传感器信号记录时间 | t_r | s |
| 3.3.4.10 | 磁带或纸的速度 tape or pa- per speed | 磁带或记录纸记录速度 | V_r | m/s |

3.4 水力机械的主要结构类型

不同参数水力机械的结构和尺寸差别很大,按照轴和轴承的数量和位置并从振动试验角度将水力机械主要结构类型分成以下几种*(图3):

立式机组:

——悬垂式机组(图3a;混流式;图3b;轴流式)

——伞式机组(图3c、3d)

——半伞式机组(图3e、3f)

——推力轴承在主轴下末端的机组(图3g)

卧式机组:

——两轴承机组(图3h、3i)

——四轴承机组(图3j)

贯流式机组:

——转轮为悬臂式的机组(图3k)

——在尾水管进口有附加径向支撑的机组(图3l)

——轴伸贯流式机组(图3m)

图例中各主要部件及其代号:

1—转轮/泵轮

2—主轴

3—发电机/电动机

4—顶盖

5—下导轴承支架

6—上导轴承支架

7—推力轴承支架

8—水轮机(蓄能泵、水泵—水轮机)导轴承

9—发电机/电动机轴承

10—推力轴承

11—导轴承和推力轴承组合结构

12—联轴器

13—齿轮箱

* 本规程仅给出部分例子。

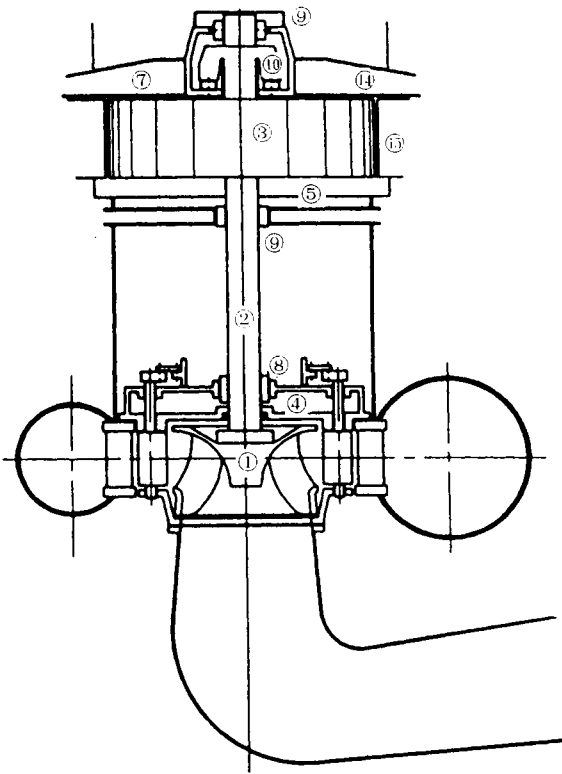


图 3a 悬垂式机组(混流式水轮机)

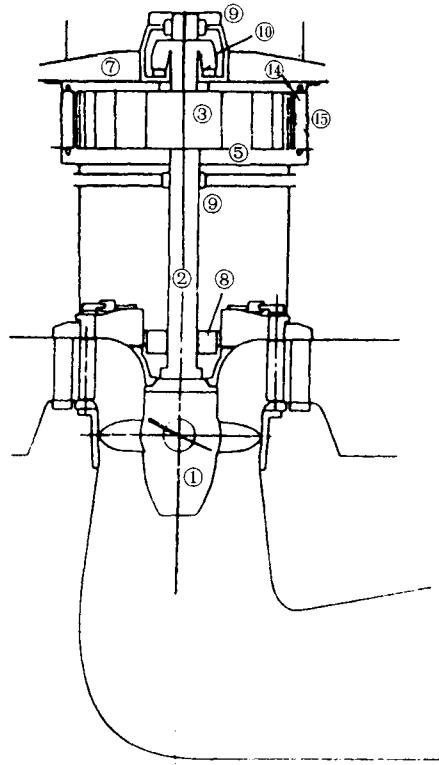


图 3b 悬垂式机组(轴流式机组)

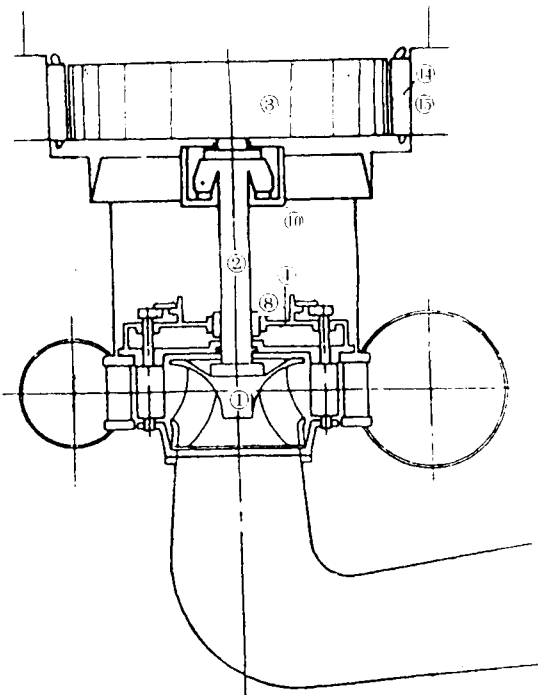


图 3c 伞式机组(推力轴承在下机架)

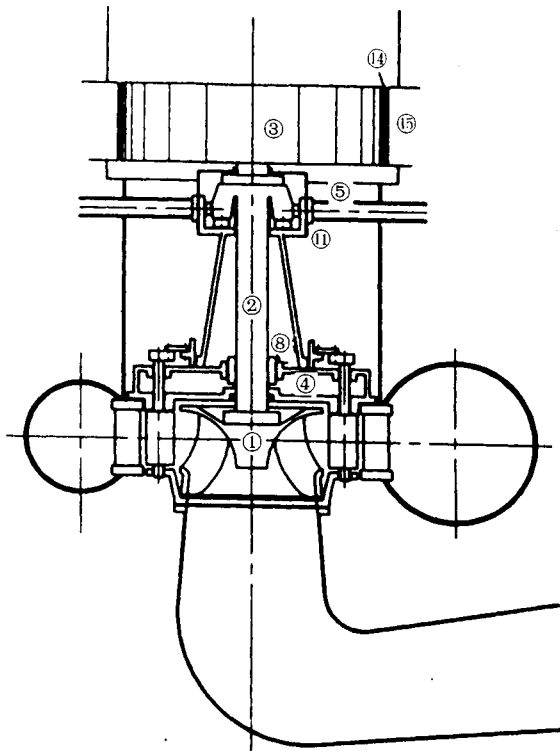


图 3d 伞式机组(推力轴承在水轮机顶盖)

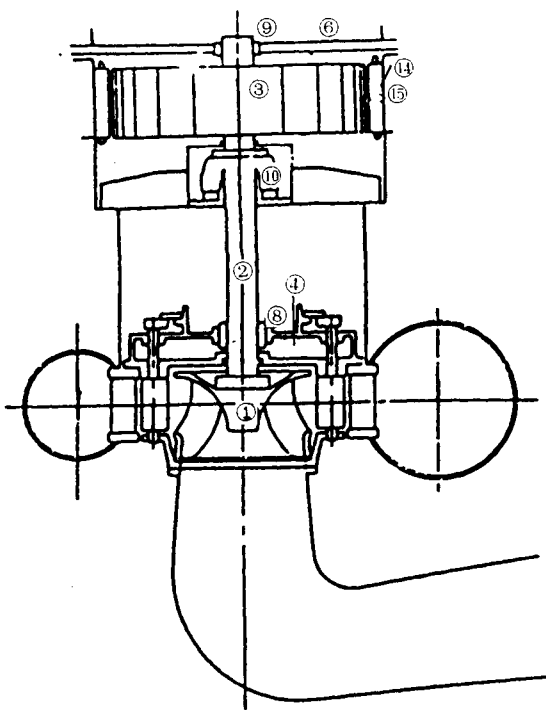


图 3e 半伞式机组(推力轴承在下机架)

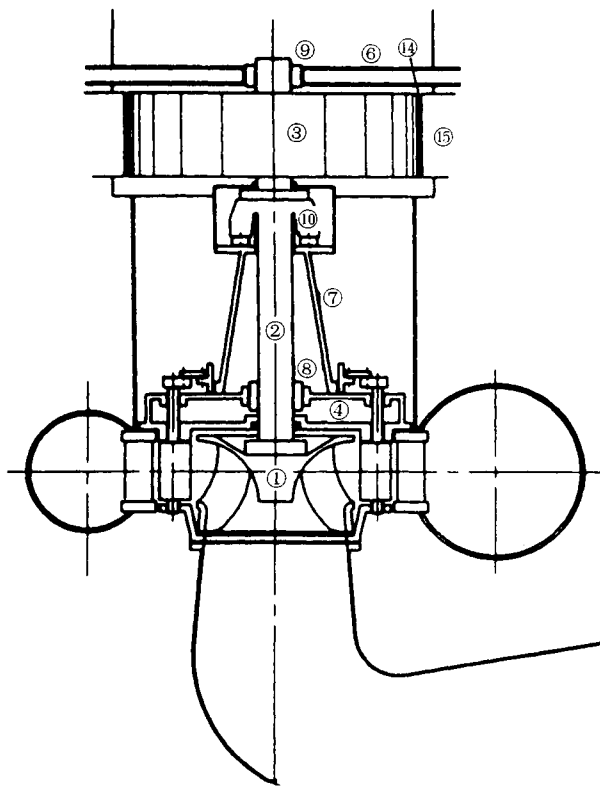


图 3f 半伞式机组(推力轴承在水轮机顶盖)

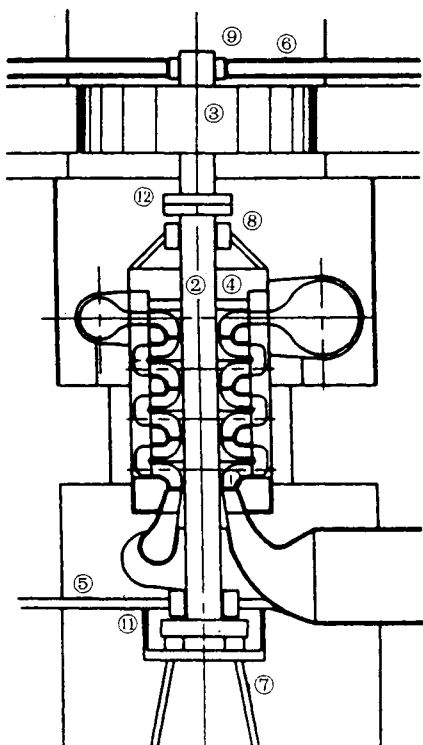


图 3g 推力轴承在主轴下末端的机组

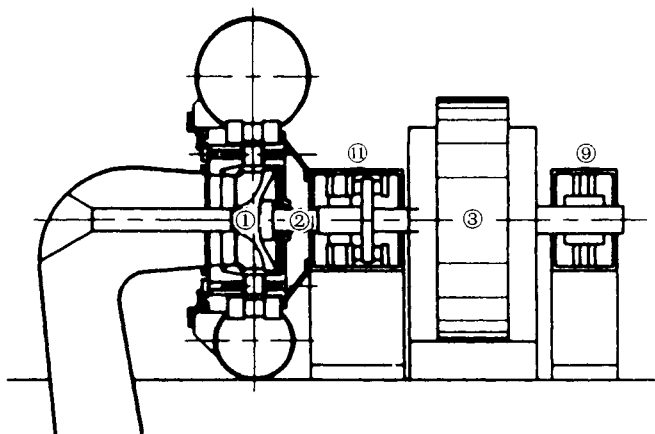


图 3h 卧式两轴承机组

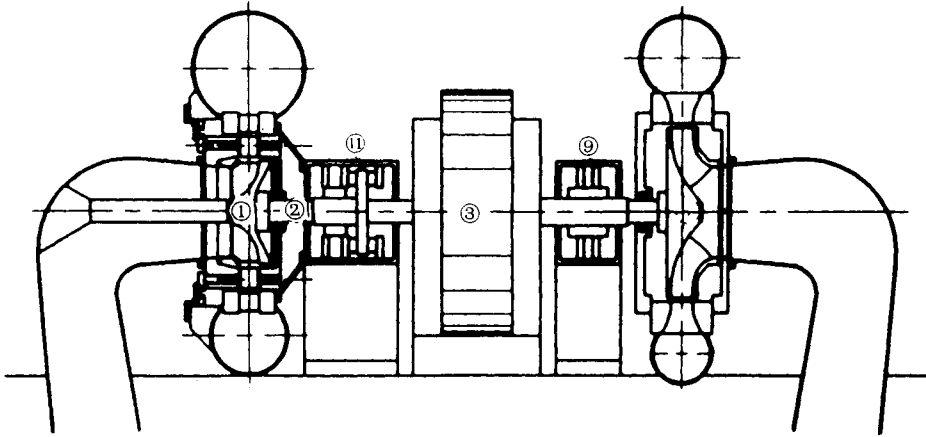


图 3i 卧式两轴承机组(左侧为水轮机,右侧为单级泵)

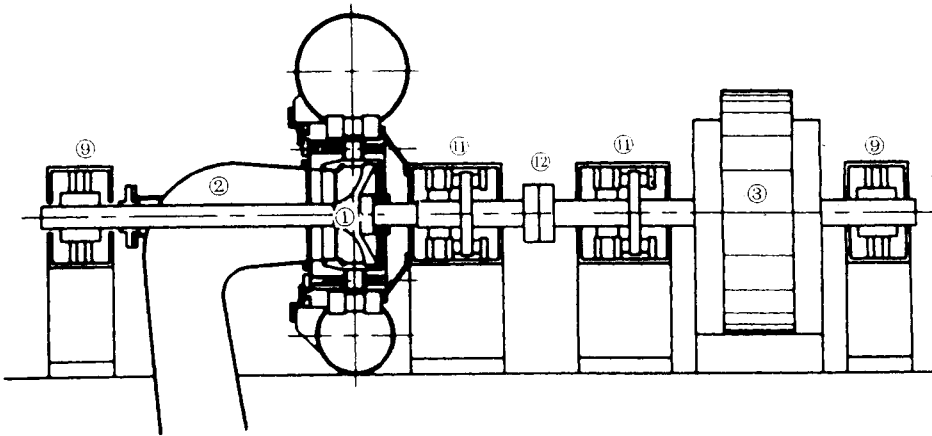


图 3j 卧式四轴承机组

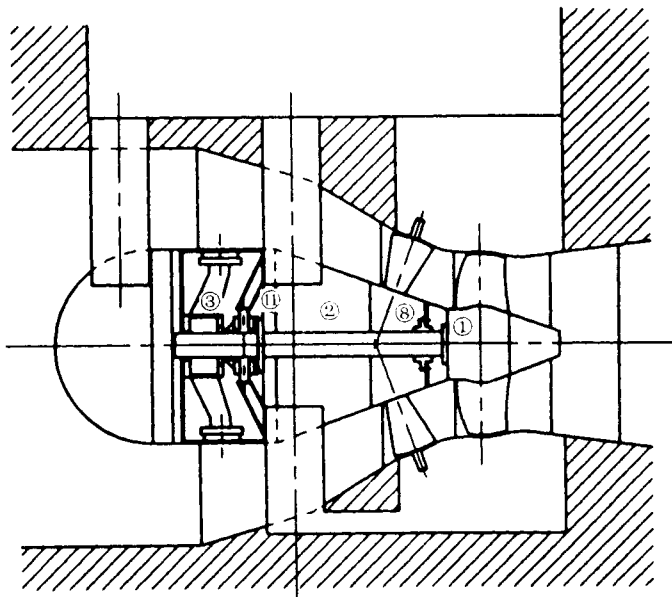


图 3k 转轮为悬臂式的贯流式机组

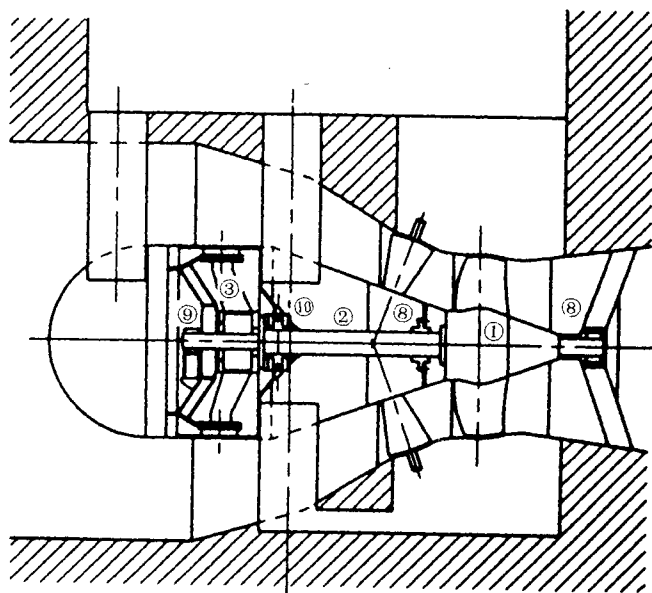


图 3l 在尾水管进口有附加径向支撑的机组

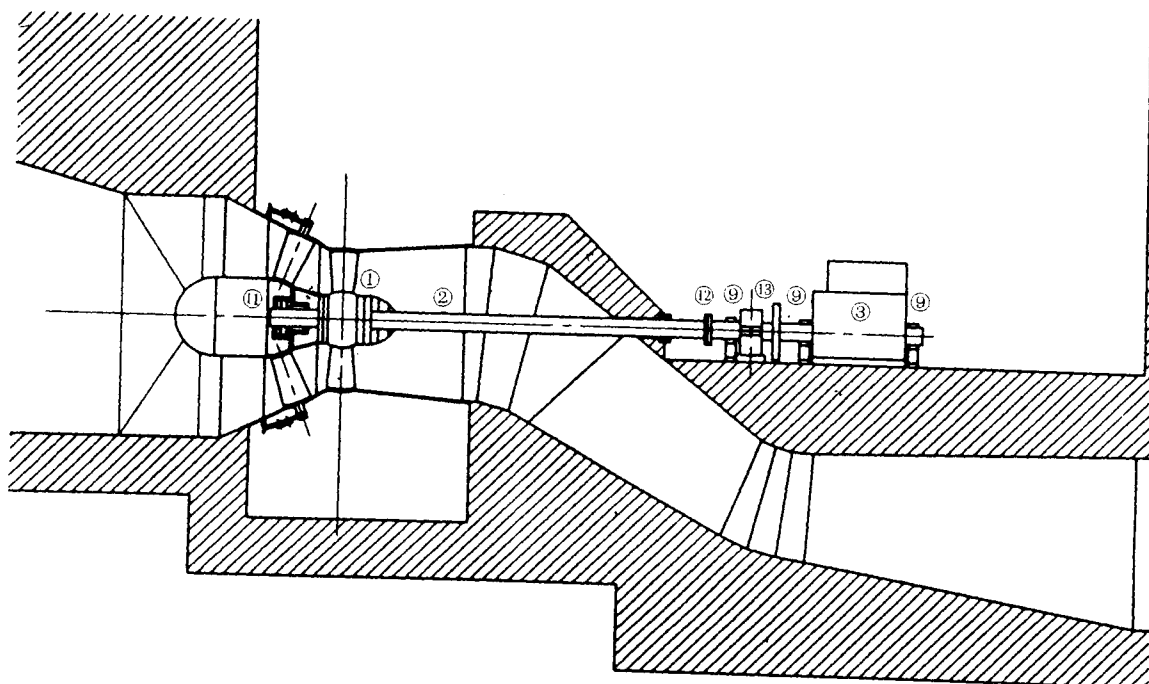


图 3m 轴伸贯流式机组

4 关于保证值

提出保证值不是本规程的目的和任务,但如果按本规程的规定进行试验,则对得出的结果进行统计分析后可为保证值的确定奠定基础。保证值必须以一定的测试规程为基础,而当应用保证值(或标准)和测试结果对机组进行评价时,则保证值和测量结果都必须符合同一测试规程。

第二篇 试验的实施

5 试验计划

5.1 试验计划的拟定

试验负责人根据下述各项草拟试验计划并提交有关各方协商。

5.1.1 试验目的

5.1.2 列出所有被测量及传感器的安装位置

5.1.3 试验工况

列出准备运行的工况及每个工况运行的时间,需要开停机的次数及每次停机的持续时间。

5.1.4 测试设备

列出所有被测量的测量记录仪器和方法,提供必要的率定结果或有关率定方法的说明。

5.1.5 试验条件

列出试验时机组应具备的条件和操作方式等。

5.1.6 准备工作

包括需要非试验承担单位配合进行的工作或提供的条件。

5.2 振动、脉动被测量及测点布置

振动、脉动被测量及测点位置根据试验目的具体确定。

对于结构振动的测量,如仅为评价机组的振动水平,应测量振动位移。如为了研究结构的振动特性或其他专门参数,可根据需要或所含频率范围分别测量振动位移、振动速度或振动加速度,也可同时测量两种量。

对于暂态过程的振动测量,还必须考虑传感器的暂态响应特性应满足被测量的暂态类型和时间历程,见 7.1.1。

以下 5.2.1~5.2.3 各节为主要测量项目,应优先安排;5.2.4~5.2.10 各节所列项目可根据需要确定。主要项目中的测点部位及数量也可根据需要适当增删,如在发生强烈振动的有关部位增设测点。

5.2.1 振动应在机组的关键部件和部位上测量,如:

- a) 各导轴承和推力轴承的轴承座及支架;
- b) 水力机械顶盖;
- c) 转轮室的非混凝土部分(轴流式及贯流式机组);
- d) 贯流式水轮机的灯泡体及加强筋;
- e) 导叶(水轮机及可调式水泵——水轮机);
- f) 固定导叶(特殊情况下)。

振动传感器的布置如下:

- 在各导轴承座或支架的互成 90° 的两个方向;
- 在推力轴承机架上尽可能靠近旋转中心的一个或两个轴向方向上;
- 在转轮室上尽量不受混凝土限制的径向方向;
- 水力机械顶盖上尽量靠近旋转中心的轴向和径向的一个方向或两个方向(如互成 90°);
- 在灯泡体内两个横断面的加强筋径向和切向布置,其中一个断面靠近水轮机,另一个靠近发电机;
- 在任何刚性地固定在导叶上的可拆卸部件的三个方向上,即垂直于导叶最小刚度平面方向;垂直于导叶轴平面且平行于导叶最小刚度平面的方向;平行于导叶轴的方向。

5.2.2 主轴径向振动(主轴摆度,下同)应在靠近导轴承处测量,并在各测量平面相隔 90° 的两个方向安装涡流传感器或其他位移传感器。测量相对振动时,传感器固定在导轴承体上,且尽量靠近主轴。测

量绝对振动时,传感器应安放在固定于基础的支架上。

如果需要,也可在两个导轴承间的主轴上不同位置测量其相对于某一固定点的振动(绝对振动)。

有的轴流式水轮机在暂态过程工况下出现抬机或轴向串动现象,试验时应在适当位置安装测量主轴轴向位移的传感器。

5.2.3 压力脉动应在下述部位测量(按水轮机运行方式):

a) 机组高压侧 如钢管末端(蜗壳进口)、蜗壳内的其他地方,以及在需要和可能时,在钢管的某个断面;

b) 尾水管锥段 如需要,也可在扩散段或其他部位;

c) 与转轮上冠相对的顶盖内表面、转轮与导叶之间的空间,等。

压力脉动传感器应安装在:

a) 机组高压侧流道相应位置;

b) 尾水管锥段距进口为 L 的 $-Y$ 方向;对于轴流式及斜流式水轮机, L 可取 $(0.7 \sim 0.8)D_5$;对混流式水轮机, L 可取 $(0.4 \sim 0.5)D_5$, D_5 为尾水管锥管进口直径。

对于弯型尾水管,测点也可设在弯段的小半径侧。

5.2.4 应力脉动由实测应变计算得到,参看附录 A。应变用电阻应变片测量,测点应选在应力集中的位置,如孔、槽、倒角或其他具有应力集中的部位。

5.2.5 主轴扭矩脉动可在转轮与电机之间适当的位置上测量主轴的扭应变而求得(见图 5 及附录 B)。信号从旋转主轴向固定部分的传送可采用滑环或遥测应变仪。

5.2.6 转速脉动可用光学式、电磁式或其他装置测量。测量位置可选在主轴任何可见部位。

5.2.7 功率脉动用功率变送器测量。如果功率脉动受到发电机或电网的激励,则应测量相应激励的影响。当用指针式仪表读取功率脉动时,还应注意仪表本身的动态特性对指示值的影响。

5.2.8 导叶扭矩脉动可在导叶轴或连杆上用应变片测量(见图 6、7 及附录 B)。轴承摩擦对测量结果的影响程度不确定。

5.2.9 导轴承径向载荷脉动可用应变片测量。

在分块瓦滑动轴承中,径向力必须在每块瓦的调节螺栓上测量,以求得轴承所受的合力。筒式轴承的径向力只有可在导轴承支架上进行应变测量时才有可能测量。此时应相隔 90° 的两个方向布置测点。

5.2.10 轴向力脉动可用下述方法估计:

a) 在刚度可确定的支持部件上测量其应变或变形,从而求得其支反力脉动;

b) 在每块推力瓦上测量应变脉动;

c) 测量轴的轴向应变(同时应对弯曲应变进行补偿)脉动。

5.2.11 基准标记信号(轴信号)

基准标记信号(轴信号)用于确定旋转体动态方位随时间的变化,并作为转频振动相对相位角的基准点(0°)。建议将基准标记信号选在通过电机首末磁极平分线的轴截面的主轴表面上。如无可能,也可选在其他位置,如与盘车轴号对应的主轴表面上。信号传感器(或电刷)一般应安装在机组的 $+Y$ 方向或与主要测振方向一致。

5.3 试验工况

需要试验的工况取决于当地条件、机组情况、试验目的及共同的协议。下面为一些例子。

5.3.1 基本试验工况

基本试验工况包括以下四种:

a) 空转工况 机组转速逐级升高到额定转速或以上,变化范围可在额定转速的 $50\% \sim 120\%$ 间选定。

b) 空转励磁 在额定转速条件下,励磁电流可取为发电机空载额定电压对应的励磁电流的 50% 、 75% 和 100% 。