ICS 29.240.20

K 47

|  |
| --- |
|   |

CSEE

中国电机工程学会标准

T/CSEE XXXX-YYYY

|  |
| --- |
|       |

水轮发电机组动平衡试验规程

（征求意见稿）

|  |
| --- |
| Test code for dynamic balance of Hydro-generating units |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国电机工程学会   发布

目  次

[前 言 I](#_Toc95144697)

[1 范围 1](#_Toc95144698)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc95144699)

[3 术语和定义 1](#_Toc95144700)

[4 总则 3](#_Toc95144701)

[5 动平衡试验方法 4](#_Toc95144702)

[6 动平衡指标及评定方法 8](#_Toc95144703)

[7 转子不平衡量的校正 8](#_Toc95144704)

[附 录 A 10](#_Toc95144705)

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会水电设备专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1 号，100761，网址：http：//www.csee.org.cn，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

水轮发电机组动平衡试验规程

## 1 范围

本文件规定了水轮发电机组转子现场动平衡试验方法，转子剩余不平衡量的测定和评价准则，以及转子不平衡量的校正方法。

本文件适用于各类型水轮发电机组转子动平衡试验，以及转子不平衡量的配重校正。

## 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（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2900.45 电工术语 水电站水力机械设备

GB/T 6444 机械振动 平衡词汇

GB/T 8564 水轮发电机组安装技术规范

GB/T 11348.5 旋转机械转轴径向振动的测量和评定 第5部分：水力发电厂和泵站机组

GB/T 17189 水力机械（水轮机、蓄能泵和水泵水轮机）振动和脉动现场测试规程

GB/T 18482 可逆式抽水蓄能机组启动试运行规程

DL/T 507 水轮发电机组启动试验规程

DL/T 827 灯泡贯流式水轮发电机组启动试验规程

ISO 1940 刚性转子平衡质量

## 3 术语和定义

GB/T 2900.45、GB/T 17189、GB/T 6444中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

**3.1**

**平衡 balancing**

检查并在必要时调整转子质量分布，以保证在对应的工作转速下，剩余不平衡或者轴承座（或支架）振动和（或）作用于轴承的力在规定限值内的工艺过程。

**3.2**

**不平衡 unbalance**

转子旋转产生离心力所引起的振动力或运动作用于轴承时，该转子所处的状态。

**3.3**

**不平衡质量 unbalance mass**

质量中心偏离转子轴线的质量。

**3.4**

**不平衡量 amount of unbalance**

不平衡质量与其质心偏离（转子）轴线距离（半径）的乘积。

**3.5**

**不平衡相角 angle of unbalance**

在垂直于（转子）轴线的平面内并随转子一起旋转的极坐标系中，不平衡质量位于该坐标系中的极角。

**3.6**

**不平衡矢量 unbalance vector**

大小为不平衡量和方向为不平衡相角所构成的矢量。

**3.7**

**动不平衡 dynamic unbalance**

中心主惯性轴相对于（转子）轴线处于任意位置的状态。

**3.8**

**剩余不平衡 residual unbalance**

平衡后转子上剩余的任何形式的不平衡量。

**3.****9**

**初始不平衡 initial unbalance**

平衡前转子上存在的任何形式的不平衡量。

**3.****10**

**合成不平衡 resultant unbalance**

沿转子分布的所有不平衡矢量的矢量和。

**3.****11**

**合成矩不平衡** **resultant moment unbalance**

沿转子分布的所有不平衡矢量对合成不平衡平面的矩的矢量和。

**3.****12**

**偶不平衡 couple unbalance**

在两个有间距的径向平面内一对量值相等、相角相反的不平衡矢量，形成矩不平衡。

**3.13**

**质量偏向距 mass eccentricity**

刚性转子的质心与转子轴线间的距离。

**3.14**

**平衡品质等级 balance quality grade**

刚性转子不平衡度与转子最大工作角速度的乘积作为分级的量值。单位用毫米每秒表示。

**3.****15**

**转子的状态 state of rotor**

转子的状态由以下几个方面决定：与转速有关的不平衡状态、待校正的不平衡类型和在转速范围内保持或改变其质量单元位置及相互间质心位置的能力。

**3.****16**

**恒态（刚性）转子的状态 constant(rigid) state of rotor**

转子不平衡随转速没有明显变化，仅合成不平衡和（或）合成不平衡矩超出规定的限值，且在转速范围内转子所有质量单元的相互位置保持足够恒定的状态。

**3.17**

**轴承支架 bearing support**

将负荷由轴承传递给结构主体的部件或组合件。

## 4 总则

### 4.1 动平衡试验条件

机组在额定转速空转工况下（热稳定后），测得的机组导轴承座（或轴承支架）径向振动幅值超过GB/T 8564 表41或DL/T 507 表1或DL/T 827表1（灯泡贯流式机组）或GB/T 18482 表1（可逆式抽水蓄能机组）规定的允许值，应进行动平衡试验和校正，直到振动幅值满足上述规范规定的允许值。

### 4.2 动平衡试验要求

4.2.1 当发电机转子长径比小于1/3时，可只做单面动平衡试验和配重校正，当长径比大于1/3时，宜进行双面动平衡试验和配重校正。

4.2.2 可逆式机组因其转速特性及发电电动机转子长径比一般均大于2/5及以上，均应进行双面动平衡试验和配重校正。

4.2.3 对立式机组动平衡试验应以装有导轴承的发电机（或发电电动机）上下机架的水平振动双幅值作为计算和评判依据，并综合考虑上下导轴承摆度和定子机座水平振动值。

### 4.3 质量不平衡力的主要特征

质量不平衡力的主要特征：

1）机组在空转（空载、无励磁）工况下造成导轴承机架水平振动；

2）振动幅值随转速增加而增大，且与转速平方成线性关系；

3）振动主频为转速频率。

4）测量信号与不平横质量方位存在相位滞后现象。

### 4.4 不平衡量大小的表达方式

1）重径积

设某转子质量为M，其重心偏离轴心O的距离为e，在以角速度ω旋转时产生的离心惯性力为Meω2，若在距转子轴心O为r处配以质量m后达到平衡，则有：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | M·*e*·*ω*2=m·*r*·*ω*2 | (4-1) |

由式（4-1）可见，校正质量m也与校正半径*r*成反比。通常用m和*r*的乘积表示不平衡量，称为重径积，单位kg·m。

2）不平衡率

由式（4-1）得

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *e*=(m·*r*)/M | (4-2) |

式（4-2）中，*e*是转子重心的偏移量，即单位质量转子的不平衡量，称之为不平衡率，又称为偏心距。

在平衡试验中，常用重径积表示和计算，而在衡量转子不平衡的优劣程度时用不平衡率。

## 5 动平衡试验方法

### 5.1 传感器及测点布置

机组现场动平衡试验传感器布置示意见表5-1和表5-2。主轴摆度测量应优先选用非接触式位移传感器（如电涡流位移传感器），轴承座（或轴承支架）振动测量宜采用惯性式磁电传感器或非接触式位移传感器。传感器安装位置及要求详见GB/T 17189。

表5-1 机组现场动平衡试验传感器布置表（立式机组）

| **序号** | **测点名称** | **测点位置** | **数量** |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 上导摆度 | +X、+Y方向 | 2 |
| 2 | 下导摆度 | +X、+Y方向 | 2 |
| 3 | 水导摆度 | +X、+Y方向 | 2 |
| 4 | 上机架水平振动 | +X方向 | 1 |
| 5 | 下机架水平振动 | +X方向 | 1 |
|  | 键相信号 | +X方向 | 1 |

表5-2 机组现场动平衡试验传感器布置表（卧式机组）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **测点名称** | **测点位置** | **数量** |
| 1 | 驱动端摆度 | +X、+Y方向 | 2 |
| 2 | 非驱动端摆度 | +X、+Y方向 | 2 |
| 3 | 水导摆度 | +X、+Y方向 | 2 |
| 4 | 驱动端轴承座水平振动 | +X方向 | 1 |
| 5 | 非驱动端轴承座水平振动 | +X方向 | 1 |
|  | 键相信号 | +X方向 | 1 |

在主轴上贴键相基准点金属键相块或反光片，用来获取转子基准位置信号。键相传感器与振动位移传感器可呈任何角度位置安放，要准确确定键相传感器与振动传感器之间的相对位置角度，以便于准确定位振动相位。

通常选择一个方向的振动位移传感器作为主分析用传感器，另一个方向的传感器作为参考分析传感器，二者相位差宜为90°。当不平衡质量点（高点）旋转至电涡流振动位移传感器时，该电涡流位移传感器测得的距离变小，摆度时域波形转频分量的波谷与键相脉冲的相位差即为高点落后键相块的角度。如图1所示。



图1 不平衡相位求取

### 5.2 试验工况及程序

1）变转速试验。

改变机组转速依次为40%、60%、80%、90%、100%额定转速，同步采集机组摆度、键相及振动等信号，检验机组转动部件是否存在不平衡质量。

2）变励磁电压试验。

改变机端电压依次为50%、75%与100%额定电压，同步采集机组摆度、键相及振动等信号，判定机组磁拉力是否平衡。

3）动平衡配重试验。

在100%额定转速工况（若机组磁拉力存在一定程度的不平衡，可选取100%额定电压工况），找出机组转动部件不平衡质量相位，对机组转子进行配重，以减小机组转动部件不平衡质量。

4）完成空载动平衡试验后，宜在机组额定负荷工况下对试验结果进行复核，必要时以机组额定负荷为目标工况，进行动平衡配重。

### 5.3 试配重量选择

常用试重公式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5-1) |

式中：

*P*试：试加重量，kg；

*G*：转子重量，一般以发电机转子装配重量计，kg；

*n*：动平衡试验时机组转速，r/min(通常在额定转速下试验)；

*r*：试加重位半径，m。

系数的选择根据机组转速高低及振动值大小情况而定。目的是既要使机组振动在加试重后有较明显的反应，又要控制试重重量，不至于使振动值增加过大，危及机组安全运转。一般来说，转速高、振动值小的机组，系数取小值；反之取大值。

根据国内外累计资料，也可以选用发电机转子重量的万分之一至万分之二作为机组动平衡试验的试加重量，即：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *G*1=(0.0001～0.0002)*G* | (5-2) |

式中：

*G*1为试加重量，kg；

有经验的试验工程师，也可以根据其经验，确定机组首次试重量。

### 5.4 三点试重法

假设转子上有一不平衡量*m*，所处角度为*a*，用分量*mx*、*my*表示不平衡量。则有：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *mx*=m·cos*a**my*=m·sin*a* | (5-3) |



图2 三点试重法示意图

为了确定不平衡量*m*的大小和位置*a*，在*P*1(*a*=0°)点加试重M，启动转子到工作转速，测得振动振速V1。

用同样的方式分别在*P*2(*a*=120°)和*P*3(*a*=240°)点加试重M，并分别测得振动值V2、V3，可得：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | K2 = (V12+ V22+ V32-3V02)/(3M2)*mx* = (V12- V02)/(2MK2)-M/2*my* = (V22- V32)/(2MK2) | (5-4) |

其中，K为比例系数，M为外加试重重量，V0为未加试重前的振动振速。进一步可以得到：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5-5) |

### 5.5 影响系数法

1）单面法

配重前测得初始振动矢量*A*0，然后停机加上试加重量*P*，再次开机后测得由*P*和不平衡重量的合成重量引起的振动矢量为*A*01，则试加重量*P*引起的振动为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *A*0 *=A*01*－A*0 | (5-6) |

由此，可得出幅相影响系数为：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | K= *A*1/*P*=( *A*01*－A*0)/*P* | (5-7) |

根据*A*0即可计算出应配重量M有：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | M·*K*+ *A*0*=*0 | (5-8) |

可得到：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | M*=－A*0/*K* | (5-9) |

2）双面法

测出转子两侧轴承的初始振动矢量*A*0、*B*0，在A侧试加重量*Pa*后。测出两侧轴承振动矢量为*A*01、*B*01；在B侧试加重量*Pb*后，测出两轴承振动矢量为*A*02、*B*02。

由试加重量*Pa*引起的振动：

对转子的A侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *A*1 *=A*01*－A*0 | (5-10) |

对转子的B侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *B*1 *=B*01*－B*0 | (5-11) |

由试加重量*Pb*引起的振动：

对转子的A侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *A*2 *=A*02*－A*0 | (5-12) |

对转子的B侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *B*2 *=B*02*－B*0 | (5-13) |

在转子的A侧加试重*Pa*的幅相影响系数如下：

对转子的A侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | K*a1*= *A*1/*Pa* | (5-14) |

对转子的B侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | K*b1*= *B*1/*Pa* | (5-15) |

在转子的B侧加试重的幅相影响系数如下：

对转子的A侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | K*a2*= *A*2/*Pb* | (5-16) |

对转子的B侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | K*b2*= *B*2/*Pb* | (5-17) |

测出转子A、B两侧的初始振动*A*0、*B*0，则配重重量大小及方位可由下式计算得出：

对转子的A侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | M*a=－*(*A*0·*Kb2－B*0·*Ka2*)/ (*Ka1*·*Kb2－Kb1*·*Ka2*) | (5-18) |

对转子的B侧：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | M*a=－*(*B*0·*Ka1－A*0·*Kb1*)/ (*Ka1*·*Kb2－Kb1*·*Ka2*) | (5-19) |

综合考虑机组的转速、转子直径与转子磁轭高度来确定采用单面法或双面法。

## 6 动平衡指标及评定方法

### 6.1 概述

当测得的机组导轴承座径向振动（或非承重机架水平振动）幅值超过相关规范或合同约定的限值时，或振动幅值尚未超过限值，但已呈现出4.3中所描述的动不平衡现象，宜开展动平衡试验予以改善。

### 6.2 动平衡指标

宜采用机组导轴承座径向振动或机架水平振动（立式机组）的位移峰峰值作为动平衡指标。测量方法按GB/T 17189执行。

动平衡相位计算宜采用主轴振动位移（摆度）（或轴承座（支架）振动速度）波形波谷与键相脉冲的相位差，也可采用轴承座（支架）振动位移波形修正后的相位与键相脉冲的相位差。

### 6.3 动平衡指标的评定

水轮发电机转子平衡精度等级宜达到G16级，宜选用GB/T 8564或DL/T 507 、DL/T 827（灯泡贯流式机组）、GB/T 18482（可逆式抽水蓄能机组），以及GB/T 11348.5（主轴摆度）中的限值对发电机转子动平衡试验结果进行评价。

## 7 转子不平衡量的校正

### 7.1 转子不平衡量的计算

转子不平衡量为转子质量与质心到轴线距离的乘积，以下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | U=M·*e* | (7-1) |

式中，

U为转子不平衡量，kg·m；

M为转子质量，kg；

*e*为转子质心到轴线距离，也称不平衡率、转子偏心距，即单位质量转子的不平衡量，m。

装有定转子气隙监测系统的水电机组，可根据同一位置气隙传感器测量得到的转子所有磁极处的气隙，计算得到转子偏心距，-可作为计算转子不平衡量的辅助参考。

无气隙监测系统的水电机组，可利用振动的幅值、相位按以下步骤计算得出：

——测量机组初始振动；

——在校正平面1施加试验不平衡量，测量机组振动；

——去除校正平面1上的试验不平衡量，在校正平面2施加试验不平衡量，测量机组振动；

——去除校正平面2上的试验不平衡量，计算转子不平衡量。

以上步骤类似于动平衡的实施过程，但不做最终的不平衡校正。

### 7.2 不平衡配重值的确定

不平衡量的校正，即确定一配重质量m，使下式成立：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *m*·*r*=M·*e* | (7-2) |

式中，

*m*为配重质量，kg；

*r*为配重半径，m。

配重质量的确定，遵照第5节所推荐的方法进行。

### 7.3 剩余不平衡的确定

实际试验中，受试件规格、尺寸、焊接条件所限，配重实际质量与计算值不会完全匹配，应在实施配重后，计算剩余不平衡量。

如采用影响系数法进行配重计算，剩余不平衡量的确定按以下进行：

（1）单面法

经计算，配重质量为m，实际配重质量为m1，剩余不平衡质量为mr·r，则mr由下式确定：



则：

（2）双面法

经计算，配重质量为m，实际在校正平面1配重质量m1，在校正平面2配重质量m2，校正平面1剩余不平衡量为mr1·r，校正平面2剩余不平衡量为mr2·r，则mr1和mr2由下式确定：



则：

## 附 录 A

（资料性附录）

动平衡试验报告

下面为动平衡试验报告的格式和内容示例，这个示例仅用来帮助编写试验报告，不作为固定的格式。

报告编号：×××

×××电厂×××号机组

动平衡试验报告

**报告审批：**

试验单位：×××

参与人员：×××单位（×××）

×××单位（×××）

×××单位（×××）

试验日期：×××年×××月×××日

试验地点：×××

报告编写：×××

报告审核：×××

报告批准：×××

**报告正文：**

一、前言

二、适用标准

三、试验对象

四、试验程序

五、试验单位和人员

六、试验设备

七、试验结果

1、初始振动测试结果

2、校正平面1试重后测试结果

3、校正平面2试重后测试结果（如有）

4、配重和剩余不平衡量计算结果

5、配重后振动测试结果

6、第二次配重计算结果（如有）

7、第二次配重后振动测试结果（如有）

……

N、机组额定出力复核测试结果

八、试验结论