



中华人民共和国国家标准

GB/T 9239.1—2006/ISO 1940-1:2003
代替 GB/T 9239—1988

机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求 第1部分:规范与平衡允差的检验

Mechanical vibration—Balance quality requirements for
rotors in a constant(rigid)state—
Part 1:Specification and verification of balance tolerances

(ISO 1940-1:2003, IDT)

2006-09-08 发布

2007-02-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 平衡的概念 3

5 相似条件 6

6 平衡允差规范 8

7 许用剩余不平衡量向允差平面的分配..... 10

8 平衡允差向校正平面的分配..... 11

9 组装转子..... 12

10 剩余不平衡量的检验 12

附录 A（资料性附录） 根据平衡品质级别 G 确定许用剩余不平衡量以及向允差平面分配的
示例 14

附录 B（资料性附录） 基于支承力限值确定平衡允差 17

附录 C（资料性附录） 基于振动限值确定平衡允差 18

附录 D（资料性附录） 基于已有的经验确定平衡允差 19

附录 E（资料性附录） 从允差平面向校正平面分配平衡允差的规则 21

参考文献 23

前 言

GB/T 9239《机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求》分为以下两个部分:

——第1部分:规范与平衡允差的检验;

——第2部分:平衡误差。

本部分为 GB/T 9239 的第1部分。

本部分等同采用 ISO 1940-1:2003《机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求 第1部分:规范与平衡允差的检验》(英文第二版)。

本部分是根据 ISO 1940-1:2003 和其 2005 年发布的技术勘误 1 采用翻译法起草的,文本结构和技术内容与 ISO 1940-1:2003 一致。

为便于使用,本部分做了如下编辑性修改:

删除了 ISO 1940-1:2003 的前言;

用小数点符号“.”代替小数点符号“.”;

修改了第2章“规范性引用文件”中的引导语;

——ISO 1940-1:2003 第2章中引用的国际标准已转化为国家标准的则本部分直接引用了与之相应的国家标准;

改正了印刷错误(见 A.3 的脚注)。

本部分代替 GB/T 9239—1988《刚性转子平衡品质 许用不平衡的确定》。

本部分主要对 GB/T 9239—1988 做了如下修改:

——修改了标准名称;

——增加了目次、前言、引言和引用文件;

——按 ISO 1940-1:2003 对标准的整体结构进行了调整;

重新定义了部分术语;

对平衡允差引入了参考平面,允差平面代替了正在使用的校正平面;

——删改了一些示例;

——修改了附录 A;

——删改了附录 B;

——增加了附录 C、附录 D 和附录 E;

——增加了参考文献。

本部分的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国机械振动与冲击标准化技术委员会归口。

本部分负责起草单位:长春试验机研究所。

本部分参加起草单位:孝感松林国际计测器有限公司、长春中联试验仪器有限公司、上海申克机械有限公司、中国船舶工业集团公司第 6354 研究所、郑州机械研究所。

本部分主要起草人:刘智力、张世民、邵春平、王朝荣、杨德春、黄润华。

本部分所代替标准的历次版本发布情况:

——GB/T 9239—1988。

引 言

ISO 19499(在制定中)将对所有平衡方面的标准进行全面介绍。对于恒态(刚性)转子,只有合成不平衡力和合成不平衡矩(合成偶不平衡)具有意义,二者一起常常统称为动不平衡。

现今的平衡机能够使不平衡减少到很小的限度。可是,将不平衡减少到这样的限度是不经济的。因而,有必要对平衡工件规定平衡品质要求。

同等重要的是剩余不平衡的检验。此检验应考虑到不同的平衡误差。GB/T 9239.2 中描述了处理平衡机误差的改进方法。

机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求

第 1 部分:规范与平衡允差的检验

1 范围

GB/T 9239 的本部分给出了恒态(刚性)转子的规范并规定了:

- a) 平衡允差;
- b) 所需校正平面的数目;
- c) 检验剩余不平衡的方法。

根据恒态(刚性)转子的机械类型和最高工作转速,对其平衡品质要求提出了建议。这些建议是以国内外的经验为基础的。

GB/T 9239 的本部分规定了剩余不平衡检验的验收准则,以协调旋转机械的制造者和用户之间的关系。

GB/T 9239.2 详细探讨了有关平衡误差和剩余不平衡的检验。

GB/T 9239 的本部分不包括挠性状态转子,对于挠性状态转子的平衡品质要求见 GB/T 6557。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 9239 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,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部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 9239.2 机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求 第 2 部分:平衡误差(GB/T 9239.2—2006, ISO 1940-2:1997, Mechanical vibration—Balance quality requirements of rigid rotors—Part 2: Balance errors, IDT)

ISO 1925:2001 机械振动 平衡词汇

3 术语和定义

ISO 1925:2001 中确立的术语和定义适用于 GB/T 9239 的本部分。为了使用者方便,下面列出了其中的部分定义。

注:该标准的一些定义目前正在复审。

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频率下,剩余不平衡或者轴颈振动和(或)作用于轴承的力在规定限值内的工艺过程。

[ISO 1925:2001, 定义 4.1]

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。

[ISO 1925:2001, 定义 3.1]

注:术语“不平衡”有时用作“不平衡量”或“不平衡矢量”的同义词。

3.3

初始不平衡 initial unbalance

平衡前转子上存在的不平衡。

[ISO 1925:2001, 定义 3.11]

3.4

剩余不平衡 residual unbalance

最终不平衡 final unbalance

平衡后转子上剩余的不平衡。

[ISO 1925:2001, 定义 3.10]

3.5

合成不平衡 resultant unbalance

沿转子分布的所有不平衡矢量的矢量和。

注 1: 见定义 3.6 注释。

[ISO 1925:2001, 定义 3.12]

注 2: 合成不平衡能够表示为

$$\vec{U}_r = \sum_{k=1}^K \vec{U}_k$$

式中:

$\vec{U}_r$ 合成不平衡矢量, 单位为克毫米(g·mm);

$\vec{U}_k$ 第 k 个不平衡矢量, k 为 1 到 K 。

3.6

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。

注 1: 合成不平衡与合成不平衡矩一起完整地描述了恒态(刚性)转子的不平衡。

注 2: 合成不平衡矢量与特定的径向平面无关, 但是合成不平衡矩的量值和相角方向取决于所选择的合成不平衡的轴向位置。

注 3: 合成不平衡矢量是动不平衡的等效不平衡矢量的矢量和。

注 4: 合成不平衡矩通常被表示为在任意两个不同的径向平面内的一对大小相等、方向相反的不平衡矢量。

注 5: 合成矩不平衡可表示为:

$$\vec{P}_r = \sum_{k=1}^K (\vec{e}_k - \vec{e}_{U_r}) \times \vec{U}_k$$

式中:

$\vec{P}_r$ 合成矩不平衡, 单位为克二次方毫米(g·mm²);

$\vec{U}_k$ 第 k 个不平衡矢量, k 为 1 到 K ;

$\vec{e}_k$ 从一基准点到 $\vec{U}_k$ 平面的轴向位置的矢量;

$\vec{e}_{U_r}$ 从同一基准点到合成不平衡 $\vec{U}_r$ 平面的轴向位置的矢量。

注 6: 对 ISO 1925:2001 中的定义 3.13 进行了修改。

3.7

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。

3.8

动不平衡 dynamic unbalance

中心主惯性轴相对轴线的任意位置的状态。

注 1: 在特殊情况下, 中心主惯性轴可以与轴线平行或相交。

注2: 动不平衡量能够由两个指定平面(垂直于轴线)上的两个等效不平衡矢量给出,并能完全地表示恒态(刚性)转子的总不平衡量。

注3: 对 ISO 1925:2001 中的定义 3.9 进行了修改。

3.9

不平衡量 amount of unbalance

不平衡质量与其质心到轴线距离(半径)的乘积。

注: 不平衡量的单位是克毫米(g·mm)。

[ISO 1925:2001, 定义 3.3]

3.10

不平衡相角 angle of unbalance

不平衡质量在旋转坐标系中的极角,该坐标系在垂直于转子轴线的平面上并随转子一起旋转。

[ISO 1925:2001, 定义 3.4]

3.11

不平衡矢量 unbalance vector

大小为不平衡量,方向为不平衡相角的矢量。

[ISO 1925:2001, 定义 3.5]

3.12

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。

注1: 在大多数情况下,不平衡随转速没有明显变化。与现在一直使用的定义(ISO 1925)相反,甚至振型不平衡也不随转速变化。只有在特殊情况下不平衡才随转速有明显变化。

注2: 质量单元是描述转子质量分布和可能随转速变化的有效方法。质量单元可以是有限的元件、零件或部件。

注3: 转子的状态还受转子的设计、结构和装配影响。

注4: 转子对不平衡的响应能随转速范围和轴承的支承状态变化。响应的可能接受程度由相应的平衡允差确定。

注5: 转速范围包括从静止到最高工作转速的所有转速,而且也可能包括超速,以作为工作载荷(例如:温度、压力、流量)的裕度。

注6: 就平衡而言,需要考虑的仅仅是相对轴线不对称的转子质量单元的位置变化。

3.13

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

转子处于其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。

注: 恒态转子的不平衡能够在任意选择的两个平面予以校正。

4 平衡的概念

4.1 总则

平衡是一种检查并在必要时调整转子质量分布的工艺过程,以保证在对应的工作转速频率下,剩余不平衡或者轴颈振动和(或)作用于支承上的力在规定限值内。

转子不平衡可能是由设计、材料、制造和装配引起的。甚至在批量生产中,每个转子的不平衡沿其轴向分布都各不相同。

4.2 不平衡的表示方法

恒态(刚性)转子的同一种不平衡能够用矢量以不同方法表示,如图 1a)至 f)所示。

图 1a)至 c)示出了合成不平衡和合成偶不平衡的不同表示方法,而图 1d)至 f)示出的是双面动不平衡的不同表示方法。

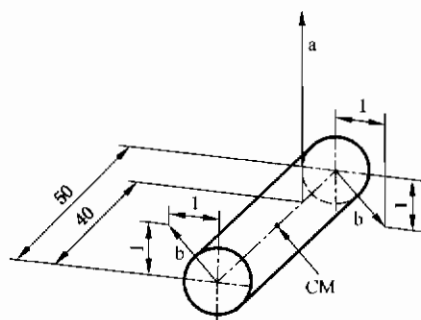
注1: 合成不平衡矢量可以位于任意径向平面内(不改变量值和相角);但是相应的合成偶不平衡则取决于合成不平

衡矢量的位置。

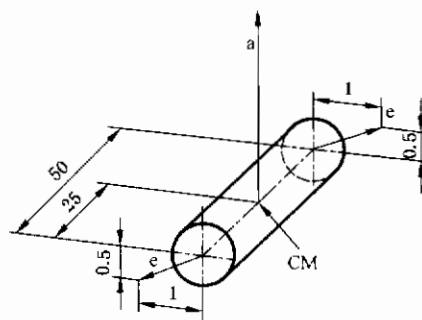
注 2: 不平衡量的中心位于合成不平衡所处的转子的轴线上, 这种情况合成不平衡矩最小。

如果单面平衡就足够了(见 4.5.2), 或从合成和(或)偶不平衡的角度考虑时(见 4.5.4), 图 1a)至 1c)的表示方法较好。就典型的双面动不平衡的情况来考虑, 宜优选图 1d)至 f)的表示方法。

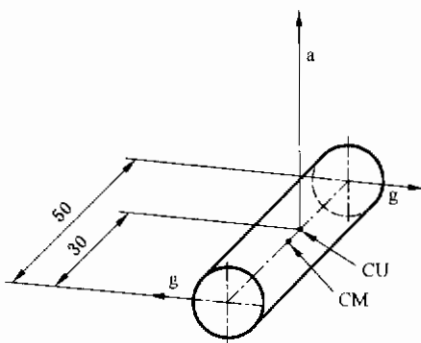
单位为毫米



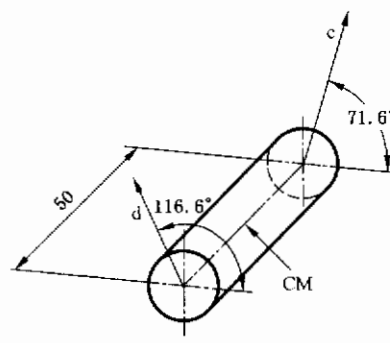
a) 合成不平衡矢量以及相应的两端面上的偶不平衡量



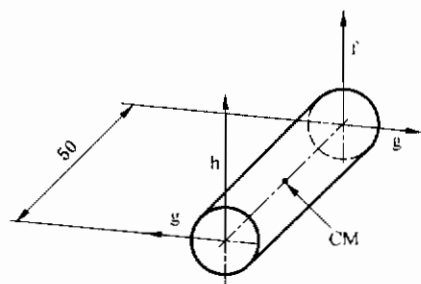
b) a) 的特殊情况, 即位于质心 CM 上的不平衡矢量(静不平衡)以及相应的两端面上的偶不平衡量



c) a) 的特殊情况, 即合成不平衡矢量位于不平衡量中心 CU 上, 此时相应的偶不平衡量最小且位于与合成不平衡正交的平面内



d) 每个端面上的不平衡矢量



e) 每个端面上的两个相互成 90° 的不平衡分量

a——不平衡量为 $5 \text{ g} \cdot \text{mm}$;

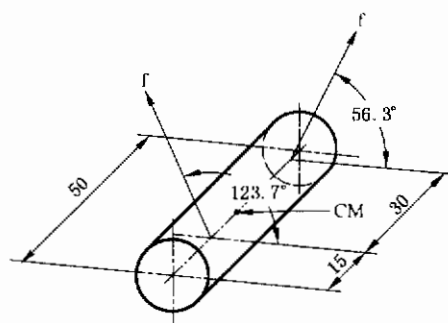
b——不平衡量为 $1.41 \text{ g} \cdot \text{mm}$;

c——不平衡量为 $3.16 \text{ g} \cdot \text{mm}$;

d——不平衡量为 $2.24 \text{ g} \cdot \text{mm}$;

CM——质心;

CU——不平衡中心。



f) 在另外两个平面上的不平衡矢量

e——不平衡量为 $1.12 \text{ g} \cdot \text{mm}$;

f——不平衡量为 $3 \text{ g} \cdot \text{mm}$;

g——不平衡量为 $1 \text{ g} \cdot \text{mm}$;

h——不平衡量为 $2 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 。

图 1 恒态(刚性)转子的同一种不平衡的不同表示方法

4.3 不平衡的影响

合成不平衡和合成不平衡矩(合成偶不平衡)对支承力和机器振动有不同的影响。因此,事实上这两种不平衡经常被分别考虑。即使不平衡以双面动不平衡表示也宜注意:如果不平衡的主要形式是合成不平衡,或者是合成偶不平衡,那么在大多数情况下将会产生不同的影响。

4.4 平衡允差的参考平面

最好是用规定的参考平面确定平衡允差。对于这些参考平面,只要求每个平面剩余不平衡量的值必须小于各自的允差值,不论相角在何位置。

对于恒态(刚性)转子的平衡允差总是有两个理想的平面。在大多数情况下,这些平面都在支承平面附近。而平衡的目的通常是为了减小通过支承传递到周围的振动和力。为简化算法,本部分把 A 和 B 支承平面作为平衡允差的参考平面(允差平面)。

4.5 校正平面

4.5.1 总则

超出平衡允差的转子需要校正。这些不平衡量的校正通常不能在所设定的平衡允差平面上进行,而需要在转子可以增加、去除或重新配置材料的平面上进行校正。

所需要的校正平面的数目取决于转子初始不平衡量的大小和分布以及转子的设计,校正平面的形状及其与允差平面的相对位置。

4.5.2 仅需要单面校正的转子

有些转子仅合成不平衡超出允差而合成不平衡矩则在允差之内。这种情况一般只发生在盘类转子中,只要

- 支承间距足够大;
- 盘类转子旋转时轴向跳动足够小;
- 适当地选择合成不平衡的校正平面。

这些条件是否满足可以在各自的情况下分别研究。对足够数量的转子进行单面平衡以后,所测定的最大的剩余不平衡力矩除以支承间距,可得出不平衡力偶(一对不平衡量)。即使在最坏的情况下,如果用这种方法得出的不平衡量是可以接受的,则能够预计单面平衡就足够了。

对于单面平衡,转子可以不必旋转,不过由于灵敏度和准确度的原因,在大多数情况下仍会使用旋转式平衡机。合成不平衡能够被测定并校正到限值内。

4.5.3 需要双面校正的转子

如果恒态(刚性)转子不能满足 4.5.2 规定的条件,则也需要减小不平衡力矩。在大多数情况下,合成不平衡与合成不平衡矩共同形成了动不平衡;双面上的两个不平衡矢量[见图 1d)]称为等效不平衡矢量。

对于双面平衡,需要旋转转子,否则不能检测到不平衡力矩。

4.5.4 需要两个以上校正面的转子

虽然所有的恒态(刚性)转子理论上能够在两个平面上平衡,但是有时也会使用两个以上的校正平面,例如:

- 在合成不平衡和不平衡力偶分开校正的情况下,如果合成不平衡的校正不能在双面中的一个(或两个)平面上进行时;
- 沿转子轴向分散校正时。

注:在特殊情况下,由于校正平面受到了限制(例如通过在多个配重块上钻孔校正曲轴),或为了保证转子的功能和部件强度,可能需要沿转子轴向分散校正。

4.6 许用剩余不平衡量

仅就轴向长度较短的内质心转子而言,其偶不平衡量可以忽略,则它的不平衡状态能够用一个单独的矢量——不平衡矢量 $\vec{U}$ 表示。

为使转子良好地运转,该不平衡量值(剩余不平衡量 U_{res})不宜大于许用值 U_{per} ,即

$$U_{res} \leq U_{per} \quad \dots\dots\dots (1)$$

通常,式(1)适用于各类转子。

注: U_{per} 的国际单位(SI)是千克米(kg·m),但是就平衡而言更实用的单位是克毫米(g·mm)。

U_{per} 被定义为质心平面内的总允差。对于所有双面平衡的工件、总允差应分配到允差平面(见第7章)。

5 相似条件

5.1 总则

某些相似条件有助于理解和计算转子质量和工作转速对许用剩余不平衡量的影响。

5.2 许用剩余不平衡量和转子质量

通常,相同型式的转子,许用剩余不平衡量 U_{per} 与转子质量 m 成比例:

$$U_{per} \sim m \quad \dots\dots\dots (2)$$

如果许用剩余不平衡的值与转子质量有关,则许用剩余不平衡度 e_{per} 由公式(3)给出:

$$e_{per} = U_{per}/m \quad \dots\dots\dots (3)$$

注1: U_{per}/m 的国际单位是千克米每千克(kg·m/kg) 但是更实用的单位是克毫米每千克(g·mm/kg),相当于注2中的微米(μm)。

注2: e_{per} 的国际单位是千克米每千克(kg·m/kg)或米(m)。但是更实用的单位是微米(μm),因为许多许用剩余不平衡度在 0.1 μm 和 10 μm 之间。如果一定要将几何允差(径向跳动、安装间隙)与平衡允差联系起来,那么术语 e_{per} 非常有用。

注3: 就仅有合成不平衡的转子(例如垂直于轴线的圆盘)而言, e_{per} 是质心偏离轴线的距离。对于具有两种类型不平衡量的一般转子, e_{per} 是一种人为的量,它包含合成不平衡及合成不平衡矩产生的影响。因此, e_{per} 不能在一般转子上显示出来。

注4: 可达剩余不平衡度 e_{per} 的限值取决于平衡机的构成工况,例如:对中、支承和驱动。

注5: 只要轴颈的准确度(圆度、直线度等)满足要求,在实际中就能够得到小的 e_{per} 值。有些情况下,可能需要利用皮带、空气或自驱动装置在转子自身的工作支承上平衡转子。在另外情况下,转子需要在完全装配的自身轴承支座上,用自身驱动在工作条件和温度下进行平衡。

5.3 许用剩余不平衡度和工作转速

经验表明,对于相同型式的转子,通常许用剩余不平衡度 e_{per} 与转子的工作转速 n 成反比:

$$e_{per} \sim 1/n \quad \dots\dots\dots (4)$$

公式(5)给出了这种关系的另一种表示方法,式中 Ω 是转子在最高工作转速时的角速度:

$$e_{per} \cdot \Omega = \text{常量} \quad \dots\dots\dots (5)$$

这种关系也遵循着这样一个事实:对于以相同的圆周速度运行的几何形状相似的转子,转子内的应力和轴承载荷比(由离心力产生)是相同的,平衡品质级别(见 6.2、表1和图2)是基于这种关系分级的。

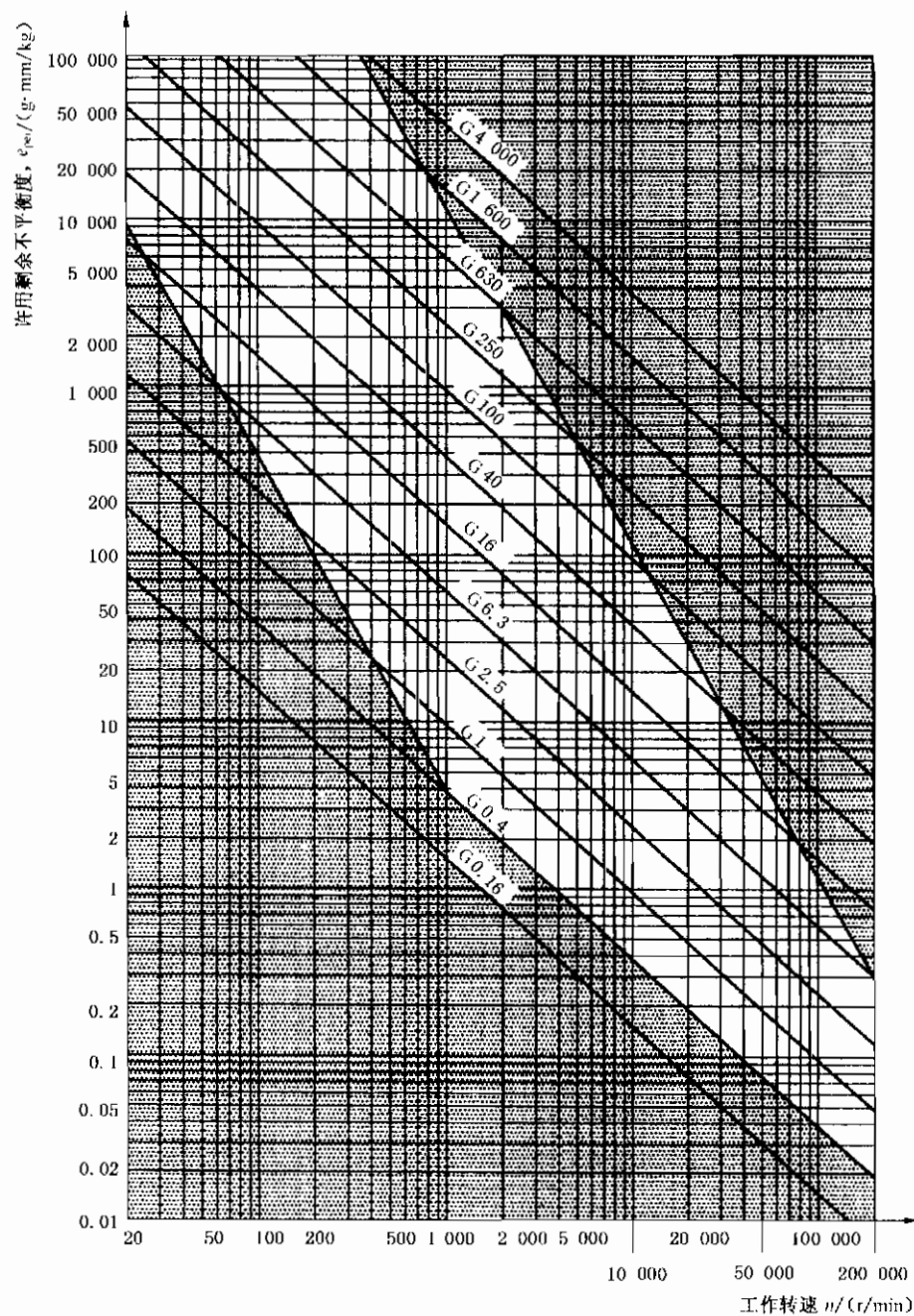
注:对于转子的工作转速比所设计的其最高转速低得多的转子(例如,转速设计成 3 000 r/min 的某些类型的交流电机,转子在转速为 1 000 r/min 的定子中使用),这种相似规则可能是太严格了。在这种情况下可容许选用较大的 e_{per} 值(比例为 3 000/1 000)

表1 恒态(刚性)转子平衡品质分级指南

机械类型:一般示例	平衡品质级别 G	量值 $e_{per} \cdot \Omega$ mm/s
固有不平衡的大型低速船用柴油机(活塞速度小于 9 m/s)的曲轴驱动装置	G 1 000	4 000
固有平衡的大型低速船用柴油机(活塞速度小于 9 m/s)的曲轴驱动装置	G 1 600	1 600

表 1 (续)

机械类型:一般示例	平衡品质级别 G	量值 $e_{\text{per}} \cdot \Omega$ mm/s
弹性安装的固有不平衡的曲轴驱动装置	G 630	630
刚性安装的固有不平衡的曲轴驱动装置	G 250	250
汽车、卡车和机车用的往复式发动机整机	G 100	100
汽车车轮、轮箍、车轮总成、传动轴、弹性安装的固有平衡的曲轴驱动装置	G 40	40
农业机械 刚性安装的固有平衡的曲轴驱动装置 粉碎机 驱动轴(万向传动轴、螺旋轴)	G 16	16
航空燃气轮机 离心机(分离机、倾注洗涤器) 最高额定转速达 950 r/min 的电动机和发电机(轴中心高不低于 80 mm) 轴中心高小于 80 mm 的电动机 风机 齿轮 通用机械 机床 造纸机 流程工业机器 泵 透平增压机 水轮机	G 6.3	6.3
压缩机 计算机驱动装置 最高额定转速大于 950 r/min 的电动机和发电机(轴中心高不低于 80 mm) 燃气轮机和蒸汽轮机 机床驱动装置 纺织机械	G 2.5	2.5
声音、图像设备 磨床驱动装置	G 1	1
陀螺仪 高精密系统的主轴和驱动件	G 0.4	0.4
注 1: 本表是按典型的完全组装好的转子进行分类的。对特殊情况,可使用相邻较高或较低的级别代替。对于部件,见第 9 章。 注 2: 如果不另作说明(往复运动)或显而易见(例如曲轴驱动装置),则所有列出的项目均为旋转类的。 注 3: 对于受构成工况(平衡机、工艺装置)限制的情况,见 5.2 的注 4 和注 5。 注 4: 有关选择平衡品质级别的一些附加信息见图 2。基于一般经验,图 2 包括了通常使用的区域(工作转速和平衡品质级别) 注 5: 曲轴驱动装置可包括曲轴、飞轮、离合器、减振器及连杆的转动部分。固有不平衡的曲轴驱动装置理论上是不能被平衡的,固有平衡的曲轴驱动装置理论上是被平衡的。 注 6: 有些机器可能有专门规定其平衡允差的国际标准(见参考文献)。		



注：基于一般经验，白色区域是通常使用的区域。

图 2 根据平衡品质级别 G 和工作转速 n 确定的许用剩余不平衡度(见 6.2)

6 平衡允差规范

6.1 总则

平衡允差可以通过 6.2~6.5 所述的五种不同的方法确定。这些方法是基于：

- 由大量不同转子的长期的实际经验得出的平衡品质级别(见 6.2)；
- 许用不平衡限值的实验评估(见 6.3)；
- 受不平衡限制的支承力(见 6.4.1)；
- 受不平衡限制的振动(见 6.4.2)；

已有的平衡允差经验(见 6.5)。

方法的选择宜由转子的制造者和用户进行协商而定。

6.2 平衡品质级别 G

6.2.1 分级

根据国内外的经验和相似条件(见第 5 章),已建立的平衡品质级别 G 满足了对典型机械类型的平衡品质要求进行分级(见表 1)。

平衡品质级别 G 是根据 $e_{\text{per}} \cdot \Omega$ 乘积的大小规定的,单位用毫米每秒(mm/s)表示。如果量值等于 6.3 mm/s,则平衡品质级别就确定为 G 6.3 级。

平衡品质级别彼此之间以系数 2.5 来划分。尤其是要求进行高精度的平衡时,有些情况可能需要较精细地分级,但细分级的系数不宜小于 1.6。

图 2 中对应最高工作转速标绘出了 e_{per} (等于 U_{per}/m)值。

注:基于一经验,图 2 在通常使用的区域(转速和品质级别 G)中包括了一些附加信息。

6.2.2 特殊设计

平衡品质级别是以典型的机械设计为基础的,转子质量是整个机器质量的特定百分比。特殊情况下需要加以修改。

示例:轴中心高小于 80 mm 的电机归为 G 6.3 级,许用不平衡量就要从这个级别中导出(见 6.2.3)。只要转子质量是机器质量的典型百分比,例如 30%,这个许用不平衡量值是合适的。就轻型转子而言(例如无铁芯电枢),转子质量可能只占机器总质量的 10%。因此可允许使用 3 倍于该级的许用不平衡量。

反之,如果转子质量非常大(就外转子电机而言),可能达到机器总质量的 90%。许用不平衡量需要减小三分之一。

6.2.3 许用剩余不平衡量

根据所选用的平衡品质级别 G,由公式(6)能够得出许用剩余不平衡量 U_{per} :

$$U_{\text{per}} = 1\,000 \frac{(e_{\text{per}} \times \Omega) \times m}{\Omega} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

U_{per} ——许用剩余不平衡量的数值,单位用克毫米(g·mm)表示;

$(e_{\text{per}} \times \Omega)$ ——所选用的平衡品质级别的数值,单位用毫米每秒(mm/s)表示;

m ——转子质量的数值,单位用千克(kg)表示;

Ω ——工作转速的角速度数值,单位用弧度每秒(rad/s)表示,其中 $\Omega \approx n/10$ 且工作转速 n 的单位为转每分(r/min);

作为另一种方法,可以用图 2 得出 e_{per} ,那么:

$$U_{\text{per}} = e_{\text{per}} \times m \dots\dots\dots (7)$$

注:对于许用剩余不平衡量 U_{per} 、平衡品质级别 $(e_{\text{per}} \cdot \Omega)$ 和许用剩余不平衡度 e_{per} ,这里使用了带称谓的国际单位,所以应用该公式时需要特别注意。附录 A 中给出了应用示例。

U_{per} 被定义为质心平面内的总允差。对于所有双面平衡的工件,总允差应分配到各允差平面(见第 7 章)。

6.3 实验评估

对于大量生产场合,经常要对平衡品质要求进行实验评估。试验一般在现场进行。通过在每个校正平面上依次施加不同的试验不平衡量,按照最有代表性的判断依据(例如由不平衡引起的振动、力、噪声)来确定许用剩余不平衡量。

在双面平衡中,如果没有使用允差平面(4.4 中规定的平面),应考虑相同相角的不平衡量与相角相差 180°的不平衡量所产生的不同效应。

6.4 基于特定目的的方法

6.4.1 限制支承力

主要目的是限制由不平衡引起的支承力。首先规定支承力限值,然后据此转换成不平衡量。就是

够稳固(不移动)的支承架来说,该转换就是简单地应用离心力公式(见附录 B)。

在其他情况下,应考虑工作条件下结构的动态性能。对于这些情况没有简单的规则可用。

6.4.2 限制振动

这种情况的主要目的是限制特定平面内的振动。这可能对诸如手持式机器具有意义。从这些限值中能够导出平衡品质要求(见附录 C)。

6.5 基于已有经验的方法

如果某公司已积累了足够的经验来评价其产品的平衡品质,便可以充分加以利用。附录 D 提供了一些指南。

7 许用剩余不平衡量向允差平面的分配

7.1 单面

就单面校正而言, U_{per} 全部在该平面上(见 4.5.2)。在其他情况下, U_{per} 应被分配到两个允差平面。

7.2 双面

7.2.1 总则

许用剩余不平衡量 U_{per} 按质心到另一侧允差平面的距离的比例进行分配(见图 3 和图 4)。如果允差平面为 A 和 B 支承平面,则适用公式(8)和(9):

$$U_{\text{per A}} = \frac{U_{\text{per}} \times L_{\text{B}}}{L} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$U_{\text{per B}} = \frac{U_{\text{per}} \times L_{\text{A}}}{L} \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$U_{\text{per A}}$ ——A 支承平面上的许用剩余不平衡量;

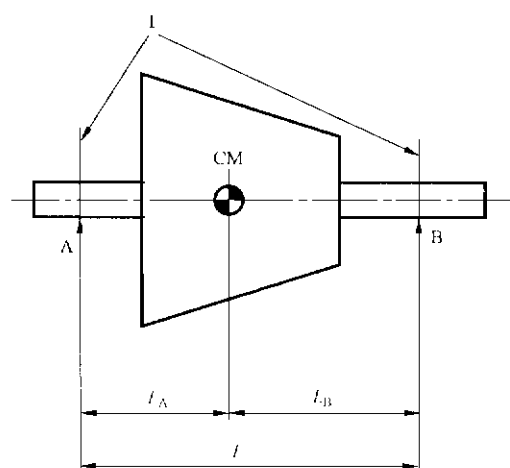
$U_{\text{per B}}$ ——B 支承平面上的许用剩余不平衡量;

U_{per} ——(总的)许用剩余不平衡量(在质心平面);

L_{A} ——从质心平面到 A 支承平面的距离;

L_{B} ——从质心平面到 B 支承平面的距离;

L ——支承跨距。



l 允差平面(=支承平面);
CM 质心。

图 3 质心不对称的内质心转子

7.2.2 对内质心转子的限制

内质心转子的一般外形简图见图 3。如果质心靠近某一支承平面,对该支承平面计算出的允差值

就很大,接近于 U_{per} 的值,而远离质心的支承平面的允差值就变得很小,接近于零。为了避免极端允差状态,本部分限定:

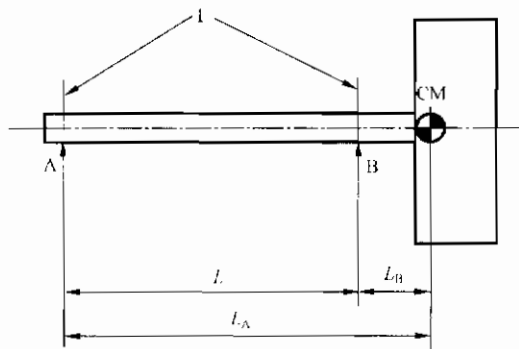
- 较大的允差值不宜大于 $0.7 U_{\text{per}}$;
- 较小的允差值不宜小于 $0.3 U_{\text{per}}$ 。

7.2.3 对外质心转子的限制

外质心转子的一般外形简图见图4。根据公式(8)和(9)计算允差值。然而,为了避免极端允差状态,本部分限定:

- 较大的允差值不宜大于 $1.3 U_{\text{per}}$;
- 较小的允差值不宜小于 $0.3 U_{\text{per}}$ 。

外质心转子不平衡量的上限值与内质心转子不平衡量的上限值是不同的。这里假设设计的B支承和支承结构能够承受施加的外悬质量的静载荷,因而它也能相应地承担由不平衡引起的较大载荷。若不是这种情况,宜采用内质心转子的限制条件。



1——允差平面(—支承平面);
CM——质心。

图4 质心位于外悬位置的外质心转子

8 平衡允差向校正平面的分配

8.1 总则

本部分极力推荐使用指定的参考平面来确定平衡允差,但是当今的许多平衡方法仍然是在校正平面应用平衡允差。

由于是按照校正方法来选择校正平面,因而对于平衡允差来说这些平面通常是不理想的(见4.4)。如果一定要把允差分配到校正平面,下述两点是重要的:

- a) 剩余不平衡的量值和它们的相对相角位置两者对不平衡的状态均有影响。尽管如此,即使在这些情况下,通常也只是根据量值而不是相角关系来确定允差。
- b) 因此任何分配原则都是折衷的。这就一定要考虑两个校正面上剩余不平衡量之间相角关系的最坏情况。对于其他状态,相同的剩余不平衡量对转子将造成较小的影响。

所以,采用校正平面上的平衡允差,许多转子被平衡到比所要求的不平衡量值更小。

平衡允差可由第6章所述的方法确定:

- 就实验确定法而言(见6.3),通常可以得到每个校正平面的许用剩余不平衡量,而不需要再作分配;
- 无论什么时候使用了允差平面,例如基于平衡品质级别(见6.2)、特定的目的(见6.4)或已有的经验(见6.5)来确定平衡允差,就可能需要将平衡允差随后分配到各校正平面。

8.2 单面

对于只需要一个校正平面的转子,这个平面上的许用剩余不平衡量 U_{per} 等于各允差平面上允差值

的总和。

注：当采用平衡品质级别（见 6.2）确定 U_{per} 时，省略向两个允差平面分配的步骤（见第 7 章）。

8.3 双面

如果 I 和 II 校正平面在 A 和 B 允差平面附近，允差的转换系数可以为 1，即使用邻近允差平面上的允差值。有关这方面更详细的内容和其他条件见附录 E。

9 组装转子

9.1 总则

组装转子可以作为整体转子平衡或对部件分别平衡（分体平衡）。对每个组装转子来说，组装部件的不平衡量要叠加并且由诸如径向跳动和安装间隙引起的装配误差会产生附加不平衡量（详见 GB/T 9239.2）。

注：如果装配误差不是决定性的，平衡工艺的选择可能取决于平衡机的可用性。

9.2 整体平衡

处理转子中所有不平衡量和每一工序相关装配间隙的最好方法是将转子作为一个整体来平衡。

如果转子总成平衡后还需要再拆开（例如为了安装到机箱内），建议对每个部件做出角度标识，以保证重新组装时在相同的角度位置。

注：上面提到的径向跳动和安装间隙问题可能仍然存在。

9.3 分体平衡

如果分别对单个部件进行平衡，则有如下重要意见：

- 通常所有的部件均被平衡到相同的剩余不平衡度（见第 5 章），然而如果允许有附加的装配误差（见 GB/T 9239.2）就要求每个部件的剩余不平衡度均应小于组件的剩余不平衡度；
- 如果这样产生了问题（例如大型电枢上的小型风扇或皮带轮），那么只要把组件的总不平衡量保持在允差以内，任何分布原则都是允许的；
- 至于联接部件的附件，例如键（见 GB/T 16908），制造者和用户双方宜事前达成协议。

如果通过分别平衡每个部件，不能达到组件的平衡允差要求，那么组件最终应做整体平衡。在这种情况下，建议重新考虑是否的确需要分体平衡或可以取消分体平衡。

10 剩余不平衡量的检验

10.1 总则

在允差平面（见 4.4）而不是在校正平面检验转子的剩余不平衡量是合理的。

任何测量都包含误差。为了检验转子的剩余不平衡量，平衡误差不能被忽略（关于这方面的评定和研究见 GB/T 9239.2）。

10.2 验收准则

10.2.1 初始条件

示值系统误差已经被校正，且 ΔU 是剩余的综合误差（见 GB/T 9239.2）。对于 A 和 B 支承平面，设：

$U_{\text{per A}}$ ——A 平面上许用剩余不平衡量的值；

$U_{\text{per B}}$ ——B 平面上许用剩余不平衡量的值；

$U_{\text{rm A}}$ ——在 A 平面上实测的剩余不平衡量的单面示值；

$U_{\text{rm B}}$ ——在 B 平面上实测的剩余不平衡量的单面示值；

ΔU_A ——A 平面的综合误差值；

ΔU_B ——B 平面的综合误差值。

10.2.2 制造者

平衡过程中，如果满足下列两个条件，即可认为转子平衡合格。

$$U_{\text{rm A}} \leq U_{\text{per A}} - \Delta U_{\text{A}}$$

$$U_{\text{rm B}} \leq U_{\text{per B}} - \Delta U_{\text{B}}$$

10.2.3 用户

对于单独进行的平衡检验,如果满足下列两个条件,即可认为转子平衡合格。

$$U_{\text{rm A}} \leq U_{\text{per A}} + \Delta U_{\text{A}}$$

$$U_{\text{rm B}} \leq U_{\text{per B}} + \Delta U_{\text{B}}$$

10.2.4 说明

如果 ΔU_{A} 或 ΔU_{B} 分别小于 $U_{\text{per A}}$ 或 $U_{\text{per B}}$ 的 5%,可忽略不计。

不同的平衡机其综合误差值 ΔU_{A} 或 ΔU_{B} 通常是不同的。因此制造者和用户可以选用不同的值。

多名操作者,使用多台设备,多次重复测量可以通过统计减小误差。

10.3 在平衡机上检验

首先应根据 GB/T 9239.2 检查和(或)处理系统误差。

当在平衡机上进行检验时,可以直接测量剩余不平衡量。机器的性能、不平衡减少率(URR)和最小可达剩余不平衡量(U_{min})应满足使用要求(见 GB/T 4201)。

10.4 所述的操作程序也可以用于平衡机上,但这可能被限制在转子的工作转速下来做,因为在低速下振动信号可能太小。

10.4 不在平衡机上的检验

剩余不平衡量可以不在平衡机上测定,例如在现场使用能够测量基频振动幅值、相位的仪器进行检验。

按照下列测量程序不加或施加试验不平衡量来检测和标定振动状态:

测量转子的初始振动;

——在一个平面上施加试验不平衡量,然后再进行测量;

去除在该平面上施加的试验不平衡量,在另一个平面上施加试验不平衡量,然后再进行测量;

——用影响系数法或等效的方法评定示值。

这个过程类似于一个现场平衡过程,但是不做最终的不平衡校正。示值的所有变化必需只是由试验不平衡量引起。因此,测量应在相同的条件下进行,例如在同一转速下而且振动稳定。

如果怀疑测量的准确度,尤其是线性度,建议使用相角和(或)量值不同的试验不平衡量重复测量过程。

附录 A
(资料性附录)

根据平衡品质级别 G 确定许用剩余不平衡量以及向允差平面分配的示例

A.1 转子数据

设涡轮机转子的数据如下(见图 A.1):

转子质量: $m=3\,600\text{ kg}$

工作转速: $n=3\,000\text{ r/min}$

间距: $L_A=1\,500\text{ mm}$

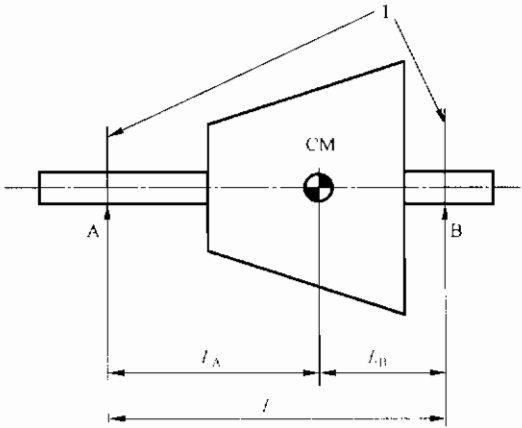
$L_B=900\text{ mm}$

$L=2\,400\text{ mm}$

选择: 根据表 1 对应机械类型为“燃气轮机和汽轮机”的栏目选取平衡品质级别为: G 2.5 级。

计算: 工作转速的角速度:

$$\Omega = \frac{\pi \times n}{30} = \frac{\pi \times 3\,000}{30} = 314.2\text{ rad/s}$$



I——允差平面(=支承平面);

CM——质心。

图 A.1 转子尺寸

A.2 根据公式(6)确定 U_{per}

由公式(6)得:

$$U_{\text{per}} = 1\,000 \times \frac{(e_{\text{per}} \cdot \Omega) \cdot m}{\Omega} = 1\,000 \times \frac{2.5 \times 3\,600}{314.2} = 28.6 \times 10^3\text{ g} \cdot \text{mm}$$

式中:

U_{per} ——许用剩余不平衡量的数值,单位用克毫米($\text{g} \cdot \text{mm}$)表示;

$(e_{\text{per}} \cdot \Omega)$ ——选择的平衡品质级别的数值,单位用毫米每秒(mm/s)表示;

m ——转子质量的数值,单位用千克(kg)表示;

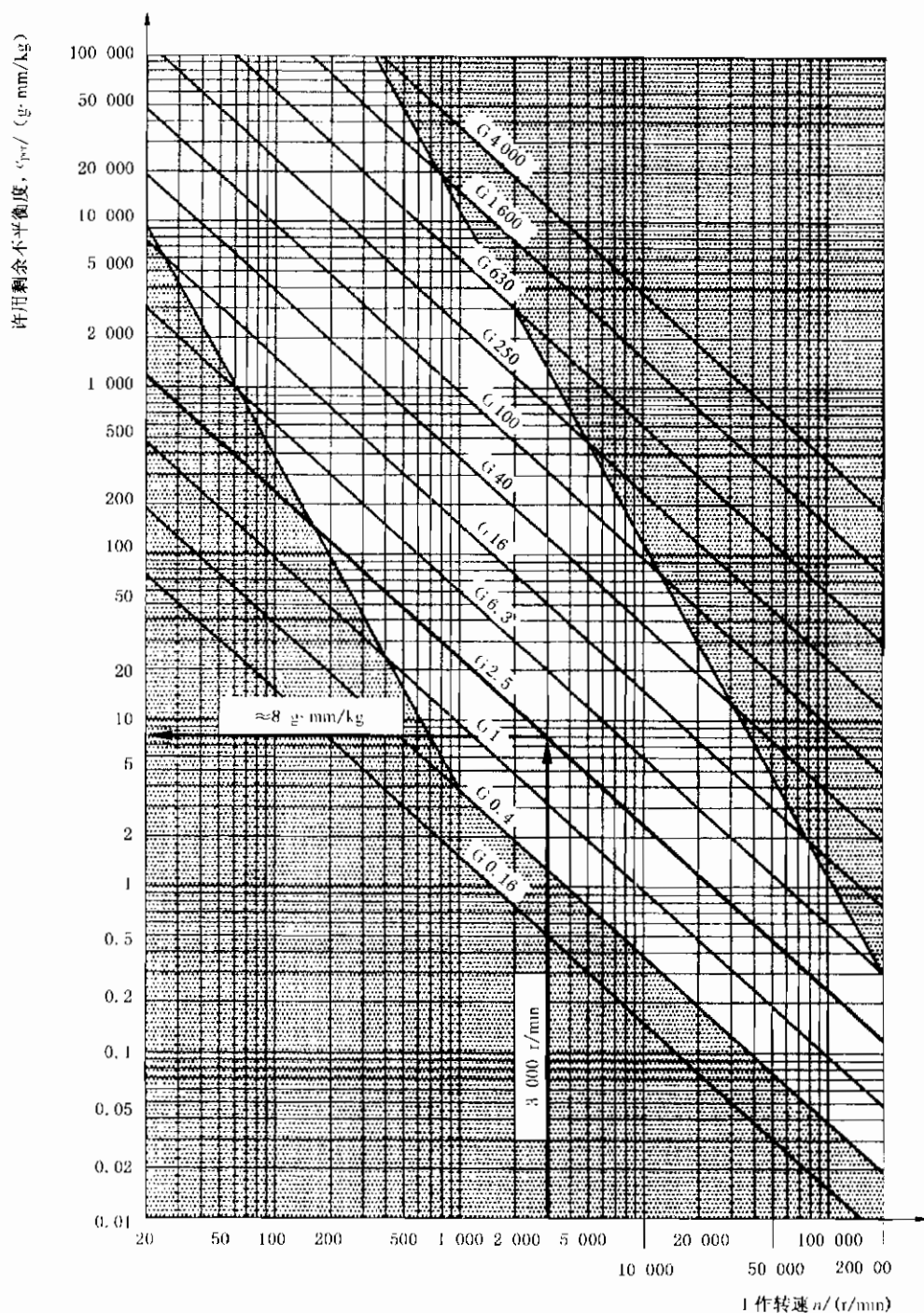
Ω ——最高工作转速的角速度数值,单位用弧度每秒(rad/s)表示。

注: 对于许用剩余不平衡量 U_{per} 和平衡品质级别 $(e_{\text{per}} \cdot \Omega)$, 这里使用了带称谓的国际单位, 所以应用该公式时需要特别注意。

A.3 根据图 2 确定 U_{per}

根据给定的工作转速和平衡品质级别(见图 A.2)查得: $e_{\text{per}} \approx 8 \text{ g} \cdot \text{mm}/\text{kg}^{(1)}$

乘以转子质量,得许用剩余不平衡量: $U_{\text{允}} \approx 8 \times 3\,600 = 28.8 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 。



注：基于一般经验，白色区域是通常使用的区域

图 A.2 利用图 2 确定 e_{per} 的示例

1) ISO 1940 1 原文是“gmm/kg”有误,本部分予以更正

A.4 向允差平面(支承平面)分配

根据 7.2, 许用剩余不平衡量(在 A.2 中计算出来的)能够被分配到支承平面, 如下:

$$U_{\text{per A}} = \frac{U_{\text{per}} \times L_{\text{B}}}{L} = \frac{28.6 \times 10^3 \times 900}{2\,400} = 10.7 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

$$U_{\text{per B}} = \frac{U_{\text{per}} \times L_{\text{A}}}{L} = \frac{28.6 \times 10^3 \times 1\,500}{2\,400} = 17.9 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

A.5 限值的检查(对内质心转子, 见 7.2.2)

较大值不宜大于 $0.7 U_{\text{per}}$, 即: $U_{\text{per max}} \leq 20.0 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 。

较小值不宜小于 $0.3 U_{\text{per}}$, 即: $U_{\text{per min}} \geq 8.6 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 。

A.6 检查结果

$U_{\text{per A}}$ 比 $U_{\text{per min}}$ 大。

$U_{\text{per B}}$ 比 $U_{\text{per max}}$ 小。

均保持在两个限值以内, 表明计算出的 $U_{\text{per A}}$ 和 $U_{\text{per B}}$ 适用。

附录 B
(资料性附录)
基于支承力限值确定平衡允差

B.1 总则

平衡的另一个主要目的是限制支承力(见 6.4.1)。如果规定了这些支承力,还需要将其转换成不平衡量。仅就足够稳固(不移动)的支承架而言,这种转换能够简单地应用离心力公式:

$$U_{\text{per A}} = F_{\text{A}}/\Omega^2$$

$$U_{\text{per B}} = F_{\text{B}}/\Omega^2$$

式中:

$U_{\text{per A}}$ ——A 支承上的许用剩余不平衡量;

$U_{\text{per B}}$ ——B 支承上的许用剩余不平衡量;

F_{A} ——由 A 支承上的不平衡量引起的许用支承力;

F_{B} ——由 B 支承上的不平衡量引起的许用支承力;

Ω ——最高工作转速的角速度。

注:此公式是基于 GB 3100 中规定的国际单位。通常许用剩余不平衡量使用的是带称谓的量纲,所以应用该公式时需要特别注意。

B.2 示例**B.2.1 假设**

对于附录 A 所述的转子,规定由不平衡量引起的最大许用支承力为:

——A 支承上的许用支承力: $F_{\text{A}}=1\,200\text{ N}$;

——B 支承上的许用支承力: $F_{\text{B}}=2\,000\text{ N}$ 。

B.2.2 计算

支承平面上的许用剩余不平衡量是:

$$U_{\text{per A}} = \frac{F_{\text{A}}}{\Omega^2} = \frac{1\,200}{314.2^2} = 12.2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m} = 12.2 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

$$U_{\text{per B}} = \frac{F_{\text{B}}}{\Omega^2} = \frac{2\,000}{314.2^2} = 20.3 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m} = 20.3 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mm}$$

附 录 C

(资料性附录)

基于振动限值确定平衡允差

精确的模型和算法经常用来研究转子或整机的动态性能和检查它们对不平衡的振动响应。这种方法涉及的范围太广,不能够在本部分予以研讨。

简化的方法似乎适用于简易的场合,但是尚未得到一种经过验证的算法。

附录 D

(资料性附录)

基于已有的经验确定平衡允差

D.1 总则

如果某一公司已经取得足够的有据可查的经验以评定其产品的平衡品质,便可以充分利用这些经验。假设总目标仍然相同,那么能够用其他转子的经验来确定新的平衡允差。

D.2 规格几乎相同的转子

如果一个新规格转子与已经成功平衡好的其他转子的规格几乎相同,则可用相同的平衡允差。在位置相似的允差平面上使用相同的限值。

D.3 规格相似的转子

D.3.1 总则

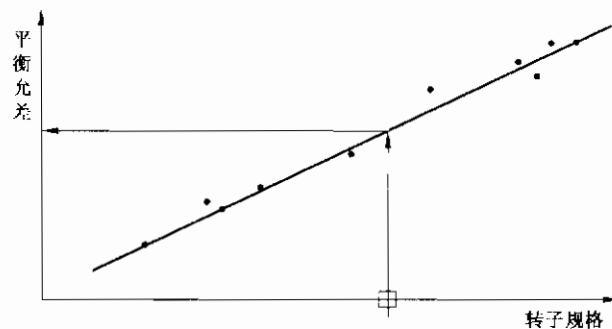
如果一个新规格转子与已经成功平衡好的其他转子的规格相似,其平衡允差可以通过 D.3.2 和 D.3.3 所给定的不同方法得到。

D.3.2 内插法

图 D.1 示出了已知转子的平衡允差与转子规格(直径、质量、功率)的关系曲线。对于一个新规格的转子来说,所要求的平衡允差能够从该图中得出。

注:对不同型式的转子,可能需要不同的图。

在位置相似的允差平面使用修正的限值。



- — 已知转子的数据;
- [□]——新的转子规格。

图 D.1 新规格转子平衡允差的内插法

D.3.3 计算法

对于相同型式的系列转子,如第 5 章所述,转子质量和转子转速适用相似规则。许用剩余不平衡量 U_{per} 与转子质量 m 成正比,与工作转速 n 成反比。

为了根据已知转子的参数值计算新规格转子的许用剩余不平衡量,可应用公式(D.1):

$$U_{\text{per new}} = U_{\text{per known}} \times \frac{m_{\text{new}}}{m_{\text{known}}} \times \frac{n_{\text{known}}}{n_{\text{new}}} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

如果允差平面的许用剩余不平衡量是已知的,可用与(D.1)相似的公式计算新规格转子的对应的量值。

在位置相似的允差平面使用重新计算的限值。

D.4 不同型式的转子

通过评估不同转子(在功能、设计、安装方面的)差异,有可能得出平衡允差的要求。但是这样做起来比上述示例难得多而且需要比上例更多的背景知识。目前尚不能给出通用规则。

附录 E

(资料性附录)

从允差平面向校正平面分配平衡允差的规则

E.1 总则

如 4.4 和 8.1 所阐述的,建议确定平衡允差时要使用允差平面(常等同于支承平面)而不使用校正平面。但是在平衡过程中仍然需要校正平面上的平衡允差,E.2 至 E.4 规定了一些基本规则。

E.2 校正平面在允差平面内侧

对于图 E.1 所示的情况,按照 8.3 方法的结果如下。采用邻近允差平面的平衡允差值:

$$U_{\text{per I}} = U_{\text{per A}}$$

$$U_{\text{per II}} = U_{\text{per B}}$$

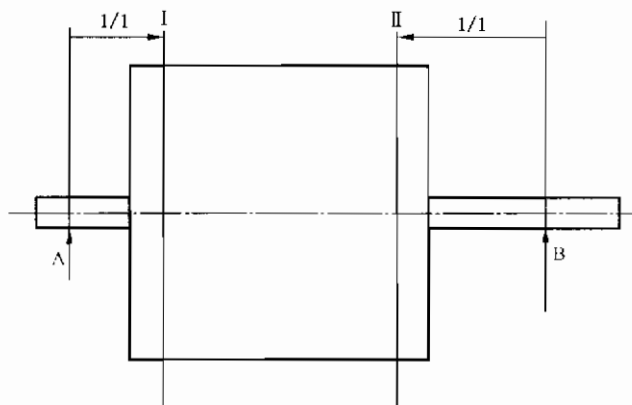
式中:

$U_{\text{per I}}$ —— I 校正平面上的许用剩余不平衡量;

$U_{\text{per II}}$ —— II 校正平面上的许用剩余不平衡量;

$U_{\text{per A}}$ —— A 允差(支承)平面上的许用剩余不平衡量;

$U_{\text{per B}}$ —— B 允差(支承)平面上的许用剩余不平衡量。



注: A 和 B 为允差(支承)平面; I 和 II 为校正平面。

图 E.1 平衡允差向支承内侧的校正面分配

E.3 校正平面在允差平面外侧

对于图 E.2 所示的情况,给出如下建议,按支承跨距与校正平面间距之比成比例地减小平衡允差值:

$$U_{\text{per I}} = U_{\text{per A}} \frac{L}{b}$$

$$U_{\text{per II}} = U_{\text{per B}} \frac{L}{b}$$

式中:

$U_{\text{per I}}$ —— I 校正平面上的许用剩余不平衡量;

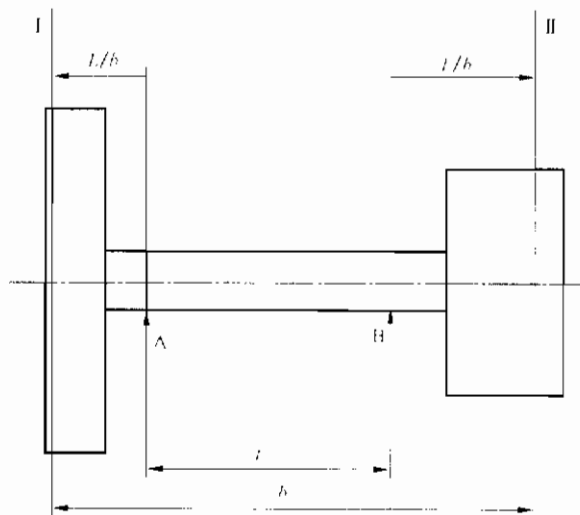
$U_{\text{per II}}$ —— II 校正平面上的许用剩余不平衡量;

$U_{\text{per A}}$ —— A 允差(支承)平面上的许用剩余不平衡量;

$U_{\text{per B}}$ ——B 允差(支承)平面上的许用剩余不平衡量；

L ——支承跨距；

b ——Ⅰ 和Ⅱ 校正平面之间的距离。



注：A 和 B 为允差(支承)平面；Ⅰ 和Ⅱ 为校正平面

图 E.2 平衡允差向支承外的校正平面分配

E.4 更复杂的几何结构

对于几何结构更复杂的转子,不能给出简单的分配规则。对于这样的转子,建议要在支承平面确定许用剩余不平衡量(见 4.4)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2298—1991,机械振动与冲击 术语(neq ISO 2041:1990);
- [2] GB 3100—1993,国际单位制及其应用(eqv ISO 1000:1992);
- [3] GB/T 4201¹⁾,平衡机的描述 检验与评定(GB/T 4201—200×,ISO 2953:1999, IDT);
- [4] GB/T 6557—1999,挠性转子机械平衡的方法和准则(idt ISO 11342:1998);
- [5] GB/T 16908—1997,机械振动 轴与配合件平衡的关键准则(idt ISO 8821:1989);
- [6] ISO 14694:2003,Industrial fans Specifications for balance quality and vibration levels

1) 该标准在制定中。

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求

第1部分:规范与平衡允差的检验

GB/T 9239.1—2006/ISO 1940-1:2003

*

中国标准出版社出版发行

北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

网址 www.bzcbbs.com

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 45 千字

2007年2月第一版 2007年2月第一次印刷

*

书号:155066·1-28773 定价 15.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 9239.1—2006