

# 中华人民共和国国家标准

## 刚性转子平衡品质 许用不平衡的确定

UDC 62.253:62-755

GB 9239—88

### Balance quality of rigid rotors Determination of permissible residual unbalance

本标准等效采用 ISO 1940/1—1986(E)《机械振动——刚性转子平衡品质的要求——第一部分：许用不平衡的确定》。

平衡是改善转子的质量分布，以保证转子在其轴承中旋转时因不平衡而引起的振动或振动力减小到允许范围内的工艺过程。利用现有的测量仪器可以把转子的不平衡减少到相当小的范围，但对平衡品质要求过高是不经济的，也是不必要的。因此必须确定不平衡应减小到何种程度，从而解决技术可能性与经济合理性的关系。

本标准适用于刚性转子。有关准刚性转子、挠性转子许用不平衡的确定见 GB 6558—86《挠性转子平衡的评定准则》及 GB 6557—86《挠性转子的机械平衡》。

本标准规定的平衡品质等级为11级，对常用的各类转子的平衡品质给出了最低限度规定值；如果按规定值选定转子的平衡品质，则可以在很大程度上使转子安全平稳地运行，还可以避免对平衡要求的严重疏漏或要求过高。在某些特殊情况下，需要在试验室或现场通过测量来精确确定所需的平衡品质，上述等级可作为验证的基础。对于某些由于结构或几何尺寸的特殊性与本标准规定值有些偏差的转子以及对尚未规定平衡品质等级的转子，可按本标准规定的方法，由制造厂和用户协商确定并申报有关部门认定。本标准对转子平衡品质等级的规定将继续增补。

## 1 术语

本标准所涉及的有关平衡技术领域的术语的定义见 GB 6444—86《平衡词汇》。

本标准所涉及的有关振动的术语的定义见 GB 2298—80《机械振动、冲击名词术语》。

## 2 不平衡及其校正

### 2.1 不平衡状态的表示

刚性转子的同一种不平衡状态可用图1a至f所示的不同方式表示。大多数转子的不平衡是用图1a至c所示的方式测量的，不平衡的校正也是按这种方式进行的。特殊情况下，亦可采用图1d至f所示的表示方式。

### 2.2 不平衡的影响

不平衡转子不仅使其支承和基础承受动载荷，而且还引起机器的振动。在给定的转速下，这两种影响的程度主要取决于机器和转子的几何尺寸、质量分布以及支承和基础的刚度。

多数情况下，与偶不平衡相比静不平衡是主要的，即在不同平面上的两个相等的同相不平衡要比与之大小相等、方向相反的两个不平衡危害更大。

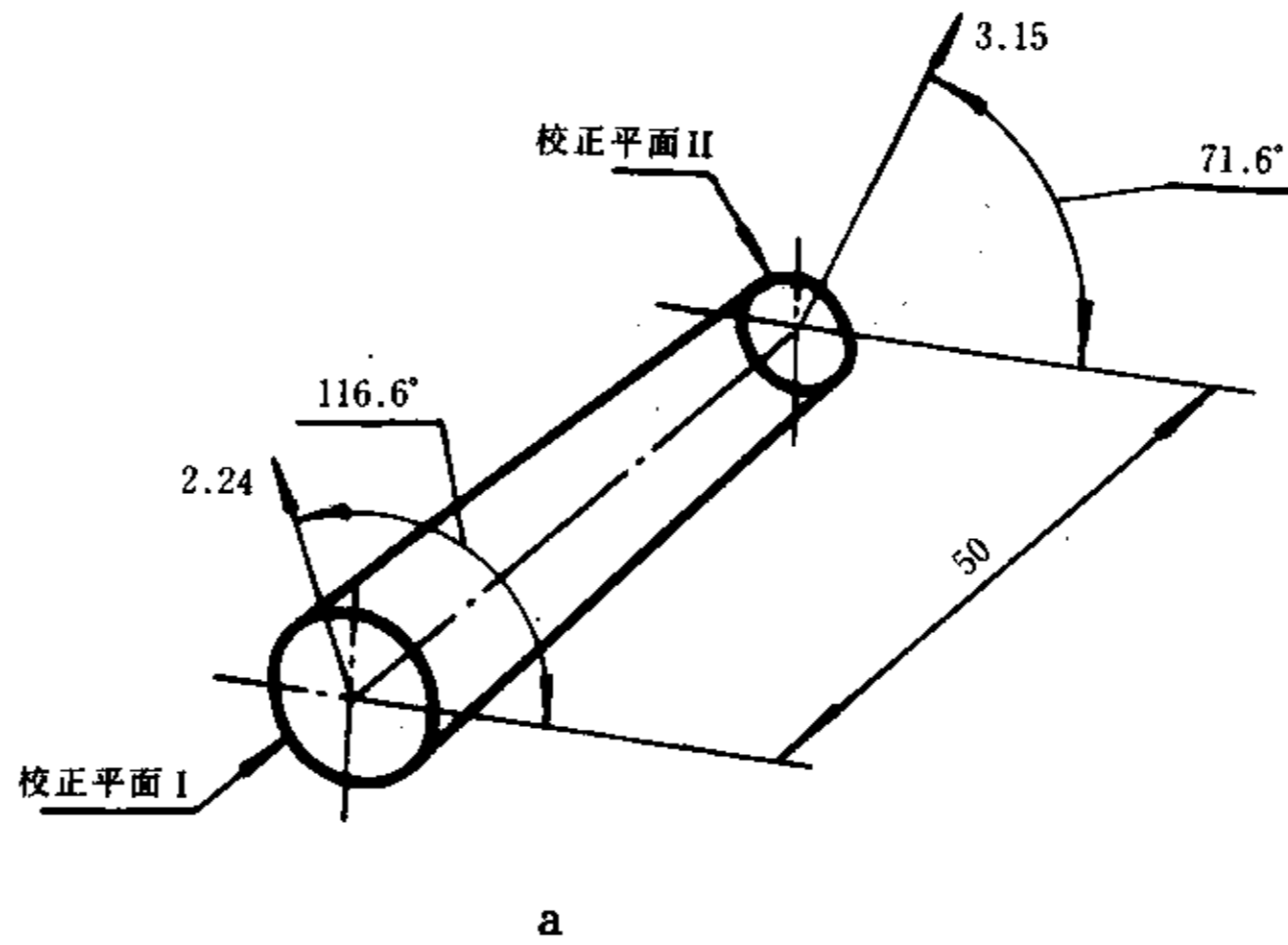
有些情况下，偶不平衡更为有害。例如两端装有悬臂圆盘的转子，其支承间距小于两校正平面间距，由偶不平衡引起的支承动载荷大于由同一对同相不平衡引起的动载荷。

国家机械工业委员会 1988-05-12批准

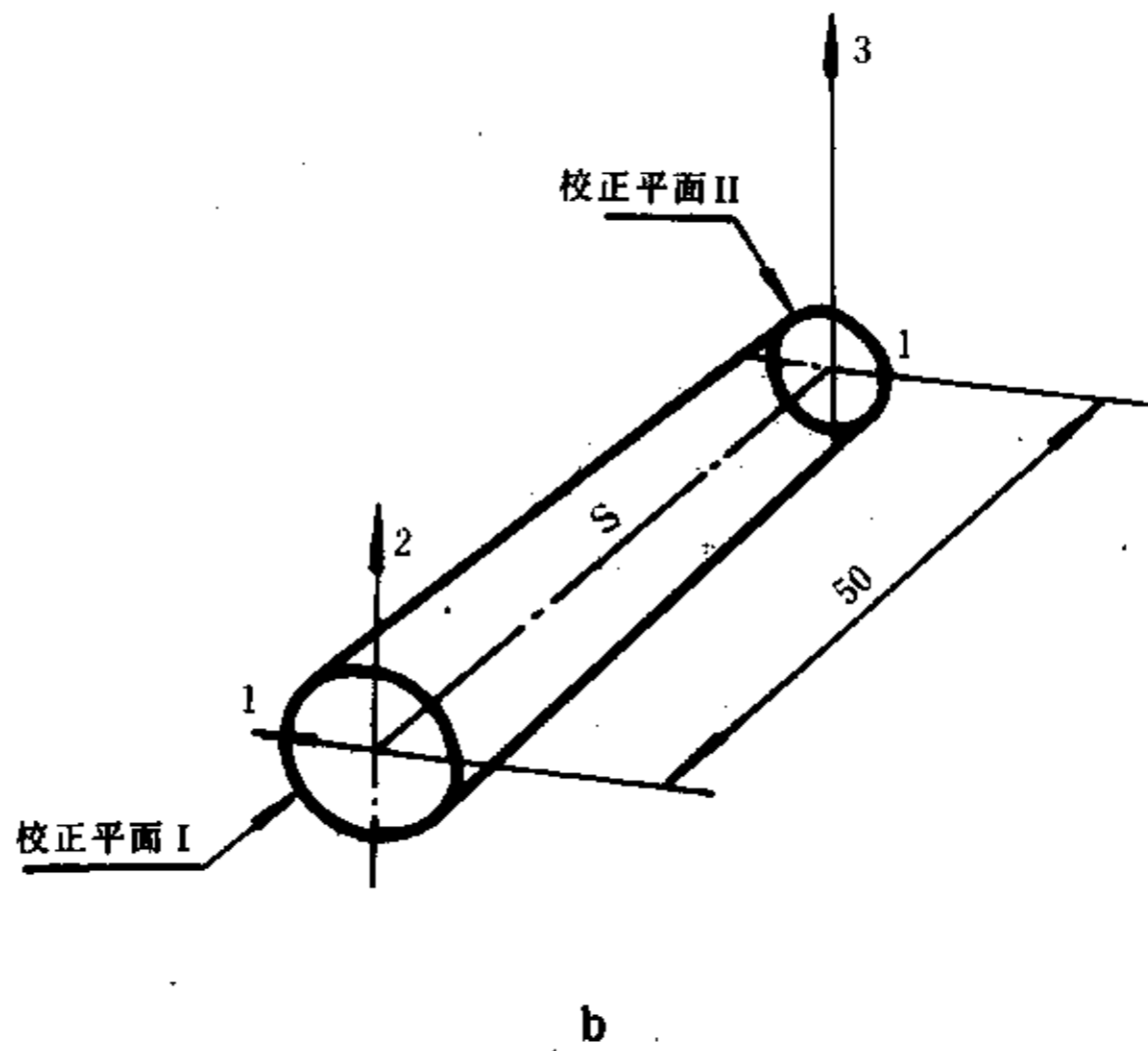
1989-01-01实施

2.3 单校正平面转子

如果盘状转子的支承间距足够大并且旋转时盘状部分的轴向跳动相当小,从而可忽略偶不平衡,这时可用一个校正平面校正不平衡即单面(静)平衡。对具体转子必须验证这些条件是否满足。对大量转子在完成单面平衡后,应测量其最大剩余不平衡量并用支承跨距来除;如果在最坏的情况下用这种方法求得的不平衡量仍是允许的,则单面平衡是足够的。

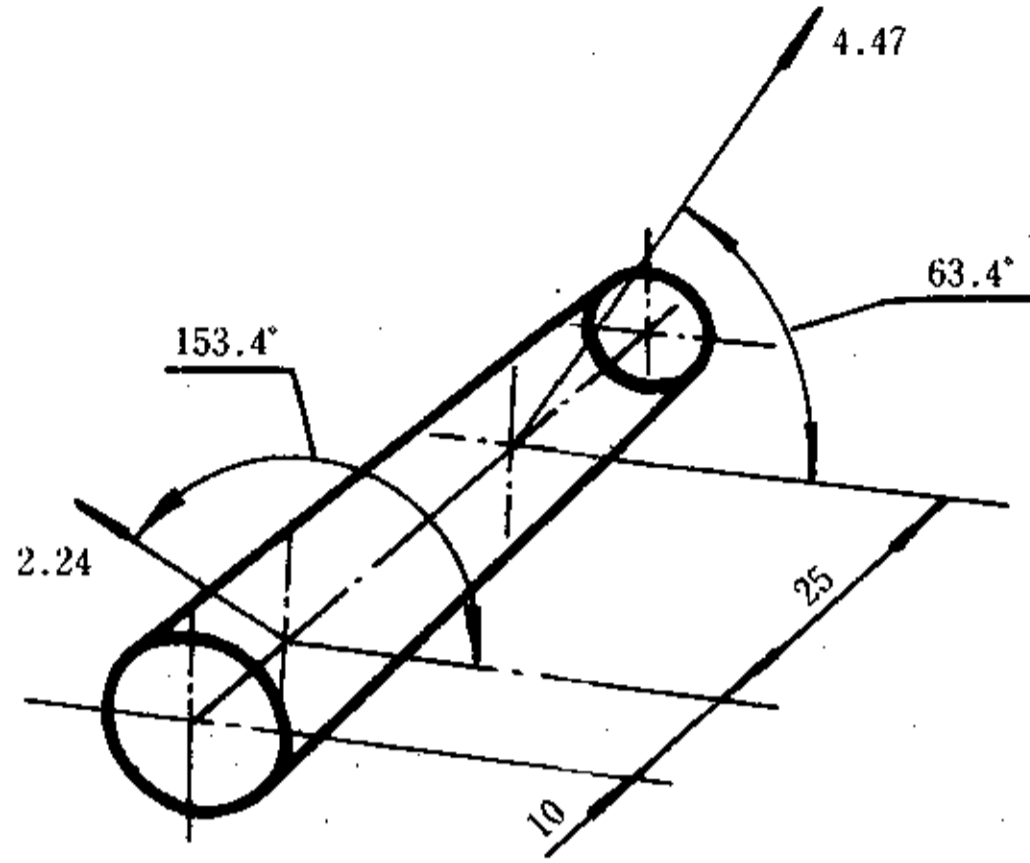


注:校正平面 I 及 II 上各一个不平衡矢量。



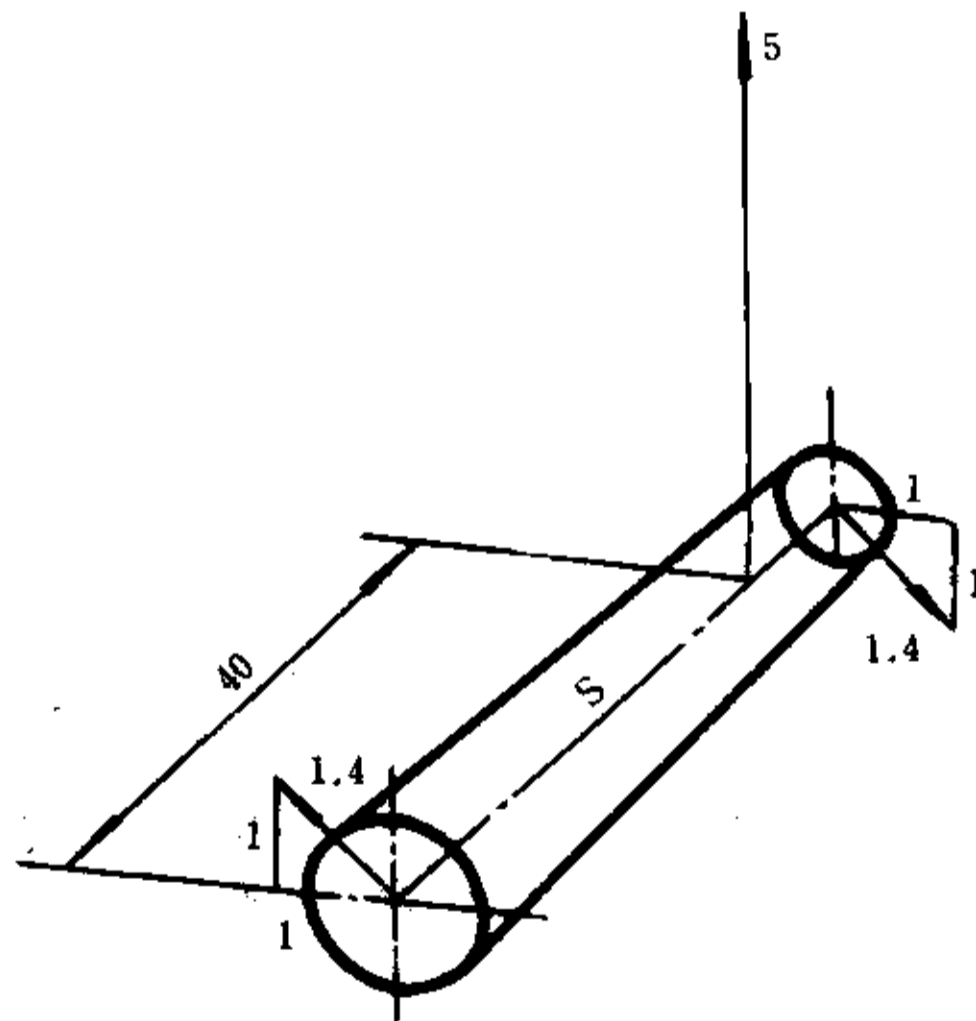
注:校正平面 I 及 II 上各两个不平衡分量。

图 1 刚性转子同一种不平衡状态的不同表现方式



c

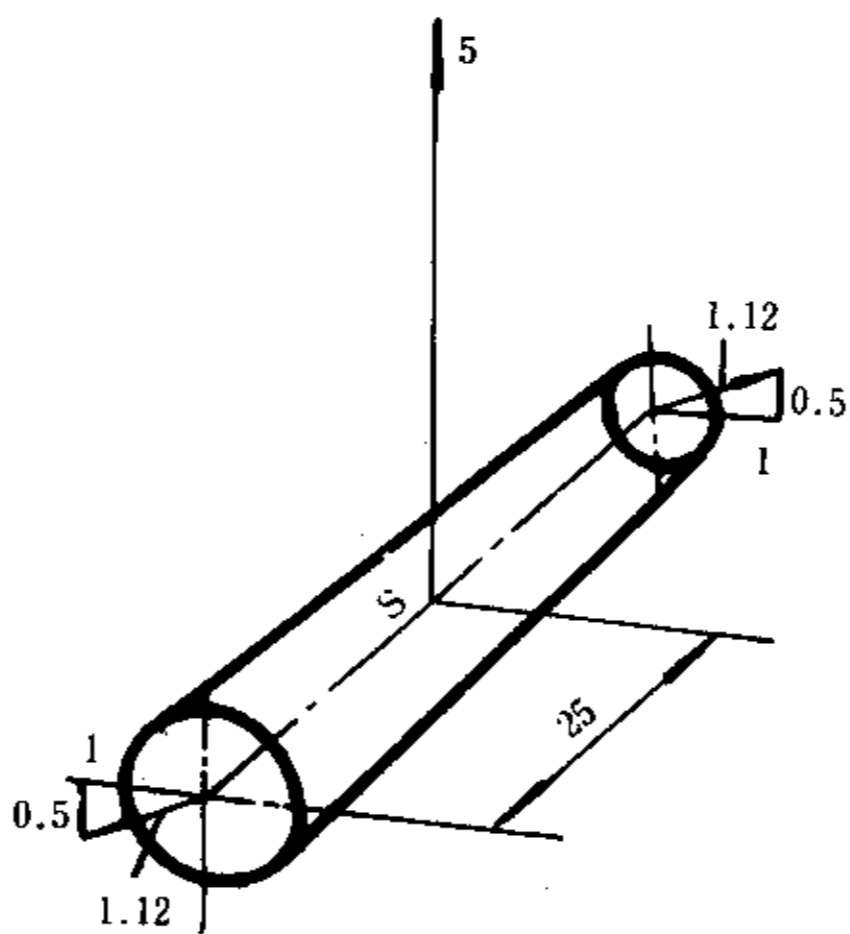
注：其它两个校正平面上各一个不平衡矢量。



d

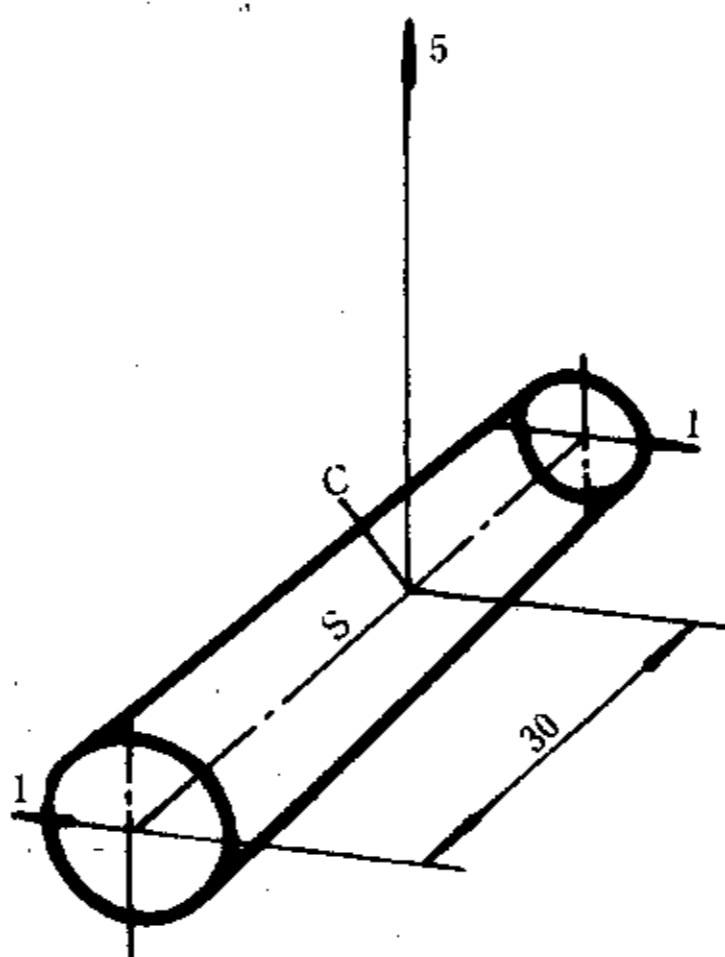
注：一个合成的不平衡矢量与一个位于两校正平面 I 及 II 上的偶不平衡合成的不平衡矢量的位置是可以选定的，例如位于两校正平面中间的某一点，偶不平衡的大小取决于合成的不平衡矢量的位置。

续图 1



e

注：d 的特殊情况：合成的不平衡矢量通过转子质心，另有一偶不平衡。



f

注：d 的特殊情况：合成的不平衡矢量通过不平衡中心，这时偶不平衡最小。

续图 1

## 2.4 双校正平面转子

如果刚性转子不能满足 2.3 条所述盘状转子的条件，则需要两个校正平面，其平衡过程与 2.3 条所述单面（静）平衡相对应，称之为双面（动）平衡。双面平衡时转子必须旋转，否则就不能检测出剩余偶不平衡量。

两校正平面中每平面上的许用不平衡量取决于校正平面间距及支承间距和两者间的相对位置关系，同时也与两校正平面上剩余不平衡间的相位有关。第 5 章将给出确定转子许用不平衡的三种方法，第 6 章将介绍转子许用不平衡量向校正平面分配的方法。

## 2.5 装配组合转子

转子可作为单个零件平衡也可以作为装配组合件来平衡。装配组合转子中各零件的不平衡应按矢量法相加，总的不平衡中还应计入由装配误差引起的不平衡；特别要注意零件最终的装配位置与在平衡

机上平衡时安装位置的不同所造成的影响。

如果装配组合转子的平衡品质靠分别平衡各零件不能满足,则必须将装配组合转子作为整体来平衡。

如果各零件单独平衡,则应首先明确连接件如螺栓、键等的归属,以便在平衡工艺中予以考虑。

### 3 转子质量与许用不平衡量

一般说来,转子质量越大其许用不平衡量也越大,因此可用下式:

$$e_{per} = \frac{U_{per}}{m} \dots\dots\dots(1)$$

所定义的许用不平衡度  $e_{per}$  来表示许用不平衡量  $U_{per}$  与转子质量  $m$  的关系。

在特殊情况下,即转子不平衡能简化为一个横截面内单个不平衡的等效系统而偶不平衡为零时,许用不平衡度  $e_{per}$  可与转子质心偏离轴线的许用质量偏心距等效。在所有能用图1表示的一般情况下,经双面平衡达到许用值后,等效质量偏心距  $e$  小于许用不平衡度  $e_{per}$ 。

### 4 平衡品质等级与工作转速和许用不平衡度的关系

经验表明,一般情况下同类转子在图2所示各平衡品质等级的转速范围内,许用不平衡度与转子最高工作角速度  $\omega$  成反比,即:

$$e_{per} \cdot \omega = \text{const} \dots\dots\dots(2)$$

这一关系的理论基础在于几何形状相似的转子在相等的圆周速度下,由于剩余不平衡离心力的作用,转子及其轴承受到的应力相同。因此,规定平衡品质等级  $G$  由许用不平衡度  $e_{per}$  ( $\mu\text{m}$ ) 与转子最高工作角速度  $\omega$  (rad/s) 之积用1 000除所得的值(mm/s)来表示:

$$G = \frac{e_{per} \cdot \omega}{1\ 000} \dots\dots\dots(3)$$

平衡品质的等级规定为11级(见表1)。根据转子实际工作或平衡工艺的需要,如需更精确控制许用不平衡量时,各专业标准在某一等级内可进行更精细的划分,如确需增设新的等级,可按等级间的公比2.5予以扩展。

表 1 平衡品质等级表 mm/s

平衡品质等级	平衡品质等级值
G0.4	≤0.4
G1	≤1
G2.5	≤2.5
G6.3	≤6.3
G16	≤16
G40	≤40
G100	≤100
G250	≤250
G630	≤630
G1 600	≤1 600
G4 000	≤4 000

常用的各种刚性转子的平衡品质等级以及与各平衡品质等级相对应的最大许用不平衡度分别列于表2及图2。表2给出了基于国内外实践基础的刚性转子平衡品质等级的实例,它规定了各类转子平衡品

质等级的最低限度,各专业标准对各类转子的平衡品质等级可作更详细的规定。表2中未列入的类似转子可参照执行。

表2 常用各种刚性转子的平衡品质等级

平衡品质等级	$e_{\text{per}} \cdot \omega$ mm/s	转子类型实例
G4 000	4 000	具有奇数个汽缸刚性安装的低速船用柴油机 <sup>1)</sup> 的曲轴驱动装置 <sup>2)</sup>
G1 600	1 600	刚性安装的大型二冲程发动机的曲轴驱动装置
G630	630	刚性安装的大型四冲程发动机的曲轴驱动装置 弹性安装的船用柴油机的曲轴驱动装置
G250	250	刚性安装的高速四缸柴油机 <sup>2)</sup> 的曲轴驱动装置
G100	100	六缸或更多缸高速柴油机 <sup>2)</sup> 曲轴驱动装置 汽车、货车和机车的(汽油或柴油)发动机整机 <sup>3)</sup>
G40	40	汽车车轮、轮辋、车轮总成、驱动轴 弹性安装的六缸或更多缸高速四冲程(汽油或柴油)发动机 <sup>3)</sup> 曲轴驱动装置 汽车、货车及机车的发动机曲轴驱动装置
G16	16	特殊要求的驱动轴(螺旋桨轴、万向传动轴) 粉碎机零件 汽车、货车和机车用(汽油、柴油)发动机个别零件 特殊要求的六缸或更多缸发动机曲轴驱动装置
G16	16	冶金、化工、石油等制炼厂连续流程机器的零件 船舶(商船)主涡轮机齿轮离心分离机鼓轮
G6.3	6.3	造纸机辊筒、印刷机辊筒风扇、通风机、鼓风机航空燃气涡轮机转子部件飞轮 泵的转子部件或叶轮 机床及通用机械零件 普遍中型和大型电机转子(轴中心高超过80mm的)大量生产的小型电枢其安 装条件对振动不敏感或有隔振装置 特殊要求的发动机个别零件增压器转子
G2.5	2.5	燃气和蒸汽涡轮,包括船舶(商船)主涡轮 刚性涡轮发电机转子 计算机存储磁鼓或磁盘 透平压缩机转子 机床驱动装置 特殊要求的中型和大型电机转子 不具备G6.3级两条件之一的小型电枢 涡轮驱动泵
G1	1	磁带录音机及电唱机驱动装置 磨床主传动装置及电枢 特殊要求的小型电枢
G0.4	0.4	精密磨床的主轴、磨轮及电枢陀螺仪

注:①若转速 $n$ 的单位为r/min, $\omega$ 的单位为rad/s,则 $\omega = 2\pi n/60 \approx \frac{n}{10}$ 。

②许用不平衡量向校正平面的分配参见第6章。

- 1) 本标准中低速柴油机是指活塞速度小于9 m/s 的机器,而高速柴油机是指活塞速度大于9 m/s 的机器。
- 2) 曲轴驱动装置是一组合件,它包括曲轴、飞轮、离合器、皮带轮、减振器、连杆旋转部分等。曲轴驱动装置中平衡零件的范围专业标准可做详细规定(参见2.5条)。
- 3) 发动机整机中转子质量是包括上述注1)项所述曲轴驱动装置全部零件质量的总和。

## 5 平衡品质的确定

转子所需平衡品质可用下述三种方法确定:第一种方法是基于转子平衡、运转的实践经验而得出的经验平衡品质等级;第二种方法是实验法,它常用于大批量生产转子或有特殊要求转子的平衡品质的确定;第三种方法是根据额定许用支承载荷确定平衡品质。具体方法的选择应由制造厂和用户协商确定。

### 5.1 根据所制订的等级来确定平衡品质

在第3章及第4章基础上建立的平衡品质等级用来对转子的平衡品质进行分类。表1中每一个平衡品质等级包括从上限到零的许用不平衡度范围,平衡品质等级的上限由乘积  $e_{\text{per}} \cdot \omega$  确定,单位为 mm/s,平衡品质等级  $G$  由该乘积的值表示。各等级间的公比为25。在某些情况下,特别是要求精密平衡时可作更精细的分级。图2中对应于最高工作转速绘出了  $e_{\text{per}}$  的上限,知道  $e_{\text{per}}$  值后转子许用不平衡量  $U_{\text{per}}$  为:

$$U_{\text{per}} = e_{\text{per}} \cdot m \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $m$  —— 转子质量,kg;

$e_{\text{per}}$  —— 许用不平衡度,g·mm/kg;

$U_{\text{per}}$  —— 许用不平衡量,g·mm。

注: ① 等级  $G1$  及  $G0.4$  兼顾了技术要求与实际可能间的关系。所选的极限值与能合理地重复再现的最小不平衡状态有关。

② 这两个平衡品质等级只有当转子轴颈及轴承精度足够时才能达到。 $G1$ 级通常要求在转子的工作轴承中平衡,一般采用圈带驱动、空气驱动或自驱动。 $G0.4$ 级通常在转子工作的机座及轴承中且在工作环境状态及温度下进行平衡,通常要求自驱动。

### 5.2 根据实验确定平衡品质

用实验来确定所需平衡品质通常用于大批量生产转子的平衡工艺过程。通过试验取得数据,确定恰当的平衡品质,有利于提高大批量制造转子的技术经济水平。有特殊要求的转子有时也需通过试验来确定其平衡品质。实验一般是在转子工作支承状态下进行的,个别情况下,如果平衡机的特性与转子的安装工作条件基本相同,也可在平衡机上进行。

每个平面上的许用不平衡量是通过在各个平面逐次加上不同的试验质量用实验的方法确定的,所选的判断依据应由最具代表性的要素给出(例如振动、力或由不平衡引起的噪声)。

在双面平衡时,必须考虑同相位的不平衡量及不平衡力偶的不同影响。此外,工作过程中可能产生的环境变化或转子的变化也应考虑在内。

### 5.3 根据额定许用支承载荷确定平衡品质

由轴承传递到支承上的不平衡力的影响是重要因素,因而必须确定对这种不平衡力的限度,许用不平衡量的确定必须把这种因素考虑在内。每个轴承平面上的许用不平衡量,可以直接由每个轴承平面上由不平衡引起的最大许用载荷导出。如果转子是在测量轴承平面上剩余不平衡的平衡机上平衡,则这些值可以直接采用。如果剩余不平衡是在其它平面上测得的,则在这些平面上的许用不平衡量可用第6章所述方法计算,计算时将  $U_{\text{per}}$  定义为各轴承平面上许用不平衡量的总和。

注:根据每个轴承上最大许用不平衡力求出每个轴承平面上的许用不平衡量与许多因素有关,这些因素包括工作转速、转子质量分布及轴承支承刚度。然而对刚性转子支承于刚性支承这一特殊情况,每个轴承平面上的许用不平衡量等于各轴承上的最大许用不平衡力被最大工作角速度的平方来除所得的值。

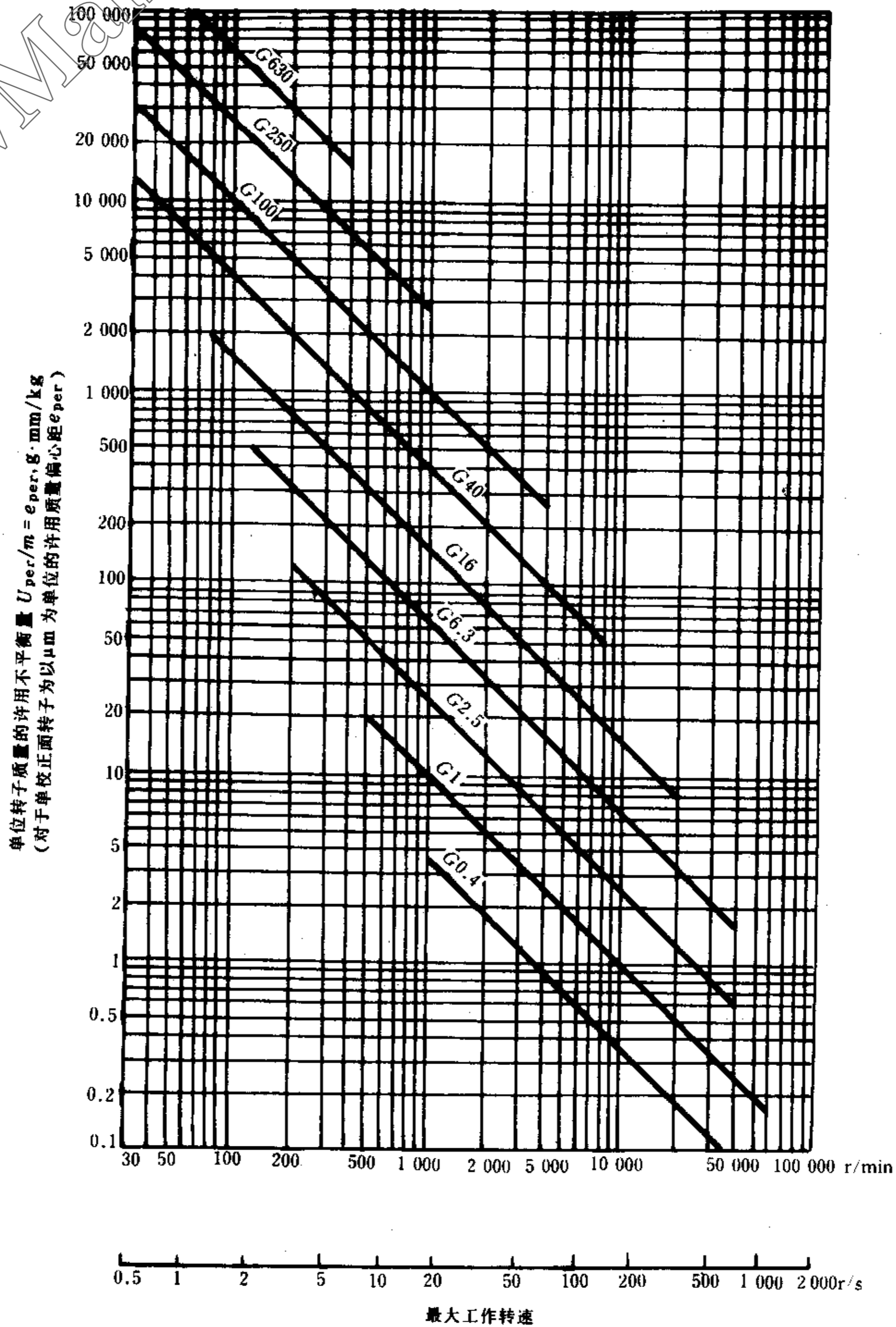


图 2 对应于各平衡品质等级的最大许用不平衡度

### 6 转子许用不平衡量向校正平面的分配

转子所需平衡品质可由第5章所述三种方法之一确定。其中5.2条以每个校正平面上的剩余不平衡量的最大许用值来确定所需的平衡品质，因此无需进一步的判定，然而5.1条或5.3条的方法必须采用许用不平衡量  $U_{per}$  的值。

按照一般规则， $U_{per}$  应按下述方法分配到各校正平面上，即使每个支承平面上的剩余不平衡量之比与工作支承上许用动载荷之比有相同的比例。相应地，如果转子是在平衡机上平衡，而平衡机又是在支



承平面测量不平衡,则上述规则可直接应用。然而,平衡机通常是在不同于支承平面的其它平面上测量剩余不平衡的。此外,有些特殊要求(如振动的传播、噪声、极限疲劳)需要以不同的比例把许用不平衡量分配到两个支承平面上。本章规定了用  $U_{per}$  来确定每个校正平面上许用不平衡量的方法。

注:工作支承的许用动载荷可从轴承样本查出,或从轴承的允许比载荷、长度及直径等条件推导出来。

### 6.1 单面平衡

对于具有一个校正平面的转子,在该平面测量的许用不平衡量等于  $U_{per}$ 。

### 6.2 双面平衡

#### 6.2.1 简单的近似方法

本条提出三种简单的方法。它们在实际应用的各种情况下,可把许用不平衡量合理而恰当地分配到每个校正平面上,使两个校正平面的不平衡在任意相位关系时,两个支承上的最大动载荷与按质量分配支承上的静载荷的比例相符。这些简单的方法虽然是近似的,但已成功地应用于许多转子。

如果转子满足下列条件,则对于大多数转子这些方法能给出满意的结果。

##### 6.2.1.1 校正平面间距小于支承间距

本条所涉及的转子应满足下列条件(参见图3):

- a. 质心位于支承间距的中间三分之一以内;
- b. 校正平面间距大于支承间距的三分之一而小于支承间距;
- c. 校正平面与转子质心基本等距。

这类转子每个校正平面应取许用不平衡量  $U_{per}$  的一半,即:

$$U_{per I} = U_{per II} = \frac{U_{per}}{2} \dots\dots\dots (5)$$

如果工作条件满足上述 a. 及 b.、但校正平面相对于质心不是基本等距,则校正平面上的许用不平衡量应按下述办法分配:

- a. 各校正平面上许用不平衡量之和等于  $U_{per}$ ;
- b. 每个校正平面的许用不平衡量与每个校正平面到质心的距离成反比,与质心较近的校正平面上允许有较大的剩余不平衡。然而无论如何,上述较大与较小许用不平衡量的比例不应超过0.7/0.3,即:

$$0.3U_{per} < U_{per I} = U_{per} \frac{h_{II}}{b} < 0.7U_{per} \dots\dots\dots (6)$$

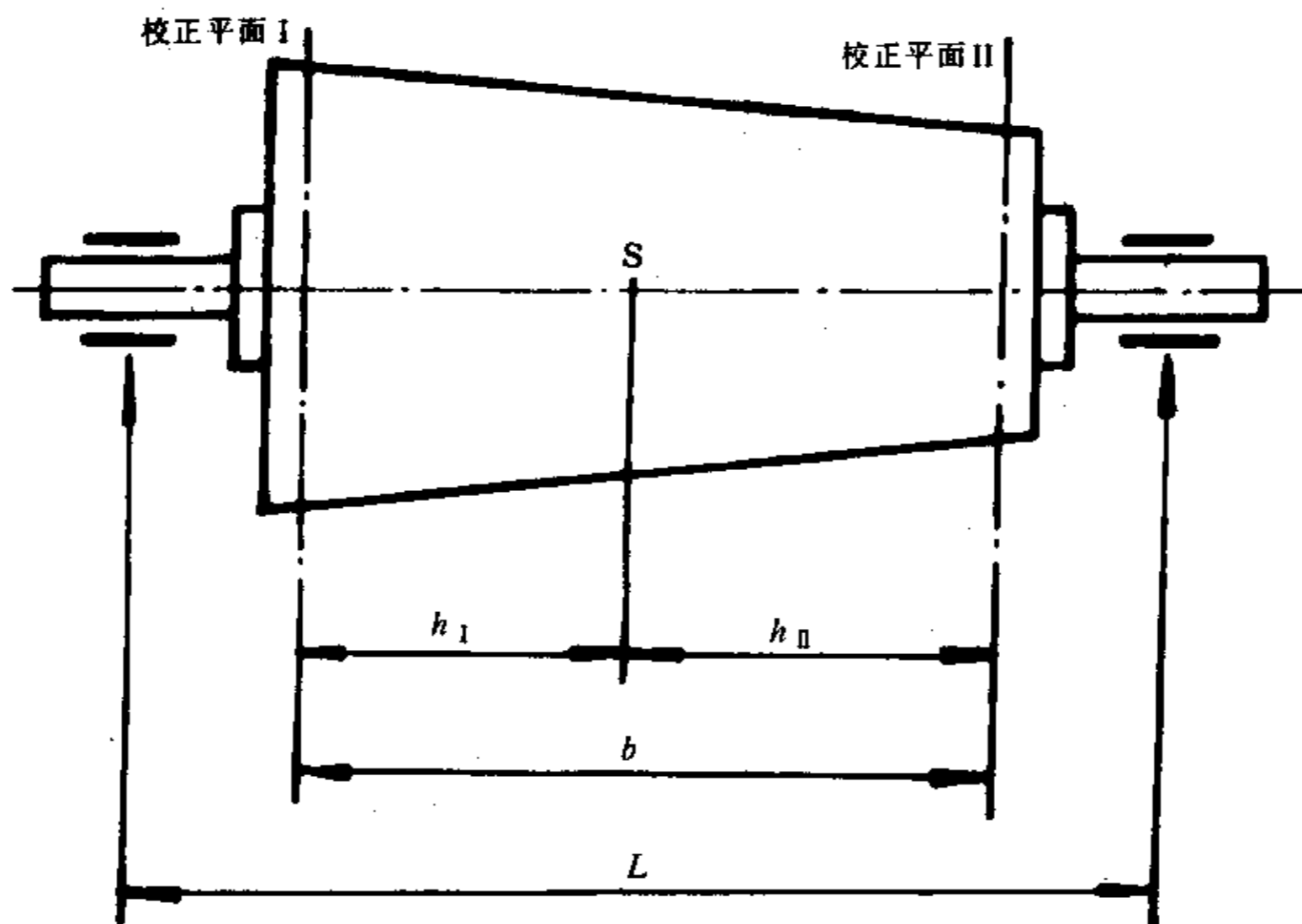


图3 简易法所适用的转子的几何尺寸

$$0.3U_{\text{per}} < U_{\text{per II}} = U_{\text{per}} \frac{h_I}{b} < 0.7U_{\text{per}} \dots\dots\dots(7)$$

6.2.1.2 校正平面间距大于支承间距

校正平面间距  $b$  大于支承间距  $L$  的转子, 偶不平衡的影响格外突出。这时, 转子的许用不平衡量按  $L/b$  的比例减小, 即:

$$U_{\text{per}}^* = U_{\text{per}} \cdot \frac{L}{b} \dots\dots\dots(8)$$

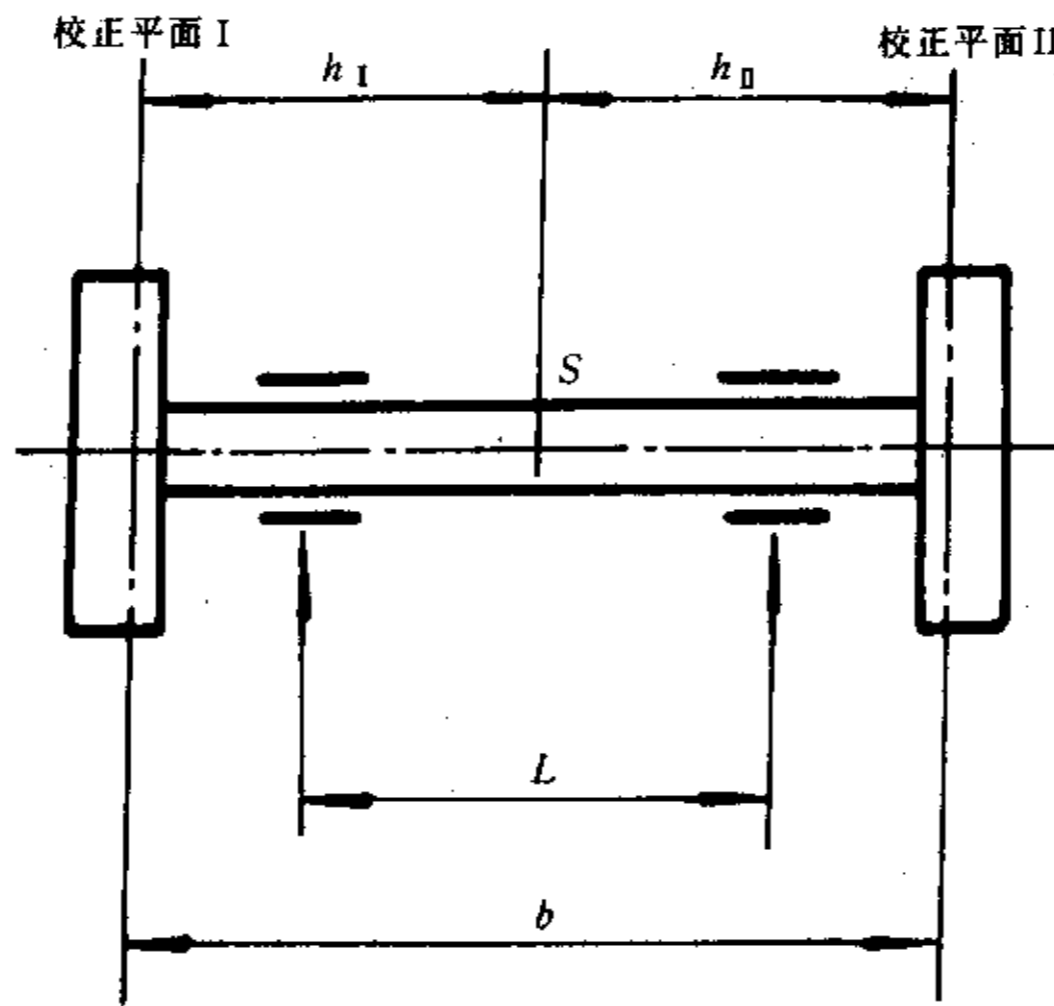


图4 两端有悬臂圆盘的转子

然后将  $U_{\text{per}}^*$  按6.2.1.1条的方法向校正平面分配(参见图4)。

6.2.1.3 校正平面间距小于支承间距的1/3

校正平面间距小的转子, 其各校正平面上剩余不平衡量的效应对每个平面上不平衡量间的相位角是敏感的。因此用6.2.1.1条所述方法可能导致平衡状态优于所需要的。所以, 对这类转子推荐采用下述剩余不平衡量和剩余偶不平衡量来分配  $U_{\text{per}}$  (参见图5)。

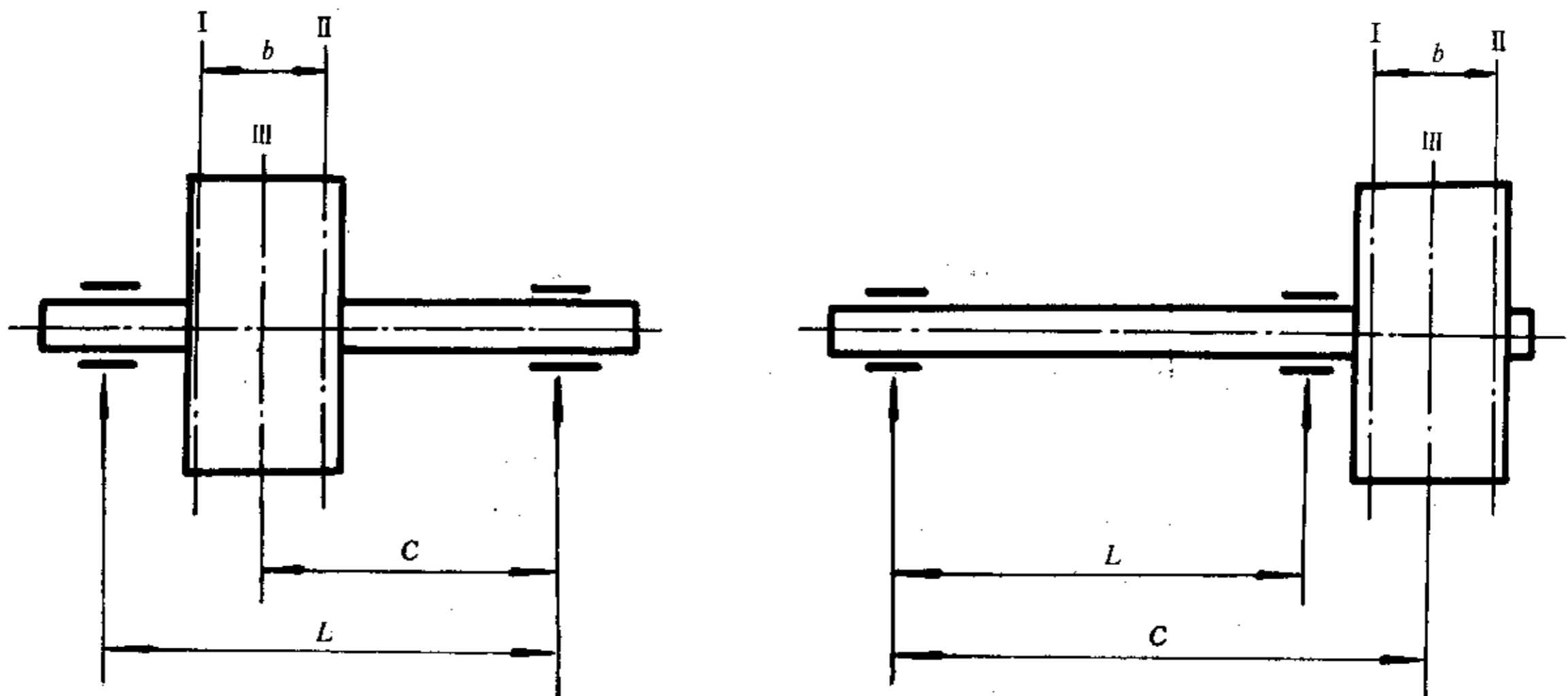


图5 转子两校正平面 I 及 II 的间距  $b$  小于支承间距  $L$  的1/3  
(平面 III 可与平面 I 或 II 重合)

选择转子上任一任意平面Ⅲ用以校正静(或准静)不平衡,用平面Ⅰ、Ⅱ校正偶不平衡。令  $c$  为平面Ⅲ到最远支承的距离。为使  $U_{\text{per}}$  向校正平面分配,可作如下调整:

$$U_{\text{per Ⅲ}} = \frac{U_{\text{per}}}{2} \cdot \frac{L}{2c} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$U_{\text{per Ⅰ}} = U_{\text{per Ⅱ}} = \frac{U_{\text{per}}}{2} \cdot \frac{3L}{4b} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$U_{\text{per}}$  的上述分配是以下述条件为前提的,即:

- a. 支承的许用动载荷相等;
- b. 剩余静不平衡量和偶不平衡量的相互相位关系考虑到最不利情况;
- c. 静不平衡校正平面在任意位置都适用;
- d. 在  $0 < b < \frac{L}{3}$  范围内有效。

6.2.2 通用方法

本方法适用于所有转子,无论它们的质量分布及校正平面的位置如何。

6.2.2.1 适用于所有转子的通用方法

本条所述方法,适用于各类转子并考虑了校正平面的位置和校正平面上剩余不平衡量间最不利的相位关系。

令  $U_{\text{per Ⅰ}}$  和  $U_{\text{per Ⅱ}}$  分别为校正平面Ⅰ和Ⅱ上的许用不平衡量,其确定方法如下:

选择一个支承作为参考点,所有距离在该参考点到另一支承一侧时为正。

设支承间距为  $L$ ,参考支承到校正平面Ⅰ的距离为  $a$ ,校正平面Ⅰ距离为  $b$  (参见图6)。

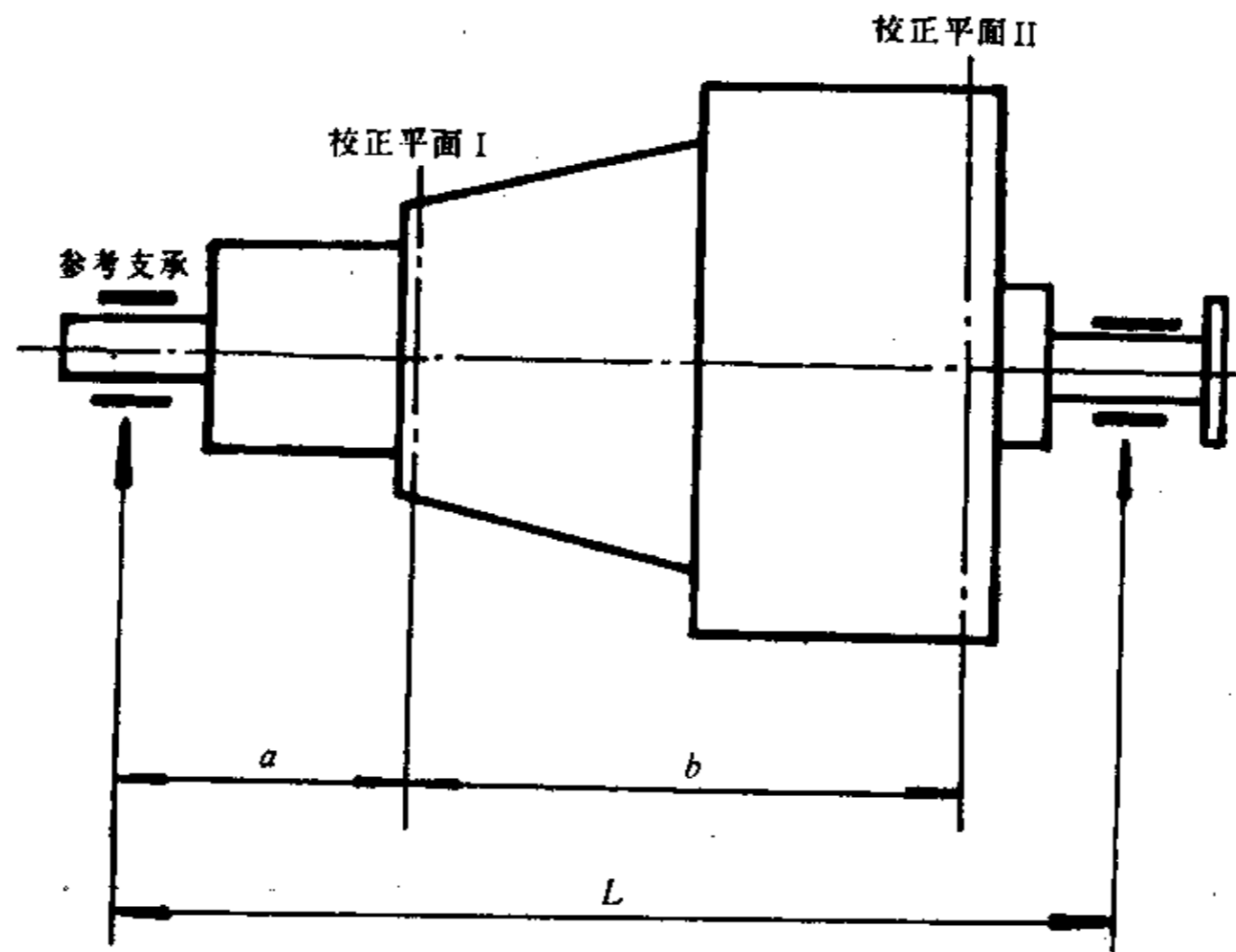


图6 通用方法计算中所使用的转子参数

根据本条注①的定义确定参考支承的许用不平衡量与转子许用不平衡量  $U_{\text{per}}$  的比例为  $K$ ,则另一支承的许用不平衡量为  $(1-K)U_{\text{per}}$ ,两支承的许用不平衡量之和等于  $U_{\text{per}}$ 。

根据本条注②确定校正平面Ⅱ及Ⅰ上的许用不平衡量之比为  $R = U_{\text{per Ⅱ}} / U_{\text{per Ⅰ}}$ 。

按下列方程计算  $U_{\text{per Ⅰ}}$  的四个值:

$$U_{\text{per Ⅰ}} = U_{\text{per}} \cdot \frac{KL}{(L-a) + R(L-a-b)} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$U_{\text{per I}} = U_{\text{per}} \cdot \frac{KL}{(L-a) - R(L-a-b)} \dots\dots\dots(12)$$

$$U_{\text{per I}} = U_{\text{per}} \cdot \frac{(1-K)L}{a + R(a+b)} \dots\dots\dots(13)$$

$$U_{\text{per I}} = U_{\text{per}} \cdot \frac{(1-K)L}{a - R(a+b)} \dots\dots\dots(14)$$

从上述方程求得的值中选取绝对值最小的,作为校正平面 I 上的许用不平衡量  $U_{\text{per I}}$ 。  
利用下式计算校正平面 II 上的许用不平衡量  $U_{\text{per II}}$ 。

$$U_{\text{per II}} = RU_{\text{per I}} \dots\dots\dots(15)$$

如果校正平面 I 及 II 上的剩余不平衡量都分别不超过  $U_{\text{per I}}$  和  $U_{\text{per II}}$ ,则转子具有所要求的平衡品质。

- 注: ①  $K$  值取决于不同的设计及操作条件,多数情况下其值为0.5;特殊情况下,如支承的载荷容量或刚度不同时,允许一支承相对于另一支承有不同的剩余不平衡量,这是需要的。这种情况下, $K$  值允许在0.3到0.7之间变化。
- ② 在实际应用的大多数场合,比例  $R$  应选为1;特殊情况下,例如两个校正平面上的预期不平衡显著不同时,选用不同的  $R$  值更合适,各支承平面上的剩余不平衡量是独立于  $R$  值的。 $R$  值如超出0.5~2.0的范围是不实际的。

#### 6.2.2.2 校正平面间距远小于支承间距转子的一般方法

本条所述方法特别适用于因两校正平面上不平衡同相或反相180°造成许用不平衡量有很大差异的转子。校正平面间距远比支承间距小的转子即属此类。

本方法特别适用于两个校正平面都位于同一外伸端的悬臂转子。

该方法的基础在于不平衡状态是在工作支承平面上测量、评价,从而能直接应用第6章的一般规则,即将  $U_{\text{per}}$  分配到各校正平面时,应使每个支承平面上的剩余不平衡量之比与工作支承上许用动载荷之比有相同的比例。如果在工作支承平面进行测量是不可能的,则应选择尽量靠近工作支承的平面。

### 7 剩余不平衡量的确定

剩余不平衡量的确定应考虑第8章中所概括的各种误差。

#### 7.1 用平衡机来确定

用平衡机可直接确定转子的剩余不平衡量。平衡机的定标精度及最小可达剩余不平衡量应能满足这一要求(参见 GB 4201—84《通用卧式平衡机校验法》)。

#### 7.2 用幅相测振仪来确定

如果无合适的平衡机可用,则可以使用具有足够灵敏度及精度的幅相测振仪来完成确定工作。将5倍于许用不平衡量的试验质量加在一个校正平面上,并在测量平面确定对这一试验质量的响应(或在更多的测量平面分别进行)(图7的点1表示1个测量平面上的响应)。如果需要双面平衡,则对另一个校正平面用同样步骤重复进行。根据这些测量结果,用影响系数法或其它等效方法来评价剩余不平衡量。

如果系统的线性有问题,则可用同一试验质量使其角度位置移动180°重取一组读数(如图7点2所示)。

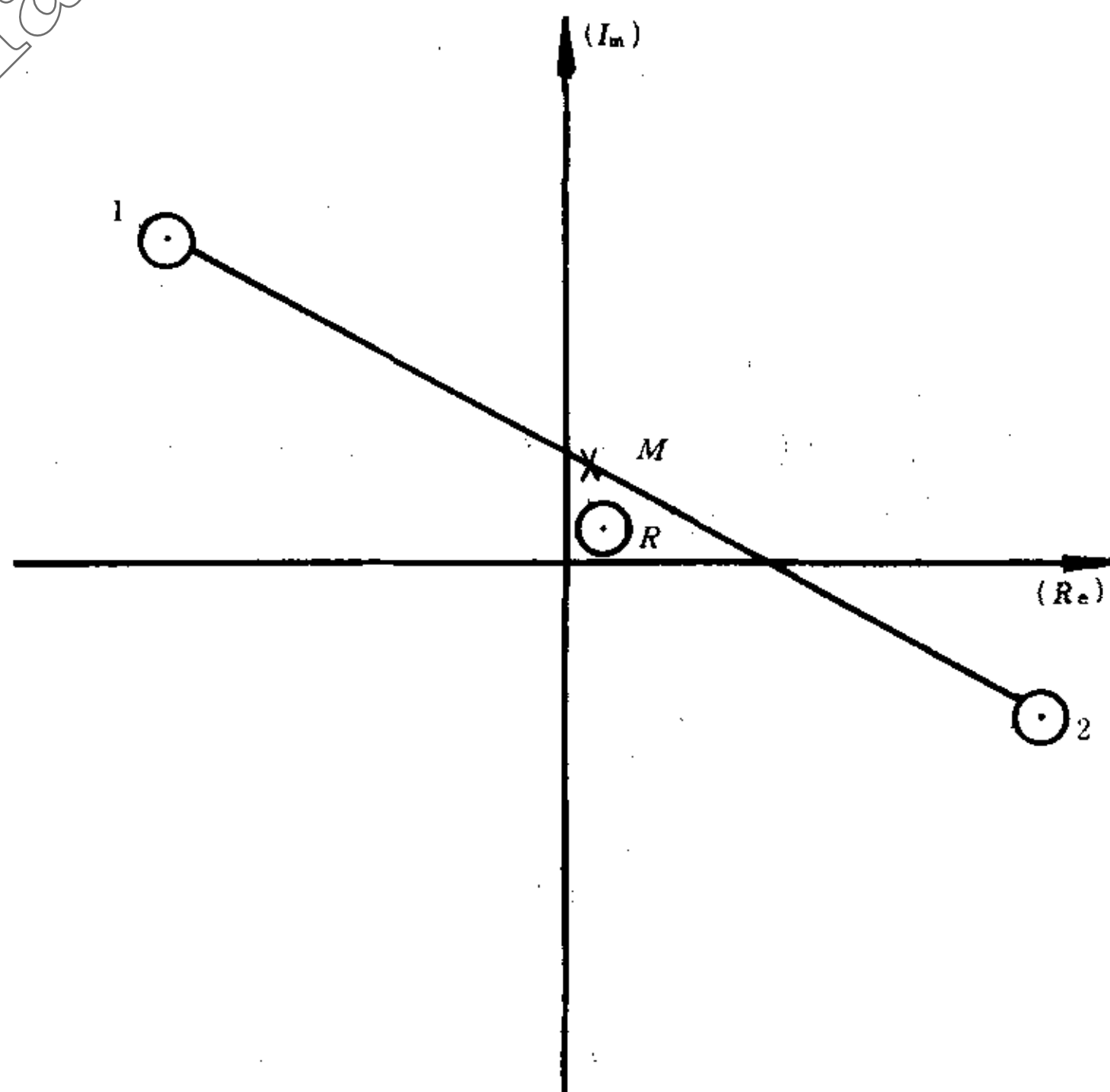


图 7 确定许用剩余不平衡量对试验质量的响应

施加试验质量前的原始读数为点  $R$ ，连接点 1 和点 2 的直线的中点为  $M$ ，如果  $M$  与  $R$  间的距离所代表的不平衡量小于许用不平衡量，则可认为系统的线性是足够的。

7.3 用无相位指示的测量装置确定

本方法主要用来确定经过单面平衡后的剩余不平衡量，这时仅需使用能测幅值的仪器，所测幅值可反映剩余不平衡和已知试验质量的复合响应。使试验质量  $m$  形成的不平衡  $U_m$  等于 5 倍到 10 倍的预测剩余不平衡量  $U_r$ ，选取 8 个或 12 个均匀分布的角度位置，将试验质量依次加到每个角度位置上并读取读数  $V$ （在支承上或对校正平面不平衡响应敏感的点上取读数），并通过这些点作曲线（参见图 8，以选 8 个角向位置为例）。曲线应近似为正弦形。以指示读数的算术平均值为纵坐标，作水平线如图 8 所示，以该值作为试验质量不平衡量的读数  $V_c$ ，正弦曲线的幅值就是实际剩余不平衡量的测量值  $V_r$ ，则有下列关系：

$$|U_r| = \frac{V_r}{V_c} |U_m| \dots\dots\dots (16)$$

$U_r$  在校正平面上的相位由图 8 中  $\phi$  角确定。

如果得到的不是正弦曲线或是一条直线，可认为尚存的剩余不平衡量已经低于重复性的限度或试验质量选得太小，也可能测量灵敏度不合适。

只有在读数不受转子剩余偶不平衡影响的条件下，单面平衡可用上述简单方法得到确切的结果。在其它情况下，要正确地确定剩余不平衡量，需要将一个试验质量加在两个校正平面的不同相位上测量在两个支承处的响应。

8 平衡误差的来源

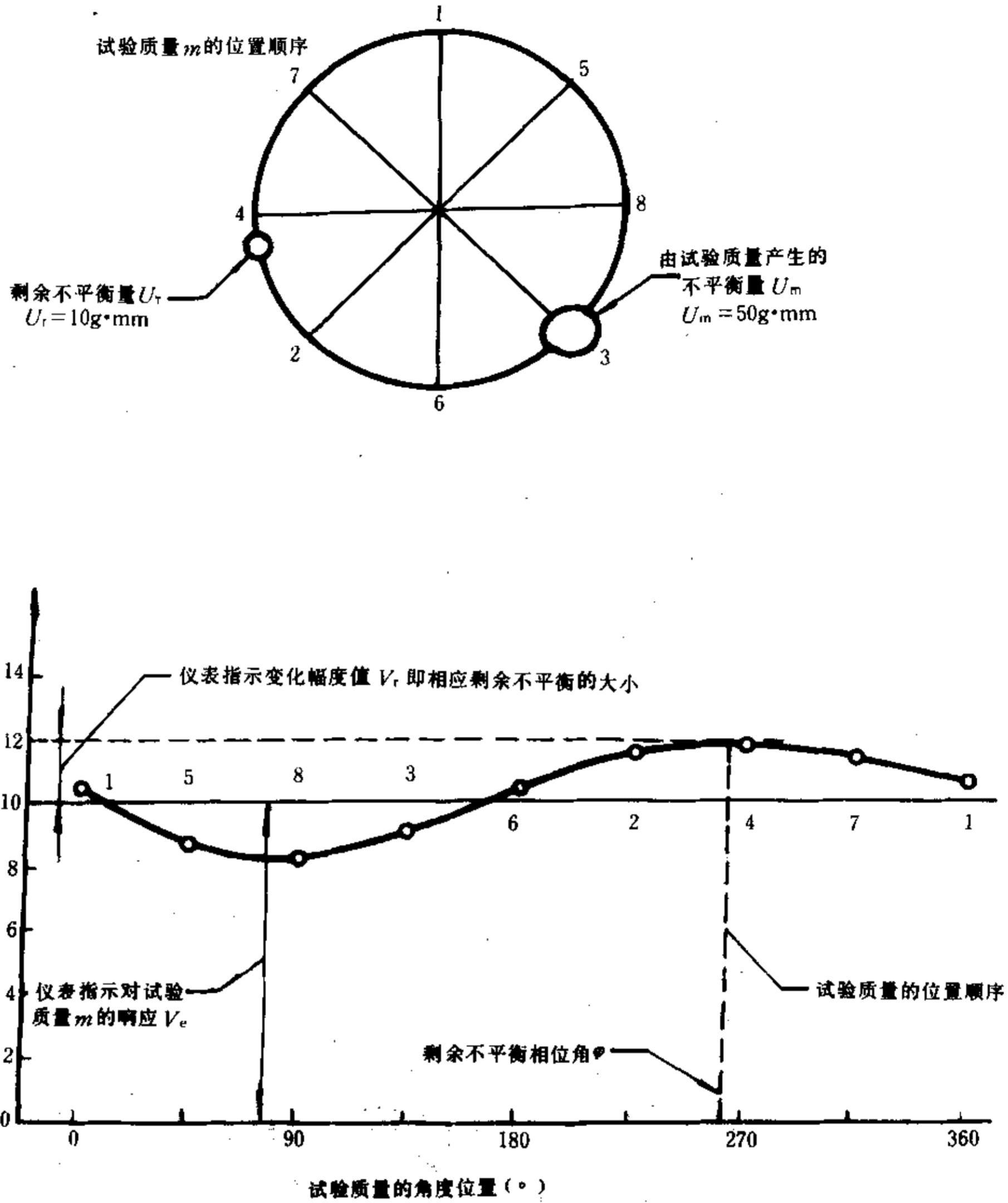


图 8 用移动试验质量法确定某一平面剩余不平衡的试验

8.1 仪器和测量方法的误差

在制造厂的平衡工艺过程及交货时由用户进行的平衡检验中,应该考虑由测量方法及测量设备所固有的不精确造成的可能误差。制造厂的平衡工艺必须保证转子剩余不平衡量低于适当的许用不平衡量,而用户验收的平衡检验应该允许有些偏差。所定的许用不平衡量  $U_{per}$  的许容偏差的大小取决于试验仪器的精度。作为实例,表3给出了适于两种情况的推荐许容偏差限。具体选用应由制造厂与用户协商确定。

表 3 许用不平衡量的许容偏差限

平衡品质等级	对转子制造厂家推荐 $U_{per}$ 的负偏差	对转子用户验收推荐 $U_{per}$ 的正偏差
G2.5~G16	-10%	+15%
G1	-20%	+25%
G0.4	-20%	+35%

## 8.2 驱动装置及附件的误差

在平衡过程中,特别是在检验剩余不平衡量时,必须考虑到与转子相联的驱动件可能带来较大的误差,此外用来支承不带自身轴承转子的支承装置也可能带来误差。下面列出了可能产生误差的实例,其中一些已在图9中标明:

- a. 驱动轴固有不平衡;
- b. 心轴固有不平衡;
- c. 驱动元件的偏心及轴向跳动;
- d. 万向节的偏心及轴向跳动;
- e. 从动滚动轴承的偏心;
- f. 轴承安装的不对中;
- g. 轴颈及轴承表面的不同心;
- h. 经平衡后安装的滚动轴承的内圈的偏心及不垂直度;
- i. 转子带有两个以上的轴承;
- j. 键及键槽;
- k. 驱动连接部分的轴向及径向跳动;
- l. 拆卸及重新组装的误差;
- m. 零件松动;
- n. 溶液、固体夹杂物;
- o. 热及重力影响;
- p. 风阻力;
- q. 磁力影响;
- r. 安装间隙。

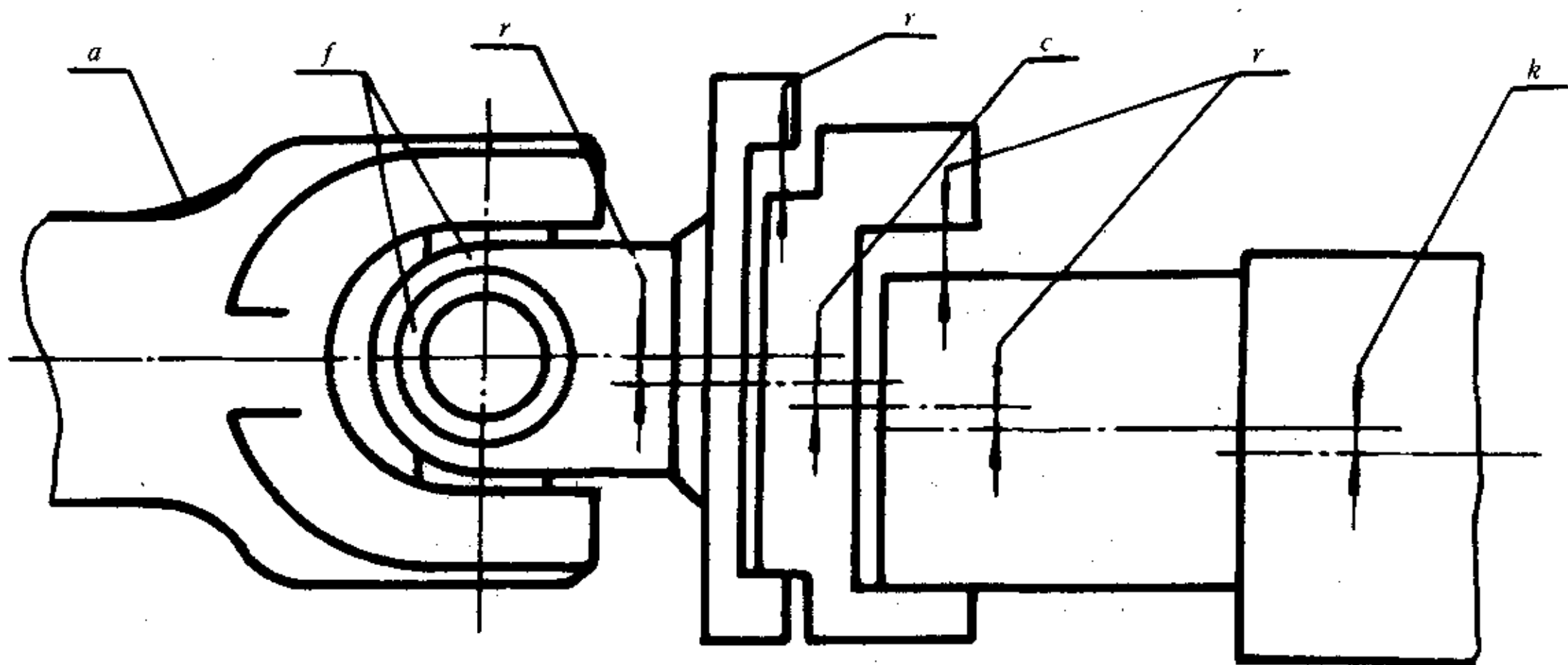


图9 端驱动部件的误差来源

附录 A  
计算实例  
(补充件)

A1 6.2.2.1条所给两校正平面转子许用不平衡量分配通用方法的数值计算实例

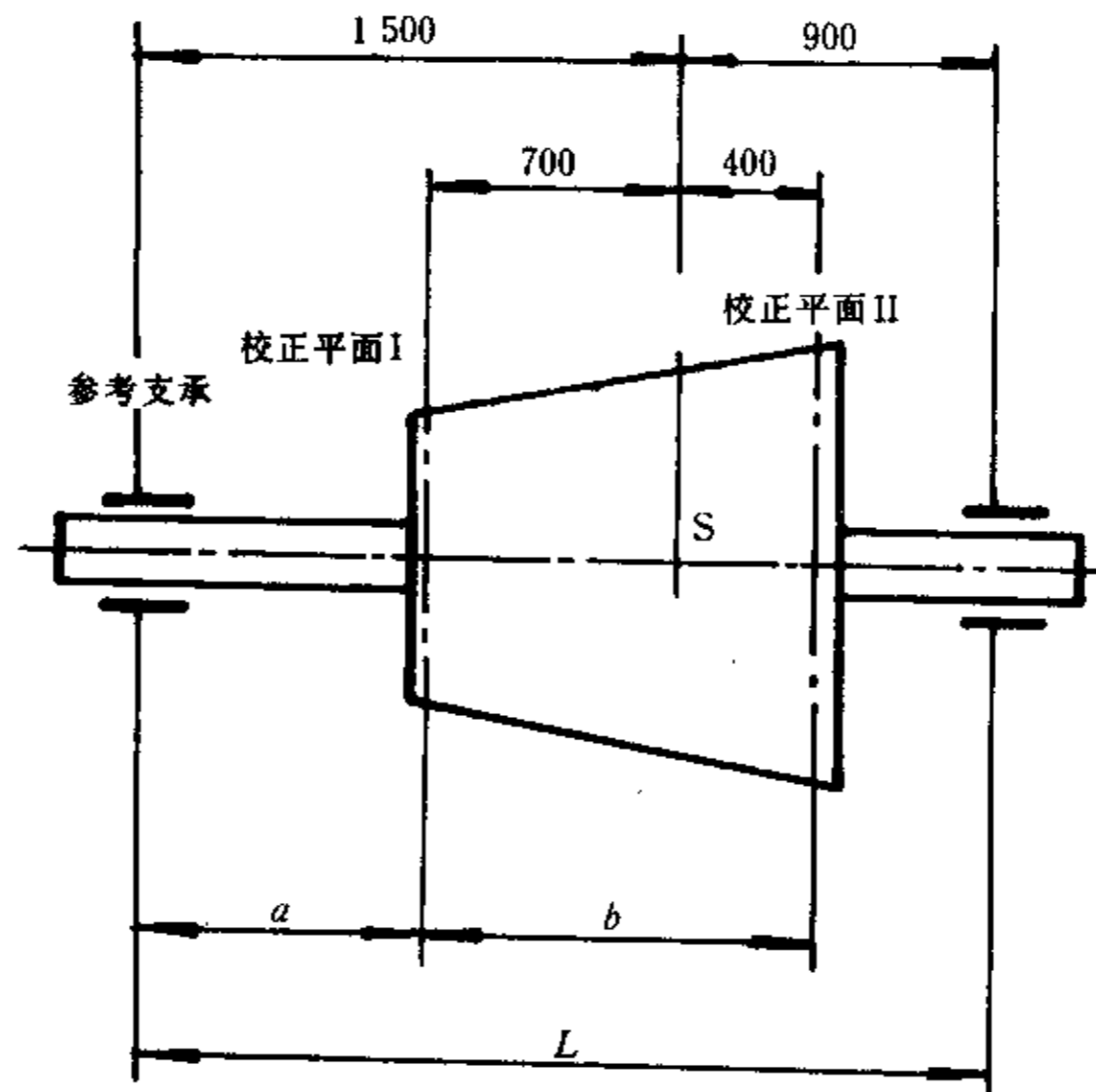


图 A1 转子诸参数

转子种类:透平转子(参见图 A1)

转子质量:  $m = 3\ 600\ \text{kg}$

工作转速:  $n = 4\ 950\ \text{r/min}$

许用不平衡度:

$$e_{\text{per}} = 2.5 \left( \frac{60}{2\pi \times 4\ 950} \times 10^3 \right) \\ = 4.8\ \text{g} \cdot \text{mm/kg}$$

许用不平衡量:

$$U_{\text{per}} = m \cdot e_{\text{per}} = 3\ 600 \times 4.8 = 17.3 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{mm}$$

第一种情况:

$K = 0.5$  (参考支承处的许用不平衡量与转子许用不平衡量的比例系数)

$R = 1$  (两校正平面 I 及 II 上的许用不平衡量的比例系数)

根据公式(11)  $U_{\text{per I}} = 9.9 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{mm}$

根据公式(12)  $U_{\text{per I}} = 18.9 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{mm}$

根据公式(13)  $U_{\text{per I}} = 7.7 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{mm}$

根据公式(14)  $U_{\text{per I}} = -18.9 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{mm}$

其中绝对值最小的为:



$$U_{\text{per I}} = 7.7 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

又因  $U_{\text{per II}} = RU_{\text{per I}}$ , 故

$$U_{\text{per II}} = 7.7 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

转子许用不平衡量为:

$$U_{\text{per I}} + U_{\text{per II}} = 15.4 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm} < U_{\text{per}}$$

第二种情况:

$$K = \frac{900}{2400} = 0.38 \left( \frac{\text{参考支承静载荷}}{\text{总静载荷或转子重量}} \right)$$

$$R = \frac{700}{400} = 1.75 \left( \frac{\text{校正平面 I 与质心距离}}{\text{校正平面 II 与质心距离}} \right)$$

根据公式(11)~(14)分别有:

$$(11) U_{\text{per I}} = 6.3 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

$$(12) U_{\text{per I}} = 21.8 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

$$(13) U_{\text{per I}} = 6.3 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

$$(14) U_{\text{per I}} = -10.2 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

其中绝对值最小的为:

$$U_{\text{per I}} = 6.3 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

又因  $U_{\text{per II}} = RU_{\text{per I}}$ , 故

$$U_{\text{per II}} = 11.0 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm}$$

转子许用不平衡量为:

$$U_{\text{per I}} + U_{\text{per II}} = 17.3 \times 10^3 \text{g} \cdot \text{mm} \leq U_{\text{per}}$$

## 附录 B

### 转子平衡品质等级在图样上的标注方法

(参考件)

在刚性转子的零件图或部件图中标注转子平衡品质等级的规则如下:

- B1** 在图样的标题栏中应明确记入转子质量(单位:kg)。
- B2** 在图样的技术要求中应写明转子的最高工作转速(单位 r/min)。
- B3** 校正平面的位置应用细实线标出,并以尺寸线标明其与基准平面的距离;当校正平面与某一基准平面重合时,可以用尺寸界线表示校正平面的位置。
- B4** 单面(静)平衡以○号表示,双面(动)平衡以◎号表示。
- B5** 平衡品质等级应记在由校正平面引出的指引线处,标注内容为平衡符号及平衡品质等级、校正方式。平衡品质等级后可用:号加注,对单面平衡可加注许用不平衡度或许用质量偏心距(参见图 B1);对双面平衡可加注许用不平衡量(参见图 B2)。双面平衡时,平衡品质等级在任意一个校正平面上标注即可。

www.newMaker.com

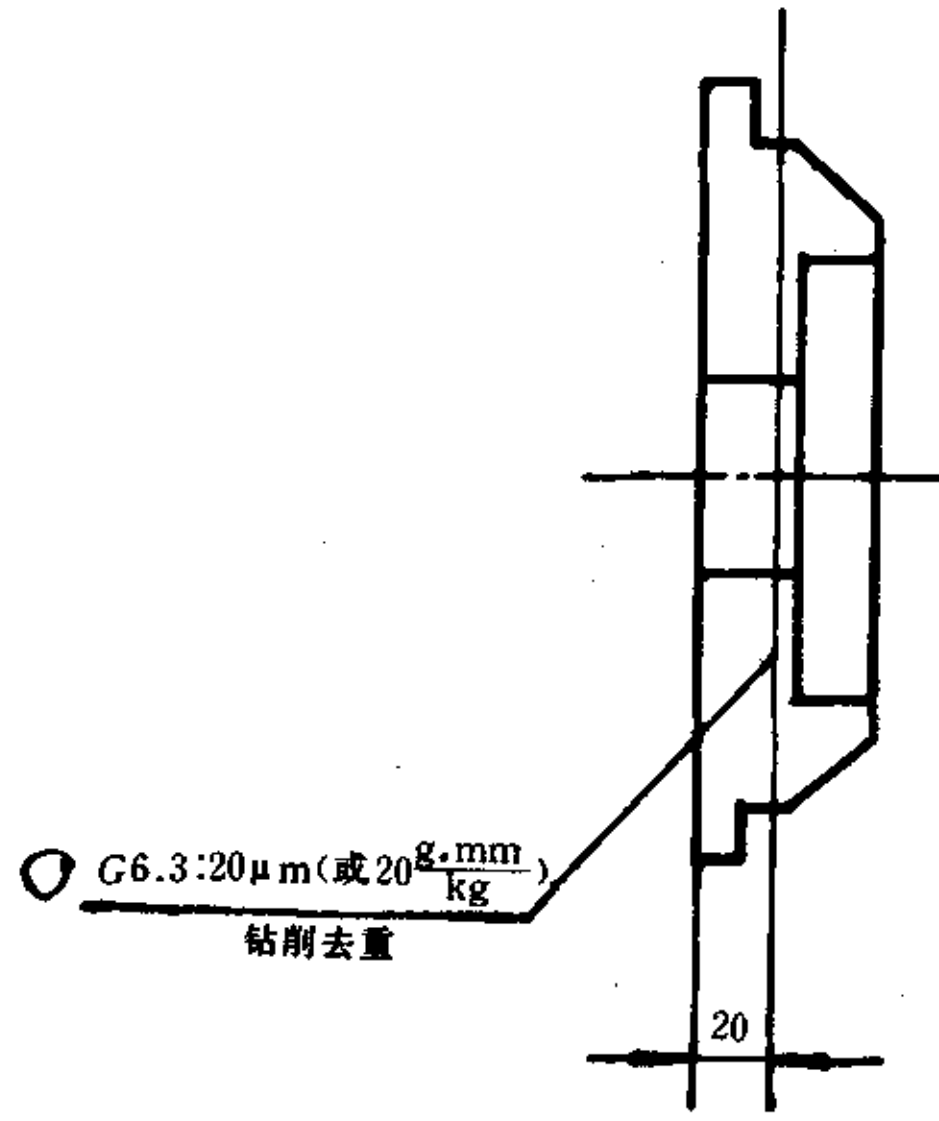


图 B1 单面平衡

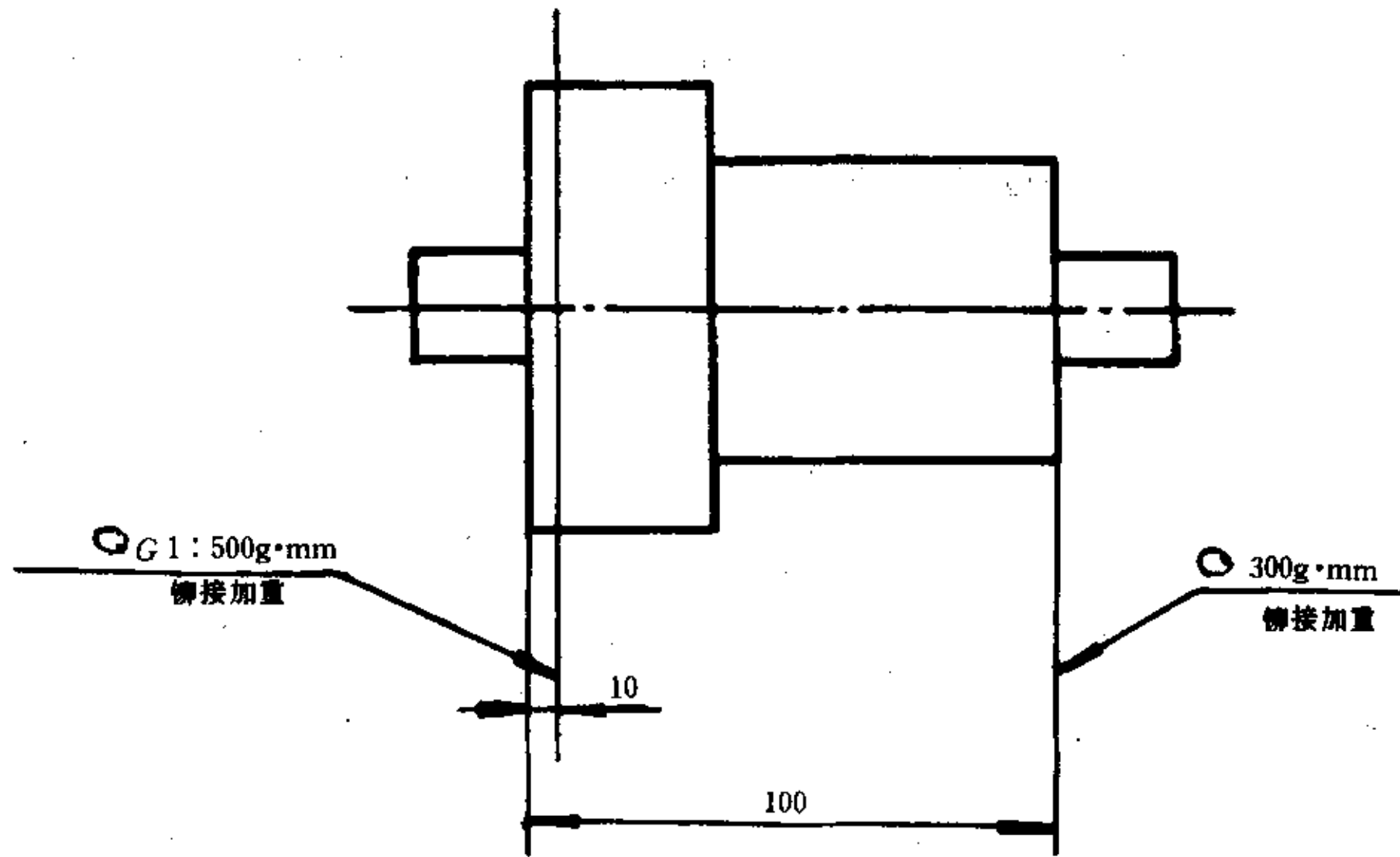


图 B2 双面平衡

附加说明:

本标准由长春试验机研究所归口。  
本标准由长春试验机研究所负责起草。  
本标准主要起草人李钟岩。