



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 28696—XXXX  
代替 GB/T 28696-2012

## 离心机 分离机转子平衡 检验规范

Centrifuge & Separator rotor balance —— Inspection standard

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

征求意见稿

(本草案完成时间：)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前 言 .....	III
引 言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总则 .....	2
4.1 刚性特性转子和挠性特性转子的确定 .....	2
4.2 平衡品质等级 .....	2
4.3 校正平面 .....	3
5 平衡设备、仪器和平衡时的安装 .....	3
5.1 平衡仪器 .....	3
5.2 平衡时的安装 .....	4
6 离心机、萃取机转子平衡准则 .....	4
6.1 准则的选择 .....	4
6.2 剩余不平衡量的评定方法 .....	4
6.3 剩余不平衡量的检验 .....	7
7 分离机转鼓平衡准则 .....	7
7.1 准则的选择 .....	7
7.2 基于振动限值的评定 .....	7
7.3 基于剩余不平衡限值的评定 .....	7
8 转子平衡校正 .....	8
转鼓部件及其安装规定 .....	<b>错误！未定义书签。</b>
平衡校正设备及其仪器 .....	<b>错误！未定义书签。</b>
8.1 平衡校正 .....	8
8.2 转子平衡的验收 .....	8
9 转子平衡校正人员及平衡校正安全要求 .....	8
9.1 人员 .....	8
9.2 安全 .....	8
10 转子平衡校正报告 .....	8
附 录 A .....	11
A.1 概述 .....	11
A.2 计算方法 .....	11
附 录 B （资料性） 确定转子是刚性还是挠性的方法 .....	13
B.1 概述 .....	13
B.2 转子是刚性的还是挠性的确定 .....	13
B.3 转子的柔性试验 .....	14
B.4 柔性试验数据的评定 .....	14
附 录 C （规范性） 不平衡校正计算的方法 .....	15

图 1 质心不对称的内质心转鼓 .....	6
图 2 质心位于外悬位置的外质心转鼓 .....	7
图 3 内质心转子平衡校正支承简图 .....	10
图 4 外质心转子平衡校正支承简图 .....	10
图 C.1 试验质量组的矢量效应 .....	15
表 1 测试设备和仪器仪表精度要求 .....	3
表 2 转子平衡 校正报告表 .....	9
表 A.1 轴的支撑系数 K 的取值 .....	12

## 前 言

本文件按照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》的规定起草。

本文件代替GB/T 28696-2012《离心机 分离机转鼓平衡 检验规范》，与GB/T 28696-2012相比，除编辑性修改外，技术变化如下：

- a) 修改了标准名称，改为离心机 分离机转子平衡 检验规范，英文名称也相应修改；
- b) 修改了范围，增加对于非金属转子和离心萃取机的适用；
- c) 修改了刚性转子和挠性转子的术语和定义，删除了剩余不平衡、平衡、低速平衡和高速平衡的术语和定义；
- d) 修改了第4章的内容，改为“总则”，规定了刚性和挠性特性转子的确定、平衡品质等级和校正平面的内容；
- e) 增加了第5章“平衡设备、仪器和平衡时的安装”，增加平衡仪器的内容。
- f) 修改了6.1、6.2的内容，并调整至5.1.1、5.1.2和5.2，增加5.2.4关于传感器和支架共振对测量的影响的规定；
- g) 修改了许用剩余不平衡量的计算公式，并增加了用转速进行计算的公式（2）；
- h) 修改了6.2.2.3和6.2.2.4的表述，应限定为宜规定；
- i) 修改了5.1（7.1）准则的选择，增加关于高速螺旋沉降离心机的内容；
- j) 删除了5.1.2的内容
- k) 修改了5.3.2（7.3.2）的内容。
- l) 增加了资料性附录A“一阶挠曲临界转速的计算”；
- m) 修改了附录B的内容；

请注意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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国分离机械标准化技术委员会（SAC/TC92）归口。

本文件起草单位：合肥通用机械研究有限公司、浙江轻机离心机制造有限公司、重庆江北机械有限责任公司、江苏赛德力制药机械制造有限公司、安徽普源分离机制造有限公司、宜兴市华鼎机械有限公司、江苏同泽过滤科技有限公司、江苏华大离心机制造有限公司、巨能机械（中国）有限公司、上海市离心机械研究所有限公司、广州广重分离机械有限公司、南京新筛分科技实业有限公司、天津大学、河北冠能石油机械制造有限公司、重庆工商大学、国机通用机械科技股份有限公司。

本文件主要起草人：周进、吴将天、张剑鸣、顾逸、陈林、袁岑岑、王晶晶、范匡余、牟富君、曲世强、赖苗生、程学飞、谭蔚、周鹏先、龚海峰、陈崔龙。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2012年首次发布为GB/T 28696-2012；

——本次为首次修订。

## 引 言

GB/T 28696-2012《离心机 分离机 转鼓平衡检验规范》标准颁布实施已12年，该标准的实施，对于我国离心机、分离机等离心分离机械产品的转鼓平衡的测试和检验给出了科学有效的方法，为提高我国离心机、分离机产品的技术水平和质量发挥了重要的作用，促进了我国离心机分离机行业的发展，推动我国离心机分离机产品的出口。

经过12年的发展，我国分离机械产品也得到了较大的发展，多种新技术新材料新工艺的离心机、分离机产品服务于各行各业，例如高速卧式螺旋卸料沉降离心机的研发和应用，关于挠性转子的动平衡需要进行规范。另外，离心萃取机产品也逐步获得了市场的认可，原标准中并未包括。该标准在制定时参考和引用了GB/T 6557-2009《挠性转子机械平衡的方法和准则》的内容，该标准于2022年03月01日废止，并由GB/T 9239.12-2021《机械振动 转子平衡 第12部分：具有挠性特性的转子的平衡方法与允差》代替。

因此，为了继续有效规范我国离心机、分离机产品动平衡的检验，同时对离心萃取机产品进行动平衡的规范，同时，为了满足当前我国离心机分离机的技术发展，有必要对该标准进行修订。该标准的修订，一方面解决了标准规范性引用文件被废止后的无法正常实施的问题，另一方面，可以推动我国离心机分离机以及离心萃取机产品的技术发展和质量提升。

# 离心机 分离机转子平衡 检验规范

## 1 范围

本标准规定了工业用离心机、分离机和离心萃取机转子平衡准则、转子平衡校正、转子平衡校正人员及平衡校正安全要求、转子平衡校正报告等规范要求。

本标准适用于各种具有金属和非金属转子（衬包或不衬包）工业用离心机包括工业脱水机，各种工业用碟式分离机、管式分离机、室式分离机以及离心萃取机转子在平衡设备上平衡和现场校正。

注1：非金属转子包括全塑料的转鼓，通常应用在离心萃取机上，以及衬包（衬里）转鼓，在离心机和离心萃取机上应用较多；

注2：衬包（或衬里）指在金属转鼓表面通过粘接、焊接、滚塑等方式复合一层防护衬里（如橡胶、聚四氟乙烯 PTFE、聚氨酯、陶瓷等），衬里层直接接触物料，金属本体起承载作用。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 4774 过滤与分离 名词术语

GB/T 9239.2 机械振动 转子平衡 第2部分：词汇

GB/T 9239.11 机械振动 转子平衡 第11部分：刚性转子的平衡方法和允差

GB/T 9239.12-2021 机械振动 转子平衡 第12部分：具有挠性特性的转子的平衡方法与允差

GB/T 9239.14 机械振动 转子平衡 第14部分：平衡误差的评估规程

GB/T 9239.21 机械振动 转子平衡 第21部分：平衡机的描述与评定

GB/T 10895 离心机、分离机 机械振动测试与评价

JB/T 9390 卧式硬支承平衡机 技术条件

JB/T 9392 单面立式平衡机 技术条件

JB/T 9393 卧式软支承平衡机 技术条件

## 3 术语和定义

GB/T 4774和GB/T 9239.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

刚性转子 rigid rotor

转子以不超过最高工作转速的任意转速旋转，由给定的不平衡量的分布引起的挠曲相对于不平衡允差能忽略不计的转子。

注1：修改自GB/T 9239.2-2025中3.2.1对刚性特性的定义。

**挠性转子 flexible rotor**

转子以不超过最高工作转速的任意转速旋转，由给定的不平衡量的分布引起的挠曲（弹性挠曲）相对于不平衡允差不能忽略不计的转子。

注1：弹性挠曲是指转子旋转时在弹性范围内的弯曲变形。

注2：修改自GB/T 9239.2-2025中3.2.2对挠性特性的定义。

**3.2****现场平衡 field balancing**

转子在原机组轴承和支承结构上而不是在平衡机上进行平衡的过程。

**3.3****现场平衡设备 field balancing equipment**

不安装在平衡机上，而是在装配好的机器上进行平衡操作提供数据的组合测量仪器。

**4 总则****4.1 转子刚性特性和挠性特性的确定**

4.1.1 在进行转子平衡前，需要先确定离心机、分离机和离心萃取机的转子是刚性特性还是挠性特性。

4.1.2 根据转子的最高工作转速与转子的一阶挠曲临界转速的比值可以确定转子的刚性特性。如果比值小于 0.7，对于平衡而言可以认为转子具备刚性特性；如果比值大于 1.3，对于平衡而言则认为转子具备挠性特性。转子的一阶挠曲临界转速可以按附录 A 的方法计算。

4.1.3 按照 4.1.2 的原则，离心机、分离机和离心萃取机的转子可以按如下分别确定刚性或挠性：

a) 离心机和离心萃取机最高工作转速与一阶挠曲临界转速之比通常小于 0.7，那么对平衡而言离心机和离心萃取机的转子具备刚性特性；

b) 分离机工作转速较高，通常被认为是挠性转子；

c) 高速卧式螺旋卸料离心机的转速较高，且长径比较大，其最高工作转速与一阶挠曲临界转速之比大于 1.3，对于平衡而言其转子属于挠性转子。

注：转鼓公称直径 $\leq 400\text{mm}$ ，分离因数 $\geq 4000$ ，且长径比 $\geq 3$ ；或转鼓公称直径为 $400\text{mm}\sim 600\text{mm}$ ，分离因数 $\geq 3500$ ，且长径比 $\geq 3$ ；或转鼓公称直径 $\geq 600\text{mm}$ ，分离因素 $\geq 3000$ ，且长径比 $\geq 3$ 的螺旋卸料沉降离心机、螺旋卸料沉降过滤离心机视为高速螺旋卸料沉降离心机【来源：JB/T 502-2015 3.1】。

4.1.4 通过进行柔性试验也可以确定转子是刚性特性还是挠性特性，确定方法参见附录 B。

4.1.5 由观测试验质量组效应来进行不平衡校正计算的方法参见附录 C。

**4.2 平衡品质等级**

4.2.1 对于离心机、分离机和离心萃取机，转子的许用剩余不平衡量与质量成正比，其比值即为许用不平衡度，且与工作转速成反比。因此许用不平衡度与最高工作转速角速度的乘积为常量，将该常量定义为平衡品质等级，单位为毫米每秒（mm/s），数值对应具体等级，如 6.3mm/s 对应 G 6.3 级。

4.2.2 GB/T 9239.11 规定了旋转机械的平衡品质等级取值，其中离心机、分离机和离心萃取机的平衡

品质等级为 G 6.3 级；对于转速较高或转子直径较大的分离机和离心机，平衡品质等级需取 G 2.5 级。

### 4.3 校正平面

#### 4.3.1 概述

对于离心机、分离机以及离心萃取机，需要依据机器转子的长径比、刚性特性和转子质量分布情况来判断转子旋转时的不平衡类型（静不平衡、力偶不平衡或动不平衡），再根据不平衡类型确定校正平面的数量。

#### 4.3.2 离心机校正平面的选取

4.3.2.1 立式离心机的转子（转鼓）通常为开口式鼓型结构，长径比小于 1，质量分布集中在转鼓的环形侧壁和底部平面，旋转时仅产生径向离心力，无明显力偶，校正平面可以选择单面校正。在实际操作中，由于制造材料和工艺的不确定性（如焊接转鼓）等因素，基于安全的考虑，通常选择双面校正。

4.3.2.2 卧式离心机例如卧式螺旋卸料离心机、活塞推料离心机、卧式刮刀卸料离心机等，长径比通常大于 1，转速较高，通常采用双面校正。另外，对于转速较高（大于 6000r/min）的卧式螺旋卸料离心机，转子属于挠性转子，需要多个校正平面（3~4 个）。

#### 4.3.3 分离机校正平面的选取

碟式分离机转鼓为封闭的不规则碗状结构，内部叠放碟片，质量分布不均，且转速较高，转鼓属于挠性转子，但转鼓为立式安装，可以选择双面校正。管式分离机虽长径比值远大于 1，但其质量分布较均匀，且为立式安装，也按双面校正进行平衡。

#### 4.3.4 离心萃取机校正平面的选取

离心萃取机转鼓与立式离心机转鼓基本相同，但转鼓长径比大于 1，通常按双面校正进行平衡。

### 4.4 平衡设备、仪器和平衡时的安装

#### 4.4.1 平衡仪器

4.4.1.1 离心机、分离机和离心萃取机的转子平衡校正按照转子的结构型式选择立式或卧式平衡机。立式或卧式平衡机应符合 GB/T 9239.21 的规定，并分别符合 JB/T 9390、JB/T 9392 和 JB/T 9393 的规定。

4.4.1.2 转子平衡校正的仪器仪表应有经法定部门检定的校准证书，且在有效期内。测量设备和仪器仪表的精度应符合表 1 的规定。

4.4.1.3 当转子按挠性转子进行平衡校正时，应采用与机型的振动特性相匹配的测量装置和传感器。

表 1 测试设备和仪器仪表精度要求

设备/仪器仪表名称	用途	精度
平衡机	检测转子的不平衡量大小及相位，为校正提供数据依据	硬支承平衡机：0.1 g · mm/kg 软支承平衡机：0.01 g · mm/kg
转速测量仪	测量转速	±0.1 rpm
振动传感器	配合平衡机或现场平衡仪使用，采集转子旋转时的振动信号，转化为电信号供分析。	±5%

分析天平	测量平衡块质量	0.1 mg
电子台秤	测量平衡块质量	0.1 g
直尺	测量转子外形尺寸	0.5mm
百分表	测量转子径向和端面跳动	0.01mm
千分表	测量管式分离机和高速离心机等转子径向和端面跳动	0.001mm
圆度仪	测量转子圆柱度	±0.02 μm
定心夹具	定位和夹持转子，保证转子旋转中心与平衡机主轴中心同轴。	径向圆跳动≤0.005 mm

#### 4.4.2 平衡时的安装

4.4.2.1 转子部件应符合设计要求。

4.4.2.1 转子部件组装后，应有校正用的同轴基准面。

4.4.2.3 安装在平衡机上的转子，其支承条件应与转子在离心机、分离机或离心萃取机上的实际支承条件相同或类似。

4.4.2.4 传感器和支架在平衡转速范围内应没有明显影响振动测量的共振。

4.4.2.5 由于产品标准的规定，当出现下列之一情形时，可不予进行转子平衡校正：

——转鼓累计总去重量已超出产品标准所限定最大总校正质量要求；

——转鼓已超出产品标准所规定的使用寿命期限。

解除上述限制条件，应由制造方设计部门决定。

4.4.2.6 如果在本身具有测量系统的平衡设备上评定，在整个试验期间都应使用该平衡设备。

### 5 离心机、离心萃取机转子平衡准则

#### 5.1 准则的选择

离心机、离心萃取机转子评定准则按允许的剩余不平衡限值来制定。基于振动限值来确定刚性转子平衡允差，这种情况的主要目的是限制特定平面内的振动，应由产品标准的振动限值或用户的要求来决定。

#### 5.2 剩余不平衡量的评定方法

##### 5.2.1 许用剩余不平衡量

根据所选的平衡品质等级G，由公式(1)或公式(2)得出许用剩余不平衡量 $U_{per}$ ：

$$U_{per} = 1000 \frac{G \times m}{\Omega} \dots\dots\dots (1)$$

或

$$U_{per} = 9549 \frac{G \times m}{n} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $U_{per}$  —— 许用剩余不平衡量的数值，单位为克毫米（g·mm）；  
 $G$  ——  $G = e_{per} \times \Omega$ ，选择的平衡品质等级 $G$ 的数值，单位为毫米每秒（mm/s）；  
**注：**许用剩余不平衡度 $e_{per}$ 的单位为克毫米每千克（g·mm/kg），  
 $m$  —— 转子质量的数值，单位为千克（kg）；  
 $\Omega$  —— 工作转速的角速度数值，单位为弧度每秒（rad/s）；  
 $n$  —— 转子的工作转速，单位为转每分钟（r/min）。

## 5.2.2 许用剩余不平衡量向允差平面的分配

### 5.2.2.1 单面

就单面校正而言， $U_{per}$ 全部在该平面上。

### 5.2.2.2 双面

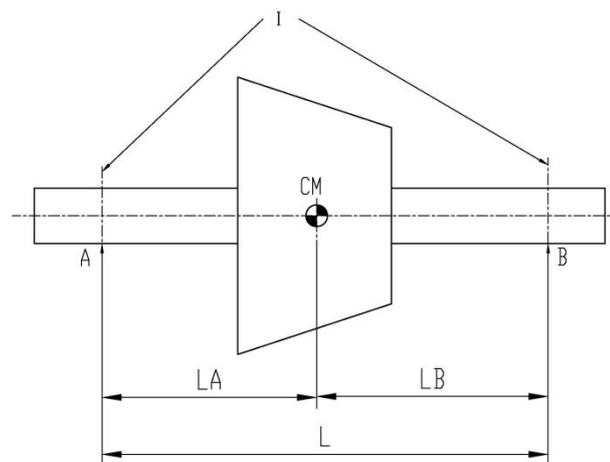
许用剩余不平衡量 $U_{per}$ 按质心到另一侧允差平面的距离的比例进行分配（见图1）。如果允差平面为A和B支承平面，则适用公式（3）和（4）：

$$U_{perA} = \frac{U_{per} \times L_B}{L} \dots\dots\dots (3)$$

$$U_{perB} = \frac{U_{per} \times L_A}{L} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $U_{perA}$  —— A支承平面上许用剩余不平衡量，单位为克毫米（g·mm）；  
 $U_{perB}$  —— B支承平面上许用剩余不平衡量，单位为克毫米（g·mm）；  
 $U_{per}$  —— （总的）许用剩余不平衡量（在质心平面），单位为克毫米（g·mm）；  
 $L_A$  —— 从质心平面到A支承平面的距离，单位为毫米（mm）；  
 $L_B$  —— 从质心平面到B支承平面的距离，单位为毫米（mm）；  
 $L$  —— 支承跨距，单位为毫米（mm）。



符号说明：

- A —— 支承平面A；

- B —— 支承平面B；  
 I —— 允差平面 (=支承平面)  
 CM —— 质心  
 $L_A$  —— 从质心平面到A支承平面的距离，单位为毫米 (mm)；  
 $L_B$  —— 从质心平面到B支承平面的距离，单位为毫米 (mm)；  
 L —— 支承跨距，单位为毫米 (mm)。

图1 质心不对称的内质心转子

### 5.2.2.3 对内质心转子的限制

内质心转子的一般外形简图见图1。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 $U_{per}$ 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。为避免极端允差状态，**宜规定：**

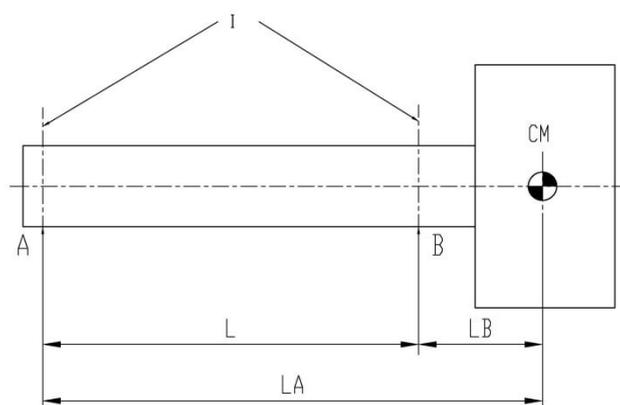
- 较大的允差值不大于 $0.7U_{per}$ ；
- 较小的允差值不小于 $0.3U_{per}$ 。

### 5.2.2.4 对外质心转子的限制

外质心转子的一般外形简图见图2。根据公式 (3) 和 (4) 计算允差值。然而，为了避免极端允差状态，**宜限定：**

- 较大的允差值不大于 $1.3U_{per}$ ；
- 较小的允差值不小于 $0.3U_{per}$ ；

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。



符号说明：

- A —— 支承平面A；  
 B —— 支承平面B；  
 I —— 允差平面 (=支承平面)；  
 CM —— 质心；  
 $L_A$  —— 从质心平面到A支承平面的距离，单位为毫米 (mm)；  
 $L_B$  —— 从质心平面到B支承平面的距离，单位为毫米 (mm)；  
 L —— 支承跨距，单位为毫米 (mm)。

图2 质心位于外悬位置的外质心转鼓

### 5.3 剩余不平衡量的检验

#### 5.3.1 总则

在允差平面而不是在校正平面检验转鼓的剩余不平衡量是合理的。

任何测量都包含误差，平衡误差应符合GB/T 9239.21的规定。

#### 5.3.2 在平衡机上的检验

首先应根据GB/T 9239.14检查和（或）处理系统误差。

当在平衡机上进行检验时，可直接测量剩余不平衡量，其测量值应符合上述规定要求。

#### 5.3.3 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，例如在现场使用平衡设备仪器进行检验。用影响系数法或等效的方法评定示值，但示值的所有变化**必须**只是由试验质量引起。

## 6 分离机转鼓平衡准则

### 6.1 准则的选择

6.1.1 分离机转鼓按转子特性和平衡要求通常视作挠性转子（高速螺旋卸料沉降离心机的转子也视作挠性转子）。评定准则按照振动限值或允许的剩余不平衡量来制定。

~~6.1.2 挠性转子评定平衡品质是在平衡设备或试验台上，考核轴承座或轴的同频振动，平衡设备或试验台应和现场条件相近。~~

6.1.3 评定平衡品质的另一种做法是考核剩余不平衡量。对于用低速平衡方法平衡的挠性转子，可用这种评定方式在低速下进行评定，不必使用高速平衡设备。

### 6.2 基于振动限值的评定

#### 6.2.1 高速平衡设备上的评定

6.2.1.1 转子应以低加速率升速以保证不抑制振动峰，如不可能在整个转速范围进行测量，应测量一阶挠曲临界转速的70%和最大工作转速之间所有明显的振动峰。

6.2.1.2 转子在最大工作转速应保持足够长的时间以消除任何瞬态影响，然后进行测量。

#### 6.2.2 试验台上的评定

试验台上评定转子的不平衡最终状态时，平衡设备仪器应符合GB/T 9239.21的规定，并符合产品标准的规定。评定方法可按GB/T 9239.12-2021中7.4的规定执行。

#### 6.2.3 振动限值

振动限值通常采用振动速度值评定，按GB/T 10895的规定进行评定。

### 6.3 基于剩余不平衡限值的评定

#### 6.3.1 低速下评定

低速下评定可按第6章的评定方法进行。

### 6.3.2 工作转速下评定

在工作转速下评定，必须选择两个适当的试验平面，并说明校正平面的轴向位置**和平衡转速**。

## 7 转子平衡校正

### 7.1 平衡校正

**转子**按选定的平衡方法和准则进行平衡校正，按设计规定的位置和加重结构进行校正后的去（加）重，应进行复测，同时在平衡校正报告表上记录。

### 7.2 转子平衡的验收

离心机、分离机**转子**平衡校正验收应符合设计要求，其剩余不平衡限值或振动限值应符合相关标准规定。

### 7.3 衬包转子的平衡校正

衬塑或衬胶类转子应在衬包前后分别进行平衡和校正。

### 7.4 转子平衡校正人员及平衡校正安全要求

#### 7.4.1 人员

7.4.1.1 参与转子平衡校正的人员应由具有平衡校正方法的基础知识和经验的专业技术人员和高级技工来承担。

7.4.1.2 平衡机或平衡仪器设备操作员应熟悉平衡机或平衡仪器结构、原理并经过专业培训取得相应资质。企业对操作员应颁发上岗证。

7.4.1.3 平衡校正报告表的签发应由取得岗位资格证书的人员负责。

#### 7.4.2 安全

7.4.2.1 转子平衡校正时，转子旋转件紧固部位或联接处应有可靠的防松措施，转动部分有防护措施，特别是在试加重的情况下，以防止加重物的飞出。

7.4.2.2 操作人员可能触及的有危险的外露转动件应采取距离防护或设置防护装置，确保人身安全。

7.4.2.3 平衡现场必要时应设有安全警示标志，以提示潜在的危险。

## 8 转子平衡校正报告

**转子**平衡校正结果应填写校正报告表，其内容应符合表1的规定（见表1、图3和图4），与校正相关的现场记录，连同**转子**平衡校正报告表，在校正完成后应整理成书面报告归档保存。

表2 转子平衡校正报告表

校正时间： 年 月 日		室 温： °C										
校正地点：		平衡机（或平衡仪）型号：										
转子参数	型号	编号	质量 Kg	设计转速 r/min	支承 参数 mm	L	L1	L2	LA	LB	R1	R2
平衡 次数	平衡转速 r/min	平衡参数	校正 I 面		校正 II 面		整机振动测量值 mm/s					
			不平衡量	相角 0°	不平衡量	相角 0°	测点 位置	平衡前	平衡后			
1		初始不平衡量 g·mm					Vx					
		加/去重量 g					Vy					
		剩余不平衡量 g·mm					Vz					
2		初始不平衡量 g·mm					Vx					
		加/去重量 g					Vy					
		剩余不平衡量 g·mm					Vz					
3		初始不平衡量 g·mm					Vx					
		加/去重量 g					Vy					
		剩余不平衡量 g·mm					Vz					
4		初始不平衡量 g·mm					Vx					
		加/去重量 g					Vy					
		剩余不平衡量 g·mm					Vz					
5		初始不平衡量 g·mm					Vx					
		加/去重量 g					Vy					
		剩余不平衡量 g·mm					Vz					
复测剩余不平衡量 g·mm							最终整机振动值 mm/s					
最终去（加）重量 g							Vx					
等效总去（加）重量 g							Vy					
最终校正后振动速度 mm/s				总校正次数			Vz					
平衡后振动评价												
备 注												

注：1. 平衡次数可根据厂家具体情况作适当增减；

2. 整机振动测量和最终整机振动值部分仅限采用整机平衡法填写，平衡机上测试可不作要求。

操作员：

监读员和记录员：

校正签发员：

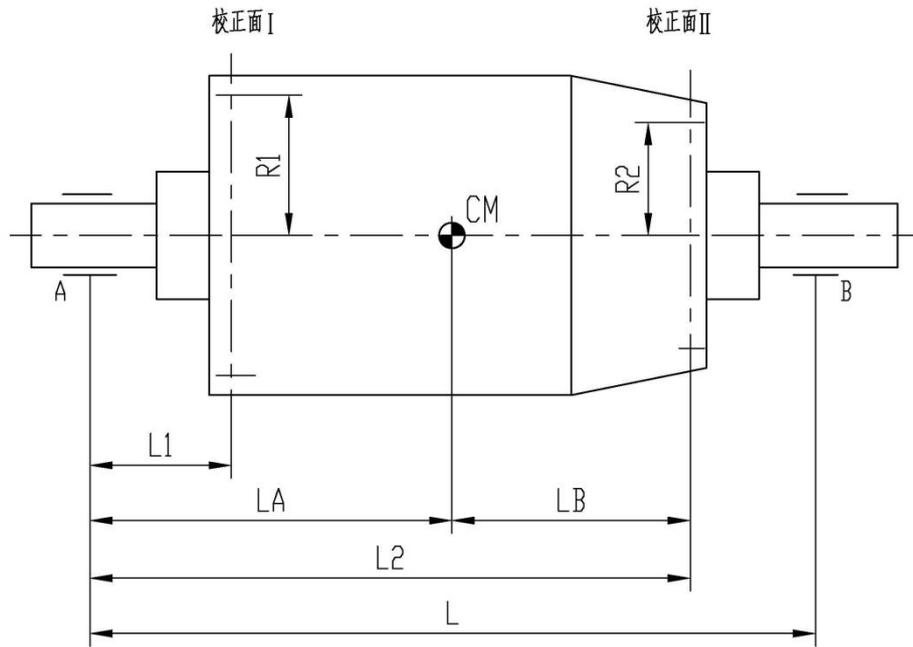


图 3 内质心转子平衡校正支承简图

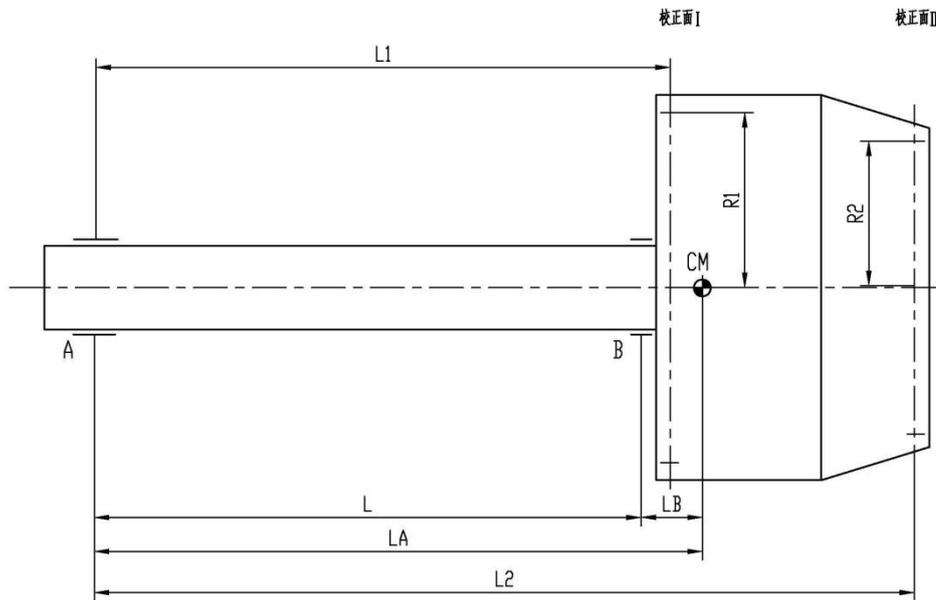


图 4 外质心转子平衡校正支承简图

## 附录 A

(资料性)

## 一阶挠曲临界转速的计算

## A.1 概述

一阶挠曲临界转速的计算需要根据轴的支撑方式、载荷分布、几何结构等条件来选择合适的计算公式。根据轴的支撑方式和载荷条件，通常简化为以下几种形式：

a) 支撑方式分为：简支，即两端可自由转动，如滚动轴承；固支，两端固定，如滑动轴承或法兰连接；

b) 载荷分布分为：集中质量，如轴上装配的叶轮、齿轮简化为质点；均布质量，忽略轴上的零部件，仅考虑轴自身质量。

## A.2 计算方法

## A.2.1 单集中质量轴

当轴上仅有一个主要集中质量，并且轴自身质量远小于集中质量时，可忽略轴的质量，根据支撑方式的不同，可以分为两端简支（简支梁）、一端固支一段自由（悬臂梁）以及两端固支（固支梁）三种，一阶挠曲临界转速分别按公式（A.1）、（A.2）和（A.3）计算：

$$n_1 = \frac{30}{\pi} \times \sqrt{\frac{48EI}{mL^3}} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$n_1 = \frac{30}{\pi} \times \sqrt{\frac{3EI}{mL^3}} \dots\dots\dots (A.2)$$

$$n_1 = \frac{30}{\pi} \times \sqrt{\frac{192EI}{mL^3}} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

$n_1$ —— 简支梁单集中质量轴一阶挠曲临界转速，单位为转每分钟（r/min）；

$E$ —— 轴材料的弹性模量，单位为帕斯卡（Pa）；

$I$ —— 轴的截面惯性矩，单位为米的四次方（ $m^4$ ）；

$m$ —— 集中质量，单位为千克（kg）；

$L$ —— 轴的支持跨度，单位为米（m）。

## A.2.2 均布质量轴

当轴上无明显集中载荷（或轴自身质量占比高），可考虑均布质量，根据支撑方式的不同，可以分为两端简支（简支梁）、一端固支一段自由（悬臂梁）以及两端固支（固支梁）三种，一阶挠曲临界转速分别按公式（A.4）、（A.5）和（A.6）计算：

$$n_1 = \frac{\pi}{2L^2} \times \sqrt{\frac{EIg}{\rho A}} \times 60 \dots\dots\dots (A.4)$$

$$n_1 = \frac{1.53}{L^2} \times \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \dots\dots\dots (A.5)$$

$$n_1 = \frac{44.7}{L^2} \times \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

- $n_1$ —— 简支梁均布质量轴一阶挠曲临界转速，单位为转每分钟（r/min）；  
 $E$ —— 轴材料的弹性模量，单位为帕斯卡（Pa）；  
 $I$ —— 轴的截面惯性矩，单位为米的四次方（ $m^4$ ）；  
 $\rho$ —— 材料密度，单位为千克每立方米（ $kg/m^3$ ）；  
 $A$ —— 轴的横截面积，单位为平方米（ $m^2$ ）。  
 $L$ —— 轴的支持跨度，单位为米（m）。

### A.2.3 多集中质量轴

在实际情况下，轴上通常会有多个集中质量（如齿轮、转鼓、叶轮等），这里可以采用简化方法来近似计算一阶挠曲临界转速，见公式（A.7）和（A.8）：

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{g^2 \sum(W_i y_i)}{\sum(W_i y_i^2)}} \quad (A.7)$$

$$n_1 = \frac{\omega_1 \times 60}{2\pi} = \frac{\omega_1 \times 30}{\pi} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

- $\omega_1$ —— 多集中质量轴一阶挠曲临界角速度，单位为弧度每秒（rad/s）；  
 $n_1$ —— 多集中质量轴一阶挠曲临界转速，单位为转每分钟（r/min）；  
 $W_i$ —— 第*i*个集中质量的重量，单位为牛（N）；  
 $y_i$ —— 第*i*个集中质量在假设挠曲线（一阶挠曲振型下的挠曲线）下的挠度，单位为米（m）；

注：公式（A.7）的计算结构略高于真实值，但精度满足实际工程需要，是多质量轴一阶挠曲临界转速计算的首选方法。

### A.2.4 修正系数（支撑系数）

实际情况下，轴的支持并非理想的简支或固支，存在轴承有间隙、轴肩约束等情况，因此，需要引入支撑系数K，支撑方式不同，支撑系数K的取值也不同，见表A.1。

表 A.1 轴的支撑系数 K 的取值

支撑方式	典型应用场景	支撑系数 K 取值范围	说明
理想简支	滚动轴承（无额外约束，仅径向定位）	0.9~1.1	轴两端可自由转动，径向刚度低，接近理论简支模型，K 值接近 1
理想固支	滑动轴承（径向 + 轴向约束）、法兰刚性连接	3.8~4.2	轴两端无转动自由度，径向刚度高，接近理论固支模型，K 值约为 4
半固支（简支 - 固支混合）	一端滚动轴承 + 一端轴肩限位	1.5~2.5	约束强度介于简支与固支之间，需根据实际限位刚度调整，取中间值
悬臂支撑（一端固定）	轴一端固支、另一端悬空（如悬臂式转鼓）	0.2~0.4	仅一端约束，刚度最低，K 值远小于 1，需重点考虑悬臂端的振动抑制

注：支撑系数 K 的取值参见《机械设计手册》。

## 附录 B

### (资料性)

#### 确定转子是刚性特性还是挠性特性的方法

##### B.1 概述

本附录说明了确定转子是刚性特性的还是挠性特性的方法。按照B.2的测试,可看出在最高使用转速以下是否存在转子共振。如果共振是在最高使用转速以上,按照B.3和B.4的测试,可表明第一阶转子共振的影响。

如果确定转子属于刚性特性的,可用低速平衡方法来平衡。通常,挠性特性转子需要在高速下采用如GB/T 9239.12-2021中第7章的方法进行平衡,然而有的转子按定义是挠性特性的但处于边界,也可以采用GB/T 9239.12-2021中第6章中给出的专门方法做低速平衡。

转子的物理外形对平衡而言不足以确定转子是属于刚性特性还是挠性特性的。如果转子在高速下工作,它可能靠近或超越临界转速,转子会有明显弯曲,因此要求高速平衡。如果转子最高工作转速与第一阶挠曲临界转速之比小于0.7,对平衡而言认为转子是刚性特性的。

##### B.2 转子是刚性特性的还是挠性特性的确定

B.2.2~B.2.4中给出的一个或多个信息源,可用来确定转子是刚性特性还是挠性特性的,从而确定采取的平衡方法。

向转子制造厂咨询以明确转子结构型式和特性以及推荐的平衡方法(见GB/T 9239.12-2021的第5章)。

如果转子的最大工作转速与第一阶挠曲临界转速之比小于0.7,或第一节挠曲临界转速超过最高工作转速至少50%,对平衡而言,这转子能认为是刚性的。

可选择进行下述试验,已确定在工作转速下是否存在转子共振。按照GB/T 9239.11中规定的方法在低速下做两面平衡。

将转子装在能使转子至少可升速至工作转速,而且轴承及其支座的刚度和阻尼与现场安装类似的设备上,使转子逐渐升速至工作转速,注意在整个期间振动要在安全限值以内,在升速和降速过程中按转速顺序记录振动读数。

如果振动不随转速发生明显的变化,那么转子是刚性的,或者转子虽然是挠性的但其振型不平衡量较小。按B.3规定的柔性试验可以确定转子属于那一种情况。

如果在升速或降速期间振动发生了明显变化,那么存在以下一个或多个可能性:

- a) 转子是挠性的;
- b) 转子是刚性的但支承是柔性的;
- c) 转子包含一些组件,位置会随着转速或温度的变化而发生显著偏移。

如果降速至零转速期间的振动读数与以往降速过程的读数重复,为帮助区分这些可能性,可将转子再次升速至工作转速进行检查,如果转子已稳定,可进行B.3中规定的柔性试验以确定转子是刚性的或者是挠性的。

注:将转子升速至其工作转速或超速时,由于离心力的影响,有的部件可能发生移位并稳定在新的位置。例如,发电机和电动机转子常常要求定位性的运转,使铜线绕组和支承系统径向向外移动至它们的最终位置。

如果读数不重复,那么转子的不平衡量是可变的,在校正此问题之前,转子一般不能平衡至允差内。

### B.3 转子的柔性试验

转子中央或在预期能引起较大转子振动的适当位置加一个质量块,将转子升速至工作转速,注意在整个升速期间要保证振动在安全限值内,如果在升速期间振动幅值过大,减小此块的质量并重复此过程,在工作转速及与B.2.4中相同位置测量振动矢量,用新测量值对在B.2.4中记录的振动矢量进行矢量相减的办法确定该质量对振动的影响,其结果用A表示。

把转子停下来并取下该质量块,在与该质量块相同的角度位置上放置两个质量块,这两个质量块应放置在靠近转子两端的平面上,并与单个质量块产生的准静不平衡量相同而不引起任何附加的偶不平衡,再将转子升速至工作转速,测量振动矢量,用该矢量减去B.2.4得到的矢量,确定这两个质量块对转子的影响。此矢量用B表示。

### B.4 柔性试验数据的评定

计算矢量(A-B)的幅值,如果该值除以矢量A的幅值小于0.2时,对平衡而言,转子通常认为是刚性的,相反,如果大于等于0.2,应按挠性转子对待。

如有足够的转子系统的模化数据,有可能用分析的办法得到前一段落中计算该比例所需的数据,因而不必进行柔性试验。用这种方法时,必需准确地模化转子-支承系统的刚度和阻尼特性。

附 录 C  
(规范性)  
不平衡校正计算的方法

下面是由观测试验质量组效应来计算不平衡校正的一种方法。

图B.1中矢量 $\vec{OA}$ 代表对某个任意参考角度而绘出的初始振动, 矢量 $\vec{OB}$ 代表当在转子上加一试验质量组时在同一转速下对同一参考角度绘出的合成振动, 那么, 试验质量组的“效应”用矢量 $\vec{AB}$ 代表其幅值和角度。因此, 为使原始振动为零, 试验质量组应移过角度 $\angle BAO$ 并且试验质量组中每个质量的大小按比例 $\frac{AO}{AB}$ 进行调整。

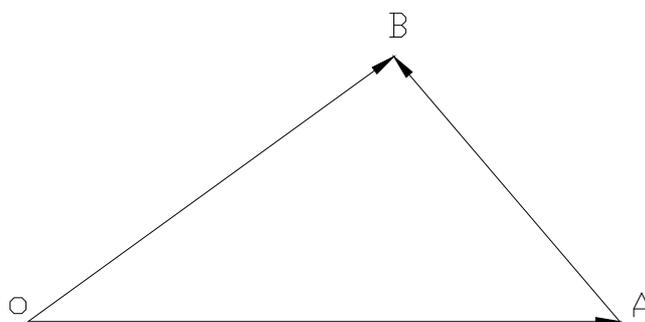


图 C.1 试验质量组的矢量效应