

中华人民共和国国家标准

GB/T 9239.31—2023/ISO 21940-31:2013

代替 GB/T 19874—2005

机械振动 转子平衡 第31部分： 机器不平衡易变性和不平衡灵敏度

Mechanical vibration—Rotor balancing—
Part 31: Susceptibility and sensitivity of machines to unbalance

(ISO 21940-31:2013, IDT)

2023-05-23 发布

2023-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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 机器易变性分类	1
5 振型灵敏度	2
6 在运行状态下靠近某个共振转速的振型灵敏度的试验确定	8
7 局部灵敏度的数值	10
8 局部灵敏度的试验确定	11
9 有阻尼不平衡灵敏度分析	11
附录 A (资料性) 术语解释	12
附录 B (资料性) 极坐标(奈奎斯特)图方法示例	14
附录 C (资料性) 按振型灵敏度分类的示例	15
附录 D (资料性) 用于不平衡的数学模型示例	16
参考文献	17

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。

本文件是 GB/T 9239《机械振动 转子平衡》的第 31 部分。GB/T 9239 已经发布了以下部分：

- 第 12 部分：具有挠性特性转子的平衡方法与允差；
- 第 13 部分：大中型转子现场平衡的准则和安全防护；
- 第 14 部分：平衡误差的评估规程；
- 第 21 部分：平衡机的描述与评定；
- 第 31 部分：机器不平衡易变性和不平衡灵敏度；
- 第 32 部分：轴与配合件平衡的键准则。

本文件代替 GB/T 19874—2005《机械振动 机器不平衡敏感度和不平衡灵敏度》，与 GB/T 19874—2005 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了机器易变性校正因子(见 4.5)；
- 增加了振型灵敏度值(见 5.4)；
- 增加了工作转速(见 5.5)；
- 增加了瞬态转速(见 5.6)；
- 删除了图 1(见 2005 年版的图 1)；
- 删除了加速旋转的转子(见 2005 年版的 5.3)。

本文件等同采用 ISO 21940-31:2013《机械振动 转子平衡 第 31 部分：机器不平衡易变性和不平衡灵敏度》。

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专利的责任。

本文件由全国机械振动、冲击与状态监测标准化技术委员会(SAC/TC 53)提出并归口。

本文件起草单位：郑州机械研究所有限公司、南方电网电力科技股份有限公司、河南九域恩湃电力技术有限公司、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、东方电气集团东方电机有限公司、广州市德善数控科技有限公司。

本文件主要起草人：黄润华、马卫平、刘石、王建华、李汪繁、陈昌林、雒应学、杨毅、郭玉杰。

本文件所代替文件的历次版本发布情况为：

- GB/T 19874, 2005 年首次发布。

引 言

转子不平衡引起的振动是旋转机械设计和维修中最关键的问题之一。它产生的动态力会对机器和人类的健康和安全产生不利影响。

平衡是检验一个转子的质量分布,必要时对其进行校正,使剩余不平衡量,或者轴颈或轴承支承的振动,或者轴承上的力在规定限值内的过程。

GB/T 9239《机械振动 转子平衡》以通用的方式解释平衡,使用特定的术语和定义,帮助使用者选择适当的平衡方法,为平衡技术的应用提供指导。包含了平衡领域大多数的标准,分为五个主要领域:引言、词汇、平衡方法和允差、平衡机、为了平衡的机械设计,拟由以下部分构成:

- 第 1 部分:引言。目的在于给出平衡技术在 GB/T 9239 系列文件中使用的一般背景,并指导使用者了解该系列的相应部分,包括词汇、平衡方法和允差、平衡机和为了平衡的机械设计。
- 第 2 部分:词汇。目的在于定义用于平衡的词汇,给出平衡词汇的字母索引和平衡机术语的图解指南。
- 第 11 部分:具有刚性特性转子的平衡方法与允差。目的在于给出用于刚性转子的平衡方法和允差。规定了允许剩余不平衡的量值、校正面必要的数目、校正面剩余不平衡允差的分配和如何解释平衡过程中的误差。
- 第 12 部分:具有挠性特性转子的平衡方法与允差。目的在于给出用于挠性转子的平衡方法和允差。给出了挠性转子的典型结构形式,规定了根据自身特点的平衡要求,列出了平衡方法,提供了最终平衡状态的评定方法以及给出了不平衡允差的指南。
- 第 13 部分:大中型转子现场平衡的准则和安全防护。目的在于给出大中型转子在其自身轴承中现场平衡的程序。阐述了适合做现场平衡的条件、所需的仪器、安全措施的内容以及报告和记录的要求。
- 第 14 部分:平衡误差的评估规程。目的在于给出用于评估平衡误差的程序,并规定了转子不平衡测量过程中的误差识别、评估已识别的误差和确定剩余不平衡时考虑误差的要求。
- 第 21 部分:平衡机的描述与评定。目的在于给出平衡机性能评价的要求。
- 第 23 部分:平衡机防护罩和测量工位的其他保护措施。目的在于给出平衡机防护罩和其他保护措施的要求,定义防护罩和其他保护措施提供的不同等级的保护,并给出每一级防护的适用范围。
- 第 31 部分:机器不平衡易变性和不平衡灵敏度。目的在于给出确定机器振动对不平衡的灵敏度的方法,并提供了考虑共振转速与工作转速接近时振动灵敏度的评价指南。
- 第 32 部分:轴与配合件平衡的键准则。目的在于给出用键连接的转子组件在单个部件平衡时的唯一准则。

机械振动 转子平衡 第 31 部分： 机器不平衡易变性和不平衡灵敏度

1 范围

本文件描述了确定机器振动对不平衡的灵敏度的方法,并针对该灵敏度(是相关共振转速与工作转速接近程度的函数),提供了评价指南。本文件只关注由不平衡引起的基频振动,并给出了如何将灵敏度数值应用于某些特殊情况的建议。

本文件包括一个按照不平衡易变性对机器进行分类的分类体系。将机器按易变性分成三种类型,按灵敏度分成五个范围。该灵敏度值本意用于简单机械系统,其转子在整个工作转速范围内最好只有一个共振转速。这些灵敏度值也能用于工作转速范围内有多个共振转速的机器,但要求这些共振转速之间彼此相隔较远(例如相隔大于 20%)。

给出的这些灵敏度值无意用作对任何类型机器的验收规范,而是给出了如何避免过大的缺陷或避免过分的、难以达到的要求的指南。也能用作更多相关调查研究的基础,例如,在某些具体场合可能需要较精确地确定灵敏度。如果对给出的灵敏度值予以充分考虑,则在大多数情况下机器预期能满意地运行。

仅考虑灵敏度值并不能保证运行时振动不超过给定的振动限值,很多其他的振源也可能引起振动,但这些超出了本文件的范围。

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。

ISO 21940-2 机械振动 转子平衡 第 2 部分:词汇(Mechanical vibration—Rotor balancing—Part 2: Vocabulary)

注: GB/T 6444—2008 机械振动 平衡词汇(ISO 1925:2001, IDT)

3 术语和定义

ISO 21940-2 界定的术语和定义适用于本文件。

注: 采用的某些术语在附录 A 做出了解释。

4 机器易变性分类

4.1 总则

机器易变性是按照机器运行时经历明显不平衡变化的概率来分类的。具有低易变性的机器允许有较高的灵敏度(要求较小阻尼),而具有高易变性的机器要限制到较低的灵敏度(要求较大阻尼)。

4.2 I 类:低易变性

这类的机器在运行期间经历明显不平衡变化的概率低。典型的是转子质量比支承质量大、在清洁

环境中运行、磨损可忽略、由温度变化引起的转子变形小等。

示例：造纸机辊筒、印刷机辊筒及高速真空泵。

4.3 II类：中易变性

这类机器在运行期间经历明显不平衡变化的概率中等。典型的是工作在环境温度变化大和(或)会发生中等程度磨损的机器。

示例：介质清洁的泵、电枢、燃气轮机和蒸汽轮机、发电机以及透平压缩机。

4.4 III类：高易变性

这类机器在运行期间经历明显不平衡变化的概率高。典型的是运行中易产生沉积物的机器(例如,在泥浆中工作的泵),或是在腐蚀环境中运行的机器。

示例：离心机,风机,螺旋输送机 and 锤式破碎机。

4.5 机器易变性校正因子

本文件的其余内容着重于划分为中易变性的机器(II类)。对于低易变性或高易变性机器的评定,校正因子能用于调整灵敏度范围。表1按照机器易变性的类型(见4.2~4.4),给出了灵敏度的校正因子。

表1 校正因子

机器类型	机器易变性分类	校正因子
I	低易变性	4/3
II	中易变性	1(基准)
III	高易变性	2/3

5 振型灵敏度

5.1 总则

振型灵敏度大小是用振动放大因子 M_n 来衡量的,它是一个常数,定义了机器各共振转速的品质范围。对于要获得低不平衡灵敏度的机器,需要其工作转速与共振转速之间有足够大的间隔,或有足够大的阻尼。

任一共振转速下的振型灵敏度,对于通过共振转速到工作转速范围的过程中避免过大振动,都是重要的。

5.2 振型灵敏度范围

允许的振动放大因子,随机器的转速而变,构成了振型灵敏度范围,用于按照机器的预期运行状态对其分类。表2定义了振型灵敏度的范围。

表2 振型灵敏度范围

范围名称	描述	预期运行状态
A	很低灵敏度	很平稳

表 2 振型灵敏度范围 (续)

范围名称	描述	预期运行状态
B	低灵敏度	平稳
C	中灵敏度	可接受
D	高灵敏度	对不平衡敏感
E	很高灵敏度	对不平衡很敏感

5.3 振型灵敏度范围的特征

尽管范围 A(见表 2)从理论上看来似乎是最理想的,但从成本和现实性考虑,可能经常需要机器在较高的振型灵敏度状态工作。

高性能机器(例如,计划大修周期短的机器),允许选用较高的振型灵敏度值。

进行现场动平衡不现实或者不经济的机器,可选用较小的振型灵敏度值。

即使对振型灵敏度作充分考虑,也不总能有把握使机器各处的振动不超过限值(见第 7 章和第 8 章)。

5.4 振型灵敏度值

5.4.1 总则

以振动放大因子 M_n 表示的振型灵敏度值是常数,与一组公式一起使用来定义振型灵敏度范围。这些值是由 ISO 21940-11 中规定的许用偏心距和由 ISO 7919-2 和 ISO 7919-4 规定的允许振动值导出的。这些文件能够一起用于研究提出工作转速下的振型灵敏度。

5.4.2 许用偏心距

转子的许用剩余不平衡(U_{per})按公式(1)计算:

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

式中:

e_{per} ——许用剩余偏心距;

m ——转子质量。

ISO 21940-11 建立了平衡品质等级(G),允许按照转子类型对平衡品质进行划分。基于机器工作转速(Ω)建立的等级按公式(2)计算:

$$G = e_{per} \Omega \quad \dots\dots\dots (2)$$

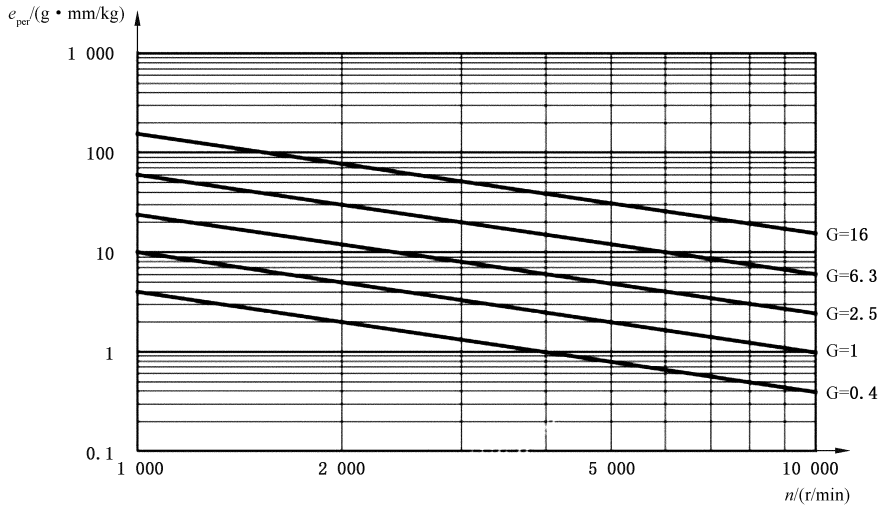
对于给定的机器类型,平衡品质等级是一个常数(例如, $e_{per} \Omega = 2.5 \text{ mm/s} = G2.5$)。

注:工作转速(Ω)指工作转速(n)[单位为转每分(r/min)]的角速度值,以 rad/s(弧度每秒)表示, $\Omega = 2\pi n/60 \approx n/10$ 。

改写公式(2)提供了基于机器工作转速和平衡品质等级的许用偏心距的表达式,见公式(3):

$$e_{per} = \frac{G}{\Omega} \quad \dots\dots\dots (3)$$

许用偏心距作为转速的函数,按照不同平衡品质等级示于图 1。对于平衡品质等级 G2.5,转速 $n = 3\,000 \text{ r/min}$ 的机器,许用偏心距为 $8.0 \mu\text{m}$;转速为 $3\,600 \text{ r/min}$ 的机器,许用偏心距是 $6.6 \mu\text{m}$ 。



标引符号说明：

e_{per} —— 许用剩余偏心距，单位为克毫米每千克 (g · mm/kg)；

n —— 转速，单位为转每分 (r/min)。

注：1 g · mm/kg 相当于 1 μm。

图 1 依据 ISO 1940-1 得出的许用偏心距

5.4.3 允许振动幅值

ISO 7919-2 和 ISO 7919-4 定义了稳态轴振动的评价区域，这些区域是：

- A 区：新投产的机器，振动通常在此区域内；
- B 区：振动在此区域内的机器，通常认为可以不受限制地长期运行；
- C 区：振动在此区域内的机器不满足长期连续运行的要求，在这种状态下可以运行有限的时间，直到有合适的机会采取矫正措施；
- D 区：振动在此区域通常被认为振动剧烈，足以引起机器损坏。

这些峰-峰值振动的区域边界值，与最高正常工作转速 (n) [单位为转每分 (r/min)] 的平方根值成反比，如公式(4)~公式(6)所示：

区域边界值 A/B

$$S_{(P-P)} = \frac{4\ 800}{\sqrt{n}} \mu\text{m} \quad \dots\dots\dots (4)$$

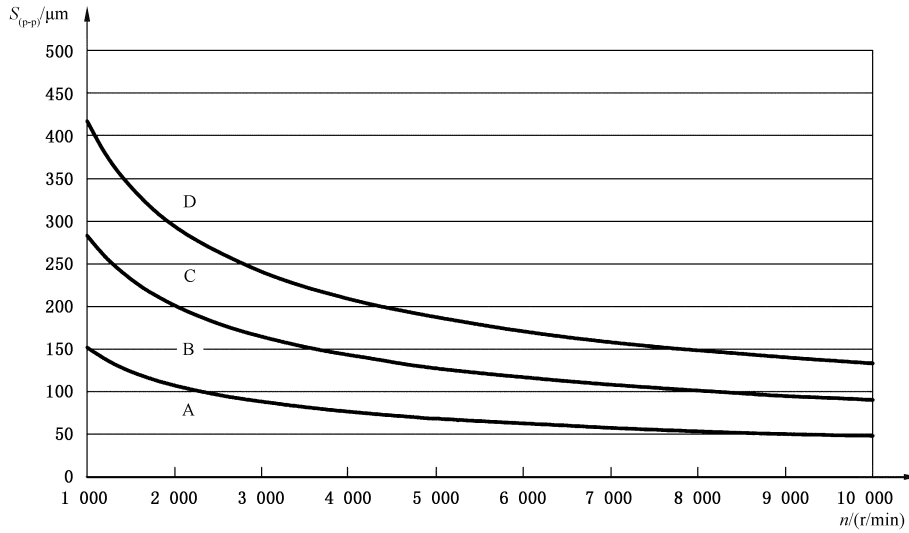
区域边界值 B/C

$$S_{(P-P)} = \frac{9\ 000}{\sqrt{n}} \mu\text{m} \quad \dots\dots\dots (5)$$

区域边界值 C/D

$$S_{(P-P)} = \frac{13\ 200}{\sqrt{n}} \mu\text{m} \quad \dots\dots\dots (6)$$

图 2 显示出公式(4)~公式(6)的值随转速变化的情况，表 3 给出了 II 类机器常见转速的振动限值。



标引符号说明：

$S_{(p-p)}$ —— 振动峰-峰值，单位为微米(μm)；

n —— 机器工作转速，单位为转每分(r/min)。

注：A~D 为 5.4.3 给出的区域。

图 2 依据 ISO 7919-2 和 ISO 7919-4 给出的区域边界曲线

表 3 机器常见工作转速的区域边界值

转速 r/min	区域边界 A/B 上的 $S_{(p-p)}$ μm	区域边界 B/C 上的 $S_{(p-p)}$ μm	区域边界 C/D 上的 $S_{(p-p)}$ μm
1 500	123.9	232.4	340.8
1 800	113.1	212.1	311.1
3 000	87.6	164.3	241.0
3 600	80.0	150.0	220.0

注：A~D 为 5.4.3 给出的区域。

5.4.4 稳态推导值

利用公式(3)~公式(6)以及振型灵敏度的公式(见附录 A)，能够按照机器平衡品质等级针对每个评价区域边界推导出来与转速相关的振动放大因子表达式。公式(7)表示了推导出来的振动放大因子的一般形式：

$$M_n = \frac{S_{(p-p)ISO\ 7919}}{2e_{ISO\ 1940-1}} \dots\dots\dots (7)$$

注 1：定义振型灵敏度的振动放大因子(振动位移与振型偏心距之比)是一个无量纲量。在 ISO 7919 相关部分给出的评价区域边界振动峰-峰值除以 2，则公式(7)中的分子、分母均是幅值。

更具体地说，对区域边界 A/B：

$$M_n = \frac{2.4\pi\sqrt{n}}{30G} \dots\dots\dots (8)$$

对区域边界 B/C:

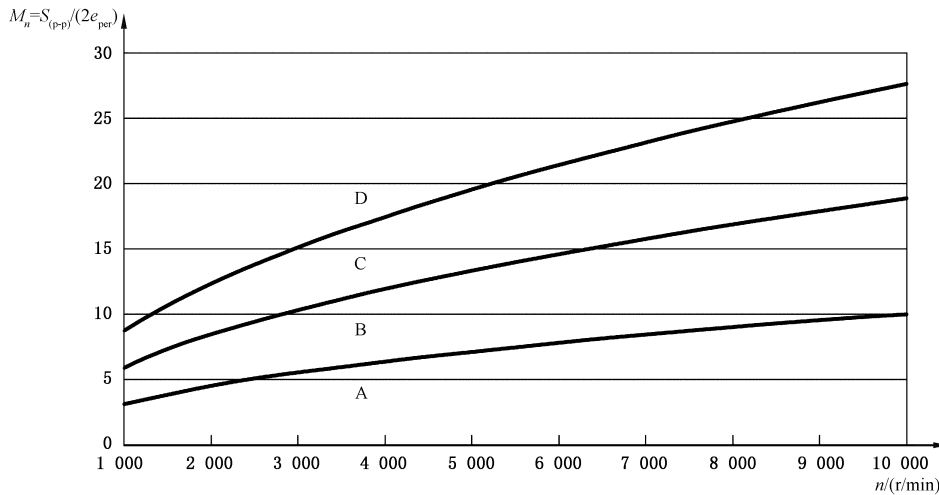
$$M_n = \frac{4.5\pi\sqrt{n}}{30G} \dots\dots\dots(9)$$

对区域边界 C/D:

$$M_n = \frac{6.6\pi\sqrt{n}}{30G} \dots\dots\dots(10)$$

注 2: A~D 为 5.4.3 给出的区域。

从公式(8)~公式(10)中可见,最高正常工作转速(n)以转每分(r/min)为单位,导出的振动放大因子是一个与转速相关的参数。公式(8)~公式(10)的图形表示见图 3。



标引符号说明:

M_n —— 振动放大因子;

n —— 机器工作转速,单位为转每分(r/min)。

注: A~D 为 5.4.3 中给出的区域。

图 3 与转速相关的振动放大因子

针对通常机器工作转速计算出的振动放大因子见表 4。

表 4 通常机器工作转速下的振动放大因子

转速 r/min	区域边界上的 M_n		
	A/B	B/C	C/D
1 500	3.9	7.3	10.7
1 800	4.3	8.0	11.7
3 000	5.5	10.3	15.1
3 600	6.0	11.3	16.6

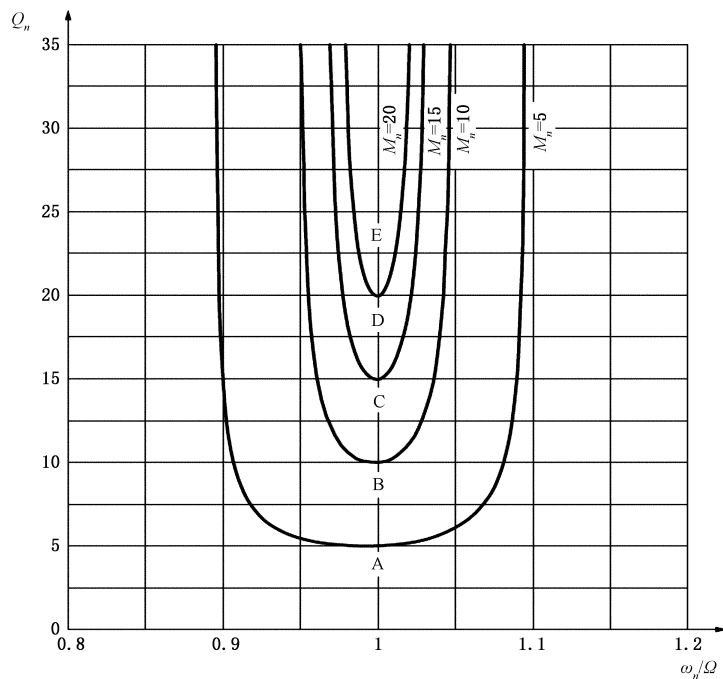
注: A~D 是 5.4.3 中给出的区域。

为了简化振型灵敏度的评价,希望从对比分析中消掉工作转速变量。由于许多 II 类机器工作在 3 000 r/min 或 3 600 r/min 转速下,一个保守的近似是,对于范围边界 A/B、B/C、C/D 和 D/E(见 5.2 对

范围的描述)上的振型灵敏度(M_n),分别取常数 5、10、15、20。图 4 和图 5 适用于所有机器,与其额定工作转速无关。

5.5 工作转速

采用公式(A.2),针对额定工作转速区域,容易画出确定振型灵敏度范围的曲线。图 4 显示出 II 类机器的该曲线。如何使用图 4 的两个示例,见附录 C。



标引符号说明:

Q_n ——共振转速区的放大因子;

ω_n/Ω ——共振转速与工作转速之比。

注: A~E 为 5.2 给出的振型灵敏度范围。

图 4 II 类机器共振转速附近的振型灵敏度

对于第 4 章中规定的机器易变性类型,这些边界值需要乘以相应的校正因子,结果见表 5。

表 5 不同类型机器的振动放大因子(M_n)

范围边界	M_n		
	I 类	II 类	III 类
A/B	6.7	5.0	3.3
B/C	13.3	10.0	6.7
C/D	20.0	15.0	10.0
D/E	26.7	20.0	13.3

注: A~E 为 5.2 给出的振型灵敏度范围。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/718052134037006105>