

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 17951—2022

代替GB/T 17951—2005

## 硬磁材料一般技术条件

Specification for magnetically hard materials

(IEC 60404-8-1:2015,Magnetic materials—Part 8-1:Specifications for individual materials—Magnetically hard materials,MOD)

2022-03-09发布

2022-10-01实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 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 17951—2005《硬磁材料一般技术条件》，与GB/T 17951—2005相比，除编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了各向异性粘结REFeN 磁体牌号及相关性能(见表19)；
- 增加了高磁能积La/Co 替代永磁铁氧体牌号及相关性能(见表14)；
- 增加了RECo<sub>5</sub> 52/52p 和 RECo<sub>5</sub> 68/60p 两个稀土钴牌号(见表16)；
- 增加了退磁场强度H<sub>p</sub> 的定义和数学确定方法(见13.2和13.3)；
- 更改了一些内容以与硬磁材料测试方法GB/T 3217—2013以及GB/T 13888—2009相适应。

本文件使用重新起草法修改采用IEC 60404-8-1:2015《磁性材料第8-1部分：单项材料规范硬磁材料》。

本文件与IEC 60404-8-1:2015相比做了下列结构调整：

- 增加了附录A；
- 将IEC 60404-8-1:2015的附录 A 调整为附录B。

本文件与IEC 60404-8-1:2015相比，存在较多技术性差异，附录A 给出了相应技术性差异及其原因一览表。

本文件做了下列编辑性改动：

- 将标准名称更改为《硬磁材料一般技术条件》。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国电工合金标准化技术委员会(SAC/TC 228)归口。

本文件起草单位：中国计量科学研究院、中国计量大学、桂林电器科学研究院有限公司、有研稀土新材料股份有限公司、宁波招宝磁业有限公司、宁波韵升股份有限公司、天津三环乐喜新材料有限公司、浙江鑫盛永磁科技有限公司、福建省长汀卓尔科技股份有限公司、杭州永磁集团有限公司、赣州市计量检定测试所(国家钨与稀土产业计量测试中心)、河南科技大学、内蒙古自治区稀土产品质量监督检验研究院、宁波盛事达磁业有限公司、宁波宁港永磁材料有限公司、浙江中杭新材料科技有限公司、宁波可可磁业股份有限公司、宁波复能新材料股份有限公司、宁波金鸡强磁股份有限公司、宁波松科磁材有限公司、深圳市东升磁业有限公司、宁波金科磁业有限公司、宁波鑫霖磁业有限公司、有研稀土(荣成)有限公司、重庆科技学院、宁波磁性材料商会。

本文件主要起草人：贺建、葛洪良、吴琼、俞能君、谢永忠、闫文龙、林建强、沈国迪、刘伍利、鲍金胜、唐国才、王国雄、贾贵元、曾纪平、安士忠、张东宏、任常峰、李文军、周建斌、徐嘉诚、冯伟、邹宇钦、胡元虎、倪浩瀚、郑希东、周高峰、李国强、马跃华、马毅龙、李春红、孙建春、吴文捷、崔得锋、赵浩融、程俊峰、郭艳。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 2000年首次发布为GB/T 17951—2000,2005年第一次修订；
- 本次为第二次修订。

# 硬磁材料一般技术条件

## 1 范围

本文件规定了硬磁材料(又称永磁材料)主要磁特性的最低值和尺寸公差。为提供一些参考信息,本文件也给出了材料的密度值和化学成分范围。

本文件适用于硬磁材料的检验。

注:附录B中表B.1给出了磁性材料有关的附加机械物理性能值以供参考和比较。

## 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 2900.60—2002 电工术语 电磁学(eqv IEC 60050-121:1998)

GB/T 2900.83-2008 电工术语电的和磁的器件(IEC 60050-151:2001,IDT)

GB/T 3217 永磁(硬磁)材料 磁性试验方法(GB/T 3217—2013,IEC 60404-5:1993,MOD)

GB/T 9637—2001 电工术语磁性材料与元件(eqv IEC 60050-221:1990)

GB/T 13888 在开磁路中测量磁性材料矫顽力的方法(GB/T 13888—2009,IEC 60404-7:1982, IDT)

GB/T 29628 永磁(硬磁)脉冲测量方法指南(GB/T 29628—2013,IEC TR 62331:2005,NEQ)

## 3 术语和定义

GB/T 2900.60—2002、GB/T 2900.83—2008 和 GB/T 9637—2001界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 材料的类型及应用

硬磁材料分为R类(硬磁合金材料)、S类(硬磁陶瓷材料)和U类(粘结硬磁材料)。

硬磁材料具有大于1 kA/m 的磁极化强度矫顽力,磁化饱和后能提供依材料而定的磁场,可在静态或动态磁路中应用。

硬磁材料在生活中很常见,它们以电磁原理为基础,在测量装置、发动机、发电机以及扩音器等设备中实现耦合、调制或调节的功能;在办公设备、电脑硬件、娱乐电器、无线电通信、家用电器和医疗设备中也是必不可少的。同时,硬磁材料也可用于汽车[包括混合动力车(HEV)、电动汽车(EV)]的驱动电机,或应用在机械工程的夹具和夹、模板中。

在 GB/T 21219—2007 中,对这些能大批量供应的硬磁材料的可能和典型应用,做了更详细的叙述。

## 5 磁特性分类

### 5.1 概述

与本文件的上一版(2005年版)相比,本文件对永磁材料采用了相同的分类方法。新增粘结 REFeN 磁体的第一部分分类号为U5,详情见表1。所有材料按照冶金学进行分类。

**表 1 硬磁材料的分类**

类别	主要成分	第一部分分类号 (本文件)	上一版本(2005年版)的分类号
硬磁合金(R)	铝镍钴铁钛合金	R1	R1
	铬铁钴合金	R6	R6
	铁钴钒铬合金	R3	R3
	稀土钴合金	R5	R5
	稀土铁硼合金	R7	R7
硬磁陶瓷材料(S)	硬磁铁氧体 ( $MO \cdot nFe_2O_3$ ; M=Ba, Sr, 土Pb, n=4.5~6.5)	S1	S1
粘结硬磁材料(U)	粘结铝镍钴铁钛硬磁材料	U1	U1
	粘结稀土钴硬磁材料	U2	U2
	粘结稀土铁硼硬磁材料	U3	U3
	粘结硬磁铁氧体	U4	U4
	粘结稀土铁氮硬磁材料	U5	

硬磁材料按5.2中的主要磁特性分类。

### 5.2 主要磁特性

硬磁材料主要磁特性、符号和单位见表2。

**表 2 主要磁特性、符号和单位**

磁特性	符号	单位
最大磁能积	(BH) <sub>max</sub>	kJ/m <sup>3</sup>
剩余磁通密度	B <sub>r</sub>	mT
磁通密度矫顽力	H <sub>c</sub>	kA/m
磁极化强度矫顽力	H <sub>o</sub>	kA/m

表10至表19给出的主要磁特性值是在室温下材料磁化到饱和后测定的规定最小值。这些磁特性的规定值只对沿磁化轴有一不变横截面、体积为0.125 cm<sup>3</sup>~200 cm<sup>3</sup>,并且在互相垂直的三个坐标轴方向上的尺寸至少为5 mm 的试样有效。

对于各向异性材料,只对沿易磁化方向有效。

对于试样的更详细的尺寸限制见GB/T 3217。

因制造方法的原因,如试样不能满足上述尺寸条件,可能得到较低的磁特性值。

开磁路下测量矫顽力的方法按GB/T 13888或 GB/T 29628。

### 5.3 辅助磁特性

辅助磁特性的符号和单位见表3。

表 3 辅助磁特性的符号、单位

磁特性	符号	单位
回复磁导率	H <sub>rec</sub>	—
剩余磁通密度的温度系数[对应饱和磁极化强度J <sub>s</sub> 的温度系数a(J <sub>s</sub> )]	a(B <sub>r</sub> )	%/℃
磁极化强度矫顽力的温度系数	a(H <sub>d</sub> )	%/℃
居里温度	T <sub>c</sub>	℃

表10至表19给出的辅助磁特性的典型值仅作为一种指标给出，不作为要求，除非供需双方另有协定。各表中温度系数的温度范围一般为20℃~100℃，但这并不妨碍这些材料在此温度范围以外应用。在GB/T 3217和GB/T 13888中对将硬磁材料磁化到饱和所必需的磁场强度做了规定。

## 6 化学成分

不同类型材料的成分范围在12.1.1.1、12.1.2.1、12.1.3.1、12.1.4.1、12.1.5.1、12.2.1和12.3.2中给出。

## 7 密度

表10至表19给出的密度值仅是为了提供参考，这些密度值可用于质量和体积的估算。

## 8 牌号

硬磁材料可以通过简短的牌号和字母数字记号(分类号)来标志(见表10至表19)。牌号中的化学符号或英文名称表示主要组分，斜线前面的数字表示最大磁能积(BH)<sub>ma</sub>(单位kJ/m<sup>3</sup>)，斜线后面的数字表示矫顽力H<sub>c</sub>(单位kA/m)的十分之一。具有粘结剂(大部分是有机粘结剂，见12.3.1)的硬磁材料，则采用在牌号末尾加字母“p”表示。

示例：对于表10中的AlNiCo 26/6的牌号，整数26由其(BH)<sub>m</sub>的最低值26 kJ/m<sup>3</sup>得出，整数6由H<sub>c</sub>的最低值的十分之一，即58×1/10=5.8再四舍五入为一个最接近的整数而得出。如舍去后整数部分为零，则保留它舍去后的第一个不为零的小数。

分类号来源于GB/T 21219—2007中的分类表。分类号中的字母表示硬磁材料的类别，第一位数字表示各个类别中材料的种类，见表1。第二位的数字“0”表示磁各向同性；“1”表示磁各向异性。若有第三位数码，表示细分种类。

## 9 交货方式及尺寸

硬磁材料可以在充磁或不充磁状态下交货，还可以组装在磁路中交货。  
磁体的尺寸应在定货时商定。

## 10 检验

### 10.1 检验范围

检验范围由供需双方商定。

### 10.2 检验方法

检验方法由供需双方商定。

当硬磁材料制成符合GB/T 3217规定的形状和尺寸的试样时，其磁特性按GB/T 3217测试。如果试样的形状或/和尺寸不符合GB/T 3217规定的要求，则测试的细节由供需双方商定。

## 11 拒收理由

拒收理由包括硬磁材料的磁特性值低于表10至表19给出的规定值或超过表20至表24给出的尺寸公差。

当硬磁材料的外部 and 内部缺陷影响到加工和应用时，可作为拒收的理由。

拒收订单的样品应与通知单一起由采购方发给供应商。

## 12 分类材料

### 12.1 硬磁合金材料

#### 12.1.1 铝镍钴铁钛硬磁合金材料(AlNiCo)

##### 12.1.1.1 化学成分

以铝镍钴铁钛为基的硬磁材料又称AlNiCo, 主要成分范围见表4。

表 4 AlNiCo硬磁材料的主要化学成分(质量分数)

材料类型	Al	Ni	Co	Cu	Ti	Nb	Si	Fe
AlNiCo	6.8~13	13~28	5~42	2~6	0~9	0~3	0~0.8	余量

%

##### 12.1.1.2 制造方法

AlNiCo 硬磁材料由铸造或粉末冶金方法生产。钴含量高于15%时，可通过在热处理时加磁场产生磁各向异性，其磁特性可在易磁化方向增加。

具有柱状晶或单晶结构的AlNiCo 磁体表现出最佳的磁性能。热处理时磁场方向与柱状晶轴平行。

##### 12.1.1.3 细分类

铸造或烧结各向同性硬磁合金材料(R1-0);

铸造或烧结各向异性硬磁合金材料(R1-1)。

#### 12.1.1.4 磁特性和密度

磁特性和密度值在表10中给出。

#### 12.1.1.5 尺寸公差

烧结和铸造 AlNiCo 磁体的尺寸公差值在表20中给出。

### 12.1.2 铬铁钴硬磁合金材料(CrFeCo)

#### 12.1.2.1 化学成分

以铬铁钴为基的硬磁材料又称CrFeCo, 主要成分范围见表5。

表 5 CrFeCo硬磁材料的主要化学成分(质量分数)

材料类型	Cr	Co	其他元素如Si、Ti、Mo、Al、V	Fe
CrFeCo	23~35	7~25	0.1~5	余量

%

#### 12.1.2.2 制造方法

CrFeCo 硬磁合金材料可由铸造生产, 再通过热轧和冷轧成带材或拉成丝材, 而某些部分需要经过冲压、车削或钻孔。在成型以后, 可通过热处理的方法来获得具有永久磁性能的磁体。另外这类CrFeCo 硬磁合金材料也可通过粉末冶金的方法生产。铸造和烧结的磁体可在热处理时加磁场来提高特定方向的磁性能。

#### 12.1.2.3 细分类

各向同性硬磁合金材料(R6-0);

各向异性硬磁合金材料(R6-1)。

#### 12.1.2.4 磁特性和密度

各向同性和各向异性CrFeCo 硬磁材料的磁特性在表11中给出。

#### 12.1.2.5 尺寸公差

冷轧带材、冷拉线材和棒材的尺寸公差值分别在表21和表22中给出, 烧结磁性材料的尺寸公差应由供需双方商定。

### 12.1.3 铁钴钒铬硬磁合金材料(FeCoVCr)

#### 12.1.3.1 化学成分

主要化学成分如表6所示。

表 6 FeCoVCr硬磁材料的主要化学成分(质量分数)

材料类型	Co	V+Cr	Fe
FeCoVCr	49~54	4~13	余量

%

### 12.1.3.2 制造方法

FeCoVCr 硬磁合金材料用铸造法制造，热轧和冷轧成带材或冷拉成线材。冷变形(80%~95%)及随后500℃~650℃的热处理对获得永久磁特性是必不可少的工艺过程。

### 12.1.3.3 细分类

宜以磁极化强度矫顽力 $H_g$ 为细分类的依据。

### 12.1.3.4 磁特性和密度

磁特性和密度在表11中给出。

### 12.1.3.5 尺寸公差

冷轧带材和冷拉线材的尺寸公差值分别在表21和表22中给出。

## 12.1.4 稀土钴硬磁合金材料(RECo)

### 12.1.4.1 化学成分

应用较多的稀土钴合金有两种类型： $RECo_5$ 和 $RE_2Co_{17}$ 。 $RE_2Co_{17}$ 用来表示一系列由多种过渡族元素部分替代钴的二元和多元合金的通用名称，这两种类型的合金具有强烈的单轴磁各向异性和高饱和磁化强度，可制成拥有高矫顽力 $H_g$ 和高剩磁 $B_r$ 的硬磁材料。这类硬磁材料的主要成分见表7。

表 7 RECo硬磁材料的化学成分(质量分数)

材料类型	RE	Co	Fe	Cu	其他元素如Zr、Hf、Ti、Nb、Sn
$RECo_5$	33~38	余量			0~0.3
$RE_2Co_{17}$	24~28	余量	7.5~20	4~12	0~3.5

%

钐(Sm)是这类合金中的主要稀土金属元素，可以带来很高的磁性能。但铈(Ce)、镨(Pr)或镝(Dy)等也可作为这类合金的稀土金属元素。

### 12.1.4.2 制造方法

将RECo粉末在磁场中压制坯块，可获得定向各向异性硬磁材料。将坯块在真空或保护气氛下烧结，再热处理。

### 12.1.4.3 细分类

$RECo_5$ 类各向异性硬磁合金材料(R5-1-1);



RE<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 类各向异性硬磁合金材料(R5-1-10)。

#### 12.1.4.4 磁特性和密度

磁特性和密度在表12中给出。

#### 12.1.4.5 尺寸公差

尺寸公差由供需双方商定。

### 12.1.5 稀土铁硼硬磁合金材料(REFeB)

#### 12.1.5.1 化学成分

REFeB硬磁材料是以 $RE_2 Fe_4 B$ 化合物为基础。稀土(RE)元素主要是钕(Nd),可以部分地被镝(Dy)、镨(Pr)或其他稀土元素替代;也可以是镧(La)、铈(Ce)和钇(Y)等高丰度稀土元素。铁可以部分地被钴(Co)替代。 $Nd_2 Fe_{14} B$ 合金具有四方晶结构并显示出高的饱和磁化强度和高的单轴磁晶各向异性。

REFeB硬磁材料的成分范围见表8。

表 8 REFeB硬磁合金材料的化学成分(质量分数)

材料类型	RE		Co	B	其他元素如 V、Nb、Al、Ga、Cu	Fe
	总量	其中Dy、Tb、Pr*等				
REFeB	28~35	0~10	0~15	0.85~1.2	0~1	余量
特殊REFeB如PrFeB除外。						

#### 12.1.5.2 制造方法

将REFeB粉末在磁场中压制成坯块,可获得定向各向异性硬磁材料。将压坯在真空或保护气氛下烧结,再热处理。

#### 12.1.5.3 细分类

各向异性NdFeB硬磁合金材料(R7-1)。

#### 12.1.5.4 磁特性和密度

各向异性硬磁REFeB材料规定的磁特性最低值和密度在表13中给出。

#### 12.1.5.5 尺寸公差

尺寸公差在表24中给出。

### 12.2 硬磁陶瓷材料(硬磁铁氧体)

#### 12.2.1 化学成分

硬磁铁氧体的化学组成可以用公式 $MO \cdot nFe_2 O_3$ 来描述(式中M为Ba和Sr),系数n可在4.5~6.5的范围内变动。硬磁铁氧体具有高单轴晶体各向异性的六角形结构,但其磁饱和相对较低。

可通过特殊的替代物来增加磁特性。特别地,添加镧(La)含量至9%、添加钴(Co)含量至4%可以

提高矫顽力(Hg) 至100%并且降低矫顽力的温度系数[a(H。)] 至50%。

### 12.2.2 制造方法

单晶硬磁铁氧体粉末在有或无磁场条件下压制成坯块可获得定向各向异性或各向同性硬磁材料。压坯在空气中烧结。

### 12.2.3 细分类

各向同性硬磁铁氧体材料(S1-0)；  
各向异性硬磁铁氧体材料(S1-1)。

### 12.2.4 磁特性和密度

各向同性和各向异性硬磁铁氧体材料的磁特性和密度在表14中给出。

### 12.2.5 尺寸公差

各向同性和各向异性硬磁铁氧体的尺寸公差值在表23中给出。

## 12.3 粘结硬磁材料

### 12.3.1 概述

粘结硬磁材料是复合材料，它是将磁粉植入粘结剂基底中构成。材料的机械性能主要由粘结剂决定，磁特性由磁粉的类型、粘结剂、磁粉与粘结剂的比例决定。对于各向异性材料，由于取向度不同，会有很多不同等级的材料。

相比于烧结硬磁材料，尽管此类材料磁性能较低，但它在许多应用领域具有经济和技术优势，因为其制造成本低、形状规格广泛、机械性能优良。

同时，此类材料不需要通过昂贵且复杂的粉末冶金法制造。

### 12.3.2 化学成分

粘结硬磁材料的原材料有AlNiCo 粉末(见12.1.1.1)、RECo 粉末(见12.1.4.1)、硬磁铁氧体粉末(见12.2.1)、粘结REFeB 粉末和REFeN 粉末(见表9)。

REFeN 硬磁材料以REFeN 为主，其中稀土(RE) 元素主要是钐(Sm)，可以部分被钇(Y) 或其他稀土元素替代，铁可以部分地被钴(Co)、锆(Zr)、铌(Nb) 或其他过渡族金属替代。REFeN 材料具有高的单轴磁晶各向异性与饱和磁化强度，且耐腐蚀性强，这类材料的主要成分见表9。

表 9 粘结 REFeB和 REFeN合金材料的化学成分(质量分数)

%									
粘结 REFeB磁粉	RE	B	Fe	Al	Cu	Co	Zr	V	Nb
	13.5~35	0.8~1.5	余量	<5	<5	<10	<10	<5	<5
REFeN	RE		N		过渡族元素		Fe		
	19~25		2.5~3.5		0~5		余量		
注：其他稀土金属替代金属钆的质量分数分别为：Pr<95%、La<30%、Ce<30%、Dy<10%。									

### 12.3.3 制造方法

粘结硬磁材料(常用“硬磁材料p”表示)的制造工艺基本一致，与使用的磁性材料无关。柔性的材

料可用轧制法、挤压法或压延法，而形状稳定的磁性材料用注射法、压模法或挤压法。

采用注射法时，在挤压机或捏合机内根据粘结剂类型进行冷混合或热混合。

采用注射法时最重要的基质材料是热塑性塑料尼龙、聚乙烯以及聚苯硫醚(PPS)，然后根据磁体的形状、尺寸和体积选用单腔或多腔模具，并在注模机中加工。

各向异性材料其磁性能的高低取决于模具中磁场强度和磁体形状。

压模法仅用于工业生产粘结稀土磁性材料，一般采用热固性材料(如环氧树脂)作为粘结剂。

将复合混合物装入冲压模具的模腔中，施以0.6 GPa~1 GPa的压力将其压制紧凑，然后加热固化粘结剂。各向异性磁性材料也可用各向异性粉末在取向磁场下用压模法生产。

#### 12.3.4 细分类

各向同性粘结AlNiCo硬磁材料(U1-0-x):

x=30 (压模法)。

各向同性粘结RECo硬磁材料(U2-0-x):

x=20 (注射法)；

x=30 (压模法)。

各向异性粘结RECo硬磁材料(U2-1-x):

x=20 (注射法)；

x=30 (压模法)。

各向同性粘结REFeB硬磁材料(U3-0-x):

x=20 (注射法)；

x=30 (压模法)。

各向同性粘结硬磁铁氧体材料(U4-0-x):

x=10 (压延法和挤压法)；

x=20 (注射法)。

各向异性粘结硬磁铁氧体材料(U4-1-x):

x=10 (压延法和挤压法)；

x=20 (注射法)。

各向同性粘结REFeN硬磁材料(U5-0-x):

x=30 (压模法)。

各向异性粘结REFeN硬磁材料(U5-1-x):

x=20 (注射法)。

#### 12.3.5 磁特性和密度

磁特性的最低规定值和密度：

- 粘 结AlNiCo 磁性材料(AlNiCo<sub>p</sub>) 在表15中给出；
- 粘 结RECo 磁性材料(RECo<sub>p</sub>) 在表16中给出；
- 粘 结REFeB 磁性材料(REFeB<sub>p</sub>) 在表17中给出；
- 粘 结硬磁铁氧体磁性材料(硬磁铁氧体 p) 在表18中给出；
- 粘 结REFeN 磁性材料(REFeN<sub>p</sub>) 在表19中给出。

#### 12.3.6 尺寸公差

尺寸公差由供需双方商定。

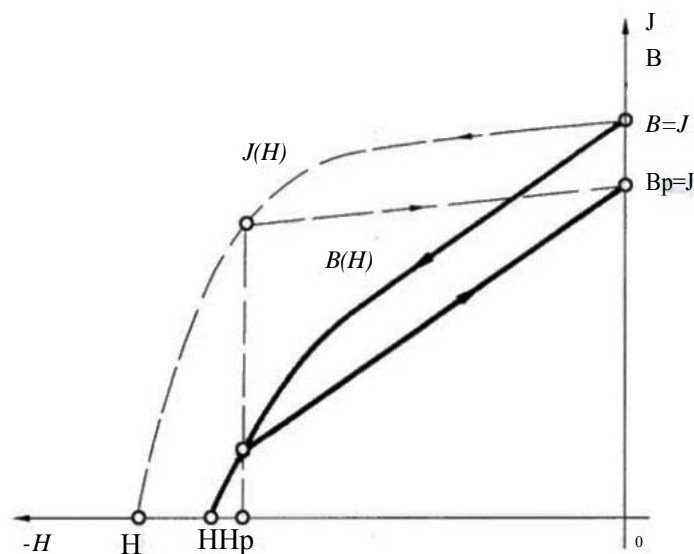
### 13 不可逆退磁特性

#### 13.1 概述

处于原始剩磁状态的硬磁材料，在受到退(反作用)磁场的作用时，将失去一定量的磁通。在除去退磁场之后，剩磁状态的原始磁通可全部或部分恢复。在前一种情况(原始磁通全部恢复)下，磁性变化是完全可逆的；而在后一种情况(原始磁通部分恢复)下，磁性的变化是部分可逆部分不可逆的。

磁通可逆的变化与磁场的变化在一定数量上是相应的，通过在材料标准的相关表中给出的回复磁导率  $\mu_{rec}$  来定量描述。因此，在设计硬磁系统时，需包含这个可逆变化。

设计时需包含出现可逆变化的退磁场范围，即退磁场强度引起的不可逆磁通变化(磁通损失)的允许量。图1给出了详细解释。



标引序号说明：

- 磁通密度或磁感应强度；
- J ——磁极化强度；
- H —— 磁场强度；
- B, —— 剩余磁通密度；
- J, —— 剩余磁极化强度；
- Bp, Jp —— 剩余回复磁通密度， 剩余磁回复极化强度；
- HB —— 磁通密度矫顽力；
- H —— 磁极化强度矫顽力；
- Hp —— 在瞬时施加到剩磁磁状态后，引起剩余回复磁通密度磁状态的退磁场强度。

图 1 B(H) 和 J(H) 退磁和回复曲线

#### 13.2 退磁场强度Hp 的一般定义

图1表示一种硬磁材料的退磁和回复曲线，此材料在充分磁化后，剩余磁通密度 $B_r=J_r$ 。施加一定强度的退磁场 $H_p$ ，再将其减小到零(磁场的暂态作用)，在材料中引起剩余磁通密度 $B_p=J_p$ ，称它为剩余回复磁通密度(稳定度)。因为 $B_p < B_r$ ，所以出现了磁通密度的相对不可逆损失 $(B_r - B_p)/B_r$ 。这种损失随着  $H_p$  增加而增大，因此，引起预定允许最大损失的 $H_0$  值是硬磁材料抵抗退磁场的稳定

性的定量测量。例如，如果允许的最大损失为5%，则相应的磁场称为 $H_s$ 。按照GB/T 3217中规定的方

法， $H_p$  可由试验测定。

### 13.3 退磁场强度 $H_p$ 的简化定义

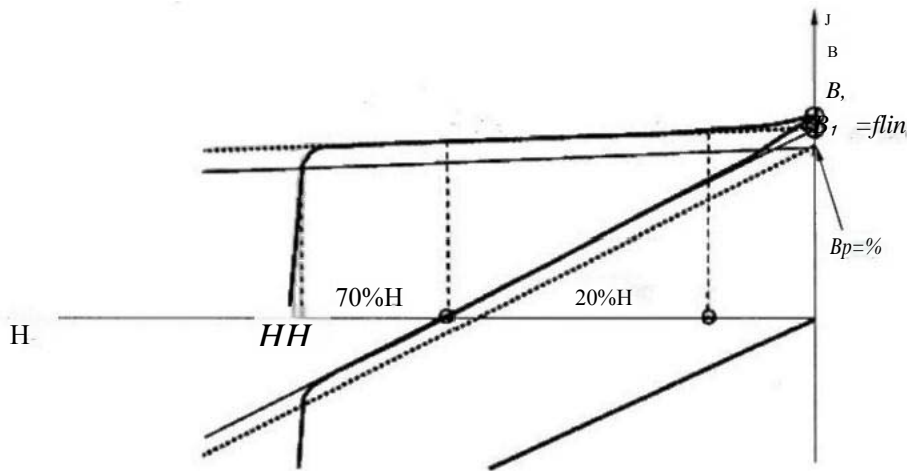
对烧结NdFeB 来说，回复曲线基本与外退磁曲线平行。在这种情况下，退磁场强度 $H_p$  的定义可以简化。如图2所示。

方法为：

退磁曲线上直线部分的离散点  $\{H(i), B(i)\}$  在 20% 至 70% $H$  磁场范围内是线性回归的：

$$f(i) = B_{r,imn} + \mu_a \times \mu_o \times H(i) \dots\dots\dots (1)$$

直线与B 轴相交于点 $B_{r,m}$ 。例如：退磁损失5%，一同斜率的直线与该轴相交于 $0.95 \times B_{r,in}$ ，则这条平行线与原始退磁曲线相交的点即为 $H_{ps}$  点。



标引序号说明：

- B —— 磁通密度或磁感应强度；
- J —— 磁极化强度；
- H —— 磁场强度；
- $B_r$  —— 剩余磁通密度；
- $B_{r,in}, J_{r,in}$  —— 线性插值的剩余磁通密度，线性插值的剩余磁极化强度；
- $B_p, J_p$  —— 剩余回复磁通密度，剩余磁回复极化强度；
- $H$  —— 磁极化强度矫顽力；
- $H_p$  —— 在瞬时施加到剩磁磁状态后，引起剩余回复磁通密度磁状态的退磁场强度。

图 2 B(H) 和J(H) 退磁和回复曲线简化估算

这种简化定义仅在以下条件下使用：

- 不适用于像RECo 这种在退磁曲线上大程度偏离线性的材料，仅适用于表13中的烧结钕铁硼 (NdFeB)；
- 矫顽力( $H_g$ ) 大于400 kA/m；
- 斜率  $\mu_n$  的范围为 $1.0 \leq \mu_n \leq 1.15$  (假设材料有有限的永久磁导率)。

线性拟合的决定系数 $R^2$  应高于0.99。为了拟合，设置一组 $n$  为观察点  $\{H(i), B(i)\}, 1 \leq i \leq n$ ，系数定义为：

$$R^2 = 1 - \frac{S_{err}}{S_{tot}} \dots\dots\dots (2)$$

总平方和：

$$S_{tot} = \sum_i [B(i) - \bar{B}]^2 \dots\dots\dots (3)$$

残差平方和:

$$S_{\text{err}} = \sum_i [B(i) - f(i)]^2 \dots\dots\dots (4)$$

观察到n 点之和的均值:

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_i B(i) \dots\dots\dots (5)$$

14 磁特性、密度和尺寸

表10~表19给出了各种材料磁特性的规定最低值, 以及回复磁导率、温度系数、居里温度、最高使用温度、密度。表20~表24给出了各种材料的尺寸公差值。

表 1 0 铝镍钴硬磁材料的磁特性和密度

材料			生产方法	磁特性					密度
牌号	磁各向同性/异性	分类号		最大磁能积 (BH) kJ/m³	剩磁 B, mT	矫顽力 HB kA/m	矫顽力 H kA/m	回复磁导率 $\mu_{\text{ree}}$	$\rho \times 10^3$ kg/m³
AlNiCo			规定的最低值					典型值	
AlNiCo 10/4	i	R1-0	铸造	10	600	40	42	7	6.8
AlNiCo 12/5	i			12	650	48	50	7.5	7.0
AlNiCo 18/9				18	580	80	86	7.5	7.1
AlNiCo 9/5			烧结	9	500	44	45	7	6.8
AlNiCo 11/5	i			11	600	48	50	7.5	7.0
AlNiCo 17/9	i			17	580	80	86	7.5	7.1
AlNiCo 37/5	a	R1-1	铸造	37	1180	48	49	4	7.3
AlNiCo 44/5	a			44	1200	52	53	3	7.3
AlNiCo 52/6	a			52	1300	56	57	3	7.3
AlNiCo 60/6	a			60	1320	56	57	3	7.3
AlNiCo 28/6	a			28	1000	56	57	4	7.3
AlNiCo 38/11	a			38	800	110	112	2	7.3
AlNiCo 36/15	a			36	700	140	148	2	7.3
AlNiCo 60/11	a			60	900	110	112	2	7.3
AlNiCo 72/11	a			72	1050	112	114	2	7.3
AlNiCo 80/12	a			80	1080	115	117	2	7.3
AlNiCo 88/12	a		88	1100	115	120	2	7.3	
AlNiCo 34/5	a		烧结	34	1120	47	48	4	7.2
AlNiCo 26/6	a			26	900	56	58	4.5	7.3
AlNiCo 31/11	a			31	760	107	111	3	7.2
AlNiCo 33/15	a	33		650	135	150	2	7.2	



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/038020111001006110>