

铁氧体磁铁



产品指南

介绍

TDK 铁氧体磁铁的磁特性变化

TDK 铁氧体磁铁的特长

磁特性分布

材质组开发历程

代表材质特性例

磁特性例

物理·机械特性例

内禀矫顽力 H_{cJ} - 温度特性例

铁氧体磁铁的基本物理性质

物理及机械特性

温度特性

外部磁场所引起的减磁

充磁特性

安全注意事项·使用注意事项

Contents Update : MAY 2014

△请索取能够用于确认更为详细的特性及规格的交货规格书,以确保能够更正确、安全地使用本产品。
记载内容,在没有予告的情况下有可能改进和变更,请予以谅解。

铁氧体磁铁

FB Series

介绍

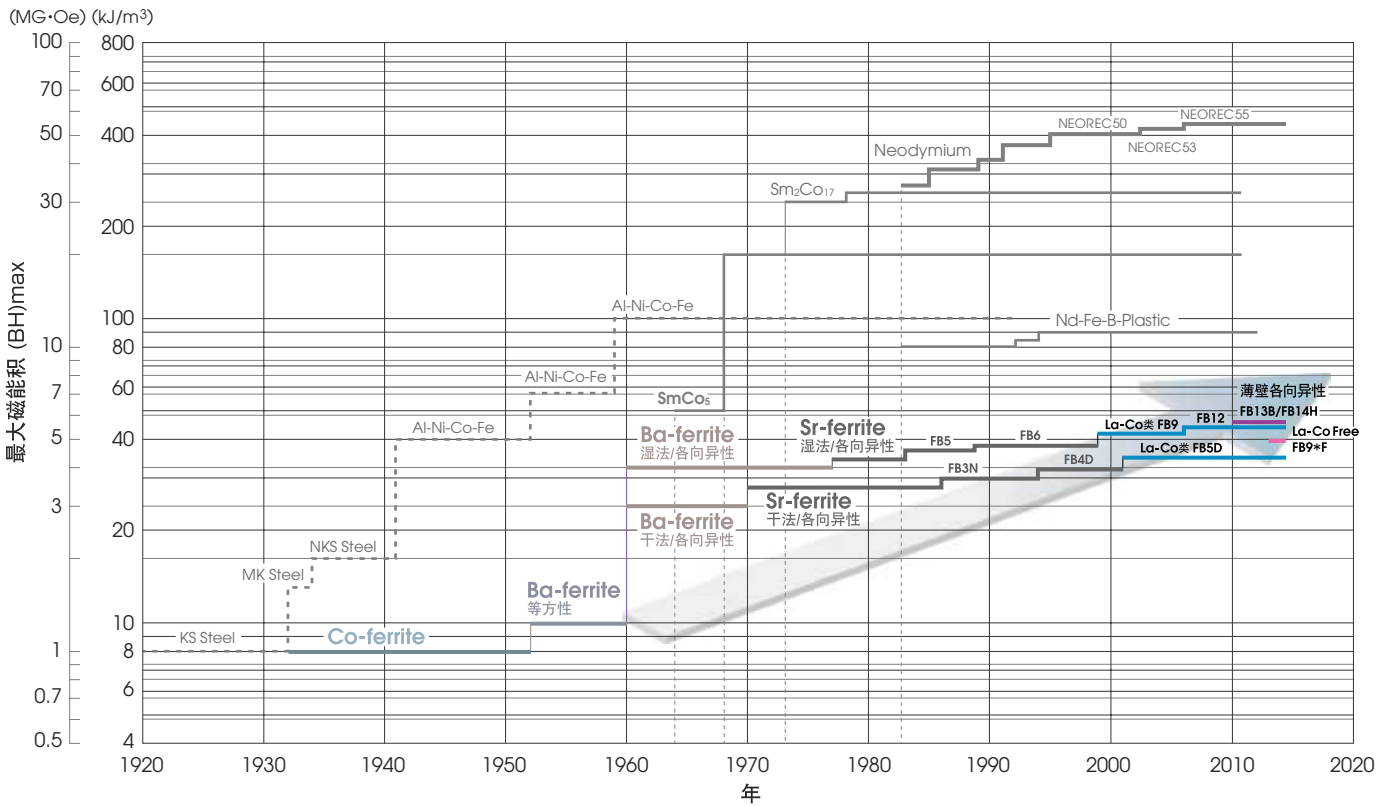
从1959年的FB1A材料到最新材质, TDK铁氧体磁铁开发史犹如磁铁应用技术的提升与发展史。

迅速准确地应对市场需求, 不断与客户共同积极开发新市场 —— 这是贯彻50年TDK铁氧体磁铁开发史的基本态度。

而其最新成果之一就是如右下方橙色线所示的高功率无La、Co材质。在完全排除稀有元素La(镧)、Co(钴)的同时, 实现了世界顶级水平的高特性, 可以与La-Co类FB9材质相媲美。此外, 率先在世界中确立了薄壁成型系统, 实现了厚度为1.5mm的斜交形状。在这项革新性的独有工艺中运用了位于FB系列磁性分布图最顶端的FB12材质材料。其结果如右下方紫色线所示。这是一种特性优势超越FB12材质, 同时还能够提供形状设计自由度, 最大限度实现电机的磁效率。

同时, TDK以日本国内外的生产基地、服务网点为窗口, 确立了能够迅速应对客户订单, 细致满足技术服务要求的 In-Market Service 体制。在实现高品质、高特性磁铁的同时, TDK作为提供磁路设计相关丰富专有技术的“Concept-in”厂商, 在加快优化磁铁应用产品设计开发方面提供积极支持。

TDK铁氧体磁铁的磁特性变化



△ 请索取能够用于确认更为详细的特性及规格的交货规格书, 以确保能够更正确、安全地使用本产品。
记载内容, 在没有予告的情况下有可能改进和变更, 请予以谅解。

铁氧体磁铁

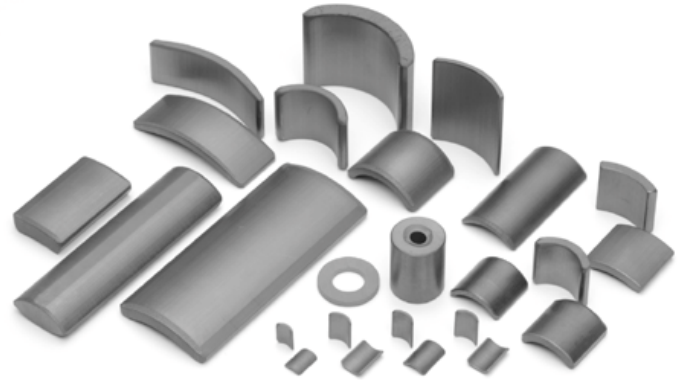
FB Series

TDK铁氧体磁铁的特长

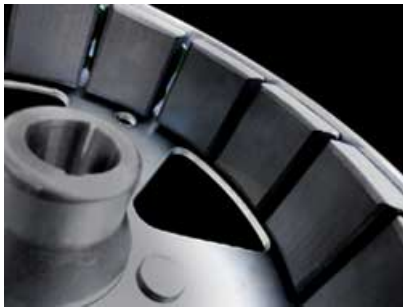
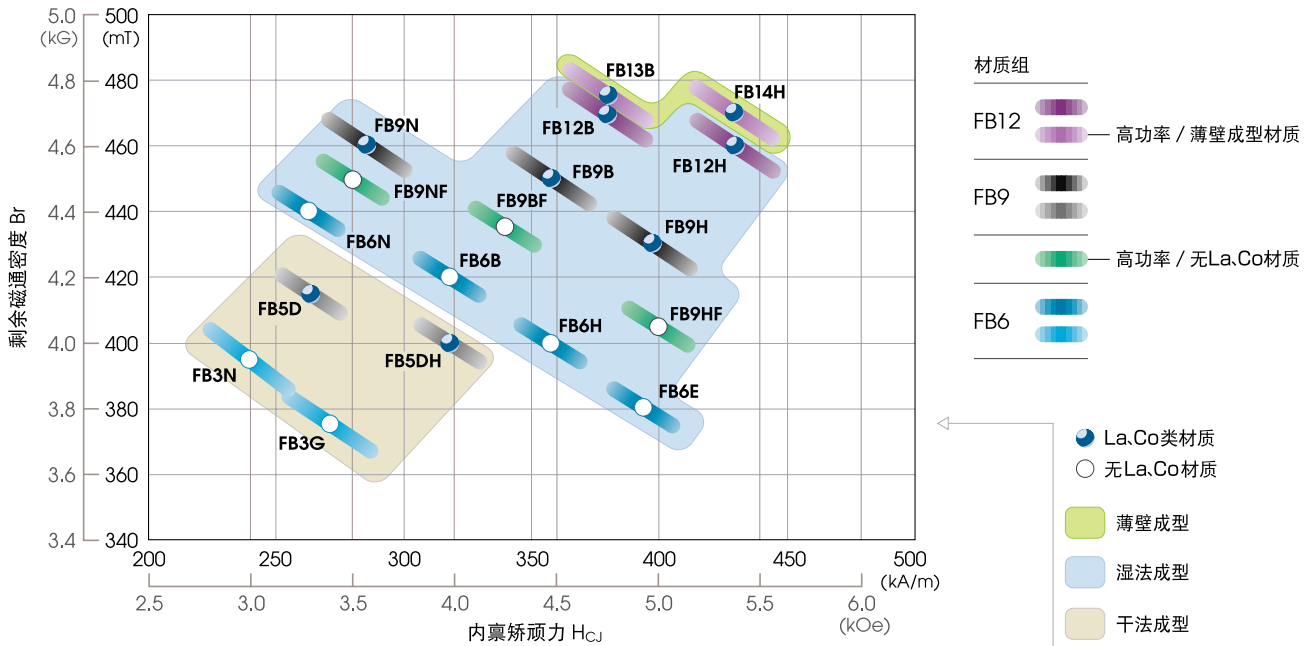
是一款通过采用了粉末冶金法的尖端细微结构控制技术生产的氧化物烧结磁铁，不易受到退磁场的影响，拥有优于以往金属(AI-Ni-Co)磁铁的实用性，成本价格比钕磁铁更低，是可进行量产的核心性磁铁。

FB13B, FB14H: 高性能、薄壁各向异性材质(适应壁厚:1.0~2.0mm)

FB9NF, FB9BF, FB9HF: 最先进的高功率无La、Co材质

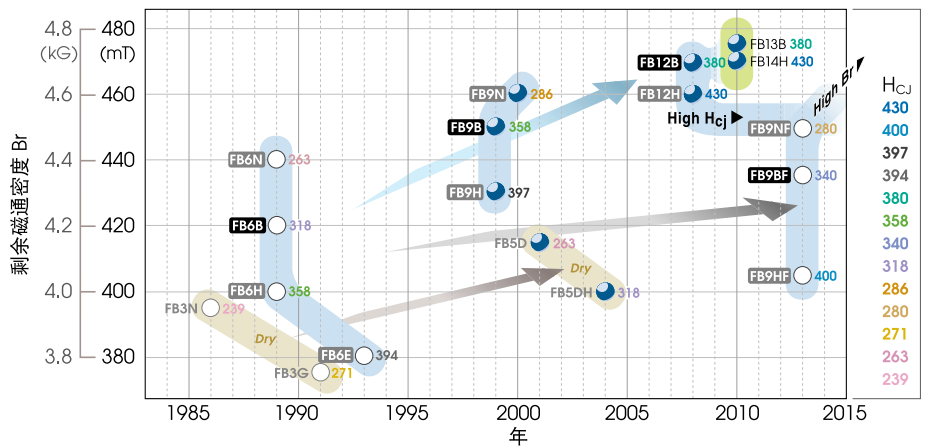


FB系列的磁特性分布



外转子用高性能铁氧体磁铁

FB系列的材质组开发历程



△ 请索取能够用于确认更为详细的特性及规格的交货规格书, 以确保能够更正确、安全地使用本产品。记载内容, 在没有予告的情况下有可能改进和变更, 请予以谅解。

FB Series

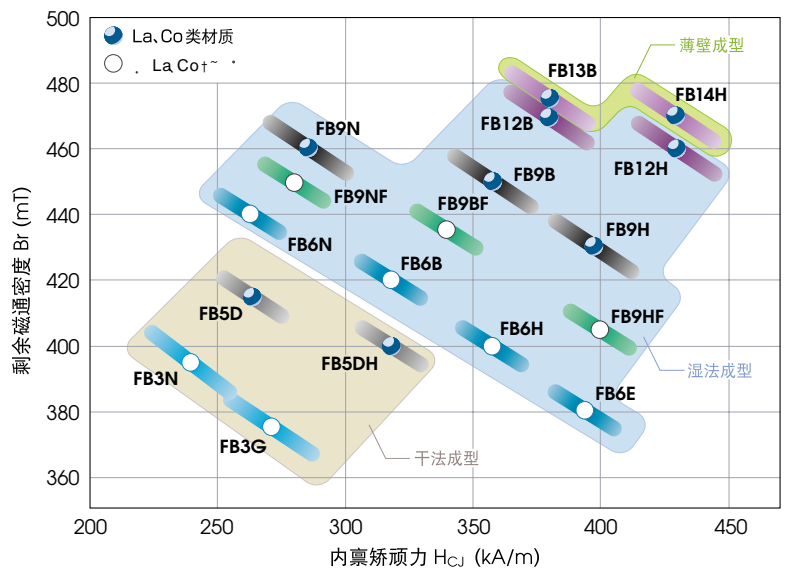
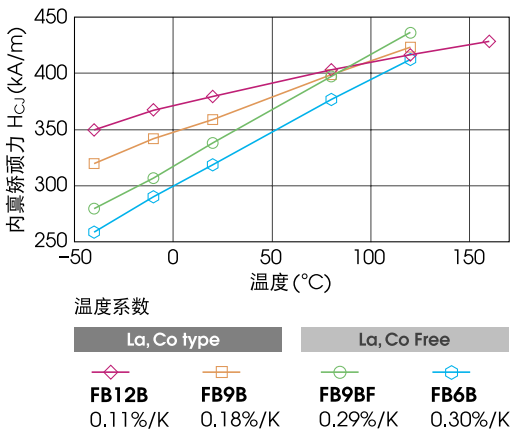
代表材质特性例

磁特性例

类型	材质组	成型工艺	材质名	剩余磁通密度 Br (mT)	矫顽力 H _{CB} (kA/m)	内禀矫顽力 H _{CJ} (kA/m)	最大磁能积 (BH) _{max} (kJ/m ³)
高功率·La、Co类	FB12组	薄壁成型	FB13B	475±10	340±20	380±20	44.0±1.6
			FB14H	470±10	355±20	430±20	43.1±1.6
高功率·La、Co类	FB12组	湿法成型	FB12B	470±10	340±12	380±12	43.1±1.6
			FB12H	460±10	345±15	430±15	41.4±1.6
高功率·La、Co类	FB9组	湿法成型	FB9N	460±10	278.5±12	286.5±12	40.4±1.6
			FB9B	450±10	342.2±12	358.1±12	38.6±1.6
			FB9H	430±10	330.2±12	397.9±12	35.0±1.6
			FB9NF	450±10	270±12	280±12	38.4±1.6
高功率·无La、Co		湿法成型	FB9BF	435±10	315±12	340±12	36.3±1.6
			FB9HF	405±10	310±12	400±12	31.7±1.6
			FB6N	440±10	258.6±12	262.6±12	36.7±1.6
无La、Co	FB6组	湿法成型	FB6B	420±10	302.4±12	318.3±12	33.4±1.6
			FB6H	400±10	302.4±12	358.1±12	30.3±1.6
			FB6E	380±10	290.5±12	393.9±12	27.5±1.6
La、Co类	FB9组	干法成型	FB5D	415±10	254.6±12	262.6±20	32.6±1.6
			FB5DH	400±10	278.6±11.9	318.3±15.9	30.3±1.6
无La、Co	FB6组	干法成型	FB3N	395±15	234.8±12	238.7±16	28.7±2.4
			FB3G	375±15	254.6±16	270.6±20	25.9±2.4

居里温度 T _c (K)	反冲比磁导率 μ _{rec}	磁化磁场 (kA/m)
733	1.05 to 1.10	>1000

代表材质的内禀矫顽力 H_{CJ} - 温度特性例



物理及机械特性例

密度 (Mg/m ³)	比热 (J/kg·K)	热膨胀系数 (ppm/K)		抗折强度 (MPa)	压缩强度 (MPa)	拉伸强度 (MPa)	杨氏模量 (GPa)	维氏硬度 Hv
		C// ^{*1}	C⊥ ^{*2}					
4.9 to 5.1	837	15	10	70	700	35	200	530

*1. C// : 于易磁化轴方向的测定值

*2. C⊥ : 与易磁化轴垂直方向的测定值

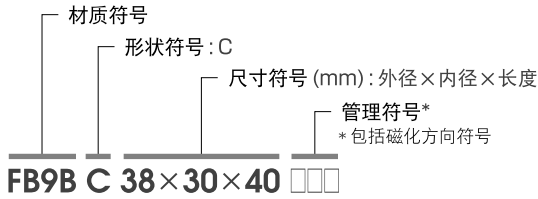
△ 请索取能够用于确认更为详细的特性及规格的交货规格书, 以确保能够更正确、安全地使用本产品。
记载内容, 在没有予告的情况下有可能改进和变更, 请予以谅解。

FB Series

型号的命名方法

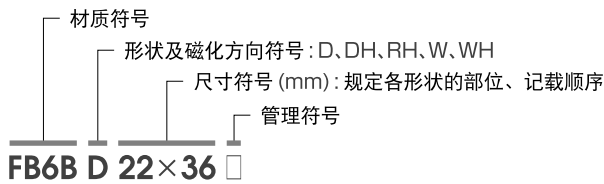
标准形状产品标注示例-1

管片型



标准形状产品标注示例-2

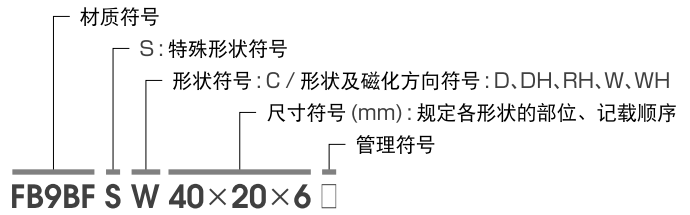
圆柱、圆盘型 / 带孔圆柱、环形
立方及长方体、板状型 / 带孔立方及长方体、板状型



详细产品形态及尺寸于个别交货规格书中进行规定。

除标准形状产品外，还可满足对于各类特殊形状的要求。关于形状示例、最大及最小尺寸等详细内容，敬请咨询。

特殊形状产品标注示例



标注示例-1

形状	形状符号	尺寸记载部位	尺寸符号	磁化方向(以管理符号规定)
管片型	C		$e \times f \times b$	平行 径向

标注示例-2

	形状 / 磁化方向	形状·磁化方向符号	尺寸记载部位	尺寸符号
圆柱、圆盘型		轴向 D		$a \times b$
带孔圆柱、环形		轴向 DH		$a \times b \times c$
带孔圆柱、环形		与轴向正交 RH		
立方及长方体、板状型		厚度方向 W		$a \times b \times c$
带孔立方及长方体、板状型		厚度方向 WH		$a \times b \times c$

*立方及长方体、板状(带孔)型仅限干式成型材质。

△ 请索取能够用于确认更为详细的特性及规格的交货规格书, 以确保能够更正确、安全地使用本产品。
记载内容, 在没有予告的情况下有可能改进和变更, 请予以谅解。

FB Series

磁特性的测定方法

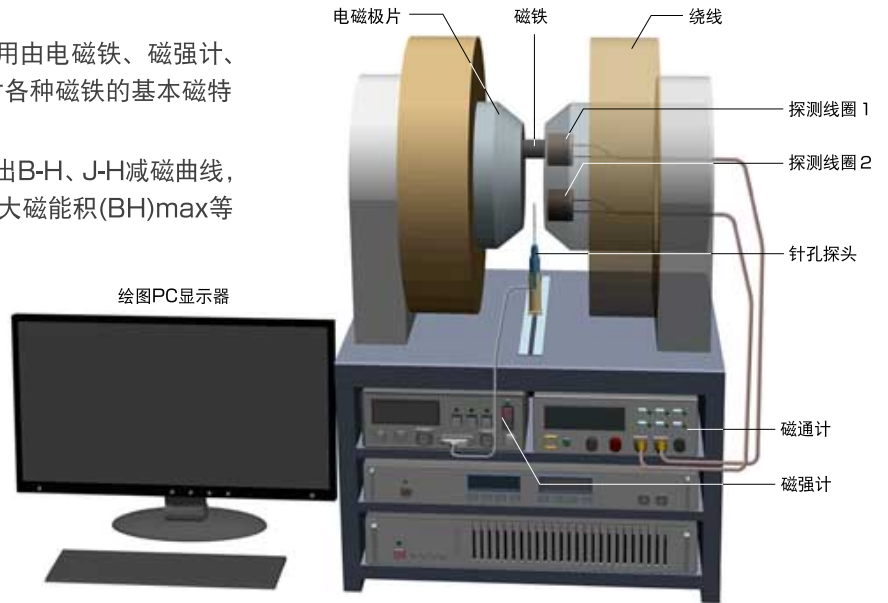
1. 各种材质的基本磁特性

采用与产品相同工艺制造的专用测试片，运用由电磁铁、磁强计、磁通计、针孔探头等所构成的B-H记录器，对各种磁铁的基本磁特性进行测定。

以B-H记录器所获得的基础数据为基础，描绘出B-H、J-H减磁曲线，获得磁通密度 B_r 、内禀矫顽力 H_{CB} 及 H_{CJ} 、最大磁能积(BH)max等基本特性值。

2. 个别产品的磁特性

形状简单的块状产品也可利用B-H记录器进行测定。但个别单独设计产品的基本磁特性，其重点在于与实际使用磁铁的客户的应用产品设计和生产工艺中的测定结果具有相容性(再现性)。因此，对于个别产品的磁特性测定，要满足事先与客户商定的简易测定条件和步骤。



2-1. 简易测定磁通密度和磁通量的工具



磁通密度可采用磁通计与针孔探头进行组合测定。采用事先商定的可抑制测定条件(针孔探头与被测定物之间的贴合程度或者是间隔、平行度等)偏差的探头架等，以确保测定的精度。

产品固有磁通量的测定采用的是与探测线圈相连的磁通计进行测定。此种情况因磁铁的移动速度及与探测线圈之间的间隔距离等偏差导致测定值成一定范围，因此需要使用与各种测定方法最适合的辅助工具，以确保其测定精度。

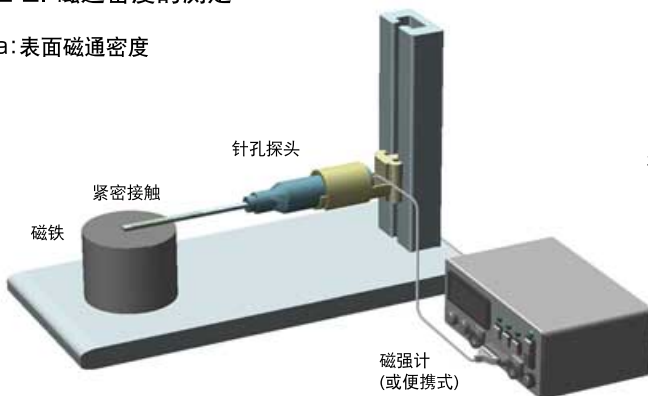


而且，对于此类简易测定方法，从产品中挑选出作为基准的样品，采取与该样品进行比较测定的方式，以消除因测定仪器不同所导致的设备误差。

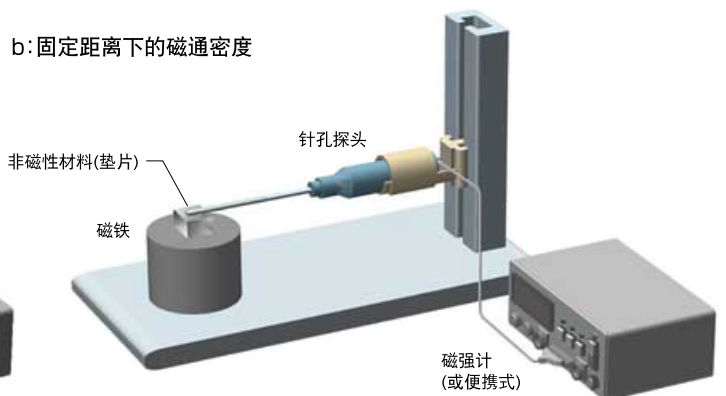
下面显示的是其代表测定方法的概念模型。

2-2. 磁通密度的测定

a: 表面磁通密度



b: 固定距离下的磁通密度



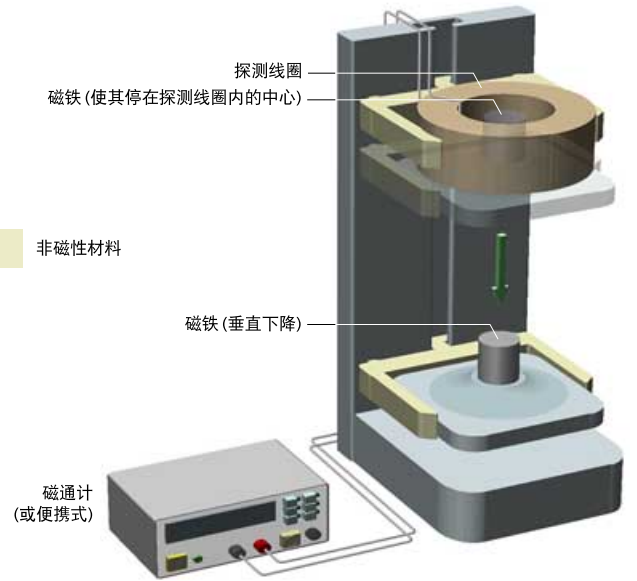
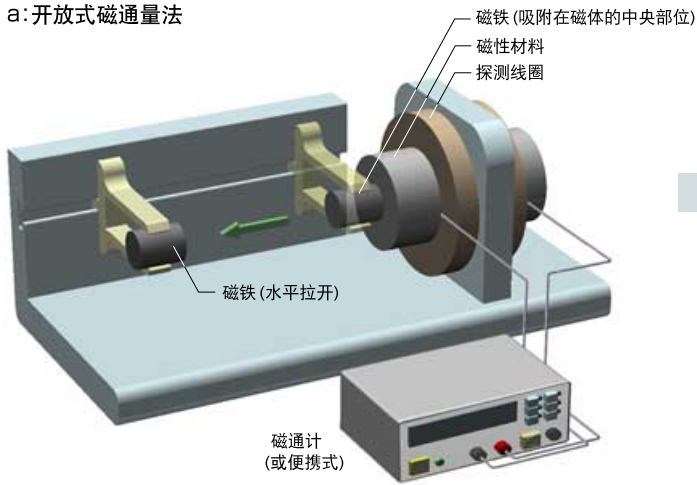
■ 非磁性材料

FB Series

磁特性的测定方法

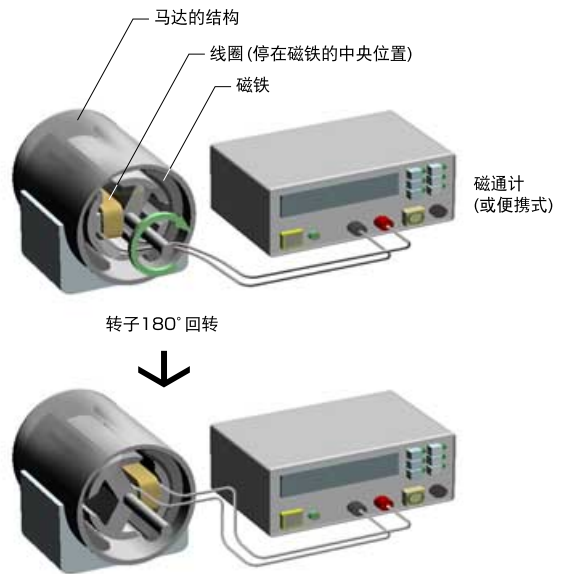
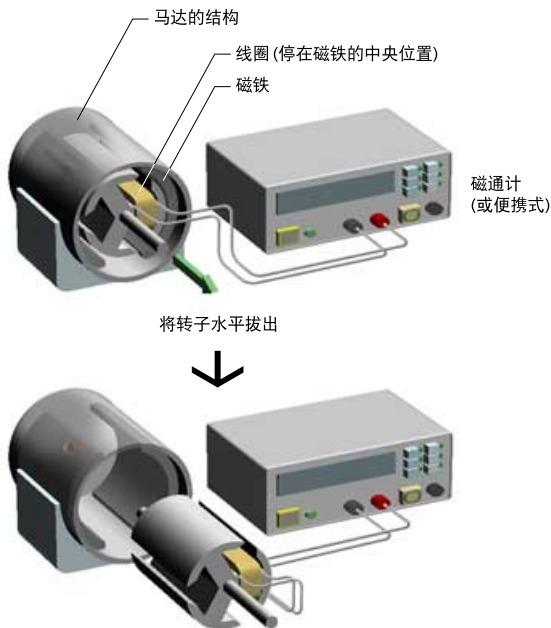
2-3. 磁通量的测定

a: 开放式磁通量法



非磁性材料

b: 磁路法



非磁性材料

铁氧体磁铁的基本物理性质

1. 物理及机械特性

铁氧体磁铁是由固相反应所生成的结晶粒子紧密结合而成的陶瓷。因而，虽具有优异的耐环境性，但其抗折强度仅有 $0.5\sim 0.9\times 10^8\text{N/m}^2$ ($5\sim 9\text{kgf/mm}^2$)左右，特别是掉落到硬质地面上、产品互相撞击时，抗冲击能力很弱，操作时需要极其小心。另外，在形状方面，设计上需要考虑防止缺损或破裂，尽量减少不耐冲击的尖角部位。

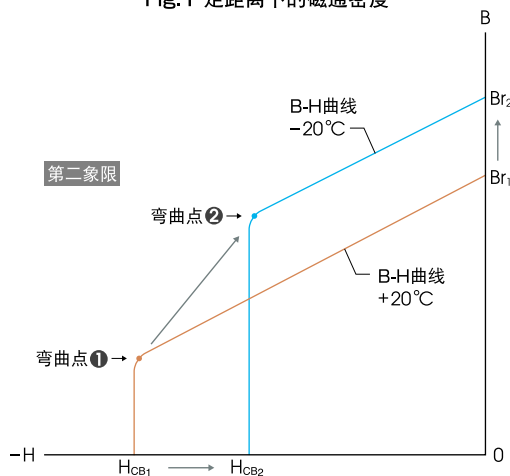
2. 温度特性

2-1. 弯曲点随温度变化而移动

考虑铁氧体磁铁的磁力特性时，温度是极为重要的因素。对TDK铁氧体磁铁来说，剩余磁通密度 B_r 的温度系数 $\Delta B_r/B_r/\Delta T$ 显示为 $-0.18\%/K$ ($\%/^\circ\text{C}$)左右的负特性。另一方面，内禀矫顽力 H_{cJ} 的温度系数FB6系列显示为 $+0.3\sim 0.4\%/K$ ($\%/^\circ\text{C}$)，Hi-Power材FB9、FB12系列显示为 $+0.18\sim 0.11\%/K$ ($\%/^\circ\text{C}$)的正特性。

因此，常温时($+20^\circ\text{C}$)，以弯曲点位于B-H曲线中第二象限的材质(内禀矫顽力 H_{cJ} 较小的材质)为模式，查看随着温度的变化，磁通密度 B 的值急剧下降，弯曲点将会出现怎样的变化？

Fig.1 定距离下的磁通密度



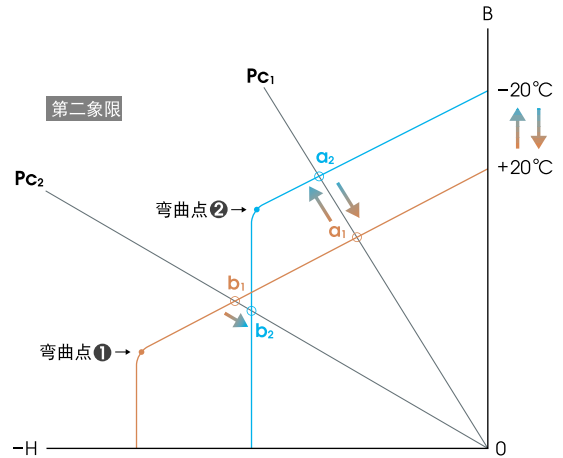
$+20^\circ\text{C}$ 的铁氧体磁铁冷却至 -20°C 时，温度系数为负的剩余磁通密度 B_r 升高，显示温度系数为正的内禀矫顽力 H_{cJ} 降低。其结果就是B-H曲线整体变为纵长，弯曲点①将向上方/B轴端的弯曲点②移动。

2-2. 可逆变化和不可逆变化(不可逆低温减磁)

减磁现象是设计铁氧体磁铁的磁力回路中最基本且重要的课题，因温度变化而产生的减磁现象，可通过在该弯曲点移动模式上施加显示实际磁铁实力的磁导系数 P_c 线进行考察。

在Fig.2中，常温 $+20^\circ\text{C}$ 时的B-H曲线(橘黄色)上的工作点(与磁导系数 P_{c1} 线的交点)位于远离左下弯曲点①的 a_1 位置，因

Fig.2 工作点的可逆变化和不可逆变化



此，若冷却该磁铁，工作点 a_1 则向 P_{c1} 线的上方移动，直至已变形为纵长形的 -20°C 时的B-H曲线(蓝色)上的 a_2 点。

该模式的情形下， a_2 点位于比弯曲点②高的位置，即使磁铁的温度从 -20°C 升至 $+20^\circ\text{C}$ ，也能切实复位至原来的位置 a_1 (可逆变化)。

另一方面，对磁导系数小(P_{c2} 线)的磁铁来说，与弯曲点①并非距离太远的 b_1 变为 $+20^\circ\text{C}$ 时的工作点，磁铁的温度若降至 -20°C ，该 b_1 则移动至已变为纵长形的B-H曲线(蓝色)上的 b_2 点。

对于此种 -20°C 的模式来说，位于常温时的弯曲点①上方位置的工作点 b_1 ，随着温度的降低，超过弯曲点掉落至点 b_2 位置时，即使磁铁的温度再次返回常温，也无法回到原先的 b_1 位置(不可逆变化)。

因此类不可逆转现象而产生的减磁现象，可依据下页所示Fig.3定量确定其数值。

FB Series

铁氧体磁铁的基本物理性质

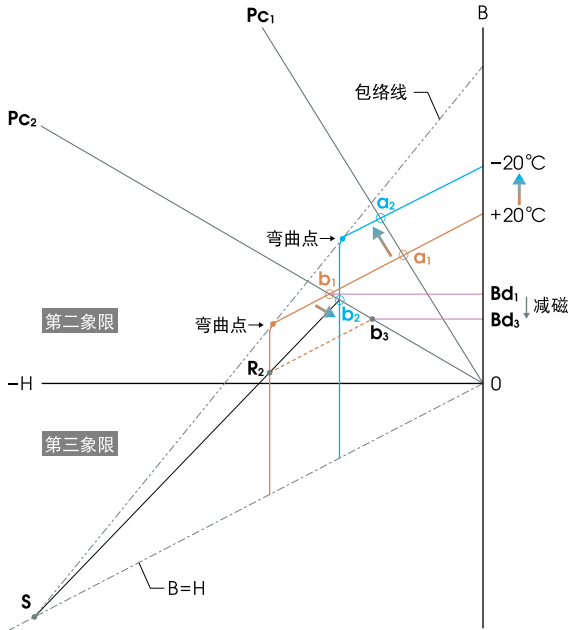


Fig.3 因温度变化所致的不可逆减磁量的求解方法

求出用直线连接常温+20°C和低温-20°C时各自的B-H曲线上的弯曲点而成的包络线(双点划线)和第三象限中的B=H点的连接线(点划线)的交点S。

其次,用直线连接该S点与-20°C低温时的工作点 b_2 ,将与常温下的B-H曲线(橘黄色)的交点作为 R_2 ,然后再从 R_2 点画与常温下的B-H曲线具有相同倾斜角度(可逆导磁率)的平行线(橘黄色波浪线),找出与磁导系数 PC_2 线间的交点 b_3 ,求得从低温再次升到常温时工作点的磁通密度 Bd_3 。

该 Bd_3 的值相对于温度降低前的工作点所对应的初始磁通密度 Bd_1 之间的差, $Bd_1 - Bd_3$ 的值则为从低温状态返回至常温状态过程中产生不可逆现象所引发的减磁量(不可逆低温减磁)。

2-3. 不可逆低温减磁的规避措施

以上的分析证明,为了规避不可逆低温减磁现象,在设计时需要考虑铁氧体磁铁即使处于低温状态,工作点也不至于掉落至弯曲点以下的磁导系数,这应作为设计的基本原则。另外,在低温环境中所使用机器的磁力回路中,推荐使用具有高矫顽力的磁性材料和采用工作点具有足够富余的设计。

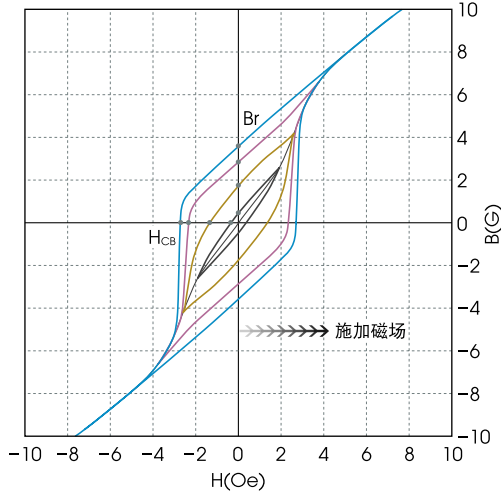
△ 请索取能够用于确认更为详细的特性及规格的交货规格书,以确保能够更正确、安全地使用本产品。记载内容,在没有予告的情况下有可能改进和变更,请予以谅解。

铁氧体磁铁的基本物理性质

4. 充磁特性

未进行充分充磁时，剩余磁通密度 B_r 和内禀矫顽力 H_{cJ} 均将大幅降低，则无法发挥磁性材料所具备的卓越的磁力特性(Fig.5)。

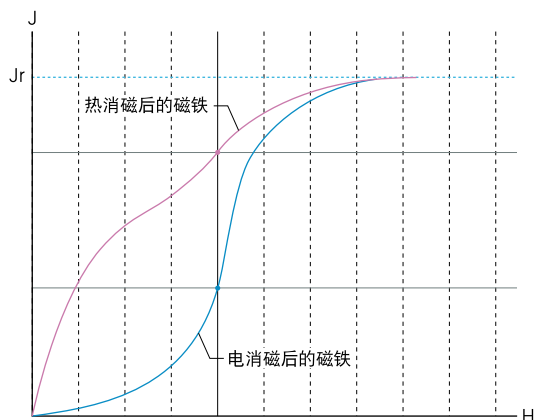
Fig.5 施加磁场大小和剩余磁通密度 B_r 、矫顽力 H_{cB} 的关系



如上图4个环形曲线所示，因施加磁场的强度不够，在磁铁无法达到其磁性饱和状态时，若去除施加磁场，则已开始上升的磁化曲线将急剧下降，剩余磁通密度 B_r 和矫顽力 H_{cB} 则各自无法达到施加磁场强度相应的水准。

达到磁铁的实用充磁水平所需要的施加磁场强度因磁性材料的磁力特性、形状、充磁形态、充磁机的构造等不同而不同，虽然没有统一的规定，但依据充磁前的消磁方法不同，充磁磁场和充磁量的变化(充磁特性曲线)会出现很大的差异。

Fig.6 不同消磁方法所致的充磁特性的差异



如上图Fig.6所示，实施了热消磁(采用将磁铁加热至居里温度以上的热消磁方法)磁铁的充磁曲线呈现出急剧上升的趋势，而施加振幅逐渐减小的交变磁场的电消磁后的磁铁，呈现出若不

施加超过热消磁磁铁以上的充磁磁场，则无法达到实用水准、难以充磁的倾向。

一般情况下，通过施加内禀矫顽力 H_{cJ} 值3倍左右的磁场，虽能达到饱和和充磁的状态，但为了谋求充磁状态的最佳化，事先需要进行充分的充磁测试，弄清达到实用充磁水平所必须的施加磁场是非常重要的。

FB Series

安全注意事项·使用注意事项

请务必在使用本产品前仔细阅读。

安全注意事项

使用磁铁时，请务必确认下述注意事项，充分注意安全。若使用方法错误，则可能导致功能受损或发生事故。请务必索取能够用于确认更为详细的特性及规格的交货规格书，以确保能够更正确、安全地使用本产品。

 警告

- 若带有心脏起搏器等电子医疗设备的人员以及其它电子设备靠近磁铁会发生严重安全事故。可能会导致医疗设备正常功能受损，或危及人身安全。
- 请注意不要误食磁铁。万一不慎误食请立即就医。请将磁铁防止在儿童不易触及之处。

 注意

请严格遵守以下注意事项，避免引起受伤及功能不良。

[设计]

- 磁铁通常在加热后磁化强度将会大幅下降。请在参照产品目录等文件内的温度特性的基础上，注意在组装时以及使用时避免让温度上升过渡。
- 产品目录中的特性值并非使用中的保证值。根据不同的磁铁尺寸等，可能无法达到特性值。请在设计前使用相同的样本进行确认。
- 磁铁可能会因温度过低发生退磁。使用时请务必确认与磁铁使用环境的上限、下限温度相应的材质特性(退磁曲线)。
- 磁铁磁化时，若磁场大小、磁化方向等不合理时，将无法得到与设计相同的磁特性。请事先咨询本公司。
- 请避免在腐蚀性气体环境、高导电性环境(还有电介质的水中等)、氢环境以及酸碱中、有机溶剂中进行使用及保管。将会引起磁铁腐蚀、特性劣化及强度劣化。耐候性及耐热性请确认交货规格书。预测可能发生问题时请咨询本公司。
- 对磁铁进行加工时，可能会导致磁化劣化及磁化不良等情况发生。加工条件请咨询本公司。此外，加工时，请充分注意避免缺失、破裂等情况发生。
- 磁铁质地坚硬且易碎。若用于可能对其产生振动或冲击的用途时，可能会发生破裂及脱落。若用于此类用途，请在设计时充分注意，避免磁铁破裂后脱落。
- 电机等高速旋转物体可能导致磁铁破损。请在设计时采取措施，避免磁铁在意外破损后其碎片飞出。
- 进行压入加工时，根据压入条件可能会导致磁铁及对象材料破损。设计时请充分注意压入条件。
- 磁铁之间、磁铁与磁轭、磁极片等使用粘合剂进行粘合时，请在对粘合剂的种类、粘合条件、耐环境性、量、强度等进行确认后，对粘合可靠性进行充分探讨。

[组装及使用]

- 磁化后的磁铁具有强大的吸引力，若手或手指被夹在磁铁之间、磁铁与磁体(铁片、刀、剪刀等)之间，可能导致受伤。此外，磁铁可能会因吸引力产生的强大冲击导致破裂、飞出，从而导致磁铁碎片飞入眼中。因此使用磁化后的磁铁时应充分注意，避免发生这些危险。
- 请注意磁铁的锋利边缘。否则可能划伤手、手指。
- 使用空心线圈进行磁化时，会发生磁铁从线圈中飞出的危险。安全起见，请将磁铁固定。
- 磁化后的磁铁会吸附铁粉及磁铁碎片。组装后可能需要进行清洗，因此请充分注意使用环境。
- 粘合磁铁时，请注意避免在粘合面附着油、脏污等异物。若粘合力下降可能导致脱落。

[保管]

- 请将产品保管于不会因掉落而受到冲击的场所。产品受到冲击可能会导致缺失、破裂等情况发生。

铁氧体磁铁

FB Series

■ 请避免将产品保管于雨淋、积灰的场所或在可能结露的环境下进行保管。否则可能会导致表面状态、物理特性、磁特性发生变化。

[其他]

■ 请勿将磁铁靠近软盘、磁卡、磁带、预付卡、车票等磁性记录媒体。若将磁铁靠近磁性记录媒体，则记录信息将会受损。

■ 请勿将磁铁靠近电子设备。否则可能会对仪表、电路等产生影响，从而导致发生故障或事故。

■ 对金属敏感的过敏体质人群直接接触磁铁可能会导致皮肤开裂、变红。出现这些症状时，请佩戴防护手套等，避免直接与磁铁解除。

■ 请勿舔舐磁铁。此外，切忌饮用接触过磁铁的液体。

客户提醒事项

■ 在使用磁铁前，请与本公司相关部门进行充分商议。同时，若与本公司相关部门商议后，需要更改用途、组装方法时，请重新与本公司进行商议。

■ 本公司将通过与客户进行缜密商议，极力避免因磁铁使用方法以及磁铁应用设计引起的安全性问题。