

锰锌铁氧体 MXO-400 材料 基本理论与生产实践

编著：姚文生 2005 年常州

【作者介绍】:

姚文生同志 1939 年出生，江西上饶人。

1963 年 7 月毕业于武昌：

华中工学院（现华中科技大学）无线电材料与器件专业。

63 年-70 年在国防科委十院十七所（现信息产业部五十四所）

从事无线电变压器设计工作，任元件组组长。

71 年-81 年在江西省上饶磁性材料厂从事铁氧体恒磁、软磁材料的工艺技术工作，任副厂长，主管全厂技术质量工作。

82-99 年，先后被选调进上饶市人民政府，上饶地区广播电视局，上饶地区科协等政府、党群部门，担任主要领导工作。

1999 年 6 月退休。

2004 年 5 月被常州万宝电子有限公司聘为工程师，技术顾问。

【内容介绍】: 本“专著”通俗系统介绍了“锰锌铁氧体 MXO-400 材料”的基础理论知识与生产实践。并紧密结合公司的生产实际，给出了许多关键技术的计算实例，对指导生产活动非常实用。从而对掌握更高档次材料的生产，打下了坚实的基础。

本“专著”比较适合从事“锰锌铁氧体材料”的工艺技术人员及生产管理人员，也适合用作本行业的职业技术培训教材。



目 录

引言	页 次
一、基础理论	P1-16
I. 铁氧体的物理基础	1-8
A、铁氧体的结构基础	1-3
锰锌铁氧体尖晶石结构	
B、电子云理论—电子几率分布	4-6
C、电磁学的基本知识	6-8
基本磁学量 ①' 磁体与磁体的基本性质 ②' 磁力线	
③' 磁场的基本性质 ④' 磁场强度	
⑤' 磁感应密度 ⑥' 磁能积	
⑦' 磁滞回线	
II. 铁氧体的化学基础	9-16
A. 基础化学知识	9
B. 配方原则，配方选点及有关问题	9-10
1. 配方计算有两种方法，	
2. 配方计算有三种表示方法及相互转换关系	
3. 纯度影响配方的投料量	
4. 锰锌铁氧体的配方原则（从三元状态中选配方点）	
5. 氧化与还原	
III. 磁性家族分类	11
IV. 磁性材料特性	11-16
A. 基本磁学量	11-12
B. 铁氧体的静态特性（硬磁材料的应用特性）	13
C. 铁氧体的动态特性（软磁材料应用特性）	14
D. 软磁铁氧体材料的主要磁特性参数	15-16
Q , L , Q_c , β , α , D_F , f_r , λ , K 等	

目 录

	页 次
二、生产实践（工艺技术）	P17-77
I 原材料分析，选用	17-22
A. 氧化铁红 (Fe_2O_3) 与铁令 (Fe_3O_4); 碳酸锰 (MnCO_3); 氧化锌 (ZnO)	17-18
B. 附加成份与作用	18-19
C. “废料”合理作用	18
D. 原材料化验报告分析解读	20-22
II 锰锌铁氧体 MX0-400 配方的选点	23
1. 经典三元磁性状态图	
2. 配方计算三种表示方法与相互转换	
III 配方实用计算	24-41
A. 650、 681-16、 CRW-5 等典型配方计算实例	24-26
B. 典型配方单机成本	27-41
IV 产品质量从头抓起，从原材料抓起	42
V 铁氧体 MX0-400 材料工艺流程	43-77
A. 铁令处理	44
B. 球磨工序若干问题	45-50
C. 成型工艺若干问题	51-53
D. 烧结工艺若干问题	54-65
E. 产品测试	66-77
(A 骨架尺寸, B 试验报告, C 产品规格书, D 检测报告)	
三 附录:	78-97
一) 门捷列夫周期表	附 1-1, 2 78-79
二) 有关常用化学元素与磁性氧化物	附 2-1 80
三) 磁学单位换算表	附 3-1 81
四) 半成品工艺参数	附 4-1、2、3、4、5...任小平 82-86
五) 磁棒部标	附 5-1、2、3 87-89
六) 磁棒厂标	附 6-1、2、3、4、5 90-92
七) 软磁特性参数。	附 71-1、2、3、4 93-96
全国知名的磁材厂家	附 72-4 97

引 言

铁氧体软磁材料是一种新型的非金属软磁材料。从组成看来是一种复合的氧化物，属尖晶石型结构。由于它具有高电阻率的特点，更适合应用于高频领域，是非金属软磁材料不可替代的，是另一大类中无线电材料之一。

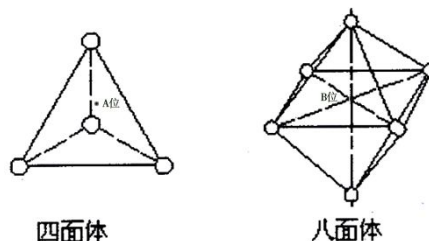
锰锌 MX0-400 材料，又是锰锌铁氧体导磁率偏低的一类软磁铁氧体。它广泛使用在家电，通讯，办公自动化，机电等行业。无源电感元器件，虽是“古老”的无线电元器件，但仍然是很有前途的行业。亦是不可替代的行业。随着科学技术的发展，特别是我国电子工业的快速发展，作为不可替代的无线电材料之一，铁氧体软磁材料也随之快速发展与提高，使用前景更加看好。

主编：姚文生 2004 年 8 月

$$AD=AP \times \cos \alpha = (\sqrt{3}/4) a \times \sqrt{2}/\sqrt{3} = (\sqrt{2}/4) a$$

$$AX=AD \times \cos \delta = AD \times \cos 45^\circ = (\sqrt{2}/4) a \times \sqrt{2}/2 = a/4$$

尖晶石型铁氧体的各种金属离子都有可能占据 A 位或 B 位，其离子分布式（结构式）



- ① $\delta = 1$ $(\text{Me}^{+2}) [\text{Fe}^{+3}_2] \text{O}_4$ 表示所有 A 位都被 Me 占据——正型尖晶石
- ② $\delta = 0$ $(\text{Fe}^{+3}) [\text{Me}^{+2} \cdot \text{Fe}^{+3}] \text{O}_4$ $\text{Me}^{+2} \cdot \text{Fe}^{+3}$ 占 B 位各一半——反型尖晶石
- ③ $0 < \delta < 1$ $(\text{Me}^{+2}_\delta \cdot \text{Fe}^{+3}_{1-\delta}) [\text{Me}^{+2}_{1-\delta} \cdot \text{Fe}^{+3}_{1+\delta}] \text{O}_4$ 表示在 A 位 B 位两种金属离子都有一中间型尖晶石。 δ ——称金属离子反型分布率， δ 值大小取决于铁氧体的生产方法，对烧结工艺必须妥善处理。

根据最密堆积原理；A 位空隙所能容纳的金属离子最大半径库 $r_A = 0.35r_0 = 0.46\text{\AA}$

B 位空隙所能容纳的金属离子最大半径库 $r_B = 0.41r_0 = 0.54\text{\AA}$

氧离子半径 $r_0 = 1.32\text{\AA}$

实际上，金属离子在尖晶石结构中的分布是比较复杂的，影响因素也比较多。

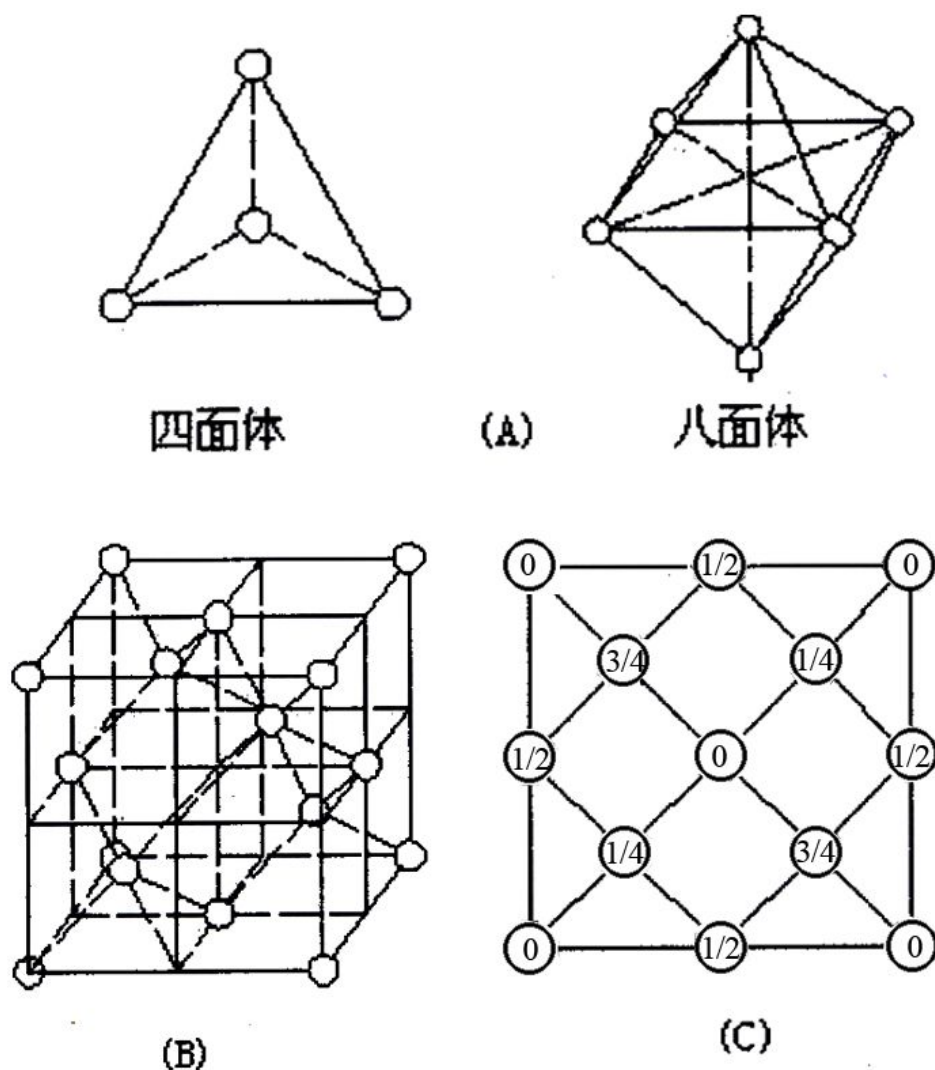
一般认为金属离子在 AB 位置上的分布与离子半径，电子层结构，离子间价键作用率及离子的有序现象有关。

- ① \because B 位空隙 $>$ A 位空隙， \therefore 离子半径倾向于占 B 位。
- ② 在 A 位 Me^A 只能被 4 个 O^{2-} 所包围，负电性较弱，而要求填入正电荷不大的低价离子，即可组成离子键。
 \therefore 低价（正电荷）离子倾向于占 A 位。（但 Li^{+1} 例外，占 B 位）。
- ③ 具有 SP^3 杂化键的金属离子 $\text{Zn}^{+2}, \text{Cd}^{+2}, \text{In}^{+3}$

具有 $d^2 \cdot \text{SP}^3$ 杂化键的金属离子 Cr^{+3}	>	倾向占 A 位
具有 $d \cdot \text{SP}^2$ 杂化键的金属离子 $\text{Cu}^{+2}, \text{Mn}^{+3}$	>	倾向占 B 位
- ④ 由于某些金属离子置换，可以改变金属离子原有的分布；
 如 Li 倾向于占 B 位 $(\text{Fe}^{+3}) \cdot [\text{Li}_{0.5}^{+1} \text{Fe}_{1.5}^{+3}] \text{O}_4$ ，属反型。
 当加入 Cr^{+3} 由于 Cr^{+3} 占 B 位倾向程度大，把 Li 赶入 A 位，
 $(\text{Fe}_{0.8}^{+3} \cdot \text{Li}_{0.2}^{+1}) [\text{Li}_{0.3}^{+1} \cdot \text{Cr}_{1.5}^{+3} \cdot \text{Fe}_{0.2}^{+3}] \text{O}_4$
 若阴离子 O^{2-} 也可被置换 ($\text{S}^{2-} \cdot \text{Se}^{2-} \cdot \text{Te}^{2-}$)，所得硫属于铬酸盐——
 $(\text{Co}_1^{+2}) \cdot (\text{Cr}_2^{+3}) \cdot \text{Se}_4^{-2}$ ； $\text{Cd}_1^{+2} \cdot \text{Cr}_2^{+3} \cdot \text{S}_4^{-2}$ 等；这就是新型铁氧体磁光材料。
- ⑤ 金属离子分布受温度影响很大：
 $\text{Mn}^{+2}, \text{Mg}^{+2}$ 影响最大其次是 $\text{Cu}^{+2}, \text{Zn}^{+2}$ 占据 A B 位各种元素排列顺序可列出来。

②. 尖晶石晶体结构

尖晶石型铁氧体的晶体结构和镁铝尖晶石相同。其中氧离子作面心立方密堆积，存在着四面体座（由 4 个氧离子组成，具有四个等价的三角形所构成的间隙）与八面体（由 6 个氧离子组成，具有八个等价的正三角形所构成的间隙）两类空隙。单位晶胞含有 8 个分子，即 $8(XY_2O_4) \rightarrow X_8Y_{16}O_{32}$ ，32 个氧原子共同组成 64 个四面体座、32 个八面体座。显然，这些间隙不能全部被阳离子所占据，仅有 8 个四面体座、16 个八面体座能被阳离子所占据，分别标志为 A 位、B 位。晶体的主要特征是具有一定的对称性与周期性，也就是说能够被阳离子占据的 A 位、B 位，对理想晶体而言决定不是无规则的混乱排列（对实际晶体，结构上的缺陷几乎是难免的，少数 A 位或 B 位未被阳离子所占据，或存少数阳离子的缺位，都有很大可能性）。实验表明，A 位次晶格在空间呈金刚型结构，系由两个面心立方沿对角线方向位移 $1/4$ 位置相互交替而成的，如 T2 所示。



T₂ 尖晶石结构中 A 位构型

(A) 四面体与八面体座；(B) 空间构型；(C) 投影图

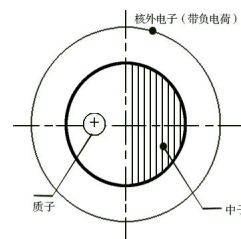
2. 电子云理论-电子几率分布

磁性起源于电荷运动即物质的磁性重要来源于电子运动产生的磁矩；因而了解电子磁矩与原子结构的关系是进一步掌握物质磁性的基础。

原子结构概况；原子核由带正电荷的质子，中性的中子与带负电荷的核外电子组成 (T_3)。

e 电子的质量 $m=1/1841$

原子核直径 $d=10^{-12}\sim 10^{-13}\text{cm}$

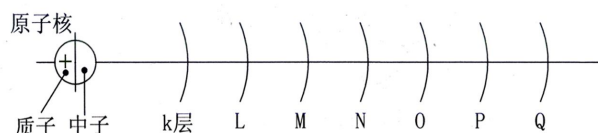


原子核带的正电荷==核外电子数==元素周期表的原子序数。 (T_3)

所以原子对外宏观表现为中性。若失去电子或得到电子都不是中性，成为带正电或负电的离子。失去电子的原子称为正离子，得到电子的原子称为负离子。离子所带正电量就是原子所失去的电子数：如 O^{2-} 是由得到两个电子形成的氧离子。 Fe^{+3} 是由 Fe 原子失去三个电子形成的铁离子。量子力学的结论与实验结果比较符合。近似定性描述，可用波尔轨道概念来说明问题。即原子内的电子绕着原子核在一定的轨道上运动，这些电子运动情况各不相同，有的轨道离原子核近一些，有的远一些，有的轨道圆形，有的轨道椭圆形。同样一种形状的轨道，其轨道在空间取向也有所不同，在不同轨道上运动的电子所处的状态也不同，可以用四个量子数来描述。

磁性元素表现为磁性，主要是 3d, 4f 电子壳层未充满。这就必须了解电子几率分布与表示电子云在空间分布形状，伸展方向，离原子核远近分布情况及电子自旋状态的四个量子数。 (T_4)

核外电子壳层



A. 主量子数 $n=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

(K, L, M, N, O, P, Q,) 表示电子云离核远近分布情况。

n=1	K层 (K能级)	最外层轨道 $n^2=1^2=1$ (即1个状态) 最外层最多电子数 $2n^2=2\times 1^2=2$	$\begin{matrix} \uparrow\downarrow \\ 1s^2 \end{matrix}$	1
n=2	L层 (L能级)	最外层轨道 $n^2=2^2=4$ (即4个状态) 最外层最多电子数 $2n^2=2\times 2^2=8$	$\begin{matrix} \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ 1s^2 & 2s^2 2p^6 \end{matrix}$	1+3=4
n=3	M层 (M能级)	最外层轨道 $n^2=3^2=9$ (即9个状态) 最外层最多电子数 $2n^2=2\times 3^2=18$	$\begin{matrix} \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ 1s^2 & 2s^2 2p^6 & 3s^2 3p^6 3d^0 \end{matrix}$	1+3+5=9
n=4	N层 (N能级)	最外层轨道 $n^2=4^2=16$ (即16个状态) 最外层最多电子数 $2n^2=2\times 4^2=32$	$\begin{matrix} \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ 1s^2 & 2s^2 2p^6 & 3s^2 3p^6 3d^{10} & 4s^2 4p^6 4d^0 4f^0 \end{matrix}$	1+3+5+7=16
n=5	O层 (O能级)	最外层轨道 $n^2=5^2=25$ (即25个状态) 最外层最多电子数 $2n^2=2\times 5^2=50$	$\begin{matrix} \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ 1s^2 & 2s^2 2p^6 & 3s^2 3p^6 3d^{10} & 4s^2 4p^6 4d^{10} & 5s^2 5p^6 5d^0 5f^0 \end{matrix}$ SPDF	1+3+5+7+9=25
n=6	P层 (P能级)	最外层轨道 $n^2=6^2=36$ (即36个状态) 最外层最多电子数 $2n^2=2\times 6^2=72$ 0 P	1+3+5+7+9+11=36
n=7	Q层 (Q能级)	最外层轨道 $n^2=7^2=49$ (即49个状态) 最外层最多电子数 $2n^2=2\times 7^2=98$ 0 P Q n愈大，表示电子能量愈大+9+11+13=49

原子 序 号	元 素	主 层 主量子数	n=1 K 能 级	n=2 L	n=3 M	n=4 N	n=5 O	n=6 P	n=7 Q
		亚 层 付量子数	1S	2S 2P	3S 3P 3d*	4S 4P 4d 4f*	5S 5P 5d 5f	6S ...	
A=1	H		1	2 2					
6	C		2	2 4					
8	O		2	2 6	0				
12	Mg		2	2 6	2 0				
13	Al		2	2 6	2 1				
20	Ca		2	2 6	2 6 0	2			
22	Ti		2	2 6	2 6 2	2			
23	V		2	2 6	2 6 3	2			
24	Cr		2	2 6	2 6 5	1*			
25	Mn		2	2 6	2 6 5	2			
26	Fe		2	2 6	2 6 6 (5)	2 (3)			
27	Co		2	2 6	2 6 7	2			
28	Ni		2	2 6	2 6 8	2			
29	Cu		2	2 6	2 6 10 (9)	1* (2)			
30	Zn		2	2 6		2			
58	Ce		2	2 6		2 6 10 1	2 6 1	2	
59	Pr		2	2 6		2 6 10 2	2 6 1	2	
62	Sm		2	2 6		2 6 10 5	2 6 2	2	
*注意：3d, 4f 电子层电子未充满很有价值，即它们对磁性很有贡献。 全充满为 P^6, d^{10}, f^{14} ； 半充满为 P^3, d^5, f^7 ； 全 空 为 P^0, d^0, f^0									

n 愈大表示电子的能量愈大，最外层的电子较里层的容易失去电子，即受到外场的激发易失去电子，从外层跳到内层或内层跳到外层要发生能量转换，失去或接受能量。

①. 为什么会有上述电子排列？按泡利不相容原理来说明—电子排列规则描述为：在同一原子中不能存在四个量子数完全相同的两个电子轨道，只能容许有两个自旋方向相反的两个电子 $1S^2$ 。

具体说：(1)每个能级最多容纳的电子数符合 $2n^2$ (轨道数为 n^2)。

(2)最高能级（最外层）的电子，不能超过 8, 18, 32 个。

②. 能量最低原理：原子核外电子总是尽可能处在最低状态（稳定基态）先占 K 能级，电子从高能级跃入低能级要放出能量 (hr)

③. 最多轨道原则：等价轨道与排布的电子尽可能占不同的轨道，S, P, d, f 各层电子处于全充满，未充满，或全空时，原子能量也是较低的。(S²P⁶d¹⁰f¹⁴； S¹P³d⁵f⁷； S⁰P⁰d⁰f⁰)

如：Fe A=26 $1S^2, 2S^22P^6, 3S^23P^3d^6, 4S^2$;

Ni A=28 $1S^2, 2S^22P^6, 3S^23P^63d^8, 4S^2$

Sm A=62 $1S^2, 2S^22P^6, 3S^23P^63d^8, 4S^24P^64d^{10}4f^6, 5S^25P^65d^2, 6S^2$ 。

B. “**l**” —**角量子数**，表示电子云在空间分布形状。有 S，P，d，f 四种不同的电子云。同一能级（n 相同），能量亦有不同，这种不同的能级叫亚层（分层）。

$l=0, 1, 2, 3, \dots, n-1$ ，正整数，每个 l 值代表一种电子云的形状。

$l=0$ ，称 S 电子分层，呈球状对称分布，还代表不同能级的电子名称。1S，2S，3S…都是球形体，但 2S 球体与 1S 球体大。

$l=1$ 称 P 电子层，电子云呈哑铃形，有 X，Y，Z 不同方向。

$l=2$ 称 d 电子层，电子云复杂了。

$l=3$ 称 f 电子层，电子云更复杂了。

例： $n=3$ ，即为 M 主层 $l=0$ ，3S 表示在第三能级中有 S，P，d 三种分能级（亚层）；

$l=1$ 3P

$l=2$ ，3d

C. “**m**” —**磁量子数**，电子云在空间伸展的方向，即带电粒子的运动。

周围会产生磁场，在这错综复杂的磁场影响下，电子云向不同方向伸展。

“**m**” 一由角量子数 l 决定。所以有 $(2l+1)$ 个不同的 m 。即有 $(2l+1)$ 不同的方向。包括 0 等于从 +1 到 -1 间的整数。

(1) $l=0$ 是电子云 S，球形对称。则 $(2l+1)=1$ ，即 $m=0$ ，只有一种状态没有方向性。

(2) $l=1$ 是电子云 P，呈哑铃形，依 X，Y，Z 互相垂直的坐标伸展，即 $2l+1=3$ ，

M 有三种方向 +1，0，-1。

(3) $l=2$ 中电子云 d，有 5 个伸展方向， $2l+1=5$ ；即 $m=+2, +1, 0, -1, -2$ 。

(4) $l=3$ 是电子云 f，有七个伸展方向， $2l+1=7$ ；即 $m=+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3$ 。

D. **自旋量子数**，描述电子自旋状态 m_s ，有两个值 $m_s=+1/2, -1/2$ ；电子在绕核运动时，同时还绕它本身轴线旋转，向两个相反方向转动，表示两个旋转相反的电子对。上述四个量子数形象地描述了核外电子云的电子分布情况。具有磁性的物质，通常是 3d，4f 电子层的外层电子轨道未充满的两类元素与其他元素的组成。

3. 电磁学的基本知识

A. 基本磁学量：

①' 磁体与磁体的基本性质：

能产生磁场的物体（单根通电导线、通电线圈、磁铁…）

(1) 每个磁体有两个不可分割磁极（南极 S，北极 N）

(2) 不同磁体的两极 S，N 同性相斥，异性相吸。

(3) 一个磁体的两极是相互依存的不可分割，即没有单独存在的 N，S 极。

磁体还可以是任何电流的回路，电子轨道运动或自旋，以及他们的任何组合—被磁化的物体。

a. 顺磁物质——原子都有被抵消的电子磁矩、方向混乱不表现为宏观的磁性，但在外磁作用下显现出弱磁性。

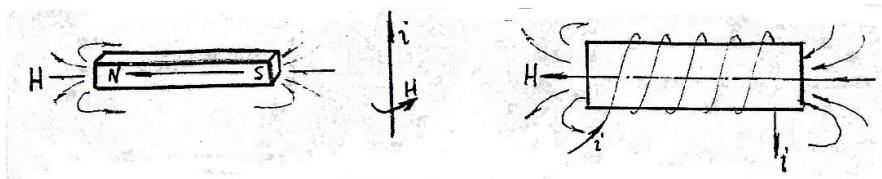
b. 抗磁性物质——没有外场，电子层被充满的原子磁矩等于“零”，“全充满”即电子壳层没有空位，但电子轨道运动将产生一个附加运动，出现一个与外磁相反的“H”。具有这种抗磁性物质的磁体称抗磁性物质。

C. 亚铁磁性物质——两种次晶格上反向磁矩未完全抵消而表现出来的。

d. 铁磁物质——邻近原子由于超交换力相互作用。加上外磁作用下，能使磁矩趋向外场排列，而得到较高的宏观磁性。

e. 反磁性物质——内部存在的自发磁化，在外磁场作用下，邻近相同的原子相互作用不存在自发磁化，宏观表现为顺磁性。

- ②' 磁力线——存在于磁体的周围——它起于 N 极，终于 S 极。具有连续性，无头无尾的一种带有磁性的闭合的力线，方向符合“右手定则”。(T5)



- ③' 磁场的基本性质：

磁场：存在于磁体内外，运动电荷周围空间的一种物质。

基本性质：

- (1)力学性：运动电荷 (+) 在磁场运动，则受到洛仑兹力的作用，符合“左手定则”。(T6)

左手定则：左手指为运动电荷 (+) 方向，左手掌心迎着磁场 H 方向，则左手大拇指方向为洛仑兹力 F 的方向。

- (2)穿透性：磁力线存在磁体周围，而且有穿透非磁性物质的能力。

- (3)迭加性：磁性可迭加，由于空隙存在，不是简单的迭加。磁场是一种可以感觉到的物质，有力的作用，甚至不直接接触就可以感觉到。磁力愈大作用距离就越大，磁场性质的特性由此可见，可以加以利用。

- ④' 磁场强度：表示磁场强弱及方向的物理量，用 H 表示。在 CGS 单位制中，H 单位是奥斯特 (Oe)，在 MKSA 单位制中，H 单位是 安培/米。

两者转换关系为 $1 \text{ 安培/米} \times (4\pi \times 10^{-3}) = 1 \text{ 奥斯特 (Oe)}$

一个单位磁极放在磁场所受到的力是一个达因，称这种磁场强度的大小为一个奥斯特 (Oe)。那么什么是一个达因呢？根据库仑定律： $F = K (m_1 m_2) / r^2$ ，即两个同名级单位的磁极，在真空中相距 1cm 所受到的斥力（或吸力）称为一个达因。

单层线圈中心位置的磁场强度：

$$L \geq R, \quad H = 0.4\pi I W$$

使 $B_m \rightarrow 0$ 的反磁场称剩磁矫顽力。

H_c (即 H_c) 或称保磁力。

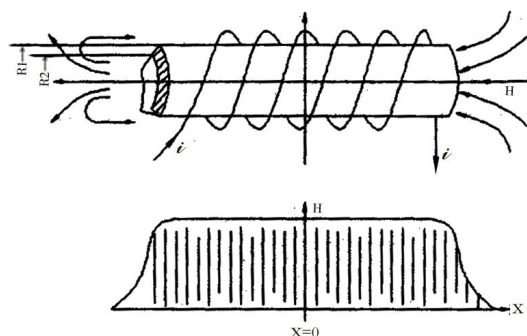
使 $4\pi M_0 \rightarrow 0$ 的反磁场称内禀矫顽力 H_c

多层线圈中心位置 (X=0 处) 的磁场

$$\text{强度: } H = 4\pi I W = 4\pi I (n_1 N) (R_2 - R_1)$$

其中：N 为层数， n_1 为匝数/层，

R_2 为线圈外径， R_1 为线圈内径。



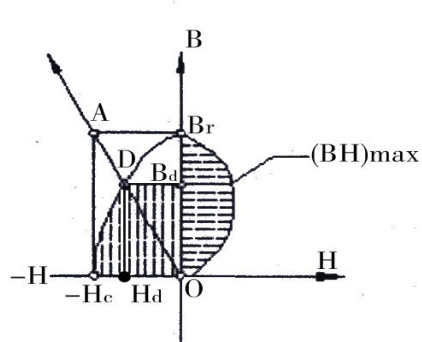
(T7)

- ⑤' 磁感应密度：表示垂直通过任意单位截面磁力线数目。通过磁力线条数多，即表明磁通密度大。 $B = \Phi / S$ 在 CGS 单位制中，B 的单位是高斯 (G_s) 德国人，在 MKSA 单位制中，B 的单位是韦伯/米² (斯特拉) 两者换算为 $1 \text{ 韦伯/米}^2 \text{ (斯特拉)} \times 10^4 = 1 \text{ 高斯 (T8)}$

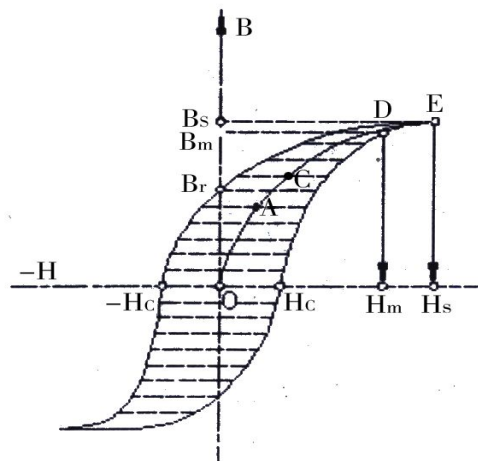
⑥' 磁能积—磁滞回线包围的面积,即单位磁体在外场作用下,所存储的能量(BH)单位, 焦尔/米³ (J/M³)。

$$W = (H_m \times B_{2m}) / 4 = H \times B_2 / 2 \quad (H = H_m / \sqrt{2}; \quad B_2 = B_{2m} / \sqrt{2})$$

$$(BH)_{\max} = B_d \times H_d = (B_r / 2) \times (H_c / 2) = B_r^2 / 4$$



(T₉)



⑦' 磁滞回线——OACDE 反复磁化磁滞回线的顶点的连线为基本磁化曲线, 反复磁化—H 不断减小, 退磁 H_c 愈大, 保磁力就大, 使 B_s→0 的 H_c 称保磁力 H_c 为剩磁顽力/保磁力大的磁性材料回线矮胖称恒磁(硬磁), 保磁力小的磁性材料回线瘦长称软磁。

恒磁——即为得磁难去磁亦难的一类材料(铁磁物质) H_c 大的材料。

软磁——即为得磁容易去磁亦容易的一类物质(顺磁性物质) H_c 小的一类材料。

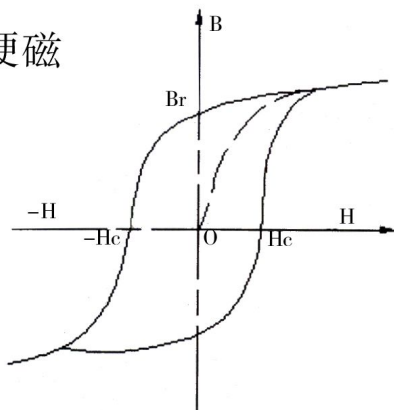
* 凸出系数: $r = (BH)_{\max} / B_r \cdot H_c$

r 大, 回线中退磁曲线包围的面积就大, (BH)_{max} 就大。

通常有: H_s = (5~7) H_c (充磁机设计时, 需要考虑 H_s)

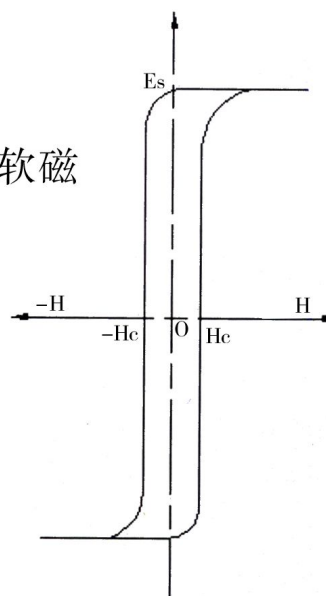
$$H_m = (1.2 \sim 1.4) H_c$$

硬磁



(T₁₀)

软磁



II. 铁氧体化学基础

A. 基础化学知识:

关于原子量, 分子量与克分子比% (摩尔 mol%) ——

- (1). “摩尔”——mol——堆量 (核子的堆量) 是物质的单位。即“一定量”的某一物质所含的分子数或原子数与 0.012 kg 碳原子数目相等。那么, 这一一定量的物质就是 1 摩尔 (摩尔 mol)。
- (2). 克原子即克摩尔原子 mol%——以 12g 的碳作为计量物质的量的标准。
 1 个碳单位 = 1.66×10^{-24} 克 $A_c = 12$ 个碳单位;
 1 个碳原子的质量 $12 \times (1.66 \times 10^{-24}) = 1.992 \times 10^{-23}$ (g);
 12g 碳所含碳原子数目是 6.02×10^{23} (阿佛加德罗常数);
 (即 $12 / (1.992 \times 10^{-23}) = 6.02 \times 10^{23}$ 个原子)
 1 mol 的任何元素的 6.02×10^{23} 个原子, 叫做 1 摩尔原子;
 1 mol 原子的任何元素均含有 6.02×10^{23} 个原子。
- (3). 原子量——元素原子的重量 (以碳原子量的 1/12 作标准, 用以表示 1 个碳原子的质量)。
- (4). 分子量 M——物质的重量等于组成该物质的各元素的原子量之和。
- (5). 克分子——以克为单位, 表示物质的重量, 在量值上等于其分子量, 称 1 个克分子, 即 $n = g/M$ 。
- (6). 克分子比——某一元素 (物质) 的克分子占组成某物质的总克分子数之比。
 \therefore 克分子的重量 = 克分子比% \times 分子量 M。

B. 配方的原则, 配方选点及有关问题:

1. 配方计算有两种方法:
 一是先考虑纯度其二是后考虑纯度。
2. 配方计算有三种表示方法, 并且可以相互转换。



例 (1) $Ba_1Fe_{12}O_{19}$ (I 化学式) \rightarrow II 克分子比: 1 BaO : 6 $Fe_2O_3 = 1 : 6$
 III. 重量比 Wt% $**BaCO_3 : Fe_2O_3 = 19 : 81$ (Wt%)



克分子 1 1
 克分子比 1 0.5

分子量 $M = 197.36 \rightarrow 153.6$ $*X_{BaCO_3} = (197.36 \times 0.15) / 153.36 = 0.193$
 \downarrow 考虑 $BaCO_3$ 纯度 98%, 则 $\therefore = 0.19 / 0.98 = 20\%$
 $*X \leftarrow 0.15$

	$BaCO_3$	BaO	Fe_2O_3
克分子比	1	1	5.4
重量百分比	1×197.37	1×153.36	5.4×159.7
重要百分比:	$**BaCO_3 = (1 \times 197.37) / (1 \times 197.37 + 5.4 \times 159.7) = 19\%;$ $BaO = (1 \times 153.36) / (1 \times 153.36 + 5.4 \times 159.7) = 15\%;$ $**Fe_2O_3 = (5.4 \times 159.7) / (1 \times 197.37 + 5.4 \times 159.7) = 81\%$ $= (5.4 \times 159.7) / (1 \times 153.36 + 5.4 \times 159.7) = 85\%$		

例 2 $\text{SrCO}_3 \cdot 5.6 \text{Fe}_2\text{O}_3$

$M=149.6 \quad M=159.7$

↓

$\text{Wt}\% = 1 \times 149.6 / (1 \times 149.6 + 5.6 \times 159.7) = 14.33\%$

锰锌铁氧体 MX0-400 配方选点

例 3 $\text{Me}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{Me}_{0.275}\text{Zn}_{0.165}\text{Fe}_2\text{O}_3$

对 MX0-400 $\rightarrow \text{Me}_{0.275}\text{Zn}_{0.165}\text{Fe}_2\text{O}_3$

或 $0.275\text{MeO} \cdot 0.165\text{ZnO} \cdot 0.56\text{Fe}_2\text{O}_3$

3. 纯度影响配方的投放量，杂质多（纯度低），需要多投料！

不同的纯度对配方是有影响的。不同性质的材料，配方是不同的。不同配方，工艺流程也不同。

4. 锰锌铁氧体的配方原则（从三元状态图选配方案点）(T₁₁)

$m \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{MnO} \cdot q \text{ZnO} \cdot p \text{FeO}$

克分子比%应符合下列不等式

a. $50.3 < m+p < 57.5$

b. $24 < n < 38$

c. $0.5 < q < 25.7$

d. $0.5 < p < 7.5$

具体配方原则，应当是：

a. 电磁性能好 ($\mu_0 \uparrow$, $\theta \uparrow$) $\text{TK} \mu \downarrow D_F$, fr, Tc

b. 产品稳定性好 $\text{TK} \mu \downarrow$, D_F , fr 高, Tc 高

c. 工艺性能好：好做，简单方便——配方点不要太敏感。

d. 经济性好：成本低，生产周期短，原材料来源广，设备简单。

5. 氧化与还原：

①. 以离子化合物 (Na^+Cl^-) 为例，发生电子转移。

Na 与 Cl 电子有得失

$2 \text{Na} + \text{Cl}_2 = 2 \text{Na}^+ \text{Cl}^-$

$A_{\text{Na}}^{+1} = 11$

$1s^2$

$2s^2 2p^6$

$3s^1$

K

L

M

$A_{\text{Cl}}^{-1} = 17$

$1s^2$

$2s^2 2p^6$

$3s^2 3p^5$

K

L

M

$\text{Na}^+ 3s^1$ 失去一个电子为正价 (+1)，即被氧化，化合价升高了。

$\text{Cl}^- 3p^5$ 得到一个电子为负价 (-1)，即被还原，化合价减少了。

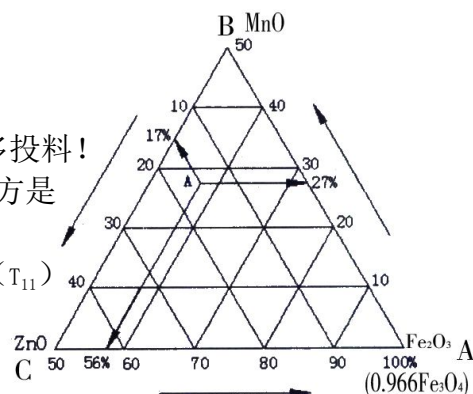
②. $2\text{Mn}^{+4}\text{O}_2 - \text{O}_2 \uparrow = 2\text{Mn}^{+2}\text{O}$ Mn 化合价减少，即 $+4 \rightarrow +2$ 得到电子即在缺氧情况下被还原。即需要大量氧气补充，煤窑烧结时要保持一定的 P_{O_2} ，更要有煤烟进炉膛。“跑烟”的产品为黑色，说明产品被还原了。

升温过程（加热时吸热）——化合价减少的过程——失氧——得到电子——被还原

降温过程（降温时放热）——化合价增加的过程——得氧——失去电子——被氧化。

6. 锰的变价：也可以看出升温过程中， MnCO_3 吸热分解，失氧而还原，化合价减少， Mn^{+N} 的多价性是 Mn-Zn ferrite 合成的主要困难，配方中只采用稳定的 MnCO_3 ，而不采用不稳定 MnO 。

III. 磁性材料家族分类



①反射针的截距值为“m, n, q”

② $(m+q) + n+q=1$, 例: $0.27+0.17+0.56=1$

即 A 点: $m+q=56\%$, $n=27\%$, $q=17\%$

μ

- A. 按材料特性分：有金属磁性材料与非金属磁性材料——
- a. 金属磁材料：①金属软磁材料（硅钢片-电力变压器，低频，电源变压器
钕莫合金-低频变压器。）
②金属永磁（ALNICO； Ce-Co, Sm-Pr, AlFeB）
③金属矩磁（超声换能器）
- b. 非金属磁性材料：①铁氧体软磁材料（高频变压器磁芯，高频电感…）
②非金属恒磁（电声器件，电机磁体…）
③铁氧体矩磁（磁带，记忆磁芯…）
④铁氧体旋磁（环形器，隔离器，等微波器件旋磁磁芯）
⑤铁氧体压磁（换能器）
- B. 按成份分类：①铁氧体恒磁：有钡恒磁，锶恒磁。
②铁氧体软磁：有锰锌，镍锌，镁锌铁氧体等。
③铁氧体矩磁：有 Li-Mn, Mg-Zn Ferrite
④铁氧体旋磁：有 Mg-Mn-Al Ferrite, Mg-Zn Ferrite
- C. 按用途分类：
- D. 按形状分类：
- E. 按结晶结构分类：（尖晶石，磁铅石，石榴石结构）
- F. 按成份组成分类：

IV. 磁性材料特性：

- A. 基本磁学量：铁氧体的磁性能是在外磁场作用下，在磁化过程中表现出来的。
∴要认识铁氧体的磁性能，就必须首先掌握磁场及磁化的基本概念及有关磁学量知识。

1. 磁体与磁体性质——能产生磁场的物体称磁体。

如单根通电导线，通电磁圈，磁铁…

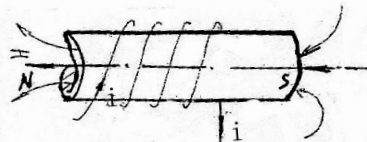
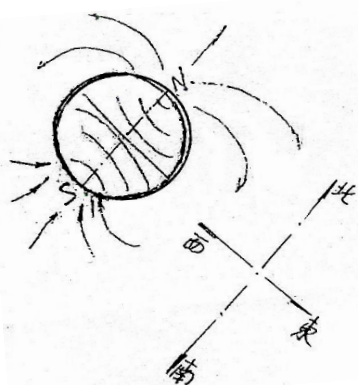
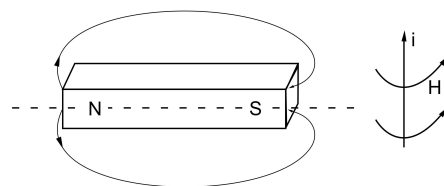
基本性质：

- ①每个磁体有两个磁极（南极 S，北极 N）（ T_{13} ）
- ②不同磁体的两极 S，N 同性相斥，异性相吸。
- ③一个磁体的两极是相互依存的不可分割，即没有单独存在的 N，S 极。

磁体还可以是任何电流的回路，电子轨道或自旋，他们的任何组合——被磁化的物体。

2. 磁力线存在于磁体的周围，起于 N 极，终于 S 极。具有连续性，无头无尾的一种带有磁性的闭合的力线，方向符合右手定则。

地球是个大磁体。指南针指的就是地球南北极——不过地球南极接近地球北极，地球北极接近地球南极。指南针的方向大致是地球南北方向。



(T14)

3. 磁场与磁场的基本知识：磁场一存在于磁体内外或运动电荷周围空间的一种物质。

基本性质：①力学性：运动电荷（+）在磁场运动，则受到洛伦兹力的作用。

$$\vec{F} = e \vec{v} \times \vec{H} \quad \text{符合左手定则 (T15)}$$

②穿透性：磁力线存在磁体周围。

而穿透非磁性物质。

③迭加性：

4. 磁化强度：在外磁场作用，使磁体感应磁化的过程。

单位体积的磁矩矢量和 $M = \Sigma \vec{\mu} / V$ 称磁化强度。

在 CGS 单位制中，M 单位是 高斯 (Gauss)

在 MKSA 单位制中，M 单位是 安匝/米

两者换算关系为 $1 \text{ 安匝/米} \times 10^{-3} = 1 \text{ 高斯}$

磁化率： $X = M/H$ 表明了铁氧体材料的性能随 H 变化（接受磁化的能力）

在工程技术上，用 $B = \mu H$ ， $\mu = 1 + 4\pi X_0$

在理论研究材料中用， $M = X_0 H$

在 CGS 单位制中， $B = H + 4\pi M \rightarrow B/H = 1 + 4\pi M/H \rightarrow \mu = 1 + 4\pi X$ 。

在 MKSA 单位制中， $\mu_1 = \mu_0 (1 + X)$ 。

5. 磁场强度：表示磁场强弱及方向的物理量，用 H 表示。

在 CGS 单位制中，H 单位是奥斯特 (Oersted)

在 MKSA 单位制中，H 单位是 安匝/米

两者转换关系为 $1 \text{ 安匝/米} \times (4\pi \times 10^{-3}) = 1 \text{ 奥斯特}$

一个单位磁极放在磁场所受到的力是一个达因。称这种磁场强度的大小为一个奥斯特 0e (丹麦人)。

那么什么是一个达因呢？根据库仑定律 $F = K (m_1 m_2) / r^2$ ，而两个同名极单位的磁极，在真空中相距 1cm 所受到的斥力（或吸力）称为一个达因。

单层线圈中心位置的磁场强度 $H = (4\pi I W) / (10 \cdot L) = 0.4\pi I N \quad (N = W/L)$

多层线圈中心位置的磁场强度 $H = 4\pi I N \quad [N = W_1 W_2 (R_2 - R_1)]$

H_c 使 $B_s \rightarrow 0$ 的反磁场，称剩磁矫顽力 H_c (即 H_c)

jH_c (jHc) 使 $4\pi M_0 \rightarrow 0$ 的反磁场，称本征磁矫顽力 jH_c (内禀矫顽力)。

6. 磁感应密度：表示垂直通过任意单位截面磁力线的数目。通过磁力线条数多，即表明磁通密度大。 $B = \Phi / S$ 在 CGS 单位制中，B 的单位是高斯

在 MKSA 单位制中，B 的单位是韦伯/米² (斯特拉)

两者换算为 $1 \text{ 韦伯/米}^2 \text{ (斯特拉)} \times 10^4 = 1 \text{ 高斯}$

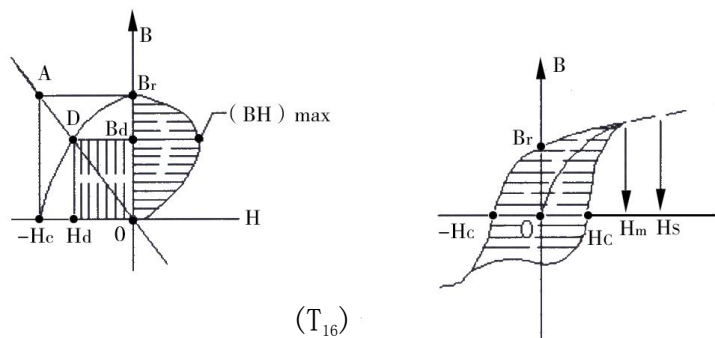
我们常用 CT₁，CT₃ 高斯计来直接测量磁体的磁力线多少（即磁通）。

在空气中 $\mu_0 = 1$ ， $\therefore B = \mu_0 H = H$ ，1 高斯 = 1 奥斯特 $B = H_s + 4\pi M$ (附加场)

7. 磁能积 (BH)_{max} 一磁滞回路所包围的面积。即单位磁体在外场作用下，储存的能量 (焦耳/米³)

反复磁化一周，磁能 $W = H_m \cdot B_m / 4 = H \cdot B_2 / 2 \quad (H = H_m / \sqrt{2}, B_2 = B_m / \sqrt{2})$

凸出系数： $\gamma = (BH)_{\max} / B_r \cdot H_c \quad H_s = (5 \sim 7) H_c$



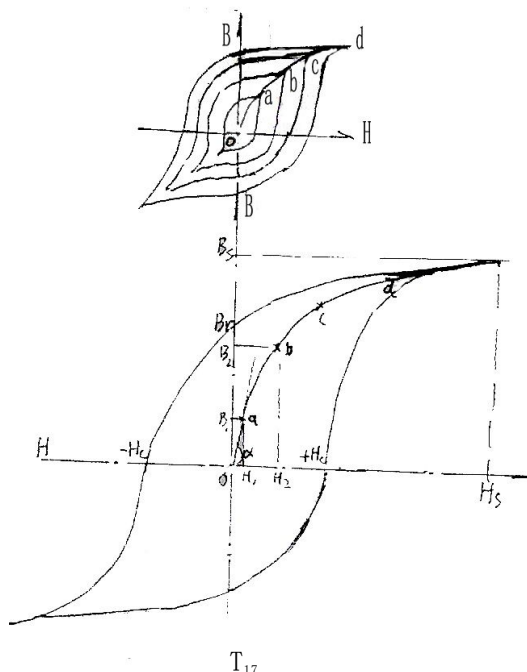
3. 静态特性:

同一铁氧体在不同条件下, 会表现出来不同的特性。∴要了解铁氧体的性能, 必须明确了解磁性能静态或动态磁特性:

静态特性, 是铁氧体在恒定的外磁场作用下, 所表现的特性 (硬磁的应用特性)

1. 磁化曲线: 表示 B 与 H 之间关系的曲线。 $M=XH$; $B=\mu H$

基本磁化曲线—反复磁化时, 磁滞回线的顶点的连线。



当 $H \rightarrow 0$ 很小时, $\tan \alpha = \mu_0 = B/H$ T₁₈
(μ_0 为初始导磁率)

曲线上任一点切线的斜率,

第一阶段 oa —可逆磁化 $\mu_0 = B_1/H_1 = \mu_0$

第二阶段 ab —不可逆磁化 $\mu_0 = B_2/H_2 = \mu_0$

第三阶段 bc —可逆磁化 $\mu \downarrow \downarrow$

第四阶段 cd —技术磁化 $\mu \rightarrow 0$

(饱和) $B \rightarrow B_s$ $H_s = (5-7)H_c$

2. 磁滞回线:

当磁化曲线磁化到饱和 B_s 后, 在逐渐把 $H \rightarrow 0$, B 不沿“老路”下降,

即当 $H \rightarrow 0$, $B \neq 0$, $B \rightarrow B_r$ 仍保留一个剩磁。

有工作气隙时, 则 $B \downarrow \rightarrow B_d$, 称视在剩磁。 B 的变化落后 H 的变化, 这种现象称磁滞。

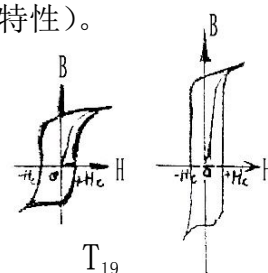
当 H 反向增加, 使 $B=0$ 这时的反磁场称矫顽力 H_c 。人称保磁力, 即保持磁性的能力。 H 小则易失去磁性。在直流磁场反复磁化而形成的回线, 称静态磁滞回线。

回线中的 B_s , B_r , $(BH)_m$ 是材料的几个非常重要的静态参数 (静态磁特性)。

3. 各种材料磁滞回线特点:

①硬磁材料: H_c 大, B_r (B_s) 低些, 难磁化难失磁一类磁性材料, 回线表现为矮胖。

②软磁材料: H_c 小, B_r (B_s) 高, 易磁化, 易失磁的一类磁性材料, 回线表现为瘦长。



③矩磁材料: $r=B/H \rightarrow 1$, H_c 很小, 回线接近矩形。

④半硬磁材料: $H_c=100 \sim 200$ Oe, $B_r=(1 \sim 5) \times 10^4$ Gs

⑤旋磁材料: B_s 比软磁低一些, H_c 比软磁大一些—用于微波。

⑥磁致伸缩材料—超声。

⑦磁吸收材料—吸收电磁波。

C. 动态特性（软磁材料的应用特性）

铁氧体在交变磁场作用下，所表现的应用特性（软磁材料特性）；
交流磁场反复磁化形成的闭合的磁化曲线叫动态回线。

1. 特点：

①H 相同时，动态回线要比静态回线面积大。

②回线的形式，面积，不仅与材料本身的性能有关，而且还与频率 f 有关。随 f ↑，回线面积 ↑—即损耗 ↑。

对同一频率而言，各回线顶点连线—动态基本磁化线。这时 Bs, Br, Hc 也无实际价值了。

反映交流磁化特性的应是导磁率 μ_1 , $\tan \delta$ 等量 ($Q=1/\tan \delta$)。

2. 各种导磁率：

①幅度导磁率（总导磁率） $\mu_m = (B_m/H_m) / \mu_0$ 没有偏置磁场，且 H 较大，产生磁通密度 B。另一表述：

①' 绝对导磁率（有量纲） $B/H = \mu_0 (1+M/H) = \mu_{\text{absolute}}$

②' 相对导磁率（无量纲） $B/H = \mu_0 \mu_r$ 平常使用的是 μ_r ，且有省去下标 r 即 μ 。

②弹性导磁率（储存导磁率） $\mu_1 = (B_{m1}/H_m)$ ，

③损耗导磁率（沿滞导磁率） $\mu_2 = (B_{m2}/H_m)$ ，

④复数导磁率（f 较高时，复数 μ 表示）

$$\mu = B/H - B_m e^{(j\omega t - \delta)} / H_m e^{j\omega t} = \mu_m e^{j\delta} = \mu_1 - j\mu_2$$

它最能完善地描述我们所讨论的方程：

$$\text{即 } \mu_m = (\mu_1^2 + \mu_2^2)^{1/2} \quad \tan \delta = \mu_2 / \mu_1 = B_{m2} / B_{m1}$$

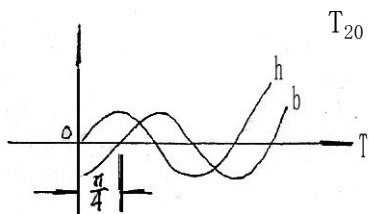
B 落后 H 的角的相角差的正切 $\tan \delta$

δ

⑤增量导磁率（f 还是比较低）

有直流偏置磁场时，再加一个交流磁场，

此刻 $\mu_{\Delta} = (\Delta B / \Delta H) H_{DC} / \mu_0$ 增量导磁率。



$$h = H_m \sin \omega t$$

$$b = b_m \sin (\omega t - \delta) = b_{1m} \sin \omega t - b_{2m} \cos \omega t$$

$$b_{1m} = b_m \cos \delta$$

$$b_{2m} = b_m \sin \delta$$

实际反复磁化一周的能量为：

$$W = \int_0^1 h db / 4\pi = \int_0^1 H_m \sin \omega t \cdot b_{1m} \cos \omega t dt / 4\pi + \int_0^1 H_m \sin \omega t \cdot b_{2m} \sin \omega t dt / 4\pi$$

$$= H_m B_{2m} / 4 = H B_2 / 2 \quad (H = H_m / \sqrt{2}; \quad B_2 = B_{2m} / \sqrt{2})$$

⑥初始导磁率： $\mu_0 = \tan \delta = B/H$ (当 $H \rightarrow 0$) $\mu_1 = (\Delta B / \Delta H_{(H \rightarrow 0)}) / \mu_0$
(环形导磁率)

⑦环导磁率： $\mu_0 = [L / 0.4\pi W^2 S_c] \times 1_{CP} \times 10^8 = (LD_{CP} / 0.4\pi W^2 S_c) \times 10^5$

$$\mu_0 = [2.5 (D_{\text{外}} + D_{\text{内}}) / W^2 (D_{\text{外}} - D_{\text{内}}) h] \times L_X \times 10^5$$

尺寸单位为 mm, 电感单位为 mh

⑧有效导磁率： $\mu_e = AL / 4\pi$ 电感常数 $AL = L / W^2$ $\mu_e = \mu_i / [1 + g(\mu_i / l_e)]$

有气隙的非闭合磁路条件下，测得的导磁率为 μ_e 。

形状系数 $C_1 = \sum l_i / s_i$ (尺寸单位为 cm); g—气隙长度; l_c —有效磁路长度。

⑨表观导磁率（开路磁芯） $\mu_{app} = L_X / L_0$ ($\mu_e = C_0 / C_X$)

D、软磁铁材料的主要磁特性参数：

1. 品质因数：Q=1/tg δ 损耗大小可以用 Q 值表示。Q 值高，选择性好。

$Q = \omega L_x / R_x = 1 / \tan \delta$ $R_x = R_0 + R_m = R_0 + (R_h + R_f + R_n)$ R_h —磁滞； R_f —涡流； R_n —后效
表观品质因素 $Q_{app} = Q_x / Q_0$ 是表达产品的品质因素的相对值。不同产品的 Q_{app} 是不同的。

2. 电感 $L = (W^2 S_c / l_{cp}) \times \mu_e \times 4 \times 10^{-9} (h)$

W—匝数； l_{cp} —平均磁路长 (CM)； S_c —磁体截面积 (CM²)；h—亨利。

$\mu_{app} = L_x / L_0 = [C_0 + 1000 (p_F)] / C_x$ $C_x \leq [C_0 + 1000 (p_F)] / \mu_{app}$

3. 居里温度 $Q_c (T_c)$ 当 $T \uparrow$ 时，使材料的 $M_s \rightarrow 0$ ，即丧失了磁性的 [4 $M_s (L)$ 下降到 10%] 的临界温度称居里温度 Q_c 。

4πMc

μ_i

μ_{imax}

μ_{imax}

μ_{imin}

Q_c 对产品的工作温度 (使用温度) 是十分重要的一个磁性能参数，是考核产品对温度稳定性的一个重要指标图 21 (a)。

天通公司规定：居里温度的另一表述说法图 21 (b) —随温度升高，磁导率下降到最大的 80%，20% 时，这两点连线，延长与温度轴的交点，即居里温度 T_c 。

T21 (a)

T21 (b)

4. 温度系数与比温度系数—对温度的稳定性。

① $\beta = (\Delta L / L) / \Delta T = [(L_2 - L_1) / L_1] / (T_2 - T_1)$ (表示 L 随温度变化率)。

② $\beta = [(\mu_2 - \mu_1) / \mu_1] / \Delta T = (\Delta \mu / \mu_1) / (T_2 - T_1)$ (表示 μ 随温度变化率)。

$\beta = T K \mu = (\Delta \mu / \mu_1) / \Delta T$ 温度变化 1℃，导磁率 (或电感) 相对变化。

③ 比温度系数，即为 $T K \mu / \mu_1 = (\Delta \mu / \mu_1^2) / \Delta T$

5. 损耗系数与比损耗系数：

① $\alpha = \Delta \tan \delta / \tan \delta_1 = (\tan \delta_2 - \tan \delta_1) / \tan \delta_1$

② $(\Delta \tan \delta / \tan \delta_1) / \mu_0$

表示小信号小材料的损耗特性与材料几何尺寸无关

损耗因子： $\tan \alpha_m = R_x / (\omega L_x) = \tan \delta_h + \tan \delta_r + \tan \delta_n$

$\tan \delta_h$ —磁滞； $\tan \delta_r$ —涡流； $\tan \delta_n$ —剩余损耗因子

$(\tan \delta)_{gap} / (\mu_e - 1) = \tan \delta / (\mu_i - 1)$

当 $\mu_e \ll \mu_i$ 时， $(\tan \delta)_{gap} = (\tan \delta \mu_e) / \mu_i$

$1 / (\mu_e - 1) = 1 / (\mu_i - 1) \rightarrow 1 / \mu_e = 1 / \mu_i$

∴ 开气隙时，损耗因子减少，Q 值增加。

6. 减落系数 D_F —对时间的稳定性，表示 μ 随时间变化。

$D_F = [(\mu_1 - \mu_2) / \mu_1] / \lg (T_2 - T_1)$ 分别是为第 1 分钟与第 10 分钟，
或分别为第 2.5 秒与 25 秒。

比减落系数

$\lg (10/1) = \lg (25/2.5) = 1$

$D_F = [(\mu_1 - \mu_2) / \mu_1^2] / \lg (T_2 - T_1)$

7. 截止频率 f_r —表示 μ 随频率的变化（即频率的稳定性）。

$$f_r (\mu_0 - 1) = (4\pi/3) M_0 = \text{常数}$$

当 f 变化 \uparrow 时，使 $\mu_0 \rightarrow 0$ 时，该频率为截止频率 f_r 。

μ_0 高频的材料，则 f_r 低。两者的乘积为常数，两者互为倒数。

如 Ni-Zn 材料， μ_0 较小，但使用频率较高（ f_r 高）。

Mn-Zn 材料， $\mu_0 = 400-2000$ ，使用频率较低（ f_r 低）

8. 频响—对频率稳定性。

当 Δf 变化时， $\Delta L/L_1$ 相对变化较小，稳定性好。

$\Delta f = f_2 - f_1$ 为频宽， Δf 愈宽，使用性能更佳。

(T22)

9. 磁致伸缩系数 λ ：

$\lambda = \Delta L/L$ 当作用于磁体，当 H 逐步加大时，使磁体逐步磁化，磁体的面积和长度，同时发生变化，这种现象称磁伸缩现象：

利用此特性可做成各种换能器，如超声波发生器（超声波清洗，探伤）。

具体这种特性（磁伸缩）的磁体称压磁铁氧体。

10. 磁结晶各向异性常数 K_1

晶体在不同方向上，物理化学性质各不一样。

人们可利用其易磁化方向为我所用。如 Ba 铁氧体的易磁化方向为 $[1000]$ 使外场方向 H 与易磁化方向一致，则宏观表现强磁性。

利用易磁化方向 α - Fe_2O_3 针状微米级（ μm ）颗粒大小的磁粉浆涂在基带上可制成磁记录材料与器件（录音，录像带）。

11. 老化系数 $\rho = [(\mu' - \mu) / \mu] \times 100\%$

二、生产实践 (Technolog of ferrite)

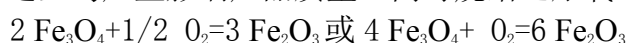
I、主要原材料选择, 加工使用:

“病从口入”产品质量必须从原材料入库开始严格各项把关措施: 工艺卫生、入库登记、妥善保管, 每批抽样化验…等。

A.氧化铁红 (Fe_2O_3) 实际使用为铁令 (Fe_3O_4): 从轧钢厂搞来的氧化铁屑必须是低碳钢成份为主的轧钢铁屑。最好是轧制“线材”的铁屑, 而不是高碳钢, 更不是合金钢类的铁屑, 保证这点十分重要! 同时搞来的铁令混入的杂质的杂质, 如棉花之类织物、木板、木屑、纸烟等含 C 元素之类的杂质及含大小铁块、铁钉含 Fe^0 杂质及含沙土 (SiO_2) 的杂质。这些必须在投料前筛选, 人工清洗, 并去水, 存入仓库待投。按下面化学平衡式作转换计算, 保证实际投放铁令量。

氧化铁红 (Fe_2O_3) 为该产品锰锌铁氧体的主要成份 mol% 占 55~58% 要充分发挥其主导作用。∴ 该成份不纯或杂质多, 而且复杂对该产品的质量十分重要! 必须引起生产管理部门及有关操作人员高度重视。

铁令 Fe_3O_4 可以表达为 $\text{Fe}^{+2}\text{O} \cdot \text{Fe}_2^{+3}\text{O}_3$; Fe^{+2} 、 Fe^{+3} 二价铁、三价铁的氧化物的混合物。∴ Fe^{+2} 参加反应前应置于易氧化的地方, 尽量增加接触空气的面积与时间, 并在预烧中完全氧化、转化为 Fe^{+3} (即 $\text{Fe}_2^{+3}\text{O}_3$)。在生产过程, 球磨机钢球质量与衬板质量不佳, 不可避免混入金属铁 (Fe^0) 但要求少混入或定期清洗球磨机。否则的话: 按“万宝”每月 (按 7 台机计算) 补充 3^T 钢球计算即有 14.2 kg/(天台) 铁屑留下来加入反应。这些铁原子不收缩, 而且是还原剂, 使 $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2} - \text{Fe}^0$ 在 Fe^0 存在处发生断裂, 这些均严重影响产品质量。同时烧结还原氧气, 更加重这种情况。



$$2M = 2 \times 231.5 \rightarrow 3M = 3 \times 159.3$$

↓

$$X = ? \leftarrow 100$$

$$X_0 = (2 \times 231.5 \times 100) / (3 \times 159.3) = 96.6$$

即表现为 Fe_2O_3 : $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 100$: 96.6 转化关系。

即有实例: Fe_2O_3 : Fe_3O_4 则有 Fe_3O_4 对应的 Wt% (重量比%)

$$100 \rightarrow 96.6 \quad \text{为 } X_{01} = (96.6\% \times 66.3\%) / 100\% = 64\%$$

↓

$$W_1\% \ 66.3\% \rightarrow X_{01} = ?$$

在下面的配方演算中常见有这样的转换关系, 表现出清楚的来去关系方便学习, 不致在转换中有不该发生的错误:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Wt}\% = 66.3\% \quad \text{投 } 1000 \text{ kg 料}$$

$$\downarrow \times 0.966 \quad \downarrow$$

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Wt}\% = 64\% \rightarrow 64\% \times 1000 = 640 \text{ kg 铁令 (不含水)}$$

从江苏溧阳进来的铁令含水杂质的铁令是 480 元/T (0.48 元/kg) 去杂 10%, 去水 10% 这时单价为 0.6 元/公斤。

碳酸锰(MnCO₃) 每批料进库必须抽样化验(请有资质单位化验)如南大化验含

Mn=44.37%，这时应对工厂每批出厂化验结果是否差不多，差多了要与厂方找原因！这有警示作用，善意的建议定会促使对方提高质量！

因为锰在温度变化时，其化合价要变化！∴在配方计算时，应分类计算



升温过程中，MnCO₃吸热分解，失氧而还原为低价 Mn⁺²O。

Mn⁺ⁿ的多价性是 Mn-Zn Ferriter 合成主要困难。

实际配方中采用常温下稳定的 MnCO₃，而不是不稳定的 MnO。

氧化锌 (ZnO)

江苏兴化生产氧化锌为万宝公司多年使用的 ZnO，使用放心，活性好，但有时化验结果纯度也有偏低的 95.96%与昆明宜良(纯度 93.55%)多半混用——昆明宜良氧化锌含 P₂O=5-6%，活性差，产品不收缩！应尽量不采用！已经进库的可与江苏兴化的 ZnO 各半混用。进库原料遇到不理想的纯度，应灵活处置，高低纯度搭配使用，配料纯度不同，影响配方的投放量，纯度低（即杂质含量高）要加大投放量。工艺员应及时修正配方，及时通知投料员。工艺员应了解入库原料的单位、产地，这样会更合理使用，使企业有好的经济效益。

C. “废料” 利用

万宝人学会了使用废料，而且使用水平很高。废料参入量高达 38-68%左右。废料是同类的锰锌各类高 μ 材料（PC-30）的磨加工的泥料（多含金刚砂），即是高温烧成品比重大，导磁高的各类磁芯磨料。它不参加配方计算，而是混入按 Wt%混合使用，可增加 L 值，会影响 Q 值，但经济性很好。目前能源、运费、原材料全面上涨，只靠此招，本企业才可以活下来！废料利用对万宝公司是有贡献的。但利用时，要十分慎重，厂家很多，来源复杂，必须坚持每批料做“小样”模底，作到使用放心。

B. 附加成份（它们均有独特作用，必须在不同时间，适量加入）

原材料与附加成份							
	原料名称	分子式	纯度	产地厂家	进库时间	参考单价	说明
1	铁红 铁令	Fe_2O_3 Fe_3O_4	98.11%	江苏溧阳		含杂含水, 去杂去水 (0.48-0.6)元/kg	*①真比重 4.8-5.4g/cm ³ *②比表面积: 8000-17000 cm ² /g *③颗粒度 1.8-2.5 μ *为氧化铁红(98%)的物理特性。
2	碳酸锰	MnCO_3	含 Mn=44.3	湖北枝江 衡阳化工厂	2004.6 2005.6	2500 ⁺²⁰⁰ 元/T 5000 元/T	Ca=0.88 SO ₄ ⁻² =1.61
3	氧化锌	ZnO	96-98% 93.5%	江苏兴化 昆明宜良	2004.6.16 2005.11	7800 元/T 10500 元/T 7700 元/T	PbO=5-6%…比重大, 不收缩
1	碳酸钙	CaCO_3	工业纯	石家庄井陉岩峰	投放 Wt% 0.5-2%	0.58 元/kg	细化品粒,密度 ↑ 增加 Q 值
2	氧化镁	MgO	工业纯	上海强龙热电厂	0.5-1%	5.0 元/kg	↑ 密度, ↑ ρ 电阻率(即提高工作频率)
3	五氧化二钒	V_2O_5	工业纯	杭州	0-0.2%	240 元/kg	增加烧结温宽,改善烧结工艺,
4	高岑土	$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	工业纯	苏州塘西	0-0.5%	0.76 元/kg	减少产品断裂。

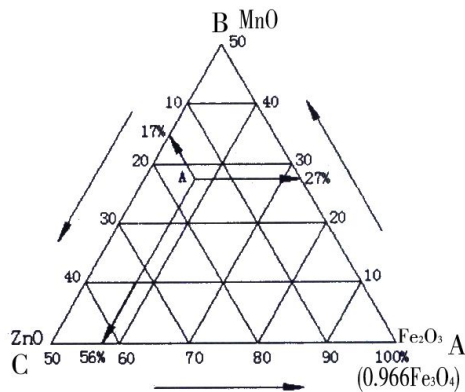
D. 原材料化验报告分析解读

NO	铁令分析	南大化验 Fe ⁺ 含量为 66%或 wt%Fe ₂ O ₃ =94.83%如何低了！									
1	取样—— 取铁令球 磨细烘干 后取 2-3g	<div><div><div>4Fe⁺ +O₂==2 Fe₂O₃ 4×56 2×[56×2+16×3]=2×160 X </div></div></div>									

No	南大化验结果	枝江锰① 91.9% ②92.87% 启东锰①89.04% ②91.35% <div>它们合格吗?</div>
2	锰分析 从入库的“碳酸锰” 直接取样 2-3g	$2 \text{MnCO}_3 \xrightarrow{\quad} 2 \text{MnO} + 2 \text{CO}_2 \uparrow$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">114</div> <div style="text-align: center;">70.93</div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> $2 \text{MnO} \xrightarrow{\quad} 2 \text{Mn} + \text{O}_2 \uparrow$ </div> <p>①MnO 在 MnCO₃ 含量 (理论值)</p> $\frac{2 \text{MnO}}{2 \text{MnCO}_3} = \frac{2 \times 76.93}{2 \times 114.93} = 0.617$ <p>②Mn 在 MnO 含量 (理论值) $\frac{2 \text{Mn}}{2 \text{MnO}} = \frac{2 \times 54}{2 \times 70.93} = 0.774$</p> <p>∴ 则有 $\frac{\text{Mn}}{\text{MnCO}_3} = 0.774 \times 0.617 = 0.477$ 即 47.7% (理论值)</p> <p>即 Mn 占 $\frac{54.93}{114.94} = 47.7\%$ 相当 MnCO₃ 纯度为 100%</p> <p>若含 Mn \longrightarrow 43% (达标值) 相当 MnCO₃ 纯度为 89.9%</p> <div style="margin-top: 20px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">MnCO₃ 114.93</div> <div style="text-align: center;">MnO 70.93</div> <div style="text-align: center;">Mn 54.9</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> $\times = \frac{0.43}{0.549} \times 114.93$ $= 89.9\%$ (即 MnCO₃ 达标值) </div> <div style="text-align: center;"> 43% (达标值) </div> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">114.93</div> <div style="text-align: center;">54.9</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> 可见：枝江锰：① 91.9 </div> <div style="text-align: center;"> $y_1 = \frac{91.9\%}{114.93} \times 54\% = 43.89\%$ (达标) > 43% </div> </div> <p style="text-align: center;">② 92.87 — $y_2 = 44.35\%$ (达标)</p> <p style="text-align: center;">启东锰：① 89.04% — $Z_1 = 42.53\%$ (不合格) < 43%</p> <p style="text-align: center;">② 91.31% — $Z_2 = 43.61\%$ (达标)</p> <p>启东锰还含有害杂质：</p> <p>① S=4% 严重超标 8 倍，呈黄色。建议供销部门不进启东锰！</p> <p style="text-align: center;">技术部门慎用！</p> </div>

No	南大化验结果	江苏兴化 ZnO 96%	它们合格吗？
		云南昆明宜良 92.4% (PbO=6.12~5.57%)	
3	锌分析 从入库的“氧化锌” 直接取样 2-3g	<p>经验值 ZnO<95%就不好用了，主要是杂质多，关键是生产厂家的生产工艺与 Zn 的来源有很大的关系，用锌锭再加工，一般纯度较高，成本也高。有的厂家（如昆明宜良）很有可能是从铅矿中附加产品提炼而成与锌伴生的铅含量提纯不够，常含 PbO 高达 5~6%，成本肯定低些。但对我们生产，则是大大影响磁性能，活性差，使 Q 值几乎损失为“另”，产品尺寸，强度均不好。更严重的是产品含 Pb 严重超标 20 倍，不符 SGS 要求，所以这类厂家的氧化锌严禁使用！</p> <p>兴化锌的（ZnO）纯度为 96%应该提醒厂家，这时纯度还不够，最好应该是 98%左右，否则只能给 96%纯度的价格。</p> <p>这类档次的原材料，万一混用的话，本人主张一是不用，二还是不用！如果凑合混用的话，其纯度计算，倒可以告诉你：</p> <p>问：兴化纯度为 96.9%，投 50kg 与宜良纯度 92.4%，15kg 混用，其纯度？</p> <p>它们分别 ① $\frac{50 \times 0.96}{50 \times 0.96 + 15 \times 0.924} = 0.776$</p> <p>② $\frac{15 \times 0.924}{50 \times 0.96 + 15 \times 0.924} = 0.224$</p> <p>③ 它们混用后的纯度为：(0.776 × 0.96) + (0.224 × 0.924) =0.7449+0.2069=0.9518 =95.18%</p> <p>如改用 75kg 兴化锌+15kg 宜良锌，其纯度为？</p> <p>它们分别占① $\frac{75 \times 0.96}{75 \times 0.96 + 15 \times 0.924} = 0.838$</p> <p>② $\frac{15 \times 0.924}{85.86} = \frac{13.86}{85.86} = 0.167$</p> <p>③ 它们混用的纯度为：80.44+14.9=95.34%</p>	
4	MgO	通常纯度>92%	
5	CaO	>95%	
6	V ₂ O ₅	>98%	(若纯度为 96%单价就相差很大)

II. 锰锌铁氧体 MXO-400 配方选点:



(T23)

成份三角形表示方法
(经典的三元磁性状态图)

A 经典三元磁性状态图:

同一材料各配方点的连线成为等导磁率 μ 曲线图。从等 μ 曲线图内选择合适的配方点，如图中所示 A 点其 mol% Fe_2O_3 为 56%

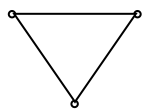
MnO 为 27%

ZnO 为 17%

即为反时针方向分别为三元成份百分比的截距，读出 56%、27%、17%，而且 $\Sigma A+B+C=100\%$ 此成份三角形表示法，可用来寻找各类材料的组成与特性研究，对生产中确定配方颇有实用价值。

B 配方计算有三种表示方法，并且可以相互转换:

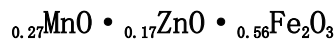
克分子比 (mol%) II



III 重量比 Wt%

(T24) I 化学式

① 化学式表示方法，并且可以相互转换:



$$\Sigma 0.27+0.17+0.56=1$$

② 克分子比%表示法与重量比%转换;

实例:

NO	主成份	克分子之比 mol%	分子量 M	纯度	重量分数	重量百分比 Wt%	Wt%生产投料方便 若投 1000 kg 则有
1	Fe_2O_3	56%	159.7	98%	91.4	66.3%	663 kg
2	MnCO_3 MnO	27.5% 27.5%	114.9 70.1	97.5%	32.4	23.5%	235 kg
3	ZnO	16.5%	81.4	96%	13.9	10.0%	100 kg

$\Sigma 137.3$

III. 配方实例计算:

A、典型配方计算实例

NO	配 方 代 号	化 学 式	重量比 Wt%		
			Fe ₂ O ₃	MnCO	ZnO
1	老配方 650	0.225MnO 0.202ZnO 0.573Fe ₂ O ₃	67.3%	20.1%	12.5 实际投 11.7%
2	新 681-11	0.275MnO 0.165ZnO 0.56Fe ₂ O ₃	66.3%	23.5%	10.0%9
3	新 681-12	0.266MnO 0.163ZnO 0.571Fe ₂ O ₃	66.6%	23.5%	10%
4	681-16 (A)	0.228MnO 0.168ZnO 0.604Fe ₂ O ₃	69.99%	20.0%	10.0%
5	CRW-5 (A)	0.235MnO 0.18ZnO 0.585Fe ₂ O ₃	68.19%	20.8%	11.0%

第一方案为原生产线老配方“650”

(A)化学式为 0.225MnO · 0.202 · ZnO · 0.573Fe₂O₃

① Fe₂O₃ : 57.3% × 159.7/98.11% = 93.27 Wt% = 67.3% (不含水) 若投 1000 kg 生产实际投
↓
× 0.966

Fe₃O₄ —————→ 65% —————→ 650 kg 650 kg

② MnCO: 22.5% × 54.93/44.75% = 27.85 Wt% = 20.1% 201 200
含 Mn = 44.37

③ ZnO : 20.2% × 81.4/94.75% = 17.35 Wt% = 12.5% 125 117
(94.75%)

④ CaCO₃: 7.5

⑤ MgO: 9.0

⑥ 废料 + 废磁芯 = 630 + 30 = 630 kg 占 630/1500 = 42% 630
在二次球磨料 1500 kg 同时加入:

⑦ V₂O₅ 3.5

⑧ 高岑土: 6.5

(1)老配方(650)	(2)新配方(681-11)
化学式: 0.225MnO 0.202ZnO 0.573Fe ₂ O ₃	0.275MnO 0.165ZnO 0.561Fe ₂ O ₃
<div>mol% Wt% 投料 1000 kg</div> <div>① Fe₂O₃ 57.3 %→67.3 % (98.11%) ↓ ×0.966 Fe₃O₄ 65.0% 650 kg (不含水)</div>	<div>mol% Wt% 投料 1000 kg</div> <div>*① Fe₂O₃ 56.1%→66.3% (98%) ↓ ×0.966 Fe₃O₄ 64.0% 640 kg (不含水)</div>
② MnCO ₃ 22.5%→20.1% 200 kg (含 Mn=44.37)	*② MnCO ₃ 22.5%→20.1% 200 kg (含 MnCO ₃ =97.5%)
③ ZnO 20.2%→12.5% 117 kg (94.75%)	*③ ZnO 20.2%→12.5% 实际是 (94.75%) 117 kg
④ CaCO ₃ 7.5 kg	④ CaCO ₃ 7.5 kg
⑤ MgO 9.0 kg	*⑤ MgO 5.0 kg
⑥ 废料 (占 42%) 600 kg	⑥ 废料 (占 35%) 500 kg
⑦ 废磁芯 30.0 kg	⑦ 废磁芯 30.0 kg
⑧ V ₂ O ₅ 3.5 kg	*⑧ V ₂ O ₅ 1.5 kg
⑨ 高岑土 (Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O) 6.5 kg	⑨ 高岑土 (Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O) 6.5 kg
(1)(2)工序相同,但(2)新配方中, 第*①②③⑤⑧成份作了修改。	

(3)新配方(681-12)	(4)新配方 681-16(A)
化学式: 0.266 MnO 0.163 ZnO 0.571 Fe₂O₃	0.228 MnO 0.168 ZnO 0.604 Fe₂O₃
<div> <div>mol% Wt%</div> <div>① Fe₂O₃ 57.1 %→66.6%</div> <div>↓</div> <div>Fe₃O₄ 64.1%</div> </div> <div>投料 1000 kg 641 kg (不含水)</div>	<div> <div>mol% Wt%</div> <div>① Fe₂O₃ 60.4%→69.9%</div> <div>↓ ×0.966</div> <div>Fe₃O₄ 64.4%</div> </div> <div>投料 1000 kg 644 kg (不含水)</div>
② MnCO ₃ 26.6%→23.5% (含 Mn=44.37%)	② MnCO ₃ 22.8%→20% (含 Mn=44.37%)
③ ZnO 16.3%→10.0% (99.75%)	③ ZnO 16.8%→10% (96.6%)
④ CaCO ₃ (Wt%=0.84%)	④ CaCO ₃
⑤ MgO	⑤ MgO
⑥ 废料 (占 41.2%)	⑥ 废料 (占 35%)
⑦ 废磁芯	
⑧ V ₂ O ₅ (占 0.1%)	⑧ V ₂ O ₅
⑨ 高岑土 (占 0.42%)	⑨ 高岑土

B. 典型配方计算与单机成体

1、X X 厂典型配方计算实例——

P27~36

例 一	老 650 方案——生产考验时间长，但经济性差，不具市场竞争力
二	681-11 方案——当市场锰的价格不高时，生产安排偏多。 该方案特点是 Q 值高。总经济性优于老 650 方案。
三	681-16 (A) 方案——经济性较好，工艺性好——投料方便。
四	681-16 (B) 方案——经济性更佳，极具市场竞争力。
五	CRW-5 (A) ——经济性好，性能优化的过渡性方案。 CRW-5 (B) ——经济性好，性能更优的方案。
六	特例： 主要成份严重偏离——6C 补缺方案。
2	典型配方单机成本与每吨料成本单价 P37~41

(1) 老 650 方案					
		0.225 MnO	0.202ZnO	0.573 Fe ₂ O ₃	
1	<p>Fe₂O₃ (铁红)</p> <p>按 98.1% 纯度计算</p> <p>Fe₃O₄ (铁令)</p>	<p>重量分数</p> <p>= $\frac{\text{克分子比} \times \text{分子量}}{\text{纯度}}$</p> <p>= $\frac{0.573 \times 159}{0.981}$</p> <p>=93.2</p>	<p>重量百分比</p> <p>= $\frac{\text{重量分数}}{\text{总重量分数}}$</p> <p>w/t%</p> <p>= $\frac{93.23}{\sum 138.47}$</p> <p>=67.3%</p> <p>×0.966</p> <p>↓</p> <p>65% (干)</p>	<p>含水 5%</p> <p>1.05 × 65%</p> <p>→ =68.0%</p>	<p>投料 1000kg</p> <p>→ 680kg</p>
2	<p>MnCO₃</p> <p>含 Mn=44.37%</p>	<p>$\frac{0.225 \times 54.93}{0.4437} = 27.85$</p>	<p>Wt%:</p> <p>$\frac{27.85}{\sum 138.47} = 20.1\%$</p>		<p>→ 200kg</p>
3	<p>ZnO</p> <p>(兴化 96% 昆明宜良 93.5%)</p> <p>各半使用 取平均值</p> <p>$\frac{96 + 93.5}{2} = 94.75\%$</p>	<p>$\frac{0.202 \times 81.4}{*0.9475} = 17.35$</p>	<p>$\frac{17.35}{\sum 138.47} = 12.5\%$</p> <p>实际投 11.7% (修改了)</p>		<p>→ 117kg</p>
<p>总重量分数=93.23+27.85+17.35=Σ 138.47</p> <p>我们接手时只知总投料量, ∴ “反过来计算时, 总重量分数是根据经验、先设定, 反复计算, 致使克分子比之和为 1, 即计算成功。得此化学式为 0.225MnO 0.202ZnO 0.573Fe₂O₃, 其克分比为 1。</p> <p>∴老配方铁令(干)为 65.0%, 按 1000kg 投新料, ∴命为 650 方案。</p>					
4	CaCO ₃			$\frac{7.5}{1000} = 0.75\%$	7.5 kg
5	MgO			$\frac{9.0}{1000} = 0.9\%$	9.0 kg
6	废料+废磁芯			630/1600=39.3%	600+30=630
7	V ₂ O ₅	二次球磨加入		3.5/1600=0.218%	3.5kg
8	高岑土	二次球磨加入		6.5/1600=0.406%	6.5kg

(2) 第一个新方案 681-11 0.275 MnO 0.165 ZnO 0.56 Fe O				当时 2005.6 MnCO_3 价格低， 而 ZnO 价格较高， ∴ 选此方案。
(1)	Fe O Fe_3O_4		$\text{Wt\%} =$ $\times 0.966$ $64\%(\text{干})$ $1.09 \times 64\% = 67.2\% (\text{湿})$	投新料 1000kg 672kg
(2)	MnCO_3 (纯度 97.5%)			235kg
(3)	ZnO (兴化 96.6%)	$\Sigma 91.46 + 32.4 + 13.9 = 137.76$		100kg
(4)	CaCO_3			7.5kg
(5)	MgO			5.0kg
(6)	废料+废磁芯			$600 + 100 \text{ kg}$
(7)	V_2O_5	*二次加入		1.5kg
(8)	高岑土	*二次加入		6.5kg
参考本书：P23~24				

(3) 第二个新方案 681-16 (A) 0.228 Mn O 0.168 Zn O 0.604 Fe O				2005 年金属材料全面涨价，对 681-11 进行修改，减少 Mn、ZnO 的用量。
(1)	Fe O Fe ₃ O ₄		Wt%= ×0.966 67.6% (干) 含水 4% 70%	投新料 1000kg 700kg
(2)	MnCO ₃ (枝江 92.8%)			200kg
(3)	ZnO	Σ 98. 3+28+13. 95=140. 2		100kg
(4)	CaCO ₃			7.5kg
(5)	MgO			5.0kg
(6)	废料			700kg
(7)	V ₂ O ₅	二次加入		1.5kg
(8)	高岑土	二次加入		7.0kg

(4) 第三个新方案 681-16 (B) 0.228 Mn O 0.168 Zn O 0.604 Fe O				迫于市场压力，为提高竞争力，加大了废料的利用力度。
(1)	Fe O Fe₃O₄ (铁令)		Wt%= ×0.966 67.6% (干) 含水 6% 71.6%	投新料 600kg 430kg
(2)	MnCO₃ (枝江 92.8%)			120kg
(3)	ZnO	Σ 98.5+28+14.1=140.6		60kg+5*kg *考虑废料中 ZnO 含量不足补加 5kg
(4)	CaCO ₃			7.5kg
(5)	MgO			5.0kg
(6)	废料		Wt%	1000kg
(7)	V ₂ O ₅	二次加入		1.0kg
(8)	高岑土	二次加入		5+2=7.0kg
(一次料) Σ 1627.5kg/机				
如果在二次球磨时，用上述毛坯饼，再加好废料 200kg，这时废料占：				
可得到常州公司历史上最低成本方案，即单价/机=1453 元/机或单价（元/吨）=968.7 元/T				
该方案已在线生产。				

(5) 第四个新方案				大生产投新料 600kg
<div> <div>CRW-5A</div> <div>0.235 Mn O</div> <div>0.18 Zn O</div> <div>0.585 Fe O</div> </div>				
(1)	<div>Fe O</div> <div>Fe₃O₄</div> <div>(铁令)</div>	(重量分数)	<div>Wt%=</div> <div>×0.966</div> <div>65.8%(干)</div> <div>65.8%×600=394.8kg</div>	<div>投新料 600kg</div> <div>×1.06%水份</div> <div>420kg</div>
(2)	MnCO ₃		20.8%×600=125kg	125kg
(3)	ZnO	总重量分数： $\Sigma 95.21+29.1+15.39=\Sigma 139.7$		(废料 ZnO 含量不足 可补加 4~10kg) $66kg+4\sim 10kg=70^{+6}kg$
(4)	MgO			5kg
(5)	CaCO ₃			7.5kg
(6)	废料			另加 1000kg
二次加				$\Sigma 1627.5kg/机$
(7)	V ₂ O ₅			1kg
(8)	高岑土			7kg
拟在二次球磨时，用上述煤饼料，再加好废料 300kg，这时有： <div> 废料占： $=$ </div>				
这时单价/机料为 1421.6 元/机 单价/吨料=947.76 元/吨料，为常州历史上最低成本价。				

(5) 第四个新方案				为进一步改善园棒与磁条性能，对 681-16 (B) 方案进行了修正，也是最低成本方案
CRW-5B 0.24 MnO 0.18 ZnO 0.58 Fe O				
(1)	Fe O Fe₃O₄ (铁令)	(重量分数)	Wt%= ×0.966 65.3%(干) 65.3%×600=392kg	大生产投新料 600kg 含水 7% 420kg
(2)	MnCO₃ Mn=44.3%		21%×600kg=126kg	126kg 为提升 Q 值， 再加 Mn4kg
(3)	ZnO	*兴化 ZnO 96%投 50kg。 宜良 ZnO 92.4%，30kg。 即 96%纯度占 0.634+92.4%纯度 占 0.336=60.8%+31%= 91.8% 总重量分数： Σ 95.3+29.7+15.96=Σ 140.9	11.3%× 600=68+12kg =80kg 即有 A= B=	68+ *12kg 80kg *考虑废料 ZnO 含量不足，可补加 1.2%的 ZnO 即兴化好锌投 50kg 宜良差锌投 30kg
(4)	CaCO₃		Wt%0.75%	4.5+0.5=5kg
(5)	MgO		0.50%	3.0+2.0=5kg
(6)	废料			另加 1000kg
二次加			(一次料) 1640kg/机	
(7)	V₂O₅			1.0kg
(8)	高岑土			5+2=7kg
拟在二次球磨时，用上述煤饼料，再加好废料 200kg，这时有：废料占=				66.2%

(5) 第四个新方案				为进一步改善园棒与磁条性能，对 681-16 (B) 方案进行了修正，也是最低成本方案
CRW-5B 0.24 Mn O 0.18 Zn O 0.58 Fe O				
(1)	Fe O Fe₃O₄ (铁令)	(重量分数)	Wt%= $\times 0.966$ $65.3\% \text{ (干)}$ $65.3\% \times 600 = 392\text{kg}$	大生产投新料 600kg 含水 7% 420kg
(2)	MnCO₃ Mn=44.3%		$21\% \times 600\text{kg} = 126\text{kg}$	$126^{+4*} = 130\text{kg}$ *为提升 Q 值， 再加 MnCO ₃ 4kg
(3)	ZnO	*0.9535 为兴化、宜良混用纯度 $\Sigma 95.3 + 29.7 + 15.3 = \Sigma 140.36$	$10.94\% \times 600 = 66\text{kg}$ 具体投按以下安排： 1、兴化三小袋 $3 \times 25 = 75\text{ kg}$ 2、宜 良 15kg	$66.0 + 24^* = 90\text{kg}$ *补废料缺锌
(4)	CaCO₃			7.5kg
(5)	MgO			5.0
(6)	废料			1000kg
二次球磨加入			(一次料) $\Sigma 1640\text{kg}$	
(7)	V₂O₅			1.0kg
(8)	高岑土			$5 + 2 = 7\text{kg}$
拟在二次球磨时，用上述毛坯饼料，再加好废料 200kg，这时有： 废料占： = 66.2%				

6c “特例”， “681-16” 黑泥废料+海宁红泥料（主要成份严重偏离）补缺

[0.228 MnO 0.161 ZnO 0.604 Fe O] 海宁红泥料（3.13 入厂 第二批 15T）					如何补缺	
681-16 正常配方 wt%	海宁红泥料 （主要成份严重偏离）南大 化 验 结 果 3.18	偏离值 wt%	分二步补缺			
			第一步补足 1 mol%	第二步 按相对增加值补足 0.27		
Fe O 69.9%	88.78%	$\Delta_1=88.78-69.9= +18.88$ 多了	对单一成份绝对值，还多了 +18.88%。但按三个成份相对增加值。则为：		wt% 0.27	
MnCO ₃ 20.0%	5.39%	$\Delta_2=5.39-20= -14.61$ 少了			+14.6% MnCO ₃	同步 +0.27
ZnO 10.0%	1.92%	$\Delta_3=1.92-10= -8.08$ 少了			+8.08% ZnO	同步 +0.27
第一步按 1000kg 投红泥料，则含有①Fe O：699kg；②MnCO ₂ ：53.9kg 还需补 146.0kg； ③ZnO：19.2kg 还需补 81kg。						
按南大化验结果，Fe O 按上述 1000kg 补法，上述红泥料中，还剩余 188.8kg 即按 wt%增加了 。						
第二步按 1000kg×1.27%=1270kg 投红泥料，其中刚好含有①Fe O：887.8kg；②MnCO ₃ 还需补 53.9×1.27=68.5kg 红泥料。③ZnO 还需补红泥料 9.2×0.27=24.4kg 红泥料。 观察克分子比与重量比，配方计算过程，wt%多了 +0.27，即克分子比 mol%也 +0.27 即其化学式表示为：						
A: [0.228MnO .0.161 ZnO 0.604 Fe O] _{1.0} + B' : [0.228MnO 0.161 ZnO 0.604 Fe O] _{0.27} = B [A+ B'] _{1.27}						
(1)	Fe O	$\times 0.27 \times 0.27 \times 0.27$ wt%	①红泥料+黑泥=1570×0.4=628 元 ②MnCO ₃ —186×5=930 ③ZnO ——103×10=1030 ④CaCO ₃ ——7×0.5=3.5 ⑤Mgo ——9×5 = 45 ⑥V ₂ O ₅ ——1×240=240 ⑦高岭土— 7×0.65=5.5			
(2)	MnCO ₃	$\times 0.27 \times 0.27 \times 0.27 \times 0.27$				
(3)	ZnO	$\times 0.27 \times 0.27 \times 0.27 \times 0.27$	Σ 1607kg/机— Σ 2882 元/机—1801 元/T			
NO	第一次 补缺(A)	拟投 1000 (kg)		第二次补缺(B') (考虑 wt% 1.27%) 拟投 1270(kg)	B= Σ A+B'	
(1)	Fe O	*699kg（红泥料）	699(kg)	*887.8(kg) 红泥料	887.8(kg)	
(2)	MnCO ₃	146.0kg+[*53.9kg （红泥料）]	200	146.1×1.27+53.9×1.27 =186(kg)+ *68.5(kg)) 红泥料	254	
(3)	ZnO	80.8 ^{+0.2} +[*19.2kg （红泥料）]	100	80.8×1.27+19.2×1.27 =103(kg)+ *24.4(kg) 红泥料	127	
Σ Fe O （红泥料）772kg+ ^补 Mn146kg+ ^补 Zn81kg=999kg			Σ *Fe O （红泥料）981kg+ ^补 Mn186kg+ ^补 Zn103kg=1270kg 还可加 330kg 黑泥废料=1600kg/机 废料占 76.2%			

650 方案 0.225 MnO 0.202 ZnO 0.573 Fe O			wt%（Fe ₂ O ₃ ——67.3%）	
			铁 令————— 65%×1000 = 650kg — 680kg 锰 (MnCO ₃)—20.1 %×1000=200kg (2004.90)/2004.110716+2005.12.9	
单机成本			执行时间：	
No	新料投入量 1000kg		单价（元）	
(1)	铁令 65%	含水×1.05% 650 680kg	680×0.7=476	
(2)	锰 20%	200	200×5.5=1100	
(3)	锌 11.7%	117	117×9.5=1111.5	
(4)	钙	7.5	7.5×0.58=4.3	
(5)	镁	9.0	9.0×5=45.0	
(6)	废料	630kg	0.630T×500 元/T=315	占
二次球磨加入			（一次）1613kg/机 Σ3051.8 元/机	×3.5 10681.3 元/天
(7)	(V ₂ O ₅)	3.5	3.5×300=1050	
(8)	高岑土	6.5	6.5×0.76=4.94	
Σ 3051.8+1055=4106.8 元/机				
老配方，若未加任何变动，则有单价/吨=				

第一个新方案 681-11 单机成本			wt%（铁令红 66.3%）	
0.275 MnO 0.165 ZnO 0.561 Fe O			铁令 64%×1000 = 640kg — 672kg 锰 23.5 %×1000=235kg 锌 10%×1000=100kg	
No	新料投入量 1000kg		单价（元）	
（1）	铁令 64.0%	含水 672kg	672kg×0.70 元/kg=470.4	*2004 年当时 MnCO ₃ 单价为 2.5 元/kg，∴. 可以多用，现在为了比较经济性，采用了现时价格。
（2）	锰 23.5%	235	235×5.5 元/kg =1292.5	
（3）	锌 10.0%	100	100×9.5=950	
（4）	钙	7.5	7.5×0.58=4.3	
（5）	镁	5.0	5.0×5=25.0	
（6）	废料	700kg	0.700T×500 元/T=350 元	占
二次球磨加入			Σ 1719.5kg/机 Σ 3092 元/机	×3.5 10822.7 元/天
（7）	钒（V ₂ O ₅ ）	1.5	1.5×300=450	
（8）	高岑土	6.5	6.5×0.76=4.94	
Σ 3092+（450+4.94）= 3546.9 元/机				
该配方，只运作了				

第二个新方案 681-16（A） 单机成本			wt%（Fe O ： 69.9%）		
0.228MnO 0.168 ZnO 0.604Fe O			铁令： 67.6%×1000kg = 676kg ----- 700kg 锰 ： 20%×1000 = 200kg 锌 ： 10%×1000 = 100kg		
No	新料投入量 1000kg		单价（元）		
（1）	wt% 铁令 67.6%	×1.04%水 676 700kg	700kg×0.70 元/kg=490		
（2）	锰 20%	200kg	200×5.5 =1100		
（3）	锌 10%	100kg	100×9.5=950		
（4）	钙	7.5	7.5×0.58=4.3		
（5）	镁	5.0	5.0×5=25.0		
（6）	废 料	600 ⁺¹⁰⁰	0.600×500 元/T=300 元	占	
二次球磨加入			Σ 1612kg/机	Σ 2869.3 元/机	×3.5 10042.5 元/天
（7）	钒（V ₂ O ₅ ）	1.5	1.5×300=450		
（8）	高岑土	7.0	7.0×0.76=5.3		
Σ 2869.3+（450+5.3）= 3524.6 元/机					
这时单价/吨料=					
比较老 650 方案，可省△ ₁ =2216.4-3546= -1330.2 元					
比较 681-11 方案，也可省△ ₂ =2216-2364= -146 元					
该方案运作期间，废料曾加到 700kg，老板迫于市场压力，为求得更大竞争力，要求加大废料利用力度，∴运作到六月二日为 681-16 B 方案代替。					

执行时间：2005（6.2~7.10）

第三个新方案 681-16（B） 单机成本			wt%（Fe O ： 69.9%）	
0.228MnO 0.168ZnO 0.604Fe O			铁令： 67.6%×600kg =406kg ——430kg 锰 ： 20%×600kg =120kg 锌 ： 10%×600kg = 60kg 考虑废料 Zn O 不足， 可补加 5kg	
No	Wt% 新投料量（600kg/机）		单价成本（元/机）	
（1）	铁令 67.6%	含水 430（kg）	430kg×0.70 元/kg=301 元	
（2）	锰 20%	120kg	120×5.5 元/kg =660 元	
（3）	锌 10%	65kg	65×9.5 元/kg =617 元	
（4）	钙	7.5	7.5×0.58=4.3	
（5）	镁	5.0	5×5=25	
（6）	废 料	1000kg	1000T×500 元/T=500 元	废料占
（7）	钒（V ₂ O ₅ ）	1.0	1.0×300=300	(*2005. 6.2 改为 1kg)
（8）	高岑土	5+2=7.0	7.0×0.76=6.0	
(一次) Σ 1622kg/机 Σ 2107.3 元/机 ×3.5= 7375.3 元/天 Σ 2107.3+(300+6) = 2413.3 元/机				
如果在二次球磨时，用上述毛坯饼，再加好废料 200kg				
1	废料占	=		
2	单价/机 （2~5#二次球）	=(0.4969×2107.3)+306+100=1047+406 =1453.15 元/机		
3	单价（元/吨）	显然：这是常州公司历史上最低成本的方案 方案，在市场上具有极强的竞争力。		

第四个新方案 CRW5（A）			单机成本		wt%（Fe O =68.15%） ×6%kg 含水 铁令： 65.8% 420kg 锰 ： 20.8%×600kg = 125kg 锌 ： 11. 01%×600kg = 60kg +(4-14)*； *考虑废料 Zn0 不足，可补加 4—14 kg	
No		新投料量（600kg/机）		单价成本（元/机）		
1		Wt% 铁令 65.8%		×1.06 含水 65.8%×600=394.8kg 420kg 420×0.7 =294		
2		锰 20.8%		20.8%×600=125 125×5.5 =685 元		
3		锌 11%		11%×600=66+4~10=70 ⁺⁶ 兴化：50×9.5=475 宜良：20×7.7=150		
4		钙		7.5 7.5×0.58=4.3		
5		镁		5.0 5×5=25		
6		废 料		1000kg 1T×500 元/T=500 废料占		
×3.5						
二次球加		Σ 1627. 5 (kg/机)		Σ 2133. 3 元/机 74663. 5 元/天		
7		钒（V ₂ O ₅ ）		1.0 1×300=300		
8		高岑土		5+2=7.0 7×0.76=5.32		
(一次) Σ 1627. 5kg/机 (二次) Σ 2133.3+(300+5.32) = 2438.62 元/机						
现在二次球磨时，用上述毛坯饼，再加好废料 300kg，这时有：						
1		废料占		=		
2		单价/机料 (2~5#二次球)		=966.34+305.3+150 =1421.64 元/机		
3		单价（元/吨）				

第四个新方案 CRW5（B）				单机成本		wt%（Fe O =67.6%） 含水 1.07% 铁令： 65.8%（干） 420kg 锰： 21.0%×600 = 126kg+*4 = 130kg 锌： 11.01%×600 = 66kg +*14kg= 80kg	
0.24MnO 0.18ZnO 0.58Fe O							
No	新投料量 600kg			单价成本（元/机）			
1	铁令	Wt%		含水 7% 65.3%(干)×600=392kg 420kg		420×0.7 =294	
2	锰 （含 44.3%）	21%×600=126kg+4=130kg		130×5.5 =715 元			
3	锌	11.3%×600=68kg+12=80		兴化 25×2=50×9.5=475 元 宜良： 30 30×7.7=231			
4	钙		7.5	7.5×0.58=4.3			
5	镁		5.0	5×5=25			
6	废 料	Wt%	1000kg	1.000T×500 元/T=500 元			
		占					
×3.5 机							
二次球加		一次Σ 1642. 5 (kg/机)		Σ 2244. 3 元/机		7855 元/天	
7	钒（V ₂ O ₅ ）		1.0kg	1×300=300 元			
8	高岑土		6.5 kg	6.5×0.76=5			
二次加入料的总单价成本 Σ 2244.3+305 = 2549.3 元/机							
如果在二次球磨时，用上述毛坯饼，再加好废料 200kg，这时：							
1	废料占						
2	单价/机 （2~5#二次球）	=1101.6+406=1507.6 元/机					
3	单价（元/吨）	这是性能优化后，成本接近最低成本方案					

IV 产品质量从头抓起，从原材料抓起

1、做好主要原材料管理

①原材料进库管理（包括入库时间，厂家，名称，材料纯度，单价……）

↓

抽样化验（检测该批入库材料的纯度，有害杂质含量）

↓

妥善保管（分类堆放，堆放有序，防潮，卫生文明）

②作好铁令（ Fe_3O_4 ）筛选，清选：去杂，去水——

清除各类杂物（主要是大小铁块，沙土，棉织品，烟纸等）它们主要含 Fe^0 ，C， SiO_2 都是配方中的有害杂质，务必除尽。并注意 Fe_3O_4 的含水处理，清理好的铁令妥善堆放，储存一定的周转量，并置放在可防雨，防第二次混入污物的地方，特别注意大小铁块的混入（即 Fe^0 ）；在投料前做好铁令含水量测定。对配方中 Fe_3O_4 实际投料量进行修正。还要注意到铁令生产厂家的铁令成份——最好是 10# 普通碳素结构钢的轧钢铁皮，主要是含碳量低，不要有合金成分。通常是轧制建材用的盘园线材的铁屑皮为上等铁令，45# 钢勉强，高碳钢及合金钢的轧钢铁皮禁用！这一点切切注意！

③、慎重做好“废料”利用：

常州厂用“PC-30 废料及废磁芯”渗入配方总量约 38-70% 混用是十分大胆，又成功的实例。可以说废料的成功利用为常州公司赢得了利润，赢得了市场。

废料来源不同厂家，每批必须坚持做小样实验，做到心中有数，取样有代表性。对来源不明的废料更要慎重使用！对明显不同的红，白色料是未预烧的铁红或 ZnO ，肯定是不能使用的！应做绝对废料处理！

2、要求金属铁原子 Fe^0 不能混入配方中；

①钢球质量：硬度不够，耐磨性差，长时间球磨产生较多的铁屑。这铁屑就是 Fe^0

②衬板质量差，耐磨性差，同样产生 Fe^0

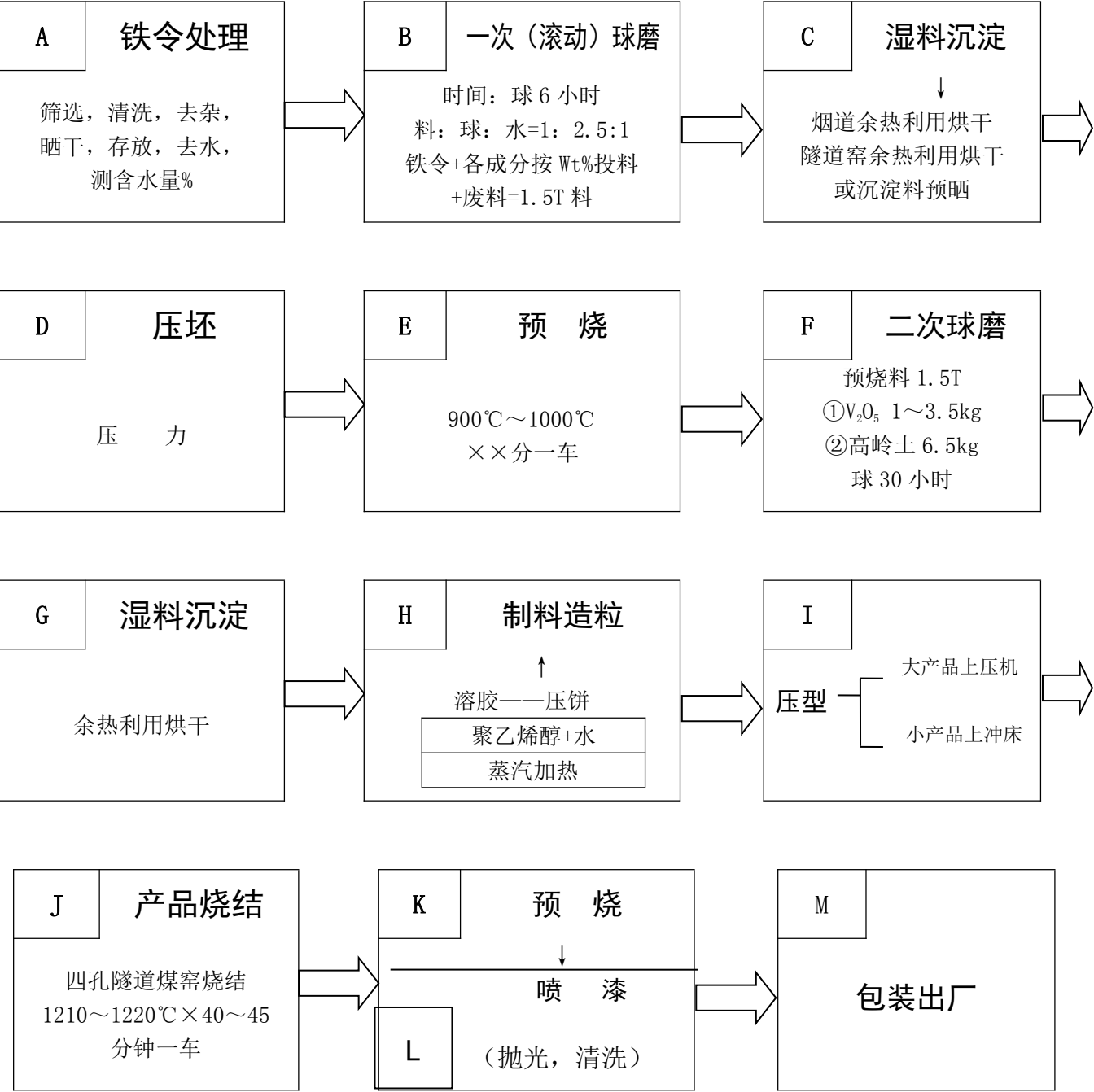
③ Fe_3O_4 不纯，被混入大小铁块即 Fe^0

这些 Fe^0 不易磨碎，易产生大颗粒，烧结时不收缩，夹在粉料中，烧结时收缩不一致，易造成产品断裂！还要注意到 Fe^{+3} ， Fe^{+2} 在升温通道或升温过程中，不能有还原气氛，即要保持一定的氧分压，即不能缺氧或不能有“跑烟”现象。否则 Fe^{+3} 被还原或使 Fe^{+2} 还原为金属铁 Fe^0

3、注意原材料纯度的变化，纯度低，投料就要多，考虑铁含水量，投料也应修正。注意 Mn 的变价。配方投放时要做相应的‘对应’计算。

把好材料关，材料使用合理，就能从根本上有效防止“病从口入”问题。

V. 常州厂 MX0—400 工艺流程

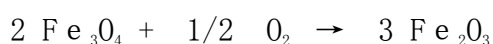


A 铁令筛选，清洗，去杂，去水处理：

应清除各类有害杂质（主要含 Fe^0 、C、 SiO_2 等）注意铁令含水量测定，在投料时加以修正。并注意铁令厂家生产铁令的成份，轧制“线材”的铁屑皮即为 10# 低碳钢，为高等铁令，高碳钢合金钢的轧制铁屑禁用！

以铁令作为 MX0—400 磁棒生产的主要原材料，代替配方中的氧化铁，可降低成本。

以铁令作为成份是 Fe_3O_4 （即为 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ）为使其中 Fe^{+2} 进一步氧化，以利于参加反应，铁令应置放在易氧化的地方。有条件的话，铁令应有一定的储备量。



$$M = 2 \times 231.55 \quad 3 \times 159.5$$

$$X_0 \quad 100$$

配方可按 100% 纯度计算，它们转换关系可从上述化学反应式平衡，很容易得到

$$X_0 = (2 \times 231 \times 100\%) / (3 \times 159.5) = 96.6\%$$

即它们的重量比关系为： $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Fe}_3\text{O}_4 = 100 : 96.6$

∴ 以铁令作为生产主要原料，首先必须是去杂，去水的合格的干料，它代替了配方中的氧化铁红，其重量比要作上述换算。

如配方计算出 Fe_2O_3 的 Wt 为 67.3%，则转换为 Fe_3O_4 则为 $67.3 \times 0.966 = 65\%$ 。参看兄弟厂，曾用“铁令工艺”制作 MX0—400 磁棒，举一反三，可以借鉴：

		成都厂	锦州厂	天津厂	常州厂（650 方案）
①	Fe_2O_3 (纯度 100%) Wt% Fe_3O_4 (96.6%)	65.9% 63.65%	67.2% 65%	66.2% 64%	67.3% 65%
②	MnCO_3 (92%)	23.4%	23.7%	24.1%	20.1%
③	ZnO (99%)	8.9%	9.02%	10.1%	12.9% (实际是 11.7%)
④	CaCO_3			0.2%	0.77%
⑤	V_2O_5	0.05%			0.233%
⑥	高岭土		0.8%		0.433%
⑦	MgO				0.93%

可以看出，该工艺配方主要是作磁棒，碳酸锰各厂重量比投料均在 23-24%，而常州厂偏低，即 Q 值不会高。而另一主要成份 ZnO 各厂 Wt % = 8.9~10% 常州厂为 12.5（实际压缩为 11.7%）显然偏高，即表现为 L 值偏高。

CaCO_3 主要是细化晶粒，常州厂实际投料为 0.77%，今后可以适量减少！

V_2O_5 主要是改善烧结工艺，增加温宽，如果炉窑结构好，窑温上下温差不大，产品需要温差，可以搭配烧结。常州厂的 V_2O_5 wt % = 0.233% 可以逐步减少！第一步可以减至 1.5 kg/1500 kg = 0.1%。第二步争取 0.05% 甚至不用！

MgO 主要是提高电阻率，增加工作频率宽度。多数用户要求 $f \uparrow 2\text{Mc}$ ，常州厂可以保持目前的投放量 wt % = 0.93%。如果只是少量用户提出要求，可以减少 MgO 的投放，甚至不加此成份。

B 球磨工艺若干问题：

球磨是影响产品质量的重要工序，配料之后的球磨称为一次球磨。其主要目的是混合均匀，同时将混料中原料粗颗粒进一步磨细，以增强原料活性，以利固相反应。预烧后球磨，称二次球磨。其主要作用是将预烧料研磨成一定颗粒尺寸粉料，以利成型。恒磁铁氧体矫顽力，主要取决于产品显微结构。要求晶粒均匀，接近单畴临界尺寸（约 $d = 1 \mu\text{m}$ ）。因此，要求二次球磨后的颗粒尺寸亦应是接近单畴临界尺寸，所以说二次球磨是十分重要的关键工序。高 μ 的锰锌铁氧体与恒磁体对二次球磨有同样要求，只是低 μ 材料对二次球磨要求可以低些。球磨机有滚动式和振动式两种。后者粉碎效率高，但产量小。工业大生产多采用圆柱体滚动球磨机。当筒体运动时，带动筒内钢球与物料一起运动。随着球磨机转速变化，其运动轨迹如下图所示。

转速较慢时，为（a）图，雪崩式，球磨效果一般，打击效果差。

最佳转速时，为（b）图，瀑布式，” 好， ” 好。

转速过快时，为（c）图，离心式，” 差， ” 更差。

由此，球磨机要达到将粉料磨细的目的，球磨机应有一个最佳转速。

(T25) (a) 雪崩式

(b) 瀑布式

(c) 离心式

由此 (1) 其球磨机理: ①筒内钢球与钢球的相对运动与碰撞, 起着打击粉料作用。

可见 ② 料与筒体内壁的相对滑动, 起着研磨作用。

(2) 通过球磨要求: ①配方不变, 不希望有杂质混入。

②料的细度, 达到单畴尺寸 (约 $d = 1 \mu m$ 左右)

(3) 球磨工艺重要参数:

①料: 球: 水有一个最佳比例:

从粉碎作用来看, 要求大球多些, 从研磨作用来看, 要求小球多些, 故保持一定的粉碎与研磨能力, 则需大, 中, 小球有一定比例:

对软磁球磨的要求 (对直径 ≥ 1 米左右滚筒球磨机) 对常州公司 $D = 1.8$ 米的球磨机:

大球 $D_{\text{大}} = 30 \sim 40 \text{mm}$	占 15%	大球 $D_{\text{大}} = 40 \sim 60 \text{mm}$	占 10~20%
中球 $D_{\text{中}} = 20 \sim 30 \text{mm}$	占 25%	中球 $D_{\text{中}} = 30 \sim 40 \text{mm}$	30~40%
小球 $D_{\text{小}} = 10 \sim 20 \text{mm}$	占 60%	小球 $D_{\text{小}} = 20 \sim 30 \text{mm}$	50~60%

球太多, 本身碰撞机会多, 粉碎作用小, 还增加 $F e^0$

球太少, 本身碰撞机会少, 研磨作用小, 水是润滑剂。

水太多, 料太稀, 研磨作用小。水太少, 料太浓, 粉碎作用差。

∴料: 球: 水有一个最佳比例。

为了达到球磨效益, 必须使料: 球: 水保持一定比例。而且是总体积的 0.4~0.7

即 $V_A = V_{\text{min}} = V_{\text{料+球+水}} / V_{\text{球磨机容积}} \geq 0.4$; $V_B = V_{\text{max}} = V_{\text{料+球+水}} / V_{\text{球磨机容积}} \leq 0.7$

对常州公司: 料: 球: 水 = 1:2.5:1, 1[#]机最大投料量为 $W_{\text{max}} = 8.04 \text{T}$

目前生产线 1[#]机实际投料量为 $W_{(\text{料+球+水})\text{max}} = 6.75 < W_{\text{max}} = 8 \text{T}$ 符合要求。

②最佳球磨时间:

$t < t_{\text{临界}}$ 颗粒直径变化大, 影响固相反应明显,

$t > t_{\text{临界}}$ 颗粒直径变化不大, 影响固相反应不明显,

对软磁: 一次球磨 6~8 h, 常州公司: 一次球磨 6 h

二次球磨 24~36 h, 二次球磨 30 h

生产实践中找出临界球磨时间十分关键, 意义重大!

③最佳转速: 球磨机直径与转速必须最佳, 以便粉碎作用好, 以保证钢球从一

定高度打下来有力量。有经验公式: $n_{\text{佳}} = 32 / \sqrt{D_{\text{内}}} \text{ (转/分)}$

对常州公司：

1#球磨机投一次料，球 6 h /次， $D_{\text{外}}=1.83$ ， $D_{\text{内}}=1.83-(2\times 9)/100=1.65$ 米，电机为 30KW

8#球磨机投一次料，球 6 h /次， $D_{\text{外}}=2.32$ ， $D_{\text{内}}=2.32-0.19=2.13$ 米，电机为 38KW

2#球磨机投二次料，球 30 h /次， $D_{\text{外}}=1.83$ ， $D_{\text{内}}=1.83-0.18=1.65$ 米，电机为 30KW

2#-7# 球磨机作用相同，尺寸相同。

对 1#量周长 $C_{\text{外}}=\pi D_{\text{外}}$ $D_{\text{外}}=C_{\text{外}}/\pi=1.83$ 米，

$n_1=32/ \quad =32/ \quad =23.65\approx 23$ 转/分 $n_8=32/ \quad =21$ 转/分

1#-8#实际转速与最佳转速基本一致！从而保持了最佳的球磨效果！

而且筒体的长度与直径有最佳比 $L:D=1.1:1.2$

但常州的小样球磨机： $D\times L=0.157\times 0.257$ 最佳转速为 $n_1=32/ \quad =84$ 转/分

实际转速为 $n_2=110$ 转/分，经改变小皮带轮直径 $D_1\rightarrow D_1'=?$

$$\begin{array}{c} n_2=110 \\ \downarrow \\ n'_2=84 \text{ 转/分} \\ \\ n_1=1450 \text{ 转/分} \\ D_1=100\text{mm} \\ \downarrow \\ D'_1=76\text{mm} \quad (T27) \end{array}$$

常州中样球磨机： $D\times L=0.9\times 0.9$ ，最佳转速应为 $n_{\text{中}}=32/ \quad =34$ 转/分

但实际转速为 $n_2=40\sim 60$ 转/分，也需调整。

①`改变变速箱齿轮数，齿数与速度是反比关系。 $Z_1=24\rightarrow Z_1'=20$ ，可使 $n_2\downarrow$

②`更换电机为八极电机，通过变速箱，转速调整为最佳转速。

④球磨机容量计算与设计范围：

$$V_{\text{料+球+水}}=(0.4\sim 0.7)V_0$$

对常州公司：料:球:水=1:2.5:1 (Wt%)

$$V_{\text{料}}=W_{\text{料}}/\rho_{\text{料}} \quad (\rho_{\text{料}}(\text{软二次料})=3\text{T/m}^3, \rho_{\text{球}}=7.8\text{T/m}^3, \rho_{\text{水}}=1\text{T/m}^3)$$

$$\text{转换体积比: } V_{\text{料}}:V_{\text{球}}:V_{\text{水}}=W_{\text{料}}/\rho_{\text{料}}:W_{\text{球}}/\rho_{\text{球}}:W_{\text{水}}/\rho_{\text{水}}$$

①' 球磨机的体积 (即容量 V_0)

$$\text{球磨机体积 } V_0=(1/\pi D^2\times L)/4 \quad (\text{m}^3)$$

$$1\#D_{\text{外}}\times L_{\text{内}}=1.65\times 1.98 \quad (\text{m}) \quad V_{01}=4.23(\text{m}^3);$$

$$8^{\#}D_{\text{外}} \times L_{\text{内}} = 2.13 \times 2.18 \text{ (m)} \quad V_{01} = 7.76 \text{ (m}^3\text{)};$$

②' 球磨机投料的最大容量:

$$\Sigma V_{\max} \leq 0.7V_0 \quad \text{对 } 1^{\#}\text{机 (2}^{\#}\text{--7}^{\#}\text{)} \quad V_{01\max} = 0.7 \times 4.23 = 2.96 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{对 } 8^{\#}\text{机} \quad V_{08\max} = 0.7 \times 7.76 = 5.43 \text{ (m}^3\text{)}$$

③' 球磨机投料的容量范围:

$$\Sigma V = V_{\min} \sim V_{\max} = (0.4 \sim 0.7) V_0$$

$$\text{对 } 1^{\#}\text{机 (2}^{\#}\text{--7}^{\#}\text{)} \quad \Sigma V_{x1} = (0.4 \sim 0.7) \times 4.23 = 1.69 \sim 2.96 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{对 } 8^{\#}\text{机} \quad \Sigma V_{x8} = (0.4 \sim 0.7) \times 7.76 = 3.1 \sim 5.43 \text{ (m}^3\text{)}$$

④' 球磨机投料重量范围:

$$\text{常州公司: 料: 球: 水} = 1 : 2.5 : 1 \text{ (Wt\%)}$$

$$\text{其体积比} = (1/3) : (2.5/7.8) : (1/1) = 0.33 : 0.32 : 1$$

$$\text{可列两个方程: a. } V_{\text{料}}/V_{\text{球}} = 0.33/0.32 = 1.03 \quad \text{即 } V_{\text{料}} = 1.03V_{\text{球}}$$

$$\text{b. } V_{\text{水}}/V_{\text{球}} = 1/0.32 = 3.12 \quad \text{即 } V_{\text{水}} = 3.12V_{\text{球}}$$

解方程得:

$$\text{I ' 最小投料量有 } V_{\text{料}} + V_{\text{球}} + V_{\text{水}} = 0.4V_0 \quad 1.03V_{\text{球}} + V_{\text{球}} + 3.12V_{\text{球}} = 0.4V_0$$

$$5.15V_{\text{球}} = 0.4V_0$$

$$V_{\text{球}} = (0.4/5.15) V_0; V_{\text{料}} = 1.03(0.4/5.15) V_0; V_{\text{水}} = 3.12(0.4/5.15) V_0$$

$$\text{对 } 1^{\#}\text{机 (2}^{\#}\text{--7}^{\#}\text{)} \quad V_{\text{球}} = [1/5.15] (0.4 \times 4.23) = [1/5.15] \times 1.69 = 0.32 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{料}} = 1.03 \times 0.32 = 0.33 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{水}} = 3.12 \times 0.32 = 0.99 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{对 } 8^{\#}\text{机} \quad V_{\text{球}} = [1/5.15] \times 0.4 \times 7.76 = [1/5.15] \times 3.1 = 0.6 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{料}} = 1.03 \times 0.6 = 0.62 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{水}} = 3.12 \times 0.6 = 1.88 \text{ (m}^3\text{)}$$

分别转换为重量投放:

$$\text{对 } 1^{\#}\text{各机 } W_{\text{料}} = \rho_{\text{料}} \times V_{\text{料}} = 3 \times 0.33 = 0.99\text{T}$$

$$W_{\text{球}} = \rho_{\text{球}} \times V_{\text{球}} = 7.8 \times 0.32 = 2.5\text{T}$$

$$W_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} \times V_{\text{水}} = 1 \times 0.99 = 0.99\text{T}$$

$$\Sigma V_{\min} = W_{\text{料}} + W_{\text{球}} + W_{\text{水}} = 4.48\text{T}$$

$$\text{对 } 8^{\#}\text{机} \quad W_{\text{料}} = \rho_{\text{料}} \times V_{\text{料}} = 3 \times 0.62 = 1.86\text{T}$$

$$W_{\text{球}} = \rho_{\text{球}} \times V_{\text{球}} = 7.8 \times 0.6 = 4.68\text{T}$$

$$W_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} \times V_{\text{水}} = 10 \times 1.88 = 1.88T \quad \Sigma W_{8\min} = 8.42T$$

II' 最大投料有（容量） $V_{\text{料}} + V_{\text{球}} + V_{\text{水}} = 0.7V_0$

$$1.03V_{\text{料}} + V_{\text{球}} + 3.12V_{\text{水}} = 0.7V_0 \quad 5.15V_{\text{球}} = 0.7V_0$$

对 1#各机

对 8#机

$$W_{\text{料}} = [1/5.15] \times 2.96 = 0.574(m^3) \quad W_{\text{料}} = [1/5.15] \times 5.43 = 1.054(m^3)$$

$$W_{\text{球}} = 1.03 \times 0.574 = 0.591(m^3) \quad W_{\text{球}} = 1.03 \times 1.054 = 1.085(m^3)$$

$$W_{\text{水}} = 3.12 \times 0.574 = 1.79(m^3) \quad W_{\text{水}} = 3.12 \times 1.054 = 3.288(m^3)$$

对 1#各机转换为重量投放：

$$W_{\text{料}} = \rho_{\text{料}} \times V_{\text{料}} = 3 \times 0.591 = 1.71T$$

$$W_{\text{球}} = \rho_{\text{球}} \times V_{\text{球}} = 7.8 \times 0.574 = 4.47T$$

$$W_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} \times V_{\text{水}} = 1 \times 1.79 = 1.79T \quad \Sigma W_{1\min} = 8.04T$$

对 8#机转换为重量投放：

$$W_{\text{料}} = \rho_{\text{料}} \times V_{\text{料}} = 3 \times 1.085 = 3.25T$$

$$W_{\text{球}} = \rho_{\text{球}} \times V_{\text{球}} = 7.8 \times 1.054 = 8.22T$$

$$W_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} \times V_{\text{水}} = 1 \times 3.288 = 3.288T \quad \Sigma W_{8\min} = 14.75T$$

可以看出：

对 1#各机投放重量范围为 $\Delta W_1 = (0.4 \sim 0.7) \rho V_0 = 4.48 \sim 8.04T$

对 8#机 " $\Delta W_8 = 8.42 \sim 14.75T$

常州老 650 配方中：总投料量 $\Sigma W_{(\text{料}+\text{球}+\text{水})} = 1.5 + 3.75 + 1.5 = 6.75T < 8.04T$

对 1#占最大投放量 $6.75/8.04 = 83\%$ ，尚有余量。

⑤电机负荷：

需要考虑球磨机本身重+衬板量+最大投料重，以其最大负荷来选择电机。同时要考虑转动方式与效率！

$$\text{三相电功率 } P_y = I_L V_L$$

若 30KW 球磨机，相应的满载负荷的线电流

$$I_L = P_y / \sqrt{3} \cdot V_L = [30 \times 10^3] (\text{瓦}) / [1.73 \times 380] (\text{伏}) = 45.6 (\text{安})$$

选择的电机为四极，其转矩：

$$M_g = 71600 \times [N (\text{马力}) / n (\text{转数})] = [17600 / 1450] \times N (\text{马力}) = 49.5N (\text{马力})$$

$$= 49.5 \times [P (\text{kw}) / 1.36] = 36.4P (\text{kw})$$

考虑损失即效率为 $\eta = 0.8$

球磨机的转矩 $M_m = \eta \cdot M_g = 0.8 \times 36.4 \text{ P(kw)} = 29.2 \text{ P(kw)}$

$$\begin{aligned} \Sigma G = \text{拖动力 } F &= [W_{1 \text{ 料 max}} \times 50\%] + W_{2 \text{ 球磨机}} + W_{3 \text{ 衬板}} \\ &= 6.75 \times 50\% + 8 + 1 = 12.37 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\Sigma G \times r_3 = 29.2 \text{ P(kw)}。$$

$$P = [12370 \times 0.085] / 29.2 = 37 \text{ (kw)} \quad \text{选 } 40 \text{ kw 较为合适。}$$

C、产品成型若干问题

该工艺打个比喻说，是球磨工序将料吃进去了，到了这工序是将投下的料“消化”掉，尽量降低损耗，将二次球磨出的湿料烘干，造颗粒料，供油压机或冲床用。通过模具压制成不同需要规格尺寸的半成品或者说是“坯件”，刷掉“坯件”身上的多余的粉料，装钵（盒）待烧进入下一工序，这成型工序是整个铁氧体工艺三大工序之一，也是非常重要的一道工序。

一、成型目的与方式：

成型目的：①获得要求的几何形状的坯件。

②使坯件具有一定的压力，松紧一致，不开裂，是具有一定密度的半成品

成型方式：①干压一成型压力密度梯度较大，有松有紧，采取双向压较好

②湿压一对性能要求较高产品采用湿压，磁分子定向排列好。

③热压注一适用小的，形状复杂的产品。

④挤压一适用细长的产品。

二、对成型料的要求：

1、有一定的颗粒度。

2、有一定的粘度一为此，必须加入粘合剂。

颗粒料制得好，关系到压型工序的效率——“一看二捏”。一看是颗粒度好（散粉一不成球状的粉多，不好），成小球状的多，容易进模腔，不粘模，压型容易，模具损耗小；二捏是用手捏得起团——放手——粉不沾手（这是好的，说明这颗粒料做的好！）反之，湿了，粉沾手，说明这颗粒料做的不好！主要原因是二次粉料烘干的不够！或遇到雨天，空气湿度大，返潮，这种料加胶水不易“吃胶，即不易成团，成粒！一般是下雨天做出的颗粒不好！

三、对于压成型时粘合剂的要求：

A. ①足够的粘性，易溶解。

②在 100℃-400℃易挥发，不留杂质，不影响成分。

③要求在一定湿度范围内慢慢挥发，不引起气泡。

B. 常用粘合剂有：

①甲醛 ②亚硫酸废液 ③聚乙烯醇

C. 粘合剂在软磁干压成型制颗粒时之配制浓度为 5%-7%，成型料中加入胶水量为 7%-12%，具体浓度系气候湿度变化与粉烘干的程度有关。

四、成型压力计算：

设压模的产品表现积为 $S_{\text{产}} (\text{cm}^2)$

压制产品的压强为 $P_{\text{产}} (\text{k g} / \text{cm}^2)$

那么产品受到的压力为 $F_1 = P_{\text{产}} \times S_{\text{产}}$

这个力也是油泵所要提供的，也就是油缸活力

塞上受到的

即： $F_2 = P_{\text{缸}} \times S_{\text{缸}} = P_{\text{表}} \times S_{\text{缸}}$

(\because 压力缸与油缸相通 $\therefore P_{\text{缸}} = P_{\text{表}}$)

根据巴斯葛原理，在密封容器里这两个力是相等的

即 $F_2 = F_1$ ，则 $P_{\text{表}} \times S_{\text{缸}} = P_{\text{产}} \times S_{\text{产}}$ $P_{\text{表}} = (S_{\text{产}} / S_{\text{缸}}) \times P_{\text{产}}$

对于压制铁氧粉料，要求的产品压强是： $P_{\text{产}} = 500 \text{ k g} / \text{cm}^2$

对上海无专，萍乡无专生产 45^T 油压机，油缸直径 $d = 155 \text{ mm}$ ，油缸面积 $S_{\text{缸}} = 180 \text{ cm}^2$ ，

对北京 706 厂，生产 63^T 油压机，油缸直径 $d = 140 \text{ mm}$ ，油缸面积 $S_{\text{缸}} = 148 \text{ cm}^2$

对天津锻压机床厂，生产 100^T 油压机，油缸直径 $d = 200 \text{ mm}$ ，油缸面积 $S_{\text{缸}} = 314 \text{ cm}^2$

对北京锻压机床厂，生产 100^T 油压机，油缸直径 $d = 210 \text{ mm}$ ，油缸面积 $S_{\text{缸}} = 330 \text{ cm}^2$

对压同一产品，调换压机后 $\therefore S_{\text{缸}}$ 变化了，要求的表压自然也不同

但等式是成立的， $P_{\text{产}} \times S_{\text{产}} = P_{45} \times S_{45} = P_{63} \times S_{63} = P_{100} \times S_{100}$

五、成型要求：

1. 控制坯件的压力，以获得半成品的厚度。
2. 压力均匀（双向压均匀），否则产品变形（喇叭口）
3. 模具光洁度不好，或者有斜度，均会造成开裂或断层。
4. 脱模斜度不合适，也会产生层裂，模具设计时，要有适合的脱模斜度，对小尺寸产品脱模斜度为 1/200

六、磁场成型：

对各自异性的硬磁铁氧体要获得工作面有较大的磁场，必须采用湿压磁场成型，磁场大小对分子排列，对产品最终性能产生很大影响。

实际上我们是将取多层绕线的方法，达到一定的磁场要求的，对多层绕制的线圈中的磁场。

当 $X=0$ 时, $L \gg R$ 时, 有

$$H = 4 \pi I N = 4 \pi I W_1 W_2 (R_2 - R_1)$$

对 H_{20} - H_{30} 材料, 要求 $H = 2000 - 3000 \text{ Oe}$

$$H_{\text{脉冲}} = 6000 - 8000 \text{ Oe}, H_{\text{退磁场}} = 1200 \text{ Oe}$$

(T29)

实际上我们某一产品 (单瓦) H_{20} 材料

$$\text{充磁时 } HL = I_0 W = 12 (\text{安}) \times 1200 (\text{匝}) = 14400 (\text{安匝}), H = 14400 (\text{安匝/米}) = 0 \text{ e}$$

$$\text{脉冲时 } HL = I_U W = 20 (\text{安}) \times 1200 (\text{匝}) = 24000 (\text{安匝}), H = 24000 (\text{安匝/米}) = 0 \text{ e}$$

$$\text{单瓦线圈摸腔中, } B_{\text{开}} = \text{GS}; \text{ 上下中摸相距 } 1 \text{ cm 时, } B = \text{GS};$$

$$4 \times 201 \text{ 线圈摸腔中, } B_{\text{开}} = \text{GS}; \text{ 上下中摸相距 } 1 \text{ cm 时, } B = \text{GS};$$

$$3 \times 401 \text{ 线圈摸腔中, } B_{\text{开}} = \text{GS}; \text{ 上下中摸相距 } 1 \text{ cm 时, } B = \text{GS};$$

对 H_{30} 汽瓦产品

$$\text{充磁时 } HL = I_0 W = 20 (\text{安}) \times 1000 (\text{匝}) = 20000 (\text{安匝}), H = 20000 (\text{安匝/米}) = 0 \text{ e}$$

$$d_0 = 3.28, \text{ 线圈尺寸是 } \phi 500 \times 260 \times 170 \rightarrow \phi 460 \times 270 \times 140$$

$$\text{线圈摸腔中, } B = \text{GS}; \text{ 上下摸腔相距 } 1 \text{ cm 时, } B = \text{GS};$$

七、模具尺寸与收缩比

产品模具尺寸是根据其收缩率 $\eta = [(R_{\text{还}} - R_{\text{产品}}) / R_{\text{产}}] \times 100\%$ 计算出来的, 按生产实际情况而加以修正确定。

使放大的模具尺寸压成半成品 (坯件) \rightarrow 还原收缩为尺寸公差在要求内的产品尺寸。

这里有一个重要技术参数是收缩比%计算; 关系到敲定模具尺寸, 对指导生产或生产安排有关, 通常是通过“小样”确定。它与①预烧温度; ②成型压力; ③配料中原料的活性; ④产品烧结温度有关。①对收缩比%影响最大。可以通过调整成型压力②与烧结温度④使产品尺寸符合尺寸公差。调整不过来说明收缩比%计算不准确! 模具只好重做, 这样提高了成本。

在模具设计时，还必须考虑料的压缩比，通过“小样”确定，对软磁压缩比是

产品尺寸 Y10×60	模具尺寸： Y11.6×69.6	$\Delta D\% = (11.6 - 10) / 10 = 16\%$	$\Delta L\% = (6.96 - 60) / 60 = 16\%$
产品尺寸 B5×13×55	模具尺寸： B5.7×14.95×63.8	$\Delta D\% = (5.7 - 5) / 5 = 14\%$	$\Delta L\% = (63.8 - 55) / 55 = 16\%$

B5×13×55	模具尺寸： $5.5^{+0.2} \times 14.85^{+0.1} \times 63.8$	成型压力 P (kg/c m ²)	kg/万件	g/件	件/kg	元/件
	坯件尺寸： h×14.95×64.3	80+5	167	16.7	60	0.10
Y10×60	模具尺寸： $11.4^{+0.2} \times 10.25^{+0.1} \times 69.6$ 坯件尺寸： $11.4^{+0.2} \times 10.3 \times 70.1$	72	218	21.8	46	0.14
Y10×80	坯件： $11.4^{+0.2} \times 10.25 \times 92.8$	90	294	29.4	34	0.19
Y10×100	$11.4^{+0.2} \times 10.25 \times 116$	100	367	36.7	27	0.23
Y10×40	$11.4^{+0.2} \times 10.25 \times 161.7$	110	517	51.7	19	0.39

常州磁棒半成品工艺详细参数可参阅附录四（附 4-1、2、3、4、5）——任小平

D. 烧结工艺若干问题：

I、配方确定后，烧结过程对铁氧体的性能具有决定性意义。因为烧结过程影响到固相反应（粉末间在低于烧结温度下的化学反应）的程度及最后的相组成，密度、晶粒大小等等，而这些均影响产品的电、磁性能。配方是确定材料性能的内因，而烧结是保证获得最佳磁性能的重要外因，当外因条件不具备时，内因亦无法发挥其作用，烧结过程包括升温、保温、降温三个阶段，现简述如下：

- ①在升温过程中，要控制一定的升温速度，以防止因水分及粘合剂集中挥发而导致坯件热开裂与变形，通常粘合剂挥发温区为 250–600℃。在该温区内升温宜缓慢，以便挥发物通过排气口被及时排出；粘合剂挥发完后，升温速度可以快些，用隧道窑烧结产品时，应合理地调整窑温曲线以达到此目的。
- ②在保温过程中，主要的问题是保持温度，保温时间与烧结气氛，烧结温度的提高及保温时间的延长，一般会促使固相反应完全，密度增加，饱和磁化强度增加，晶粒增大，矫顽力下降。但烧结温度过高，保温时间，会导致铁氧体的分解，产生空泡或异相，反而使性能下降，对不同配方的样品，在不同的气氛条件下，最佳的保温温度与时间会有明显的不同。工业生产中，通常希望产品对烧结温度的宽容度较大，有利于提高产品成品率。
- ③降温过程的控制，对产品的性能有时是有决定意义的。降温过程中主要涉及两方面的问题：其一，冷却过程中将会引起产品的氧化或还原，产生脱溶物。对易变价的锰锌铁氧体高磁导率材料，控制冷却过程中的氧气氛尤显重要；其二，合适的冷却速度有利于提高产品合格率。若冷却速度过快，出窑温度过高，因热胀冷缩导致产品冷开裂，或产生大的内反应力，恶化产品性能。烧结过程中常见的几种开裂类型（生裂）见图。

升温开裂

冷却开裂

（T31）几种常见的产品开裂类型

烧结铁氧体产品的窑炉设计对提高产品档次、合格率十分重要。早期，国内曾采用烧砖瓦的倒焰炉，由于温差大，不能连续生产及产品质量差而被淘汰；继后发展为推车

式的隧道窑炉，由于温差大，能耗高及气氛难控制，亦逐步被淘汰；目前，隧道辊式的道窑，推板窑以及两者结合而成的辊道-推板窑以较为普遍采用，多数采用电热式。烧结中，低档永磁铁氧体产品时，为了降低成本，亦采用煤推板窑。烧结高磁导率软磁铁氧体时，采用可控氮气氛的真空电炉较为理想。总之，对不同类型的产品，应采用合适的窑炉。

对常州厂，烧结低档的 MXO-400 材料，则成功采用了四孔双轨推板煤窑。

烧结是坯件→产品的质变工序，是固相反应的过程，坯件的任何尺寸、形状、正比于产品的尺寸. 形状. 只有固相反应才能胜任。

1、固相反应过程“六个间断性”——以 ZnFe_2O_4 为例：

①表面接触期，发生在 300°C ，晶格无变化。

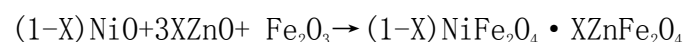
②活化期， $300\sim 400^\circ\text{C}$

③活化发展期， $400\sim 500^\circ\text{C}$

④全面扩散期， $500\sim 620^\circ\text{C}$

⑤晶体形成期， $620\sim 750^\circ\text{C}$

⑥晶体矫正期， $750\sim 1000^\circ\text{C}$



简单氧化物的混合物 复合铁氧体之复合氧化物

固相反应完成依赖于热骚动的影响，是质点发生扩散，离开它们允许的范围。随着温度升高，分上述六个过程逐步连续完成。

2、表述固相反应程度的物理量 J

表明：①固相反应的速度

②反应层的深度

$$J = \frac{[2K(T) \cdot t]}{r^2} = 2 \left\{ \frac{[K_0 \cdot e^{-H_0/kT_{\text{烧}}}] \times T_{\text{保}}}{r^2} \right\}$$

3、影响因素(解读)：

①若 $T_{\text{烧}}$ 高, $T_{\text{保}}$ 长, $r_{\text{颗粒半径}}$ 小, 固相反应速度快 $J \uparrow$ 固相反应完全。

例 Sr-Ferrite 要求 $r_{\text{颗}} = 1\sim 2 \mu\text{m}$ 小, $J \uparrow$ 反应完全。

$J \propto 1/r^2$ 粒可见：球磨的细度，对固相反应有着很重要的作用. 细度小，反应时间则短(即 $T_{\text{保}}$ 可以小)

②扩散的激活能 $H_0 = A [E_{(o)} + BV_{(o)}]$

- a. 原料的活性好 ($V_{(o)} \downarrow$ 晶格场) 有利于化学反应, $J \uparrow$
- b. 原料纯度低, 杂质多, 引起局部晶格场 $V_{(o)} \downarrow$ 发生畸变, 得利于 $J \uparrow$
- c. 加入助熔剂 CuO , 流动使晶格场畸变, 亦可使 $V_{(o)} \downarrow$ 有利于 $J \uparrow$
- d. 加入扩散剂, 也使晶格场畸变, 亦可使 $V_{(o)} \downarrow$ 有利于 $J \uparrow$

③ $T_{\text{烧}} \uparrow$ (当熔点相同) $\rightarrow J \uparrow$ ($T_{\text{烧}}$ 但要受到一定限制!)

- a. 金属离子挥发 $Zn^{+2} \uparrow$, O^{-2} 逸出 (脱氧)
- b. 影响晶粒大小和均匀程度, 当磁性开始变坏, $T_{\text{烧}}$ 就不能在增高了。

$\therefore T_{\text{烧}}$ 要受到限制。

c. 与熔点有关: $T_{\text{烧}} = (0.8 \sim 0.9) T_{\text{熔点}} = 1000 \sim 1350^{\circ}\text{C}$

d. 受设备限制。

Mg	Ni	Zn	Mn	Co	Cu	Ca	Pb	Ba
$T_{\text{烧}} = 1700^{\circ}\text{C}$	1660	1590	1570	1570	1560	1540	1530	1390

④ $T_{\text{保}} \uparrow$ — 也相当 $T_{\text{烧}} \uparrow$ — 但产量低了, 它受到的限制是相同的。

4. 烧结工艺过程的要求:

① 升温阶段 — — — 升温速度选择原则:

- a. 保证粘合剂及水分, 可以慢慢地全部挥发
- b. 必须保证固相反应六个间断性
- c. 尽可能提高升温速度, 以缩短生产周期
- d. 设备的可能性

$T^{\circ}\text{C}$

20°C 200°C 400°C 600°C

$V_{\text{升}} < 60^{\circ}/\text{时}$

$V_{\text{升}} > 200^{\circ}/\text{时}$

自由升温

即开始慢

600°C 以后

(T32)

② 保温阶段 — — — — 产品质量好坏的关键

希望保温阶段烧结温度为恒温状态, 不能波动大, 即炉内温差 ΔT 不能大,

否则产品分层开裂（热裂）。

例如，对 Ba—Ferrite 保温时，若 1240℃ 停电 1100℃ 来电 1240℃
晶粒长大形成界面 温度升高又长大结晶
这样易分层开裂，喇叭磁钢有“哑声”。

③冷却阶段——不同产品有不同的冷却方式，要求冷却速度不同。

冷却速度不同，得到产品质量也有好坏。

对 Ni-Zn Ferrite 要求快速冷，空气淬火。（对大尺寸要缓冷却速度；对小尺寸可以加快冷却速度）在不影响产品冷却断裂（熟裂），可以加快冷却速度。

常州公司 18 米隧道推板煤窑（四孔双轨 1#——3# 煤窑）

(T₃₃) 烧结曲线示意图

5、烧结氧氛的影响：

升温与降温过程实际是还原与氧化的过程。

①升温或保温过程中，气氛的选择是在空氧中烧结的。而不能在缺氧的还原气氛中烧结（否则无氧可脱）。

$\text{LogPo}_2 = A - B/T$ 即烧结温度 T 愈升高，则要求氧分压就愈大；

就需更多的 O_2 ，否则产品易分解，氧化，

烧结气氛的氧分压的 Po_2 低，即缺氧，这是还原气氛，氧气不足。

严重缺氧时， $\text{Fe}_2\text{O}_3 - [\text{O}] \rightarrow 2\text{FeO}$ ， $3\text{Fe}_2\text{O}_3 - [\text{O}] \rightarrow 2\text{Fe} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

$\text{MnO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - [\text{O}] \rightarrow \text{MnO} \cdot 2\text{FeO}$

若缺氧更甚时， $\text{MnO} \cdot 2\text{FeO}$ 还要分解，这时将有金属 Fe ， Mn 还原。

$\text{MnO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - 3[\text{O}] \rightarrow \text{MnO} + 2\text{Fe}$

$\text{MnO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 - 4[\text{O}] \rightarrow \text{Mn} + 2\text{Fe}$

Mn^{+2} 与 Fe^{+2} 的多价性，是 Mn-Zn Ferrite 合成的主要困难。

配方中，只采用 MnCO_3 而不采用不稳定的 MnO ，

Mn^{+4} 得到电子 $\rightarrow \text{Mn}^{+2}$ 高价 \rightarrow 低价是还原反应

$T_{\text{烧}} \uparrow \rightarrow \text{Po}_2 \uparrow$ 即 O_2 更需要补充，否则产品易分解而还原。

$T_{\text{烧}}$ 太高， Po_2 不足，则可部分 $\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$ 还原。

$\alpha \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{600^\circ\text{C}} \gamma \text{Fe}_2\text{O}_3 \xrightarrow{1400^\circ\text{C}} \text{Fe}_3\text{O}_4 (\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO})$

菱形体心 复式面心立方

高温时，还原为低价 Mn ， $\text{Na} + \text{Cl} = \text{Na}^{+1} \text{Cl}^{-1}$

$\gamma \text{Mn}_3\text{O}_4 - [\text{O}] = 3\text{Mn}^{+2}\text{O}$ Cl^{-1} 得到了电子还原为 -1 价，却 Cl 被还原

而 Na^{+1} 失去了电子升高了化合价，却 Na 被氧化，

②降温时， $3\text{Mn}^{+2}\text{O} + [\text{O}] \rightarrow \gamma \text{Mn}_3\text{O}_4$ 得到 O_2 而氧化。

假如有 $[\text{O}]$ 存在，能使 Mn-Zn Ferrite 氧化而分解

不同温度下，产品的分解是不同的。

高温度下，氧化更厉害，而 1050°C 最厉害。

6. 毛坯温度与产品的烧结温度。

锶-钡 Ferrite $T_{\text{毛}} > T_{\text{烧}}$ ，而且 $T_{\text{毛}} \uparrow \rightarrow T_{\text{烧}} \uparrow$

镍-锌 Ferrit $T_{\text{毛}} < T_{\text{烧}}$ ， $T_{\text{烧}} < 1200^\circ\text{C}$

锰-锌 Ferrit $T_{\text{毛}} < T_{\text{烧}}$ ， $T_{\text{烧}} \geq 1200^\circ\text{C}$

7. 防止氧化的方法：

①低 μ_0 ($\mu_0 < 1000$) 材料

加入 CuO 起助熔剂作用, 不仅使化学反应完全, 而且主要是防止氧化, CuO 在高温冷却时, 形成铜铁氧体, 在使 $\text{Cu}^{+1} \rightarrow \text{Cu}^{+2}$ 氧化, 而吸了氧气, 因而就使锰铁氧体的氧化可能性减少了。

另一解释: Cu^{+2}O 其 $T_{\text{熔}} = 1235^\circ\text{C}$ 的液态的作用, 使锰铁氧体密度提高, 使氧气不易渗入, 同时液态铜铁氧体包围了锰铁氧体的晶格, 因而减少了氧化程度。

但是①' 这种方法是不彻底的, 只能得到低 μ_0 材料。

②' 是晶格间界模糊消失, 但易磁化轴不一致, 磁化时引起应力增加—— $\mu \downarrow$ 。

②中 μ 材料 ($\mu_0 = 1000 \sim 2000$) 的 Mn-Zn Ferrite

主要采取的工艺措施:

①' 真空烧结抽走氧气。

②' 淬火法——快速冷却, 越过 1050°C , 最厉害的温度点; 可降低氧化程度。

(T_{34})

但淬火法①' 不适用大产品

②' 不易得到中 μ 材料, $\sigma \uparrow$ —— $\mu_0 \uparrow$

③' 淬火温度必须适当。

③高 $\mu_0 > 2000$ 材料

需真空烧结, 或 N_2 保护, 又较彻底防氧化, 设备复杂, 周期长, 成本高, 对生产少量优质品合适。

II. 预烧目的与作用：

铁氧体在许多场合是作为烧结体使用的。因此把粉料压成一定形状，在高温下加热以达到具有一定外形，一定机械强度和一定电磁性能的产品。这种最终的热处理通常称“烧结”。与此对应的，把原材料混合物加热来制造铁氧体粉料的热处理过程称“预烧”。一次球磨得到的是按一定比例的各种原材料的机械混合物。预烧就是将此混合物部分的或大部分的变成铁氧体。为得到符合要求的铁氧体，在烧结前还必须进行“预烧”。

1、预烧使各原材料间发生固相反应。

对硬磁，要求得到 H_c 大，则要避免出现大晶粒，这时要控制 $T_{\text{烧}}$ 低一些，但 $T_{\text{毛}}$ 也低，这使固相反应不充分，这样得不到高 H_c 材料：

反之，提高 $T_{\text{毛}} \rightarrow T_{\text{产烧}} \uparrow$ ，也得不到高 H_c 材料。

\therefore 综合考虑 $T_{\text{毛}} \uparrow$ 但 $T_{\text{产烧}} \downarrow$ ，就可以得到满意的高 H_c 材料。

\therefore 对硬磁材料是 $T_{\text{毛}} > T_{\text{产烧}}$ 。而对软磁材料是 $T_{\text{毛}} < T_{\text{产烧}}$ 。

2、预烧能改善粉料的压制性，降低收缩比，从而给模具设计带来方便，也节约模具材料。

3、预烧能减少产品的收缩和变形，容易控制产品尺寸。

4、预烧有利提高产品的性能，预烧可以消除夹杂在原材料的非金属杂质。从而避免了它们参与最终固相反应，而不影响铁氧体的电磁性能。

预烧提高了烧结密度最终提高了产品性能的均匀性。

毛坯预烧一般采用自由升温，

重要的是选择适当的预烧温度，

不同成分的铁氧体材料预烧温度是

不同的。通常 $T_{\text{毛}} \geq 900^\circ\text{C}$ 铁氧体生

成率较高，密度也快速增加。（如右图 T35）

$T_{\text{毛}}$ 的降温可以随炉冷，也可以淬火冷却。对

天线棒也可以随之采用不经预烧的一次成型

工艺来生产。

III. 烧结配套设备与温度测量

1、各种电炉：

有①K0 型箱式电炉：

序号	型号	炉膛尺寸 (长×宽×高)	电炉外形尺寸 (长×宽×高)	额定功率 (kw)	重量 (kg)	硅碳棒配置	
1	K0-16	180×60×40	420×300×305	2	22	3	8/180/110
2	K0-14	250×150×100	660×490×650	1	62	7	8/150/150
*3	K0-11	500×200×180	875×555×650	8	130	11	8/180/150
4	K0-10	600×280×230	1190×1050×1790	25	1500	12	18/300/350

*工厂选做“小样”试验炉较合适。

还有②箱式电窑 ③隧道煤气炉 ④隧道电炉 ⑤真空烧结电炉

⑥真空氮氧烧结炉 ⑦真空热压电炉

2、硅碳棒物理，化学性质与规格。

a. 线胀系数 $>5 \times 10^{-6}$ 米/度， $r = 3.12 \sim 3.18$ 。

比热 = 0.17 千卡/（公斤·度）；具有较大比电阻 $\rho = 1000 \sim 2000 (\Omega \cdot \text{mm}^2) / \text{m}$

(T36)

使用寿命与使用温度，炉内氧气有着极大的关系。

当炉温在 1400℃时，连续使用寿命在 1500 小时以上；间隙使用为 1900 小时；

当炉温在 1000℃时，连续使用寿命可达 5000 小时。

b. 化学特点：

硅碳棒是 SiC 再结晶的制品。具有良好的化学稳定性，不与酸发生作用，而在高温下碱对其有腐蚀作用。

而对水蒸气有强烈的氧化作用——电窑炉烧毛坯，硅碳棒遇水蒸气就易老化。



c. 规格

(T37)

序号	发热体尺寸 m/m		冷端尺寸 m/m		棒长 L	1400℃电阻 $R \pm 10\%$	相应炉温每支硅碳棒的功率			
	d	l	D	l_0			1200℃	1300℃	1350℃	1400℃
4	8	100	14	85	270	2.4	530	350	250	70
		180		150						
31	18	250	28	350	950	1.3	2960	1970	1400	840
32	18	300	28	350	1000	1.7	3570	2380	1700	1020
44	25	400	38	400	1200	1.8	6600	4400	3140	1900

常用规格是 8/180/150。18/250/250，18/300/250，25/400/400。

使用方法（搭配不好）不对，使硅碳棒老化加速。

3. K0-11 电炉的自动控温装置实例 (T38)

- ①正常工作时, K_1 、 K_2 、 $K_{\text{接}}$ 、 $K_{\text{中}}$ 全部合闸, 接通电源
- ② $t_c^0 \uparrow$ -WXD-101 工作 自动跳开 $V_{11-12}=0$ W_{ϕ} 无电则 K_{ϕ} 断开
 $W_{\text{接}}$ 不通, 则 $K_{\text{接}}$ 断开, 电炉停止加热
- ③ $t_c^0 \downarrow$ -XWD-101 自动合闸, $W_{\text{中}}$ 有电, $K_{\text{中}}$ 合闸, 电炉加热升温
- ④如此循环, 达到自动控温

4. 温度测量：

①观察火光颜色

t℃ 500℃, 700℃, 800℃, 900℃, 1000℃, 1200℃, 1300℃, 1500℃

颜色 暗红, 纯红, 血红, 红, 橙红, 辉红, 红黄, 辉白

②用光学高温计测量——观察炉内氧体与坯体平均温度。

十一

灯丝温度比被测物体温度高，即指示偏高（比炉内产品温度高）

③用陶瓷三角锥测量——观察的坯件真实温度。

116[#]-1160℃

114[#]-1140℃

112[#]-1120℃

(T39)

注意观察三角锥软化倒锥情况。 《从上图可见坯件的真实温度为 1150℃~1140℃》

④用热电偶测量——炉内氧体与坯件平均温度。

5. 耐火材料与节能材料（略）

E. 产品检测:

MX0—400K 中波磁棒有国家标准, 即部标, 用户可以按部标验收进厂。

还有企业标准, 即厂标。生产企业为了使自己生产的产品能满足达到国家标准。企业通常有内部掌握的标准, 从严要求。另一原因, 是有些产品没有部标。工厂只好根据客户要求结合标准或靠近的产品标准作参考, 暂定一个厂标。另有特殊要求的可以根据双方商定的标准, 进行生产, 验收。

1、善于标准样棒的选用, 制作:

国家标准(部标)过去为电子工业部, 现为信息产业部标准化所, 代表国家制订, 实际是标准化所牵头, 由国家知名厂家, 院校, 研究所的专家学者集体制订。从有代表性的厂家, 研究所选送温度系数小, 频率稳定性好的一批“准样棒”进标准化所存放处理(对温度, 频率, 时效处理), 按略高于标准制出“正式样棒”——各工厂可以仿制出第二代“标准样棒”作生产一线测试对比用。买来的第一代“标准样棒”工厂技术部门妥善保管。它们作为“母棒”, 可以继续仿制第三代, 第四代一线生产用的样棒。以代替补充生产中损坏的样棒。

2、实际生产时, 对“开路”产品——磁力线不封闭或不形成闭路的一类产品。

a. 如天线磁芯可由表观品质因数 Q_{app} , 表观导磁率 μ_{app} , 来定性测量。常州厂实际是按厂标表 1-5 (参见附录六) 作产品放行标准。

由 Q_{app} , μ_{app} 标准, 通过高频 Q 表, 按下列步骤测出 $Q_{\text{产}}$, $C_{\text{产}}$, $L_{\text{产}}$ 与空心线圈的 Q_0 , C_0 , L_0 进行比对 (也可以借助样棒进行比对)。

①加云母电容 1000pf, 测出空心线圈 Q_0 , C_0 , L_0 ;

查出对应产品标准 Q_{app} , $\mu_{app} \rightarrow$ 计算出相应的 Q_x , C_x , L_x (直读) 这便是标准值 $Q_{\text{标}}$, $C_{\text{标}}$, $L_{\text{标}}$

$C_x \leq (C_0 + 1000) / \mu_{app}$ 即有对应的 L_x (这里 μ_{app} 已处理, Q 表相应挡直读出 L_x 值)

$$Q_x = Q_0 \cdot Q_{app}$$

②除掉外加云母电容, 空心线圈插入相应的要测的产品, 可得到 $Q_{\text{产}}$, $C_{\text{产}}$, $L_{\text{产}}$ 这样抽测

的产品 $C_{\text{产}} < C_{\text{标}}$, 即 ① $L_{\text{产}} > L_0 = L_{\text{标}}$ ② $Q_{\text{产}} > Q_x = Q_{\text{标}} = Q_0 \cdot Q_{app}$ 只要满足上式①②项, 则可明显判定该产品为合格产品。

如果测试结果不明显, 则可借助样棒的 $Q_{\text{样}}$, $C_{\text{样}}$, $L_{\text{样}}$ 进行对比。

③Q 表如何测出 Q_0 , C_0 , $Q_{\text{产}}$, $C_{\text{产}}$, $L_{\text{产}}$

步骤: ①' 调正机械零位。

②' 开机预热 30 分钟, 才可测试! 以免“0”位不稳!

③' 选定测试频率 $f=1.6\text{MHz}$ 及 Q 表测试挡位（量程）。

L 档 $0.1-1\text{mh}$

即 $=100-1000\mu\text{h}$

1-10 格

若为 1.7 格，即可读 $170\mu\text{h}$

④' 调整微调 $C_0 \rightarrow 0$

⑤' 测 Q_0 时， L_x 两端 A，B 短接调“0”位。

①新购仪器检查，用标准电感校准。

②预置合格指示，超过标准亮红灯警示

③ ΔQ 功能使用。

(T40)

⑥' 加云母电容 1000pf ，测出空心线圈的 Q_0 ， C_0 ， L_0

⑦' 除去外加云母电容，插入欲测产品到空心线圈，

转动 C_1 可测出 $Q_{\text{样}}$ ， $C_{\text{样}}$ ， $L_{\text{样}}$ ，

⑧' 需要借助样棒 $Q_{\text{样}}$ ， $L_{\text{样}}$ 可加样棒测试。

对测出的数据，有不正常情况，值得推敲，应判定“误测”或重测！

b、环形磁芯是闭路磁芯，其磁性能即为相应的材料磁性能标准来检测，

可通过 LCCG-1 电感测试仪，对标准磁环 $\Phi 18 \times 8 \times 5$ 测出电感 L 从而算出 μ_0 。

C、柱形磁芯：短，矮的，磁力线近似封闭的一类柱形磁芯。同样可通过电感测试仪，在柱形磁芯上直接绕上线圈，测出电感，或加上线圈套测。测试标准很难有部标厂标。常以用户要求，双方商定一个“厂标”，以备用户验收。

3. 测试仪器

- | | |
|-----------------|----------------------------------|
| ①高频 Q 表, QBG-3B | 测开路磁芯的 Q 值, L 值 |
| ②Th2773 型电感测试仪 | 测闭路磁芯 (近似闭路柱形磁芯) L 值, 算出 μ_0 |

4. 测试骨架

- a. 测试线圈在 Q 表位置图 (T41)
- b. Q 表顶端四个插座位置孔距图 (T42)
- c. 骨架底板图 (有机玻璃) (T43)

- d. 测试骨架接线柱图 (黄铜) (T44)

㊦ 圆形产品测试骨架尺寸系列

No	天线园棒	骨架尺寸	测试线圈参数
1	Y10	(T45)	(股数×线径×匝数) 1×0.31×27
2	Y8	(T46)	1×0.31×33
3	Y6	(T47)	1×0.31×
No 1~3	测试条件	1、测量仪器: BG-3B 高频 Q 表 2、测试频率: f=1.6MC	制作材料: 有机玻璃棒

② 扁形产品测试骨架尺寸系列:

A、扁形产品骨架尺寸:

No	适用产品规格	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	图号
1	B3×8				23 ^{±0.1}	5	9 ^{±0.1}	9 _{-0.1}					T48
2	B4×12				23 ^{±0.1}	5		9 _{-0.1}					T49
3	B4.5×20				24 ^{±0.1}	5							T50
4													

B. 扁形骨架系列测试条件

No	产品规格	测试仪器	测试频率	测试线圈参数	制作材料	图号
1	B3 × 8	TH2773A 型 电感测量仪	f=1KHZ	1×0.31×26	有机玻璃板 δ=4-5m/m	T48
2	B4 × 12			1×0.31×26		T49
3	B4.5×20			1×0.31×24		T50
4						

③. 扁形产品测试骨架尺寸系列:

A、扁形产品骨架尺寸:

No	适用产品规格	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	图号
1	B5×13				24 ^{±0.1}	5							T52
2	B5×15				24 ^{±0.1}	5							T53
3	B4.5×15				24 ^{±0.1}	5							T54
4	B5×17				24 ^{±0.1}	5							T55

B. 扁形骨架系列测试条件 3

No	产品规格	测试仪器	测试频率	测试线圈	制作材料	图号
1	B5×13	TH2773A 型 电感测量仪	f=1KHZ	1×0.31×26	有机玻璃板 δ=5%	T52
2	B5×15			1×0.31×26		T53
3	B4.5×15			1×0.31×26		T54
4	B5×17			1×0.31×24		T55

B、试 验 报 告

试验编号 No:

试验日期: 年 月 日

试验目的			产品性能标准			产品性能抽测结果	结 论			
			(1)	$Q_0=$	$Q_{\text{标}}=Q_{\text{app}}Q_0=$	$Q_{\text{产}}=$	(1) 性能达标: ① $Q_{\text{产}}>Q_{\text{标}}$ ② $C_{\text{产}}<C_{\text{标}}$ ③ $L_{\text{产}}>L_0$	(2) 尺寸误差	(3) 强度	(4) 表观
试样 NO	配方与工艺特点	产品规格与尺寸误差	(2)	$C_0=$	$C_{\text{标}}=\frac{1000+C_0}{\mu_{\text{app}}} =$	$C_{\text{产}}=$				
			(3)	$L_0=$	$L_0=$	$L_{\text{产}}=$				
1	(1) 配方成份变化	Y10×80								
2		(2)工艺特点:	B5×13×55							
说 明						建议与下步做法				

抄报:

抄送:

主管:

报告人:

报告日期:

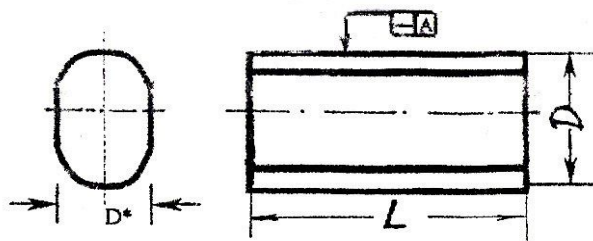
C₁ 产 品 规 格 书

样品收到日期:

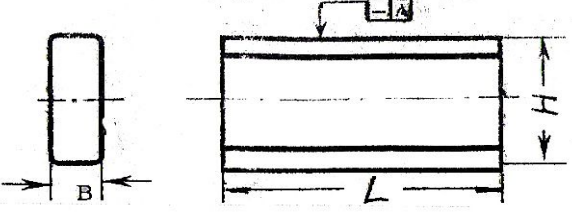
检测日期:

材料	锰锌铁氧体 MXO-400 ， $\mu_i=400\pm 20\%$			品 种	规 格
				电磁炉磁条	B5×15×60
				弦长 L	$\overline{CD}=59^{+0.10}_{-0.50}$
				宽度 H	$15^{+0.40}_{-0.30}$
				厚度 B	$15^{+0.10}_{-0.50}$
测试条件	测量仪器：TH2773 电感测量仪			测试骨架	B5×15 骨架
	骨架线圈参数：单股导线单层密绕			1×0.31×26	
	测试频率：f=1 KHZ				
抽测项目 抽检 产品序号	尺 寸 与 外 形				电感量要求值 $L=48^{+2}(\mu h)$
	弦长 L	宽度 H	厚度 B	弯 曲 度	
				R ₁ R ₂	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
抽检结果				检验员	
				主 管	

C₂ 产 品 规 格 书

材料	锰锌 MX0-400 $\mu_i=400\pm 20\%$			品 种	规 格
				圆棒	Y10×
				D	10 ± 0.3
				L	
				D*	9 ± 0.3
				A	≤ 0.8
测试条件	测量仪器：高频 QBG-3B		测试骨架		Y10 系列骨架
	骨架线圈参数：		单股导线单层密绕		$1\times 0.31\times 27$ （匝）
	测试频率：		$f=1.6\text{ MHz}$		
抽测项目 抽检 产品序号	品质因数		电感量		
	Q=		L= (μh)		
	直径 D	长度 L			
1			不直度 $A\leq 0.8$ D*为刀口直径 参考值 D*=9	Q_i	$L_i\text{ (}\mu\text{h)}$
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
抽检结果				检验员	
				主 管	

C₃ 产 品 规 格 书

材料	锰锌 MX0-400 $\mu i=400 \pm 20\%$			品 种		规 格	
				扁棒		B5×13×	
				B			
				L			
				H			
				A		≤0.6	
测试条件	测量仪器：高频 QBG-3B		测试骨架		B5×13 系列骨架		
	骨架线圈参数：		单股导线单层密饶		1×0.31×26（匝）		
	测试频率：		f=1.6 MHZ				
抽测项目 抽检 产品序号	品质因数			电感量			
	Q=			L= (μh)			
	L	H	B	不直度≤0.6	Q _i	L _i (μh)	
No:1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
抽检结果				检验员			
				主 管			

D 检测报告（实例）——

常州 XX 厂 MOX-400 天线磁棒与电感磁芯检测报告

我公司锰锌 MXO-400 材料制成的天线磁棒与电感磁芯产品是锰锌铁氧体导磁率偏低的一类软磁铁氧体，它广泛使用家电、通讯、电子机械行业等，是一种很有前途的行业，随着电子工业的快速发展，作为不可替代的无线电材料之一——铁氧体软磁天线与电感磁芯，使用前景更加看好。

我公司为保证生产的产品符合国家标准（信息产业部部标），还建立了更严格的企业标准（厂标）与质量监控系统，对生产过程进行质量管理，即对原材料入库、半成品、成品等各工艺过程的质量的监控。

（一）原材料入库化验与产品主要成分的检测

	主要成份名称与化学式	主成分含量与杂质含量	入库时间、产地、批次、单价、存放位号、化验时间
1	氧化铁红 Fe_2O_3	$\approx 98\%$, $\text{Fe} > 67\%$, Mn、S、盐酸不溶物 < 允许值	<p>我公司化验室对各地供方铁红或铁令进行主成分化验，即 Fe_2O_3 含量与金属 Fe 含量、杂质含量。要求主成分达到标准值，有害杂质含量不超过允许值。</p> <p>常州地处“长三角”是中国工业发达地区，这里工厂林立，地域经济合作方便，有利于某些化验项目合作，尤其我公司与“南京大学现代分析中心”长期开展合作，对不同批次入库的主要原材料进行抽检（南大给出化验报告）。</p>
2	碳酸锰 MnCO_3	含 Mn > 43%	
3	氧化锌 ZnO	> 97%	
4	*碳酸钙 CaCO_3	> 95%	
5	*氧化镁 MgO	> 92%	
6	*高岭土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	*附加成分	

（二）半成品（坯件）检测

1	<p>设置了专门的工艺人员与工序质检人员对众多的半成品（坯件）尺寸，按客户要求进行检测，如产品不允许出现正公差（配合尺寸），我们在这方面特别注意，在大生产烧结之前进行试烧，得到符合要求的负公差尺寸的产品，坯件即可投入大生产烧结，否则需调整压型参数（压力或压制尺寸）。工艺人员设定压制工艺、毛坯烧结工艺，工序检测人员严格执行监控。模具收缩比由工艺人员设定。这样可以容易得到客户要求的产品外型尺寸的一致性。</p>
2	<p>对半成品浆料或粉料进行 ICP 分析、荧光分析或电子光谱扫描分析，是我公司产品质控的特设检测项目，由“南京大学现代分析中心”协作完成，对部分已形成铁氧体的晶体及其余部分的主成分及杂质，验证配方是否偏离，是否有工艺过程或人为因素引入的杂质（金属 Fe^0 含量多少、SiO_2、C 等）或二次加杂成分偏离。以得到合格的坯料（坯件）。</p>
3	<p>工序检测按工艺流程设工序检验人员进行球磨、毛坯烧结、造粒、半成品压制、喷漆、包装进行全工序监控。</p>

（三）产品检测（A、性能检测；B、外观、尺寸检测）

检测产品名称	检测产品规格	测试条件			技术标准	
		测试仪器	测试频率	测试线圈	部标 (原电子工业部)	厂标
天线磁棒	Y10 系列产品	QBG-3B 高频 Q 表	1. 6MHZ	1×0. 31×27	SJ856-74	企业标准
	Y8 系列产品			1×0. 31×33		
	B5 系列产品			1×0. 31×26		
	其他非标系列产品	由客户提出，并由双方（主要是供方）认可的标准。				
电感磁芯	Y8、Y6、Y4、Y17	TH2773A 型 电感测量仪	1 MHZ	由双方敲定	由双方敲定	

各系列产品在包装前进行外观分检（尺寸超差、缺角、弯曲（不直度不符合要求）及强度不好等次品检验出来）

常州 XX 电子有限公司

年 月 日

附录二

有关常用元素与磁性氧化物

附 2-1

原子序数	名称符号	原子量 外层电子壳层	原子序数	名称符号	原子量 外层电子壳层	氧化物名称	分子量 化学式 M	氧化物名称	分子量 化学式 M
26.	铁 Fe	A=55.84 3d ⁶ 4S ²	8.	氧 O	A=15.999 2S ² 2P ⁴	氧化铁 Fe ₂ O ₃	161.68	氧化镁 MgO	34.3
25.	锰 Mn	A=54.93 3d ⁵ 4S ²	6.	碳 C	A=12.01 2S ² 2P ²	氧化亚铁 FeO	72.58	氧化钙 CaO	56.08
30.	锌 Zn	A=65.38 3d ¹⁰ 4S ²	14.	硅 Si	A=28.08 3S ² 3P ²	四氧化三铁 Fe ₃ O ₄	234.52	碳酸钙 CaCO ₃	100.08
28.	镍 Ni	A=58.7 3d ⁸ 4S ²	13.	铝 Al	A=26.98 3S ² 3P ¹	碳酸锰 MnCO ₃	114.93	氧化铜 CuO	79.54
27.	钴 Co	A=58.93 3d ⁷ 4S ²	3.	锂 Li	A=6.94 2S ¹	二氧化锰 MnO ₂	86.93	氧化亚铜 Cu ₂ O	143.08
29.	铜 Cu	A=63.54 3d ¹⁰ 4S ¹	12.	镁 Mg	A=24.3 3S ²	氧化锰 MnO	70.93	五氧化二钒 V ₂ O ₅	181.88
20.	钙 Ca	A=40.08 4S ²	57-71	(La-Lu) 镧系(稀土)元素		氧化锌 ZnO	81.4	高岭土 Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	
38.	锶 Sr	A=87.62 5S ²	22.	钛 Ti	A=47.9 3d ² 4S ²	氧化镍 NiO	74.7	氧化钴 CoO	74.93
56.	钡 Ba	A=137.33 6S ²	23.	钒 V	A=50.94 3d ³ 4S ²	氧化锂 LiO	22.94	氧化钛 TiO ₂	79.7

附录三

磁 学 单 位 换 算 表

附 3-1

	磁 学 量	M K S A 单 位	C G S 单 位	换 算 比	示 例
1	磁 通 量 Φ	韦伯 (Wb)	麦克斯韦 (MX)	10 ⁸	1 MX =10 ⁸ (Wb)
2	磁 密 B	T 韦伯/米 ² (特斯拉)	高斯 (Gs)	10 ⁴	1 Gs =10 ⁴ 韦伯/米 ²
3	磁场强度 H	安/米	高斯 (Gs)	4 π ×10 ⁻³	1 0e =4 π ×10 ⁻³ 安/米
4	磁极化强度 J	韦伯/米 ²	奥 • 厘米	10 ⁴ /4 π	190mT=190×10 ⁻³ ×10 ⁴ =1900Gs
5	磁化强度 M	安/米	1	10 ⁻³	1 Gs =10 ⁻³ 安/米
6	磁 势 Hl	安匝 (IW)	尔格/厘米 ³	4 π ×10 ⁻¹	
7	真空导磁率 μ ₀	4×10 ⁻⁷ =0. 4 π ×10 ⁻⁸	高斯 • 奥	10 ⁷ /4 π	
8	磁致伸缩 λ 磁各向异性 K	焦尔/米 ³		10	
9	磁 能 积 (BH) _M	韦伯 • 安/米 ³ (特斯拉 • 安/米)		4 π ×10	
例：德国 “V _{DO} ” co 某一产品 Φ 10 ^{+0.05} ×7. 15 ^{+0.3} ×3. 6 ^{+0.1} MKSA 制 (BH) _{MAX} =6. 5 KJ/m ³ ； Br=190mT, B _H C=125KA/m 换算为 CGS 制 6. 5×10 ³ ×4 π ×10 Br=190×10 ⁻³ ×10 ⁴ =125×10 ³ ×4 π ×10 ⁻³ =0. 81×10 ⁶ Gs • 0e =1900Gs =12560e					

附录四：

半成品工艺流程参数表

附 4-1

产品规格 (磁芯)	模具尺寸		压制半成品工艺				烧结、包装工艺			
	直径 (mm)	长度 (mm)	压力 (kg/cm ²)	模具 极限 (mm)	支数 (g/pos)	支数 (pos/kg)	长度 范围 (mm)	支数 (pos/kg)	支数 (pos/钵)	支数 (pos/箱)
Φ3×10	Φ3.4	11.4~11.5			0.33	3030	3~10			
4×10	Φ4.55	11.4~11.5			0.56	1785	4~10			
4×15	Φ4.55	17.0~17.2			0.85	1176	4~15			
4×20	Φ4.55	25.7~25.9			1.8	555	4~20			
5×25	Φ5.6	28.7~29.0			2.2	454	5~25			
6×15	Φ6.8	16.8~17.1			1.8	555	6~15		236	10000
6×16	Φ6.8	18.2~18.4			2	500	6~16		216	10000
6×17	Φ6.8	19.3~19.5			2.2	454	6~17			
6×18.5	Φ6.8	21.2~21.4			2.3	434	6~18.5			5000
6×20	Φ6.8	25.8~26.0			2.5	400	6~20		160	5000
6×25	Φ6.8	28.8~29.0			3.2	312	6~25		130	5000
6.2×16.8	Φ7.1	19.2~19.4			2.3	434	6.2~16.8		180	5000
7.2×14.5	Φ8.37	16.5~16.7			2.66	375	7.2~14.5		180	5000
7.2×29	Φ8.37	33.2~33.4			5.3	188	7.2~29		86	5000
7.6×19	Φ8.6	21.7~21.9			3.9	256	7.6~19		138	5000
7.8×21	Φ9	23.8~24.0			5.0	200	7.6~2		112	5000
7.8×28	Φ9.1	32.8~33.0			6.7	149	7.8~29		92	5000
8×16	Φ9.3	18.3~18.5			3.7	270	8~16			5000
8×17	Φ9.3	19.4~19.6			4.0	250	8~17		168	5000
8×18.5	Φ9.1	21.2~21.4			4.2	238	8~18		130	5000
8×18.5	Φ9.3	21.3~21.5			4.4	227	8~18.5		130	5000
8×22	Φ9.3	25.3~25.5			5.3	188	8~22		110	5000
8×25	Φ9.3	28.6~28.8			5.9	169	8~25		98	5000
8.5×17	Φ9.7	19.5~19.7			4.5	222	8.5~17			5000
10×20	Φ11.4	22.9~23.1			7.4	135	10~20		99	5000
10×25	Φ11.4	28.8~29.0			9.2	108	10~25		92	5000

产品规格 (圆棒)	模 具 尺 寸		压 制 半 成 品 工 艺					烧 结 、 包 装 工 艺			
	长 (mm)	直径 (mm)	尺寸 范围 (mm)	压力 (kg/cm)	模具 极限 (mm)	支数 (g/pos)	支数 (pos/kg)	长度 范围 (mm)	支数 (pos/kg)	支数 (pos/钵)	支数 (pos/箱)
4.5×28	31.9	4.3	5.0~5.2	25	4.5	2.05	490	28±0.4	500	138	2000
4.5×30	34.2	4.3	5.0~5.2	25	4.5	2.2	454	30±0.4	467		2000
4.5×35	39.9	4.3	5.0~5.2	30	4.5	2.6	392	35±0.5	400		2000
4.5×40	45.6	4.3	5.0~5.2	35	4.5	2.9	345	40±0.6	350	144	2000
4.5×44	50.2	4.3	5.0~5.2	40	4.5	3.2	312	44±0.6	318	125	2000
5×38	43.2	4.9	5.5~5.7	35	5.1	3.4	292	38±0.5	298	129	2000
5×40	45.5	4.9	5.5~5.7	40	5.1	3.6	278	40±0.6	286	120	2000
6×30	34.35	5.9	6.7~6.9	35	6.1	3.9	256	30±0.5	263	140	2000
6×39	44.9	5.9	6.7~6.9	40	6.1	5.1	196	39±0.6	201	108	2000
6×40	45.5	5.9	6.7~6.9	40	6.1	5.2	192	40±0.6	196		2000
6×50	57.5	5.9	6.7~6.9	50	6.1	6.5	154	50±0.8	157	78	2000
6×59	67.8	5.9	6.7~6.9	60	6.1	7.7	130	59±0.8	133	61	1000
6×65	75	5.9	6.7~6.9	65	6.1	8.5	118	65±0.8	121	58	1000
7×46	52.4	6.9	7.8~8.0	50	7.1	8.2	122	46±0.8	125		1000
8×39						9.0	111				
8×40	45.5	7.9	9.0~9.2	45	8.1	9.3	107	40±0.5	110	80	1000
8×43	51.7	7.9									
8×48	55.5	7.9	9.0~9.2	55	8.1	11.2	89	48±0.6	92		1000
8×50	57.5	7.9	9.0~9.2	55	8.1	11.6	87	50±0.6	88	62	1000
8×55	63.3	7.9	9.0~9.2	60	8.1	12.8	78	55±0.6	80	56	500
8×60	69.3	7.9	9.0~9.2	65	8.1	14	71	60±0.6	73	47	500
8×65	75.4	7.9	9.0~9.2	70	8.1	15.1	66	65±0.7	68	45	500
8×70	81.2	7.9	9.0~9.2	75	8.1	16.4	61	70±0.8	63	42	500
8×75	86.5	7.9									
8×80	92.8	7.9	9.0~9.2	85	8.1	18.7	53	80±0.8	55	36	500
8×85	99	7.9	9.0~9.2	90	8.1	19.9	50	85±1.0	52	34	500
8×100	116	7.9	9.0~9.2	90	8.1	23.5	42	100±1.2	44	28	500
9.7×32	36.6	10	10.9~11.1	50	10.15	10.8	92	32±0.4	94		
10×19	21.8	10	11.4~11.6	30	10.2	6.9	145	19±0.4	149	122	2000
10×20	22.9	10	11.4~11.6	35	10.2	7.2	139	20±0.5	141	99	2000
10×25	28.7	10	11.4~11.6	40	10.2	9.1	109	25±0.6	113	92	2000
10×27	31.6	10	11.4~11.6	40	10.2	9.8	102	27±0.6	104	88	2000
10×30	34.35	10	11.4~11.6	45	10.2	10.9	92	30±0.6	94	85	2000
10×40	46	10	11.4~11.6	50	10.25	14.6	68	40±0.6	71	59	1000
10×45	52.2	10	11.4~11.6	55	10.25	16.4	61	45±0.6	63		1000
10×50	57.5	10	11.4~11.6	60	10.25	18.2	55	50±0.8	56	44	1000

[illegible]

产品规格 (扁棒)	模具尺寸		压制半成品工艺					烧结、包装工艺			
	长 (mm)	直径 (mm)	尺寸范围 (mm)	压力 (kg/cm)	模具 极限 (mm)	支数 (g/pos)	支数 (pos/kg)	长度范围 (mm)	支数 (pos/kg)	支数 (pos/钵)	支数 (pos/箱)
2×8×40	46	8.59	2.0~2.2	70	9.15	3.1	320	40±0.6	340	314	2000
2×8×49	55.9	8.59	2.0~2.2	80	9.15	3.7	270	49±0.6	285	256	2000
2×8×50	57.5	8.59	2.0~2.2	80	9.15	3.8	265	50±0.8	278	244	2000
2.5×6×46	52.4	6.7	2.6~2.8	70	6.9	3.2	312	46±0.7	322	206	3000
3×7×30	34.35	7.9	3.3~3.5	40	8.1	2.9	345	30±0.4	353	266	2000
3×7×32	36.7	7.9	3.3~3.5	40	8.1	3.1	320	32±0.5	340	228	2000
3×7×40	46	7.9	3.3~3.5	50	8.1	3.9	256	40±0.6	265	196	2000
3×8×28	32.1	8.59	3.3~3.5	30	9.15	3.05	325	28±0.4	333	288	2000
3×8×30	34.5	8.59	3.3~3.5	30	9.15	3.35	300	30±0.4	308	252	2000
3×8×35	40.6	8.59	3.3~3.5	40	9.15	3.8	258	35±0.5	265	225	2000
3×8×40	46	8.59	3.3~3.5	50	9.15	4.5	222	40±0.6	231	188	2000
3×8×45	51.7	8.59	3.3~3.5	60	9.15	5.0	200	45±0.8	206	176	2000
3×8×50	51.5	8.59	3.3~3.5	70	9.15	5.6	178	50±0.8	185	156	2000
2.7×7.8×40	46	8.8	2.9~3.1	50	9.0	3.9	256	40±0.6	263	218	2000
4×7×40	46	7.9	4.4~4.6	55	8.1	5.1	196	40±0.6	198	148	2000
4×7×50	57.5	7.9	4.4~4.6	60	8.1	6.5	158	50±0.8	160	118	2000
4×7×60	69.3	7.9	4.4~4.6	65	8.1	7.8	128	60v0.8	132	90	1000
4×7×80	92.4	7.9	4.4~4.6	75	8.1	10.4	96	80±1.0	99	70	1000
4×85	98.2	7.9	4.4~4.6	80	8.1	11.0	91	85±1.2	93	66	1000
4×8×30	34.5	8.59	4.4~4.6	40	9.15	4.4	227	30±0.4	231	194	2000
4×8×35	40.4	8.59	4.4~4.6	45	9.15	5.2	192	35±0.5	198	160	2000
4×8×38	43.7	8.59	4.4~4.6	50	9.15	5.6	178	38±0.6	183	158	2000
4×8×40	46	8.59	4.4~4.6	50	9.15	5.9	169	40±0.6	174	146	2000

产品规格 (扁棒)	模具尺寸		压 制 半 成 品 工 艺					烧 结 、 包 装 工 艺			
	长 (mm)	直径 (mm)	尺寸 范围 (mm)	压力 (kg/cm)	模具 极限 (mm)	支数 (g/pos)	支数 (pos/kg)	长度范围 (mm)	支数 (pos/kg)	支数 (pos/钵)	支数 (pos/箱)
4×8×45	51.7	8.59	4.4~4.6	60	9.15	6.7	149	45±0.8	154	132	2000
4×8×50	57.5	8.59	4.4~4.6	70	9.15	7.4	135	50±0.8	139	122	2000
4×8×65	74.8	8.59	4.4~4.6	75	9.15	9.6	104	65±0.8	107	92	1000
4×8×70	81.0	8.59	4.4~4.6	75	9.15	10.4	96	70±0.8	99	82	1000
4×8×80	92.8	8.59	4.4~4.6	80	9.15	11.9	84	80±1.0	87	64	1000
4×8×100	115.8	9*5	4.4~4.6	90	9.15	14.9	67	100±1.2	69	54	1000
4×7.5×100	115.5	8.36	4.4~4.6	90	9.15	13.9	72	100±1.2	74	54	1000
4×10×39	44.5	11.2	4.4~4.6	65	11.4	7.0	142	39±0.6	146	156	2000
4×10×45	52.0	11.2	4.4~4.6	75	11.4	8.3	120	45±0.6	123	140	2000
4×10×50	57.6	11.2	4.4~4.6	80	11.4	9.2	108	50±0.8	111	126	2000
4×12×50	57.5	13.6	4.4~4.6	90	13.85	11.0	91	50±0.8	94	122	1000
5×7.5×100	115.5	8.36	5.5~5.7	100	8.56	17.4	57	100±0.2	59	42	1000
5×8×50	57.5	8.95	5.5~5.7	70	9.15	9.2	108	50±0.8	111	96	1000
5×8×100	115.8	8.95	5.5~5.7	100	9.15	18.5	54	100±1.2	56	42	1000
5×11×25	28.4	12.4	5.5~5.7	40	12.6	6.3	159	50±0.4	161		
5×13×45	52.0	14.75	5.5~5.7	80	14.95	13.6	73	45±0.6	76	102	1000
5×13×55	63.8	14.75	5.5~5.7	100	14.95	16.7	60	55±0.8	62	88	1000
5×13×70	80.8	14.75	5.5~5.7	75	14.95	21.1	47	70±1.0	49	66	1000
5×13×80	92.8	14.75	5.5~5.7	80	14.95	24.2	41	80±1.2	43		
5×13×85	98.6	14.75	5.5~5.7	85	14.95	25.7	39	85±1.2	40	55	500
5×13×100	115	14.75	5.5~5.7	95	14.95	30.3	33	100±1.5	34	44	500
5×14.5×60	68.8	16.3	5.5~5.7	105	16.5	20.3	49	60±0.8	51		
5×15×40	46	17.2	5.5~5.7	90	17.45	13.8	72	40±0.6	74	111	1000
5×15×50	57.5	17.2	5.5~5.7	100	17.45	17.4	57	50±0.6	59	92	1000
5×15×60	70.2	17.2	5.5~5.7	110	17.45	21	47	60±0.8	49	70	1000

附录五：

附 5-1

1. 中波天线磁芯

A. 园形天线磁芯

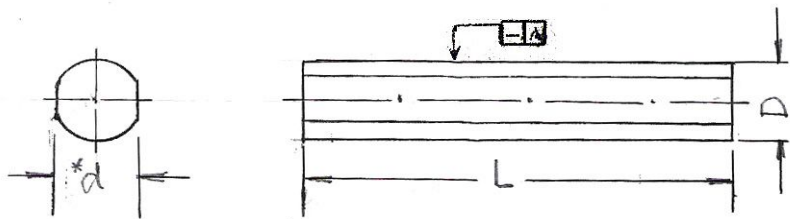
(1) 用途：作各类收音机、扩大机之接收天线用，
亦可作有缝钢管的高频焊接用。

(2) 材料：MX0~400

(3) 使用频率： $f_r=500kc\sim 1.6Mc$

(4) 产品标志：中波天线磁芯 MX0-400 Y10×140_{-1.6}

(5)外形尺寸：



(6) 园形天线磁芯尺寸系列：

序号	型号	L	D	*d	技术标准			测试条件
					$Q_{app}=Q/Q_o$	$\mu_{app}=L/L_o$	$\beta \times 10^2$	do×W
1	Y8×100	8±0.3	100±1.8	7	≥1.80	≥10.0	≤0.100	0.31×33
2	×110	8±0.3	110±2.0	7	≥1.75	≥10.5	≤0.105	”
3	×120	8±0.3	120±2.1	7	≥1.70	≥11.0	≤0.110	”
4	Y10×60	10±0.4	60±1.5	9	≥1.90	≥5.0	”	0.31×27
5	×70	”	70±1.6	”	≥1.80	≥6.0	”	”
6	×90	”	90±1.7	”	≥1.75	≥6.5	”	”
7	×100	”	100±1.8	”	≥1.70	≥7.0	≤0.100	”
8	×120	”	120±2.1	”	≥1.60	≥8.0	≤0.110	”
9	×140	”	140±2.4	”	≥1.50	≥9.0	≤0.12	”
10	×160	”	160±2.7	”	≥1.40	≥10.0	≤0.13	”

注：1. 不直度 $A\leq 0.8\%L$ 2. 测试频率 $f=1.6MC$

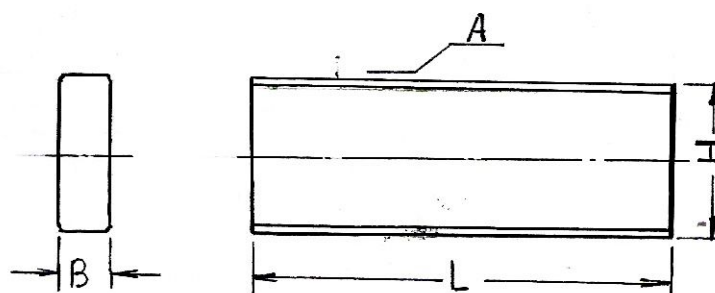
B. 扁形天线磁芯:

(1) 用途: 作各类收音机之接收天线用。

(2) 材料: MX0-400

(3) 使用频率: $f_r=500\text{KC}\sim 1.6\text{MC}$ (4) 产品标志: 中波天线磁芯 MX0-400 $B5\times 13\times 55_{-1.6}$

(5) 外形尺寸:



(6) 扁形天线磁芯尺寸系列:

No	型 号	尺 寸			技术标准			测试条件
		B	H	L	$Q_{app}=Q/Q_o$	$\mu_{app}=L/L_o$	$\beta \times 10^2$	$d_o \times W$
1	B4×12×50	4 ± 0.25	12 ± 0.3	50 ± 1.0	≥ 2.1	≥ 5.5	≤ 0.080	$0.31\times$
2	B5×13×55	5 ± 0.3	13 ± 0.4	55 ± 1.0	≥ 2.2	≥ 6.0	≤ 0.080	0.31×26
3	B5×13×70	”	13 ± 0.4	70 ± 1.2	≥ 2.1	≥ 6.5	≤ 0.090	”
4	B5×13×85	”	13 ± 0.4	85 ± 1.6	≥ 2.0	≥ 7.0	≤ 0.095	”
5	B5×13×100	”	13 ± 0.4	100 ± 1.8	≥ 2.0	≥ 7.0	≤ 0.100	”
6	B5×16×100	”	16 ± 0.5	100 ± 1.8	≥ 2.0	≥ 7.0	≤ 0.100	0.31×24
7	B5×16×120	”	16 ± 0.5	120 ± 2.1	≥ 1.8	≥ 8.0	≤ 0.110	”
注: 1. 不直度 $A\leq 0.8\%L$ 2. 测试频率 $f=1.6\text{MC}$								

2. 低频磁环:

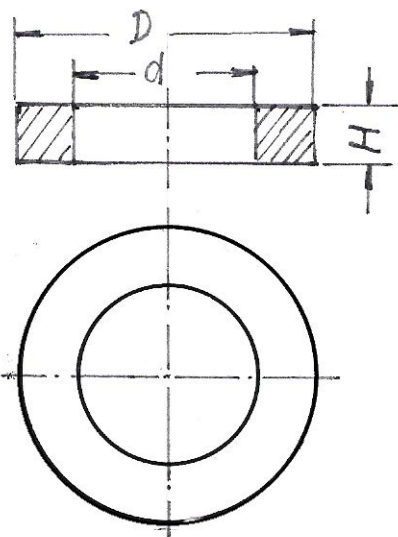
(1) 用途: 作 $f \leq 2\text{MC}$ 的低频电感
元件之磁芯。

(2) 材料: MX0-400, 600, 1000

(3) 产品标志:

环形磁芯 H_7 MXD-2000

(4) 外形尺寸:



序号	规格	外径	内径	高度
		D	d	H
1	H_7	7 ± 0.5	4 ± 0.3	3 ± 0.3
2	$\Phi 8 \times 4.5 \times 2.2$	8 ± 0.5	4.5 ± 0.3	2.2 ± 0.3
3	H_{10}	10 ± 0.5	6 ± 0.4	5 ± 0.4
4	$\Phi 12.5 \times 5 \times 5$	12.5 ± 0.5	5 ± 0.4	5 ± 0.4
5	H_{14}	14 ± 0.5	7 ± 0.5	5 ± 0.4
6	H_{18}	18 ± 0.6	8 ± 0.5	5 ± 0.4
7	H_{22}	22 ± 0.8	11 ± 0.5	6 ± 0.4
8	H_{31}	31 ± 1.0	18 ± 0.6	7 ± 0.5
9	$\Phi 31 \times 20 \times 5$	31 ± 1.0	20 ± 0.6	5 ± 0.4
10	$\Phi 58 \times 37 \times 20$	58 ± 1.3	37 ± 1.0	20 ± 0.7
11	$\Phi 100 \times 45 \times 20$	100 ± 2.0	45 ± 1.2	20 ± 1.0
12	$\Phi 120 \times 60 \times 25$	120 ± 2.5	60 ± 1.3	25 ± 1.2

(5) 标准环 $\Phi 18 \times 8 \times 5$ 初导磁率的测量
(材料试验环):

$$l_{cp} = \pi D_{cp}, \quad D_{cp} = \frac{D_{外} + D_{内}}{2}, \quad S_{cp} = \frac{(D_{外} - D_{内})}{2} \times h$$

$$\mu_o = \frac{I^{(h)}}{0.4\pi W^2 \cdot S_{cp}} \times l_{cp}^{(cm)} \times 10^8 = \frac{I^{(mh)}}{0.4\pi W^2 \cdot S_{cp}} \times l_{cp} \times 10^5$$

$$= \frac{2.5(D_{cp}) \times L_{\chi}^{(mh)}}{W^2 \cdot S_{cp(mm)}} \times 10^5 = \frac{2.5(D_{外} + D_{内})}{W^2(D_{外} - D_{内})h} \times L_{\chi}^{(mh)} \times 10^5$$

测试线圈数据: $1 \times 0.31 \times 20$ $W = 20$ 匝

附录六：

天 线 磁 棒 厂 标

检验标准一

附 6-1

No	规 格	尺寸 (mm)			电气性能	
		L	H	B	Q _{app}	μ _{app}
1	B2×8×50	50±1.0	8 ^{+0.1} _{-0.3}	2±0.3	1.70	3.8
2	5×8×50	50±0.8	13 ^{+0.1} _{-0.3}	5 ^{+0.1} _{-0.3}	2.0	4.7
3	5×8×100	100±1.2			2.3	6.0
4	5×13×50	50±0.8			2.15	5.72
5	5×13×55	55±1.0			2.2	6.0
6	5×13×60	60±1.0			2.1	6.2
7	5×13×65	65±1.2		6 ^{+0.1} _{-0.2}	2.15	6.25
8	5×13×70	70±1.2			2.1	6.5
9	5×13×85	85±1.5			2.1	6.5
10	5×13×100	100±1.2			2.0	7.0
11	6×12×50	50±1.2			2.1	5.5
12	4×8×35	35±0.6	8 ^{+0.1} _{-0.3}	4 ^{+0.1} _{-0.3}	1.6	3.25
13	4×8×40	40±0.8	8 ^{+0.1} _{-0.3}		1.8	3.7
14	4×10×39	39±0.8	10 ^{+0.1} _{-0.3}		1.75	4.05
15	4×12×50	50±1.0	12 ^{+0.1} _{-0.3}		2.1	5.0
16	4×8×50	50±1.0	8 ^{+0.1} _{-0.3}		1.75	4.00
17	3×8×45	45±0.6	8 ^{+0.1} _{-0.3}	3 ^{+0.1} _{-0.2}	2.1	5.55
18	3×8×47	47±0.6			2.05	5.65
19	3×8×48	48±0.6			2.05	5.75
20	3×8×50	50±0.8			2.0	5.85
21	3×8×38	38±0.6			2.1	5.4
22	3×8×28	28±0.6			2.15	5.05
23	3×8×30	30±0.3			2.1	5.15
24	3×8×40	40±0.6			2.1	5.5

检验标准二

附 6-2

No	规 格	尺寸 (mm)			电气性能	
		L	D	D*	Q _{app}	μ _{app}
1	5×40	40±0.5	$5^{+0.1}_{-0.3}$	4	1.75	4.65
2	5×25	25±0.3			1.15	2.97
3	6×30	30±0.3	$6^{+0.1}_{-0.2}$	5		
4	Y 8×35	35±0.6	$8^{+0.1}_{-0.2}$	7±0.3	1.9	6.00
5	8×40	40±0.6			1.85	6.5
6	8×50	50±0.8			2.05	7.5
7	8×55	55±0.8			2.05	7.75
8	8×60	60±1.0			2.00	8.00
9	8×65	65±1.2			1.95	8.5
10	8×70	70±1.2			1.9	8.5
11	8×85	85±1.2			1.9	9.2
12	8×100	100±1.5			1.8	10.0
13	8×120	120±2.0			1.7	11.0
14	8×140	140±2.0			1.6	12.0
15	10×20	20±0.3	$10^{+0.1}_{-0.3}$	9±0.2	1.5	5.0
16	10×50	50±0.8			1.95	6.5
17	10×60	60±1.0			1.9	7.0
18	10×70	70±1.0			1.85	7.5
19	10×80	80±1.0			1.8	8.0
20	10×90	90±1.2			1.75	8.5
21	10×100	100±1.2			1.7	7.0
22	10×120	120±1.5			1.6	8.0
23	10×140	140±2.0			1.5	9.0
24	10×160	160±2.0			1.4	10
25	10×180	180±2.5			1.3	11

“常州 X X” 非标产品要求的电感值

检验标准三

(TH2773A 型电感测量仪, 测试频率 $f=1\text{kc}$)

附 6-3

No	产品规格系列	测 试 骨 架		No	产品规格系列	测 试 骨 架	
		Y10	Y8			B4	B5
1	Y6×18.5	10.5 (μh)	17.5	1	B2×8×28	25.3 (μh)	
2	Y6×20	12.6		2	B2×8×42	35.3	
3	Y6×22	13.0		3	B4×8×40	32.0	
4	Y6×25	15.8	25.0	4	B4×8×60	34.0	
5	Y6×26			5	B3×8×30	30.0	
6	Y6×40	23.6		6	B3×8×40	36.0	
7	Y6×50	28.6	42.0	7	B3×8×50	41.0	23.3
8	Y6×60		46.0	8	B4×7×50	41.0	29.2
9	Y6×15		13.0	9	B4×7×60	47.1	
10	Y7×29	19.0	33.0	10	B4×7×70	56.7	
11	Y7×43	30.0	44.0	11	B4×7×80		
12	Y7.5×18.5	13.0		12	B4×7×100	68.6	43.0
13	Y8×18.5	13.5	20.5	13	B4×8×30	35.0	
14	Y8×22	17.5	28.6	14	B4×8×40	36.0	25.5
15	Y8×26	21.0	33.4	15	B4×8×45	43.5	26.9
16	Y8×40	29.0		16	B4×8×50	45.6	31.5
17	Y8×50	37.0		17	B4×8×60	49.2	
18	Y8×60	41.0	61.6	18	B4×8×70	54.0	35.0
19	Y8×70	44.0		19	B4×8×80	57.0	
20	Y10×22	19.4		20	B4×8×100	69.8	
21	Y10×25	24.0		21	B4×10×39	41.3	25.6
22	Y17.5×42	10 ^{+1.0}		22	B4×12×50	25.0	
23	Y8×45	34	49 ⁺²	23	B5×13×50		35.5
24	Y6×10	52		24	B5×13×55		41.8
25				25	B5×13×70		48.2
26				26	B5×13×80		52.4
27	B5×15×60	48.0 ^{+2.0}		27	B5×13×85		53.6
28	B5×15×50	44.0 ^{+2.0}		28	B5×13×100		60.5
29	B5×15×40	38.0		29	B5×8×50	46.0	30.7
30	B5×15×59(弯)	48.0		30	B5×8×70		33.7
31	B4.5×20×67	53.5 ^{+2.0}		31	B5×8×100		42.0
32	B4.0×20×54	49 ^{+2.0}		32	B5×7.5×100		45.0
33	B4.0×7×85	60		33	B5×7.0×50		
34	B5×15×55	4.6 ^{+2.0}		35			

注: Y10 系列骨架线圈 $1\times 0.31\times 27$ Y8 系列骨架线圈 $1\times 0.31\times 33$

B4 系列骨架线圈 $1\times 0.3\times 30$ B5 系列骨架线圈 $1\times 0.31\times 26$

Y17.5×42 骨架线圈 $1\times 0.31\times 10$

附录七

软磁铁氧体材料性能特性表

(附 71-1)

No	材料牌号		初始导磁率	温度系数	比损耗系数		磁感应密度	桥顽力	居里点	电阻率	截止频率
			$\mu_i \pm 20\%$	TK μ	$(\frac{\Delta tg\delta}{tg\delta})$	f	Bs (GS)	Hc	Qc	ρ	fr
	国内	国外类似牌号		(20~60℃)	μ_i	MHz	H=10 Oe	Oe	℃	Ω -CM	MHz
1	NX-10	F4N、M5M F3T、M5E	10	150	600	7.95			>460	10^7	150
2	NX-20	M11 M11E M11M	20	15	330	3.52	>2700	9.5	>400	10^6	75
3	NX-40	M8 M9 M9M	40	25	80	2.52	>3600	11.5	>350	10^6	50
4	NX-60	M8L M8C	60	50	135	2.52	>3000		>300	10^6	25
5	NX-100		100	10	80	2.52	>3500	2.25	>300	10^6	15
6	NX-250	Q1C Q3B D1	250	25	40	0.795	>3700	1.4	>250	10^6	2
7	NX-1000	L5 L8H	1000	8	35	0.5	>3000	0.2	>200	10^2	1.0
8	MX-400	L4 D1F	400	8	60	1.5	>3200	1.0	>130	10^2	1.5
9	MX-800	L	800								
10	MX-1000	L6H	1000	3	8	0.05	>3100	0.2	>120	10^2	0.5
11	MX-2000		2000						>80		

镍锌材料配方与主要工艺

NO	材料 代号	材料	Wt%									T _毛 (°C)	冷却 方式	收缩 比%	T _产 (°C)	冷却 方式	用途
			Fe ₂ O ₃	Ni ₂ O	ZnO	CO ₂ O ₃	MnCO ₃	MgO	CuO	V ₂ O ₅	Bi ₂ O ₃						
			CP	特定	特	CP	CP	AR	CP	CP	CP						
1	R5A	N-5	63.6	34.4								950~1000	随炉冷	3%	1100~1140	随炉冷	高频电感器
2	10A	N10	66.1	30.4	3.5							960~1000	随炉冷	3%	1100~1150	随炉冷	磁芯
3	10B	P-10	73.1	24.38	1.98	0.54						960~1000	随炉冷	3%	100~1150	随炉冷	磁芯
4	20B	NX-30	71	19.18	9.0	0.82						1000~1050	随炉冷	4%	1120~1160	随炉冷	磁芯
5	40A	NX-40	65.8	23.7	10.5							1000~1050	随炉冷	4%	1140~1180	随炉冷	色码电感
6	40B		73.3	18.4	8.4	0.75	2.5			0.04		1070~1120	随炉冷	7~8%	1180~1220	随炉冷	色码电感
7	40C	MgX-40	78		9.4	0.80	20	10.75				980~1040	随炉冷	4%	1160~1000	随炉冷	色码电感
8	R60A	NX-60	65.8	23.7	10.5						0.6	950~1000	随炉冷	4%	1140~1180	随炉冷	短波天线棒
9	R100A	NX-100	74	11.75	12.3	0.50	2.0					1080~1120	随炉冷	7~8%	1180~1200	随炉冷	短波天线棒
10	R2h5	NX-250	65.5	11.50	23	0.50						1040	随炉冷		1150~1190	随炉冷	硅二瓦电台 中周磁芯
11	R3h5	NX-300	65.5	11.50	23				5.1			970~1030	随炉冷	4~7%	1000~1060	随炉冷	
12	R1KA-N	NX-1000	65.5	11.0	22							1070~1130	淬水	7~8%	1240~1300	随炉冷	
13	R2KA-N	NX-2000	66.8	9.4	23.8							-1100	淬水	7~8%	1240~1300	随炉冷	脉冲变压器 磁芯

锰锌材料配方与主要工艺

NO	材料 代号	主要成份 wt%				附加成份 wt%					T _毛 (℃)	收缩 比%	T _产 (℃)	冷却 方式	用途	
		Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	MnCO ₃	ZnO	CaCO ₃	MgO	V ₂ O ₅	高岭土	废料						
		含铁 大于 69%	含铁 大于 %	含锰 大于 43%	含锌 大于 96%	CP	CP	CP	工业纯							
1	MXO-400	69.9%	67.5%	20%	10%	$\frac{7.5}{1600}$ = 0.46 % =0.46%	0.56%	0.125%	0.44%	37.5%	900~950	1.16	1200±20	空冷或空 气淬火	中短波天 线棒 电磁炉 磁条等	
2	R90 (上饶)	Mol%(62. 11%) Wt% 80.5%			(17.69%) 11.2%		20.19% 7.6%			Co ₂ O ₃ 0.55%						
3	MXO-800	63.5%		23.8%	12.5%						1100		1260±20	空冷或空 气淬火	V 型	
4	MXO-1000	61.8%		24.1%	14.2%						1030				环形磁芯	
5	(E) MXO-2000	61.5%		CP 24.5%	CP 14%	CP 0.01%					1100		1280+40	真空冷却	E 型磁芯 U 型磁芯	
6	MXD-2000	FeSO ₄ . 7H ₂ O Mn So ₄ .H ₂ O ; Zn So ₄ .7 H ₂ O ; Co So ₄ .7 H ₂ O 含 CoO=26.96% (含 Fe ₂ O ₃ =29.11%) MnO=41.9% CaCO ₃ 29.11% Mn ₃ O ₄ =45% 28.2% 0.3%										1040+40		1240+60	充 N ₂ 烧 结 随炉冷	罐形磁芯

锰锌主要材料典型配方

NO	材 料	mol%			Wt%			杂质 Wt%		
		Fe ₂ O ₃	MnCO ₃	ZnO	Fe ₂ O ₃	MnCO ₃	ZnO	CaCO ₃	Mg O	V ₂ O ₅
1	MXO-400	60.4%	22.8%	16.8%	69.9%	20%	10%	0.75%	0.9%	0.13%
2	MXO- $\frac{800}{1000}$	53%	26.2%	20.8%	63.5%	27.8%	12.56%	0.01%		
3	MXO-2000 (E 形磁芯)	51%	26	23%	61.8%	24.1%	14.2%			
4	MXD-2000 (罐形磁芯)	53%	(MnO) 32.4	13.8%	71.51%	19%	9.35%	0.3%	0.5%	
		FeSO ₄ ·7H ₂ O	MnSO ₄ ·H ₂ O	ZnSO ₄ ·7H ₂ O					CoSO ₄ ·7H ₂ O	
5	R-90 (中短波天线)	62.11%	MgO 20.19%	17.69%	80.5%	MgO 7.6%	11.2%	外加 MnCO ₃ 2%	Co ₂ O ₃ 0.55% BaCO ₃ 0.2%	
6	GXO-60 (短波天线磁芯)	49%	NiO 35.5%	15.59%	66.8%	NiO 22.2	10.55%		Co ₂ O ₃ *2.4%	