

铁氧体接收天线

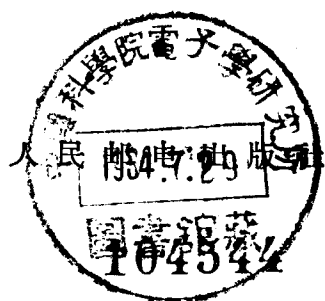
中国科学院
电子学研究所

571

73.4571
892
:2

鐵 氧 体 接 收 天 綫

苏联 B. H. 霍米契 著
舒 永 泽 譯



В. И. ХОМИЧ
ПРИЕМНЫЕ ФЕРРИТОВЫЕ АНТЕННЫ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1960

内 容 提 要

本书介绍铁氧体的物理性质，铁氧体接收天线计算和设计的基本原理，它的特性和测量方法。书中讲述铁氧体的选择和应用，着重讲述超短波铁氧体天线，例如室内电视天线，测向机天线，提出了它们的改进途径。

本书可供无线电系师生、超短波接收天线设计人员以及无线电爱好者阅读。

铁 氧 体 接 收 天 线

著 者： 苏 联 В. И. 霍 米 契

译 者： 舒 永 泽

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1964年5月北京第一版

印张 1 26/32 页数 29

1964年5月北京第一次印刷

印刷字数 41,000 字

印数 1-7,650 册

统一书号：15045·总1390—无387

定价：(科4) ~~6.20~~ 元

0.33

前 言

广泛地使用新型磁性材料是二次大战后无线电电子学发展的显著特点。这种磁性材料在无线电波段中能量损耗小、特性稳定以及另外一系列的优良性能使它很快地頗有成效地用于制造无线电设备的实践中。

磁性材料的运用导致出现新的无线电零件，用它构成的电路能改善设备的参数。新型磁性天线，即所谓铁氧体天线，便属于无线电设备的这类元件，目前它已成为每一台新型接收机中必不可少的组成部分。铁氧体天线之如此广泛地应用，首先在于它的尺寸小，具有固有的方向性，变换天线的位置便可以“避开”干扰源的干扰。

铁氧体天线的方向性（即对于从不同方向传来的无线电波有不同的增益）可以广泛地用于导航设备，用来确定无线电信标的方向。无线电信标是专用的无线电发射机，它的信号能帮助我们找出方向和确定船舶及飞机的位置。

在所谓“袖珍”式和携带式接收机中铁氧体天线得到广泛的应用。这种用半导体元件装配起来的体积小而省电的接收机是长途旅行中的忠诚旅伴。

如上所述，铁氧体天线属于磁性天线这一大类。

铁氧体天线的接收性能以穿过这种天线横截面的磁通和它的改变速率来评价，因而磁学（关于恒定磁场的科学）的知识广泛地卓有成效地用来计算磁性天线。

最简单的磁性天线是环状天线，即长度远小于波长的导线做成的线环。天线输出端上的电压决定于环状天线的面积，即线环所包围的面积。环状天线的缺点是有效高度比电偶极子

小。例如，若把长度为 2 米的电偶极子“卷”成一个圆形环状天线，那末，当波长 λ 等于 30 米时，环状天线的有效高度只有电偶极子的十五分之一。

把铁心放进环状天线中能够改善它的接收性能，因为增加了环状天线中的磁通。但是，由于铁心的质量低以及增大了天线中的损耗，直到不久以前有铁心的天线还很少采用。新型磁性材料—铁氧体的出现能够改善磁性天线的接收性能并减小它的尺寸。

DT34 / 10

目 录

前言

第一章 铁氧体的性质和铁氧体天线元件 1

1. 铁氧体的物理性质 1
2. 磁性天线的铁心, 它的选择和特性 6
3. 天线线圈的特性 10

第二章 铁氧体接收天线的计算和设计 16

4. 铁氧体天线的接收性能 16
5. 铁氧体接收天线的连接电路 20
6. 铁氧体接收天线的结构计算 25
7. 提高铁氧体接收天线效率的方法 30

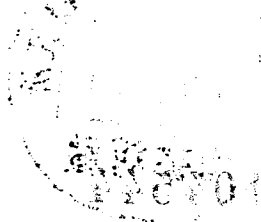
第三章 铁氧体天线特性的测量方法 34

8. 测量的原理和方法 34
9. 在标准场中的测量 36
10. 有效高度和天线效率的测量方法 39

第四章 超短波波段的铁氧体天线和采用铁氧体的

天线电路的元件 40

11. 室内电视铁氧体天线 40
12. 无线电测向接收机天线 46
13. 测定无线电波传播方向的铁氧体天线 49
14. 电视天线的对称装置 50
15. 天线的铁氧体变压器 52



第一章 铁氧体的性质和 铁氧体天线元件

1. 铁氧体的物理性质

磁性材料经过长期的发展之后，出现了铁氧体。磁性材料的历史可以追溯到遥远的古代。

上世纪交流电的发现及其在工业上的应用，要求研制出适宜于建立强磁场的特殊材料。铁和它的合金就是这种材料。使用频率较高的弱电流的电报和电话的问世，向磁性材料提出了新的要求。本世纪无线电技术的发展要求更进一步提高磁性材料的频率极限。

随着技术要求的提高，磁性材料也不断地发展和日臻完美。为了减少涡流损耗，由整块的金属铁心改进为片状、带状和条状的铁心。

另一种减少铁心中损耗的方法是采用磁介质。在这种材料中研成粉末状的铁磁性物质的细粒之间由电介质隔开。常见的阿尔西非铝硅铁和羰基铁便是这种材料。有时用磁铁矿粉（铁氧体）制成磁介质。

尽管在发展磁性材料方面有些成就，可是直到不久以前（例如到1946年）仍然满足不了电子学向它提出的要求。只是出现了兼备高导磁性能和高电阻率的铁氧体-铁磁氧化物，才为磁性材料的进一步发展指明了道路。对铁氧体进行的研究发现了它的一系列新的性质，这又促使一些设备的新型元件得到发展。

铁氧体的性质可以依靠观察它的晶格而搞清楚。晶格就是

物质原子（或离子）的一种有严格规律的排列。材料的物理性质，如硬度、脆性等，与晶格很有关系。铁氧体的晶体是立方形的，即铁和氧的原子在晶体中处于立方体的顶点。这些原子本身以及它们与相邻晶体之间依靠内引力坚固地連結起来。铁氧体晶格中两价的铁原子可以被别种金属的原子所置换，只要这种原子是两价的并且与铁原子有大致相同的直径，因为在这种情况下新的材料中仍然保持立方晶格。

金属原子（锰、镁、锌、铜、镍和钴的原子）最容易置换铁原子。

铁氧体的磁性质决定于置换的金属原子的种类以及该原子在晶格中的几何位置。例如，若铁氧体中的一部分两价铁原子被锌原子所置换，那末它的导磁率便会大大的增加，而导电率却将减小。

工业生产的大多数铁磁氧化物都是铁氧体的混合物，即两种或多种简单铁氧体的固态溶体。

铁氧体铁心的制造工艺与陶瓷零件的生产工艺差别很小。铁氧体物质有两种制备方法。一种方法是用金属氧化物混合而成；另一种方法是用盐溶液混合而成。第一法将氧化物按一定比例混合，压制成块状体，并在 880—1100°C 温度下进行初步焙烧。第二法将混合的盐溶液熬干，经过灼烧取得氧化物混合体，再象第一法那样进行压制和焙烧。后一种方法可以获得工艺差异性小的、铁氧体的极优良的磁特性。

经过初步焙烧的块状体再用球磨或震动磨研磨成粉末。得到的粉末筛过后作为压料。在压料中掺入粘剂（聚乙烯酒精、石蜡），掺入量根据材料下一步的制造工艺而定：如拉丝或铸造，则掺入 10—15% 的聚乙烯酒精；如压制则掺入 6—8% 的聚乙烯酒精。铁氧体制品最终的焙烧温度取决于铁氧体的型号，

它的范围是900—1400°C。鉄氧体通常在氧化煤质中进行焙烧，但锰鉄氧体要在中性煤质——真空中焙烧。

焙烧时鉄氧体鉄心的收縮率可以达到15%，視制造工艺而定。焙烧温度略有偏移便会改变鉄氧体的电特性、磁特性和收縮率，所以要使鉄心获得同一特性并且尺寸在允許的范围内，必須严格地遵守焙烧规范。鉄氧体几乎不能作机械加工，而只能用砂輪（如刚玉制的砂輪）磨制。

鉄氧体属于半导体一类，随着成分和制造工艺的不同，它的电阻率可以由 10^2 欧/厘米到 10^8 欧/厘米，而金属磁性材料的电阻率只有 $(10-15) \times 10^{-6}$ 欧/厘米左右。由于鉄氧体的电阻率很高，所以具有鉄氧体心的綫圈有很高的品质因数，低频时（几千赫左右）超过 500，频率在 500—1000 千赫时高于 300。

鉄氧体的导磁率决定于材料的化学成分和材料的结构，大約为 1 至几千高/奥（表 1）。

已經知道有导磁率約为 7000 高/奥的鉄氧体。應該注意，鉄氧体的型号中往往标明了鉄氧体的导磁率的数值。例如，导磁率为 600 高/奥的鉄氧体的型号是 $\phi-600$ 。鉄氧体的一个极重要的特性是在很寬的頻带內保持着高导磁率（随频率的增高金属鉄磁物导磁率的减小与片和带的厚度有关）。

图 1 是磁性材料的主要特性——表示磁感应 B 与磁化强度 H 間关系的磁滯迴綫。导磁率 μ 的数值取决于磁化曲綫切

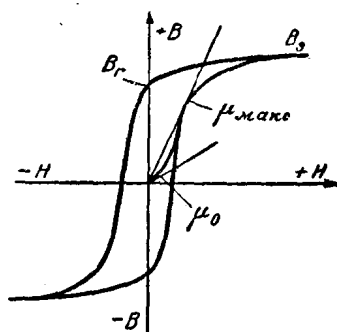


图 1 鉄氧体的磁化曲綫和磁滯迴綫

参 数	铁 氧		
	$\phi=20$	$\phi=100$	$\phi=400$
起始导磁率 μ_0 , 高/奥	20--25	1000	400
最大导磁率 μ_{max} , 高/奥	80--1000	150--200	—
饱和磁感应 B_s , 高	2200--2400	2700	—
导磁率的温度系数 $\times 10^{-6}$	+330	+1300	+700
极限频率 f_{rp} , 兆赫	80	15	7

注：表中所列的温度系数是在正的温度范围（+20—+60℃）内测定的。所有曲线倾角的正切，它随着磁化强度在很大范围内变化。对于接收天线中所用的铁氧体来说，起始导磁率 μ_0 (μ_0 是材料在极小的磁化强度下的导磁率) 最为重要。磁滞回线的面积表征材料的

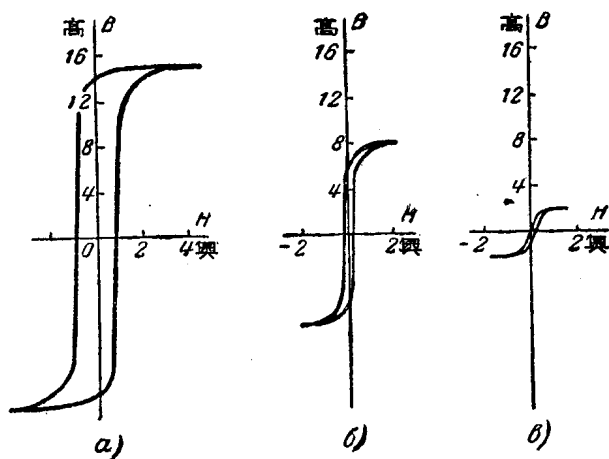


图 2 磁滞回线

a—变压器钢;

b—坡莫合金;

c—铁氧体

表 1

体	型	号	
$\phi-600$	阿克 西非 1000	阿克 西非 2000	阿克 西非 3000
600	800—1200	1800—2400	2600—3500
3000	3000—3500	6000—7000	5000—6000
2700—2900	2900	2300	3200
+3400	+8300	+8000	+3150
4	2	0.7	0.9

情况下都取铁氧体环作为试件。

磁损耗，数值 B_r 为剩余磁感应， B_s 为饱和磁感应。解算装置和磁放大器中采用的磁性开关的比值 B_r/B_s 应很高。最后，标明在图 1 上的末了一个数量 μ_{max} 称为最大导磁率，它的数值对于工作在大磁化强度下的行扫描变压器、扼流圈以及其它设备是极为重要的。

电工技术中采用的主要磁性材料（变压器钢、坡莫合金和铁氧体）的典型磁滞回线如图 2 所示。这些曲线表示上述材料的主要特性。其中铁氧体的导磁率 μ 及饱和磁感应 B_s 的数值较小，而剩余磁感应 B_r 几乎完全没有。

由于铁氧体的电阻率高，实际上不存在涡流损耗，所以磁滞回线的面积很小，只有随频率

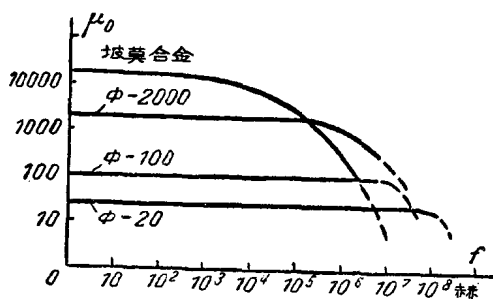


图 3 铁氧体的导磁率与频率的关系

而增大的磁后效損耗和磁粘滯性損耗。導磁率開始下降和損耗劇烈增加時的頻率稱為極限頻率或臨界頻率。圖3舉出了各種磁性材料的導磁率與頻率的關係。

通常，只有在低頻下——從幾千赫（鎳鋅鐵氧體）到幾萬赫（錳鐵氧體）——鐵氧體的介電系數的數值才很大。鐵氧體

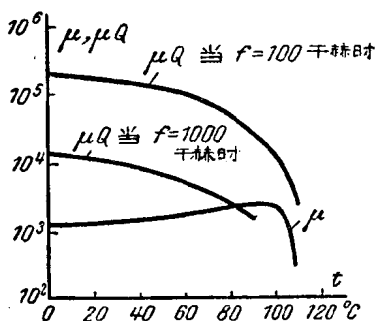


圖4 乘積 μQ 和 μ 與溫度的關係曲線

介電系數的顯著特點是它與頻率有關，即隨着頻率的升高介電系數將急劇地減小（降低到等於10—20）。

鐵氧體的主要缺點是溫度系數^①高，因為這種材料的居里點^②與室溫相差不遠。導磁率

增加時溫度系數隨着增大是鐵氧體所特有的（圖4）。

2. 磁性天綫的鐵心，它的選擇和特性

磁性物體的特性與它形狀的關係很大。表1列舉的導磁率數據表示環形鐵心的起始導磁率 μ_0 。鐵氧體天綫的鐵心是細長的，它的長度比厚度、寬度或直徑要大得多。天綫鐵心的另一特點是，兩端（極）之間存在空氣隙。這種天綫的導磁率和鐵心長度與橫截面面積的比值有關。

可以由磁性本質來闡明這種關係。在磁化場的作用下，鐵磁性物體中鐵磁微粒的磁矩重新排列，正極轉向順外磁場的方向，而負極轉向逆外磁場的方向。排列起來的微粒建立附加磁

① 溫度每改變 1°C 所引起的導磁率改變的相對值稱為導磁率的溫度系數。

② 居里點是指這樣的溫度值，當溫度超過這個數值以後材料便失去磁性。

場，削弱外磁場。附加（或去磁）磁場的數值決定於物體的尺寸：物體的縱向尺寸相對於橫向尺寸越短，去磁磁場的影響就越大。只有橢球形鐵心的這種場的影響考慮起來比較簡單，可引入去磁係數 N 來

表示， N 與橢球長短軸的比值有關。

去磁係數的數值在0（對於無限長橢球體）到1（對於圓盤）之間。計及物體形狀和尺寸後的導磁率稱為有效導磁率 μ_e 。它以相對單位計量，表示

這個物體的磁通密度比真空中的磁通密度大多少倍。橢球體的有效導磁率用下面的簡單公式來計算：

$$\mu_e = \frac{\mu_0^{①}}{1 + \frac{N}{4\pi}(\mu_0 - 1)}$$

實際上，在極大多數情況下，天綫鐵心的形狀（圓柱體、平行六面體、棱柱體）都不是橢球體。因鐵心形狀不同所引起 μ_e 的變化可以根據以關係式 $\mu_e = f\left(\frac{l}{d}\right)$ 表示的實驗曲綫（圖5），或格（見表2），或經驗公式來確定。例如由下面的公式可以得到良好的結果：

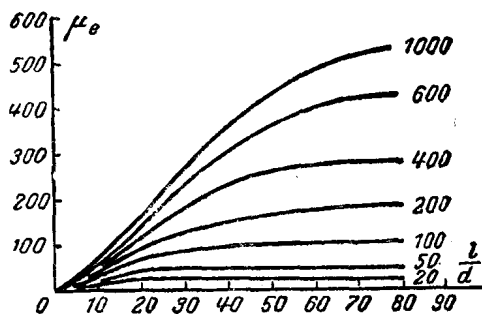


圖 5 鐵心有效導磁率 μ_e 與比值 l/d 之間的關係

① 此處 μ_0 表示起始導磁率與真空導磁率之比值，即相對起始導磁率。——譯注

表 2

l/d	具有下列起始导磁率的鉄心的 μ_e			
	$\mu_0=5$	$\mu_0=10$	$\mu_0=100$	$\mu_0 \geq 200$
1	2.25	3.0	3.2	3.5
2	3.3	4.6	6.5	8
3	3.85	6.0	10	12
4	4.2	6.7	15	18
5	4.35	7.2	20	24
6	4.5	7.8	25	31
8	4.7	8.3	34	37
10	4.8	9.1	41	>63
15	4.85	9.4	52	>78
20	4.9	9.6	60	>95

$$\mu_e = \frac{\mu_0}{1 + 0.84 \left(\frac{d}{l} \right)^{1.7} (\mu_0 - 1)},$$

式中 d ——圓柱体鉄心的直径；

l ——圓柱体鉄心的长度。

鉄氧体型号的选择完全决定于天綫的用途和工作頻帶。在本书整个篇幅中我們將反复討論这个問題。

实践认为，长波波段的的天綫采用 Φ -600 或 Φ -1000 型号的鉄心最合适，而中波波段采用 Φ -400 或 Φ -600 最合适。在短波天綫中采用起始导磁率約为 100—200 高/奥的鉄心是有益的，而超高频天綫中宜于采用 μ_0 約为 15—25 高/奥的鉄心。

鉄心横截面形状所起的作用远小于鉄心纵向与横向尺寸的比例或者鉄心材料的选择。横截面形状大都根据結構上的理由来选择。最常用的是圓形截面，而矩形的（薄片鉄心）較少采用，正多角形截面（稜柱形鉄心）更少采用。也可以采用空心

圓筒鐵心，因为高频时磁化磁通沿鐵心横截面的分布可能是不均匀的，致使鐵心的内部磁性材料没有被充分利用。因此，采用空心鐵心有如下好处：鐵心中不再存在低有效导磁区域了。

計算有效导磁率时，將鐵氧体天綫鐵心的所有横截面形状都折算成圓形。計算等积圓面直径 d_3 的公式标在图 6 上。

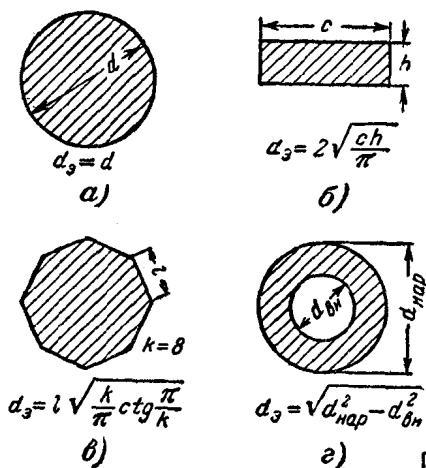


图 6 鐵心的横截面和它的有效直径

a—圓柱；b—薄片；c—棱柱；
d—空心圓筒

有时需要制造“曲折的”鐵心，例如 Z-形鐵心（图 7）。这种鐵心只要变更天綫的位置就可以避免干扰而不必改变綫圈位置。

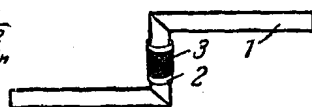


图 7 Z-形鐵心的天綫

1—鐵心；2—綫框；3—繞組

这种形状的鐵心可以由单独的水平 and 垂直部分用 $B\Phi$ 胶或环氧树脂胶合而成。鐵心相接触的表面应该用通用工艺将它們磨光后粘牢。胶合过程中，应監視装配好的鐵心的烘干温度，不要让它升高到居里点。

除温度外，强的恒定磁場也会影响鐵心的磁特性。磨制鐵心时必须注意这点，因为工件往往依靠强磁鉄装牢在磨床上的。鐵心的磁化使損耗显著地增大。加工鐵心时必须記住，鉄

氧体的机械性能与陶瓷相似，如果粗心大意，可能使铁氧体破碎。

3. 天綫綫圈的特性

天綫綫圈是铁氧体天綫必不可少的元件。图 8 是外部磁场和天綫綫圈的内部磁场因插入铁氧体棒而改变形状的示意图。天綫本身的接收特性决定于内外两磁场的相互联系。

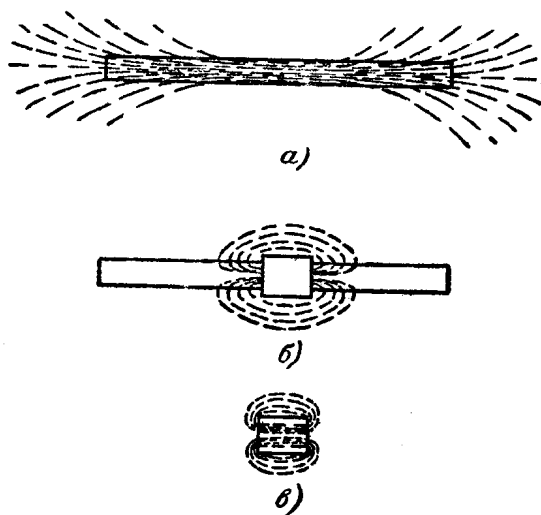


图 8 铁氧体天綫的磁场

a—“外部”磁场（插入磁棒后的变形磁场）；

b—“内部”磁场（天綫綫圈的磁力线）；

c—无铁心的线圈磁场

铁氧体天綫的天綫綫圈通常做成多匝綫圈并且是輸入迴路的一部分（电感支路）。它的电气特性用电感量 L 和品质因数 Q 来表示。品质因数 Q 是一个衡量綫圈損耗的量，它决定于已調諧的綫圈的感抗与电阻的比值。这两个量 L 和 Q 的数值与铁

心的特性(导磁率)磁
(损耗、线圈与铁心的相
对位置等)有关。表示
天线线圈位置的最重要
的实体尺寸注明在图 9
上。

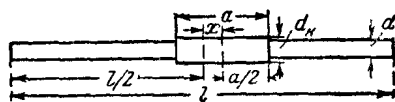


图 9 铁氧体天线的实体尺寸

在天线线圈中采用铁心可以增加它的电感量。空心线圈的电感量 L_0 (以亨为单位) 常按下式计算

$$L_0 = w^2 d_k \Phi \cdot 10^{-9},$$

式中 w ——匝数;

d_k ——线圈直径, 单位厘米;

Φ ——常数, 主要决定于线圈直径和长度的比值。

当 $0.25 < a/d_k < 1.3$ 时, Φ 的数值按下式计算

$$\Phi = 1 + 6 \frac{d_k}{a},$$

式中 a ——线圈长度。

有铁氧体棒的天线线圈电感量增加的倍数视系数 μ_k 而定。

系数 μ_k 从数量上表示了电感线圈中置入铁心后磁路上磁阻重新分配的情况。在空心线圈中, 内磁路的磁阻要比外磁路上的磁阻约高 5—9 倍 (与线圈结构有关)。在线圈内置入棒以后, 内磁路上的磁阻剧烈减小, 使得它远小于外磁路的磁阻。因此, μ_k 的数值是随铁心的起始导磁率、铁心尺寸和线圈结构不同而在 5 至 12 之间变化。这样一来, 有铁心的线圈电感量就提高为无铁心的线圈电感量的 5—12 倍。

当 $l=200$ 毫米、 $d=8$ 毫米、 $\mu_0=200$ 和 $w=30$ 的线圈的长度相对增大时, 中波铁氧体天线的乘积 $\Phi \mu_k$ 的变化如图 10 所示。线圈在铁心上的位置要影响 μ_k 的数值 (因而影响线圈