

磁粉探伤基础

CIFEN TANSANG JICHU

15.28

辽宁人民出版社

磁粉探伤基础

沈阳市群众技术协作无损探伤专业组编

辽宁人民出版社

一九七五年·沈阳

磁粉探伤基础

沈阳市群众技术协作无损探伤专业组编

*

辽宁人民出版社出版

(沈阳市南京街6段1里2号)

辽宁省新华书店发行

沈阳新华印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张: 5 $\frac{1}{8}$

字数: 108,000 印数: 1—5,000

1975年7月第1版 1975年7月第1次印刷

统一书号: 15090·28 定价: 0.33元

毛 主 席 语 录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

人民，只有人民，才是创造世界历史的动力。

前 言

用无损（不破坏）方法来检查材料和部件的表面和内部缺陷，是劳动人民改造客观世界的生动事例。几十年以来，由于生产上的需要和劳动人民的不断实践、认识和再实践，在无损探伤工作上总结推广了许多种比较成熟的新技术，例如检验部件表面层缺陷的荧光和渗透着色技术、磁粉探伤以及涡流技术；检验部件内部缺陷的X射线和 γ 射线透照技术、超声波探伤技术等。近年来，特别是经过无产阶级文化大革命和批林批孔运动，我国的无损探伤技术又有了新的发展。

为了适应祖国社会主义革命和社会主义建设的需要，我们根据广大工人师傅和一些有实际经验的科技人员的意见，编写了这本《磁粉探伤基础》。这本书主要是介绍磁粉探伤法的基本道理，可供从事无损探伤工作的工人师傅和技术人员参考使用。这本书的完稿，是沈阳市群众技术协作活动的成果，是广大工人和技术人员集体劳动的结晶。在编写过程中得到沈阳市总工会、沈阳金属研究所等单位的指导与支持，在此表示感谢。

由于编写者水平有限，书中缺点和错误是难免的，请读者提出批评、修改和补充意见。

一九七四年十一月

目 录

前言

第一章 磁性	(1)
一、磁极	(1)
二、磁场, 磁感应强度和磁力线	(2)
三、磁化	(4)
四、铁磁性物质 (磁性物质)	(7)
五、磁场强度, 磁导率	(12)
六、关于钢的磁性	(14)
第二章 磁粉探伤原理	(19)
一、磁极吸引铁粉	(19)
二、漏磁	(20)
三、磁化过程与磁滞回线	(24)
四、剩磁	(28)
五、硬磁和软磁	(29)
第三章 磁化磁场的产生	(31)
一、磁化磁场方向在磁粉探伤中的重要性	(31)
二、周向磁场 (环形磁场)	(31)
三、纵向磁场	(42)
四、周向、纵向联合磁场	(48)
五、局部磁化时的磁场	(51)
第四章 磁化电流	(53)

一、交流、半波直流和直流的特征	(53)
二、交流、直流和半波直流在磁粉检验中的应用	(54)
三、交流和直流磁化电流在钢棒里的分布	(56)
四、周向磁化时对电流的要求	(58)
五、纵向磁化时对电流的要求	(63)
第五章 磁粉材料	(66)
一、磁粉的特性	(66)
二、湿法磁粉和磁悬液	(66)
三、干法磁粉	(68)
四、磁粉检验对试件表面的要求	(68)
五、湿法和干法在应用各种磁化电流时的灵敏度	(69)
第六章 磁粉检验方法	(71)
一、外加磁场湿法检验	(71)
二、外加磁场干法检验	(73)
三、剩磁法	(74)
四、关于断电相位的控制问题	(76)
五、磁粉检验的限制	(79)
六、安全预防	(80)
第七章 磁粉显示	(82)
一、各种缺陷的磁粉显示	(82)
二、杂乱显示	(86)
三、杂乱显示的消除	(95)
四、假显示	(95)
第八章 退磁	(97)
一、退磁原理	(97)

二、退磁方法	(102)
三、漏磁检查器	(106)
第九章 磁力探伤的自动化.....	(108)
一、磁粉探伤和磁力探伤	(108)
二、荧光磁粉自动探伤	(115)
三、磁带与磁探针自动探伤	(117)
四、磁二极管自动探伤	(119)
结语	(121)
附录 伤的来源及其发展.....	(124)

第一章 磁 性

一、磁 极

磁粉探伤法只能用于磁性物质*。磁性物质经过磁化以后，具有能够吸引其他磁性物质的性质，这种性质称为磁性。一般的钢铁就是磁性物质的例子。

在战国时期（公元前 300 年），我国的劳动人民就发现了某些铁矿石能够吸引同类小矿石。这种能够吸引其他磁性物质的铁矿石，叫做天然磁体，其化学成分是四氧化三铁(Fe_3O_4)。用天然磁体去和磁性物质例如一根钢条沿一定的方向摩擦，使它磁化，被摩擦的钢条就具有吸引铁屑的性质，这样所得到的磁体叫做人造磁体。图 1 所示的是一块磁体吸引铁屑的情况。由图可以看出，磁体吸引铁屑最多的地方是在它的两端附近，也就是在它的两极。这两个极叫磁极。磁极区域表现的磁性最强。

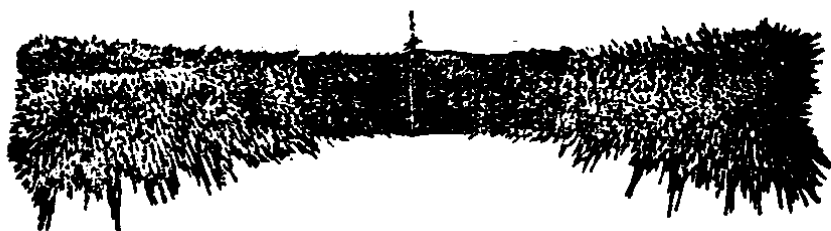


图 1 磁 极

* 这里及以后所说的“磁性物质”是指“铁磁性物质”，这是习惯上的用法。

把一块磁体悬挂起来，使它能够自由转动时，磁体的一个磁极永远指向地球的北方，而另一个磁极永远指向地球的南方。我们把前者叫做北极（简称N极），把后者叫做南极（简称S极）。每个磁体都具有一个N极和一个S极。

根据实践，人们发现同性磁极（N极与N极，S极与S极）相斥，异性磁极（N极与S极）相吸。由于一个磁体在悬挂起来时永远指着南北方向，所以我们推知地球是一个大磁体。地球的N极坐落在地理南极附近，地球的S极坐落在地理北极附近。罗盘针是一个支承起来的可以转动的磁针，它永远指着南北的方向。在十一世纪，我国就创造了航海用的罗盘。

二、磁场，磁感应强度和磁力线

磁体（或磁铁）的周围出现磁场。磁体之间的相互排斥或吸引（同性的磁极相斥，异性的磁极相吸），是由于这种磁场的作用。

我们用磁感应强度来表示某点的磁场的性质，以符号B表示。可以在磁场中画出若干曲线，使这些曲线上任一点的切线方向都与通过该点的磁场方向一致，这样的曲线称为磁力线或B线。可以利用小磁针在磁场中的取向来描绘磁力线。图2所示的是条形磁铁的磁场中的磁力线图。磁力线由N极发出，进入S极，在磁铁

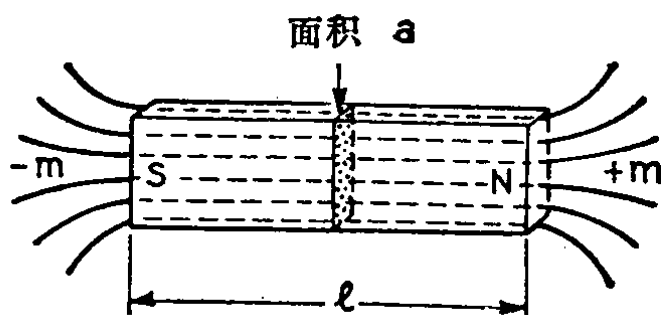


图2 磁力线图

中由 S 极指向 N 极。磁力线永远是连续的，并且形成一个闭合回线。每根磁力线不能切割或并入另一磁力线。

磁体或磁化了的磁性物质吸引铁屑的现象，是因为每一颗铁屑在磁体的磁场的影响下被磁化，两端分别地形成 N 极和 S 极，所以同磁体的两极发生作用。因此，也可以用铁屑来显示磁场中的磁力线图。

为了使磁力线能够定量地描述磁场，我们规定，穿过每个与磁力线成正交的单位面积（平方厘米）的磁力线的条数就等于该点的磁感应强度 B （在电磁系单位中以高斯计算）的数值。这样，磁场较强的地方磁力线就较密。

图 3 用铁屑图说明了磁力线的特性，以及磁力线在同性磁极和异性磁极之间的分布情况。由图可以了解磁极的相斥和相吸的道理。

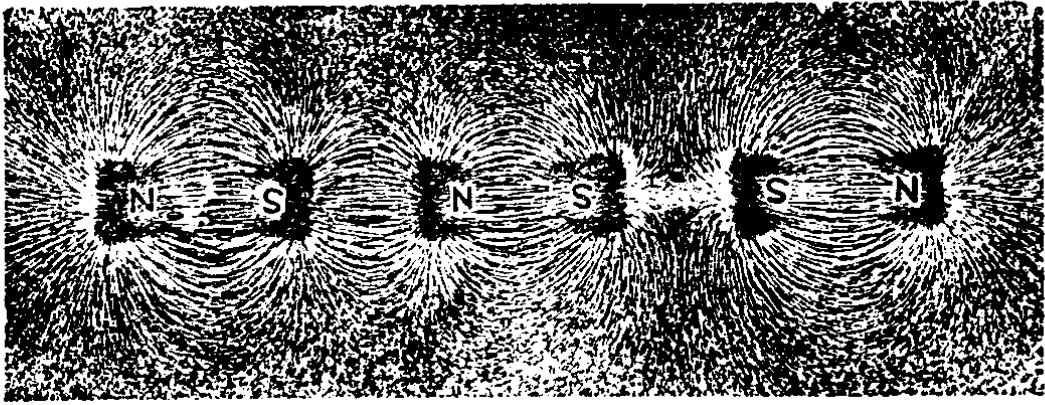


图 3 磁极的相斥和相吸

如果把一块磁铁切成几块，不管如何切割，每块都成为一个完全的磁体，具有一个 N 极和一个 S 极。这充分说明自然界中没有单独存在的 N 极或 S 极。

每个磁体都有一个磁矩。如果磁体的一对磁极的强度分别为 $+m$ (N 极) 和 $-m$ (S 极)，磁极间距是 l ，则磁矩是 $M =$

ml, 它的方向是沿磁体的轴线由 S 极指向 N 极 (见图 2)。

三、磁 化

磁性物质经过磁化 (与磁体摩擦或放在通电流的螺线管内) 以后, 它的内部状态发生了特殊的变化。磁极的出现就是这种特殊内部状态所显示出来的一种宏观效应。

磁性物质是由许多的“磁分子”组成的。每个磁分子都是一个小磁体, 都具有一个 N 极和一个 S 极。当磁性物质 (例如一块钢铁) 尚未磁化时, 每个磁分子或小磁体的排列情况是杂乱无章的, 如图 4 所示, 因而这块钢铁并不显示出磁性。在磁化以后, 每个磁分子的 N 极都指着同一个方向, 而 S 极也指着同一个方向。这样, 整块钢铁就具有一个 N 极和一个 S 极 (见图 5), 能够在外部表现出明显的磁性。

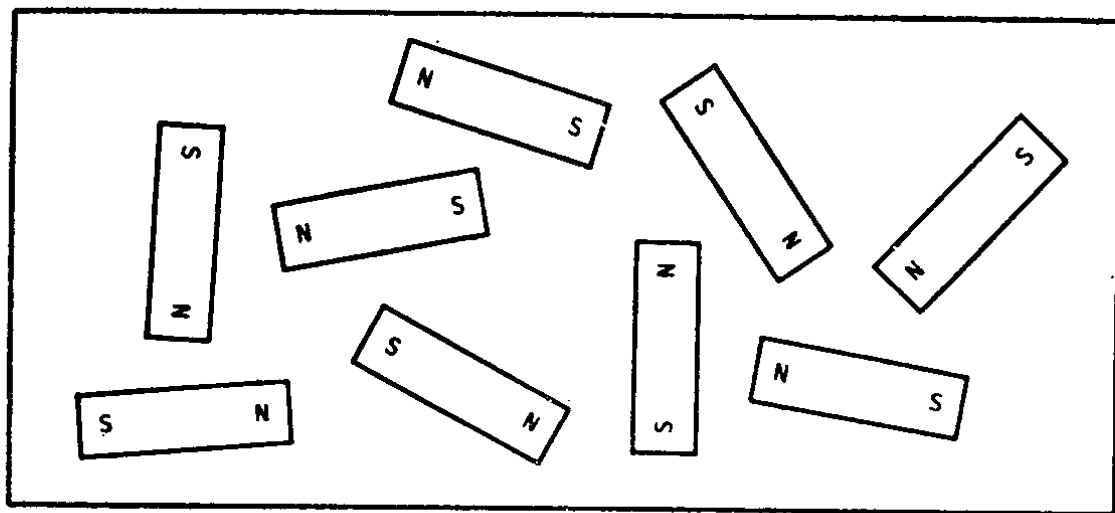


图 4 未磁化以前的磁分子

上面用磁分子所作的说明是很粗糙的, 较确切的说明应当引用“磁畴”的概念。

在磁性物质里, 含有许多的自发磁化区, 叫做磁畴。磁

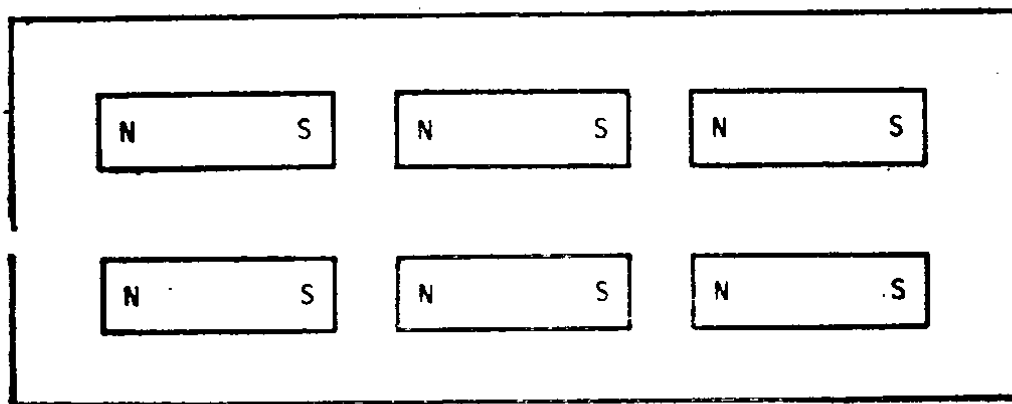


图 5 磁化以后的磁分子

畴的尺度约为百分之一到万分之一毫米。在每个磁畴里含有几百亿到几千亿个原子。每个原子都是一个极小的磁体，可以叫做原子磁体。由于交换作用，这些原子磁体自发地相互平行排列，成为一个磁畴。在一个磁畴里的各原子磁化方向是一致的〔图 6 (a)〕，图中的箭头代表原子磁体的磁矩方向。磁性物质与非磁性物质的区别就在于，只有在磁性物质例如钢、铁里的亿万个原子磁体，才能够由于交换作用而自发地排列得彼此平行，成为一个一个的磁畴；而在非磁性物质里虽然也有亿万个原子磁体，但这些极小的磁体并不能自发地排列得彼此平行，因而在非磁性物质里并不出现磁畴。

在磁性物质里，磁畴的排列情况并不是完全杂乱无章的。这可以用一个日常的例子来说明。把几块条形磁铁（磁体）放在一起时，它们在相互作用下就力图转到一种位置，使异性磁极相对，这样的位置才是稳定的。例如四块条形磁铁排成四边形时，它们的位置才最稳定。图 6 (b)指明磁畴的稳定排列情况，每个磁畴里的箭头表示磁畴的总磁矩或磁畴矢量的方向。如用磁极的概念来说明，也可以说是从 S 极到 N 极的方向。

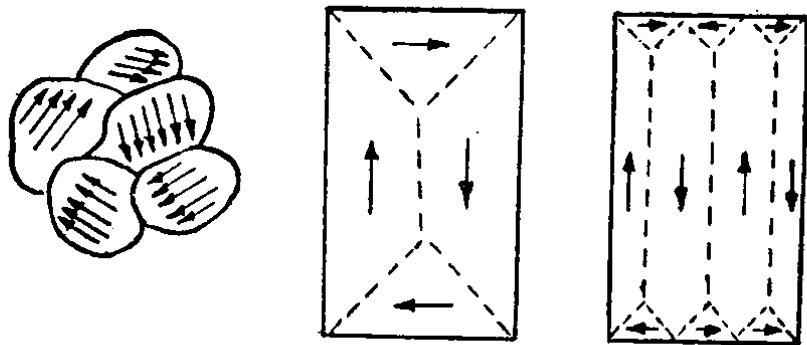


图 6 (a) 磁畴

图 6 (b) 磁畴的闭合磁路

对于磁性物质进行磁化时，磁畴矢量与磁化方向（外加磁化磁场的方向）接近的磁畴逐渐扩大，即磁畴间界壁（畴壁）向外移动。再继续增加磁化电流时，就发生磁畴的转动。这个转动过程可以一直继续到磁畴矢量与外加磁场方向一致时为止。图 7 所示的是磁畴在磁化过程中的变动情况。

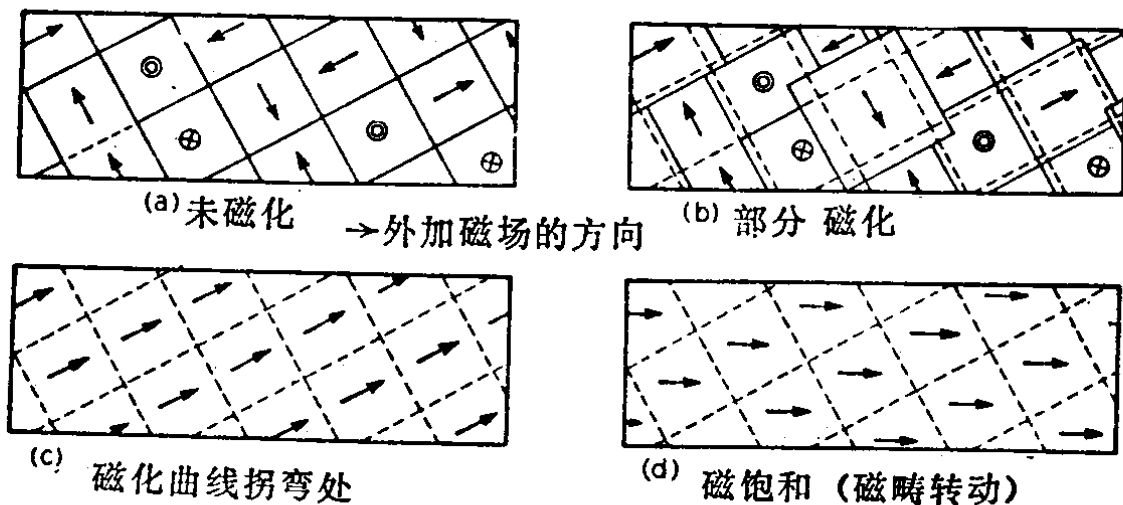


图 7 磁畴在磁化过程中的变动情况

上述的磁畴图像可以说明磁性物质能够表现为非磁状态，而在较低的磁化磁场的作用下就能够磁化到饱和的道理。

四、铁磁性物质（磁性物质）

磁粉检验的依据是能够在被检验试件里建立一个磁场。因此，被检试件必须由能够被强烈磁化的物质所构成。

一种材料之所以能够被磁场所吸引，是由于它在磁场中能被磁化。这种能够被磁场所强烈地吸引的物质，称为铁磁性物质。钢铁材料受磁的作用很强烈，它易于磁化，属于铁磁性物质，铁、镍、钴和它们的许多合金（奥氏体型不锈钢除外）也都是铁磁性物质。用马蹄形磁铁能够把钉子和铁粉吸起来，这表明钉子和铁粉是由铁磁性物质构成的。马蹄形磁铁的磁场使钉子和铁粉磁化，即使它们成为具有N极和S极的磁体，然后马蹄形磁铁的N极就吸引钉子和铁粉粒子的S极，而它的S极就吸引另外一些钉子和铁粉粒子的N极。如果一根金属丝不被马蹄形磁铁所吸引，它就不会是铁磁性物质。

普通的物质都在一定程度上受到磁场的影响。少数几种材料，例如铋、锑，被磁场所排斥，这种材料被称为抗磁性物质。被磁场所微弱吸引的材料叫做顺磁性物质。习惯上把铁磁性物质简称为磁性物质，而把顺磁性和抗磁性物质通称为非磁性物质。磁粉探伤所涉及的只是铁磁性物质。

前面说过，铁磁性物质之所以具有特有的磁性，是由于其中含有磁畴。铁磁性物质的磁畴的形成是由于各原子磁体自发地排列得彼此平行。原子的热运动是与这种自发平行排列的倾向相矛盾的。当温度较高时，原子的热运动变得特别强烈，成为主要的矛盾方面，从而各原子磁体的平行排列就被破坏，磁畴就不存在。这时，铁磁性物质就失掉了它的铁

磁性，变为顺磁性。铁磁性物质开始失去它的铁磁性的温度，叫做居里点。铁(Fe)的居里点是 768°C ，镍(Ni)的是 365°C ，钴的是 1150°C 。

下面让我们粗略地介绍一下抗磁性、顺磁性和铁磁性的物理原理。

在前面，我们以磁极的概念为基础来说明磁现象，即每个磁体都具有一个N极和一个S极。在实践中，人们发现载流导线附近有磁场存在，这就揭示了磁现象与电现象之间有联系。

目前我们认为一个载流平面线圈具有磁矩 IS （正象一个磁体具有磁矩 ml 一样），其中 I 是载流线圈中所通过的电流强度， S 是线圈的面积。这样，载流线圈的正、反两面就相当于一对磁极。

目前我们知道，磁性的来源是由于电的运动，带电质点的运动和自旋产生磁矩。

原子是由原子核和绕着它旋转的一些电子构成的。以铁为例，铁的原子序数是26，它有26个电子，共带有26个负电荷，铁的原子核带有26个正电荷，因而铁的原子对外部来讲是中性的。带电的质点在运动中会产生磁场，从而具有一定的磁矩。电子除了绕着原子核旋转以外还有自旋。原子核也有自旋，但原子核自旋所引起的磁场很小，可以不考虑。

电子在原子核外面的排列是分成壳层的，第一个壳层只能容纳两个电子，第一层被填满以后要填入第二个壳层，第二个壳层只能容纳8个电子，第三个壳层只能容纳18个电子，……更细致些来讲，每个壳层又分成几个支壳层。第一个壳层里只有一个支壳层，能容纳两个电子，这个支壳层叫做s支壳层（或1s层）。第二个壳层里分成两个支壳层，其

中第一个支壳层（2s 层）能容纳两个电子，第二个支壳层（2p层）能容纳 6 个电子，总共能容纳 8 个电子。第三个壳层里分成三个支壳层，其中第一个支壳层（3s层）能容纳两个电子，第二个支壳层（3p层）能容纳 6 个电子，第三个支壳层(3d层)能容纳10个电子，总共能容纳18个电子。图 8 用轨道模型来说明铁的核外电子的分层分布情况（示意图）。

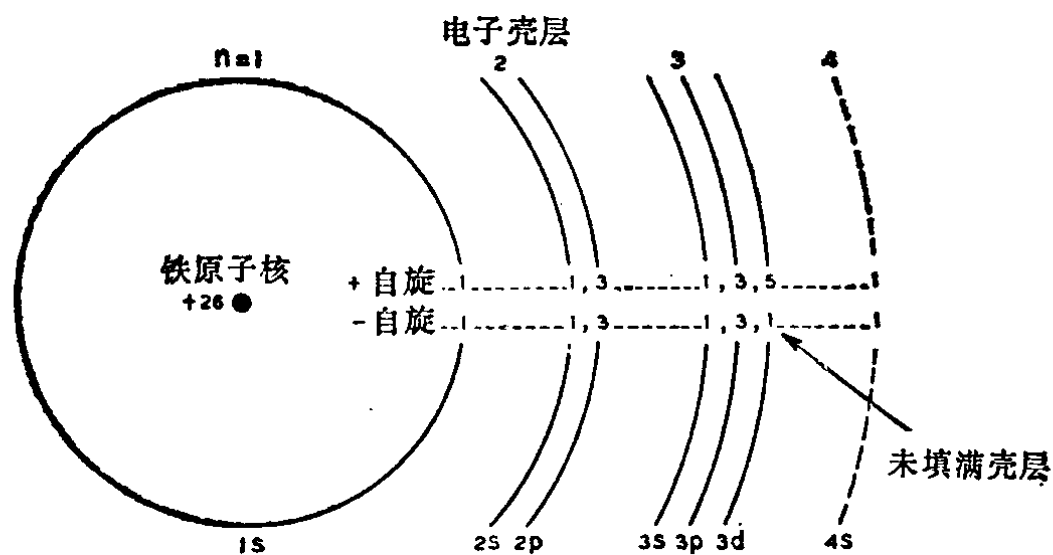


图 8 用轨道模型来说明铁的核外电子的分层分布情况(示意图)

一个电子在绕着原子核旋转时产生一定的磁矩，但是，任何被电子填满的壳层（满壳层）在整体上就磁性来说是中性的。因为，虽然每个旋转电子产生一个磁场，但是各个电子在围绕着原子核旋转时的取向是不相同的，一个满壳层里的各个电子的旋转“轨道”平面的取向的分布情况，使它们所产生的磁效应彼此抵销。一个未被填满的壳层是具有磁场的，例如铁(26)具有一个未被填满的第三壳层。铁共有26个电子，两个电子填满了第一壳层， 8 个电子填满了第二壳层，两个电子填满了第三壳层的第一支壳层（3s层）， 6 个电子