



铁磁性及其应用

苏联 J. B. 基連斯基 著

管 新 都 譯

人民邮电出版社

53.6634
538

鐵 磁 性 及 其 應 用

(苏联)Л. B. 基連斯基 著

管 新 都 譯

东 生 校

310562/27

人(民1965年2月)版)社

Л. В. Киренский
ФЕРРОМАГНЕТИЗМ
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ
УЧПЕДГИЗ. 1957

内 容 提 要

本书介绍物质的铁磁性现象。从原子构造的观点简要地阐述了铁磁性的本质和铁磁体磁化时的物理过程；然后谈到工程技术中常用到的主要铁磁材料以及不同的加工处理方法对铁磁体性能的影响；最后还简单地谈到铁磁体在各方面的重要应用。

这是一本科学普及读物，适合具有初中以上文化程度的电信、电机、冶金工人以及中学生等阅读。

铁 磁 性 及 其 应 用

著者：（苏联）Л. В. 基 连 斯 基
译者：管 新 都
校者：东 生
出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四6条19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 北 京 发 行 所
经售者：各 地 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1965年11月北京第一版

印张 3 页数 48

1965年11月北京第一次印刷

印刷字数 67,000 字

印数 1—6,050 册

统一书号：15045·总1518—无441

定价：（科4）0.34元

目 录

1. 物质的铁磁性	1
2. 磁学发展簡史	4
3. 天然磁体、人造磁体及其性质	6
4. 磁場	9
5. 电流的磁場	11
6. 磁矩	15
7. 磁載子	17
8. 铁磁性的本质	23
9. 铁磁体的磁化	28
10. 铁磁体的磁滯現象	33
11. 铁磁体中自生的(自发的)磁化强度	35
12. 磁各向异性	38
13. 自发磁化强度区域	46
14. 铁磁体磁化时的物理过程	52
15. 铁磁体的真磁化过程	56
16. 铁磁体中的偶效应	58
17. 弹性形变与铁磁体的性质	68
18. 机械加工和热处理对铁磁体磁性的影响	71
19. 某些磁性材料	75
20. 磁探伤法	79
21. 磁結構分析	86
22. 利用铁磁体的一些其它問題	88
結束語	91

08239

1. 物质的铁磁性

鉄磁体是一种显出强烈磁性的物体，因此常常把鉄磁体簡称作磁体，以区别于另一种物体——“非磁体”。

例如，我們常常听說，鉄和鋼是磁体，而銅、金、銀、砖和木材属于所謂“非磁体”。

事实上，这种說法并不完全正确。自然界中根本沒有“非磁体”，也就是說，沒有不受磁体作用，并且也不对磁体发生作用的物体。

如果我們回想一下下面的事实就会明白上述論断：一切物体都是由許多原子构成的，原子又具有复杂的結構，是由許多更小的带电微粒組成的。

按現代的概念說，每个原子都是由带正电的中心、即所謂原子核与圍繞原子核而旋轉的带負电的电子所組成。

图 1 簡略地表示了氢原子和鈉原子的构造。我們看到，环繞原子核的电子数目，恰好等于該元素在門捷列夫周期表中的原子序数。

由上图可以看到，环繞着氢原子核旋轉的只有 1 个电子；而环繞着鈉原子核旋轉的有 11 个电子，这 11 个电子以一些层或組的方式分布。关于这点，将在下面再讲。

这些在原子內运动的电子，就是在原子內部流动的特殊形式的电流；电流則在自己的周围产生磁場。磁場对电流也起作用，使电流按照著名的左手定則偏轉。总之，电子在运动时将产生磁場；相反地，如果这些电子处在某一个由外电源造成的磁場中，則这个磁場将使电子偏轉。电子在磁場中的路径变了样，而且由于原子中每一个电子都受到一定的力，所以这力将

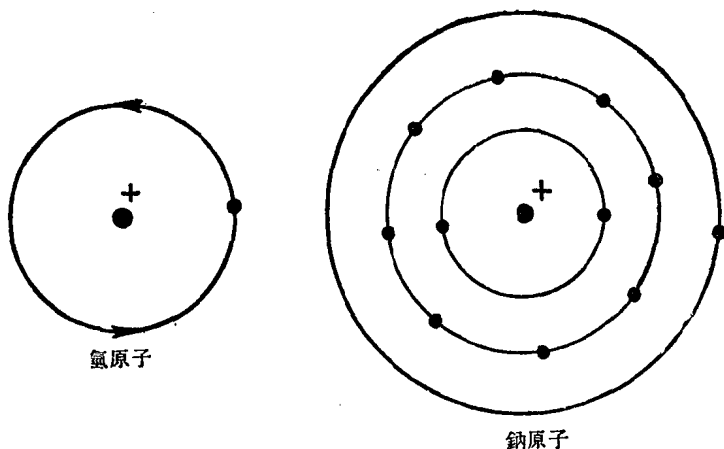


图 1 氢原子和钠原子的构造

作用到整个原子上，作用到由许多原子构成的整个物体上。

这就意味着，磁体对任何物质的原子发生作用，也就是说，没有不受磁体作用的物质，即自然界中没有非磁性物质。

由此可见，磁力也是自然界中一种最普遍的力。可以指出，万有引力是自然界中这些最普遍的力的一个例子。不论是什么物体，也不论它们处在什么状态，万有引力都毫无例外地对它们发生作用。在地球上，这种万有引力是以重力的形式出现的。地球上的任何物体都有重量，因而当失去支持物时，物体就会落到地面上来。地球上的一切物体都和地球一起，在万有引力的作用下，围绕太阳旋转。

虽然一切物体都是磁体，虽然自然界中没有非磁体，但在大多数情况下，这磁力极少被觉察到。只有当利用很灵敏的仪器，或者是在某些非常稀有的情况下，才能觉察到这种微弱的磁力。

但是在门捷列夫周期表中有四个代表性的元素——铁、镍、

鈷和釷都具有非常明显的磁性。

要发现这些物质的磁性，既不需要特殊的灵敏仪器，也不需要創設任何特殊的条件。

上述元素中的第四个元素——釷的磁性，是不久以前才加以研究的。其余三个元素位于門捷列夫周期表中的鉄族。

虽然在現在已知的 101^① 个化学元素之中总共才有四个元素具有鉄磁性，但是各种鉄磁体的数目却是非常多的，这些鉄磁体是鉄磁性元素相互之間、或是鉄磁性元素与非鉄磁性元素之間以各种各样的比例构成的合金。不仅如此，現在还知道了有許多鉄磁体是由非鉄磁元素构成的合金（特别是含有錳的許多种合金）。現在，工程技术中拥有大量的、具有多种多样磁性的各种鉄磁体。

在現代人們的生活中，物质的鉄磁性起着非常特殊的作用。它所以具有巨大作用的原因是：鉄磁体能在比較弱的磁場中被强烈磁化，而且某些鉄磁体还能够在很长时间内保持它已得到的磁化状态。由于这些特殊性质，所以在变压器中、电动机和发电机的轉子和定子中、在永久磁鉄和电磁鉄中、在各种不同的电气测量仪表中以及在研究原子核的許多装置中，都用到鉄磁体。

假如由于某种原因，鉄磁体突然丧失了它的特性，那就会引起整个工程技术的危机。

的确，鉄磁性的消失会带来以下后果：大功率的发电机会停止发电，电动机也会停止工作，电话和电报通信会停止作用，无线电收音机也不再发出声音了。現代电工学足以自豪的巨大成就，在很大程度上是立足于鉄磁体奇妙特性的实际应

① 本书原著为 1957 年出版。科学日新月异地向前发展着，实际上現在已經发现了第 103 号元素。——譯者注

用。

鉄磁体中发生的现象是非常复杂的。上世紀的物理学只能断定某些物质有奇妙的鉄磁性，物理学书籍中并没有对这些性质加以解释。

仅从本世紀二十年代中期开始，才弄清楚了鉄磁现象的本质，揭示出了磁化时在鉄磁性材料中发生的各种基本过程，并且确立了它们的規律。所有这一切使我们有可能創造大量的、具有各式各样性质的特殊磁性材料，这反过来又对各种技术部門产生了有利的影响。

2. 磁学发展簡史

人类在很久以前就知道了物质的鉄磁性。三千多年以前，磁針指着南北方向的特性在中国已实际应用。那时，这个伟大国家的学者們就已把特殊的“指南仪”装在大馬車上。指南仪通常是一个假人，利用永久磁鉄使他的手永远指着南方(图 2)。根据流传至今的大量传说，可以断定古希腊也早就知道磁性了。例如在传说中曾谈到有一座山，它具有吸引鉄质物体的性质。这座磁山位于海岸边上，有一只船不小心靠近了磁山，这座磁山就把船上的鉄釘子都吸了出来，因此船身瓦解了，航海者淹死了。

在流传至今的古希腊哲学家柏拉图的著作中說道：“这种石头不仅是吸引鉄环，而且还把这种吸引力传给鉄环本身，因此这鉄环也能够吸引别的鉄环；这样一来，一个吸一个地就可能挂上許多个鉄环和小鉄块。这种现象只能由于石头的磁性力而发生”。

“……这里，磁石的神力由一块鉄传到另一块鉄上去，就好

象詩的灵感由詩人传给詩的朗诵者和听众一样”。

古希腊的学者們沒有科学地解释磁力，他們认为磁力是超自然的力或神力；例如，伟大的哲学家亚里士多德也保持了这种观点，他认为磁石有灵魂。

羅馬詩人和思想家卢克莱修·卡尔企图說明磁石吸鉄所遵循的自然規律。在他的“物性論”一书中，曾詳細地描述磁石的性质，并认为这种性质都是由于磁石分泌許多細小的微粒而造成的。

这种微粒从磁石中冲出，驅散了磁石和鉄之間的空气。然后鉄的微粒就滑进去，带着整个鉄块向磁石前进。

虽然在很早以前就知道了磁性現象，但是关于物质磁性的系統研究却是很晚才开始的。

1600年，英国科学家威廉·吉伯的一本著作“論磁石、磁体和巨大的地球磁石”問世了。这是一部十分丰富的实验研究的总结。吉伯綜述了磁石的下列重要性质：

1. 在磁石的不同部分具有不同的吸引力，在两极处，这种吸力最显著。
2. 磁石有两个极：北极和南极。这两极的性质是不同的。
3. 异名极相互吸引，同名极相互排斥。
4. 挂在綫上的磁石，在空間中总是处于一定的方位——

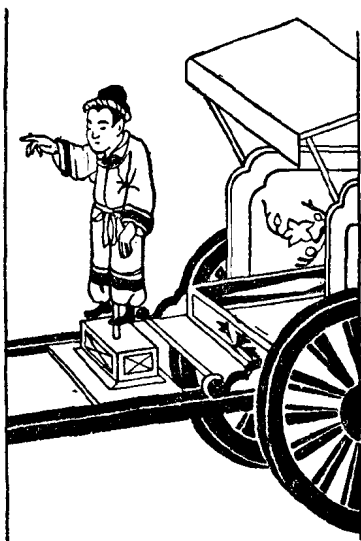


图 2 中国古时的指南車

指着北方和南方。

5. 不可能得到只有一个极的磁石。

6. 地球是一个大磁石，它能够使鋼磁化。

在很长一个时期内——从17世紀初到19世紀初，沒有获得关于磁現象物理学方面的重要新資料。

1820年，丹麦物理学家奥斯特发现电流对磁針有作用。由于这一发现，就揭开了物理学中新的一章——电磁学說。

19世紀內物理学的蓬勃发展，确定了电現象与磁現象間的内在深刻联系，导出了电磁基本規律的表达式。

3. 天然磁体、人造磁体及其性质

上述古代科学家們所說的吸引鉄的石头，就是所謂天然磁鉄，它們在自然界中是很常見的。这种分布很广的矿石的成分是31%的 FeO 和69%的 Fe_2O_3 ，因此鉄的含量是72.4%，它們也被称为磁性鉄矿或磁鉄矿。这种矿石块就是能够吸鉄的磁性石头。

如果从这种矿石上割下一小条，把它用綫悬挂起来，那末它在空間的位置是完全确定的，即沿着从北到南的直綫。如果把小条从这种状态移开，也就是說，若使它偏离开所在的方向，然后又听其自然，則小条摆了几摆以后，将重新回到它原先的位置，指着南北方向(图3)。

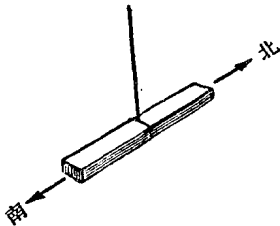


图3 悬挂着的小磁条，顺着南北方向定居

如果把这小条放在鉄屑中，小条上各处吸引鉄屑的情况是不

同的，在指着南和北的两端，吸力最大。

小条上吸力最大的这两个地方，称为磁极。指北的称为磁铁的北极(或称正极)，用 N 表示，指南的称为南极(或称负极)，用 S 表示。

可用下述方法来研究磁铁磁极间的相互作用。取两条磁铁，把其中的一条象上述那样用线悬挂起来，用手拿着另一条磁铁，让它的两个磁极分别移近第一条磁铁的各个磁极。

如果一条磁铁的南极靠近另一条的北极，则两个极之间产生吸引力，因而挂在线上的磁铁被吸引过来了。如果把第二条磁铁的北极靠近挂在线上的磁铁的北极，那末，线上的磁铁会被排开。

通过这些实验，我们可以相信，吉伯所确定的关于磁极间相互作用的规律，即同名极相互排斥，异名极相互吸引的规律是正确的。

如果我们想把磁铁分成两半而使它的北极与南极分开，则会发现这是办不到的。把磁铁分成两半后，我们便得到两条各有两个极的磁铁。如果我们继续这样分下去，则正如实验所表明的，我们仍永久无法得到只有一个磁极的磁铁(图 4)。从这件事实可以得出一个结论：磁铁的磁极不可能单独存在，这不

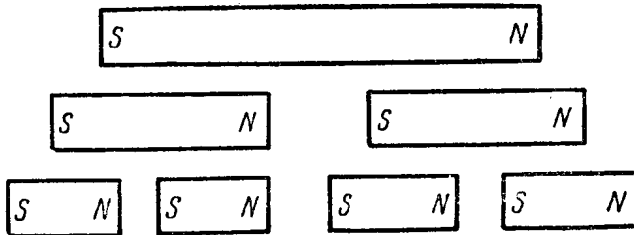


图 4 当把磁铁分成两部分时，不可能得到只有一个极的磁铁

象正电荷和负电荷那样，可以彼此分隔开来。可见磁载子（或所谓的基元磁铁）也应该具有两个极。

实际上现代并不利用上述天然磁铁。人工制造的永久磁铁的磁性要强得多，并且更加方便。制得人造永久磁铁的最简单的方法如下：取一块钢条，并且用天然磁铁或另外的人造磁铁

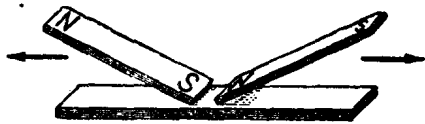


图 5 制备人造磁铁的最简单方法

的两个异名极从钢条中部分别向两端摩擦钢条（图 5），这时钢条就被磁化，并且钢条上被北极摩擦的一端成为这人造磁铁的南极，而被南

极磁化的另一端成为人造磁铁的北极。

这类小长条状的磁铁称为条形磁铁。使用象马蹄形状的磁铁常常很方便，这种磁铁称为蹄形磁铁。

通常是把人造磁铁作成两端有相反磁极的。但并不是非这样不可。也可以制造两端具有同一极性的磁体——例如都是北极的。

为了制造这种磁铁，须要用同一种磁极分别向两端去摩擦钢条；如果用南极去摩擦钢条两端，则形成两端都是北极的永久磁铁。

但是南北磁极是不可分的。所以实际上，如果这种磁铁放在铁屑里，则不仅仅磁铁的两端能强烈地吸引铁屑，而且磁铁中部也能强烈地吸引铁屑。如果把磁铁中部靠近磁针的南极，磁针就会被排斥，也就是说，这时仍然得到了具有两



图 6 两端具有同名极的磁铁，其中部则为另一极性的极

个极的磁体，但这两个极不象一般的磁鉄那样位于磁鉄的两端，而是北极位于两端，南极位于中央（图6）。

4. 磁 場

我們已經确定，鉄与磁鉄間或磁鉄与磁鉄間的磁性作用，不仅在它們直接接触时发生，而且在相隔一段距离时也会发生。如果增加两作用物体間的距离，則相互作用力减少；而且增到某一相当大的距离时，这个力就不明显了。可見，靠近磁鉄的某一部分空間的性质与空間的其余部分不同，該磁鉄的磁力在其余的空間里，并不明显地表現出来。

有磁力出現的空間称为**磁場**。

如果把磁針放入磁場里，則它有一个完全确定的取向；并且，在磁場中不同的地方，磁針的取向也不同。图7表示，磁針在条形磁鉄所产生的磁場中的不同地方是怎样取向的。逐一

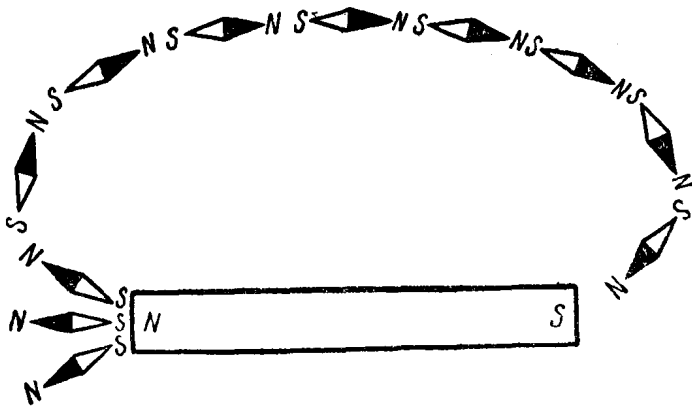


图 7 放在条形磁鉄磁場中的磁針

观察磁针的取向，就可以形成磁場結構的概念。

但是还有更方便的方法来显示磁場的图象。例如，为了显示出条形磁鉄的磁場图象，只須在它上面放一块玻璃或厚紙片，然后在玻璃片上均匀地撒一些鉄屑，每一顆鉄微粒在磁鉄磁場中都被磁化，于是成为一枚小磁針，这些小磁針彼此以相反的极互相連接着，为了促成这种連結，可以輕輕地敲敲玻璃片，以帮助克服鉄屑和玻璃間的摩擦力。

磁化了的鉄屑由于彼此連結而形成許多条綫——称为**磁力綫**。很明显，磁力綫具有下述性质：在磁力綫上的每一点，磁針的取向都是和磁力綫相切的。

图8—9 分別表示鉄屑在两异名极之間与同名极之間的空间分布情形，从而反映出条形磁鉄的磁場結構。

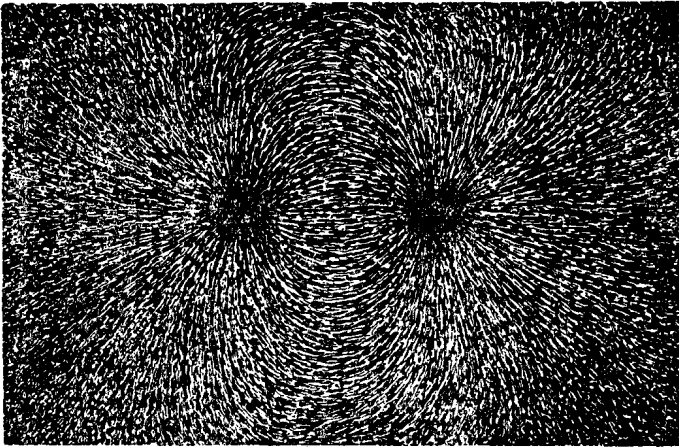


图 8 两异名极間的磁場

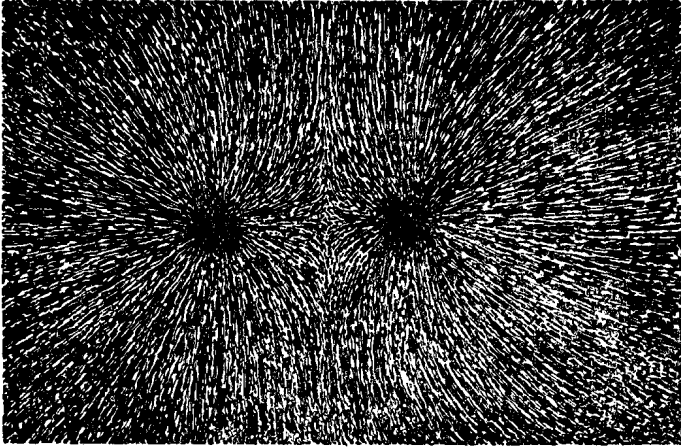


图 9 两同名极间的磁场

5. 电流的磁场

我們已經看到，磁鉄周围产生磁场。磁鉄磁场的存在表现在它对于磁针的作用上——磁针在磁场中可能转动和移动。放在磁场中的钢制或铁制物体能被磁化，这也是存在着磁场的一种表现。

如上所述，丹麦物理学家奥斯特在 1820 年发现了电流的磁效应，放在通有电流的导线附近的磁针将偏离开磁子午面，通常不再指着南北方向了。

这就是说，通有电流的导线附近产生了磁场。为了研究电流所产生的磁场的结构，我们利用上述通过铁屑来确定磁场结构的方法。

如果在一张厚纸片上穿一小孔，并让足够长的直导线穿过

这个小孔，然后在紙片上撒些鉄屑，同时輕輕敲动紙片，并让电流沿着导綫流过。这样，鉄屑就分布成为一个个同心圓，这些同心圓的圓心就在导綫的軸上（图 10）。

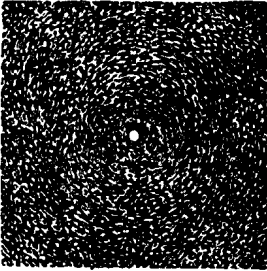


图 10 直綫电流的磁場

因此，直綫电流的磁場的磁力綫是圓心在电流軸綫上的許多同心圓。

为了确定磁力綫的方向，必須利用一些小磁針，把它們放在紙片上（图 11）。由直綫电流

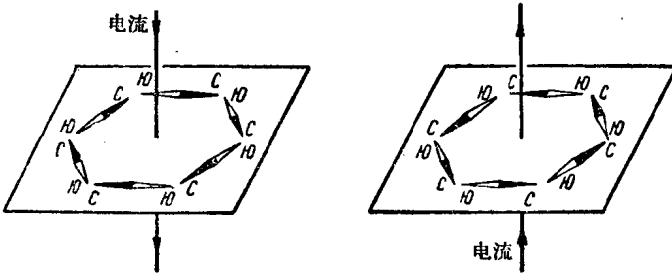


图 11 利用小磁針来确定磁力綫的方向

磁場磁力綫的分布，能够确定出一个法則，根据这个法則，任何情况下都很容易地定出电流磁場的磁力綫方向，它称为螺旋法則。这法則說：如果順着电流的方向擰动螺旋，則旋柄运动的方向就表示磁力綫的方向（图 12）。

十分清楚，和磁鉄的磁場一样，电流的磁場也仅在导綫附近才表現得很明显，随着离导綫距离的加大，磁場越来越不显著，并且最后终于不能发现了。这就是說，不能只用空間中每一点磁場的方向来描述磁場，还須用一个特殊的、称为**磁場强**

度的量来描述它。磁場强度越大，則它对于磁針、鋼制或鉄制物体的作用也越明显、越强烈。磁場中每一点的場强由一个确定的数值来表示，并且用特殊的单位——奥斯特作为場强的单位，以紀念这位发现电流磁效应的科学家。电流强度为 5 安培的直綫电流、在空气中距离导綫軸为 1 厘米处所产生的磁場强度等于 1 奥斯特。

随着离导綫距离的增加，磁場强度按照下述規律减少，

$$H = \frac{0.2I}{r}, \quad (1)$$

式中 I 是电流强度，以安培表示； r 是离导綫軸綫的距离，以厘米表示；而 H 是磁場强度，以奥斯特表示。

圓形电流磁場的图象略有不同。也可以利用鉄屑来研究这种电流磁場的图象。

圓电流磁力綫的方向也可用磁針来确定（見图 13）。

細看圓电流磁力綫的方向，便可相信，这时螺旋法則仍然



图 12 螺旋法則

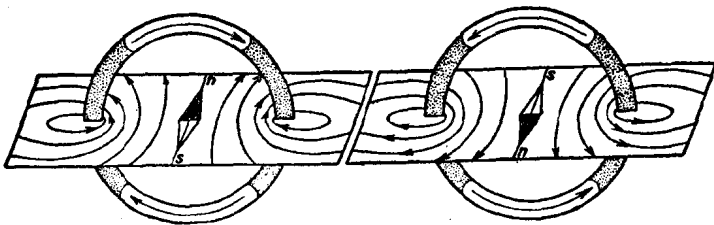


图 13 圓形电流的磁力綫