

全国理疗医师进修讲义

# 磁 场 疗 法

唐德修

进修班教学办公室

# 目 录

## 第一章 磁疗概述

## 第二章 磁疗的物理基础

### 第一节 磁的基本概念

- 一 磁体与磁极
- 二 磁化和磁感应
- 三 磁场与磁力线
- 四 磁场强度和磁感应强度
- 五 磁导与磁阻
- 六 充磁与退磁
- 七 磁化曲线和磁滞曲线

### 第二节 磁与电的关系

- 一 电流产生磁场
  - 1 直线电流的磁场
  - 2 环形电流的磁场
  - 3 螺管形电流的磁场
- 二 磁场对电流的作用
- 三 电磁感应

### 第三节 磁场类型

- 一 恒定磁场
- 二 交变磁场
- 三 脉动磁场
- 四 脉冲磁场

### 第四节 医用磁性材料

- 一 硬磁材料
  - 1 铁氧体磁性材料
  - 2 金属磁性材料

3. 稀土钆磁性材料

二 软磁材料

第三章 磁疗器械

第一节 恒定磁场磁疗器械

一 磁片

二 磁表带

三 磁衣

四 磁帽

五 磁枕

六 磁腰带、磁被、磁褥、磁笔、磁棒

七 直流电磁疗机

第二节 交变磁场磁疗器械

一 异极旋转磁疗器

1 RM-2型(便携式)旋转磁疗器

2 XC-3B型(便携式)和XC-3D型(台式)旋转磁疗器

3 CS-401型(立式)和CS-403型(台式)旋转磁疗器

4 CS-2型(便携式)旋转磁疗器

二 电磁疗机

三 磁床和磁椅

第三节 脉动磁场磁疗器械

一 同极旋转磁疗器

二 磁按摩器

第四节 脉冲磁场磁疗器械

一 ZL-A型脉冲电磁疗机

二 MCS-4型磁疗机

三 Mel-II型脉冲磁疗机

第五节 综合磁疗机

## 第四章 磁疗方法

### 第一节 磁疗的种类

#### 一 静磁疗法

- 1 磁片贴敷法
- 2 直流电磁法
- 3 磁针法
- 4 磁电法

#### 二 动磁疗法

- 1 旋转磁疗法
- 2 交变磁疗法
- 3 磁按摩
- 4 磁电法

### 第二节 磁疗的剂量

#### 一 磁疗的时间和疗程

#### 二 磁场的强弱

### 第三节 磁疗的穴位

### 第四节 磁疗极性

### 第五节 磁疗种类的选择

### 第六节 磁疗禁忌事项

## 第五章 磁疗的作用

### 第一节 磁疗的作用原理

- 一 磁场对生物电的影响
- 二 磁场对神经体液的影响
- 三 磁场对经络的影响
- 四 磁场对免疫的影响

### 第二节 磁疗的治疗作用

- 一 止痛作用
- 二 镇静作用
- 三 消炎作用
- 四 消肿作用

五 降低血压

六 对肿瘤的作用

## 第六章 磁疗的临床应用

### 第一节 适应症

一 内 科

二 外 科

三 神经科

四 妇儿科

五 皮肤科

六 五官科

### 第二节 禁忌症

### 第三节 付作用

## 第一章 磁疗概述

磁疗是用磁场作用于机体治疗疾病的方法。这种治疗国内目前常用经络穴位作为治疗的部位，因此有人称为磁穴疗法。

磁疗治病，起作用的因素是磁场，而磁场是一种物理能，因此磁疗也是一种物理疗法。

在世界上，我国是对磁认识最早的国家。公元前三世纪，即战国时代，我们的祖先就从实践中知道了磁石有相互排斥的性能。在《吕氏春秋》一书（公元前239年写成）上就有“磁石召铁”的记载。在这个时期，我国利用磁石的磁性首先制成指南针，当时称为“司南”。因此，我国可称为磁的祖国。

公元前二世纪的西汉时代，我国已开始用磁石治病，司马迁的《史记》中有一篇《扁鹊仓公传》，其中有“自炼五石”，服之治病的记载（五石指丹砂、雄黄、白矾石、曾青和磁石）。国外最早应用磁石治病是在公元二世纪，至多比我国落后400年。

我国从公元二世纪以后，许多朝代出版的书籍都有用磁石防治疾病的记载。在东汉时代（公元25～220年）成书的我国第一部中药书《神农本草经》（约公元二世纪）中记载：“慈（磁）石味辛酸寒，主周痺风湿，肢节中痛，不可持物……”；南北朝时（公元420～581年）科学家陶弘景（公元452～536年）在《名医别录》中记述磁石能“养肾脏，强骨气，益精除烦，通关节，消痛肿、鼠瘻、颈核、喉痛、小儿惊痫……”；唐朝（公元618～907年）孙思邈著的《备急千金要方》中治疗金疮出血，曾记载：“磁石末敷之，止痛断血”；北宋（公元960～1127年）何希彬的《至意方》（公元1046年）中记载小儿误吞针时，“用磁石如枣核大，磨令光，钻作窍，丝穿令合，针自出”；南宋（公元1127～1279年）严用和的《济生方》（公元1267年）中记述治肾虚耳聾用：“真磁石一，豆大，……新棉塞耳内，口含生铁一块，觉耳

如风响声，即通” 杨士瀛著《五指方》中，治牙卒聋闭用“吸铁石半钱入病耳内，铁砂末入不病耳内，自然通透”；明朝（公元1368 ~ 1644年）李时珍（1518 ~ 1593年）著《本草纲目》（公元1596年）中记载磁石在医药上的应用，如“诸般肿毒，吸铁石三钱，金银藤四两，黄丹八两，香油一斤，如常煎膏贴之”，又如治大肠脱肛“用磁石末百糊调涂肛上，入后洗去”；清朝（公元1644 ~ 1911年）的《格致镜流》（公元1735年）记载“益眼者，无如磁石。以为益枕，可老而不昏”；清年名医（18世纪）张锡纯用磁石含口中，牙中插铁棍治疗牙林疾病（《医学衷中参西条》）。

1921年我国出版的《中国医学大辞典》曾记载磁石作为主要成份的几种中药：磁石丸、磁石酒、磁石散、磁珠丸等。1935年初版、1956年修订出版的《中国药学大辞典》译述了慈（磁）石的种类、制法、用法、主治和历代记述考证反十多种应用。1958年上海用磁带治疗高血压。1962年湖南用铁氧体磁块贴敷经络穴位治疗风湿性关节炎和小儿支气管哮喘等病。1963年我国卫生部出版的《中华人民共和国药典》中记载有磁石作为主要成分的几种成药，如习（散），耳聾左磁丸，磁珠丸等。1970年包头用磁珠治疗高血压、三叉神经痛、舌神经麻痹等。1973年湖南和北京开始用钐钴和铈钴永磁体治疗风湿性关节炎、肥大性脊柱炎，外伤和腹泻，取得了显著疗效。近几年来全国广大医务人员，科研工作者和工厂技术人员互相协作，创造了不少磁疗器械（如旋转磁疗口，工频磁疗口，脉冲磁疗口等）和磁疗方法，临床治疗病种达100多种，治疗病例已见报导的有数万例，并对磁疗作用机制和基础理论方面作了一些研究。

在国外磁在医学上的应用也很早。西腊医师Galen C. H.（约公元129 ~ 200年）曾用磁石作泻药。公元450年希腊医师Aëtius 记载“手足痛风或痉挛、惊厥时，手握一磁石即可解除”。公元11世纪阿拉伯医学家Avicenna（公元980 ~ 1037年）记述磁石能治脾脏病、肝病、水肿和秃头症。15世纪

瑞士用磁治疗脱肛、浮肿等。16世纪德国医学兼炼金术家Paracelsus J. E. (公元1493~1541年)记载磁石可治疝气、水肿和黄疸病。17世纪法国Shrook用磁按摩治病,一时轰动巴黎。18世纪末19世纪初,奥地利医师Mesmer F. A. (公元1735~1815年)和法国医师Deleuze J. P. F. (公元1753~1835年)研究疾病与磁性的关系。公元1843年德国Eydam I. (公元1802~1847年)详细记述磁坊对动植物和人的影响及临床应用。19世纪末发表了各种磁椅、磁床、磁帽、磁衣等磁疗器械的专利。苏联在20世纪30年代应用磁粉、磁膏外敷止痛。1956年日本田中正常用磁石制成磁性带治疗高血压病、神经衰弱、肩周炎等,1973年美国应用专门设计的超导磁体“杀死”患者身上的肿瘤。

最近十多年在国外磁与生物体关系的研究较多,形成了一门新的边缘学科,叫磁生物学(magneto-biology)或生物磁学(Biomagnetics),召开了一系列有关的国际会议,发表了许多文章,其中与医学有关的几个方面,现扼要介绍于下:

### 1. 癌的磁性诊断和治疗

利用磁共振效应,通过对内磁坊H,电子自旋裂距因素g等参数的测定,可以研究生物结构及其变化,研究多种生物效应和生化过程并利用生物结构和功能的关系,研究生物的生理和病理过程,帮助诊断疾病。日本东京大学医学研究所的饭岛登,用核磁共振法诊断癌症,据称确诊率很高。磁共振是一种能级间跃迁的量子效应,包括电子自旋(顺磁)共振,回旋共振(或抗磁共振),核磁共振,核 $\gamma$ 共振(穆斯堡尔效应)。

把小号的铁微粒注入到肿瘤的血管中,外加磁坊,使微粒订留在肿瘤的血管内,促进血液形成凝块,阻塞和切断肿瘤的血流,肿瘤就坏死。外加磁坊可用超导磁体。Barnothy M. F. 指示,一定强度的磁坊能延长患癌动物的生命,使小白鼠身上接种成功的癌肿被排除。1972年小林良弘和小林成林报告用钕铁氧体抑制恶性肿瘤生长。



2. 心磁图和脑磁图，心脏和脑的活动，产生心电和脑电，因而也产生心磁场和脑磁场，它们随时间变化的曲线称为心磁图和脑磁图，对心肌梗塞，心绞痛，动脉瘤，癫痫等可帮助诊断。

3. 磁控导管和磁针 根据磁力作用原理，可将磁导管，磁针引入体内，并由体外磁场控制和固定磁导管和磁针的位置，在体外进行观察诊断和将药物注入指定的部位，进行更有效的药物治疗。

4. 其他磁性器械 血球磁分离是利用未同氧结合的血红蛋白为顺磁性，同氧结合后成为抗磁性，当血红蛋白脱氧变为顺磁性时，可在高梯度磁场中将红细胞吸附分离出来，这样可制成纯红血球或无红血球的血液；利用磁电效应和磁共振效应制成电磁型或核磁共振型的血流计，可测定人体或动物各部分的血流速度，根据电磁感应效应，可制成无触点的心肌刺激器和神经刺激器，用以研究心肌和神经组织的生理和病理现象；磁假体可利用存储的磁能来帮助恢复失效器官，如膀胱、眼睑、括约肌等的功能。此外可利用铁氧体作示踪材料，观测胃肠等器官的情况；用铁氧体细粉代替碳酸钡作X射线显形剂，拍摄胃肠、血管、支气管等的X线照片等。

磁疗最近几年发户迅速，深受许多病人欢迎，主要因为它具有下面几个特点：

1. 适应症广，疗效较好 磁疗具有镇痛、消炎、消肿、止泻、止痒、镇静、降压等作用，目前应用磁疗治疗的疾病已有100多种，神经科、内科、外科、皮肤科、妇产科、儿科、五官科等均可应用，无绝对禁忌症，对某些疾病的治疗见效迅速，近期和远期疗效均较好。

2. 磁疗无痛苦，无损伤，比较安全。磁疗治疗时不损伤组织，不痛、不酸、不痒，对小儿尤为适宜。磁疗时由于方法、技术、剂量掌握不好，有极少数病人有头昏、乏力、心悸、恶心、皮疹等付反应，但行止治疗，这些反应即会自行消失，不留下后遗症。

3. 方法简便 磁疗方法比较容易学会使用，一般只要将产生磁场的器械放在经络穴位或病损部位的表皮即可。告诉使用方法，病人自己也会掌握应用，尤其是磁片贴敷，不论平时、战时、工厂、农村、街道、学校等均随时可用。

4. 省时省事 磁片贴敷治疗，病人只需数天至1~2週复诊一次，既节省病人到医院治疗的时间，也节约医务人员时间。用磁疗机治疗，因方法简便，病人也能自己掌握进行。

5. 经济节约 一片磁片可以反复应用，即使破碎，仍可使用。其他磁疗机，许多也结构简单，价格不贵。医院、卫生院、工厂医务室、大队医务室等使用磁疗可节约不少医药费用。

总之，磁疗历史悠久、方法简便，应用较广，没有痛苦，经济方便，为了广大人民健康，值得推广应用。

## 第二章 磁疗的物理基础

### 第一节 磁的基本概念

2000多年前我国就发现一种铁矿石( $Fe_3O_4$ )具有吸铁的性质，即磁性，这种铁矿石，一般叫做吸铁石，因为吸铁石能吸铁，形若慈母石子，故当时取其意而写成慈石。

狭义的讲，凡能吸铁的物质统称为磁体；广义的讲，宇宙中所有物体（包括生物和非生物），从微观世界的基本粒子，如电子、中子、质子等，到宏观世界的天体，如地球、月亮、金星等均带有不同程度的磁性，因而都可称为磁体。在宇宙中，有不带电的物质，如基本粒子中的中子就不带电，但没有不带磁的物质，所以磁比电更加广泛存在于宇宙中，不过它不像光、电一样易于被人们所感觉。

#### 一 磁体与磁极

磁体具有磁性，但任何一个磁体其各部分的磁性强弱不一样，磁性最强的部分称为磁极。无论是天然或人工磁体均有一对磁极，其中一个为南极（S极）另一个为北极（N极）。磁极不能单独存在，因为将一个磁体分割成许多小块，每小块仍有两个极。磁极之间具有力的作用，当两块磁体的任一极相互接近时，就会呈现吸引或排斥的现象，南极与南极或北极与北极相接近时就互相排斥，北极与南极接近时则互相吸引，这就是磁体“同极相斥，异极相吸”的特性。磁体的南极和北极可用指南针、高斯计或利用地球磁场来鉴别。

绕有线圈的铁棒，通电后亦能吸引铁制物体，成为磁体，但无电流通过时，则失去磁性。有些物体如铁、镍、钴，和某些合金放在磁体的磁极上或异极间一些时间，去除磁体后，这些物体也具有磁性并能保存一定的时间。另一些物体如铜、铝等，经过同样的处理，不能成为磁体，称为非磁体。能长期保存磁性的物体称为永磁体（或恒磁体）。永磁体有天然和人造两种，天然永磁体如磁石，但磁性较弱，现在磁疗上用的永磁体均为人工制造的，如铁氧体磁钢等。

永磁体的磁性来源于磁矩，即磁性分子，每一个磁性分子是最小的磁体，它们按异极相吸的原理很规则的排列起来，因此永磁体两端就显示出最强的磁性，成为磁体的两极。永磁体受到敲打或高温时，磁体内的磁性分子便排列紊乱，结果使磁性分子的磁性互相抵消，因而丧失磁性。

物体的磁性来源于电子的运动。原子是由带正电的核和绕核旋转的电子组成，电子不仅绕核旋转，它还绕自身的轴线旋转，称为自旋。分子、原子的这些运动形成了微小的环形电流，通常称为分子电流，这便是物质磁性的主要来源。不论是电流的磁性，还是永久磁体的磁性都起源于电荷的运动，换句话说任何电流周围都有磁性。

## 二、磁化和磁感应

用磁体吸住一根铁棒，这根铁棒从而具有磁性，能吸住大头针，因此这根铁棒就被磁化了；若将磁体去除，铁棒上的大头针会怏怏落下，这说明铁棒上的磁性逐步消失，这一现象叫失磁。

铁棒不一定需要直接接触磁体才能被磁化，隔着玻璃、木屑、纸张等铁棒也能被磁化，这种磁化过程称为磁感应。

### 三、磁场与磁力线

磁体与磁体相互接近时，它们之间有相互吸引或排斥之力，这种力作用的空间就称为磁场。磁体周围都存在着磁场，磁体之间的相互作用都是通过磁场发生的。磁场与电场一样是电的表现形式，也是一种物质，但到目前为止磁场中尚未发现像电场中的电荷那样的磁荷存在。磁场具有一个基本特征，就是对位于磁场内的电流或磁体有力的作用。

在磁场中画一条曲线，使曲线上任何一点的切线都在该点的磁场方向上，这条曲线就叫做磁力线（或称磁通）。磁场的强弱和方向可用撒铁屑的方法从磁力线的形式形象地表示出来。

磁体周围的磁力线方向规定从北极出来，通过空间，进入南极，在磁体内从南极回到北极成一闭合曲线。磁力线从北极到南极是走最近的路线，且优先通过磁导率高的物质。磁力线也是同性相斥，异性相吸，不会发生交叉。

### 四、磁场强度和磁感应强度

磁场的强弱用磁场强度  $H$  来表示。它是一个向量，磁场中某点磁场的方向为磁场中小磁针受磁场力的作用，发生偏转并止后， $N$  极指的方向。磁场中某点的磁场强度  $H$  的数值等于在该点上单位磁极所受的力。如果单位磁极所受的力正好是一达因，那么这点的磁场强度  $H$  就是 1 奥斯特 (Oersted, 符号  $Oe$ )。同时规定：磁场中某点的磁力线密度等于这点磁场强度的大小。磁场强度  $H$  是在真空磁场中引用的。如果在电流的磁场中放进磁介质，由于磁介质被磁化，在原磁场强度  $H$  的基础上又附加了一个因磁

介质磁化产生的磁坊强度  $H'$ ，那么在磁介质内任一点的磁坊  $B$  就等于  $H'$  和  $H'$  之和， $B$  就是磁感强度。如果磁介质是均匀充满磁坊空间，那么在磁坊内任一点的  $B$  就等于该点磁坊强度  $H$  的  $\mu$  倍， $\mu$  为磁介质的磁导率。 $B$  的单位为高斯 (Gauss, 符号 G)。在真空与空气中  $B$  和  $H$  完全相同，故高斯和奥斯特也完全相同，常不加区别。

一个磁体在其周围产生的磁坊强度，在各处是不同的，其大小与距磁体的远近成反比。测定磁坊强度的方法一般用高斯计来测量。

### 五. 磁导与磁阻

磁力线从北极到南极的途径称为磁路，在磁路中阻止磁力线通过的力称为磁阻，而导磁力线则称为磁导。

所有物质根据磁性来分有三大类，即顺磁质，反磁质和铁磁质。磁性大小是根据物质的磁导率 ( $\mu$ ) 大小，真空的磁导率为 1。

顺磁质的磁导率略大于真空，即  $\mu > 1$ ，如空气，锂、镁、铝、铂、氧、硬橡胶等。

反磁质的磁导率略小于真空，即  $\mu < 1$ ，如水、玻璃、水银、铍、钽、铈、碳、氮、氩、氦等。

铁磁质属于顺磁质，但它的磁导率很大，即  $\mu \gg 1$ ，在外加磁坊的作用下极易被磁化，是良好的磁性材料，如铁、镍、钴、磁性合金等，它们的  $\mu$  可达数百万。

人体组织多为反磁质，也有少数顺磁质如自由基等。人体组织的磁导率近于 1，即  $\mu \approx 1$ 。

### 六. 充磁与退磁

充磁就是给以外加磁坊，使磁体内任一点排列混乱的磁性分子定向排列起来，显示磁性。

一般制造磁铁的最后一道工序就是充磁(磁化)。充磁的方法通常是将要充磁的物体放在充磁机的两个电磁铁极头间,极头是由铁芯和线圈构成,当线圈通电后,极头间产生较强的磁场,被充磁的物体磁化到饱和程度后,切断电流,取出物体,即带有磁性。

被充磁的物体,停止充磁后,磁铁中的磁感应强度要自行减退,到一定程度才不再减,剩下的磁感应强度就是永磁材料的剩磁,通常用  $B_r$  表示。

充好磁以后的磁体,两端分别为N极和S极。磁体周围空间的磁场,其方向是从北极到南极,磁体内所产生的退磁场的方向也是从北极到南极,这一磁场与充磁的外加磁场方向相反,有减退磁场强度的作用。由于磁铁本身有退磁场的存在,故磁极表面的磁场强度(开路磁场强度,以  $B_d$  表示)比剩磁( $B_r$ )要小。磁铁极面积愈大,长度越短,它产生的退磁场亦越强,因此,磁极表面的磁场强度也越小。

若要磁体的磁性退去,可将磁体再放入充磁机,只要通以与充磁相反方向的电流,产生与磁体内退磁场同方向的磁场,磁体的磁性即可退去。当电流逐步增加时,退磁场作用也逐渐加强。当磁体内的磁感应强度等于0时,这时电磁铁极头产生的磁场强度  $H_C$ ,就是这一磁体(或磁性材料)的矫顽力。

由于永磁体的抗退磁能力强,即矫顽力( $H_C$ )大,故用来做医用磁片。这种磁片虽然面积较大,厚度甚薄,但其表面磁场强度( $B_d$ )仍能保持较大。

用同一种磁性材料制成不同形状的磁片,其表面磁场强度( $B_d$ )有很大的差别,磁片(块)表面积( $A$ )越大,厚度(长度)越薄(短),极面积磁场强度就越弱。

磁性材料单位体积内贮有的最大磁能叫“最大磁能积”,以符号  $(BH)_{max}$  表示,单位为兆高奥(MGOe)。

$B_r$ 、 $H_C$ 、 $(BH)_{max}$  是衡量永磁材料的三要素,一般要求越高越好。

### 七、磁化曲线和磁滞曲线

磁性材料在磁场中被磁化，其磁感应强度  $B$  和磁化强度  $H$  的关系可用一条曲线来表示，这一曲线称为磁化曲线（ $B-H$  曲线）。图 1 中的  $OAM$  磁化曲线反映物质的磁化程度随外加磁场变化的规律。当外加磁场增加到  $M$  点时，磁感应强度达到饱和，此时的磁感应强度叫做该磁性材料的饱和磁感应强度，单位为高斯；使某磁性材料达到饱和磁感应强度所需要的磁场强度称为饱和磁场强度，单位为奥斯特。

当外加磁场取消后，磁性材料的磁感应强度沿另一条曲线变化。当  $H=0$  时， $B$  并不为零，而仍然有一定值，这就是剩磁（ $B_r$ ），单位为高斯。这一现象称为磁滞。为了消除剩磁，必须加反向磁场，随着反向磁场的增加，剩磁逐渐退去，当  $H=H_C$  时， $B$  才等于零，剩磁被完全退去。从剩磁到完全退磁，这段曲线  $RC$  叫退磁曲线。使磁性材料完全退磁所需的磁场强度  $H_C$ ，就是该材料的矫顽力，单位为奥斯特。矫顽力的大小反映磁性材料保存剩磁的能力。若将反向磁场  $H$  继续加大，该磁性材料又可反向磁化，同样能达到饱和点  $M'$ 。此时若使反向磁场减小至零，再增大正向磁场强度，则  $B-H$  关系将沿  $M' \rightarrow R' \rightarrow C' \rightarrow M$  变化，完成一个循环，这样就构成了一个具有方向性的闭合曲线，称为磁滞曲线（图 1 中的  $MRCM'R'C'M$ ）。在退磁曲线上，任一点上的  $B$  值和  $H$  值的乘积，称为“磁能积”，以符号  $BH$  代表，单位为高斯·奥斯特（ $G \cdot Oe$ ），其最大值就是“最大磁能积”。

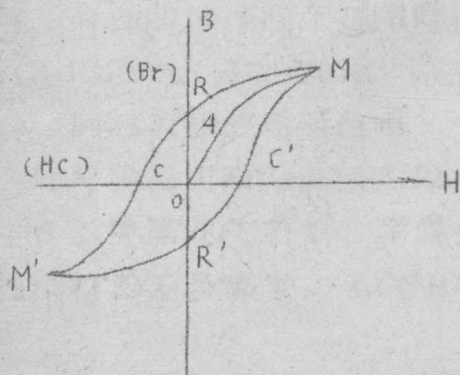


图 1  $B-H$  曲线和磁滞曲线

## 第二节 磁与电的关系

磁与电有着紧密的联系，电流可以产生磁场，反过来磁场作用也可以产生电流，即电动生磁，磁动生电。

### 一、电流产生磁场

在电流通过的导体周围可产生磁场，这一磁场的大小和方向决定于电流的大小和方向。无论是直导线、环形导线或螺线管形导线，通电后均可产生磁场，后者的方向可用右手螺旋法则来确定。

1、直电流的磁场，当电流  $I$  通过直导线时在导线周围的空间产生磁场，其磁力线是一圈圈环绕电流的同心圆，即磁场  $H$  与导线垂直。用右手握住导线，大拇指所指电流的方向，四个指头指示的方向就是磁力线的方向。离直电流垂直距离  $r$  处的磁场强度  $H$  与电流强度  $I$  成正比，与距离  $r$  成反比，即：

$$H = 0.2 \frac{I}{r} ; \quad B = 0.2 \mu \frac{I}{r}$$

$I$  的单位为  $A$  (安培)， $r$  单位为  $cm$ ， $\mu$  为磁导率， $H$  单位为  $Oe$  (奥斯特)， $B$  的单位为  $G$  (高斯)。离直电流垂直距离越近磁场强度越强。

2、环形电流的磁场，电流强度为  $I$ ，半径为  $r$  的环形电流的磁场，也可用右手螺旋法则来确定。磁力线从环形导线平面的内侧进去，另一侧出来，穿过环形平面。磁场强度不均匀，越靠近环形导线的圆周处，磁场越强。圆心处磁场强度  $H$  正比于电流强度  $I$ ，反比于圆的半径  $r$ ，即

$$H = 0.2 \pi \frac{I}{r} ; \quad B = 0.2 \pi \mu \frac{I}{r}$$

### 3、螺线管形电流的磁场



长细管电流的磁场方向与环形电流的磁场相似，亦可用右手螺旋法则确定：紧握右手伸直拇指，若屈曲四指表示细管中的电流回转方向，则拇指所指方向即为管内磁场方向。若管长比直径大很多则管轴中段和管口两段的磁场强度  $H$  和  $H'$  为：

$$\text{管轴中段} \quad H = 0.4\pi n I \quad B = 0.4\pi \mu n I$$

$$\text{管口附近} \quad H' = 0.2\pi n I \quad B' = 0.2\pi \mu n I$$

$n$  为每厘米管长导线的匝数。由此看来管中段的磁力线在未有到达管端前，就有一半从管侧凸出去了。

## 二、磁场对电流的作用

电流在磁场中流动，要受到磁场力的作用。当带电质点通过磁场时，磁场对运动电荷的作用力，称为劳伦兹力，带正电荷的质点受力方向可用左手定则判断：让磁力线穿过左手掌心，大拇指与四指垂直，四指表示质点运动方向，大拇指就表示力的方向。负电荷质点的运动方向相反。

在磁场中运动的带电质点受劳伦兹力的大小可用下列公式求得：

$$f = \frac{1}{c} q v B \sin \theta$$

式中  $f$  为劳伦兹力， $q$  为质点电荷量， $v$  为质点运动速度， $B$  磁场强度， $\theta$  是质点运动方向与磁力线的夹角， $c$  为  $3 \times 10^{10}$  厘米/秒，是光速。

## 三、电磁感应

当一个导体垂直切割磁力线运动时，导体内将产生感应电流，相反导体不动，磁场的磁力线垂直切割导体运动，导体内也能产生感应电流，这一现象称为电磁感应。根据法拉第电磁感应定律：当导体回路内磁通量发生变化时，回路中产生的感应电动势  $\mathcal{E}$  和磁通量随时间的变化率成正比，即  $\mathcal{E} = \frac{1}{c} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 。  $c$  是光速， $\Phi$