

学科“分层分类·精学精练”规划丛书



# 物理学本

(9 年级下)

总主编 陈 刚 张江平 张 珩 吴 波

主 编 张 珩 朱铁平

副主编 魏军华 吴先彬 罗 颖

西南交通大学出版社

· 成 都 ·



立德樹人 聚焦學科核心素養  
因材施教 發展學生思維品質

祝賀

學科分層分類精學精練規劃叢書出版

題詞



副所長 中國教育科學研究院課程教學研究所



# 总序

在成都的天府新区有一所新开办的学校叫天府七中，尽管办学时间不长，但一直紧跟时代步伐，履行立德树人的初心使命，积极探索教育教学改革，深入开展教育教学研究，取得了良好的效果。这套学科“分层分类·精学精练”规划丛书就是学校这几年积极探索的初步成果。

学校课程建设是深化课程改革重点，是真正落地的标志。天府七中建校四年多，其“分层分类、选课走班、一人一课表、每生有特长”的课程特色引起广泛关注，全国400多批次教育同行来校参观、考察、交流。学校秉持“办一所让自己的子女就读都无怨无悔的好学校”的办学理念，落实在学校的“分层分类、选课走班，十二年一贯制的融通课程设计”的探索实践中。

这套学科“分层分类·精学精练”规划丛书正是创校四年来的课程建设成果的集中展现，它有以下几个特点：

一是真正体现了“以学生为中心”。各个学科的资源，均取名为“学本”，都暗含着一个重要的观念转变，即以“学”为中心，以学生为中心，因为教师的“教”，都是为了学生的“学”，真正体现了“以学生为主体”。

二是体现了“双减”对精准教学的进一步要求。“双减”明确要求，要“提升课堂教学质量”，要“严格按课程标准零起点教学，做到应教尽教，确保学生达到国家规定的学业质量标准”，要“优化教学方式，强化教学管理，提升学生在校学习效率”。天府七中各个学科教研室，按照“单科分层分类”的要求，对国家课程标准要求的每个知识点，进行了可视化的细化，编写了“课标细目”；系统地建立了每个知识点的内容标准、表现标准和策略标准，编写了每个知识点的分层学习资源。这是“双减”背景下通过精准教学提高学业质量的有益尝试；而且，每个学校、每个学生都能在每个知识点的分层要求中，找到自己的适应性标准。

“双减”明确要求，“将作业设计纳入教研体系，系统设计符合年龄特点和学习规律、体现素质教育导向的基础性作业。鼓励布置分层、弹性和个性化作业”。天府七中综合考虑作业目标、内容、类型、数量、作业时间、难度和分层等因素，一直把优化和创新作业设计作为纵深推进课程改革、落实学校育人目标的有效途径。比如，初中数学组“基于核心素养的作业一体化逆向设计”实践，把作业分为基础巩固型、能力提升型、综合实践型三大类别，尤其是问题探究作业、数学建模作业、学科融合作业、调查研究作业、实验操作作业，等等，注重问题的情境性、开放性、研究性，这些研究成果获得了省市课题的立项。

三是编写团队整体力量较强。这套丛书由天府七中学术委员会牵头组织编写，每本书的主编和编委，都是天府七中学科教研室的核心力量。各学科的主编、副主编，都是来自成都市或四川省知名学校的备课组长或教研组长，长期从事一线教学和毕业班学生的质量把关工作，还有省市特级教师、学科带头人等。

我相信，大家如果品读这套丛书会有许多收益和借鉴！

中国教育科学研究院课程教学研究所所长、研究员，  
教育学博士，《课程研究》杂志主编




# 序

探索大自然以认识其规律，运用其规律以推动人类进步。《礼记·大学》说“致知在格物”，也就是说，要不断“格物”，即“探究”，才能知晓万事万物之本性。格物致知，格物致理，这就是物理二字的来由。唐代诗人杜甫写的“细推物理须行乐，何用浮荣绊此身”，描绘了探索物理之趣；宋代诗人陈博良写的“细看物理愁如海，遥想朋从眼欲花”，反映了探索物理之难。当然，诗人笔下的物理延伸到了人文范畴。物理学研究自然界一切物质的基本结构、最普遍的相互作用、最一般的运动规律以及所使用的实验手段和思维方法。物理帮助我们不断地认识自然规律，还给予我们运用其原理发明创造以前从来没有的有用实物和进一步探索自然的工具的能力，从而推动了人类文明。物理学一方面带动了科学和技术的发展，另一方面推动了文化、经济和社会的发展。自万年前的石器时代到如今的信息时代，无不如此。

“教育”是由“教”和“育”两字结合而成的。其关键是“育”什么和怎样“育”？这对于广大的青少年学生，即通常的“受教育者”，也是非常重要的。我们都知道，“学习”一词在英语中既有“learn”也有“study”。但是“learner”只是学习单一技能的“学员”，而接受学历教育的学生叫“student”，因为“study”还有“研究”的意思。众所周知，在“教”与“学”的过程中，要授人以渔。这个被授予的“渔”不仅仅是前人的知识，还应包括运用这些知识观察新事物、探究新事物并获得新知识的能力。这样的能力体现在“育”之中。

《物理学本》一书将中学物理教学内容延伸到了课外，渗透到了日常生活之中，为中学生朋友给予了探索物理和运用物理的指引。《物理学本》不同于其他物理科普读物，它引导学生由浅入深地思考所学习的物理原理，并结合数学和身边容易获得的工具，学习分析和解决问题，并因学能致用而获得乐趣和信心。书中提出的问题涉及物理基本原理、日常生活、著名物理史事和现代高科技应用，能激发学生从生活观察到科学和应用问题的解决，扩大观察视野、增强探究意识、提升探索能力、培养科学素养。《物理学本》还根据学生兴趣的差异，设计了“进阶”问题和自我评价，培养不断提出问题的能力。《物理学本》适合学生课后自学，契合国家人才培养总方针。视野超越书本，兴趣推动进步，创新出自好问，实践增强信心。未来总是属于青少年一辈。

四川大学物理科学与技术学院党委书记

博士生导师  教授





# 学科“分层分类·精学精练”规划丛书

## 编写委员会

丛书总主编 陈 刚 张江平 张 珩 吴 波  
本册主编 张 珩 朱铁平  
本册副主编 魏军华 吴先彬 罗 颖  
本册编委 于永顺 王晓菲 刘丝雨 刘 芮 李佳琰  
阳 熠 牟鑫鹏 陈仓佚 吴 波 张桃中  
杨渊智 何韵林 何 鹏 罗 颖 卿 茜  
赵志晨 曾一恒 曾 帆 曾 静 吴国玉  
杨 利 马永辉 李 昊 裴美婵 史方权  
严渝珊 邬娇庆 舒 天



# 前言

# Preface

## 出版缘由：

物理学作为自然科学的典型代表，其发展历程本身就是一部人类对自然的探索史、一部社会发展史。当我们把物理学相关的发现放在立体的时代背景中，经历科学探究，还原科学家们的思维历程，那必然是一场场由生活到物理，由现象到本质的文明传承。如果把关注的目光拉回当下，运用物理学美妙的定律、定理、公式去解释我们所在的世界，去畅想全人类的未来，必然又是一幕幕由物理到生活，由科技到力量的生动展现。

时至今日，物理学已深刻地影响到人类的方方面面。从远古日出而作日落而息，到 365 天、24 节气，自然的规则指导着人类农业社会的生产、生活；从远古时代的占星术，到令国人骄傲自豪的天宫空间站，人类从未停止过认识和探索宇宙的坚定步伐；从司南成为拓展人类视界的指引，到如今半导体大规模集成电路的应用，数字科技日趋成熟。无论是我们的教科书或是科普读物，哪怕是鸿篇巨制，都总是不能尽述物理学与人类之间的密切关联，无法更系统地展现科学家们思维的脉络。

基于上述情况，结合新时代发展对青少年的要求，基于天府七中学生的学情，编者亟需为初中的同学们提供一套撬动思维的物理读本，为他们自主、自律地学习提供一定的辅助。同时，我们也希望本书能为更广泛的读者提供学习初中物理的帮助，让大家在课堂的学习之余，收获更多思考的火花。

## 板块设置：

**章首语：**每章的伊始是本章的导读，以图文结合的方式，从不同的视角启迪读者的兴趣，开启新的探索。

**核心问题：**每章的核心问题让读者聚焦本章学习的物理核心概念，抓住本章的主要脉络，引导读者俯瞰森林研究树木，更有利于读者对知识进行结构化的认知。

**子问题：**子问题是每章学习过程要解决的重要问题，每一节学习的过程正是围绕着这些子问题展开；子问题的解决需要充分调动读者的脑与手，或许还需要与同伴间的协作。

**课前阅读：**聚焦物理学史或与本节相关的科学家们的研究事例，让读者了解物理学发展的点滴历程，学习物理学家们在探究规律过程中的艰辛和脚踏实地、实事求是的科学态度，并期待着以此激发起读者像物理学家那样，拥有对真理的追求和热爱。

**分层学习要求：**基于国家的课程标准，编者精准地将每节课标的要求拆分成多个小目标，“基础标准”是你达到的最低目标，“进阶标准”是你努力要达到的目标，“高阶标准”则是为善于思考的你提供的更高思维目标，“高阶标准”需要你根据个人的情况进行取舍。“学习指导”帮读者明确本节的重难点，引导读者在学习的过程中有所侧重，有所突破。

**侧栏：**侧栏中的问题，是伴随正文的阅读过程而产生的，用于引发思考。在课堂教学中，编者通常用聚焦思维的问题来导学，当读者提前预知，便可以像老师那样给思维的逐步进阶提供足够的

脚手架。当然，侧栏也可作为读者的笔记整理区，让读者养成良好的归纳总结的习惯。

**自我评价：**针对本节的内容为读者提供自我学习效果的即时反馈工具，希望通过读者学习、检测、反思、学习的循环，逐渐学会学习，掌握信息化社会的认知技能，为终身学习打下良好的基础。

**物理之光：**课后设置物理之光，内容或为本节知识的拓展延伸，或体现本节相关的科技前沿，让读者在物理世界中酣畅淋漓地遨游；读者不仅需要了解物理学的过去，更应知晓其在未来生产、生活中的重要价值，感受科技的巨大力量，增强“为中华之崛起而学好物理”的决心和勇毅。

### **结构安排：**

本书章节顺序的编排参考了多个版本的初中物理教材，在结构上进行了一些适用性调整，总体来说，使用各版本教材的读者都会比较容易接受本书的逻辑顺序。

### **编者与致谢：**

本书是天府七中初中物理组全体教师近年来聚焦思维型品质课堂的实践探索之作，日后还会根据校内外读者的使用情况，不断地完善和改进。

由于编写者所能查阅资料的局限以及自身能力问题，书中可能还有一些疏漏之处，期待读者们多多贡献您的智慧，帮助编者共同完善本书。编者的联系邮箱是：[tfqz\\_physics@163.com](mailto:tfqz_physics@163.com)。

本套读本既可以作为初中学生物理课前的自主预习材料，培养自学的 ability；也可以作为学生课后的补充阅读，助力学科素养的培养；更可以用于学生记录随堂笔记，留下珍贵的思考痕迹，提高思维的水平。编者衷心地希望，这一套读本能够成为同学们的枕边书、案头书，帮助同学们爱上物理，学好物理。

物理学本编委会

# 目 录

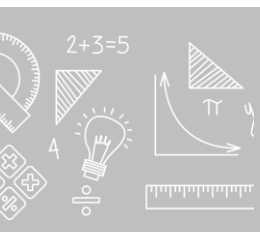
# Content

<b>第 1 章 磁与电</b> .....	1
第 1 节 磁现象 .....	3
第 2 节 电流的磁场 .....	14
第 3 节 电磁铁 .....	23
第 4 节 电磁继电器 .....	31
<b>第 2 章 电磁相互作用及应用</b> .....	38
第 1 节 磁场对电流的作用 .....	40
第 2 节 电磁感应现象 .....	49
第 3 节 电话和传感器 .....	59
<b>第 3 章 电磁波与信息技术</b> .....	68
第 1 节 认识电磁波 .....	70
第 2 节 认识信息技术 .....	79
<b>第 4 章 能量与能源</b> .....	85
第 1 节 认识能量 .....	87
第 2 节 认识能源 .....	94









# 第 1 章

## 磁与电

极光，有人形容它是天空中女神的裙摆。毫无疑问，极光的美是震撼人心的。极光也被称为是“世界第一等”的奇观。极光之美，美在绚丽多彩，美在变幻莫测。当它乍现于天空之时，美轮美奂犹如童话世界。

长久以来，极光一直是人们猜测和探索的天象之谜。从前，爱斯基摩人以为那是鬼神引导死者灵魂上天堂的火炬。13 世纪时，人们则认为那是格陵兰冰原反射的光。现在，我们终于揭开了极光的神秘面纱——出现于星球的高磁纬地区上空，是一种绚丽多彩的发光现象。

极光虽然美丽，但是它在地球大气层中投下的巨大能量常常搅乱无线电和雷达的信号。极光所产生的强电流，使电路中的电流局部或完全“损失”，甚至使电力传输线受到严重干扰，从而使某些地区暂时失去电力供应。能否利用磁与电碰撞出的巨大能量为人类造福，也许是未来的你可以尝试的挑战！



绚丽多彩的极光

## 核心问题

如何从物理的角度理解磁与电之间互为因果及相互作用的关系？

## 子问题

1. 磁体有哪些特征？
2. 磁体周围有什么？
3. 什么是磁化现象？
4. 磁体间的相互作用规律是什么？
5. 磁感线的方向是怎样规定的？
6. 电流周围存在磁场吗？
7. 什么是电流的磁效应？
8. 如何判断通电螺线管两端的极性和通电螺线管的电流方向？
9. 物体的磁性从哪里来？
10. 什么是电磁铁？
11. 电磁铁的磁性强弱与哪些因素有关？
12. 磁场对通电导线有什么作用？
13. 电磁继电器的构造和工作原理是什么？
14. 电磁继电器在生活中有哪些应用？

## 第 1 节 磁现象



### 磁铁的发现和应用

《三辅黄图》一文中记载：“阿房宫……以慈石为门，怀刃者止之。”唐代的《元和郡县志》中的陈述：“秦磁石门，在咸阳东南十五里。东南有阁道，即阿房宫之北门也，累磁石为之。着铁甲入者，磁石吸之不得过。羌胡以为神。”《长安志》亦有记载：“东西有阁道，垒磁石为之，著铁甲入者，磁石吸之，不得过。”

古籍的记述中是阿房宫所采取的安全措施，这也是关于阿房宫最为神秘的传说之一。为什么说这是传说？其实是因为在正史中并未找到明确的记载，楚霸王项羽军队入关以后，恨乌及屋，楚人一炬，可怜焦土。“磁石门”随着富丽堂皇的宫殿一起在历史的尘烟中浸去。于是，留给后人无尽的念想，也有了关于磁石门究竟有没有的困惑和探讨。

在 2000 多年前的春秋时期，我们的祖先就发现了天然磁铁矿石吸铁的性质。《管子》中有记载：“上有慈石者，下有铜金”。因为它好像慈祥的母亲吸引孩子一样，所以取名“慈石”，后来才改叫“磁石”。这就是磁铁，通俗的名字叫“吸铁石”。

我国是最早发现磁石的指向性的国家之一，司南就是最早的磁性定向工具。而后，在司南的基础上，发明了指南针。我国古籍中，关于指南针的最早记载始见于沈括的《梦溪笔谈》。该书介绍了指南针的四种用法：水法，用指南针穿过灯芯草而浮于水面；指法，将指南针搁在指甲上；碗法，将指南针放在碗沿；丝悬法，将独股蚕丝用蜡粘于针腰处，在无风处悬挂。磁针的制作，采用了人工磁化方法。正是由于指南针的出现，沈括最先发现了磁偏现象，“常微偏东，不全南也”。

南宋时，陈元靓在《事林广记》中记述了将指南龟支在钉尖上。由水浮改为支撑，对于指南仪器，这是在结构上的一次较大改进，为将指南针用于航海提供了便利条件。指南针用于航海的记录，最早见于宋代朱彧的《萍洲可谈》：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针”。以后，关于指南针的记载极丰。到了明代，遂有郑和下西洋，远洋航行到非洲东海岸之壮举。



图 1.1.1 后世仿造的阿房宫

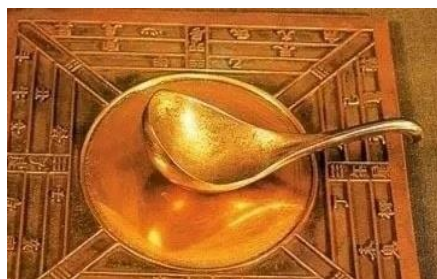


图 1.1.2 司南

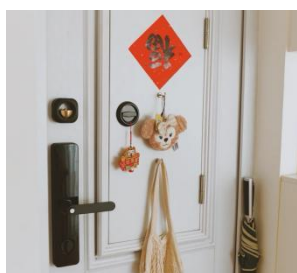
表 1.1.1 分层学习要求

课标	基础标准	进阶标准	高阶标准	学习指导
<p>1.通过实验,了解物质的一些物理属性,如弹性、磁性、导电性和导热性等,用语言、文字和图表描述物质的这些物理属性。</p> <p>2.通过实验认识磁场;知道地磁场</p>	<p>1.根据现象,总结出“磁性”“磁体”“磁极”概念。</p> <p>2.通过演示实验,总结出磁极间相互作用的规律。</p> <p>3.认识磁场的存在和作用效果。</p> <p>4.能画出闭合的磁感线。</p> <p>5.了解“磁化”和“消磁”现象,知道用磁化的方法可以让物体具有磁性。</p> <p>6.通过指南针的指向,认识地磁场的存在。</p> <p>7.能根据小磁针的指向,判断地磁场的方向</p>	<p>1.能够提供判断物体是否具有磁性的多种方法。</p> <p>2.能理解磁感线是一种假想的曲线。</p> <p>3.能理解磁体周围磁感线的立体、闭合、分布不均。</p> <p>4.能判断磁感线、小磁针指向、磁极方向三者的相互关系</p>	<p>1.思考物体具有磁性的本质。</p> <p>2.理解磁场方向的唯一性。</p> <p>3.了解磁化的方向性。</p> <p>4.了解地球磁场产生的可能原因和地磁场发生的变化</p>	<p>1.本节建议两课时,第一课时重点在于认识概念和理解磁感线;第二课时重点在于磁化、地磁场等现象的探究。</p> <p>2.在本节学习的过程中,需要对学生的作图规范和空间想象能力进行强化训练</p>

## 认识磁体

磁体在现代生活和科学技术中应用广泛。它使我们的生活更加便捷、有趣。

当你想把可爱的挂件挂出来展示，又不想弄脏墙面，磁铁挂钩来帮忙。磁铁可以直接吸附在入户门、冰箱、洗衣机等金属表面，既不弄脏墙面，又将挂饰完美展示。当你想要在黑板醒目位置张贴通知，胶带不是唯一选择，磁贴可以助你一臂之力。它方便粘取，还不会留下黏腻的痕迹。还记得小时候玩过的磁力片吗？你可以利用它们之间的互相吸引，任意变换形状，展现你惊人的想象力和创造力。如图 1.1.3 所示。



(a) 磁铁挂钩



(b) 磁贴



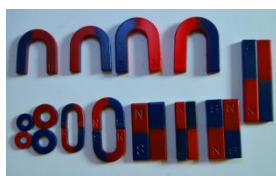
(c) 磁力片

图 1.1.3 磁体在生活中的应用

磁铁挂钩能够吸住金属表面，磁贴能够吸住黑板，磁力片能够互相吸引，关键在于它们内部有磁铁存在。磁铁能够吸引所有物体吗？通过不断尝试，你会发现，磁铁能够吸引铁、钴、镍等物质。人们最早发现的磁铁，属于天然的磁铁矿。古希腊人和古代中国人发现自然界中有种天然磁化的石头，能够神奇地吸起小块的铁，人们称其为“吸铁石”或者“磁石”。现在，人造磁铁的种类越来越丰富。磁性塑料和磁性橡胶是 19 世纪 70 年代发展起来的新型高分子功能材料，磁性冰箱贴就是用磁性橡胶制成的，样式精美，装饰效果绝佳。如图 1.1.4 所示。



(a) 天然磁铁矿



(b) 人造磁铁

1. 磁体应用广泛，得益于它的什么性质呢？

2. 什么是磁铁？磁铁有哪些应用？



(c) 磁性冰箱贴

图 1.1.4 磁性材料

天然磁铁矿和人造磁铁，统称为磁体。

### 磁体的磁性

能吸引铁、钴、镍等物质的性质称为磁性。

在桌面上均匀地撒一些细铁屑，当磁铁靠近这些铁屑时，磁铁的两端都吸上了较多的铁屑，而磁铁的中部吸引得较少（见图 1.1.5）。这说明，磁铁各个部分磁性强弱不同，两端的磁性比中部要强很多，**磁铁两端磁性强的区域称为磁极。**



图 1.1.5 磁铁吸引铁屑

将一根条形磁铁用细线悬挂起来（见图 1.1.6），当磁铁静止时，它总是朝向南北方向。将磁铁转向东西方向，释放后，当它静止时，它又会朝着南北方向。从这个简单的实验现象可以知道，**磁铁有极性。**磁铁静止悬挂时，指向北的磁极称为**北极（或 N 极）**，指向南的称为**南极（或 S 极）**。磁极总是成对出现，至今还未发现单磁极的磁体。指南针其实就是一个可以自由旋转的小磁体（见图 1.1.7）。

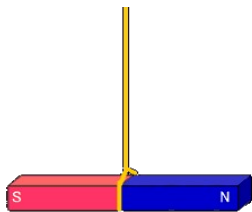


图 1.1.6 悬挂的条形磁铁



图 1.1.7 指南针

3. 磁极间的相互作用是通过什么实现的呢？

4. 设想一下，若是一根磁铁从中间断开了，会出现两个磁单极吗？

5. 磁极的指向是否不变，它会受什么影响？



## 想一想

如果用另一根磁铁的一端分别靠近如图 1.1.8 所示悬挂磁铁的 N 极和 S 极，仔细观察，你会发现什么？

通过实验发现，当两根磁铁的 N 极靠近时，它们相互排斥；当两根磁铁的 S 极靠近时，它们也是相互排斥；然而，当一根磁铁的 N 极靠近另一根磁铁的 S 极时，或者一根磁铁的 S 极靠近另一根磁铁的 N 极，它们相互吸引。简而言之，磁极间的相互作用遵循这样的规律：**异名磁极互相吸引，同名磁极互相排斥。**

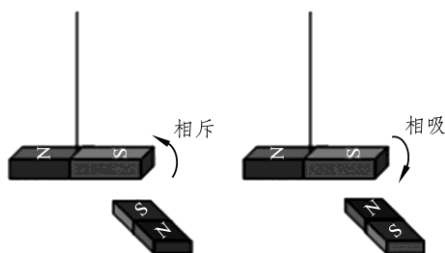


图 1.1.8 同名磁极相斥，异名磁极相吸

可以自由转动的指南针静止时总会朝着南北指向，周围没有磁铁，它为什么会这样呢？我们似乎可以从磁极间的相互作用中推测：地球可能本身就是一个巨大的磁体，并且，地球这个磁体的 S 极应该在地球的地理北极附近，地球这个磁体的 N 极应该在地球的地理南极附近，因为指南针的 N 极总是指向地球的北方——即地磁的 S 极。如图 1.1.9 所示。

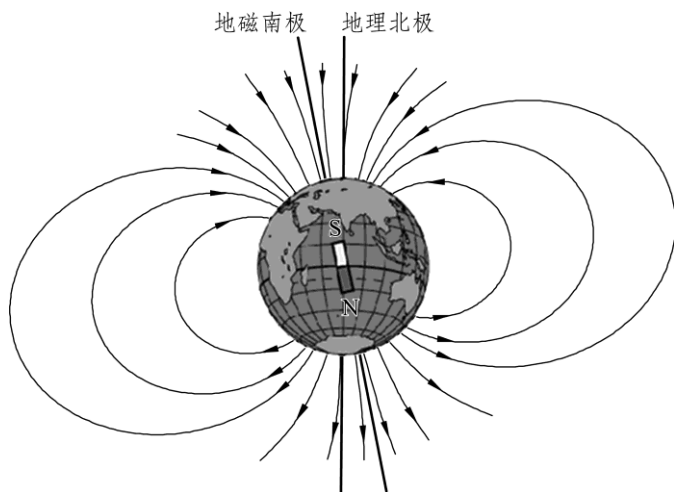


图 1.1.9 地磁场

中国宋代科学家沈括（1031—1095 年）是历史上第一位从理论高度来研究磁偏现象的人。他在《梦溪笔谈》中，最早记载了地磁偏角“方家（术士）以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”。首位提出较系统理论的是英国人威廉·吉尔伯特（William Gilbert，公元 1544—1603 年）。他在 1600 年著的《磁石论》一书中，把当时许多有关磁体性质的事实都记录下来，同时创造性地做了划时代的实验：把一块天然

6. 总结磁体间相互作用的规律，举例生活中哪些物品应用了这个规律？

7. 指南针总是指向南北方向，地磁的南北方向与磁体的南北极有什么关系？

8. 地球的磁场跟哪种磁体的磁场比较类似呢？

磁石磨制成一个大磁球，用小铁丝制的小磁针装在枢轴上，放到该磁球附近，在这磁球面上发现小磁针的各种行为与我们在地球上看到指南针的行为完全一样。吉尔伯特用石笔把小磁针排列的指向标出一条条线，画成许多子午圈，与地球经线相像，也有一条赤道，小磁针在赤道上则平行于球面。因此吉尔伯特提出了一个理论：认为地球本身就是一块巨大的磁石，磁子午线汇交于地球两个相反的端点，即磁极上。



图 1.1.10 沈括



图 1.1.11 威廉·吉尔伯特 ( William Gilbert )

## 磁化与消磁

散落在桌面上的回形针可以被磁铁吸引。实验时，你会发现被吸上去的回形针的下方还有回形针被吸着，如图 1.1.12 所示。这说明：与磁铁接触的回形针具有了磁性。当移走磁铁时，回形针纷纷脱落，且相互之间也不再吸引，这又说明：脱离磁铁时，原本“具有”磁性的回形针又失去了磁性，很快就会散落开来。



图 1.1.12 永磁体使回形针磁化

一些物体在磁体或电流的作用下会显现磁性，这种现象叫做磁化。在刚才的实验中，之所以磁铁下方的回形针具有了磁性，就是磁铁将其磁化的结果。

当磁化后的材料受到了外来能量的影响，例如加热、冲击，磁性会减弱或消失，这个过程就称为消磁。还有一种消磁的方法是：把留有磁性的材料置于交流磁场中，渐渐减弱交流磁场强度直至消失，此材料就被消磁了。

磁性材料（见图 1.1.3）按照磁化后消磁的难易程度，可分为软磁性

9. 什么是磁化？磁化有哪些方法？

10. 什么是消磁，消磁有哪些方法？



材料和硬磁性材料。磁化后容易去掉磁性的物质叫**软磁材料**，不容易去磁的物质叫**硬磁材料**。一般来讲软磁性材料剩磁较小，硬磁性材料剩磁较大。软铁（碳的成分很低的铁）就是常见的软磁材料，而钢就是常见的硬磁材料。

11. 磁性材料可以如何分类？



图 1.1.13 磁性材料

## 磁场

磁体间的相互作用遵循“同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引”的规律。而且两块磁铁即使不是紧挨着，只要它们不是距离非常远，我们就可以感觉到它们之间力的作用，不管是引力还是斥力。可是它们之间并没有绳子或者弹簧之类的东西连着，那么这个力是怎么来的呢？

如图 1.1.14 所示，磁体与小球并未接触，却改变了小球的运动方向。这说明：磁体周围存在着我们肉眼看不见的物质——**磁场**。磁体周围存在着磁场，磁场对放入其中的磁体有作用力，这是磁场的基本性质。

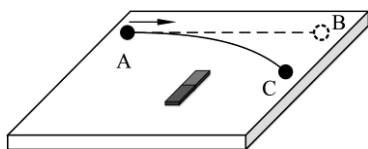


图 1.1.14 磁体吸引小球



## 做一做

磁体周围存在磁场，磁体间的相互作用就是以磁场作为媒介的。如图 1.1.5 所示，用条形磁铁靠近小磁针，你会观察到，小磁针发生偏转，这是因为小磁针处于条形磁铁的磁场中，条形磁铁的磁场对小磁针产生力的作用，小磁针受力发生偏转。紧接着，交换磁体的磁极方向，观察小磁针的偏转方向，你会发现，小磁针的偏转方向也发生了改变，这是因为力的方向发生了改变。当然，小磁针周围也存在磁场，当条形磁铁靠近小磁针时，条形磁铁也会处于小磁针的磁场中，小磁针的磁场对条形磁铁产生力的作用。小磁针对条形磁铁的力和条形磁铁对小磁针的力，这两个力是一对相互作用力，大小相等。只不过小磁针对条形磁铁

的力相对于条形磁铁而言，作用效果不明显。

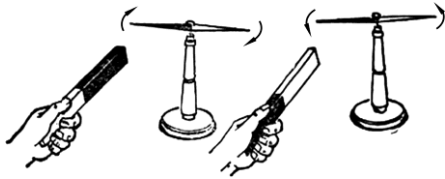


图 1.1.15 条形磁铁使小磁针发生偏转

把同一个小铁钉放在条形磁铁产生的磁场中的不同位置，小铁钉受到的磁力大小和方向不同，这表明磁场不仅有强弱而且有方向。

磁场的方向如何确定呢？我们可以通过小磁针的指向，去寻找答案。在条形磁铁的周围，多放置一些小磁针，观察小磁针 N 极的指向。你会发现，当小磁针静止时，小磁针指向确定，且在不同位置静止时，小磁针的指向并不相同，如图 1.1.16 所示。小磁针静止是因为它的两极受到的磁场力作用线过转轴，即力矩均为零。这说明这些小磁针的指向大致描述了条形磁铁周围磁场的方向。



图 1.1.16 永磁体周围小磁针的指向

物理学中规定：小磁针在磁场中某一点静止时，N 极的指向即为该点磁场的方向。从某种意义上说，磁场方向的规定有一定的人为因素。

如果将条形磁铁或 U 形磁铁上放一块透明玻璃板，将铁屑均匀的撒在玻璃板上，轻轻敲击玻璃板，发现铁屑呈现如图 1.1.17 所示的分布。图 1.1.16 与图 1.1.17 所示的情景是不是很相似呢？其实，图 1.1.17 中的铁屑被磁化了，因此与图 1.1.16 中小磁针的情景别无二致。在磁铁的磁场内，铁屑颗粒受到磁力作用而具有磁性，每一个铁屑颗粒就相当于一个小磁针。

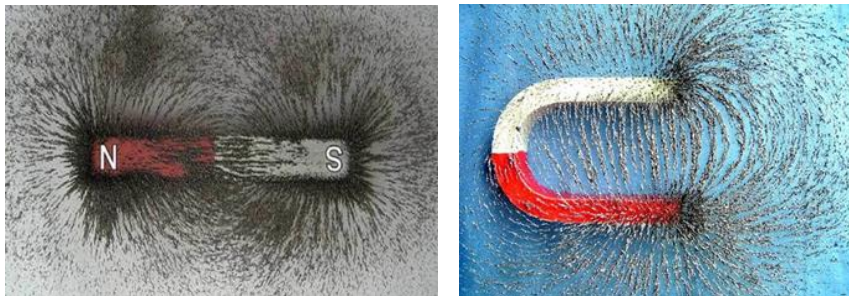


图 1.1.17 永磁体周围铁屑的分布

12. 磁场产生的力的作用效果与什么有关？

13. 不同磁体的外部磁场分布有哪些特点？

14. 圆环形磁铁内部有磁场吗？请说明你的探究方案？

15. 为什么我们不规定 S 极的方向为磁场方向呢？

铁屑的分布还表征了磁场强弱的信息。在磁铁的两极处，铁屑的分布最密集，说明铁屑在该处所受磁力较大，磁性较强；离两极越远，铁屑的图样越来越稀疏，说明该处磁力较小，磁性较弱，磁场也越弱。铁屑颗粒分布的疏密情况，可以显示铁屑在磁铁周围各处所受的磁力大小，也可以呈现出磁铁周围各处磁场的强弱，但却无法显示磁铁周围各处的磁场方向。

### 磁感线

在一块薄玻璃板的下面分别放两块磁铁，让它们的异名磁极相对，或者同名磁极相对。玻璃板上撒一些细的铁屑，看会发生什么现象？你会看见，铁屑会自动排列起来，连成一条条曲线，如图 1.1.18 所示。

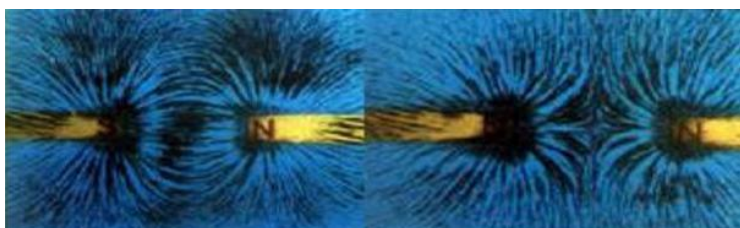


图 1.1.18 铁屑分布图

其中，N、S 极相对的两块磁体中间，铁屑在 N 极和 S 极之间形成的曲线是连续的，也就是说，曲线从 N 极直至 S 极，而 N 极和 N 极之间的曲线互相排斥，不能融合和贯穿。这种现象说明，磁铁的两极之间存在某种联系。为了形象地描述磁场，人们就把铁屑在磁场中的排列情况，用一些带箭头的曲线来表示，这样的曲线叫做磁感线。磁感线上，任何一点的切线方向表示该点磁场的方向，曲线分布的疏密程度表示磁场的强弱。几种典型磁场的磁感线分布情况如图 1.1.19 所示。

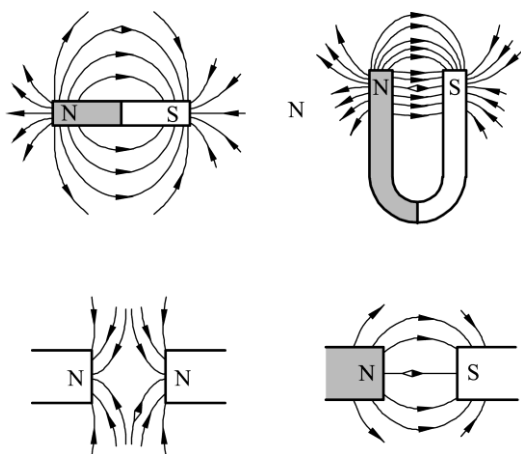


图 1.1.19 几种典型磁场的磁感线分布

有了磁感线，我们就可以很方便地描述磁铁之间的相互作用。但是必须明白，磁感线是我们为了理解方便而假想的，实际上并不存在。

16. 铁屑分布的疏密程度与磁场强弱的关系是怎样的？

17. 试试看画出条形磁体周围的磁感线。

18. 磁感线是否真实存在？它有哪些特征？

19. 理解记忆几种典型磁场的磁感线分布！

## 自我评价

1. 关于磁场，下列说法正确的是（ ）。

- A. 地磁场的 N 极在地理北极附近，S 极在地理南极附近，地磁两极与地理两极并不完全重合
- B. 磁极间的相互作用不都是通过磁场发生的
- C. 磁感线是磁场中真实存在的一些曲线
- D. 磁体周围的磁感线从磁体的 N 极发出，回到磁体 S 极

2. 在一个圆纸盒里有一个条形磁体，圆纸盒外放着一些小磁针，各磁针的指向如图 1.1.20 所示，请画出圆纸盒里的磁体并标明 N、S 极。

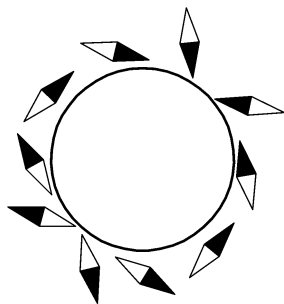


图 1.1.20 圆纸盒与小磁针

3. 如图 1.1.21 所示，小磁针处于静止状态，请在图中虚线处标出磁感线的方向和小磁针的 N 极。

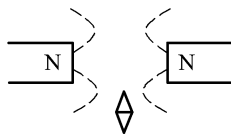


图 1.1.21 条形磁铁的磁场

4. 有两根完全相同的钢棒，一根有磁性，另一根没有磁性，如果不用其他器材，怎样才能知道哪一根有磁性，哪一根没有磁性？



## 磁畴：用量子理论从微观上说明铁磁质的磁化机理

磁铁的外部，磁感线由磁铁的N极穿出，进入磁铁的S极。那么，磁铁的内部情况又如何呢？

要解释上面的问题，我们还应该认识磁体的内部情况。磁性材料里面分成很多微小的区域，每一个微小区域就叫一个磁畴，如图 1.1.22，每一个磁畴都有自己的微小磁场。

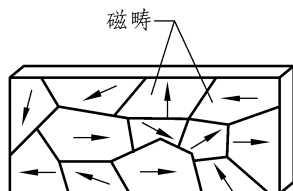


图 1.1.22 磁畴

一些材料，其内部各个磁畴的微小磁场方向不同，磁场互相抵消，所以整个材料外显的磁性是很微弱的。当各个磁畴的方向趋于一致时，整块材料对外就显示出磁性，磁化就是在做这件事（见图 1.1.23）。当对外不显磁性的材料被放进另一个强磁场中时，就会被磁化。但是，不是所有材料都可以被磁化的，只有少数金属及金属化合物可以被磁化。

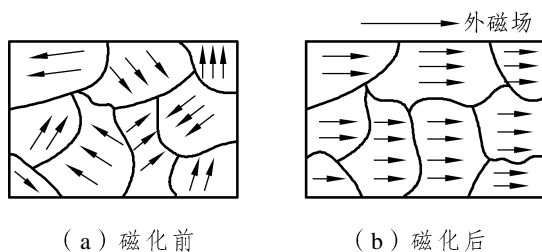


图 1.1.23 磁化前后

用磁畴可以解释磁体被分开后为什么并不是两半各剩一个磁极了。在条形磁体中间，存在着许许多多磁畴的北极和南极，彼此相对排列，磁性相互抵消。而在磁体两端的磁畴磁极处于磁体的最外端，没有与之相反的磁极，因此磁性很强。如果将磁体分割成两半，其中的磁畴依然按同样的方式排列着，因此，半块磁体的两端同样分别有许多的磁畴南极和北极，构成很强的磁性。

可能你已经发现，磁铁内部各个磁畴排列一致，都是由S指向N，由此可以推测：磁铁内部的磁场从S极指向N极。

综上所述，磁铁外部的磁感线从磁铁的N极穿出，进入磁铁的S极，在磁铁内部从S极又回归到N极，磁感线形成闭合的回路，条形磁铁的磁场分布如图 1.1.24 所示。<sup>①</sup>

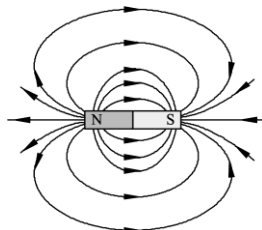


图 1.1.24 条形磁铁的磁感线

① 张志东. 磁性材料的磁结构、磁畴结构和拓扑磁结构[J]. 物理学报, 2015, 64 (6): 67503-067503.

## 第2节 电流的磁场



### 奥斯特发现电流的磁效应

奥斯特早在读大学时就深受康德哲学思想的影响，认为各种自然力都来自同一根源，可以相互转化。他一直坚信电和磁之间一定有某种关系，电一定可以转化为磁。

自从库仑提出电和磁有本质上的区别以来，很少有人会再去考虑它们之间的联系。奥斯特仔细地审查了库仑的论断，发现库仑研究的对象全是静电和静磁，确实不可能转化。他猜测，非静电、非静磁可能是转化的条件，应该把注意力集中到电流和磁体有没有相互作用的课题上去。

1819年上半年到1820年下半年，奥斯特一边担任电、磁学讲座的主讲，一边继续研究电、磁关系。1820年4月，在一次讲演快结束的时候，奥斯特抱着试试看的心情又做了一次实验。他把一条非常细的铂导线放在一根用玻璃罩罩着的小磁针上方，接通电源的瞬间，发现磁针跳动了一下。这一跳，使有心的奥斯特喜出望外，竟激动得在讲台上摔了一跤。但是因为偏转角度很小，而且不很规则，这一跳并没有引起听众注意。之后，奥斯特花了三个月，做了许多次实验，发现磁针在电流周围都会偏转。在导线的上方和导线的下方，磁针偏转方向相反。在导体和磁针之间放置非磁性物质，比如木头、玻璃、水、松香等，不会影响磁针的偏转。

1820年8月21日，奥斯特写成《论磁针的电流撞击实验》的论文，这篇仅用了4页纸的论文，是一篇极其简洁的实验报告。实验总结出：电流的作用仅存在于载流导线的周围；沿着螺纹方向垂直于导线；电流对磁针的作用可以穿过各种不同的介质；作用的强弱决定于介质，也决定于导线到磁针的距离和电流的强弱；铜和其他一些材料做的针不受电流作用；通电的环形导体相当于一个磁针，具有两个磁极等等。正式向学术界宣告发现了电流的磁效应。<sup>①</sup>

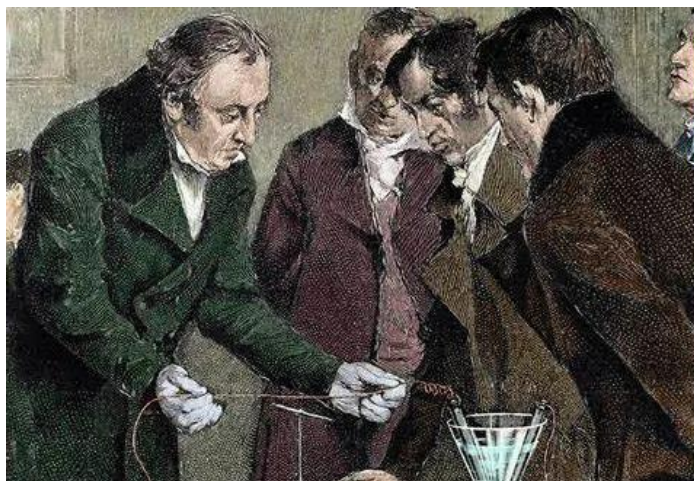


图 1.2.1 奥斯特在做实验

<sup>①</sup> 王富民. 奥斯特实验的重大意义——纪念奥斯特发现电流的磁效应 192 周年[J]. 物理教学, 2012(10).

表 1.2.1 分层学习要求

课标	基础标准	进阶标准	高阶标准	学习指导
<p>1.通过实验,了解电流周围存在磁场。</p> <p>2.探究并了解通电螺线管外部磁场的方向</p>	<p>1.了解奥斯特的发现——电流周围存在磁场。</p> <p>2.了解磁场方向和电流方向有关。</p> <p>3.理解通电直导线的磁场和通电螺线管磁场的关系。</p> <p>4.能用安培定则,判断通电螺线管的磁场方向。</p> <p>5.能判断电流方向、磁场方向、小磁针方向三者关系</p>	<p>1.了解奥斯特实验的价值,知道电与磁不是独立的现象。</p> <p>2.知道实验中导线上下均有磁场,且小磁针的偏转只在很短时间。</p> <p>3.知道如何用立体的图像画出直导线周围的磁场分布。</p> <p>4.认识到通电螺线管内部的磁场方向和小磁针的指向。</p> <p>5.能根据小磁针指向、电流方向,画出螺线管的绕线方向</p>	<p>1.知道奥斯特实验中的直导线应该南北走向放置,以减少地磁场对实验的干扰。</p> <p>2.了解右手螺旋定则,理解直导线周围的磁场分布特征。</p> <p>3.能判断同向、反向直导线所产生的磁场间相互作用。</p> <p>4.理解安培提出的“分子电流”假说,从而理解物体磁性的本质。</p> <p>5.理解“接触”“通电”两种使物体磁化的方法</p>	<p>1.奥斯特发现的电流磁效应,教师应该充分挖掘实验的各种情况,便于学生理解为什么电与磁的联系不容易被人们发现。</p> <p>2.可以额外增加右手螺旋定则,便于学生对直导线周围磁场的分布判断。</p> <p>3.本节重点在于螺线管磁性、绕线和小磁针指向间的关系。</p> <p>4.本节的难点在于理解螺线管内部磁场的方向</p>

## 奥斯特发现



### 做一做

将一根直导线沿南北方向平行放在静止的小磁针(灵活转动)的上方,给导线通电、断电,如图 1.2.2 所示,观察小磁针的偏转情况。再改变电流的方向,观察小磁针的偏转情况。

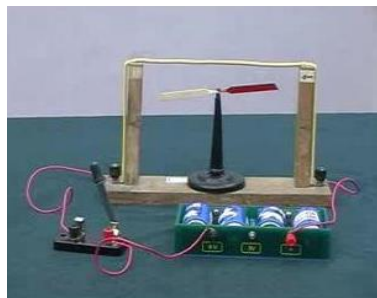


图 1.2.2 通电导线与小磁针

## 电流的磁效应

以上实验过程,就是著名的奥斯特实验。

我们向经典致敬,用实验进行探究,获取真知。

如图 1.2.3 (a) 所示,电路接通时,通电导线周围产生了磁场,小磁针在电流产生的磁场中受到力的作用而偏转。图 (b),断电情况下,小磁针不转动。图 (c),改变电流方向,小磁针的转动方向也发生改变。

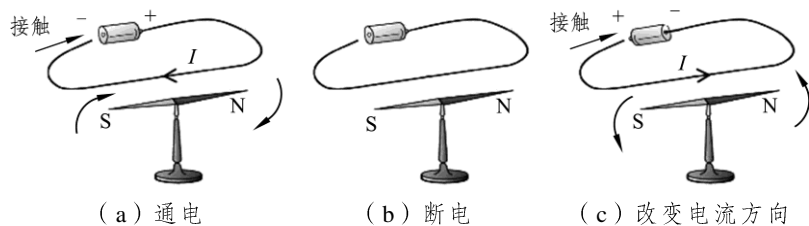


图 1.2.3 电流的磁效应实验现象

通过以上实验,我们可以知道:电流周围存在磁场,磁场方向跟电流的方向有关。

奥斯特发现的电流磁效应,是科学史上的重大发现,它立即引起了那些懂得它的重要性和价值的人们的注意。在这一重大发现之后,一系列的新发现接连出现。两个月后安培发现了电流间的相互作用,阿拉果制成了第一个电磁铁,施魏格发明电流计等。安培曾写道:“奥斯特先生,已经永远把他的名字和一个新纪元联系在一起了。”

## 电流的磁场

电流周围产生的磁场分布有什么特点呢?

1. 导线通电时间有什么要求?

2. 为什么直导线一定要沿南北方向和小磁针平行放置?

3. 奥斯特实验说明了什么?



我们可以通过以下方式去探究。让通电导线竖直穿过一块撒有铁屑的水平塑料板，就可以清晰地显示出通电导线周围磁场的分布情况。观察发现，当导线通过电流时，塑料板上的铁屑将环绕这根导线形成一个个同心圆，如图 1.2.4 所示。这些同心环线表明，通电导线周围的磁感线是闭合的，与一般磁体的磁感线情况是一样的。



图 1.2.4 通电导线周围的磁感线

如果塑料板上不撒铁屑，而是摆放一些小磁针，看到的情况又会如图 1.2.5 所示，小磁针的 N 极指向就显示了磁场的方向。如果将导线中的电流反向，小磁针的 N 极指向也反向，说明磁场也反向了。

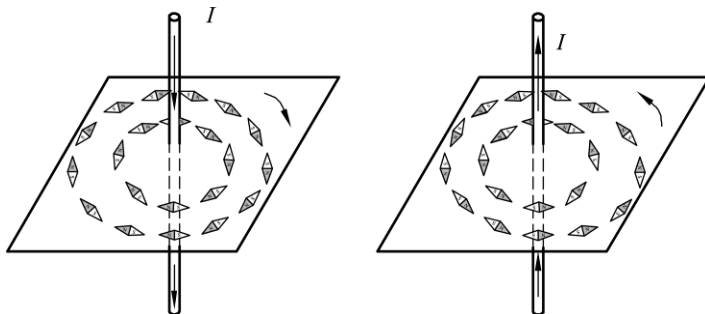


图 1.2.5 通电直导线周围的磁场

法国科学家安培 (André-Marie Ampère, 1775—1836 年)，通过大量实验，研究了磁场方向与电流方向之间的关系，并总结出安培定则，也叫做右手螺旋定则：用右手握住通电直导线，让大拇指指向电流的方向，那么四指的指向就是磁感线的环绕方向，即磁场的方向。如果我们研究通电直导线磁场方向的剖面图和俯视图，则如图 1.2.6 所示：

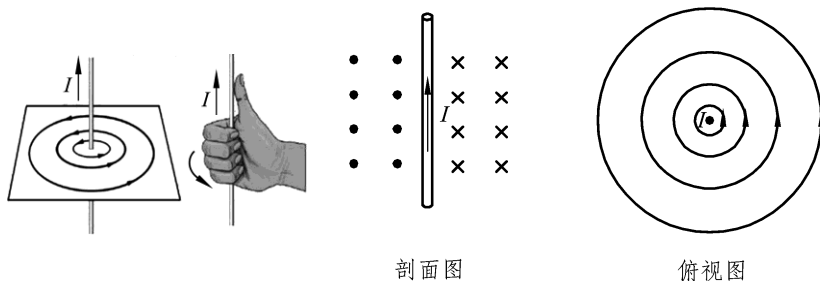


图 1.2.6 安培定则一

当环形导线中通电流时，电流周围产生的磁场分布如图 1.2.7 所示。

4. 电流周围的磁场有什么分布特点？

5. 安培定则一中，四指的指向是什么？大拇指的指向是什么？

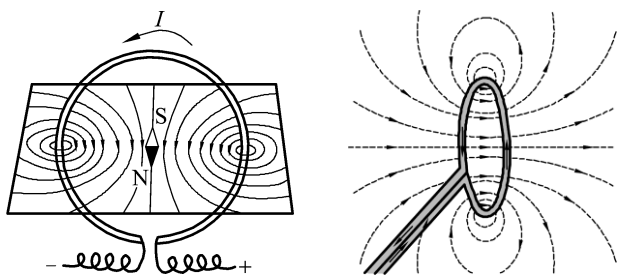


图 1.2.7 环形导线周围的磁场

如果将一条长长的金属导线在一个空心筒上沿一个方向缠绕起来,形成的物体我们称为螺线管。在螺线管穿过的玻璃板上均匀地撒满铁屑,通电后轻敲玻璃板,观察铁屑的排列情况。改变电流方向,再观察一次。如图 1.2.8 所示。

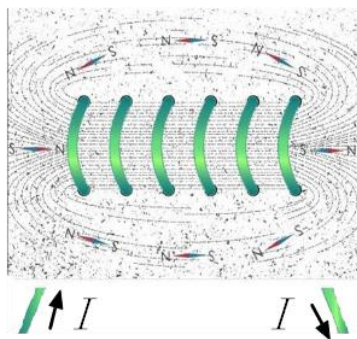
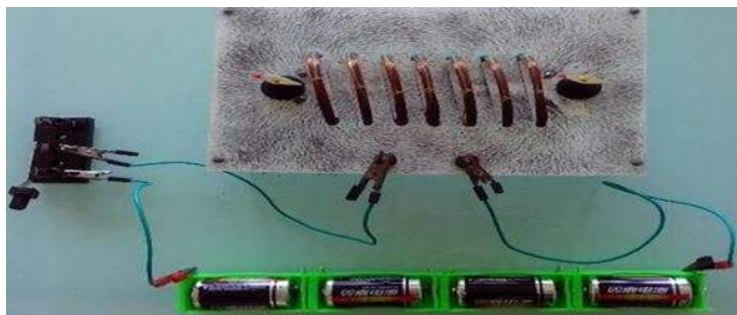


图 1.2.8 通电螺线管周围的磁场

结合通电导线周围磁场的分布特点我们也可以做出如下分析。通电以后,螺线管的每一匝都会产生磁场,磁场的方向如图 1.2.9 (a) 中的圆形箭头所示。那么在相邻的两匝之间的位置,由于磁场方向相反,总的磁场相抵消;而在螺线管内部和外部,每一匝线圈产生的磁场互相叠加起来,最终形成了图 1.2.9 (b) 所示的磁场形状。

可以看出,在螺线管外部的磁场形状和一块条形磁铁产生的磁场形状是类似的。而螺线管内部的磁场刚好与外部的磁场组成闭合的磁感线。在图 1.2.9 (c) 中,螺线管表示成了上下两排圆,好像是把螺线管从中间切开来。上面的一排圆中有叉是表示电流方向垂直指内侧;下面的一排圆中有一个黑点,表示电流方向垂直流向外侧。

6. 摆放小磁针和铁屑的区别是什么?

7. 通电螺线管周围的磁场分布有什么特点?

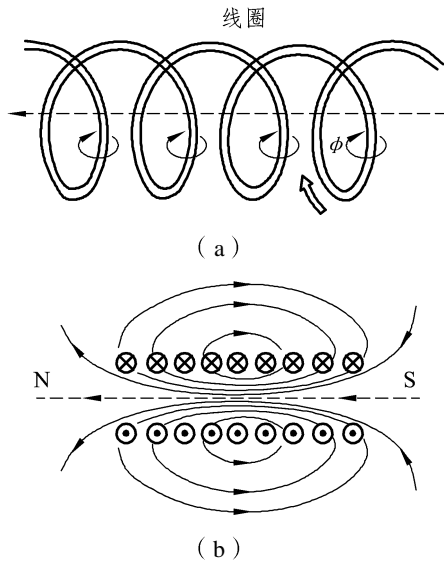


图 1.2.9 螺线管磁场方向

为了便于记忆，法国科学家安培总结出判断通电螺线管的磁极性跟电流方向的关系的方法——安培定则二：用右手握住通电螺线管，让四指弯向螺线管中电流的方向，则大拇指所指的那一端就是螺线管的 N 极。如图 1.2.10 所示。

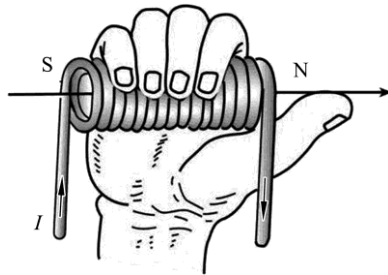


图 1.2.10 安培定则二

8. 螺线管内外部磁场有什么联系？

9. 在安培定则二中，四指和拇指分别指向什么？

## 自我评价

1. 通电螺线管的磁感线分布与\_\_\_\_\_磁体相似。磁感线从螺线管的一端出来，从另一端进去，经过螺线管内部空间形成闭合曲线。在螺线管磁感线的出端一定是\_\_\_\_\_极，入端一定是\_\_\_\_\_极。

2. 如图 1.2.11 所示，蚂蚁和猴子分别用两种行动的语言来描述通电螺线管的电流方向与 N 极位置关系。

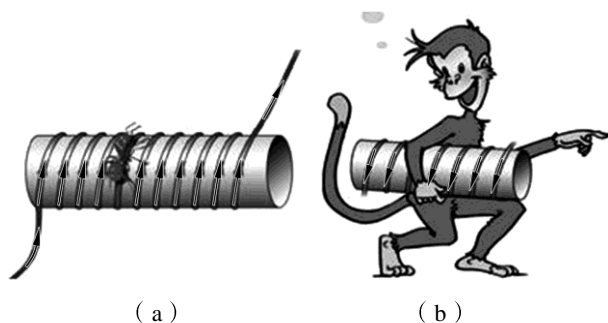


图 1.2.11

(1) 图 (a): 蚂蚁沿着电流方向绕螺线管向上爬行，它说：“N 极就在我的\_\_\_\_\_（选填‘左’或‘右’）边。”

(2) 图 (b): 猴子用右手把一个螺线管夹在腋下，它说：“如果电流沿着我右臂所指的方向，N 极就在我的\_\_\_\_\_（选填‘前’或‘后’）方。”

3. 如图 1.2.12 中，框内条形磁铁的磁性减弱了，如果给你足够长的导线和电源你能用电流来使它的磁性增强吗？在方框内画图表示。

4. 如图 1.2.13 电源左右两端的括号中用“+”“-”标出电源的正负极。

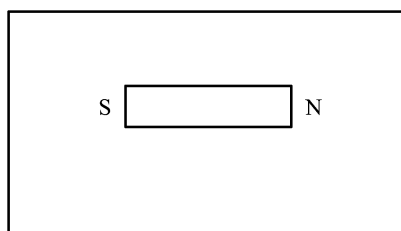


图 1.2.12

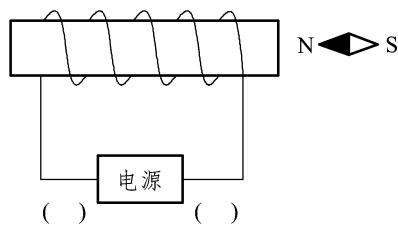


图 1.2.13



## 正在消失的地磁场

科学家发现，现在地球的磁场似乎处于不断变弱的情况。欧洲航天局的数据也表明在过去的 200 年里，地球的磁场已经降低了 9%，尤其是非洲与南美洲之间的南大西洋的强度削弱得更加明显，达到了历史新低。图 1.2.14 是地磁场模拟图。

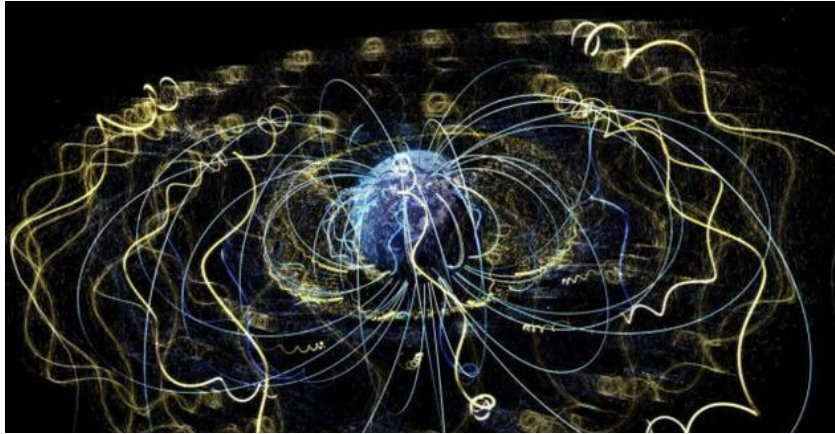


图 1.2.14 地磁场

### 地球磁场

可以把地球的磁场类比成一个条形磁铁，这个磁铁的方向比地球的自转轴倾斜了 11 度，与中心偏离 550 公里，磁铁两极的磁性最强，两极中点的强度则是两极的一半。通常会采用磁感线将它进行可视化，从一极出发形成弧形进入另一极。

那么它究竟是如何产生的呢？现在普遍认为，地球内核的熔融金属芯中产生的循环电流可能是磁场的起源，在地球表面测得的磁力强度大概在 0.3~0.6 高斯。

然而，并不是含有铁芯就能够产生磁场，金星与地球的内核的铁芯成分相似，如图 1.2.15 所示，但却没有检测到磁场的存在，又是怎么一回事呢？



图 1.2.15 地球内核

地球磁场的出现很可能取决于液态金属铁的旋转，旋转导体就像一个发电机一样，于是产生了磁场。金属液态的对流驱动着流体向外核流动，循环方向与地球旋转方向相对。也就是说若是通过摩擦等方式产生电荷，那么产生的电流环路就得以维持地球的磁场了。但它的运动方向并不是一成不变的，在过去的 8100 万年间，已经发现了 181 次磁极反转的情况。

此外，地球内部的磁极也不断地发生着变化，比如南部的磁极就不断移动着，科学家需要持续地对它进行追踪。

### 地球磁场的作用

地球磁场最重要的功能就是屏障的作用。首先，防止外物入侵，屏障挡住了大多数的太阳粒子和宇宙射线，比如高水平紫外线的直射。其次，它保护了星球的大气免于被太阳风吹走。此外，它还是我们制定导航系统的基础，为我们的卫星提供了电网支持。

### 失去磁场的地球会成什么样？

如果我们在突然间失去磁场，不一定代表着末日就来了。但是大量带电的太阳离子将会袭击我们的星球，我们的电网和卫星将整体瘫痪，人类也会直接暴露在高水平的紫外线辐射当中。

但我们需要明确的是，它可能会逐渐变弱，但是并不会在一瞬间突然消失，因为它源于星球内核的动力，等待它的消失可能要几十亿年。<sup>①</sup>

---

<sup>①</sup> 白木. 地球磁场会消失吗[J]. 科学之友, 2003(5): 2.

### 第3节 电磁铁



#### 电磁铁的发展史

1822年，法国物理学家阿拉戈和吕萨克发现，当电流通过其中有铁块的绕线时，它能使绕线中的铁块磁化。这实际上是电磁铁原理的最初发现。1823年，斯特金也做了一次类似的实验：他在一根并非磁铁棒的U形铁棒上绕了18圈铜裸线，当铜线与伏打电池接通时，绕在U形铁棒上的铜线圈即产生了密集的磁场，这样就使U形铁棒变成了一块“电磁铁”。这种电磁铁上的磁能要比永磁能放大多倍，它能吸起比它重20倍的铁块，而当电源切断后，U形铁棒就什么铁块也吸不住，重新成为一根普通的铁棒。

斯特金的电磁铁发明，使人们看到了把电能转化为磁能的光明前景，这一发明很快在英国、美国以及西欧一些沿海国家传播开来。

1829年，美国电学家亨利对斯特金电磁铁装置进行了一些革新，用磁电绝缘导线代替裸铜导线，因此不必担心被铜导线过分靠近而短路。由于导线有了绝缘层，就可以将它们一圈圈地紧紧地绕在一起，由于线圈越密集，产生的磁场就越强，这样就大大提高了把电能转化为磁能的能力。到了1831年，亨利试制出了一块更新的电磁铁，虽然它的体积并不大，但它能吸起1吨重的铁块，图1.3.1是电磁铁在吸引重物。<sup>①</sup>



图 1.3.1 电磁铁吸引重物

<sup>①</sup> 埃内尔·弗里格尔，约尔恩·汉尼西. 什么是什么：电磁奇观[11-14岁][M]. 高建中，译. 武汉：湖北教育出版社，2010.

表 1.3.1 分层学习要求

课标	基础标准	进阶标准	高阶标准	学习指导
无	<p>1.知道什么叫做“电磁铁”，能说出生活中三种以上的电磁铁的应用。</p> <p>2.知道如何使用控制变量法探究电磁铁磁性强弱的影响因素。</p> <p>3.知道“吸引铁钉数量的多少”可以用来说明自制电磁铁的磁性强弱</p>	<p>1.尝试自制电磁铁，进行实验探究，理解“匝数”“绕线方向”对电磁铁磁性的影响。</p> <p>2.能判断光滑绝缘杆上两个线圈的运动方向</p>	<p>1.简单了解超导电磁铁的作用。</p> <p>2.简单了解磁悬浮列车的原理</p>	<p>本节重在探究电磁铁磁性影响因素的实验；再次强化转换法和控制变量法在探究中的应用</p>



## 电磁铁

通电线圈所产生的磁场与条形磁铁的磁场类似，它也有一个 N 极和一个 S 极，所以它也是一种磁体。

在线圈中插入一根铁棒或铁芯，线圈通电时，电流的磁场会明显增强，断电时，磁场又会随即消失。线圈的磁场能使铁芯磁化，从而产生“暂时性”的磁场。

带铁芯的螺线管叫做电磁铁。如图 1.3.2 所示。



图 1.3.2 电磁铁

## 影响电磁铁磁性强弱的因素

分别将漆包线在铅笔和长铁钉上缠绕相同的圈数，然后分别连入电路中，观察它们各自吸住小铁钉的个数。

电磁铁吸引的小铁钉越多，电磁铁的磁性越强。如何让你所制电磁铁能吸引更多的小铁钉呢？

尝试后，你应该会发现：

(1) 电磁铁磁性强弱与电流大小有关。当线圈匝数一定时，通过电磁铁的电流越大，电磁铁的磁性越强。如图 1.3.3 所示。

(2) 电磁铁的磁性强弱与线圈匝数有关。当电流一定时，电磁铁线圈匝数越多，电磁铁的磁性越强。如图 1.3.4 所示。

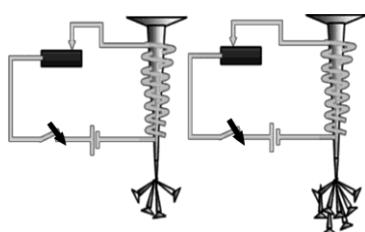


图 1.3.3 改变电流大小

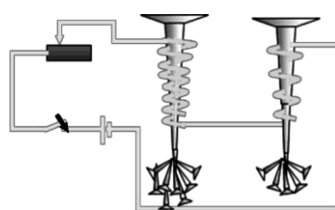


图 1.3.4 改变线圈匝数

综上所述，电磁铁磁性强弱与线圈匝数和线圈中电流大小有关。因此，为了增强电磁铁磁性，可以增大螺线管中的电流，也可以增加螺线管中线圈的匝数，用性能更强的铁磁性材料做铁芯也是常用的方法。

## 电磁铁的应用

### 电磁起重机

电磁铁的实际用途很多，最直接的应用之一就是电磁起重机（见图

1. 什么是电磁铁？

2. 影响电磁铁磁性强弱的因素有哪些？

3. 这个实验用了什么方法？

4. 吸引小铁钉的个数说明了什么？这采用了什么研究方法？

1.3.5)。利用电磁铁来搬运钢铁材料的装置叫做电磁起重机。电磁起重机的主要部分是电磁铁。接通电流，电磁铁便把钢铁物品牢牢吸住，吊运到指定的地方。切断电流，磁性消失，钢铁物品就放下来了。电磁起重机使用十分方便，但必须有电流才可以使用，可以应用在废钢铁回收部门和炼钢车间等。



图 1.3.5 电磁起重机

### 电磁选矿机

电磁选矿机滚筒本身是非铁磁性物质，是空心的；磁铁放在滚筒内的前部。

电磁选矿机是根据磁体对铁矿石有吸引力的原理制成的。如图 1.3.6 所示，当电磁选矿机工作时，铁砂将落入 B 箱。矿石在下落过程中，经过电磁铁时，非铁矿石不能被电磁铁吸引，由于重力的作用直接落入 A 箱；而铁矿石能被电磁铁吸引，吸附在滚筒上并随滚筒一起转动，到 B 箱上方时电磁铁对矿石的吸引力已非常微小，所以矿石由于重力的作用而落入 B 箱。

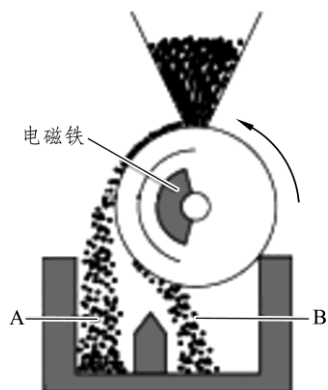


图 1.3.6 电磁选矿机示意图

### 电铃

闭合开关，电磁铁线圈中有电流通过，电磁铁有了磁性，吸引衔铁，衔铁带动下端的小锤击打电铃发出声音；同时，由于衔铁被电磁铁吸引使小锤离开触点，电路断开，电磁铁失去了磁性，衔铁在弹簧片作用下又被弹回，电路闭合。不断重复，电铃便发出连续击打声。如图 1.3.7 所示。

校园内，我们现在使用的是交流电，交流电路中电流的大小和方向随时间作周期性的变化，方便地实现了电铃不断地被敲击而发声。

5. 你还知道电磁铁有哪些应用呢？

6. 电磁铁如何甄别铁矿石和非铁矿石？

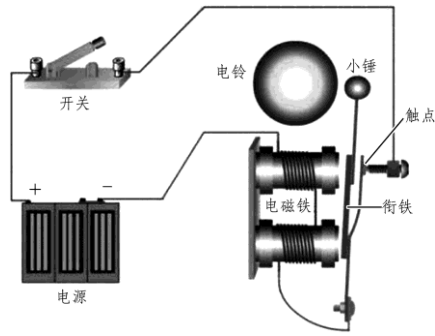


图 1.3.7 电铃

7. 电铃通过什么方式实现持续的敲击?

### 磁记录

由于电磁铁的磁性可由通断电控制, 在日常生活中, 录音带、录像带、计算机磁盘或磁性银行卡记录信息时, 会用到电磁铁。当我们对着录音机的话筒说话时, 声音的振动被转化成一种电流, 它随着声音的变化而变化, 并通过录音机录音磁头的电磁铁产生变化的磁场。如图 1.3.8 所示。



图 1.3.8 录音机

录音带是塑料做的, 上面涂有一层薄薄的磁粉, 录音磁头上电磁铁产生的磁场可以将磁粉磁化。当录音带经过电磁铁时, 磁粉或多或少被电磁铁磁化, 其磁化强度随磁场强度的变化而变化, 磁带上磁性的分布图便成了声音编码, 当放磁带时, 记录的编码又被转换回声音。同样, 这样的过程也可以被用在录像带上记录图像和声音, 用在计算机磁盘上记录各种各样的信息。如图 1.3.9 所示。

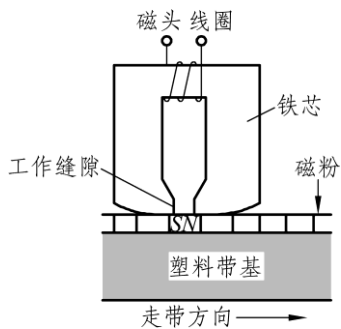


图 1.3.9 录音带

8. 录音磁头如何为声音编码?

## 自我评价

1. 为什么一个电磁铁的磁性通常比相同匝数的螺线管的磁性强？
2. 对一个已制好的电磁铁，我们可以通过改变\_\_\_\_\_来控制电磁铁的磁性强弱，通过\_\_\_\_\_来控制电磁铁磁性的有无。
3. 如图 1.3.10 所示，开关闭合后，铁钉的上端是\_\_\_\_\_极（选填“N”或“S”），当滑片向左移动时，铁钉吸引大头针的数目将\_\_\_\_\_（选填“增加”或“减少”）。
4. 图 1.3.11 所示是温度自动报警器，当温度达到\_\_\_\_\_℃时，电铃发声报警，此时电磁铁的左端是\_\_\_\_\_极。电动机工作时，能够使线圈平稳、连续不停地转动下去是靠\_\_\_\_\_来实现的。

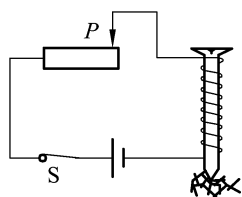


图 1.3.10

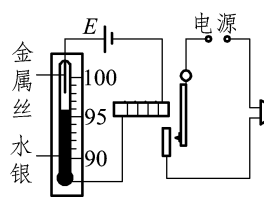


图 1.3.11



## 电磁铁与磁浮列车

2021年7月20日，由中国中车承担研制、具有完全自主知识产权的我国时速600公里高速磁浮交通系统在青岛成功下线（见图1.3.12）。这是世界首套设计时速达600公里的高速磁浮交通系统，标志着我国掌握了高速磁浮成套技术和工程化能力，对于完善我国立体高速客运交通网具有重大的技术和经济意义。



图 1.3.12 高速磁浮列车

磁浮列车是一种靠磁悬浮力来推动的列车，它通过电磁力实现列车与轨道之间的无接触的悬浮和导向，再利用直线电机产生的电磁力牵引列车运行。由于其轨道的磁力使之悬浮在空中，减少了摩擦力，行驶时不同于其他列车需要接触地面，只受来自空气的阻力，高速磁浮列车的速度可达每小时600公里，中低速磁浮列车速度则多数在100~200公里/时。

电磁悬浮是对车载的悬浮电磁铁励磁而产生可控制的电磁场，电磁铁与轨道上长定子直线电机定子铁芯相互吸引，将列车向上吸起，并通过控制悬浮励磁电流来保证稳定的悬浮间隙。电磁铁与轨道之间的悬浮间隙一般控制在8~12 mm。电磁悬浮和传统轮轨如图1.3.13和1.3.14所示。

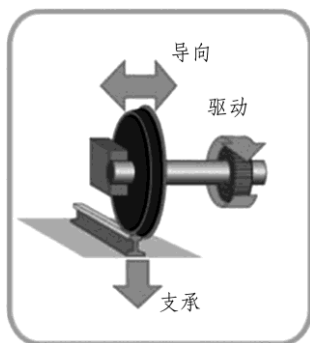


图 1.3.13 传统轮轨

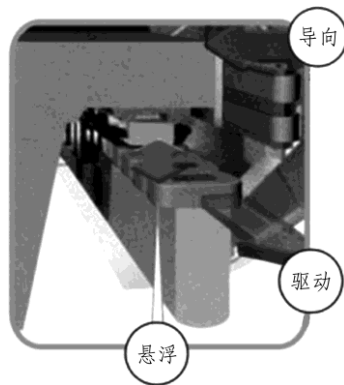


图 1.3.14 电磁悬浮

高速磁浮铁路系统由线路、车辆、供电、运行控制系统等四个主要部分构成。

**线路：**线路引导列车前进方向，同时承受列车荷载并将之传至地基。线路上部结构为用于联结长定子的精密焊接的钢结构或钢筋混凝土结构的支撑梁，下部结构为钢筋混凝土支墩和基础。

**车辆：**车辆是高速磁浮客运系统中最重要的一部分，包括悬浮架和其上安装的电磁铁、二次悬挂系统和车厢。此外还有车载蓄电池、应急制动系统和悬浮控制系统等电气设备。

**供电：**供电系统包括变电站、沿路供电电缆、开关站和其他供电设备。磁浮列车供电系统通过给地面长定子线圈供电提供列车运行所需的电能。首先，从 110 kV 的公用电网引入交流高压电，通过降压变压器降至 20 kV 和 1.5 kV，然后整流成为直流电，再由逆变器变成 0~300 Hz 交流电，升压后通过线路电缆和开关站供给线路上的长定子线圈，在定子和车载电磁铁之间形成牵引力。磁浮列车系统的整流、变流及电机定子等设备均在地面，对设备的体积和重量以及抗振性能没有严格要求。

**运行控制系统：**运行控制系统是整个磁浮交通系统正常运转的根本保障。它包括所有用于安全保护、控制、执行和计划的设备，还包括用于设备之间相互通讯的设备。运行控制系统由运行控制中心、通信系统、分散控制系统和车载控制系统组成。<sup>①</sup>

① 庞世俊，姜良奎，丁叁叁，等. 时速 600 km 磁浮列车[J]. 机械设计，2020，v.37 (S2): 336-336.

## 第4节 电磁继电器



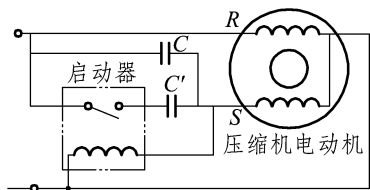
### 电磁继电器在空调中的作用

烈日炎炎的盛夏，空调和西瓜都是解暑利器。你知道吗？电磁继电器是空调的至关重要的部件。电磁继电器主要通过控制电路，控制继电器通断，进而达到控制室内、室外风扇电动机、电磁换向阀、压缩机、摆风电动机以及其他结构的目的。

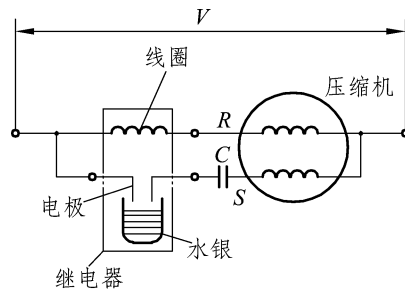
空调中所使用的电磁继电器一般可分为三大类，即启动继电器、压力继电器和过载保护器。

#### 1. 启动继电器

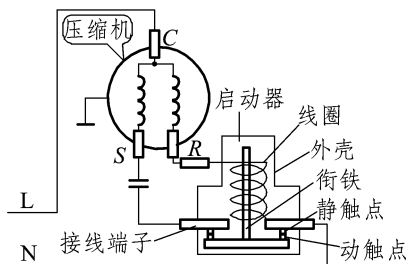
启动继电器是采用单相异步电动机的压缩机启动的专用元件。启动继电器根据与压缩机启动绕组的连接方式不同，它又分为电压式启动继电器与电流式启动继电器。电压式启动继电器是空调器中最常采用的启动继电器，它的线圈与压缩机启动绕组并联，其常闭触点与启动电容器串联。电流式启动继电器的线圈与压缩机电动机运行绕组串联，在电动机启动与运转时，运转电流通过继电器的线圈，控制触点与启动绕组串联，再控制启动绕组的闭合与断开。重锤式启动继电器、PTC（正温度系数）启动继电器、水银启动继电器均属于电流式，其连接如图 1.4.1 所示。



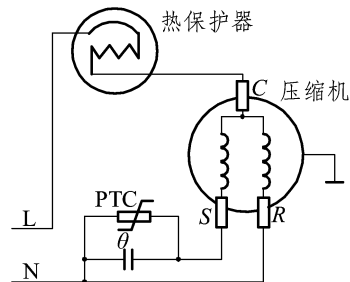
(a) 电压式启动继电器的连接线路



(b) 水银启动继电器的连接线路



(c) 重锤式启动继电器与压缩机的接线方式



(d) PTC 启动继电器的连接线路图

图 1.4.1 各种启动继电器连接线路

#### 2. 压力继电器

压力继电器又叫压力控制器或压力调节器，它是利用液体的压力来启闭电气触点的液压电气转换元件，即当空调器装置中压缩机的排出压力超过调定值或吸入压力低于调定值时，压力继电器的电触点切断电源，使压缩机停止工作，起到保护和自动控制的作用。

### 3. 过载保护器

为保证空调器的正常运行，在电气电路中常采用短路保护和过载保护措施。空调器中使用的保护电器主要有热熔断器、空气断路器以及热保护器等。

热熔断器俗称温度熔丝管，是一次性温度保护装置，实物与结构如图 1.4.2 所示。自动空气断路器简称断路器，俗称为空气开关，它不仅可作为电源开关，而且还同时具有自动保护功能。热保护器是压缩机电机的安全保护装置。热保护器按结构形式分类，可分为条形热保护器、碟形热保护器和 PTC 热保护器。热保护继电器安装在压缩机外部紧贴在机壳上，与电动机串联，并固定在接线盒内。它的作用是保护压缩机不致因电流过大或者温度过高而烧毁。碟形热保护器主要由电阻加热丝、碟形双金属片、一对触点和两个接线端子组成，其内部结构如图 1.4.3 所示。

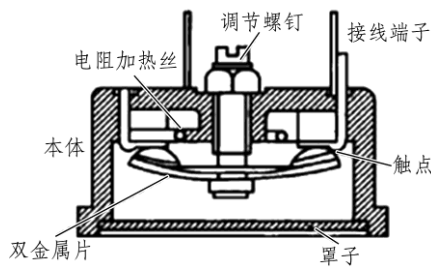


图 1.4.2 热熔断器内部结构

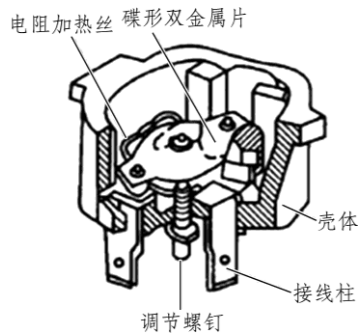


图 1.4.3 碟形热保护器内部结构

### 4. 温度控制继电器

温度控制继电器简称温控器，是对空调房间的温度进行控制的电开关设备。它根据结构形式，可分为机械压力式温控器和电子式温控器两种。

机械压力式温控器采用双金属片或充气膜盒感测室内温度，以压力作用原理来推动触点的通与断。电子式（电阻式）温控器采用电阻感温的方法来检测室内温度，一般采用白金丝、铜丝、钙丝以及半导体（热敏电阻等）为测温电阻。家用空调器的传感器大都是用热敏电阻。<sup>①</sup>

① 王海梅. 空调温度控制器电路的设计与仿真[J]. 自动化与仪器仪表, 2017, 000(010): 33-34.



表 1.4.1 分层学习要求

课标	基础标准	进阶标准	高阶标准	学习指导
无	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.能说出电磁继电器的基本结构。</li> <li>2.能描述电磁继电器的工作原理和过程。</li> <li>3.能说出生活中电磁继电器的作用(水位报警、温度报警、电铃等)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.能画出电磁继电器中控制电路和工作电路的电路图。</li> <li>2.能尝试用电磁继电器设计电路。</li> <li>3.了解生产和生活中其他继电器的工作原理(例如:投币电话、电话交换机、空气开关等)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.了解巨磁电阻现象,并解决此类磁与电的综合问题。</li> <li>2.了解干簧管(干簧继电器)的作用,并解决此类综合问题</li> </ol>	<p>本节对于学生来说比较抽象,建议充分让学生作图或者连接电路。对于电磁继电器的多种用途,应该多引导学生思考和表达</p>

## 认识电磁继电器

在生活中，我们经常看到一些大型机器在工作（如大型吊车），而它们的电流可达几十安、上百安，直接控制或操作是很危险的，那怎么才能控制这些强大的电流呢？这时电磁继电器就发挥作用了。电磁继电器是利用低电压、弱电流来控制高电压、强电流的装置。

电磁继电器一般由电磁铁、衔铁、弹簧或弹片、触点等组成，如图 1.4.4 所示。其工作电路由低压控制电路和高压工作电路两部分构成。接通控制电路，即 A、B 之间接通电流，电磁铁有了磁性，吸引衔铁，D、E 接通，使工作电路工作。断开控制电路，电磁铁失去磁性，释放衔铁，使工作电路断开。电磁铁对衔铁的吸、放，控制着工作电路的通、断，从而实现间接控制工作电路的目的。

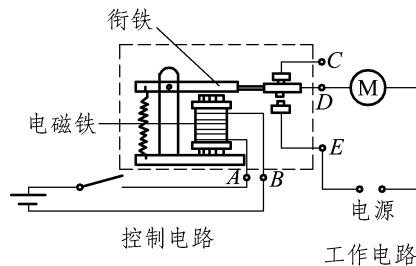


图 1.4.4 电磁继电器及其结构

电磁继电器通常应用于自动控制电路中（见图 1.4.5），它实际上是用较小的电流、较低的电压去控制较大电流、较高的电压的一种自动开关。故在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

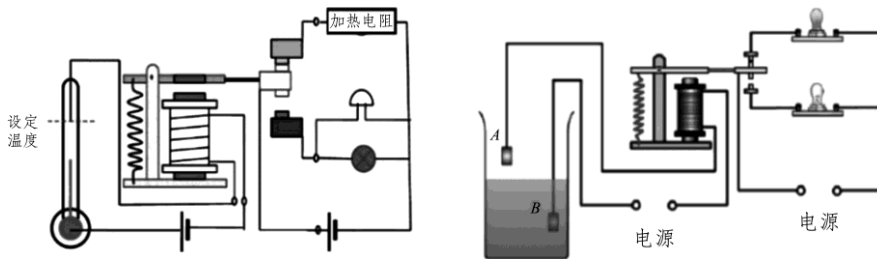


图 1.4.5 电磁继电器的应用

利用电磁继电器，不仅能实现低电压、弱电流控制高电压、强电流的电路通断，还可以实现电路的水位报警、温度报警等自动控制功能。

## 继电器与自动控制

商场、超市都有自动扶梯，细心的你是否发现，大多数自动扶梯有这样的情况：如果上面有人时运行速度较快，如果上面没有人时扶梯运行都比较缓慢。自动扶梯是如何实现这一功能的呢？在没有了解这个原理之前，你可能觉得很复杂。但如果你懂得其中的道理了，你会发现原来这里面只是一个小小的电磁继电器就可以轻松完成任务了！

如图 1.4.6 所示， $R_1$  是一个压敏电阻（电阻会随它所承受压力的变化

1. 电磁继电器由什么组成？

2. 电磁继电器如何实现控制大电流？

3. 电磁继电器可以实现哪些功能？

而变化的一种电阻),  $R_2$  是一个定值电阻,  $M$  就是带动自动扶梯上下的电动机。

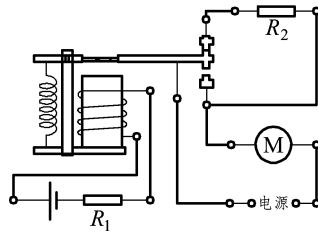
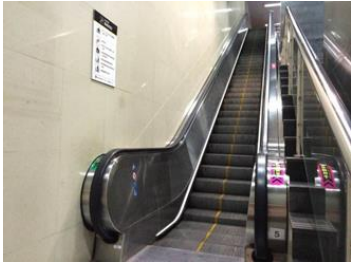
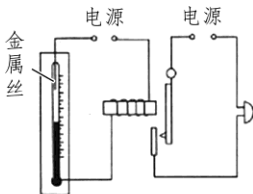


图 1.4.6 自动扶梯及其电路

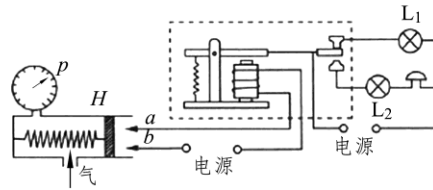
当没有人站在自动扶梯上时, 压敏电阻  $R_1$  的阻值较大, 控制电路中电流较小, 电磁铁的磁性较弱, 不能将上面的衔铁吸下来。这样, 动触点与上面的触点相接触, 被控制电路中电阻  $R_2$  和  $M$  串联, 使得通过  $M$  的电流较小而转速较慢。

当有人站在电梯上时, 压敏电阻  $R_1$  的阻值减小, 电磁铁的磁性增强, 将上面的衔铁吸下来, 使得动触点与上面的触点分开, 而与下面的触点相连接, 这时电路中就只有电动机  $M$  了, 所以通过电动机中电流就会增大, 扶梯运行的速度就变快了。

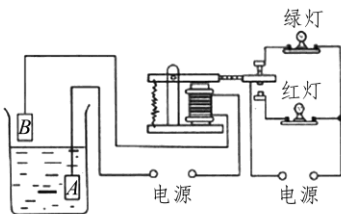
4. 电磁继电器如何在自动扶梯中发挥作用?



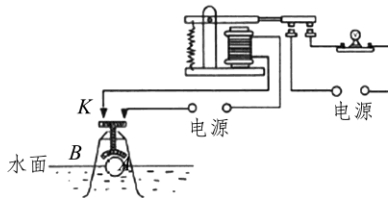
(a) 温度自动报警器



(b) 锅炉压力自动报警器



(c) 自动水位显示器



(d) 防汛报警器

图 1.4.7 形形色色的自动报警器电路图

5. 你能设计一款自动报警系统吗?

6. 试试看, 你能描述出如图 1.4-7 所示的电路原理吗?

## 自我评价

1. 电磁继电器是利用\_\_\_\_\_控制电路通断的开关，它的工作原理是：通过直接控制“\_\_\_\_\_电路”的通断，间接控制“\_\_\_\_\_电路”的通断。
2. 电磁继电器的主要构造有（ ）。
  - A. 电磁铁
  - B. 通电螺线管
  - C. 电池组
  - D. 条形磁体
3. 下列功能中，电磁继电器不能完成的是（ ）。
  - A. 控制电路中电流的连续变化
  - B. 控制电路中电流的有无
  - C. 利用低电压、弱电流控制高电压、强电流
  - D. 远距离自动控制与操作



## 载人飞船与电磁继电器

北京时间 2021 年 6 月 17 日 9 时 22 分，搭载神舟十二号载人飞船的长征二号 F 遥十二运载火箭，在酒泉卫星发射中心点火发射，如图 1.4.8 所示。



图 1.4.8 神舟十二号飞船点火升空

此后，神舟十二号载人飞船与火箭成功分离，进入预定轨道，顺利将聂海胜、刘伯明、汤洪波三名航天员送入太空，飞行乘组状态良好，发射取得圆满成功。这是我国载人航天工程立项实施以来的第 19 次飞行任务，也是空间站阶段的首次载人飞行任务。

在发射、升空在轨以及后续再入返回的全程中，航天科工研制的声表滤波器和扼流圈为航天器的通信系统应答机等关键部位提供通信保障服务，确保神舟十二号与地面通讯通畅清晰。这些体积不足指尖大，重量微乎其微的小产品，以极其稳定的可靠性，在航天器系统的传输系统、通信分系统等关键部位中广泛应用。

本次任务中，航天科工研制的高精度加速度计组合（石英挠性加速度计和 IF 转换电路组合）依然履行在微重力环境下测量加速度、帮助飞船精准把握速度和位置的职能，为飞船变轨和交会对接提供必要的实时数据。值得指出的是，为避免温度变化对石英挠性加速度计的精度产生影响，前期航天科工已攻克了主动温度控制、标定方法等难题，此次任务中，还创新增加了温度遥测模块，让温度控制多了一个“观察员”。同时，还对 IF（电流频率）转换电路进行了创新改进，将原本输出的模拟信号处理成为数字信号，提升了系统的工作效率。

此外，连接器、继电器、齿轮传动产品、锌银蓄电池和地面充放电设备、高端紧固件等也在本次任务中发挥了极为重要的作用。

火箭推动器的点火工作是由继电器来完成的。脱离火箭后，在太空中很多动作也需要飞船上的继电器得以实现。<sup>①</sup>

<sup>①</sup> 王之康，甘晓. 神舟十二号载人飞船发射圆满成功.

