

电子材料与元器件专业教材

永磁铁氧体生产工艺技术

主编 王自敏

主审 张世远



科学出版社

电子材料与元器件专业教材

永磁铁氧体生产工艺技术

主 编 王自敏
副主编 赵国法
主 审 张世远

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书按照项目化体例进行编写,以实际的工作任务为载体,基于永磁铁氧体产品系统化的生产过程,构建各章节的内容,并对其生产工艺原理、工艺过程、操作方法以及有关工艺设备的基础知识等,进行了较详细的阐述。内容包括磁学基本知识与永磁铁氧体磁参数,永磁铁氧体常用原材料及其控制,离子取代技术,低、中、高档 M 型永磁铁氧体以及具有高 B_r 的 W 型永磁铁氧体,其主配方的优化设计,预烧工艺的优化控制,预烧过程常见质量问题及其处理,常用添加剂及其作用机理,低成本生产中、低档永磁铁氧体材料的二次配方,正交法对中高档永磁铁氧体材料的二次配方设计,高档永磁铁氧体材料的二次配方,常规、中、高档永磁铁氧体细粉碎工艺的优化控制,成型、烧结、磨加工、检测工艺的优化控制及其常见质量问题的分析与对策等。

本书可作为应用型本科、高职高专电子材料与元器件专业的教材或磁性材料行业专业技术员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

永磁铁氧体生产工艺技术/王自敏主编. —北京:科学出版社,2015. 11

电子材料与元器件专业教材

ISBN 978-7-03-045452-2

I. ①永… II. ①王… III. ①永磁铁-铁氧体-生产工艺-高等职业教育-教材 IV. ①TM273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 190460 号

责任编辑:朱晓颖 张丽花 / 责任校对:桂伟利

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015 年 11 月第一次印刷 印张:22

字数:518 000

定价:56.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

永磁材料在发电机、电动机、选矿、计算机、工业自动化、通信等领域应用十分广泛,永磁材料主要有永磁铁氧体与稀土永磁两大类,永磁铁氧体的性能虽低于稀土永磁,但价格低廉,化学稳定性佳,尤其在民用领域应用量大,全国生产厂家甚多。2014年,我国永磁铁氧体产量超过全球的65%,因此如何提高铁氧体永磁材料的性能、提高生产中的成品率,已成为铁氧体永磁生产厂家十分关注的问题。

该书以永磁铁氧体生产工艺流程为主线,以实际工作任务为载体,按照项目化体例进行编写,从提高永磁铁氧体性能出发,对永磁铁氧体磁参数、离子取代技术、常用原材料及其控制、预烧、二次配方设计、微粉碎、成型、烧结、磨加工、检测等生产环节的工艺与控制技术进行了较为系统的阐述。该书具有如下特色:


(1) 基本磁学原理与永磁铁氧体生产实际相结合。

(2) 重视解决生产过程中的实际问题。该书以实际案例的形式介绍了各生产工序常见质量问题及其解决措施,实用性强。

(3) 生产工艺与先进技术相结合,介绍了超微粉碎技术等国内、外较先进的生产技术。

(4) 结合永磁铁氧体系统化生产过程,按照项目化体例重组教学内容,读者更容易吸收。

该书图文并茂,通俗易懂,可作为从事永磁铁氧体的教学、生产、研究人员的参考用书。该书对永磁铁氧体行业高技能型人才的培养、生产工艺技术的探索、行业技术进步的推动等具有十分有意义的实际价值,将会受到行业内的关注。

中国科学院院士 

2015年10月

前 言

为了适应我国磁性材料工业快速发展的形势要求,培养更多的磁性材料生产方面的实用型人才,我们根据高职高专的教学特点编写了此书。铁氧体包括永磁、软磁、旋磁、矩磁、压磁铁氧体 5 类材料。不同类型的铁氧体,其工艺具体控制细节不同,但又有相通之处,且各类铁氧体的生产、工艺路线基本相同,加之篇幅有限,本书对铁氧体家族中极为重要的、占铁氧体产量 60% 以上的永磁铁氧体展开讨论。

本书是在原普通高等教育“十一五”国家级规划教材《铁氧体生产工艺技术》的基础上进行改编的。基于永磁铁氧体产品系统化的生产过程,将其基本原理与生产实例相结合,力求反映当今世界磁性材料行业的最新技术动态和最新科技成果。

本书按照项目化体例进行编写,以实际的工作任务为载体,通过操作铁氧体生产的全过程,熟练掌握永磁铁氧体原料的选择、配方设计、预烧、微粉碎、成型、烧结、磨加工、检测等生产环节的操作技能和技巧。在此基础上,增加了知识链接,可以帮助学习者更好地熟悉铁氧体生产的理论知识,提高操作技能。

本书通过实际案例进一步细化了离子取代技术、二次配方设计技术,并着重分析生产过程中影响材料磁性能的因数,解决各参数之间的矛盾,在保证产品磁性能的前提下,如何提高永磁铁氧体材料的合格率以及粘结铁氧体大生产常规工艺控制技术。本书文字通俗,内容贴近具体的生产实际,简明易懂,可以作为应用型本科、高职高专电子材料与元器件专业的教材或磁性材料行业专业技术员的参考书。

参加本书编写工作的主要有:卢晓梅高级工程师负责绿色永磁铁氧体的生态设计、永磁铁氧体的应用等部分的编写工作,张云程高级工程师负责成型子项目 2 的改编工作,永磁铁氧体成型设备专家郑均译负责成型子项目 3、4 部分的改编工作,王自敏负责本书其他部分的改编及全书的统稿工作,赵国法高级工程师对本书的编写工作提供了大量有益的建议。张世远教授负责本书的主审工作,杨玉杰博士、金丹副教授参与了本书的审稿工作。在此一并感谢。

建议本书的理论、实训课学时分别为 80~100 学时,理、实一体化教学的效果更佳。

由于永磁铁氧体材料与元器件涉及面广,且发展十分迅速,加之编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2015 年 7 月

目 录

序

前言

| | |
|-----------------------------------|----|
| 项目 1 认识铁氧体 | 1 |
| 子项目 1 认识铁氧体 | 1 |
| 任务 1 磁性材料与铁氧体 | 1 |
| 任务 2 铁氧体的分类及其特性 | 6 |
| 任务 3 铁氧体生产工艺的特点 | 10 |
| 子项目 2 知识准备 | 10 |
| 任务 1 磁性的来源 | 10 |
| 任务 2 物质的宏观磁性 | 12 |
| 任务 3 磁畴与自发磁化 | 19 |
| 任务 4 永磁铁氧体内的磁晶各向异性 | 22 |
| 任务 5 磁致伸缩现象 | 23 |
| 任务 6 各种能量在磁畴形成(自发磁化)过程中的关系 | 24 |
| 任务 7 永磁铁氧体材料的技术磁化 | 26 |
| 任务 8 以畴壁位移为主的反磁化过程 | 28 |
| 任务 9 磁矩不可逆转动决定的矫顽力 | 32 |
| 子项目 3 认识永磁铁氧体 | 34 |
| 任务 1 对永磁铁氧体材料磁性能的要求 | 34 |
| 任务 2 改善永磁铁氧体材料性能参数的主要途径 | 45 |
| 任务 3 永磁铁氧体的制备方法 | 48 |
| 任务 4 永磁铁氧体氧化物法生产工艺流程 | 51 |
| 任务 5 汽车零部件生产现场管理的“三不原则” | 52 |
| 项目 2 永磁铁氧体的常用原材料及其控制 | 56 |
| 子项目 1 永磁铁氧体常用原材料 | 56 |
| 任务 1 永磁铁氧体常用原材料 | 56 |
| 任务 2 原料的化学特性 | 58 |
| 任务 3 原料的粉末特性 | 60 |
| 任务 4 粉末的工艺特性 | 63 |
| 任务 5 原料性能的测量 | 65 |
| 任务 6 WLP-205 型平均粒度测试仪的校准与测试 | 70 |
| 子项目 2 永磁铁氧体常用原材料的控制 | 72 |
| 任务 1 铁鳞的预处理 | 72 |
| 任务 2 Ruthner 法制备铁红 | 76 |

| | |
|--|------------|
| 任务 3 铁精矿粉 | 80 |
| 任务 4 工业废液、废渣 | 81 |
| 任务 5 在预烧料的制作过程中,对问题氧化铁的处理思路 | 81 |
| 任务 6 菱锶矿制备碳酸锶 | 82 |
| 任务 7 天青石矿制备碳酸锶 | 83 |
| 任务 8 在预烧料的制作过程中,对问题碳酸锶的处理思路 | 84 |
| 项目 3 永磁铁氧体预烧料的制备 | 86 |
| 子项目 1 永磁铁氧体的主配方设计 | 86 |
| 任务 1 永磁铁氧体的化学成分及晶体结构 | 86 |
| 任务 2 离子取代技术 | 90 |
| 任务 3 中低档永磁铁氧体的主配方设计 | 97 |
| 任务 4 中高档永磁铁氧体的主配方设计 | 102 |
| 任务 5 高档永磁铁氧体的主配方设计 | 105 |
| 任务 6 W 型永磁铁氧体的配方设计 | 110 |
| 任务 7 绿色永磁铁氧体的生态设计 | 110 |
| 子项目 2 混料与造球 | 111 |
| 任务 1 混料 | 111 |
| 任务 2 造球 | 113 |
| 子项目 3 永磁铁氧体预烧知识准备 | 115 |
| 任务 1 永磁铁氧体预烧料的特征及分类 | 115 |
| 任务 2 预烧的作用 | 116 |
| 任务 3 固相反应的认识 | 117 |
| 任务 4 固相反应的影响因素 | 118 |
| 任务 5 永磁铁氧体固相反应过程中的相变 | 122 |
| 子项目 4 永磁铁氧体的预烧 | 123 |
| 任务 1 铁氧体的预烧设备 | 123 |
| 任务 2 料球在窑内的移动与填充 | 124 |
| 任务 3 永磁铁氧体的预烧制度 | 126 |
| 任务 4 锶永磁铁氧体预烧料的检测 | 128 |
| 任务 5 永磁铁氧体预烧过程常见质量问题及处理 | 130 |
| 子项目 5 永磁铁氧体预烧料的粗破碎 | 133 |
| 项目 4 永磁铁氧体的二次配方设计 | 138 |
| 子项目 1 永磁铁氧体常用添加剂及作用机理 | 138 |
| 任务 1 添加剂 CaCO_3 的作用机理 | 138 |
| 任务 2 添加剂 SiO_2 的作用机理 | 139 |
| 任务 3 添加剂 H_3BO_3 的作用机理 | 140 |
| 任务 4 添加剂 Al_2O_3 与 Cr_2O_3 的作用机理 | 140 |
| 任务 5 其他添加剂的作用机理 | 142 |
| 子项目 2 中低档永磁铁氧体材料的二次配方设计 | 144 |

| | |
|--|------------|
| 子项目 3 中高档永磁铁氧体材料的二次配方设计——正交试验 | 145 |
| 任务 1 试验设计方法 | 145 |
| 任务 2 正交试验设计方法 | 146 |
| 任务 3 正交表 | 148 |
| 任务 4 正交试验结果的分析 | 149 |
| 任务 5 CaCO_3 、 H_3BO_3 、 SiO_2 复合添加对材料综合指标的影响 | 151 |
| 任务 6 CaCO_3 - SiO_2 复合添加对材料性能的影响 | 152 |
| 任务 7 $\text{CaO-SiO}_2\text{-SrO-Cr}_2\text{O}_3$ 复合添加剂对性能的影响 | 155 |
| 任务 8 其他复合添加剂对性能的影响 | 156 |
| 任务 9 二次球磨时加入适当的生料与材料的磁性能 | 157 |
| 子项目 4 高档永磁铁氧体材料的二次配方 | 157 |
| 项目 5 永磁铁氧体预烧料的微粉碎 | 159 |
| 子项目 1 永磁铁氧体预烧料微粉碎的知识准备 | 159 |
| 任务 1 微粉碎目的、原理及设备 | 159 |
| 任务 2 影响球磨效率的主要因素 | 164 |
| 任务 3 影响成型工艺的料浆因素 | 166 |
| 子项目 2 中高档永磁铁氧体的微粉碎工艺 | 168 |
| 任务 1 对微粉碎工艺原理的重新认识 | 168 |
| 任务 2 球磨机筒体加筋的改进 | 170 |
| 任务 3 中高档永磁铁氧体预烧料的微粉碎 | 171 |
| 子项目 3 高档永磁铁氧体的微粉碎工艺 | 173 |
| 任务 1 用正交法探讨粒度分布对永磁铁氧体各参数的影响规律 | 173 |
| 任务 2 永磁铁氧体料浆的分级研磨工艺 | 178 |
| 任务 3 亚微米级粒子的制造 | 179 |
| 任务 4 国外高性能永磁铁氧体的微粉碎工艺 | 181 |
| 任务 5 微粉碎阶段常见质量问题及其处理 | 183 |
| 项目 6 永磁铁氧体的成型 | 185 |
| 子项目 1 永磁铁氧体成型知识准备 | 185 |
| 任务 1 应力取向成型 | 185 |
| 任务 2 干压磁场成型 | 186 |
| 任务 3 湿压磁场成型原理 | 189 |
| 任务 4 湿压磁场成型效果的影响因素 | 189 |
| 子项目 2 湿压磁场成型模具设计 | 196 |
| 任务 1 磁场成型模具结构 | 196 |
| 任务 2 湿压磁场成型坯体尺寸、型腔尺寸与装料深度 | 197 |
| 任务 3 锶永磁铁氧体模具设计 | 198 |
| 任务 4 提高永磁铁氧体瓦型产品内弧磁通密度的措施 | 204 |
| 子项目 3 湿压磁场成型常见的质量问题及其处理 | 207 |
| 任务 1 喷料与跑浆现象及其处理 | 208 |

| | | |
|-------------|------------------------|-----|
| 任务 2 | 低密度生坯(软产品)现象及其处理 | 209 |
| 任务 3 | 产品圈裂与虚压现象及其处理 | 210 |
| 任务 4 | 产品侧面开裂与端面开裂现象及其处理 | 211 |
| 任务 5 | 产品粘模与层裂现象及其处理 | 213 |
| 任务 6 | 产品角裂现象及其处理 | 214 |
| 任务 7 | 其他不良成型生坯形成的原因及其解决措施 | 215 |
| 任务 8 | 成型设备的安装、维护与排水系统的优化 | 217 |
| 任务 9 | 预防高档永磁铁氧体缺陷生坯的成型工艺控制实例 | 219 |
| 子项目 4 | 生产设备的自动化、智能化、可控化与高效化 | 223 |
| 项目 7 | 永磁铁氧体的烧结 | 228 |
| 子项目 1 | 永磁铁氧体烧结知识准备 | 228 |
| 任务 1 | 铁氧体的烧结 | 228 |
| 任务 2 | 固态物质的烧结 | 229 |
| 任务 3 | 液相存在下的烧结 | 232 |
| 任务 4 | 影响铁氧体烧结效果的因素 | 234 |
| 任务 5 | 永磁铁氧体的烧结与磁参数 | 235 |
| 子项目 2 | 高温的获得与测量 | 241 |
| 任务 1 | 发热体 | 241 |
| 任务 2 | 温度的测量 | 243 |
| 子项目 3 | 永磁铁氧体的烧结 | 245 |
| 任务 1 | 铁氧体坯件的处理 | 245 |
| 任务 2 | 铁氧体烧结的三阶段 | 247 |
| 子项目 4 | 铁氧体显微结构的控制 | 249 |
| 任务 1 | 铁氧体的显微结构 | 249 |
| 任务 2 | 烧结过程中的结晶成长 | 250 |
| 任务 3 | 铁氧体显微结构的控制 | 254 |
| 任务 4 | 取向多晶铁氧体的制取 | 258 |
| 子项目 5 | 铁氧体的气氛平衡 | 261 |
| 任务 1 | 铁氧体的平衡气氛 | 261 |
| 任务 2 | 铁氧体的氧气烧结 | 262 |
| 子项目 6 | 烧结工序常见质量问题及其处理 | 264 |
| 任务 1 | 拱板现象及其预防 | 264 |
| 任务 2 | 产品升温裂纹及其预防 | 265 |
| 任务 3 | 磁体起泡现象及其预防 | 267 |
| 任务 4 | 烧结工艺与产品带磁现象及其预防 | 267 |
| 任务 5 | 其他常见质量问题及其预防 | 268 |
| 任务 6 | 推板窑升降温段结构的改进 | 268 |
| 项目 8 | 永磁铁氧体的磨加工 | 271 |
| 子项目 1 | 永磁铁氧体磨加工知识准备 | 271 |

| | |
|--|------------|
| 任务 1 铁氧体的机械加工 | 271 |
| 任务 2 永磁铁氧体产品的磨削设备 | 272 |
| 子项目 2 砂轮的选择及设计 | 275 |
| 任务 1 砂轮的选择 | 275 |
| 任务 2 金刚石砂轮 | 276 |
| 任务 3 永磁铁氧体磨加工用砂轮的设计 | 278 |
| 子项目 3 永磁铁氧体的磨加工 | 279 |
| 项目 9 永磁铁氧体产品的检测 | 281 |
| 子项目 1 永磁铁氧体产品的充磁 | 281 |
| 子项目 2 亥姆霍兹线圈测量装置测磁通 | 283 |
| 子项目 3 AMT-4 型多功能永磁测量仪对永磁铁氧体的测量 | 284 |
| 任务 1 测试原理 | 284 |
| 任务 2 测试过程 | 285 |
| 任务 3 辅助磁特性的测量 | 288 |
| 项目 10 粘结永磁铁氧体生产工艺与控制 | 289 |
| 子项目 1 粘结永磁铁氧体生产工艺知识准备 | 289 |
| 任务 1 粘结永磁铁氧体的认识 | 289 |
| 任务 2 塑料永磁体与橡胶永磁体 | 291 |
| 任务 3 Ca^{2+} 的添加对粘结铁氧体磁粉性能的影响 | 292 |
| 子项目 2 粘结永磁铁氧体用磁粉的制备 | 294 |
| 任务 1 粘结永磁铁氧体用磁粉的制备途径 | 294 |
| 任务 2 铁氧体橡塑磁性材料用磁粉的制备 | 295 |
| 任务 3 减震、消音用粘结铁氧体磁粉的制备 | 296 |
| 子项目 3 压延成型 | 298 |
| 任务 1 压延成型用设备及工艺路线 | 298 |
| 任务 2 辐射硫化技术制备橡胶磁体 | 300 |
| 任务 3 压延成型制备粘结电机磁条 | 302 |
| 任务 4 粘结永磁铁氧体卷材及其生产工艺的优化 | 303 |
| 任务 5 影响压延制品质量的因素 | 307 |
| 子项目 4 注射成型 | 309 |
| 任务 1 注射成型设备及工艺路线 | 309 |
| 任务 2 粗粉加细粉制备粘结磁体 | 312 |
| 子项目 5 挤出成型 | 312 |
| 任务 1 挤出成型用设备及其工艺路线 | 312 |
| 任务 2 磁取向挤出成型粘结永磁材料的制造 | 313 |
| 子项目 6 各向异性粘结磁体在制作过程中的常见问题 | 315 |
| 项目 11 永磁铁氧体的应用 | 317 |
| 子项目 1 永磁铁氧体与磁电机 | 317 |
| 任务 1 永磁铁氧体与永磁电机的应用 | 317 |

| | |
|----------------------------------|-----|
| 任务 2 永磁铁氧体各参数对永磁电机性能的影响规律 | 321 |
| 子项目 2 磁力回路的设计 | 322 |
| 任务 1 基础计算式 | 322 |
| 任务 2 磁铁中心线上磁通密度 $B(X)$ 的计算 | 327 |
| 任务 3 扬声器磁力回路的气隙磁通密度计算 | 328 |
| 任务 4 电动机磁力回路的有效磁通量计算 | 330 |
| 附录:生产高性能永磁铁氧体材料常用参考资料 | 333 |
| 参考文献 | 336 |

项目 1 认识铁氧体

本项目导读:本项目主要目的是让读者对铁氧体有一个初步的认识,内容包括铁氧体行业的介绍、铁氧体生产工艺中涉及的相关术语、铁氧体的特性及其生产工艺特点、磁学基本知识等。

子项目 1 认识铁氧体

铁氧体是一种以氧化铁为主要原料的磁性材料。它作为电子功能材料之一,广泛运用于电机、变压器、电子仪表等电气设备的制造;汽车、家用电器、核磁共振等消费或医疗设备的制造;移动电话、计算机、网络器材等信息设备以及飞机、火箭、卫星等航空航天设备的制造。由于它具有独特良好性能和广泛的运用领域,因而市场需求巨大。自 20 世纪 40 年代以来,特别是近 10 年以来,铁氧体的生产发展极为迅速,磁性材料的产量持续增长。

任务 1 磁性材料与铁氧体

1. 常见的磁现象

中国是世界上最早发现磁现象(见图 1.1)的国家,早在战国末年就有磁铁的记载,中国古代的四大发明之一的司南(指南针)就是其中之一,指南针的发明为世界的航海业做出了巨大的贡献。磁现象与日常生活、科技密切相关。

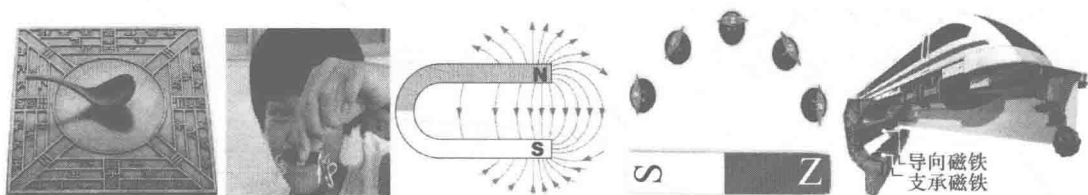


图 1.1 常见的磁现象

如果在永久磁铁附近放一个磁针,永久磁铁将对磁针产生吸引力,也就是说磁针将受到力的作用。这种具有特殊的磁相互作用力场就称为磁场。从另一角度看磁场是磁力所及的地方,所以也可以说磁力作用的空间称为磁场。在磁场中,各不同部位磁针的北极(N)所指的方向称为该处磁场的方向;而磁场中,各部位磁针北极(N)作用方向的连线称为磁力线,磁力线的切线方向表示各处磁场的方向。一般磁力线都是从北极(N 或+)出来,而进入磁体的南极(S 或-)。磁针之所以指向南北,是由于地球本身是一个有南北两极的巨大磁性体。

磁现象的本质就是核外的电子作绕核运动时,形成了环绕原子核的电流圈,这个电流圈产生了磁场,原子就具有了磁性。组成物质的每个原子都是一个小磁体。一般的物体内部无数个相当于小磁体的原子的排列是杂乱无章的,它们的磁性都互相抵消了,所以整个物体不具有磁性。当物体内部的小磁体(原子)的 N、S 极首尾相接、整齐排列时,物体的两端就形成了 N 极和 S 极,就具有了磁性。物体磁化的过程就是使物质内部的原子按一定方向排列的过程。

一些物体在磁体或电流的作用下会获得磁性,这种现象叫做磁化。许多物质容易磁化。机械表磁化后,走时不准;彩电显像管磁化后,色彩失真,等等。信用卡、银行卡也带有磁性。

2. 磁性材料与铁氧体

磁性材料是指具有铁磁性和亚铁磁性的材料,根据其材质和结构,可分为金属及合金磁性材料与铁氧体磁性材料两大类,磁性材料根据其应用功能可分为软磁材料、永磁材料、矩磁材料、旋磁材料等种类。软磁材料、永磁材料、矩磁材料中既有金属材料又有铁氧体材料,而旋磁材料和高频软磁材料就只能是铁氧体材料了,因为金属在高频和微波频率下将产生巨大的涡流效应,导致金属磁性材料无法使用,而铁氧体的电阻率非常高,将有效地克服这一问题,得到了广泛的应用。

铁氧体磁性材料又分为多晶结构和单晶结构材料。它是一种以氧化铁为主要原料的磁性材料,其产品 在军事、汽车、家电、计算机、通信、网络、节能、环保产品、绿色照明、生物、医药等领域得到了广泛的应用,见图 1.2~图 1.10。

(1) 军事领域(图 1.2、图 1.3)

现代战争中,制空权是夺得战役胜利的关键之一。但飞机在飞行过程中很容易被敌方的雷达侦测到,从而具有较大的危险性。为了躲避敌方雷达的监测,可以在飞机表面涂一层特殊的磁性材料——吸波材料,它可以吸收雷达发射的电磁波,使得雷达电磁波很少发生反射,因此敌方雷达无法探测到雷达回波,不能发现飞机,这就是隐身技术。

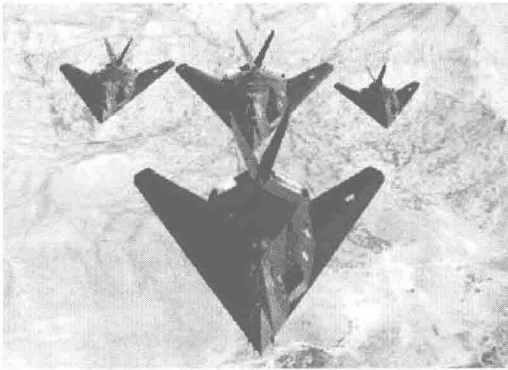


图 1.2 铁氧体在军事领域中的应用

旋磁铁氧体广泛用于雷达、通信、导航、遥测、遥控等领域。

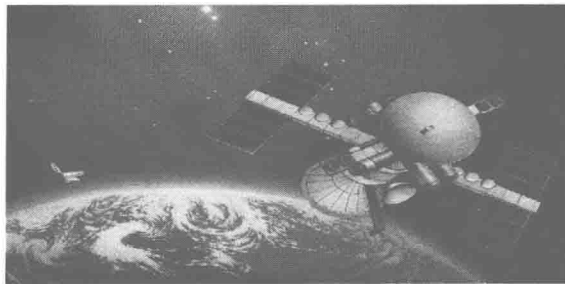


图 1.3 铁氧体在卫星、通信领域的应用

(2) 汽车、摩托车领域(图 1.4)

目前,我国已成为全球第三大汽车生产国,汽车已经成为我国国民经济发展的第五大支柱产业。现在,每辆汽车用铁氧体永磁电机约 41 只,铁氧体磁体是用于汽车发动机的可靠性高、成本低的关键元件。

汽车导航系统被认为是汽车的“大脑”,并且在日益计算机化。其功能的进化是飞速的,包括数据的存储从 DVD 到移动硬盘的更新换代。磁性材料主要用于 DC-AC 逆变器、DC-DC 变换器、EMC 噪声滤波器及 HDD 和 DVD 电机磁体。

汽车设计广泛采用高强放电照明方式以及汽车电源变成 42 伏,这直接导致宽温、高频、低损耗铁氧体软磁在 DC-DC 变压器中的应用迅速增加,尤其是电动汽车和混合动力汽车,其发展十分迅速,国内外汽车企业力争攻克高效电力驱动装置和高效电机,日本丰田已经成功开发出实用型混合动力轿车普锐斯(PRIUS)。国际汽车市场上的磁体,基本上没有我国的份额,国内市场也大部分靠进口。

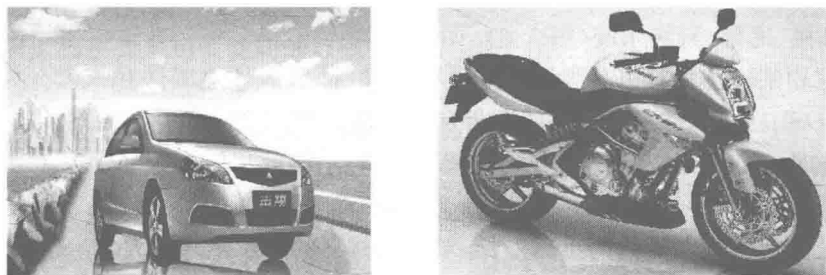


图 1.4 铁氧体在汽车、摩托车领域中的应用

(3) 家用电器领域(图 1.5)

彩电在我国消费类电子产品中一直占主导地位,其产量目前超过 1 亿台。今后发展热点是高清晰度、大屏幕和向数字化过渡,平板电视将占 60%左右。这对磁性材料产品要求更加严格——频率高段化,要求铁氧体电源磁芯有较高的工作频率;高清晰化,要求电源变压器功率稳定,材料功率损耗小、饱和磁化强度大;图像稳定、色彩鲜艳,要求使用高磁导率材料和抗电磁干扰软磁磁芯和高性能聚焦片;数字化的发展,对软磁材料的功率损耗、磁导率、使用频率的要求均比模拟的高。国际能源署规定彩电的待机功率要下降到 1 瓦,对低损耗功率铁氧体材料提出了新要求。由于大屏幕液晶平板显示器需要多灯管逆变模块(Inverter)驱动,而多灯管逆变模块就需要更多的磁芯支撑。随着通信和平板显示器的迅猛发展,给磁芯材料行业又增加了一个新的发展点,对通信和平板显示器用磁芯的需求也日益增大,从今后彩电市场发展看,高档软磁铁氧体将占软磁铁氧体总量的 80%以上。

数字设备包括 DVD、数字摄录像机和数字照相机。全球数字摄录像机、数字照相机、数字录音机以及其他自动相机和音像设备发展很快。数字照相机基本上取代了原传统光学照相机,DVD 取代了 VCD 和磁带放映机,数字摄像机用硬盘和 DVD 取代了磁带。这些数码产品集液晶显示、磁记录和图像处理于一身,要求体积小,抗噪声干扰好的磁性元件,绝大多数采用贴片元件。

其他家用电器,如空调室外机的压缩机马达、风扇马达、冷媒流量阀,室内机的百叶窗马达,风扇马达,洗衣机的开闭传感器、驱动(DD 主轴)马达/给水系统,电冰箱的风扇马达,吸尘器、电吹风、按摩器、电动玩具、换气扇等的使用,对永磁铁氧体的需求量也越来越多。

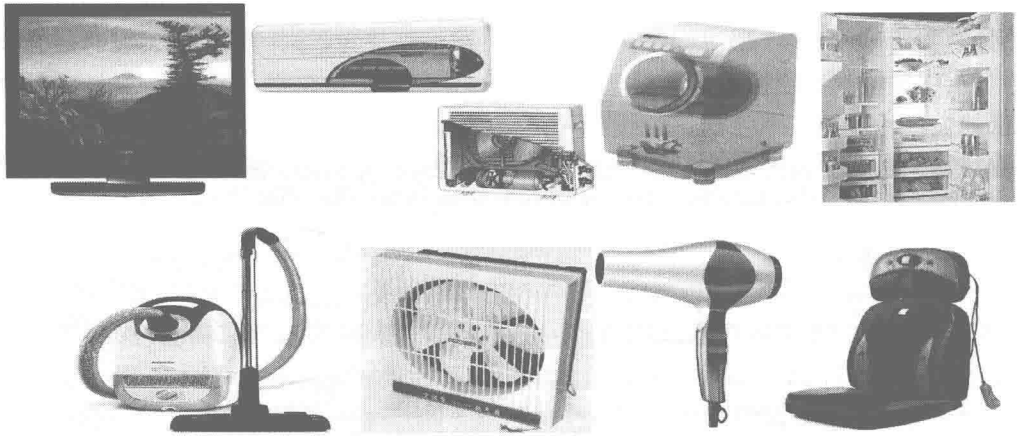


图 1.5 铁氧体在家用电器领域中的应用

(4) 计算机、通信、网络领域(图 1.6)

移动通信用的磁性材料可分为铁氧体微波器件、铁氧体软磁器件和永磁元件三大类。数字用户线路(DSL)技术,是发展最快的宽带互联网接入技术之一,包括 ADSL 和 VDSL 两种。DSL 具有传输距离长、成本低、适合光网络架构的特点,因此尽管有 WiMAX、Cable、以太网等新兴接入技术的挑战,但从目前和未来几年来看,DSL 仍是宽带接入市场的主角;加之,近年来,4G 手机及固定可视电话机的迅猛增长,对磁性材料的需求越来越大。



图 1.6 铁氧体在计算机、通信、网络领域中的应用

(5) 办公自动化领域(图 1.7)

DVD、CD-ROM 用的光学读取头驱动马达,加载马达,夹持器,LBP 用的送纸机构驱动马达,冷却风扇马达,IIP 用的送纸马达,打印头驱动马达等办公自动化产品中,也得到了广泛的应用。

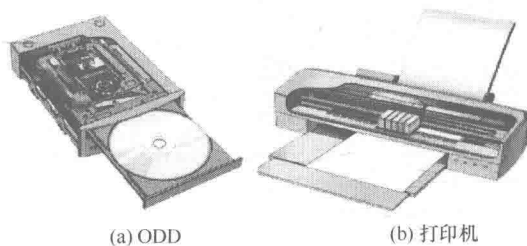


图 1.7 永磁铁氧体在办公自动化产品中的应用

(6) 节能、环保产品领域(图 1.8)

我国规定在 2011 年 7 月 1 日以后能效等级为 3 或更低的电机将禁止销售。与同功率交流电机相比,直流电机能耗低 30%~50%,是目前大规模应用的交流电机最直接的替代产品。交流电机几乎不需要永磁铁氧体,而永磁铁氧体是直流电机中必不可少的关键元件,在直流电机替代交流电机过程中,永磁铁氧体市场需求将迅猛增长。

作为中国新的经济增长点的节能、环保电动车,它的大力推广使用,是铁氧体产品的一个大市场。我国现有电动自行车生产量已超过 1500 万辆/年,电动自行车技术已经成熟,开发的趋势是进一步提升大功率直流电机技术、降低电流和能耗,以延长和扩大电池的有效行驶里程。

(7) 绿色照明工程(图 1.9)

绿色照明工程主要采用低能耗的灯泡,即采用电子镇流技术的荧光灯。现在,国内(包括独资、合资来料加工企业)生产量已超过 10 亿支。最近国外在照明工程方面,为进一步节约电能,采用了电子节能灯和半导体发光二极管(LED),这方面的普及推广,对铁氧体软磁的需求量极大。

家用电器的大量使用,产生的电磁波,对各类电器的干扰,造成了环境的电磁污染,国外已经把绿色环保提到了工作首位,禁止无电磁兼容和抗电磁干扰的电器出售,这对抗电磁干扰的软磁铁氧体来说,是一个大市场。

由于环保和能源的紧张,今后的绿色能源,如风力发电和太阳能发电将加大发展。风力发电对钕铁硼磁体的需求量将是一个飞跃,风力发电和太阳能发电同时需用到电流逆变器件,对软磁铁氧体来说,也是一个大市场。

(8) 生物、医药领域(图 1.10)

铁氧体在彩色图像,生物、医药等领域也具有广阔的应用前景。铁氧体可以作为药物的载体或者本身与药物相结合,有利于生物体的治疗和诊断。例如,在 Fe_3O_4 磁性纳米粒子表面涂覆一层高分子,在外部再与蛋白质药物相结合注入生物体内,通过外加磁场的磁性导航,到达病变部位,达到定向治疗的目的。

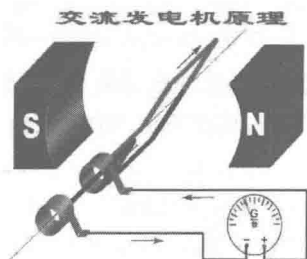


图 1.8 铁氧体在节能、环保产品领域中的应用



图 1.9 铁氧体在绿色照明工程领域中的应用

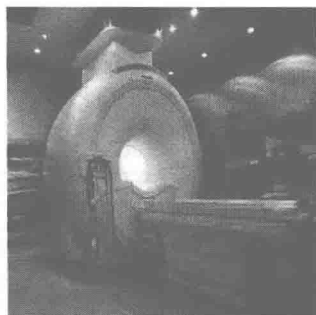


图 1.10 铁氧体在生物、医药领域中的应用

3. 行业现状

近年来,我国的国民经济持续、快速发展,综合国力显著增强,磁性材料的运用市场也不断扩展,世界上一些著名的磁性材料企业,如日本的TDK、FDK、EPSON、日立金属、住友,韩国的梨树、三和,欧洲的PHILIPS,德国的VAC、EPCOS,美国的ARNORD、MAGNEQUENCH等,均看好中国的市场,纷纷将其产业向中国转移,并相应地压缩了其国内的生产规模。

中国磁性材料行业虽然取得了长足的发展,但与世界上发达的工业国家相比,还存在不小的差距,主要体现在以下3方面:

①生产企业尚未达到经济规模。

②产品档次偏低。在国际磁性材料市场上,30%的高档产品占有市场销售额的70%。并且高档产品几乎被日本垄断,由于中国磁性材料产品的档次普遍偏低,因此其价格要比国际市场同类产品低50%以上。表1.1给出了2012年中国磁性材料产品价格与日本的比较。

表 1.1 中国磁性材料产品价格与日本的比较

| 磁体 | 日本价格/(美元/kg) | 中国价格/(美元/kg) |
|-----------|--------------|--------------|
| 软磁铁氧体 | 14.7 | 7 |
| 永磁铁氧体(烧结) | 6.6 | 2.3 |
| 永磁铁氧体(粘结) | 10 | 6 |
| 钕铁硼磁体(烧结) | 130 | 42 |
| 钕铁硼磁体(粘结) | 160 | 72 |
| 钐钴磁体 | 148 | 78 |

③中国磁性材料生产技术落后,应用开发力度也不够。由于磁性材料的专利发明主要掌握在一些发达工业国家手中,这些国家整机开发的新产品,一般都是首先采用本国的配套磁性元器件。而只有那些市场已趋于饱和且无利可图后才采用中国磁性材料产品。

根据信息产业技术的发展趋势和战略需求,高性能铁氧体磁性材料,作为一类十分重要的关键电子材料与元器件,已列入我国电子信息产业中长期规划,属于国家重点支持项目。

任务 2 铁氧体的分类及其特性

铁氧体一般指含铁的磁性复合氧化物。广义上的铁氧体是指铁族或过渡金属的复合铁族化合物。铁氧体又称铁淦氧、磁性瓷,其典型代表是 Fe_3O_4 (磁铁矿),还可写成 $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$,它属尖晶石型铁氧体,其中氧离子形成两种不同的晶位结构,两种结构中的磁性离子(铁离子)间形成多种交换作用,从而产生元磁矩不能抵消的反铁磁性——亚铁磁性(见磁介质)。除上述亚铁磁性的铁氧体外,还有具有铁磁性、反铁磁性等广义的铁氧体。铁氧体中,由于氧离子的存在,导致磁性离子间的交换作用较弱,其饱和和磁化强度比金属磁性材料小,居里温度也较低(见铁磁性)。铁氧体是一种半导体材料,其电阻率远比金属要高,而且,随温度的升高,其电阻率呈指数规律下降,它可用于高频的微波波段。铁氧体还是一种具有介电性质的磁性材料,某些铁氧体具有很高的电容率。

(1) 按照晶体结构分类

铁氧体按照晶体结构主要分三种类型:尖晶石型、石榴石型和磁铅石型。