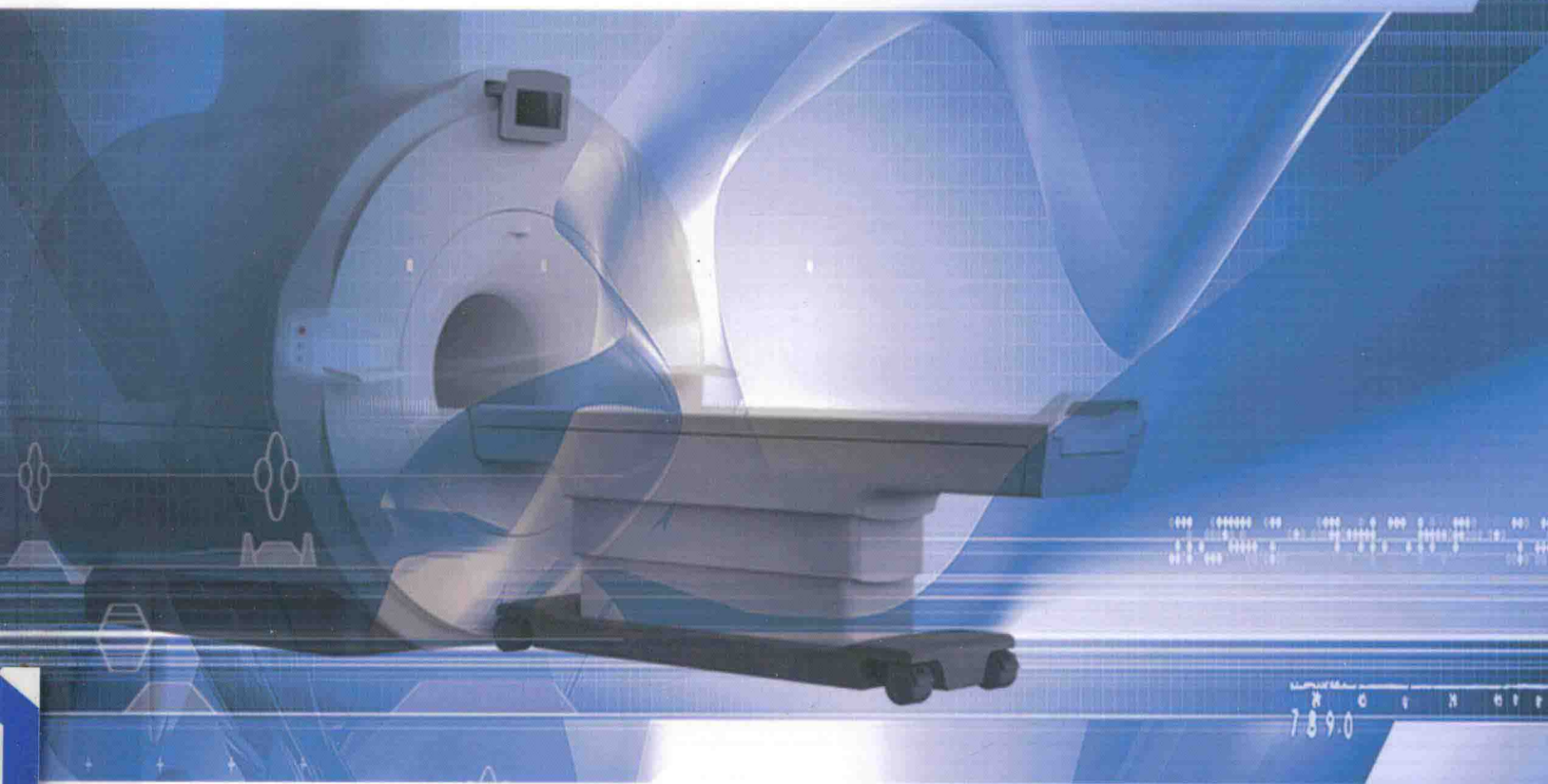




MAGNETIC RESONANCE IMAGING
EQUIPMENT AND TECHNOLOGY

磁共振成像设备技术学

主编 韩鸿宾



北京大学医学出版社

TH 776
7

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

磁共振成像设备技术学

Magnetic Resonance Imaging Equipment and Technology

主 编 韩鸿宾

北京大学医学出版社

CIGONGZHEN CHENGXIANG SHEBEI JISHUXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

磁共振成像设备技术学/韩鸿宾主编. —北京:
北京大学医学出版社, 2016. 1
ISBN 978-7-5659-1250-4

I. ①磁… II. ①韩… III. ①磁共振成像-设备-
技术学 IV. ①TH776

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第239753号

磁共振成像设备技术学

主 编: 韩鸿宾

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路38号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E-mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京强华印刷厂

经 销: 新华书店

责任编辑: 陈 奋 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 20.25 字数: 618千字

版 次: 2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1250-4

定 价: 169.00元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

主 编 简 介



韩鸿宾，医学博士，北京大学医学部、工学院教授，博士生导师，北京大学第三医院放射科主任医师，磁共振成像设备与技术北京市重点实验室主任，中国医疗装备协会磁共振专委会秘书长。现任职于北京大学医学部科研处，负责医、理、工跨学科交叉发展。为科技部重大仪器专项、科技部支撑计划项目课题负责人。分别留学美国、德国，获磁共振成像序列设计物理师资格。2005 年入选教育部新世纪优秀人才计划，2011 年获中国青年科技奖。为生物体纳米尺度微观结构在体活体测量技术方法——磁示踪法的发明人，获多项国家、国际发明专利。

编写委员会

主 编 韩鸿宾

委 员 (按姓名汉语拼音排序)

杜一平 范占明 冯义濂 郭顺林 金辛迪 连建宇

刘爱连 刘兴第 马 军 彭 芸 王 洪 王晓庆

武少杰 鲜军舫 谢敬霞 谢宇峰 许 锋 张国平

张云亭

制 图 张若成 卢嘉宾 高海华

编者名单

(按姓氏笔画排序)

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 于广会 (泰山医学院) | 于 薇 (北京安贞医院) |
| 万林福 (南昌大学第一附属医院) | 马 军 (北京天坛医院) |
| 王为民 (北京大学信息科学技术学院) | 王 伟 (北京大学第三医院) |
| 王 俭 (新疆医科大学第一附属医院) | 王 洪 (泰山医学院) |
| 王晓庆 (中关村医疗器械产业技术创新联盟) | 石建成 (北京市延庆县医院) |
| 田 金 (北京大学第三医院) | 皮金才 (湖北省大冶市人民医院) |
| 吕德勇 (山东省东营市人民医院) | 刘兰祥 (河北省秦皇岛市第一医院) |
| 刘林祥 (泰山医学院) | 刘爱连 (大连医科大学附属第一医院) |
| 许 锋 (北京大学第三医院) | 孙万里 (长治医学院附属和平医院) |
| 李景会 (西安蓝格磁共振技术研发中心) | 杨文晖 (中国科学院电工研究所) |
| 连建宇 (稀宝博为 MR 研发中心) | 吴仁华 (汕头大学医学院第二附属医院) |
| 辛仲宏 (兰州大学第一医院) | 沈智威 (汕头大学医学院第二附属医院) |
| 宋国军 (包头医学院第二附属医院) | 张仲谦 (TCL 医疗集团技术研发中心) |
| 张希伟 (东软医疗系统有限公司 MR 研发部) | 张树曦 (辽宁省鞍山市中心医院) |
| 陈晓丽 (北京同仁医院) | 范东伟 (北京大学第三医院) |
| 范占明 (北京安贞医院) | 和清源 (北京大学第三医院) |
| 岳云龙 (北京世纪坛医院) | 赵 磊 (哈佛大学医学院) |
| 秦松茂 (西安蓝格磁共振技术研发中心) | 郭顺林 (兰州大学第一医院) |
| 彭 芸 (北京儿童医院) | 谢 晟 (北京中日友好医院) |
| 雷易鸣 (北京大学信息科学技术学院) | 鲜军舫 (北京同仁医院) |
| 薛晓琦 (北京大学第三医院) | 魏鼎泰 (福建省宁德市医院) |

序 1

自 20 世纪 80 年代磁共振成像应用于临床以来，由于其无电离辐射、丰富对比度、高空间分辨率等优势，备受重视，已成为大型医疗机构的常规诊断配置。近年来，其硬、软件的提升和改进，使 MR 成像时间和空间分辨率进一步提高，并形成了由形态学向功能、代谢成像，乃至分子基因水平进行疾病诊断与科学研究的发展趋势。

我国自引进磁共振成像设备以来，由于专业人员的努力，磁共振成像临床应用和物理、工程技术方面的研究均取得重要和相当的进展，尤其近年来，随着医改的深入，医疗装备市场整体扩容，为国产装备的进步提供了宝贵的机会。近年来，国产磁共振成像设备的进步是有目共睹，产品线已经由最初的低场设备向高端、高场强设备拓展。但是，从磁共振工程与技术的角度，迄今尚缺少原创性成果，产品的国际竞争力依然较弱，进口产品在大型医疗机构的采购比例依然居高不下，国产低端产品只能依靠价格战获取有限市场。

正是在上述的历史背景下，从 2010 年起，中国医学装备协会委托北京大学医学部联合工信部相关部门共同组织筹建了中国医学装备协会磁共振成像设备与技术专业委员会（简称“专委会”），本书主编韩鸿宾教授作为专委会的发起人和组织者，在专委会的组织建设中做出了重要贡献。经过两年多的筹备，2012 年 8 月 18 日专委会正式成立，这标志着中国医用磁共振产业联盟的诞生，也标志着我国磁共振成像装备发展的一个新阶段的开始。专委会不仅为中国磁共振设备与技术的产业进步提供发展的平台，也将在行业发展规划、标准制定、人才培养等多个方面发挥重要作用。韩鸿宾教授也是国内唯一获得磁共振成像序列设计物理师资格的临床医生，这使得韩教授在磁共振成像产业链条的整体观把握上具有独特的优势。

由韩鸿宾教授带领专委会全国委员联合编写的专著《磁共振成像设备技术学》，从硬件、序列设计以及临床技术角度系统阐释了磁共振成像的原理、工程技术实现以及临床实用技术，内容充分结合了国产设备在工程技术领域近年来取得的最新进展，同时，也对未来诊疗一体化等新型磁共振成像的内容进行了介绍，这些在国内医用磁共振成像设备专著中都尚属首次，有鉴于此，我愿意向广大医疗机构的影像科医生、技术员、工程师、磁共振生产企业工程技术专家以及研发单位科研人员推荐这一新著，祝愿并相信它的出版对推动我国磁共振成像工程技术进步，乃至医学影像学科不断取得新的进展，探索“医、理、工、产”结合的有效途径，发挥积极作用。

赵国林

序 2

近三十年来，医学磁共振成像技术领先的国际知名公司在中国临床普及应用中起到了关键的作用。由于我国大型医疗装备产业的整体落后，高校医学影像学科的人才培养中工程技术知识普遍存在盲区与空白，因此，该领域中缺乏能全面系统地掌握磁共振成像工程、技术及其科研或临床应用的专业通才，造成硬件与软件脱节、工程与技术脱节、工程技术与临床应用或科研脱节。

随着“自主创新、科教兴国”国家发展战略的确立，我国正处于经济增长模式转变的关键历史时期。目前国内医疗市场需求的变化以及我国磁共振成像企业的加速发展，行业内对该领域的人才培养和教育的需求在质和量上都日益迫切。由韩鸿宾教授主编的《磁共振成像设备技术学》的出版，契合了我国现阶段磁共振成像行业发展的需求。该书面向磁共振成像工程、技术人员，以及应用用户，在有限的篇幅内，笔者力求使读者对磁共振成像技术建立整体观、系统观，将磁共振成像复杂工程进行全面系统、逐级逐层深入的介绍。

为了保证编写质量，韩鸿宾教授联合了北京市磁共振成像设备与技术重点实验室成员、中国医学装备协会磁共振成像装备与技术专委会（以下简称磁共振专委会）多数委员共同参加了编写工作。磁共振专委会是经国家民政部批准，中国医学装备协会下属的分支机构，是目前国内唯一以磁共振成像工程技术为发展核心的行业社团，她聚集了国内磁共振成像工程技术专家、医院及科研院所用户以及企业代表，因此，相信该书的出版将对业内磁共振成像工程技术知识的普及与创新能力的提升起到重要的作用。

本书的出版获得了国家科学技术学术著作出版基金的支持，并被中国医学装备协会指定为大型医疗装备磁共振成像继续教育辅导教材。鉴于国内高校医学影像学工程技术教学内容普遍不足的现状，也建议高校以此作为参考书。正如韩教授在本书前言所提及，只有当我们医院的医生和技术人员可以用精准的物理和数学语言将我们的实际需求转达给企业的工程、技术人员的时候，我国医疗装备产业的自主创新发展才有实现之基础与可能。

韩鸿宾

前言

磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 产业属于典型的多学科交叉、知识密集、资金密集型产业。成像仪的生产制备和新技术研发是系统工程,产品线包括了从上游磁体、线圈等金属原材料加工,到磁体、射频、梯度线圈制备,到谱仪系统开发、序列设计以及图像分析、处理与显示,再到临床应用。三十多年来,医用 MRI 对基础医学研究与临床疾病诊断治疗水平的提升都起到了极为重要的推动作用。我国首台医用 MRI 购置于 1985 年;在 2009 年底,国内 MRI 市场保有量达到 2682 台;而从 2010 年到 2013 年,仅短短 4 年时间,我国市场保有量迅速达到 6400 台。以此速度,我国 MRI 市场容量将在 2017 年前后突破万台大关, MRI 设备正迅速成为医疗机构的常规检查配置。随着兼容治疗辅助功能的新型磁共振成像产品的研发与应用,医用 MRI 产业将迎来新的黄金发展周期。

随着磁共振成像市场的迅速扩容,近年来,国内磁共振企业在规模和技术水平上也逐步得到发展:无论低场,还是高场 1.5T MRI,甚至 3.0 T 的成像系统都已有自主研发机型生产,并已上市销售;生产企业也由原来的少数几家发展到近二十家,在磁体、射频与梯度线圈、谱仪、冷头等关键部件的技术水平上,部分已经达到或接近国际先进水平。然而,由于历史原因,我国医疗装备生产企业的整体技术水平一直落后,普遍存在着工程与技术研发脱节、硬件与软件研发脱节、产品研发与临床需求脱节等现象,往往被动地依靠价格战来争取低端产品的市场份额。同时,国内医疗机构与产品用户长期习惯于高价购买进口设备,在临床、基础,甚至工程技术科学研究中,已形成了坐等和依靠国外新技术开发的局面,严重地限制了磁共振成像设备与技术研发的水平。产业发展落后又反过来牵制和限制了我国磁共振成像工程技术的教育水平和人才培养能力。

在如此背景下,如何利用市场扩容和国家加大科技创新投入的宝贵机会,加速推进我国磁共振成像技术水平的进步,使之跻身于世界先进之列,是需要磁共振成像领域的从业人员共同探索的时代命题。

对磁共振成像设备与技术的创新不仅需要考虑产品创新链条的各个环节,还需要考虑市场、政策、人才等诸多社会因素。因此,由企业、市场、政府和科研院所、医疗机构联合组成创新发展体系格外重要。2012 年 8 月 18 日,经过 2 年多的筹备工作,我与本书的大多数编委、编者一道,组建了中国首个磁共振成像工程技术专业社团:中国医学装备协会磁共振成像设备与技术专业委员会(专委会),并担任首届专委会秘书长与副主任委员。依托卫计委和中国装备协会,我与专委会主任委员张元亭教授带领委员们一道,对西方先进企业的发展历史和规律进行了充分的研究,并对国内现有具备生产资质的磁共振厂商进行了实

地考察，获得了宝贵的第一手资料。经过多次研讨，初步形成了我国磁共振成像产业振兴发展的基本策略和工作思路，并逐步落实到国产设备评优、配置建议以及人才培养等具体工作中来。期间，还组建了依托北京大学建设的北京市磁共振成像设备与技术重点实验室，探索高校、医疗机构与企业的联合创新发展模式。

《磁共振成像设备技术学》一书就是针对磁共振成像设备与技术创新中存在的诸多学术困难而编写的专著，旨在实现如下目标：①结合磁共振产品链条的各个环节，系统介绍 MRI 设备的工作原理、硬件组成、序列设计与临床实用技术，帮助磁共振从业人员形成 MRI 产业链条的全局整体观，在此基础上掌握磁共振相关原理与技术。②在 MRI 设备生产、新技术研发、序列设计与临床应用之间搭建沟通的桥梁。③介绍 MRI 新技术，重点介绍国产具有自主知识产权的新序列、新技术，也包括磁共振成像引导下的疾病治疗方向的新方法与新技术。《磁共振成像设备技术学》由国家科学技术学术著作出版基金支持出版，由中国医学装备协会磁共振专委会以及北京市磁共振成像设备与技术重点实验室联合组织编写，编写过程邀请了国内生产厂商的工程技术专家联合参编，以期向读者介绍我国自主研发生产设备的发展现状与产品的技术特点。全书内容涉及磁共振成像的历史、基本原理、硬件、谱仪与序列设计、临床常规诊断技术，同时也介绍了磁共振成像引导下疾病治疗的最新进展。编撰过程前后历时 5 年，在此，对各位编委和编辑付出的辛苦劳动表达由衷感谢，也特别感谢中国医学装备协会赵自林会长、磁共振专委会主任委员张元亭教授为本书作序。

由于全书涉及内容的学科跨度较大，内容难免存在纰漏与错误，也请读者和专家同道们批评指正。

韩鸿宾

目 录

第1章 磁共振成像发展历史与基本原理	1
一、磁共振成像系统概述	1
二、磁共振成像系统控制与序列设计的基本概念	2
第2章 磁体系统	8
第一节 磁场、电磁现象和人体磁化	8
一、磁场与电磁现象	8
二、磁场与氢原子核运动方式	10
三、磁化强度矢量 M_0	12
第二节 磁体系统分类与评价指标	13
一、永磁磁体系统	13
二、超导磁体系统	20
三、磁体的评价指标	28
第3章 射频系统	30
第一节 射频系统的基本概念	30
一、施加共振频率的射频系统工作基本原理与概述	30
二、射频的产生	31
三、射频与磁化强度矢量 M_0 的测量	33
四、射频翻转角与旋转坐标系	34
第二节 射频系统的硬件组成	35
一、射频发射系统的硬件组成	37
二、射频接收系统的硬件组成	38
第三节 射频线圈的设计原理	41
一、射频发射线圈的基本概念和原理	41
二、永磁系统射频发射线圈	45
三、永磁系统射频接收线圈	46
四、超导系统发射射频线圈	50
五、超导系统接收射频线圈	51
六、射频线圈的系统评价	54

第4章 梯度系统	56
第一节 梯度系统的基本概念	56
一、磁场梯度的产生	56
二、层面内激发	57
三、傅立叶变换	59
四、相位、读出编码梯度与 M_0 的空间定位	61
五、MRS与序列设计	63
第二节 梯度系统的组成	65
一、梯度线圈单元	65
二、梯度波形发生单元	75
三、磁场梯度信号放大单元	76
四、涡流产生机制以及补偿方法	78
五、磁场梯度的性能及技术参数	79
第5章 谱仪与控制台系统	82
第一节 MRI谱仪的基本概念	82
第二节 MRI谱仪的基本设计结构	83
一、扫描控制部分	83
二、射频信号生成部分	84
三、梯度波形生成部分	84
四、射频信号接收部分	85
第三节 谱仪系统结构与组成	86
一、1.5T 超导磁共振系统	86
二、3.0T 超导磁共振系统	89
第四节 MRI谱仪的性能和相关技术指标	92
第五节 控制台系统	93
一、日常应用功能部分	93
二、序列参数设计功能部分	95
三、维护功能部分	99
四、控制台系统的发展趋势	101
第6章 磁共振成像技术	102
第一节 磁共振成像技术的生物学基础与基本原理	102
一、磁共振成像技术的生物学基础	102
二、自旋回波	104

三、快速自旋回波序列	111
四、梯度回波及其衍生序列	114
五、平面回波成像	119
第二节 MR波谱分析与成像	121
一、MRS概述	121
二、MRS与化学位移成像序列设计	123
三、频谱处理	127
四、MRS定量分析方法	131
第三节 人体运动与MRI成像技术	132
一、水分子自标记运动敏感成像	133
二、灌注成像	136
三、血管成像	140
四、脑功能成像	145
第7章 临床磁共振成像技术选择	150
第一节 颅脑MRI成像技术	150
一、中枢神经系统的磁共振成像相关解剖、生理与物理特性	150
二、CNS疾病分类及推荐扫描方案	154
三、不同技术方案临床应用举例	156
第二节 脊柱MRI成像技术	161
一、脊柱的磁共振成像相关解剖、生理与物理特性	161
二、脊柱的MRI扫描设备的选择和患者的准备	163
三、脊柱常见病变推荐扫描序列及临床应用举例	165
第三节 心血管MRI成像技术	169
一、心脏的MRI成像技术	169
二、大血管MRI检查技术	179
第四节 腹部MRI成像技术	186
一、腹部磁共振成像生物学基础	186
二、腹部常用序列和特殊技术	187
三、腹部各脏器疾病分类及推荐扫描方案	189
四、不同技术方案临床应用举例	192
第五节 盆腔MRI成像技术	195
一、生殖系统解剖生理特点及其与磁共振成像相关物理特性	195
二、常规扫描序列及推荐扫描方案	196
三、盆腔疾病分类及推荐扫描方案	198

四、不同技术方案临床应用举例	198
第六节 骨关节MRI成像技术	201
一、概论	201
二、肩关节MRI成像技术	203
三、肘关节MRI成像技术	206
四、腕关节MRI成像技术	209
五、髋关节MRI成像技术	212
六、膝关节MRI成像技术	216
七、踝关节MRI成像技术	219
八、不同技术方案临床应用举例	222
第七节 五官MRI成像技术	226
一、眼部MRI成像技术	226
二、耳和颞骨MRI成像技术	232
三、鼻和鼻窦MRI成像技术	236
第八节 儿科MRI成像技术	239
一、儿童生理和解剖特点	239
二、儿童MRI检查的基本原则和成像策略	239
三、儿童MRI技术	241
第九节 磁共振介入技术	247
一、磁共振介入的基本概念及系统组成	248
二、磁共振介入常用序列及临床应用	249
附录：磁共振介入常用序列参数	256
第8章 磁共振成像质量控制与系统维护	257
第一节 磁共振设备的安装与调试	257
一、医用磁共振成像设备的安装流程	257
二、磁共振设备的场地准备	258
三、磁共振设备的安装	263
第二节 磁共振成像设备的冷却与屏蔽	267
一、磁共振设备的冷却	267
二、磁场与射频场的屏蔽	268
第三节 磁共振成像装备的选购与临床应用	271
一、射频功率	272
二、射频线圈	272
三、梯度场	272
四、脉冲序列	273

五、计算机性能	273
六、功能软件	273
第四节 磁共振设备安装及使用过程中的安全与日常维护	273
一、磁共振设备安装及使用过程中的安全	274
二、磁共振设备的日常维护	275
第五节 磁共振设备的质量控制	278
一、磁共振设备的质量保证与质量控制	278
二、磁共振成像伪影及其序列设计矫正	280
三、技师、医学物理师（工程技术人员）、诊断医师对质量保证与质量控制 的实施	296
 中英文名词对照	 299

第1章

磁共振成像发展历史与基本原理

几乎对任何科学问题的研究都将必然引向对其历史的研究。

——恩斯特·迈尔

- 磁共振成像系统概述
- 磁共振成像系统控制与序列设计的基本概念

从历史的角度来看，与以往的其他医用成像技术一样，磁共振成像（Magnetic Resonance Imaging, MRI）的发明、发展有其历史的必然性。20世纪中叶，人们在对电磁波、物质本质等研究中取得的进展为磁共振成像技术这项伟大的发明奠定了理论基石。1937年，拉瑟里尤（B. G. Lasarew）和舒伯尼科（L. W. Schubnikow）被认为是最早发现核磁现象的人，他们发现只有在磁场环境下，氢原子核才能对某一特定频率的电磁波能量进行吸收，发生共振现象。当时，人们并未意识到这项技术可用于生物体成像，只是利用化学位移现象的发现，将这一技术用于化学成分分析上，希洛赫（Felix Bloch）最终成功研制了应用至今的谱仪设备。20世纪70年代初，美国医生达马迪安（Raymond Damadian）发现肿瘤组织的纵向弛豫时间长于正常组织，并由此激活了磁共振成像技术研制的发明过程。劳特伯（Paul C. Lauterbur）自制了三组彼此垂直的线性梯度磁场 G_x 、 G_y 和 G_z 来选择性地激发样品，应用组合层析和投影重建算法，获得了一幅两根纯水的玻璃毛细管置于一根装有重水（ D_2O ）玻璃试管的二维核磁共振图像。1978年，达马迪安（Raymond Damadian）及其课题组成功地得到了第一幅人类胸部MRI断层图像。至今，MRI已经在全世界拥有了10万台装机量，在中国已近6000台装机，我国生产经营MRI设备的企业已从20世纪80年代的几家发展到今天的二十多家。

从MRI技术的发展历史可以看出，磁共振成像机的关键硬件主要包括产生射频能量的射频系统、产生磁场的磁体装置、产生梯度磁场的梯度系统。从应用技术层面，磁共振成像中所采用的多数核磁共振（Nuclear Magnetic Resonance, NMR）信号采集技术在20世纪50—70年代就都已很成熟，例如自旋回波序列，是哈恩（Hahn）于1950年在《物理评论》杂志发表的信号采集技术，其中对分子扩散对NMR信号的影响也进行了描述。2000年以来，分子影像、血氧水平依赖成像（Blood Oxygen Level Dependent Imaging, BOLD）、MRI介入等概念被提出。

一、磁共振成像系统概述

从MRI的发展历史不难看出，磁共振成像机的核心部件包括：磁体、射频线圈、梯度线圈。然而，磁共振成像机对疾病诊断整体的功能实现却是一项系统工程。无论是产生磁场的磁体，产生与接收MRI信号的射频线圈，还是用于MRI信号空间定位的梯度线圈，都需要复杂的工程技术支撑才可实现。因此，在涉及实现磁共振成像的工程技术时，我们一般将MRI的硬件组成分为磁体系统、射频系统、梯度

系统,以及对上述系统进行调控的谱仪系统。由于医用 MRI 机检查的核心对象为患者,所以,对患者检查的空间和环境,对医生、技术员、护士等工作人员的空间在设计上也需要给予考虑。控制各个硬件组件工作的计算机谱仪系统以及各个硬件功能实现的辅助系统(如制冷系统、射频放大、梯度放大器等)也需要另外的空间,以方便工程师维护、维修。按照 MRI 机安装及使用时的空间分布,可分为 MRI 主机房、电子设备房、MRI 机操作间、患者准备间(图 1-1-1)。

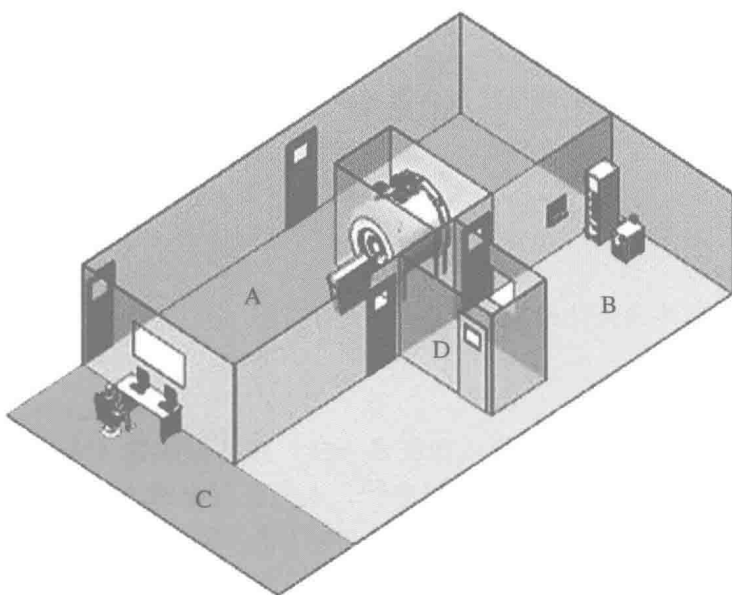


图1-1-1 A: MRI主机房; B: 电子设备房; C: MRI机操作间; D: 患者准备间

MRI 主机房 (A): MRI 设备的主体放置的位置,也是 MRI 整体设备中直接和患者接触的空间,包括磁体、射频线圈、梯度线圈、支撑架、检查床,通过线缆与电子设备房及 MRI 操作间联系,因为这一空间内会产生较强的磁场和射频场,因此需要对主机房设置电磁屏蔽。

电子设备房 (B): MRI 各类硬件的控制系统,包括控制射频和梯度场工作并能进行波谱分析与成像处理用的谱仪,控制制冷设备的压缩机和空调控制系统,还包括与 MRI 操作间相连接的各类电缆、导线。

MRI 操作间 (C): 是实现人机对话界面端口的所在地。MRI 工程师、MRI 扫描技术员或医生通过终端主机编写或执行既定的 MRI 扫描序列,这些序列的指令通过电子设备间的控制系统按照一定的时间顺序使 MRI 主体的各类硬件按照一定的时间顺序进行工作。同时,操作间内的计算机主机或额外配置的图像后处理工作站可实现图像的后处理、显示、照相等功能。

患者准备间 (D): 是患者进入 MRI 主机房前进行准备的区域,包括患者对检查需知的确认、MRI 增强检查前的静脉通路建立等。

对于 MRI 成像设备技术学的学习应该把握两条主线,一是针对磁共振成像设备有关的硬件工程学,二是针对磁共振成像技术实现的序列设计。在系统地了解了这两部分后,我们才会有信心应用好这个复杂的系统来解决我们面对的各类科学问题或疾病诊断。

二、磁共振成像系统控制与序列设计的基本概念

(一) 磁共振成像主机及其控制系统的结构概述

从 1973 年劳特伯在实验室获得了第一幅磁共振图像至今,磁共振成像设备发展了四十多年,期间成