

总主编 吴恩惠

中华影像医学

CHINESE MEDICAL IMAGING

总论卷

主编 陈焜贤 高元桂

人民卫生出版社

◆ CHINESE MEDICAL IMAGING

◆ CHINESE MEDICAL IMAGING

中华影像医学 总论卷

主 编 陈炽贤 高元桂

人民卫生出版社

◆ CHINESE MEDICAL IMAGING

◆ CHINESE MEDICAL IMAGING

中华影像医学

总 主 编	吴恩惠
总主编助理	贺能树
	张云亭
	白人驹
顾 问	刘玉清
	李果珍
	朱大成

人民卫生出版社

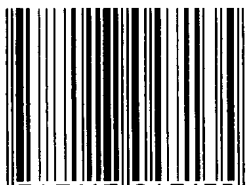
图书在版编目(CIP)数据

中华影像医学. 总论卷/陈炽贤等主编. —北京:
人民卫生出版社, 2002
ISBN 7-117-04713-5

I. 中… II. 陈… III. 影像—诊断学 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005097 号

ISBN 7-117-04713-5



9 787117 047135 >

中华影像医学
总论卷

主 编: 陈炽贤 高元桂

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址: (100078) 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: pmph@pmph.com

印 刷: 三河市潮河印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 889 × 1194 1/16

印 张: 13.5

字 数: 359 千字

版 次: 2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-04713-5/R · 4714

定 价: 37.50 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)



中华影像医学

分卷书目

总论卷	主编	陈炽贤	高元桂
呼吸系统卷	主编	李铁一	
心血管系统卷	主编	戴汝平	
中枢神经系统卷	主编	吴恩惠	戴建平 张云亭
消化系统卷	主编	尚克中	
肝胆胰脾卷	主编	周康荣	
骨肌系统卷	主编	王云钊	
头颈部卷	主编	兰宝森	
乳腺卷	主编	鲍润贤	
介入放射学卷	主编	吴恩惠	贺能树
影像核医学卷	主编	周 前	
超声诊断学卷	主编	王新房	张青萍
泌尿生殖系统卷	主编	李松年	

编者

(按姓氏笔画为序)

MEDICAL IMAGING

CHINESE

- 马林 (中国人民解放军总医院)
方虹 (第四军医大学西京医院)
王小宜 (湖南医科大学湘雅医院)
王占立 (卫生部北京医院)
王晨 (瑞典 Uppsala 大学医院)
安宁豫 (中国人民解放军总医院)
祁吉 (天津医科大学附属天津第一中心医院)
张贵祥 (第四军医大学西京医院)
肖剑秋 (湖南医科大学湘雅医院)
苏惠群 (中国医科大学第二临床学院)
邱本胜 (中国人民解放军总医院)
陈炽贤 (中国医科大学第二临床学院)
陈培青 (中国医科大学第二临床学院)
武生平 (卫生部北京医院)
宦怡 (第四军医大学西京医院)
胡阳 (中国医科大学第二临床学院)
郭仲英 (中科院高能所)
郭庆林 (第四军医大学西京医院)
郭启勇 (中国医科大学第二临床学院)
高元桂 (中国人民解放军总医院)
梁燕 (中国人民解放军总医院)
程流泉 (中国人民解放军总医院)
蔡幼铨 (中国人民解放军总医院)
蔡剑鸣 (中国人民解放军总医院)

前 言

MEDICAL IMAGING

CHINESE

我国影像医学经过几十年的发展,在各个方面均取得了令人瞩目的成就,但就全国范围而言,仍缺乏一本高水平、能立于世界之林的影像医学专著。因此,尽快出版一部总结我国影像医学成果、又反映当今国际影像医学发展最新动态的系列高级参考书,已成为我国影像医学界的重要任务。有鉴于此,人民卫生出版社对此表示了极大的支持,并委托我们组织全国力量编写这部《中华影像医学》。本书以系统为纲,同时采取系统与技术相结合的方式编写。全书共分13卷:总论卷、呼吸系统卷、中枢神经系统卷、心血管系统卷、消化系统卷、肝胆胰脾卷、头颈部卷、骨肌系统卷、泌尿生殖系统卷、乳腺卷、介入放射学卷、影像核医学卷及超声诊断学卷。各卷独立成册,陆续出版。

本书编写人员组成的指导思想是团结全国力量,老中青学者相结合共同编写。因此凡被邀请参加编写本书的人员,在影像医学某些领域内均是具有较高学术水平和一定知名度的专家学者。

本书主要反映当代影像学发展的新水平,对于已经或即将用于临床的各种成像技术、检查方法、新征象、新理论以及新治疗方法,将以我国自己资料为主加以较为详尽的介绍。对于一些已被淘汰或即将废用的技术、方法,只作为历史发展长河中的一个阶段,仅为简略叙述。

在叙述疾病的影像学表现时,注意共性与个性的关系,以便读者能正确把握疾病的影像学一般规律。本书在以常见病、多发病的基础上,对少见、罕见病也作简明扼要的叙述,希望本书不仅是一本影像医学的规范性读物,使之也具有影像学辞典之作用,以达实用性之目的。

本书为求文字简明、扼要、通顺、叙述层次结构合理,具有逻辑性、连贯性。名词术语力求规范化,做到前后统一,避免口语化,使本书具有可读性。

总之,我们力求使本书内容具有科学性、先进性、权威性和实用性的特点,使之成为一部高层次、高品位和高水平的影像医学大型参考书。

但是,由于作者分散,成书时间较紧,有些地区或单位的作者因故未能参与本书编写,以及我们编者水平有限等等原因,本书错误与纰漏在所难免,望读者批评指正。

我们希望本书将随时代与技术的发展,定期或不定期修订再版,使之跻身于世界名著之列。

吴恩惠

2002年1月



序

MEDICAL IMAGING

CHINESE

影像医学是医学的一个分支,它是利用影像技术达到诊断疾病和进行可能的介入治疗的一门临床学科。它包括两大部分:各系统的影像诊断学(imaging diagnosis)和各系统的介入放射学(interventional radiology)。

自 1895 年伦琴(Wilhelm Conrad Roentgen)发现 X 线以来,就开始有了影像诊断学,过去称之为放射学(radiology 或 roentgenology),100 多年来,不断地发展和完善,不断地开拓新的领域。近 20 余年来,其发展之迅速可谓达到日新月异的程度。

影像医学中所使用的技术,包括 X 线投影成像(projectional imaging)和断面成像(cross-sectional imaging)。尽管后者的成像手段(imaging modality)和技术发展极快,但 X 线投影成像仍是影像诊断的基础。

断面成像近年来发展极为迅速,它包括超声成像(ultrasonography, US),计算机体层成像(computed tomography, CT),磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI),单光子发射体层成像(single photon emission computed tomography, SPECT)和正电子发射体层成像(positron emission tomography, PET)。

这些成像手段的应用,为临床诊断提供了更为精确的解剖学和病理基础的信息,在有些疾病的诊断中,甚至达到“了如指掌”的地步。这些成像手段的应用,确实为临床诊断开阔了眼界。正如哲学家所云:人类世界发展的历史,就是在宇宙中用不断完善的眼睛看见更多事物的历史。影像医学的发展也就是在不断地完善临床诊断中的“眼睛”。由此获得有关疾病的信息量既多而又准确,为现代医学的发展和进步,作出了不可磨灭的贡献。

20 世纪 80 年代以来,影像医学的迅速发展,应归功于两个方面:不断创新技术以采集有意义的诊断信息和对比剂的研究来增加影像的对比。

简单回顾一下,由伦琴发现 X 线时所用的阴极射线管(cathode ray tube)到热阴极射线管(hot cathode tube 又称 Coolidge tube,始于 1913 年解决了 X 线的质和量的控制),进而又有了旋转阳极管(rotating anode tube),具有焦点小、影像清晰、输出功率大和曝光时间短等优点。由于荧光材料的改进,用电子聚焦法又制成了影像增强器(image intensifier, I.I.,始于 1952 年,为 X 线电视和 X 线电影奠定了基础,形成今天的隔室透视、亮室操作,大大地方便了介入放射学的实施)。1972 年 G. N. Hounsfield 将 X 线机械和电子计算机技术相结合,发明并研制成第一台 CT 机,从而使影像医学发生了革命性变化,1977 年 Nudelman 成功地取得第一次数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)图像,开拓了影像医学的数字化和信息化。成为今天开展介入放射学必不可少的设备。80



年代初,在1973年P. C. Lauterbur发现磁共振的空间定位技术(spatial localization)以来,MRI不断取得新的成就。90年代以来,又有了计算机X线摄影(computed radiography,CR)及图像存档和传输系统(picture archive and communication system, PACS),使影像医学又发展成为今天的远程放射学(tele-radiology)和远程医学(tele-medicine)。

不仅如此,影像医学的另外两门学科,即超声学和核医学,自50年代应用以来也是以惊人的速度发展着。如二战以后,在雷达和声纳(sonar)的技术基础上,应用回声定位原理发展了由A型超声、B型超声、M型超声、实时二维超声、三维超声到彩色多普勒成像等,显示了超声诊断在影像医学中所起的重要作用。同样,在二战以后,放射性示踪剂(radioactive tracer)的应用,使生物化学从体液研究扩展到在人体器官和组织代谢的研究,从而奠定了今天不断发展的影像核医学,如SPECT和PET。它不仅提供解剖方面的信息,而且还提供生化和生理信息。在一些内、外科急症中,如对肺栓塞和隐匿性大量胃肠道出血的诊断,急性心、脑血管梗塞后,细胞活性的判断等都起着重要作用。

20世纪70年代以来,在选择性血管造影的基础上,在不断完善的影像设备的导引下,随着各类导管、穿刺针、支架的开发,介入放射学一直在不断扩展其领域,不仅可以获取组织或细胞标本,提供组织或细胞学诊断,而且治疗的领域也在不断扩大。如在创伤性出血或肺部大量咯血病人的处理,与常规手术比较,介入放射学治疗可以大大减少那些全身情况不允许手术的病人的病死率,作为过渡或替代性治疗方法。对恶性梗阻性黄疸病人、晚期肺癌病人的处理,介入放射学的应用也是如此。它不但改善了病人的生活质量,并可适当延长病人的生存期。

可以说,根据影像医学提供的信息,对许多疾病,如中枢神经系统和胸、腹部的一些病变,可以在定位和定性方面作出精确的评估,从而避免许多无谓的探查术。

由此可以看出,影像医学是由形态到功能;由静态到动态;由平面到立体;由浅层次的生物信息向深层次生物信息等几个方面发展,它包括了所有理工科新技术,如计算机、放射性、同位素、激光、核磁共振等。

诚然,影像医学各种技术的创新确实完善了我们观察和诊断疾病的“眼睛”,却也形成医疗费用的高昂。作为医生,就面临一个如何作出最佳选择的问题。必须了解,各种成像工具因其成像原理不同,必然各有其所长(作用),同时又必有其所短(限度)。扬长避短,互为补充,则可达到花费少而效果最佳。各论中,将会对某一具体疾病的诊断流程(flow chart)如何选择作详尽叙述。

总的说来,优选的原则应遵循由简单到复杂,由费用少到费用多,由无创伤到有创伤的程序来进行。

肖剑秋 高元桂 陈炽贤

2002年1月

前 言

(总论卷)

MEDICAL IMAGING

CHINESE

20世纪后半叶,影像医学得到了突飞猛进的发展。在影像诊断和介入治疗方面,都有很多重大突破。这些都和新的影像诊断手段和技术,如CT、DSA、MRI、CR和PACS等的发明问世,并不断革新、完善等息息相关。

“中华影像医学”总论卷包括普通X线、CT、DSA、MRI、CR和PACS等,共五篇。目的是让读者了解和掌握上述影像设备或技术的基础理论知识、基本结构、图像处理方法、质量控制、临床适用范围及局限性等。编者深入浅出地对上述问题做了阐述,并介绍了国内外的新进展。对于有关对比剂的增强机制、毒副反应及其防治、适应证和国内外的新进展也作了介绍和讨论。

影像医学专业的医师和技术人员要做好诊断工作、开展新业务、新技术、进行科学研究,学习本分卷,使之有扎实的基础理论知识是很重要的。因为这些仪器是高科技产品,不了解其基本结构、基本原理和性能,就很难驾驭,做出的图像质量就不高,就会影响诊断。我们所用的设备多为舶来品,即使是国产的,价格也很昂贵。产品更新换代又很快,通常几个月的时间,就有新的硬、软件问世。学习本分卷,尽快熟悉引进新仪器的性能,快用、多用,充分发挥其效益。我国影像设备的生产和科研工作与国际先进水平相比,十分落后。为迎头赶上国际先进水平,就要走理、工、医相结合之路。有才华、有志气的影像医学专家与理工人员密切团结、协作,进行科研工作,也是一条阳光大道,这就需要掌握更多的基础理论知识。当前是影像医学知识的“大爆炸”,其发展神速,日新月异,影像医学的新进展渗透到医学各个领域和分支。因此,基础和临床各专业人员都面临着影像医学知识更新和再教育的问题,这种学习又需从基础理论起步。

分卷参编人员对所承担部分,造诣较深,是知名专家。分卷主编之一陈炽贤教授已乘鹤西去,陈先生严谨的学风,孜孜不倦的敬业精神是我等的表率。

由于本专业基础理论深奥,涉及到很多新知识、新技术、本卷编写难免有缺点和错误,敬请批评指正。

高元桂

2002年1月



目 录

(按篇顺序排列)

MEDICAL IMAGING

CHINESE

第1篇 X线成像 (1) ◆	
第1章 X线成像的基础物理 (3)	第3节 物质密度与影像密度 (16)
第1节 基本粒子 (3)	第4节 自然对比与人工对比 (16)
第2节 原子和原子核的结构 (3)	第6章 X线检查方法 (18)
第3节 电磁辐射 (4)	第1节 普通检查 (18)
第4节 能量 (5)	第2节 特殊检查 (19)
第2章 X线的产生 (6)	第3节 造影检查 (21)
第1节 标识辐射和韧致辐射 (6)	第4节 X线检查方法的选择 和综合运用 (21)
第2节 X线管及焦点 (8)	第7章 对比剂 (23)
第3节 X线管容量 (9)	第1节 理想对比剂的要求 (23)
第3章 X线波谱 (10)	第2节 阴性对比剂 (23)
第1节 X线的量和质 (10)	第3节 阳性对比剂 (23)
第2节 影响X线量和质的因素 (10)	第4节 今后发展方向 (26)
第4章 X线的特性 (12)	第5节 对比剂的反应和防治..... (27)
第1节 物理特性 (12)	第8章 X线诊断的原则和步骤 (30)
第2节 化学和生物效应 (12)	第1节 诊断原则 (30)
第3节 辐射剂量的物理量度..... (12)	第2节 诊断步骤 (30)
第5章 X线成像的原理 (14)	第9章 影像医学的安全防护 (32)
第1节 X线与物质的主要 作用形式 (14)	第1节 X线防护的意义 (32)
第2节 X线成像的一些 技术因素 (14)	第2节 防护原则和措施 (32)
第2篇 计算机体层成像 (35) ◆	
第1章 CT机的基本结构和 成像原理 (37)	第2节 CT机的特殊功能 (46)
第1节 CT机的基本结构 (37)	第3章 CT扫描技术 (53)
第2节 CT成像原理..... (38)	第1节 CT扫描前准备工作 (53)
第3节 CT的发展 (41)	第2节 平扫 (53)
第2章 评价CT机主要技术 性能的指标 (46)	第3节 增强扫描 (54)
第1节 扫描时间、重建时间 与周期时间 (46)	第4节 造影CT扫描 (57)
	第5节 特殊扫描 (58)
	第4章 CT图像分析 (59)
	第1节 像元和体元 (59)

第2节 CT值	(59)	第5节 CT图像的分析与诊断	(64)
第3节 窗技术	(60)	第5章 CT的诊断价值与限度	(66)
第4节 分辨力	(61)		
第3篇 数字减影血管造影 (69) ◆			
第1章 数字减影血管造影发展	(71)	第3章 DSA影像的采集和处理	(79)
第1节 数字减影血管造影发展的 起因	(71)	第1节 DSA的成像变量	(79)
第2节 减影	(71)	第2节 DSA检查中的基本概念	(80)
第3节 数字荧光成像与数字 减影血管造影	(72)	第3节 DSA的成像方式	(81)
第4节 DSA设备的最新进步	(72)	第4节 受检病人的辐射剂量	(83)
第2章 数字减影血管造影设备 的基本结构	(74)	第5节 DSA的影像处理	(84)
第1节 DSA的成像链	(74)	第4章 DSA的临床应用	(87)
第2节 DSA视频信号	(76)	第1节 DSA在头颈部的应用	(87)
第3节 DSA的噪声	(77)	第2节 DSA在腹部的应用	(88)
第4节 DSA影像的处理和显示	(77)	第3节 DSA在心脏和大血管 的应用	(89)
		第4节 DSA在外周血管的应用	(90)
第4篇 磁共振成像 (93) ◆			
第1章 磁共振成像的基本原理	(95)	第2节 MR对比剂的分类	(121)
第1节 核磁共振	(95)	第3节 钆螯合物	(122)
第2节 核磁弛豫	(96)	第4节 超顺磁性氧化铁对比剂	(123)
第3节 空间定位	(97)	第5节 其他MR对比剂	(124)
第4节 核磁共振信号	(99)	第5章 磁共振血管造影	(126)
第5节 与MR图像对比 有关的因素	(100)	第1节 血流的特性	(126)
第2章 脉冲序列	(102)	第2节 飞越时间效应和 相位移动	(126)
第1节 自旋回波脉冲序列	(102)	第3节 磁共振成像中血流信号	(127)
第2节 反转恢复脉冲序列	(104)	第4节 与MRA有关的实用技术	(127)
第3节 K-空间与MR成像速度	(105)	第5节 飞越时间法 血管造影(TOF法)	(128)
第4节 梯度回波脉冲序列	(108)	第6节 相位对比法 血管造影(PC法)	(129)
第5节 快速自旋回波脉冲序列	(110)	第7节 3D动态增强MRA	(130)
第6节 快速梯度自旋回波 脉冲序列	(111)	第8节 血流速度的测定	(131)
第7节 回波平面成像脉冲序列	(111)	第6章 磁共振功能成像	(133)
第3章 质量控制	(114)	第1节 磁共振功能成像的概况	(133)
第1节 质量控制参数	(114)	第2节 弥散加权成像	(133)
第2节 其他成像技术参数	(115)	第3节 灌注成像	(134)
第3节 伪影	(116)	第4节 依靠血氧合水平的磁共 振成像(BOLD)	(135)
第4章 MR对比剂	(120)		
第1节 对比增强的机制	(121)		

第 7 章 磁共振波谱分析(MRS)	(137)	第 2 节 MRI 检查和诊断的优点	(155)
第 1 节 磁共振波谱技术的原理	(137)	第 3 节 MRI 检查和诊断的缺点	(157)
第 2 节 活体磁共振波谱 检测技术	(138)	第 4 节 MRI 检查的禁忌证	(157)
第 3 节 MRS 的临床应用	(141)	第 9 章 MR 成像设备	(158)
第 8 章 MR 信号异常的分析与诊断	(150)	第 1 节 磁体	(158)
第 1 节 信号异常的病理 生理基础	(150)	第 2 节 梯度系统	(159)
		第 3 节 射频系统	(159)
		第 4 节 计算机系统	(160)
第 5 篇 计算机 X 线摄影和图像存档与传输系统 (165)			
第 1 章 计算机 X 线摄影	(167)	第 1 节 建立 PACS 的迫切性	(182)
第 1 节 CR 系统的发展与 基本结构	(167)	第 2 节 PACS 的原理和方法	(182)
第 2 节 CR 系统的临床应用	(179)	第 3 节 PACS 的结构	(186)
第 2 章 图像存档和传输系统	(182)	第 4 节 PACS 的临床应用	(188)
		第 5 节 远程放射学	(188)

第 1 篇

医学影像学

CHINESE MEDICAL IMAGING

X 线 成 像

主编 陈炽贤 高元桂

人民卫生出版社

1895年伦琴在进行阴极射线管试验时，发现了X线，因而奠定了现代影像医学的基础。

X线是一种电磁辐射(electromagnetic radiation)，就像紫外线、可见光、红外线、微波和无线电波一样，同属电磁辐射。各种形式的电磁辐射频率不同，其能量也不同，频率越高，能量越大。

当高能量的电子作用于物质时，将其动能(kinetic energy)转化为电磁辐射，它包括韧致和标识两个过程(bremsstrahlung and characteristic process)，前者产生连续的X线波谱，后者则产生特定的狭窄波谱带。很多参数对所产生的X线波谱的形状和波长有影响。所产生的X线的量与管电压的平方、管电流、曝射时间、阳极物质的原子序数成正比，而与距离的平方成反比。X线的量也受电压的波形(wave form)及球管滤过(filtration)的影响。X线波谱的形态也受阳极物质的原子序数、管电压、滤过和电压波形的影响。

第 1 章 X 线成像的基础物理

第 1 节 基本粒子

在放射物理中，有几种基本粒子(fundamental particles)，包括质子(proton)，中子(neutron)、电子(electron)和正电子(positron)。然而，在核物理和高能物理(high-energy physics)的研究表明：它们是由一些更小的基本粒子，如夸克(quarks)所组成，但是，在放射物理的概念里，我们仍将上述四种粒子称为基本粒子。原子核是由质子和中子所组成，它们的质量(mass)相近似，质子带正电荷，中子则不带电荷。电子和正电子则分别带负电荷和正电荷，而且电子的质量要比质子和中子小得多。电子和正电子又称为 β^- 或 β^+ 粒子， α 粒子有两个正电荷，实际上，就是氦的原子核(含有两个质子和两个中子)。这些基本粒子的特性见表 1-1-1。

表 1-1-1 基本粒子

粒子	符号	电荷	质量(amu)	能(MeV)
质子	P	+1 (e)	1.008	938
中子	n	0	1.009	940
电子(β^-)	e^-	-1 (e)	0.0005	0.511
正电子(β^+)	e^+	+1 (e)	0.0005	0.511
α 粒子	α	+2 (e)	4.003	3.727

注：e = 一个电子的电荷 = $1.6 \times 10^{-19}C$ (库仑)

$$\text{amu} = (\text{atomic mass unit 原子质量单位}) = \frac{1}{12}$$

$$\text{碳-12 原子的质量} = 1.6 \times 10^{-24}g$$

第 2 节 原子和原子核的结构

物体是由无数个原子所组成，例如一克铜就含有 6×10^{23} 个铜原子。原子的 Bohr 模型说明所有原子含有一个原子核和数个沿轨道运行电子(orbiting electrons)的外壳(见图 1-1-1)。原子核由带正电的

质子和不带电荷的中子所组成。原子核中的质子的数目即为此原子的原子序数(atomic number, 以 Z 表示之)，它决定原子的许多特性。很多元素(element)有几种同位素(isotopes)，这些原子的质子数相同，但中子数不同。有一些同位素具有放射性(radioactivity)，它们以高能的状态存在，而且自然地蜕变(naturally decay)至较低的能量形式。氢原子无中子(原子序数和原子量均为 1)，但其同位素，如氘(1 个质子, 1 个中子)和氚(1 个质子和 2 个中子)，两者均为放射性同位素。

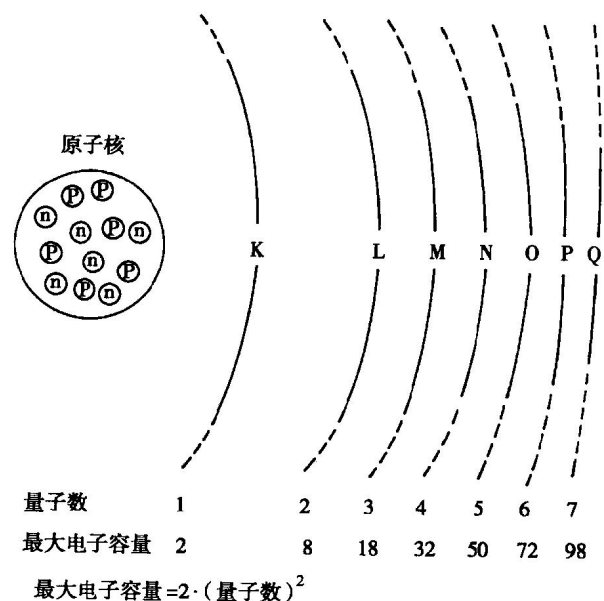


图 1-1-1 原子的 Bohr 模型图

原子核由质子(p)及中子(n)所组成，沿轨道运行的电子分布于不同能量级轨道

原子核之外存在着明确表示不同能量级的电子。围绕着原子核，电子沿特定壳(即能量级别)的轨迹运行。只要电子仍然存留在其特定的壳的轨迹上，则能量既不会增加，也不会损失。最内层的壳为 K 壳(见图 1-1-1)，然后向外，依次为 L、M、N、O、P、Q 等。K 层的量子数(quantum number)为 1，L 层为 2，余类推。每层电子数不能超过其最大值(即为 $2 \times$ 量子数的平方)。因此，K 层只能

有2个电子, L层为8, M层为18, 余类推。因此, 原子序数高的元素具有较多的电子壳层数, 这些电子的安排对该元素的特性有很大的影响。一个中性原子, 即其外壳电子数与核内质子数相等。具有不成对的电子(unpaired electrons)或具备未完全充满的壳(incompletely filled shells)的元素, 在化学上更具有反应性(reactive), 而且显示磁性。而那些最外层壳电子完全充满的中性原子, 则其化学性质稳定, 并称之为惰性气体。

因为带负电荷的电子为带正电荷的原子核所吸引, 所以最内圈(或K层)的能量级最低。图1-1-2示钨的原子能量级图解, 内圈电子比外圈电子的能量级低而且与原子更紧密结合, 最外圈电子则与原子核的结合不那么紧密, 而且易于移动, 称为价电子(valence electron), 不与原子结合的电子称为自由电子(free electrons), 它不受原子核影响, 从原子处移动时不需能量。

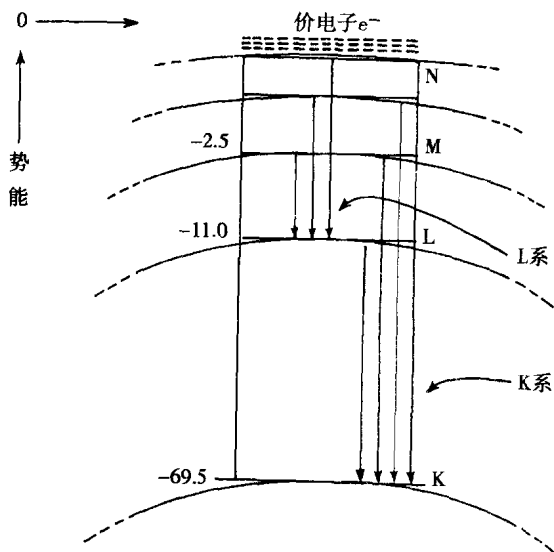


图1-1-2 钨原子(原子序数 $Z=74$)的电子壳层能量图

电子在原子各层壳之间可以移动, 这种移动或需要能量或释放能量, 从内圈上移动电子需要能量, 而此时外圈电子则自然跃迁至内层, 来填补被排斥出去的电子所遗留的空位, 此时则释放能量。X线的产生即这种能量释放的一种形式, 如果M壳层的电子跃迁至K层, 那么就发射K层的X线。

当外圈电子向原子核方向移动并且释放能量, 这种释放是以X线的形式出现, 则此种X线辐射

称为标识X线(characteristic x-ray)。根据阳极靶原子形成的电子空位的位置不同, 产生的标识X线分别称为K系、L系等标识X线。X线的能量等于原来壳层的结合能量与跃迁所至的层壳的结合能量之差, 如图1-1-2所示, K层的结合能量为 -69.5KeV , M层的结合能为 -2.5KeV , 两者之差为 $-2.5 - (-69.5) = +67\text{KeV}$, 此标识X线的 67KeV 能量是钨原子所独具的。

第3节 电磁辐射

电磁辐射, 例如可见光, 具有波的性质, 是一种横波(transverse wave), 其电场和磁场垂直于波的传播方向。

声波则不同, 声波的震荡与波的传播方向平行(为纵波)。另外的不同点是: 电磁波可在真空中穿过, 无需介质来传导或输送。而声波则相反, 必须有物理介质来传导, 它是不能在真空中通过的。

通常, 波的速度(v)是其频率(f)与波长(λ)的乘积。

$$v = f \cdot \lambda \quad (1)$$

电磁辐射的一种特殊性是其速度是固定的, 在真空中, 光的速度等于 $3 \times 10^8\text{m/s}$, 所有电磁辐射, 不论其频率和波长是多少, 在真空中均以此速度运行。因为速度是固定的, 所以频率和波长成反比, 因此, 波长长者则频率低。可见光和X线的波长很短, 通常使用单位为纳米(nm), 也就是 10^{-9}m 。

电磁辐射包括一个波长和频率范围较广的波谱, 波波长则频率低。当波长减少时, 则频率增加(见图1-1-3)。用来运载无线电、电视及雷达信号的属于波长较长的范围, 也就是在波谱的这一区域的电磁波, 被用来产生和接收磁共振成像信号(magnetic resonance imaging signals)。电磁波谱的可见光区域较狭窄, 属波长 $400 \sim 750\text{nm}$ 范围。波长进一步减少, 波的能量就增加到足以从原子驱走电子, 由此产生的光子(photon), 称为电离辐射(ionization radiation)。具有同样能量的X线和 γ 射线是难以区分的, 它们的名称不同, 只是其来源不同而已。X线的产生来自原子核之外, 而 γ 射线则来源于原子核之内。