

实用医学辐射防护学

主 编 刘保昌

副主编 李 健 虢国泰

编 委 路松毅 曾 婷 向彩良 邹宝玉

余永昌 兰新友 向前勇

主 审 邓槐春 戈儒乾

军事医学科学出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统介绍了医用核辐射物理基础、辐射生物学效应、放射防护监督与监测、放射性废物和污染的处理、内外照射场所及设备设施的防护技术指标与要求、职业人员医学监护规范化程序和非电离辐射防护知识与措施，并将我国和军队现行医用放射防护有关法规、标准归类附于书后。内容丰富、系统，文字简练、通俗，重点突出，实用。

可作为放射防护和法规教育的培训教材，亦可作为卫生管理人员和防护专业人员及临床医务人员的参考用书。

序

X线于1895年11月被发现后，数月就首先在医学上开始应用，这开创了揭示人体内部结构的先河。随后放射学进一步发展形成X线诊断学（放射学）、放射肿瘤学和临床核医学三大学科，已成为现代医学不可或缺的重要组成部分。

20世纪70年代以来，计算机技术迅速发展并渗透到医学领域，X线CT、加速器的发明成功推动了放射学、放射肿瘤学获得突破性进展，开辟了医学影像的数字化时代，加上临床核医学中发射型计算机断层扫描显像（SPECT、PET）及非电离辐射的核磁共振成像（MRI）、超声成像（实时灰阶B超和彩色多普勒成像）等各种医学成像技术的应用，放射医学不仅在疾病诊断上显现出特有的优势，而且随着生物医学和材料科学等相关科学技术的发展，已经跨越诊断范畴延伸为经血管或非经血管穿刺及导管介入技术，这不仅提高了疾病诊断水平，也改善了医学服务质量，推动了医学科学的发展。然而，在医用辐射技术为人类造福的同时，也使人们付出了很大的代价，特别是现今辐射源和放射性核素在临床应用范围甚广，接触射线的工作人员和接受医学照射的受检者与患者的人数众多，其防护问题已成为涉及所有公众成员及其后代的重要公共卫生问题。

我国政府非常重视放射卫生防护工作，为了适应我国医用辐射迅速发展的需要及与国际辐射防护发展水平接轨，相继建立并不断完善了科学、实用适合国情的放射卫生防护有关法规、标准及其体系。本书作者以他们丰富的专业知识和实践经验写成这本《实用医学辐射防护学》，书中从医用核辐射物理、辐射生物学效应基础到放射防护监督监测等具体实施措施进行了深入浅出的探

讨。内容丰富、文字易懂，它不但可以作为放射防护和法规教育的适宜教材，也是卫生管理人员和防护专业人员的有益读物。这本书的出版，无疑会对我区部队普及医学辐射防护新知识起到良好的推动作用。

江建荣

广州军区联勤部卫生部部长

前 言

医学辐射防护是研究辐射对人体健康的影响、危害，以及应当采取的卫生防护措施，它是预防医学的一个组成部分。其内容涉及核物理、核电子、环境工程学、生物医学和临床医学等领域，特别是近一二十年来，医学用辐射设备的更新换代速度很快，从医用辐射（X线诊断、临床核医学、放射肿瘤学）三大分支学科的蓬勃发展，到影像医学的形成，以及介入放射学的崛起，无疑为人类防病治病带来了巨大利益。与此同时也提出了日益突出的医学辐射防护新问题，医用辐射防护已成为辐射防护领域影响面最广的重点之一。为此我们据以往监督管理工作实践经验和有关法规、标准要求，编写了《实用医学辐射防护学》。

全书共分十二章，前四章重点介绍医用辐射核物理基础、辐射剂量及其计量单位、电离辐射概念、人体对辐射的生物学效应及其影响；第五章介绍辐射来源及常用医学辐射源特点。第六章为医用辐射防护的目的、任务、防护的基本原则及我国现行辐射防护标准及基本剂量限值；第七、八章为内照射与外照射各种场所、设备设施的防护技术指标和要求，以及放射性表面污染和放射性废物的处理等；第九、十章主要从医用辐射防护的监督管理出发对防护目的、任务、内容和职业人员医学监护规范化程序进行了介绍；第十一章对防护监督过程中常用监测设备的工作原理，放射设备选择和质量控制的发展趋势做了简单介绍；第十二章鉴于非电离辐射在医学影像专业的使用越来越多，目前尚缺少完整资料，作为一种尝试，编入非电离辐射防护知识和措施。内容力求深入浅出、广泛齐全，对放射防护监督管理人员、放射工作人员具有通用与实用的特点。

编写时，将放射防护工作中常用、实用数据及我国和军队现行

医用放射防护有关法规、标准归类附后，以便工作时查看。并力求做到条目明确、层次清楚、重点突出、文字简练、通俗易懂。本书与以《医学放射工作人员放射防护培训规范》内容制作的多媒体教学光盘配合使用，可作为医学放射工作者和临床医务人员放射卫生防护知识上岗培训、法规教育、普及放射防护知识教材，亦可作为卫生管理部门、防护专业人员提高放射防护管理水平的参考用书。

本书在编写过程中，得到广州军区联勤部卫生部及其卫生防疫处、广州军区联勤部军事医学研究所领导的支持及全军放射防护监督监测中心有关专家教授的帮助，在此特表谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在缺点和错误，恳请读者、同行及有关专家批评指正。

编 者

2003年5月

目 录

第一章 医用辐射核物理基础	(1)
第一节 原子和原子核结构	(1)
一、原子.....	(1)
二、原子核.....	(1)
三、电子的分布.....	(2)
四、核能级.....	(3)
五、粒子辐射.....	(3)
六、电磁辐射.....	(4)
七、X线.....	(4)
八、放射性和放射性核素.....	(7)
第二节 放射性和放射性衰变	(8)
一、放射性现象.....	(8)
二、放射性衰变类型.....	(9)
三、放射性衰变的规律.....	(12)
四、衰变纲图.....	(14)
五、递次衰变规律.....	(15)
六、放射性平衡.....	(17)
七、放射系.....	(20)
八、放射性衰变公式应用.....	(23)
第二章 医用辐射防护常用量及其法定单位	(28)
第一节 基本辐射量	(28)
一、放射性活度.....	(28)
二、照射量及照射量率.....	(29)
三、吸收剂量.....	(31)
四、器官剂量.....	(31)
五、当量剂量.....	(32)

六、有效剂量	(33)
第二节 辅助辐射量	(35)
一、待积当量剂量	(35)
二、待积有效剂量	(35)
三、剂量负担	(35)
四、集体当量剂量	(36)
五、集体有效剂量	(36)
第三节 辐射监测实用量	(37)
一、个人监测量	(37)
二、环境监测量	(37)
第三章 医用电离辐射概念、种类及与物质的相互作用	(39)
第一节 医用电离辐射的概念和种类	(39)
第二节 带电粒子与物质的相互作用	(41)
一、基本作用过程	(41)
二、带电粒子的能量在物质中的转化、射程及吸收规律	(42)
第三节 X、 γ 线与物质的相互作用	(44)
一、基本作用过程	(44)
二、吸收规律	(46)
第四节 中子与物质的相互作用	(47)
一、中子的能量分类	(47)
二、基本作用过程	(47)
三、中子吸收及与机体组织的作用	(50)
第五节 传能线密度和相对生物效应	(51)
一、传能线密度	(51)
二、相对生物效应	(53)
第四章 电离辐射的生物效应	(55)
第一节 辐射损伤作用的基本原理	(55)
第二节 辐射生物效应的分类	(57)

一、躯体效应与遗传效应·····	(57)
二、近期效应与远期效应·····	(57)
三、随机性效应与确定性效应·····	(58)
第三节 影响辐射生物效应的因素·····	(58)
一、与辐射有关的因素·····	(58)
二、与机体有关的因素·····	(59)
三、与环境有关的因素·····	(62)
第四节 辐射的确定性效应·····	(63)
一、全身照射的效应·····	(63)
二、不同组织和器官的确定性效应（局部效应）·····	(68)
第五节 辐射的随机性效应·····	(73)
一、辐射的致癌效应·····	(74)
二、辐射的遗传效应·····	(77)
三、宫内照射的随机性效应·····	(78)
第五章 辐射来源及其对人类的照射·····	(79)
第一节 电离辐射源及其对人类的照射·····	(79)
一、天然辐射源及其对人类的照射·····	(79)
二、人工辐射源及其对人类的照射·····	(82)
第二节 医疗照射用辐射源·····	(85)
一、医用X线辐射源（装置）·····	(86)
二、医用 γ 线辐射源·····	(92)
第六章 医用辐射防护标准与剂量限值·····	(100)
第一节 辐射防护标准的发展和防护体系·····	(100)
一、辐射防护标准的发展概况·····	(100)
二、辐射防护标准体系·····	(103)
第二节 辐射防护的目的、任务·····	(104)
一、辐射防护的目的·····	(104)
二、辐射防护的任务·····	(105)
第三节 辐射防护的基本原则·····	(105)

- 一、辐射实践的正当化 (106)
 - 二、辐射防护的最优化 (106)
 - 三、对个人剂量的限值 (107)
- 第四节 我国现行辐射防护的基本剂量限值 (108)
 - 一、放射工作人员的年剂量限值 (108)
 - 二、导出限值（推定限值） (110)
 - 三、对公众的剂量限值 (111)
 - 四、教学中接触辐射剂量时的剂量限值 (112)
 - 五、管理限值 (112)
 - 六、特殊照射、应急照射和事故照射剂量限值 (113)
 - 七、参考水平 (114)
- 第七章 医用辐射外照射的防护 (116)
 - 第一节 医用辐射源与辐射场 (116)
 - 一、辐射源与辐射场概念 (116)
 - 二、点状源照射量率的计算 (117)
 - 三、非点状源照射量率的计算 (118)
 - 第二节 外照射防护的基本措施 (121)
 - 一、外照射防护原则 (121)
 - 二、医用辐射屏蔽材料的选择 (122)
 - 三、医用辐射常用屏蔽材料及其性能 (124)
 - 第三节 医用诊断X线的防护 (127)
 - 一、医用诊断X线机的防护性能要求 (127)
 - 二、医用诊断X线防护设施 (127)
 - 三、医用诊断X线合理应用的防护要求 (131)
 - 第四节 医用治疗X线的防护 (135)
 - 一、医用治疗X线机的防护性能要求 (136)
 - 二、医用治疗X线机的防护设备要求 (137)
 - 三、医用治疗X线机操作的防护要求 (138)
 - 第五节 医用加速器的卫生防护 (138)

一、医用加速器的防护性能要求·····	(139)
二、医用加速器治疗室防护要求·····	(139)
三、医用加速器屏蔽防护厚度的估算·····	(141)
四、高能（10MeV以上）加速器中子的防护·····	(143)
五、医用加速器安全操作要求·····	(144)
第六节 医用 γ 照射远距离治疗的防护 ·····	(145)
一、治疗室设计的防护要求·····	(145)
二、放射治疗的防护要求·····	(146)
三、医用治疗 γ 线源操作的防护要求·····	(146)
四、 ^{60}Co γ 线屏蔽厚度计算方法·····	(147)
第七节 医用 γ 线源近距离治疗的防护 ·····	(150)
一、后装 γ 源近距离治疗室防护要求·····	(151)
二、近距离放疗的辐射防护土建设计及屏蔽 厚度估算·····	(151)
三、放射治疗的防护要求·····	(152)
第八章 医用开放源内照射的防护 ·····	(154)
第一节 放射性核素的毒性分组·····	(154)
第二节 开放型放射性工作单位分类及 工作场所的分级·····	(156)
一、判断放射性工作单位与工作场所的标准·····	(156)
二、开放型放射工作单位的分类·····	(157)
三、开放型放射性工作场所的分级·····	(158)
四、临床核医学工作场所的分级和分区·····	(159)
第三节 开放型放射工作单位的卫生防护要求 ·····	(160)
一、开放型放射工作单位选址的要求·····	(160)
二、防护监测区的建立·····	(161)
三、建筑与设施的防护要求·····	(162)
四、核医学工作场所的布局·····	(163)
五、临床核医学治疗时的防护要求·····	(165)

第四节	内照射防护的基本措施	(166)
一、	围封隔离	(166)
二、	保洁去污	(166)
三、	个人卫生防护	(166)
四、	妥善治理放射性“三废”	(167)
五、	建立内照射监测系统	(167)
第五节	放射性表面污染的去除	(167)
一、	表面污染的方式	(167)
二、	表面去污的原理	(168)
三、	常用的去污剂	(169)
四、	各种表面去污方法及常用去污剂	(172)
第六节	医用放射性废弃物的处理	(176)
一、	医用放射性废弃物的分类及特点	(176)
二、	放射性“三废”的处理原则和评价指标	(177)
三、	放射性废水（废液）的处理	(179)
四、	放射性废气的处理	(181)
五、	放射性固体废物的处理	(182)
第九章	医用辐射防护的监督管理	(184)
第一节	医用辐射防护监督管理的目的、任务和 内容	(184)
一、	医用辐射防护监督管理的目的	(184)
二、	医用辐射防护监督管理的基本任务	(184)
三、	医用辐射防护管理的基本内容	(185)
第二节	医用辐射防护监督管理机构和队伍	(186)
一、	国家放射卫生防护监督管理体系	(186)
二、	军队放射卫生防护监督管理体系	(187)
第三节	预防性放射卫生防护监督管理	(188)
一、	预防性放射卫生防护监督管理的目的和意义	(188)
二、	预防性放射卫生防护监督管理的基本程序	(188)

第四节	经常性放射防护监督管理	(190)
一、	放射工作的许可登记监督管理	(190)
二、	医用辐射源的运输、安装、换源及调试验收	(193)
三、	辐射事故的管理	(196)
四、	放射性废物的管理	(197)
五、	放射工作人员个人剂量监测与健康管理	(198)
第十章	放射职业人员的医学监护	(200)
第一节	建立医学监护制度的目的和内容	(200)
第二节	放射职业人员的常规医学监护	(201)
一、	放射职业人员基本条件	(201)
二、	放射工作人员的健康标准	(201)
第三节	放射职业人员的健康检查	(203)
一、	对放射职业人员健康检查的要求	(203)
二、	就业前的健康检查	(204)
三、	就业后的定期健康检查	(205)
四、	脱离放射工作时的健康检查和其后的随访	(206)
五、	放射工作人员健康档案的建立	(207)
第四节	异常受照人员的医学处理	(207)
一、	应急照射剂量的控制值	(207)
二、	异常受照人员医学处理的一般原则	(208)
三、	异常受照人员的医学随访观察	(210)
第五节	放射工作人员的保健和健康评价	(211)
一、	从事放射工作人员的保健	(211)
二、	从事放射工作人员的健康评价	(212)
第十一章	医用电离辐射防护监测及放射设备的	
质量保证		(214)
第一节	电离辐射测量常用设备及工作原理	(214)
一、	气体电离探测器	(215)
二、	闪烁探测器	(218)

三、半导体探测器·····	(220)
四、热释光剂量仪·····	(221)
第二节 个人剂量测量·····	(222)
一、外照射个人剂量监测·····	(222)
二、内照射个人剂量监测·····	(224)
第三节 工作场所辐射监测·····	(226)
一、工作场所的外照射监测·····	(227)
二、表面污染的监测·····	(229)
三、空气污染的监测·····	(231)
第四节 医用放射设备及诊断影像的质量保证·····	(234)
一、开展质量保证的目的和意义·····	(234)
二、放射诊断质量保证的发展动向·····	(236)
三、放射诊断影像质量保证的目标·····	(240)
四、放射工作单位质量保证程序的主要内容·····	(240)
五、放射设备的质量控制·····	(242)
第十二章 医用非电离辐射防护·····	(244)
第一节 射频辐射与微波·····	(244)
一、基本概念·····	(244)
二、微波辐射来源·····	(245)
三、微波（辐射）的基本特征·····	(247)
四、微波辐射的医学生物学效应·····	(250)
五、微波辐射的防护·····	(253)
第二节 激光·····	(257)
一、激光的概念及来源·····	(258)
二、激光的基本特征·····	(260)
三、激光辐射基本生物学效应·····	(261)
四、激光辐射的防护措施·····	(266)
第三节 超声波和核磁共振成像技术·····	(271)
一、超声波·····	(271)

二、核磁共振.....	(276)
附录 A 有关法规及标准	(281)
A-1 放射性同位素与射线装置放射防护条例.....	(281)
A-2 放射工作卫生防护管理办法.....	(288)
A-3 放射工作人员健康管理规定.....	(301)
A-4 军队卫生监督规定（摘录）	(308)
A-5 军队放射防护监督实施办法.....	(313)
A-6 医用X射线诊断卫生防护标准.....	(321)
A-7 医用X射线治疗卫生防护标准.....	(332)
A-8 医用电子加速器卫生防护标准.....	(343)
A-9 后装 γ 源近距离治疗卫生防护标准.....	(352)
A-10 临床核医学卫生防护标准.....	(357)
A-11 医用放射性废物管理卫生防护标准.....	(364)
A-12 广州军区放射防护监督实施细则.....	(371)
附录 B 附表	(377)
附录 C 放射医学与卫生防护法规及标准题录	(390)
参考文献.....	(392)

第一章

医用辐射核物理基础

第一节 原子和原子核结构

一、原 子

自然界中的物质均由叫元素的单个实体组成，每一种元素都以其基本组分，即原子的物理和化学性质相区别。每个原子都有一个原子核，原子核集中了原子的大部分重量，周围是围绕原子核运动的电子，由于它们运动具有相对的随机性，故整体分布呈“云”状。原子的半径大约为 10^{-10}m ，原子核半径更小，大约 10^{-14}m 。

二、原子核

原子核由两类基本粒子组成，它们是质子和中子，质子带正电荷，中子不带电。因为电子带一个单位负电荷，质子带一个单位正电荷，原子核内质子数和核外电子数相等，使原子呈中性。

原子可用符号 ${}_Z^AX$ 表示，X是元素的化学符号，A是质量数，即原子核中的中子和质子的数目；Z是原子序数，即原子核内质子的数目（或核外电子数目）。用这种方法表示的原子又称核素。例如 ${}_1^1\text{H}$ 和 ${}_2^4\text{He}$ 分别表示氢原子和氦原子或氢核素和氦核素。根据原子核中中子和核子的不同特点，可把原子分成以下几类。

同位素：指质子数相同，中子数不同的原子；
同中子异位素：指中子数相同，质子数不同的原子；
同质异位素：指核子数相同，质子数不同的原子；
同质异能素：指含有相同的质子数和中子数，只有核能态不同的同种原子。如同质 $^{131m}_{54}\text{Xe}$ ，式中 $^{131}_{54}\text{Xe}^m$ 代表亚稳态。

三、电子的分布

按照尼尔斯·波尔1913年提出的模型，电子能在特定轨道上绕核旋转，而不飞离原子是由于带正电荷的原子核和带负电荷的电子之间的吸引力所形成的向心力的作用。

尽管电子的实际轨道颇为复杂，且变化不定，但仍可以用特定轨道的方式将概念简化。最内层轨道或壳层叫K层，以下分别叫L、M、N和O层。在某一轨道上的电子的最大数目用公式 $2n^2$ 计算， n 是轨道数，如第一轨道上电子最大数目为2，第二轨道为8，第三轨道为18。图1-1是氢、氦和氧原子的电子轨道。

电子轨道也可以考虑成能

级，此时的能量是电子的势能，从另一角度看，也可以叫做电子的结合能。各层电子的结合能取决于在原子核和轨道电子之间的库仑引力的大小，高原子序数元素因其核电荷数较大，结合能也大，以钨为例，原子序数为74，在K、L、M壳层上的电子的结合能分别为69 500、11000和2、500 eV。

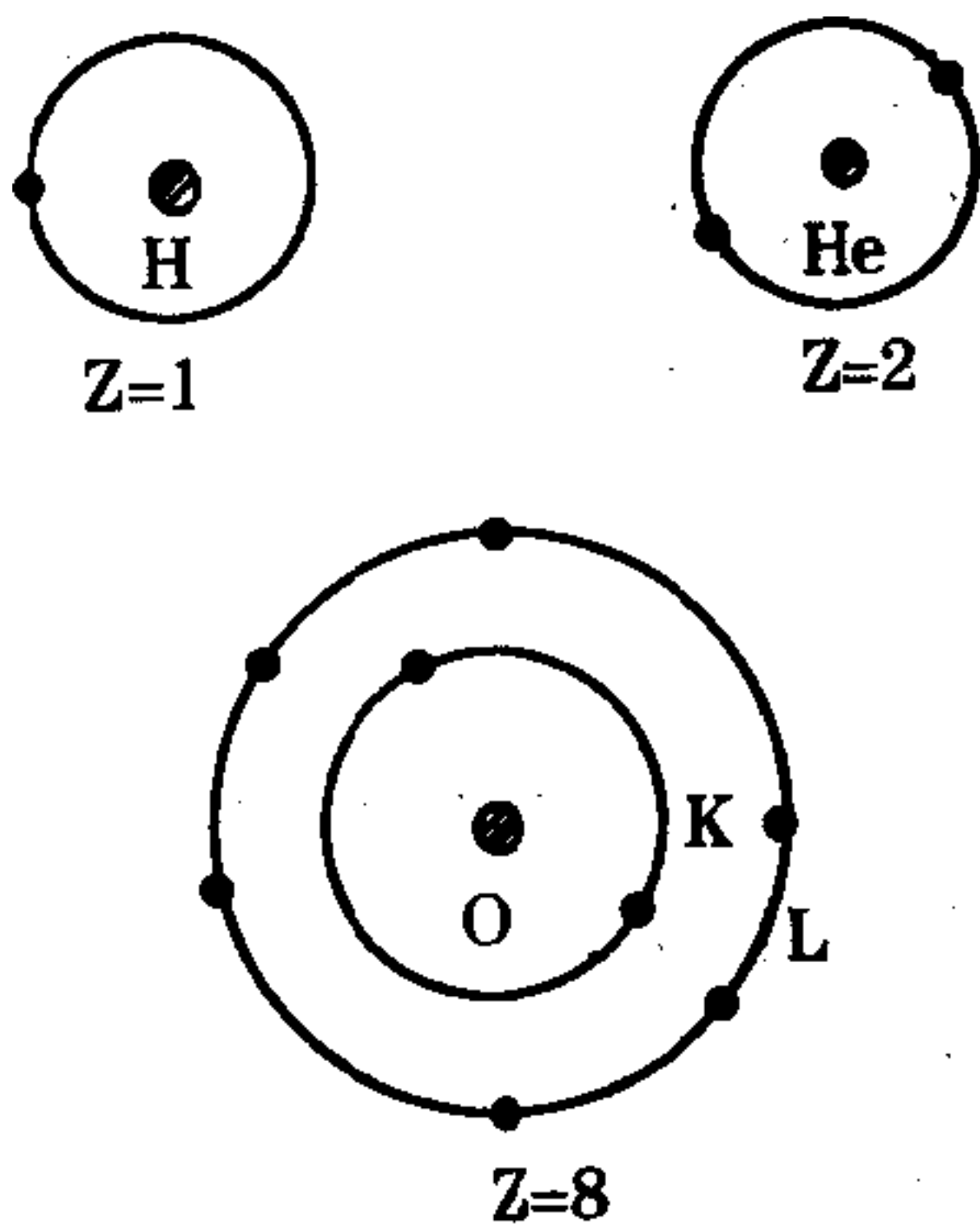


图1-1 氢、氦和氧原子的电子轨道