

高等院校放射医学教材

放射医学教程

杨占山 涂 彧 / 主编

叶常青 / 审校



原子能出版社

全国高等院校放射医学教材

供基础、临床、预防、药学、生物技术、保健物理、放射医学和理工等专业用

放射医学教程

主 编 杨占山 涂 彧
审 校 叶常青
编 委 (按姓氏笔画排序)
万 骏 文万信 刘芬菊 李士骏
杨占山 张友九 周菊英 周新文
涂 彧 曹建平

图书在版编目(CIP)数据

放射医学教程/杨占山,涂彧主编. —北京:原子能出版社,2008.1

ISBN 978-7-5022-4079-0

I. 放… II. ①杨…②涂… III. 放射医学-教材 IV. R81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204233 号

放射医学教程

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 邮编:100037)
责任编辑 刘 朔 张 琳 张锐清 张关铭
责任校对 徐淑惠
责任印制 丁怀兰 刘芳燕
印 刷 保定市中画美凯印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 787×1092 mm 1/16
字 数 660 千字
印 张 26.5
版 次 2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-4079-0
定 价 50.00 元

前 言

自 1895 年伦琴(W C Roentgen)发现 X 射线以来,放射医学经历了 110 余年的发展历程。电离辐射在为人类带来巨大裨益的同时,也使生物机体受到不同程度的健康危害。放射医学是医学中的一门学科,其主要任务是研究电离辐射对人体的作用、机制、损伤与修复的规律,放射损伤的诊断、治疗和预防,为放射性工作人员的卫生防护、医学监督和保健工作提供理论依据和措施。

随着我国和平利用原子能事业的发展,电离辐射在工业、农业、国防和医学科学等领域得到广泛的应用。与此同时,人们更加关注电离辐射对包括人类在内的生物机体和生存环境的影响。苏州大学放射医学专业作为国家级重点学科,具有一大批德才兼备的教师群体,有责任为医学、生物、药学和理工等本科专业学生和研究生开设一门综合性的放射医学课程。本书简编本在教学中受到学生的热烈欢迎,在此基础上,我们进一步改进和完善了该教程。本书主要内容包括电离辐射的基本概念,电离辐射量与单位,放射性核素的性能与分析方法,放射生物学效应基础,辐射对染色体的作用,辐射确定性效应与随机性效应,肿瘤放射治疗,放射卫生防护,辐射环境检测与评价,放射性废物与工作安全管理以及放射医学研究的新进展。通过本课程的学习,使学生和读者较快地掌握放射医学的基本概念、基本理论、基本技能以及最新的研究进展,使放射医学更好地为人类健康、经济建设和国防事业服务。这对于我国核事业的发展,积极应对突发核事件以及核事故亦具有非常重要的意义。

《放射医学教程》由十五章组成,其中第 1 章由文万信教授编撰;第

2章由李士骏教授编撰;第3章由张友九副研究员编撰;第4,8,9章由杨占山教授编撰;第5,7章由刘芬菊教授编撰;第6章由曹建平教授编撰;第10章由周菊英教授编撰;第11,13,14章由涂或教授编撰;第12章由万骏教授编撰;第15章第1,2,3节由曹建平教授编撰,第4节由杨占山教授、蔡崇贵讲师编撰,第5节由周新文副教授编撰。

全书承蒙军事医学科学院叶常青研究员审校,其知识渊博,作风严谨,在此表示诚挚的感谢。

限于水平和时间,书中难免有不妥之处,恳请读者不吝指正。

杨占山

2007年8月28日

目 录

前 言

第一章 电离辐射的基本概念	(1)
第一节 辐射的种类	(1)
一、辐射分类	(1)
二、电离辐射源	(1)
第二节 电磁辐射	(3)
一、电磁波	(3)
二、电磁辐射的健康危害	(4)
第三节 原子核基本性质	(5)
一、原子核组成	(5)
二、原子核大小	(6)
三、原子核质量	(7)
四、原子核结合能	(7)
第四节 原子核衰变	(9)
一、 α 衰变	(10)
二、 β 衰变	(10)
三、 γ 衰变	(11)
四、自发裂变	(12)
五、放射性衰变的基本规律	(13)
第五节 射线与物质相互作用	(14)
一、带电粒子在介质中的慢化	(14)
二、重带电粒子与物质的相互作用	(16)
三、电子与物质相互作用	(16)
四、 γ 射线与物质相互作用	(18)
五、中子与物质相互作用	(19)
六、放射治疗的射线种类	(22)
参考文献	(22)
第二章 辐射剂量与单位	(23)
第一节 量和单位	(23)
第二节 电离辐射场	(25)
一、粒子注量、能量注量	(25)

二、粒子注量率、能量注量率	(26)
三、谱分布与平均值	(26)
第三节 电离辐射能量在物质中的转移过程	(27)
一、带电粒子能量在物质中的转移	(28)
二、X、 γ 射线的光子能量在物质中的转移	(35)
三、中子能量在物质中的转移	(41)
第四节 基本的剂量学量	(42)
一、物质中电离辐射能量的递减过程	(42)
二、与能量转移关联的剂量学量	(43)
三、与能量吸收关联的剂量学量	(53)
第五节 放射防护量	(67)
一、电离辐射对人体健康的有害效应	(68)
二、器官剂量, D_T	(70)
三、当量剂量, H_T	(78)
四、有效剂量, E	(80)
五、待积量, $H_T(\tau)$ 和 $E(\tau)$	(84)
六、集体量, S_T 和 S_E	(85)
七、剂量负担, $H_{c,T}$ 和 E_c	(86)
参考文献	(88)
第三章 放射性核素的放射化学	(89)
第一节 概述	(89)
一、基本概念	(89)
二、放射化学分离中常用的指标	(91)
第二节 放射性核素的特点与行为	(92)
一、放射性核素的特点	(92)
二、放射性核素在不同介质条件下的行为	(93)
第三节 放射化学分离方法	(95)
一、共沉淀法(coprecipitation method)	(95)
二、溶剂萃取法(solvent extraction method)	(97)
三、色谱法(chromatography)	(100)
第四节 放射性元素化学	(104)
一、铀化学	(104)
二、钍化学	(106)
三、镭化学	(107)
四、钋化学	(108)
五、氡化学	(109)
六、铯化学	(110)
七、锶化学	(110)

八、镉化学	(111)
九、碘化学	(112)
十、钷化学	(113)
参考文献	(114)
第四章 放射性核素在体内的生物转运	(115)
第一节 经膜转运和摄入模式	(115)
一、生物膜特点和经膜转运方式	(115)
二、摄入模式	(116)
第二节 生物动力学模型	(118)
一、隔室模型的概念	(118)
二、生物动力学模型	(119)
第三节 放射性核素的吸收	(120)
一、呼吸道吸收	(120)
二、胃肠道吸收	(124)
三、皮肤和伤口吸收	(126)
第四节 放射性核素的分布与滞留	(127)
一、放射性核素在血液内存在的形式	(127)
二、放射性核素的分布类型和规律	(127)
三、滞留模型	(129)
第五节 体内放射性核素的排除	(130)
一、排除途径	(130)
二、排除速率	(131)
三、排除规律	(132)
参考文献	(133)
第五章 放射生物学效应基础	(134)
第一节 辐射生物学效应的定义、分类和影响因素	(134)
一、定义及相关术语	(134)
二、辐射生物效应分类	(134)
三、影响电离辐射生物学效应的主要因素	(135)
第二节 辐射生物学作用的基本原理	(137)
一、电离辐射的时间进程	(137)
二、线密度和相对生物效能	(138)
三、自由基效应	(140)
四、氧效应与氧增强比	(142)
第三节 电离辐射对生物大分子效应	(143)
一、DNA 结构损伤	(144)
二、DNA 损伤及其对功能的影响	(145)

三、DNA 辐射损伤修复·····	(146)
四、DNA 复制过程及其参与酶和因子·····	(148)
第四节 辐射的细胞效应·····	(150)
一、哺乳动物细胞辐射敏感性·····	(150)
二、细胞的辐射损伤与修复·····	(154)
参考文献·····	(156)
第六章 电离辐射对染色体的作用·····	(157)
第一节 人类染色体·····	(157)
一、染色体的化学组成·····	(157)
二、人类中期细胞染色体的形态和结构·····	(158)
三、人类染色体的核型和命名·····	(159)
第二节 电离辐射诱发的染色体畸变·····	(161)
一、染色体结构畸变·····	(162)
二、染色体数量畸变·····	(165)
三、染色体畸变形成的分子机理·····	(165)
四、染色体畸变的生物学意义·····	(166)
第三节 辐射剂量与染色体畸变的量效关系·····	(167)
一、急性照射的剂量—效应关系·····	(167)
二、局部照射的剂量—效应关系·····	(172)
三、延时性照射或分隔照射·····	(172)
第四节 用作生物剂量的估算·····	(172)
一、生物剂量计·····	(173)
二、生物剂量测定·····	(173)
三、常见的几种生物剂量测定方法·····	(174)
参考文献·····	(178)
第七章 外照射确定性效应·····	(179)
第一节 急性放射病·····	(179)
一、病情分型·····	(179)
二、临床表现·····	(179)
三、诊断·····	(180)
四、救治·····	(181)
五、药物预防·····	(182)
第二节 放射性皮肤损伤·····	(182)
一、急性皮肤损伤·····	(182)
二、慢性放射性皮肤损伤·····	(184)
参考文献·····	(185)

第八章 内照射确定性效应	(186)
第一节 放射性核素的毒性、作用与损伤特点	(186)
一、一般概念	(186)
二、放射性核素的毒性	(186)
三、放射性核素的作用特点	(189)
四、内照射损伤的特点	(190)
第二节 内照射确定性效应	(191)
一、急性内照射放射病	(191)
二、主要靶器官损伤	(192)
三、物质代谢异常	(193)
四、免疫功能障碍	(194)
五、致畸效应	(194)
第三节 内照射放射病的诊断与处理	(194)
一、人体内污染的判断依据	(194)
二、内照射放射病的诊断标准	(196)
三、内照射放射病的医学处理原则	(197)
第四节 放射性核素内污染的医学处理	(197)
一、内污染处理原则与干预水平	(198)
二、减少放射性核素的吸收	(199)
三、加速排除	(200)
参考文献.....	(205)
第九章 辐射随机性效应	(206)
第一节 辐射致癌效应	(206)
一、放射性核素诱发癌症的特点	(206)
二、影响辐射致癌效应的因素	(207)
第二节 辐射危害的评估	(209)
一、评估的意义	(209)
二、评估的指标	(209)
三、评估的内容	(210)
第三节 辐射致癌效应的模型	(211)
一、剂量效应模型	(211)
二、时间响应模型	(212)
第四节 辐射致癌的危险系数	(214)
一、危险系数的估计	(214)
二、年龄和性别对辐射致癌危险系数的影响	(216)
三、辐射致癌的病因概率法	(217)
第五节 人类辐射致癌的流行病学研究	(219)
一、镭受照人群研究	(219)

二、原爆幸存者的研究	(220)
三、头癣放疗引起的危害	(221)
四、 ¹³¹ I 诱发的甲状腺癌	(223)
五、强直性脊椎炎	(224)
六、氡致肺癌的流行病学研究	(225)
七、辐射致癌总结	(230)
第六节 辐射遗传效应	(231)
一、基因突变	(231)
二、生殖细胞染色体畸变	(232)
三、辐射遗传危险系数	(233)
参考文献	(235)
第十章 电离辐射在临床医学中的应用	(236)
第一节 放射诊断	(236)
一、X 射线成像	(236)
二、计算机体层成像(CT)	(237)
三、数字减影血管造影	(238)
第二节 核医学	(239)
一、核医学的诊疗原理和特点	(239)
二、核医学的必备物质条件	(239)
三、放射性核素显像和非显像检查法	(241)
四、显像的方式和种类	(242)
五、放射性核素显像的特点	(244)
六、非显像检查法	(244)
第三节 肿瘤放射治疗	(245)
一、肿瘤放射治疗概述	(245)
二、肿瘤放射治疗的目的和适应证	(245)
三、肿瘤放射治疗的基本原则	(248)
四、提高肿瘤放射敏感性的措施	(249)
五、临床因素与肿瘤放射敏感性的关系	(253)
六、临床常用外照射治疗设备	(254)
七、放射治疗计划的设计和和实施	(262)
八、放射治疗的质量保证和质量控制	(263)
参考文献	(265)
第十一章 放射防护	(267)
第一节 放射防护目的与标准	(267)
一、放射防护的目的	(267)
二、放射防护应遵守的三项基本原则	(267)

三、人工照射类型	(268)
四、放射防护标准	(269)
第二节 外照射防护基本措施	(273)
一、工作场所区域划分	(274)
二、减少外照射剂量的三项措施	(274)
第三节 内照射防护基本措施	(276)
一、操作非密封源的辐射危险	(276)
二、放射性核素进入人体内的途径	(277)
三、操作非密封源时的综合防护措施	(277)
四、开放源操作的个人防护	(278)
五、对放射性实验室内设备的要求	(279)
六、非密封源易发生事故及防护对策	(280)
七、去除表面放射性污染物	(281)
第四节 医用电离辐射防护	(286)
一、医院的防护职责	(286)
二、医疗照射的正当性判断	(287)
三、医疗照射的防护最优化	(287)
四、医疗照射的指导水平(guidance level for medical exposure)与剂量约束 (does constraint)	(290)
五、事故性医疗照射的预防和调查	(296)
参考文献	(305)
第十二章 辐射环境监测与评价	(306)
第一节 环境辐射监测	(306)
一、概述	(306)
二、流出物监测	(310)
三、环境辐射就地监测技术	(313)
第二节 辐射环境影响评价方法	(318)
一、环境影响评价	(319)
二、辐射环境影响评价	(321)
参考文献	(324)
第十三章 放射性废物及安全管理	(325)
第一节 放射性废物分类与分级	(327)
一、放射性气载废物分级	(328)
二、放射性液体废物分级	(329)
三、放射性固体废物分级	(329)
第二节 放射性废物管理的总体目标和基本原则	(330)
一、放射性废物的特性	(330)

二、放射性废物管理的总体目标	(330)
三、放射性废物管理的基本原则	(330)
第三节 放射性废物预处理和处理	(331)
一、放射性废物预处理	(331)
二、放射性废物处理	(331)
三、产生放射性废物单位的责任	(335)
第四节 放射性废物贮存、运输和处置	(335)
一、放射性废物贮存	(336)
二、放射性废物运输	(336)
三、放射性废物处置	(337)
第五节 医用放射性废物管理	(339)
一、废物管理一般防护要求	(340)
二、液体废物的管理	(340)
三、固体废物的管理	(341)
四、气载废物的管理	(341)
五、实验动物尸体的管理	(341)
六、废物管理制度	(341)
参考文献	(342)
第十四章 放射工作安全与管理	(343)
第一节 放射工作人员的上岗条件及安全管理	(343)
一、放射工作人员上岗基本条件	(343)
二、放射工作人员的健康要求与管理	(343)
三、个人剂量监测与管理	(348)
四、放射工作人员的防护培训	(350)
五、医学放射工作人员放射防护培训规范	(350)
六、放射防护技术人员资格要求	(351)
第二节 放射性工作单位应具备的基本安全条件及管理措施	(353)
一、放射性工作单位应具备的基本条件	(353)
二、建立放射工作人员剂量档案	(354)
三、建立放射工作人员健康档案	(355)
四、过量照射和放射病的诊断管理	(356)
第三节 辐射安全与防护法规体系	(357)
一、我国辐射安全与防护法规的层次	(357)
二、我国辐射安全与防护法规体系各层次的制定、发布和实施形式	(358)
三、辐射安全与防护法规的实施与遵守的特性	(358)
四、辐射安全与防护法规对放射防护管理的意义	(359)
五、我国辐射安全与防护法规历史	(360)
六、我国发布的放射防护标准	(361)

第四节 核与辐射事故及事故应急·····	(363)
一、核与辐射事故的类型·····	(363)
二、核与辐射事故的基本特点·····	(368)
三、辐射事故分级·····	(372)
四、辐射事故的应急处理·····	(372)
五、辐射事故报告制度·····	(374)
六、辐射事故的预防·····	(375)
参考文献·····	(379)
第十五章 放射医学研究新进展·····	(380)
第一节 人类基因·····	(380)
一、基因的化学特性·····	(380)
二、基因的生物学特性·····	(381)
第二节 基因突变·····	(382)
一、基因突变的一般特性·····	(383)
二、基因突变的分子机制·····	(383)
三、基因 DNA 分子损伤的修复·····	(384)
第三节 电离辐射诱发的基因突变·····	(385)
一、基因组不稳定性·····	(385)
二、旁效应·····	(386)
第四节 低剂量辐射效应的研究·····	(387)
一、低剂量辐射效应研究的背景·····	(387)
二、小剂量、低剂量率照射的确定·····	(387)
三、低剂量辐射的兴奋效应·····	(388)
四、低剂量辐射的适应性反应·····	(389)
五、小剂量辐射效应的研究意义·····	(390)
第五节 辐射诱导的细胞凋亡·····	(391)
一、细胞凋亡的特征·····	(391)
二、连接 DNA 损伤与细胞周期阻滞、细胞凋亡的信号·····	(392)
三、细胞凋亡的信号转导途径·····	(392)
四、DNA 损伤诱导细胞凋亡的敏感性和抗性·····	(396)
参考文献·····	(396)
索引·····	(398)
一、英文索引·····	(398)
二、中文索引·····	(403)

第一章 电离辐射的基本概念

第一节 辐射的种类

辐射(radiation)是以波动形式或运动粒子形式向周围空间或物质传播的能量,如声辐射、热辐射、电磁辐射、核辐射(包括射线与粒子辐射)等,由辐射体发射的辐射同时由另外的物体所接受。这是广义的辐射概念,而通常所说的辐射指的是与人体健康关系相对比较密切的电磁辐射和粒子辐射。

电磁辐射和粒子辐射的运动形式不同。电磁辐射是空间或物体中传播的电磁波,它以光速传播,能量与其频率或波长有关;粒子辐射则是高速运动的电子、质子、中子、 α 与其他粒子。辐射粒子可以来自放射性核素的衰变,也可能来自加速器加速的带电粒子, γ 射线来自放射性核素的衰变,X射线一般通过高速电子轰击靶体而产生。

辐射寓利害于一体,辐射在工农业生产和人类生活的方方面面有着广泛的应用,同时也产生各种不同程度的危害,如何趋利避害是辐射应用及其研究所关注的主要问题。

一、辐射分类

平常所说的“辐射”仅指高能电磁辐射和粒子辐射,并不包括无线电波和射频波等低能电磁辐射,也不包括声辐射和热辐射。这种狭义的辐射也称为粒子或射线。依照不同的分类原则,辐射可以分为不同的类型。

按照其来源,辐射可以分为核辐射、原子辐射、宇宙辐射等,又可分为天然辐射、人工辐射等。

按照其荷电情况和粒子性质,辐射(射线)又可分为带电粒子辐射,如 α , p , D , T , π^{\pm} , μ^{\pm} , e^{\pm} 等;中性粒子,如 n , ν , π^0 等;电磁辐射,如 γ 射线和X射线等。

按照辐射能量大小,即依据能否使介质原子(atom)发生电离,辐射又分为电离辐射(ionizing radiation)与非电离辐射(non-ionizing radiation)。电离(ionization)是指原子的电子脱离原子的束缚成为自由电子的现象,即将电子从原子或分子剥离的过程。原子的电离能一般只有几个电子伏(eV),而一般的粒子辐射、X射线和 γ 射线的能量都能够使原子发生电离,它们都是电离辐射。实际应用中,电离辐射专指高能电磁辐射(X射线和 γ 射线)和粒子辐射,即所谓的核辐射;而电磁辐射(electromagnetic radiation)专指工频电磁辐射、无线电波和射频波等低能电磁辐射,不包含X/ γ 射线。非电离辐射仅指不能引起电离的低能电磁辐射,平常电磁辐射与非电离辐射两个概念是等价的。

二、电离辐射源

电离辐射源(ionizing radiation source)根据不同的来源常分为两大类。一类是天然辐射源(natural radiation source),源自茫茫宇宙空间和地球地壳物质中;另一类是人工辐射源(artificial radiation source),源自人类与辐射相关的活动、实践或辐射事件。天然辐射源对地

球上人类的辐射照射,称为天然本底照射。人工辐射源产生的电离辐射线对人员产生的辐射照射称人工照射。

1) 天然辐射

人类生活在天然辐射环境之中。天然放射性有两种来源,一种是来自外层空间的宇宙射线,即高能粒子或射线;另一种则是天然放射性,即天然存在于自然界普通物质(如空气、水、泥土、岩石、食物等)中的放射性。

地壳是天然放射性核素的重要贮存库,尤其是原生放射性核素。天然放射性核素品种很多,性质与状态也各不相同,它们在环境中的分布十分广泛。在岩石、土壤、空气、水、动植物、建筑材料、食品甚至人体内都有天然放射性核素的踪迹。地壳是天然放射性核素的重要贮存库,尤其是原生放射性核素。地壳中的放射性物质主要为铀、钍系和 ^{40}K 。其中,空气中的天然放射性核素主要有地表释入大气中的 ^{222}Rn 及其子体核素,动植物食品中的天然放射性核素大多数是 ^{40}K 。

土壤主要由岩石的淋漓侵蚀和风化作用而产生的,原来岩石中的放射性核素自然转移到土壤之中。由于岩石的种类很多,受到自然条件的作用程度也不尽一致,土壤中天然放射性核素的浓度变化范围很大。土壤的地理位置、地质来源、水文条件、气候以及农业历史等都是影响土壤中天然放射性核素含量的重要因素。因此,环境的放射性本底不尽相同。存在于岩石和土壤中的放射性物质,由于地下水的浸滤作用而受损失,地下水中的天然放射性核素主要来源于此途径。此外,黏附于地表颗粒土壤上的放射性核素,在风力的作用下,可转变成尘埃或气溶胶,进而转入到大气圈并进一步迁移到植物或动物体内。通过食物链的传递以及呼吸与饮食,体内也蓄积了一定量的放射性核素,可以说人体本身也是一个放射源。人体的放射性水平随体重与年龄增加而增加,成年人体内的放射性活度一般在5 000 Bq左右。

宇宙射线(cosmic ray)是一种从外层空间射到地球上的高能粒子流,主要有高能质子、电子、 γ 射线与其他粒子。宇宙射线尽管能量很高,但基本被稠密的大气层阻挡,对人体的直接伤害较小。

天然的本底辐射(background radiation)无法避免,人类在漫长的进化过程中,就生活在天然放射性环境之中。但是高本底辐射环境将对人体健康造成损害。

2) 人工辐射

随着科学技术与经济的不断发展,核能与核技术应用越来越广泛,放射性同位素的使用与核技术的应用已经遍及到国民经济各个部门和人民生活。核电站、核动力装置、辐照加工、地质勘探、医学诊断与治疗、生产工艺检验、烟雾报警、射线工业探伤等在不同生产领域与日常生活中扮演重要角色。核技术带给人类巨大利益,但同时也伴随着放射性废物日益增多,以及给放射性工作人员和公众带来越来越大的潜在危害。

核辐射带给人类巨大利益,同时又存在明显或潜在的危险,会对人类及环境造成危害甚至灾难。在对核辐射积极利用的同时,必须采取最优化的辐射防护措施。

人类活动所产生的人工辐射的主要来源有核试验、核设施、核技术应用、核燃料循环与建筑业等。放射性污染主要指人工辐射源造成的污染,如核武器试验时产生的放射性物质,生产和使用放射性物质的企业排出的核废料。另外,医用、工业用、科学部门用的X射线源及放射性物质镭、钴、铯、发光涂料等,会产生一定的放射性污染。

核武器试验有大气层试验、水下试验、外层空间试验、地面及地下核试验等多种形式。核

试验产生的放射性物质造成大气放射性污染、大面积或全球地表污染、地下水水质污染。

核设施在设计时已设想“最大可能事故”的发生,并据此作出事先的应急计划,以防发生不测时应急对策,减少污染。1979年美国三里岛核电站因失水造成反应堆堆芯部分融化,少量放射性碘、氙、氡排入空气环境。由于厂房通风系统装有过滤器,排出的量很小,事故未对周围环境造成危害。1986年乌克兰的切尔诺贝利核电站第4号机组事故是核电站史上最大的事故。事故造成反应堆毁坏和大量放射性物质释放入大气。事故发生后,撤离了核电站周围30公里地带内的居民。需要指出的是国内核电厂所采用的反应堆堆型不同于切尔诺贝利核电站反应堆,安全有保障。

核燃料工业产生污染源,在核燃料循环中,从铀矿开采、冶炼直到燃料元件制造,都产生放射性“三废”,主要放射性核素为镭与钍。

核技术应用单位产生的放射性污染物通常有:各种污染材料如纸、棉织物、金属、塑料和劳保用品;各种污染工具设备;低放废液的固化物;试验用动物尸体或试剂;废放射源;含放射性核素的有机溶液。

此外,建筑材料也不同程度地具有放射性,室内空气也含有微量氡,国家对建筑材料的放射性及居室的氡浓度制定了国家标准。

第二节 电磁辐射

一、电磁波

电磁波(electromagnetic wave)是电磁场(electromagnetic field)的一种运动形态。变化的电场和变化的磁场构成了电磁不可分离的统一的电磁场,而变化的电磁场在空间的传播形成了电磁波,电磁波因此也称为电波。1864年,英国科学家麦克斯韦建立了完整的电磁波理论。电磁波以光速传播,光是电磁波,在电磁波谱中仅占很窄的波段。1887年德国物理学家赫兹用实验证实了电磁波的存在。电磁波频谱很宽,按照波长或频率可以分为不同的频段。频率由低到高依次排列,电磁波划分为工频、无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X射线及 γ 射线(见图1-1)。不同频段电磁波在介质中传播时的作用方式见表1-1。核X射线及 γ 射线的实质就是电磁波,但是其能量较大,能够引起原子分子电离,一般将它们归类于电离辐射,而通常所指的电磁辐射一般不再包括它们。

随着工业文明的发展,在过去的一百年中,电磁辐射已经渗入到了人类生活的方方面面,现代社会对电磁辐射的利用或依赖达到了极致。电磁辐射给人们的生产工作带来了无限的便利,使生活变得丰富多彩,人类从电磁辐射的利用中获得了无穷的益处。然而,利害总是相随相伴,电磁辐射也不例外。在尽情利用和享受电磁辐射利益的时候,还应充分重视它的健康危害,采取必要的与合理的防护措施,使电磁辐射的危害达到国家标准许可的范围并尽可能降低到最低。电磁辐射还有其他的负面效应,如造成导航系统、信息传输系统失控等。

过去一百年中,环境电磁辐射的水平急剧增加约一百倍,在一些频段,来源于人造源的电磁辐射超过了自然场的好几个数量级。环境电磁辐射水平的显著增加是由于高压输电线、海底电缆、雷达、电讯广播发射机和运输系统遍布与使用所致。