

## 辐射剂量学概论(三)

郭 勇

中图分类号: R144.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2005)03-0240-02

### 3 辐射剂量学当前研究的主要问题

3.1 辐射剂量学当前主要活动的领域 很难明确地划分现代辐射剂量学的领域, 它不断地随着电离辐射应用范围的开拓而发展, 但有几个领域是较为成熟或较为广泛应用的, 例如“量和单位”、“电离辐射剂量学基、标准”, “活度的基、标准”以及各主要应用电离辐射领域内的辐射剂量学如“辐射防护剂量学”、“放疗剂量学”, “环境辐射剂量学”、“辐照剂量学”以及“考古剂量学”等等。从电离辐射的类别划分, 则有“X、 $\gamma$  光子剂量学”、“电子及 $\beta$  射线剂量学”, “中子剂量学”、“重粒子剂量学”和“宇宙射线剂量学”等等。不论如何划分, 各分支领域都包含有相应的测量和测量结果的解释问题, 在辐射防护中统一称之为监测, 即测量和对测量的评价。在以上诸多的领域中, 最为活跃的是辐射防护剂量学, 当然这也是在任何电离辐射的应用中, 人们十分关心辐射对人的伤害的缘故, 因而对其量度就成为较受重视的课题。但在各种电离辐射的测量中, 以放射治疗剂量学要求最为精细和严格, 这是因为它直接关系到肿瘤治疗效果及其副作用——电离辐射对正常组织的伤害。

3.2 量和单位 现在通用的电离辐射量和单位是 ICRU 1980 年修定的, 已使用国际计量单位制, 在我国也纳入法定计量单

位体系, 那些非法定的常见计量单位, 如伦琴(R)、拉德(rad)、居里(Ci)在我国已废除。做为量的定义, ICRU 正在研究做必要的修定。而 ICRP 单方对放射防护的量做了较大的改动, 这已引起很大的反响, 如果当量剂量和有效剂量体系取代剂量当量和有效剂量当量体系被广泛确认和接受的话, 防护实用量也要相应的更名并给出与新的体系对应的换算系数。

量和单位的研究主要集中于量的定义和概念以及各量间的关系, 辐射防护的量更是这样。首先是要定义出合理而且严密的基本量, 而这些量不同于一般物理量之处是它们多为不可测“量”, 因此还必须定义一批实际应用中的可测“量”。这就必然出现了两个系统的量, 理论上是要以不可测“量”为准绳, 以可测的实用量来表达它。为此就还需要建立各种可测“量”在各种条件下(如能量、角度、几何条件等)与基本量之间的关系, 即两类系统量之间换算系数或换算因子。由于实用量毕竟只是近似的代表基本量, 因而还须研究并评价它们的适用范围。此外还包括以实用量刻度仪表时的有关要求 and 响应以及刻度方法。

3.3 辐射剂量学国家基、标准 多年来都是以自由空气电离室和空腔电离室方法复现几十 keV 至  $\sim 2$  MeV 光子的照射量, 以量热法、电离法、化学法测量吸收剂量。国际计量局在中能范围(60~250 keV)的自由空气电离室基准方法的准确度已达

作者单位: 军事医学科学院放射医学研究所, 北京 100850  
作者简介: 郭勇, 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 辐射剂量学。

表 1 不同材料屏蔽墙作业场所及周围环境辐射水平( $\mu\text{Cy}/\text{h}$ )

墙体材料	探伤单位	主防护门			副防护门		
		副防护墙	表面	中缝	边缝	表面	边缝
混凝土石 <sup>1)</sup>	5	< 0.03	0.5	0.8	4.0	0.3	1.0
混凝土	25	< 0.03	0.8	0.7	4.8	0.5	0.8
普通砖墙	18	0.05	0.9	0.6	6.9	0.4	0.9

注: 1) 含重晶石。

48 家固定探伤室, 有 30 家的主、副防护门按规定设置放射标志、指示灯、门机联锁装置和良好的通风设施, 有 18 家未安装门机联锁装置。2 家现场探伤单位能严格遵循 X 射线现场作业的要求, 在作业场所实行三警(警绳、警灯、警铃), 电缆线在 20m 以上, 严格界定控制区(空气比释动能率大于  $40\mu\text{Cy}/\text{h}$ )和管理区(空气比释动能率大于  $4\mu\text{Cy}/\text{h}$ ), 严禁公众入内。操作位平均空气比释动能率  $5.6\mu\text{Cy}/\text{h}$ , 均在正常范围内。

### 3 讨论

本此调查发现的主要问题是主防护门门边缝隙的空气比释动能率大大高于其他检测点, 并高于公众的允许范围。为此, 在建造时应特别注意主防护门的防护, 尽量减少门与墙之间的缝隙(控制在 1.5 cm 以内); 要增加门与墙之间的重叠面

(每边的重叠面应不小于 30 cm)。

在调查中还发现, 个别单位误认为防护墙越厚越好, 建造的防护墙过厚, 造成不必要的浪费。甚至医用 X 射线应用中, 有的单位为了加强防护效果, 在本来已达到防护效果的基础上, 又在机房内四周墙壁及顶棚挂铅皮。铅皮不仅价格昂贵, 而且在诊断 X 射线能量范围内铅的反射系数比砖和水泥高的多。这样不但在经济上造成巨大的浪费, 也增加了机房内工作人员和被检者的受照剂量。根据国家放射防护有关规定: 对新建、改建、扩建的射线装置机房必须遵循三同时(同时设计审批、同时施工、同时竣工验收)的原则, 设计时应根据射线机的额定输出量、工作量和机房的面积等参数科学地确定有效的屏蔽厚度, 以避免防护的先天不足和过度防护。

为保障放射工作人员和公众的健康与安全, 要完善防护措施。工业探伤室要配备门机联锁装置以免误照; 要配备良好地通风装置; 对放射工作人员要定期进行培训, 增强放射卫生防护意识及法制观念; 定期对放射工作人员进行个人剂量检测和健康体检, 以确保他们的安全与健康。

### 参考文献:

- [1] GB18871-2002, 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S].
- [2] GBZ117-2002, 工业 X 射线探伤卫生防护标准[S].

(收稿日期: 2005-03-31)

到 0.3% ~ 0.4%，九个国家标准的比对在  $\pm 0.5\%$  内符合。测量  $^{137}\text{Cs}$  及  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线的石墨空腔电离室的基准方法的准确度达  $\pm 0.7\%$ ， $^{60}\text{Co}$  的照射量国际比对在  $\pm 1\%$  内一致。以硫酸亚铁化学剂量计为标准，用量热计校准，测水中吸收剂量的不确定度为 1.5%。几个国家用石墨量热法测量放疗剂量水平的吸收剂量比对，在 0.5% 内一致，美国量热计基准的不确定度为 0.6%。我国中能 X 射线照射量基准的不确定度为 0.4%，石墨空腔电离室基准为 1.5%。硫酸亚铁剂量计测窄束  $\gamma$  射线的吸收剂量为 3%。以上所述主要是指中能、放疗剂量水平的基、标准。低于几 keV 和高于 2 MeV 光子的基、标准测量，前者尚有低能自由空气电离室测照射量，后者只有吸收剂量的测量方法（高能条件下难于按定义复现出准确的照射量）。剂量水平不同也使基、标准测量的不确定度发生明显的差别，例如目前尚无环境水平的基、标准测量装置，而防护水平多以大体积电离室做为标准仪器，但比放疗水平的不确定度要大得多。

剂量学中需要基、标准测量的尚有  $\beta$  射线和中子剂量， $\beta$  剂量已建有外推电离室方法，不确定度约在 5% ~ 10%。中子剂量（主要为快中子剂量）多以双电离室（或双探测器）方法，国际上已做过多次比对，但目前尚未达到可做为基、标准的水平。除中子剂量外，在中子注量率、中子发射率（中子源强度）等早已有标准建立，如国际计量局用锰浴法测中子源强度的不确定度为 3%，用伴随粒子法测量  $^2\text{H}(\text{d}, \text{n})^3\text{He}$  反应产生的 2.5 MeV 中子发射率，不确定度为 2%。

放射性活度的绝对测量较剂量标准要活跃得多，如  $4\pi\beta\sim\gamma$  符合法的准确度已接近千分之一。目前能提供的标准放射性物质也是衡量放射性活度计量水平的依据，上世纪 80 年代已有十几个国家能提供上百种放射性标准溶液，其中  $^{22}\text{Na}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{198}\text{Au}$  三种标准溶液的准确度已达  $\pm 0.5\%$ 。常用的核素约有 200 种，还有一半多尚无标准溶液。当前以  $4\pi\beta(\text{PC})\sim\gamma$  符合法能测的放射性核素种类最多，准确度水平为  $\pm(0.1\sim 2)\%$ 。

放射性的衰变是永不停顿的，因此没有经久恒定的标准源，辐射装置如 X 射线设备与加速器等的使用寿命都是有限的且稳定性和复现性受多种条件影响，因此也难于建立可保持恒定的标准辐射场。根据上列原因，电离辐射剂（计）量的基、标准是计量科学中难度较大，不确定度也较高的，因此各国间频繁地进行有关计量的国际比对，以图维持和改进提高准确程度。

**3.4 放疗剂量学** 据国内外统计，60% ~ 75% 的恶性肿瘤病人要接受放疗，放疗目的有二，一是使病人得到长期根治，其二是如达不到第一个目的，则应达到姑息治疗效果。欲达上述两个目的，对放疗的剂量准确度必须保证。已有证据表明，在靶区体积内剂量相差 7% ~ 10%，就可以明显改变肿瘤的局部控制率，而且在这样的剂量变化范围，若影响到敏感器官，则可改变放疗产生的合并症的发生率及严重程度。有些病人，若施与剂量不当，肿瘤虽有些控制，但正常的重要组织受损严重，不得不停止治疗或发生了严重的并发症。因此，近年在放疗剂量中，一般对靶区的剂量误差应不超过 5%，为此，模体中剂量的

准确度应在 2% ~ 2.5% 以内。

放疗中影响剂量准确的环节很多，主要有：①病人解剖学方面，②靶区范围的确定，③治疗计划设计，④基本剂量数据。

笔者仅从辐射场到模体内剂量学的要求为例，了解当代放疗剂量学状态。在中能 X 射线治疗时代（20 世纪 50 年代），就建立了由辐射场参数（当时多为空气中测量数值）换算为体内吸收剂量的方法（如百分深度量表）。其后随着放疗设备的改进，由 X 射线机发展到  $^{60}\text{Co}$  放疗机以至今日大量使用的加速器，这时提出了用模体测定水中吸收剂量方法，并由 ICRU 等机构推荐了适用的有关参数（如  $C_A$ 、 $C_E$ 、 $F$  等，见 ICRU-23.24）。到 20 世纪 80 年代前后由于放疗剂量学的进展，出现了修订有关规范的动向（德国 1980 DIN 6800, 6809；北欧 NACP 1.980 年规范——Acta Radiol. Oncol 19, 55, 1980 及 20, 6, 1981；NCRP 报告 69, 1981；HPA——Phys. Med. Biol 28, 1097, 1983；美国 AAPM—Med. Phys. 10, 741, 1983；以及 IAEA TRS No. 277, 1987 等）。上述各权威机构在 20 世纪 80 年代中发布的有关规程，都对过去的规程有所改进，但途径、程序、参数和要求各不相同，在  $^{60}\text{Co}$  条件下相差不大（一般在千分之几），但在高能条件有的相差可达 2%，而中能 X 射线 IAEA（国际原子能机构）与过去 ICRU 相比可相差 10% 以上。ICRU 已对此进行了多年的考虑，看来目前尚难于统一。因而新的 ICRU 报告尚未提出。

IAEA 和 WHO（世界卫生组织）为了提高放疗剂量的准确程度，还组织了到目前有 51 个国家 71 个实验室参加的“次级标准实验室”网，并不断组织比对。

**3.5 其他电离辐射有关领域中的剂量学** 如前述，当前较为活跃的当属辐射防护剂量学，在此领域内，除关注有关量和单位的研究外，在各种监测中有很大的发展。仅 ICRP 的近期活动中就含有几项大的工作，如新参考人，与 ICRU 再组联合工作组，为外照射防护提供有关参数，修订有关外照射防护量之间的参数（ICRP 51 号出版物的修定），内照射限值的修定（ICRP 30 号出版物的修定），并成立了新工作组以研究推导矿井中工作人员受氡照射，潜在的医疗照射等专题。在辐射防护剂量学领域还十分关心各种自然环境本底值，人类活动增高了的天然本底的调查和提供了大量的数据，核工业，核电站、医疗等领域对职业人员和广大公众的照射等等。

在各有关领域中（特别是辐射防护领域）测量仪器和方法发展较快，随着微电子学和微型探测器技术的发展，一代代新的小巧、耐用、灵敏、多功能化，获取复杂信息的仪器仪表得到应用，使得除照射量、吸收剂量、剂量当量等之外的辐射能谱、传能线密度及品质因子等参数可直接测定出来。如有人建议利用辐射在 MOS 动态随机存储器部分产生的假计数测定荷电粒子，由于这种探测器的几何尺寸接近生物细胞的大小（直径仅为几  $\mu\text{m}$ ，厚约  $1\mu\text{m}$ ），这样就有可能开展固体微剂量学工作。研究结果表明，这种探测器的灵敏度随其尺寸的减小而增大，因此用 MOS 元件进行个人剂量测定是可能的。由于各个专业的特点不一，无从统一概述，笔者就不再举例介绍了。