

文章编号: 1001-098X(2005)04-0171-06

·放射医学·

医学工作者的职业照射: 剂量水平、辐射危害和个人剂量监测

白光

摘要 辐射的医学应用是核能应用中最为活跃的领域,特别是近20年来介入放射学突飞猛进的发展,医学工作者是职业受照群体中增长最快的,也是最大的受照群体。由于辐射防护管理和培训的滞后,辐射防护意识和装备满足不了迅猛发展的需要,医学工作者(特别是介入放射学工作者)的职业性受照剂量较高,因此医学工作者是职业受照群体中最应受到关注的群体。为此,告诫职业受照的医学工作者,在用辐射技术造福于病人的同时,要关注自己的安全和健康,加强防护,接受完整的个人剂量监测。

关键词 职业照射; 辐射剂量; 辐射监测

中图分类号 R144 **文献标识码** A

Professional exposure of medical workers: Radiation level, radiation risk and personal dose monitoring

BAI Guang

(Sumstar Group Corporation Beijing 100032, China)

Abstract The application of radiation in the field of medicine is the most active area. Due to the rapid and strong development of intervention radiology at present near 20 years, particularly, the medical workers become a popularize group which most rapid increasing and also receiving the must high of professional exposure dose. Because, inter alias, radiation protection management nag training have not fully follow up, the aware of radioactive protection and appropriate approach have tot fully meet the development and need, the professional exposure dose received by medical workers, especially those being engaged in intervention radiology, are more higher, as well as have not yet fully receiving the complete personal dose monitoring, the medical workers become the population group which should be paid the most attention to. The writer would advice in this paper that all medical workers who being received a professional radiation exposure should pay more attention to the safety and healthy they by is strengthening radiation protection and receiving complete personal dose monitoring.

Key Words professional radiation exposure; radiation dose; radiation monitoring

20世纪初,辐射与医学的结合诞生了三个姊妹学科:放射学,核医学和放射医学。随着辐射和放射性核素在医学领域中应用的发展,又衍生出一些新的分支或新的学科。特别是近年来 γ 刀、CT和PET的应用,以及近20~30年间介入放射学(interventional radiology)突飞猛进的发展,把大部分临床科室(如心脏科、泌尿科、消化科、骨科、血管外科、麻醉科、创伤科及儿科等)的医师都拉入了“介入医师”的行列,大大扩展了接受职业照射的医学工作者的队伍。这些发展和进步,在造福于人类的同时,也为医学职业照射工作者带来了更高的

辐射危害风险,特别是那些还未纳入职业照射管理的、新近加入到介入医师队伍的人们。

本文的目的是站在放射医学工作者的角度,与放射学、核医学和介入放射学工作者一道,简要地回顾医学工作者的职业照射水平,讨论可能受到的辐射危害和接受个人剂量监测的重要性,以加强防护,保护健康。

1 医学工作者是职业受照群体中最应关注的职业群体

从辐射危害和辐射防护的角度,医学工作者是职业受照群体中最应受到关注的受照群体。其主要

基于下述四点:

首先,医学工作者是职业受照群体中最大的受照群体,而且人数的增长也是最快的。就全球来看,1975~1979年全球医学工作者受监测人数为 1280×10^3 人,1990~1994年间受监测的医学工作者增加到 2320×10^3 人,15年期间几乎增长了一倍,超过其他任何职业受照群体的增长速度^[1]。我国医学职业照射工作者占职业受照监测人数也大于60%^[2],也是最大的职业受照群体。

其次,医学职业照射工作者的受照剂量也是偏高的。从表1可见,尽管医学工作者的受照剂量屈居于核燃料循环和辐射的工业应用之下,但对医学工作者职业受照水平的估计,特别是我国的情况,应注意到:相当一部分受照剂量较高的人员如介入放射学工作者,尚未纳入放射性工作人员管理,未接受个人剂量监测。西班牙的情况就是一个例证:1989年西班牙的个人剂量数据显示,受照剂量超过20mSv的医学工作者人数(主要是介入放射学工作者)高于核燃料循环的人数^[1]。

表1 全球职业受照情况,1990~1995

行业	年监测人数($\times 10^3$)	年平均有效剂量(mSv)	平均年集体有效剂量(人·Sv)
核燃料循环	800	1.75	1400
辐射的工业应用	700	0.51	360
辐射的医学应用	2320	0.33	760
辐射的其他应用	360	0.11	40
国防活动	420	0.24	100

从另一方面看,我国医学工作者的职业照射显著高于全球平均水平^[2],见表2。

表2 我国医学工作者的职业照射与全球均值的比较

职业类型	国家	年监测人数($\times 10^3$)	年平均有效剂量(mSv)	平均年集体有效剂量(人·Sv)
X线诊断	中国	30.3	1.52	122.4
	全球	190	0.50	470
核医学	中国	2.19	1.12	4.72
	全球	23	0.79	90
放射治疗	中国	2.15	1.01	4.05
	全球	24	0.55	65

第三,医学工作者的受照是对人类的集体剂量贡献最大的受照群体。医学工作者的受照是与病人的受照同时发生的,并以病人更高剂量的受照为前提的,即医学工作者职业受照剂量的意义不限于医

学工作者受照本身,不同于其他职业群体。再者,辐射的医学应用使其职业受照者以高于其他职业群体的速度增长着,这就意味着,有更多的人可能受到更高剂量的照射。

第四,医疗目的照射的正当性判断决定于医师对辐射应用利益-代价的理解,医学工作者与病人同时受照的场景又为采取辐射防护措施带来了特殊要求。更值得注意的是,医务工作者往往只注重病人诊断和治疗的需要,而忽视过量辐射可能为本人和病人带来的危害。

上述诸点告诫职业照射管理机构:关注医学工作者的受照群体的管理、防护和培训;也提醒接受职业照射的医学工作者:应关注自身的健康和病人的防护。

2 电离辐射对人体是有危害的

X射线发现后一个月,人们就认识到辐射对人体的危害作用。上个世纪的30~50年代,放射学工作者的损伤和因为辐射的不恰当的医学应用为病人所造成的损伤,构成这段时间辐射损伤的主体^[3]。

辐射对人体的损伤效应较好地遵循着“剂量-效应关系”的准则:即辐射效应的发生与否或发生概率高低与人体受照剂量密切相关^[4](见图1)。

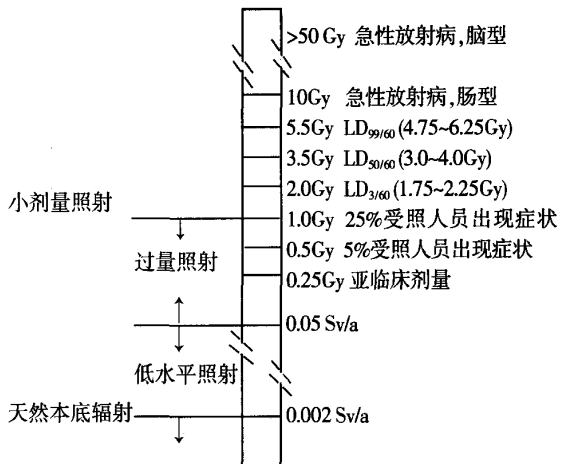


图1 不同剂量 γ 射线外照射所致人体辐射效应

按剂量-效应关系,将辐射效应分为两类,一是确定性效应(deterministic effect),也称为有阈值的辐射效应。即辐射照射达到一定的剂量水平才产生辐射效应,辐射效应的严重程度与受照剂量的大小相关,如辐射诱发的放射性白内障、放射性皮炎

和放射病等。二是随机性效应 (stochastic effect), 也称无阈值的辐射效应。即任何微小的照射都可能产生辐射效应, 辐射效应的发生概率与受照剂量相关, 如辐射诱发的恶性肿瘤、辐射的遗传效应^[5]。

辐射防护(或称保健物理)学科的目标是杜绝确定性效应的发生和将随机性效应的发生概率限制到最低值。

从放射性疾病体系的程序上看, 辐射危害主要有:

(1) 急性放射病主要发生在辐射事故的情况下, 自 1945 年至 1999 年的 54 年间, 世界范围发生 136 起人体过量受照事故。急性放射病病人 >200 例, 死亡 106 人。我国自 1988 年至 1998 年 11 年间发生 332 起辐射事故, 造成 14 例急性放射病, 5 例死亡^[9]。

(2) 慢性放射病主要发生在 20 世纪的 40~60 年代。1990 年前苏联原子动力和工业部第一副部长 Никипелов 等人首次披露, 在 20 世纪 40~50 年代前苏联核工业工作人员受到了年剂量 >1Gy 的人员高达 50%, 2~4 年的累积剂量就超过 2Gy, 仅 50 年代就发生了近 2 000 例的慢性放射病, 导致慢性放射病的年剂量为 (127.6 ± 10.2) cSv, 累积剂量为 (265.8 ± 13.0) cSv^[7]。

数十年来, 前苏联学者只告诉人们有多例慢性放射病发生, 又说他们严格地执行了辐射防护标准, 就这样把我国 20 世纪 60 年代刚刚起步的放射医学引入了歧途: 使中国的放射医学工作者用大量的精力寻找和研究慢性放射病。

(3) 对于那些放射性核素开放性操作的人员, 则要注意放射性皮肤损伤和放射性核素的体内污染。2Gy 可致皮肤红斑, 4~6Gy 可致放射性皮肤烧伤。在国内“货真价实”的放射性疾病案例报告中, 可能放射性皮肤烧伤名列第一, 其中有核工业系统的, 有来自加速器应用的, 也有来自放射性核素医学研究的。放射性核素的外污染和未弄清楚源项就徒手操作是从事放射性核素开放性操作的人们应该严格杜绝的。

(4) 眼晶体是对辐射的敏感器官, 头部的高剂量照射易导致放射性白内障。2Gy, 或在 3 个月内受照 4Gy, 或在 >3 个月的时间受照剂量达 5.5Gy, 可致放射性白内障。已有使用床上血管介入设备, 因高剂量散射线导致医学工作者放射性白内障的案例报告。

(5) 人类的辐射流行病学已经证实, 辐射致癌作用是低剂量照射下的主要辐射随机效应。对辐射致癌的剂量-效应关系, 人们仍基本遵循“线性无阈假说”: 即任何微小的照射都有可能诱发癌症, 受照剂量的增加将提高癌症的发生概率。自 20 世纪 80 年代初, 人们开始用“病因概率表”(即 PC 表)的办法, 对怀疑辐射致癌的病例做病因概率计算。我国放射性疾病标准委员会也编制了国家标准 (GB16386-1996, GBZ97-2002)“放射性肿瘤判断标准及处理原则”^[10], 给出白血病、肺癌等 5 种肿瘤的辐射病因概率判断标准。依据这个标准, 即可对放射性工作人员中发生的恶性肿瘤源自辐射的病因做出判断, 并具有法律效力。但要提醒大家, 你若担心辐射致癌的话, 一定要有长期系统的个人剂量监测数据, 靠估算值计算病因概率值(PC 值)是没有法律效力的。不要觉得每个季度个人剂量计显示那么小的个人剂量值, 佩戴个人剂量计就没什么用处了, 若累积到足够辐射致癌的潜伏期(20 年)那么长时间的话, 数据就非常有价值了。

3 放射性工作人员必须做完整的个人剂量监测

佩戴个人剂量计是国家规定的对放射性工作人员法定的个人剂量监测手段。个人剂量数据终生存档, 既作为评价辐射防护效能的重要参数, 也作为估价放射性工作人员是否受到辐射危害的依据, 更是反映国家核能发展水平的基础数据。

这里所说“完整的个人剂量监测”有两层含意: 一是从事辐射职业的人员自始至终都要接受个人剂量监测, 即指时间长度而言; 二是指各种方式接触的各种射线(外照射和 内照射、X 射线、 γ 射线、各种能谱的中子等)和人体的主要受照部位(全身的、颈项部、肢端)都要进行监测, 并将准确的个人剂量监测数据记入自己的个人剂量监测档案。从某种意义上说, 个人剂量监测数据存档比健康体检在放射性工作人员自我保护中占有更重要的地位^[9]。

我国最近发布的国家标准 (GB 18871-2002): “电离辐射防护与辐射源安全基本标准”^[10], 等效采用了六个国际组织 1996 年发布的“国际电离辐射防护与辐射源安全基本标准”^[11]。在“职业照射的剂量控制”项下明确规定: 如果可能, 对所有受到职业照射的人员均应进行个人监测。国家“职业病防治法”^[12]的规定更言简意赅: 保证接触放射线的工作

人员佩戴个人剂量计。

上述法规、标准和规定要表述的中心思想是一句话：职业受照人员应该接受个人剂量监测。

对个人剂量监测法制要求更严格、法制力度更到位的当属我国的香港特别行政区。香港特别行政区“辐射条例”^[13]中除明确规定经营业主有义务为员工购买个人剂量监测服务用和放射性工作人员必须在工作中佩戴个人剂量计外，尚规定：

“(a) 任何受影响的经营或受影响的经营业主，如不遵从本条例的任何条文，即属犯罪，可处罚款 15 000 元。

(b) 任何人被如此指示时，不佩戴其所受雇的任何受影响的经营或受影响的工业经营的雇主指示佩戴的适当的工作人员辐射器具，即属犯罪，一经定罪，可处罚款 3 000 元。”

但香港业主和雇员若执行“辐射条例”规定，接受个人剂量监测服务商提供的个人剂量监测服务的话，每人一年仅交几百元的监测服务费。

可见，是否佩戴个人剂量计，对经营业主来说，是在合法经营和沦为罪犯之间做决定；对放射性工作人员来说，是在安全和罚款之间做选择。在这种情况下作决定和选择显然是轻而易举的。所以，香港特别行政区的“辐射条例”得以较好的执行。因此可以说，有要求又有约束、宽严适度的法律规章，是将人们行为导向正确的基本准绳。

个人剂量监测的目的是什么呢？首先，个人剂量监测数据为评价和改善辐射防护效能提供依据。其次，对人体受照剂量做出定量的测量，以资依据剂量-效应关系模式，评价人体的辐射损害。第三，辐射作用导致和诱发的健康损害均无特异性医学表现，而个人剂量监测提供的累积剂量高低和剂量率情况在诊断中占有重要地位，特别是判断放射性肿瘤是否来自于辐射照射的作用，缺少累积剂量数据是无法做到的。第四，对个人剂量监测结果显示受到过量照射的个体及时启动必要的防护管理措施和制定正确的医学处理方案，以利于场所安全和人员健康。

为保证辐射工作的安全和保护放射性工作人员的健康，国际放射防护委员会(ICRP)和各国法规及标准都制定了放射性工作人员接受职业照射的剂量限值。终生接受的职业照射在剂量限值以下，就能杜绝辐射照射导致确定性效应的发生，能把辐射

诱发的随机性效应限定在可接受的水平：针对辐射诱发的随机性效应的剂量限值用有效剂量来表示，每人·年应在 20mSv 以下，连续 5 年受照剂量不应超过 100mSv。针对辐射照射导致特定器官确定性效应的剂量限值用年当量剂量表示，眼晶体为 150mSv，皮肤和手足均为 500mSv。

职业受照医学工作者更应坚持进行个人剂量监测，特别是介入放射学工作者的受照剂量偏高。WHO 汇总了介入放射学的职业受照水平的典型数据^[14]，ICRP 也为减少介入放射学操作中医学工作者和病人的受照剂量发表专题报告：“避免医用介入放射学操作的放射损伤”^[15]，呼吁介入医师应注意到本人和病人高剂量照射的辐射危险和加强监测和防护的重要性。

介入医师在有无防护情况下的受照剂量的典型案例见表 3。

要做到完整的个人剂量监测，根据不同需要应有多种个人剂量计。根据接触射线种类不同，有 X、 γ 射线胸章个人剂量计，有中子胸章个人剂量计，还有为测量手部剂量而设计的 β 、X 和 γ 射线指环剂量计。按照我国有关标准规定，放射性工作人员法定佩戴的个人剂量计至少每季度测量一次，每年有四个数据计入其个人剂量档案。有关国际标准还规定，对于手部受照可能 10 倍于全身(胸部)受照剂量的放射性工作人员，佩戴胸部个人剂量计的，还必须佩戴指环剂量计，监测手部剂量。那些在 X 射线监视下进行手术操作、用手操作放射源和为病人注射放射性核素的工作人员，手部受照剂量往往十几倍或几十倍于全身剂量。介入放射学工作者手部剂量百倍或千倍于全身剂量，特别是非心血管的介入放射学操作。

但是，目前国内仅数百人佩戴了指环剂量计，绝大部分介入放射学工作者未监测手部剂量，甚至也未监测全身(胸部)受照剂量。而现已见到国内介入放射学工作者手部脱毛、无汗和皮肤损伤情况，我国专业研究机构的放射性疾病门诊也见到了介入放射学工作者的病例。

典型的介入放射学工作者应该佩戴三个剂量计：一个佩戴在左胸前铅围裙内，指示全身受照剂量；手部佩戴指环剂量计，指示手部剂量；头颈部佩戴剂量计，指示头(眼)部剂量。有人还在铅围裙外佩戴一个剂量计，与铅围裙内佩戴的剂量计比较

表3 介入放射学操作中工作人员受照剂量的典型案例

介入放射学操作	工作人员受照剂量	有关技术细节	放射防护情况
血管及腹部的介入放射学操作	眼: 450-900mGy/a, 有效剂量: 4-28μSv/次	2个实验室, 旧的床上管X线系统	无眼部防护
常规引流术	手: 8-665μSv (28例次)	Siemens	-
心血管介入放射学操作	10-40μSv/例次(371例次)	2个实验室	悬吊式防护屏
心血管介入放射学操作	铅围裙内: 0-5.6mGy/月 铅围裙外: 0-25.2mGy/月	12名医师, 448例次/a, 心血管治疗室, GE MPX Phase 5	0.5mm厚铅围裙, 甲状腺防护围脖, 移动式防护屏
冠状动脉造影术	甲状腺: 0.21-0.37mGy/例次 左手: 0.3-0.54 mGy/例次	Philips Polydiagnost C2 (使用12.5/s减少辐射量)	悬吊式防护屏 (铅厚1mm)
冠状动脉介入放射学操作	有效剂量: 0.05mGy/次 眼部: 0.5mGy/次 双手: 1.1 mGy/次	芬兰, 14个实验室	有些实验室佩戴防护眼镜
儿科心导管介入放射学操作	眼部: 0.088 mSv/次 甲状腺: 0.18 mSv/次 有效剂量: 8μSv/次	18例次, U形臂 Toshiba KXO-2050	-
介入放射学操作	有效剂量: 3.2mGy/a(0.37~10.1mGy/a)	17个研究所, 28名介入医师	铅围裙内外均佩戴剂量计
心导管插管术	眼部: 15-53μSv/次	3个介入中心, 5套X射线系统	悬挂式眼睛防护屏
心脏导管射频消融术	左眼: 0.28 mGy/次 甲状腺: 0.15 mGy/次 左手: 0.99 mGy/次	31例次 Siemens Angioskop D	悬吊式防护屏

后, 提供出更准确的剂量估计, 以评价防护效能。正规的个人剂量监测机构, 依据左胸前佩戴的剂量计可以给出眼晶体剂量。

以核医学工作者手部受照剂量监测结果(见表4)^[6]为例, 分装和注射放射性核素工作人员手部受照剂量不容忽视, 应该佩戴指环剂量计。而且, 指环剂量计应该戴在拇指内侧。

表4 核医学工作者手各部位受照剂量的比较

	指甲处剂量(mSv)	指环剂量计(mSv)	腕部剂量计(mSv)
拇指	6.4±0.8		
食指	6.0±1.0		
中指	3.0±0.5	1.3±0.3	0.35±0.04
无名指	1.9±0.3		
小指	1.2±0.2		

头(眼)部受照剂量也不能忽视。在儿科注射CT对比剂的护士, 每一程序头部受照剂量平均为50μSv, 手部平均为80μSv。操作量大的护士手部月剂量高达1.0~1.8mSv。这种操作人员除佩戴指环剂量计外, 还应佩戴头颈部剂量计^[7]。

综上所述, 作为放射医学和辐射防护工作者应该告诫我们的医学同行, 在用辐射技术造福于病人的同时, 要关注自己受到的、越来越高的职业性照射, 特别是介入放射学和核医学的发展和新的射线

装置的广泛应用, 增大了医学工作者职业受照的人群和职业受照的工作量。

职业受照的医学工作者要保护自己的健康, 必须做到以下3点:

(1) 要认识到过量辐射照射是有危害的。要严格执行辐射医学应用正当性的原则。

(2) 要接受完整的个人剂量监测, 有终生职业受照剂量档案

(3) 要注意并加强辐射防护: 设计上的, 有意识的, 工具性的和屏蔽性的。

参 考 文 献

- 1 联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR) 2000年报告书(冷瑞平等译, 潘自强等校), 辐射源水平与效应[R]. 太原: 山西科技出版社, 2004.
- 2 张良安, 马吉增, 潘自强. 全国职业照射基本状况分析[A]. 中国辐射防护学会, 全国职业照射个人剂量监测与评价学术研讨会论文集汇编[C]. 太原: 中国辐射防护学会, 2004.
- 3 王鹤滨, 白光. 辐射危害与医学监督[M]. 北京: 原子能出版社, 1991.
- 4 白光. 放射性疾病体系及标准体系表[A]. 周继文, 孟德山, 谭绍智主编. 放射性疾病诊断标准应用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- 5 白光. 放射性核素人体污染及其危害[A]. 周继文, 孟德山, 谭绍智主编. 放射性疾病诊断标准应用手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- 6 王其亮, 白光, 陈耿. 回顾辐射事故后的思考: 个人剂量监测[J]. 中国辐射卫生, 2002, 11(4): 241-243.

- 7 白光. 关于慢性放射病的回顾与思考[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1999, 19(4): 230-233.
- 8 GBZ/97-2002. 放射性肿瘤判断标准和处理原则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- 9 白光. 浅谈个人剂量监测[J]. 核安全, 2004, 1: 21-24.
- 10 GB/18871-2002. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- 11 AO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, WHO, 安全丛书 No. 115, 国际电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 维也纳, 1997.
- 12 中华人民共和国职业病防治法[S]. 北京: 中国法制出版社, 2001.
- 13 香港特别行政区, 第(C)21号法律公告: 辐射条例[S]. 1997.
- 14 WHO. Efficacy and radiation safety in interventional radiology[R]. Geneva, 2000.
- 15 ICRP(郭彦君译, 殷蔚伯等校). 避免介入放射学操作放射损伤[J]. 国外医学临床放射学分册, 2003, 26(增刊): 26.
- 16 Jankowski. Distribution of equivalent doses to skin of the hands of nuclear medicine personnel[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2003, 106(2): 177.
- 17 Al-Hajj A N. Occupational doses during the injection of contrast media in paediatric CT procedures[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2003, 103(2): 169.

(收稿日期: 2005-03-24)

文章编号: 1001-098X(2005)04-0176-04

地表水中天然和人工放射性的研究现状

张瑞菊 涂彧

摘要 随着核能生产、稀土工业发展及放射性同位素应用而导致放射性物质潜在污染的可能性。为保护水环境和居民健康, 世界各地对水中天然和人工的放射性水平进行了分析。本文简述近年来对地表水中放射性的研究现状。

关键词 地表水; 天然放射性; 人工放射性; 辐射监测

中图分类号 X591 **文献标识码** A

Current progress in research of natural and artificial radioactivity in surface waters

ZHANG Rui-ju, TU Yu

(Institute of Radiation Medicine and Public Health, Suzhou University, Suzhou 215007, China)

Abstract With the development of nuclear energy production, rare-earth element industry and use of radioactive sources, potential possibility of radiation contamination exists. Analysis of natural and artificial radioactivity in waters was carried out in order to protect our environment and public health. Current progress in research of radioactivity in surface waters will be viewed in the article.

Key Words surface waters; natural radioactivity; artificial radioactivity; radiation monitoring

地表水中的放射性核素可以通过饮水、食物等途径使人类受到内照射, 由于通过这些途径接受的辐射剂量与体内存在的放射性核素的量密切相关, 从人类辐射防护的角度来讲, 一个重要的目的就是精确估算饮食中吸收核素的量。

1 地表水中放射性核素的来源

地表水中的放射性主要是由于地壳中的天然放射性物质 (naturally occurring radioactive material, NORM) 的存在。近来由于核电厂的建立、核武器的实验和制造以及放射源的使用等人类活动, 造成了一些人工放射性核素的产生。另外, 人类在开采、

加工铀矿石和矿砂的过程中, 在化肥生产、石油燃料开采、金属提炼等过程中也增加了环境中 NORM 的水平, 这被称为技术性增加的放射性物质 (technologically enhanced radioactive material, TERM) 或技术性增加的天然放射性物质 (technologically enhanced NORM, TENORM)。放射性物质可以在产生 TERM 过程的各个环节通过不同的途径到达地表水, 其中雨水可将矿山废渣、侵蚀土壤、耕地等的放射性核素冲刷形成径流汇入地表水, 污染水源^[1]。

地表水中含有各种不同浓度的发射 α 和 β 粒子的放射性核素, 一旦被人类摄入就会作为放射源使人体受照。由于 α 粒子的传能线密度很高, 故对发射 α 粒子的核素应予以特别关注。镭 (Ra) 同位