



中国核学会辐射防护学会

第一次学术交流会论文选编

辐射防护

原子能出版社

72.35052
144

辐 射 防 护

中国核学会辐射防护学会第一次学术交流会论文选编

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书为中国核学会辐射防护学会第一次学术交流会论文选编,是我国近年来辐射防护科学技术成果的荟萃,也反映了国内辐射防护工作的概貌和动向。本书共选入90篇文章,分成四个部分:第一部分包括辐射防护标准与评价、核安全技术及防护方法;第二部分是辐射监测方法和测量装置;第三部分是辐射对环境的影响和三废处理;第四部分为辐射生物效应、医学防护和促排药物的研究。全书内容丰富,文字简炼。

本书可供与放射性有关的科研、生产、卫生等单位的科技人员、管理干部以及大专院校师生参考。

辐 射 防 护

中国核学会辐射防护学会第一次学术交流会论文选编

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

国防科委印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/16 ·印张21³/₄ ·字数516千字

1982年6月北京第一版 · 1982年6月北京第一次印刷

印数001—2600 ·统一书号: 15175·399

定价: 2.70元

编 者 的 话

1980年3月6日至13日在太原市召开了中国核学会辐射防护学会第一次全国代表大会暨首次辐射防护学术报告会。

出席会议的代表共一百三十多人。他们来自全国各地的科研、生产、设计、教育、卫生等各条战线，有在辐射防护领域中年资较高的专家、教授；有成绩显著的中青年科技工作者；还有热心支持学会工作的有关部门的领导干部。中国核学会理事长王淦昌在会上讲了话。

会议收到学术报告二百多篇，内容涉及辐射剂量学、辐射监测、防护与评价、环境保护、三废处理、生物效应与医学防护等各个方面。其中多数是近期的研究成果或经验总结，反映了我国辐射防护工作的进展情况。

近年来，我国辐射防护科学技术取得了明显的成绩，但与国际先进水平相比，还有相当大的差距。认真总结经验，加强学术交流，以推动辐射防护工作的发展，缩短与世界先进水平的差距，这就是今后的重要任务之一。出版本选编的目的也在于此。

本选编共搜集90篇文章，分为四个部分：第一部分包括辐射防护标准与评价、核安全技术及防护方法；第二部分是辐射监测方法和测量装置；第三部分是辐射对环境的影响和三废处理；第四部分为辐射生物效应、医学防护和促排药物的研究。我们期望它对辐射防护工作者有一定的参考价值。

参加本选编编辑工作的有叶常青、郑汝宽、王福臣、徐明达、祝汉民、张文浩和李玉成等同志。由于我们水平所限，编辑工作中难免有不当之处，请读者批评指正。

《辐射防护》编辑小组

1981年6月

目 录

有效剂量当量与剂量当量指数量	1
小剂量、低剂量率电离辐射对人的影响	6
辐射防护的发展	11
放射医学实验研究用 γ 照射室	15
人体剂量模型的研制	22
微剂量学与辐射防护中的品质因子	26
我国成年人的某些生理参数	32
核反应堆的安全性问题	37
研究性重水反应堆上氙的监测与防护	41
1.5m回旋加速器运行时的辐射场	46
低能加速器的辐射安全	52
深部X线治疗机的辐射防护	57
30—300keV仪器校准用重过滤X射线源	60
186eV中子束 ^{238}U -过滤装置的研制	64
$1\pi\alpha$ 计数器	66
校准辐射防护仪表的刻度室	68
β 外照射的监测	70
测量环境辐射照射量率的高压电离室	73
流气电离室测低水平氡时应注意的一些问题	80
超薄I型热释光剂量元件的制作和应用	82
累积式多球中子计数器	86
$\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 热释光探测元件的光子、中子响应	91
热释光探测器在 γ 外照射监测中的应用	93
单光电子热释光剂量测量装置	96
LiF 热释光探测器剂量重现	100
硫酸钙(锶)-聚四氟乙烯热释光探测器	102
天然铀燃料元件生产中的 β - γ 外照射	105
鉴频式自动换档线性计数率表	108
个人 γ 照射量报警仪	111
测定大气中氡子体浓度的两段法	113
测定空气中 ^{222}Rn 的双滤膜法	120
核燃料工业中放射性微粒粒度特征	122
金属筛取样器的应用	124
空气中微量铀的快速分析	128
用氧化-冷凝法进行大气中总氡量的监测	130
空气中镭-241、镭-242的测定	132

环境土壤和空气中铀的测定	135
水样中 ^{59}Fe 、 ^{60}Co 、 ^{65}Zn 的连续分离和测定	141
应用“激光22”测定痕量铀的研究	146
弱 β 废水连续监测仪	149
水样中总 α 测定方法的研究及总 α 、总 β 船试报告	151
生物样品快速灰化方法及有关装置的研究	154
动物组织中 ^{239}Pu 的测定	159
铀矿山废水对周围农田污染的调查	161
铀水冶废水和环境污染	165
铀矿废水对环境的污染与居民所受剂量的估算	168
某矿外环境中水生生物污染的调查	170
放射性元素在水和岩石中的分配系数的测定以及裂变产物在地下水中的迁移	175
放射性核素向牧草-羊体的转移	178
长江某段扩散参数测量实验	182
某厂区固定监测点空气铀浓度的峰值期和季节变动的研究	186
原子能研究所周围植物中 ^{131}I 、 ^{129}I 污染的普查和有关参数的测定	188
放射性落下灰对环境污染的特点及卫生评价	194
海洋生物浓集 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 的研究	199
活性炭吸附法消除空气流中放射性碘的性能研究	202
应用国产天然沸石处理放射性废水的研究进展	207
硝酸钠型废液水泥固化研究	211
聚氯乙烯塑料固化几种放射性废物	218
放射性废物实验焚烧炉的试验与研究	220
小剂量 γ 外照射和若干环境因素对动物机体的综合作用	225
内外复合照射对狗的生物效应	227
长期吸入氦及氦子体诱发大鼠肺癌的观察	232
铀矿粉对肺泡巨噬细胞作用的研究——相差镜下的观察	236
^{210}Po 在狗毛、血中的蓄积和氦-222 子体暴露水平关系的研究	239
大鼠体内 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 含量与氦子体累积暴露量的关系	242
妊娠期氡水照射对胎鼠大脑发育的影响	244
稀土球墨铸铁生产场所的放射卫生学研究	248
残余辐射场小剂量外照射人员十年医学观察	253
铯-252和镅-铍中子源照射离体人血诱发淋巴细胞染色体畸变的剂量-效应关系	255
100 例医用 X 线工作者的染色体畸变	260
肺内石英粉尘累计负荷量的估算方法及其在不同矿山的应用	262
矿工肺癌氦子体累积暴露量的估算	267
铀水冶厂劳动条件对职工健康影响的调查分析	272
某铀矿职工外周血 E 玫瑰花结形成细胞的观察	277
某厂镭作业职工的健康调查	278

难溶性铀生物效应的研究·····	281
原子能研究所医学防护工作20年·····	286
重水反应堆工作人员的健康评价·····	291
一例硝酸铀酰复合烧伤伤员体内铀负荷量的估算及医学随访·····	296
$^{238}\text{PuO}_2$ 扩散事故的处理·····	298
四例 ^{239}Pu 体内污染者临床观察总结·····	302
^{137}Cs 的滞留和排泄研究·····	304
人体内 K、 ^{137}Cs 、 ^{203}Hg 、 ^{60}Co 的测定·····	308
裂变碘核素在甲状腺的微观剂量分布·····	311
尿和大便中 ^{147}Pm 的测定·····	317
尿中微量铀的快速测定·····	319
^{14}C -811 在小鼠体内的药物代谢动力学·····	321
含 ^{14}C -811 的脂质体在小鼠体内的分布特点·····	327
新型螯合剂 H-73-10 促排铀的研究·····	330
口服他巴唑及甲状腺素加速体内 ^{131}I 的排出·····	334

Contents

- Effective Dose Equivalent and Dose Equivalent Index (Li Deping)
- Effects of Low Dose Ionizing Radiation Delivered at Low Dose Rates on Human Population (Wei Lüxin)
- Development of Radiation Protection (Pan Ziqiang)
- A γ -Irradiation Laboratory for Radiation Medicine Research (Pei Shangyi)
- Development of an Anthropomorphic Phantom for Dosimetry (Xue Yongku, Gao Meirong and Zhang Jian)
- Microdosimetry and Quality Factor in Radiation Protection (Xue Liangyan and Zhang Zhonglun)
- Some Physiological Parameters of Chinese Adults (Zhang Inshan, Zhao Yongchang, Wan Zhaolan, Guo Aiin, Guo Fengli and Zheng Chaofan)
- Safety Problems on Nuclear Reactors (Hua Dan)
- Monitoring and Protection against Tritium from the Heavy Water Research Reactor (Chun Yuqing and Zhang Yongxing)
- Radiation Field around the 1.5m Cyclotron in Operation (Ma Shouwu, Song Wenjie, Xie Yiyao, Dang Keying, Du Hailin, Liu Wenda, Zhu Lianfang, Zheng Huazhi and Sun Yunling)
- Radiation Safety of Low-Energy Accelerators (Lei Qingzhang)
- Radiation Protection on Deep X-Ray Therapeutic Installations (Wu Yi, Wang Shijin and Zhang Yizheng)
- Heavily Filtered X-Ray Sources for Calibrating Instrument in the Energy Range of 30-300 keV (Zhu Yunfeng, Yun Zhenxian, Li jinyu, Wang Hongsheng, Li Guizhen, Mou Feng and Shi Hairong)
- Development of a ^{238}U -Filtered Neutron Beam Facility (Jiang Dexi, Ma Hongchang, Yu Ansun and Cui Yunfeng)
- $1\pi\alpha$ -Counter (Ye Minkun and Song Fangkao)
- Laboratory for Calibration of Radiation Protection Instruments (Li Xingyuan and Chen Zigen)
- Monitoring of External Beta-Radiation Exposure (Zhang Yansheng, Wei Rong and Han Shuanglong)
- High Pressure Ionization Chamber for Measurement of Environmental Radiation Exposure Rates (Yue Qingyu, Chen Jisheng, Jin Hua and Shang Yingmin)
- Precautions in Measurement of Low-Level Tritium in Air with Flow-Ionization Chamber (Zhao Yamin, Liang Anhe, Wang Futian and Zhao Jingquan)
- Preparation and Application of Type II Ultrathin TLD (Zhou Zhixin and Huang Gang)
- Cumulative Multi-Sphere Neutron Counter (Xie Jianlun, Chen Changmao, Leng Ruiping and Song Shushou)
- Response of $\text{CaSO}_4: \text{Tm}$ TLD to Photon and Neutron (Lin Guijing and Zhang Zhonglun)
- Application of TLD in Monitoring of γ -External-Radiation (Zhang Xuejing, Wang Maosong, Zhou Xiuhua, Zhang Yuanxin and Ren Hongdeng)
- A TLD System with Mono Photoelectron Counting (Hao Qingguo and Jiao Xiangdong)
- Reestimation of Dose in LiF -TLD (Su Jingling and Liu Jinhua)
- Calcium Sulfate (Dy)-Teflon TLD (Zou Jiaheng, Zhang Zaizuo and Chang Guilan)

β - γ External Exposure in Fabrication of Natural Uranium Fuel Elements (Wang Huanming, Lou Wenlei, Liu Xiufen and Li Rong)
 A Linear Counting Ratemeter with Automatic Range Switching Controlled by Frequency Distrinator (Zhang Fengxiang)
 Personal γ -Ray Alarm Dosimeter (Liu Shantang and Yu Wanhua)
 Two-Interval Method for Measuring Concentration of Thoron Daughters in Atmosphere (Li Shijun)
 Double Filter Method for Measuring Radon-222 in Air (Jiang Huixia, Yang Hei and Dai Guangfu)
 Size Characteristics of Radioactive Particle in Nuclear Industry (Wang Yumin, Zheng Qingyun and Shen Huijiong, Song Guoying)
 The Application of Wire-Screen Sampler (Zhang Zhihui)
 Rapid Determination of Microamount of Uranium in Air (Wang Huawen and Wen Sanmu)
 Oxidation-Condensation Method for Monitoring of Total Tritium Content in Atmosphere (Chen Bingru, Ren Lihua and Wang Weihua)
 Determination of ^{241}Am and ^{242}Cm in Air (Zhao Min and Li Yunlong)
 Determination of Pu in Soil and Air (Yan Qimin and Liu Shousun)
 Successive Separation and Determination of ^{59}Fe , ^{60}Co and ^{65}Zn in Water Sample (Xu Bingsen)
 Study of Determination of Trace Uranium with "LASER 22" (Zhang Yanan and Li Qingshen)
 A Continuous Monitor for Low-Level β -Radioactive Effluents (Cai Minzhang et al.)
 Gross α Determination in Water Sample; Report on Gross α , β Radioactivity from Yangtze River Monitoring Ship (Pu Nuping)
 Method for Rapid Ashing of Biological Samples and Experimental Equipments (Jin Meisun, Wang Benli Wu Weimin and Liu Wenchang)
 Determination of ^{239}Pu in Animal Tissue (Liao Xiangzhen and Jaing Yiuwen)
 Investigation into Contaminated Farm Land by Uranium Mine Effluents (Li Qingan, Liao Yinying, Nie Huilan, Zhao Jinghua and Zhou Chaoyu et al.)
 Effluents of Uranium Mills and Its Environmental Contamination (Liao Cheng)
 Environmental Contamination Caused by Uranium Mine Effluents and Estimation of Population Exposed Dose (Chin Shizhong, Xiong Baozhen, Wan Yusun, Wang Chaoyi, Li Wangsheng et al.)
 Investigation of Aquatic Organisms Contamination in the Vicinity of Uranium Mine (Li Shuqing, Tang Quiqing, Li Zhengshu, Leng Yuguo and Zhang Zhongheng)
 Determination of Distribution Coefficient for Radioactive Element in Water and Rock and Migration of Fission Products in Underground Water (Sun Rongyin)
 Transfer of Radionuclides from Herbage to Sheep (Zhao Shenghua, Zhang Weiming, Qin Suyun, Chen Wengying, Gu Juanjuan et al.)
 Experiment for Measurement of Diffusion Parameters in a Section of Yangtze River (Wang Zhiming, Guo Zede, Li Chuanchen, Ni Shiwei, Yu Songsheng and Zhang Yongxing)
 Study of Peak Periods and Seasonal Variation of Airborne Uranium Concentration at a Fixed Monitoring Point in Plant Area (Hua Haishan, Yu Shaoliang, Wang Yanfu, Zhang Zhongkun, Song Guoying et al.)
 Contamination Survey for ^{131}I and ^{125}I in Plants around the Atomic Energy Institute and Determination of Relevant Parameters (Xie Yunmian et al.)

Characteristics of Environmental Contamination from Radioactive Fallout and Evaluation of its Health Hazards (Zhu Changshou and Wang Zuoyuan)

Study on Concentration of ^{60}Co and ^{137}Cs by Marine Organism (Cai Fulong, Chen Qihuan, Wu Jinping, Yang Jiahe and Li Pingyu)

Adsorption Characteristics of Charcoal for Removal of Radioiodine from Air Stream (Li Wangchang, Huang Yuying, Lan Siguo, Lu Xueshi, Wu Yanwei and Guo Liangtian)

Progress on Treatment of Radioactive Liquid Wastes with Domestic Natural Zeolites (Yu Xueren, Xie Lianying, Su Xiguang, Wang Pengfei and Yu Ying)

Study on Cement Solidification of Radioactive Effluents with Sodium Nitrate (Wang Ren, Sun Mingsheng, Yang Chingtien, Jien Xiengcheng, Guo Xen, Yang Huiwen and Yao Yunquan)

Feasibility of Incorporating Several Radioactive Wastes in PVC (Xie Jianxun, Feng Shengtao, Hu Xiuzhen, Du Dahai and Chen Shi)

Study and Test of Experimental Incinerator for Radioactive Wastes (Jiang Yun and Li Jinquan)

Combined Effects of Low-Level External γ -Irradiation and Some Environmental Factors on Animals (Wen Quanfa and Zhang Hongyuan)

Biological Effects of Combined Internal and External Radiation Exposure on Dogs (Liu Guolian, Xie Guoliang, Chen Panzao, Chen Heyi, Song Jiayun and Wu Dechang)

Observations of Lung Cancer in Rats Induced by Long-Term Inhalation of Radon and Its Daughters (Wang Lihua, Meng Xianyu, Chen Xueyi, Liu Shengen, Wei Guangtian and Sun Shiqian)

Study of Cytotoxic Effects of Uranium Ore Dust on Alveolar Macrophages—Observation under Phase-Contrast Microscopy (Xing Guochang and Han Huanqing)

Study of the Relationship between ^{210}Po Accumulation in Hair and Blood of Dogs and Exposure Levels of ^{222}Rn Daughters (Gao Xugui and Su Yun)

Correlation between ^{210}Pb and ^{210}Po Contents in Rats and Their Cumulative Exposure to Radon Daughters (Yang Suxian, Xiao Xianming and Xing Wenru)

Effects of Exposure to Tritiated Water on Prenatal Brain Development during the Period of Rat's Gestation (Wang Zhangling, Guo Fengli, Zhao Shuyan, Wang Jinshan and Wang Zhaolan)

Studies on Radiation Hygiene in Producing Rare Earth Nodular Cast Iron (Lin Daquan, Cheng Haichang, Zhang Zhong, He Zuchun, Li Daiyin et al.)

Ten Years Follow-up Study of the Cases Exposed to Residual Radiation (Wang Yongxiao, Fang Yongxin, Sun Lianzhong and Yue Xianpei)

Dose-Effect Relationship on the Chromosome Aberrations in Human Lymphocytes Induced in Vitro by Neutron Irradiation with ^{252}Cf and Am-Be Sources (Zhang Xiuzhen, Jin Cuizhen, Leng Ruiping, Qiao Fu, Yang Jie et al.)

Chromosome Aberrations in 100 Cases of Medical Roentgenologists (Zhan Jianghai and Xu Min)

Method for Estimating Quartz Dust Burden in Lung and Its Application in Various Mines (Lun Hanqing, Shi Zhancheng and Xie Manting)

Estimation of Cumulative Radon Daughter Exposure in Miners Suffering from Lung Cancer (Wang Xiehua, Yang Heli, Dai Guanfu, Liao Qingquan and Zhang Jingyuan)

Survey of Effects of Working Conditions on Health in Uranium Mills (Fu Tiecheng and Sun Jing)

Observation on E-Rosette Formation Cells in Peripheral Blood of Uranium Miners (Wang Liangming, Liu Wen, Wei-Zhikang and Sun Li)
Health Survey of Workers in Radium Factory (Jin Yuke and Wang Guoyin)
Studies on Biological Effects of Insoluble Uranium Compounds (Liu Shuzheng, Hsu Kui-zhen, Ma Shiyen, Li Siuyi, Li Fengwen et al.)
20 Years Experience in Medical Protection Work in the Institute of Atomic Energy (Liu Zengding and Bai Guang)
Health Assessment of Heavy Water Reactor Workers (Bai Guang)
Evaluation of Body Burden and Medical Follow-up of a Patient with Complex Burns by Uranyl Nitrate (Xiao Baojian and Fan Jixiong)
Handling of $^{238}\text{PuO}_2$ Dispersion Accident (Wang Yumin, Zhou Yongzeng, Fang Jianwei, Zhou Jianying, Huang Qi and Wang Jiadong)
Clinical Observation on Four Cases of ^{239}Pu Internal Contamination (Li Junmei)
Study on Retention and Excretion of ^{137}Cs (Wang Sungling, Jin Yueru Ma ruwei and Chang Xiuzhen)
Determination of Potassium, Cesium-137, Mercury-203, Cobalt-60 in Human Body (Song Jianmen and Liu Chengxiang, Li Fengzhang, Lang Shuyu and Zhang Zhonglun)
Microscopic Dose Distribution of Fission Iodine Nuclides in Thyroid Gland (Zheng Wenzhong)
Determination of Promethium-147 in Urine and Feces (Liang Jinhu)
Rapid Determination of Microamount of Uranium in Urine (Tian Peiliang and Wang Jinxian)
Pharmacokinetics of ^{14}C -811 in Mice (Wu Dechang, Gong Yifen, Fei Lihua, Yang Chunxi and Lan Fuxing)
Distribution Pattern of ^{14}C -811 Liposomes in Mice (Gong Yifen, Wu Dechang, Fei Lihua, Yang Chunxi and Lan Fuxing)
An Experimental Study of New Chelating Agents (H-73-10) on Decorporation of ^{239}Pu (Huang Qi, Luo Yuman and Liu Yuee)
Enhancement of ^{131}I Excretion from Organism by Oral Administration of Tapazole and Thyroxine (Tian Wuxuen, Cai Minsheng, Zhao Shanyin and Yie Zhongxian)

有效剂量当量与剂量当量指数

李 德 平

一、辐射的随机性效应

“辐射防护的目的在于防止有害的非随机性效应，并限制随机性效应的发生率，使之达到被认为可以接受的水平。”[国际放射防护委员会（ICRP）第26号出版物]在此，近代辐射防护工作重视随机性效应的观点已经充分体现。

辐射防护中来自对其他有害物质的防护学科中的有阈的观点，只适用于躯体效应中的非随机性效应。既然非随机性效应的严重程度取决于所受剂量的大小，那就很可能存在不发生这种效应的阈剂量，或者至少存在一个实际上的阈值，在此以下所发生的效应是目前水平所无法觉察或可被认作是无害的。在辐射防护中，过去有相当多的概念、原则、措施和法规等是基于这样的有阈观点的。

随机性效应则是其发生的概率与所受剂量大小有关而其严重程度与剂量大小无关的效应。这个概念是早就形成了的。在辐射防护领域中，对癌与遗传缺陷的定量估计已进行了20年，并且已把在很低剂量下发生这种危险的可能性用作防护措施的依据，尽管并没有这种危险确实存在的证明^[1]。当然，高标准的防护就是要使人类得不到存在这种危险的直接证明，否则代价就太大了。因之，人类为自己所定的限制随机性效应的安全界限总是要包含某种外推或臆测的成分的。放射生物学知识和人类接触辐射所积累的经验以及对待这种有可能发生广泛而长远后果的问题有必要采取的审慎的态度，都使人们相信把随机性效应看作无阈是合理的和必要的，因此对随机性效应而言，防护的原则是使剂量保持在“能合理做到的尽可能低的水平”(ALARA)；另外还要规定一些合理的防护限值，把随机性效应的发生率限制在可以接受的水平。这在生活中是常用的办法，例如限制汽车时速来把交通事故率限制在可以接受的水平。在实际辐射防护工作中，随机性效应的防护限值常常远低于非随机性效应的防护限值，因而对前者需要更加注意。

为了限制随机性效应，需要改变防护上的一部分传统观点。其实，对待化学致癌致畸变物质的防护也迟早会有类似的改变。在宣传教育上，说明随机性效应比有阈的非随机性效应要困难得多，这还需要辐射防护工作者为此作更多的工作。

二、有效剂量当量

既然承认辐射的随机性效应是无阈的，那么在足够低的剂量范围内就可以认为它的发生概率与剂量大小近似成正比（即线性无阈）关系。在辐射防护所关心的极小概率下，几个作用或几种效应的危害（辐射所致损害的数学期望，即各种效应发生率的数学期望与表示危险程度的权重因子的乘积之和）应等于它们分别作用时的危害之和，即危害可以叠加。这样，对由相同个体（从人直到细胞）组成的群体，辐射随机性效应的危害在线性范围内将正比于

各个体所受剂量之总和，而与剂量在个体间的分布无关；对于不同个体组成的群体，只要把个体剂量按其敏感程度加权即可。所以，随机性效应对个人危害的合理表征，应该是各器官剂量当量的加权均值，即有效剂量当量

$$H_E = \sum_T W_T H_T = \sum_T W_T N_T Q_T D_T$$

式中， D_T 和 H_T 为器官(T)的吸收剂量和剂量当量； Q_T 为照射该器官辐射的品质因子； N_T 是为其他因素规定的改正值(目前为1)； W_T 为权重，其数值可见图1。因此，各种因素在 H_E 中都已考虑在内了。近代微剂量学对作为传能线密度的函数 Q 的挑战，下面另有文章介绍。

器官	权重
1—性腺	0.25
2—乳腺	0.15
3—红骨髓	0.12
4—肺	0.12
5—骨表面	0.03
6—甲状腺	0.03
7—其余器官 ^①	0.30
8—(皮肤) ^② (0.01)	0.01
	1.00

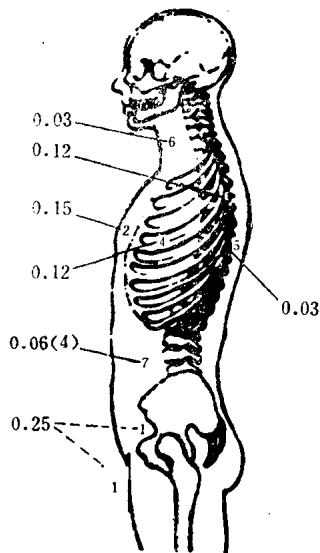


图1 有效剂量当量权重因子示意图

- ① 可以认为是不包括手、前臂、足、踝、皮肤、晶体在内的其余五个接受剂量当量最大的器官分别予以权重0.06；消化道受照射时，胃、小肠、大肠上下段可以视作四个器官。
- ② 估计对群体的危害时考虑。

规定 W_T 值的依据主要是现有的辐射对人类的随机性效应的有限(幸而有限)的知识。受害者是人类总体中的子群而不是那一类人群或种族的子群。如果要区分不同子群的话，剂量当量(而不是积分剂量当量或其他)用于表征随机性效应是否合理也还有待考查。此外，危害尚与生活习惯(如吸烟)、生育安排及医疗水平有关。随着预防、早期诊断及医疗技术的进步，辐射危害很可能将明显地减小。对随机性效应机理的深入认识(首先会改变医疗水平)，也会改变对危险度的估计。这些都会改变权重值，甚至防护的着眼点。

对不同器官的剂量，ICRP第26号出版物有一些说明与规定，有的还涉及多腔剂量学及界面剂量学。在评价随机性效应时，器官剂量(当量)总是指器官中具有相同敏感性的全部细胞的平均剂量。对肺剂量，这种观点更发展为规定把肺、气管、支气管及肺淋巴结看作一个综合器官来求其平均剂量当量^①。过去为计算呼吸系统中氦子体剂量的分布，及考察未结合态氦子体对此分布的影响，花了不少力气，其实这主要是从有阈观点出发的。

对随机性效应，内、外照射的危害也是可以叠加的，虽然从剂量上讲后者指已接受的剂量，而前者还包括注定将要接受的剂量。ICRP第26号出版物提出了对内照射防护采用年摄入量极限(ALI)作为次级防护限值。这里要防止简单地把几个核素的紧要器官剂量加权求和，因为核素也可能分布在别的器官中，同时，所用参数与计算方法也有了改进。

对 γ 或X射线外照射，可以用 H_E 与习用的无受体时的照射量 X_0 之比来表示 H_E 随光子能量变化的情况。这方面可直接利用的资料很少。图2表示的各向同性照射下的 H_E/X_0 随能量变化的曲线是按各向同性照射下58千克及70千克非均匀体模内器官所受剂量^[2,3]计算而得的。角图是70千克非均匀体模^[4]在单向照射下的结果^②。图中还标出了在70千克均匀体模

① 国外铀矿工工资表明在 $1.3 \times 10^5 \text{MeV/l}$ 的 α 子体潜能下工作170小时，所增加的肺癌发病率为 2.3×10^{-4} ，相应的综合器官平均剂量当量约为0.1Sv，故与 $2 \times 10^{-3} \text{Sv}^{-1}$ 的危险度一致。

② 与圆柱均匀体模比较在低能端有些矛盾，此处是先求出 H_E 与最大剂量之比，再参照 $H_{1,d}$ 计算的。

中正向及旋转照射的实测点^[5]。计算与实验间的符合恐怕是偶然的。由图中曲线可以看出，在同一辐射场中，体重、性别与取向对 H_E 均有影响。58千克体模的 H_E 约比70千克的 H_E 大10%，但女性由于性腺位置较深，所以其 H_E 仍与男性接近。角图中的正向照射曲线在考虑了女性体重较轻后亦将与男性正向照射曲线接近，但反向照射的 H_E 反而相差更多。体内器官部位只有骨髓是偏后的，但总的说来是偏前的（图1、3），所以正向照射的 H_E 总是较大。器官沿照射方向的平均深度大致如图3所示。身体中部 H 等于 H_E 那一点的深度在低能端略小于平均深度，而在高能端则略大一些。侧向照射时 H_E 更小，但由于计算中有些主要器官剂量是参照均匀圆柱模型^[6]估计的，可靠程度差一些。

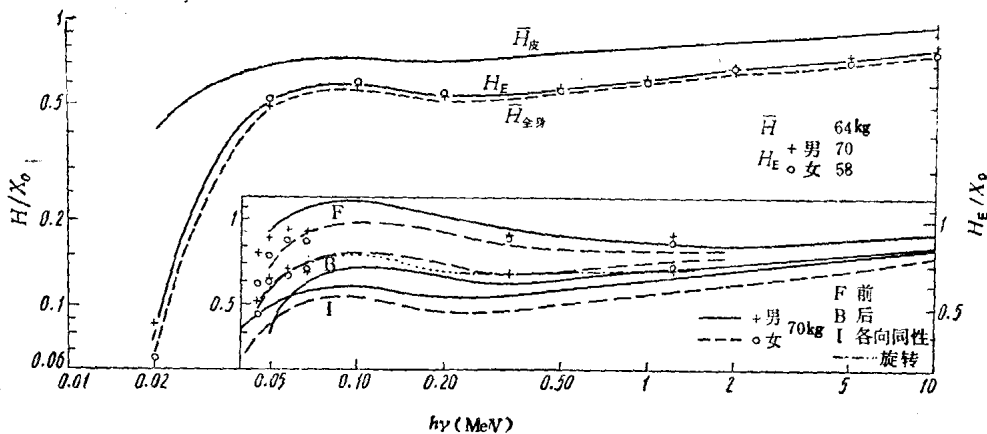


图2 H/X_0 及 H_E/X_0

H —剂量当量； H_E —有效剂量当量； X_0 —照射量（无受体）。

个人剂量计的读数总是指示有受体条件下的量。如果照射方向基本固定，佩带位置得宜，则原则上其指示即为深部软组织最大剂量当量 $H_{max,d}$ ，而 H_E 与 $H_{max,d}$ 间的关系已表示于图4。不然就需在接近实际情况的标准照射（如正向，前 2π ，水平旋转，前 $\pm 60^\circ$ 等）条件下，在体模上刻度个人剂量计，或直接建立它与 H_E 或其他器官剂量间的关系，甚至可为此调整剂量计的能量响应。这类办法的主要弱点还是标准照射条件能否反映真实的情况。

当遇到能引起急性放射损伤的严重照射时，应给出各种辐射成分的器官剂量而不是 H_E 。

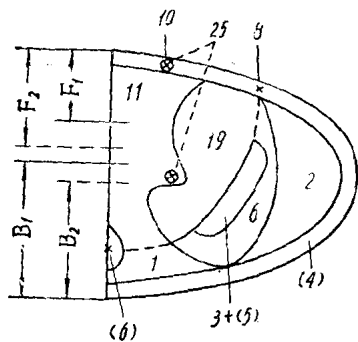


图3 器官分布俯视图

数字为各区内平均剂量之权重。
括号内数字应加骨表面及骨髓改正。
 F_1 (B_1) 男前(背)部平均深度。
 F_2 (B_2) 女前(背)部平均深度。

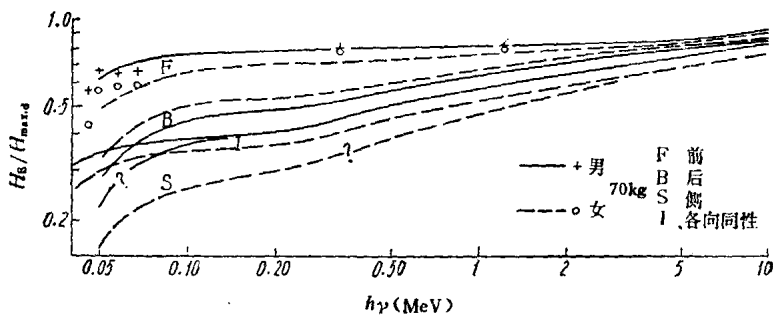


图4 $H_E/H_{max,d}$

$H_{max,d}$ 是体模内深度1cm处的最大软组织剂量当量。

三、剂量当量指数数量之应用

在辐射场监测中，所测的量常是被照射对象（受体）不在时的照射量率。引入受体后，由于吸收和散射作用，辐射场即有所畸变，因而仪表读数与所关心的剂量率间并无简单的关系。只有在确定了受体的形状、大小、材料和取向并说明所指的部位后，剂量才有明确的意义。对于有效剂量当量，虽已明确了材料与部位，但还需说明大小、性别及取向（从防护的观点看，主要是取向）。国际辐射单位与测量委员会（ICRU）于1971年提出以剂量（当量）指数数量作为一种辐射防护量。此处规定了受体的材料（密度为1克·厘米⁻³的软组织等效材料）、形状、大小（ ϕ 30厘米的球，因而也不用规定取向），并规定以球内[●]最大剂量（当量）作为球心位置的剂量（当量）指数 D_1 （ H_1 ）。进一步可以把深度在0.007厘米到1厘米间剂量（当量）的最大值称为浅表剂量（当量）指数 $D_{1,s}$ （ $H_{1,s}$ ），而把深度超过1厘米处（即 ϕ 28厘米的中心球内）的最大值称作深部剂量（当量）指数 $D_{1,d}$ （ $H_{1,d}$ ）。当人体中心处于球心时，可以认为头与躯干中的软组织最大剂量（当量）值大致等于指数数量。所以，这是一种偏安全的估计。既已对受体作了明确规定，所以指数数量是完全由辐射场的参数决定的，是用以表征辐射场的一种方式。此外，既然所指的是剂量，也就避开了在不能保证次级粒子平衡时企图测量间接致电离辐射的比释动能或照射量所遇到的原理上的困难与混乱。作为最大值，指数数量一般是不能叠加的，即两个源同时照射时的 H_1 常小于分别照射时的 H_1 之和。另一个麻烦是测量的敏感体积常在距球心10厘米以外处，却要把读数算在球心位置，而且在物体表面15厘米以内没有指数数量，这都是使用者一时难以习惯的事。

ICRP第26号出版物把剂量当量指数 $H_{1,s}$ 和 $H_{1,d}$ 用作外照射的次级防护极限：在受到贯穿辐射外照射的情形下，当身体内部

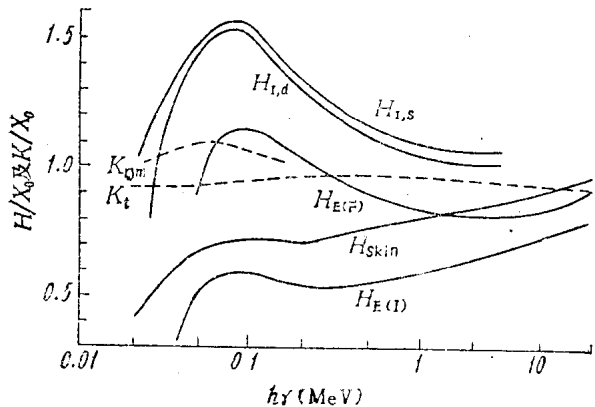


图5 剂量当量指数与有效剂量及比释动能

X_0 ——照射量； H_E ——有效剂量当量； $K_{r,m}$ ——红骨髓比释动能； H_{skin} ——皮肤剂量当量； K_t ——软组织比释动能； H_1 ——剂量当量指数。

剂量当量的实际分布不明时，只要把 $H_{1,d}$ 限制在每年50mSv以下；同时限制 $H_{1,s}$ ，使其不超过每年500mSv以保护皮肤，则可认为没有超过基本的防护限值。在多数情况下，这也同时将300毫克·厘米⁻²以内的剂量当量限制在每年300mSv以下。有人主张，应把800毫克·厘米⁻²深度处的剂量当量限制在每年500mSv以下，以照顾能量大于2MeV的纯 β 源^[7]。但也不乏反对意见^[8]。

ϕ 30厘米球只为定义 H_1 （ D_1 ）

之用而不是测量仪器，也用不着带着这14千克的球到处去测量。只要仪表读数能大致对应于这样定义的 D_1 （ H_1 ）就算是剂量（当量）指数仪。图5^[9]中的 $H_{1,s}$ 和 $H_{1,d}$ 曲线表示了在单能单向照射下该指数数量与照射量之比。图中还附有无受体时在骨髓及软组织中的比释动

● ICRU第25号报告中改为“球内深度大于0.007厘米处的”最大剂量（当量），即 $H_1=H_{1,d}$ 、 $H_{1,s}$ 中之最大值。

能,以资比较。 H_I 的这种能量响应原不难做到,但对于最常用的角响应近于各向同性的仪表,由于读数是可以叠加的而 H_I 却不能叠加,所以在多能多向照射下仪表读数总是 H_I 的偏高估计。虽然,其差别一般不到2倍(对 $H_{I,d}$ 各向同性因子可大于2),但已足以使 H_I 与 X 间的差别失去意义。由图5可见, H_I 曲线就连形状也是不同于各向同性照射下的 H_E 或皮肤剂量当量 H_{skin} 曲线的。就是说,这类剂量当量指数仪在环境辐射测量中反而不及照射量仪适用。这并不是指数概念的错误,因为在各向同性照射下,真实的 H_I 值也是与单向照射下的 H_I 相差很远而较接近 H_{skin} 的。同样,图5的 H_I 与正向照射的 H_E (F)就较为接近。显然,低能部分的“峰”还有些夸张,因为 $H_{I,d}$ 所对应的1厘米的深度远小于实际器官的平均深度。至于对其他取向的照射就差得较多,这在图4中表示得比较清楚。广泛使用的中子雷姆仪是用这种单能单向照射刻度而角响应近于各向同性的仪表,其相应的 H_E/H_{max} 绘于图6。这是按 26×36 厘米椭圆截面均匀体模的计算结果^[10]估计的。这里也可以看出它在测量 H_E 中的弱点。

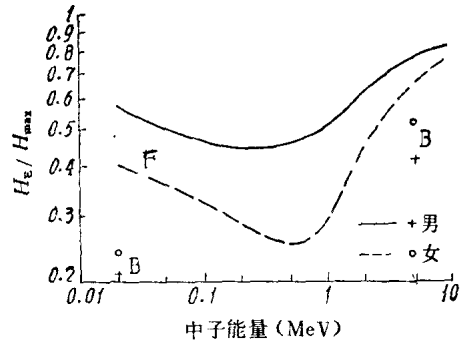


图6 中子照射的有效剂量当量

H_E ——有效剂量当量; H_{max} ——柱形体模内剂量当量最大值。

要求在任何照射条件下均能读出不可叠加量 H_I 的真值的仪表,是难于设想的。但如果最大剂量点的深度基本不变(如在 β 、 γ 、 X 测量中),则可以按最大剂量深度上一个固定点的剂量随入射方向的变化来规定仪器的角响应。这种仪器如在使用中能旋转探头以寻出读数的最大值,则可以作为对单向和多向照射都适用的“真实的”指数量仪。但这种较繁杂的操作要求以及它所包含的发生低估差错的可能性,是否能在实际监测中行得通还很难说。另一方面,人们对有角响应的仪器,依靠他们对辐射来源的实际了解,使用起来也不是那样地笨拙或束手无策的。

至于防护非随机性效应,使用相应防护限值的场合多属肢端照射、躯干的局部照射或“软”射线的浅表照射,此时真实的最大剂量当量也是不同于单向照射下的 H_I 的。因此,各向同性指数量仪的应用总是有其严重的局限性的,也许按某一角分布的照射条件刻度的结果会好一些。目前剂量当量指数仪仅在一些国际团体的拟议之中(包括对角响应要求的争论),尚未有成品问世。

另一极端是改进仪表的能量响应与角响应使之能给出规定大小的人体的 H_E 。如果能接受有方向性的指数量仪,就没有不能接受有方向性的有效剂量当量仪的理由。符合严格要求的 H_E 仪可能是难于制造与使用的;但如放宽部分要求,那怕只能读出 H_E 的某种均值或偏安全估计值,也有可能成为比较能反映实际情况的可行方案。

总之,目前存在着若干各有其优缺点的解决途径。但正确的抉择又必须基于 H_E 、 H_I 和 X 等辐射量间的精确的数值关系。由于可用资料的不足与包含着某些“不得已”而采用的假定,文中给出的是借以揭示问题的聊胜于无的初步结果。鉴于建立按ICRP第26号出版物的原理测量外照射方法的迫切性,相应的剂量学研究,及各种可行途径的探讨都极待开展。

参 考 文 献

- [1] B.Lindell (1973 Sievert Lecture), Health Phys., 31, 265 (1976).
- [2] K.O'Brien and R.Sanna, Health Phys., 30, 71 (1976).
- [3] K.O'Brien and R. Sanna, Health Phys., 34, 107 (1978).
- [4] T. D. Jones, et al., Health Phys., 24, 241 (1973).
- [5] E.Stranden and T. Wöhni, Health Phys., 35, 457 (1978).
- [6] R. W. Euz and H.M.Murphy, Health Phys., 24, 53 (1973).
- [7] D. F. White and T.M. Francis, Phys. Med. Biol., 22, 1209 (1977).
- [8] M. W. Charles, Phys. Med. Biol., 23, 518 (1978).
- [9] K. O'Brien, Health Phys., 35, 506 (1978).
- [10] B. Г. 佐洛图欣等著, 蒋洪第译, 人体中子组织剂量, 第三章, 原子能出版社, 1978年。

小剂量、低剂量率电离辐射对人的影响

魏 履 新

环境中的电离辐射对人类会产生影响, 其主要的也是最常见的作用方式是小剂量、低剂量率照射。因此, 了解它们对大人影响的特点, 研究各种损害的表现和规律, 对于修订辐射防护标准、合理地采取防护措施是非常重要的。

一、小剂量、低剂量率电离辐射对人影响的一些特点

小剂量、低剂量率对人引起的损害主要是随机性效应, 即损害的发生频率随剂量而变化, 而其严重程度则与剂量无关。这种损害包括恶性肿瘤和遗传性疾患, 有人把胚胎受照引起的畸形也归在这一类。这种随机现象是长期观察和研究的结果。在低于剂量限量上限条件下受照, 非随机性损害是很少出现的。

遗传性损害和恶性肿瘤都具有观察周期长的特点, 即从最初受照到出现可观察到的损害要很长的时间。亲代受照要通过子代或许多世代才表现出遗传性损害; 恶性肿瘤有很长的潜伏期; 从开始受照到因肿瘤死亡约25年以上, 白血病短些, 平均也要10年。在相应的理论机制和方法学没有重大突破以前只能进行长期观察。

长期对人的观察和实验研究都证实电离辐射只能使原有的肿瘤、遗传性损害和畸形在数量上增加, 从而提高它们的发生率。这一特点(损害的特异性差)增加了对随机性损害观察和研究的困难。

这些损害的自然发生率较高。自发的遗传性疾病和缺陷可达活产的百分之十; 恶性肿瘤的死亡率达到每年万分之几到千分之几。这样, 在本来较高的自然发生率和死亡率的基础上, 判断小剂量、低剂量率诱发的小量的随机性损害是很困难的, 无论是人群调查还是实验研究都需要很大的样本, 而在实际情况下往往不易做到, 因而常常采取将大剂量时观察到的结果外推至小剂量的方法, 并需对很多条件作出假设。

进行这些损害效应的研究和观察时还会受到相当多的相随变数的干扰。这些变数有来自环境的, 如环境中的各种诱变物; 有来自生活习惯的; 也有来自受照者本身的, 如种族、年