

DOI:10.3724/SP.J.1008.2011.00349

• 专家论坛 •

日本福岛核电站事故对人体健康影响及医学防护

蔡建明

第二军医大学海军医学系放射医学教研室, 上海 200433

[摘要] 日本福岛核电站事故对人类的危害可能仅次于前苏联的切尔诺贝利核电站事故, 此次事故对抢险人员、附近居民和受放射性污染人员带来的健康影响, 既有近期辐射损伤, 也有远期生物效应, 主要是以小剂量照射的远期辐射生物效应为主; 飘落到我国的微量放射性尘埃远不足以对人体构成损伤。防护方面主要是利用房屋、衣物、口罩等进行屏蔽, 及时清洗去除放射性沾染以及服用防护药物等措施。在审慎、科学地发展核电事业的同时, 我国也应提高相应的核电站核事故医学救援和防护研究水平, 加强我们的应急响应体系、人才队伍、技术装备、特种防护手段及能力建设, 确保一旦核电站发生核事故时, 可将损失减少到最低点, 有效保障公众和职业人员的身心健康。本文就日本福岛核电站事故可能带来的健康影响及其医学防护, 如何正确看待核电事业的发展, 以及加强安全防范和科学研究等问题, 做一些概要的介绍和讨论。

[关键词] 福岛核电站; 辐射事故; 辐射损伤; 辐射防护

[中图分类号] R 818 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2011)04-0349-05

Effect of Fukushima nuclear plant accident on human health and the medical protection

CAI Jian-ming

Department of Radiation Medicine, Faculty of Navy Medicine, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] The hazards Fukushima nuclear plant accident causes to human beings might be the second only to Chernobyl nuclear plant accident in the former Soviet Union. The accident has deleterious health effects on Japanese rescue workers, nearby residents and other contaminated subjects, and there are not only short-term irradiation injuries, but also long-term biological effects, with the long-term biological effects caused by low-dose irradiation being the leading one. The radioactive dusts falling to our country is far from enough to cause damage to human health. The main protective measures include shielding with buildings, clothing, and masks, cleaning/removing the radioactive contamination timely, and taking protective drugs. While developing our nuclear power cautiously and scientifically, we should also enhance the corresponding research on medical rescue and protection in case of nuclear accidents. We should also reinforce our emergency response system, training of personnel, technique and equipment, and special protective measures, so as to minimize the damages in case of any nuclear accidents and effectively protect the physical and psychological health of the people. In this paper, we discuss the possible health influence and medical protection of Fukushima nuclear plant accident, the proper attitude towards development of nuclear power, and strengthening of security measures and related scientific research.

[Key words] Fukushima nuclear plant station; radiation accidents; radiation injuries; radiation protection

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2011, 32(4): 349-353]

2011 年 3 月 11 日, 日本东北部地区发生里氏 9.0 级大地震和由地震引发的毁灭性海啸, 在地震和海啸的双重破坏下, 位于福岛县福岛第一核电站的 4 个核电机组在 12 日到 16 日期间相继发生爆炸, 大量放射性物质外泄, 使日本灾区民众遭受地震、海啸和核辐射污染的三重打击, 同时造成了日本和邻国部分民众的核恐慌, 在世界上也造成巨大的社会影响和对核电站事故的担忧。本文就日本福岛

核电站事故可能带来的健康影响及其医学防护, 如何正确看待核电事业的发展, 以及加强安全防范和科学研究等问题, 做一些概要的介绍和讨论。

1 日本福岛核电站事故对附近人员带来的健康危害

日本福岛核电站事故是由核反应堆停堆后氢气爆炸造成的。在一连串灾害的打击下, 核反应堆的冷却系统失灵, 丧失冷却功能的反应堆内水位下降,

[收稿日期] 2011-04-06

[接受日期] 2011-04-12

[基金项目] 军队“十一五”科技攻关项目(06G60)。Supported by “11th-Five-Year” Plan for Science and Technology Development of PLA (06G60)。

[作者简介] 蔡建明, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: cjm882003@yahoo.com.cn

其核燃料棒未被冷却液浸没而处于裸露状态,产生了锆水反应。核燃料棒的包壳中有一种叫锆的金属元素,在高温下会与水蒸汽产生剧烈的化学反应,将水分解为氢和氧,产生大量氢气,当氢气浓度达一定程度(4%以上)时,混合可燃气体发生爆炸,炸开了核电站反应堆的厂房,一场新的灾难就此降临。

有关这次事故的严重性,可参照国际原子能机构(International Atomic Energy Agency,IAEA)制定的国际核与放射事件分级表(International Nuclear and Radiological Event Scale,INES)进行评估。该分级表将核事件分为 7 级(表 1)^[1],1~3 级称为“事件(Incidents)”,4~7 级称为“事故(Accidents)”,并规定,如果放射性物质向外部的泄漏量达到数万万亿贝克勒尔(10^{16} Bq),就应定为 7 级(特重大事故)。4 月 12 日,日本原子能安全保安院宣布,鉴于福岛第一核电站向大气泄漏的放射性物质已达

到 37 万万亿贝克勒尔(3.7×10^{17} Bq),而原子能安全委员会推断为 63 万万亿贝克勒尔(6.3×10^{17} Bq),虽然数值存在差异,但都已经远远超过核电站事故 7 级的标准。因此,日本经济产业省原子能安全保安院与日本原子能安全委员会 12 日上午举行联合新闻发布会,正式宣布根据国际核事件分级表,将福岛第一核电站事故的严重程度评价提高到最高级别 7 级。不过,原子能安全保安院说,福岛第一核电站事故泄漏的放射性物质总量为切尔诺贝利核电站事故的 10%左右。该机构表示,从发生的规模和死者数目等方面来看,福岛第一核电站事故“与切尔诺贝利核电站事故完全不同”。也有专家指出,虽然暂时看来福岛第一核电站事故是人类有史以来仅次于切尔诺贝利核电站爆炸的核事故,但由于核电站放射性物质的泄漏还没有完全停止,担心最终泄漏量可能与切尔诺贝利核事故相当,甚至更多。

表 1 国际核事件和核事故的分级

Tab 1 The International Nuclear and Radiological Event Scale

级别	名称	事件性质
7 级	特大事故	大型设施(如动力堆的堆芯)中大部分放射性物质向外释放。一般涉及短寿命和长寿命放射性裂变产物的混合物(其量相当于超过 10^{16} Bq 的 ^{131}I)。这类释放可能引起急性健康效应;在可能涉及一个以上国家的大范围地区有慢性健康效应;有长期环境后果
6 级	重大事故	放射性物质向外释放(其量相当于 $10^{15}\sim 10^{16}$ Bq 的 ^{131}I)。这类释放可能需要全面实施当地应急计划中包括的相应措施以限制严重的健康效应
5 级	具有场外危险的故事	放射性物质向外释放(其量相当于 $10^{14}\sim 10^{15}$ Bq 的 ^{131}I)。这类释放可能需要部分实施当地应急计划中包括的相应措施以减少造成健康效应的可能性。核设施严重破坏,可能涉及动力堆芯大部分严重损坏、重大临界事故或者是在核设施内大量放射性物质释放的重大火灾或爆炸
4 级	无明显场外风险的故事	放射性物质向外释放,使关键人群受到几 mSv 量级剂量的照射。对于这种释放,除当地可能需要进行食品管制外,一般不需要场外防护行动。核设施明显损坏。这类事故可能包括造成重大厂内修复困难的核设施损坏,如动力堆的堆芯部分熔化和与此相当的非反应堆设施损坏事件。一名或多名工作人员受到极可能发生早期死亡的过量照射
3 级	重大事件	放射性物质向外释放,使关键人群受到十分之几 mSv 量级剂量的照射。对于这种释放,可能不需要场外防护行动。造成工作人员受到足以引起急性健康效应的剂量的场内事件和(或)造成污染严重扩散的场内事件,例如几千 TBq 的放射性物质释放进入二次包容结构,而这里的放射性物质还可以返回到令人满意的储存区。安全系统再发生故障可能导致事故工况的事件,或者如果发生某些始发事件安全系统将不能防止事故的状态
2 级	事件	安全措施明显失效,但仍有足够的纵深防御,可以应付进一步故障的事件。包括实际故障定级为 1 级但暴露出另外的明显组织缺陷或安全文化缺乏的事件。造成工作人员受到超出规定年剂量限值的剂量照射的事件和(或)造成设施内有显著量的放射性物质存在于设计未考虑区域内并且需要纠正活动的事件
1 级	异常	超出规定运行范围但仍保留有明显的纵深防御的异常情况。这可能归因于设备故障、人为差错或规程不当,并可能发生于本表覆盖的任何领域,如电厂运行、放射性物质运输、燃料操作和废物储存。实例有:违反技术规程书或运输规章,没有直接安全后果但暴露出组织体系或安全文化方面不足的事件,管道系统中超出监督大纲预期的较小的缺陷

日本福岛核电站事故对抢险人员、附近居民和受放射性污染人员带来的健康影响,将是长期和深

远的,既有近期辐射生物效应,也有远期效应,而且主要将以小剂量照射的远期辐射生物效应为主。对

严重放射性污染区内以及附近人员可能的主要危害有:(1)急性外照射损伤。是由放射性核素衰变时释放的 γ 射线等造成的,受照射个体是否出现临床症状及其严重程度与照射剂量大小密切相关。 <0.2 Gy时无明显症状, $0.2\sim 0.5$ Gy时个别人(2%)出现头晕、乏力、食欲下降、睡眠障碍、口渴、易出汗等轻微症状, $0.5\sim 1$ Gy时少数人(5%)有轻度上述症状,个别人会有恶心、呕吐,全身受照 ≥ 1 Gy时产生急性放射病。人体具有一定的辐射损伤修复能力,短期内受到 <1 Gy外照射对机体的影响轻微,阳性体征会自动消失。实验室检查外周血淋巴细胞染色体畸变率可增加,与受照剂量成正比,部分畸变可以长期存在;男性精子数量可暂时性减少,受照剂量愈大,减少愈明显,开始恢复的时间也愈慢^[2]。本次日本核电站事故中,由于日本政府及时采取了撤离措施,目前尚未见公众受外照射损伤的报道。但是对于在核电站内参与抢险的工作人员和其他作业人员,个别人有可能受到超过当量剂量限值的外照射,需要加强防范和医学观察。(2)皮肤放射损伤。身体局部短时间内受到大剂量电离辐射或长期受到超剂量限值的照射后,受照部位皮肤所发生的损伤称皮肤放射损伤。核电站爆炸后如果体表皮肤沾染大量放射性物质又未及时清除,可造成皮肤损伤,主要由 β 射线引起,接触放射性物质部位的皮肤依照受照剂量的大小可以出现红斑、脱毛、水泡、溃疡坏死等症体征。本次日本核电站事故中,已有少数在核电站内参与抢险的工作人员因为防护措施不当,使脚部浸泡和接触高活度放射性废水而发生局部皮肤放射损伤的报道。公众通常接触不到本次核电站事故产生的高放射性活度的污染物,只要提高警惕、不涉足严重污染地区,一般不会发生皮肤放射损伤。(3)内照射损伤。核电站爆炸后产生的放射性核素经呼吸、饮食等途径进入人体,沉积于体内某些组织器官和系统,如果进入的放射性核素数量较多,可引起内照射放射损伤。其损伤的机体组织或器官与放射性核素的种类有关,例如大量放射性碘进入体内,主要损伤甲状腺;大量放射性铯进入体内,主要损伤骨组织和造血系统;大量放射性钡进入体内,可引起全身组织器官的损害。因为机体有很强的辐射损伤修复和代偿能力,放射性核素在体内损伤机体细胞的同时,机体也在不断地进行修复;只有当进入体内的放射性核素足够多,损伤积累的严重程度超过机体修复代偿能力时,才会显现症状和体征。所以内照射损伤的潜伏期长,病程发展缓慢,有些损伤效应需要长时间的观察才能显现,如辐射致畸、致突变、致癌变等^[3]。(4)长期低剂量率慢性照射生物效应。

人员长期在放射性污染地区生活,受到远远高于本底水平的额外照射,外周血淋巴细胞染色体畸变率和微核率可有增高,群体的恶性肿瘤发病率及子女遗传性疾病和先天畸形发病率会略有增加。根据切尔诺贝利核电站爆炸10年后的流行病学调查,在受放射性污染的人群中儿童最为敏感,儿童甲状腺疾病甚至甲状腺癌的发病率明显增多^[4]。因个体辐射敏感性不同,少数人员可出现以中性粒细胞为主的白细胞轻微降低和血小板减少等。

2 日本福岛核电站事故对中国居民可能带来的健康影响

根据日本福岛核电站事故目前的发展态势分析,这次事故除了部分放射性物质通过空气传播外,还有大量放射性物质流入大海。直接受这些物质影响的主要是福岛核电站周边的地区人群,如果福岛核电站不再发生更严重的爆炸,我国民众不必恐慌和担心,因为来自日本福岛核电站的放射性物质经过自身衰变以及大气和海洋的稀释作用,飘(流)落到我国时其影响力已十分微弱。我国政府已经加强了对福岛核电站爆炸放射性烟云、海水和其他物质的监控,建有完善的预警机制。最近对我国空气环境及部分蔬菜的放射性检测结果显示,均在国际和国家规定的个人当量剂量限值以内,其污染程度远不及切尔诺贝利核电站爆炸事故曾给我国各地带来的污染水平,也远远低于周边国家进行原子弹爆炸试验对我国局部居民区造成的放射性污染水平。况且,放射性物质是与地球同生共长的一种自然现象,是人类和生物长期共存的环境因素之一。人类接触的这种放射性称为天然本底辐射。世界上不同地区的天然本底辐射水平有差异,98%的地区天然放射性本底是 $2.4\sim 7$ mSv,个别地方超过了10 mSv。既然放射性是伴随生物生存进化的环境因素,生物体对低剂量的放射性有相当的耐受性也属自然^[5]。生活在天然本地辐射较高地区的居民,并没有发现因为每年接受的射线比其他地区生活的人多而健康水平下降,他们和低成本地区的人一样健康。飞行员等空乘服务工作者,每飞行上万公里大概就要比地面人员多接受0.1 mSv的宇宙射线照射,也未发现他们的健康水平比地面工作人员差。患者做一次CT、PET和PET/CT检查一般会吸收 $5\sim 8$ mSv的辐射剂量,远远超过目前日本福岛核电站事故给我国居民贡献的照射剂量。这些情况说明,在一定的射线剂量范围内机体本身对射线危害有较好的自我修复和抵抗能力,日本核电站放射性物质飘落到我国的微量辐射,远远低于人们一般所担心的风险程

度。

当前最值得我国居民关心的问题当属日本福岛核电站向海洋中排放上万吨放射性废水可能造成的生态污染和环境中放射性核素使日本部分地区农作物和食品等受到污染的问题。这些废水包含了众多种类的放射性核素(有些半衰期很长),后者进入水体后依其化学性质或溶于水或以悬浮状态存在,既可通过代谢途径进入水生植物组织内,又可被鱼及水生动物摄入。低等水生生物是鱼及水生动物的主要食饵,它们通过食物链的污染具有生物富集的重要意义。食物链对放射性核素的生物浓集作用不容忽视,例如,鱼肉中的放射性锶比污染水源可以高出约30倍,鱼骨中高约1 000倍;鱼甲状腺中放射性碘的浓度可以是水体中的10万~30万倍。已有日本东北部渔民打捞的水产品中放射性物质超标的报道,故放射性废水对海洋生态环境的影响需要引起我们的高度关注,国家也需要加强对我国相关海域海水及海产品的放射性监控测量。公众目前没必要担心产自我国沿海的水产品的安全性,因为福岛核电站排入海中的放射性核素通过扩散或洋流运动到达我国需要较长时间,加上放射性核素的物理衰变、大海的沉淀和稀释作用,这些放射性核素流入我国沿海时其影响力几乎可以忽略不计。

核电站爆炸后向大气中释放的放射性物质沉降到地面也可造成植物及农作物的污染,环境中放射性核素通过食物链的途径,还可向牛、羊等动物体内转移,甚至使放射性碘、锶等重要的核素浓集放大^[6]。半衰期长达数十年的锶-90、铯-137以及半衰期数十天的锶-89、钡-140等对动物的污染是食物链中重要的核素来源。如果不对环境中放射性核素进行监控,它们可能通过各环节的转移最终到达人体,人体内储留较多时就会造成潜在的危害。因此,加强对来自日本的各类进口物品的放射性检测,避免放射活性物质超标的物品流入我国极为重要。从目前国家多个权威机构的监测数据来看,随着放射性物质的扩散,我国有可能监测到放射性水平增高,但这并不等于会影响环境和健康。即便有一些地区监测到的数据和当地本底水平相比有一点升高,但放射性物质已经被大大稀释,不会达到影响公众健康的水平。目前全国大部分地区均在空气和某些蔬菜中发现了极微量的人工放射性核素碘-131,由于对当地公众产生的剂量小于公众个人剂量限值的十万分之一,对人体健康没有影响,没有必要去相关机构进行检测,同时也不需要采取专门的防护措施,不需要服用碘片,更无需恐慌。

3 突发核电站放射性物质外泄事故的医学防护

4级或4级以下的核电站核事故,没有放射性物质向场区外面扩散,危害仅仅局限在核电站场区内部,对公众健康没有直接的影响,公众一般不需要采取防护行动;5级或5级以上的核电站核事故,放射性物质外泄至场区外面,事故等级越高,说明向外界释放的放射性物质越多,需要公众采取一系列防护措施。一旦出现核与辐射突发事件,公众首先必须尽可能多地获取关于突发事件的可靠信息,应通过各种手段(电视、广播、电话)了解政府部门的决定、通知,切记不可轻信谣言或小道信息。应按照地方政府的通知,迅速采取必要的防护措施。(1)采取隐蔽措施以减少直接的外照射和污染空气的吸入。可以选用就近的建筑物进行隐蔽(当今的各种建筑物均具有隐蔽功能,地下室或高层建筑的隐蔽性能更好)。应关闭门窗及通风设备(如空调、风扇);同时要注意,当污染的空气过去后,迅速打开门窗和通风装置。(2)根据地方政府的安排实施撤离。撤离一定要有组织、有序地进行,否则可能带来严重的负面作用(交通事故或安排不当会受到更高辐射量照射)。(3)当判断有放射性散布事件发生时,切记不能迎着污染区的上风方向跑,也不能顺着风跑,应尽量往风向的侧面躲,并迅速进入建筑物内隐蔽。(4)采取呼吸防护,带上防尘口罩的防护效果可达75%以上,没有口罩也可用湿毛巾、布块等捂住口鼻,过滤放射性粒子,防止污染物进入体内。(5)体表防护:避免淋雨、淋雪,将任何可以遮挡身体部位的着装都穿戴整齐,穿长衣,戴帽子、头巾、眼镜、雨衣、手套,穿靴子。翻起上衣衣领口,然后在外面围上围巾。出门时扎紧袖口和裤脚等地方,减少体表污染。若怀疑身体表面有放射性污染,可采用洗澡和更换衣服来减少放射性污染,尤其是要清洗口、鼻腔和毛发。若没有淋浴,可以用水清洗身体的裸露部位,如面部、颈部等,特别是有油污的地方。用清水洗可以消除90%左右沾(污)染,用肥皂擦洗可达到95%以上。(6)食物防护:来自污染区域的食物最好不要吃。多吃富含维生素C、维生素E、胡萝卜素等营养物质的食物可能有助于防辐射。暴露在外面的新鲜蔬菜应冲洗干净,不要喝核污染地的新鲜牛奶,防止食入污染的食品或水;是否需要控制当地的食品和饮水,听从当地卫生、环保部门的安排。(7)必要时服用稳定性碘以阻断放射性碘在甲状腺内的沉积。如果在吸入放射性碘同时服用稳定性碘,则可阻断90%的放射性碘在甲状腺内沉积。该措施的有效性随实施时间的拖延而降低,但在吸入

放射性碘数小时内服用稳定性碘,仍可使甲状腺吸收放射性碘的量降低一半左右。需要指出的是,服用稳定性碘仅仅对放射性碘有防护意义,对放射性铯等其他核素无防护作用,因此,对于像核电站多种放射性核素外泄事故,服碘需要与隐蔽、撤离等措施同时进行。对成年人推荐的服用量为100 mg碘(相当于130 mg碘化钾或170 mg碘酸钾),对孕妇和3~12岁的儿童,服用量改为50 mg,3岁以下儿童服用量25 mg。仅少数人可能出现过敏反应,对于饮食中明显缺碘的地区风险会有所增加;但从总体上讲,服用稳定性碘对年轻人所产生的不良反应相对较小,而对老年人则较高。对妊娠期妇女,儿童和甲状腺疾患患者等不同的人群在服用稳定性碘时有不同的注意事项,应慎用或不用稳定性碘。另外掌握服药时机也很重要,受放射性碘污染前1~2 h服用最有效,勿多吃,也勿乱吃,不是放射性碘造成的核污染时不要服用,没有放射性碘污染或该威胁距离还很远时均没必要服用。

4 必须直面核电站安全和医学应急救援问题

核电站是以核反应堆来代替火电站的锅炉,以核燃料在核反应堆中发生可控核裂变反应产生热量,使核能转变成热能,来加热水使之变成蒸汽。蒸汽通过管路进入和推动汽轮发电机发电,使机械能转变成电能。进入21世纪以来,为满足能源增长需要,减少温室气体排放,世界上很多国家开始了新一轮核电建设,我国核电也进入了快速发展期。第十一届全国人大第四次会议批准的《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》指出,要在确保安全的基础上高效发展核电。这一方针强调了核电发展的两个关键点,即安全和高效。目前,核电在不少国家电力供应中占有较大比重。核电发电量超过20%的国家和地区有16个,其中法国核电占总发电量的比率高达77%,整个欧盟平均占35%,日本占34%,美国占20%;而我国只占1.12%,远低于世界平均16%的水平。以核电替代部分煤电,不但可以减少煤炭的开采、运输和燃烧总量,降低对资源环境的压力和对大气的污染,而且是电力工业节能减排的有效途径。以我国为例,目前投入运行核电机组13台,装机容量约1 080万千瓦,相当于每年减少二氧化碳排放约6 700万吨,减少二氧化硫排放25万吨,减少氮氧化物排放15万吨。中国已经向世界承诺,争取到2020年非化石能源占一次能源消费比重达到15%左右,单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%,核电将为实现这些目标发

挥重要作用。随着核电规模的不断扩大,必将对提高我国应对气候变化能力、保护全球气候系统做出更大的贡献。根据“十二五”规划,到2015年全国核电运行装机容量要达到4 000万千瓦,是目前核电发电能力的4倍。日本核电事故给我国敲响了警钟,目前国务院决定组织对我国核设施进行全面安全检查,加强正在运行核设施的安全管理,全面审查在建核电站;并严格审批新上核电项目,抓紧编制核安全规划,调整完善核电发展中长期规划,在核安全规划批准前暂停审批核电项目包括开展前期工作的项目。但是,暂停并等于不发展核电事业,而是将以更加科学、更加安全、技术也更先进的理念进行建设。今后在核电发展过程中,对不可预知的事情要做好方案,核电选址尽量远离人口密集地区,选在自然灾害、意外事故发生可能性小的地区。国家发改委副主任、国家能源局局长刘铁男最近表示,安全高效地发展核电,是实现未来清洁能源发展目标的重要途径之一。环保部副部长张力军也称,“在设施安全的情况下,中国不会改变未来发展核电的决心。”

在审慎、科学地发展核电事业的同时,我国也应加强相应的核电站核事故医学救援和防护研究建设,应吸取前苏联切尔诺贝利核电站事故和日本福岛核电站事故的经验教训,从应急响应体系、政策法规、人才队伍、技术装备、特种防护手段等方面,重新审视国内现状,加强研究和完善建设,确保一旦核电站发生核事故时,将损失减少到最低点,有效保障公众和职业人员的身心健康。

[参考文献]

- [1] International Atomic Energy Agency. The International Nuclear and Radiological Event Scale[EB/OL]. [2011-04-11]. <http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English/ines.pdf>
- [2] 程天民. 军事预防医学概论[M]. 北京:人民军医出版社,1999.
- [3] 陈 杞,韩 玲,游冬青,蔡建明. 核生物医学基础与应用技术[M]. 上海:第二军医大学出版社,2007.
- [4] Pacini F, Vorontsova T, Demidchik E P, Molinaro E, Agate L, Romei C, et al. Post-Chernobyl thyroid carcinoma in Belarus children and adolescents: comparison with naturally occurring thyroid carcinoma in Italy and France[J]. J Clin Endocrinol Metab, 1997, 82: 3563-3569.
- [5] 蔡建明,李 雨. 核与辐射突发事件知识百问[M]. 上海:第二军医大学出版社,2011.
- [6] 叶常青,任天山,喻名德. 核试验环境辐射与人类健康[M]. 北京:国防工业出版社,2000.

[本文编辑] 邓晓群