

某涉氚操作实验室源项调查活动 对人员和环境的影响

但贵萍, 文 炜, 谭昭怡, 杜 良, 曾俊辉

(中国工程物理研究院 核物理与化学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要:在某涉氚实验室退役前期,为获得其中的放射性物质和其他有毒有害物质的信息,开展了源项调查。在源项调查活动中,根据该实验室的具体情况,采取了适当的辐射防护措施,并对从事该源项调查的工作人员和周围居民所受的放射性危害进行了监测和分析。结果表明:此次源项调查活动对该实验室所在的厂址环境有一定的影响,实验室外 10 m 范围内空气中的 HTO 略有升高,植物中氚含量明显提高,河水中的氚浓度均有一定程度的上升,但环境中的总 α 、总 β 仍处于当地本底水平范围;在进行源项调查期间,工作人员因氚所致的内照射最大值为 0.111 mSv,公众所受的个人剂量为 7.750×10^{-5} mSv。

关键词:源项调查;辐射防护;辐射剂量

中图分类号:TL943

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2012)S0-0645-05

Effect on Worker and Environment in Survey of Source Term for Decommission Tritium Laboratory

DAN Gui-ping, WEN Wei, TAN Zhao-yi, DU Liang, ZENG Jun-hui

(China Academy of Engineering Physics, P. O. Box 919-219, Mianyang 621900, China)

Abstract: The survey of the source terms was carried out before a tritium laboratory decommission. The radiation protection for the action was reported based on the lab condition, and the radiation dose of the worker and the people who lived around were analyzed. The results show that the investigation has a little influence for the lab environment. During the actions the maximum value of radiation internal dose for worker is 0.111 mSv from HTO, and it's 7.750×10^{-5} mSv for the people who lived around the lab.

Key words: source term investigation; radiation protection; radiation dose

在某涉氚实验室退役前期,为获得其中的放射性污染物,放射性废物以及其他有毒有害物质的种类、污染程度、污染位置、污染范围和运行期间实验室中放射性流出物及其他有毒有害物质流出物对环境造成的污染状况等信息,

启动了该实验室的源项调查。

在该实验室决定退役前,其部分设施已无法正常运转,虽然在进行了该源项调查活动前对实验室内的通排风设施进行了改造和完善,但无法使其恢复到实验室运行时期的正常状态,

使得实验室内弥散在空气中的 HTO 无法通过通排风设施迅速排放。因此,在源项调查过程中,需对由 HTO 所致的氚的内照射辐射防护引起足够重视,在对工作人员的个人防护方面要重点考虑 HTO 的防护^[1-4]。

1 实验室源项调查中采取的防护措施

1.1 现场源项调查简述

现场源项调查内容包括实验室内物件登记、实验室内放射性调查以及实验室外环境调查等。

该实验室具有一定的涉氚历史,在操作过程中产生了大量被氚污染的各类物件,同时还残留了一些实验室运行中的氚污染废物。在此次源项调查中,需对实验室内现存的物件进行登记、对实验室内放射性进行调查等,由于要深入实验室进行物件清理、登记、测量、取样等操作,不可避免会受到³H 的放射性危害,因此,需做好相应的辐射防护措施。

1.2 源项调查中的辐射防护措施

根据惯例,源项调查中辐射防护重点是工程防护和个人防护^[5]。

1.2.1 工程防护措施 本次源项调查中主要通过实验室内通排风系统和监控人员进出来实现工程防护。在源项调查工作正式实施前,首先尽量恢复该实验室的通排风和照明设施,对已严重损坏无法恢复通排风的房间,配置临时局排代替排风系统;根据涉氚实验室具体情况,在其门口设计建立 1 个临时过渡区(图 1),专供调查人员穿脱防护用品和进出实验室使用,同时也便于对调查人员的监控。具体措施如下:1) 通排风系统运行。在源项调查实施过程中,在每班次调查人员进入实验室前均应先开启实验室通排风系统或局排系统,待通排风系统运行 20 min 后方能进入。2) 源项调查人员进出工号程序:(1) 源项调查过程中,调查人员

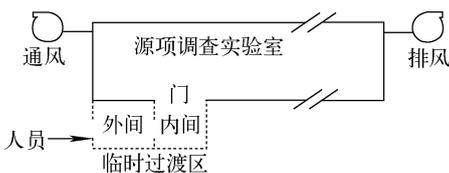


图 1 源项调查中临时过渡区示意图

Fig. 1 Diagram of transition during survey

进入实验室必须从过渡区进入,在外过渡区按要求穿戴防护用品,经检查合格后,由内过渡间进入实验室再进行源项调查现场作业;(2) 工作人员每班次调查结束时必须由过渡区步出。首先在内过渡间摘脱防护用品,经体表监测后,由外过渡间步出。

1.2.2 个人防护措施 在源项调查期间,除环境监测、实验室样品分析人员外,进行实验室源项调查的人员分为现场工作人员和辅助工作人员。其中,现场工作人员进入实验室内需进行监测、物件登记、取样、影像资料获得等具体工作;辅助工作人员在过渡区内协助现场工作人员进行防护用品穿戴、所需器材准备、样品及器材传递、撤出的现场工作人员体表监测、防护用品脱摘、影像资料获取等工作。进行实验室现场调查时,个人防护措施具体如下:1) 对于过渡间工作人员,内穿纯棉内衣,外穿棉质工作服,穿工作鞋袜,戴工作帽,戴特殊口罩;2) 对于现场工作人员,采用由内至外穿纯棉内衣、特殊防护服、长统塑料罩衣的 3 层整体防护,手部和上肢从内到外依次穿戴细沙手套、乳胶手套、粗纱手套、长统塑料套袖,脚部和下肢依次穿长统布袜、防滑工作鞋、薄塑料脚套与长统厚塑料脚套的三层重点加强型防护,为防止塑料地面打滑,在塑料脚套底部贴上白胶布,这样既可防止鞋底受放射性污染,又可防意外伤害,头部和面部采用带过滤阀的特殊口罩进行防护。

1.2.3 个人剂量监测 个人剂量监测主要包括外照射监测和内照射监测。对于该实验室,因氚的摄入所致内照射监测更为重要。内照射监测以尿氚样分析为主。分别留取工作人员的本底尿样和本次源项实施结束后的 24 h 尿样,同时留取部分未参加本次退役源项调查工作、未接触³H 人员的 24 h 尿样作为对照样。分别选取 3 位现场操作人员的尿样和对照样,工作人员的氚内照射剂量可采用连续均匀摄入模式计算,计算公式如下:

$$H_T = C(7.88 \times 10^{-8} T + 1.14 \times 10^{-7} T_b)$$

式中: H_T 为职业性辐射工作人员在均匀连续摄入情况下所受的内照射剂量, mSv; C 为均匀连续摄入情况下人体内体液中氚水浓度达到动态平衡时尿中氚水的浓度, Bq/L; T 为均匀连续摄入持续时间, d; T_b 为生物半排期,取 10 d;

7.88×10^{-8} 和 1.14×10^{-7} 为换算出的剂量转换因子, $\text{mSv}/(\text{d} \cdot \text{Bq} \cdot \text{L})$ 。

2 源项调查活动对环境的影响

在本次源项调查活动中,将分别对实验室周围环境(涉氡实验室建筑物周围 10 m 范围内环境)和外环境(涉氡实验室建筑物周围 10 m 外环境)的辐射水平进行监测。

2.1 源项调查对实验室周围环境的影响

2.1.1 环境中 HTO 测量结果 采用硅胶取样法,分别在源项调查前、调查中以及调查活动结束后对实验室周围环境(10 m 内)进行 HTO 浓度监测,测量结果列于表 1。监测结果表明,本次源项调查对工号周围环境造成了一定的影响。

2.1.2 环境植物取样测量结果 在涉氡实验室源项调查前与调查结束后,对实验室四周环境植物进行取样分析,结果列于表 2。表 2 结果表明,源项调查前及调查结束后环境植物氡含量测量结果分别为 $37.66 \sim 159.14 \text{ Bq/kg}$ 和 $1\,997.76 \sim 12\,021.86 \text{ Bq/kg}$,植物中氡含量有明显提高,说明此次活动对实验室周围环境植物影响较大。

2.1.3 环境土壤取样测量结果 分别在实验室

表 1 源项调查前、调查中及调查后实验室周围环境中 HTO 监测结果

Table 1 Content of HTO in environment around lab

序号	取样地点	测量结果/ $(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$	备注
1	实验室东面	1.58	调查前
2	实验室南面	0.54	
3	实验室西面	2.53	
4	实验室北面	7.25	
5	实验室东面	11.89	调查中
6	实验室南面	12.65	
7	实验室西面	9.00	
8	实验室北面	57.74	
9	实验室东面	1 101.89	调查后
10	实验室南面	139.33	
11	实验室西面	419	
12	实验室北面	194.54	

源项调查前与结束后,对其周围环境土壤取样分析,结果列于表 3。源项调查前及调查结束后实验室周围环境土壤中氡含量分别为 $8.80 \sim 59.97 \text{ Bq/kg}$ 和 $108.53 \sim 634.37 \text{ Bq/kg}$,可见,本次源项调查期间对土壤环境有一定影响。

表 2 环境植物取样分析测量结果

Table 2 Content of ^3H in plant around lab

样品号	样品类型	取样地点	氡含量/ $(\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1})$	取样时间
1	环境植物	实验室外南 10 m	149.71	调查前
4	环境植物	实验室外西北 10 m	147.39	
5	环境植物	实验室外北 8 m	159.14	
6	环境植物	实验室外北 10 m	52.66	
7	环境植物	实验室东北 8 m	69.51	
8	环境植物	实验室东 10 m	37.66	
9	环境植物	实验室东南 10 m	59.85	
10	环境植物	实验室外南 10 m	1 997.76	调查后
13	环境植物	实验室外西北 10 m	6 634.32	
14	环境植物	实验室外北 8 m	12 021.86	
15	环境植物	实验室外北 10 m	10 179.70	
16	环境植物	实验室东北 8 m	4 555.69	
17	环境植物	实验室东 10 m	3 935.69	
18	环境植物	实验室东南 10 m	5 976.76	

表3 环境土壤取样分析测量结果

Table 3 Content of ^3H in soil around lab

样品号	取样地点	氚分析结果/ ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)	取样时间	
1	实验室外南 10 m	25.83	调查前	
4	实验室外西北 10 m	36.31		
5	实验室外北 8 m	23.87		
6	实验室外北 10 m	8.80		
7	实验室东北 8 m	16.91		
8	实验室东 10 m	19.91		
9	实验室东南 10 m	59.97		
10	实验室外南 10 m	108.53		调查后
13	实验室外西北 10 m	139.60		
14	实验室外北 8 m	229.91		
15	实验室外北 10 m	373.91		
16	实验室东北 8 m	225.90		
17	实验室东 10 m	634.37		
18	实验室东南 10 m	161.24		

2.2 外环境监测结果

在对实验室进行源项调查期间,按照相关标准^[6],对实验室所在场址环境中空气和河水中的氚化水浓度进行了监测。监测结果列于表4、5。

表4 空气中的 HTO 浓度

Table 4 Content of HTO in environment air

监测地点	HTO 浓度/ $(\text{mBq} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-3})$		
	调查前	调查中	调查后
距实验室 3 km	0.33	0.69	1.42
实验室下风向 500 m	733.54	15.51	164.06
实验室下风向 50 m	3.02	103.73	22.94
实验室过渡间外	60.55	200.94	31.93

表5 河水中的放射性水平

Table 5 Content of HTO in river

监测地点	放射性水平/ $(\text{mBq} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-3})$			取样时间
	总 α	总 β	HTO	
距实验室下风向	0.044	0.039	5.66	调查前
500 m 处河水	0.035	0.088	41.73	调查后
距实验室	0.022	0.049	7.83	调查前
3 km 处河水	0.034	0.079	32.07	调查后

表4、5表明,在源项调查期间,该实验室周围环境空气中 HTO 浓度有明显变化,空气中最大氚浓度为 $0.2 \text{ Bq}/(\text{d} \cdot \text{m}^3)$ (在实验室过渡间旁);河水中的总 α 、总 β 略有升高,但仍在该地区本底范围内。

3 源项调查中个人所受的放射性危害

3.1 源项调查中工作人员所受的个人剂量

按照内照射剂量监测方法进行源项调查中因氚所致的个人内照射剂量监测,监测结果列于表6。

表6 源项调查过程中工作人员所受的内照射剂量

Table 6 Internal dose of worker during action

源项调查 人员序号	尿氚分析结果/ ($\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$)	剂量估算结果/ mSv
1	3 660	0.016
2	1 160	0.005
3	166.03	0.001
4	61.93	0.001
5	12 143	0.052
6	2 836	0.012
7	2 926	0.013
8	4 640	0.020
9	1 360	0.006
10	2 363	0.010
11	1 010	0.004
12	2 323	0.004
13	57 686	0.111

估算结果表明,源项调查过程中氚所致工作人员最大剂量为 0.111 mSv ,低于本次源项调查所制定的个人剂量管理目标值(2 mSv)。

3.2 源项调查中公众所受内照射剂量

根据本次源项调查实验室的具体情况,考虑了两种照射途径(污染空气浸没外照射和吸入污染空气内照射),采用大气扩散模式^[7-8],计算本次活动中距离实验室 $500 \sim 4 000 \text{ km}$ 范围内公众(厂区居民)所受的个人剂量,计算结果列于表7。

表7表明,本次源项调查中距离调查实验室 500 m 处居民所受的个人剂量最大为 $7.750 \times$

10^{-5} mSv,远低于设定的管理限值 0.02 mSv。

表 7 本次源项调查中公众所受的个人有效剂量

Table 7 Individual dose of public during action

距离/m	个人有效剂量/mSv
500	7.750×10^{-5}
1 500	2.830×10^{-5}
2 500	1.870×10^{-5}
4 000	1.295×10^{-5}

4 结论

1) 此次源项调查活动使实验室所在环境中的氚浓度有一些变化,其中实验室外 10 m 范围内空气中的 HTO 略有升高,实验室外 10 m 范围内植物中氚含量明显提高,实验室外土壤和河水中的氚浓度均有一定程度的上升,但环境中的总 α 、总 β 仍处于当地本底水平范围。

2) 在该实验室源项调查期间,工作人员所受的因氚所致的内照射最大值为 0.111 mSv,低于本次源项调查所制定个人剂量管理目标值(2 mSv);公众所受的最大个人剂量值为 7.750×10^{-5} mSv,低于设定的管理限值 0.02 mSv。

3) 本次源项调查采取的辐射防护措施得当,使从事源项调查的工作人员和环境所受的辐射剂量均低于本项设定的管理限值要求。

参考文献:

- [1] 杨怀远. 氚的安全与防护[M]. 北京:原子能出版社,1997.
- [2] 蒋国强,罗德礼,陆光达,等. 氚和氚的工程技术[M]. 北京:国防科技出版社,2007.
- [3] 但贵萍,常瑞敏,杜阳,等. 氚靶制备现场氚的辐射防护[J]. 四川环境,2008,27(6):104-108.
DAN Guiping, CHANG Ruimin, DU Yang, et al. The radiation protection on tritium in preparation tritide target[J]. Sichuan Environment, 2008, 27(6): 104-108(in Chinese).
- [4] 郭喜良,孙庆红,谷存礼. 核设施退役源项调查会议——IAEA 专家报告内容简介[J]. 辐射防护,2005,25(1):62-64.
GUO Xiliang, SUN Qinghong, GU Cunli. Introduction to the meeting of IAEA report: Nuclear facility decommissioning source investigation[J]. Radiation Protection, 2005, 25(1): 62-64(in Chinese).
- [5] ZWB 314—2009 核设施退役源项调查技术规范[S]. 绵阳:中国工程物理研究院,2009.
- [6] GB 12375—90 水中氚的分析方法[S]. 北京:国家环境保护局,1990.
- [7] 古清,李云生. 大气环境模式计算方法[M]. 北京:气象出版社,2002.
- [8] Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment: Safety reports series, No. 19[R]. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.