

某化工企业 54MW 磷炉内三枚放射源去向调查

赵维钧, 普家云, 周 娜

中图分类号: TL73 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)03-0343-02

【摘要】 目的 调查某化工企业 54MW 磷炉内放射源去向。方法 依据国家标准的监测方法。结果 发现三枚放射源烧熔后聚集在碳磷砖内的磷铁中。结论 放射源的烧熔属工艺设计缺陷, 在工艺设计中应考虑所用放射源的理化特性。

【关键词】 放射源; 污染; 理化特性

2007年 1月云南省辐射环境监督站接到昆明某化工有限公司关于 54MW 磷炉内放射源在检修时不知去向的电话报告后, 立即组成调查组到该企业进行实地调查。

炉渣和磷铁两种废物, 炉渣经由两个高于炉底的渣口排出, 结构见图 1。

1 情况介绍

该公司的 54MW 磷炉装置, 设计生产能力为 3万 t黄磷/a 是上世纪 80年代从德国赫斯特公司成套引进的。其生产工艺为: 磷矿经过破碎、烘干、磨粉、造粒、烧成球团, 并与合格焦炭和硅石按磷炉运行所需比例经电子秤配料入炉, 电能通过电极产生大量的热, 炉料在炉内高温熔融进行化学反应而制得气态磷, 气态磷经静电除尘器除尘, 通过冷却塔, 气态磷转变为粗磷, 粗磷经过滤器过滤后成为产品黄磷。生产过程中产生

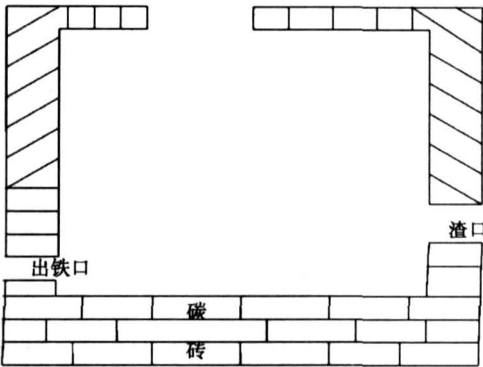


图 1 磷炉示意图

作者单位: 云南省辐射环境监督站, 昆明 云南 650034
作者简介: 赵维钧(1962~), 男, 高级工程师, 从事辐射监测监管工作。

(吴俊、卢若翩等参加了本工作。本项目得到了深圳市疾病预防控制中心和广东大亚湾核电站协助和支持, 得到耿秀生、问清华主任的指导, 在此表示感谢。)

表 3 核电站厂边工作(男) 个人体内 ⁴⁰K 沉积量 (kBq)

年 龄 岁	总 人 数	均 值	体 重 (kg)										身 高 (cm)							
			<50		50 ~		60 ~		70 ~		> 80		<160		160 ~		170 ~		>180	
			人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值
20 ~	100	5.84	9	6.74	36	5.78	42	5.69	10	5.77	3	6.35	1	6.95	52	5.59	41	5.96	6	7.08
30 ~	216	5.94	5	6.02	49	6.89	113	5.29	39	6.67	10	5.78	2	6.60	124	5.65	82	6.34	8	6.26
40 ~	94	6.44	3	5.29	23	7.01	28	6.67	35	6.04	5	5.93	2	5.27	52	6.24	39	5.37	1	6.03
50 ~ 60	4	5.84	1	4.83	1	7.30	1	5.16	0	0.00	1	6.05	0	0.00	2	6.44	1	5.64	1	4.94
合计	414		18		109		184		84		19		5		230		163		16	
\bar{x}		6.02		5.72		6.75		5.70		6.16		6.03		6.27		5.98		5.82		6.08
$\pm SD$		± 0.28		± 0.84		± 0.67		± 0.68		± 0.46		± 0.24		± 0.89		± 0.42		± 0.42		± 0.88

表 4 核电站厂边工作人员 个人体内 ⁴⁰K 沉积量 (kBq)

年 龄 岁	总 人 数	均 值	体 重 (kg)										身 高 (cm)							
			<50		50 ~		60 ~		70 ~		> 80		<160		160 ~		170 ~		>180	
			人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值	人数	均值
20 ~	41	5.92	38	5.94	3	5.75	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	4.99	32	5.60	7	5.36	0	0.00
30 ~	40	6.81	29	6.94	11	6.48	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	6.13	33	7.01	5	5.79	0	0.00
40 ~	19	4.96	15	4.78	3	5.19	1	6.97	0	0.00	0	0.00	7	5.89	12	4.41	0	0.00	0	0.00
50 ~ 60	3	5.10	2	4.85	0	0.00	1	5.59	0	0.00	0	0.00	1	6.02	2	4.64	0	0.00	0	0.00
合计	103		84		17		2		0		0		12		79		12		0	
\bar{x}		5.70		5.63		5.80		6.28					5.76		5.42		5.57			
$\pm SD$		± 0.86		± 1.02		± 0.65		± 0.97					± 0.25		± 1.18		± 0.31			

参考文献:

[1] 诸洪达, 刘庆芬. 中国成年男子摄入原生放射性核素所致内照射剂量估算 [J]. 辐射防护 2005 25(2): 91-101.

[2] 中华人民共和国卫生部. 核电站环境放射卫生监测和公众健康状况调查规范 [S]. 1985.

[3] 郭力生, 耿秀生. 核辐射事故医学应急 [M]. 北京: 原子能出版社, 2004.

(收稿日期: 2007-02-02)

为有效监视黄磷电炉底层碳砖的烧蚀程度,原磷炉内设计用 21 枚 $5.55 \times 10^7 \sim 37 \times 10^7 \text{ Bq}$ ($1.5 \sim 10 \text{ mCi}$)、总活度为 $307.1 \times 10^7 \text{ Bq}$ 83 mCi 的钴-60 放射源进行检测,以避免黄磷电炉炉底烧穿的特大安全事故。其原理当碳砖烧蚀后,碳砖内的放射源也被熔化,从而聚集到磷铁及炉渣中,通过检测磷铁及炉渣中的放射性强度,从而得知磷炉内碳砖的烧蚀程度。

2005 年该公司进行了技术改革,用热电偶测量碳砖温度的方法替代放射源检测,经试验其方法可行。2006 年 5 月电炉投入生产前,公司考虑到热电偶监测再作进一步的验证,在炉壁和炉底安装了 13 只热电偶,取消 18 枚放射源的使用并已依法移交云南省放射性废物库收储,留三枚放射源检测配合热电偶检测,分别安装在三根电极下方炉底第一层碳砖内,深度为 250mm 确保炉底不被烧穿引发事故。

2 调查

2007 年 1 月调查组到达该化工有限公司现场,在听取了相关人员的情况报告后,查看了相关资料,采用 BH3103B 型便携式 X-γ 辐射剂量率仪^[1]分别对 54MW 磷炉炉内部、出渣口、出铁口、放射源位置、炉渣、碳砖、磷铁和磷矿进行了现场监测,其结果见表 1。从表 1 可以看出:54MW 磷炉炉内部及周围测值较环境背景值稍高,这是因为磷矿本身就伴有放射性,属于正常情况。

表 1 对 54MW 磷炉炉不同部位的监测结果

序号	测量位置	平均值 ± 标准差 ($\times 10^{-8} \text{ Gy/h}$)
1	左电极下方	21.6 ± 0.7
2	中电极下方	21.7 ± 0.5
3	右电极下方	21.7 ± 0.5
4	三个电极中心位置	23.0 ± 0.4
5	出磷铁口	18.6 ± 0.8
6	左出渣口	21.6 ± 0.6
7	右出渣口	12.8 ± 0.7
8	磷矿堆场	11.1 ± 0.6
9	右出渣口外	12.8 ± 0.7
10	左出渣口外	10.3 ± 0.4
11	出铁口外	7.9 ± 0.5
12	出铁口右槽	13.0 ± 0.4
13	出铁口左槽	12.0 ± 0.4
14	右铁床	12.7 ± 0.7
15	左铁床	15.4 ± 0.6
16	磷铁矿堆场	6.3 ± 0.2
17	炉渣堆场	14.8 ± 0.7
18	碳砖存放处	6.1 ± 0.3
219	电仪车间外(环境背景值)	6.7 ± 0.4

该公司工作人员在清理磷炉炉内第二层碳砖时发现磷铁,共有三袋 95.6kg。经公司同位素班检测辐射剂量较高,调查组采用 BH3103B 型便携式 X-γ 辐射剂量率仪对该磷铁进行了现场检测,监测数据见表 2。由表 2 可以看出,碳砖下的磷铁辐射剂量明显比从出铁口排出的磷铁高。

由于磷矿中伴有放射性,其放射性核素为铀系、钍系和铀系^[2],一般不会含有人工核素⁶⁰Co。为定性定量分析⁶⁰Co 去向,调查组对可能的去向地进行了取样,分别为:炉灰混样、右铁槽磷铁混样、左铁槽磷铁混样、炉渣混样、碳砖下磷铁样。并采用大型多道 γ 能谱仪进行能谱分析^[3],分析结果见表 3。

从实验室 γ 能谱仪的分析结果和现场的 γ 辐射剂量率监测结果可知,烧熔的⁶⁰Co 主要聚集在碳砖下的磷铁中。

表 2 对 3 袋磷铁的监测结果

序号	测量点位描述	平均值 ± 标准差 ($\times 10^{-8} \text{ Gy/h}$)
1	碳砖下部磷铁 1#	49.1 ± 1.8
2	碳砖下部磷铁 2#	90.0 ± 2.1
3	碳砖下部磷铁 3#	58.3 ± 2.0
4	堆场磷铁(对照)	6.3 ± 0.2

表 3 钴-60 监测分析结果

序号	样品名称	钴-60 (Bq/kg)
1	碳砖下磷铁	4380.46
2	炉灰混样	0.58
3	右铁槽磷铁混样	未检出
4	左铁槽磷铁混样	未检出
5	炉渣混样	未检出

3 钴-60 的去向分析

(1) 磷矿中伴有放射性,其放射性核素为铀系、钍系和铀系,一般不会含有人工核素钴-60。

(2) 54MW 磷炉产生的相关物质是磷铁、炉渣、碳砖,各种物质的比重是磷铁 7.6 g/cm^3 、炉渣 1.1 g/cm^3 、碳砖 1.6 g/cm^3 ,而钴-60 的比重是 8.9 g/cm^3 重于磷铁、炉渣和碳砖,从理论上讲钴-60 应该沉积在炉底底部。

(3) 放射性物质不会因为人工和物理化学的方法而改变^[4],即使 54MW 磷炉产生气态磷,钴-60 也不会随气态磷排出和挥发。

(4) 三枚钴-60 放射源已查明为 1993 年生产,初始活度为 $3.7 \times 10^7 \text{ Bq}$ (1 mCi),现已经过 13a 两个多的半衰期(钴-60 半衰期为 5.27a),现实活度为 $6.66 \times 10^6 \text{ Bq}$ (0.18 mCi)。

4 事故原因

(1) 工艺设计缺陷。钴-60 放射源检测其原理为当碳砖烧蚀后,碳砖内的放射源也被熔化,从而聚集到磷铁及炉渣中,通过检测磷铁及炉渣中的放射性强度,从而得知磷炉内碳砖的烧蚀程度。54MW 磷炉生产时,炉内温度可达 1600°C ,而钴-60 熔点为 1495°C 、沸点 2870°C ,所以钴-60 可能会熔融到底部磷铁中。

(2) 用热电偶测量和放射源熔融到磷铁中来监测碳砖烧蚀程度的方法还有待进一步论证,生产过程中炉底第一层碳砖烧熔 1/3 时,热电偶才表现出温度升高,此时放射源已烧熔,且向底部沉积,不易从出铁口检出钴-60。

5 结论

(1) 此次事故定性为工艺设计事故,放射源检测炉底烧熔程度从技术上、从环境管理上是不可取的。

(2) 钴-60 放射源已熔融在磷炉炉内第二层碳砖处收集的磷铁中,只要妥善处理好,事故不会对周围环境产生放射性污染。

(3) 磷炉炉内第二层碳砖处收集的磷铁,共有三袋 95.6kg。按照《城市放射性废物管理办法》应作为放射性废物进行处置。

参考文献:

[1] GB/T 14583-93 环境地表 γ 辐射剂量率测定规范[S].
[2] 《注册核安全工程师岗位培训丛书》编写委员会.核安全综合知识[M].北京:中国环境科学出版社,2004:45.
[3] GB 11743-89 土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S].