

文章编号: 0253-9950(2004)01-0034-04

高放泥浆研究

高放泥浆取样系统的研制及取样

刘坤贤¹, 李韶华¹, 郑立英¹, 丁戈龙^{1*}, 张燕春¹, 梁俊福², 宋崇立²

1. 兰州核燃料厂, 甘肃 兰州 732850;

2. 清华大学 核能技术设计研究院, 北京 102201

摘要:介绍了我国自行研制的高放泥浆取样系统的设计原则、结构组成及工作原理,并将该系统用于现场取样。取样结果表明,该取样系统安全可靠,可定位定量、方便快捷地完成取样工作,已成功应用到高放泥浆取样工作中。

关键词:高放泥浆; 取样系统; 取样

中图分类号: O615.3 **文献标识码:** A

核燃料后处理产生的高放废液(HLLW)长期放置,会出现不溶固体物^[1,2]。在我国和美、法等国的某些酸性高放废液贮罐底部,均已发现泥浆层^[3,4]。泥浆的处理是后处理厂退役和高放废液处理处置时必须解决的问题。

在模拟高放泥浆的研究^[5,6]之后,获得有代表性的泥浆样品是真实高放泥浆研究的关键之一。本工作拟从兰州核燃料厂 1 号高放废液贮槽中进行高放泥浆的取样。但由于高放废液的放射性活度很高,又没有混合搅拌装置,在现有条件下,取样的唯一途径只能通过贮槽中心的备用仪表套管,另外,槽内泥浆的厚度和坚固程度都不清楚,加之贮槽结构复杂,内有多组冷却器,这就为高放泥浆的取样增加了很大难度。

文献[4]报道了利用真空取样装置进行高放废液的取样,但由于其结构限制,不能满足泥浆取样的要求。本实验依据大罐现状,自行研制加工了泥浆取样系统。本系统已成功进行了多次高放泥浆的取样。证明该取样系统安全可靠,可定位定量、方便快捷地完成取样工作,能成功应用到泥浆取样工作中。

1 取样系统的研制

1.1 设计原则

取样系统的设计必须遵从下列原则:取样过程安全可靠,取样现场剂量及操作人员受照剂量均符合有关规定;系统操作简单,样品转运方便,工作时间短;准确取出指定位置的样品,保证样品的代表性和数量;控制固体废物数量,确保工作现场不被污染。

1.2 取样系统的组成

取样系统由取样器、取样器吊杆、取样工作箱、清洗系统、样品容器及其运输防护容器、送样小车等组成。

1.2.1 取样器和取样器吊杆 取样器由筒体、弹簧、密封阀、操纵杆组成。能定量取出高放泥浆样品,每次取样量不少于 75 mL,结构示意图示于图 1。

取样器下部为 $\phi 40 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 的不锈钢筒,容量约 150 mL,上部为高 100 mm 的锥体结构,这样在提升取样器时,不易被仪表套管上口挡住,筒体头部开有 $\phi 15 \text{ mm}$ 的取样口,由密封阀密封。密封阀下端用偏四氟乙烯(F40)制成,密封效果较好。

收稿日期:2003-03-10; 修订日期:2003-07-25

基金项目:国家“九五”科技攻关资助项目(96-A18-02-03)

作者简介:刘坤贤(1942—),男,广东兴宁人,高级工程师,化学工程专业。

* * 通讯联系人

弹簧安装在取样器内,利用弹簧压力关闭密封阀,弹簧压强大于 0.2 MPa,以防止取样器通过清液层时,液体压力顶开密封阀使清液进入筒体。

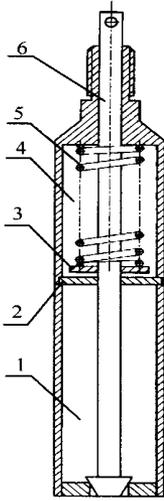


图 1 取样器结构示意图

Fig. 1 Structure of the sampler

- 1—装料筒 (Sample column), 2—隔离板 (Separation plate),
- 3—支承板 (Bracket plate), 4—弹簧箱 (Spring box),
- 5—弹簧 (Spring), 6—密封杆 (Sealing rod)

操纵杆为 $\phi 10 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 不锈钢管,下端与密封阀联接,上端接钢丝绳,用手动方式操纵密封阀的开关。

取样器吊杆与取样器顶部连接,是取样器进、出贮槽的吊杆,并具有取样器定位的作用。由 18 根 $\phi 18 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 可拆装的不锈钢管组成。结构示于图 2。

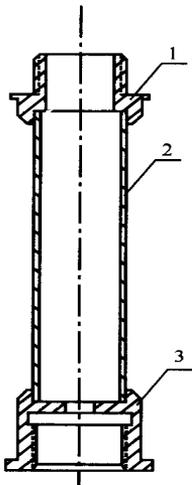


图 2 取样器吊杆结构示意图

Fig. 2 Structure of the sampling boom

- 1—接头 (Screw nut 1), 2—管 (Ture),
- 3—接头 (Screw nut 2)

1.2.2 取样工作箱和冲洗系统 工作箱用 3 mm 厚不锈钢板制成,其结构侧视图示于图 3。工作箱正面装有两把剑式机械手,机械手上方为窥视窗,安装有两层铅玻璃。工作箱顶部安装有照明装置以及取样器吊杆放置管的连接法兰。工作箱一侧装有将样品移出工作箱的转运门。

工作箱内部有两个取样器固定支架,一个是取样时固定、控制取样器的,另一个是取样后固定取样器倾倒样品的。工作箱内还设有清洗上水管,以清洗取样器吊杆和取样器。

工作箱置于离地面 700 mm 高的支架上,箱体下部与贮槽仪表法兰间用 $\phi 57 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 管连接。顶部与仪表法兰连接管对应处装有防护套管,取样器即从此管口吊起。

工作箱的屏蔽采用 70 mm 厚的铅砖,屏蔽面为工作箱四周及顶部。工作箱底部的仪表法兰连接管及顶部的防护套管均由 10 ~ 20 mm 厚的铅皮屏蔽。屏蔽铅砖总重达 5 t。

在工作箱下部和内部安装有冲洗管,在取样操作过程中冲洗取样器吊杆及取样器外表面,以降低取样器吊杆及取样器外表面的放射性活度,并在取样完毕后,可对整个取样装置及工器具清洗去污,为取样装置的最终处置提供安全保证。

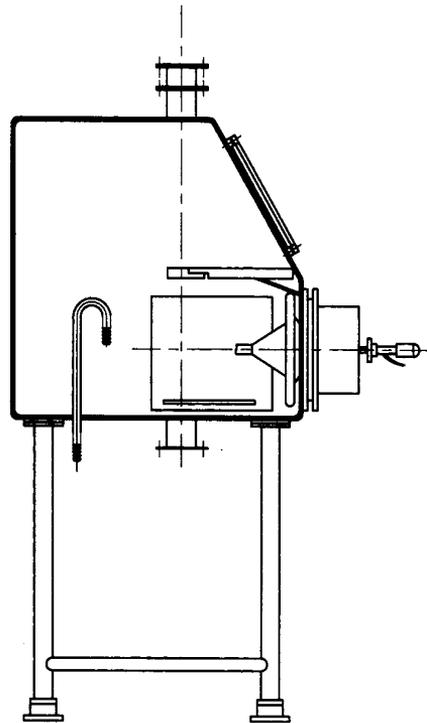


图 3 取样工作箱结构侧视图

Fig. 3 Structure of the sampling box

1.2.3 样品容器及运输防护容器 样品容器由不锈钢制成,容积约 120 mL,上口有密封盖,以防在送样过程中样品溢出。结构示意图见图 4。样品容器铅罐由不锈钢灌铅制成,在样品容器从工作箱转运门移至送样铅罐及整个运输过程中,起屏蔽作用。送样铅罐由铅制成,用于送样过程中的屏蔽。屏蔽后铅罐外剂量率小于 $1.6 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ 。

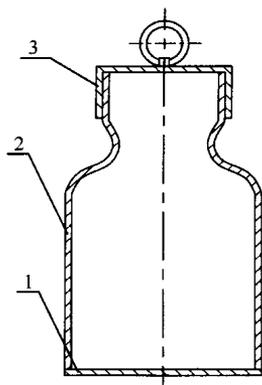


图 4 样品容器结构示意图

Fig. 4 Structure of the sample container

1——底板 (Bottom plate), 2——瓶体 (Container),
3——瓶盖 (Container cap)

2 生产堆高放泥浆的取样

2.1 取样步骤

将取样器吊杆及取样器按要求连接好,从工作箱顶部的防护套管,通过工作箱插入高放废液贮罐,并深入到贮槽底部,再将取样器向上提升至要求的取样高度,固定,停留 10 min 以上。手动搅动钢丝绳,拉起取样器内密封阀,泥浆在液体压力下压入取样器,10 min 后松开钢丝绳,密封阀在弹簧压力下关闭。打开冲洗阀门,边冲洗擦拭取样器吊杆及取样器,边提升吊杆,当取样器到达

工作箱中规定高度时,固定取样器吊杆及取样器,用机械手将样品容器及漏斗移至取样器正下方,对准取样孔,打开取样器密封阀一段时间,待样品全部流出后,关闭密封阀,盖上容器密封盖,用机械手将之转入样品容器铅罐,并置于转运门托盘上,打开转运门,用提样铁钩将容器铅罐放入送样小车上,送样铅罐中,盖上屏蔽盖。用送样小车将样品送至分样厂房后区,通过转样小车转运至热室。

2.2 模拟取样

在真实高放泥浆取样之前,进行了多次模拟高放泥浆的取样实验和运输联动实验。实验采用 $\phi 4\ 500\ \text{mm} \times 3\ 000\ \text{mm}$ 的贮槽,液位高度 2 700 mm,沉淀层厚度为 100 ~ 150 mm,模拟高放泥浆和高放料液采用硝酸钠水溶液、钛白粉、去离子水配制而成,溶液密度为 1.32 g/mL,所用取样器及取样器吊杆总长 3 720 mm。模拟取样实验考验了取样装置的取样能力、取样速度、密封性和操作性能。结果表明取样器的主要性能都满足设计要求。

2.3 兰州核燃料厂 1 号高放废液贮槽内泥浆的取样

取样前,为防止气溶胶外泄,加大贮槽内负压。当取样器伸入至理论计算深度时,听到金属碰撞的一声闷响,确定已到达贮槽底部,同时说明贮槽底部无厚的坚固的沉淀层,按照步骤 2.1 顺利完成取样。一次取样耗时约 40 min。

从 1998 年到 2000 年,利用此取样系统在兰州核燃料厂 1 号高放废液贮槽内不同深度(距罐底 1, 5, 10, 30 cm 处)共取样多次,取样全部成功。

取样时对环境剂量和参加取样人员的受照剂量进行了监测,数据列入表 1、表 2。结果表明该套取样装置的安全性能有足够保证。

表 1 取样时的环境辐射场剂量监测数据

Table 1 Radioactivity of the sampling action

取样位置 (Sampling zone)	$D/(\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1})$		
	取样前 (Before sampling)	取样中 (Sampling)	取样后 (After sampling)
取样操作间 (Sampling house)	62	7.8×10^{-2}	1.2×10^{-2}
工作箱操作面 (Table of the sampling box)	62	7.8×10^{-2}	-
工作箱转运门 (Door of the sampling box)	62	7.8×10^{-3}	7.8×10^{-3}
仪表套管 (去盲板) (Instrument tube)	3.1×10^{-3}	9.4×10^{-4}	-
取样器 (Sampler)	0	-	4.7×10^{-4}

表 2 取样人员的受照剂量当量
Table 2 Dose equivalent of the sampling workers

工作内容(Action)	H/ mSv
取样箱操作(Operators of the sampling box)	0.5
操作取样器吊杆及取样器密封阀(Operators of the sampling boom)	0.4
转移样品(Operators of the sample transfer)	0.4
运输样品(Operators of the sample transport)	0.1
现场指挥(Leaders of the sampling action)	0.1

3 结 论

(1) 取样器与取样器吊杆各接口密封面均采用 F40 材质,既保证了密封,又不易被腐蚀。取样过程中,操作人员通过窥视窗可清楚地观察到取样器无泄漏、渗漏现象。保证了取样量及取样真实性。

(2) 根据理论计算,取样器从取样工作箱防护套管上端伸入至高放废液贮槽底部,总高度约 11.2 m。在实际取样过程中,取样器吊杆伸入取样系统长度为 10.93 m,取样器高度为 0.3 m,总长度 11.23 m,与理论计算相符。在此基础上,将取样器提升至指定高度可保证定位的准确性。

(3) 整个取样过程中,严格控制了现场人员的受照剂量,充分发挥清洗装置两个冲洗点的作用,依据理论计算的屏蔽厚度布置现场防护,实际取样中现场剂量场及个人受照剂量均符合防护要求,表明取样系统的防护与清洗起到了应有的作用,该高放泥浆取样系统的安全性能可靠。

(4) 经过对历次取出的样品分析,发现同一位置多次取样样品无论在物理性能还是化学成分上

都相同。不同层面样品的规律性较明显,基本性质符合理论推算,证明样品的代表性良好。

参考文献:

- [1] Barbero P, Cecille L, Mannone F, et al. Schemas de Separation des Effluents Nuclearires a Haute Activites (HAM) Faisant Appel a l'Extraction Par Solvent-procedes HDEHP et TBP[R]: 6292EN/FR. Italy: ISPRA. 1981, 211 ~ 224.
- [2] Campbell D O, Buxton S R. Hot Cell Studies of Light-water Reactor Fuel Reprocessing[J]. Trans Am Nucl Soc, 1976, 25:232.
- [3] Donald C Stewart. Data for Radioactive Waste Mairagement and Nuclear Applications[M]. [s.l.]: John Wiley & Sons Inc, 1985.
- [4] 金立云,张怀礼,陈连仲. 高放废液化学成分分析[J]. 原子能科学技术,1992,26(5):1~5.
- [5] 梁俊福,宋崇立,潘翠玲,等. 高放泥浆研究. 模拟高放泥浆的配制及性能研究[J]. 核化学与放射化学,2000,22(1):37~44.
- [6] 梁俊福,宋崇立,刘学刚,等. 高放泥浆研究. 模拟高放泥浆中核素的去除[J]. 核化学与放射化学,2001,23(3):129~134.

The Preliminary Study of High-level Radioactivity Sludge

. Study on Sampling System and the Sampling Action of the HLRS

LIU Kun-xian¹, LI Shao-hua¹, ZHENGLi-ying¹, DING Ge-long¹,
ZHANG Yan-chun¹, LIANGJun-fu², SONG chong-li²

1. Lanzhou Nuclear Fuel Complex, Lanzhou 732850, China;

2. Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 102201, China

(下转第 52 页,Continued on page 52)

Abstract :The qualitative and quantitative analysis of light hydrocarbons produced by radiation degradation of N,N-diethyl hydroxylamine are reported. These analyses are performed on the gas chromatography in which a porous layer open tubular column coated with aluminum oxide and a flame-ionization detector are used. When the doses are between 10 and 1 000 kGy ,the main light hydrocarbons produced by radiation degradation of N,N-diethyl hydroxylamine are methane , ethane , ethene , propane and *n*-butane. The volume fraction of methane ,ethane , *n*-butane and propane are increased with the increase of dose. The volume fraction of ethene is also increased with the increase of dose at first , however ,when the absorbed dose is higher than 500 kGy , The volume fraction of ethene is decreased with the increase of dose.

Key words : N,N-diethyl hydroxylamine ; radiation degradation ; light hydrocarbons ; gas chromatogram

(上接第 37 页 ,Continued from page 37)

Abstract :An integrated sampling facility is designed for sampling high-level radioactive sludge (HLRS) . The designing guideline , structure of components , assembling and operation are described in detail. The sampler has been successfully used to sample HLRS from HLLW storage tanks for many years. The operation experience indicates that the sampler works safely and reliably. By using this sampler a requested volume of HLRS can be quickly sampled from any selected position in storage tank.

Key words : high-level radioactive sludge(HLRS) ; sampling system ; sample