

# 云南煤矿天然放射性水平调查

喻亦林

中图分类号: X591 文献标识码: B 文章编号: 1004 - 714X( 2007) 02 - 0196 - 03

**【摘要】** 目的 查明云南煤矿天然放射性水平。方法 通过实地调查, 采样测量煤中放射性核素<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>226</sup>Ra的比活度, 按煤质分区统计及对比。结果 云南褐煤放射性水平整体高于全国, 部分褐煤放射性水平波幅较大, 滇西存在典型的铀钍煤共生矿; 云南烟煤放射性水平整体不高; 云南无烟煤放射性水平较低。结论 云南煤矿放射性水平整体高于全国, 煤的炭化程度与放射性水平密切相关。

**【关键词】** 云南; 煤矿; 放射性; 调查

## 1 云南煤矿资源概述

煤中铀的来源不是形成煤的原始植物, 铀是煤的后生组分。煤对铀的吸附、还原作用说明铀在煤中聚集的有机化学原因。在成煤植物的煤化、变质过程中, 腐植酸含量较高, 当含铀水溶液流过煤层或泥炭沼泽地带时, 煤中有机质可使铀固存下来。古生代煤层由于煤的变质程度很深, 煤中固定铀的有机质大部分遭到破坏而失去固定铀的能力, 固年代古老的海相沉积煤很少有铀矿化。中生代特别是新生代煤层, 多属于湖相沉积类型, 煤的变质程度较浅, 煤中有机物固定煤的能力较强, 故铀煤共(伴)生矿床主要产于陆相沉积的构造中, 铀矿化发生于变质程度较浅的晚期含煤盆地中<sup>[1]</sup>。我国已发现煤炭资源总储量为 10142亿 t, 按变质程度分, 低变质烟煤占 34%, 中变质烟煤占 33.2%, 贫煤、无烟煤占 18.8%, 褐煤占 14%。云南累计探明煤矿储量 244.0亿 t, 其中: 褐煤 154.4亿 t, 烟煤 42.9亿 t, 无烟煤 41.8亿 t, 其他 1.5亿 t<sup>[2]</sup>。

云南煤炭具有类型、煤种齐全, 成煤期众多, 资源丰富, 分布不均衡的特点。煤矿分属七个成煤期, 晚古生代以中、高变质煤为主, 未见褐煤; 中生代以低、中变质煤为主, 有少数褐煤; 第三纪以褐煤为主, 有少量低变质煤。全省以褐煤、焦煤、瘦煤、贫煤、无烟煤为主, 气煤、肥煤稀少<sup>[3]</sup>。全省褐煤除个别矿点属更新世外, 均生成于中新世和上新世; 烟煤、无烟煤总量的 97.07%产于晚二叠世含煤地层中。省内煤炭资源东富、西贫的地域分布特点突出。90%以上的储量, 全部大型煤矿和绝大多数中型煤矿床均分布在滇东地区, 且储量相对集中于一些大型矿区<sup>[3]</sup>。

## 2 煤矿中的天然放射性水平调查及分析

**2.1 褐煤** 褐煤是煤化程度最低的煤, 其特点是水分高、比重小、挥发分高、不粘结、化学反应性强、热稳定性差、发热量低, 含有一定的腐植酸。褐煤是云南最主要的煤矿种, 占全省煤矿总储量的 63.3%, 占全国褐煤总量的 11.9%<sup>[2,4]</sup>。云南褐煤属新生代煤矿, 在全省范围内均有分布。按聚煤单元, 以小金河断裂与哀牢山断裂为界分为滇西、滇东两个聚煤亚区, 并再分为 6个含煤区与 16个煤田, 现共发现大型矿床 3个, 中型矿床 20个, 小型矿床及矿点 110个<sup>[3]</sup>。滇西聚煤亚区以澜沧江断裂为界划分为腾冲含煤区和思茅含煤区<sup>[3]</sup>。腾冲含煤区以怒江断裂和柯街断裂为界, 分梁河、保山和临沧 3个煤田, 临沧煤田有极为典型的临沧铀钍煤共生矿, 临沧盆地部分褐煤天然放射性水平见表 1<sup>[5-7]</sup>。思茅含煤区以金沙江断裂和无量山 - 营盘山断裂划分为中甸、景谷和景东 3个煤田。

表 1 临沧盆地褐煤天然放射性水平 (Bq/kg)

序号	矿山名称	煤种	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra
1	临沧章驮煤矿	褐煤	305.3	73.3	135.5
2	临沧帮腊煤矿	褐煤	208.0	135.9	200.8
3	临沧勐托户东煤矿	褐煤	502.2	74.9	219.1
4	临沧大柏树煤矿	褐煤	92.3	121.3	60.3
5	临沧腊东坑煤矿	褐煤	491.0	375.2	471.0
6	临沧勐托坑煤矿	褐煤	525.8	79.5	219.0
7	临沧大寨坑煤矿	褐煤	2170.0	43.0	--
8	鑫圆公司大寨锆煤矿	褐煤	395.6	36.9	567.6
9	上寨、安坑、勐旺煤(-)	褐煤	313.8	5.8	258.8
10	安坑、勐旺煤(=)	褐煤	518.4	15.5	247.7
11	勐旺煤(≡)	褐煤	1346.5	4.2	699.0
上述算术平均			624.4	87.8	307.9
均方差			605.9	104.9	203.1

表 1说明, 临沧盆地部分褐煤矿中天然放射性核素<sup>238</sup>U (624.4±605.9Bq/kg)、<sup>232</sup>Th (87.8±104.9)Bq/kg、<sup>226</sup>Ra (307.9±203.1)Bq/kg 测值波动范围较大, 铀钍平衡偏铀。滇东聚煤亚区以元谋断裂、小江断裂、罗平断裂为界划分为大理、昆明、曲靖和文山 4个含煤区, 10个煤田。滇东聚煤亚区最具代表性的为开远小龙潭矿区和昭通矿区<sup>[3]</sup>。据地勘资料记载, 小龙潭煤矿煤中的铀分布不均匀, <sup>238</sup>U测值达 197~1391Bq/kg 高于普通褐煤中的铀。为分述矿区煤层放射性水平, 本站曾对矿区(江北)小龙潭坑和(江南)布沼坝坑, 按不同层位、不同方位或混合煤矿进行的样品采集与测量<sup>[7-9]</sup>, 经分类统计, 结果见表 2。

表 2 小龙潭坑和布沼坝坑煤矿天然放射性水平 (Bq/kg)

采坑	方位	数量	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra
小龙潭坑	N	7	57.5±17.8	2.18±0.51	54.1±18.0
	S	14	52.1±28.1	2.66±0.81	56.0±24.9
	平均	21	53.9±24.8	2.49±0.76	55.4±22.4
布沼坝坑	N	7	165.6±28.3	4.76±1.9	170.4±40.1
	S	12	141.7±39.2	4.77±1.9	145.1±51.6
	平均	20	152.2±36.6	5.08±2.2	156.4±47.7
算术平均			101.9±58.5	3.88±2.1	104.6±62.8
储量加权			134.1	4.6	137.8

从表 2看, 小龙潭煤矿铀、钍基本平衡, 铀、钍显著偏铀; 小龙潭坑含天然放射性铀、钍活度浓度明显低于布沼坝坑。小龙潭矿褐煤成煤年代较晚, 煤中含有较多的富铀物质 - 腐植酸及其高分子络合物, 因此易伴生放射性元素。

此次调查, 在收资与普查的基础上, 除重点关注临沧盆地的铀钍煤共生矿和开远小龙潭煤矿外, 还对滇西、滇东聚煤亚区部分褐煤进行了调查。云南褐煤天然放射性水平见表 3 各煤田(区)褐煤放射性水平直方图见图 1。

作者单位: 云南省辐射环境监督站, 云南 昆明 650034  
作者简介: 喻亦林 (1963~), 男, 高级工程师, 主要从事辐射防护与环境保护研究工作。

表 3 云南褐煤天然放射性水平 (Bq/kg)					
序号	类型	矿山数(个)	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra
1	滇西聚煤亚区褐煤	20	57.9	49.9	47.9
2	临沧盆地褐煤	11	624.4	87.8	284.8
3	滇东聚煤亚区褐煤	13	53.4	18.3	49.4
4	开远小龙潭褐煤	1	134.1	4.6	137.8
5	云南褐煤(以各煤田为单元)		87.1	31.3	60.0
6	云南褐煤(以六大聚煤区为单元)		68.9	22.6	50.7

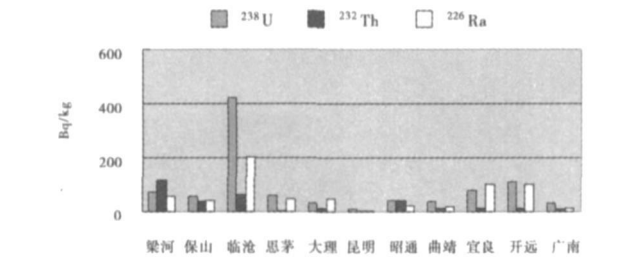


图 1 各聚煤区褐煤天然放射性水平直方图

调查发现,滇中褐煤含天然放射性水平较低,滇西、滇东南相对较高,最高的是临沧煤田。以各煤田为单元统计,全省褐煤天然放射性核素<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>226</sup>Ra平均比活度分别为 87.1Bq/kg、31.3Bq/kg、60.0Bq/kg。与云南环保系统 1984 年至 1989 年开展的“云南省环境天然放射性水平调查研究课题”中云南褐煤放射性水平(<sup>238</sup>U: 89.9Bq/kg、<sup>232</sup>Th: 24.4Bq/kg、<sup>226</sup>Ra: 90.3Bq/kg)基本相当<sup>[10]</sup>;若以六大聚煤区为单元统计,云南褐煤天然放射性核素<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>226</sup>Ra平均比活度分别为 68.9Bq/kg、22.6Bq/kg、50.7Bq/kg。此次调查,涉及的煤矿山数多于以往,统计方式也与以往不同,更为注重了单元与储量两个权重,结果更接近真值。若直接引入各个矿山的储量权重,全省褐煤中天然放射性平均水平统计结果还将有所下降,但仍高于全省土壤中天然放射性的平均水平。

2.2 低变质烟煤 低变质烟煤包括长焰煤、不粘煤和弱粘煤,挥发分含量高,没有或只有很小的粘结性。长焰煤易燃烧,燃烧时有很长的火焰。云南低变质烟煤在省内煤炭储量中份额极低,占全省煤炭总量的 0.62%,分布较散<sup>[3,4]</sup>。瑞丽市红旗煤矿的长焰煤和沧源县芒回煤矿长焰气煤天然放射性水平测量结果见表 4<sup>[7]</sup>。从表 4 看,低变质烟煤天然放射性水平较低,明显低于褐煤,且伴生的铀钍基本平衡,铀钍基本平衡。

表 4 低变质烟煤天然放射性水平 (Bq/kg)					
矿山名称	时代	煤种	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra
瑞丽红旗煤矿	N <sub>1</sub> <sup>1</sup> -N <sub>1</sub> <sup>2-1</sup>	长焰煤	50.0	54.4	30.6
沧源芒回煤矿	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	长焰气煤	33.2	52.5	56.5
算术平均			41.6	53.4	43.3

2.3 中变质烟煤(包括气、肥、焦、瘦煤) 中变质烟煤即炼焦用煤,包括气煤、气肥煤、肥煤、1/3焦煤、焦煤、瘦煤、贫瘦煤,统称烟煤<sup>[11]</sup>。云南探明中变质烟煤储量 42.9 亿 t 占全省煤炭总量的 17.6%,占全国烟煤总量的 1.68%<sup>[2,4]</sup>。此次,对全省 25 家中变质烟煤矿山企业进行了调查,样品测量结果见表 5。从表 5 看,中变质烟煤天然放射性水平低于褐煤中的放射性水平均值,伴生的铀钍基本平衡,铀钍偏钍。滇中中变质烟煤天然放射性水平较低,位于西北、东南的则偏高。而西北、东南片的烟煤,煤质较差,形成时代(T<sub>3</sub>)也相对较晚,与放射性元素富集规律同褐煤相似。滇东聚煤亚区东南砚山干河煤矿,煤层为晚二叠统的龙潭组,煤层顶底板岩性为黑色炭质生物碎屑灰岩,含植物化石碎片。原煤放射性核素比活度<sup>238</sup>U: 884~2161Bq/kg、<sup>232</sup>Th: 25.5~59.4Bq/kg、<sup>226</sup>Ra: 802~2480Bq/kg 为典型的伴生放射性煤矿。

表 5 中变质烟煤天然放射性水平 (Bq/kg)							
编号	矿山名称	时代	煤种	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	文献
	丽江河源煤矿		肥煤	91.6	17.3	60.7	[7]
	宁浪海子坝煤矿		瘦煤	127.4	20.0	115.2	[7]
	宁浪上拉垮煤矿	1)	瘦煤	246*	81.2	280*	[7]
	永胜北华煤矿		气肥煤	120.7	69.7	92.8	[7]
200	华坪河东煤矿		气煤	79.7	71.7	49.1	[7]
	华坪永兴煤矿		气煤	78.1	42.8	34.2	[7]
	华坪河西煤矿		气煤	109.4	118.1	71.0	[7]
	华坪大凉煤矿		气煤	17.1	17.1	13.3	[7]
302	华坪腊石沟煤矿	T <sub>3</sub>	肥气煤	134.4	84.1	86.0	[7]
	剑川双河煤矿		烟煤	73.9	21.2	75.7	[5]
	弥勒山心村煤矿		烟煤	41.8	6.9	38.1	[5]
	弥勒拖白煤矿		烟煤	25.8	29.7	57.3	[5]
	泸西跃进煤矿		烟煤	34.5	18.7	85.5	[5]
	泸西跃进煤矿		焦煤	41.8	21.2	22.2	[5]
381	宣威来宾煤矿	P <sub>2</sub>	焦肥煤	87.2	77.4	84.9	[7]
385	宣威羊肠煤矿	P <sub>2</sub>	主焦煤	51.2	40.1	30.7	[7]
	宣威田坝煤矿		烟煤	30.8	22.0	44.3	[5]
623	富源后所煤矿	P <sub>2</sub>	1/3焦煤	49.6	55.6	33.8	[7]
727	禄丰一平浪煤矿	T <sub>3</sub>	焦肥煤	76.3	28.1	103.1	[5]
838	曲靖恩洪煤矿	P <sub>2</sub>	主焦煤	77.9	59.7	49.8	[7]
	曲靖陆东煤矿		烟煤	11.1	10.2	35.4	[5]
	曲靖水草湾煤矿		烟煤	29.5	13.8	18.5	[5]
	曲靖中村煤矿		烟煤	35.7	20.8	37.7	[5]
981	石林圭山煤矿	P <sub>2</sub>	焦煤	182.2	11.4	85.5	[5]
	马关县煤矿		烟煤	25.8	22.4	44.8	[5]
1192	砚山干河煤矿	T <sub>3</sub> - P <sub>2</sub>	烟煤	1522*	42.5	1641*	[5]
	算术平均			68.1	39.4	57.1	
	均方差			43.4	29.0	28.4	

注: 1) 未参加统计。

2.4 高变质煤(包括无烟煤和贫煤) 无烟煤是煤化程度最高的煤,挥发分低、比重大、硬度高、燃烧时烟少火苗短、火力强。富源县老厂煤田作为最具典型特征无烟煤代表,探明储量 38.9 亿 t 占全省无烟煤的 93.1%,占全国高变质煤的 2.25%<sup>[3,4]</sup>。富源老厂煤矿含煤岩系为晚二叠世龙潭组和长兴组(P),煤系厚 390~440m,含煤 22~32 层,可采 12~14 层。此次调查,对富源老厂煤矿中的六个煤层进行了采样(21 个)测量,各煤层天然放射性水平见表 6。其他无烟煤调查结果见表 7。

表 6 富源老厂煤天然放射性水平 (Bq/kg)					
序号	煤层	采样地点	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra
1	C2	大格煤矿	30.3	20.4	9.3
2	C3	大格煤矿、拖竹煤矿	23.5	16.5	16.1
3	C7	宏发福利煤矿	46.4	35.8	22.0
4	C8	大格煤矿、色补煤矿、宏发福利煤矿、拖竹煤矿、宏发煤矿	22.9	21.1	8.8
5	C9	黄家湾煤矿、舍乌煤矿	25.1	31.0	20.7
6	C13	色补煤矿	11.6	17.9	13.0
		算术平均	26.6	23.8	15.0
		均方差	11.4	7.8	5.6

表 7 无烟煤天然放射性水平 (Bq/kg)						
编号	矿床(点)名称	时代	<sup>238</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>226</sup> Ra	文献
130	镇雄则底煤矿		49.5	39.5	24.8	[7]
473	祥云蚂蝗阱煤矿	T <sub>3</sub>	7.4	3.7	39.4	[5]
476	祥云香摩所煤矿	T <sub>3</sub>	11.1	22.4	46.6	[5]
	宾川子弟棚煤矿		4.9	2.8	24.4	[5]
838	富源老厂煤矿	P <sub>2</sub>	26.6	23.8	15.0	[5]
1165	砚山老鹰山煤矿	P <sub>2</sub>	75.1	63.5	75.1	[5]
	算术平均		29.1	25.9	37.5	

从表 6 表 7 看, 富源老厂煤田各煤层放射性水平较低, 且相对稳定; 滇中祥云、宾川无烟煤放射性水平 ( $^{238}\text{U}$ : 7.8 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$ : 9.6 Bq/kg,  $^{226}\text{Ra}$ : 36.8 Bq/kg) 更低、且偏钍; 滇东南老鹰山无烟煤放射性水平略为偏高。全省无烟煤放射性水平均值较低, 明显低于褐煤和烟煤的平均水平, 且波动范围较小、含量相对稳定。

2.5 云南煤矿放射性水平与全国水平比较 通过对省内各区不同种类煤炭天然放射性水平的调查, 分类统计结果见表 8<sup>[7]</sup>, 不同煤种其炭化程度不同, 所含放射性水平也不同。在褐煤、劣质煤及富含有机质及炭化植物碎屑的碎屑岩中放射性水平相对较高, 常见有铀的矿化现象; 炭化程度高的无烟煤中天然放射性水平相对较低, 未发现有铀的富集。1958 年, 我国核工业系统就在云南第三纪煤田发现富含铀的煤。近 20 年内公开发表的文献中不乏煤矿放射性水平的调研报告, 表 9 为姜希文、李瑞香等用  $\gamma$  谱仪分析采自全国 24 省区近 100 个统配煤矿的 563 个煤样, 分煤类归纳的统计数据<sup>[11, 12]</sup>。

由表 8 和表 9 比较, 云南褐煤天然放射性水平高于全国褐煤平均水平, 云南无烟煤天然放射性水平低于全国无烟煤平均水平。云南煤矿中天然放射性水平高于全国平均水平, 高于世界平均水平。

表 8 云南煤矿天然放射性水平 (Bq/kg)

序号	类 型	矿山 (个)	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$
1	褐煤 (以煤田为单元)		87.1	31.3	60.0
	褐煤 (以六大聚煤区为单元)		68.9	22.6	50.7
2	低变质烟煤	2	41.6	53.4	43.3
3	中变质烟煤	26	68.1	39.4	57.1
4	高变质烟煤	6	29.1	25.9	37.5

表 9 煤中天然放射性水平 (Bq/kg)

地区	煤种	样品 (个)	平均含量		
			$^{238}\text{U}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
中国	烟煤	443	56	38	34
	无烟煤	90	53	30	31
	褐煤	30	53	16	22
	总计 <sup>1)</sup>	563	54	36	30
美国 <sup>[13]</sup>		910	18		21
世界 <sup>2)</sup>			20	20	20

注: 1) 按各矿煤产量加权平均; 2) 为 UNSCEAR 1982 年报告中采用的世界平均值。

2.6 煤矸石 煤矸石包括岩巷掘进排出的岩石、煤中的手选矸石、洗煤厂排出的洗矸等, 排放量超过煤炭产量的 10%。此次调查, 对部分褐煤、烟煤和无烟煤煤矸取样, 测量结果见表 10<sup>[7]</sup>。

表 10 煤矸石放射性水平 (Bq/kg)

样品类型	矿山数	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$
褐煤矸石	7	73.9	50.4	77.2
烟煤矸石	15	63.2	36.2	75.0
无烟煤矸石	3	18.0	32.4	71.0
矿山加权平均		60.8	39.7	75.1

由表 10 看, 褐煤矸石、烟煤矸石、无烟煤矸石中放射性水平有较明显地递减趋势。与前面归纳的煤炭化程度与伴生放射性水平关系相吻合。

3 小结

(1) 云南煤中天然放射性水平高于世界平均水平, 也高于全国平均水平。

(上接第 195 页) 检查对接触硫化氢的患者进行早期诊断, 以便及时进行合理治疗是至关重要的。为此建议: 眼底检查应作

(2) 云南褐煤均产于第三系, 整体放射性水平高于全国褐煤平均水平。滇西以临沧铀锆煤共生矿为典型代表, 潞西等呷煤矿、龙陵大坝煤矿、澜沧勐滨煤矿放射性水平也相对较高, 且不同程度的伴有铀锆矿化; 滇东南以开远小龙潭煤矿为典型代表, 其布沼坝坑煤矿放射性水平相对较高; 滇东北昭通煤矿和滇中褐煤放射性水平相对较低。

(3) 云南烟煤多产于晚二叠, 整体放射性水平不高, 滇西北烟煤略有偏高, 滇东南以砚山干河煤矿为典型代表, 放射性水平相对较高。

(4) 云南无烟煤炭化程度较高, 煤中放射性水平较低, 低于全国无烟煤平均水平。

(5) 煤矸石放射性水平与同类煤矿水平相当, 其含量与煤炭及矸石的炭化程度密切相关, 趋势相反。

(6) 煤矿炭化程度与伴生天然放射性水平密切相关。在煤系地层中铀矿常分布在褐煤、劣质煤及富含有机质及炭化植物碎屑的碎屑岩中, 而在炭化程度高的无烟煤中未发现铀的富集。炭化程度高的无烟煤中天然放射性水平最低, 炭化程度低的褐煤则最高, 尤其以劣质煤和富含有机质及炭化植物碎屑的褐煤更为突出。以无烟煤、贫煤、贫瘦煤、瘦煤、焦煤、1/3 焦煤、肥煤、气肥煤、1/2 中粘煤、弱粘煤、不粘煤、长焰煤、褐煤为序, 呈现出随煤质的下降、有机质增加, 其伴生天然放射性水平逐级递增的规律。

参考文献:

[1] 张仁里. 从煤中提取铀 [M]. 北京: 原子能出版社, 1988: 5-17.

[2] 曾绍金, 王宗亚, 杨璐, 等. 中国矿产资源主要矿种开发利用水平与政策建议 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 16-19.

[3] 张翼飞, 徐道谦, 史清琴, 等. 云南省区域矿产总结 [R]. 昆明: 云南省地质矿产局, 1993: 817-889.

[4] 朱训, 尹惠宇, 项仁杰, 等. 中国矿情 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 201-229.

[5] 云南省工业污染源调查领导小组. 云南省工业污染源调查及建档工作技术报告 (放射性部分) [R]. 昆明: 云南省环境监测中心站, 1987: 6-15.

[6] 喻亦林, 杨文鹏, 王顺生, 等. 临沧 (县) 城区放射性水平现状调查报告 [R]. 昆明: 云南省环境放射性监督管理所, 2002: 24-30.

[7] 喻亦林, 江铁英, 刘凤祥, 等. 云南省伴生放射性矿物资源利用及污染现状调查报告书 [R]. 昆明: 云南省辐射环境监督站, 2003: 22-61.

[8] 李玉先, 张如兴, 徐礼品. 开远市区域环境质量评价及防治对策研究 [R]. 昆明: 云南省环境监测中心站, 1985: 10-19.

[9] 江铁英, 孙治, 毕存德. 云南开远电厂 2×300MW 工程环境影响评价放射性专题报告 [R]. 昆明: 云南省环境放射性监督管理所, 2000: 28-39.

[10] 李玉先, 李广通, 喻亦林, 等. 云南省环境天然放射性水平调查研究 [M]. 昆明: 云南省科技出版社, 1992: 177-181.

[11] 姜希文, 刘秋生, 李瑞香, 等. 我国煤中天然放射性核素水平 [J]. 辐射防护, 1989, 9(3): 181-188.

[12] 李瑞香, 刘新华, 姜希文, 等. 我国燃煤电厂气载流出物的辐射影响 [J]. 辐射防护, 1990, 10(1): 30-36.

[13] UNSCEAR Report 1982 Annex C.

(收稿日期: 2006-10-23)

为硫化氢等有毒气体接触的常规检查项目之一。

(收稿日期: 2007-01-15)