

环境调查

燃煤电厂排放烟气与大气中 BaP 的污染

陈 善 能

(山西电力局环境监测研究站)

本文通过对山西大同、神头、平定、漳泽地区大气中苯并(a)芘(以下称 BaP)浓度的监测和全省十多个燃煤电厂烟道排放粉尘中 BaP 的检测,阐明燃煤电厂排放烟气与大气中 BaP 污染的关系。

一、大气中 BaP 浓度

近年来,我们结合燃煤电厂环境影响评价工作,

组织对本省大同、神头、平定和漳泽地区大气悬浮颗粒中 BaP 浓度的监测。

监测采样除漳泽地区使用 KcQ 型可吸入尘采样器外都使用 KB 型石墨刮板泵。滤膜为上海红光造纸厂生产的“49”型超细玻璃纤维滤纸,用前经高温处理以除去可能存在的有机物。

采得的颗粒物连同滤纸采用真空升华—纸层析

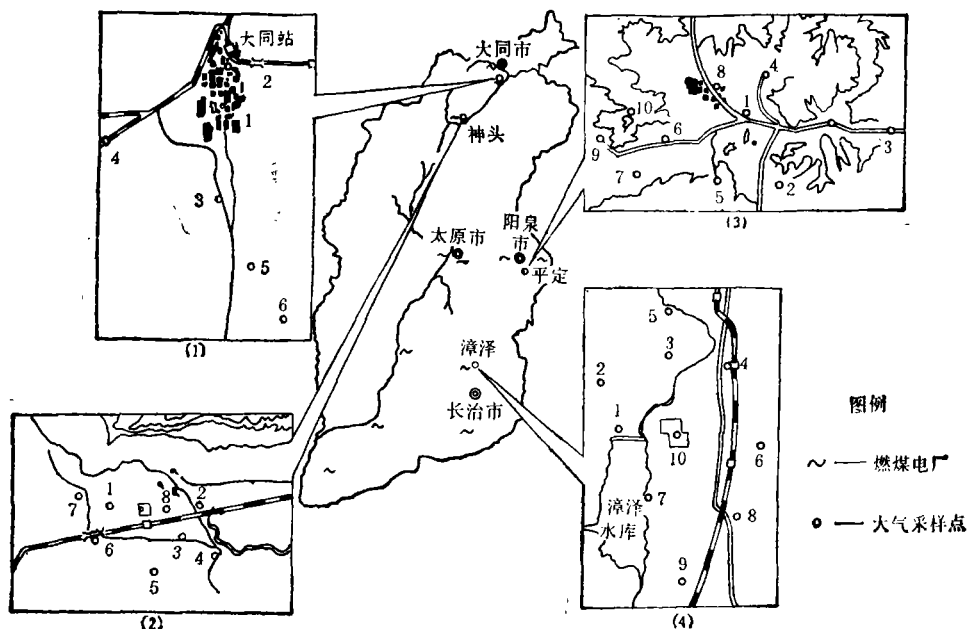


图 1 山西燃煤电厂及大气 BaP 监测布点

(1) 大同地区: 1. 军分区 2. 铁招 3. 七里村(大同二厂) 4. 平旺电厂 5. 田村 6. 北村。 (2) 神头地区: 1. 大洼 2. 郭家窑 3. 长村 4. 下西关 5. 东邵庄 6. 视家庄 7. 安庄 8. 王圪圙。 (3) 平定地区: 1. 洗马堰 2. 西白岸 3. 石门口 4. 维社 5. 西锁黄 6. 贵石沟 7. 苏村 8. 县招 9. 元坪 10. 冠山 11. 西郊。 (4) 漳泽地区: 1. 淹村 2. 长治钢厂 3. 魏村 4. 黄碾 5. 宋村 6. 北舍 7. 台上 8. 李村 9. 大辛庄 10. 漳泽电厂

—荧光检测或环己烷提取—KD 浓缩器减压浓缩—
高压液相色谱法测定 BaP 量^[1]。

采样布点如图 1。其中大同地区在山西北部,

* 承担 BaP 测定的单位有核工业部第七研究所、山西省医药研究所和山西医学院。

表 1 山西部分地区大气 BaP 浓度

大同			神 头			平 定			泽 潞				
1984年3月13日~19日			1983年12月5日~14日			1985年1月21日~31日			1985年1月31日~2月4日				
采 样 点	$\mu\text{g}/\text{mg}$	$\mu\text{g}/100\text{m}^3$	采 样 点	$\mu\text{g}/\text{mg}$	$\mu\text{g}/100\text{m}^3$	采 样 点	$\mu\text{g}/\text{mg}$	$\mu\text{g}/100\text{m}^3$	采 样 点	$\mu\text{g}/\text{mg}$	$\mu\text{g}/100\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{mg}$	$\mu\text{g}/100\text{m}^3$
1 军分区	0.071	11.31	1 大洋	0.0067	0.28	1 洗马堰	0.0100	0.32	1 淹村	0.146	2.85	0.054	1.99
2 铁路招	0.063	5.97	2 郭家窑	0.0156	0.78	2 西白岸	0.0077	0.23	2 长治钢厂	0.069	3.60	0.059	5.47
3 大同二电	0.021	1.82	3 长村	0.0098	0.40	3 石门口	0.0078	0.38	3 魏村	0.065	2.34	0.065	2.78
4 平旺电厂	0.020	1.92	4 下西关	0.0121	0.45	4 维社	0.0115	0.60	4 黄碾	0.284	10.13	0.173	9.56
5 田村	0.030	2.07	5 东邵庄	0.0102	0.39	5 西锁黄	0.0138	0.39	5 宋村	0.111	4.26	0.197	9.31
6 北 村	0.032	3.76	6 郭家庄	0.0098	0.38	6 贵石沟	0.0095	0.24	6 北舍	0.061	3.32	0.029	2.11
			7 安庄	0.0065	0.18	7 苏村	0.0162	0.43	7 台上	0.077	1.39	0.018	0.52
			8 王陶窑	0.0200	2.33	8 县招待所	0.0071	0.41	8 李村	0.029	0.76	0.020	0.87
						9 元坪	0.0141	0.31	9 大辛庄	0.088	1.65	0.018	0.61
						10 冠山	0.0083	0.17	10 漳泽电厂	0.050	1.09	0.027	0.83
						11 西郊	0.0196	0.74	(泽电投产前)				
						平均值	0.011	0.38					
城区平均	0.067	8.64	平均值	0.011	0.65	平均值	0.011	0.38					
郊区平均	0.026	2.39										0.066	3.40
									(投产后的)				

地形平坦开阔。其西南有平旺电厂(14.2 kW),大同市区正南 3.5km 有建设中的大同二电厂(监测时尚未投产)。

神头地区位于山西朔县境内,东北有洪涛山,东北距大同市 116km、南距太原市 239km 监测时已有 55 万 kW 燃煤电厂在运行。

平定地区在山西东部,太行山中段西侧,全区峰峦起伏,盛产阳泉无烟煤而闻名于世。计划筹建阳泉第二发电厂。

漳泽地区在山西东南部,长治市以北 12km,西南有漳泽水库,地形平坦。BaP 监测分别在漳泽电厂 1 号机组(10 万 KW)投产前及投产近 1 年后进行。

监测结果取算术平均值列于表 1。其中大同地区采样为 2 小时一次,每次半小时,每昼夜 12 次,连续 7 昼夜。表中数据为 7 昼夜的平均浓度。从数据可知,大同市区 BaP 浓度是比较高的。特别是地处闹市的大同军分区测点,达到了 $11.31\mu\text{g}/100\text{m}^3$,是全部监测数据中的最高值。太原市 1984 年在市区南端较为偏僻的新建南路市防疫站院内曾监测到 BaP 浓度为 $6.99\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 。此值低于大同军分区测值,而与大同市北端铁路招待所测值 $5.97\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 相近。由此可以推测,大同市与太原市 BaP 污染在同一水平上。

大同郊区 BaP 浓度则比市区低得多,位于大同市下风向 3.5km 的大同二电厂测点(七里村)、田村、北村其 BaP 浓度都远低于闹市区。就是在平旺电厂测点, BaP 浓度也只是 $1.92\mu\text{g}/100\text{m}^3$,为闹市区浓度的近 1/5。

漳泽地区 1985 年 1 月进行的监测是在漳泽电厂投产前夕。1986 年 1 月进行的监测则是在第一台 10 万 kW 机组投产之后。两者相比,从平均值看,投产前为 $3.14\mu\text{g}/100\text{m}^3$; 投产后为 $3.40\mu\text{g}/100\text{m}^3$,似乎稍有增加。但对数据逐个进行比较就可知道:平均值的增加是因位于电厂上风向的长治钢厂(包括焦炉)以及宋村二个测点的 BaP 浓度有较大幅度的增加造成的。而漳泽电厂及其下风向几个测点的 BaP 浓度却不同程度有所降低。从单位重量悬浮物所含 BaP 量看,投产前为 $0.098\mu\text{g}/\text{mg}$; 而投产后为 $0.066\mu\text{g}/\text{mg}$,降低了近 1/3。由此可以认为:漳泽地区大气中 BaP 浓度,并没有因漳泽电厂的投产而增加。

神头地区和平定地区每单位重量悬浮物颗粒的 BaP 含量都是 $0.011\mu\text{g}/\text{mg}$,而每 100m^3 大气中 BaP 含量,神头地区几乎要比平定高 1 倍。但如果

从神头地区中剔除电厂煤场围墙外的王圪圪村测点,而从平定地区中除去作为清洁区对照点的海拔 1126m 冠山测点的测值后,则两者都是 $0.41\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 。而每毫克悬浮颗粒中 BaP 含量神头为 $0.010\mu\text{g}$; 平定为 $0.012\mu\text{g}$,几乎相同。平定地区除了盛产煤炭之外,没有其他大工业污染源。而神头地区监测时已有 55 万 kW 燃煤电厂在运行。因此也可以认为,燃煤电厂排烟只要保证足够的除尘效率,并不会使环境中 BaP 污染显著加剧。

至于神头地区王圪圪村,无论从单位重悬浮颗粒或单位体积空气中 BaP 含量,在当地都是最高的。虽然与城市相比测值还并不很高,也应引起重视,这是否与电厂煤场或锅炉相近有关,尚待进一步监测验证。

国内外一些城市 BaP 测值如表 2^[1,2]:

与表 2 测值相比,大同和漳泽地区的 BaP 值是比较高的,但在我国北方城市中也只是一般水平。而平定和神头这样的农村山区,还是相当低的,尽管神头地区监测时已有 55 万 kW 燃煤电厂在运行,而且它们的除尘器是文丘里水膜式的(除尘效率 93% 左右)。因此认为近年来随着山西能源基地的开发,燃煤电厂迅速发展而可能造成大气中 BaP 污染加剧的忧虑是完全不必要的。

表 2 某些城市大气中 BaP 浓度(冬季)

地 名	$\mu\text{g}/100\text{m}^3$	时 间
美国纽约	0.05—0.94	1962—1964
西德汉堡	9.4—38.8	1961—1963
瑞士苏黎世	2.06	1970
捷克布拉格	4.6—17.2	
匈牙利布达佩斯	9.0	
日本东京	1.7	1973
中国哈尔滨居民区	8.06	1976
兰州居民区	5.73	1974
大连市	1.95	1983—1984
太 原	6.99	1984
北 京	2.40	1984
淄 博	4.18	1984
宣 威	7.58	1984

二、燃煤电厂排放烟尘中 BaP 浓度

1986 年 9 月至 10 月,我们先后采集了全省十

余个较有代表性的大中型燃煤电厂锅炉烟道灰样,然后用环己烷提取—减压浓缩—高压液相色谱法进行 BaP 测定。同时记录入炉煤粉的煤种及灰分,对灰样进行了飞灰可燃物量的测定。因采样条件的限制,不能同步测定排放量,因此在计算单位体积烟气的 BaP 排放量时采用了本站烟气专业组对全省电厂锅炉烟气普查时的实测数据(详见表 3)。

表中把排烟情况分为三类,第一类从 1—1 至 1—5,为采用电气除尘器的机组。其中特别是漳泽、神头及大同二厂,都是近年建成投产的设备比较先进的大厂,采用高压静电除尘器,除尘效率达 95% 以上,燃烧完全,热效率高 0 与此相应,烟气中 BaP 排放量最低,平均为 $0.2\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 。而在平定地区大气 BaP 测试中,作为清洁区对照点的海拔 1126m

冠山测点, BaP 浓度为 $0.17\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 。

第二类为采用湿式除尘器的电厂,它们的除尘效率一般在 89—94% 之间。由于排放粉尘量增大,因此单位体积烟气中 BaP 浓度也比第一类有所增加,达到 $1.32\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 。

第三类是采用多管式或旋风子式干式除尘器的中小型老厂。其除尘效率在 77—84% 之间。其中阳泉电厂是链条炉,烟量小,煤粒大,燃烧不完全,除尘效率低,烟囱底部积灰的可燃物含量达 80%, BaP 量也相应提高。

从表 3 可见,监测的电厂烟道粉尘中 BaP 含量从低于 $2.45 \times 10^{-7}\mu\text{g}/\text{mg}$ 到 $2.41 \times 10^{-5}\mu\text{g}/\text{mg}$ 。但绝大多数在 10^{-7} — $10^{-6}\mu\text{g}/\text{mg}$ 之间。又从表 1 可见,山西监测地区大气悬浮颗粒中 BaP 含量从 $6.5 \times$

表 3 山西燃煤电厂烟尘中 BaP 浓度

编号	厂名·炉号	除尘器·效率%	采样位置	煤种·灰分%	飞灰可燃物	BaP $10^{-7}\mu\text{g}/\text{mg}$	BaP $\mu\text{g}/100\text{m}^3$	采样日期
1-1	漳泽 1	电除尘 99.3	除尘器出口	潞安煤 20.16	8.1	1.35	0.12	86.9.18.
2	漳泽 2	电除尘 99.3	除尘器出口	潞安煤 20.16	9.3	0.42	0.07	86.9.18.
3	神头 6	电除尘 99.27	除尘器出口	雁北烟煤 33	0.8	1.13	0.17	86.9.30.
4	大同二厂	电除尘 94.0	除尘器出口	大同煤 21.48	9.2	0.86	0.64	86.9.
5	侯马 2	电除尘 98.64	除尘器出口	小窑煤 25.3	15.0	—	<0.04	86.10.13.
*	平均					0.75	0.2	
2-6	娘子关 1	湿式除尘 94	除尘器出口	西山煤 23.1	6.8	0.715	0.64	86.10.18.
7	娘子关 3	湿式除尘 94	除尘器出口	阳泉煤 24.3	5.9	1.18	1.06	86.10.6.
8	霍县 1	湿式除尘 89	除尘器出口	混煤 22.7	16.7	2.41	3.78	86.10.2.
9	霍县 3	湿式除尘 89	除尘器出口	混煤 22.7	22.7	2.27	3.75	86.10.4
10	太原二厂 1	湿式除尘 94	除尘器出口	西山煤 21.48	9.2	0.865	0.64	86.9.25.
11	永济 1	湿式除尘 90.5	除尘器出口	混煤 24.3	2.7	—	<0.02	86.9.25.
12	永济 1	湿式除尘 90.5	除尘器出口	混煤 24.3	10.6	2.00	0.18	86.9.25.
13	神头 1	湿式除尘 93	除尘器出口	阳方口混煤 33	2.6	1.68	1.4	86.9.30.
14	侯马 3	湿式除尘 84	除尘器出口	混煤 25.3	15	0.224	0.42	86.10.13.
*	平均					1.26	1.32	
3-15	侯马 1	多管式 84	除尘器出口	西山煤、混煤 25.3	15	0.224	0.42	86.10.13.
16	阳泉	旋风子 77.6	烟囱底部积灰	阳泉煤 22.4	88	2.26	0.54	86.9.20.
17	巴公 3	多管式 84	除尘器出口	长治贫煤 17.5	3.7	0.89	0.54	86.9.17.
18	太原一厂 3	多管式 84	除尘器出口	西山煤 23	13.3	—	<0.02	86.9.

注:娘子关 1# 炉为液态除渣炉,阳泉为链条炉。

BaP $\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 为根据烟气量的折算值。

$10^{-3}\mu\text{g}/\text{mg}$ 到 $2.84 \times 10^{-1}\mu\text{g}/\text{mg}$, 绝大部分在 10^{-2} — $10^{-3}\mu\text{g}/\text{mg}$ 之间。因此电厂烟气排出的颗粒物所含的 BaP 低于大气悬浮颗粒所含 BaP, 前者是后者的 1/1000 左右。

国外也有一些资料认为, 燃煤电厂锅炉排放的 BaP 在大气中所占的比例是很小的。有人认为在美国估计只占 0.14% 左右^[4]。见表 4。

表 4 估计的美国每年 BaP 排放量

来 源	估计排放量 (t/a)
煤的燃烧	
居民手加煤	400
不供给充分燃料	9.7
商业	2.8
工业	5.8
发电	0.6
油的燃烧	1.5
气的燃烧	1.2
总 计	421.6

大气中 BaP 的来源是多方面的。在煤的燃烧方面也有各种不同情况, 电厂锅炉一般是燃烧最完全的, 炉膛温度一般又都在 1400°C 以上, 已经远远超过了 BaP 的分解温度 (900°C ^[3]), 因此电厂燃烧产生的 BaP 也最少。居民生活用炉灶则比较差, 因此在居民集中区, BaP 浓度普遍偏高^[3]。

此外, 炼焦炉是产生 BaP 最多的地方。在炼焦炉炉顶烟气监测中, BaP 往往达到 $10^3\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 以上^[3], 见表 5。

表 5 焦炉炉顶空气中 BaP 浓度

焦 炉	武钢	太钢	首钢	长钢
BaP $\mu\text{g}/100\text{m}^3$	8214	1676	992	551

漳泽地区大气 BaP 偏高, 除了漳泽电厂西北部有长钢的炼焦炉外, 尚有很多土焦炉, 是一个重要的原因。

BaP 不仅在燃烧时产生, 原煤本身也含有, 当然不同煤种含量不同, 总的是烟煤的 BaP 含量大于无烟煤而与其变质程度有关(见表 6^[6,7])。

表 6 原煤中 BaP 含量

煤种	晋城无烟煤	大同烟煤	徐州烟煤	南京次烟煤
BaP	0.030	0.546	1.410	0.406

表 1 中, 大同地区大气 BaP 浓度比平定地区高得多, 虽然两地区都盛产煤炭, 这很可能是大同烟煤本身 BaP 含量就比较高的原因。由于山西盛产煤炭, 几乎遍地都有堆放, 这样由于风吹、日晒、雨淋, 原煤中 BaP 必将有部分转移到大气环境中。

因此要进一步降低山西大气中 BaP 污染, 应该从多方面入手, 进行综合治理。首先要解决煤炭的不完全燃烧问题, 象居民区的生活炉灶, 特别是全省农村星罗棋布的土法炼焦炉, 就是机焦炉的炉顶排气也要进行处理。同时要进一步提高工业锅炉的除尘效率, 严格控制燃煤粉尘的排放。一直到原煤的妥善堆放和运输, 尽量减少扬尘。

三、结 论

1. 山西大气中 BaP 浓度, 城市明显高于农村。而且在比较偏僻的山区都可以监测到一定的 BaP 浓度, 这是应该引起重视的。

2. 燃煤电厂排放粉尘中 BaP 浓度, 比山西大气悬浮颗粒所含 BaP 低 1000 倍。因此只要保证燃煤电厂除尘器有足够的除尘效率, 严格控制粉尘排放, 就不会显著加剧大气环境的 BaP 污染。在大气 BaP 浓度比较高的地区, 空气通过电厂锅炉焚烧还可以减轻 BaP 污染。

3. 进一步减轻山西大气 BaP 浓度的途径是要实行综合治理, 从解决煤炭的不完全燃烧, 加强消烟除尘工作一直到原煤的堆放和运输管理。

参 考 资 料

- [1] 大气监测检验方法科研协作组编, 大气监测检验方法, 134—136 页, 人民卫生出版社, 1979 年。
- [2] 赵炳成等, 环境与健康杂志, 3(2), 7(1986)。
- [3] 王梅先, 化工环保, 6(5), 288(1986)。
- [4] J. 海克伦, 大气化学, 116 页, 科学出版社, 1983 年。
- [5] 仇启善, 环境科学, 7(1), 36(1986)。
- [6] 濮新贵, 环境化学, 5(5), 17(1986)。
- [7] 韩朔映, 环境科学学报, 6(1), 103(1986)。

(收稿日期: 1987 年 6 月 5 日)