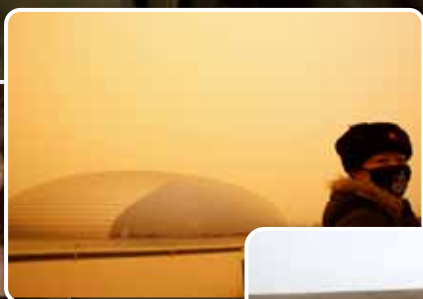


GREENPEACE 绿色和平

煤炭的真实成本

——随风来袭的“煤尘暴”——



主要作者：

庄国顺 沈昕一
周 嵘 黄 栩
王 英 孙庆伟
李 雁 魏 星

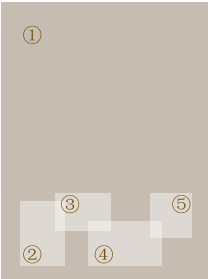
英文翻译与校对：

王 英 Dinah Gardner

设计：

宋玉碧

2010 年 5 月 14 日 19 时 51 分，青海格尔木市郊外，一股超强沙尘暴突然袭来。© CFP



封面图片图注：

① 2011 年 3 月 13 日，内蒙古赤峰元宝山电厂灰场。放牛人在风沙中穿过灰场。© 刘飞越 / 绿色和平

② 2011 年 3 月 10 日，内蒙古丰镇电厂灰场附近石十二泉村。村民刘三虎从家中口袋上一抹一把灰。© 刘飞越 / 绿色和平

③ 2010 年 3 月 20 日，北京遭遇 4 年来最强浮尘袭击。© CFP

④ 2011 年 3 月 13 日，内蒙古赤峰元宝山电厂灰场附近的村子里刚放学的学生在漫天粉煤灰中玩耍。© 刘飞越 / 绿色和平

⑤ 2011 年 3 月 8 日，宁夏石嘴山惠农。刚从电厂里运出的废弃物脱硫石膏倒入灰场。© 刘飞越 / 绿色和平

当很多人以为，2010 年的春天不会再有沙尘天气的困扰时，在 2010 年 3 月 16 日，甘肃发布黄色预警，沙尘暴首先在甘肃民勤等地出现，随即而生的扬沙天气迅速蔓延至甘肃全省。几乎在同时，蒙古高原上卷起的漫天黄沙随着强风席卷南下，经西北、华北跨过黄河，越过长江，向湖北、湖南、安徽、浙江、福建等地进发，一直到达香港和台湾地区。据国家林业局荒漠化监测中心监测，受沙尘天气影响的中国国土面积约 180 万平方公里，受影响人口约 2.7 亿。而中国气象局国家气候中心亦证实，此次强沙尘还漂洋过海，波及朝鲜半岛、日本，波及面为近五年最广¹。

今年 3 月 18 日，北京遭遇 2011 年首场沙尘侵袭，空气质量受到明显影响。据国家林业局网站消息，预计今年春季，我国北方地区沙尘天气过程数为 16 次～19 次，比常年同期略偏少，局地发生重特大沙尘暴灾害的可能性较大。今春我国沙尘暴灾害形势不容乐观，应急处置工作非常艰巨²。

我国沙尘暴形成于中亚和我国西北干旱半干旱地区，大风将这些地区的沙尘远距离输送到华北华东，给沿途的人畜健康和工农业生产造成不同程度的影响。而不为大众所知的是，由于沙尘暴经过山西、陕西、内蒙古等燃煤污染严重区域，沙尘暴里所包含的物质除了自然沙尘，还裹挟了大量沿途地区大气中和地表的燃煤污染物，特别是露天堆放的粉煤灰。这些防护措施不足、直接暴露在空气中的粉煤灰很容易被剧烈的大气运动带到数千公里以外。这些燃煤污染物富集砷、硒、铅、汞等重金属元素，改变了沙尘暴的理化组成，沙尘暴已经俨然成为危害更大的煤尘暴，对沿途居民健康危害大大增加。

正因为如此，绿色和平呼吁政府出台行之有效的粉煤灰污染治理措施、有效防止二次扬尘污染，以减少粉煤灰对环境与公众健康的危害。长远来看，中国更需要加大对燃煤污染的控制，并调整能源结构，逐步摆脱对煤炭的过度依赖。

1. 沙尘暴裹挟沿途燃煤污染，成为名副其实的“煤尘暴”

源于中亚和我国西北地区的沙尘暴，通常经过内蒙古、陕西、山西等地，侵袭华北和华东地区。从 2000 年起，复旦大学大气化学研究中心主任庄国顺教授在持续对北京、上海等远离沙尘源区的城市地区的沙尘监测中发现，这些地区的沙尘暴中除了来自西北沙漠和黄土高原的沙土外，还存在着众多不为人知的污染物，包括重金属砷 (As)、锑 (Sb)、硒 (Se)、铅 (Pb)、含硫化合物和有机污染物等³，沙尘暴期间这些污染物质在近地面大气中的含量呈几倍甚至几十倍的增长。其中，燃煤正是大气中砷、硒元素的主要来源。在沙尘暴中监测到了这些燃煤特征污染物，其原因正是由于沙尘暴沿途经过内蒙古、陕西、山西等我国火电、煤炭工业重污染区域，与这些地区的粉煤灰等燃煤污染物相混合、相互作用，并将它们携带到下游地区，进而严重影响区域大气质量。

• 沙尘暴期间城市大气燃煤污染特征元素含量剧增

2010 年 3 月初的沙尘暴前后，庄国顺教授通过对上海采集沙尘样品的检测，发现沙尘暴前后，砷、铅、硒、硫等燃煤污染物特征元素含量显著增加（图 1）。这些煤炭含有的污染元素在锅炉中燃烧后，或随烟气排入大气中，或富集于底灰和飞灰中，被堆放到粉煤灰⁶场。

这种随沙尘暴而来的燃煤污染物的增加在过去数年的沙尘暴观测数据中一再出现（表 1）。

表 1 列出了近年来上海、北京多次沙尘暴高峰期间收集的总悬浮颗粒物 (TSP)、可入肺颗粒物 (PM2.5) 样品中砷、铅、硒、硫等元素的含量。表中的数据清楚地表明，燃煤污染的特征元素砷、铅、硒、硫在沙尘暴期间的总悬浮颗粒物 (TSP) 及可入肺颗粒物 (PM2.5) 中的含量几乎都增加了一倍乃至数十倍。这些数据明确地说明了燃煤污染物经由沙尘传输对我国东部大城市的大气质量产生了严重的影响。

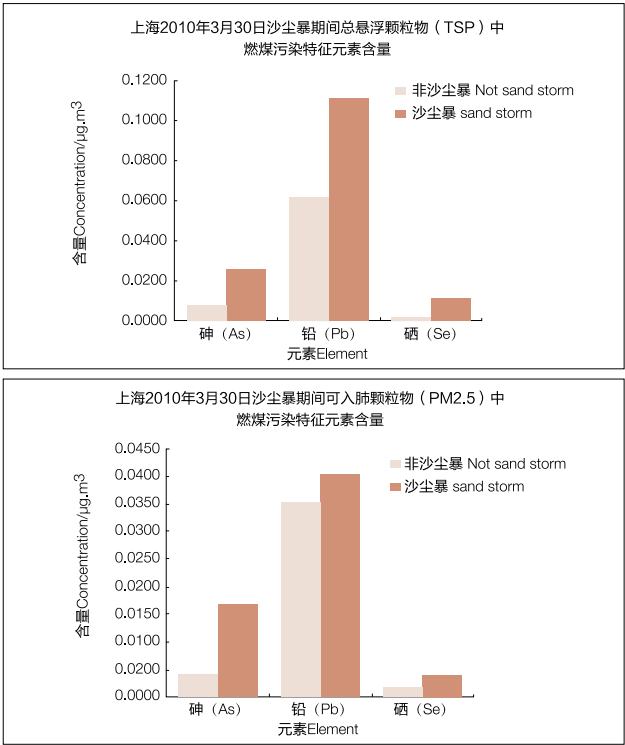


图 1 上海 2010 年 3 月 30 日沙尘暴期间总悬浮颗粒物 (TSP)⁴ 和可入肺颗粒物 (PM 2.5)⁵ 中燃煤特征元素砷 (As)、铅 (Pb)、硒 (Se) 的含量与非沙尘暴期间含量的对比

表 1 非沙尘暴与在沙尘暴期间上海、北京地区气溶胶中砷 (As)、铅 (Pb)、硒 (Se)、硫 (S) 在总悬浮颗粒物 (TSP) 与可入肺颗粒物 (PM2.5) 中含量对比

* ND: 未检测

元素	地区	沙尘暴日期	总悬浮颗粒物 (TSP)		增加倍数	可入肺颗粒物 (PM2.5)		增加倍数
			非沙尘暴	沙尘暴		非沙尘暴	沙尘暴	
			浓度 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	浓度 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$		浓度 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	浓度 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	
砷 (As)	上海	2010-3-20	0.0077	0.0258	2.4	0.0041	0.0169	3.1
		2007-4-2	0.0068	0.3704	53.5	0.0045	0.1803	39.1
	北京	2002-3-20	0.0356	0.2470	3.51	0.0300	0.0827	1.0
		2000-4-6	0.0601	1.65	27	ND	ND	ND
铅 (Pb)	上海	2010-3-20	0.0620	0.1112	0.8	0.0353	0.0405	0.1
		2007-4-2	0.0660	0.2084	2.2	0.0482	0.1593	2.3
	北京	2002-3-20	0.2270	0.4620	2.93	0.2200	0.2720	0.5
		2000-4-6	0.0418	0.2990	7.0	ND	ND	ND
硒 (Se)	上海	2010-3-20	0.0017	0.0109	5.5	0.0019	0.0023	0.2
		2007-4-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	北京	2002-3-20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		2000-4-6	0.0117	0.3970	32	ND	ND	ND
硫 (S)	上海	2010-3-20	1.762	13.19	6.5	1.131	3.305	1.9
		2007-4-2	4.0634	4.6948	0.2	2.3468	6.4753	1.8
	北京	2002-3-20	5.83	50.00	8.58	4.99	12.70	2.55
		2000-4-6	2.50	9.88	4.0	ND	ND	ND

• 沙尘暴路径与我国北方主要产煤区和火电厂分布重合

从这几次沙尘暴的路径图中（图 2），更可以明显可以看到，源于新疆、内蒙古或蒙古国等地区的沙尘暴，路径山西、陕西、内蒙古等煤炭资源丰富、火电厂等燃煤工业密集区域（图 3），一路裹挟煤尘污染，最终到达华北华东的城市地区时，已经成为危害更大的煤尘暴。

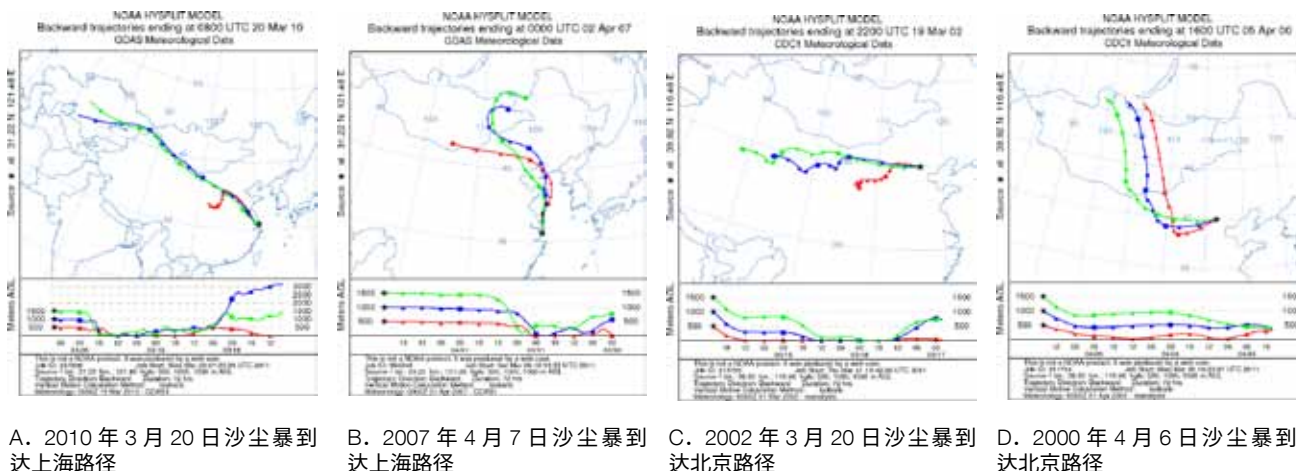


图 2 我国北方大范围的沙尘暴入侵上海及北京的途径

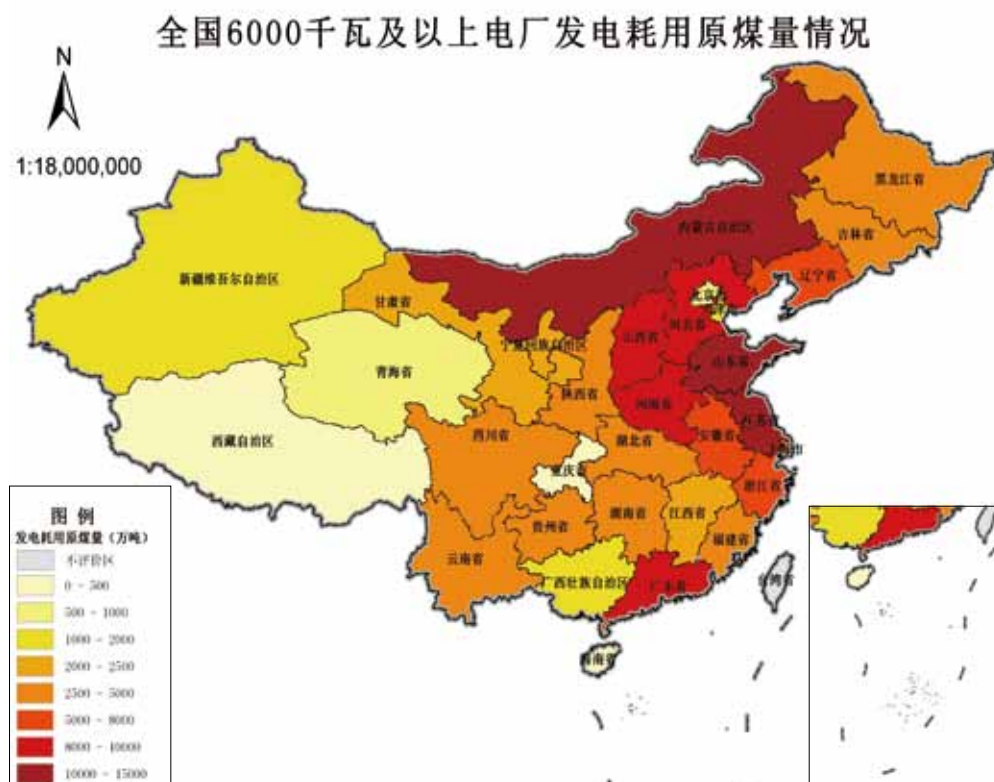


图 3 我国火电燃煤总量分布图

● “煤尘暴”严重威胁人体健康



沙尘裹挟沿途粉煤灰、燃煤污染形成的煤尘暴，对我国华北华东部分城市的大气质量产生了严重的影响，危害公众健康（如图4所示）。

“沙尘暴所携带的重金属等有毒有害物质包括汞、铅、镉、氟、硫等，其中很多物质是燃煤污染物。这些重金属虽然量轻微，但是重金属有一个特性就是生物累积性，它们进入体内后不容易被排出去，所以会一直在体内累积，达到一定的量时就可能会发病。重金属铅会影响人的神经系统，会造成儿童行为和智力发育的不良影响，会影响儿童的智商。重金属汞会影响人体的神经系统，特别是有

机汞，可以直接通过血脑屏障，影响大脑、小脑、中枢神经，造成运动障碍，语言和行为障碍。硒的生物敏感度很高，少量的硒有利人类健康，是抗癌物，但是过量的硒反而是一种有毒物质，会造成硒中毒，主要是对神经系统、肝脏等内脏器官造成损害。湖北恩施煤炭里的硒含量很高，所以那里出现很多硒中毒的例子，引起当地居民患病率增高。”

——北京大学公共卫生学院潘小川教授

汞： ●

汞对儿童、婴儿和胎儿的健康风险最大，这些健康影响包括神经系统损伤，以及成长缺陷如智商下降和弱智。

铬： ●

摄入铬可以引起胃溃疡、贫血以及胃癌。频繁吸入铬可导致哮喘、气喘和肺癌。

硒： ●

硒是人体多个器官正常运转必须的微量元素。但是硒的缺乏和过量都会导致健康损害。过量摄入硒会导致一系列的神经系统异常，如视力削弱、瘫痪甚至死亡。

铅： ●

铅暴露可导致脑肿胀、肾病、心血管疾病、神经系统损伤，甚至死亡。目前公认的结论是铅暴露没有安全底限（注：即使是微量摄入，也有健康损害），特别是对儿童来说。

砷： ●

摄入砷可导致神经系统损伤，心血管疾病以及尿道癌。吸入和通过皮肤接触会分别导致肺癌和皮肤癌。

硼： ●

吸入硼会导致眼、鼻和喉咙的急性刺激。大量摄入硼会导致睾丸、肠道、肝、肾和脑损伤，甚至死亡。

其他有害物

锑： 造成眼睛和皮肤刺激，胃痛、溃疡及肺病。

钼： 动物实验表明，会造成生长发育迟缓、低出生体重、不孕不育。
★ 对儿童的健康风险更大

镉： 造成肺气肿、肾病、高血压、肺癌

铊： 造成神经系统损害，以及肺、心脏、肝脏和肾脏损害。

图4 煤炭污染物的健康影响⁷

2. 粉煤灰之害

• 粉煤灰污染严重

粉煤灰是火力发电的必然产物，通常每消耗 4 吨煤，就会产生 1 吨粉煤灰⁸。

2010 年 6 月起，绿色和平开展粉煤灰污染调查，对我国 14 家火电厂粉煤灰进行调查采样检测，并于同年 9 月发布了《煤炭的真实成本——粉煤灰调查报告》，该报告率先将关注点放在了粉煤灰这一长期以来被严重忽视的燃煤污染。2009 年，中国煤炭消费量超过 30 亿吨，其中电力行业耗煤占到一半以上。保守估计，该年中国粉煤灰的产量达到了 3.75 亿吨，这相当于目前中国城市生活垃圾总量的 2 倍多。

粉煤灰粒径微小，在 $0.5 \sim 300 \mu\text{m}$ 之间⁹，20% 的粉煤灰是空心微粒结构，因此，具有启动风速低、扬灰高度大的特点。不管是干法处理还是湿法处理，除非对其进行非常完善的封存处理，否则在有风的情况下很容易扩散，形成严重的二次扬尘空气污染，严重危害附近居民的生活和健康。事实上，由于粉煤灰太过细小，渗水很快，表面湿度小于 7% 就会随风起尘，并随沙尘扩散，危害千里之外的城市居民。当风力达到四级时，粉煤灰就不仅会带来局地影响，其沉降范围可达 $10 \text{ 万} \sim 15 \text{ 万平方公里}$ ¹⁰，对灰场以外较远的范围内都能构成污染威胁（图 5）。沙尘暴的风力一般八级以上，风力约每秒 25 米，极有可能将粉煤灰卷起，带往沿途所经之处，加剧沙尘天气的空气污染危害程度，威胁公众健康。粉煤灰的物理特性使其已成为形成大范围沙尘暴的粉尘来源之一^{11 12}。

同时，煤炭中的有害重金属和放射性物质，在燃烧后以较高浓度留存于粉煤灰中。据估算，在煤燃烧产物中，45% 的砷，70% 的铅，以及 31% 的硒，会富集于粉煤灰中¹³。绿色和平 2010 年的检测发现，所有 14 家电厂的干灰、湿灰中均检出不同浓度的砷、硒、镉、铅、汞等重金属污染物。因此，这些缺乏妥善处理措施的粉煤灰较普通尘源具有更大危害。

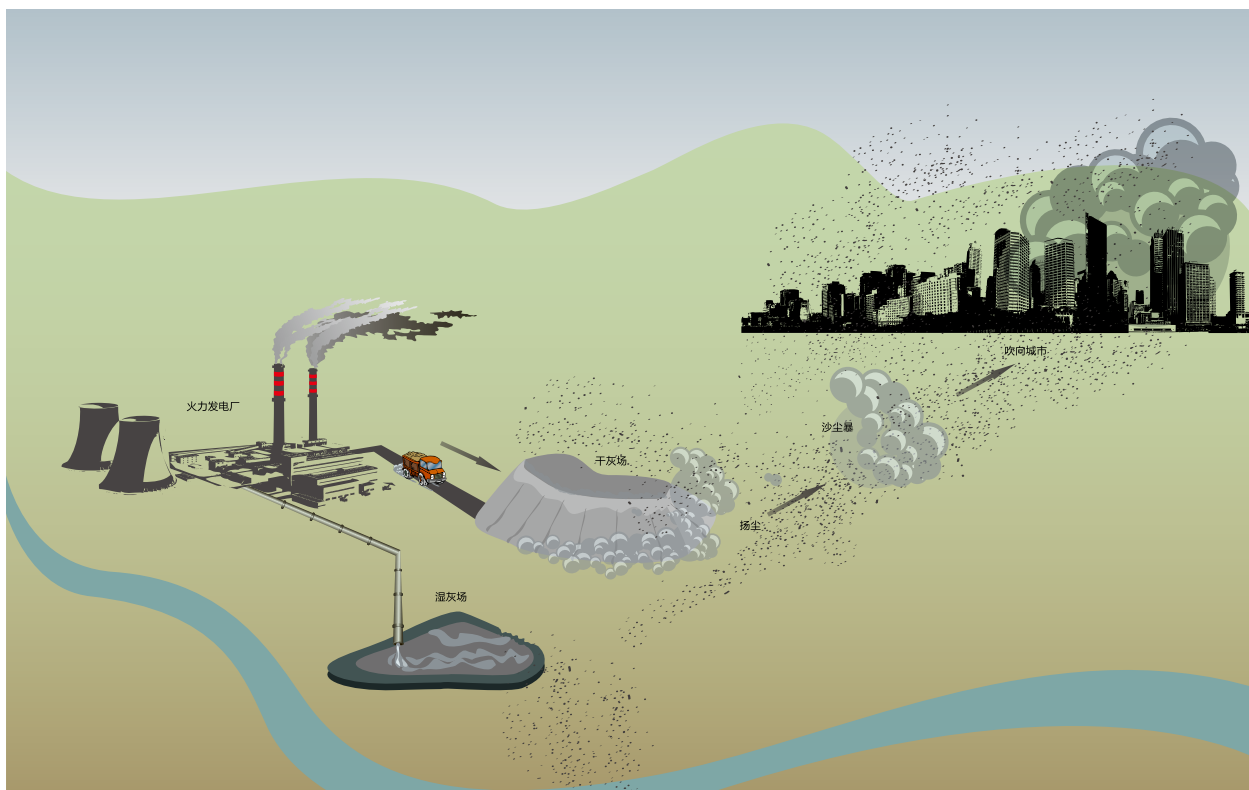


图 5 电厂粉煤灰排放示意图

• 大量粉煤灰随风而至

1993年5月5日14-20时，甘肃河西走廊发生历史罕见的特大沙尘暴，被称为“黑风暴”，至今让许多人记忆犹新。永昌电厂499亩的储灰场，这天平均风蚀深度为50厘米，被卷入空中的粉煤灰达16.6万立方米¹⁴。如果将这16.6万立方米的粉煤灰平铺满北京天安门广场，平均厚度可达38厘米。而与山西、内蒙的大型火电厂相比，永昌电厂的这个储灰场只能算是一个很小规模灰场，绿色和平考察过的16个电厂储灰场面积都比这个大。据绿色和平统计，沙尘暴路径上的我国北方十省市，装机容量超过6000千瓦以上的火电厂将近800个，这些火电厂的粉煤灰都是沙尘暴的潜在尘源，是环境和健康的严重威胁。

• 粉煤灰场管理不力，扬洒问题突出

要防止沙尘暴变成煤尘暴，保护沙尘暴沿途环境和公众健康，管好露天堆放的粉煤灰是关键！然而，绿色和平2010年与2011年的多次调查发现，大多数火电厂的粉煤灰是露天堆放的，缺乏基本的防止二次扬尘措施。北方有些干灰场会采取淋洒措施，只是淋洒的范围较小，不能覆盖整个灰场。南方的干灰场采取的淋洒措施也不能覆盖整个灰场，只有在雨季依靠降雨，防扬尘效果才比较明显。湿灰场只有排灰口附近的小块区域有灰水覆盖，其他地方的湿灰由于水分蒸发，会很快变成干灰，易于被风吹起形成二次扬尘。在灰场的整个运行过程中，附近的村落和农田均受到严重的粉煤灰扬尘污染。14家火电厂灰场附近的居民在采访中都表示患有皮肤病或肺病等呼吸道疾病。



2011年3月13日，内蒙古赤峰元宝山电厂灰场坝下的养牛户，冰箱上铺了一层灰。© 刘飞越 / 绿色和平



2011年3月8日，宁夏石嘴山惠农。刚从电厂里运出的废弃物脱硫石膏倒入灰场。© 刘飞越 / 绿色和平

1 今年沙尘暴频数较多，CCTV《经济半小时》<http://finance.sina.com.cn/g/20100405/22467692017.shtml>

2 北方局部发生重特大沙尘暴可能性较大，中国新闻网，<http://www.chinanews.com/gn/2011/03-21/2919044.shtml>

3 庄国顺，郭敬华，袁惠，赵承易，2000年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响，科学通报，2001,46(3),191-197

4 总悬浮颗粒物是指能悬浮在空气中，空气动力学当量直径 ≤ 100 微米的颗粒物。记作TSP，是大气质量评价中的一个通用的重要污染指标。

5 PM_{2.5}是指大气中直径小于或等于2.5微米的颗粒物，也称为可入肺颗粒物。与较粗的大气颗粒物相比，PM_{2.5}粒径小，富含大量的有毒、有害物质且在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境质量的影响更大。

6 粉煤灰，是燃煤的副产品，包括除尘器收集到的飞灰和炉底排出的炉渣（通常称底灰）。未被除尘器捕捉到的那部分飞灰随烟气排入大气。电厂排出的粉煤灰有干排灰和湿排灰两种。干排灰是锅炉除尘器收集下来的干灰，通过仓式泵，用压缩空气经管道或用车辆送至粉煤灰场。湿排灰是锅炉除尘器收集下来的干灰由大量的水冲走，成为一种粉煤灰悬浮液，通过水泵和管道送至灰灰池或浓缩池经沉降或真空过滤后所得的湿灰。

7 Coal Ash: The Toxic Threat to Our Health and Environment, Physicians for Social Responsibility, September 2010

8 绿色和平，《煤炭的真实成本——粉煤灰调查报告》，2010年9月

9 粉煤灰综合利用研究进展，中国混凝土网，<http://www.chinaconcretes.com/news/list.asp?id=32859&Page=2>

10 袁志勇，粉煤灰：环境的罪臣，筑路、造地的功臣，科技日报，http://www.stdaily.com/kjrb/content/2010-02/05/content_154315.htm

11 永昌电厂粉煤灰危害及其综合治理，严平、郭志中、王继和、张士才、王大为，甘肃省林业科学研究所，甘肃省治沙研究所，中国沙漠，1996年3月

12 《中国沙漠与沙漠化》，王涛等编著，2002，河北科技出版社，P496

13 煤中15种微量元素在燃烧产物中的分配，王起超、邵庆春、康淑莲、王志刚、邹山同，中国科学院长春地理研究所、东北煤炭工业环境保护研究所，燃料化学学报，1996年4月，第2期

14 甘肃特大沙尘暴的危害与对策，赵兴梁，中国科学院兰州沙漠研究所，中国沙漠，1993年第13卷第3期

3. 管好粉煤灰，遏制“煤尘暴”

中国粉煤灰污染严重，归其原因，一方面是因为缺乏具有针对性的法律规定，简单按照一般工业固体废物进行管理；另一方面是由于多年来对粉煤灰的管理政策重资源利用，轻环境保护，从而导致粉煤灰可能产生的环境负面影响被忽视，加剧了环境执法的无效和污染的蔓延。

中国现阶段的粉煤灰管理在利用环节上逐步延伸，经济主管部门与资源利用政策不断强化，但与此同时，环保方面的监管则相对较弱。现实管理中环保部门对粉煤灰产生的数量、综合利用的数量、安全处置的数量缺乏有效的协同监管的管理体系，导致未被利用的粉煤灰的环境问题被资源利用掩盖，环境破坏问题被忽视。

粉煤灰日常环境管理主要参照《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》中第Ⅱ类一般工业固体废物要求进行管理，主要的管理措施包括防渗、导流、排水、渗滤液处理、地下水监测，但是在现实中仍然做不到有效防止灰场渗滤液对周边农田的污染，同时缺乏针对粉煤灰的二次扬尘污染防治对策，也没有把粉煤灰的二次扬尘污染纳入电厂日常监测管理体系内。

为根治随风蔓延的粉煤灰污染，绿色和平建议：

(1) 政府应督促开展一次粉煤灰污染环境专项集中整治活动，以确定火电行业粉煤灰环境污染问题规模，集中发现存在选址不当、环境治理设施差、二次污染严重比如扬尘、渗滤液乱排等问题的火电厂灰场，并令其限期整改，力争能够在短期内有效遏制煤灰污染蔓延的现象。

(2) 尽快针对粉煤灰出台有强制性的、全面有效的《粉煤灰污染环境防治办法》，与已有的《粉煤灰综合利用管理办法》一起，形成煤灰污染治理与安全无害综合利用并重的双重治理框架，并专门出台强制性的粉煤灰贮存处置场污染控制标准，重点考虑煤灰渗滤液污染防治与二次扬尘治理。

(3) 加强日常执法，将对二次扬尘监控、粉煤灰渗滤液收集与处置、地下水污染监控等工作纳入电厂日常环保监测与环境保护主管部门监督范围内，并根据粉煤灰污染所造成的环境、健康损失制定相应的煤灰排污收费标准，严格防止粉煤灰的二次环境污染。

长远来看，粉煤灰伴随燃煤而生，要从源头上控制粉煤灰污染，中国更需要加大对燃煤污染的控制，大力提高能效，并调整能源结构，逐步摆脱对煤炭的过度依赖。

GREENPEACE 绿色和平

地址：北京市东城区新中街68号聚龙花园7号楼聚龙商务楼3层

邮编：100027

电话：+86 10 6554 6931

传真：+86 10 6554 6932

www.greenpeace.cn