



能源生产中煤炭使用 对健康影响的科学证据

Erica Burt, MPH
Peter Orris, MD, MPH
Susan Buchanan, MD, MPH

University of Illinois at Chicago School of Public Health
Chicago, Illinois, USA

APRIL 2013



目 录

背景介绍.....	1
煤炭发电厂对健康造成的危害.....	2
对呼吸系统的危害.....	3
颗粒物.....	3
二氧化硫.....	3
氮氧化物.....	4
对心血管的影响.....	4
生殖健康.....	5
神经系统的影响.....	5
预期寿命.....	5
气候变化.....	5
其它对健康的影响.....	6

英文报告全文下载，请扫描二维码或搜索“Scientific Evidence of Health Effects from Coal Use in Energy Generation”。



背景介绍

有研究表明，燃煤发电会造成空气污染，增加一般人群的疾病和死亡率。煤炭燃烧发电的过程中，会产生在空气中传播的颗粒性污染物，比如二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳、汞、砷、铬、镍、其它重金属、酸性气体（HCl, HF）、烃类丝宝（多环芳烃）和不同铀含量和钍的粉煤灰。

2011 年世界卫生组织公布的来自 1100 个城市和 91 个国家的空气质量数据显示，许多生活在城市地区的居民暴露在持续增高的细颗粒物污染中。该报告指出，无论在发达国家还是发展中国家，造成城市空气污染的最大原因包括汽车尾气，小规模的生产和其他行业的燃烧活动，利用煤炭做饭和取暖以及利用煤炭发电。为了取暖而燃烧木材和煤炭是造成空气污染的另一个重要因素，特别是在寒冷月份的农村地区¹。

在煤用来发电之前，它必须经历开采、清洗以及运输的阶段。煤被燃烧发电之后，剩余的灰烬必须进行存储或者处理。除了燃烧过程，煤炭在利用的全生命周期过程中都会产生污染。在开采阶段，煤的洗选过程产生的油浆中含有有害物质，会污染地表水和地下水，比如重金属会在过滤后留在存储容器上。在清洗过后，煤炭会通过火车，卡车，船或者驳船被运送到发电厂。这个运输过程中柴油机排放的污染物



会对沿途地区造成相当程度的空气污染。燃烧后，一些煤灰可以再循环成为水泥等工业产品，但大部分是在干燥处理或湿垃圾填埋场。这些含有砷，镉，钡，铊，硒和铅的垃圾填埋场的泄漏粉煤灰废料会污染地下水和地表水。煤炭附近燃煤电厂受排放物影响的情况取决于多种因素，包括天气（温度，降雨，风的方向和速度）和当地的特征。排放物也可以在全球范围内传播，对居住在远离电厂的人群产生健康影响。个体对煤炭排放物所造成的健康危害的敏感程度取决于年龄、基本的医疗条件、和使用的药物。儿童、老人、孕妇，还有肺部疾病患者，如哮喘和慢性阻塞性肺病，都容易受到空气污染的侵害。

¹ Tackling the Global Clean Air Challenge. World Health Organization News Release. 26 September 2011. Geneva, Switzerland.

煤炭发电厂对健康造成的危害

全世界百分之四十的电力来自于煤炭燃烧发电，而且在接下来的二十年里伴随着全球能源需求增加²⁻³，煤炭发电厂的数量可能会增加。世界资源研究所估计，全球范围内，目前大约有 1,200 个新建电厂的计划，其中 76% 的新装机来自于中国和印度⁴。利用煤炭发电产生的外部成本是指其对于社会造成的负担，并不包括电力的货币价格。对利用煤炭发电的外部成本的估算表明，95% 的外部成本是由其对人们健康所造成的负面影响构成的。煤炭对健康造成的负担主要来自于燃烧发电，其它对健康造成的负担存在于煤炭利用生命周期的其它环节⁵⁻⁶。

2007 年发表在医学杂志《柳叶刀》上的一篇文章总结了煤炭发电对健康造成的危害。文章估计，在欧洲，煤炭发电每十亿千瓦时会导致 24.5 例死亡，225 例患严重的疾病，包括入院治疗，充血性心脏衰竭和慢性支气管炎，以及 13,288 例患较轻的疾病⁷。当利用褐煤，这煤化程度最

低污染的煤进行发电时，这一数据变为每十亿千瓦时导致 32.6 例死亡，298 例患严重疾病，17,676 例患轻微疾病⁷。

据来自国际能源机构的报告指出³，截止 2010 年，世界范围的燃煤发电量为八万五千七百二十亿千瓦时，依据柳叶刀上所刊登的论文进行估计，每使用十亿千瓦时电，排除对气候变化的影响，每年由于煤炭燃烧所造成的空气污染而引发的健康代价是 210,000 例死亡，近 200 万例患严重疾病，超过 1.51 亿例患轻微疾病。这种计算是基于欧洲污染标准和人口密度。在空气污染标准更低的国家，或者更多利用煤进行发电的国家和煤的质量较差的国家，健康危害就更大了。例如，一份针对中国的研究报告结果显示，符合利用中国环保标准的煤进行发电，每十亿千瓦时会造成 77 例死亡（2007 年）⁷，这是欧洲的三倍还多。根据中国煤炭燃烧量进行估计，利用煤进行发电每年会造成中国 250,000 例死亡。

² International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2007: China and India Insights. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD); 2007.

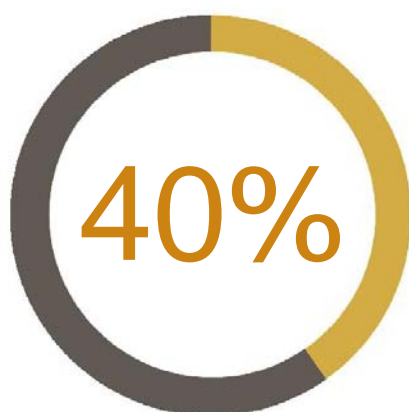
³ International Energy Agency (IEA). Key World Energy Statistics 2012. 2012.

⁴ Yang A, Cui Y. Global Coal Risk Assessment: Data Analysis and Market Research. World Resources Institute 2012.

⁵ Rabl A, Spadaro J, Bickel P, Friedrich R, Droste-Franke B, Preiss P, et al. Extern E-Pol. Externalities of Energy: extension of accounting framework and policy applications. Final Report contract NENG 1-CT 2002-00609. ECDG Research 2004.

⁶ Rabl A, Spadaro JV. Environmental impacts and costs of energy. Ann NY Acad Sci. 2006 Sep; 1076:516-526.

⁷ Markandya A, Wilkinson P. Energy and Health 2: Electricity generation and health. The Lancet 2007 9/15-21; 370(9591):979-990.



世界上百分之四十的电能来自于煤燃烧



对呼吸系统的危害

来自煤炭燃烧的某些污染物质会对呼吸系统产生负面影响，包括颗粒物、二氧化硫、氮氧化物例如二氧化氮。这种对呼吸道和肺部的机理性伤害是通过污染物中的氧化分子对细胞的伤害造成的。这会导致炎症、细胞中毒和细胞死亡。

颗粒物

颗粒物来自于煤炭燃烧，按照其尺寸被划分——小颗粒直径小于 2.5 微米的叫做 PM2.5，较大的颗粒直径达到 10 微米的叫做 PM10。PM2.5 能比 PM10 进入呼吸道更深层，因此被认为是人们健康的更大威胁。一项对中国各种发电厂排放物的研究表明，发电厂排放的颗粒物中，PM2.5 颗粒物占到了 8%—44%的比重，PM10 颗粒物占到了 62%—84%的比重⁸。

在一份评估了 40 个关于暴露于细颗粒物（PM2.5）对健康影响的研究报告中，美国环保局认为，PM2.5 可能导致呼吸道症

状，哮喘的发展，并减弱儿童肺功能⁹。由此可得出结论，PM2.5 浓度每增加 10 微克 / 立方米，FEV（一种测量儿童肺功能的主要测量指标）就会降低 1%到 3.4%⁹。

有结论认为，暴露于 PM2.5 当中会增加与呼吸系统相关疾病（比如感染和慢性阻塞性肺病）的急诊和入院治疗数量。来自澳大利亚和新西兰¹⁰、墨西哥¹¹、加拿大¹²、欧洲¹³的流行病学研究证实，对呼吸系统这些健康的影响被视为世界各地面临的 PM2.5 的共同问题之一。除了呼吸系统疾病，长期暴露于 PM2.5 与肺癌有因果关系。

二氧化硫

由于煤炭发电厂的排放物，使得居住在附近的人们受到二氧化硫的影响，这增加呼吸系统疾病的严重程度和发病率，尤其是患有哮喘的儿童。对于那些对污染物敏感的成年人和儿童而言，吸入二氧化硫会导致炎症和呼吸道不适，加重支气管炎，并降低人们的肺功能。

⁸ Yi H, Guo X, Hao J, Duan L, Li X. Characteristics of inhalable particulate matter concentration and size distribution from powerplants in China. J AirWaste Manage Assoc 2006; 56(9):1243-1251.

⁹ U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Science Assessment for Particulate Matter. 2009 December 2009; EPA/600/R-08/139F.

¹⁰ Barnett AG, Williams GM, Schwartz J, Neller AH, Best TL, Petroeschevsky AL, et al. Air pollution and child respiratory health: A case-crossover study in Australia and New Zealand. Am J of RespCritCare Med 2005;171(11):1272-1278.

¹¹ Barraza-Villarreal A, Sunyer J, Hernandez-Cadena

L, Escamilla-Nuñez MC, Sienra-Monge JJ, Ramírez-Aguilar M, et al. Air pollution, airway inflammation, and lung function in a cohort study of Mexico City school-children. Environ Health Perspect 2008; 116(6):832.

¹² Chen Y, Yang Q, Krewski D, Shi Y, Burnett RT, McGrail K. Influence of relatively low level of particulate air pollution on hospitalization for COPD in elderly people. Inhal Toxicol. 2004;16(1):21-25.

¹³ De Hartog J, Hoek G, Peters A, Timonen K, Ibaldo Mulli A, Brunekreef B, et al. Effects of fine and ultrafine particles on cardiorespiratory symptoms in elderly subjects with coronary heart disease The ULTRA Study. Am J Epidemiol 2003;157(7):613-623.

在中国，燃煤火电厂每年估计造成
250,000 人死亡



在社区范围内，二氧化硫浓度与哮喘以及其他呼吸系统疾病的入院数和急诊门诊数在儿童和 65 岁以上老年人中有显著的相关性。关于在欧洲城市，包括意大利、西班牙、法国、以及荷兰的流行病学研究发现，即使低浓度二氧化硫（24 小时平均值小于 10ppb），仍然与心脏和肺部疾病导致的高死亡风险相关。二氧化硫浓度每增加 10ppb，死亡的风险就增加 0.4%—2%¹⁴。

幸运的是，由于在过去几十年燃煤电厂污染控制技术的应用，许多国家空气中二氧化硫的浓度都下降了。污染监管标准较低的国家使自己国民的健康面临着二氧化硫危害的危险。例如，在中国二氧化硫的浓度从 2000 年到 2006 年，以 7.3% 的年增长率上升，主要是由于发电厂的排放量。但在 2005 年，中国的新政策规定增加了使用烟气脱硫（FGD）技术，二氧化硫的浓度此后一直下降¹⁵。

氮氧化物

氮氧化物是来自汽车和燃煤电厂化石燃料燃烧的副产品，除此之外还有许多其他来源。氮氧化物与化学物质在大气中发生化学反应，产生污染物，如臭氧（烟雾）、氧化亚氮（N₂O）和二氧化氮（NO₂）。二氧化氮和臭氧是特别引起关注的污染物。哮喘患儿暴露于二氧化氮会加重喘息和咳嗽的症状¹⁶。暴露于二氧化氮也增加易感

性病毒和细菌感染，在高浓度（1-2 ppm）的情况下它可引起呼吸道炎症。低浓度（0.2 - 0.5 ppm）的二氧化氮会造成哮喘患者肺功能的下降¹⁶。二氧化氮浓度的增加（3 - 50 ppb）会导致住院治疗和急诊的呼吸系统病人增加，尤其是哮喘病患者¹⁶。

对心血管的影响

燃煤电厂排放的颗粒物是全球心血管疾病的主要原因。直径小于 2.5 微米的颗粒物（PM_{2.5}）已被证实和心血管疾病以及死亡有关联⁹。心血管损伤的机制与呼吸系统相同：排放污染物中的氧化分子导致炎症和细胞毒性。

根据世界卫生组织估计，全球范围内有 5% 的心肺疾病的死亡与颗粒物污染有关¹⁷。长期暴露在 PM_{2.5} 的环境中已被证实会导致动脉粥样化的加速发展，增加缺血性心脏疾病和充血性心脏衰竭等疾病的急诊和入院治疗率。美国环境总署公布的绝大多数研究报告显示，PM_{2.5} 浓度每增加 10 微克 / 立方米，其所引发的心血管疾病的急诊和住院治疗人数就会增加 0.5%—2.4%⁹。

2007 年关于燃烧排放物对健康的影响的科学报告指出，PM_{2.5} 的浓度每增加 10 微克 / 立方米，其导致美国心血管疾病的死亡率增加的 8-18%¹⁸。此外，在中国和拉丁美洲最近进行的研究证实室外空气污染与心血管事件之间的显著关联¹⁹⁻²⁰。

¹⁴ U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Science Assessment for Sulfur Oxides - Health Criteria. 2008 September 2008; EPA/600/R-08/047F.

¹⁵ Lu Z, Streets D, Zhang Q, Wang S, Carmichael G, Cheng Y, et al. Sulfur dioxide emissions in China and sulfur trends in East Asia since 2000. *Atmospheric Chem Physics* 2010; 10(13):6311-6331.

¹⁶ U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen-Health Criteria. 2008 July 2008; EPA/600/R-08/071.

¹⁷ World Health Organization (WHO). Global Health Observatory (GHO): Outdoor air pollution. 2013; Available at: http://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/en/index.html. Accessed Feb, 2013.

¹⁸ Lewtas J. Air pollution combustion emissions: Characterization of causative agents and mechanisms associated with cancer, reproductive, and cardiovascular effects. *Mut Res* 2007;636:95.

¹⁹ Liu L, Breitner S, Schneider A, Cyrus J, Brüske I, Franck U, et al. Size-fractionated particulate air pollution and cardiovascular emergency room visits in Beijing, China. *Environ Res*. 2013 Feb;121:52-63.

²⁰ Romieu I, Gouveia N, Cifuentes LA, deLeon AP, Junger W, Vera J, et al. HEI Health Review Committee. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). *Res Rep Health Eff Inst*. 2012 Oct; (171):5-86.

生殖健康

研究空气污染对妊娠结果影响的文献综述证实孕期处于空气污染的环境当中可引起新生儿体重降低。该研究调查了二氧化硫、PM（中国，韩国）、二氧化氮、一氧化碳和臭氧（韩国）的影响，得出的结论是所有研究的污染物与低出生体重相关²¹。

研究人员研究了新生儿死亡率和燃煤电厂发电量之间的相关性²²。以1965年为基准线，在新生儿死亡率处于中到低的国家当中，如智利、中国、墨西哥、泰国、德国和澳大利亚，伴随着这些国家煤炭消费量的增加，其新生儿死亡率也在增加²²。

神经系统的影响

汞

煤含有许多天然重金属，包括汞。当煤燃烧时，汞以气态的形式排放到大气中。据联合国估计，全球26%的汞排放（339-657吨/年）来自发电厂里煤的燃烧²³。从燃煤发电厂排放到大气中的汞沉积到河道中，转化为了甲基汞，并且在水生食物链中传递²⁴⁻²⁵。孕妇食用这种来自国内外市场上被甲基汞污染过的鱼，会对她们胎儿的发展造成影响，例如智力水平较低、神

经发育延迟以及在视力、记忆和语言上发生微妙的变化²⁶。在西班牙、香港以及美国的大规模流行病学研究表明，由于食用了被汞污染鱼类，许多妇女血液中的汞含量超过了可以接受的水平，使得他们的后代处于危险之中²⁷⁻²⁸⁻²⁹。

预期寿命

一个关于煤用于发电对预期寿命影响的建模研究发现，以基准年1965年为准，在中等预期寿命的国家，如波兰、中国、墨西哥和泰国，煤的使用导致预期寿命减少。以印度和中国为例，预期寿命减少估计可达2.5年和3.5年²²。

气候变化

全球气候变化是由温室气体在地球大气层中的长期积累造成的。两种主要的导致气候变化的温室气体是煤燃烧的产物：二氧化碳（CO₂）和一氧化二氮（N₂O）。随着这些温室气体在大气中浓度的增加，全球平均气温缓慢上升，导致进一步气候变化的一系列后果，例如极地冰川融化和北极永久冻土融化³⁰。

²¹ SrámRJ, Binkoá B, Dejmek J, Bobak M. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: A review of the literature. *Environ Health Perspect.* 2005; 113(4):375.

²² Gohlke J, Thoma R, Woodward A, Campbell-Lendrum D, Pruss-Ustun A, Hales S, et al. Estimating the global public health implications of electricity and coal Scientific Evidence of Health Effects from Coal Use in Energy Generation consumption. *Environ Health Perspect.* 2011 Jun; 119(6):821.

²³ Pacyna J, Sundseth K, Pacyna E, Panasiuk ND. Study on mercury sources and emissions and analysis of cost and effectiveness of control measures: "UNEP Paragraph 29 study". 2010 Nov; UNEP (DTIE)/Hg/INC.2/4:17.

²⁴ Lippmann M, Cohen B, Schlesinger R. *Environmental Health Science: Recognition, Evaluation, and Control of Chemical and Physical Health Hazards.* New York, New York: Oxford University Press; 2003.

²⁵ National Research Council (US). *Hidden Costs of Energy: Unpriced Consequences of Energy Production and Use.* National Academy Press; 2010.

²⁶ World Health Organization (WHO). *Exposure to Mercury: A Major Public Health Concern.* *Public Health and Environment* 2007;3.

²⁷ Mahaffey KR, Clickner RP, Bodurow CC. Blood organic mercury and dietary mercury intake: National Health and Nutrition Examination Survey, 1999 and 2000. *Environ Health Perspect* 2004; 112(5):562-570.

²⁸ Diez S, Delgado S, Aguilera I, Astray J, Perez-Gomez B, Torrent M. Prenatal and early childhood exposure to mercury and methylmercury in Spain, a high-fish-consumer country. *Arch Environ-Toxico* 2009; 56:615-622.

²⁹ Lam HS, Kwok KM, Chan PH, So HK, Li A M, Ng PC, Fok TF. Long term neurocognitive impact of low dose prenatal methylmercury exposure in Hong Kong. *Environ Int.* 2013 Feb 13; 54C:59-64.

³⁰ Costello A, Abbas M, Allen A, Ball S, Bell S, Bellamy R, et al. Managing the health effects of climate change. *Lancet (London, England)* 2009; 373(9676):1693-1733.

可以预见的是，随着全球平均气温的升高，公共卫生负担将会增加，特别是在那些拥有更少的资源去应对和适应全球变暖带来的变化的低收入国家。较高的全球平均气温和海洋变暖已经增加了极端天气事件的发生，例如洪水、飓风和干旱。这些极端天气将会增加疾病和人员伤害，并且影响水质和粮食安全³¹⁻³²。

较暖的平均气温将改变生态系统，导致一些关键的食物链支撑物种的减少，例如珊瑚；也会导致正在不断扩大范围的一些杂草，禾本科植物以及树木的增加，这可能会增加过敏的严重程度和发病率³¹⁻³²。其它后果包括：气候敏感疾病的传播，例如蜱媒病和蚊媒病，食源性病原菌和水源性病原菌；地面臭氧和烟雾的增加，加重哮喘病的发作，使得就诊人数增加；极端炎热天气的增加，这导致与炎热有关的死亡³⁰⁻³⁴。人们为了避开这些与气候相关的后果而进行的大规模迁移，有可能导致针对水源、食物、住房、卫生和医疗等资源的冲突和更大的压力³⁰。

其它对健康的影响

虽然这个综述主要侧重燃煤发电对健康的影响，但也应该指出，煤炭利用的其它环节带来的健康负担，下文试举两例。

室内燃煤

使用固体燃料如煤来取暖和做饭，估计导致在全球每年有近一百万的人死于慢性阻塞性肺疾病³⁵。煤作为室内燃料相对而言不太常见，但在中国，仍旧广泛使用。在2000年，世界卫生组织针对使用固体燃料取暖和做饭造成的健康影响也进行了一个整合/后设研究，报告显示，大约1.58亿的东亚成年人和大约2000万南亚的成年人在做饭时暴露在煤烟中，造成每年超过16,000人死于肺癌³⁶。

煤矿工人

开采煤矿对职业健康的影响是众所周知的，并且这是在评估燃煤发电影响时必须考虑的问题。在2002年的一个对250项煤矿开采研究的综述中，斯蒂芬斯(Stephens)和埃亨(Ahern)³⁷计算出，由于在采矿作业中灰尘的吸入，使得高达12%的煤矿工人会患有可能致命的肺部疾病——煤工尘肺和矽肺³⁷。同时，煤矿工人患慢性支气管炎的风险较高，加速肺功能的丧失。大多数关于煤矿开采对健康影响的研究已经在欧洲和北美的大型煤矿矿工之间进行³⁷。小规模的山，其中有许多都是在发展中国家，往往更危险，造成事故和伤害的几率都更高。他们经常雇佣缺乏工作经验的工人和儿童，这两者都是更容易受到职业病和事故伤害的人群³⁷。

³¹ U.S. Environmental Protection Agency. EPA's Endangerment Finding: Health Effects. 2009 Dec.

³² U.S. Environmental Protection Agency. Technical Support Document for Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gases under Section 202(a) of the Clean Air Act. 2009 December 7, 2009.

³³ Health Effects of Climate Change in the UK 2012, Current evidence, recommendations and research gaps. S Vardoulakis and C Heaviside (Editors). Health Protection Agency, United Kingdom.

³⁴ Mc Michael AJ, Woodruff RE, Hales S. Climate change and human health: present and future risks. Lancet 2006; 367:859-69.

³⁵ World Health Organization. Indoor air pollution and health. Fact sheet N°292. September 2011.

³⁶ Smith KR, Mehta S, Maeusezahl-Feuz M. Indoor air pollution from household use of solid fuels. In: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL, editors. Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors--Volume 1 Geneva: World Health Organization; 2004. p.1435.

³⁷ Stephens C, Ahern M. Worker and community health impacts related to mining operations internationally. A rapid review of the literature. London, Mining and Minerals for Sustainable Development Project 2001; 2012 Oct; (171):5-86.

