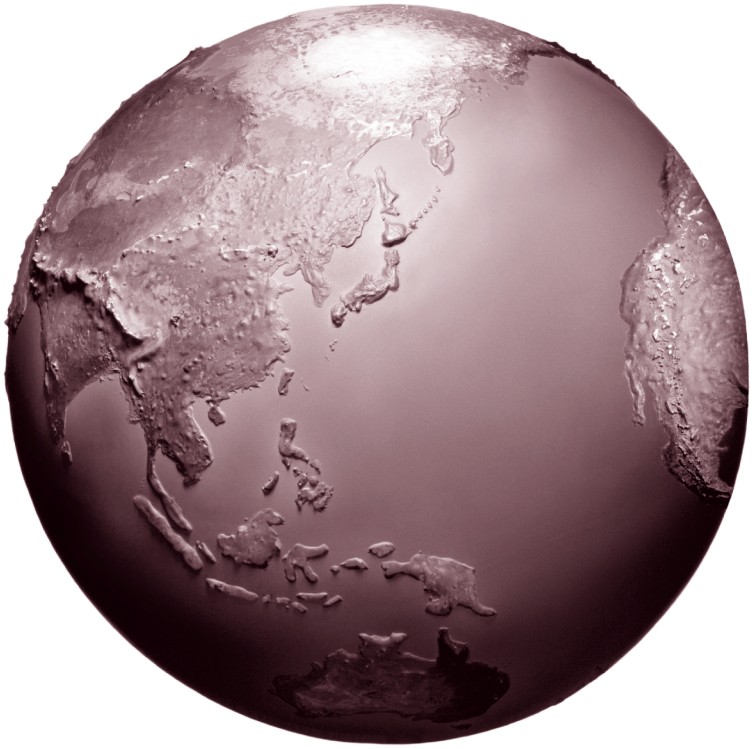
HEI

第15号专题报告摘要

2004年4月



亚洲地区发展中国家大气污染对人体健康的影响

HEI亚洲公共健康与空气污染 (PAPA)研究计划国际科学管理委员会
(PAPA研究计划是《亚洲城市净化空气行动计划》(CAI-Asia)的一部分)

Health Effects Institute（美国健康影响研究所）
Charlestown Navy Yard
120 Second Ave, Boston MA 02129-4533
电话：+1-617-886-9330 传真：+1-617-886-9335
网址：*www.healtheffects.org*

HEALTH
EFFECTS
INSTITUTE

美国
健康
影响
研究所

美国健康影响研究所(HEI)成立于1980年，是一家独立的中立科研机构，从事有关机动车及其他污染源所致环境污染的健康效应的研究。HEI由美国环保局和工业界共同支持，不但在美国组织大规模科学研究， 为与建立规章制度直接相关的决策提供科学依据；也在其他公共及民营组织的定期资助下，开展专项领域的研究和在世界其它国家和地区开展科研。HEI的研究主要包括：

健康影响研究：研究针对所有主要空气污染物，包括有毒有害气体、一氧化碳、柴油机车尾气、氮氧化合物、臭氧和颗粒物。HEI 在北美、欧洲和亚洲已总共资助了220多项研究，迄今共发表了160多份研究报告和专题报告。

专题综述：对专题领域的全部科学文献进行总结，主要涉及以下主题：石棉、柴油机车尾气、燃料中的氧化物，以及亚洲地区发展中国家大气污染对健康的影响（即本摘要主题）。

重新分析：对有关规章立法的重要研究进行重新分析，如研究空气污染对健康影响的《哈佛六城市研究》 (Harvard Six Cities Study) 和《美国癌症协会研究》(American Cancer Society Study)。

HEI 的研究工作重点以其五年战略发展计划为导则开展，并在工作过程中，通过与赞助机构、相关利益方和科研人员不断交流加以完善。HEI 自主安排和实施其研究中的工作重点，并独立做出结论。HEI的独立管理机构董事会由科研及政策领域的领导人组成，董事会成员也积极致力于公共与民营机构的合作，这种合作正是HEI的主要工作方式。HEI的科学研究工作同时受到两个独立委员会的监督：健康研究委员会 *(Health Research Committee)* 负责制定和管理HEI的研究计划；健康研究评论委员会 *(Health Review Committee)* 主要负责对HEI的研究结果进行严格评估及提供阐释依据，而与选择和监督HEI的研究无关。这些组织机构与HEI工作人员密切合作，共同确保HEI资助项目的研究质量、政策相关性和结果公正性。

HEI从日益国际化的角度实现其战略计划，既是为了利用全球化科学成果更好地为美国国内决策提供科学依据，也是为了促进世界其它国家和地区的科学研究。在此背景下，HEI发表了《亚洲地区发展中国家大气污染对人体健康的影响：文献综述》*(Health Effects of Outdoor Air Pollution in Developing Countries of Asia: A Literature Review)*，这是HEI亚洲公共健康与空气污染(PAPA)研究计划的一部分。PAPA研究计划是《亚洲城市净化空气行动计划》的一部分，该《行动计划》由亚洲发展银行和世界银行联合发起，旨在提供改善亚洲空气质量的措施。

亚洲地区发展中国家大气污染对人体健康的影响：文献综述

据世界卫生组织(WHO*)估计，在世界范围内，城市空气污染造成每年约800,000人死亡、世界人口总健康寿命减少约4,600,000年(WHO 2002)。实际上，这种影响在地理上的分布并不均匀：其中约三分之二的死亡和健康寿命减少现象发生在亚洲的发展中国家。这一估计对于制定从空气质量控制指导方针，到建立公共卫生项目的优先考虑，以及到国际借贷项目的确定都起到了重要作用。

WHO的估计表明，在亚洲城市里大气污染对健康的影响是巨大的，应引起政策制订者的足够重视。这项估计主要是根据欧洲和北美的研究结果向其它国家外推得出的。尽管在全球范围内，大气污染的成份有许多相同之处，但亚洲地区大气污染在许多方面与欧美国家仍有很大差异，如大气污染的特点、公众在污染中的暴露状况和暴露程度、公共健康状况（包括医疗管理水平）等。所以如果仅从西方研究结果中推断出亚洲地区大气污染对健康的影响，这些差异将会导致研究结果的偏差和不确定性。因此，HEI发起了亚洲公共健康与空气污染(PAPA)研究计划，将在未来五年中有选择地研究亚洲若干城市中的空气污染对人体健康的影响，以减少上述外推结论中的偏差和不确定性，为亚洲地区的决策者提供针对亚洲人群的研究结果和决策参考。PAPA研究计划的国际科学管理委员会(ISOC)为此准备了这份摘要和评论性综述，对亚洲地区空气污染与健康的流行病学研究进行总结，并以此来指导PAPA研究计划的开展。

《亚洲地区发展中国家大气污染对健康的影响：文献综述》涉及以下两个主题：(1)确定和总结现有亚洲地区大气污染的流行病学研究成果；(2)详细研究这些研究项目的其中一项——时间序列研究，此类研究主要评估大气污染短时间暴露对心血管疾病和呼吸道疾病日死亡率和住院率的影响。通过完成对这两个主题的总结，我们希望对目前已知的亚洲地区大气污染对健康的影响提供一个半定量归纳（侧重于大气污染短期暴露对健康的影响），并且希望这份综述有助于确定未来研究中需要填补的知识空白。

相关的亚洲文献

空气污染对健康的影响：现有的知识和待探讨的问题

因为人们对于空气污染的健康影响有了更多的认识和了解，而亚洲新兴城市空气污染又相当严重，所以政策制订者、国际借贷组织、非政府组织、工业界和其他相关人士也开始日益关注亚洲地区室外空气污染对健康的影响。目前，大家已普遍接受“接触室外污染空气可以引起多种急性和慢性疾病”的观点，并认为这种污染暴露轻则对人体产生细微的生理困扰，重则导致呼吸道和心血管疾病引起的死亡（Bascom等1996a、b）。这一认识是基于对人群进行的流行病学观测性研究，以及对动物和人体进行的实验室研究结果（HEI 2001、2002）。流行病学研究已经在世界许多地区对空气污染物（包括颗粒物[PM]、臭氧以及其它气态污染物）长短期暴露的健康影响进行了评估。由于这些研究结果直接关系到人类在现实环境中的生存条件，因而成为不断加强对某些空气污染物进行监控管理的重要科学依据。

尽管人们对这一领域的了解在不断增长，但是，一些影响公共政策的关键问题仍然存在着疑问。例如，空气污染短期暴露对日发病率和死亡率有多大影响？这种影响在世界各地有何差异？利用现有的统计工具能否精确估计这些影响的大小和差异？哪些疾病、社会条件或者遗传因素会给暴露人群带来最大的潜在风险？空气污染长期暴露对于慢性疾病的发展和寿命减少有何影响？混合污染物中哪些成分毒性最大及其污染源是什么？对于以上多数问题的答案而言，亚洲和欧美地区之间可能存在很大的差异。从撰写这份专题报告开始，PAPA研究计划将会为了解这些相似和差异

* 缩写词及其它术语列表参见本摘要结尾处。

HEI第15号专题报告摘要《亚洲地区发展中国家大气污染对健康的影响：文献综述》由HEI的PAPA研究计划国际科学管理委员会(International Scientific Oversight Committee, ISOC)准备。读者可从HEI网站: *www.healtheffects.org*下载或者从HEI直接获得第15号专题报告全文。

本文的完成在一定程度上应归功于美国国际开发署 (USAID)（根据 GEW-A-00-02-00014-00 号合作协议的条款）和 William 与 Flora Hewlett 基金会提供的支持。文中观点不一定代表USAID或其它任何赞助方的观点。

提供重要研究机会，希望这项研究既能促进对发展中国家的了解，也能加深对发达国家的了解。

社会发展与公众健康

在许多领域，亚洲都是全世界最具活力的地区：收入不断增长，工业化、城市化加快，机动车辆的使用也随之增加。虽然数以亿计的人口依旧生活在贫困中，但是人口增长的持续减缓和人均收入的稳步增长已经是大势所趋。人口增长率的大幅下降表现在，从2000到2030年，预计中国人口增长率将仅为美国的60%。预计印度人口增长率也会下降到20世纪末的一半。然而，由于人口基数庞大，亚洲人口仍将出现大幅绝对增长。整个亚洲未来三十年中将增加近10亿人口——相当于目前的印度全部人口。虽然人口增长本身并不表示人群会更多地暴露在空气污染中，但随着更多的人口进入空气污染严重的城市，人群暴露的机会将会大大增加。目前，三分之二的亚洲人口仍然生活在农村，然而情况正在发生变化。生活在中国和印度城市里的人口已超过了非洲居民总数，是北美居民人数的两倍。

本世纪，由于平均寿命的延长和生活方式的改变、都市化、环境恶化等相关危险因素的剧增，在亚洲低收入国家中，人口发病率和死亡率的模式正在发生转变。由于营养不良、母体原因和传染病造成死亡和健康寿命的缩短等问题依然严重的同时，非传染性慢性病（如高血压、糖尿病、缺血性心脏病和癌症）的发病率和患病率也越来越高(Murray与Lopez 1997)。另外，烟草消耗的增加也是导致全球呼吸道疾病、循环系统疾病和癌症的疾病负担增加的重要因素之一(WHO 2002)。

空气污染暴露

通常情况下，燃烧是大气污染物排放的主要过程。在较贫困的城市，垃圾燃烧（垃圾和生物燃料）造成相当严重的空气污染。虽然大规模集中焚烧垃圾也会造成环境污染，但在多数亚洲城市，小规模垃圾燃烧对环境造成的污染更严重。预计在未来30年内，污染最大的垃圾焚烧有可能得到控制。

在多数城市中，主要燃烧源是燃料的使用，这种现象将随着人口规模和经济活动的增加而剧增。虽然污染物的排放量由于燃烧条件和排放控制技术的差异而有所不同，但燃料类型是衡量潜在排放量的重要指标：煤炭和生物燃料是高排放量的固体燃料；汽油、煤油和柴油是中排放量的液体燃料；而液化石油气和天然气是低排放量的气体燃料。根据可预见的经济发展趋势，亚洲煤炭和机动车辆燃料的使用预计将会出现大幅增长。

研究表明，世界上最严重的室外空气污染现象多出现在亚洲城市中。图1表明了2000年和2001年亚洲主要城市中总悬浮颗粒物(TSP)、空气动力学当量直径在10 μm以下的可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)和二氧化氮(NO_2)的年平均浓度。中国和印度一些大城市的PM_{10}水平创下全球最高纪录。

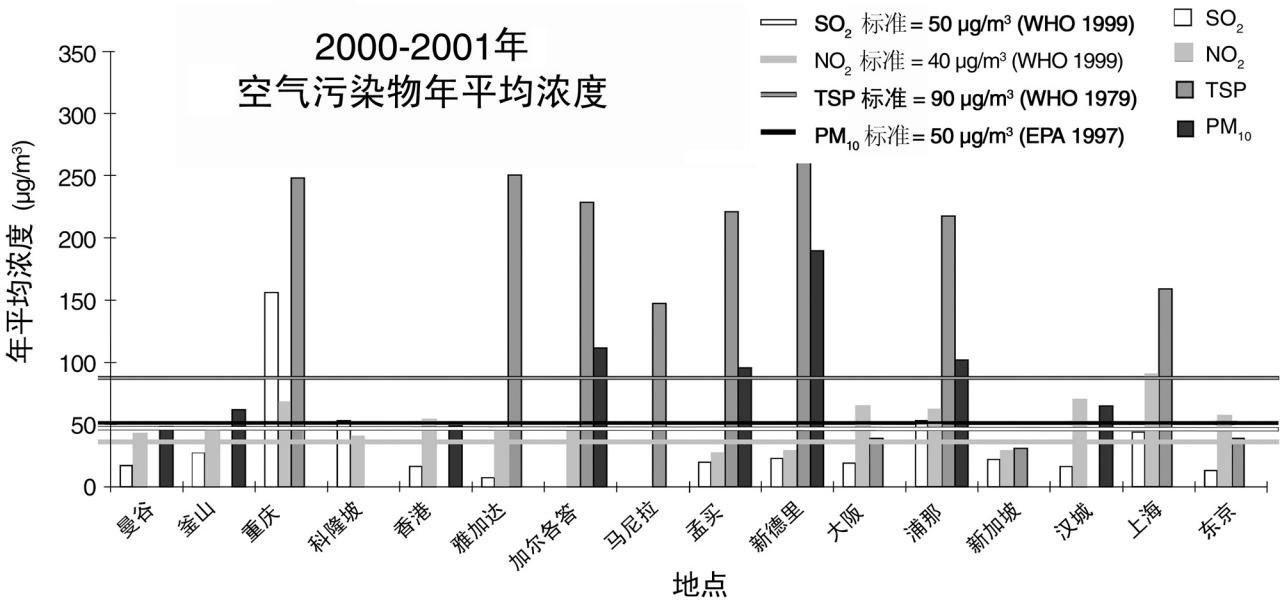


图 1. 2000年和2001年亚洲城市空气污染物年平均浓度与空气质量标准的比较。数据来自《2004年亚洲大城市的空气污染报告》(Air Pollution in Megacities of Asia 2004)。

亚洲城市的空气污染与社会经济发展的水平及走势密切相关。在南亚和东南亚多数城市中，除了迅速增长的工业化、城市化、人口和运输需求以外，气候条件同样影响着空气污染水平。虽然当地政府已经采取措施降低污染物排放量和控制污染水平，但是要进一步提高城市空气质量，仍需长期不懈的努力，才能使城市空气质量的提高与城市的快速发展保持同步。

亚洲发展中国家的室内空气污染也是一个严重的问题，因为60%至80%的亚洲家庭依靠固体生物燃料烹饪和取暖。这些燃料通常在没有通风设备的低效率传统设备中燃烧，从而导致严重的室内污染。妇女和儿童的室内污染暴露最为严重，因为他们大部分时间在室内度过，而且使用固体生物燃料或者在这种燃烧源附近从事家务劳动和家居活动。据估计，低收入国家的城市居民中，大约有30%至60%生活在贫困家庭中并暴露于严重的室内空气污染中。虽然最近有些家庭已经开始使用较清洁的气体燃料，但是这一转变速度极慢，并且很大程度上局限于高、中收入家庭。流行病学研究表明，室内炉火排放的烟尘对许多疾病有不良影响，包括5岁以下儿童的急性下呼吸道传染病、慢性阻塞性肺病 (COPD) 及肺癌（最后一种仅由煤烟暴露引起的疾病）(Smith等2004)。

在西方国家进行的室外空气污染流行病学研究通常不考虑室内污染源和人群暴露总量。虽然研究人员尝试使用同样的程序在亚洲的发展中国家开展研究，但是在亚洲地区，特别是在贫困地区，室内和室外污染源之间的显著差异，因而引出了一系列研究中需要重视的问题。例如，贫民区的居民因为贫困往往有更多的健康问题，他们还可能因生活在贫民区而更多地暴露在室外空气污染中。在这种情况下，往往难以区分贫困和空气污染对健康的影响。虽然这不会影响到涉及空气污染短期暴露与健康状况日变化的时间序列研究（因为贫困影响不会逐日变化），但是可能会影响到长期暴露对健康影响的研究。由于室内空气污染的暴露或其它与贫困相关的因素都可能提高贫困人群对室外空气污染暴露的易感性，因此，在研究空气污染的短期和长期暴露时，应该考虑到与贫困相关的因素与室内外空气污染暴露之间的交互作用。

空气污染控制的规章立法进程

过去十年里，亚洲各国已经开始采取措施解决空气污染问题。各种空气污染水平监控记录系统（虽然综合性能和完善程度仍有待提高）的发展和公众对日常生活中防范空气污染意识的增强（特别是在拥挤的城市中），促成了这些措施的出台。亚洲许多国家现已根据各国具体情况，开始采用全国范围的空气质量标准，并且（至少部分国家）已开始考虑采用 WHO 指导标准和欧洲、美国的标准。

一些亚洲国家已开始着手减少特定污染源的排放量，尤其是机动车辆、工业和电厂的污染排放。近年来，这些努力得到《亚洲城市净化空气行动计划》(CAI-Asia)的大力支持，该计划由亚洲开发银行和世界银行组织，旨在促进亚洲政策管理机构、工业界、非政府组织以及其它相关利益方之间的技术资源共享。

这些环境保护措施已经导致某些大气污染物浓度的降低。例如，在使用无铅汽油的国家中，大气中的铅暴露和儿童及其它人群中的血铅含量都已明显降低。控制燃料中的含硫量和减少燃煤工业和发电站废气排放量的努力，也使大气中的SO_2开始长期性减少（Hedley等2002）。在某些地区（如香港和曼谷），针对机动车辆和其它污染源的综合整治举措已经大大降低了某些污染物的水平，而这些污染物在历史上曾经造成严重大气污染。

尽管亚洲国家在采取污染控制措施方面取得了诸多进步，但亚洲地区仍然面临着提高空气质量的诸多挑战。虽然很多国家制订了更为严格的空气污染源的控制标准（特别是针对机动车辆），但许多大量排放污染物的旧机动车辆和工厂仍在运转。此外，快速的经济发展和道路上机动车数量的不断增加，也将完全或者部分抵消近期因采取控制手段而减少的污染物排放，而解决这些现有污染源需要采取广泛的干预措施。亚洲城市还面临着一系列难以控制的排放源污染（例如，露天焚烧、劣质室内燃料、难以管理的小型企业和工厂）。

亚洲各国为提高空气质量而采取的一系列措施，其改进速度和力度往往由于下述原因而大打折扣：其他必须关注的热点问题（包括其他环境与公共健康问题，例如水传播疾病等）；经济增长目标和环境保护投资之间存在的冲突；不愿接受西方国家研究结果来对亚洲空气污染进行健康影响评估。

尽管存在这些挑战，一些亚洲城市仍然在采取污染控制措施方面取得了实质性的进展，尤其是当本地环境污染对健康影响和经济效益评估能够提供有助信息时。加强各地对空气污染健康影响的研究，将有助于全面分析净化空气措施带来的健康和经济效益和进一步推动环境保护的开展。

亚洲空气污染流行病学研究综述

《亚洲发展中国家室外空气污染对健康的影响：文献综述》首先确认和介绍了1980年至2003年6月间发表于国际专家评审期刊上关于亚洲地区室外空气污染对健康影响的流行病学研究。其次，报告重点对日死亡率和住院率的时间序列研究进行了评论性的和定量总结（或称汇总分析）。在该总结和汇总分析中，我们将“亚洲”定义为包括东亚、南亚和东南亚所有国家和地区在内的地区。所有文献都是根据主题词、地区和国家，和用计算机对英文期刊搜索确定的。为了进一步扩大搜索，我们也查阅了主要中文预防医学和流行病学期刊、并根据已发表论文的参考目录进行了进一步的文献收集。

亚洲文献概述

本专题报告确定了138篇从1980至2003年6月在国际专家评审期刊上发表的论文，这些论文对亚洲地区室外空气污染的健康影响进行了初步的评估。虽然研究已在大约8个亚洲国家进行，但大多集中在东亚地区（中国大陆、中国台北、香港、韩国以及日本）。只有少数研究在南亚（印度）和东南亚进行（图2）。其中大部分发表于过去10年中，与同期西方文献方面的增长情况一致（图3）。

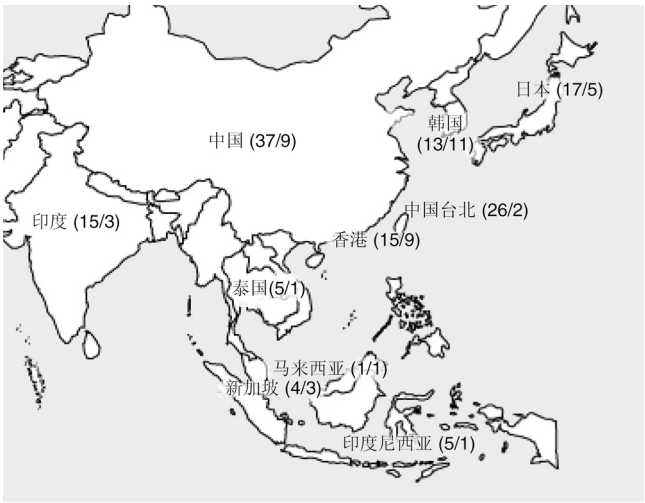


图2. 1980年至2003年6月间发表的亚洲大气污染流行病学研究。（注：括号中的数字为研究总数/时间序列研究数。）

亚洲研究主要调查了可吸入颗粒物及气态污染物与人群死亡率、住院率、呼吸道疾病症状、肺功能以及不利的生育生殖结果之间的关系（表1）。大部分(约70%)研究设计类型，是针对慢性呼吸道症状发生率或肺功能进行的横断面研究，和针对空气污染短期暴露对日死亡率或住院率影响进行的时间序列研究。虽然研究为数众多，但是多数亚洲国家尚未全面地评估室外空气污染暴露的多种健康影响。中国是一个例外，其开展对急慢性健康影响的流行病学研究已经超过了25年。这些研究通常着眼于暴露在高浓度可吸入颗粒物及其它污染物中的人群，证实了空气污染短期和长期暴

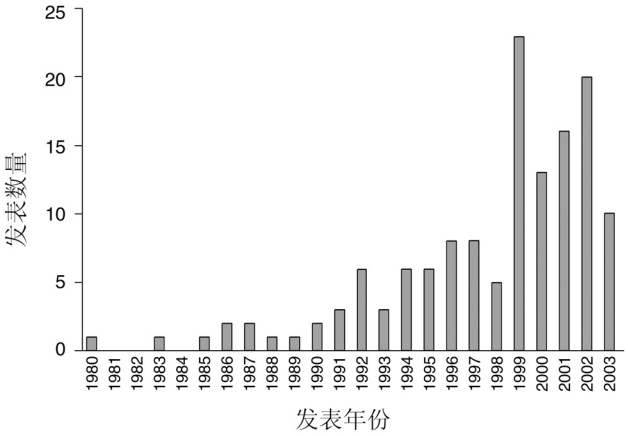


图3. 亚洲大气污染流行病学研究的发表数量（按年度排序）。（注：在2003年，已发表论文的收集工作截止到6月。）

表 1. 1980 – 2003 年亚洲 138 项室外空气污染流行病学研究的特征总结

	研究数量
健康影响	
死亡率	26 项
住院人数、就诊人数、出院人数	17 项
呼吸道疾病、症状，官能、哮喘	57 项
生物标识物	9 项
怀孕或分娩结果	9 项
肺癌	10 项
其它	10 项
设计	
横断面研究	48 项
时间序列研究[a]（总数）	45 项
（汇总分析中用到时间序列研究[a]，28 项）	
队列研究	14 项
病例-对照研究	8 项
人群研究	7 项
生态环境健康研究	9 项
病例交叉研究	3 项
影响评定方法	4 项

[a]包括时间片断序列研究。

露对心血管和呼吸道系统的不利影响。

本专题报告所确定的138项研究大部分都显示，亚洲地区暴露于室外空气污染的成人和儿童，其健康受损害的风险或患病率会相应增加，而且程度通常高于西方研究中得到的结果。考虑到研究设计类型和数据来源的多样性，本专题报告暂不具体评定每项研究的质量（日时间序列研究除外）。本专题报告也不评估亚洲整体研究中，只发表或主要发表阳性研究结果的可能性（即，发表偏倚）。

日时间序列研究的汇总分析

相当一部分亚洲的时间序列研究估计了空气污染短期暴露对日死亡率和发病率的影响，而汇总分析的目的在于针对这些研究进行总体评估以增加研究结果的综合结论性，并使之可以与欧洲、北美的汇总估计结果进行比较。为此，我们在汇总分析中进行了两项分析：(1)对全部的影响估计结果进行描述性分析；(2)在研究数量足够多的情况下，对特定污染物暴露和特定健康影响进行汇总估计。

方法

本专题报告确定了28项符合汇总分析的标准的日死亡率或住院率的时间序列研究。这些标准包括：研究必须有至少一年以上的数据基础，从统计角度掌握了主要的时间变化和潜在的混杂影响因素（如季节、气候），并且发表了每单位空气污染变化所导致日死亡率或发病率的相应变化的结果（以及对统计变量的评价）。符合上述标准的研究，被纳入汇总分析中。

符合这些标准的28项研究分别来自8个国家或地区。其中绝大多数来自韩国（11项）、中国大陆（6项）和香港（6项）。也有单项研究来自中国台北、印度、新加坡、泰国和日本。我们总结了28项研究中的描述性资料，包括作者名称、刊物引言、研究周期、研究年份、研究地点、研究期间的平均污染水平、结论、研究的污染物。并将不同估计结果（来自不同统计估计量）修正为标准估计量（污染物每增加10 $\mu g/m^3$，相关项的日平均百分数变化），以便使各项研究的结果具有可比性。如果某个城市的研究数目超过1项，我们会采用发表时间最近的研究结果。我们也对汇总分析的结果进行了敏感性分析。

在进行时间序列研究时，研究人员必须处理研究中的若干不确定因素来源。不确定因素来源之一是如何确定城市中影响健康的空气污染成份。另外，几种重要污染物可能来自同一污染源，其在大气中的浓度变化常常是相关的。这些不确定因素来源使得在统计分析中难以将污染物的单独作用及相互作用区分开来。因此，研究人员通常在一次分析时只对一种污染物（采用单一污染物模型）进行分析，而不一定研究或报告同时考虑多种污染物（采用多重污染物模型）的分析结果。我们的汇总分析也仅集中于单一污染物模型的研究结果；因为，目前可比较的多重污染物模型研究结果太少，难以进行有意义的汇总分析。

研究中的另一个不确定因素来源涉及到与死亡或入院有关的暴露时间。研究中通常会预计到暴露与死亡或入院之间的时间滞后，但却不能准确地预计时间滞后的长短。最近的调查表明，短期的污染暴露对健康的影响主要与病变发生数日前的空气污染暴露水平有关。因此，迄今为止的多数欧美时间序列研究以及所有亚洲时间序列研究，均估计病变前1天或者平均0至3天前空气污染暴露所造成的影响。虽然一些研究人员报告了他们对其它时间滞后段的研究，但是因为这些报告太少，无法进行有意义的汇总分析。

研究中不确定因素的第三个来源是，目前的研究并未在地域上代表整个亚洲，而且远不能体现南亚和东南亚的情况。虽然也许整个亚洲地区的研究结果可能十分相似，但是各个国家和地区间空气污染水平和污染物成份、污染源类型、人群健康状况和社会经济发展的差异，很可能导致空气污染短期暴露对健康的影响有很大差异。

时间序列研究的特征

所有时间序列研究主要报告了7种污染物，包括总悬浮颗粒物、PM_{10}、空气动力学当量直径小于2.5μm的可吸入颗粒物[$PM_{2.5}$]、SO_2、NO_2、一氧化碳 [CO] 和臭氧 [O_3]，和对健康的若干影响，包括全病因[1]和特定原因导致的死亡率、呼吸道和心血管疾病住院率，以及社区保健结果，包括急诊、不定期健康检查和学校缺勤率。其中，有13项研究采用了全病因死亡率为健康影响评估指标，有11项研究采用了SO_2的浓度为暴露变量。另外，多数研究并未涉及所有“污染物-健康影响”的组合，只有少数研究涉及多种组合，也只有一项研究估计了$PM_{2.5}$对全因死亡率的影响（图4）。

1. 在本摘要全文中，若非另行注明，我们将“全病因”定义为所有自然原因（事故原因除外)。

亚洲地区的时间序列研究的统计方法本质上与同期在美国、欧洲和其它地区研究中使用的方法相同。事实上，部分研究甚至采用了近期西方多城市时间序列研究中使用的分析方法，例如欧洲APHEA研究中的方法（Katsouyanni等1997、2001）。因此，人们对这些研究中采用的统计模型，与对西方的同期研究中已经出现的模型问题有相似的疑问和关注。28项生态时间序列研究中，多数使用了泊松回归分析，其中约半数采用广义加法模型(GAMs)： 即在控制长期时间变化趋势、季节和气候影响的同时，估计健康与空气污染的关系。但在某些情况下，GAMs的建模方法可能对统计分析中的不确定性考虑不够，从而导致估计结果欠准确。虽然采用GAMs可能不会引起较大的偏差，但如果在分析中多做些工作，如HEI曾组织研究人员采用其他统计模型对美国和欧洲的多城市时间序列研究进行了重新分析，则可能较充分地验证和阐述这一问题（HEI 2003）。

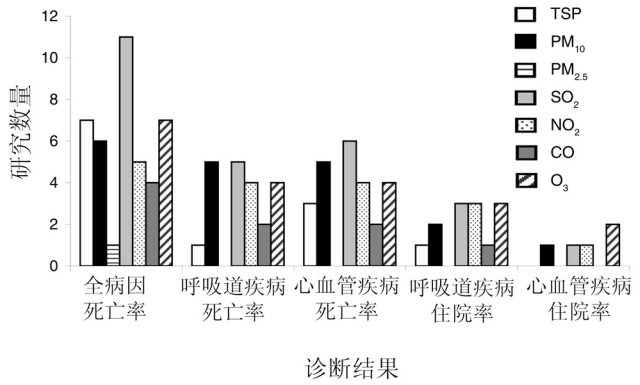
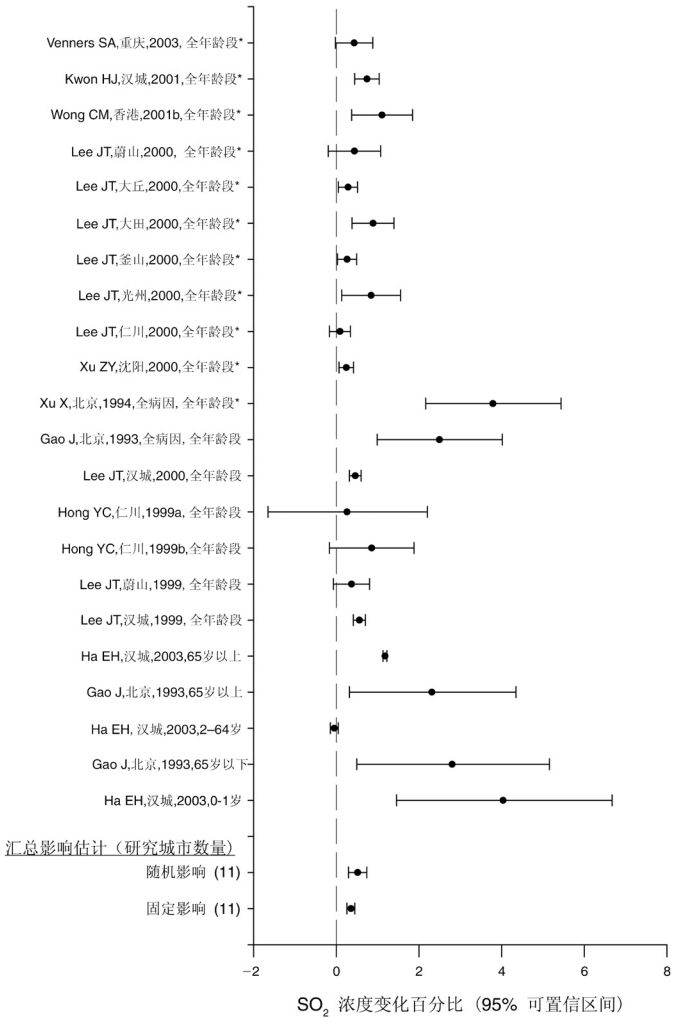


图 4. 28项亚洲日时间序列研究中涉及的污染物及健康诊断结果

描述性结果

对“污染物–健康影响”多种组合的描述性分析表明，在亚洲城市中，日死亡率和住院率的增加与颗粒物和气态污染物的暴露相关。由于相关研究为数依然较少，以至于难以对少数城市的研究中得到的健康效应及城市间差异程度做出详细的评估。然而，描述性分析表明，日死亡率增加幅度的城市间差异，可能对某些污染物（如SO_2）较为敏感，但对其它污染物（如PM_{10}）则不太不敏感（图5）。



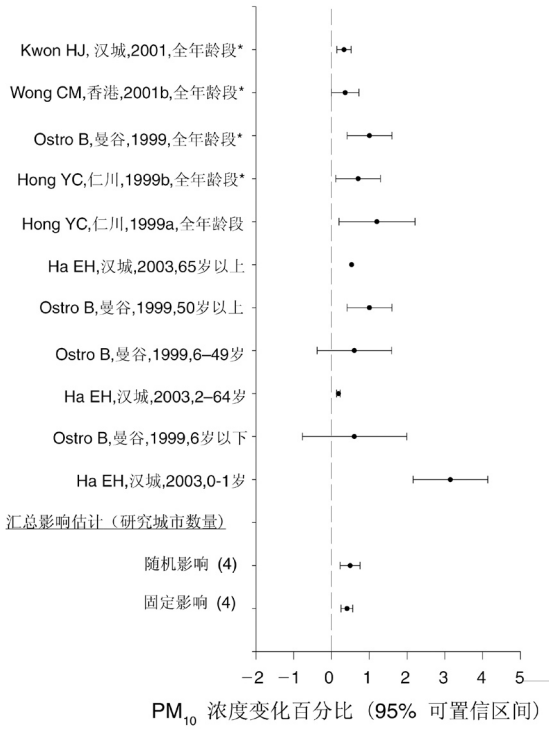


图5. 24小时内SO_2（左图）和 PM_{10}（右图）平均浓度每增加 10 μg/m³，全病因日平均死亡率变化百分比。请注意 x 轴刻度间的差异。Y 轴标签按以下顺序显示研究资料： 第一作者姓名、研究地点、发表年份以及年龄组（岁）。*纳入汇总评估计算中的研究。

汇总评估

对于报告了四项或更多“污染物–健康结果”组合估计结果的研究，我们计算了污染物每增加10 μg/m^3，与之相应日平均死亡率或患病率变化百分比的汇总估计。结果表明，PM_{10}、总悬浮颗粒物以及气态污染物SO_2和NO_2均与全病因死亡率相关。虽然目前收集的研究并未代表整个亚洲的情况，但是对PM_{10}和SO_2的汇总估计（每增加 10 μg/m^3 的暴露量，全病因死亡率大约增加0.4%–0.5%）与已发表的美国和欧洲多城市研究报告汇总结果相似（表2）。

对于发表偏倚的统计学检验也表明，研究SO_2和全病因死亡率相关性时可能存在发表偏倚问题。如果纠正这一可能存在的偏差，会使得日死亡率的估计增加程度略有减少。

结论与未来研究的需要

亚洲地区大气污染流行病学相关研究的数量超乎我们的预计。我们所确定的138项于1980至2003年6月期间在国际专家评审期刊上发表的研究中，大部分是在过去十年中发表的。这一数字可能仍然低估了研究的数量，因为我们未能确定一些仅在地区性的专家评审期刊中发表的论文。亚洲的研究人员也可能因为比较难以在西方学术期刊上发表著作，所以可能还有一些研究从未发表过。另外，只有部分国家的研究在文献中得到了充分的体现，而其他国家却没有。总而言之，大部分研究来自东亚较为发达的国家和地区，南亚和东南亚地区的研究则相对较少，但是，正是在南亚和东南亚地区，快速的城市发展伴随着极其严重的空气污染问题。

虽然我们并未进行评论性的和定量审阅，但是就亚洲文献总体而言，在空气污染流行病学研究方面，与西方研究存在诸多相似之处：例如，文献的近期增长量、所提出的健康评估指标、某些特定研究设计方法的相对使用频率。一方面，在这些亚洲研究中，研究人员进行了大量针对空气污染短期暴露影响评估的时间序列研究和针对呼吸道健康影响的横断面研究。在后一项研究中所报告的空气污染对健康影响的评估在定量上与更广泛的文献报告相似（例如，Pope与Dockery 1999），尽管这些研究可能没有准确反映整个地区空气污染对人群的健康影响。值得一提的是，迄今尚无一项亚洲人群研究估计空气污染长期暴露对非恶性心血管疾病和呼吸道疾病死亡率的影响。

虽然亚洲已经出现了相当数量的高质量时间序列研究，但是迄今绝大多数已经发表的研究都来自中国（包括中国香港和台北）和韩国。另外，尽管这些研究发现，日发病率和死亡率的增加与可吸入颗粒物及各种气态污染物有相关性，但各项研究在结果表述方面彼此出入较大，而且通常是对同一城市进行重复研究，因而还难以对全部发表的研究结果进行定量总结。总之，虽然现有的时间序列研究并不代表亚洲整体状况，但当我们对各项研究的估计结果进行汇总分析时，汇总评估结果与近来在欧洲和北美进行的更大范围多城市汇总研究结果类似（至少对PM_{10}和SO_2如此）。

东西方在这些研究结果上的相似之处在有些方面令人惊讶。一方面，我们发现了意料之中的数据，可以证明在亚洲城市中，短期暴露于高浓度的的空气污染对健康的影响。20世纪中期以来，人们就已经意识到短期暴露在高浓度空气污染中的急性有毒有害影响，而近年来欧洲和北美的多城市研究也表明，甚至在较低污染浓度下的短期暴露也会产生这样的效应。另一方面，我们也有充分的理由相信，空气污染暴露与健康间的相关性可能会受多种因素影响而产生变化，对各种变化原因的研究可以为科学研究和政策决断提供重要依据。例如，不同的年

表 2. 健康结果[b]的变化百分比[a]估计值汇总

结果	污染物	估计数量	异质性[c]	固定影响估计值 (95% 可置信区间)	随机影响估计值 (95% 可置信区间)	发表偏倚测试[d]	多城市研究的估计值汇总 (95% 可置信区间)
全病因死亡率							
	PM_{10}	4	0.14	0.41 (0.25,0.56)	0.49 (0.23,0.76)		APHEA 2[e] 0.6 (0.4,0.8) NMMAPS[f] 0.41 (0.29,0.53)
	TSP	10	0.55	0.20 (0.14,0.26)	0.20 (0.14,0.26)	0.53	
	SO_2	11	< 0.001	0.35 (0.26,0.45)	0.52 (0.30,0.74)	0.03	APHEA 1[g] 0.40 (0.3,0.5)
呼吸道疾病住院率							
	NO_2	4	< 0.001	0.28 (0.09,0.47)	0.95 (-0.05,1.94)		
	SO_2	4	0.03	0.07 (-0.28,0.41)	0.16 (-0.46,0.77)		

[a] 环境中的污染物浓度每增加 10μg/m^3。
[b] 不少于四项研究有个别污染物-结果组合估计值情况下的计算结果。
[c] X^2 测试中的 P 值。（P 值 < 0.05 则视为具有统计显著性。）
[d] Begg 测试中的 P 值。对估计值过少的污染物-结果组合，未作测试。(P 值 < 0.05 则视为具有统计显著性。)
[e] 研究包括 29 个欧洲城市（Katsouyanni 等 2001）。
[f] 研究包括 90 个美国城市（Samet 等 2000b）。
[g] 研究包括 12 个欧洲城市（Katsouyanni 等 1997）。

龄结构、健康状况以及亚洲人与西方人之间不同的生活方式，有可能改变人群对空气污染的易感性。另外，不同地区空气污染混合物本身及其相应毒性也不尽相同，也会影响流行病学研究结果，迄今为止已经发表的研究尚未能证明此类差异。如果未来的流行病学研究能够更全面地涵盖亚洲城市，综合分析应该能够进一步印证亚洲与世界其它地区估计结果的相似性。

当前认知中的空白

如果能够更全面地在亚洲城市收集资料，并采用更为系统的方法分析数据和报告结果，将不但有助于我们进一步了解空气污染在亚洲对公众健康造成的影响，并且还可与世界其它地区的研究结果进行横向比较。在未来的研究工作中，我们会侧重于以下当前认知中的空白。

- 在亚洲地区，大气污染短时间暴露与日发病率和死亡率之间的关系如何？大气污染对健康的影响程度在亚洲国家之间，如印度、印尼、越南、马来西亚和菲律宾，或中国、香港和韩国，是否相似？因为各城市中大气污染源（例如露天焚烧）的差异及贫富差异状况的不同都会改变大气污染暴露对健康的影响。在亚洲整个地区持续开展在研究方案设计及数据分析方法上具有可比性的研究，将有助于获得更具权威性的答案。

- 混合空气污染物的组成及浓度是否会影响已观察到的健康影响效应？由于亚洲地区发展中城市的空气污染源与西方城市的污染源不尽相同，因此产生的市区混合空气污染物的成份也会有所差异。在亚洲地区，针对各种空气污染成份以及不同污染源相对重要性的细致研究尚未广泛开展。缺乏这些研究结果，流行病学家难以评估不同混合污染物或特定污染源造成的相关健康影响，甚至无法解释空气污染的变化规律。

- 在亚洲地区所监测到的大气污染浓度中，“空气污染物浓度-健康效应”关系曲线有何特征？欧美的多城市流行病学调查，描述了“可吸入颗粒物浓度-日死亡率响应关系曲线”在低于许多亚洲城市中观察到的浓度范围的特征。但是，研究人员尚未大量研究过该关系曲线在高浓度时的特征。如果能在亚洲城市高浓度污染环境中进行一系列城市间的协作研究，将有助于拟定“高浓度空气污染-健康响应关系曲线”，并使得各城市间的研究结果更具可比性。

- 亚洲地区和西方国家中的空气污染易感人群是否相同？由于全病因死亡率相对增加的估计结果在东西方汇总研究中较为相似，这就有可能掩盖了东西方人群具有不同特点的易感性。亚洲地区年轻人死亡（例如，由急性呼吸道感染、肺结核、或者急性呼吸窘迫综合症导致的死亡）在总死亡率中所占的比重大于西方。同时考虑到亚洲人口中年轻人比重也相对较大，这一问题的答案将对亚洲地区空气污染的健康影响评估有重大影响。另外，虽然在亚洲城市人口中，慢性心血管疾病和呼吸道疾病的患病率也在不断上升，但是在这些患有慢性疾病患者，对空气污染的易感性也可能受到饮食或其它因素的影响（老年慢性病患者也不例外）。随着人口和健康模型数据的大量涌现，在未来研究中至少应该考虑到年龄，尤其是病因对发病率和死亡率的影响。

- 室内空气污染在室外空气污染暴露导致的健康影响中有何作用？亚洲城市中，特别是在贫困人群中，严重室内空气污染暴露的情况十分普遍，因此我们需要更好地了解室内空气污染如何影响室外空气污染暴露水平，以及室内空气污染暴露如何影响室外空气污染暴露的健康影响风险评估。要回答这些问题，应该采取开展协同进行的暴露评价和流行病学研究。

- 贫困对空气污染的健康影响有何作用？目前，主要来自欧州和北美的为数不多的资料表明，贫困增加了与空气污染相关的发病率和死亡率的风险。一个可能的解释是社会经济地位较低的人群更容易暴露在严重的空气污染中。但是同时，人群易感性的增加也有可能受到其他与社会经济地位相关其他因素的影响，例如健康、营养状况、获得医疗服务的机会等，这些因素也会导致贫困人口中较高的发病率和死亡率。尽管在亚洲地区赤贫现象十分普遍，但这些问题尚未在亚洲进行研究，而且也不能简单地对西方的研究结果外推来获得结论。因此，亚洲地区急需开展这类与贫困密切相关疾病（如儿童急性呼吸道感染和肺结核）的发病率死亡率的暴露研究，并对社会经济阶层对空气污染暴露的影响进行评估。

- 空气污染长期暴露会产生何种健康影响？目前，对空气污染健康影响的评估（如 WHO 比较风险评估，WHO 2002）和空气污染治理的成本效益分析，主要依赖于空气污染暴露对慢性心

血管疾病和呼吸道疾病发病率和死亡率的影响估计。这些估计只有通过对大量研究人群进行长期追踪调查才能完成；仅对空气污染的短期影响进行日时间序列研究是不够的。到目前为止，只有美国和欧洲进行了长期研究。如果仅对这些欧美长期研究结果进行外推以期获得亚洲地区数据，肯定会造成结果的不确定性。对更多的亚洲文献进行具体的定量分析（包括慢性呼吸道疾病的断面研究），可能有助于更好地进行结果外推，但是最终只有在亚洲地区开展长期研究才能获得最直接的证据。

目前HEI正在开展的 PAPA研究计划将致力于解决上述讨论涉及的一些未来研究重点。特别是，HEI正在进行的一系列的时间序列协作研究最终将会涵盖诸多亚洲城市，包括目前为止很少进行此类研究的亚洲国家。这些研究将采用共同的研究方案，以保证各城市的研究结果可以采用最新方法进行综合分析和横向比较。这些相似的研究设计将对特定污染物和特定年龄段的共同健康效应，如全病因死亡率，做出更确切的评估。该结论还有助于解决一系列其他问题，如了解亚洲地区空气污染浓度–效应关系曲线的特征，以及了解贫困与空气污染暴露影响之间的关系。PAPA研究计划还将研究空气污染长期暴露对婴儿和成人健康产生的影响。这些研究一旦完成，将被纳入更加全面的第二次亚洲文献综述中进行分析讨论，作为PAPA研究计划的总结报告。

小结

目前发表的文献为研究亚洲地区大气污染对人体健康的影响提供了大量基本资料，这些资料为亚洲地区环境及公众健康的重要决策提供了一定科学依据。在本专题报告中，对于若干城市的时间序列汇总研究结果表明，日死亡率和发病率与空气污染短期暴露存在相关性。而且，根据现有资料进行的有限比较也指出，亚洲地区大气污染对健康的影响与西方国家相似。但是，如果期望研究结果能够为公共政策提供充分的科学依据，还需要解决亚洲环境研究在研究范围和类型方面存在的问题。HEI发表本专题研究报告及资助开展亚洲地区PAPA研究计划的目标既是为了进一步加强人们对亚洲空气污染问题的了解，同时也是为了帮助提高亚洲科研人员进一步开展有助于提出具有针对性解决方案研究的能力。

参考文献

Air Pollution in Megacities of Asia.2004. Benchmarking Report on Urban Air Quality Management and Practice in Major and Mega Cities of Asia, Stage 2. Korea Environment Institute, Seoul, Korea.

Bascom R, Bromberg PA, Costa DA, Devlin R, Dockery DW, Frampton MW, Lambert W, Samet JM, Speizer FE, Utell M (Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society).1996a. Health effects of outdoor air pollution, Part 1. Am J Respir Crit Care Med 153:3–50.

Bascom R, Bromberg PA, Costa DL, Devlin R, Dockery DW, Frampton MW, Lambert W, Samet JM, Speizer FE, Utell M (Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society).1996b. Health effects of outdoor air pollution, Part 2. Am J Respir Crit Care Med 153: 477–498.

Gao J, Xu XP, Chen YD, Dockery DW, Long DH, Liu HX, Jiang JY, 1993. Relationship between air pollution and mortality in Dongcheng and Xicheng Districts, Beijing [in Chinese]. Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi 27:340–343 Gibbs WW 1995. Lost science in the Third World. Sci Am August:92–99.

Ha E-H, Lee J-T, Kim H, Hong Y-C, Lee B-E, Park H-S, Christiani DC.2003. Infant susceptibility of mortality to air pollution in Seoul, South Korea.Pediatrics 111:284–290.

Health Effects Institute.2001. Airborne Particles and Health: HEI Epidemiologic Evidence. HEI Perspectives. Health Effects Institute, Cambridge MA.

Health Effects Institute.2002. Understanding the Health Effects of Components of the Particulate Matter Mix: Progress and Next Steps. HEI Perspectives. Health Effects Institute, Boston MA.

Health Effects Institute.2003. Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health. Special Report. Health Effects Institute, Boston MA.

Hedley AJ, Wong CM, Thach TQ, Ma S, Lam TH, Anderson HR.2002. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: An intervention study. Lancet 360:1646–1652.

Hong YC, Leem JH, Ha EH. 1,999a. Air pollution and daily mortality in Inchon, Korea.J Korean Med Sci 14:239–244.

Hong Y-C, Leem J-H, Ha E-H, Christiani DC.1999b.PM10 exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Inchon, South Korea.Environ Health Perspect 107:873–878.

Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopolis Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler C, Schwartz J. 2001. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 project. Epidemiology 12:521–531.

Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, Schwartz J, Balducci F, Medina S, Rossi G, Wojtyniak B, Sunyer J, Bacharova L, Schouten JP, Ponka A, Anderson HR.1997. Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: Results from time series data from the APHEA project. BMJ 314:1658–1663.

Kwon H-J, Cho S-H, Nyberg F, Pershagen G. 2001. Effects of ambient air pollution on daily mortality in a cohort of patients with congestive heart failure. Epidemiology 12:413–419.

Lee J-T, Kim H, Hong Y-C, Kwon H-J, Schwartz J, Christiani DC.2000. Air pollution and daily mortality in seven major cities of Korea, 1991–1997. Environ Res 84:247–254.

Lee J-T, Shin D, Chung Y. 1999. Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea. Environ Health Perspect 107: 149–154.

Murray CJL, Lopez AD.1997. Global mortality, disability, and the contribution of risk factors: Global Burden of Disease Study. Lancet 349:1436-1442.

Ostro B, Chestnut L, Vichit-Vadakan N, Laixuthai A. 1999. The impact of particulate matter on daily mortality in Bangkok, Thailand. J Air Waste Manage Assoc 49:PM100–PM107.

Pope CA III, Dockery DW.1999. Epidemiology of particle effects. In: Air Pollution and Health (Holgate ST, Samet JM, Koren HS, Maynard R, eds). Academic Press, London, England.

Samet JM, Zeger SL, Dominici F, Curriero F, Coursac I, Dockery DW, Schwartz J, Zanobetti A. 2000b.The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study, Part II: Morbidity and Mortality from Air Pollution in the United States. Research Report 94. Health Effects Institute, Cambridge MA.

Smith KR, Mehta S, Feuz M. 2004. Indoor air pollution from solid fuel use. In: Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors (Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL, eds), vol 2. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Venners SA, Wang B, Peng Z, Xu Y, Wang L, Xu X. 2003. Particulate matter, sulfur dioxide, and daily mortality in Chongqing, China. Environ Health Perspect 111:562–567.

Wong CM, Ma S, Hedley AJ, Lam T-H. 2001b. Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. Environ Health Perspect 109:335–340.

World Health Organization.2002. The World Health Report 2002:Reducing Risks, Promoting Healthy Life.WHO, Geneva, Switzerland.

Xu X, Gao J, Dockery DW, Chen Y. 1994. Air pollution and daily mortality in residential areas of Beijing, China. Arch Environ Health 49:216–222.

Xu Z, Yu D, Jing L, Xu X. 2000. Air pollution and daily mortality in Shenyang, China.Arch Environ Health 55:115-120.

缩写词和其它术语

APHEA	空气污染与健康：欧洲多城市时间序列研究
CI	可置信区间
EPA	美国环保局
GAM	广义加法模型
NMMAPS	全美发病率、死亡率与空气污染研究
NO_2	二氧化氮
PAPA	亚洲公共健康与空气污染研究计划
PM	可吸入颗粒物
PM_{10}	空气动力学当量直径小于10 μm的可吸入颗粒物
$PM_{2.5}$	空气动力学直径小于2.5 μm的可吸入颗粒物
SO_2	二氧化硫
TSP	总悬浮颗粒物
WHO	世界卫生组织

HEI国际科学管理委员会(ISOC)。2004年4月。摘要。《亚洲地区发展中国家大气污染对健康的影响：文献综述》。第15号专题报告。美国麻萨诸塞州波士顿健康影响研究所(HEI)。

第15号专题报告全文可从HEI网站*www.healtheffects.org*下载或者从HEI直接获得。

版权所有© 2004 Health Effects Institute, Charlestown Navy Yard, 120 Second Ave, Boston MA 02129-4533. 电话：+1-617-886-9330. 传真：+1-617-886-9335. 网址：*www.healtheffects.org.*