



全球环境展望5

——我们未来想要的环境：第2章

大气

GEO-5 Chapter 2: Atmosphere

联合国环境规划署（UNEP）于2012年9月正式发布了全球环境展望5（GEO-5）中文版，该报告评估了世界上最重要的90个环境目标的完成情况。最新发布的GEO-5中文版将为世界上人口最多国家的研究人员、学者、政府代表、行业和民间团体带来联合国最全面的环境评估。本刊自2012年06期起对其进行连载。报告来源：联合国环境规划署。

对流层和地面臭氧

低层大气中的对流层臭氧（O₃）应当对地球变暖负责。地面或者地表臭氧指的是地表臭氧浓度既影响了人类健康也影响了生态系统。在控制对流层臭氧方面的进展依然是喜忧参半：欧洲和北美洲的峰值浓度有所降低，但是本底浓度却有所升高。在快速发展的工业区，本底浓度和峰值浓度都在稳定升高（Royal Society 2008）。

臭氧可以导致三个方面的损害。第一，地面臭氧损害人类健康，并且其影响仅次于颗粒物，位居第二。第二，地面臭氧是导致植被损失的最主要空气污染物（Emberson 等 2009；Ashmore 2005），它可以减少农作物产量和森林生产力，改变净初级生产力。比如，据估算臭氧引起的四种主要农作物—玉米、小麦、大豆和水稻—产量损失是范围从3%到16%不等，这可以解释为每年全球经济损失达140-260亿美元（HTAP 2010）。最后，臭氧是既CO₂和甲烷之后的第三大温室气体（IPCC 2007），但是由于其在大气中仅仅停留几天到几周，因此臭氧被归类为短寿命气候驱动物质。对流层臭氧应当对自工业化前开始每平方米辐射强迫增加0.35（-0.1，+0.3）瓦承担责任，而全部人为辐射强迫的总量才为+1.6（-1.0，+0.8）瓦（IPCC 2007）。臭氧引起的这些变化应当对自工业化前开始的全球温度上升承担5-16%的责任（Forster 等 2007）。臭氧导致的生物质的减少还影响了陆地生态系统中储存的碳含量。据估算，这一影响导致大气中的CO₂浓度升高，升高幅度导致的额外

辐射强迫超过全球变暖导致的辐射强迫。

臭氧并不是直接排放到大气中，而是其前体污染物—氮的氧化物和挥发性有机化合物（包括甲烷和一氧化碳）—在阳光照射下发生反应形成的。因此，在距离其前体污染物排放源下风向特定距离几十公里至几千公里的地方，臭氧的浓度会高，这导致臭氧对整个地区或者整个半球的污染。

光化学反应生成的臭氧占对流层中臭氧总量的大约90%，另外10%是直接从平流层传过来的。大约30%的对流层臭氧是由人为排放导致的，自工业化前以来全球臭氧负荷变化的40%是由甲烷数量的增加而导致的，其余的应归咎于氮的氧化物、一氧化碳和除甲烷之外的挥发性有机化合物的增加（HTAP 2010）。北半球受污染地区对人类健康和生态环境产生影响的地面或者地表臭氧中有20-25%起源于平流层，还有大约同等比例的臭氧来自自然前导源，包括闪电，土壤、植被和火的排放以及甲烷的自然氧化。人为原因对这些地区的甲烷的贡献率超过了50%。

臭氧浓度的升高主要在工业和市中心排放水平较高的地区，还与较高太阳辐射的季节期有关。这导致全球不同地区和不同时间臭氧浓度存在差异。北美洲、欧洲和亚洲被视为人为臭氧负荷较高的地区（图2.14）。

目前，联合国欧洲经济委员会（UNECE）区域制定的对流层臭氧目标在很多地区都已超过。但是欧洲的协调行动使氮的氧化物和挥发性有机化合物的排放量比1990年低了30-35%，这导致短期臭氧浓度峰值有所降低，日峰值约为每立方米空气60微克。与此相反，很多地区的平均臭氧浓度则出现升高，其原因多种多样。比如，氮的氧化物包括氧化亚氮的本地排放量有所减少，消除了臭氧破坏的一个关键机制，可以导致城市地区浓度增加（Royal Society 2008）。还有证据显示自20世纪70年代以来，每立方米空气中的臭氧基底浓度每隔十年就增加10微克（Royal Society 2008），这是由于平流层臭氧入侵、半球运输和应对气候变化而发生的臭氧合成。这会导致平均臭氧浓度和臭氧浓度峰值都增加（图2.15）。

为了进行HTAP（2010）研究而进行的全球光化学模型研究为目前臭氧浓度最高的地区预测了表面臭氧浓度的变化趋势。这些数据显示北美洲和欧洲表面臭氧浓度近期有所降低，这可能是在过去二十年中《美国清洁空气法案》和《长程跨界空气污染公约》（CLRTAP）（UNECE1979）以及EU目标有效地控制了氮的氧化物和挥发性有机化合物的结果。与此相反，亚洲的趋势则是继续升高，这是整个地区快速工业化的结果。但是这种区域性趋势可能会掩盖巨大的地区差异。

图2.14 1850年和2000年北半球受污染地区的臭氧源

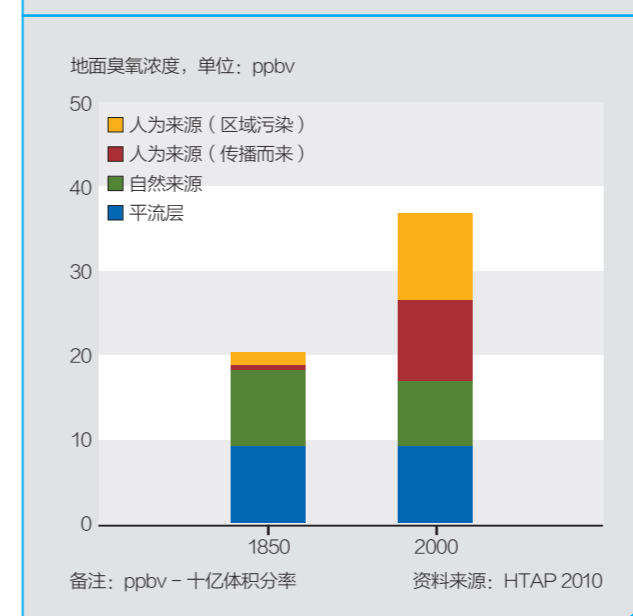


图2.15 1960年-2000年各地区地面臭氧浓度变化

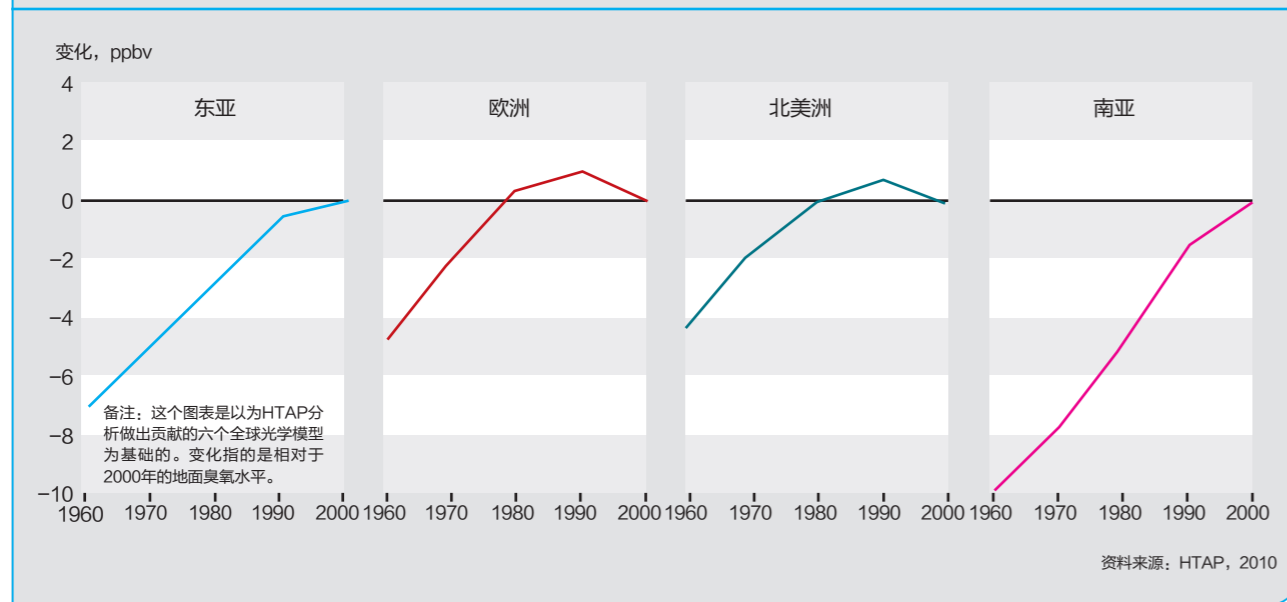
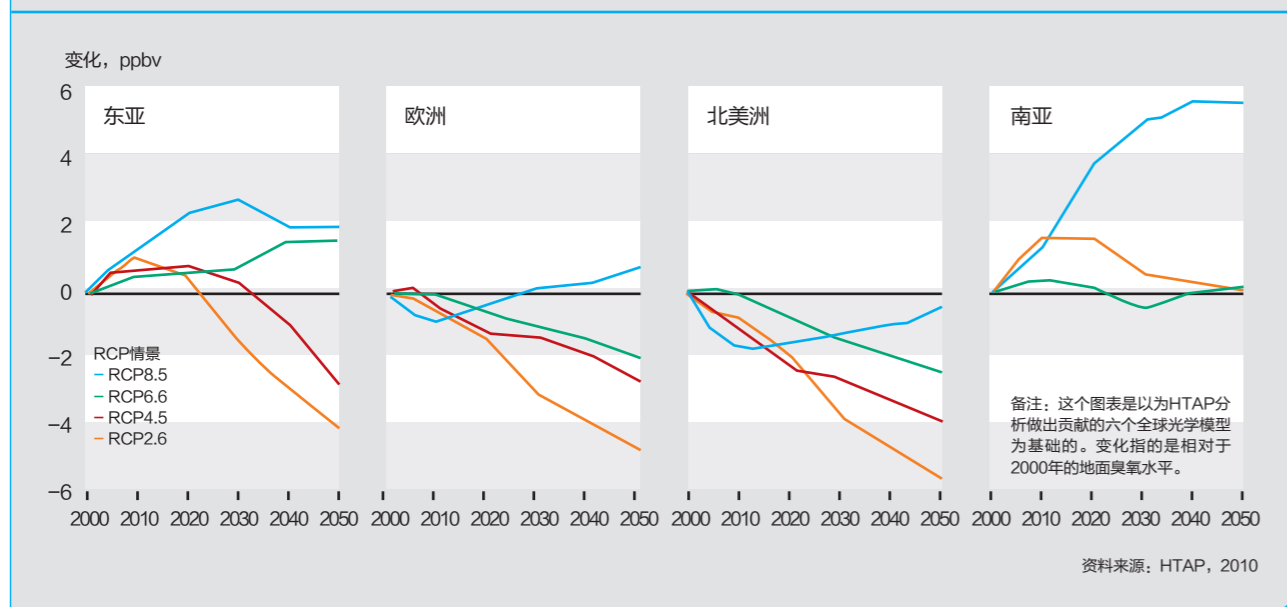


图2.16 2000年-2050年北半球受污染区域地面臭氧浓度的变化预测



针对各种不同的排放情景使用大量不同的全球光化学模型对对流层臭氧浓度的未来变化趋势进行了探索，也得出了不同的结果（图2.16）。HTAP（2010）评估使用的是六个全球模型之平均值来评估RCP 排放情景在2000年到2050年的排放变化含

义。臭氧浓度的前景很大程度上取决于全球和地区的排放路径。对控制臭氧政策的有效性进行评估需要扩展全球监测网络，不仅包括城市，还要覆盖农村。人们对臭氧认识的逐步深入是非常重要的，包括臭氧对人类健康和生态系统的影响，气候变化如

何影响臭氧的形成以及臭氧在与其他压力源（比如全球变暖和过量固氮）相结合过程中的作用。臭氧是一种短寿命气候驱动物质，减少臭氧可以为人类健康、耕种农业和生态环境带来效益，现在人们对它的关注不断增加，使其成为备受政策干预关注的一种污染物。

实现国际商定目标的进展

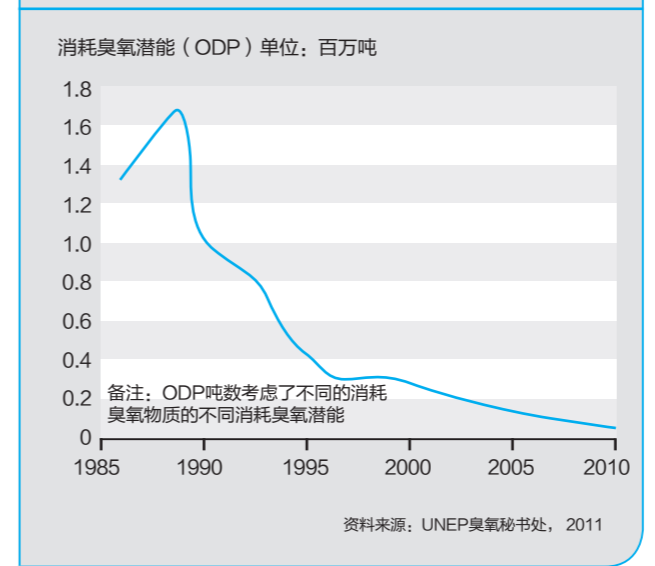
在解决问题和实现目标方面的实质性进展方面有两个实例：平流层臭氧层的保护和消除汽油中的铅。

平流层臭氧层

全球范围解决平流层臭氧耗竭的努力包括1985年《保护臭氧层维也纳公约》和1987年《关于臭氧消耗物质的蒙特利尔议定书》。最新的科学评估肯定了根据《蒙特利尔议定书》采取的行动在消除臭氧消耗物质方面所获得的成功（图2.17）（WMO 2011; UNEP2010）。

平流层臭氧可以吸收太阳光的紫外线-B（UV-B）辐射，因此可以保护人类和其他生物体。对于人类而言，长期暴露在UV-B辐射中会增加患皮肤癌、白内障和免疫系统抑制疾病的危险。过量的暴露在UV-B辐射中还会损害陆生植物体、单细胞有机体和水生生态系统。20世纪70年代中叶，有研究发现平流层臭氧层变薄与大气中含氯氟烃（CFCs）数量的逐步增加有关。氯氟烃主要在冰箱、空调、发泡和工业清洁流程中被使用。

图2.17 1986年-2009年消耗臭氧物质的使用情况



最严重、最令人吃惊的臭氧层损耗就是著名的臭氧层空洞，每年春季在南极上空会重复出现臭氧层空洞。其他地区也观测到了臭氧层变薄的情况，比如北极（Manney 等 2011）以及南北半球中纬度地区。

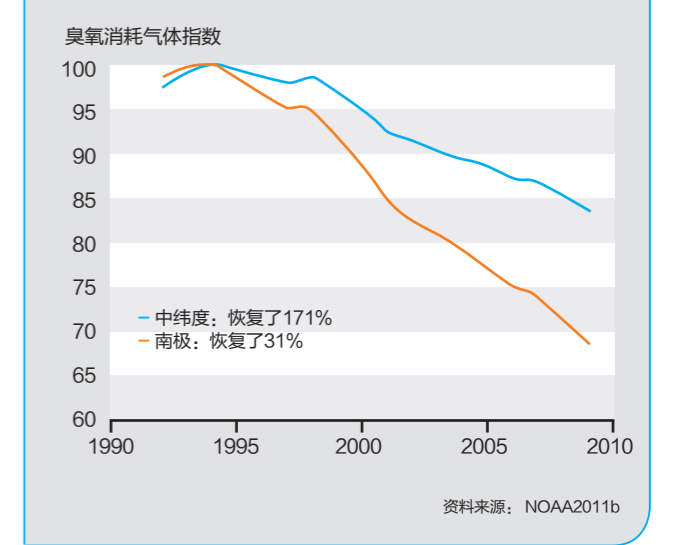
虽然臭氧层消耗物质的使用已经大量减少（图2.17），但是平流层中臭氧层消耗物质的浓度依然很高，因为它们在大气的生存寿命很长。图2.18显示在中纬度地区臭氧层与1994年的峰值相比已经恢复了31%，而南极地区也恢复了17%。

南极的臭氧层空洞是臭氧层消耗物质的影响最明显的证明：南极的臭氧层总量耗损每年春天都会发生，范围大小受气象条件的影响。有文件记录的最大臭氧层空洞发生于2006年（WMO 2011）。

臭氧消耗情景模型模拟的假设表明：如果没有《蒙特利尔议定书》-“世界避免”的情景，到2065年北半球中纬度地区的UV 辐射与1980年的水平相比将会增加300%，而整个中纬度地区的UV 辐射与1980年的水平相比将会增加550%（Newman and McKenzie 2011）。这种UV 辐射的急剧增加会对人类健康和环境产生严重的后果。据估算，仅对美国一个国家自1985年至2100年出生的人口，到2165年，《蒙特利尔议定书》就可以避免200万名白内障患者以及630万因皮肤癌而导致的死亡案例（USEPA 2010, 1999）。

2007年的《蒙特利尔议定书》最新修正案加快了淘汰氢氯氟烃（HCFCs）的速度，这减少了180亿吨二氧化碳当量的排

图2.18 1994年-2008年平均流层中消耗臭氧物质的减少情况



放，使全球变暖潜能（GWP）值有所下降。

目前，淘汰消耗臭氧物质的努力会引起不同地区不同时期的臭氧层恢复（WMO 2011）。对于整个世界而言，预计2025年至2040年之间年平均臭氧总含量有望恢复到1980年的水平，但是南

平则需要等到本世纪中叶，南极臭氧空洞则可能一直会持续到21世纪末（WMO 2011）。北半球中纬度地区年平均臭氧总含量恢复到1980年的水平的约在2015年至2030年间，而对于南半球中纬度地区，这一情况可能发生在2030年至2040年间。

虽然《蒙特利尔议定书》的特定条款

实施很顺利，但是其中有关消除旧设备中臭氧消耗物质和销毁收集或者库存的家用电器方面依然存在问题。

消除汽油中的铅

虽然有证据显示含铅汽油在至少六个国家依然在销售，但是《约翰内斯堡行动计划》中减少对铅的暴露的目标已经大致

图2.21 2002年和2011年含铅汽油的淘汰

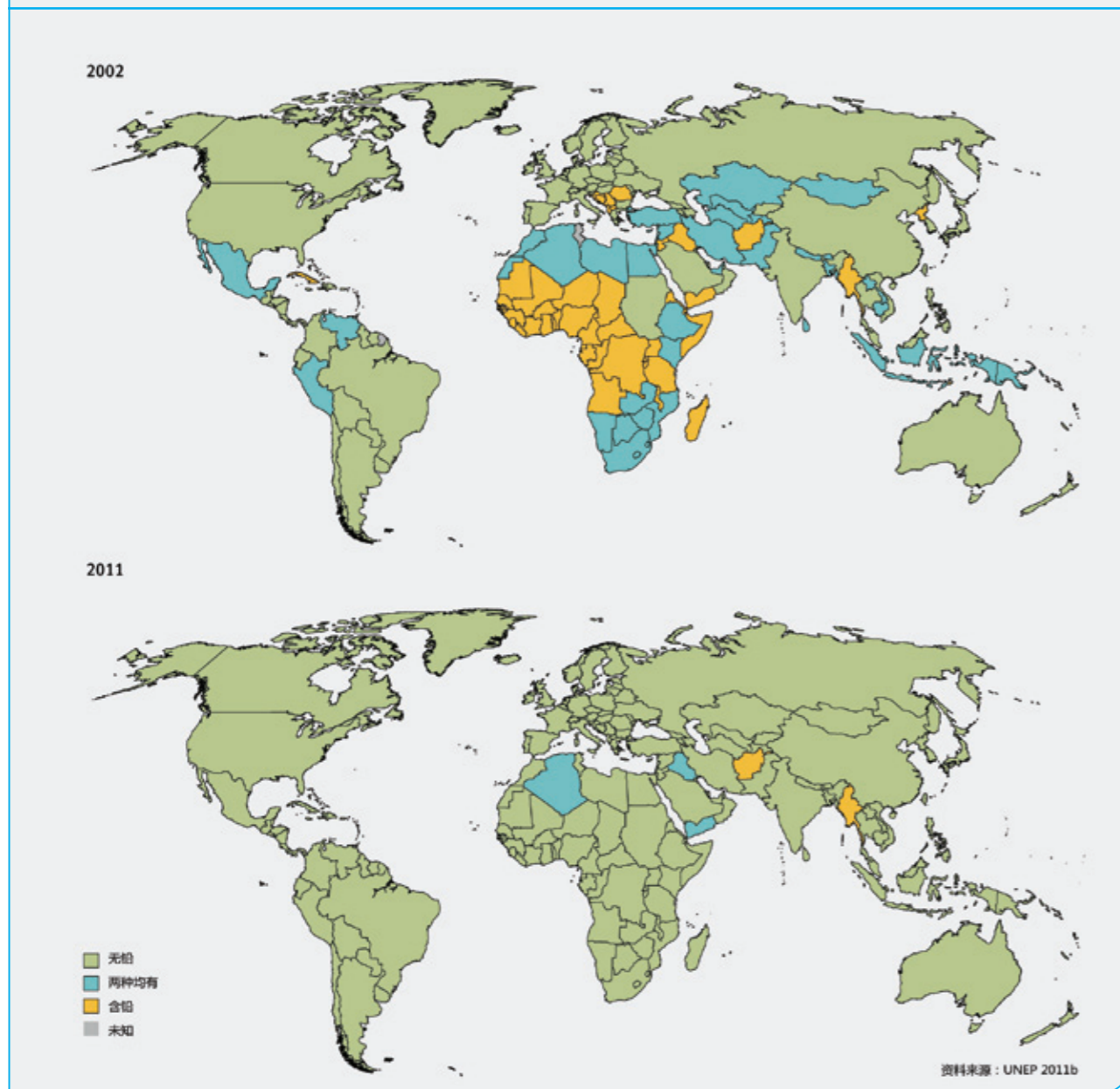


图2.22 1976-2004年淘汰汽油中的铅之后瑞典汽油中的铅和血铅水平

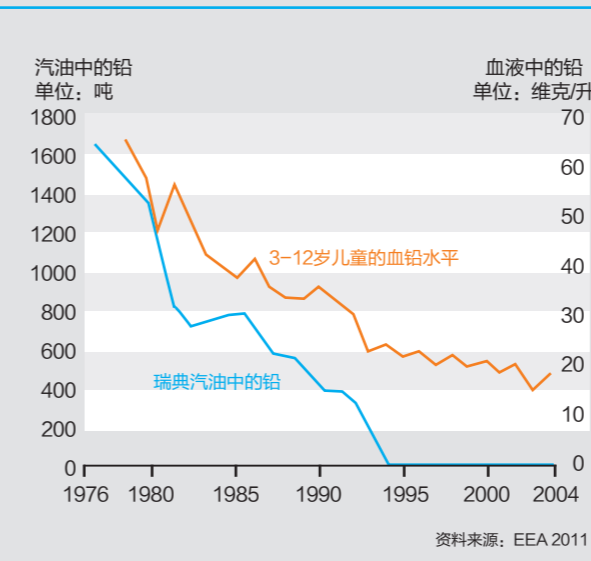
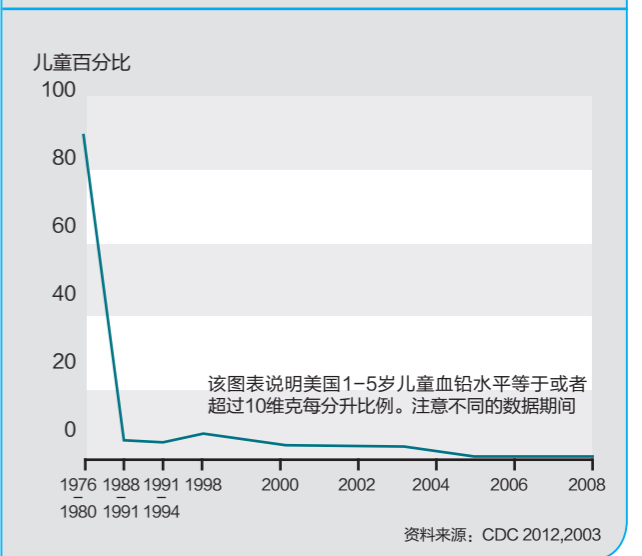


图2.23 1976-2008年淘汰汽油中的铅之后美国的血铅水平



完成，大多数国家自2002年开始已经淘汰汽油中的铅（图2.21）。

任何暴露水平都可以引起铅中毒，对人类健康产生不利的而且通常是无法逆转的健康影响，尤其是儿童。铅中毒导致900万DALYs，或者说全球疾病负担的0.6%（WHO 2009）。对高水平的铅的急性暴露会影响大脑和中枢神经系统，引起昏迷、抽搐甚至死亡。铅对免疫系统、生殖系统和心血管系统都具有负面影响，即使是相对较低水平的铅（WHO 2010）。在何种水平的暴露下不会检测到负面影响的这个阈值不存在（Lanphear等 2005; Schneider等 2003; Lovei 1998; Schwartz 1994）。

对铅的暴露和铅中毒可能是由多种来源和多种产品引起的，包括涂料、颜料、电子废弃物、化妆品和玩具、传统医药、受污染的食品和饮用水系统等，但是汽油中的铅是全球环境铅污染的最大污染源（WHO 2010）。

美国环保局得出结论称铅排放会对神经系统产生严重的伤害，特别是对儿童

的健康产生严重的影响，为此1973年美国制定了一项健康法规，要求消除汽油中的铅（Bridbord和Hanson 2009）。日本也得出了类似的结论，这使日本成为第一个销售无铅汽油的国家，到1981年，其销售的汽油中含铅汽油比例不到3%（Wilson和Horrocks 2008）。

在1976-1980年到1999-2002年这两个阶段，美国一至五岁儿童每分升血液中含铅量超过10微克的比例下降了98%（CDC 2005）。其他全球性研究表明汽油中铅的用量减少与人类血液中铅的含量减少有密切关系（图2.22和图2.23）（Thomas等 1999）。

防止铅中毒的干预措施已经显示出了很大的经济效益。一项分析发现美国儿童与铅中毒有关的直接医疗成本和间接社会成本每年约为430亿美元，即使是在铅暴露水平较低的时期（Landrigan等 2002）。另一项有关人终生生产力的经济评估预计儿童智商的提高会导致其终生经济生产力的提高，消除汽油中的铅会为美国每个出生群带来1100亿美元到3190

亿美元的效益。

根据Gould（2009）的研究，为了减少铅的危害每花费一美元会带来17-220美元的效益，这比注射疫苗的成本收益率还高，此前注射疫苗一直被视为是唯一一项成本收益率高的医疗或者公众健康干预措施。另外一个使用出版文献中应用的GDP推断法表明淘汰汽油中的铅每年可能带来的收益为1-6万亿美元，最好的预测为每年2.45万亿美元，相当于大约全球GDP的4%（Tsai和Hatfield 2011）。

最近有关铅对健康影响的证据使美国环保局进一步提高了其针对铅的三个月滚动平均空气质量标准，从1978年的每立方米空气允许含有1.5微克铅提高到了2008年的每立方米空气允许含有0.15微克铅（USEPA 2008）。WHO每年针对铅的环境空气质量指南依然是每立方米空气允许含有0.5微克。消除汽油中的铅以及减少相应的健康危险是全球取得的一项伟大成功，完全消除整个世界上汽油中的铅有望在未来几年内完成。（未完待续）