



(上 册)

环境工程师手册

水污染及其处理



中国建筑工业出版社

译者的话

贝拉G·利普泰克主编的《环境工程师手册》共三册，第一册专论水污染及其处理，第二册著述大气污染，第三册讨论了固体废物、噪音、农药、辐射、热和其他污染。本书是第一册水污染的中译本。

原书由美国、欧洲、日本和加拿大的一百多名科学家编著，所列的内容经过一千多名环境专家的校阅和讨论，他们提供了环境工程中的医药、生物、农业、气象学和法律方面的文献。原书是一部涉及面非常广泛，内容极为丰富，汇集了各方面科学知识的著作，亦是70年代环境科学方面的综合性著作。由于该书作者比较多，因而难免出现用词不尽一致，内容有些重复和不平衡。但是阅读这本书，可以了解目前工业发达国家在水污染及其控制方面的科技发展进程和方向，以及其他学科在综合治理水污染方面的应用。我们期望本书的翻译出版对推动我国的环境保护科研、设计和生产运行管理有所帮助。

本书译校人员（按姓氏笔划为序）：龙兰绪、朱柏龄、任大新、任鹤云、许景文、孙振堂、邱中峙、吴骅、沈家锡、张盛璋、范炎荣、林荣坤、钟淳昌、洪嘉年、顾泽南、徐震华、龚钧陶、盛如南、盛建康、谢静、虞寿枢、雷震珊、蔡康发、潘成功等同志，并由盛建康同志总校。

本书在翻译过程中，有些环境科学的专门词汇和法律措词得到了同济大学、华东化工学院、华东师范大学以及上海社会科学院和政法学院等有关同志的帮助。在此致谢。

鉴于本书涉及多种学科，加上我们水平有限，错误之处请读者指正。

《环境工程师手册》翻译组

1984.1

序 言

龚 钧 陶 译
盛 建 康 校

序 言

《环境工程师手册》共三册，其内容体现了净化环境的工作中，使用的科技资料需要充分借助现代技术。本书第一册介绍了水体污染各方面的问题；第二册涉及大气污染；而第三册讨论了不同形式的土地污染，包括固体废物、噪音、农药、辐射、热和其他污染。认识到我们环境的整体性，不同形式的污染仅是相互关连的表征，因此不能个别看待，本书最后一册用一整章专门叙述关联到较大范围的环境工程。

本参考书除提供污染原因、影响及补救的各个方面的全面内容外，亦强调了再循环、回收、利用以及重复使用的潜力。因而读者可获得变废物为资源的技术资料。在这三册中，每一节均通过交叉提示与主题索引来与其他各节相联系。由于本书很多讨论到的方法属于生物性质，故特别注重了生物工程的各个方面。

为准备这部参考书，大量环境科学家与工程师参与了工作。三册所列初步内容，已经过一千名以上的环境专家的校阅和讨论。邀请参加本书的作者有美国、欧洲、日本和加拿大科学家，以及非技术性专门社团的代表，他们就环境工程中的医药、生物、农业、气象学和法律方面提供了原著。为使本参考书跟上时代，计划今后再版与及时补充。

工程师要通过技术革新来解决社会需要。工程师的工具是基础科学，诸如物理或化学。可以想象，经传统工程训练的人员可能为工具本身所吸引，不是使用这些工具的主人，而是可能被它牵着鼻子走。这就是为什么工程师专注于狭隘的特定任务上，没时间也没有愿望去探索他工作的根本目标以及造成的深远影响，以致误用了技术。“环境工程”作为一门新兴的学科已处于一个受重视与受挑战的地位。他们的工具是人类的全部科学知识，而他们最重要的目标是使人类与大自然和平共存。

环 境 情 况

生物可生存的大气层有固定的范围。它覆盖地面二亿平方英里，层厚十英里。维持生命的这一薄壳的土地、空气和水，已经接近于它的极限。人们可以注意到，例如，在最近二百年来，仅哺乳动物从世界野生动物系列中消失的速率是二千年前这个速率的十倍以上。按照有些科学家的意见，如果在全球范围的基础上保持现在的生长速率，那末今后六十六年对环境的总要求，将增加三十二倍。生态学危机的严重性及其来到的速度证明很多的顾虑是有理由的。没有矫正的行动，生态系统的破坏是可以预料的，再加上资源的耗尽，将导致食物供应缺乏和社会崩溃。这种对生命维持系统不可逆转的破坏，可能使我们下一代为此付出代价。

地球上的生命已由自然规律控制了三十亿年。几百万年来，人类亦接受了这些规律，但在近代历史中，人类已成功地征服了自然，同时也发展了与自然规律相矛盾的社会结构。人类发现要控制自然是困难的，因为人们缺乏自然本身所具有的最丰富的资源、时间。例如将海洋深处的水更换需要一千年，铀的半衰期为二万四千年。这些矛盾的结果可能意味着决定存亡的关键。

另一方面，在这个领域内的大量工作绝不止于污染治理。它可以对一个使人厌烦而消沉的社会具有统一与清醒的影响，如适当地宣传和动员，人们将会欢迎这种挑战。医治环境危机需要改变人们的意识与其价值系统，而这样的改变，事实上将改变历史的进程。

水 道 情 况

目前美国每日的取水率，已接近四千亿加仑（耗用量约为每日一千亿加仑）。如以每人每日为单位表示，取水量约合二千加仑。这些取水数字约为平均日径流的三分之一，但在任何已知地理区域，这个供求比可能差异极大。

水污染的程度也是地理区域的一种因素（图1）。几世纪来，人们相信诸如密西西比河那样流域面积占美国大陆41%的大河，将不会由于污染而破坏。然而，最近的报告指出，倾卸到这一河中的废物，已威胁路易斯安那州南部居民的健康并危及墨西哥湾水生物的生命。未处理的污水、工业废料、肥料和农药是沾污的主要来源。其结果是，由于潮汐对水库的影响以及水道中废水排放点与给水取水点十分接近，估计多达60%的排放污染物已重行进入给水。水源在质量与安全上的降低，不断地增加给水处理的成本。

为了促进再循环使用，增加城市水费是有益的。如果一个工厂（或其他给水用户）购买净水的费用比净化与重复利用它所产生的废水的费用还贵，水的再循环使用将能更为广泛地实行，同时排放到水道中的沾污物将较少。一俟用水的“封闭环路”（再循环）增加，“一次通过”减少，水体的复原将成为现实。

当前由经济上说来是，每一千加仑城市净水约值二十五美分。将出流废水处理到符合一般规定的排放标准，费用为十至八十美分。因此按“一次性使用”，给水与排水两者每

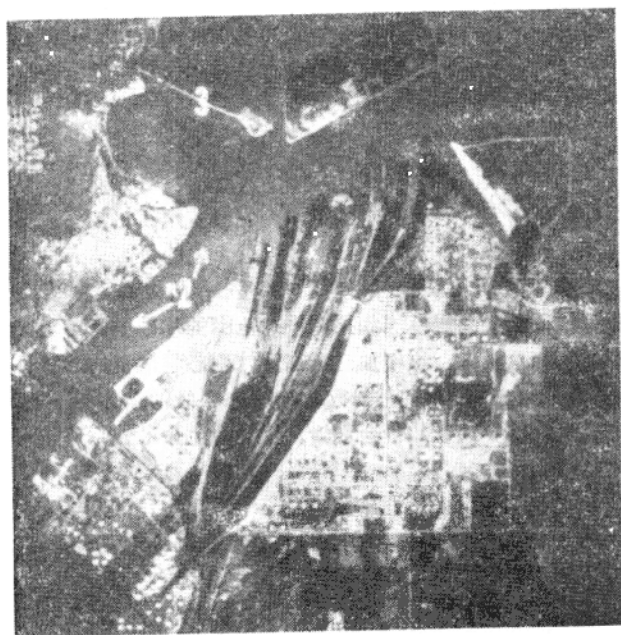


图1 伊利湖的莫米河口，表

千加仑价值三十五至一百零五美分。在很多事例中，重复利用处理水已经比排放废水来更为经济。海水淡化（每一千加仑六十至一百美分）看来是另一个对淡水一次使用具有经济潜力的可供选择的方法。

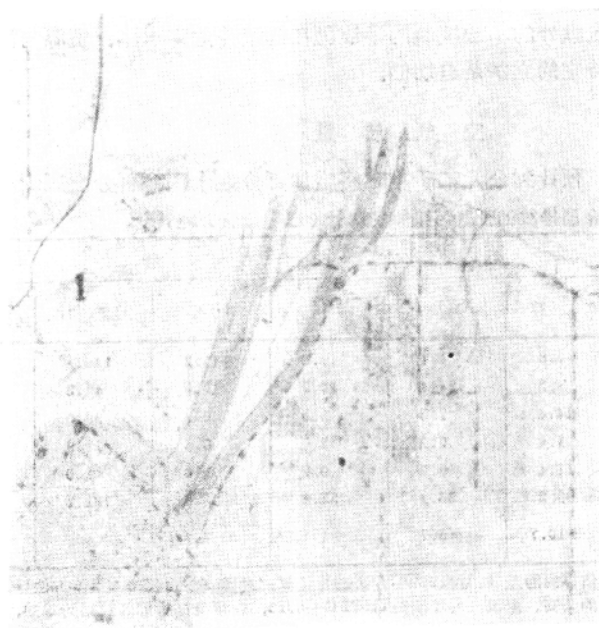
若有机废物不进入土壤再循环而采用焚烧、填埋或投入海洋的处理方式，亦会造成污染。以一九七二年的实践为例，每年仍有五百万吨污水污泥和六百万吨疏浚废物抛弃在离桑迪湾十二英里的纽约湾内。水下探测者杰奎斯·库斯梯（Jacques Cousteau）说过：

“在三十年的潜水中，我看到这种缓慢死亡遍及水下各处。若再继续下去，我预言人类在这个地球上仅能再生存五十年。”

有些污染物直接毒害并杀死植物和动物的生命。其他一些诸如油，则其需氧大到致使海中生命窒息。有些污染物诸如肥料与洗涤剂，使藻类过分生长，而藻类遗骸的分解掠夺了水中维持生命的溶解氧。废物是指不适当的物质，在错误的时刻，以不正常的数量，进入了错误的场所。

滴滴涕和其他氯化碳氢化合物可在那些与它们有亲合力的海洋生物中积累，最后以具有危险或致命的影响进入食物链。美国在最近二十五年中，有机化学品的生产增加了百分之一千二百。以生化需氧量计，美国排出的工业废水量相当于四亿人口的生活污水。剧毒化学品大量生产，且其痕量已进入了环境与食物。谨慎地限量施加肥料或污水可以肥沃土壤，若任意滥用则将毒化河流湖泊。在美国已有十万英里河道遭受酸性矿区的排水沾污。

迄今对净化河流湖泊的努力，仍是缓慢与低效的。美国自一九六五年以来，水体立法的概念是河流湖泊水质标准以及控制城市和工业污水排放规定的制订，包括水道的自净化在内。这一概念是根据估计的河流湖泊“同化能力”即一种对污染的稀释作用，来获得所



示水和文化特征与水污染有关

需要的水质。已经发现, 主要由各州管理的这种途径缺乏效果。一个更新的概念是, 为了有效地净化国家的水体, 必须通过一个由各州规定经联邦批准的在发源点控制污染的准许证程序。一九七二年的水污染控制法要求, 到一九七七年所有工业企业应采用“最实用”的控制技术; 若它们到一九八三年还不能以合理的费用消除所有的排放, 那么它们必须证明至少已采用了“最佳的可用技术”。到一九八五年, 已建议提出了一个“无排放 (no discharge)”的目标。

对一九八五年无排放的目标, 有些工厂代表批评提出这个目标是不现实和难以达到的。他们归因于需要很高的费用以及国家水源使用的“不平衡”(他们更喜爱“同化能力”概念, 因为这一概念容许对尚未污染的水道排入污水)。他们也宁可让当地政府掌握污染控制的主要责任, 因为当地政府更密切地熟悉具体情况。其他对一九八五年达到无排放目标的反对者感到它带有欺骗性, 因为它不可能就此解决所有的问题。

在水污染的其他方面, 进程甚至更慢。关于地下水污染的问题(由水沥滤 废固体填土、冲洗矿区以及废水深井处置所引起的)还是刚开始认识。来自油污染的危害仍在增加^①。一九七一年单在长岛海峡地区, 就发生了六十四起油外溢。肇事者(被发现的)仅课以净化费用, 而不是付出所引起危害的代价。在海洋中每年进入一百五十万吨油类所形成的后果基本上尚属未知, 但已有一些理论认为它将增加地球的反射率, 因而可能引起一次新的冰河期。

当编写本书时, 对治理污染的努力还正在开始, 而大部分地区的污染程度仍在增加, 但目前正进行着巨大的努力来扭转这一趋向。在一九七二年记录了一个重要的判例, 联邦法官决定使用一八九九年的联邦垃圾法令, 并裁定污水也是垃圾, 已命令沿新泽西州海岸线的十五个社团停止将下水道污泥唧送进入大西洋。

不幸地, 在三英里限度以外的不加控制的排放仍在继续并危害水体、资源与海滩。因此, 若需保护海洋资源, 特定的立法是迫切的。

空 气 质 量

大气中二氧化碳含量, 预计到公元二千年时将增加百分之十四到百分之三十。表 2 列

1969年全国排放的空气污染物的估计(以每年百万吨计)

表 2

污 染 来 源	污 染 物						变化, % 1968~1969 ^①
	CO	微 粒	SO _x	HC	NO _x	总 计	
交通运输	111.5	0.8	1.1	19.8	11.2	144.4	-1.0
固定源的燃料焚烧	1.8	7.2	24.4	0.9	10.0	44.3	+2.5
工业生产	12.0	14.4	7.5	5.5	0.2	39.6	+7.3
固体废物处置	7.9	1.4	0.2	2.0	0.4	11.9	-1.0
其 他	18.2	11.4	0.2	9.2	2.0	41.0	+18.5
总 计	151.4	35.2	33.4	37.4	23.8	281.2	+3.2
变化, % (1968~1969)	+1.3	+10.7	+5.7	+1.1	+4.8		

① 依据1969年估算和1968年估算间的差异, 按1969年方法进行计算。对1968年的数据, 用新方法计算的成果要比环境保护局1968年计算的为高。来源: 玛埃脱公司MTR-6013, 以环境保护局的数据为基础。

② 海岸警卫队预计在九艘油轮中每年有一艘可能发生一次事故。

示美国每年排入大气中的污染物数量。图3是洛杉矶县污染源的形象化表示。可以推论, 不管迄今为止对治理污染如何努力, 大气的沾污仍在增加。

当发生逆温的时候, 空气污染问题最为严重(图4)。在逆温情况下, 较密的冷空气在地面维持不动, 阻碍了污染物在正常空气循环中的扩散。大气的升限愈低, 污染物可以扩散的空间愈少。这一情况于1971年在亚拉巴马州的伯明翰发生, 那里第一次采用了1970年清洁空气法令的紧急条款, 命令二十三家公司限止它们的生产。

现在看来, 在有些较大城市中, 1975年的国家清洁空气要求将不能达到。它们具有的最大可能性是符合硫的氧化物标准(空气中二氧化硫百万分之0.03), 这是因为固定燃烧源及其燃料那时已能合理地良好控制。最近建议对散发每磅硫收税十五美分, 看来亦有助于能达到这一目标。对一氧化碳及各种微粒, 如须达到一九七五年要求, 大城市将须作巨大的努力。微粒物质的联邦目标是每立方米空气75微克。纽约城在一九六九年的平均数据是

98微克/米³, 至一九七一年上升至104微克/米³。纠正措施必须针对燃料和交通运输。污染控制问题, 因天然气(一种相对干净的燃料)短少与存在旧的和外国的车辆(它们在一九七五年还不会装有污染控制设备)而更为复杂。还有象一九七二年那样的另一个问题, 即有些州尚未提出为适应一九七五年空气质量标准而制订的规划送联邦审批, 而有些州提出的规划则被认为未能满足要求而遭拒绝。

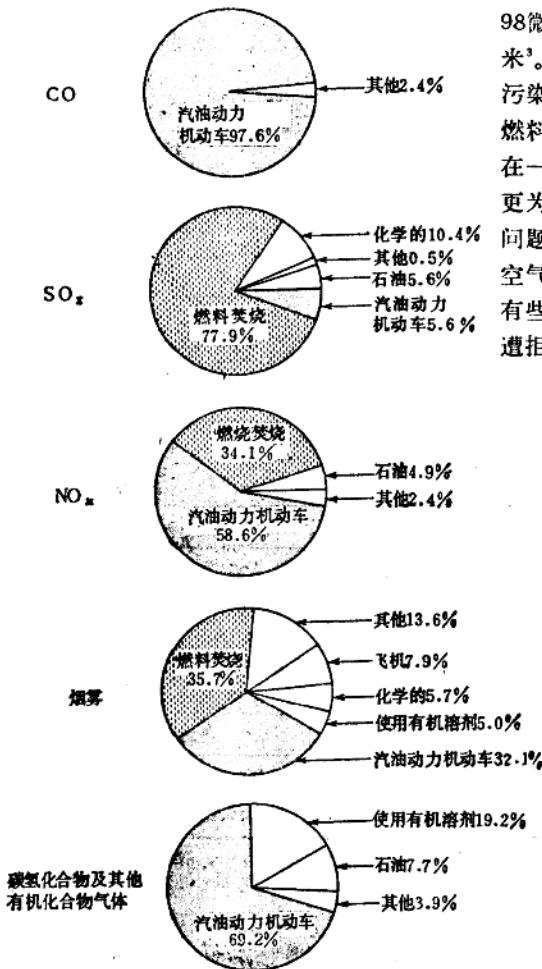


图3 洛杉矶县空气污染物主要来源百分比分配

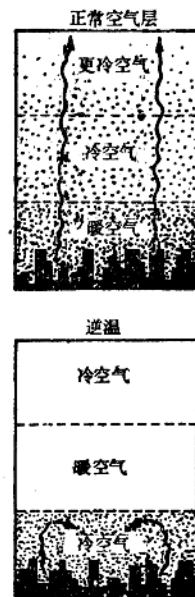


图4 逆温阻碍空气循环

改善排放要求及按操作标准^⑤所需的费用

表 5

来 源 分 类	排 放 物		增 加 的 控 制 费 用(%)		有 关 规 模
	原 有 设 备	NSPS ^②	投 资	操 作	
矿物燃料蒸气发电厂	(磅/10 ⁶ Btu)	(磅/10 ⁶ Btu)			输入大于二亿
微 粒	0.04~40	0.1	3 ^②	0.01美分/千瓦·小时 ^②	五千万Btu/时
二氧化硫					热 量
液体燃料	3.0(平均)	0.8	10 ^③	7~30 ^③	
固体燃料	5.0(平均)	1.2	12 ^②	0.12美分/千瓦·小时 ^②	
氮的氧化物					
气体燃料	0.4(平均)	0.2	5 ^③	4 ^③	
液体燃料	0.7(平均)	0.3	7 ^③	4 ^③	
固体燃料	1.4(平均)	0.7	1 ^②	0.01美分/千瓦·小时 ^②	
可见排放物		*1林氏测烟表或 20%阻光度 ^①			
焚 烧 炉	(克/标准英尺 ³)	(克/标准英尺 ³)	9~15 ^③		负荷率大于
微 粒	1.0	0.08			50吨/天
波特兰水泥			12 ^③	5~7 ^③	
微 粒	(磅/吨进料)	(磅/吨进料)			不 定
窑	45	0.3			
渣块冷却器	30	0.1			
可见排放物					
窑		*1/2林氏测烟表 或10%阻光度			
其 他		<10%阻光度			
硝 酸	(磅/吨酸)	(磅/吨酸)	4~8 ^③	0~2 ^③	不 定
氮的氧化物	43	3.0			
可见排放物		<10%阻光度			
硫 酸	(磅/吨酸)	(磅/吨酸)	14~38 ^②	0	不 定
二氧化硫	22~85	4			
酸 雾	0.4~0.9	0.15			
可见排放物		<10%阻光度			

① 林氏测烟表(Ringelmann Smoke Chart), 该表一套六张, 编号 20, 从 0~5, 涂以从白到黑的颜色, 按色度测定烟尘浓度。

② 摘自1972年3月21日联邦登记簿上(37FR55)的费用。

③ 费用摘自建议的新污染源工作标准(NSPS)中的背景资料。

④ 若是耐火墙, 100吨的单元费用为29000美元/年, 300吨的单元费用为65000美元/年。若是水墙, 100吨的单元费用为13000美元/年, 300吨的单元费用为23000美元/年。

⑤ 摘自环境科学和技术6(10)884, 1972年10月R.E. 吉金斯和G.A. 麦卡琴的“新污染源工作标准”。

目前国家空气质量与排放标准包括微粒、一氧化碳、硫和氮的氧化物、碳氢化合物、光化学氧化剂、石棉、铍和汞。此外，对新的工厂，还有国家空气污染执行标准。限制排放污染物的工厂类别是用矿物燃料的蒸气发电厂、硫酸及硝酸工业、波特兰水泥厂及大型焚烧炉。

需控制的污染物为微粒物质（烟和煤烟）、二氧化硫、氮的氧化物与硫酸烟雾。对其他约四十种工业，亦已制订了类似的标准。

在美国，每年约兴建七十五座新的蒸气动力厂，其中百分之九十六用于发电工业。对这些新工厂的排放标准摘要于表 5。

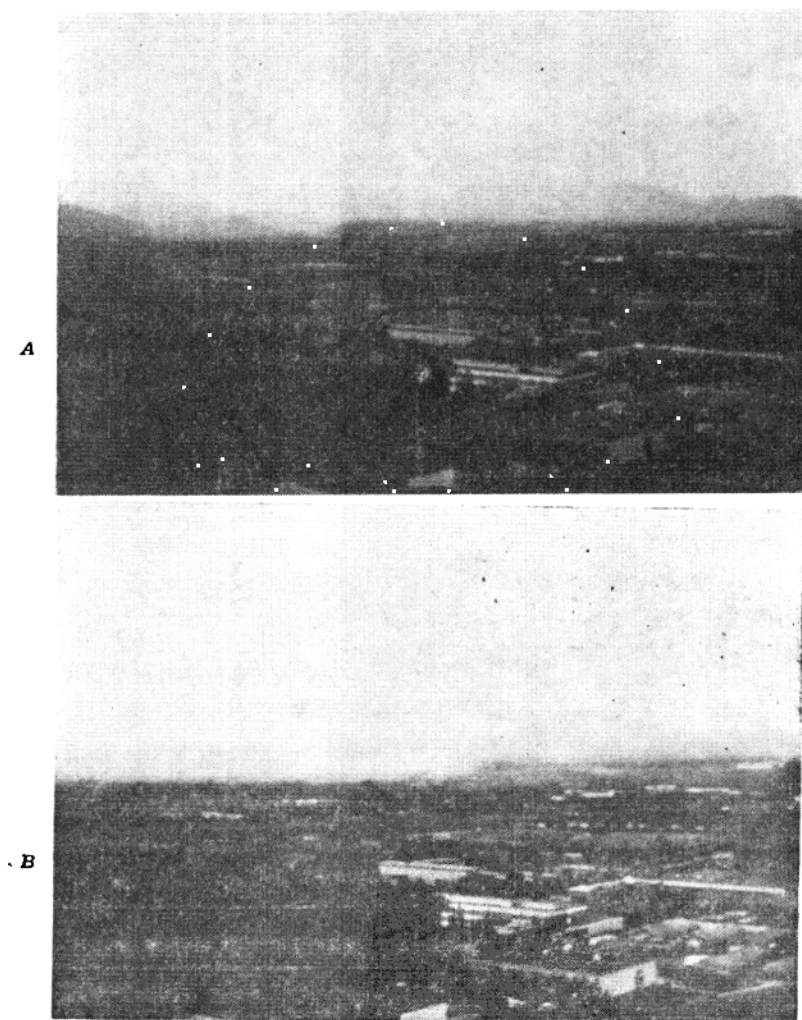


图 6 圣加夫列尔山下的烟雾入侵（由加利福尼亚大学地理系Leonard W. Bowden教授赠送的照片）

A—1968年2月29日下午5点15分—烟雾从洛杉矶移往内陆；B—同一时间，烟雾以每分钟一英里的速度前进

在开发质量和排放标准以及制订目标期限和执行程序方面，控制空气污染的成就是最成功的。这部分是由于空气的非生物性质（土地与水系是复杂的生物系统），能与目前的工艺最相融洽。然而如本书所述，在人口密集的工业区的空气污染仍在增长（图6）。

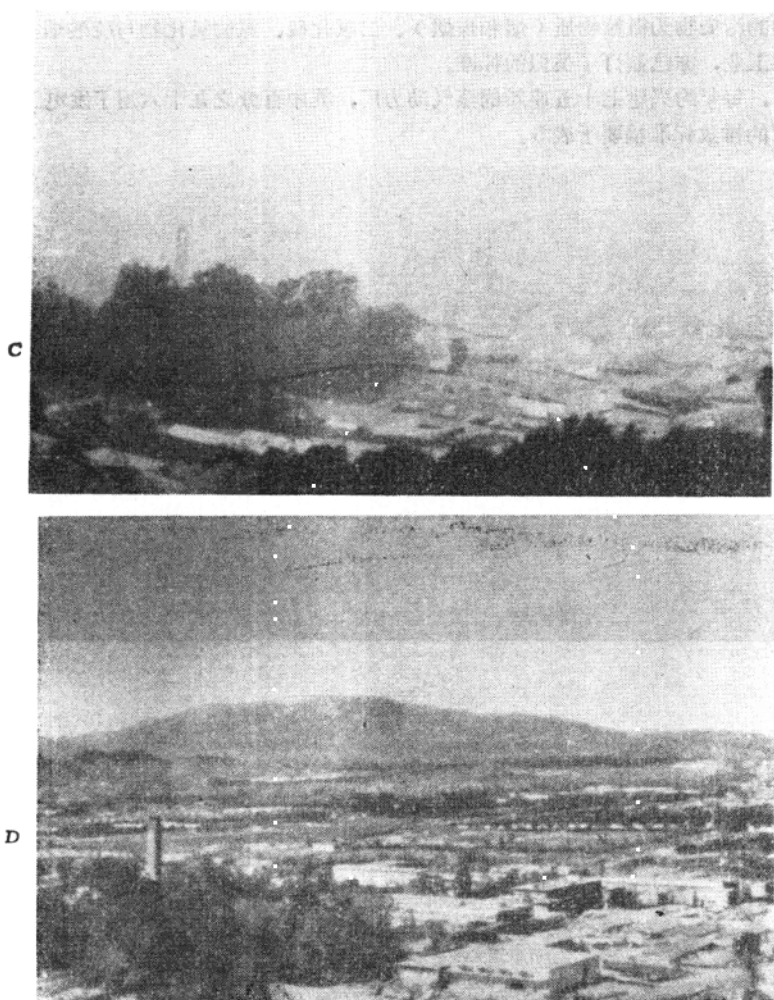


图 6（续）

C—同一天下午6点钟——组合的雾与烟雾淹没河滨；D—同一天下午12点15分钟——烟雾移入前大气状况

土地情况

第三种传播污染的介质是土地本身。土地的最大污染是固体废物；在美国每年生产三亿六千五百万吨废物，目前不予回收的处置费用达五十到六十亿美元。迄今为止，对减少固体废物的污染很少注意。由于这是一个大城市的问题，而大城市具有的政治影响与财政

来源似乎愈来愈小,因此进展的可能性是不佳的。

只有极少的国家标准和规定涉及固体废物的收集、运输、加工和处置。而固体废物具有回收及作为资源利用的潜力极大,这就更为不幸。不回收它们的原料与具有的动力,管理和处置固体废物是非常费钱的,且是另一种形式的污染源。集中力量回收其中的有用成分,不仅能偿付收集费用,还能减少对原材料的需要总量。按目前的使用率,若干重要金属的贮藏量将在五十年内耗尽(第三册表6.1h)。回收有用材料的已有可用的技术,有些已在采矿及矿产工业中每天使用。总之,解决固体废物污染问题所需要的一切是采用目前已有的技术。

其他形式的土地污染同样地受到忽视。例如,对林业没有国家管理规定,那里以效率为理由沿用浪费的和危害土地的全部采伐方法(不考虑树龄大小全部砍伐)。对矿藏的露天开采,更是土地的最严重的破坏者。随着对金属和煤炭需要的急剧增长,以及现有可用原材料等级的降低,减少费用的唯一办法是增加采矿工作的规模。其结果是使采矿进入地面以上,而现今百分之九十的金属矿是采用露天开采技术的。在这些巨型工作中,肥沃的表土与较低的覆盖层(覆盖煤炭或矿物的各层)混合,即使此后在露天坑中回填表土,也不再能维持植物的生命。

在本书写作时,还没有全国性的对露天采矿的环境控制。若干大的煤炭用户,诸如田纳西流域管理局,已在矿区制定了它们自己的政策。这一政策包括扣留合同费用的百分之二直到完成土地的复原(复原并不包括肥效的恢复)。这个百分之二的数目看来推动力还不够,因为按照某一煤炭公司经理的意见,认为每恢复一英亩土地至其原来的肥沃水平需花费六千美元。

建立有关噪音污染的国家标准已有了若干进展,但尚待贯彻执行。第一个全州性噪音控制法律是由新泽西州制定的。环境保护处现在可以对每一违反行为课以高达三千美元的罚金。在过去,过度的噪音只是扰乱安静的局部的妨碍,罚款仅约二十五美元。

对各种形式的广告和其他刺目物所引起的有损美观的或眩目的污染,尚无国家规定。在有些地区内,由于就业市场的变化,人口流动过快,以至没有时间来发展一种团体荣誉的概念(这也归入土地污染)。

原因与补救

人口与其分布

目前,世界人口已接近四十亿,并以每年百分之二的速率增长(图7)。如不加强农业施肥,则现有人口所获得合理的给养已几乎近于极限。全世界在一九五一年至一九六六年间的粮食生产增加了33%,而同时期中世界性采用的肥料与农药分别增长了146%和300%。这一倾向的危险是使生态系统转变到进入一个仅包括人类与一座由化学来维持的食品工厂的世界。按照有些英国科学家的预计,假设发达国家的人口在2000年达到平衡,其他国家到2040年稳定,世界人口仍将超过一百五十亿。

人口分布因工业化与大城市中较好的经济机会,也在变化(图8)。人口有向市区集结的趋势,造成今日在美国2%的土地上居住了70%的居民,且有继续走向完全放弃宽敞

广阔的乡村生活的趋势。

社会作为一个整体来考虑，看来有责任要扭转这种趋向。采取城市分区、征税以及高质量的交通运输，社会可以影响人口更自然地分布。减少城市群众集结和用绿带来环绕城市

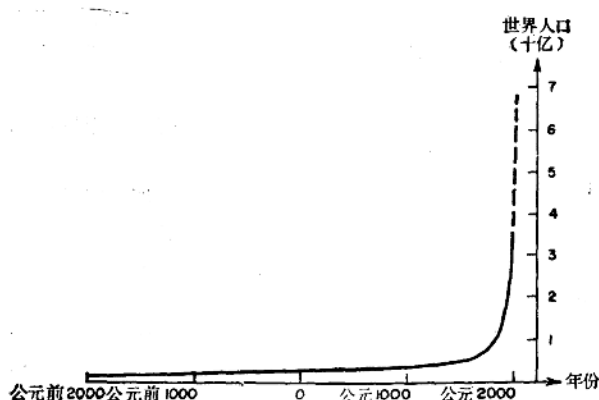


图7 世界人口增长

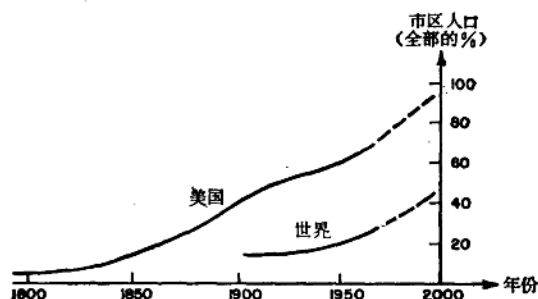


图8 生活在市区人口的增长百分比

结束以来，美国国家的总生产仅增加了100%，人口仅50%，每人消耗仅25%，而污染已增加了2000%。这看来除了人口增长和汇集以外，环境危机还含有其他主要因素。这些其他因素包括我们对生产技术的疏忽以及对进展概念的过时。

飞速发展的技术

最初的机器是用来代替人类的体力劳动。接着发展到替代人的智力的常规功能。重要的是，要防止社会进化到机器能影响人的判定与生活方式。生产技术本身既不是高尚的，也不是不高尚的，但对它的使用可以是任何一种。技术与产品能巨大地造福人民，但它们同时是无知觉的器具。如不予指导，它们将以固有的冲力滚滚向前，在道路上破坏一切，包括景色与自然环境。

就历史看，技术已发展到用来征服、调节与控制自然界。据此，已有利用自然作为商品来开发并由此获利的倾向。

过去几代的工程师所接受的教育，是要他们作为人类的一分子在适应生产形势的组织内发挥作用。上一代的工程师又学习到，所有我们的人员应对我们生活的世界负责。新一

是重要的，这不仅能使食品供应、体育与娱乐设施离城市较近，还将减少空气污染，因为植物和土壤本身是对污染最自然和有效的清洁剂。

除了对人口的控制与稳定外，看来还需要在人口密集地区，以较好的效率全面地利用现有的可用设施（文化的、娱乐的、交通运输、体育及其他）。这可通过延长工作时间与休假日来完成，而不使每人试图在相同时间去工作或娱乐。

上述基本改变，如无政府完全赞助是不能实行的。它们需要开展国家的和长期的规划来统一与协调很多分裂的和迄今无效的局部努力。

文化与价值体系

污染的主要原因是汇集及人口激增，这是人们普遍的印象。

统计学表明，当第二次世界大战

代的环境工程师则应接受这样的教育，即他们既能利用技术、控制技术，还能引导技术使它为社会福利服务。

进步的概念

在我们的文明中对连续增长有一个根深蒂固的信念。按照我们的概念，对经济状况停滞具有恐惧感，因为这将意味着致命的萧条。而根据这一价值系统，进步可以用一维的实利主义形式定义为一种适应生产形势的经济不断膨胀。这样对进步的定义亦含有需要每人不断增长原料与能的耗用率^①。

如果进步需要一个不断膨胀的经济——同时不使生活贫困或不发达国家成为产品倾销场所——那末它亦需要为商品开辟人造市场。这些人造市场可能不仅包括战争与宇宙空间探索，也包括浪费的生产（浪费意味着产品设计成仅能使用一个短时期以及设计成不能或不值得修理而抛弃）。这一过时的进步概念可归因于这种文明，即通行的随意使用与挥霍心理，致使为了得到“高标准的生活”而接受低品格的生命。

有很多非物质性的与非破坏性的进步道路。人类必须成为他所发展的技术的主人。能建造速度更高的飞机或航天飞行系统的事实并不自动地意味着它们将投入服务。

不仅致力于改进社会，也努力改进人类与他的生命品格，看来是合乎需要的。在某种意义上，劳动成为自我表现的一种形式与得到满足的一种源泉，比之劳动成为有效的数量生产更为重要。技术的过度发展亦能造成失业。例如，在美国，维持一个农场工人的职业已须在机械与化学品上花费三万美元，而这一数字还在继续上升中。

面对及解决目前的环境危机，我们不能仅仅考虑用老办法去征服另一个挑战，而必须理解我们的概念和评价应该改变，从而能够采用考虑周到的、高尚的与慎重的步伐来走向一个稳定的社会。

动力消耗

当世界人口目前以每三十年增加一倍时，成倍周期对能量消耗来讲是十五年，对电能利用来讲是十年^②，对铀消耗来讲则仅为三年。世界能量消耗的增长速率甚至比世界人口增长速率更快。图9所示曲线的坡度如此之陡，已必须用对数尺度来说明。世界能量使用速率在增加着，并已超过美国，而在下世纪初，人类释放的能量将等于地球上动植物领域所提供的总能量。地球上若干城市及工业地区由生活生产释放的能量，已与太阳送至地球的能量（约为每平方米一百瓦）相等。如此能量释放对气候的后果尚未十分了解。

可耗尽的能源

最近对南加利福尼亚州的研究得出，由于空气和水不可能吸收增产较大的热量，该地区的电力生产要对海洋和人类的生命不产生致命后果只能再增加一倍。

除了小量的能源由水力提供外，实际上今天所用的能量均来自可耗尽的矿物能源（煤炭、石油和天然气）。全世界总的地下储存量约 7.5×10^{18} 千卡（图10），这些能量提供给全世界，按使用的指数增长率计算，只能满足小于一个人一生的时间^③（表11）。

① 目前美国三分之一的油或铁的消耗量和90%的铝是进口的。

② 这是不能持久的，因为按这个假定增长率持续二百或三百年，则相应的电力使用到那时将分别增长到二千和二百万倍。

③ 估计到2000年，世界上已知的石油资源将消耗90%，天然气将消耗75%。

世界可耗尽能量的储存 表 11

储存能量类型	足用年数①
矿物燃料(煤炭、石油、天然气)	50
核裂变(常规反应堆)	150
核裂变(增殖反应堆)	5~15000
核聚变(热核的)	无限期

① 年数按 2000 年时世界能耗估值(15×10^{12} 千卡/年)作为单位来推算。换言之,即以 2000 年时的估值作为能耗速率,按表列能源作为唯一能源时所计算的年数。

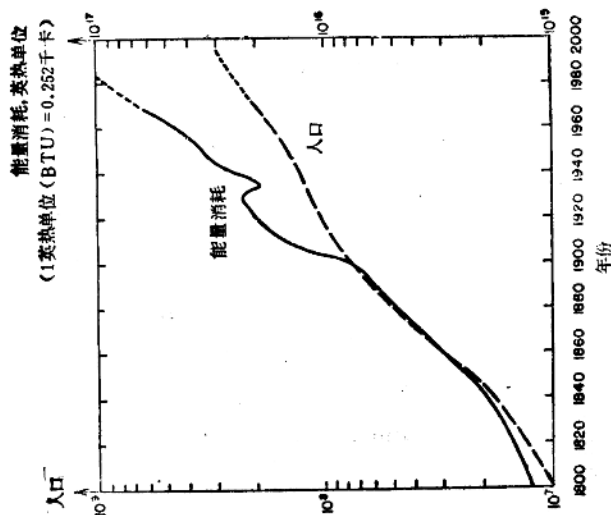


图 9 美国人口和能量消耗的增长

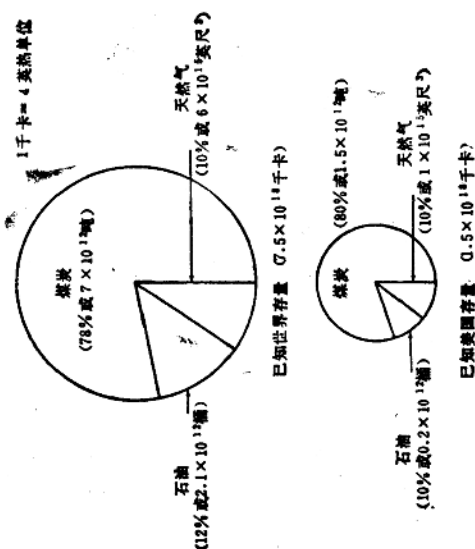


图 10 可耗尽的矿物燃料储存总和

因此，人类在历史上已第一次面临选择一种新的能源。现在看来核能将是这一新能源。按公元2000年的计划，美国所用总能量的27%及电能的50%，将来自核动力工厂（图12）。

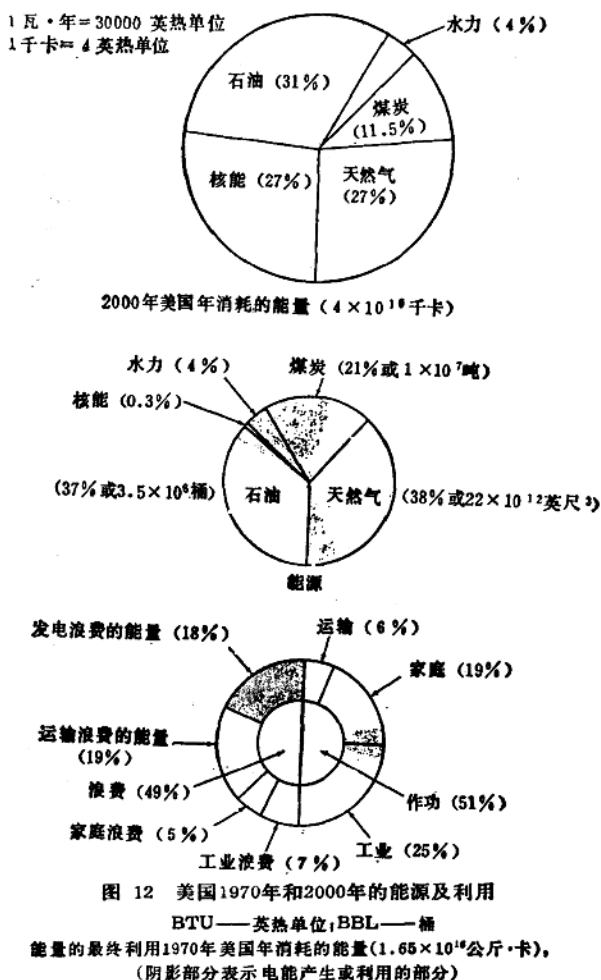
获得良好知识的公众认为利用核能的趋向是不宜引进的。那些对这种趋向有疑问的人们指出，核动力发生站有安全及污染方面的问题，而且核裂变也是一种可耗尽的能源，因而不能表明可永久解决。可以替代核能安全与污染问题及耗不尽的唯一能源是直接利用太阳能。

在最近的将来，能耗即将趋向减少用煤及增加利用石油和天然气。美国是煤炭的出口国，是天然气与石油的进口国。部分地出于这一原因以及部分地因为大城市中要采用污染较少的燃料（液化石油气及天然气），煤炭气化的技术看来需要予以完善。民用煤气的需要量，今后二十五年中将增加一倍以上，有些城市如供气不增加，将不能适应联邦规定的空气质量标准。然而，按照美国石油协会的意见，美国燃料气的保证储存量不足使用二十年。因此，在若干区域的动力供应处境，比总的全球性能量平衡所意味着的处境坏得多。在有些地区内，环境问题早已受动力危机控制并造成无法作环境上的考虑。

核能

在1970年，世界上十五个国家已有一百零九座核动力反应堆，其中二十七座在美国。至1976年，美国将有一百零七座核反应堆在运行（图13）。除极少数外，所有为1976年设计的新反应堆均为常规水冷裂变型反应堆，其中铀235进行着原子核裂变，随着释放出一个或多个中子及大量的能。这些非增殖反应堆的效率低于2.5%。它们使用低品位铀的速率，可使世界铀的供应将在一个世纪内耗尽，并成为热污染的一个主要来源（图14）。它们还存在放射性废物处置的问题。迄今人类同辐射一起生活的时间还不够长，还不足以了解每年在不同地点埋储高达一百万立方英尺的核工厂废物是否安全。要防护这一剧烈有害的物质一千年或更长时期，是有一些危险的。到1980年，仅仅在美国积累的铯90，将污染

1 瓦·年 = 30000 英热单位
1 千卡 = 4 英热单位



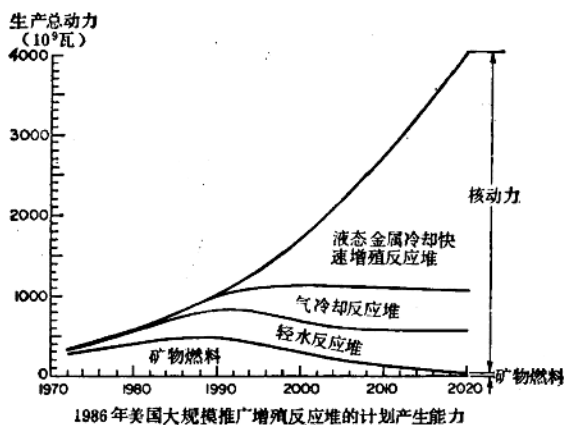


图 13 美国核动力生产计划

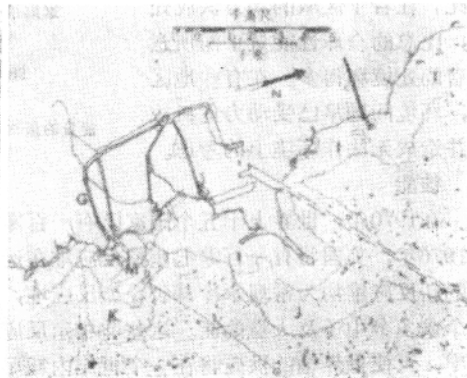
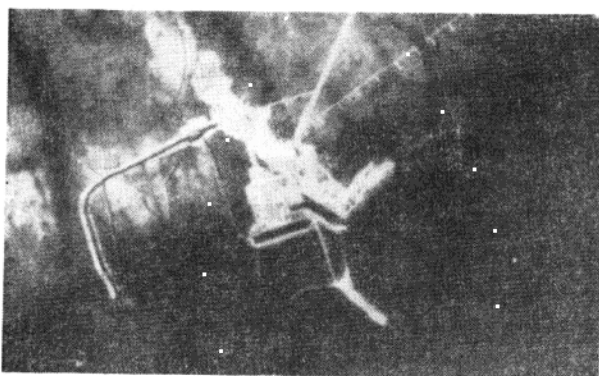


图 14 热污染破坏底部生物区

原理：使用航空摄影和热红外成像来描绘热污染的程度。试验地点：佛罗里达州比斯坎湾Turkey Point 电厂。上图：彩色照片。中图：热红外扫描，图中黑暗区域的温度比周围水温高 7°C 。下图：表面实际情况分析。M—底部生物受害显著的区内，K—底部生物受害的外区，I—沿海的草区，J—混合的底部覆盖区