

国外环境科学的研究与发展



中国科学院环境化学研究所

国外环境科学的研究与发展

张邦德执笔，参加人：陈文琴、赵殿五、吴蔚天、卫 敏
宇振东、高达治、刘晓光、李清书

1980年4月

内 容 提 要

这是一本介绍国外环境科学研究与发展的书。内容着重介绍国外一些主要国家政府和地方的环境科研动向、重大的研究课题、情报研究的活动、研究经费、研究设备、环境法令、环境标准等等。此外，对一些国家的科学院、高等院校、民间组织以及国际性环境科研组织的情况也作了介绍。

书中所介绍的科研政策、任务、机构设置、组织管理、尤其是在结束语中结合我国情况，提出几点建设性意见等等，对我国开展环境科学研究工作有一定的参考价值。

读者对象是环保领导同志、环保管理人员、研究人员、环保工作者以及有关科技人员。由于我们缺乏经验，水平有限，难免有错误之处，希望同志们多提宝贵意见。

一、前 言

《环境科学》一词最早由美国的一些科学家、工程师和教育家鉴于宇航的需要于一九五四年提出来的。并于同年成立了《环境科学学会》，出版了《环境科学》杂志以及有关专著，借以推动空间环境科学技术的发展。此后，环境科学这一名词很快就被赋予了新的概念与内容，被学术界，工业界，政界以及其它国家广为采用。

《环境科学》的名字，虽然五十年代才在国外开始使用，但是介绍环境知识方面的书籍却可以追溯到几百年前。

例如一八六四年马奇(G. P. Marsh)出版了一本题为“人和自然”的书，书中论述了人类活动对地理环境的影响，此事于70年后被人追认为是开展环保运动的源泉。在书中马奇从全球观点出发讨论了人类活动对森林、水、土壤和野生动物的影响。

俄国人A. 沃耶柯夫于一九〇一年发表了一篇关于人对地球的影响的文章，后被译成法文和德文。

N. 雪勒于一九〇五年出版过一本论述地球资源，实践与未来的书。其主要观点是反对城市化的人口集中。

五十年代是巩固环保工作，推行生态保护准则的十年。于五十年代初期在美国普林斯顿召开了第一次有75名世界知名学者参加的题为人在改造地球面貌中的作用的座谈会。自此环境问题就被正式提到科学家的议事日程上来了。

这些著作无疑奠定了研究环境科学的基础。上述作者有一个共同的特点即多从哲学，社会学、地理学的角度谈论这个问题，而未涉及其它方面也未提出过“环境科学”这个词。

一九六二年，美国女生物学家雷希尔·卡逊(Rachol-Carson)搜集了大量材料，写了一本《寂静的春天》，说明大量使用化学农药后，使自然界发生一系列的变化，一些生物被毁灭了。这本小说从文学艺术作品的角度出发十分生动地描绘出环境污染前后的对比情况和环境污染造成的严重恶果。这本以环境污染为主题的小说，一时轰动了西方世界，引起了人们对环境科学研究的重视。

实践出科学。环境科学的出现，环境科学知识的积累，正是由于环境问题所引起的。为了防治污染，才出现了环境科学。从污染的狭隘理解来看，在地球上开始有污染现象，那是很早以前就有了。我们可以认为在人类出现以前与地球的形成过程的那段时期，在地球上发生的森林大火，火山爆发，土壤风化等即是对地球自然环境的污染。关于这类环境问题，我们现在称之为“自然环境问题”。因为大自然本身有足够的的能力应付这些过剩的异物。这就是我们现在所说的自净能力。因此自然环境可仍旧保持其纯洁。另一类环境问题是指人类活动对地球自然环境的污染，我们称之为“人造环境问题”。对于这类环境问题，通常认为是自十八世纪末英国产业革命以后开始的。英国产业革命的象微是蒸汽机，主要是引起烟尘及二氧化硫的污染。随后法国，德国、美国等也爆发了产业革命，甚至沙俄日本也受到了波及；如此到20世纪初叶，这些国家已先后实现了资本主义工业化。环境问题也就随之而来并逐渐严重。自产业革命开始到20世纪初是世界上出现环境问题的第一个阶段。在这个阶段内曾于一八七三、一八八〇，一八九二年在伦敦三次由于燃煤造成了烟雾事件，死亡约2800余人，一九〇五年在英国格拉斯哥又发生过一次烟雾事件，死亡1063人。自一八九三年起，前后五十年左右，日本足尾铜矿由于冶炼硫化铜矿石而排出的废气废水危害了农田、森林，

使田园荒芜，几十万人流离失所。

第二个阶段是从一九二〇到一九五〇年，在这30年内燃煤造成的污染发展很快，石油也加入了动力工业。石油的开发和炼制都带来了新的污染。有机化学工业的发展更带来了数不清的潜在危害，在这个阶段内还爆发了两次世界大战，使人民更加贫困，从而促进了环境问题的的发展。在40年代初期在资本主义国家特别是美国汽车工业已十分发达，汽车废气中含有一氧化碳、氧化氮、烃类等能在日光作用下生成含有臭氧、二氧化氮和含氧有机化合物的具有强刺激的光化学烟雾。因光化学烟雾有强烈的刺激性，可损害农、牧业，所以比烟雾更为有害。举世闻名的“八大公害”事件中的三起就是在这期间出现的。一是一九三〇年比利时的马斯河谷工业区的二氧化硫事件，当时的二氧化硫加上粉尘使数千人呼吸道发病，约有60人死亡。二是一九四三年美国洛杉矶的光化学烟雾事件。当时洛杉矶是美国的第三大城市，约有汽车200多万辆，每天用油近500万加仑，每天要向大气中排放约1000吨的烃，再加上该城区的气候条件，因而形成了一次前所未有的所谓洛杉矶型烟雾事件。这次事件持续的时间达数天之久，但造成的死亡不多。三是一九四八年美国多诺拉镇冶炼厂的二氧化硫和粉尘引起的烟雾事件，4天内死亡达4000人。

第三个阶段是从五十年代起到现在。战后的资本主义经过一段恢复期后，工业发展更为迅速，规模更为庞大。原来尚未被污染波及的领域也不得幸免了。除上述类型的污染外，还出现了巨型运油船，于是海洋污染开始了，直接威胁到了海生生物及海鸟的生存与生活。航空和航天飞行的发展使高空大气层以及宇宙空间也遭到了污染。山颠与极地更被践踏。至此可以说在地球上已很难找到一块未被污染的“洁净的绿洲”了，在这一阶段内发生了“八大公害”中的其余五起。即一九五二年的又一次美国伦敦烟雾事件；一九五五年以来的日本四日市大量燃烧重油而引起的气喘病事件；一九五五年以来的日本富山县镉污染引起的骨痛病事件，一九五六年以来的日本水俣湾沿岸地区的有机汞中毒事件以及一九六八年日本的米糠油事件，即一次完全是由人工合成的化学品多氯联苯造成的污染事件。五起共计死亡4100人，受害者17000人。

上面我们介绍了所谓环境问题不是自然灾害问题，而是由于人类活动作用于我们周围的环境所引起的公害问题。环境污染就是指破坏了自然环境，破坏了生态平衡。自然环境，包括自然界中的大气、水、土、光、热等非生物因素以及植物、动物、微生物等生物因素。在自然界中这些因素不是孤立地存在的，它们是密切联系着、互相依赖、互相制约的。每一因素一方面受到周围各因素的影响，另一方面也反过来影响其他各因素，所以这些错综复杂的因素在自然界中就构成一个有内在联系的不可分割的统一整体，我们称这个整体为环境。探讨环境中各因素之间的相互关系的规律性就叫做生态系统研究。环境污染就是破坏了生态平衡。例如镉污染的途径之一是利用含镉废水灌溉农田，使镉进入稻田土壤，而后被农作物吸收，人吃了这些粮食就会中毒生病。污染途径之二是含镉废气扩散时镉尘散落到地面上而后进入牧草，奶牛吃了含镉牧草使牛奶含镉，人再吃含镉牛奶而中毒生病。从这一事例可以看出“镉”这一环境污染物质，由大气到土壤再到植物，然后进入人体内，经过转移、积累和循环的过程，深刻地揭示了大气、水体、土壤、植物和人之间的内在联系和互相制约的关系，这种关系就是我们所称的“生态系统”的关系。又例如工厂排放的废气中烟尘微粒、二氧化硫、一氧化碳及二氧化碳、碳氢化合物和氧化氮等造成空气污染，引起城市中居民的支气管炎、哮喘、肺气肿等病的蔓延。大量的二氧化硫排到大气中，一方面直接使附近居民发生呼吸道疾

病，影响人体健康，另一方面影响植物和动物。二氧化硫可以使某些敏感植物发生各种急性或慢性症状的反应。同时大气中的二氧化硫随着雨雪的降落而成为“酸雨”，落到土壤上，特别使原来酸土变得酸性更大，结果使土壤中的锰、铝含量大大增加，以致毒害一般农作物；酸度增强不利于土壤中硝化细菌、共生和非共生的固氮细菌的活跃和繁殖，致使土壤肥力降低，植物的产量下降，植物的化学成分特别是含硫量也会变高。动物和人吃了这样的植物或其产品，自然会有-定的影响。所以大气中二氧化硫的存在，是会引起水、土、微生物、植物、动物和人的一系列的连锁式的变化。也就是引起整个生态系统的变化。

上面说明了人类与环境的辩证关系。人类依赖环境而生存，而人类又能能动地利用和改造环境。因此，人类与环境在辩证发展过程中，总起来说是积极地互相促进的，这是主流，但与此同时，也往往产生一些相应的消极作用，不同程度地污染和破坏环境，被污染和破坏了的环境再反作用于人类的生产和生活，这种相互促进的作用是支流，但是应当认真对待和解决的。它的发生在某种意义上可以说是难免的。这首先是与人类的认识水平有关。环境是非常复杂的，我们对它的认识是在发展着的。然而我们却充满着信心，人类是可以解决环境问题的，而环境科学就是为了把对环境的认识，提高到科学的高度来研究人与环境的关系的科学。它是研究环境质量及其控制的科学。因此，我们对环境的未来充满革命的乐观主义的信心。而且坚决地为人类创造一个美好的环境而斗争。

在环境问题上也象对待其它问题一样，有乐观派和悲观派之分。前者承认由于人类过去在创造技术圈（即由人类创造的物质世界）时限于技术力量薄弱以及对自然规律认识不全面制造了不少环境问题；然而深深相信，虽然技术圈的内容包罗万象但人类的智慧是无穷的，客观世界是可以认识的，完全有能力克服技术领域所带来的各种环境问题，尽管要付出很高的代价。

悲观派则过低的估计了人类的智慧源泉，认为地球将会因为人口的膨胀而毁灭，进而发展成为禁欲主义者。

显然乐观派，他们是面对现实，预计到人类理智的发展及技术水平的不断提高，愿意根据科学态度提出问题解决问题。我们决不可将环境科学家的见微而知著的假设设为悲观主义者的哀鸣。相反，倒要求我们用严肃的科学态度，严密的科学方法。严谨的形式逻辑，去伪存真的探索客观真理。

仅有乐观主义的态度仍不能正确地展望环境的未来。我们还必须立足于现存的环境问题予测未来人与人造环境以及自然环境与人造环境之间的关系。城市是人造环境的典型。人造环境对人类的影响可以表现为各种社会现象。有人估计40年后，世界人口要增加一倍。能源消耗，污染排放也要随之急剧增加，可是我们的地球不能随之膨胀，这就又一次很自然地提出了有无外部边界的问题。生物净化与自然净化作用仍然是使我们具有舒适生活环境甚至生存条件的基本保证。因此我们不能不认真考虑自然环境与人造环境间的关系，不能不探索减少资源消耗，高速度发展的方式。

美国麻省理工学院一个技术组于71年发表了一篇文章报导了在J. W. 福斯特教授的指导下，根据60年代的世界污染趋势制订的一个系统模式，其中考虑了系统间的相互关系并借助于电子计算机绘出了自1900至2100年间世界人口、资源、投资、生活水平、污染状况等的变化趋势。算出来的结果都不是线性关系。结果表明在2000年前增加工业投资会使污染程度急剧上升，生活水平则基本不动甚至下降。这种趋势一直要维持到2050年，预计到那时人

类方可控制污染，使人口减少，从而生活水平才能恢复提高。这就是说。人类要在 2050 年前与污染进行一场搏斗之后，才能走向发达兴旺的自由王国。

目 录

一、前 言	(1)
二、概 况	(1)
(一) 环境科学的发生和发展	(1)
(二) 国外环境科研的现状和发展动向	(2)
(三) 国际环境科技情报的动向	(12)
(四) 国际环境机构	(17)
(五) 国外环境标准	(20)
(六) 国外环境科研仪器设备	(23)
(七) 国际环保法制	(26)
三、国外一些主要国家的环境科学研究情况	(28)
(一) 美国	(28)
(二) 日本	(43)
(三) 西德	(56)
(四) 瑞典	(66)
(五) 苏联	(70)
(六) 英国	(75)
(七) 法国	(78)
(八) 加拿大	(81)
(九) 意大利	(83)
(十) 印度	(84)
(十一) 波兰	(85)
四、结束语	(88)

二、概 况

环境科学是一门新兴的综合性、边缘性、多科性、社会性的科学，它既涉及到自然科学范围，也涉及到社会科学范围，是现代科学技术向深度、广度进军的标志，是人类认识自然、改造自然进一步深化的表现。科学技术的飞跃发展，人类对自然作用能力的进一步增强，将为环境科学开拓更加兴旺、更为宽广的发展远景，人类真正支配自然的时代必将迅速到来。

（一）环境科学的产生和发展

环境科学是一门研究人与环境关系的科学，它是随着工农业生产的发展造成环境危害而对有关问题进行研究的科学。环境科学是一门新兴的科学，就世界范围来说，它从兴起到形成时间不长。六十年代，进行了初步研究，到七十年代初期汇集成一门具有广泛领域和丰富内容的独立科学。它是研究环境质量及其控制的科学。它充分利用化学、生物学（包括生态学）、毒理学、物理学、地质学、自然地理学、土壤学、气象学、医学等科学的原理和方法，对人类活动引起的大气、水质、土壤和生物环境的问题开展系统的研究。尽管各国对环境科学的研究范围还不大相同，但当前其研究重点是：摸清污染物质在环境中的运动规律及其引起的环境质量变化，污染物的生物效应和对人体健康的影响，以及控制和改善环境的原理、方法和技术。环境科学是围绕着保护和改善环境的需要而产生的。它兼有认识和改造环境的双重任务。环境科学的产生和兴起，虽然时间不长，但在国民经济建设和未来科学技术发展的地位和作用已日见重要。环境科学既为生产建设服务，又为保护环境服务，它不但涉及自然因素，也涉及社会因素，它所研究的范围很广泛。但是目前环境科学正处于初步发展阶段，尚未完全定型，很难将其严格的划分归类。一般来说，环境科学可初步归纳和划分为：

（1）环境社会科学，如环境发展史，环境污染史，环境政治经济学，环境规划和管理等。

（2）环境地学，如环境地理学，环境地质学，环境海洋学，环境地球化学，生物地球化学，环境大气学等。

（3）环境生物学和医学，如生态学，环境水生物学，环境微生物学，环境生理学，环境卫生学，环境毒理学等等。

（4）环境化学，如环境分析化学，环境工程化学，卫生工程化学，用水废水化学，大气污染化学，土壤污染化学等。

（5）环境物理，如辐射生物学，辐射医学，环境声学等。

（6）环境工程学，如给水排水工程，给水及污水废水处理，供热工程，空气调节，除尘技术，冷冻技术，三废综合利用和处理等等。

上述这些环境科学的分支发展中，又是相互交叉和渗透，例如环境化学要得到发展，就有赖于化学工作者，对污染造成的自然环境的危害了解的深度和广度，使化学真正成为研究

环境的化学。当代的许多实际问题和理论问题,如化学污染的致癌原因与机理,结构与毒性的相关性,都要求环境化学与环境生物学、环境医学更紧密的结合。还有大气与大气物理的研究相结合,也是国外环境科学发展的一种趋势。另外,由于扩大了环境地学研究范围,使研究次生环境与原生环境更紧密的结合,从而把工业发展中所影响的环境质量的变化,同自然环境密切联系起来。由此,更全面、更深入地说明环境科学的发生和发展。

同时,环境科学的发展,也将有力地推动自然科学各学科的发展,丰富其他学科的内容。例如,环境化学的发展,将填补大气化学空白,促使低浓化学的发展,使停滞状态的胶体化学重新活跃,扩大结构化学研究领域等等。又如,环境地学与医学的结合,将产生微量元素与健康学科分支。环境生物与化学的结合,将产生化学生态学,使薄弱的环境毒理学得到发展。另外,空气污染气象学、海洋环境科学的发展也都丰富了其他学科领域。

预测未来,整个科学技术的发展,必将影响环境科学技术的发展,无疑,环境科学的发展,也必将会愈来愈显示出其对社会生产和现代科学技术的巨大推动和促进作用。环境科学的发展是具有无限的前途的。

(二) 国外环境科学研究的现状和发展动向

(1) 大力开展环境质量评价的研究

环境质量评价是环境科学研究的重要课题,也是国外防止环境污染的重要措施之一。从1969年以来,国外许多国家都陆续建立了这项制度。现在美国、瑞典、西德、日本等国家都在国家环境政策中详细地规定了环境质量评价制度,大力开展环境质量评价的研究。环境质量评价是在环境质量状况调查基础上对单一的和综合的环境质量作出评价,从而作为控制、改善环境的重要依据。这项工作包括大气、地面水、土壤及作物等单个环境要素的污染状况的评价和包括这些要素在内的整体环境质量的综合评价。现在,在一些国家,每个大型工程在修筑前,要由专门机构对其可能给环境带来的直接和间接的影响进行调查说明,综合分析各方面的利弊,然后提出意见,由权力机构做出决定。例如,前几年,菲律宾计划在一条河流的附近建设一个二千公顷的灌溉区。请美国环境专家对该计划进行环境质量影响评价。专家们提出,该灌区处于河流附近,应注意所使用农药的性能。有些农药短期内效果显著,对增产有利,但从长期看,对河流中鱼类生态有影响,因此要综合权衡得失,加强对农民使用农药的指导与限制,这是对国民经济建设具有重大意义的一项战略工作。

为了对环境质量作出评价,必须制定环境质量标准,并且计算环境质量指数,所谓环境质量指数,就是指人与生物得以健康舒适生存的环境质量的标准,由此制定出区域的和国家的各种污染物质排放、控制标准和法规。由此,这就要求用数学的方法计算出大气、水、土质等的污染参数指标,所以必须建立数学模式的研究。现在国外在环境质量评价工作中大力开展数学模式的研究工作。所谓数学模式,就是将污染物的传播、分布设计成某物理模型,然后按这个模型进行数学处理得到一定的结果(方程式,或数学表达式),再依照这些数学结果计算污染物的时间和空间分布情况。

建立数学模式的重要性在于:依据有限的(更确切地说是低限制的)实测数据,从而概括污染物传播、分布的全貌。这样使人们有可能进行污染预报。不仅可以用来预测一些不便

于直接测量的污染情况,而且还可以预料一个新污染源对环境所能造成的危害。

国外目前已经报导的数学模式很多,例如利用森林生长和衰退进行环境质量评价;呼吸系统里,有害物质对人体健康的危害;河口的水质控制;空气污染对人类寿命的影响;污染河口的统计模式等等。数学模式与环境质量指数不同,它具有比较清晰的物理图象,使人们一看就明瞭环境污染的情况。

环境质量评价一般由三个部份组成:环境背景评价、环境现状评价、环境预测评价。尤其是环境预测评价,这是人类走向控制治理环境的一次重大决战。目前美、日等国很重视这方面的工作,美国从1970年到1973年编制的环境评价报告达4,236件之多。

(2) 环境监测分析现代化

要开展环境质量评价工作,就要对环境质量好坏进行监测分析,目前国外环境监测分析技术的发展动向是分析方法标准化、规范化,监测技术连续、自动、计算机化仪器联用以及激光、遥感遥测等。目前美、日全国已建立了二百多处自动监测站。美国纽约有12个电子监测系统。日本47个都道府县都设有大气自动监测站。激光雷达、红外遥感以至各种人造卫星的应用为环境监测分析开辟了新的广阔前景。

(3) 积极开展环境治理技术的研究。

美、日、瑞士等国目前正在大力开展综合治理技术的研究。环境污染的因素很多,涉及面很广,既需要单项治理,更需要综合治理。因为单一方法的治理技术是不可能解决环境污染的多因素问题的。单项治理技术现已比较成熟,目前正向综合治理方向发展。比如污水处理工程,正开展利用遗传工程、酶学工程、活性炭和生物膜结合的方法,探索新的治理途径。日本环境厅1977年提出10个全国性的综合研究项目,几乎包括了环境污染的各个方面。单项治理技术有几十种,但基本上是两类:分离和转化。在分离方法方面,如吹脱和蒸发等,但还有一些方法需要研制化学处理剂,例如油分散剂、吸附剂、絮凝剂、浮选剂、萃取剂、反渗透超滤膜、离子交换膜等。

国外环境治理技术的发展经历了三个时代,第一代处理技术已成熟,推广应用,没有太多科研课题。第二代技术正在扩试,第三代技术尚处在研究和探索中。现举几个例子说明:①除尘问题,虽然静电和布袋除尘技术已成熟,有定型设备,但除尘问题并未完全解决,科研工作仍在继续。现在除尘设备,只能去除较大粒径的尘粒,而对于进入肺泡危害健康最大的亚微米尘粒不太有效。此外改用低硫的煤以后,静电除尘效率下降。因此国外还在研究新的除尘方法和原理,美国环保局收集了若干种新概念和新想法(例如,用于同位素分离的热扩散也算一种新想法),选出几种进行扩试。②氮氧化物问题。前几年美国对氮氧化物的处理报导不多,有人以为似已解决,其实不然。原来美国环境保护局以为改革锅炉控制燃烧条件,就能解决氮氧化物的污染,通过实践发现并不能彻底解决。从1976年下半年起,又着手抓治理新技术,还准备引进日本的 SO_x 和 NO_x 同时脱除的技术。③二氧化硫的问题。第一代技术是烟道气脱硫。第二代技术是沸腾床加石灰脱硫,八十年代可应用。第三代技术是煤的气化和液化及预先脱硫脱硝,目前还在实验室阶段。④含盐废水问题,正研究太阳能处理含盐废水。

目前国外在“三废”治理和综合利用方面出现了一些新技术。比如在水处理方面有日本的

二秒分离机、西德的ICI深流曝气法、污泥-活性炭循环处理污水等等。

在大气污染治理方面，大力采用排烟脱硫技术，日本最近积极发展脱硫脱氮同时进行的治理技术，据说用液相吸收法可同时清除氮氧化物和硫氧化物，脱氮率和脱硫率分别达到90%和94%。

另一项重大的具有战略意义的动向是发展煤的液化、气化技术。美国正在进行所谓“第二代煤气化炉”的研制工作，预计在八十年代中、后期，煤的气化技术可望取得突破，对解决能源和煤炭型污染方面将起革命性的作用。

充分利用自然源发展资源的循环利用技术是国外环境治理技术中的主攻方向。例如城市污水用于作物灌溉，工矿冷却用水、公园和游泳池用水乃至经过处理后直接饮用。据报导南非有的城市三分之一人口是饮用经过处理后的污水的。

(4) 重视环境基础理论的研究

近年来，国外对环境科学基础理论的研究甚为重视。在美国国家科学基金委员会自然科学基础理论研究中，环境科学的研究占五分之一。美国重要的环境科学刊物达八十种左右。美国1977年度环保经费中有一半用在基础性研究上。苏联的科学规划把土壤、地下资源、动植物、空气和水的研究作为自然科学领域内基础理论研究的重要课题。日本政府一级的科学研究中心（所）就有五十多个，地方都府的也有五十多个。

在环境基础理论研究方面一个突出的趋势是从污染的单项研究向多项、综合方面发展，其范围包括了从污染源排放直至对生物圈及人类健康影响的全过程。环境质量的调查、评价和控制治理均由点污染源向面污染源发展，从单元环境要素评价向综合评价发展，从定性向定量发展。

环境生物学、环境微生物学的研究近年来十分活跃，目前许多国家都在大力开展生物治理研究，污染物质的研究正进入分子生物学领域。如美国正从环境微生物学角度研究好氧生物和厌氧生物与氮、磷循环的生态平衡机制，从而为水体的恢复再生技术提供理论依据。在有机污染物的微生物降解方面，日本报导了一种能分解多氯联苯的红酵母，打破了已往认为多氯联苯不能分解的观点。可以这样说，由于环境生物学的蓬勃兴起，环境科学进入生命科学的时代已经到来了。

(5) 重视环境科学中的方法论的研究

方法论就是论述思考方法和实验方法是否能够说明问题，得到的结果或结论是否可靠的学问。常言道，方法不对头则事与愿违。

这里所说的方法是指解决问题的途径。有时解决一个问题可以殊途同归，有时只有路一条或无路可走；显然，如果不对多种途径事先进行分析对比就有可能走弯路或误入歧途；如果不开辟新路就可能不能达到终点。

随着科学的发展，人们对自然规律的认识愈来愈深入，接触的问题愈来愈复杂；换句话说人们要进一步揭示的自然规律愈来愈隐蔽，这就更要求讲究方法；从而使得方法论在现代科学研究中的地位愈来愈重要。

当前在环境科学受到高度重视的具有普遍意义的方法看来有下面三点：

1) 数学方法：

数学是基础学科，同时它本身又是一种工具，但因为它属于上层建筑，更鉴于数学的重要性可以放在方法论中谈论。

将数学引入环境科学后，可使人们对环境因素间的相互影响与相互制约的程度建立起定量化的概念；而且还可预言发展趋势，揭示新现象与新关系。

爱因斯坦的相对论，宇宙中的冥王星和黑洞都是数学的推论，科学的预见。

由美国数学家札德于1965年首先提出的模糊集概念发展起来的模糊数学在环境科学中运用以后，数学向环境科学积极渗透是一个值得注意的动向。通过各种大量的定性、定量研究，建立不同类型的生态系统模拟实验和数学模式。美苏近年来非常重视数学模式的研究，把在研究中获得参数建成数学模式，为环境质量的评价和控制提供了科学依据。

目前，数学在环境科学中的应用已十分普遍，已深入到各个领域，如环境中的物理现象、化学现象、生物现象、生态系统、传输、计划、趋势、管理、治理等领域，用到的数学知识也很广泛。常用的有统计数学、矩阵数学，最优化理论、相关分析等。

2) 模拟研究

模拟是研究复杂系统的一个锐利方法，模拟相似的理论早已相当成熟，根基巩固，但若运用不当反而会导致片面乃至错误的结论；因此在用于研究复杂的环境系统时必须谨慎从事。

模拟的具体做法有两大类型。一类是模型模拟，即创造一个实体，一个能用现有手段加以处理的“简单”模型。将所要研究的环境系统如一个生化处理池，一条河流或一个区域上空空气组成合理的缩小规模或范围后在实验室内如实的或加以简化的建立起一个具体的模型；然后人为的调整有限数目的输入变量并随之用仪器观察输出变量的响应，或监测模型中各部份的参数变化，以得到输入变化后系统的综合响应模式或分布特性模式等。如果模拟的是一条河流，输入变量是污染物的浓度和种类，那么就可以由这个模拟实验推导出河流的净化能力和污染物的迁移途径等。显然，结论的正确性取决于模型系统与实际系统的相似程度。果是正确的话，所得出的模式就能代表这条河流的相应性质，这条河流就能通过足够数目的如模式“显示”在萤光屏上。

利用模型模拟方法，人们就可以较方便的了解真实系统中的主要客观规律。如果模型做的足够逼真，所研究的变量数目也足够多的话，人们就可以通过模型逐步认识客观规律的全貌。另一类模拟方法是在不需要建立实体或不能建立实体时所用的数学模拟或模式模拟方法。例如对于生态系统、环境质量评价、排放标准与课税关系、污染设备的投资效益分析等等就不容易或不可能做出实体模型。

数学模拟只是在有了计算机之后才真正显示出了威力。其方法的梗概是先对所要研究的系统的输入与输出间的关系对其中发生的过程拟出几条原则性假设并依此给出一个程式图或称方块图。程式图即子程式（子系统）间的关系图。最后标出子程式（子系统）间的信息、能量与质量的传递关系，然后根据已成熟的科学理论，数学知识和边界条件推演出一系列的结论来。这种结论往往是以数学方程式即模式表达的。如果是最初的假设和程式图是正确的，推演方法也无错误的话，那么这些结论不但一定与已观察到的或即将观察到的事实相符而且还能给这些事实以理论上的解释。更重要的是根据可推导出的模式还可预见到发展趋势，揭示出新的关系或新现象。若新关系或新现象又得到了实验的证实的话，那么就可以说有了新的突破。

一张程式图代表了一个系统内的组份（子程式）。当其中的一个组份发生了变化时，其他组份也将随之而发生相应的变化。组成一个系统的组份可以是一个物理的（如沉降池）化学的（如酸碱调节或其它化学处理措施）、生物的（如降解）或三者混合的（生化处理池）单元。一个系统可以有多个输入与输出端（目前较多研究的是双端网络系统）。输入有时称做“推动函数”，输出有时称做“响应函数”。其含义是如果输入以某种方式变化，那么输出也将以某种方式作出响应。输出与输入的关系取决于构成程式图中的各单元即系统的组价性质。

数学模拟是不是可以不要实验做基础了呢？在大多数情况下是不可以的。例如对物理的、化学的和生物的单元的性质以及在两个子程式之间的信息、能量与质量的传递关系就需要通过实验确定。

描述环境系统的数学模式大体有三种类型，即传输现象模式、经验模式和群体平衡模式。这些模式都是数学方程式，它们或是绝对的或是统计的代表了所描述系统的特性。传输现象模式导自能量和质量的平衡概念。经验模式导自对数据的统计处理，这些数据可来自真实系统或模拟系统。群体模式则导自个体的存在时间分布或系统内的其他特性的时间分布。

系统模式的准确性不会超过子系统，所以一个模拟系统在用于分析前要经过周密的考核，不可草率从事；否则模拟法不仅不会带来好处，反而会带来坏处。

模式在很多方面是可以代替模型的，甚至优于模型。国外在宇航工程、核工程以及众多其它工程中都大量的运用了模式模拟的方法。宇航飞船可以先在计算机屏幕上飞向目标，氢弹可以先在计算机屏幕上爆炸，一个拟议中的立体化学结构可以先在计算机屏幕上显示转动。生态学期以来都是一门描述性的学科，近来也引入了数学，称做数学生态学。这样生物也将“生存或灭亡”在计算机屏幕上了。

3) 系统概念的引用

在上面叙述模拟法时，实际上就已经渗透了系统的概念。上面提到的系统、子系统、程式、子程式，单元等等都是一些描述层次的用词。如果我们把这些词的含义升级，包括大范围就是系统论的概念了。

环境本身就是一个大系统，其中有众多亚系统，诸如水、土、气、生态、社会等皆是。很显然这些亚系统在自然界中不是孤立存在的而是有着千丝万缕的内在联系，这就是系统论的基本概念。实际上就是通常所说的全盘考虑的概念或最优化概念加上数学方法。

所以系统概念的应用是有层次的。例如在一个工厂内在考虑污染处理系统的效益时就需与该工厂的生产系统，管理系统相联系而不能单纯的研究污染处理系统本身。在考虑水系统时也要考虑土壤的沥沥系统，雨水的迳流系统，小气候系统等。若考虑生态系统时，则上述诸系统再加上社会系统都要考虑进去才能全面了解生物群体的存亡和发展。

将系统论用于工程学称做系统工程学。系统工程学不同于其它工程学。系统工程学所要讨论的是总体趋势预测，全面方案对比，通盘计划安排和科学化组织管理以便能以最优方式达到目的，而不是解决具体技术问题。美国的阿波罗登月计划是一个庞大复杂的高、精、尖的综合性计划。有两万家厂商、二百余所高等院校和科研单位，人数最多时达六十余万人，前后实际历时十年，耗资三百亿美元。这次计划就是由于采纳了系统工程学理论而使计划提前一年完成。这是今天运用系统论的一个最高的层次。

显然系统论得以运用的基础有两条：第一是要有系统的模式；第二是要有大容量高速度的电子计算机，否则谈论系统工程学从根本上讲是一句空话。系统工程学所要揭示的内容是大

系统中潜在的不易查觉的规律和隐患而不是显而易见的错误。

鉴于系统工程的重要性，国际上于1972年成立了“国际应用系统分析研究所”，先后已有17个国家参加。研究的课题有能源、环境生物学、水力资源、医疗以及城市规划等共性问题。

总之，在上面提到的方法论中，数学工具的运用是基本的。模拟法是以数学为基础的，系统分析又是以数学模拟为基础的。环境系统工程学是70年代提出来的，看来还处于建立各级模式的阶段，尚未见到取得显著成绩的报导。

七十年代以来，国外在环境科学的领域里，除了加强自然科学的研究之外，还开辟了环境经济学，环境管理学，环境社会学等领域的研究。

此外，国外环境科学研究还强调国际协作，提出共同的研究课题。1977年联合国环境规划署在环境状况报告中，提出了当前国际上最关注的臭氧层、环境癌症、土地流失和土壤退化以及树木等四个环境问题。这些问题不只是一个国家，而是许多国家共同存在的具有国际性的重大问题，已引起广大群众和各国政府的注意，而且成为当前环境科学研究中的共同课题。

西德国土面积狭小，又地处中欧，四周都是工业发达的国家，主要河流和湖泊都是跨越国界，如莱茵河就与西德、瑞士、法国、卢森堡、荷兰等五个国家有关；又如主要的内陆湖博登湖和瑞士接壤。因此，西德政府和许多国家达成多边或双边协议，强调国际协作，共同研究防治环境污染的措施。

国外的环境科学研究工作，既重视环境应用科学的研究，更重视环境基础理论的研究，而且还把近期研究和远期研究很好地结合起来。下面介绍美国和日本的五十年或十年规划。

美国1977至1981年研究规划

美国环保局研究与发展办公室1977至1981年的研究规划和研究方向如下：

（一）健康和生态影响规划

健康和生态影响计划是美国环保局用以确定标准的基础，是污染物质对人类健康和生态系影响及其在生物圈中的行为的科学资料，是发展环境法规所必不可少的依据。污染物的排放和所要求的环境质量之间的关系必须予以确定。为获取必需的资料，本计划又细分成四个主要的分支规划：前三项是健康影响、生态影响及其过程、污染物的迁移和归宿等规划；第四项是标准评定及社会经济研究计划，其所需资料和数据由前三项计划提供。

本规划的目的在于积累资料，以建立和重新估价水和空气的质量标准、海洋排放标准、农药注册准则、有毒和危险物质的排放标准以及辐射标准。

在健康影响详细规划中，必须继续对规定的污染物和既定的环境空气质量标准进行研究，以期能够对这些标准继续不断地进行重新估价。然而，这类研究工作在下一个五年期间将逐渐减少，而对非规定的污染物，特别是对硫酸盐、硝酸盐和吸入性悬浮物的研究步伐将有所加快。而且还将发展一套完整的吸入毒理学和生物医学数据，以查明经催化转化器处理的汽车废气和可能的催化剂消耗产品排放物如硫酸、硫酸盐、二硫化碳、硫化氢、钡、铂和氧化铝等对人体健康的危害。最近对环境致癌已开始研究，重点放在致癌物及有关危险因素的环境水平的定量评定方面。确定接触某些特定环境的化学物质（多途径污染物）的慢性效应的工作，将有所增强。

对地面处理的废水和污泥以及从处理厂排放的含有细菌和病毒的气溶胶影响健康的研究工作将继续得到高度重视。

农药对健康影响的研究将日益受到重视，并将就农药对生物群落的一般危害问题，为美国环保局的规定和控制职能提供必要的援助。

有毒物质对健康和生态影响的研究已于1975年开始，并在继续进行中，而且着重对“1976年有毒物质控制法”的执行予以援助。

为确定电磁辐射的生物效应的研究工作则以现有水平继续进行。

生态过程和影响详细规划将继续目前的工作，即评价规定空气污染物对农业和森林植物的影响和制定代表性生物的水质标准。本计划的相当部份将评价整个生态系统和制定仅需最少量信息的生态模型。但是，某些特定污染物的标准制定工作也将继续进行。

生态过程和影响的详细规划不仅研究污染物对生态系及其构成的影响，而且也研究生态系对污染物的影响。以上考虑对于确定污染物以何种速度转化为无害物质，如何滞留和蓄积到危险程度，或是转化成比原污染物更有害的物质是很重要的。这些对某种污染物的归宿、迁移途径和生态影响的研究资料，是支持环境质量的制定和农药的注册所必须具有的。

关于污染物在生物圈中的迁移和归宿的资料，对于美国环保局的地方机构和各州执行标准、流域计划是很需要的。其重点放在金属在土壤和植物中的迁移及其归宿，将非点源负荷户指和流域水质模型结合起来，用以评价点源和非点源污染物对水质的影响，根据适当的用模型南确定污染负荷功能；评价硫酸盐在地区和次大陆范围内的空气中的迁移和转化；研究非规定污染物的形成和迁移，和对长期监测计划所获得的积累数据进行分析等方面。

新出现的问题，例如氟碳化合物和其它可能的危险物将受到更多的注意。研究工作将集注于全球、地区和地方环境对污染物的长期负荷能力，不同污染物负荷水平的可能影响，以及对处于不同污染物负荷和环境条件下的各地方、地区和次大陆环境质量进行预测的能力方面。研究与发展办公室的能源/环境计划对健康和生态影响计划的许多研究提供补充资料。在某些情况下，这些资料允许列入其它各计划，更深入地开展研究工作。在另一些情况下，则可能在较大的范围内开展研究工作。

(二) 公共事业活动规划

公共事业研究规划的主要目标是：

1. 发展废水管理技术以适应公共事业活动；
2. 发展固体废物和资源的回收利用技术；
3. 发展向海洋排放废物的各种技术；
4. 发展有关制订和执行区域性环境保护规划的方法。

美国环保局规划中所关注的一些环境问题，根据它们在社会环境管理中的意义可以归并为几个领域。据此，制定了下面三个主要的详细规划：

1. 废物管理
2. 供水
3. 环境管理

废物管理分支规划所注意的中心问题是预防、处理、控制和管理居民点、住宅或其它非工业活动所产生的污染。研究内容包括市政和生活废水的收集运输和处理系统、城市的地表径流以及市政固体废物系统等。

在固体废物系统的研究中包括记录危险性废物的处置效果,以验证各种管理措施的作用;发展处理和处置废物的控制技术;确定土壤中污染物的迁移情况;评价卫生垃圾坑对环境的影响;发展向废物要能量和物资的资源回收系统。

现正进行的主要工作是为了保证国家有可靠而安全的饮水供应。这方面的工作包括研究饮水中的污染物对人体健康的直接和间接影响。此外,供水规划规定,要发展分析方法以估计饮水质量,要研究控制供水中用现有技术不能去除的那些污染物的工艺。供水研究包括鉴定和测定、健康影响、处理技术和系统管理、以及地下水管理四个主要方面的工作。供水对健康的影响的研究,其主要目的是为确定饮水质量标准提供科学根据。特别是将为建立饮水中的有机的、无机的和微生物的污染物标准提供科学根据。供水控制技术研究 and 推广工作的首要目的是发展花费少、效能高的使水质达到标准的控制技术。既包括研究如何将已有的大规模技术应用于小的供水系统,也包括发展新的或特殊的技术。

环境管理规划的目的:为地区、州和地方各级环境计划的工作人员和管理人员提供如何确定适宜解决广泛的环境问题的方案的方法以及选择投资最少的方案的技术。研究工作主要致力于改进多介质计划技术,改进有关环境质量和经济方面的资料的收集、分析和应用的方法,评价各种机构布局方案的方法,以及发展对广泛系统进行评价和作出决定的方法。

(三) 工业过程规划

工业过程规划主要研究如何减轻或消除工业引起的环境质量(不包括能源工业)。研究工作包括点源污染(例如,金属生产和加工、纸浆和纸张生产、食品生产、化学制造和金属表面处理)和非点源污染(例如来自农业和伐木操作)。

规划包括多种介质,考虑了所有空气中的、水中的或固体的污染物。例如,在食品加工工业中废氨可能排入大气,或者经过洗气转入废水中排放。不论以哪种形式排放,污染物一定要控制。另一个例子是有色金属冶炼排放的砷废物,它可能是空气污染物、水污染物或固体废物。研究的目的是要寻找一个解决砷污染的总办法,可以保护所有的环境介质。

对于每一个给定问题,规划包括评价、开列污染清单直到控制策略的发展。例如,金属电镀造成有毒废物,如铬、镉和其它重金属。美国共有二万多个电镀装置。解决这个环境问题需要研究废物的本性、电镀装置的地理分布情况和成本有效控制技术和策略。

评价、开列污染清单和控制污染的另一个例子是干洗工业。多种溶剂(包括卤代烃)用于清洗织物。在美国干洗装置的数目和加油站一样多,而且它们是非常分散的。织物上的残余溶剂释放至空气中,而用过的溶剂经常倒在地上蒸发。为了解决这个问题,要测定各种溶剂类型的范围,要评价用不同溶剂的装置的地理分布,还要发展经济合理的控制策略。对于较大的装置,要建立固定的溶剂回收设备,而对于小装置则建立为许多小厂服务的有效的溶剂收集和回用办法,看来是经济合理的策略。

此规划分为二个分支规划:可再生的资源工业和矿业、加工和制造工业。可再生的资源工业分支规划包括所有食物和纤维生产活动。矿业、加工和制造工业分支规划包括,除了与能源有关的采矿、加工和利用部分之外的采矿和所有其它制造活动的。从可再生的资源工业散发出来的污染物是分散性的,主要是由风和雨对沉积物、肥料、农药和粪便的侵蚀。而其它工业的污染物来自点源,如烟囱和排污管。因为有这些根本的差别,这两部份分支规划的环保概念之间很少有相仿之处。可再生资源分支的研究需要农学家,农艺工程师,水文学家,土