

高等学校教学参考书

环境 化学

戴树桂 主编

陈甫华 王世柏 编

高等教育出版社

高等学校教学参考书

环 境 化 学

戴树桂(主编)

陈甫华 王世柏 编

高等教育出版社

高等学校教学参考书

环境化学

戴树桂 主编

陈南华 王世柏 编

化学工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 16.5 字数 390 000

1987 年 4 月第 1 版 1987 年 5 月第 1 次印刷

印数 00 001—6 650

书号 13010·01276 定价 3.35 元

前 言

环境化学是研究化学污染物及对人类生态体系可能带来影响的化学物质在自然环境中化学变化规律的科学，是环境科学这一新兴学科的重要组成部分。

当代的环境污染及其综合防治问题几乎都与化学密切相关。随着我国环境保护事业和环境科学研究工作的开展，培养从事环境工作专门人才的任务日益迫切。过去数年我国不少高等院校相继成立了有关的专业和系，因而环境科学教育方面的教材建设工作也显得刻不容缓了。

一九八〇年五月在长春召开的高等学校理科化学教材编审委员会上所酝酿的高等教育出版社1981—1985年教材出版规划中委托南开大学编写一本“环境化学”。我们在过去几年教学实践的基础上首先写出“环境化学”初稿，并于1984年10月在审稿会上经有关专家审议通过。

作为环境化学专业学生学习的一门重要专业课程，我们结合国情并在参考若干名家著作的基础上，确定了如下的编写系统：内容共包含七章，首先在第一章中介绍环境化学的研究对象、方法和任务，介绍人类环境的形成和演变；接着在二、三、四各章中分述气、土、水各环境要素的化学问题，包括它们的污染化学，重要污染物的分析方法，以及污染的化学防治原理；考虑到从化学、生化角度讲清重要污染物在生物体内的积累、转化的机制也应是环境化学的重要内容，紧接着写了讨论这方面问题的第五章；鉴于从本质上说人与环境的关系是能量收支的关系，故在第六章能源内容中从客观角度论述了人与环境的关系，并适当介

绍了一些能量利用和能源开发的材料；全书以数学模式一章为结尾，这是因为将污染物在环境中变化规律模式化已成为环境科学研究工作中的基本功，通过本章讲解可使学生学到认识污染物在环境中时空变化规律和数学表达的基本方法。

本书由王世柏同志写第一、二、三、七章，陈甫华同志写第四、五、六章，最后由主编戴树桂同志审校定稿。

高等教育出版社和参加本书审稿会的专家为本书的写成和出版给予了很大的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，错误和不妥之处在所难免，愿望读者给予批评和指正。

编 者

一九八五年十一月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境科学的产生.....	1
第二节 环境化学的研究对象、方法和任务.....	5
第三节 人类生存环境的形成和发展.....	7
一、银河系的形成	7
二、地球的演化	8
三、原始地球的大气圈和水圈	14
四、高等有机物的合成	14
五、细胞的出现和生物圈的形成	15
六、大气圈发展的二、三阶段	16
第二章 大气	19
第一节 大气的性质和结构	19
一、大气的结构	19
二、气温垂直递减率和逆温	20
三、气团及其干绝热减温率	21
四、气团的稳度性	21
第二节 大气污染的一些基本问题.....	22
一、大气污染作用系统	22
二、大气污染物的类别	24
三、污染物在大气中作用的类别.....	25
四、大气污染效应的类别	26
第三节 大气污染化学.....	27
一、光化学烟雾的形成	27

二、影响气溶胶的动力学过程	39
第四节 气态污染物和地球表面物质的相互作用	42
一、膜置换模型	43
二、叶片对污染气体的吸收	45
第五节 大气污染物的来源、演变和归宿	48
一、含硫化合物的来源、演变和归宿	48
二、CO 的来源、演变和归宿	54
三、气态氮化物的来源、演变和归宿	58
四、碳氢化合物	60
五、颗粒物	61
第六节 降水化学	64
一、降水的化学组成	65
二、雨水中的离子平衡	65
三、降水过程能净化大气	66
第七节 大气污染物的分析和监测	67
一、样品的采集	67
二、重要污染物的分析	70
三、大气污染物分析的展望	74
第八节 大气污染的控制和防治原理	76
一、气体污染物的清除	77
二、颗粒污染物的清除	81
三、汽车尾气的控制方法	87
第三章 土	91
第一节 土的形成	91
一、土的形成	91
二、土的组成	97
第二节 土的主要物理化学性质	99

一、土中的化学平衡	99
二、土固相与土溶液间的界面作用	104
三、土对阳离子的吸附	108
四、土对阴离子的吸附	123
五、土中可溶性成分的迁移和积累	125
第三节 土的污染	130
一、土污染的认可和预示	131
二、氮和磷的污染	132
三、重金属和痕量元素的污染	138
四、土壤的有机农药污染	145
第四章 天然水污染化学	154
第一节 天然水概况	154
一、若干概念	154
二、海水	155
三、陆地水	161
四、地下水、重水	164
五、天然水分类简介	164
第二节 天然水的污染	165
一、水生生态系统 天然水污染	165
二、天然水的污染物质	169
三、天然水中污染物质的来源及其进入途径	183
四、污染物质在天然水中的运动过程	185
第三节 天然水中污染物的转化	187
一、污染物的化学氧化还原转化	187
二、污染物非氧化还原的化学转化	202
三、水中多相系统分散相对污染物的吸附	224
四、污染物的光化和生化反应	254

第四节 水质监测	276
一、水质标准	276
二、水质监测	277
第五节 废水处理	297
一、控制废水的技术措施	297
二、废水处理方法	298
三、工业废水处理举例——含铬废水处理	306
第五章 污染物在生物体内的积累与转化	315
第一节 污染物的生物积累	315
一、生物污染途径	315
二、生物积累及其影响因素	317
三、生物积累定量研究举例	320
第二节 污染物的代谢与转化	327
一、代谢转化与酶的基本概念	327
二、代谢转化类型简介	328
三、代谢转化举例	341
四、影响代谢转化速度的因素	348
五、代谢转化速度定量研究举例	352
第六章 能源	357
第一节 能源与环境	357
第二节 化石燃料	360
一、化石燃料成分	360
二、化石燃料引起的主要污染及其防治	363
第三节 原子能	382
一、核裂变反应堆发电及其环境问题	383
二、核聚变发电	390
第四节 太阳能	393

一、太阳能的特点	393
二、太阳能的利用	394
第五节 地热能 氢能	404
一、地热能	404
二、氢能	405
第七章 数学模式	410
第一节 流体力学中的一些数学方法	412
一、某些基本概念	412
二、流体动力学方程	416
第二节 概率统计基础	422
一、概率论的基本知识	423
二、数理统计初步	429
第三节 关于湍流扩散的数学描述	444
一、湍流扩散的一般描述	447
二、浓度方程的求解	450
第四节 数学模式举例	456
一、大气湍流扩散的模式	456
二、臭味污染空气的数学模式	464
三、利用多元回归分析法得到的短期污染预报的模式	474
四、控制河口水质的数学模式	481
五、河口内的环流及混合作用的数学模式	487
六、污染河口的统计模式	502

第一章 绪 论

内容提要及重点要求

了解环境科学的产生、发展的历史。明确环境化学的研究对象、方法和任务。了解地球演变史。掌握四大环境要素形成过程和原理。

第一节 环境科学的产生

环境科学和其它新兴学科一样，是人类取得巨大的技术和科学进步的历史产物。

20世纪，人类在科学方面获得了伟大的成就，二次世界大战后的和平环境促进了工业技术的巨大进步，世界得到了空前的繁荣，人类也得到了前所未有的繁殖。

联合国最近一次亦即第五次调查表明，1984年全世界人口为47.6亿，80~85年平均每年增加8097万人，预测2000年世界人口为61亿，2025年世界人口为82亿。随着人口的增长，人类向自然索取的东西愈来愈多，由于人类一味地追求经济效益，忽视自然资源的保护，以至于无限制地向自然界攫取资源，造成自然资源的耗竭；无顾忌地向自然界抛弃废物，把大自然当作垃圾箱、排水道，造成自然环境的污染，因而遭到了自然界的报复。

一方面自然资源日趋衰竭，一方面造成世界性的环境污染。在资源衰竭方面，首要的是能源的危机。我们知道太阳辐照到大

气上层的能量大约是 $3000\text{J}/\text{cm}^2\cdot\text{d}$ ，称之为 1 个太阳辐照单位，其中 63% 辐照到地面上，目前全球使用的能量仅为 0.05 太阳辐照单位/天。据较慎重的估计，能源生产以每年 40% 的速度增加，这样中欧国家在 50 年至 100 年内，人类使用的能源将占天然能源的 25%，尽管这种估计是偏低的，但是说明能源危机确实是存在的。物质资源方面，特别是非再生资源，可供人类消耗的量是有限的，表 1-1 中所给的数据说明，按 1970 年的消耗速度 13 种矿藏在 100 年内耗竭，假若消耗速度按指数增长则有 14 种矿藏在 50 年内耗竭，即使矿藏储量比现在已探明的储量增加 4 倍，也会有 15 种矿藏在 100 年内耗竭。尽管上面的数字没有考虑到未来

表 1-1 非再生资源耗竭年限

资 源 名 称	耗 竭 年 限		
	按 1970 年恒定消耗 速 度	按指数增长的消耗 速 度	消耗速度按指数增长 (储量增加 4 倍)
Al	100	31	55
Cr	420	95	154
煤	3300	111	150
Ca	110	60	148
Cu	36	21	48
Au	11	9	29
Fe	240	93	178
Pb	26	21	64
Mn	97	46	94
Hg	13	13	41
Mo	79	34	65
天然气	38	22	49
Ni	150	53	96
Pt	130	47	85
Ag	16	13	43
Sn	17	15	61
W	40	23	72
Zn	23	18	56
石油	31	20	50

科学技术的新发展，可用资源的新途径及资源消耗随着新工艺的出现而带来的变化，但至少说明人类在资源利用方面应当是有节制的。资源消耗的愈多，产生的废物也愈多，对自然环境的污染也愈严重。环境污染的一个主要来源就是人类使用的化学品。人类向环境中投放的化学品是迅速增加的。1950年世界生产的有机化学品为700万吨，1970年世界生产的有机化学品为6300万吨，1985年世界生产的有机化学品为2.5亿吨。（估计）

以1970年的统计数字为例，有机化学品中的溶剂为1000万吨，洗涤剂为150万吨，农药为100万吨，润滑油及工业油料200至500万吨，天然沼气16亿吨，松节油类1亿7千万吨，其他有机化学品2700万吨。长期的向环境投放化学品，在过去的100年间，已经造成其背景浓度由稍微大于零增加到1ppb的后果，而今后的100年将使其浓度由1ppb增加到1ppm的严重程度，并且引起了一系列骇人听闻的环境污染事件。

1952年12月5日伦敦、南英格兰一带有一大型移动性高压脊，使伦敦上空处于无风状态，工厂居民烧煤排放的烟尘，持续四、五天弥漫不散，造成四千人死亡，这就是历史上“悲惨的烟雾事件”。日本水俣县50年代初期，那里的人们发现有些猫不知什么缘故竟向河里跳去。后来有些妇女突然四肢麻木，精神失常，一会儿酣睡，一会儿兴奋异常，身体痛得惨叫，最后死去。这种不知名的病后人称之为水俣病。北欧的瑞典经常下“酸雨”，使土壤变坏，农作物受害。美国的洛杉矶出现光化学烟雾事件。我国的环境污染事件也是屡见不鲜，如松花江的汞污染，镉污染，兰州的光化学烟雾等等。

环境污染已经不是某个地区的事情了，现在已经造成全球性的危害。所谓环境化学物质是指这样一些物质：由于这些物质的大量生产及广泛使用，最终分布到不使用和不生产这些物质的地

区。比如有机氯农药已经散播到南极，以致使某些禽类的蛋壳变薄。又如人类大量开发和燃烧燃料、大面积砍伐森林以及大片水面的油污染，造成全球性的 CO_2 含量的增高，大约由 0.028% 上升到 0.032%， CO_2 浓度的提高将引起南极和北冰洋的冰块融化，改变气流的正常流向，从而引起全球性的气候反常。

严酷的现实迫使人类不得不采取相应的措施，否则将危及人类的生存和发展。1962 年美国生物学家雷切尔·卡尔森(Rachel-Caresn)写了一本“寂静的春天”说明使用大量农药后，自然环境发生的变化。这可以说是首次的保护环境的呼吁。日本熊本大学医学院的有关学者，花了近 10 年的时间，查明了水俣病的起因。其他科学家也逐渐弄清了烟雾事件、酸雨、光化学烟雾等问题的原因。环境科学就是在人类保持和维护自然资源及干净的环境的斗争中成长发展起来的。

无可置疑，在解决环境污染问题中，环境化学起着举足轻重的作用。无论是研究污染物对环境危害的规律，揭示其危害的原因，还是研究污染物对人体健康及心理上的影响；无论是研究污染物的控制和治理，还是监测污染状况；都离不开环境化学。

我们是社会主义国家，更加关心和保障人民的健康和安全，在实现四个现代化的伟大任务中将环境保护列为十分重要的问题。五届人大会议指出：“消除污染，保护环境是一件关系到广大人民健康的大事，必须引起高度重视”。现在各项新建工业都实行三“同时”。正是由于党和国家对环境保护问题的高度重视，我国的环境保护工作才得到了如此迅速的发展，使我国在为强大的、工农业及科学技术高度发展的国家的同时，自然资源得到合理的使用，自然环境得到认真的保护，造福于子孙后代，为世界树立一个高度文明的榜样，无疑地这也是我国环境工作者的光荣职责。

第二节 环境化学的研究对象、方法和任务

环境即人类赖以生存和发展的自然环境，主要包括大气、水体、土壤和生物界四大环境要素。随着人类活动范围的伸展，也涉及到一部分宇宙空间。

何谓环境化学？这是研究环境化学首先要搞清楚的问题，但是至今对环境化学还没有一个统一的认识。目前用英文出版的环境化学书籍就有十几种，内容各异，便反映了这种认识上的差别。美国的霍恩（R.A.Honne）1928年在“我们的环境化学”一书中定义：“环境化学是研究物质在开放性介质系统中所发生的化学现象”。这个定义范围似乎宽了些。1980年西德辐射和环境研究中心所属生态化学研究所所长、慕尼黑大学化学所所长弗·柯特教授提出：“环境化学即生态化学是一门用化学方法研究化学物质在环境中行为及其对生态体系的影响的科学”。1981年，我国的刘静宜提出“环境化学一般指化学污染物质在自然环境中所发生的化学变化的规律。”综合各家的说法，我们认为不能将环境中化学现象都归属于环境化学的研究对象，而应当是将被确认为污染物质的那些化学物质在环境中的变化规律作为研究对象，否则它便不易和普通化学区分了。然而污染物质也有个确认过程，不是任何化学物质都具有污染作用，也不是说现有的一般的化学物质，经过认真的毒理研究及环境化学的研究之后，不会被“提升”为污染物。因此将环境化学只归结为化学污染物质在自然环境中所发生的化学变化的规律的科学，虽然具有突出重点的优点，然而又嫌欠发展的眼光。我们认为将环境化学作如下的概括似乎较全面一些。

环境化学是研究化学污染物及对人类生态体系可能带来影响

的化学物质在自然环境中的化学变化的规律的科学。它包括的内容至少应当有：化学污染物的化学，其中包括化学污染物的来源、分布、在自然环境中的迁移、转化、归宿的化学原理；化学污染物的控制、治理的原理、原则和方法，特别是其中的化学原理；化学污染物的分析和鉴定。此外，对于环境的起源和构成，对于物质流、能量流、信息流在环境诸要素中作用的理论描述，对于彻底改变人类对环境的依存关系，如控制人口，改变食品系统，使用能源的方式等战略性措施以及用环境系统工程的方法描述化学污染物的分布，迁移转化规律这些内容也均适当涉及。至于污染物对人体健康和心理的影响、对生物的影响、对社会的影响也都予以注意。

环境化学作为一门新兴的学科，在研究对象和任务方面固然有别于普通化学，而且在研究方法上也有自己的特点。

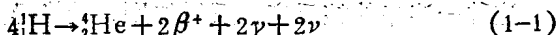
首先，它具有综合性的特点。研究环境化学自然主要的是化学方法，此外还要配合以物理的、气象的、生物的及数学的方法。所以在探讨污染物变化规律的时候，力戒以单一的因素去考虑，而必须综合多方面的因素考查，方能得出符合客观实际的结论。譬如，我们考虑汞对自然界的污染，除了考虑它的一般的物理化学变化外，还要考虑微生物和酶的作用。我们考虑氮的氧化物在大气中的污染不仅要考虑它本身的化学问题，还要考虑光照及地形地势的作用。考虑农药残毒时不仅要考虑它的光解，化学降解还要考虑它的生物降解等等。

其次，环境化学研究方法的另一个特点是研究污染物在极低浓度下的行为，一般地是 ppm 含量，有的达 ppb 级，更低者达 ppt 级，然而“杂质”却多是常量浓度。这就决定了分析鉴定方法的复杂和精细以及变化规律的特殊性，应当更多地开展一些低浓度污染物的物理化学的研究。

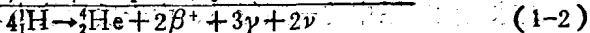
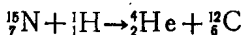
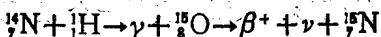
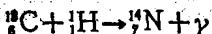
第三节 人类生存环境的形成和发展

一、银河系的形成

至今在地壳层及大气层中发现了 90 种元素，其中 15 种以上在宇宙其他地方被发现。而且可以人工合成。按照现今流行的天体理论星体发展史可能是这样的：在宇宙的某个区域里，氢、氦其他原子或分子随着乱运动的加剧，以至手能靠引力作用令之收缩的时候，引力场逐渐消失，位能转变成动能，原子速度增加，该区域的温度和物质密度同时上升。当温度达到 10^7 至 10^8 K 时，克服了氢核融化的位垒，氢燃烧的核反应开始发生。



如果星体足够大，含有少量 ${}^{12}_6\text{C}$ ，则氢燃烧的另一个主要途径，称之为碳-氮循环催化核反应可以发生：



在这串反应里不稳定的核 ${}^{13}_7\text{N}$ ， ${}^{15}_8\text{O}$ 迅速分解，而稳定的核 ${}^{12}_6\text{C}$ ， ${}^{14}_7\text{N}$ 和 ${}^{15}_7\text{N}$ 有足够长的寿命承受质子的轰击，显然 ${}^{12}_6\text{C}$ 在这串反应里起着催化剂的作用。氢燃烧反应释放的能量足以将原子速度提高到使之引起进一步瓦解的程度。通常星球稳定几十亿年，更重的核趋向于星球的中心，与外部的氢燃烧区有一定的距离，内壳的密度约 10^5 g/cm^3 ，温度达 10^8 K ，氮开始转变成碳和氧，若星球足够大（至少为太阳的 3.5 倍）那么更重的核为 ${}^{20}_{10}\text{Ne}$ ， ${}^{23}_{11}\text{Na}$ ， ${}^{28}_{14}\text{Si}$ ， ${}^{32}_{16}\text{S}$ ， ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ 等也会产生。这时的星球结构如图 1-1 所示：