

绿色化学与 低碳社会

Lǚ SE HUA XUE YU DI TAN SHE HUI

田大惠/著

山西出版传媒集团

 三晋出版社

内容提要

当今世界，日益严峻的能源危机和环境危机给人类的生存和发展提出了巨大的挑战，走绿色、低碳、可持续发展之路已经成为世界各国的共识。化学作为一门有着巨大社会需求的中心学科，对社会的进步和发展发挥着无可替代的推动作用。但是，进入 20 世纪以来，化学工业的发展也给人类带来了诸多困惑，学科本身也面临着前所未有的发展困境。如何才能在发展和环境之间求得平衡，成为摆在世界各国面前的一个共同课题。在这样的大背景下，绿色化学诞生了。它给我们提供了一种崭新的发展理念和发展模式，并为解决人类面临的一系列危机提供了有效的解决途径。

本书以绿色化学在建设低碳社会的过程中所发挥的重要作用为主线，用大量生动翔实、科学准确的实例配以图片展开阐述。它内容新颖，信息量大，针对性强，寓意深刻，突出科学性、知识性、趣味性、可读性以及环保性，深入浅出的揭示了绿色化学与低碳社会之间的必然联系。

全书共分为五章。第一章是低碳社会呼唤绿色化学：内容包括绿色化学兴起的时代背景、绿色化学概述、绿色化学的研究方向和发展前景；第二章是倡导绿色化学，构建低碳社会：内容包括低碳社会概述、我国低碳社会发展现状、绿色化学是实现低碳社会的有效途径；第三章是应用绿色化学，发展低碳经济：内容包括世界能源消费现状和发展趋势、应用绿色化学技术大力发展清洁能源、基于绿色化学理念的生产模式—清洁生产、应用绿色化学技术优化传统生产工艺、应用绿色化学技术助力企业节能减排；第四章是依托绿色化学，推行低碳生活：内容包括绿色化学与低碳饮食、绿色化学与低碳着装、绿色

化学与低碳家居、绿色化学与低碳出行、绿色化学与低碳消费；第五章是借鉴绿色化学思想，培育低碳文化理念：内容包括碳足迹、碳补偿。

本书的撰写旨在使读者对绿色化学有更通俗的了解，同时使读者意识到绿色化学在建设低碳社会过程中的重要性，并有意识的培养自身的低碳意识。

本书可以作为大学非化学类专业学生的通识教材，也可以供有志于提高自身科学素养和环保意识的读者参考。

序

中国作为世界第一人口大国，正处于经济全面发展的时期，而我国的国情和社会主义初级阶段的特征，决定了在应对气候变化领域我国比发达国家要面临更为严峻的挑战。要想走可持续发展的道路，就必须树立科学发展观，就必须从社会的各个层面推行低碳、倡导低碳，从而构建起真正意义上的低碳社会。构建低碳社会就是要发展低碳经济，推行低碳生活，培育低碳文化理念。在此过程中，绿色化学正在和将要发挥着巨大的推动作用。

绿色化学诞生于 20 世纪 90 年代，它是在全球能源危机和环境危机的大背景下，对传统的科学技术进行深刻反思的产物，是世界绿色浪潮中引人注目的一朵浪花。绿色化学发展至今，已不仅仅是纯理论的学科，而成为了人类利用化学方法应对日益严重的能源和环境问题的一门新兴交叉学科。它涉及有机合成、催化、生物化学、分析化学等学科，内容广泛，具有明确的科学目标和社会需求，它吸收了当代物理、生物、材料、信息等学科的最新理论和技术。其核心思想是从源头上消除污染，实现原子经济性的最大化，合理利用资源和能源等。这些思想完全符合经济可持续发展的要求，与构建低碳社会的宏伟目标是完全一致的。

本书着重阐述了绿色化学在发展清洁能源，实现清洁生产，优化生产工艺，助力节能减排等重要环节对低碳经济的推动作用；绿色化学与低碳饮食，低碳着装、低碳家居、低碳出行、低碳消费的密切联系；以及绿色化学理念在构建低碳文化理念过程中的重要的借鉴作用。在写作此书的过程中，笔者结合了大量的国内外的绿色化学相关成果，突出体现这些重要成果在构建低碳社会的各个方面所做出的巨

大贡献，充分体现了绿色化学理论与低碳社会实践之间的联系，还特别融入了对当前民众普遍关注的诸多新概念的解读，凸显出较强的时代性、科学性和系统性。为了提高该书的可读性和科普性，作者采用了平实的语言和相对浅显的专业术语，力图从普通读者的角度关注全球普遍热议的问题，从而切实提高民众的科学素质，培育民众的低碳意识。

由于作者学术水平和写作能力有限，书中难免会有不尽如人意之处，恳请广大读者批评指正，以使本人能力不断得以提升，在此表示真诚的谢意。

田大惠

2011年9月于太原

目 录

第一章 低碳社会呼唤绿色化学	1
第一节 绿色化学兴起的时代背景.....	1
一、20 世纪化学的主要贡献.....	3
二、化学给人类带来的危机.....	7
三、绿色化学的兴起.....	16
四、绿色化学在世界各国的发展.....	18
第二节 绿色化学概述.....	21
一、绿色化学的概念.....	21
二、绿色化学的主要特点.....	23
三、绿色化学的 12 条原则.....	23
四、绿色化学研究的内容.....	24
第三节 绿色化学的研究方向和发展前景.....	25
一、绿色化学的主要研究方向.....	25
二、绿色化学的现状和发展前景.....	37
第二章 倡导绿色化学构建低碳社会	41
第一节 低碳社会概述.....	41
一、“低碳”概念的提出.....	42
二、“低碳社会”概念.....	44
三、低碳社会的内涵.....	45
四、低碳社会的社会特点.....	46
第二节 我国低碳社会发展现状.....	48
第三节 绿色化学是实现低碳社会的有效途径.....	52
一、绿色化学在发展低碳经济中的重要作用.....	54
二、绿色化学在推行低碳生活中的重要作用.....	55
三、绿色化学在培育低碳文化理念中的重要作用.....	56
第三章 运用绿色化学发展低碳经济	58
第一节 世界能源消费现状和发展趋势	58
一、能源的分类.....	59
二、世界能源消费现状.....	60
三、世界能源发展趋势.....	62
第二节 应用绿色化学技术大力发展清洁能源	66
一、太阳能.....	66
二、生物质能	71

三、生物柴油	80
四、氢能	84
五、洁净煤技术	85
六、天然气	95
七、清洁汽油	97
八、核能发电	104
第三节 基于绿色化学理念的生产模式—清洁生产	106
一、什么是“清洁生产”	108
二、清洁生产的内容	110
三、清洁生产的特点	111
四、清洁生产的目标	112
第四节 应用绿色化学技术优化传统生产工艺	113
一、印刷行业	113
二、电镀行业	122
三、制药行业	129
四、造纸行业	141
五、石油开采行业	158
六、电解铝行业	169
第五节 应用绿色化学技术助力企业节能减排	181
一、焦炉气的高效回收	182
二、工业废水的处理和回收利用	186
三、工业废渣的处理和回收利用	200
第四章 依托绿色化学推行低碳生活	211
第一节 绿色化学与低碳着装	211
一、绿色环保面料	213
二、环保洗涤剂	227
三、废旧衣物的处理	233
第二节 绿色化学与低碳饮食	237
一、低碳饮食的涵义	238
二、绿色化学保障低碳饮食	244
第三节 绿色化学与低碳家居	264
一、绿色环保涂料	265
二、绿色环保油漆	271
三、绿色环保粘合剂	275
四、环保装饰材料	278
五、环保家具泡沫衬垫	281
第四节 绿色化学与低碳消费	283
一、我国电力消费现状以及节电措施	284
二、我国水资源现状以及节水措施	291
三、我国天然气资源现状及节气措施	296

四、绿色化学技术保证低碳消费.....	299
第五节 绿色化学与低碳出行.....	342
一、出行时自觉选择低碳的交通工具.....	343
二、机动车节能减排技巧.....	346
三、依靠绿色化学技术开发新能源汽车.....	348
四、应用绿色化学技术控制汽车尾气污染.....	355
第五章 借鉴绿色化学思想培育低碳文化理念	367
第一节 碳足迹	367
一、碳足迹的概念.....	368
二、个人碳足迹的计量方法.....	369
三、企业碳足迹计量方法.....	371
第二节 碳补偿	373
一、碳补偿的概念.....	373
二、我国的碳补偿情况.....	375
三、普通民众碳补偿的方式.....	377
后 记.....	384

第一章 低碳社会呼唤绿色化学

第一节 绿色化学兴起的时代背景

化学是一门与人类生活息息相关且有着巨大社会需求的中心学科，也是一门关系到国计民生的重要自然学科。然而，随着全球环境污染问题的加剧和近几年来频频发生的食品安全问题，使得苏丹红、三聚氰胺、瘦肉精、塑化剂等化学物名称走进了人们的视野，引发了很多人对化学的质疑和恐惧，化学品几乎成了“有毒”、“有害”的代名词，随之而来的社会伦理、道德、政策、法律等问题也愈加引起人们的关注。化学带给人类的究竟是利是弊？化学究竟应该何去何从？在这样的时代拷问下，化学必须作出回答。绿色化学正是给人类铺设了一条从根本上解决这些问题的捷径，向人类展示了发展科学、造福人类，但不以牺牲环境为代价的新兴化学境界。它追求的是化学的完美，使化学变得更为清洁，更为经济，更加美好。绿色化学的诞生真正体现了科学、技术、社会的互动互因，带来了一场科技革命。绿色的思想理念，点燃了人类在化学领域兴利除弊的精神火炬，使 100 多年来的传统化学工艺和技术成果受到质疑，甚至获得诺贝尔奖的项目也因此而被否定。“绿色”理念使人们建立了一种新的价值取向。人类开始为从根本上解决当今社会日益严重的环境危机问题，实现经济、社会、科技、环境全面协调可持续发展而努力。

绿色化学诞生于 20 世纪 90 年代，是人类面对日益严重的环境问题造成的生存危机、重新审视传统化学而获得的新的科学思想和发展战略。其核心内涵是研究和设计没有（或尽可能少）环境副作用、在技术和经济上健康可行的化学品和化学过程。绿色化学一经提出，就

受到了科学界、企业界和各国政府的高度重视。自 1995 年美国总统设立了“总统绿色化学挑战奖”之后，世界各国也纷纷设立了众多绿色化学奖项，这不仅推动了绿色化学的发展，更使越来越多的人认识到了绿色化学对社会进步、经济发展及化学界本身产生的巨大影响。

同时，绿色化学对化学教育也产生了巨大影响。2000 年，美国化学学会与美国环保局将获得“总统绿色化学挑战奖”和获得该奖提名的项目作为范例汇编成册正式出版，供大学本科课堂教学之用。近年来，我国许多高等院校在大学本科和相关专业的研究生中也开设了绿色化学课程。目前，世界上已有几多大学设立了绿色化学学位，我国也有高校将绿色化学作为化学学科的一个专业研究方向招收研究生。绿色化学教育的实施是整个化学教育发展的必然，必将产生积极而深远的影响。

当今国人在不同层次存在以下几盲：文盲、机盲、科普盲、外语盲及化学盲。为什么把化学盲单独列出呢，而不是艺术盲、物理盲或是其他什么盲呢？因为化学与我们的日常生活、社会进步、经济发展息息相关，它是一门重要的基础科学。它在整个自然科学中的关系和地位，正如美国 Pimentel.G.C 在《化学中的机会——今天和明天》一书中指出的“化学是一门中心科学，它与社会发展各方面的需要都有密切关系。”它不仅是化学工作者的专业知识，也是广大群众科学知识的组成部分，化学教育的普及是社会发展的需要，也是提高公民文化素质的需要。化学在人类社会发展的过程中发挥了重要的不可替代的作用，做出了不可磨灭的贡献。从农耕文明时代照亮人类前进道路的第一簇火焰、举世瞩目的四大发明，到工业文明时代实现劳动力解放的蒸汽机、实现人类脑力解放的电脑，以及创造巨大能量来源的

核反应堆，无不与化学的进步密切相连。但是科技本身又是一把“双刃剑”，化学也不例外。20 世纪以来，随着化学工业的迅猛发展以及人类对化学产品的极大需求，化学带来的负面效应也逐渐凸现出来，使人类在充分受惠于各类化学产品的同时，也面临着巨大的生存和发展危机。危机之下，人类不得不开始自我反省，另辟蹊径，于是化学的发展由此步入了一个崭新的时代——绿色化学时代。

一、20 世纪化学的主要贡献

20 世纪以来，随着人类对物质需求的日益增长和科学技术的迅猛发展，极大的推动了化学学科自身的发展。近百年来，化学不仅形成了科学完备的理论体系，而且在理论的指导下开辟了广泛的应用领域，为人类创造了丰富的物质财富。从 19 世纪的经典化学到 20 世纪的现代化学的飞跃，从本质上说，是从 19 世纪的道尔顿原子论、门捷列夫元素周期表等在原子层面上的认识和研究，进步到 20 世纪在分子层面上的认识和研究。如对组成分子的化学键的本质、分子的强相互作用和弱相互作用、分子催化、分子的结构与功能关系的认识，以至 1900 多万种化合物的发现与合成；对生物分子的结构与功能关系的研究促进了生命科学的发展。另一方面，化学过程工业以及与化学相关的国计民生的各个领域，如粮食、能源、材料、医药、交通、国防以及人类的衣食住行用等，在这 100 年中发生的变化也是有目共睹的。化学给人类的贡献可以概括为以下几个方面：

20 世纪化学对人类的健康和粮食问题也做出了卓越的贡献。利用药物治疗疾病是人类文明的重要标志之一。20 世纪初，由于对分子结构和药理作用的深入研究，药物化学迅速发展，并成为应用化学学科的一个重要领域。1909 年，德国化学家艾里希合成了治疗梅毒

的特效药物——磺胺药。20 世纪 30 年代以来，化学家从染料得到启示，创造出了一系列磺胺药，使许多细菌性传染病特别是肺炎、流行性脑炎、细菌性痢疾等长期危害人类健康和生命的疾病得到控制。青霉素、链霉素、金霉素、氯霉素、头孢菌素等类型抗生素的合成，引发了 20 世纪的医药革命，使人类的平均寿命从 1900 年的 45 岁上升到 20 世纪 90 年代的 75 岁，为人类的健康做出了巨大贡献。据不完全统计，20 世纪化学家通过合成、半合成或从动植物、微生物中提取而得到的临床有效的化学药物超过 2 万种，常用的就有 1000 余种，而且这个数目还在快速增加。另一方面，由于发明了能够控制病虫害及提高产量的农用化学品，20 世纪世界的食物供应呈现出爆炸性的增长，从而使生活在地球上几十亿人口的物质生活得到根本改善，使人类生存的最基本问题——粮食安全问题得以基本解决。

20 世纪化学在能源利用方面的另一个重大贡献是核能的释放和可控利用，仅此领域就产生了 6 项诺贝尔奖。首先是居里夫妇从 19 世纪末到 20 世纪初先后发现了放射性比铀强 400 倍的钋，以及放射性比铀强 200 多万倍的镭，这项艰巨的化学研究打开了 20 世纪原子物理学的大门，居里夫妇因此而获得了 1903 年诺贝尔物理学奖。1906 年，居里不幸遇车祸身亡，居里夫人继续专心于镭的研究与应用。她先后测定了镭的原子量，建立了镭的放射性标准，并制备了 20 克镭存放于巴黎国际度量衡中心作为标准，同时还积极提倡把镭用于医疗，使放射治疗得到了广泛应用，造福人类。为表彰居里夫人在发现钋和镭、开拓放射化学新领域以及发展放射性元素应用方面的贡献，1911 年被授予了诺贝尔化学奖。

20 世纪初，卢瑟福从事关于元素衰变和放射性物质的研究，提出了原子的有核结构模型，创建了放射性元素的衰变理论，研究了人

工核反应，因此而获得了 1908 年的诺贝尔化学奖。居里夫人的女儿和女婿用钋的 α 射线轰击硼、铝、镁时，发现了带有放射性的原子核，这是第一次用人工方法创造出来的放射性元素，为此，约里奥-居里夫妇荣获了 1935 年的诺贝尔化学奖。在约里奥-居里夫妇研究成果的基础上，费米用慢中子轰击各种元素，获得了 60 种新的放射性元素，并发现中子轰击原子核后，就被原子核捕获得到一个新的原子核，且不稳定，核中的一个中子将放出一 β 衰变，生成原子序数增加 1 的元素。这一原理和方法的发现，使人工放射性元素的研究迅速成为当时的热点，也使物理学介入化学，用物理方法在元素周期表上增加新元素成为可能。费米的这一成就使他获得了 1938 年的诺贝尔物理学奖。1939 年，哈恩发现了核裂变现象，震撼了当时的科学界，成为原子能利用的基础，哈恩因此而获得了 1944 年诺贝尔化学奖。1939 年，费里施在裂变现象中观察到伴随着碎片有巨大的能量，同时，约里奥-居里夫妇和费米也都测定了铀裂变时会放出中子的现象，这又使链式反应成为可能。至此，释放原子能的前期基础研究工作已完成。从放射性物质的发现开始，继而发现了人工放射性，再后来又发现了铀裂变伴随能量和中子的释放，以至核裂变的可控链式反应。于是，1942 年在费米的领导下，成功的建造了第一座原子反应堆。1945 年，美国在日本投下了原子弹，至此核裂变和原子能的人为利用拉开了序幕，人类开始进入了原子能时代。

20 世纪人类文明的标志之一是合成材料的出现。合成橡胶、合成塑料和合成纤维这三大合成高分子材料是化学发展过程中具有突破性意义的成就，也是化学工业的骄傲。在此领域曾有 3 项诺贝尔化学奖。1920 年 H. Staudinger 提出了高分子这个概念，创立了高分子链型学说，以后又建立了高分子粘度与分子量之间的定量关系，为此而

获得了 1953 年的诺贝尔化学奖。1953 年, Ziegler 成功地在常温下用 $(C_2H_5)_3AlTiCl_4$ 作催化剂将乙烯聚合成聚乙烯, 从而发现了配位聚合反应。1955 年, Natta 将 Ziegler 催化剂改进为 $\delta-TiCl_3$ 和烷基铝体系, 实现了丙烯的定向聚合, 得到了高产率、高结晶度的全同构型的聚丙烯, 使合成方法-聚合物结构-性能三者联系起来, 成为高分子化学发展史中的一座里程碑, 为此, Ziegler 和 Natta 共获了 1963 年诺贝尔化学奖。1974 年, Flory 因在分子性质方面的成就获得了诺贝尔化学奖。高分子材料合成的成功, 大大提升了人类生活的质量。20 世纪末, 高分子材料的总产量已达 20 亿吨左右。在当前的工业、农业、交通、运输、通讯乃至人类生活的方方面面中, 高分子材料与金属、陶瓷一起并列为三类最重要的材料, 发挥着至关重要的作用。

化学对国民经济和人类日常生活的贡献更是功不可没。化学在改善人类生活方面是最有成效、最实用的学科之一。利用化学反应和过程来制造产品的化学过程工业(包括化学工业、精细化工、石油化工、制药工业、日用化工、橡胶工业、造纸工业、玻璃和建材工业、钢铁工业、纺织工业、皮革工业、饮食工业等)在发达国家占有最大的份额。这个数字在美国超过 30%, 而且还不包括诸如电子、汽车、农业等需要用到化工产品的相关工业的产值。据统计, 在发达国家从事研究与开发的科技人员中, 化学、化工专家占一半左右。世界专利发明中有 20%与化学有关。

人类之衣、食、住、行、用无不与化学所掌握的数以百计的化学元素及其所组成的数以万计的化合物和制剂、材料有关。房子是用水泥、玻璃、油漆等化学产品建造的。肥皂和牙膏是日用化学品。衣服是合成纤维制成并由合成染料上色的。饮用水必须经过化学检验以保

证质量。食品则是由用化肥和农药生产的粮食制成的。维生素和药物也是由化学合成的。交通工具更离不开化学，车辆的金属部件和油漆显然是化学品，车厢内的装潢通常是特种塑料或经化学制剂处理过的皮革制品，汽车的轮胎是由合成橡胶制成的，燃油和润滑油是含化学添加剂的石油化学产品，蓄电池是化学电源，尾气排放系统中用来降低污染的催化转化器装有用铂、铑和其他一些物质组成的催化剂，它可将汽车尾气中的氧化氮、一氧化碳和未燃尽的碳氢化合物转化成低毒害的物质。飞机则需要用质强量轻的铝合金来制造，还需要特种塑料和特种燃油。书刊、报纸是用化学家所发明的油墨和经化学方法生产出的纸张印制而成的。摄影胶片是涂有感光化学品的塑料片，它们能被光所敏化，所以在曝光时和在用显影药剂冲洗时，就会发生特定的化学反应。彩电和电脑显示器的显象管是由玻璃和荧光材料制成的，这些材料在电子束轰击时可发出不同颜色的光。VCD 光盘是由特殊的信息存储材料制成的。甚至参加体育活动时穿的跑步鞋、溜冰鞋、运动服、乒乓球、羽毛球拍等也都离不开现代合成材料和涂料。

二、化学给人类带来的危机

化学在给人类谋福利的同时，也使人类面临着严重的危机。每一门科学的发展都充满着探索与进步，由于科学中的不确定性，化学家在研究过程中不可避免地会合成出未知性质的化合物，只有通过长期应用和研究才能熟知其性质，这时新物质可能已经对环境或人类生活造成了影响。

人类目前面临着十大危机，即温室效应（全球变暖）、臭氧层破坏、酸雨蔓延、淡水资源危机、资源能源短缺、垃圾成灾、有毒化学

品污染、森林资源锐减、土地荒漠化、物种加速灭绝，其中前七项都与化学密切相关。

1. 温室效应：

众所周知，大气中的 CO₂ 是主要的温室气体，它具有吸热和隔热的功能。CO₂ 在大气中增多的结果，是形成一种无形的玻璃罩效应，使太阳辐射到地球上的热量无法向外层空间发散，其结果是地球表面变得热起来，我们形象的将这种效应称之为“温室效应”。根据对南极和格陵兰大陆冰盖中密封的气泡中空气的 CO₂ 浓度测定，长期以来大气中 CO₂ 含量一直比较稳定，大体是 280ppm 左右。只是从 18 世纪中叶，即工业革命前后开始稳定上升。即人类用了 240 年时间，使大气中 CO₂ 浓度从 280ppm 上升到 355ppm。如按目前增长的速度，到 2100 年 CO₂ 含量将增加到 550ppm，即几乎增加一倍。伴随着 CO₂ 在大气中含量的增多，“温室效应”加剧，引发了全球变暖。两极和格陵兰的冰盖会发生融化，引起海平面上升，许多沿海城市、岛屿或低洼地区将面临海水上涨的威胁，甚至被海水吞没。冰川学家预期到 2100 年地球的平均海平面上升幅度将介乎 80 厘米至 200 厘米之间，如果照此发展下去，南太平洋岛国图瓦卢将可能是第一个消失在汪洋中的岛国。意大利的威尼斯，是闻名于世的水城，风光秀美，别有一番情趣，吸引着世界各地的游人，但是，由于全球变暖导致威尼斯的海平面较之 100 年前已经上升了 23 厘米。目前的威尼斯已是一个洪水经常“光顾”的城市。近年来，威尼斯最大的广场——圣马可广场每年要经历 100 多次洪水袭击，而在 20 世纪初期的时候，洪水袭击每年大约只有 10 次，据预计，这座美丽的城市到 2100 年就几乎不能居住了。

温室效应的加剧将会导致气候日趋干旱。由于大气环流的调整，除了中纬度地区干旱化之外，还可能造成世界其他地区气候异常和自然灾害。例如，低纬度台风强度将增强，台风源地将向北扩展等。此外，温室效应还会导致粮食减产，引发和加剧传染病流行，使人类的生存和健康受到威胁。英国《新科学家》杂志在报道美国得克萨斯州西南大学研究人员的一份分析结果表明，全球变暖不仅会导致洪水和干旱，使农作物减产，而且即使是幸存的农作物也会因大气中二氧化碳浓度的升高而大量减少蛋白质的积累。研究人员说，这一结果令人担忧，因为许多贫困国家获取的蛋白质约有一半依赖于这些农作物。与此同时，气温升高使得传染病肆虐。以疟疾为例，过去 5 年中世界疟疾发病率已翻了两番，现在全世界每年约有 5 亿人得疟疾，其中 200 多万人死亡。

2. 臭氧层破坏：

臭氧层是地球最好的保护伞，它吸收了来自太阳的大部分紫外线，将这些有致命危险的辐射线转换成热能，只有极少量能到达地表，在太阳与地球之间形成了一道天然的屏障。正是有了这道屏障，地球上的人类与其他生物才得以正常生存与繁衍。随着人类大量使用空调制冷剂、泡沫灭火剂、气雾剂、发胶、蓬松剂等化学性质稳定的氟氯烃（氟氯烃取英文名称 Chlorofluorocarbon 的字头 CFC 表示）、溴氟氯烃等化合物，这类化合物虽然在地表面时性质稳定、不易燃烧，易于贮存，对人和其他生物也没有毒性，但当它们上升到平流层中后，在强烈的紫外线作用下，会与大气平流层中的臭氧发生化学反应，使臭氧分解而降低其在平流层中的浓度。另一方面，汽车尾气、火力发电厂的烟气等中所含的 NO_x 类化合物进入平流层后，会加速臭氧的分解反应，从而破坏臭氧层。随着人类向大气中排放的这种