



北京市高等教育精品教材立项项目

张钟宪 等 编著

环境与绿色化学



清华大学出版社



北京市高等教育精品教材立项项目

环境与绿色化学



张钟宪 等 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书对 20 世纪末兴起的绿色化学的基本思想、基本理论和相关技术进行了阐述。本书共分 11 章。在介绍环境问题、资源状况的基础上,分别讨论了石油化学工业、材料工业、轻化工业以及农药的污染防治与清洁生产问题,总结和分析了绿色有机合成方法、化工过程强化技术和绿色化工技术,并简要介绍了国外绿色化学奖及环境污染治理技术。

本书可作为高等院校教材,亦可作为中学教师的教学参考用书,对相关的企业人员也具有参考价值。本书对读者提高环境意识、建立绿色化学理念、提高科学素养均十分有益。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

环境与绿色化学/张钟宪等编著. —北京:清华大学出版社,2005.1
ISBN 7-302-09894-8

I. 环… II. 张… III. 环境化学—无污染技术—高等学校—教材 IV. X78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 116845 号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:柳 萍

版式设计:刘祎森

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:26.25 字数:538 千字

版 次:2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-09894-8/TQ·21

印 数:1~3000

定 价:36.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

序

在 20 世纪,传统化学为人类做出了巨大贡献。但传统化学没有能够充分利用资源和能源,生产过程中又排放出大量的有害物质;一些化学品在解决突出问题的同时也对环境造成了危害(尽管当时可能没有显现出来)。为了保护环境,必须重视和充分发挥化学学科的作用,化学学科也必须有革命性的变革,即由传统化学转变为绿色化学。1995 年美国总统克林顿设立了“总统绿色化学挑战奖”以后,绿色化学得到世界各国政府、企业界和化学界的普遍关注。绿色化学已成为世界各国可持续发展战略的重要组成部分。

在高等院校,课程设置和教学内容往往滞后于科学技术的进步。在当代社会,科学技术发展迅猛,大学教材应注意不断吸收新观点、新理论,不断更新教学内容,紧跟学科的发展,使学生在系统学习理论的同时,掌握学科发展的动向,这对开发学生的创造性思维无疑是非常有益的。

《环境与绿色化学》一书以当前人们最关心的环境问题为经线、以绿色化学知识和理论为纬线编写而成,这是十分有意义的工作。

本书富有时代感,对当前环境的主要问题进行了介绍和分析,提出解决问题的关键就在于绿色化学的发展。该书对环境影响较大的化学工业门类、有关化工产品、有关化学工艺方法进行了分析,介绍了传统生产方法所存在的环境问题,介绍了近年来出现的绿色化学理论、绿色化学工艺,并对绿色化学产品、强化设备进行了实例说明。全书内容充实、文字简洁、语言流畅。

《环境与绿色化学》可以作为化学学科的教学参考书,特别适合用于大专院校的选修课程。该书的出版对提高读者的科学素养有积极意义。

张广学

前言

20 世纪以来,传统化学为人类创造了大量的物质财富,人民群众的生活水平、生活质量有了前所未有的提高。但人类对自然界进行掠夺式的开发不可避免地引起自然界的无情报复。进入 21 世纪,人类正面临着十大环境危机:全球变暖、臭氧层破坏、生物多样性减少、酸雨蔓延、森林锐减、土地荒漠化、大气污染、水体污染、海洋污染、垃圾围城等。

当今重大的环境问题几乎都与化学品的生产有着直接或间接的关系。因此,化学学科、化学产品在一般人们的心目中由受欢迎转为对其厌恶、进而恐惧。人们迫切希望化学为人类创造物质财富的同时能够不致污染环境,在提高生活水平、生活质量的同时不致危害健康。“绿色”已成为 20 世纪末、21 世纪初的一个重要词汇。它已不仅是一种颜色的表述,而是具有更为广泛的生产、生活、社会和经济的内涵。为了避免环境污染,人们渴望绿色、向往绿色、呼唤绿色。1995 年美国设立了“总统绿色化学挑战奖”以后,绿色化学得到世界各国政府、企业界和化学界的普遍关注,绿色化学已成为世界各国可持续发展战略的重要组成部分。对于化学界有关人士来说,绿色化学是对传统化学的一种战略性反思。

目前环境问题已充分引起我国政府的重视,有关领导部门已将绿色 GDP 纳入统计体系和干部考核体系,对政府官员的考核将更为科学和全面。环保业绩将直接影响到地方官员的政绩,以往片面追求 GDP、不顾生态环境的不良作风导致生态环境质量下降的问题有望从根本上解决。这对我国环境的改善、对我国绿色化学的发展将产生深远影响。

环境问题的解决最终要依靠化学学科与化学教育的发展与进步。绿色化学是 20 世纪 90 年代兴起的交叉学科,它所提出的原则、概念具有战略指导意义。绿色化学观点、理论应尽快进入课堂,使化学专业的学生能在“绿色”的高度上认识化学、理解化学、学习化学。其他专业的学生也应该对环境、对绿色化学有新的认识,从而提高科学素养,增强环境意识。

2001 年在纽约举办的年度世界经济论坛公布了 142 个国家的环境可持续能力排行榜。芬兰名列榜首,美国位居第 45 位,我国排位第 129 名。

这是耶鲁大学、哥伦比亚大学和世界经济论坛共同开展的项目——环境可持续能力指数(ESI)——的最新评选结果,具有一定的权威性。这一结果提醒我们:在发展经济的时候,应注意选择最有利于环境可持续能力的发展方式。这一思想不仅应指导我们的科学研究工作、工农业生产,还应尽快进入课堂。美国环境教育专家 David Wors 说过:“人们普遍认为,环境问题可以通过某种技术解决。先进的技术固然有用,但现在的危机不仅仅是技术的问题,它更是人们思维的问题,环境危机实际上是一种教育的危机——教育本身就是一种形成和发展人们的思维能力的手段。”环境教育对于促进持续发展和公众有效参与决策是至关重要的。

中国科协于 2000 年下半年至 2001 年上半年对我国公众(18~69 岁)科学素养状况及其影响因素进行了第四次调查。调查结果表明,2001 年我国公众具备基本科学素养的比例为 1.4%(即每千人中有 14 人具备基本公众科学素养)。而经济发达国家这个数字要高得多,例如 1985 年美国公众达到基本科学素养水平的比例为 5%;到 1990 年时,这个数字又上升到 6.9%。在公众科学素养方面,我国与发达国家有很大差距。

中国科协在上述调查中指出:在各类人群中,学生具备基本科学素养的比例最高,达 11.42%(由于调查年龄段的原因,所说的学生应该是指大学生)。大学生理应具备基本公众科学素养,11.42% 这个数字并不高。提高大学生科学素养、加强大学生的环境教育已是迫在眉睫。

为此,我们编写了《环境与绿色化学》这本书,希望能为提高大学生的科学素养和环境意识做出一贡献。绿色化学刚刚起步,理论和成果的系统性尚未达到传统化学那样全面,加之作者认识的局限,因此本书中涉及到的绿色化工产品的关系与分类可能与常规行业归口不一致,本书各章节涉及的化工产品是以环境污染问题的严重程度、并通过绿色化学指导得以较好解决的事例编排的,例如农药、材料均单独成章。

本书由张钟宪主编,参加编写的有周荫庄、牛焕双、丁辰元。各章分工如下:

0 绪论	张钟宪、牛焕双
1 环境问题与解决途径	张钟宪、牛焕双
2 天然资源	牛焕双
3 石油化工污染与预防	张钟宪、周荫庄
4 绿色材料	周荫庄、张钟宪
5 涂料、染料、洗涤剂的污染防治与清洁生产	张钟宪、丁辰元
6 绿色有机合成	丁辰元、张钟宪
7 绿色农药与农业清洁生产	张钟宪
8 国外绿色化学奖简介	张钟宪、丁辰元
9 化工过程强化技术	周荫庄
10 绿色化工技术	丁辰元

11 环境污染治理技术

周荫庄、张钟宪

在本书编写中参阅了大量有关文献资料和学术著作,谨向原文作者表示谢忱。

由于绿色化学发展迅速,科学成果层出不穷,有关文献浩如烟海,在我们编写中难免出现挂一漏万的问题,书中疏漏之处敬请读者原谅。作者能力有限,错误之处、不足之处恳请读者批评指正,以待再版修订。

编 者

2004 年 10 月

目
录

0 绪论	1
1 环境问题与解决途径	8
1.1 人类面临的重大环境危机	8
1.1.1 全球变暖	8
1.1.2 臭氧层破坏	12
1.1.3 生物多样性减少	13
1.1.4 酸雨蔓延	16
1.1.5 森林锐减	17
1.1.6 土地荒漠化	19
1.1.7 大气污染	21
1.1.8 水体污染	24
1.1.9 海洋污染	26
1.1.10 垃圾围城	28
1.1.11 放射性污染	30
1.1.12 战争:生态环境的灾难	33
1.2 室内污染问题	34
1.2.1 室内污染物的种类及危害	35
1.2.2 日常生活污染	37
1.2.3 建筑和装修材料污染	40
1.3 人类面临新的环境问题	42
1.3.1 “生命伦理”受到挑战	42
1.3.2 人类遭受新旧传染病的围攻	42
1.3.3 人类活动污染宇宙	43
1.3.4 人类自身隐忧增加	43
1.4 绿色化学的主要研究内容	43

1.4.1	设计或重新探索对人类健康和生存环境更安全的目标 物质:绿色产品	43
1.4.2	采用无毒或低毒的绿色原料	45
1.4.3	实现废物“零排放”的原子经济性反应	45
1.4.4	催化剂绿色化	46
1.4.5	介质绿色化	47
1.5	环保思想及经典著作	48
2	自然资源	49
2.1	概述	49
2.1.1	自然资源的概念及特征	49
2.1.2	自然资源的分类	49
2.2	我国对自然资源的利用	50
2.2.1	土地资源	51
2.2.2	矿产资源	53
2.2.3	物种资源	54
2.2.4	森林资源	55
2.2.5	水资源	56
2.3	海洋资源	58
2.3.1	海水淡化获得淡水资源	59
2.3.2	能源	59
2.3.3	化工原料基地	60
2.3.4	药品、保健品的原料基地	61
2.3.5	海洋农业	62
2.3.6	海洋空间的利用	63
2.3.7	我国海洋资源的利用	64
2.3.8	海洋资源开发的可持续发展问题	65
2.3.9	海洋——国家安全的命脉	66
2.4	传统能源	66
2.4.1	煤	67
2.4.2	石油和天然气	68
2.4.3	核能	70
2.5	清洁型能源	71
2.5.1	水能	71

2.5.2	太阳能	72
2.5.3	风能	75
2.5.4	地热能	76
2.5.5	生物质能	77
2.5.6	氢能	79
2.5.7	水合甲烷	81
3	石油化工污染与预防	83
3.1	概述	83
3.2	石油炼制	83
3.2.1	常规炼油过程	83
3.2.2	石油炼制的污染问题	85
3.2.3	清洁燃料的现状和问题(以汽油为例)	86
3.2.4	炼油工业的清洁生产	89
3.2.5	绿色炼油技术的进展	96
3.2.6	乙烯生产技术	97
3.3	符合绿色化学生产原则的化工原料生产实例	97
4	绿色材料	100
4.1	玻璃	100
4.1.1	概述	100
4.1.2	玻璃中有害物质的污染与防治	101
4.1.3	玻璃原料中有害物质挥发的污染及防治	108
4.1.4	玻璃工业中的粉尘污染及防治	110
4.1.5	展望	113
4.2	塑料	113
4.2.1	概述	113
4.2.2	塑料带来的污染与危害	114
4.2.3	绿色塑料	115
4.2.4	展望	122
4.3	橡胶	122
4.3.1	概述	122
4.3.2	橡胶工业中污染物的来源与组成	122

4.3.3	合成橡胶工业的绿色化	123
4.3.4	展望	125
4.4	绿色纤维	125
4.4.1	概述	125
4.4.2	绿色纤维的种类	126
4.4.3	展望	129
4.5	皮革	130
4.5.1	概述	130
4.5.2	制革污染的来源	130
4.5.3	绿色化学在制革工业中的应用	131
4.5.4	展望	133
4.6	造纸	133
4.6.1	概述	133
4.6.2	无污染制浆新技术	133
4.6.3	无污染漂白	134
4.6.4	发展前景	134
5	涂料、染料、洗涤剂的污染防治与清洁生产	136
5.1	涂料	136
5.1.1	概述	136
5.1.2	涂料的污染	141
5.1.3	绿色涂料	144
5.1.4	绿色涂料涂装技术前景	165
5.2	染料	172
5.2.1	概述	172
5.2.2	合成染料的分类	173
5.2.3	染料的污染问题	174
5.2.4	几种环保型染料	177
5.2.5	新染色技术	180
5.2.6	废水污染的治理	181
5.2.7	天然彩色纤维的培养	182
5.3	合成洗涤剂	183
5.3.1	概述	184
5.3.2	合成洗涤剂的新品种	185

5.3.3	表面活性剂	187
5.3.4	洗衣不用洗涤剂	190
6	绿色有机合成	191
6.1	原子的经济性	191
6.1.1	原子经济性的概念	191
6.1.2	常见有机合成反应的原子经济性	193
6.1.3	提高合成反应原子经济性的途径	196
6.2	绿色原料	198
6.2.1	取代光气的原料	198
6.2.2	取代氢氰酸的原料	201
6.2.3	取代硫酸二甲酯的原料	202
6.2.4	以 CO_2 为原料的有机合成	203
6.2.5	以生物质为原料的有机合成	204
6.3	溶剂的革命	204
6.3.1	超临界 CO_2 作为溶剂	205
6.3.2	以水作为溶剂	206
6.3.3	离子液体	208
6.3.4	固相反应	210
6.4	绿色催化剂	211
6.4.1	无毒无害固体酸催化剂	211
6.4.2	手性催化(不对称催化)	213
7	绿色农药与农业清洁生产	216
7.1	农药的种类	216
7.1.1	农药的历史和范畴	216
7.1.2	杀菌剂	217
7.1.3	杀虫剂	217
7.1.4	除草剂	221
7.2	农药的作用和农药的污染	221
7.2.1	农药的作用	221
7.2.2	农药的负面影响	222
7.3	绿色农药	226

7.3.1	超高效低毒化学农药	226
7.3.2	氨基酸类农药的进展	229
7.3.3	生物农药	230
7.3.4	特性农药	232
7.3.5	转基因作物	234
7.3.6	绿色农药的发展趋势	237
7.4	农药的清洁生产	238
7.4.1	农药工业的污染	238
7.4.2	农药工业废水的处理	239
7.5	农业的清洁生产	240
7.5.1	施用农药带来的农业生产污染	240
7.5.2	农药剂型的发展	240
7.5.3	农药施用技术的改革	242
7.5.4	农药剂型加工发展的趋势	242
8	国外绿色化学奖简介	244
8.1	美国总统绿色化学挑战奖之学术奖	245
8.2	美国总统绿色化学挑战奖之设计安全化学品奖	250
8.3	美国总统绿色化学挑战奖之更新合成路线奖	254
8.4	美国总统绿色化学挑战奖之改进溶剂和反应条件奖	258
8.5	美国总统绿色化学挑战奖之小企业奖	262
8.6	其他国家绿色化学奖项简介	267
8.6.1	英国绿色化学奖项	267
8.6.2	澳大利亚化学会绿色化学挑战奖	268
8.6.3	意大利保护环境大学化学联盟奖励计划	268
8.6.4	日本绿色和可持续发展化学奖	268
9	化工过程强化技术	270
9.1	化工过程的强化	270
9.1.1	化工过程强化的概念	270
9.1.2	化工过程强化将引起传统化学工业的变革	271
9.2	化工过程强化途径之一——过程强化方法	271
9.2.1	超临界流体作溶剂与助剂	271

9.2.2	生产工艺过程集成	272
9.2.3	超声波技术	276
9.2.4	微波技术	284
9.2.5	其他强化方法	293
9.3	化工过程强化途径之二——过程强化设备	294
9.3.1	新型反应器	294
9.3.2	多功能反应器	297
9.3.3	新型单元设备	300
9.4	化工过程强化的成功例证	300
9.4.1	静态混合反应器进行硝化反应	300
9.4.2	悬浮床催化蒸馏合成异丙苯	302
9.4.3	磁场流化床在生化工程中的应用	303
9.4.4	设备的微型化	303
9.5	化工过程强化的新特点	305
10	绿色化工技术	308
10.1	催化技术	308
10.1.1	环境友好的固体酸催化	308
10.1.2	金属有机催化	312
10.1.3	相转移催化	318
10.2	生物技术	324
10.2.1	基因工程	324
10.2.2	细胞工程	325
10.2.3	酶工程	326
10.2.4	发酵工程	329
10.3	膜技术	332
10.3.1	膜分离技术	333
10.3.2	膜反应器	334
11	环境污染治理技术	337
11.1	概述:环境治理与绿色化学	337
11.2	大气环保技术	338
11.2.1	大气污染治理技术	338

当人类欣喜于“征服大自然”的成果时,不知不觉中也写下了令人痛心的破坏大自然的记录。这种破坏不仅仅直接危及人们所居住的地球,危及到与人类共享大自然的其他生命,而且也危及到人类自身的健康与安全。

20 世纪是人类对资源和环境破坏最严重的 100 年。20 世纪末,随着东西方冷战的结束,和平与发展慢慢成为人类追求文明与进步的共同主题,核战争已不再是威胁世界的第一危机,取而代之的是环境危机。如今,环境与发展问题已成为当代世界各国共同面临的两难选择,成为 21 世纪对人类最严峻的挑战,而问题的解决最终要依靠绿色化学。应该认识到,谁在实现化学绿色化和绿色植物的化学转化技术方面领先,谁就会在 21 世纪中叶的世界经济竞争中占据有利位置。

1. 可持续发展战略依靠绿色化学

环境是人类社会生存和经济发展的物质基础。然而随着人类的进步、科学技术的发展,人类活动对自然界的破坏也日趋严重。资源的过度消耗、能源和粮食日趋紧张和短缺以及气候变化、臭氧层破坏、生物多样性减少、水土流失和荒漠化等生态和环境问题不断加剧,使得人类的生存和发展面临严重的威胁。

保护环境,持续发展,是人类社会生存与发展的惟一选择。

为了从根本上预防和治理环境污染,必须依靠近年在国际上引起极大关注的化学新领域——绿色化学(green chemistry)。绿色化学吸收了化学、生物、物理、信息、材料等学科的基本知识和理论,是一门具有明确的社会需求和科学目标的交叉学科。绿色化学的发展要以上述学科知识为基础,同时又带动它们的发展。从科学观点看,绿色化学是传统化学思维方式的更新和发展;从环境观点看,它要求从源头上减少和消除污染;从经济观点看,它要求合理利用资源和能源,降低生产成本,符合经济可持续发展的要求。

因此,治理环境污染,实现人类可持续发展战略,需要通过绿色化学方可实现。

2. 绿色化学

人类在享受传统化学带来的物质文明的同时,也饱尝了化学工业发展所带来的环境

污染、生态破坏等恶果。为了治理工业“三废”(废气、废液、废渣),人们制定了严格的排放标准、严厉的惩罚措施、健全的环境质量监控体系,发明了不少技术治理污染。但这些都只是终端污染控制而不是始端预防。随着化学工业规模的不断扩大,用于环境保护和治理的费用不断上升,而环境污染却没有真正得到控制。这种“头痛医头,脚痛医脚”的治理措施引起了一些化学家的反思:与其治理污染,不如对产生严重污染的生产工艺和制造技术进行设计改造,从源头消除污染。1990年美国通过了《污染防治条例》(Pollution Prevention Act, PPA),首次提出了环境保护首选对策是从源头上防止废物的产生,使环境保护的重心从后处理转向前防止,从治标转向治本。这推动了绿色化学的兴起。随后,美国科学家、绿色化学的倡导者阿纳斯塔斯(P. T. Anastas)和韦纳(J. C. Warner)概括出12条原则阐述绿色化学的内涵。1995年3月,美国总统克林顿宣布设立“总统绿色化学挑战奖”(Presidential Green Chemistry Challenge Award),这是世界上首次由一个国家的政府出台的对绿色化学发展实行奖励的政策,目的是鼓励化学家们设计和改进化学产品和化工生产过程,使其对环境友好,提高经济效益。该奖共设五个奖项:①变更合成路线奖;②改进溶剂/反应条件奖;③设计安全化学品奖;④小企业奖;⑤学术奖。这些奖项体现了政府对环境污染的治理将更侧重于“治本”,也有力地推动了传统的化学和化学工业向更安全、更洁净、更经济、更友好、更“绿色化”的方向发展。1996年首次颁发“总统绿色化学挑战奖”,将五个奖项分别授予四家企业和一位化学工程教授。设在波士顿的马萨诸塞大学从2001年秋季起开始招收攻读绿色化学博士学位的学生。一些发达国家也纷纷采取行动,鼓励绿色化学的研究。目前绿色化学与技术已经成为世界各国政府、企业和学术界关注的重要研究领域。

绿色化学是指利用化学原理,在化学品的设计、生产和应用中消除或减少有毒有害物质的使用和产生,设计研究没有或只有尽可能少的环境副作用、在技术上和经济上可行的产品和化学过程,是在始端实现污染预防的科学手段。绿色化学又称环境无害化学或环境友好化学,在其基础上发展的技术称环境友好技术或洁净技术(clean technology)。它曾被先后命名为“清洁化学”、“环境良性化学”、“原子经济学”等。发达国家对环境的治理,已开始从治标(从末端治理污染)转向治本(开发清洁工艺技术,减少污染源头,生产环境友好产品),从节约资源和防止污染的观点来重新审视和改革现有的生产工艺和流程,并研发可持续发展的科学技术。鉴于人类面临的环境污染问题中的绝大多数都与化学物质的污染直接相关,化学工作者面临的任务尤为重大。

3. 绿色化学应用的原则

绿色化学作为一门新兴的交叉学科,是目前化学研究的热点和前沿。P. T. Anastas和J. C. Warner提出绿色化学研究的12项原则,概括了这一领域的研究内容和未来发展的方向:

(1) 防止环境污染(pollution prevention): 从源头上防止污染,而不是污染后再进行处理;

(2) 提高原子经济性(atom economy): 设计的合成方法要尽量使反应物的原子都进入产物;

(3) 设计合成方法时,其中的原料和产物要尽可能是对人体健康无害和对环境无毒或低毒的(less hazardous chemical synthesis);

(4) 设计高效而低毒的化工产品(designing safer chemical);

(5) 使用安全的溶剂和助剂(safer solvent and auxiliary): 尽可能不使用溶剂、分离剂等助剂,如不可避免也要使用无毒害的溶剂;

(6) 提高能源经济性(design for energy efficiency): 选择合成方法要考虑反应过程中能耗对成本和环境的影响,尽可能降低能耗,反应条件应为常温常压;

(7) 尽量使用可再生原料(use of renewable feedstock): 在技术可行和经济合理的条件下,尽可能使用可再生原料代替消耗性原料;

(8) 减少衍生物(reduce derivative): 尽量避免或不使用不必要的衍生物(如限制性基团、保护/去保护、临时改变物理/化学过程),因为这些会增加其他试剂的使用,产生更多的废弃物;

(9) 使用高选择性催化剂(high selective catalysis);

(10) 化学品的易降解性(design for degradation): 化工产品在使用之后要能降解成无毒害产品,而不是永存于环境中;

(11) 实时监测环境污染的分析技术(real-time analysis for pollution prevention): 进一步发展分析方法,对有害物质在生成之前实行在线监控;

(12) 选择安全的化学品(inherently safer chemistry for accident prevention): 慎重选择参加化学反应的物质,尽量减少意外化学事故的发生(如渗透、爆炸、火灾等)。

这些原则主要体现了要充分关注环境的友好和安全、能源的节约、生产的安全性等问题,它们对绿色化学而言是非常重要的。在实施化学生产的过程中,应该充分考虑以上这些原则。

4. 绿色化学的中心内容

绿色化学研究的中心内容是化学反应及其产物,它们应具有以下特点:

(1) 原料绿色化,即采用无毒、无害的可再生原料,如生物质、淀粉、纤维素等;

(2) 反应介质绿色化,即在无毒无害的反应条件(催化剂、溶剂)下进行,探索新的反应条件,如超临界流体;

(3) 化学反应绿色化,即具有“原子经济性”,反应具有高选择性,极少副产品,甚至实现“零排放”,需要改变原有的合成路线、合成方法;