

复合环境功能材料研究

冯艳文 郭 勇◎著



燕山大学出版社
YANSHAN UNIVERSITY PRESS



冯艳文，教授，全国石油和化工教育教学名师，国家教学成果奖一等奖获得者，全国石油和化工行业职业教育教学指导委员会委员，主研发现环境功能材料、化工三废治理。主持与参加省部级以上研究课题21项，专利授权26项，成果转化7项，发表论文30余篇。



郭勇，高级工程师，化学工程博士，主要研究领域为工业水处理技术的研发与现场应用。现主持在研项目2项，专利授权2项，成果转化1项，发表论文5篇。

复合环境功能材料研究

冯艳文 郭 勇 著

 燕山大学出版社

2020·秦皇岛

图书在版编目(CIP)数据

复合环境功能材料研究/冯艳文,郭勇著. —秦皇岛:燕山大学出版社,2020.10
ISBN 978-7-5761-0084-6

I. ①复… II. ①冯…②郭… III. ①复合材料—功能材料—材料研究 IV. ①TB34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 199332 号

复合环境功能材料研究

冯艳文 郭 勇 著

出 版 人:陈 玉

责任编辑:孙志强

封面设计:刘韦希

出版发行: 燕山大学出版社
YANSHAN UNIVERSITY PRESS

地 址:河北省秦皇岛市河北大街西段 438 号

邮政编码:066004

电 话:0335-8387555

印 刷:中国标准出版社秦皇岛印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:700 mm×1000 mm 1/16 印 张:14.25 字 数:230 千字

版 次:2020 年 10 月第 1 版 印 次:2020 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5761-0084-6

定 价:58.00 元

版权所有 侵权必究

如发生印刷、装订质量问题,读者可与出版社联系调换

联系电话:0335-8387718

前 言

“环境材料”通常是指兼具最佳环境协调性和实用性能的材料,是涉及资源、能源和生态的各类功能材料的总称,不仅重视材料实用性能,更重视环境协调和环境保护。按照环境功能材料在解决环境问题中所起的作用,可以将环境功能材料分为环境净化材料和环境修复材料。其中环境净化材料的主要功能是去除环境中的污染物。空气污染防治的方法主要包括吸收法、吸附法、催化转化法等。在水体净化过程中,会需要氧化还原材料、沉淀材料、吸附材料、混凝材料等。近十几年来,高级氧化技术得到迅猛发展,功能催化剂及电、光、化学等功能性材料是高级氧化技术获得应用的关键前提。本书主要介绍复合环境功能材料的研究,包括纳米 TiO_2 /电气石复合环境材料、纳米 TiO_2 /硅藻土复合环境功能材料、纳米 TiO_2 /煅烧高岭土复合环境功能材料、秸秆生物提取环境材料的研究,详细描述了研究现状、制备方法、性能表征、机理分析等,并总结了在废水处理、工业循环水领域的应用研究。

著者多年来一直从事复合环境功能材料的研究,特别是纳米 TiO_2 光催化系列复合环境功能材料研究与开发。近十年来,著者及科研团队重点开发了纳米 TiO_2 /电气石复合环境材料、纳米 TiO_2 /硅藻土复合环境功能材料、纳米 TiO_2 /煅烧高岭土复合环境功能材料等,尤其是在纳米 TiO_2 /电气石复合环境材料方面的研究与应用方面取得了较为丰硕的成果。纳米 TiO_2 以其活性高、热稳定性好、抗光氧化性强、价格便宜等特性成为最受重视的一种光催化剂。但由于半导体 TiO_2 的能带带隙 $E_g = 3.2 \text{ eV}$,仅能吸收利用波长小于 387.5 nm 的紫外线部分,光生电子和光生空穴再复合率较高,致使太阳能利用率和量子效率低,工业应用受到极大限制。研究表明,微波辅助光催化、电场协助光催化等技术,能够大幅度提高光催化效率。尤其是有电场参与的光催化反应能够将光催化效率提高 3 倍以上。电场协助光催化技术通常把 TiO_2 做成膜电极,并对该膜电极施加数十到数百毫伏的阳极偏压,致使光生电子更易离开催化剂表面,从而提高光催化效率。目前国内外的研究主要以二维纳米 TiO_2 光电催化

体系为主。电气石/ TiO_2 复合光催化材料将电气石具有的天然电场特性和纳米 TiO_2 光催化强氧化特性进行有机结合,实现自然能量下的光电催化。在电气石/ TiO_2 复合催化剂体系中,在电气石微粒阴极表面形成了连续的 TiO_2 微粒薄膜。当电气石/ TiO_2 复合催化剂受到紫外线的照射时,复合催化剂表面 TiO_2 的价带电子将会受到激发而向导带跃迁,从而在价带形成光生空穴。而这时,在导带上的光生电子处于自由状态,一部分光生电子会迅速地和光生空穴进行再复合,而大部分电子将会受到复合催化剂内部电气石天然电场的吸引,迅速转移到电气石的阳极表面,并被其牢固地捕获,从而有效地避免了光生电子和光生空穴的再复合,提高了光生空穴的利用率,达到提高光催化效率的目的。电气石/ TiO_2 复合材料利用电气石天然电极性和辐射红外线特性,提高光催化效率,具有常规光电催化和微波辅助光催化效果,但无须外加电源和微波源,在环保等领域具有广阔应用前景。希望本专著的出版,能够对相关研究人员对复合环境功能材料的研究提供一定的借鉴和帮助。

本专著由冯艳文和郭勇共同编写,共分为 8 章,具体撰写情况如下,第 1 章绪论(冯艳文),第 2 章纳米 TiO_2 /电气石复合环境功能材料(冯艳文),第 3 章纳米 TiO_2 /硅藻土复合环境功能材料(冯艳文),第 4 章纳米 TiO_2 /煅烧高岭土复合环境功能材料(冯艳文),第 5 章烟柴秆提取物在循环冷却水中的阻垢缓蚀性能(郭勇),第 6 章烟柴秆提取物与第二组分的缓蚀协同效应研究(郭勇),第 7 章烟柴秆提取物残渣对 Pb(II) 吸附性能研究(郭勇),第 8 章烟柴秆提取物残渣对亚甲基蓝和刚果红的吸附性能研究(郭勇)。

感谢天津市企业科技特派员项目(编号 19JCTPJC60700)、天津职业大学专著专项基金对本专著的资助,同时特别感谢刘希东老师、朱虹老师、李璐老师、王炯老师、刘冰冰老师等对本专著的帮助。著者所在天津职业大学生物与环境工程学院各位同事多年来给予团队各种支持和配合,谨在此一并表示衷心的感谢。

冯艳文

2020 年 10 月于天津职业大学(天津)

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 环境功能材料	1
1.1.1 功能材料	1
1.1.2 环境功能材料	1
1.2 环境矿物材料	2
1.2.1 环境矿物材料的提出	2
1.2.2 环境矿物材料的定义	2
1.2.3 环境矿物材料的分类	2
1.2.4 环境矿物材料的应用现状及发展趋势	4
1.3 纳米 TiO_2 /矿物复合环境功能材料	7
1.3.1 纳米 TiO_2 多相光催化技术	7
1.3.2 纳米 TiO_2 /矿物复合环境功能材料设计	13
参考文献	19
第 2 章 纳米 TiO_2 /电气石复合环境功能材料	22
2.1 电气石	23
2.1.1 电气石矿物	23
2.1.2 电气石矿物的晶体结构特征	23
2.1.3 电气石矿物的分类与基本性能	24
2.1.4 电气石矿物材料的特性	25
2.1.5 电气石应用研究	26
2.2 纳米 TiO_2 /电气石复合环境功能材料	27
2.2.1 纳米 TiO_2 /电气石复合环境功能材料显微结构	27
2.2.2 纳米 TiO_2 /电气石复合环境功能材料电极性	29
2.2.3 纳米 TiO_2 /电气石复合环境功能材料的光催化活性	34

2.3	纳米 TiO_2 /电气石复合环境功能材料光催化机理研究	35
2.4	电气石/ TiO_2 复合光催化材料应用	37
2.4.1	铜基电气石/ TiO_2 光催化材料制备	38
2.4.2	实验室废水处理工艺	38
2.4.3	光催化降解效果	43
	参考文献	43
第3章	纳米 TiO_2 /硅藻土复合环境功能材料	50
3.1	硅藻土	50
3.1.1	硅藻土的分类及矿物组成	51
3.1.2	硅藻土的结构特点	52
3.1.3	硅藻土的主要理化特性	52
3.1.4	硅藻土的应用	55
3.2	纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料的稀土金属 Ce 掺杂改性	56
3.2.1	稀土金属 Ce 掺杂改性纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料的制备	56
3.2.2	Ce-纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料的紫外-可见光催化活性	56
3.2.3	Ce-纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料的 Ce 掺杂机理	58
3.2.4	Ce-纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料晶型	58
3.2.5	Ce-纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料结构	60
3.3	四氯化钛水解沉淀法制备纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料	61
3.3.1	制备方法及原理	61
3.3.2	制备工艺对纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料光催化性能的影响	64
3.3.3	硅藻土载体对纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料光催化性能的影响	67
3.4	有机钛溶胶-凝胶法制备纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料	69
3.4.1	制备方法	69
3.4.2	影响纳米 TiO_2 /硅藻土复合材料光催化性能的主要因素	70
3.5	在印染废水处理中的应用	74
	参考文献	78

第 4 章 纳米 TiO_2 /煅烧高岭土复合环境功能材料	81
4.1 概述	81
4.2 化学沉积包覆法	83
4.2.1 原则工艺流程	83
4.2.2 原材料、试剂和装备	84
4.2.3 评价与表征方法	85
4.3 纳米 TiO_2 /煅烧高岭土复合颗粒的制备与机理	85
4.3.1 TiOSO_4 的水解行为	85
4.3.2 TiOSO_4 水解物在煅烧高岭土表面的包覆	90
4.3.3 煅烧高岭土表面 $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 的晶型转化	103
参考文献	108
第 5 章 烟柴秆提取物在循环冷却水中的阻垢缓蚀性能	110
5.1 研究背景	110
5.2 循环冷却水系统	110
5.2.1 直流冷却水系统	111
5.2.2 密闭式循环冷却水系统	111
5.2.3 敞开式循环冷却水系统	112
5.3 循环水系统的危害	113
5.3.1 腐蚀	113
5.3.2 结垢	113
5.4 国内现状与国外现状	114
5.4.1 国内现状	114
5.4.2 国外现状	115
5.5 缓蚀阻垢剂的形成	115
5.5.1 缓蚀剂	115
5.5.2 阻垢剂	117
5.5.3 缓蚀阻垢剂	118
5.6 植物阻垢、缓蚀剂在循环水中的研究进展	118

5.7 烟柴秆提取物阻垢性能	121
5.7.1 烟柴秆提取物阻碳酸钙垢性能	121
5.7.2 烟柴秆提取物阻硫酸钙垢、磷酸钙垢性能	126
5.7.3 烟柴秆提取物氧化铁分散能力性能	127
5.7.4 烟柴秆提取物稳定 Zn^{2+} 性能	128
5.8 烟柴秆提取物缓蚀性能	129
5.9 烟柴秆提取物生物降解性能	132
5.10 烟柴秆提取物动态评价实验	133
5.11 小结	135
5.12 附录	136
5.12.1 实验试剂、仪器及设备	136
5.12.2 实验材料	138
5.12.3 烟柴秆提取及化学组分分析	138
5.12.4 烟柴秆提取物阻垢、缓蚀性能测定	139
5.12.5 烟柴秆提取物氧化铁分散性能	140
5.12.6 生物降解性测定	141
参考文献	141
第6章 烟柴秆提取物与第二组分的缓蚀协同效应研究	148
6.1 引言	148
6.2 实验	149
6.2.1 实验材料与试剂	149
6.2.2 实验仪器及设备	149
6.2.3 烟柴秆提取物的制备	150
6.2.4 实验方法	150
6.3 结果与讨论	151
6.3.1 烟柴秆提取物与碘化钾的缓蚀协同效应研究	151
6.3.2 烟柴秆提取物与硫脲、表面活性剂的缓蚀协同效应初步探索	158
6.4 小结	162

参考文献	163
第 7 章 烟柴秆提取物残渣对 Pb(II) 吸附性能研究	166
7.1 引言	166
7.2 实验	167
7.2.1 实验材料与试剂	167
7.2.2 实验仪器及设备	168
7.2.3 烟柴秆提取物残渣的制备及物理、化学组分分析	169
7.2.4 实验方法	170
7.3 结果与讨论	171
7.3.1 烟柴秆提取物残渣的表征	171
7.3.2 吸附条件对烟柴秆提取物残渣吸附 Pb(II) 的影响	175
7.3.3 Pb(II) 的吸附等温模型	176
7.3.4 吸附动力学模型	177
7.3.5 吸附热力学	179
7.3.6 离子强度对 Pb(II) 吸附的影响	181
7.3.7 不同吸附剂吸附性能的比较	182
7.3.8 烟柴秆提取物残渣的再生实验	183
7.4 小结	183
参考文献	184
第 8 章 烟柴秆提取物残渣对亚甲基蓝和刚果红的吸附性能研究	190
8.1 引言	190
8.2 实验	190
8.2.1 实验材料与试剂	190
8.2.2 实验仪器及设备	191
8.2.3 烟柴秆提取物残渣的制备	191
8.2.4 实验方法	191
8.3 烟柴秆提取物残渣对亚甲基蓝的吸附性能研究	192

8.3.1	吸附条件对烟柴秆提取物残渣吸附亚甲基蓝性能的影响	192
8.3.2	烟柴秆提取物残渣吸附亚甲基蓝动力学研究	194
8.3.3	烟柴秆提取物残渣吸附亚甲基蓝热力学研究	195
8.3.4	吸附前后 Zeta 电位和傅里叶红外光谱分析	197
8.4	烟柴秆提取物残渣对刚果红的吸附性能研究	198
8.4.1	烟柴秆碳化材料制备工艺条件对刚果红吸附性能的影响	199
8.4.2	烟柴秆碳化材料再生实验	202
8.4.3	烟柴秆碳化材料吸附动力学和热力学分析	203
8.4.4	烟柴秆碳化材料形态特征分析	207
8.4.5	烟柴秆碳化材料吸附机理分析	208
8.5	小结	210
	参考文献	211

第1章 绪 论

1.1 环境功能材料

1.1.1 功能材料

A. Morton 于 1965 年提出“功能材料”，是指具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、力学、化学和生物学等功能及相互转化功能的非结构性用途的材料。功能材料在现代材料中占有非常重要的地位，半导体电子功能材料、先进光学功能材料、光电子材料、形状记忆合金、生物医学功能材料、储能材料、能源材料、原子能反应堆材料、太阳能利用材料、高效电池材料、环境功能材料等在诸多领域展示了广泛的应用前景。

1.1.2 环境功能材料

日本山本良一教授在 20 世纪 90 年代初，首次提出“环境功能材料”。“环境功能材料”通常是指兼具环境协调性和实用性的材料。环境材料是涉及资源、能源和生态的各类功能材料的总称，不仅重视材料实用性能，更重视环境协调和环境保护。按照环境功能材料在解决环境问题中所起的作用，可以将环境功能材料进行如下分类。

1.1.2.1 环境净化材料

环境净化材料的功能主要是去除环境中污染物。例如，大气污染控制通常采用的是源头控制方案。空气污染防治的方法主要包括吸收法、吸附法、催化转化法等，那么必然涉及吸附剂、吸收剂、催化剂、各类离子交换树脂等。再比如，在水体净化过程中，会需要氧化还原材料、沉淀材料、吸附材料、混凝材料等。近十几年来，高级氧化技术得到迅猛发展，功能催化剂及电、光、化学等功能性材料是高级氧化技术获得应用的关键前提。在生物接触氧化中，人造纤维软性填料逐步替代了硬质塑料类网状和蜂窝状填料，人造纤维丝软性填料在提升接触氧化效率中发挥了至关重要的作用。此外，在面对电磁波、噪声等物理污染时，各种功能性材料日益引起重视。

1.1.2.2 环境修复材料

环境修复材料通常也常被称为生态修复材料,是指具有对遭到破坏的环境进行生态修复治理、恢复被破坏环境的生态特性的功能性材料。例如固沙材料及沙漠植被技术、CO₂ 固定材料、O₃ 层的修复材料等。

1.2 环境矿物材料

1.2.1 环境矿物材料的提出

1992 年,第 29 届国际地质大会上明确提出环境矿物学这一学科,环境矿物材料学是在环境矿物学的基础上发展起来的一门涉及人体健康和环境防护的矿物学分支学科。2016 年 12 月 10 日,中国科协批准成立中国硅酸盐学会矿物材料分会,标志着矿物材料特别是环境矿物材料的发展进入一个新的时期。近年来,环境矿物材料学得到了迅猛的发展,引起越来越多的环境工作者的重视。

1.2.2 环境矿物材料的定义

环境矿物材料是指由矿物及其改性产物组成的与生态环境具有良好协调性或直接具有防治污染和修复环境功能的一类矿物材料。我们认为,环境矿物材料既是具有环境协调性或环境功能的矿物材料,又是直接来源于矿物的环境材料,是二者的完美复合产物。环境矿物材料也可称之为矿物环境材料。因此,环境矿物材料需要具备两个最基本特征:(1)材料本身是以天然矿物或岩石为主要原料;(2)材料具有环境协调性或具有环境修复和污染治理功能。环境矿物材料的矿物性环境功能包括矿物的孔道过滤作用、表面吸附作用、物理效应作用、化学活性作用、离子交换作用、结构调整作用、纳米效应作用及与生物交互作用等。矿物性环境功能是环境矿物学的重要研究内容之一,主要利用天然(或改性)矿物有效治理固、液、气三类污染物。

1.2.3 环境矿物材料的分类

环境矿物材料可以矿物材料的分类来进行,因为环境矿物材料本身也是矿物材料的一部分,也可以根据环境矿物材料的用途进行分类,可分为治理大气污染的矿物材料、治理水污染的矿物材料、治理土壤污染的矿物材料和处理放射性污染的矿物材料。

(1) 治理大气污染的矿物材料。比如可用碱性矿物材料处理含有酸酐等酸

性物质的大气,包括有石灰石、方解石、生石灰、方镜石、水镜石等。如日本用方镜石、水镜石吸收 SO_2 、 SO_3 废气;石灰石和生石灰可进行烟道干法脱硫,在 $t = 820 \sim 1370\text{ }^\circ\text{C}$ 下,用粒度为 $0.1 \sim 2\text{ mm}$ 的石灰石或生石灰对含 SO_2 为 $0.1\% \sim 1\%$ (体积分数)的烟气作脱硫处理,对废气的吸收容量可达 50% 。

(2) 治理水污染的矿物材料。用矿物材料处理废水的主要方法有过滤、中和、沉淀、离子交换、吸附等。滤用矿物材料常用的有石英、尖晶石、石榴石、多孔 SiO_2 、硅藻土等,板柱状矿物和片状矿物不宜单独作过滤用矿物材料。控制水体 pH 的矿物有方解石、白云石、生石灰、石灰乳、水楼石、方镜石、橄榄石、蛇纹石、长石等。利用矿物的荷电性,与水体中具异号电荷的污染物作用产生凝聚消除污染,如明矾、绿矾、苏打、生石灰、三水铝石、高岭石、蒙脱石等均具有这种作用。沸石、蒙脱石、石墨、蛭石、伊利石、绿泥石、高岭石、凹凸棒石、坡缕石、海泡石等具有良好的吸附性和离子交换性,可用于清除废水中的 NH_4^+ 、 H_2PO_4^- 和重金属离子 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 、 As^{3+} 、 Ni^{2+} 等。海泡石处理含 Ni^{2+} 污水,对 Ni^{2+} 的去除率可达 $85\% \sim 96\%$,优于活性炭吸附剂,且易于再生;凹凸棒石作吸附剂处理印染厂污水,对 Cr 系有机染料的脱除率和脱色率分别可达 84% 和 95% 。磁铁矿可去除废水中的颜色、悬浮物和铁、铝等。磁黄铁矿可清除 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 As^{3+} 、 As^{5+} 、 Cr^{6+} 等,去除率可达 98% 。

(3) 土壤修复用矿物材料。土壤污染治理环境矿物材料目前主要用于固定、降解和去除土壤环境中的重金属和有机污染物。常用的土壤污染治理环境矿物材料包括煤基复合材料及粉质矿物材料、黏土矿物、铁氧化物、磷石灰、活性炭等。磷酸盐、碳酸盐和硅酸盐材料是最常见的土壤重金属修复稳定化材料,常单独使用或几种材料联合使用。

(4) 处理放射性污染的矿物材料。石棉、玻璃纤维、人造有机纤维等可用于吸附、过滤放射性气体和空气中具有放射性的尘埃,沸石等可净化被放射性物质污染的水体,软锰矿对放射性元素也有强的吸附作用。矿物固化法是处理放射性废渣的最有效方法,固化包括对放射性元素的永久性吸附、包裹或经反应生成安全性固体物质。如硼砂、磷灰石、石英混合物在 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 以上熔化后,可制成耐辐射的稳定玻璃体,这种玻璃体可取代过去使用的水泥(抗水性差、易于浸出放射性的物质)和沥青(易老化而造成泄漏),固化放射性废物。



1.2.4 环境矿物材料的应用现状及发展趋势

1.2.4.1 污染物净化与矿物资源化

环境矿物材料的环境功能包括孔道过滤作用、离子交换作用、结构调整作用、表面吸附作用,成本低、工艺简单、处理效果好且无二次污染,在环境治理领域应用前景广阔。环境矿物材料在环境治理中的应用见表 1-1。

表 1-1 环境矿物材料在环境治理中的应用

治理范围	功能	环境矿物材料
水污染治理	过滤 吸附 净化	石英、尖晶石、石榴石、海泡石、坡缕石、膨胀珍珠岩、硅藻土及多孔 SiO ₂ 、膨胀蛭石、麦饭石等用于化工和生活用水过滤。白云石、石灰石、方缬石、水缬石、蛇纹石、钾长石、石英等用于消除水中过多的 H ⁺ 或 OH ⁻ ,明矾石、三水铝石、高岭石、蒙脱石、沸石等用于清除废水中有机物和重金属离子等
大气污染治理	中和 吸附	石灰石、菱缬矿、水缬石等碱性矿物用于中和可溶于水的气体,这些有害气体多为酸酐。沸石、坡缕石、海泡石、蒙脱石、高岭石、白云石、硅藻土等多孔物质用于制作吸附剂吸附有毒有害气体
固体废物处理与处置	吸附 固化	膨润土、海泡石、石膏、浮石、粉煤灰、电石渣
放射性污染治理	过滤 离子交换 吸附 固化	石棉用作过滤材料消除放射性气体及尘埃。沸石、坡缕石、海泡石、蒙脱石等用作阳离子交换剂净化被放射性污染的水体。沸石、坡缕石、海泡石、蒙脱石、硼砂、磷灰石等可对放射性物质永久性吸附固化
土壤污染修复	中和 吸附	膨润土、海泡石、沸石、珍珠岩、石膏、蛭石、高岭土、硅藻土、石灰石、铁锰矿物、浮石、粉煤灰、电石渣等
噪声	隔音	沸石、浮石、蛭石、珍珠岩等轻质多孔非金属矿物可生产用于保温、隔热、隔声的建筑材料

1.2.4.2 环境矿物材料改性及调控

天然环境矿物材料因为其具有良好的孔道过滤、矿物表面吸附、化学活性、离子交换、物理效应及纳米效应等基本性能,在废水废气治理领域中发挥着独

特的作用。然而其应用效果却参差不齐,甚至来自不同地区、不同矿产的同种矿物材料,也很难得到同样的应用效果。为了更好地开发和利用新型环境矿物材料,使其充分发挥在环境污染防治中的作用。近年来,国内外学者将研究重心逐渐转移为环境矿物材料的改性与调控,通过物理、化学、生物以及复合改性等方法,对天然环境矿物材料的结构、成分、性质进行调控,使其具备更广泛、更有效、更稳定的环境功能。

环境矿物材料改性是指将天然矿物从自身性质或理化性能方面进行直接或间接的改性,最终达到提高其使用价值和开拓材料应用功能的目的。国内外有关改性环境矿物材料的制备与应用研究已经取得诸多进展,包括化学改性、物理改性、复合改性等。

(1) 物理改性与调控

环境矿物材料的物理改性与调控就是通过物理手段改变环境矿物材料的理化性质,向环境矿物材料中增加填料或通过物理方法提高其纯度、改变其结构,从而增强其环境性能,达到预期的材料性能。常规的物理改性与调控方法包括机械力改性、热处理改性、煅烧改性、焙烧改性、烧结、微波改性、超声改性等。

(2) 化学改性与调控

化学改性即通过化学反应改变材料的物理、化学性质,或者根据材料的自身性质,运用化学反应或手段,定向改变材料的结构、成分、性质。化学改性分为无机改性和有机改性两类。层状矿物材料的改性多采用无机改性,例如为了提高矿物离子交换性能,可以通过改性增加矿物材料的层间距。应用有机改性剂来部分改造或提升矿物材料物理化学性质的方法被称为有机改性。有机改性主要包括插层改性、表面吸附改性及嫁接改性等。

(3) 复合改性

复合改性是指通过两种或两种以上改性手段,对同一材料进行改性,以强化材料的理化性能或赋予材料新的理化性质。常见的复合改性方法可根据改性过程分为两种:一种是同步进行复合改性,即运用两种或两种以上的改性方法同时对材料进行改性,例如微波辅助改性、超声辅助改性、在水热条件下进行化学插层改性、微波回流条件下制备复合材料等;另一种是分段改性方法,即将不同的改性方法按照一定顺序分段进行,上一阶段的改性结果将为下一阶段的改性操作提供条件或做铺垫,例如为同一材料负载多个官能团,需要在不同的