

分类号:

学号: 20212007045

密级: 公开

单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 硫化镉基光催化剂的制备及其 降解性能研究

学位申请

陈茜羽

指导教师

王卫教授

申请学位门类级别

理学硕士

学科、专业名称

化学

研究方向

光催化

所在学院

化学化工学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

分类号:

学号: 20212007045

密级: 公开

单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 硫化镉基光催化剂的制备及其 降解性能研究

学位申请	陈茜羽
指导教师	王卫教授
申请学位门类级别	理学硕士
学科、专业名称	化学
研究方向	光催化
所在学院	化学化工学院

中国·新疆·石河子

2024年5月

**Preparation and degradation performance of cadmium sulfide based  
photocatalyst**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Natural Science**

By

**Chen Xi-yu**

**(Photocatalysis)**

Dissertation Supervisor: Prof. Wang Wei

May, 2024

# 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

## 学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：陈高羽

时间：2024年5月19日

## 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：陈高羽

时间：2024年5月19日

导师签名：王卫

时间：2024年5月19日

## 摘要

近年来,工业化进程越来越迅速,大量污有机染料被排放到水体中,水污染是严重危害环境的问题之一。工业废水的有机污染物、生活污水以及因农药的不正确使用使难降解的药物流入水体中是水污染的三大来源。所以解决水污染的问题十分迫切,光催化技术是解决上述问题的有效方法之一。光催化剂中最重要的就是选择合适且具有高性能的催化剂。众所周知,金属硫化物具有合适的带隙以及良好的光吸收范围,是一种具有良好光电响应的催化材料。其中,硫化镉是金属硫化物中重要的光催化降解催化剂之一。但单独硫化镉存在光生电子复合率高、光腐蚀等缺陷,严重制约了硫化镉的光催化性能。通过金属沉积、掺杂、与其他半导体耦合等方法可以有效弥补上述缺陷。在本课题中,我们以硫化镉为基础光催化剂,对其进行了改性以提高光催化活性:

(1) 在第一项工作中,我们制备了空心 CdS 与片层氮化碳异质结。通过油浴制备了实心 Cd(OH)Cl 前驱体,采用自牺牲模板法在常温、机械搅拌加超声的状态下合成了空心“胶囊”状 CdS,并通过一步自组装使空心 CdS 穿插在片层氮化碳中,使其构成紧密的 CdS@g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 异质结构。中空结构的 CdS 由于增加了光反射,降低了载流子重组率,将其与氮化碳耦合,由于其匹配的带隙以及界面的紧密接触,使得光生电子与空穴快速分离,从而表现出高效的光催化降解污染物的活性。最后我们对其降解机理进行了详细的分析,并进行了进一步的讨论。但由于 CdS 固有的光腐蚀缺陷,其稳定性有待提高。

(2) 第二项工作对复合催化 CdS@g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 的稳定性进行了改性。本项工作通过在空心硫化镉表面原位还原金属镉,并与层状石墨氮化碳复合,制备了具有优异光催化性能的 g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>@Cd-CdS (Cd-CSCN) 复合材料。CdS 的空心结构可以对光进行反射,有效地提高了对光的使用率。Cd-CdS 与 g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 形成紧密结合的II型异质结,由于其合适的带隙,可以有效的分离电子和空穴。其中,金属 Cd 的存在不仅加快了电子传递的速度,而且对 CdS 的光腐蚀有一定的保护作用。因此,Cd-CSCN 可以很好的降解有机污染物,并且在光的照射下表现出更好的光催化稳定性。

(3) 第三项工作中,通过在 Cd-CdS 空心结构的外表面生长 ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> 纳米片,成功制备了核壳结构的 Cd-CdS/ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> 异质结,从而实现优异的光催化降解性能,ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> 纳米片的加载增加了 Cd-CdS 的比表面积,同时增加了表面活性位点以提高太阳能利用率。本项工作,ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> 和 Cd-CdS 形成的具有适当电位梯度的异质结构以及 Cd 金属的协同作用可以有效改善载流子运输、延长寿命和减少电子和空穴复合,而核壳纳米结构具有较大的比表面积可以提供较多的活性位点。优化过的 Cd-CdS/ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> 具有很好的降解污染物的能力并且具有较强的结构稳定性。

**关键词:** 硫化镉; 氮化碳; 金属硫化物; 光催化降解; 异质结

## Abstract

In recent years, the process of industrialization has become more and more rapid, and a large number of dirty organic dyes have been discharged into water bodies, and water pollution is one of the problems that seriously endanger the environment. Organic pollutants from industrial wastewater, domestic sewage and the inflow of hard-to-degrade drugs into water bodies due to the incorrect use of pesticides are the three major sources of water pollution. Therefore, it is very urgent to solve the problem of water pollution, and photocatalytic technology is one of the effective methods to solve the above problems. The most important thing in photocatalysts is the selection of suitable and high performance catalysts. Metal sulfides are known to be catalytic materials with good photoelectric response due to their suitable band gap as well as good light absorption range. Among them, cadmium sulfide is one of the important catalysts for photocatalytic degradation in metal sulfides. However, cadmium sulfide alone suffers from defects such as high photogenerated electron complex rate and photocorrosion, which seriously restrict the photocatalytic performance of cadmium sulfide. These defects can be effectively remedied by metal deposition, doping, and coupling with other semiconductors. In this work, we used cadmium sulfide as the basic photocatalyst and modified it to improve the photocatalytic activity:

(1) In the initial study, we fabricated hollow CdS heterojunctions incorporated with lamellar carbon nitride. Solid Cd(OH)Cl precursors were prepared in an oil bath, and the hollow "capsule" CdS was synthesized by the self-sacrificial template method at room temperature with mechanical stirring and ultrasonication, and the one-step self-assembly of the hollow CdS was interspersed with layers of carbon nitride to form a compact CdS@g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> heterostructure. The hollow-structured CdS, which reduces the carrier recombination rate due to increased light reflection, is coupled to carbon nitride, which exhibits highly efficient photocatalytic pollutant degradation activity due to its matched bandgap and the close contact at the interface, which results in the rapid separation of photogenerated electrons from holes. Finally, we have analyzed its degradation mechanism in detail and discussed further. However, the stability of CdS needs to be improved due to its inherent photocorrosion defect.

(2) The second study enhanced the stability of the first work by modifying it. In this study, g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>@Cd-CdS(Cd-CSCN) composites with exceptional photocatalytic properties were synthesized through in-situ reduction of a layer of cadmium on the surface of hollow cadmium sulfide and its subsequent combination with layered graphitic carbon nitride. The hollow structure of CdS exhibits a light-scattering phenomenon, thereby significantly enhancing the light utilization efficiency. Moreover, the tightly bonded type-II heterojunction between Cd-CdS and g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> effectively facilitates the separation of electrons and holes owing to their well-matched band gaps. Among them, the presence of metallic Cd not only enhances the rate of

electron transfer but also confers a protective effect against photocorrosion in CdS. Consequently, Cd-CSCN exhibits pronounced degradation of organic pollutants and superior photocatalytic stability under visible light irradiation.

(3) In the third study, we successfully synthesized Cd-CdS/ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub>(Cd-CSZIS) heterojunctions with a core-shell structure by growing ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> nanosheets on the outer surface of the Cd-CdS hollow structure, resulting in exceptional photocatalytic degradation performance. The incorporation of ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> nanosheets enhances the specific surface area of Cd-CdS, concurrently augmenting the number of active sites on the surface to enhance solar efficiency. In this study, the heterostructure composed of ZnIn<sub>2</sub>S<sub>4</sub> and Cd-CdS with a suitable potential gradient, along with the synergistic effect of Cd metal, effectively enhances carrier transport, prolongs carrier lifetime, and reduces recombination. Additionally, the core-shell nanostructure provides abundant active sites. The optimized Cd-CSZIS has excellent ability to degrade pollutants and has strong structural stability.

**Key words:** Cadmium sulfide; Carbon nitride; Metal sulfide; Photocatalytic degradation; Heterojunction

# 目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
第 1 章 绪论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 光催化概述.....	1
1.2.1 光催化机理.....	1
1.2.2 光催化分解水在环境中的应用.....	2
1.3 硫化镉半导体光催化材料.....	3
1.3.1 硫化镉的晶体结构.....	3
1.3.2 硫化镉的合成方法.....	4
1.3.3 硫化镉的形貌结构.....	6
1.3.3 硫化镉在环境中的应用.....	8
1.4 硫化镉基材料的研究现状.....	10
1.4.1 形貌调控.....	10
1.4.2 负载助催化剂.....	12
1.4.3 构建异质结.....	13
1.5 本文选题及意义.....	14
第 2 章 实验设备及表征方法.....	16
2.1 实验药品与仪器.....	16
2.2 表征设备及参数.....	17
2.3 光电化学测试.....	17
2.4 光催化降解实验.....	18
2.5 自由基捕获实验.....	18
第 3 章 空心 CdS@g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 异质结的构建及降解性能研究.....	19
3.1 前言.....	19
3.2 催化剂的制备.....	20
3.2.1 CdS 材料的制备.....	20
3.2.2 g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 材料的制备.....	20
3.2.3 CdS@g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 复合材料的制备.....	20
3.3 结果与讨论.....	21

3.4	光催化性能表征 .....	27
3.5	光催化降解机理 .....	28
3.6	本章小结 .....	29
第 4 章	高性能 Cd-CdS@g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 异质结的构建及降解性能研究 .....	30
4.1	前言 .....	30
4.2	催化剂的制备 .....	31
4.2.1	g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 材料的制备 .....	31
4.2.2	CdS 材料的制备 .....	31
4.2.3	Cd-CdS 材料的制备 .....	31
4.2.4	复合 Cd-CSCN-X 材料的制备 .....	31
4.3	结果与讨论 .....	32
4.4	光催化性能表征 .....	38
4.5	光催化降解机理 .....	41
4.6	本章小结 .....	42
第 5 章	核壳结构 Cd-CdS/ZnIn <sub>2</sub> S <sub>4</sub> 的构建及降解性能研究 .....	43
5.1	前言 .....	43
5.2	催化剂的制备 .....	44
5.2.1	Cd-CdS 材料的制备 .....	44
5.2.2	复合催化材料的制备 .....	44
5.3	结果与讨论 .....	45
5.4	光催化性能表征 .....	50
5.5	光催化机理研究 .....	51
5.6	文章小结 .....	52
第 6 章	总结和展望 .....	53
6.1	总结 .....	53
6.2	展望 .....	54
参考文献	.....	55
致谢	.....	65
作者简介	.....	66

## 第1章 绪论

### 1.1 引言

自工业化发展以来，大自然和人类健康就在不断受到危害，化工、农药、化肥、制药以及食品加工等行业未经处理的废水被排放到大自然中，严重污染了水资源，对人类健康以及水生物造成了负面影响<sup>[1-3]</sup>。因此，开发可持续的、经济环保的处理水中有机污染物的技术是很重要的。

传统处理污染物废水的方法有：生物处理技术<sup>[4]</sup>、物理化学技术<sup>[5]</sup>以及高级氧化技术<sup>[6-8]</sup>（AOPs）。高级氧化工艺是处理染料污染废水的潜在有前途的技术。其中光催化是最可靠的工艺，光催化技术具有可以直接利用太阳能绿色环保，且低耗能，反应条件温和等优点<sup>[9-12]</sup>。

### 1.2 光催化概述

#### 1.2.1 光催化机理

光催化半导体通过光激发生成电子场，一定的能量范围内可产生价带和导带<sup>[13]</sup>。价带到导带的距离为带隙，光催化反应的产生需要一定的条件，根据热力学要求每摩尔电子需要消耗 1.23 eV 的能量。发生质子还原反应时，光催化剂的导带(CB)电位要比氢电位更负，相应的氧化反应要求价带(VB)电位比氧电位更正。所以为了光催化反应的正常进行，半导体材料带隙结构需要大于 1.23 eV，这样光催化半导体才能正常响应可见光。

众所周知，光催化过程需要光激发催化剂产生电子和空穴。光催化降解主要有以下几个步骤，(1)半导体吸收光源发射的光线，(2)催化剂产生电子和空穴在电场内运动，(3)在电子场中产生电子和空穴并迁移到催化剂表面，其中水里的氧气(O<sub>2</sub>)会被光生电子还原为超氧自由基(·O<sub>2</sub><sup>-</sup>)，而水中的羟基(OH<sup>-</sup>)则被氧化为羟基自由基(·OH)，光催化过程中产生的活性物质去降解有机污染物使其成为无毒的 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 小分子。在半导体中，电子从价带转移到导带驱动着化学反应。如图 1-1 所示，电子传输所需的能量随着最高占位分子轨道（价带）和最低未占位分子轨道（导带）之间的轨道数（N）的增加而减少。各种光源必须大于或等于太阳光激发催化剂的能量，才能使电子从价带跃迁到导带，从而在价带产生空穴(h<sup>+</sup>)<sup>[14]</sup>。

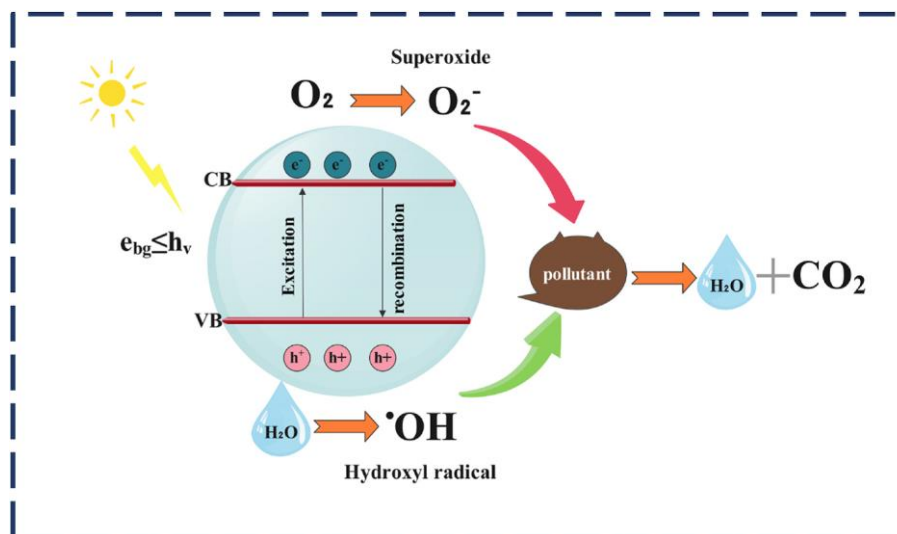


图 1-1 半导体暴露于光下的光催化机理

Figure 1-1 Photocatalytic mechanism for semiconductors exposed to light

### 1.2.2 光催化分解水在环境中的应用

城市化和工业化的快速发展导致不可再生的能源短缺，同时大量污染物被排放到水体中，造成严重的水污染，所以我们需要去开发解决上述问题的有效办法，众多研究者在解决环境污染问题方面做出了很多努力<sup>[15]</sup>。在已有的可再生能源中，用可再生的太阳能转化为不可再生的化石能源是现在能源转化的主要研究方向。我们应尽可能的将太阳能转化为可再生的化学能。在提出的技术中，利用无机半导体光催化技术是非常有效的办法之一，可以解决环境污染和能源短缺问题。光催化技术可以转化太阳能为化学能作为化学燃料使用，分解水，以及光还原二氧化碳。同时，可以通过光催化技术降解水中难降解的污染物，现在越来越意识到全球变暖和能源短缺的影响，促使人们努力研究关于新的可持续能源的研究<sup>[16,17]</sup>。

在过去的几年里，许多半导体光催化剂被开发用于光催化降解污染物，如无金属化合物（ $g-C_3N_4$ 、 $CSi$ 、 $ZnIn_2S_4$ ），硫化物（ $ZnS$ 、 $NiCo_2S$ 、 $Cu_2ZnSnS_4$ 、 $MoS_2$ 、 $CuInS_2$ 、and  $CdS$ ），金属氧化物（ $SrTiO_3$ 、 $Ga_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Cu_2O$ 、 $ZrO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $ZnO$ ）。单一半导体催化剂都具有光生电子复合率高，光生电子利用率低以及催化剂自身存在的缺陷等等，所以选择一种合适的催化剂并对其进行改性是十分重要的。

其中， $CdS$ 由于具有良好的可见光响应，所以被认为是用来降解有机污染物的重要光催化剂之一，这是由于其合适的带隙，高稳定性，以及低的合成成本，所以 $CdS$ 光催化剂是光催化技术中具有良好光响应的催化剂之一，此外， $CdS$ 光催化剂还具有良好的可见光吸收性能<sup>[18]</sup>。并且 $CdS$ 可以与很多半导体催化剂进行耦合，而且还可以选择性地与其他光催化半导体材料相互作用。它还具有良好的运输电荷的能力，能够有效地促进

光激发 $h^+$ 和 $e^-$ 的及时迁移，从而增加光激发载流子寿命，从而大大提高光催化性能<sup>[19]</sup>。

### 1.3 硫化镉半导体光催化材料

#### 1.3.1 硫化镉的晶体结构

透彻地了解CdS的晶体特性是十分重要的，CdS光催化剂通常有三种晶体结构，立方体、六边形和高压岩盐。如图 1-2 所示，从CdS的晶体结构中来看，立方相也称为闪锌矿相，主要呈现四面体结构，其中Cd和S原子在立方相中呈现四面体配位，属于面结构等轴系类型。六方CdS晶体常常呈现六角锥状结构，被称为纤锌矿，晶体的结构稳定性会随温度的变化而变化。两种结构中，六方相结构相对更稳定，并且具有较小的晶体尺寸和较大的比表面积<sup>[20]</sup>。纤锌矿CdS表现出更好的光吸收范围以及良好的化学热稳定性，这可归因于六方相CdS的结晶度更高，表面的氧原子少，从而导致光诱导电荷的有效分离<sup>[21]</sup>。

CdS的晶体结构可以通过改变催化剂生成条件以及掺杂等手段进行改变，使其成为更加稳定的晶相结构<sup>[22]</sup>。Kumari等探讨了卤化物离子对CdS的物理性能影响，通过表面形貌表征证明卤化物处理改变了CdS的表面粗糙度，光学研究表明处理后的CdS具有较高的透光率和较低的吸光度，并且通过FESM探测显示，晶粒生长具有活化作用，卤化物处理有利于晶体尺寸的增长，改变其晶体结构，从而达到改善性能的目的<sup>[23]</sup>。

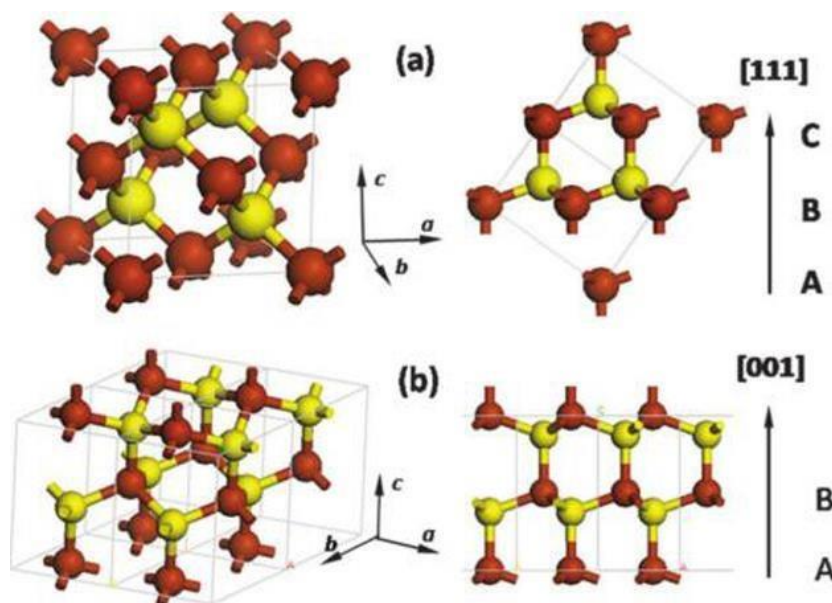


图 1-2 CdS纤锌矿和闪锌矿的结构示意图

Figure 1-2 Structure diagram of CdS wurtzite and sphalerite

### 1.3.2 硫化镉的合成方法

不同方法制备出来的光催化剂其结构、形貌和性能会有很大的差别，并且不同前驱体材料用同一种方法制备出来的催化剂也不同，因此为控制催化剂的结构形貌，我们往往会对它的制备方法进行调整。目前，我们更倾向于制备出具有大比表面积或者具有特殊形貌的催化剂，并且制备过程绿色环保<sup>[24]</sup>。CdS基光催化的制备主要有以下几个方法：

(1)水热法：其中最常用的方法就是水热合成法，在高温高压条件下可以使一些不容或者难溶的物质溶解。水热法具有绿色、环保等优点，并且操作简单，可以通过改变水热的温度和时间来调控 CdS 的形貌和大小。通常水热法制备出来的 CdS 光催化剂有分散性好、结晶度高、颗粒纯度高优点被广泛应用<sup>[25]</sup>。Li 等通过一步水热法合成了 NiS 掺杂的 Cd(OH)<sub>2</sub> 前驱体，制备了一种强耦合 NiS 纳米颗粒嵌入的 CdS 光催化剂，在硫化的过程中，可以一步完成 CdS 纳米粒子和掺杂的 Ni 同时析出为 NiS 纳米粒子，避免了后续的 NiS 的沉淀和进一步后处理，使其制备更容易<sup>[26]</sup>。Deng 等采用简单易行的一步原位水热法制备了 CdS/SnIn<sub>4</sub>S<sub>8</sub> 异质结，该复合材料具有稳定的表面组成和化学态，且具有高度的重复使用性<sup>[27]</sup>。

(2)模板法：制备 CdS 纳米空心结构可以通过模板法来制备，例如 CdS 纳米空心微球结构、CdS 纳米管以及制备其他特殊的空心结构。一般制备 CdS 纳米空心结构有以下几个步骤，首先是制备模板，模板的选择也很重要，最好是可以通过高温煅烧或者物理搅拌等方法直接可以去除模板，这样就不会破坏其结构，接下来为了使模板与反应物能够更好的结合，将对反应时间和温度进行调控，最后就是去除模板。制备这种空心结构的 CdS 光催化剂其目的就是能够增加表面积，空心结构不仅外表面可以利用，内表面也可以，这样可以显著提高光的利用率从而提高光催化性能。如图 1-3 所示，在合成反应中以氢氧化镉为反应模板，在溶液里在加入硫源，例如硫代乙酰胺，硫化镉在模板表面形成了一层壳，反应同时模板被逐渐消耗，可避免对壳造成破坏<sup>[28]</sup>。在合成过程中，与牺牲模版形状互补的形状和尺寸就是所制备 CdS 的形状。通过上述方法可以直接获得具有中空结构的 CdS 纳米材料的特定形态，为开发具有高催化活性的纳米空心结构催化剂提供了新的思路和应用前景<sup>[29]</sup>。

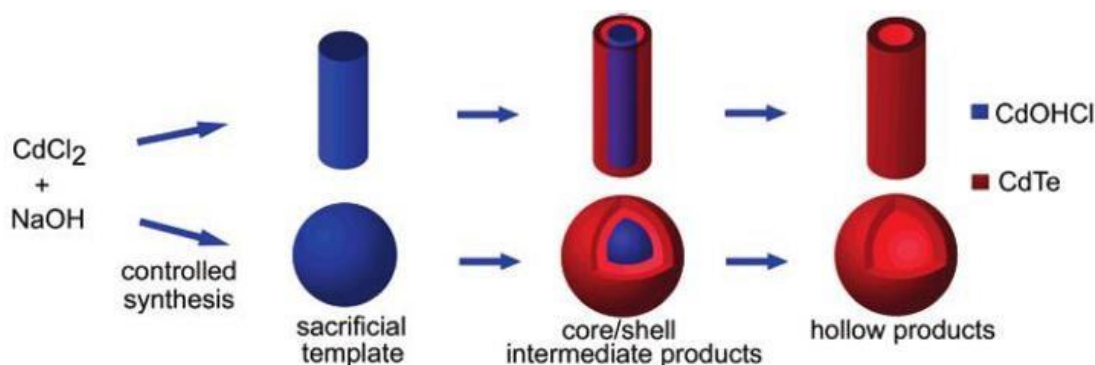


图 1-3 空心 CdS 的合成示意图

Figure 1-3 Synthesis diagram of hollow CdS

(3)浸渍法：以浸渍为关键步骤的制备方法，也是工业生产中常用的一种制备 CdS 的方法之一。浸渍法通过将催化剂以盐溶液的形式浸渍在多孔材料上，并渗透到内表面，从而制备出高效的光催化剂。该方法的优点有：利用现成尺寸，省去催化剂成型的步骤；可以选择合适的载体来提供催化剂所需的物理结构，如孔半径、比表面积等；催化材料附着在载体表面上，具有更高的利用率。Liu 等通过一种简易的浸渍-煅烧的方法设计合成了新型的核壳结构 CdS/CoO<sub>x</sub> 纳米材料，其合成示意图如图 1-4 所示，CdS 核与 CoO<sub>x</sub> 壳层之间的紧密接触进一步促进了电荷分离<sup>[30]</sup>。

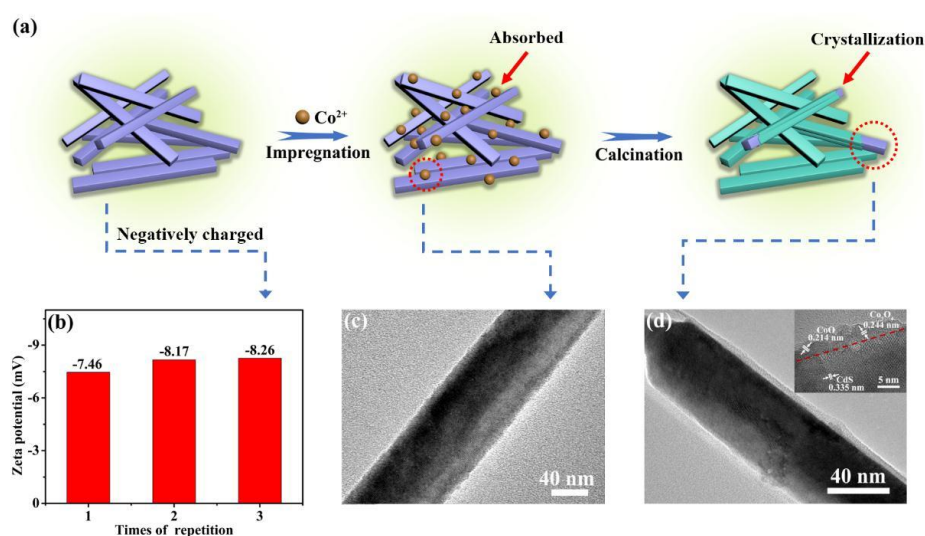


图 1-4 CdS/CoO<sub>x</sub> 核壳形成的示意图(a)；原始 Zeta 电位(b)；浸渍后 CdS NRs 的 TEM 图像(c)；CC-20 的 TEM 图像和 CdS/CoO<sub>x</sub> 的 HRTEM(d)

Figure 1-4 Schematic illusion for the formation of the CdS/CoO<sub>x</sub> core-shell NRs(a); Zeta potential of pristine CdS NRs(b); TEM image of CdS NRs after impregnation(c); TEM image of CC-20 and the inset is the corresponding HRTEM image(d)

(4)除了以上几种常用的合成方法外，还有许多其他合成方法用于合成CdS催化剂，如热分解法、电化学法、化学沉积法、溶胶-凝胶合成法等。溶胶凝胶法是通过前驱体的水解和缩聚形成凝胶，然后利用缩聚反应形成凝胶产物，该凝胶通过烧结、干燥和固化后，形成小分子甚至纳米结构复合材料。化学沉积法则是利用还原剂将电镀溶液中的金属离子还原沉积在催化剂表面的反应过程。一般来说，CdS光催化剂的合成方法有很多，但我们更加倾向于开发一种绿色、低成本、高效的合成CdS纳米材料的方法，近年来引起了越来越多研究者的关注。

### 1.3.3 硫化镉的形貌结构

不同催化剂的形貌对催化剂的性能有一定影响, 众多研究报道 CdS 有零维的纳米颗粒、一维的纳米线和纳米棒状结构、二维的纳米片结构以及三维的纳米空心结构催化剂。不同形貌结构的 CdS 光催化剂具有特定的光催化性能, 因此对 CdS 形貌的研究有利于提高催化剂的性能, 设计合成更有潜力的光催化剂<sup>[31]</sup>。CdS 光催化剂的各种形态如图 1-5 所示。

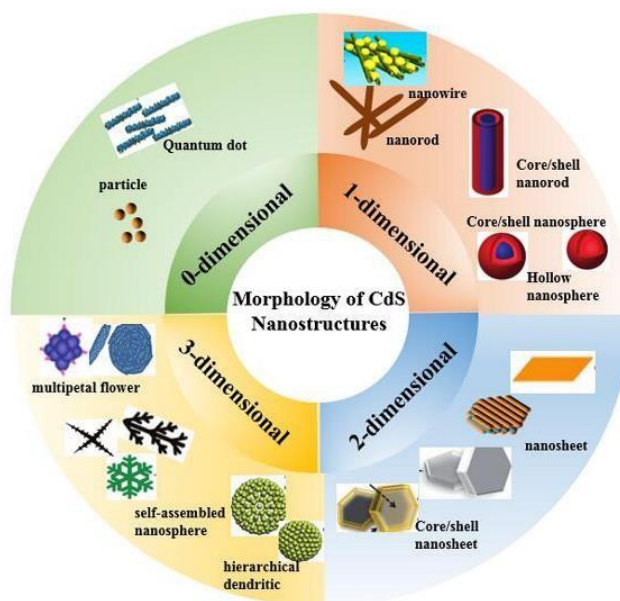


图 1-5 不同形貌结构的 CdS 催化剂

Figure 1-5 CdS catalysts with different morphologies

(1)有很多方法都可以合成零维硫化镉, 如水热法、溶剂热法、络合热解法等。比其他形态结构制备简单, 且所制备的纳米颗粒表面积大, 但在合成的过程中无法避免出现团聚现象, 这也使得光催化效率大大降低。Yuan 等成功将 CdS 纳米颗粒锚定在三维结构的石墨烯上(np-rGO), 其 SEM 如图 1-6 所示, 独特的层次化异质结构可以显著促使反应物和生成物的扩散, 此外大的比表面积为催化剂提供更多活性位点<sup>[32]</sup>。经过研究表明, 将 CdS 纳米颗粒附着在大比表面积的载体上可以有效防止团聚现象。

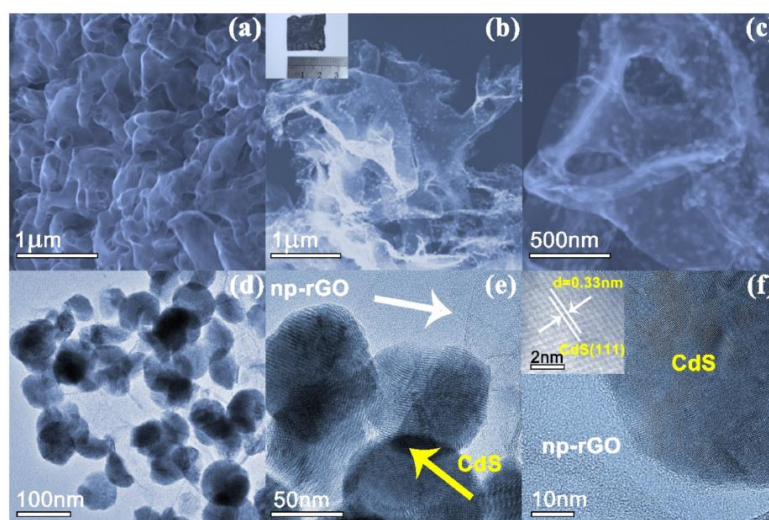


图 1-6 np-G 的 SEM(a); CdS/np-rGO 的 SEM(b,c); CdS/np-rGO 的 TEM(d)以及 CdS/np-rGOHRTEM(e,f)

Figure 1-6 SEM image of np-G(a); SEM images of CdS/np-rGO (b,c); TEM images of CdS/np-rGO (d); HRTEM images of CdS/np-rGO(e,f)

(2)一维的 CdS 呈现纳米棒、纳米线结构，与零维 CdS 不同的是，一维 CdS 纳米棒结构在径向上可以同时表现出量子约束效应，在轴向上可以同时表现出块状载流子运输效应，因此该结构催化剂的电子和空穴能够快速分离。由于径向约束效应，一维纳米棒结构 CdS 得到了广泛研究和关注。Zhang 等制备了具有空间分离效应的 MoS<sub>2</sub>-CdS，如图 1-7 所示，具有对称无定型 MoS<sub>2</sub> 纳米哑铃结构能有效促进电子与空穴在空间上的分离，吸引光生电子沿一维纳米棒运动，延长光生载流子的寿命<sup>[33]</sup>。

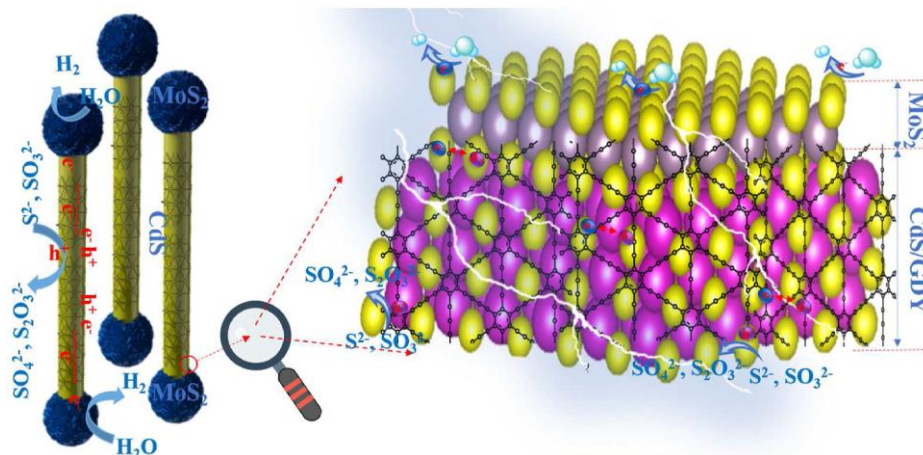


图 1-7 MoS<sub>2</sub>-CdS /GDY-10%光催化剂可能的光催化机理

Figure 1-7 Possible photocatalytic mechanism of MoS<sub>2</sub>-CdS/GDY-10% photocatalyst

(3)二维 CdS 催化剂如纳米片结构，因其特殊的形貌结构而受到广泛关注，光催化半导体的尺寸、结构以及形态发生改变时，会影响半导体的光学和光电化学性质。CdS 纳米片的独特形貌特征为进一步开发具有优异性能的光催化剂提供了新的前景。Cheng