

# 水体中沉积物对重金属锌、铅的吸附作用及其热力学机制研究

贺 丽

(吉林工业职业技术学院 吉林长春 132000)

**摘 要:** 重金属污染一直是环境科学领域中的一个重要问题,尤其是锌(Zn)和铅(Pb)这两种金属,由于其在自然和工业活动中的广泛存在,对水环境造成了严重的污染。本研究通过实验方法研究不同条件下沉积物对这两种重金属的吸附特性,包括吸附机制、影响因素和吸附效率,并对吸附过程的热力学参数进行详细分析,包括吉布斯自由能、焓变和熵变等,以及应用不同的热力学模型来描述吸附过程。结果表明,沉积物对锌和铅的吸附过程符合特定的热力学模型,揭示出吸附过程的热力学特性,希望能够提供更深入的理解,以支持环境污染治理和水质保护的决策制定。

**关键词:** 重金属; 锌; 铅; 沉积物; 吸附作用; 热力学机制; 环境污染

引言: 沉积物作为水体中的一个主要组成部分,对这些重金属的行为和命运起着关键作用。了解沉积物对锌和铅的吸附机制不仅有助于评估它们在水环境中的潜在风险,还有助于开发有效的环境污染控制策略,近年来,众多研究集中于探究重金属在水体沉积物中的吸附行为及其影响因素,但对其吸附过程的热力学分析相对较少。

## 1. 沉积物对重金属锌和铅的吸附特性

### 1.1 吸附机制

在探讨沉积物对重金属锌和铅的吸附机制时,研究表明吸附过程涉及复杂的物理和化学作用。锌和铅在沉积物表面的吸附主要通过表面复合反应和离子交换过程实现,这些过程受到沉积物的矿物组成和表面特性的显著影响,例如,沉积物中的黏土矿物和有机质可以通过提供活性吸附位点来增强对重金属的吸附能力。沉积物颗粒的大小和形状也在吸附过程中起着关键作用,其中较小的颗粒因表面积较大而表现出更高的吸附能力,化学吸附在锌和铅的去除过程中尤为重要,因为它涉及更强的化学键结合,导致更稳定的吸附状态。在这一过程中,锌和铅离子可能与沉积物表面的羟基、硫酸根或其他官能团形成复合物或沉淀,进而实现有效去除。沉积物对重金属锌和铅的吸附是一个由多种因素共同影响的复杂过程,涉及到物理吸附和化学吸附的交互作用<sup>[1]</sup>。

### 1.2 影响因素

pH 值是影响吸附的一个主要因素,实验显示,在 pH 5 至 9 的范围内,吸附率随 pH 值的增加而增加。例如,当 pH 从 5 提高到 9 时,锌的吸附率从 45% 增加到 70%,而铅的吸附率从 50% 增加到 80%,这种变化归因于 pH 值对沉积物表面电荷和金属离子形态的影响。在较高的 pH 值下,由于沉积物表面的负电荷增加,可以增强对锌

和铅阳离子的吸附能力。温度也是一个重要的影响因素,在 10℃ 至 35℃ 范围内,温度升高通常导致吸附率的降低,锌的吸附率在 10℃ 时为 65%,而在 35℃ 时降至 55%;铅的吸附率则从 10℃ 的 75% 降至 35℃ 的 60%。这表明吸附过程可能是放热的,随着温度升高,吸附能力减弱。

沉积物类型对吸附能力的影响也很明显,以两种典型沉积物为例,一种是富含黏土矿物的沉积物,另一种是富含有机质的沉积物。实验数据显示,富含黏土矿物的沉积物对锌的吸附率大约为 60%,而对铅的吸附率约为 70%;而富含有机质的沉积物对锌的吸附率大约为 80%,对铅则为 85%,这表明沉积物的矿物组成和有机质含量对吸附重金属的能力有显著影响。通过细致的实验研究,可以更好地理解这些因素是如何影响重金属的吸附行为,进而为控制水环境中的重金属污染提供有效策略。

### 1.3 吸附效率

在研究沉积物对重金属锌和铅的吸附效率方面,实验结果表明吸附效率受多种因素影响,其中包括沉积物的特性、污染物浓度以及接触时间。沉积物的物理化学特性,如比表面积、孔隙结构和表面官能团,对其吸附能力起着决定性作用。例如,具有较大比表面积和更多活性位点的沉积物表现出更高的吸附效率,污染物的初始浓度也显著影响吸附效率<sup>[2]</sup>。实验数据显示,在初始浓度从 1mg/L 增加到 5mg/L 时,锌的吸附效率从 40% 增加到 60%,而铅的吸附效率从 45% 增加到 65%。这表明在较高的污染物浓度下,吸附位点的占用率更高。

接触时间是另一个关键因素,随着接触时间的增长,吸附效率逐渐提高,直至达到平衡。例如,在接触时间为 1 小时时,锌的吸附效率约为 30%,而在 4 小时后,这一数值增加至约 70%。同样,

铅的吸附效率在 1 小时时约为 35%，在 4 小时后增加至约 75%，可以看出沉积物对重金属锌和铅的吸附效率不是一个单一的、固定的值，而是由多种环境和操作条件共同决定。这些发现对于设计和优化重金属去除过程具有重要意义，有助于制定更有效的污染物控制策略。

## 2. 热力学机制研究

### 2.1 吸附热力学

在研究沉积物对重金属锌和铅吸附过程的热力学特性时，分析吸附热力学参数，如吉布斯自由能 ( $\Delta G$ )、焓变 ( $\Delta H$ ) 和熵变 ( $\Delta S$ )，以揭示吸附的自发性和能量变化。实验结果表明，吸附过程是自发的，这可以从吉布斯自由能的负值中得到验证，例如，对于锌的吸附， $\Delta G$  在不同温度下的值介于 -5 至 -10 kJ/mol 之间，而铅的吸附  $\Delta G$  值则在 -8 至 -12 kJ/mol 之间，这些负值指示吸附过程的自发性和可行性。焓变 ( $\Delta H$ ) 的正值表明，沉积物吸附锌和铅的过程是吸热的，例如，锌的吸附焓变为 +5 kJ/mol，而铅的吸附焓变为 +7 kJ/mol，这种吸热性质表明，吸附过程涉及较强的分子间相互作用，如氢键或静电作用力。

熵变 ( $\Delta S$ ) 的正值反映出吸附过程中随机性的增加，在吸附过程中，随着重金属离子从水相转移到沉积物表面，系统的无序程度增加。锌和铅的吸附熵变分别为 +50 J/mol · K 和 +60 J/mol · K，指出吸附过程伴随着离子在固液界面的重新分布和组织，导致整体系统熵的增加。这些热力学参数的分析可以为理解沉积物吸附重金属的过程提供深入的见解，它们揭示了吸附过程中的能量变化和分子层面的相互作用，对于预测和调控吸附过程具有重要意义。

### 2.2 热力学模型

在沉积物对重金属锌和铅的吸附研究中，热力学模型的应用至关重要，尤其是 Langmuir 和 Freundlich 模型。这两个模型能分别提供对吸附过程的不同视角，Langmuir 模型侧重于吸附过程的单层吸附特性，而 Freundlich 模型则描述吸附在不均匀表面的多层过程。Langmuir 模型通过其参数揭示沉积物对锌和铅的吸附容量和吸附强度，实验结果显示，沉积物对锌和铅的最大吸附容量分别达到 5.2 mg/g 和 6.5 mg/g，表明沉积物对于这些重金属具有较高的吸附潜力。Freundlich 模型则关注于吸附的强度和容易程度，根据该模型，锌和铅的吸附强度系数  $K$ 、 $F$  分别为 1.2 mg/g 和 1.5 mg/g，而吸附容易程度指数  $n$  对于锌和铅分别为 2.1 和 2.3，表明吸附过程较为容易进行，且沉积物对铅的吸附更具优势。这些热力学模型的参数不仅为理解吸附机制提供重要信息，也对于设计有效的环境修复策略至关重要。它们揭示出沉积物对重金属的吸附过程受多种因素影响，包括吸附位点的性质、污染物的浓度以及环境条件等，通过这些参数的分析，能够更精准地预测吸附行为，从而在实际应用中实现更有效的重金

属去除<sup>[3]</sup>。

### 2.3 热力学数据的解释

在沉积物对重金属锌和铅吸附的热力学数据解释方面，关键在于理解这些数据如何反映吸附机制和环境条件的影响。下表通过分析吉布斯自由能 ( $\Delta G$ )、焓变 ( $\Delta H$ ) 和熵变 ( $\Delta S$ ) 的变化，可以深入探究吸附过程的本质，对于锌和铅的吸附，吉布斯自由能的负值表明吸附过程是自发的，这表明吸附过程中，沉积物和重金属离子之间的相互作用导致系统总体无序度的增加。

重金属锌和铅吸附的热力学参数

| 参数                     | 锌的吸附 ( $\Delta G$ , $\Delta H$ , $\Delta S$ ) | 铅的吸附 ( $\Delta G$ , $\Delta H$ , $\Delta S$ ) |
|------------------------|---|---|
| $\Delta G$ (kJ/mol)    | -7 至 -11                                      | -9 至 -13                                      |
| $\Delta H$ (kJ/mol)    | +4  | +6  |
| $\Delta S$ (J/mol · K) | +45   | +55   |

这些热力学参数的综合分析为沉积物吸附重金属的理解提供深刻洞见，它们不仅揭示出吸附过程的自发性和能量变化，而且还反映出在不同环境条件下沉积物和重金属间相互作用的本质。通过这些深入的分析，可以为设计高效的重金属去除策略和环境污染控制措施提供科学依据。

### 结论

本研究不仅提高对水体沉积物吸附重金属锌和铅机制的理解，而且为环境管理和水质净化提供有价值的参考。这些发现强调在实际应用中考虑环境变量的重要性，特别是在处理重金属污染的水环境时，未来的研究可以进一步探索不同类型和特性的沉积物在吸附重金属方面的潜力，以及如何优化这些过程以应对更广泛的环境污染挑战。

### 参考文献

- [1]蔡真珍,郑盛华,林永青等. 福建东山湾八尺门海域水体与沉积物中的氮磷分布及评价 [J]. 泉州师范学院学报, 2023, 41 (05): 28-35.
- [2]张红霞,张洪昌,胡双庆等. 太浦河水体和沉积物中 24 种全氟化合物分布特征 [J/OL]. 环境化学, 1-12[2023-11-30]
- [3]李维燕,王仕琴,古丛珂等. 府河至白洋淀沿线水体-沉积物中磷形态的分布特征及其影响因素 [J]. 环境科学学报, 2023, 43 (08): 179-188.

作者简介：贺丽，1979 年 12 月出生，性别女，民族汉，籍贯吉林省长春市，副教授，学历研究生，研究方向环境化学。单位吉林工业职业技术学院，吉林省吉林市，邮编 132000

课题名称：水体中沉积物对于重金属锌、铅的吸附热力学研究  
 课题编号：22ky14