



江苏省宜兴中学

Yixing High School Jiangsu Province

# 归因分析之时间变量曲线图

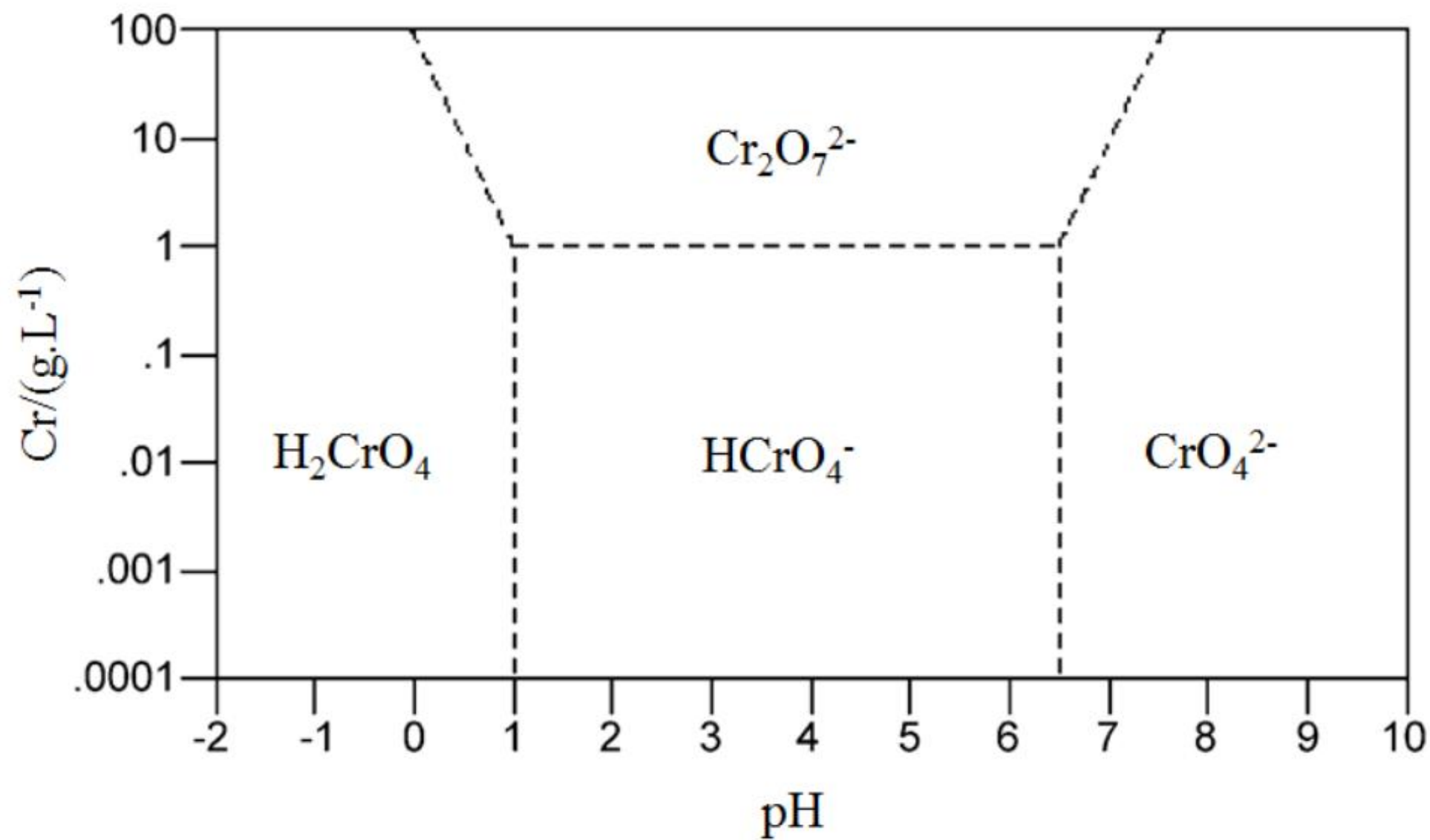
江苏省宜兴中学高三化学备课组

2026.3.12



## 【资料卡】含铬废水的危害

电镀含铬废水是六价铬污染的主要来源。研究发现，六价铬（例如 $\text{CrO}_4^{2-}$ ）具有高水溶性及迁移性，并且其结构与硫酸根（ $\text{SO}_4^{2-}$ ）相似，六价铬可以克服细胞渗透阻力，通过硫酸根的传输途径进入细胞内，导致细胞染色体畸变。与六价铬相比，三价铬在接近中性体系中（ $6.5 < \text{pH} < 11.5$ ）是以 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀的形式存在，不能迁移至细胞内，因此对人体危害较小。此外，三价铬是人体必需的微量金属元素，适量摄入三价铬有益于维持人体葡萄糖、胆固醇以及脂肪的新陈代谢。虽然三价铬对人体直接毒性相对较小，但是三价铬在自然界中有可能被氧化剂（锰氧化物、 $\text{Cl}_2$ 等）氧化为六价铬，将会对人类造成威胁。因此，我国与世界卫生组织均对总铬含量排放进行控制，最高不超过 $2\text{mg/L}$ 。



# 工业除铬技术分为两大类

**一类是无害化处理技术：**

**将六价铬还原为三价铬，然后在碱性条件下沉淀。**

如化学还原法、电凝法等。

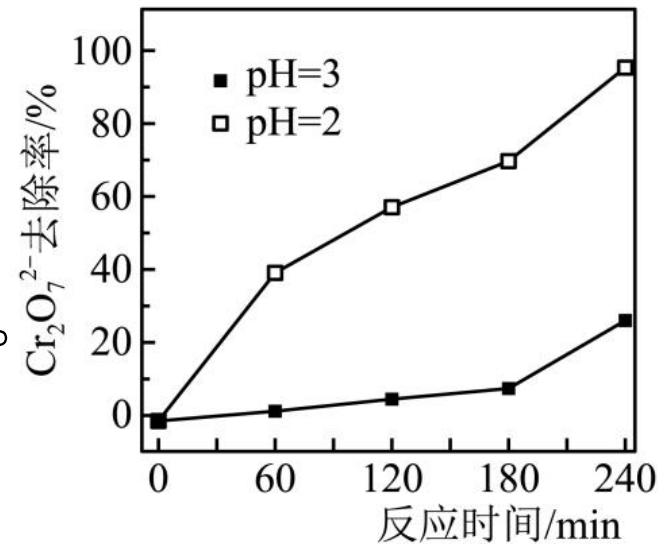
**另一类是资源化处理技术：**

**六价铬价态不发生变化，处理后可以实现六价铬的浓缩，**

比如膜分离法、离子交换法等。

此外，光催化法、吸附法以及生物法等也可以用于含铬废水处理。

【典例1】金属铁、铝可用于含铬(主要成份是 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ )酸性污水的处理。铝在含铬污水中将 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 还原为 $\text{Cr}^{3+}$ ，再调节pH生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀除去。用铝处理不同初始pH的酸性含铬污水， $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 去除率与反应时间的关系如图。



## 【思考与交流】

1.图中曲线，为什么 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 去除率随反应时间都在增大？

是持续性进行的一个实验

2.曲线的斜率表示什么？影响因素有哪些？

去除速率。斜率越大，速率越快。浓度、温度、催化剂、接触面积、构成原电池等

3.pH=2时，60min-240min去除速率先变慢后变快的原因？

减慢：浓度减小。变快：可能是反应放热，温度升高。

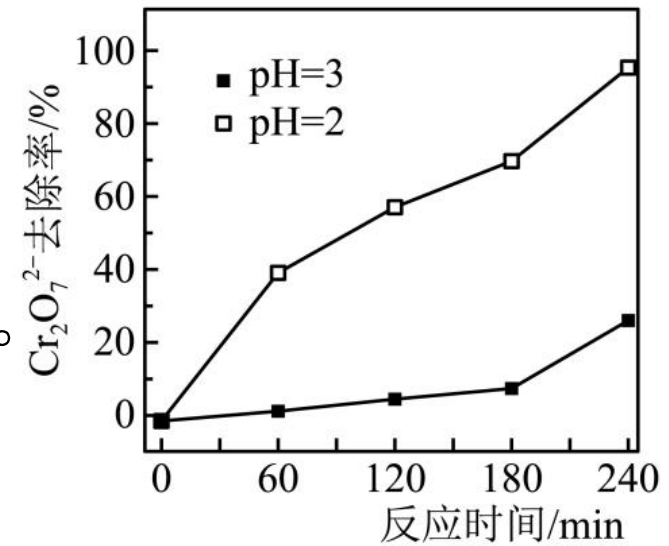
追问：60min-180min，反应不放热吗？速度为什么变慢？由此你想到180min后的速率变化的原因如何解析更好？

放热，温度也升高。但浓度的减小对速率的影响超过了温度升高对速率的影响。

180 min后浓度的减小对速率的影响弱于温度升高对速率的影响

【典例1】金属铁、铝可用于含铬(主要成份是 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ )酸性污水的处理。铝在含铬污水中将 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 还原为 $\text{Cr}^{3+}$ ,再调节pH生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀除去。用铝处理不同初始pH的酸性含铬污水,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 去除率与反应时间的关系如图。

### 【思考与交流】

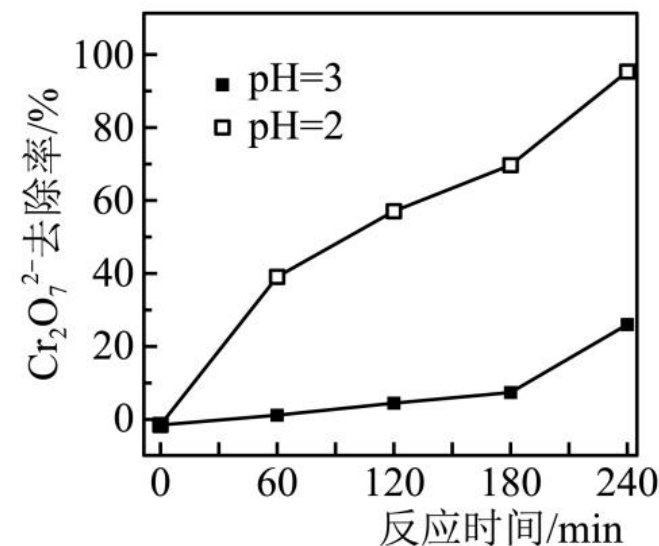


4.pH=3的那条曲线, 180min后去除速率加快, 是因为反应放热, 温度升高吗?

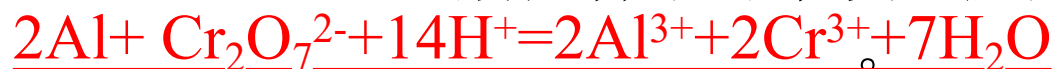
不是。180min前去除率很小, 说明反应很慢, 放热少, 温度升高不明显。

180min前Al表面的氧化膜没有完全溶解, 180min后溶解了氧化膜的Al与 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 反应

【典例1】金属铁、铝可用于含铬(主要成份是 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ )酸性污水的处理。铝在含铬污水中将 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 还原为 $\text{Cr}^{3+}$ ，再调节pH生成 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉淀除去。用铝处理不同初始pH的酸性含铬污水， $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 去除率与反应时间的关系如图。



(1) 铝处理酸性含铬污水发生反应的离子方程式为



(2) 铝处理初始pH=3的污水，前180min污水中 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的还原较慢，180min后变快，其原因是

180min前Al表面的氧化膜没有完全溶解，与 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 接触反应的铝较少，所以还原较慢；180min后Al表面的氧化膜完全溶解，与 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 反应的铝增多，所以还原变快。

# 熟悉解决究因问题一般思路

速率?  
平衡 (程度) ?  
性质?

明考点

02

寻证据

缓慢、迅速、  
相同时间;  
上升、下降、  
足够长时间

解题  
策略

01

读设问

03

04

优表述

答题  
模版

条件改变

过程性原因

直接原因

结论



# 建模1 时间变量 归因分析

同一曲线，随着时间推移，  
开始陈述反应过程，  
后来，速率？程度？性质？

时间  
变量

生成物  
的量

- ①起始阶段生成物逐渐增多
- ②达到最高点时表示该反应结束或达平衡状态
- ③若后来生成物**再减少**，则考虑生成物进一步被反应、与其他物质发生反应（**物质性质**）、平衡逆向移动

化学反  
应速率

- ①温度(反应热效应使温度升高还是降低)
- ②浓度(反应物的浓度减小，速率减慢)
- ③催化剂(生成物作为催化剂、催化剂活性改变)
- ④原电池(活泼性不同的两极材料及微电池多少)
- ⑤反应物间的接触面积(固体表面是否有氧化膜、**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**、**CaSO<sub>4</sub>**、**NH<sub>4</sub>Cl**、固体表面是否生成难溶固体覆盖阻止接触反应、气固接触生成固体覆盖阻止气体接触)

不同曲线，相同时间，  
速率问题居多

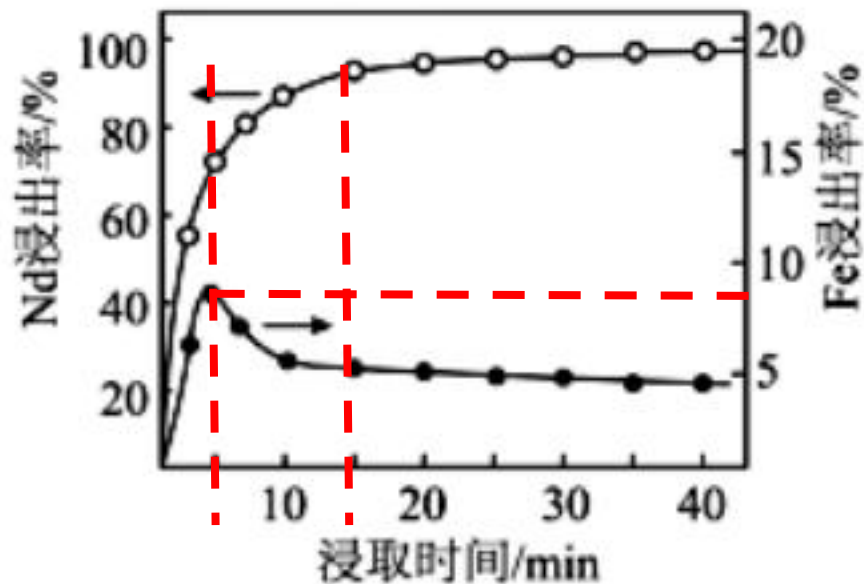
【真题再现】(2024 江苏 14 节选) 回收磁性合金钕铁硼( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ )可制备半导体材料铁酸铈和光学材料氧化钕。

(1) 钕铁硼在空气中焙烧转化为  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等(忽略硼的化合物),用  $0.4\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  盐酸酸浸后过滤得到  $\text{NdCl}_3$  溶液和含铁滤渣。

Nd、Fe 浸出率( $\frac{\text{浸出液中某元素的物质的量}}{\text{某元素的总物质的量}} \times 100\%$ )随浸

取时间变化如图所示。

生成物的量 (程度问题)



①含铁滤渣的主要成分为  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (填化学式)。

5-15分钟 钕的浸出率上升缓慢的原因?

②浸出初期 Fe 浸出率先上升后下降的原因是\_\_\_\_\_。

开始盐酸浓度较大,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  与盐酸反应, 浸出率上升

随着反应进行, 氢离子浓度减小, 生成的  $\text{Fe}^{3+}$  水解生成  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , 浸出率下降

【举题固法】水体中的  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 $\text{HCrO}_4^-$ 、 $\text{CrO}_4^{2-}$  是高毒性的重金属离子，可用 Cr(VI) 表示。处理含 Cr(VI) 废水的方法有沉淀法、还原法等。

(1) 钡盐沉淀法：已知水溶液中存在  $\text{H}_2\text{O} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightleftharpoons 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ 。向含 Cr(VI) 的酸性废水中加入钡盐，可生成难溶于水的  $\text{BaCrO}_4$  沉淀，其他条件一定，使用等物质的量的  $\text{BaCl}_2$  或  $\text{BaCO}_3$ ，反应足够长的时间，使用  $\text{BaCO}_3$  时 Cr(VI) 的沉铬率要优于使用  $\text{BaCl}_2$  的原因是\_\_\_\_\_平衡（程度问题）\_\_\_\_\_。

$\text{BaCO}_3$  与  $\text{H}^+$  反应，溶液中  $\text{H}^+$  浓度减小，上述平衡右移， $\text{CrO}_4^{2-}$  浓度增大，有利于 Cr(VI) 完全转化为  $\text{BaCrO}_4$  沉淀

(2) 纳米铁粉还原法：纳米铁粉可将水体中  $\text{Cr(VI)}$  还原为  $\text{Cr}^{3+}$ ，再通过调节溶液 pH，可使  $\text{Cr}^{3+}$  转化为  $\text{Cr(OH)}_3$  沉淀而被除去。

①在氮气气氛保护下，向一定量的  $\text{FeCl}_2$  溶液中逐滴加入一定量的  $\text{NaBH}_4$  溶液，可制得纳米铁粉。

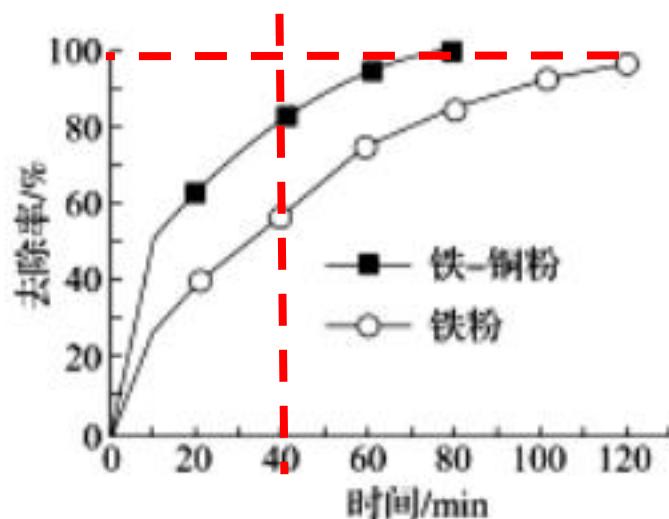
实验发现，其他条件相同，含铁的物质的量相同，用纳米铁粉和铁-铜粉分别处理  $\text{pH}=5$  的含  $\text{Cr(VI)}$

废水，废水中  $\text{Cr(VI)}$  的去除率随时间变化关系如图 1 所示，用铁-铜粉处理含  $\text{Cr(VI)}$  废水的效果更好，

原因是 Fe-Cu 原电池加快了还原重铬酸根的速率

同时生成  $\text{Fe}^{2+}$  浓度增大，加快还原速率

图 1



速率

影响因素?

(3) 亚硫酸氢钠-石灰乳还原沉淀法：向初始 pH 不等的几份酸性含铬(总浓度为  $0.20 \text{ mol/L}$ )废水中加入等量  $\text{NaHSO}_3$ ，将  $\text{Cr(VI)}$ 还原成  $\text{Cr(III)}$ ，再加入石灰乳可将  $\text{Cr(III)}$ 转化为  $\text{Cr(OH)}_3$ 沉淀。

①已知溶液中含铬物种浓度随 pH 的变化如图 2 所示，pH=4 时，溶液中主要含  $\text{Cr(VI)}$ 粒子与  $\text{NaHSO}_3$ 反应的离子方程式为  $3\text{HSO}_3^- + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 5\text{H}^+ = 3\text{SO}_4^{2-} + 2\text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$ 。

②废水中残留  $\text{Cr(VI)}$ 与反应时间的变化关系如图 3 所示，实际反应中，控制废水 pH 为 2.5 的原因是 pH 偏高， $\text{H}^+$ 浓度低，反应速率较慢；

pH 偏低， $\text{H}^+$ 浓度大， $\text{HSO}_3^-$ 易转化为  $\text{SO}_2$ 气体逸出， $\text{HSO}_3^-$ 浓度减小

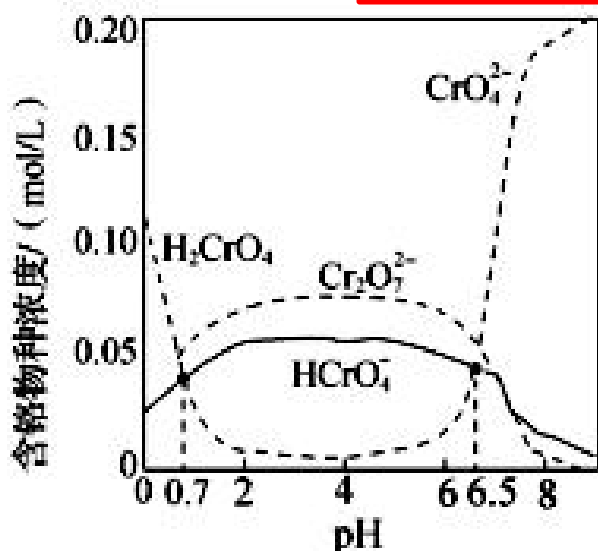


图 2

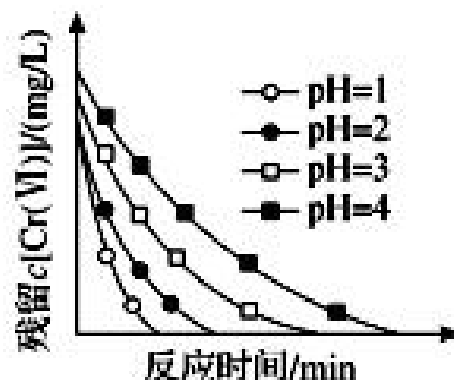
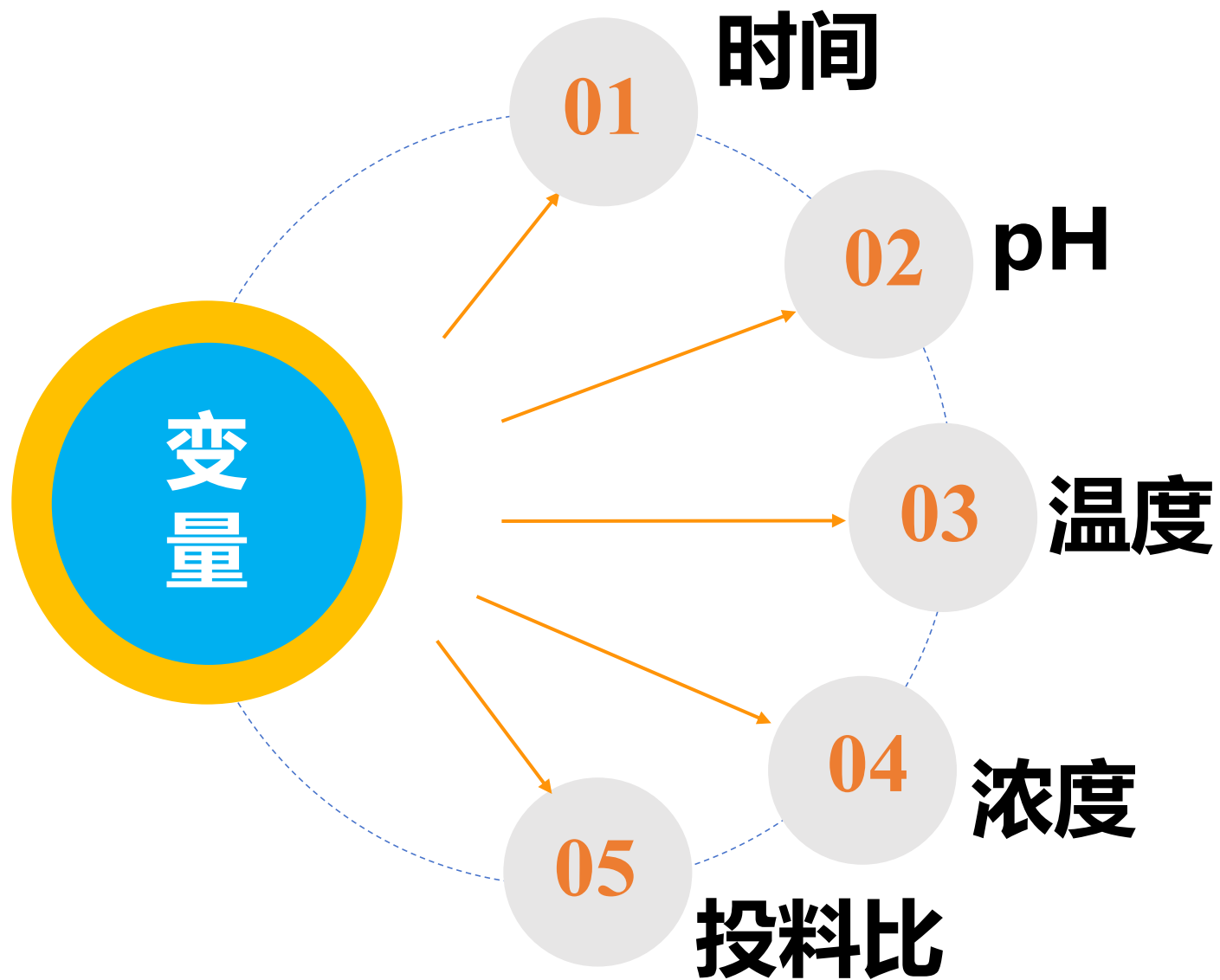


图 3

速率  $\longrightarrow$  影响因素?

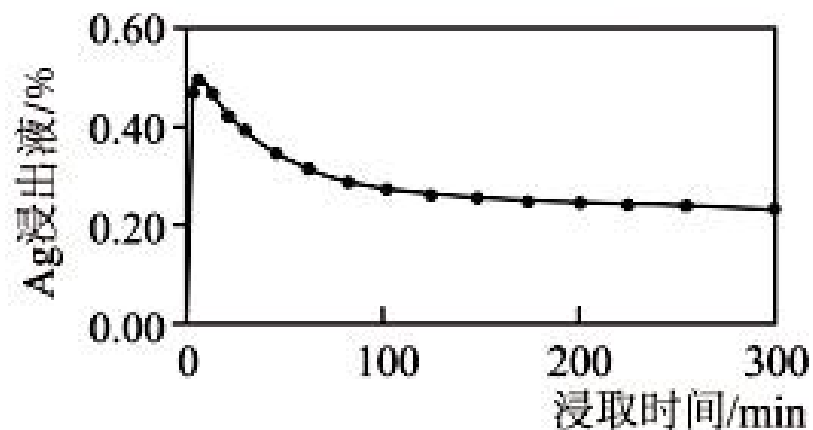
# 小结与展望



- ① 速率视角
- ② 程度视角
- ③ 性质视角

【举题固法 1】实验室可用多种方法分离铜阳极泥(主要成分为  $\text{Cu}_2\text{S}$ 、 $\text{AgCl}$  等)中的  $\text{Ag}$ 。

(1) 硫代硫酸盐法浸出法。用足量的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  与  $\text{NaOH}$  混合液浸出阳极泥，加热、搅拌。定时取样检测，测得  $\text{Ag}$  浸出率如图所示。



	$K_{sp}$
$\text{Ag}_2\text{S}$	$6.3 \times 10^{-50}$
$\text{Cu}_2\text{S}$	$2 \times 10^{-47}$
$\text{AgCl}$	$1.5 \times 10^{-10}$
$\text{AgOH}$	$1.5 \times 10^{-8}$

① 浸出时， $\text{AgCl}$  与  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  发生反应  $\text{AgCl}(s) + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}(\text{aq}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq})$ ；

已知： $K_{sp}(\text{AgCl}) = 1.8 \times 10^{-10}$ ， $\text{Ag}^+ + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$   $K = 2.8 \times 10^{13}$

则该反应的平衡常数为  $5.04 \times 10^3$

反应初始阶段  $\text{AgCl}$  转化  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ ，因此浸出速率上升，

一段时间后  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$  与  $\text{Cu}_2\text{S}$  反应生成难溶  $\text{Ag}_2\text{S}$  沉淀，因此浸出速率下降

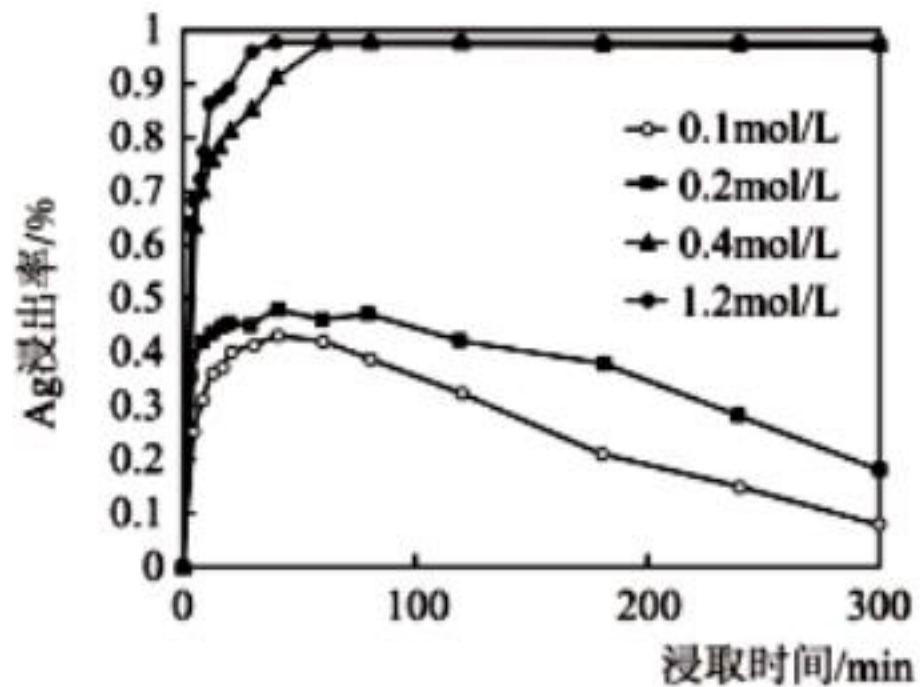
② 浸出过程中  $\text{Ag}$  浸出率先上升后下降的原因是 \_\_\_\_\_

(2)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  也可用于浸出阳极泥中的  $\text{Ag}$ 。碱性环境下,  $\text{SO}_3^{2-}$  在溶液中能与  $\text{Ag}^+$  形成较为稳定的

$[\text{Ag}(\text{SO}_3)_2]^{2-}$ 。其他条件相同,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  溶液初始浓度  $\text{Ag}$  浸出率的关系如图所示。初始浓度越低, 随

较低初始浓度下,  $\text{SO}_3^{2-}$  被  $\text{O}_2$  氧化,  $\text{SO}_3^{2-}$  浓度下降, 溶解平衡逆向移动, 导致  $\text{AgCl}$  再析出。

着反应进行  $\text{Ag}$  浸出率下降程度越大原因可能是



生成物的量 (程度问题)



减少, 发生的反应是?