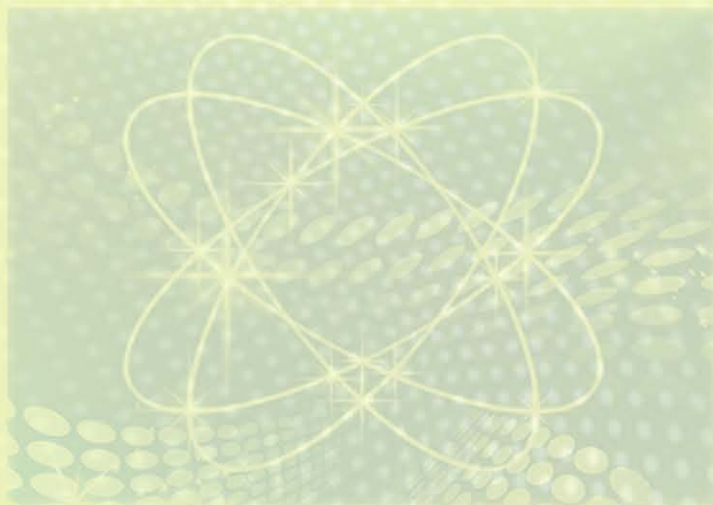


无机化学

王婷等 主编



山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学 / 王婷等主编. — 济南 : 山东科学技术出版社, 2019.8

ISBN 978-7-5331-9576-2

I . ①无… II . ①王… III . ①无机化学—职业教育—教材 IV . ① O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 169839 号

主 审 郭 利

主 编 王 婷 李嘉霖 阎汝强

副主编 孙亚南 顾 姚 刘兆军 刘艳蕊

无机化学

WUJI HUAXUE

责任编辑: 邱赛琳

装帧设计: 孙 佳

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出 版 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市市中区英雄山路 189 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdcbem.com

发 行 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市市中区英雄山路 189 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印 刷 者: 山东省东营市新华印刷厂

地址: 东营市广饶县大王镇华泰工业园

邮编: 257300 电话: (0546) 6441693

规格: 16 开 (184mm × 260mm)

印张: 9.75 字数: 215 千

版次: 2019 年 8 月第 1 版 2019 年 8 月第 1 次印刷

定价: 28.00 元

前言

无机化学是高职高专化工专业的一门重要专业基础课，也是石油、环境、材料、冶金、地质、轻纺、食品和生物医药等专业的一门化学基础课。无机化学是一门实践性很强的学科，对培养化工及相关专业学生的动手能力、创新能力和提高综合素质起着举足轻重的作用。

随着我国社会和经济的发展，产业升级和经济结构调整不断加快，职业教育为促进新时代经济社会发展和提高国家竞争力的重要作用越来越凸显。根据国家职业教育改革的要求，以高等职业教育的人才培养目标为依据，从职业院校学生的特点和认知规律出发，由具有多年专业教学实践经验的骨干教师组成教材编写组，我们编写了本套教材，以积极适应高等职业教育专业教学改革的不断深入。

在教材的编写过程中，我们遵循“实用为准，够用为度”的编写原则，精选教材内容。对化学理论部分突出基本概念、基本知识和基本技能；对化学元素部分，在体现元素周期系的原则下，突出典型的元素及化合物知识。在保证科学性和系统性的原则下，文字叙述尽量深入浅出、通俗易懂。在突出职业教育特点的同时，重视基础、突出应用，力求提高学生的学习能力及文化素养，为后续专业课程学习打下良好的基础。

本教材以“工学结合，理实一体”为编写宗旨，采用适合职业教育特点的“项目引导、任务驱动”教材体例，易教易学。以工作过程为导向，打破传统的知识体系，将理论与实践融合为一体，体现“学中做”和“做中学”。教材内容以“项目—任务”的方式呈现，通过案例载体来展开，以任务的形式进行项目落实，每个学习任务包含若干活动环节，引导性问题设计体现以学生为主体，学习目标体现对学生认知能力、合作能力、创新能力和综合职业能力的培养。

本教材既可作为高职高专院校化工及相关专业的教学用书，也可供五年制高等职业教

育教学使用。

本教材由滨州职业学院王婷、滨州医学院李嘉霖、阳信职业中专阎汝强担任主编，山东工业职业学院孙亚南、滨州技术学院顾瑶、河口职业中专刘兆军、潍坊工程职业学院刘艳蕊担任副主编，滨州职业学院李会、苗志芳、郝文静以及山东工业职业学院刘淑玲、李笑参与了编写。全书由郭利负责主审，王婷负责统稿。

尽管各位编者做了最大努力，在编写时力求开拓创新，但由于水平有限，书中难免存在不足和疏漏之处，恳请专家及读者不吝批评指正，深表感谢。

编者

目录

CONTENTS

项目一 化学反应速率与化学平衡

任务一 化学反应速率的测定 2

任务二 化学平衡的控制 10

项目二 酸碱平衡

任务一 醋酸电离度与电离常数的测定 19

任务二 酸碱平衡的控制 25

项目三 沉淀—溶解平衡

任务一 沉淀平衡的控制 32

任务二 沉淀的生成与溶解 37

项目四 氧化还原平衡

任务一 氧化还原反应 43

任务二 原电池与电极电势 48

项目五 原子结构与元素周期律

任务 认识原子结构模型 60

项目六 分子结构

任务一 认识离子键 70

任务二 认识共价键 76

任务三 认识分子间作用力 85

项目七 晶体结构

任务 氢氧化铝的制备 94

项目八 配位平衡

任务一 认识配位化合物 105

任务二 配位平衡的控制 110

项目九 金属元素

任务 氢氧化铝两性探究 115

项目十 非金属元素

任务 过氧化氢的鉴定与性质 132



项目一

化学反应速率与化学平衡



项目概述

化工生产中，产品的生产周期、产品原料的转化率都是企业极为关注的问题。从化学的角度来探讨这些问题，产品的生产周期涉及了化学反应的速率，而原料的转化率涉及了化学平衡的移动。力争在单位时间内获得较高的产量，同时又要控制原料的消耗，就要综合考虑上述两个因素。该项目从反应速率及化学平衡入手，探讨不同条件对两者的影响，让学生了解如何在生产中优化生产条件，对生产起指导意义。



项目目标

- 了解化学反应速率定义；
- 能够计算化学平衡常数；
- 了解并控制不同因素对化学反应速率的影响；
- 了解并控制不同因素对化学平衡的影响。

任务一 化学反应速率的测定



任务描述

铁制品生锈、橡胶轮胎老化，生活中处处存在着化学反应。在工业生产中，化学反应的快慢决定着产品的生产周期。在化学中用什么来表征化学反应的快慢呢？如何测定化学反应的速率呢？实践中，有时我们希望化学反应进行得快一些，有时又希望反应进行得慢一些。那么，哪些因素能对化学反应的速率产生影响呢？在了解不同因素对化学反应速率的影响的基础上，学会在生产中合理控制生产条件。



任务目标

1. 通过一定方式测定化学反应的速率；
2. 掌握不同条件对反应速率的影响，进而合理控制化学反应的条件；
3. 会用本节内容解决生产生活中遇到的相关问题。



任务分析

化学反应进行的快慢在一定程度上决定着化工产品的产量。课堂上利用可得实验材料，对不同类型的反应进行考察，测定其化学反应速率，进而掌握其含义。讨论归纳可能会对化学反应速率产生影响的因素，并通过实验考察不同条件的改变对反应速率产生的影响。



任务实施

一、任务准备

仪器：试管、试管架、滴管和滴瓶、量筒、烧杯、秒表。

药品：0.01 mol/L KMnO_4 溶液、0.1 mol/L $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、0.2 mol/L $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液、Fe

条、Mg 条、0.01 mol/L HCl 溶液、0.01 mol/L NaOH 溶液、5% H_2O_2 溶液、 MnO_2 固体、 FeCl_3 溶液、蒸馏水。

二、任务过程

1. 任务引入

从爆炸反应、铁生锈、食物变质、煤和石油的生成等照片与视频来看，化学反应进行的有快有慢。在物理中，物体运动的快慢通常用速率来表示。同样，化学反应进行的快慢可以用化学反应速率来表示。物体的运动速率是单位时间内产生的路程，那化学反应速率又该用单位时间内哪个量的变化来表示呢？

学生讨论后可得出_____等。

2. 验证实验

[实验 1] 取 Fe 条置于盛有 0.01 mol/L HCl 溶液的烧杯中，观察实验现象，称量反应前后烧杯的质量变化。

[实验 2] 将 0.01 mol/L KMnO_4 溶液倒入盛有 0.1 mol/L $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液的烧杯中，观察实验现象，称量反应前后烧杯的质量变化。

[实验 3] 将 0.01 mol/L HCl 溶液倒入盛有 0.1 mol/L NaOH 溶液的烧杯中，观察实验现象，称量反应前后烧杯的质量变化。

表 1-1-1 验证实验现象记录

实验组别	实验现象	质量变化	变化量
实验 1			
实验 2			
实验 3			
结论（可用来表征反应速率的变化量）			



特别提示

有些化学反应的过程中没有产生质量或颜色的变化，也许会产生体积的改变，也许从外观上没有任何表征。但随着化学反应的进行，反应物及生成物的浓度一直在改变，且浓度的变化与质量、颜色及体积等的改变是同步的。

3. 化学反应速率的测定

化学反应是严格按照化学计量比进行的。请同学们尝试利用外观可表征的量，根据现有的实验材料设计实验方案，简单测定化学反应的速率。

[方案1] KMnO_4 与 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 反应褪色测定

将 $0.01 \text{ mol/L KMnO}_4$ 溶液倒入盛有 $0.1 \text{ mol/L H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液的烧杯中，记录溶液褪色的时间。

[方案2] Fe 与 HCl 反应质量减少测定

取 Fe 条置于盛有 0.01 mol/L HCl 溶液的烧杯中，待溶液中不再出现气泡，记录时间。

表 1-1-2 化学反应速率的测定

实验方案	表观量的变化	浓度的变化	变化时间	化学反应速率
方案1				
方案2				
结论				



特别提示

一般来说，化学反应速率随时间而发生变化，不同时间反应速率不同。所以，通常应用瞬时速率表示反应在 t 时的反应速率。化学反应刚开始一瞬间的速率称为反应的初始速率。上述化学反应速率是平均速率，而不是瞬时速率。

反应进行过程中，很难计算溶液中各种反应物的瞬时浓度，因此在实验中保证一个反应物过量，比较容易计算。对于方案1与2，需要考虑哪个反应物过量比较合适。

化学反应速率是标量，无正负号。

由于在反应中固体和纯液体的浓度是恒定不变的，因此对于有纯液体或固体参加的反应一般不用纯液体或固体来表示化学反应速率。

4. 探究影响化学反应速率的因素

结合已有知识及生活中常见的一些化学现象，推测可能会对化学反应速率产生影响的因素_____。

选择合适的实验用品，设计实验，探究某一条件的改变对化学反应速率的影响。

[实验1] 取 Fe 条与 Mg 条分别置于盛有 0.01 mol/L HCl 溶液的烧杯中，观察并记录实验现象。

[实验2] 将 $0.01 \text{ mol/L KMnO}_4$ 溶液分别倒入盛有 $0.1 \text{ mol/L H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液与 0.2 mol/L

$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液的烧杯中，观察实验现象，记录褪色时间。

[实验 3] 将 $0.01 \text{ mol/L KMnO}_4$ 溶液分别加入常温下的与在酒精灯上加热 3 分钟的 $0.1 \text{ mol/L H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液中，观察实验现象，记录褪色时间。

[实验 4] 取三支试管，均加入 $2 \text{ mL } 5\%$ 的 H_2O_2 溶液，向第二支试管中加入少量 MnO_2 ，第三支试管中加入 3 滴 FeCl_3 溶液，观察实验现象。

表 1-1-3 条件改变对化学反应速率的影响

实验组别	实验现象	影响因素及效果
实验 1: 不同反应物		
实验 2: 不同浓度		
实验 3: 不同温度		
实验 4: 不同催化剂		
结论		



特别提示

为了保证实验的合理性，在进行实验设计时，只考虑一个条件是变量，其余条件保持不变。



想一想

压强对反应速率的影响为什么可以归结为浓度对反应速率的影响？

三、任务检测

任务完成后，对学生完成任务情况进行综合评价，要明确指出学生在完成学习任务过程中出现的问题，以便学生在今后的学习过程中不断改进，继续进步。



任务评价

表 1-1-4 任务评价表

评价项目	评价要素
变化量的确定	是否能准确分析出反应过程中的变化量并与浓度相关联
过量反应物的选择及拿捏	选择过量反应物及过量程度是否合适
化学方程式的书写	书写是否正确
化学反应速率的计算	能否通过反应时间计算平均化学反应速率
安全文明操作	任务实施过程中是否有违反安全文明操作的现象



相关知识

一、化学反应速率

1. 概念

化学反应速率是指化学反应进行的快慢，通常分为平均反应速率与瞬时反应速率两种。

2. 平均反应速率

平均反应速率以单位时间内反应物浓度的减少量或生成物浓度的增加量来表示，用 \bar{v} 表示。对于生成物，随着反应的进行，生成物的浓度增加， $\bar{v} = \Delta c / \Delta t$ ；对于反应物，随着反应的进行，反应物的浓度减少， $\bar{v} = -\Delta c / \Delta t$ 。浓度常用单位为 mol/L，而时间单位有 s、min、h 等，视反应快慢不同，反应速率的单位可用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

对于反应 $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ 来说，

$$\bar{v}(A) = \Delta c(A) / \Delta t$$

$$\bar{v}(B) = \Delta c(B) / \Delta t$$

$$\bar{v}(C) = \Delta c(C) / \Delta t$$

$$\bar{v}(D) = \Delta c(D) / \Delta t$$

且 $\bar{v}(A) : \bar{v}(B) : \bar{v}(C) : \bar{v}(D) = a : b : c : d$ 。

3. 瞬时反应速率

对于某一化学反应，反应开始时反应物的浓度较大，反应进行得快，随着反应的进行，反应物浓度减小，反应速率也随之变慢。在实际工作中，通常测量反应的瞬时反应速率。也就是 $c(t) - t$ 曲线中，时刻 t 时对应曲线的斜率。对于一般反应，其瞬时反应速率可以表

示为 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{dc}{dt}$ 。

二、有效碰撞

化学反应的过程，是反应物分子中的原子重新组合成生成物分子的过程。反应物分子中的原子想要重新组合成生成物的分子，必须先获得自由，即：反应物分子中的化学键必须断裂。化学键的断裂是通过分子（或离子）间的相互碰撞来实现的，并非每次碰撞都能使化学键断裂，即并非每次碰撞都能发生化学反应，能够发生化学反应的碰撞是很少的。有效碰撞是指能够发生化学反应的碰撞。在化学反应中，反应物分子不断发生碰撞，在千百万次碰撞中，大多数碰撞不发生反应，只有少数分子的碰撞才能发生化学反应，能发生有效碰撞的分子是活化分子。而活化分子的碰撞也不一定都能发生有效碰撞。这种碰撞需要满足两个条件：（1）碰撞的分子具有足够的能量；（2）碰撞有合适的取向。利用有效碰撞理论可以有效解释条件的改变对反应速率的影响。

三、反应的活化能

活化能是分子从常态转变为能发生化学反应的活化态所需的能量，用 E_a 来表示。活化能可以被理解为一个化学反应的发生所需克服的能量障碍，它可以反映化学反应发生的难易程度。化学反应速率与活化能的大小有关，不同的反应具有不同的活化能，活化能越低，活化分子数就越多，化学反应速率越快。

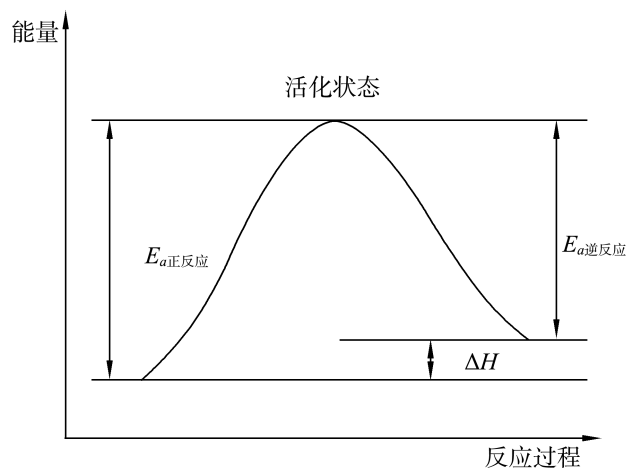


图 1-1-1 反应的活化能

四、影响化学反应速率的因素

化学反应速率首先与反应物的性质有关，即与反应所需活化能有关，此谓内因。例如：在相同条件下， F_2 与 H_2 在暗处就能发生爆炸（反应速率非常大）； Cl_2 与 H_2 在光照条件下会发生爆炸（反应速率大）； Br_2 与 H_2 在加热条件下才能发生反应（反应速率较大）； I_2 与 H_2 在较高温度时才能发生反应，同时生成的 HI 又分解（反应速率较小）。

很多外界条件，如浓度、温度、压强、催化剂，能够影响化学反应的速率。如果反应在溶液中进行，溶剂的性质和用量也会影响化学反应速率。除此之外，光、激光、反应物颗粒大小、反应物之间的接触面积和反应物状态、X 射线、 γ 射线等也会影响化学反应速率。

1. 浓度

活化分子的数目和反应物的浓度成正比，当其他条件一致时，增大反应物的浓度就增加了单位体积的活化分子的数目，从而增加有效碰撞，反应速率增大。因此，增大反应物的浓度，可以使化学反应的速率增大。

2. 温度

升高温度，反应物分子获得能量，一部分原来能量较低的分子变成活化分子，增加了活化分子的百分数，使得有效碰撞次数增多，反应速率增大。同时由于温度升高，分子运动速率加快，单位时间内反应物分子碰撞次数增多，反应也相应加快。大约温度每升高 $10\text{ }^\circ\text{C}$ ，反应速率加快 2~4 倍。

3. 压强

对于有气体参与的化学反应，其他条件不变时，增大压强，即体积减小，反应物浓度增大，单位体积内活化分子数增多，单位时间内有效碰撞次数增多，反应速率加快。若体积不变，加压（加入不参加此化学反应的气体），反应速率不变。因为浓度不变，单位体积内活化分子数不变。但在体积不变的情况下，加入反应物，同样是加压，增加反应物浓度，速率增加。若体积可变，恒压（加入不参加此化学反应的气体），反应速率减小。因为体积增大，反应物的物质的量不变，反应物的浓度减小，单位体积内活化分子数减小。

4. 催化剂

使用正催化剂能够降低反应所需活化能，使更多的反应物分子成为活化分子，大大提高了单位体积内反应物分子的百分数，从而成千上万倍地增大了反应物速率。负催化剂反之，例如在橡胶制品中加入防老剂减缓老化。催化剂对加快反应速率的作用很明显，且具有选择性，就是特定的催化剂只能催化特定的反应，如 $KClO_3$ 分解制取 O_2 时， MnO_2 是催化剂。在生产中，一种新型催化剂的出现，能引起生产的巨大变革。

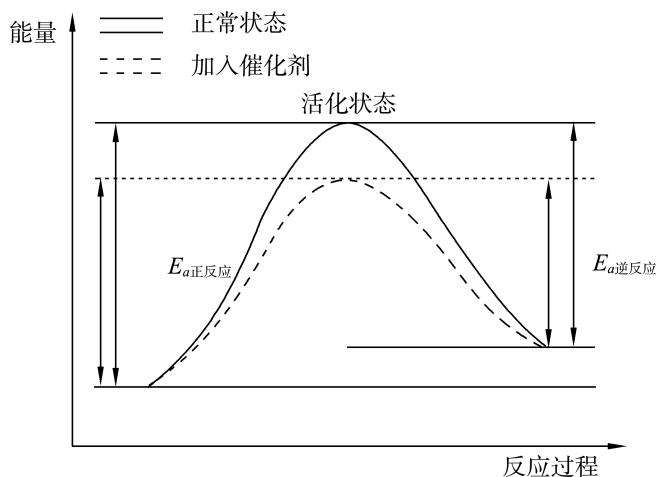


图 1-1-2 加入催化剂后反应的活化能

5. 其他因素

增大固体的表面积，可增大反应速率，在生产中常采取粉碎或搅拌来增大表面积。光照也可增大某些反应的速率；此外，超声波、电磁波、溶剂等对反应速率也有影响。

溶剂对反应速率的影响是一个极其复杂的问题，一般，溶剂的极性对反应速率有影响。如果生成物的极性比反应物大，则在极性溶剂中反应速率比较大；反之，如果反应物的极性比生成物大，则在极性溶剂中反应速率必变小。溶剂的介电常数对于有离子参加的反应有影响。因为溶剂的介电常数越大，离子间的引力越弱，所以介电常数比较大的溶剂常不利于离子间的化合反应。反应物与生成物在溶液中都能或多或少地形成溶剂化物，这些溶剂化物若与任一种反应分子生成不稳定的中间化合物而使活化能降低，则可以使反应速率加快。如果溶剂分子与反应物生成比较稳定的化合物，则一般会使活化能升高，进而减慢反应速率。如果活化络合物溶剂化后的能量降低，因而降低了活化能，就会使反应速率加快。当金属与电解质溶液反应时，如果金属中含有杂质，就会形成原电池，使反应速率增加，这就是粗锌比纯锌与酸的反应速率更快的原因。

五、测定化学反应速率的常见方法

测量一个化学反应的速率，需要测定某一时间附近单位时间内某物质浓度的改变量。但对于正在进行的化学反应来说，用一般的分析方法测定体系内各物质的浓度存在困难。现在广泛使用的方法是测量物质的性质，如压力、电导率、吸光度等，通过它们与物质浓度的关系实现连续测定。通过电化学方法或者分光光度法可以对反应物的浓度进行监测。在计算的过程中，可将反应时间 t 作为横坐标，电化学响应值 E 或吸光度 A 作为纵坐标，做出 $E-t$ 、 $A-t$ 曲线。时间 t 时的反应速率为 t 对应曲线响应值处切线的斜率。

任务拓展

浓度、温度、催化剂都会对化学反应速率产生影响。设计实验比较几种条件的改变对化学反应速率影响程度的大小。

任务二 化学平衡的控制



任务描述

工业合成氨的反应 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \xrightleftharpoons[\text{高温、高压}]{\text{催化剂}} 2\text{NH}_3$ ，是一种典型的可逆反应，反应永远不可能进行完全。在一定条件下，反应会达到一种平衡状态，此时反应向右进行的速率等于向左进行的速率，达到的平衡为化学平衡。体系内 N_2 、 H_2 、 NH_3 三者共存，且浓度相对不变。在工业生产中，要控制生产条件尽可能使反应向右进行的程度大一些， NH_3 的产率高一些。在实际生产中，该反应一般选用 $500\text{ }^\circ\text{C}$ ， $20 \sim 50\text{ MPa}$ ，以铁触媒做催化剂的生产条件。

上一任务完成后，我们可以从化学反应速率的角度解释该生产条件的选择，高温、高压及催化剂均有利于反应迅速进行，那这些条件对化学平衡的移动又有什么效果呢？对可逆反应的反应程度产生何种影响呢？

利用现有条件，通过模拟、实验、推演来探究不同因素改变对化学平衡的影响。



任务目标

1. 理解可逆反应；
2. 了解化学平衡的特征；
3. 了解哪些因素对化学平衡产生影响并学会控制平衡。



任务分析

可逆反应是指在同一条件下，既能向正反应方向进行，同时又能向逆反应方向进行的反应，在之前的学习中我们接触过这一反应类型。这类反应不能进行到底，无论进行多长时间，反应物都不可能 100% 全部转化为生成物。一定条件下，当反应进行到一定程度时，正反应速率等于逆反应速率，可逆反应会达到一种平衡状态。此时反应依旧在进行，但反应物在消耗的同时不断生成，而生成物在生成的同时不断消耗，因此，反应中各项物质的浓度不再发生改变，在外观上看起来就像停止一般。

对于可逆反应来说，无法在外观上看出反应在达到平衡时体系内部的动态，可以利用过量的糖在水中的溶解平衡，类比反应在达到平衡时的动态平衡。这个过程跟化学中的可逆反应进行到一定程度时所体现的外观特征相似，通过对这个过程观察，总结化学反应平衡的特点，并通过不同条件的改变对 Co^{2+} 与 Cl^- 结合、 CrO_4^{2-} — $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 转化产生的影响，探讨各因素如何对反应平衡产生影响。



任务实施

一、任务准备

1. 资料

白砂糖的主要成分为蔗糖结晶。蔗糖有甜味，无气味，极易溶于水，其溶解度随温度的升高而增大，溶于水后不导电。蔗糖在不同温度下的溶解度如下表：

表 1-2-1 蔗糖在不同温度下的溶解度

温度/℃	20	40	60	80	100
溶解度/g	203.9	238.1	287.3	362.1	487.2

2. 学生自主操作

取 100 g 白砂糖溶于 20 mL 水中，观察并记录现象。过 24 h 后，观察并记录现象。

现象：_____；

根据以上现象结合资料，可推出：

(1) 当刚将蔗糖加入水中时，只存在蔗糖晶体的_____。