

52th ICHO 预备题中文翻译

ICHO 预备题中文翻译组

February 1, 2020

翻译说明

很高兴可以为大家提供第 52 届 IChO 预备题的中文翻译稿，该译稿基于 2020 年 1 月 31 日发布的原版第一版，我们在翻译过程中已尽可能仔细地审阅过试题（也修正了一些显而易见的错误），但仍可能存在一些难以发现的问题。限于时间与精力，我们不太可能会继续更新新的翻译版本。为确保题目的正确性，请读者自行访问官方网站，查看最新的官方勘误。

官方网站：<https://icho2020.tubitak.gov.tr/icho-2020-hazirlik-sorulari>

本译稿采用知识共享署名-非商业性使用-相同方式共享 3.0 中国大陆许可协议进行许可。全体译稿作者保留追究此协议及相关法律许可内的一切权利。

翻译人员名单（按拼音顺序排列）

翻译：

abc	清华大学
efg	北京大学

图片：

abc	清华大学
efg	北京大学

校对：

abc	清华大学
efg	北京大学

排版：

abc	清华大学
efg	北京大学
L ^A T _E X	

前言

我们非常高兴为将于 2020 年在土耳其伊斯坦布尔举行的第 52 届国际化学奥林匹克竞赛提供预备题。我们准备了这些问题，旨在促进参与者的培训和准备。我们精心选择了问题的内容，以涵盖现代化学和经典化学中可能遇到的一系列具有挑战性的主题。这些问题可以通过应用高中化学的基本原理以及理论部分的 6 个高级难度主题和实践部分的 3 个高级难度主题来解决。这些高级主题明确列在“高级难度主题”下，并且在试题中演示了它们的应用。我们希望参与者熟悉这些高级主题。

本手册中列出的问题包括 25 个理论试题和 8 个实验试题。答案将在 2020 年 3 月 1 日之前通过电子邮件发送到每个国家的首席指导官，并在 2020 年 5 月 15 日之前在我们的 IChO 2020 网站上发布。我们欢迎您对 icho2020@tubitak.gov.tr 提出任何意见，建议，更正或疑问。

国际化学奥林匹克提供了一个很好的机会，激发年轻一代从事基础科学事业，并对公众对科学尤其是化学的态度产生积极影响。我们希望您会喜欢解决这些问题，并期待与您在 7 月的土耳其伊斯坦布尔见面。

致谢

我要感谢所有作者为筹备问题做出的奉献和努力，以及国际指导委员会成员的宝贵意见和建议，深表感谢。我们还高度赞赏土耳其科学技术研究委员会（TUBITAK）与伊斯坦布尔科技大学（ITU）理学院合作，为 IChO 2020 之前和期间的所有组织工作提供便利。

代表科学委员会

Dr. Arif DASTAN

目录

作者	v
物理常数与方程	vi
元素周期表	vii
^1H NMR 化学位移	viii
典型的耦合常数	ix
^{13}C NMR 化学位移	x
红外频率吸收表	xi
高级难点	xiii
理论试题	1
第 1 题 丁二烯的 π 电子体系	1
第 15 题 盐中的钠化合物	2
第 25 题 分光光度法测定抗组胺药	3
实验试题	4

作者

ALANYALIOĞLU, Murat, *Atatürk University*
ARSLAN, Yasin, *Burdur Mehmet Akif Ersoy University*
AYDOĞAN, Abdullah, *İstanbul Technical University*
BOZKAYA, Uğur, *Hacettepe University*
BURAT, Ayfer Kalkan, *İstanbul Technical University*
DAĞ, Ömer, *Bilkent University*
DAŞTAN, Arif, *Atatürk University (Chair of Scientific Committee)*
ELTUĞRAL, Nurettin, *Karabük University*
GÖLCÜ, Aysegül, *İstanbul Technical University*
KANBUR, Yasin, *Karabük University*
KILIÇ, Hamdullah, *Atatürk University*
METİN, Önder, *Koç University*
SARAÇOĞLU, Nurullah, *Atatürk University*
TÜRKMEN, Yunus Emre, *Bilkent University*
ÜNLÜ, Caner, *İstanbul Technical University*
YILMAZ, İsmail, *İstanbul Technical University*

编辑:

SARAÇOĞLU, Nurullah, *Atatürk University*

物理常数与方程

Avogadro 常数: $N_A = 6.0221 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Boltzmann 常数: $k_B = 1.3807 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

普适气体常数: $R = 8.3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 0.08205 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

光速: $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Planck 常数: $h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$

Faraday 常数: $F = 9.6485 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$

电子质量: $m_e = 9.10938215 \times 10^{-31} \text{ kg}$

标准气压: $P = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

大气压: $P_{\text{atm}} = 1.01325^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr}$

摄氏零度: 273.15 K

$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$; $1 \text{ } = 10^{-10} \text{ m}$; $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$

$1 \text{ aum} = 1.66053904 \times 10^{-27} \text{ kg}$

电子电荷: $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

理想气体方程: $pV = nRT$

焓: $H = U + pV$

Gibbs 自由能: $G = H - TS$

$$\Delta G = \Delta G^\ominus + RT \ln Q$$

$$\Delta G^\ominus = -RT \ln K = -nFE_{\text{cell}}^\ominus$$

熵变: $\Delta S = \frac{q_{\text{rev}}}{T}$, 其中 q_{rev} 是可逆过程的热

$$\Delta S = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ (理想气体绝热膨胀)}$$

Nernst 方程: $E = E^\ominus + \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_{\text{ox}}}{c_{\text{red}}}$

光子能量: $E = \frac{hc}{\lambda}$

速率方程

零级: $[A] = [A]_0 - kt$

一级: $\ln[A] = \ln[A]_0 - kt$

二级: $\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$

Arrhenius 方程: $k = Ae^{-E_a/RT}$

线性回归: $y = mx + n$

标准差: $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$

Lambert-Beer 方程: $A = \epsilon lc$

元素周期表

Table

^1H NMR 化学位移

111

典型的耦合常数

111

^{13}C NMR 化学位移

111

红外频率吸收表

官能团	振动类型	吸收频率 (cm ⁻¹)	强度
醇			
O-H	(伸缩, H-键合的)	3600-3200	强, 宽
	(伸缩, 自由的)	3700-3500	强, 尖
C-O	(伸缩)	1150-1050	强
烷烃			
C-H	伸缩	3000-2850	强
	弯曲	1480-1350	可变的
烯烃			
=C-H	伸缩	3100-3010	中等
	弯曲	1000-675	强
C=C	伸缩	1680-1620	可变的
烷基卤			
C-F	伸缩	1400-1000	强
C-Cl	伸缩	800-600	强
C-Br	伸缩	600-500	强
C-I	伸缩	500	强
炔烃			
C-H	伸缩	3300	强, 尖
C C	伸缩	2260-2100	可变的, 对称炔没有
胺			
N-H	伸缩	3500-3300	伯胺有两个带, 中等 仲胺有一个带, 非常弱
C-N	伸缩	1360-1080	中等-弱
N-H	弯曲	1600	中等
芳香的			
C-H	伸缩	3100-3000	中等
C=C	伸缩	1600-1400	中等-弱, 多个带
羰基			
C=O	伸缩	1820-1670	强
羧酸			
C=O	伸缩	1725-1700	强
O-H	伸缩	3300-2500	强, 非常宽
C-O	伸缩	1320-1210	强
醛			
C=O	伸缩	1740-1720	强
C-H	伸缩	2850-2820 & 2750-2720	中等, 两个峰
酰胺			
C=O	伸缩	1690-1640	强
N-H	伸缩	3500-3100	未取代的有两个带
	弯曲	1640-1550	
酸酐			
C=O	伸缩	1830-1800 & 1775-1740	两个带
酯			
C=O	伸缩	1750-1735	强
C-O	伸缩	1300-1000	两个或多个带
酮			
非环状	伸缩	1725-1705	强

环状	伸缩	3-元环 - 1850	强
	伸缩	4-元环 - 1780	强
	伸缩	5-元环 - 1745	强
	伸缩	6-元环 - 1715	强
	伸缩	7-元环 - 1705	强
α, β -不饱和的	伸缩	1685–1665	强
芳基酮	伸缩	1700–1680	强
醚			
C–O	伸缩	1300–1000 (1150–1070)	强
腈			
C N	伸缩	2260–2210	中等
硝基			
N–O	伸缩	1560–1515 & 1385–1345	强，两个带

高级难点

理论部分

1. 周环反应（环加成和电环化反应）。
2. sp^2 碳中心的亲核取代反应。
3. 光谱：基本的 ^1H 和 ^{13}C NMR 谱（化学位移，信号多重性，强度和耦合常数）；简单的红外光谱。
4. 动力学：速率常数模型和动力学同位素效应。
5. 基本量子化学：电子能级，应用于共轭体系的跃迁，分子的振动和旋转运动（提供公式），以及共轭体系的简单理论。
6. 无机化学：同/异核双原子分子的配位化学（晶体结构，晶体场论和异构现象）和分子轨道能图。

注意：

i) 下列主题不会在考试中出现

- 金属催化的交叉偶联反应和烯烃复分解反应。
- 使用 Microsoft Excel 或任何相关的计算机软件。
- 使用导数和积分。
- 尽管预备问题中的一些例子与生物分子有关，但不应要求学生将任何生物化学或碳水化合物化学作为高级主题。
- 无机反应机理。
- 多原子分子的分子轨道图。

ii) 除非重要，否则反应流程中的箭头不会显示反应条件，例如溶剂和温度。

实验部分

1. 使用分光光度计（单/双波长测量）。
2. 有机合成中的基本技术：重结晶，薄层色谱法（TLC），过滤和按照所描述的程序干燥沉淀物。
3. 蒸馏和萃取。

注意：下列主题不会在考试中出现

- 确定熔点。
- 使用旋转蒸发器。
- 处理和反应对水分敏感的化合物（使用注射器和气球）。
- 进行柱层析。
- 实验中通过聚合产生水凝胶体系。

理论试题

第 1 题 丁二烯的 π 电子体系

test

第 15 题 盐中的钠化合物

土耳其的盐湖盆地对于保护生物多样性非常重要，根据国际标准被归类为湿地。它也是土耳其保有鸟类最多的湖泊之一。有鸟类 85 种，昆虫 129 种（其中 4 种是特有的），15 种哺乳动物和 38 种特有的植物。该湖满足了土耳其约 40% 的食盐需求（作为食用盐）。盐湖中的盐是由气象水排入地下并融化先前形成的盐穹顶，并沿构造线携带它们而形成的。盐湖中的盐生产是通过在阳光下蒸发湖水来完成的。我们利用太阳能通过池式系统制盐。

tips 图片

食用盐是最常见的家用化学品之一。它是 97% 到 99% 的氯化钠，它是化学式为 NaCl 的离子化合物，代表钠和氯离子的比例为 1:1。 NaCl 是最影响海水和许多多细胞生物体细胞外液盐度的化合物。食用盐的可食用形式通常用作调味品和食品防腐剂。钠的第二个主要应用是在亚冰冻天气中，用氯化物给道路除冰。大量氯化钠还用于许多工业过程中，例如氯碱工业和纯碱工业以及其他工业用途：水软化，医药，农业，消防和清洁剂。 NaCl 直接或间接用于生产许多钠化合物。世界上大部分产量都为钠化合物。下图显示了从 NaCl 制备一些钠化合物的方法。

Tips 转化图

15.1. 写出 A-G 的分子式

碳酸钠 (Na_2CO_3 , 苏打粉)，主要用于制造玻璃。它主要来源于天然产物，例如天然碱， $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。其主要可通过 NaCl , CaCO_3 , NH_3 用一个比利时化学家 Ernest Solvay 在 1863 年发明的方法生产。关键步骤包括 $\text{NH}_3(\text{g})$ 和 $\text{CO}_2(\text{g})$ 在饱和 $\text{NaCl}(\text{aq})$ 中反应。在所有可能从混合物结晶的离子型化合物中 (NaCl , NH_4Cl , NaHCO_3 , NH_4HCO_3)，溶解度最小的是碳酸氢钠 (NaHCO_3)。它通过过滤分离出来，然后通过加热转化为碳酸钠 (Na_2CO_3)。根据解释，

15.2. 配平下面的方程式

(译者注：此处应有方程式)

15.3. 使用 CaCO_3 (石灰石)，你怎样才能获得你想要的 CO_2 气体来生产 NaHCO_3 ?

15.4. 写出 CaCO_3 的包含所有共振式的 Lewis 结构，并标出每个原子的形式电荷。

15.5. 描述 CO_3^{2-} 的分子几何结构并提出中心原子合理的杂化方式。

15.6. 按照键长增长的顺序排列 CO_3^{2-} , CO , CO_2

NaCl 结晶为面心立方 (fcc) 结构。 NaCl 的密度为 2180 kg m^{-3} , Na^+ 的离子半径为 99pm。

15.7. 在晶胞中有多少原子？什么原子占据八面体空隙？

15.8. 计算 NaCl 的晶胞长度和 Cl^- 的离子半径 (用 pm)

15.9. 碱金属与氧气快速反应，生成几种不同的离子型氧化物。在适当的条件下，通常通过仔细控制氧气，每种碱金属都能生成氧化物 M_2O 。锂与过量氧气反应生成 A 和少量的 B。钠与过量的氧气反应生成大部分 C 和少量 D。钾，铷和铯反应与过量的氧气形成 E, F 和 G。

用常见的金属氧化物分子式填写上面的空白处 (A-G)

15.11. 画出过氧和超氧离子的分子轨道能级图并比较它们的键长和能量。

当 LiClO_4 , NaClO_4 和 KClO_4 从水溶液结晶时，它们可能包含或不包含称为结晶水的水分子作为固体结构的一部分，尽管没有简单的规则可以确定地预测离子在固态中是否保留其全部或部分水化球，具有高电荷密度的阳离子倾向于将其全部或部分水化球保留在固态中。当阳离子具有低电荷密度时，它们往往会失去其水合球；因此，它们倾向于形成无水盐。 Li^+ , Na^+ 和 K^+ 的离子半径分别为 76 pm, 102 pm 和 138 pm。

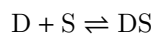
15.12. 计算这些离子的电荷密度 (单位用 C mm^{-3})

15.13. 哪种高氯酸盐最易形成无水化合物？

第 25 题 分光光度法测定抗组胺药

分光光度法用于确定药物分子的简单、快速和准确的方法。该方法基于两种试剂之间形成复合物。许多复合物是有色的，并在可见光区域有吸收。因此可以用分光光度法测定它们。

抗组胺药物 **D** 作为给电子基团，与 π -受体 **S** 复合。所得的复合物在最大吸收 (460 nm) 处记录的吸光度与药物浓度线性相关，具有良好的相关系数。



$$K = \frac{[DS]}{[D][S]}$$

其中 $[DS]$, $[D]$ 与 $[S]$ 分别代表 **DS** 复合物, **D** 与 **S** 的平衡浓度。

$$c_D = [D] + [DS]$$

其中 c_D 是药物的总浓度。

只有所形成的 **DS** 络合物可以吸收光的波长下，以下表达式成立：

$$A = \epsilon_{DS} l [DS]$$

其中 l 是吸收池长度。

可以使用 Benesi-Hildebrand 方程来计算络合物的结合平衡常数，该方程取决于实验条件，其中一种组分应大量过量，以使其浓度不会随复合物的形成而改变。

$$\frac{c_D}{A_{DS}} = \frac{1}{\epsilon_{DS}} + \frac{1}{\epsilon_{DS} K} \times \frac{1}{c_S}$$

其中 c_S 与 c_D 是 **S** 与 **D** 的总浓度。 A_{DS} 是复合物的吸光度， ϵ_{DS} 是复合物的摩尔吸光系数， K 是平衡常数。

tips 此处有图

25.1. 考虑在 25 °C 下记录的 Benesi-Hildebrand 图，给出复合物生成的平衡常数和复合物的摩尔吸光系数。

25.2. **D** 与 **S** 的起始浓度是 $9 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ，计算平衡时复合物形成的百分数。**D** 与 **S** 在复合的时候比例为 1:1。

25.3. 计算 25 °C 下的 $\Delta_r G^\ominus$ ，单位为 kJ mol^{-1} 。

通过改变温度 (25、45 和 60 °C) 研究 **D** 与 **S** 的络合动力学。该表给出了在不同温度下的络合速率常数。

$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	$k \text{ (min}^{-1}\text{)}$
25	0.0200
45	0.0504
60	0.0944

25.4. 计算活化能 E_a 。

25.5. 已知 $k_{TST} = \frac{k_B T}{h} e^{-\frac{\Delta G^\ddagger}{RT}}$ ，计算 25 °C 下的活化焓 ΔH^\ddagger ，活化熵 ΔS^\ddagger 以及活化自由能 ΔG^\ddagger 。(译注：原文为自由活化焓 ΔG^\ddagger)

实验试题