有机化学必要补充知识的扩充以及附录

第一部分 重要的有机反应方程

	反应类型	反应物	关键条件	化学方程式	核心要点/现象
1	烷烃取代	烷烃 + 卤素	光照、纯卤素	$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl$	自由基机理，产物混合物
2	烯烃加氢	烯烃 + H_2	Ni/Pt/Pd，加热	$CH_2=CH_2 + H_2 \rightarrow CH_3-CH_3$	顺式加成
3	烯烃加卤素	烯烃 + X_2	Br_2/CCl_4 或溴水	$CH_2=CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_2Br-CH_2Br$	溴水褪色，检验双键
4	烯烃加 HX	烯烃 + HX	催化剂/加热	$CH_3-CH=CH_2 + HBr \rightarrow CH_3-CHBr-CH_3$	马氏规则
5	烯烃加 HBr(过氧化物)	烯烃 + HBr	过氧化物	$CH_3-CH=CH_2 + HBr \rightarrow CH_3-CH_2-CH_2Br$	反马氏规则，仅对 HBr 有效
6	烯烃加水	烯烃 + H_2O	酸催化，加热加压	$CH_2=CH_2 + H_2O \rightarrow CH_3CH_2OH$	马氏规则，制醇
7	烯烃氧化	烯烃 + $KMnO_4$	酸性 $KMnO_4$，加热	$R-CH=CH_2 \rightarrow R-COOH + CO_2$	断键，根据 H 数生成酸/酮/CO_2，端基烯烃生成羧酸和 CO_2
8	炔烃部分加氢	炔烃 + H_2	Lindlar 催化剂	$R-C\equiv C-R' + H_2 \rightarrow R-CH=CH-R'$	顺式烯烃
9	炔烃完全加氢	炔烃 + H_2	Ni/Pt，加热	$R-C\equiv C-R' + 2H_2 \rightarrow R-CH_2-CH_2-R'$	生成烷烃
10	端基炔鉴定	端基炔 + 银氨溶液	$Ag(NH_3)_2NO_3$	$HC\equiv CH + 2[Ag(NH_3)_2]^+ \rightarrow AgC\equiv CAg\downarrow + 2NH_4^+$	白色沉淀
11	苯的溴代	苯 + 溴	液 Br_2 + $FeBr_3$	$C_6H_6 + Br_2 \rightarrow C_6H_5Br + HBr$	必须液溴，溴水不反应
12	苯的硝化	苯 + 硝酸	浓 HNO_3 + 浓 H_2SO_4，50-60℃	$C_6H_6 + HNO_3 \rightarrow C_6H_5NO_2 + H_2O$	水浴控温
13	苯的磺化	苯 + 浓硫酸	浓 H_2SO_4，加热	$C_6H_6 + H_2SO_4 \rightarrow C_6H_5SO_3H + H_2O$	可逆反应
14	苯的加氢	苯 + H_2	Ni，高温高压	$C_6H_6 + 3H_2 \rightarrow C_6H_{12}$ (环己烷)	破坏芳香性

15	甲苯硝化(低温)	甲苯 + 硝酸	浓 HNO_3 + 浓 H_2SO_4，30℃	$C_6H_5CH_3 + HNO_3 \rightarrow$ 邻/对硝基甲苯 $+ H_2O$	邻对位产物为主
16	甲苯硝化(高温)	甲苯 + 硝酸	浓 HNO_3 + 浓 H_2SO_4，100℃	$C_6H_5CH_3 + 3HNO_3 \rightarrow$ 2,4,6-三硝基甲苯(TNT) $+ 3H_2O$	三取代
17	甲苯侧链卤代	甲苯 + 卤素	光照	$C_6H_5CH_3 + Br_2 \rightarrow C_6H_5CH_2Br + HBr$	取代侧链 H
18	甲苯环上卤代	甲苯 + 卤素	$Fe/FeBr_3$	$C_6H_5CH_3 + Br_2 \rightarrow$ 邻/对溴甲苯 $+ HBr$	取代环上 H
19	苯同系物侧链氧化	烷基苯 + 氧化剂	酸性 $KMnO_4$，加热	$C_6H_5CH_3 \rightarrow C_6H_5COOH$	有α-H 必变羧基
20	二甲苯加氢	对二甲苯 $+ H_2$	Ni，加热加压	对二甲苯 $+ 3H_2 \rightarrow$ 1,4-二甲基环己烷	苯环加成
21	卤代烃水解	卤代烃 + NaOH	NaOH 水溶液，加热	$CH_3CH_2Br + NaOH \rightarrow CH_3CH_2OH + NaBr$	取代，引入-OH
22	卤代烃消去	卤代烃 + NaOH	NaOH 醇溶液，加热	$CH_3CH_2Br + NaOH \rightarrow CH_2=CH_2 + NaBr + H_2O$	生成双键
23	醇分子内脱水	醇	浓 H_2SO_4，170℃	$CH_3CH_2OH \rightarrow CH_2=CH_2\uparrow + H_2O$	制乙烯
24	醇分子间脱水	醇	浓 H_2SO_4，140℃	$2CH_3CH_2OH \rightarrow C_2H_5\text{-}O\text{-}C_2H_5 + H_2O$	制乙醚
25	醇催化氧化	醇 $+ O_2$	Cu/Ag，加热	$2CH_3CH_2OH + O_2 \rightarrow 2CH_3CHO + 2H_2O$	伯醇→醛，仲醇→酮
26	醇与 Na 反应	醇 + Na	常温	$2CH_3CH_2OH + 2Na \rightarrow 2CH_3CH_2ONa + H_2\uparrow$	断 O-H 键
27	醇与 HX 反应	醇 + HX	加热	$CH_3CH_2OH + HBr \rightarrow CH_3CH_2Br + H_2O$	羟基被卤素取代
28	苯酚弱酸性	苯酚 + NaOH	常温	$C_6H_5OH + NaOH \rightarrow C_6H_5ONa + H_2O$	苯酚钠，通 CO_2 可析出
29	苯酚溴代	苯酚 + 溴水	浓溴水，常温	$C_6H_5OH + 3Br_2 \rightarrow C_6H_2Br_3OH\downarrow + 3HBr$	白色沉淀，极灵敏
30	苯酚硝化	苯酚 + 硝酸	稀 HNO_3	$C_6H_5OH + HNO_3 \rightarrow$ 邻/对硝基苯酚 $+ H_2O$	无需浓酸
31	醛的银镜反应	醛 + 银氨溶液	水浴加热	$R\text{-}CHO + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow R\text{-}COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$	检验醛基，多羟基醛（葡萄糖）
32	醛与新制 $Cu(OH)_2$	醛 $+ Cu(OH)_2$	新制 $Cu(OH)_2$，加热	$R\text{-}CHO + 2Cu(OH)_2 + NaOH \rightarrow R\text{-}COONa + Cu_2O\downarrow + 3H_2O$	砖红沉淀，检验醛基
33	醛的催化氧化	醛 $+ O_2$	催化剂，加热	$2CH_3CHO + O_2 \rightarrow 2CH_3COOH$	工业制乙酸

34	醛的还原	醛 + H_2	Ni，加热	$CH_3CHO + H_2 \rightarrow CH_3CH_2OH$	生成伯醇
35	酮的还原	酮 + H_2	Ni，加热	$CH_3COCH_3 + H_2 \rightarrow CH_3CH(OH)CH_3$	生成仲醇
36	醛/酮与 HCN	醛/酮 + HCN	碱催化	$CH_3CHO + HCN \rightarrow CH_3CH(OH)CN$	生成α-羟基腈，增碳
37	羧酸酸性	羧酸 + Na_2CO_3	常温	$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + CO_2\uparrow + H_2O$	酸性强于碳酸
38	酯化反应	羧酸 + 醇	浓 H_2SO_4，加热，可逆	$CH_3COOH + C_2H_5OH \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5 + H_2O$	酸脱-OH 醇脱-H
39	酯酸性水解	酯 + 水	稀 H_2SO_4，加热	$CH_3COOC_2H_5 + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + C_2H_5OH$	可逆
40	酯碱性水解	酯 + NaOH	NaOH，加热	$CH_3COOC_2H_5 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + C_2H_5OH$	不可逆，皂化
41	傅-克烷基化	苯 + 卤代烷	无水 $AlCl_3$	$C_6H_6 + RCl \rightarrow C_6H_5\text{-}R + HCl$	引入烷基，注意重排
42	傅-克酰基化	苯 + 酰氯	无水 $AlCl_3$	$C_6H_6 + CH_3COCl \rightarrow C_6H_5COCH_3 + HCl$	引入酰基，不重排
43	武兹反应	卤代烃 + 钠	Na，干醚	$2CH_3CH_2Br + 2Na \rightarrow CH_3CH_2CH_2CH_3 + 2NaBr$	合成对称烷烃
44	格氏试剂制备	卤代烃 + 镁	Mg，无水乙醚	$CH_3CH_2Br + Mg \rightarrow CH_3CH_2MgBr$	绝对无水
45	格氏试剂+甲醛	格氏试剂 + 甲醛	1.干醚 2.H_3O^+	$CH_3MgBr + HCHO \rightarrow CH_3CH_2OH$	制伯醇，增一个碳
46	格氏试剂+其他醛	格氏试剂 + 醛	1.干醚 2.H_3O^+	$CH_3MgBr + R\text{-}CHO \rightarrow R\text{-}CH(OH)\text{-}CH_3$	制仲醇
47	格氏试剂+酮	格氏试剂 + 酮	1.干醚 2.H_3O^+	$CH_3MgBr + R\text{-}CO\text{-}R' \rightarrow R\text{-}C(OH)(CH_3)\text{-}R'$	制叔醇
48	羟醛缩合	含α-H 的醛	稀 OH^-，加热	$2CH_3CHO \rightarrow CH_3CH(OH)CH_2CHO \rightarrow CH_3CH{=}CHCHO$	增长碳链，生成α,β-不饱和醛
49	康尼查罗反应	无α-H 的醛	浓 OH^-	$2HCHO + NaOH \rightarrow HCOONa + CH_3OH$	歧化反应
50	碘仿反应	甲基酮/乙醛	I_2 + NaOH	$CH_3COCH_3 + 3I_2 + 4NaOH \rightarrow CHI_3\downarrow + CH_3COONa + 3NaI + 3H_2O$	黄色沉淀，减碳
51	克莱门森还原	芳香酮	Zn-Hg，浓 HCl	$C_6H_5COCH_3 \rightarrow C_6H_5CH_2CH_3$	羰基变亚甲基，耐酸
52	狄尔斯-阿尔德	共轭二烯 + 亲双烯体	加热	1,3-丁二烯 + 乙烯 → 环己烯	构建六元环，原子经济

53	贝克曼重排	酮肟	浓 H_2SO_4	环己酮肟 → 己内酰胺	制尼龙-6 单体
54	威廉姆逊合成	卤代烃 + 醇钠	加热	$CH_3I + C_2H_5ONa \rightarrow CH_3-O-C_2H_5 + NaI$	制备混醚
55	加聚反应	烯烃/二烯烃	催化剂、引发剂	$n\ CH_2=CH_2 \rightarrow [-CH_2-CH_2-]_n$	无副产物
56	缩聚反应	二元酸+二元醇	催化剂、加热	$n\ HOOC-COOH + n\ HOCH_2CH_2OH \rightarrow$ 聚酯 $+ (2n-1)H_2O$	有小分子副产物
57	苯酚缩聚	苯酚 + 甲醛	酸/碱催化	$n\ C_6H_5OH + n\ HCHO \rightarrow$ 酚醛树脂 $+ n\ H_2O$	体型结构
58	卤代烃氰代	卤代烃 + NaCN	加热	R-X + NaCN → R-CN + NaX	引入氰基，增长碳链；氰基可水解为羧基或还原为胺基
59	醛酮与 2,4-二硝基苯肼	醛/酮 + 2,4-二硝基苯肼	常温或微热	$R-CO-R' + H_2N-NH-Ar \rightarrow R-CO-R'=N-NH-Ar + H_2O$	生成黄/橙红色沉淀，用于醛酮的鉴别
60	酯的还原	酯 + $LiAlH_4$	干醚，后水解	$R-COOR' + 4[H] \rightarrow R-CH_2OH + R'-OH$	酯被还原为两种醇，强还原剂，教材常补充
61	烯烃臭氧化	烯烃 + O_3	低温，后还原水解	$R-CH=CH-R' + O_3 \rightarrow R-CHO + R'-CHO$	双键断裂生成醛或酮，用于推断双键位置
62	硝基还原	硝基化合物 + 还原剂	Fe + HCl 或 H_2/Ni	$Ar-NO_2 + 6[H] \rightarrow Ar-NH_2 + 2H_2O$	芳香胺的重要合成方法
63	重氮化反应	芳香伯胺 + 亚硝酸	0-5℃，HCl	$C_6H_5NH_2 + HNO_2 + HCl \rightarrow C_6H_5N_2^+Cl^- + 2H_2O$	生成重氮盐，低温下不稳定，用于合成偶氮染料
64	偶联反应	重氮盐 + 酚/芳胺	弱碱性，低温	$Ar-N_2^+ + Ar'-OH \rightarrow Ar-N=N-Ar'-OH + H^+$	生成偶氮化合物（有色），常用于染料和指示剂
65	烯烃与次氯酸加成	烯烃 + HOCl	常温	$CH_2=CH_2 + HOCl \rightarrow CH_2Cl-CH_2OH$	生成氯醇，HOCl 中 Cl 带正电（Cl 加到含 H 少的碳）
66	炔烃水化（乙炔制乙醛）	乙炔 + H_2O	$HgSO_4/H_2SO_4$，加热	$HC\equiv CH + H_2O \rightarrow CH_3CHO$	烯醇式互变异构，最终生成乙醛；其他炔烃生成酮
67	炔烃与 HX 加成（可控）	炔烃 + HX（1mol）	催化剂	$HC\equiv CH + HBr \rightarrow CH_2=CHBr$	第一步生成卤代烯烃（氯乙烯、溴乙烯等），用于合成高分子
68	炔烃与 HX 完全加成	炔烃 + 2HX	催化剂	$HC\equiv CH + 2HBr \rightarrow CH_3CHBr_2$	生成偕二卤代物（同一个碳上两个卤素）
69	乙炔与 HCN 加成	乙炔 + HCN	催化剂（$CuCl/NH_4Cl$）	$HC\equiv CH + HCN \rightarrow CH_2=CH-CN$	合成丙烯腈，用于制造腈纶纤维
70	烷烃裂化（以十六烷为例）	长链烷烃	高温、催化剂	$C_{16}H_{34} \rightarrow C_8H_{18} + C_8H_{16}$	生成烷烃和烯烃，石油化工基础，裂化汽油含不饱和烃
71	烷烃硝化	甲烷 + 浓硝酸	400-500℃（气相）	$CH_4 + HNO_3 \rightarrow CH_3NO_2 + H_2O$	生成硝基甲烷，自由基取代机理，工业上很少用
72	实验室制取乙炔	电石+水	起普发生器，常态	$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$	实验室制取乙炔

第二部分 有机转化的重要途径与官能团的保护

一、官能团经典转化脉络

烃类　　烷烃 →卤代烃（X_2 /光）

烯烃→烷烃（H_2 /Ni） → 卤代烃（Br_2 /CCl_4 ） → 醇（H_2O/H^+ ） → 醛/酮/酸（$KMnO_4$ /H^+ ）

炔烃→烯烃（Lindlar） → 烷烃（H_2 /Ni）

卤代烃　　醇（NaOH/H_2O）、→烯烃（NaOH/醇）、→腈（NaCN，增碳）、→对称烷烃（Na/醚）

醇　　→烯烃（浓 H_2SO_4 /170℃） → 醛/酮（Cu/O_2 ） → 卤代烃（HX） → 酯（羧酸/H^+ ）

酚　　→卤代物（Br_2 水） → 硝基物（稀 HNO_3 ） → 酯（酸酐）

醛/酮　→醇（H_2 /Ni） → 羧酸（O_2 /催化剂） → α-羟基腈（HCN，增碳） → 不饱和醛（稀 OH^- ）

羧酸→酯（醇/H^+ ） → 盐（碱）

酯　　→羧酸+醇（稀 H^+ 或 NaOH） → 两种醇（$LiAlH_4$ 强还原）

胺：　→酰胺（酸酐） → 重氮盐（HNO_2 /HCl，0-5℃） → 偶氮染料（重氮盐+酚/芳胺）

苯环：→卤苯（Br_2 /Fe） → 硝基苯（混酸） → 烷基苯（RX/$AlCl_3$ ） → 苯甲酸（侧链有α-H 时 $KMnO_4$ /H^+ ）

二、官能团保护策略

1. 醇羟基（-OH）的保护

为什么保护：醇羟基易被强氧化剂（$KMnO_4$ ）氧化成羰基或羧酸，也怕强酸、强碱、卤化剂。

高中经典保护法：酯化保护

装保护：醇 + 乙酸酐（或乙酰氯）→ 乙酸酯。条件：常温或微热，加少量酸催化。

主反应耐受性：酯基对 $KMnO_4$ 等氧化剂稳定，对弱酸、弱碱稳定。

脱保护：NaOH 水溶液加热水解，恢复醇羟基。

信息题补充：硅醚保护（TMS）

醇 + 三甲基氯硅烷（TMSCl）+ 碱 → 三甲基硅醚。对氧化剂、碱稳定，脱保护用氟离子（如 TBAF）。

经典应用：对羟基苯甲醇，想把侧链醇氧化成羧酸，但酚羟基也会被氧化。先用乙酸酐保护酚羟基（成酯），再用 $KMnO_4$ 氧化侧链，最后 NaOH 水解脱保护。

2. 酚羟基（-OH）的保护

与醇相似，但酚羟基更活泼，更容易被亲电试剂（如 Br_2 ）攻击。

保护法：同样用酯化（乙酸酐/乙酰氯）。注意：酚酯在碱性条件下水解更快。

3. 醛基/羰基（-CHO / C=O）的保护

为什么保护：醛基极易被氧化（$KMnO_4$ ）、易被亲核试剂（格氏试剂、HCN）攻击，强碱下可发生羟醛缩合。

高中经典保护法：缩醛/缩酮保护

装保护：醛/酮 + 乙二醇（$HOCH_2CH_2OH$）+ 酸催化（如对甲苯磺酸）→ 环状缩醛/缩酮。条件：加热回流，分水。

主反应耐受性：缩醛/缩酮对碱、氧化剂、格氏试剂、还原剂（H_2 /Ni）均稳定。

脱保护：稀酸水溶液（如稀 HCl）室温或微热，恢复羰基。

经典应用：分子中同时有双键和醛基，只想还原双键（H_2 /Ni）。先用乙二醇保护醛基，然后 H_2 /Ni 还原双键，最后稀酸水解脱保护。

4. 氨基（$-NH_2$ ）的保护

为什么保护：氨基亲核性强，易被氧化（硝化时会被浓 HNO_3 破坏），也易与亲电试剂反应；同时氨基是强邻对位定位基，直接硝化会得到多取代产物。

高中经典保护法：乙酰化保护

装保护：胺 + 乙酸酐（或乙酰氯）→ 乙酰氨基（$-NHCOCH_3$ ）。条件：常温或微热，加碱（如三乙胺）中和生成的酸。

主反应耐受性：酰胺对硝化、磺化等亲电取代条件稳定，且定位效应从“强邻对位”降为“中等邻对位”（主要上对位）。

脱保护：酸性（稀 HCl 加热）或碱性（NaOH 水溶液加热）水解，恢复氨基。

经典应用：苯胺硝化制对硝基苯胺。先乙酰化保护，混酸硝化（主要得对硝基乙酰苯胺），然后水解得对硝基苯胺。

5. 碳碳双键（C=C）的保护

为什么保护：双键易被氧化（$KMnO_4$ ）、易与 Br_2 等亲电试剂加成、易被 H_2 /Ni 还原。

保护法（信息题常见）：

装保护：双键 + Br_2 （CCl_4 溶液）→ 二溴化物（单键）。
主反应耐受性：二溴化物对氧化剂、还原剂稳定。
脱保护：Zn 粉在醇中加热（或强碱加热）消去，恢复双键。
注意：更聪明的做法是尽量避免使用会攻击双键的条件，例如用 Cu/Ag 催化氧化醇（不打双键）代替 $KMnO_4$ 。

三、五大选择性控制策略

1. 动力学控制：低温、慢加、限量试剂，优先攻击反应最快的官能团。
   例：醛和酮共存时，低温下格氏试剂优先打醛（位阻小、亲电性强）。

2. 热力学控制：可逆反应、升温，让体系自动生成最稳定的产物。
   例：苯酚磺化，低温得邻位（动力学），高温得对位（热力学）。

3. 原位钝化：加入临时试剂“绑住”干扰基团。
   例：分子有氨基要酸催化酯水解，加入路易斯酸（$AlCl_3$ ）与氨基配位，使其失活。

4. 机理切换：改变条件（光照/催化剂）改变反应路径。
   例：甲苯与 Br_2 ，$FeBr_3$ 催化→环上取代；光照→侧链自由基取代。

5. 顺序控制：利用天然活性差异，分批加料。
   例：分子有酚羟基和醇羟基，加 1 当量乙酸酐先保护酚羟基（活性更高），醇羟基不反应。

第三部分 必要补充的反应机理

1、电子效应的解释

一、诱导效应（Inductive Effect，I）

-本质：由于原子电负性不同，通过σ键的静电诱导作用，使电子云沿σ键单向偏移。该效应随距离增加迅速衰减（通常影响 3-4 个键），且不产生极性交替。

-吸电子诱导（-I）：电负性 > C 的原子（F、Cl、Br、I、O、N）使相邻碳带部分正电荷（δ^+ ）。

-推电子诱导（+I）：烷基（$-CH_3$ 、$-C_2H_5$ ）比 H 电负性略小，使相邻碳带部分负电荷（δ^- ）。

-强度顺序：-I：F > O > N > Cl > Br > I > H；+I：$(CH_3)_3C->(CH_3)_2CH->CH_3CH_2->CH_3-$

-高中应用：解释马氏规则（烷基的给电子效应使双键电子云分布不均）；比较羧酸酸性（吸电子基增强酸性，给电子基减弱酸性）。

二、共轭效应（Conjugative Effect，C/M）

-本质：在共轭体系（π键与π键、或 p 轨道与π键交替）中，p 轨道侧面重叠导致π电子离域。电子云沿共轭链传递，不受距离影响，并产生极性交替（正负电荷交替出现）。

-给电子共轭（+C）：原子带有孤对电子（-OH、$-NH_2$ 、-OR）或负电荷，孤对电子离域到π体系，使π体系电子云密度升高。

-吸电子共轭（-C）：双键/三键与电负性大的原子相连（C=O、-CN、$-NO_2$ ），π电子被拉向电负性大的原子，使π体系电子云密度降低。

-强度顺序：+C：$-O^-$ > $-NH_2$ > -OH > -OR > -Cl > -Br > -I；-C：$-NO_2$ > -CN > -CHO > -COR > -COOH > -COOR

-高中应用：苯酚中-OH 的+C 效应使苯环上邻、对位电子云密度大增，易发生亲电取代（溴代、硝化）。

三、诱导与共轭的竞争（典型例子：氯苯）

-Cl：-I 效应（吸电子） + +C 效应（给电子，孤对电子离域到苯环）

-结果：苯环上电子云密度整体略降低（-I 占主导），但邻、对位因+C 效应相对比间位高 → 定位效应为邻对位，但反应活性低于苯。

-对照：硝基苯（$-NO_2$）：-I 强 + -C 强 → 整体电子云密度大幅降低，且间位相对最高 → 间位定位。

-如下表，给出了部分同时存在诱导效应和共轭效应的情况，在反应中要综合考量。

基团	诱导效应（I）	共轭效应（C）	综合给/吸电子	对苯环定位	反应活性
-OH	-I（弱）	+C（强）	强给电子	邻对位	变易
$-NH_2$	-I（弱）	+C（强）	强给电子	邻对位	变易
$-CH_3$	微-I（超共轭主导）	—	弱给电子	邻对位	略变易
-Cl	-I（中）	+C（弱）	弱吸电子（整体）	邻对位	变难
$-NO_2$	-I（强）	-C（强）	强吸电子	间位	变难
-CHO	-I（强）	-C（强）	强吸电子	间位	变难

C 效应，故苯环总电子云密度降低（反应变难）。但由于+C 效应在邻、对位相对更明显，所以定位仍为邻对位。

补充，有关臭氧离域键的解释

-臭氧是理解π电子离域的经典实例。其中心氧原子采取 sp^2 杂化，三个氧原子上垂直于分子平面的 p 轨道相互平行、侧面重叠，形成一个包含 4 个电子的离域π键（三中心四电子大π键，记作 Π_3^4）。

-结构：键角约 116°，V 形分子，两个 O-O 键长相等（介于单双键之间）。

-电子排布：中心氧原子贡献 2 个电子，两个端基氧原子各贡献 1 个电子。

-结果：大π键导致电子离域，使分子能量降低、键长平均化，并产生偶极矩（中心氧带部分正电，端基氧带部分负电）。

2、轨道相互作用：前线轨道理论（FMO）

基本概念：

- HOMO（最高占据轨道）：分子中能量最高的有电子占据的轨道，相当于“最想给出电子的地方”。
- LUMO（最低未占轨道）：分子中能量最低的空的轨道，相当于“最想得到电子的地方”。
- 化学反应的本质：一个分子的 HOMO 与另一个分子的 LUMO 相互作用（电子从 HOMO 流向 LUMO），能量越接近，反应越容易。

应用原理：

-对称性匹配原则：一个分子的 HOMO 与另一个分子的 LUMO 必须具有相同的对称性，才能在空间上实现有效重叠，从而发生电子转移并形成新键。

-对称允许的反应：当 HOMO 与 LUMO 对称性匹配时，反应可在加热条件下顺利进行，其过渡态能量较低。

-对称禁阻的反应：当对称性不匹配时，反应在基态下极难发生，通常需要光照激发，以改变一个电子的轨道排布，使其跃迁至对称性合适的轨道，反应才可能发生。一般而言总π电子数为 4n+2（n=0,1,2...）的环加成，加热允许；总π电子数为 4n 的环加成，加热禁阻（需光照）。

-能量相近原则：相互作用的 HOMO 和 LUMO，其能级必须足够接近（通常认为能量差小于 6 eV），才能产生有效的轨道混合，从而实现电子的顺利转移。

HOMO 能级越高的分子，越容易给出电子，亲核性越强。
LUMO 能级越低的分子，越容易接受电子，亲电性越强。
HOMO-LUMO 能隙越小，分子越“软”，电子越容易被激发或转移，化学反应性越高。

简单应用：

应用 1：亲核加成（如格氏试剂进攻羰基）
- 羰基碳的 LUMO：π轨道，能量较低，集中在碳原子上。
- 羰基氧的 LUMO：比碳的 LUMO 能量高得多。
- 格氏试剂的 HOMO：碳负离子轨道（能量较高）。
- 结论：能量匹配最好的是格氏试剂的 HOMO 与羰基碳的 LUMO → 进攻碳，而不是氧。

应用 2：亲电取代（苯环的定位效应）
- 亲电试剂（如 Br^+）的 LUMO 能量较低。
- 取代苯的 HOMO：给电子基（-OH）使苯环 HOMO 能量升高，更易与亲电试剂 LUMO 匹配 → 反应变易；吸电子基（$-NO_2$）使 HOMO 能量降低 → 反应变难。
- 邻对位 HOMO 系数更大（电子密度更高） → 亲电试剂优先进攻这些位置。

3、热力学与动力学控制的深层次理解

1. 势能面与过渡态

- 动力学产物：对应较低能垒的过渡态，生成速度快，即使最终产物不稳定。
- 热力学产物：对应更深能量谷的产物，稳定性高，但可能需要克服较高能垒才能到达。

2. 温度的影响（阿伦尼乌斯公式）

- k = A e^(-Ea/RT)
- 低温时：指数项对 \(E_a \) 差异极其敏感 → 低能垒路径主导（动力学控制）。
- 高温时：指数项差异缩小，体系有足够能量翻越各种能垒，最终趋向平衡组成（热力学控制）。

3. 经典案例：1,3-丁二烯与 HBr 加成

- 1,2-加成：过渡态能量低（生成更稳定的仲碳正离子中间体） → 低温下主产物。
- 1,4-加成：产物双键与取代基共轭，更稳定 → 高温下主产物（可逆反应，平衡趋向稳定产物）。

策略	原理基础	高中实例
动力学控制	反应速率差异（过渡态能垒）	醛比酮更容易被亲核加成（空间位阻小、碳正电性更强）
热力学控制	可逆反应平衡趋向最稳产物	磺化反应高温得对位产物（空间位阻小、热力学稳定）
原位钝化	用可逆反应暂时降低某官能团活性	路易斯酸与氨基配位，阻止其参与反应
机理切换	改变条件改变反应路径	光照→自由基（侧链）；$FeBr_3$ →离子型（苯环）
顺序控制	官能团活性差异 + 分批加料	1 当量 Br_2 只加成到最活泼的双键上

4、保护基的选择性原理

1. 为什么需要保护基?

- 官能团之间可能互相干扰：例如想把醇氧化成醛，但分子中还有另一个更易被氧化的官能团（如双键）。若找不到高选择性氧化剂，就要临时把双键“保护”起来。

2. 保护基的设计原则

- 易引入：反应条件温和，产率高。
- 稳定性：在后续反应条件（酸/碱、氧化/还原）下稳定。
- 易脱除：脱除条件温和，不破坏其他官能团。

3. 常见保护基的化学原理

- 醇的保护（成缩醛/缩酮）：醇与醛/酮在酸催化下生成缩醛（对碱、氧化剂、还原剂稳定），酸中可水解恢复。
- 醛/酮的保护（成缩醛）：醛与二元醇反应生成环状缩醛（对碱、格氏试剂稳定）。
- 胺的保护（酰化）：胺与酸酐生成酰胺（对氧化、亲电取代稳定），可在强酸或强碱下水解。

4. 更高阶思路：正交保护

- 不同保护基对同一官能团的不同脱除条件（如不同 pH、不同催化剂），可实现对多官能团分子的选择性操作。

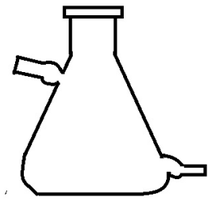
第四部分：高中有机化学实验常用器材汇总表

仪器名称	用途	原理/关键点	注意事项
试管	少量反应、物质检验（银镜反应、$FeCl_3$ 显色等）	玻璃耐酸碱，可加热（需注意材质）	加热时液体不超 1/3；银镜反应前必须用碱液洗净油污
烧杯	溶解、配制溶液、水浴加热	耐热玻璃，可盛放较多液体	加热垫石棉网；不可直接火焰加热
圆底烧瓶/平底烧瓶	加热液体、蒸馏、回流反应（如酯化、硝化）	圆底耐压受热均匀，平底不宜加热	圆底烧瓶加热必须垫石棉网或使用加热套
蒸馏烧瓶	蒸馏分离沸点不同的液体	支管用于导出蒸气	温度计水银球对准支管口；加沸石防暴沸
冷凝管	冷凝蒸气（回流或蒸馏）	直形管用于蒸馏，球形/蛇形管用于回流	通水方向“下进上出”；回流时竖立使用
分液漏斗	分离互不相溶的液体（如萃取分液）	利用密度差和溶解度差异	下层液体从下口放出，上层液体从上口倒出；振荡时放气
布氏漏斗 + 抽滤瓶	减压过滤（快速分离固体）	抽气泵降低瓶内气压，加速过滤	滤纸大小略小于漏斗内径；先抽气再倒液
普通漏斗	向容器中转移液体、过滤	玻璃或塑料，滤纸折叠贴合	过滤时“一贴二低三靠”
蒸发皿	浓缩溶液、蒸发结晶	陶瓷材质，可直接加热	加热时用玻璃棒搅拌；有大量晶体析出时停止加热
研钵	研磨固体（如 $KMnO_4$ 、蔗糖）	陶瓷或玻璃，研磨使颗粒变细	不宜研磨过猛；易潮解物质快速研磨
酒精灯	加热反应	乙醇燃烧，火焰温度约 400-500°C	用外焰加热；熄灭用灯帽盖灭，不可吹灭
水浴锅	控温加热（银镜反应、硝化反应 50-60°C）	水浴温度不超过 100°C，受热均匀	温度计插入水中；注意添水防止干烧
温度计	测量反应体系温度（蒸馏、酯化、硝化）	液柱热胀冷缩	不可当搅拌棒；量程选择合适；水银球位置要正确
铁架台（带铁夹/铁圈）	固定仪器（烧瓶、冷凝管、分液漏斗等）	金属支架，可调节高度	夹持不能过紧以防仪器破损；旋紧螺丝防滑脱
石棉网	垫在烧杯/烧瓶下，使受热均匀	石棉耐热，分散火焰热量	破损时石棉纤维脱落，有毒，应及时更换
药匙	取用固体药品	牛角或塑料材质，两端大小不同	一药匙专用一种药品，避免污染
容量瓶	精确配制一定体积的溶液（如标准液）	磨口塞，有刻度线	不能加热，不能存放强碱长时间；使用前检漏
量筒	量取一定体积液体（精度 0.1mL）	筒壁有刻度，读数时平视	不可加热，不可作反应容器；读数时视线与凹液面最低处齐平

表面皿	覆盖烧杯防尘、少量固体观察	圆形凹面玻璃	不可加热，不可盛放液体
玻璃棒	搅拌、引流、蘸取液体	耐热玻璃，两端烧圆	搅拌时避免碰撞容器壁；引流时下端紧贴接收容器内壁
洗气瓶	净化气体（如除去乙炔中的 H_2S、PH_3 ）	气体通过溶液，杂质被吸收	长管进气、短管出气；注意溶液倒吸
干燥管	干燥气体（如 $CaCl_2$ 、硅胶）	球形或 U 形，内装固体干燥剂	大口进气、小口出气；干燥剂颗粒大小适中，防止堵塞
启普发生器	固-液不加热制气体（如乙炔、CO_2 、H_2S）	随开随用，随关随停	块状固体（如电石、大理石），不宜用于粉末；电石制乙炔反应剧烈，常用饱和食盐水替代水
三颈烧瓶	多口反应（如需同时滴液、测温、回流）	三个磨口颈，可接不同装置	安装时各颈对位准确，搅拌棒从中间颈插入
胶头滴管	用于吸取或滴加少量液体试剂。	通过挤压胶头控制试剂的吸入或滴加量。	1. 握持时用中指和无名指夹住玻璃管，拇指和食指挤压胶头。 2. 滴管应垂直悬空于容器口上方，不可伸入或接触容器内壁。 3. 使用后应立即洗净，不可倒置，防止试剂腐蚀胶头。 4. 专用滴瓶上的滴管与瓶配套，用后不可清洗，直接插回原瓶。
坩埚	用于固体物质的高温灼烧（如灼烧结晶水合物）。	瓷质，可直接用酒精灯或高温炉加热。	1. 通常放在泥三角上直接加热，使用坩埚钳取放。 2. 加热后不能骤冷，应放在干燥器中或石棉网上冷却。
泥三角	配合三脚架，用于支撑坩埚加热。	由三根耐热陶瓷管和金属丝构成，形成稳定的三角支撑面。	1. 与三脚架配合使用，将坩埚放在泥三角上，确保稳固。 2. 避免剧烈碰撞，防止陶瓷管断裂。
三脚架	支撑泥三角、石棉网等，用于加热。	金属材质，通常高度可调。	1. 放置平稳，加热时确保重心稳定。 2. 根据酒精灯高度调节三脚架高度，确保外焰加热。
坩埚钳	用于夹取坩埚、蒸发皿等高温仪器。	金属材质，前端通常为弯头设计。	1. 夹取时需夹紧，防止滑落。 2. 使用后应保持清洁。

试管夹	用于夹持试管进行加热。	木质或不锈钢材质，有长短柄和夹口。	1. 从试管底部向上套入，夹在距试管口约 1/3 处。
			2. 手握长柄，拇指不要按在短柄上，防止试管滑落。
			3. 加热时注意火焰不要烧到试管夹。
燃烧匙	用于盛放少量固体在气体中燃烧。	由金属柄和小勺（多为铜或铁）组成。	1. 若燃烧产物会与匙材料反应（如铁与氧气），需在匙内铺一层细砂或石棉。
			2. 实验后及时清理。
干燥器	用于存放需保持干燥的物质，或使潮湿物质干燥。	厚壁玻璃容器，盖与器身之间为磨口，内置瓷板，板下放干燥剂（如硅胶、无水氯化钙）。	1. 开闭器盖时，应水平推拉，不可垂直提起。
			2. 热的物体应冷却片刻后再放入，以防空气受热膨胀冲开盖子。
			3. 干燥剂失效后要及时更换。
吸量管/移液管	用于精确移取一定体积的液体。	玻璃量器，中间有膨大部分，带有刻度线。	1. 需使用洗耳球辅助吸取液体，不可用嘴吸。
			2. 使用前需用待吸液润洗 2-3 次。
			3. 移取后，需用滤纸吸干管尖外壁，再垂直放液。
接液管/尾接管	连接冷凝管与接收容器，使冷凝液顺利流入接收瓶。	玻璃材质，常见类型有直形、真空接液管等。	在蒸馏装置中，接液管的末端应伸入接收瓶内，防止液体溅出。
Y 形管	在实验中用于分叉气流或液体，也可用于连接多个装置。	玻璃材质，呈“Y”字形，具有三个开口。	安装时注意气密性，确保连接处不漏气。
滴液漏斗	常用于在反应过程中，将液体试剂以可控的速度滴加到反应体系中。	类似分液漏斗，但上部有磨口塞可与反应瓶口直接相连，保持体系密封。	使用前需检查是否漏液，滴加速度应通过活塞控制。
恒压漏斗	在滴加液体时能保持体系内外压力平衡，使液体能顺利滴下。	与滴液漏斗类似，但带有一根连通上下的侧管，用于平衡压力。	尤其适用于密闭体系或滴加挥发性、刺激性液体时。

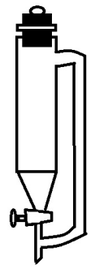
附录一：部分重要仪器的图像



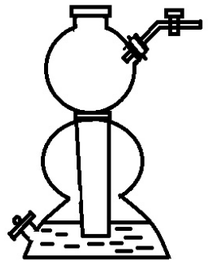
抽滤瓶



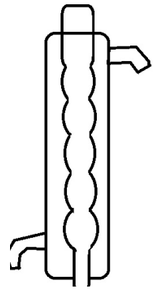
分液漏斗



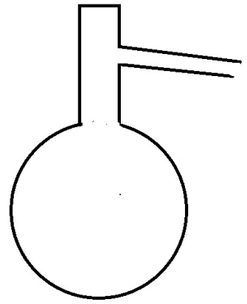
恒压漏斗



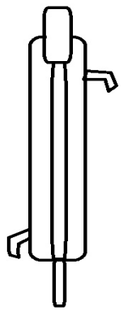
起普发生器



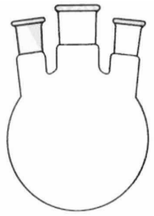
球形冷凝管



蒸馏漏斗



直型冷凝管



三颈烧瓶

第五部分：有机物的分离与提纯的一般方法

一、分离与提纯的通用选择思路

-分析混合物状态：是固体、液体还是气体？混合物中各组分的主要性质差异是什么（溶解度、沸点、酸碱性、极性等）？

固-液分离：优先考虑过滤。

液-液分离：

不互溶液体：选择分液。

互溶液体：首选蒸馏（沸点差大）。若沸点相近，可尝试化学转化后再分离，或选择色谱法。

固体混合物：首选重结晶（溶解度差异大）。若有升华性，可考虑升华。

酸碱调控（进阶技巧）：对于含酸碱性基团（如-COOH，$-NH_2$）的有机物，通过调节 pH 使其成盐，可改变其在水相和有机相中的溶解性，从而实现分离与提纯。

二、一般的分离方法

方法	原理	适用范围	操作过程	注意事项
蒸馏/分馏	沸点差异	互溶液体，沸点差≥30°C	加热→气化→冷凝→收集馏分	加沸石，温度计水银球在支管口，冷凝水下进上出
水蒸气蒸馏	与水不互溶物在 100°C以下共沸	热敏性、不溶或微溶于水的有机物	通水蒸气→蒸出→冷凝→分离	防倒吸，待提物在 100°C有一定蒸气压
重结晶	溶解度随温度变化	固体有机物，杂质溶解度差异大	热饱和→趁热过滤→冷却结晶→抽滤	溶剂选择“相似相溶”，降温要慢
升华	固→气→固，跳过液态	具有升华性的固体（碘、萘、樟脑）	加热→蒸气凝华在冷表面→收集	加热均匀，避免分解
液-液萃取	溶质在互不相溶两相中分配系数不同	从水溶液中提取有机物，或去除有机相中的水溶性杂质	混合→振荡→静置分层→分液	萃取剂不互溶、不反应；多次萃取效率更高
反萃取	用反萃剂将溶质从有机相转移回水相	工业/实验室中浓缩、纯化目标物，再生萃取剂	负载有机相 + 反萃剂（如稀酸/碱/水）→ 振荡分层→目标物进入水相	反萃剂需能破坏溶质与萃取剂的结合；常用于金属离子、抗生素等提取。
分液	密度差异，液体不互溶	分离两种不互溶的液体	静置分层→下层从下口放出→上层从上口倒出	打开上盖或活塞通气；下层流尽后立即关闭活塞
色谱法（柱层析）	各组分在固定相和流动相中吸附/分配不同	分离性质相近、结构复杂的混合物（如色素、同系物）	装柱→上样→洗脱→分段收集→检测	固定相（硅胶/氧化铝）均匀致密；洗脱剂极性逐步增加
酸碱分离法	酸/碱性官能团成盐后溶于水，与中性杂质分离	含-COOH、$-NH_2$ 等的有机物	碱溶酸析 或 酸溶碱析 → 分液 → 还原 → 萃取/过滤	成盐后水相与有机相充分分层；还原时 pH 控制要准
膜分离（渗析）	半透膜选择透过性	胶体与小分子/离子的分离	混合物置于半透膜袋内，袋外为流动水	不断更换袋外水，提高分离效率

第六部分：官能团的一般检验方法

官能团	代表物	检验试剂	现象	干扰物质	排除/确认方法	说明/注意事项
碳碳双键/三键	烯烃、炔烃	溴水（或 Br_2 /CCl_4 ）	红棕色褪去	醛、酚、还原性物质（如 SO_2 、I^- ）	先用水洗除去还原性杂质；或用 $KMnO_4$ /H^+ 辅助判断	溴水褪色不一定是烯烃，醛、酚也能使溴水褪色
		酸性 $KMnO_4$ 溶液	紫色褪去	醛、酚、醇（部分）、还原性物质	不能作为专属检验，需结合其他反应	烯烃、炔烃使 $KMnO_4$ 褪色，但醛、醇也能，仅作辅助
端基炔	乙炔、丙炔	银氨溶液（Tollens 试剂）	白色沉淀（炔银）	硫化物、卤离子	沉淀前先通入稀 HNO_3 除去干扰离子	沉淀易爆炸，不可干燥或撞击
		氯化亚铜氨溶液	红色沉淀（炔亚铜）	同上	同上	同上
卤代烃	氯乙烷、溴苯	先 NaOH 水溶液加热水解，再稀 HNO_3 酸化，最后加 $AgNO_3$	白色(Cl)、淡黄(Br)、黄(I)沉淀	卤素离子（若未水解直接加 $AgNO_3$ ）	必须水解后酸化；卤代芳烃需加强条件（如长时间加热）	不能直接加 $AgNO_3$ ，因卤代烃中卤素不电离
醇（活泼氢）	乙醇	金属钠	产生无色气泡（H_2 ）	水、酚、羧酸	先加无水 $CuSO_4$ 检验水（变蓝则含水）；加 $NaHCO_3$ 检验羧酸（气泡）；酚可先用 NaOH 萃取分离	不是醇的专属检验，只能证明有活泼氢。高中常作为“醇中含有水”的检验

醇（区分伯仲叔）	正丁醇、仲丁醇、叔丁醇	卢卡斯试剂（浓 HCl + 无水 $ZnCl_2$ ）	叔醇：立即浑浊/分层；仲醇：2-5 分钟浑浊；伯醇：加热也不反应	高级醇（≥6C）不溶于试剂	—	仅适用于低分子量醇（≤5C），用于区分伯、仲、叔醇
醇（氧化辅助）	乙醇	酸性 $K_2Cr_2O_7$ 溶液	橙色→蓝绿色（Cr^{3+} ）	醛、还原性物质	可先加 $NaHSO_3$ 除去醛	不能单独作为醇的检验，醛、烯烃等也会变色
酚	苯酚	$FeCl_3$ 溶液	紫色、蓝紫色等	烯醇式结构的化合物	控制 pH≈5-6，过酸会褪色	不同酚显色不同（苯酚→紫，邻苯二酚→绿等）
		浓溴水	白色沉淀（三溴苯酚）	苯胺（也生成白色沉淀）	用 $NaHCO_3$ 溶液：酚溶于碱，苯胺不溶	苯胺与溴水生成 2,4,6-三溴苯胺（白色），需区分
醛	乙醛	银氨溶液（水浴加热）	银镜	还原性糖、甲酸、还原性物质	试管必须洁净；甲酸也发生银镜反应（但甲酸有酸性，可先用 $NaHCO_3$ 检验）	不能振荡，水浴静置；甲酸、葡萄糖等干扰
		新制 $Cu(OH)_2$ 悬浊液（加热）	砖红色沉淀（Cu_2O）	还原性糖、甲酸	碱性条件，酮不反应	斐林试剂也适用，需新制
		品红-亚硫酸试剂（Schiff 试剂）	紫红色	部分酮（如丙酮不反应，但甲基酮可缓慢显色）	醛类专属，但甲醛显色后加 H_2SO_4 不褪，其他醛褪色	可用于区分醛和酮，但甲醛特殊
酮	丙酮	2,4-二硝基苯肼	黄/橙红色沉淀	醛	通过银镜反应区分（醛有，酮无）	醛和酮都能与该试剂反应，不能区分
		碘仿反应（I_2 +NaOH）	黄色沉淀（CHI_3 ）	甲基酮、乙醛、乙醇（可被氧化为乙醛）	只对甲基酮或能被氧化成甲基酮的醇有效	不是酮的专属反应
羧酸	乙酸	石蕊试液	变红	酸性更强的酸（如磺酸）	测 pH	羧酸使石蕊变红，但强酸也可
		$NaHCO_3$ 溶液	产生无色气泡（CO_2 ）	—	酚、醇不与 $NaHCO_3$ 反应	羧酸的专属检验，因为羧酸酸性强于碳酸

酯	乙酸乙酯	闻气味（水果香）+ 水解后检验羧酸和醇	香味消失，产生酸和醇	—	水解后用 $NaHCO_3$ 检验酸，用银镜或碘仿检验醇（如果是乙醇）	酯无特征显色反应，通常通过水解产物判断
胺（脂肪/芳香）	苯胺	与对二甲氨基苯甲醛（Ehrlich 试剂）	黄色或红色	—	芳香胺常用	反应灵敏，不同胺颜色有差异
	苯胺	与漂白粉溶液	紫色	—	芳香胺灵敏检验	操作简便
	芳香伯胺	重氮化-偶联反应（0-5°C $NaNO_2$ +HCl，再与β-萘酚）	橙红色偶氮染料	脂肪胺不反应	芳香伯胺专属	低温保持 0-5°C，重氮盐不稳定
硝基化合物	硝基苯	碱性条件下与锌粉还原后检验苯胺	还原后用重氮化-偶联法显橙红色	—	需还原后检验	先还原为芳香胺，再按胺检验

附录二：官能团性质表

官能团	代表物	结构特征	物理性质	化学性质与反应（条件）	稳定性/注意事项
烷烃 (C-C, C-H)	甲烷	单键，σ键，饱和	随碳数增加，沸点升高；不溶于水，密度＜水	1. 卤代（X_2 /光照） 2. 燃烧（O_2 ） 3. 裂化（高温/催化剂）	化学性质稳定，耐强酸强碱、强氧化剂；光照下发生自由基取代
烯烃 (C=C)	乙烯	双键，一个σ键一个π键，平面结构	沸点略低于对应烷烃；不溶于水	1. 加成：H_2 /Ni，X_2 /CCl_4 ，HX（马氏），H_2 O/H^+ （马氏） 2. 氧化：$KMnO_4$ /H^+ （断键），O_3 （臭氧化） 3. 加聚（催化剂）	双键较活泼，易被氧化、加成；加 HBr 有过氧化物效应（反马氏）
炔烃 (C≡C)	乙炔	三键，一个σ键两个π键，直线型	沸点更低，微溶于水	1. 加成：H_2 /Ni（两步），HX（两步） 2. 水化：Hg^{2+} /H^+ （制醛/酮） 3. 端基炔：与银氨溶液或 Cu_2 Cl_2 氨溶液生成沉淀	三键活泼；端基炔氢有弱酸性，可被强碱拔去；炔银干燥后易爆
芳香烃 (苯环)	苯	大π键（Π_6^6），平面正六边形	不溶于水，密度＜水，有毒	1. 亲电取代：卤代（Br_2 /$FeBr_3$ ）、硝化（混酸）、磺化（浓 H_2 SO_4 ） 2. 侧链反应：光照卤代、酸性 $KMnO_4$ 氧化（有α-H） 3. 加成：H_2 /Ni（高温高压）	苯环稳定，不易加成、氧化；侧链α-H 较活泼
卤代烃 (C-X)	溴乙烷	碳-卤素极性共价键	不溶于水，密度一般＞水（氯代烷除	1. 取代（NaOH/H_2 O）→ 醇 2. 消去（NaOH/醇）→ 烯烃	C-X 键极性，易发生亲核取代；不同卤素、不同烃基反应活性不同（RI＞RBr＞RCl）

			外）	3. 与 NaCN、Mg 等反应	
醇（C-OH）	乙醇	羟基连在饱和碳上	低级醇溶于水，随碳数增加溶解度下降；沸点较高（氢键）	1. 与 Na 反应（生成醇钠+H_2 ）	醇羟基活泼；强氧化剂可氧化伯、仲醇；叔醇易脱水
				2. 取代：与 HX（卤代烃）	
				3. 脱水：分子内（浓 H_2 SO_4 /170°C）→烯烃；分子间（140°C）→醚	
				4. 氧化：伯醇→醛→酸；仲醇→酮；叔醇不氧化	
				5. 酯化（羧酸/H^+ ）	
酚（Ar-OH）	苯酚	羟基直接连在苯环上	微溶于水，易溶于有机溶剂；有弱酸性（pKa≈10）	1. 弱酸性：与 NaOH 反应生成酚钠，通 CO_2 可析出	酚羟基比醇羟基活泼；苯环因羟基活化极易取代；易被氧化
				2. 与 $FeCl_3$ 显色（紫色）	
				3. 亲电取代：浓溴水（三溴苯酚沉淀）、稀 HNO_3 （邻/对位）	
				4. 氧化：空气中易变粉红	
醚（C-O-C）	乙醚	氧原子连接两个烃基	低极性，挥发性强，易燃烧；常用作溶剂	1. 弱碱性：可与强酸形成!盐	对碱、还原剂稳定；遇强酸醚键断裂；乙醚需避光保存
				2. 自动氧化：久置生成过氧化物（易爆）	
				3. 裂解：与 HI 反应生成醇和碘代烃	
醛（-CHO）	乙醛	羰基碳上连一个 H	低级醛有刺激性气味，易溶于水	1. 还原（H_2 /Ni）→ 伯醇	羰基活泼，易被氧化；α-H 有一定酸性；空气中易自动氧化
				2. 氧化：银镜反应、斐林试剂（检验）、O_2 /催化剂→羧酸	
				3. 加成：HCN（增碳）、格氏试剂	
				4. 羟醛缩合（稀 OH^- ）	
酮（C=O）	丙酮	羰基碳连两个烃基	低级酮易溶于水，有特殊气味	1. 还原（H_2 /Ni）→ 仲醇	羰基较醛稳定；不与斐林试剂、银氨溶液反应；甲基酮可发生碘仿反应
				2. 难被氧化（不与银氨溶液反应）	

				3. 加成：HCN、格氏试剂	
				4. α-H 卤代（碘仿反应：甲基酮）	
羧酸（-COOH）	乙酸	羧基，羰基+羟基	低级酸有酸味，易溶于水；高级酸不溶	1. 酸性：与 $NaHCO_3$ 反应（专属）	羧基稳定；酸性强于碳酸、酚；加热可发生脱水（生成酸酐）
				2. 酯化（醇/H^+ ）	
				3. 还原（$LiAlH_4$ ）→ 伯醇	
				4. 脱羧（特殊条件）	
酯（-COOR）	乙酸乙酯	羧酸与醇脱水产物	低级酯有水果香味，不溶于水	1. 水解：酸性（可逆）、碱性（不可逆，皂化）	酯键在酸碱中易断裂；对氧化剂较稳定；可发生克莱森缩合（有α-H）
				2. 还原（$LiAlH_4$ ）→ 两种醇	
				3. 酯交换（醇/酸催化）	
胺（$-NH_2$, >NH, >N-）	苯胺	氮原子上连有烃基	低级胺溶于水，有鱼腥味；芳香胺有毒	1. 碱性：与酸反应生成铵盐	脂肪胺碱性强于氨；芳香胺碱性弱；易被氧化；重氮盐低温不稳定
				2. 酰化（酸酐/酰氯）→ 酰胺	
				3. 芳香胺：重氮化（0-5℃，$NaNO_2$ +HCl）→ 重氮盐	
				4. 苯胺：与漂白粉显紫色	
酰胺（$-CONH_2$ ）	乙酰胺	羧基中的-OH被$-NH_2$ 取代	多数为固体，溶于水	1. 水解：酸或碱加热 → 羧酸 + 胺（或铵盐）	酰胺键较稳定，需强酸强碱长时间加热才能水解；蛋白质中的酰胺键（肽键）
				2. 还原（$LiAlH_4$ ）→ 胺	
				3. 脱水（P_2O_5 ）→ 腈	
硝基化合物（$-NO_2$ ）	硝基苯	硝基连在碳上	不溶于水，密度＞水	1. 还原（Fe+HCl 或 H_2 /Ni）→ 芳香胺	硝基强吸电子，使苯环钝化；可被还原为氨基
				2. 硝基苯：苯环上间位定位，难亲电取代	