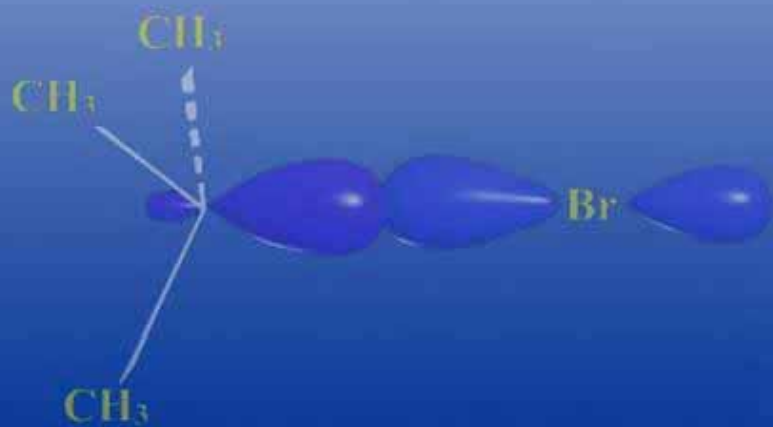
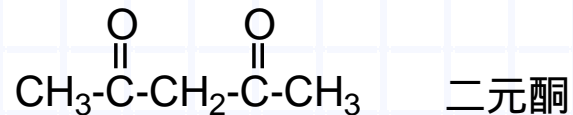
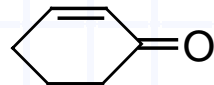
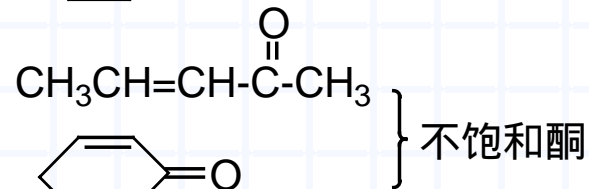
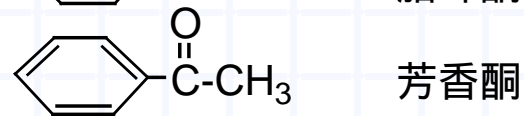
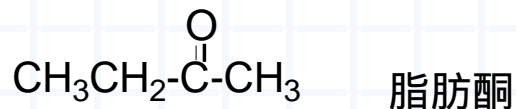
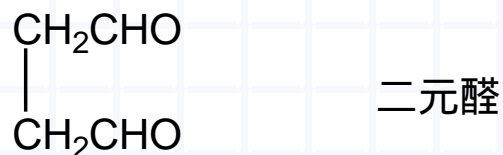
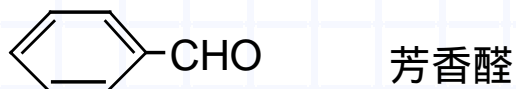
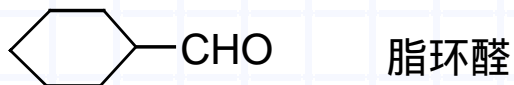
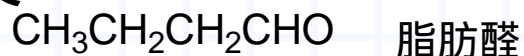


第十一章 醛和酮



第一节 醛、酮的分类，同分异构和命名

一、分类



二、同分异构现象

醛酮的异构现象有碳链异构和羰基的位置异构。

第一节 醛，酮的定义，结构，命名及物理性质

一 醛，酮的定义：（definition）

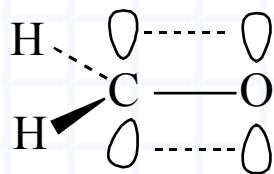
羰基及羰基化合物：含 >C=O Carbonyl group

醛：aldehydes 羰基两端是两个氢原子或一个氢原子和一个烃基。

酮：ketones 羰基两端是两个烃基。

二 结构（structure）

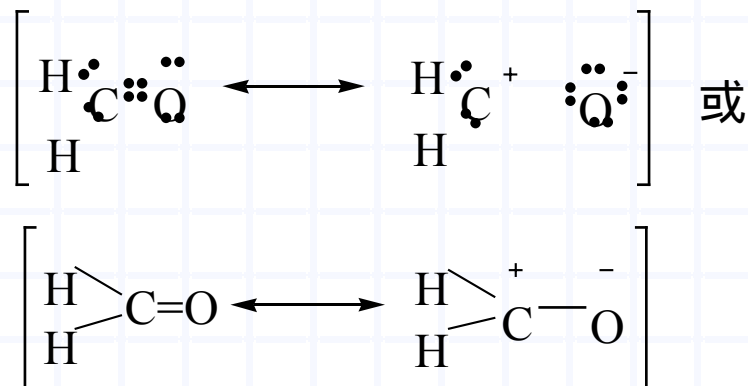
甲醛（formaldehyde）的结构如下：



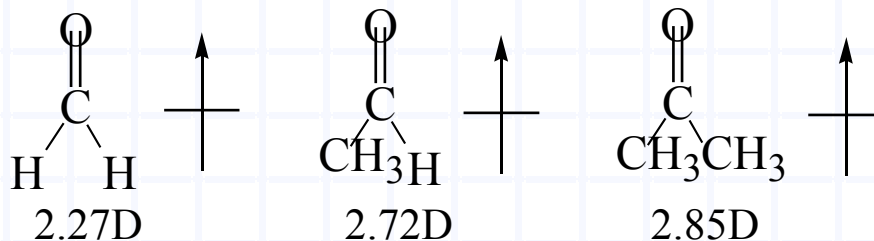
Bond	Lengths (Å)	Bond	Angles
C=O	1.203	H-C-O	121.8
C-H	1.101	H-C-H	116.5

C原子是 sp^2 杂化的，三个轨道分别与两个H，一个O形成三个键。剩下的p轨道与O原子的p轨道形成 π 键。

由于O原子的电负性（ electronegative ）比C原子大，所以O端带负电，C端带正电。正确的结构为：



所以醛酮都有一定的偶极矩，而且比较大。



结构决定性质：

- 1, 沸点比分子量相近的烷烃高50 以上；
- 2, 带正电性的硫与碱反应，即与羰基的加成反应；
- 3, α - H的酸性。

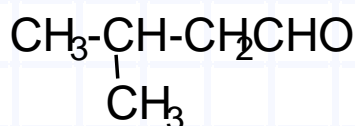
三、醛酮的命名

1, 习惯命名法

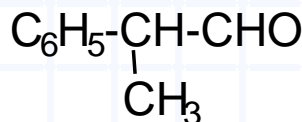
2, 系统命名法

选择含有羰基的最长碳链为主链，从靠近羰基的一端开始编号。

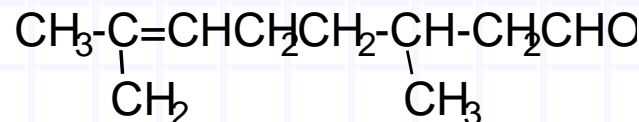
例如：



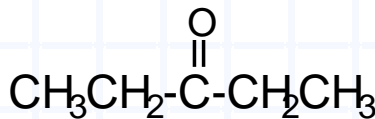
3-甲基丁醛



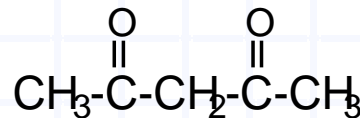
2-苯基丙醛



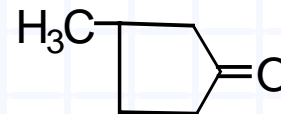
3,7-二甲基-6-辛醛



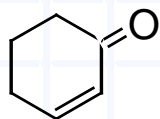
3-戊酮



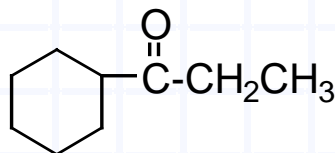
2,4-戊二酮



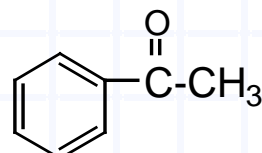
3-甲基环戊酮



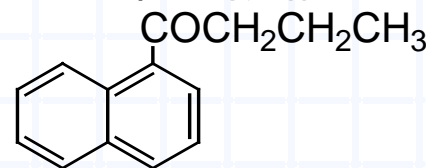
2-环己烯酮



1-环己基-1-丙酮



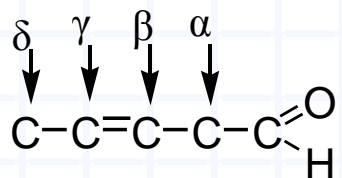
1-苯基-1-乙酮



α -萘-1-丁酮

碳原子的位置也可用希腊字母表示。

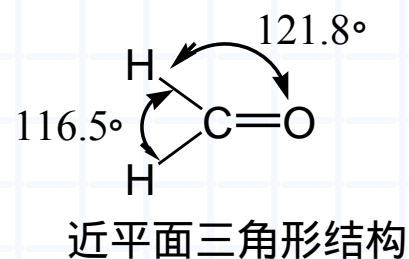
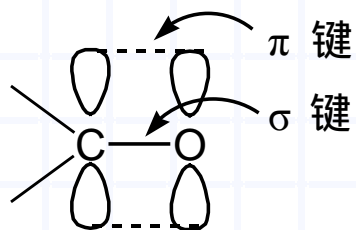
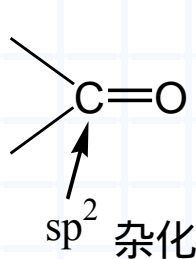
例如：



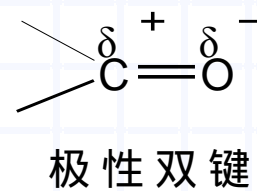
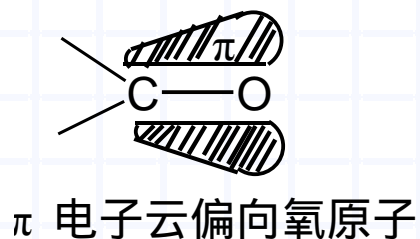
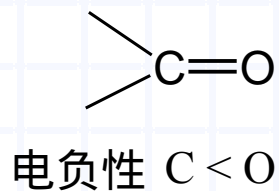
β - 丁烯醛

一、醛、酮的结构

醛酮的官能团是羰基，所以要了解醛酮必须先了解羰基的结构。



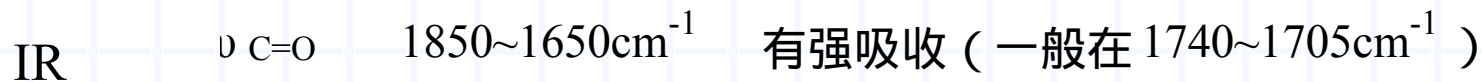
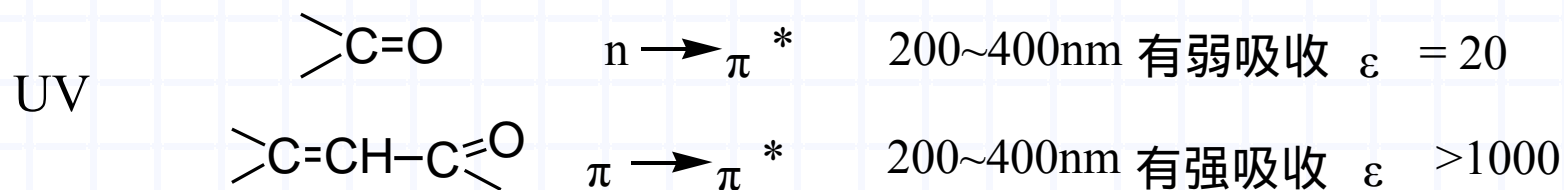
C=O双键中氧原子的电负性比碳原子大，所以电子云的分布偏向氧原子，故羰基是极化的，氧原子上带部分负电荷，碳原子上带部分正电荷。



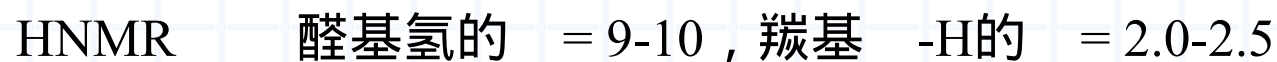
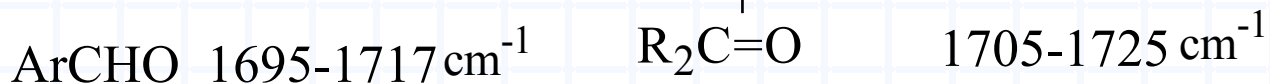
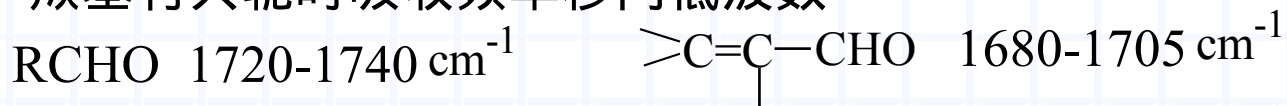
二、物理性质

沸点，溶解度

三、光谱性质



羰基有共轭时吸收频率移向低波数



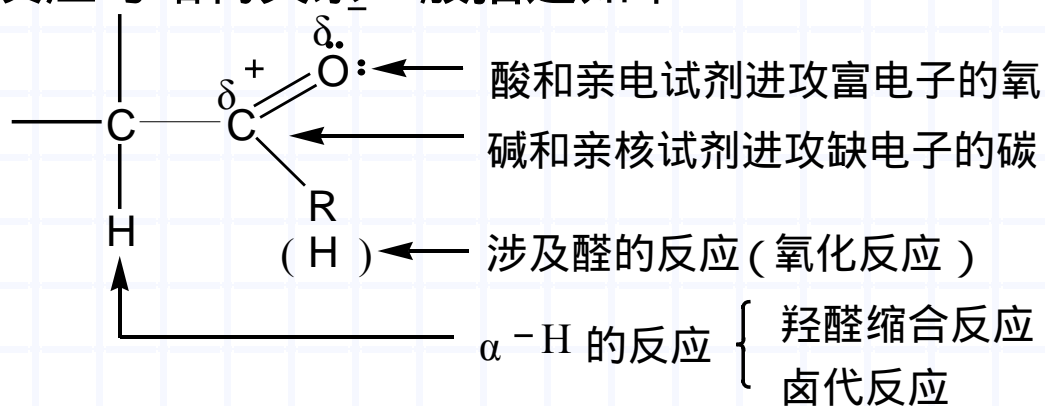
第二节 醛、酮的化学性质

醛酮中的羰基由于 $C=O$ 键的极化，使得氧原子上带部分负电荷，碳原子上带部分正电荷。氧原子可以形成比较稳定的氧负离子，它较带正电荷的碳原子要稳定得多，因此反应中心是羰基中带正电荷的碳。所以羰基易与亲核试剂进行加成反应（亲核加成反应）。

此外，受羰基的影响，与羰基直接相连的 α -碳原子上的氢原子（ α -H）较活泼，能发生一系列反应。

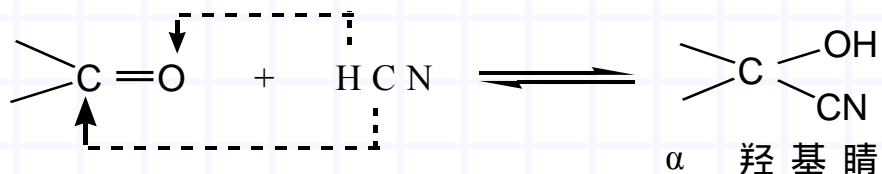
亲核加成反应和 α -H 的反应是醛、酮的两类主要化学性质。

醛、酮的反应与结构关系一般描述如下：



一、亲核加成反应(Nucleophilic addition)

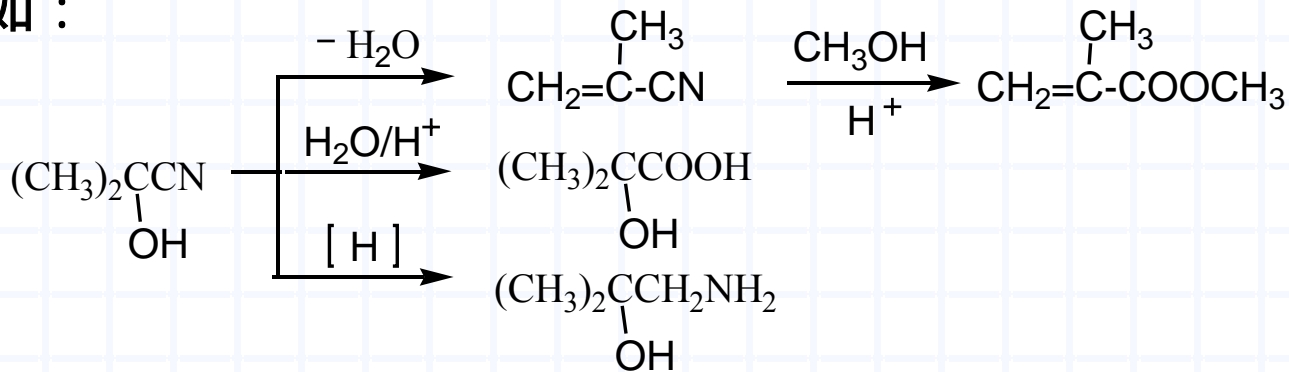
1. 与氢氰酸的加成反应



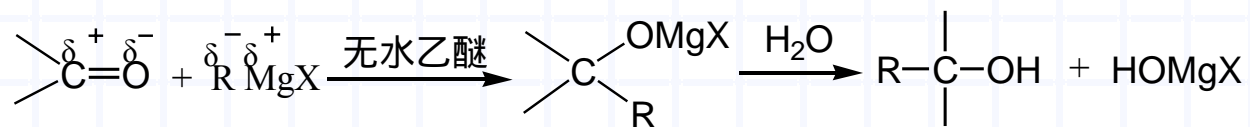
反应范围：醛、脂肪族甲基酮。ArCOR和ArCOAr难反应。

-羟基腈是很有用的中间体，它可转变为多种化合物，

例如：

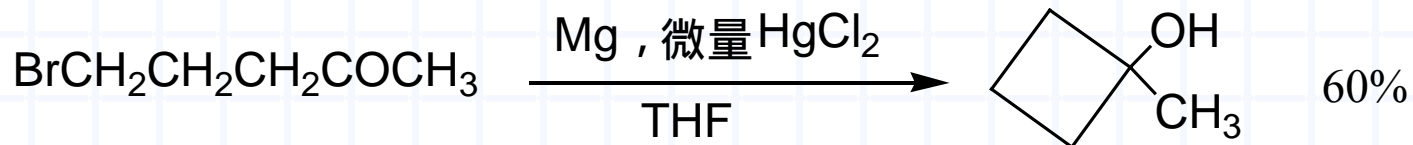


2. 与格式试剂的加成反应

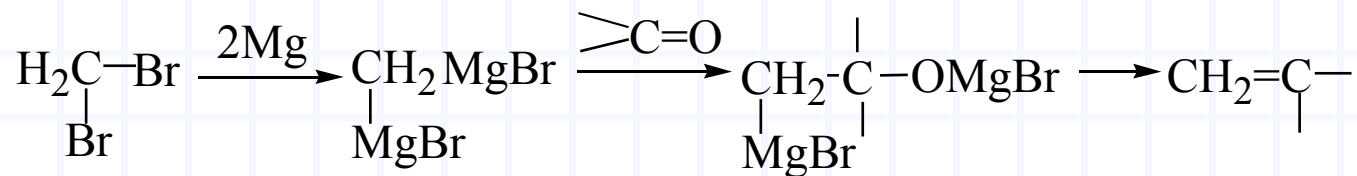


式中R也可以是Ar。故此反应是制备结构复杂的醇的重要方法。这类加成反应还可在分子内进行。

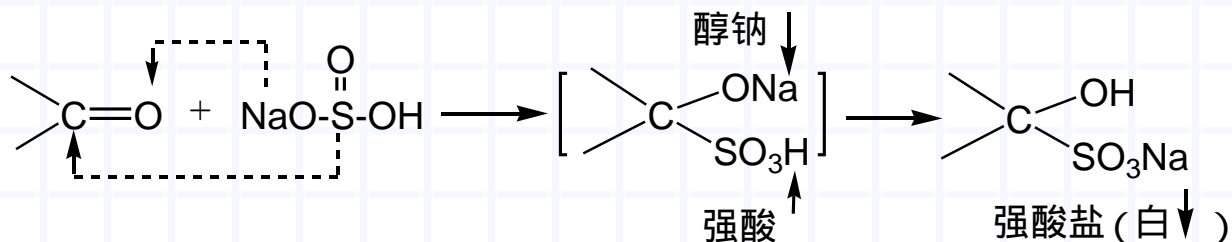
例如；



由 CH_2Br_2 或 CH_2I_2 生成的偕二卤代物和醛酮作用生成烯烃。



3. 与饱和亚硫酸氢钠 (40%) 的加成反应



产物 α -羟基磺酸盐为白色结晶，不溶于饱和的亚硫酸氢钠溶液中，容易分离出来；与酸或碱共热，又可得原来的醛、酮。故此反应可用以提纯醛、酮。

1° 反应范围 醛、脂肪族甲基酮、七元环以下的脂环酮。

2° 反应的应用

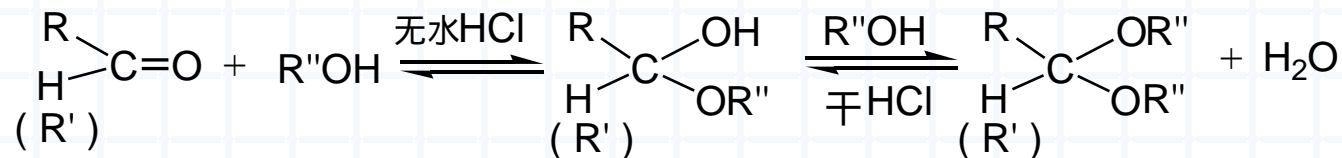
a 鉴别化合物

b 分离和提纯醛、酮

c 用于制备羟基腈，是避免使用挥发性的剧毒物HCN而合成羟基腈的好方法。

4. 与醇的加成反应

(i) 加1, 3- α 醇生成半缩醛或半缩酮



半缩醛(酮)

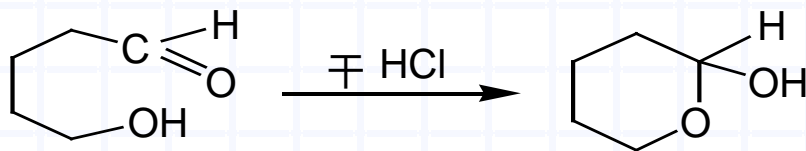
不稳定

一般不能分离出来

缩醛(酮), 双醚结构。

对碱、氧化剂、还原剂稳定,
可分离出来。

酸性条件下易水解



环状半缩醛(稳定)

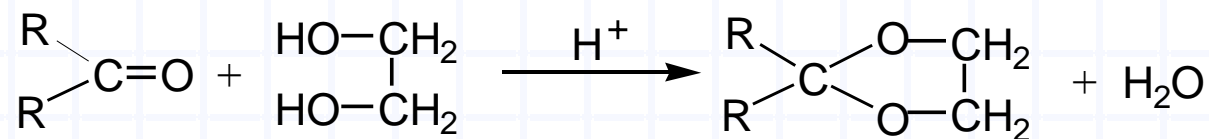
在糖类化合物中多见

注: 1 这些是平衡反应, 一般偏向左边, 但: 三氯乙醛却能生成稳定。

2 甲醛的提纯: 与高沸点的醇生成半缩醛, 然后加热分解, 这样得到甲醛不含水和甲酸。

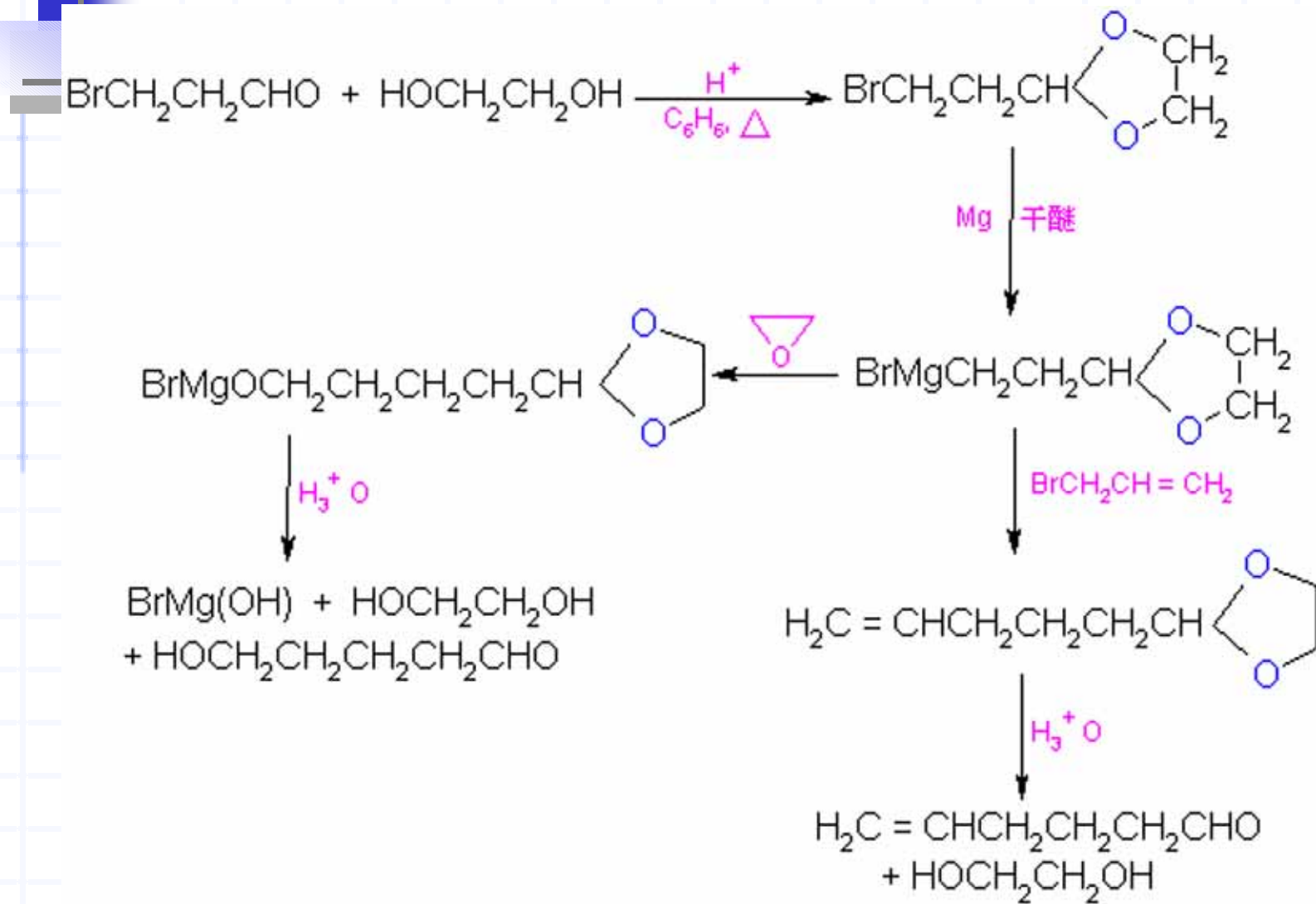
3 酸和碱对反应有催化作用。

醛较易形成缩醛，酮在一般条件下形成缩酮较困难，用1,2-二醇或1,3-二醇则易生成缩酮。



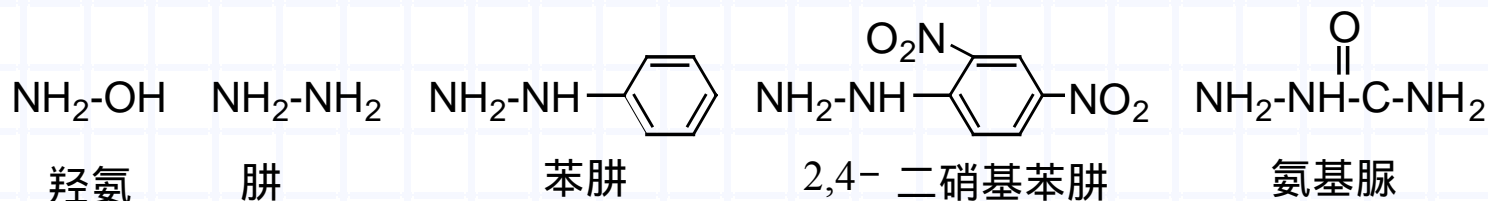
反应的应用：有机合成中用来保护羰基。

See :

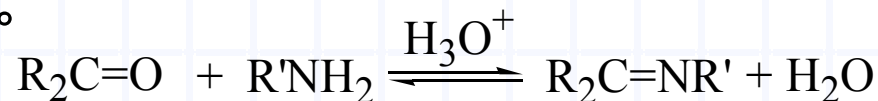


5. 与氨及其衍生物的加成反应

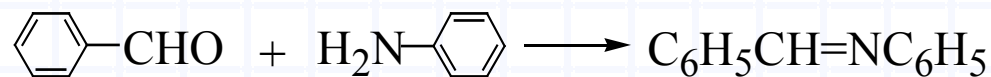
醛、酮能与氨及其衍生物的反应生成一系列的化合物。



醛、酮与氨或伯胺反应生成亚胺（西佛碱），亚胺不稳定，故不作要求。

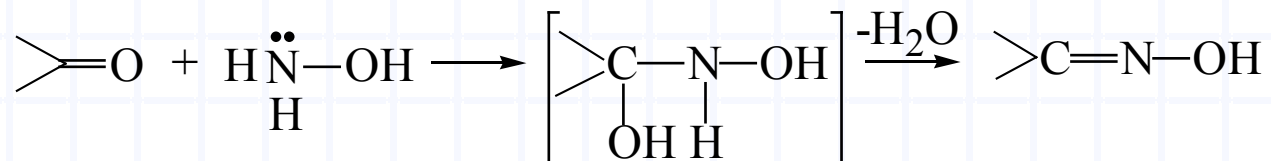


醛、酮与芳胺反应生成的亚胺（西佛碱）较稳定，但在有机合成上无重要意义，故也不作要求。

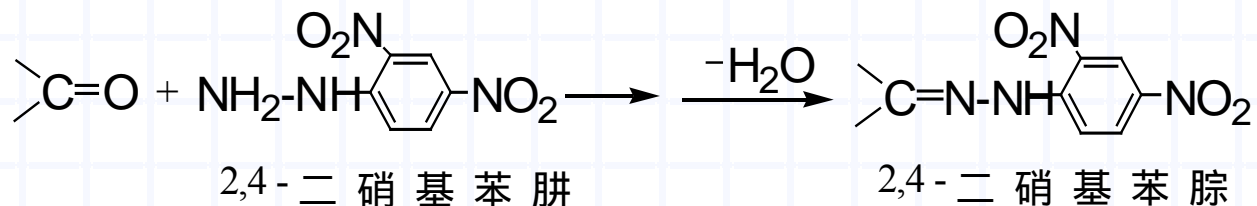
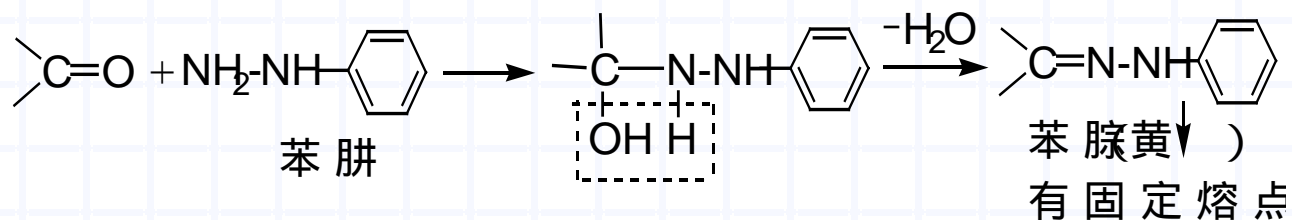


醛，酮与羟胺反应生成肟 (oxime)。

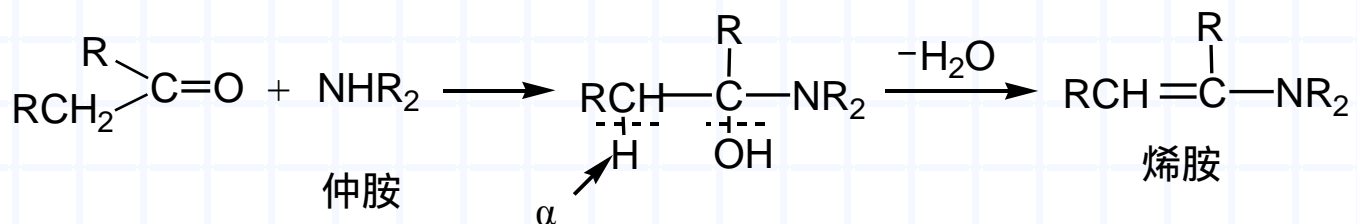
肟一般为结晶固体，有一定熔点，容易分离和纯化，常用来鉴定醛酮，肟与稀盐酸一起加成，水解生成原来的醛酮，故也可通过肟来提纯醛酮。



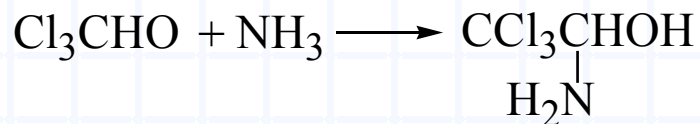
醛，酮和苯，氨基脲分别生成苯腙和缩氨基脲：



醛、酮与有 α -H 的仲胺反应生成烯胺，烯胺在有机合成上是个重要的中间体。



醛、酮与氨的衍生物反应，其产物均为固体且各有其特点，是有实用价值的反应。
三氯乙醛与氨生成脒的白色晶体：

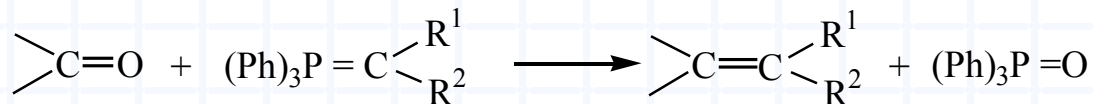
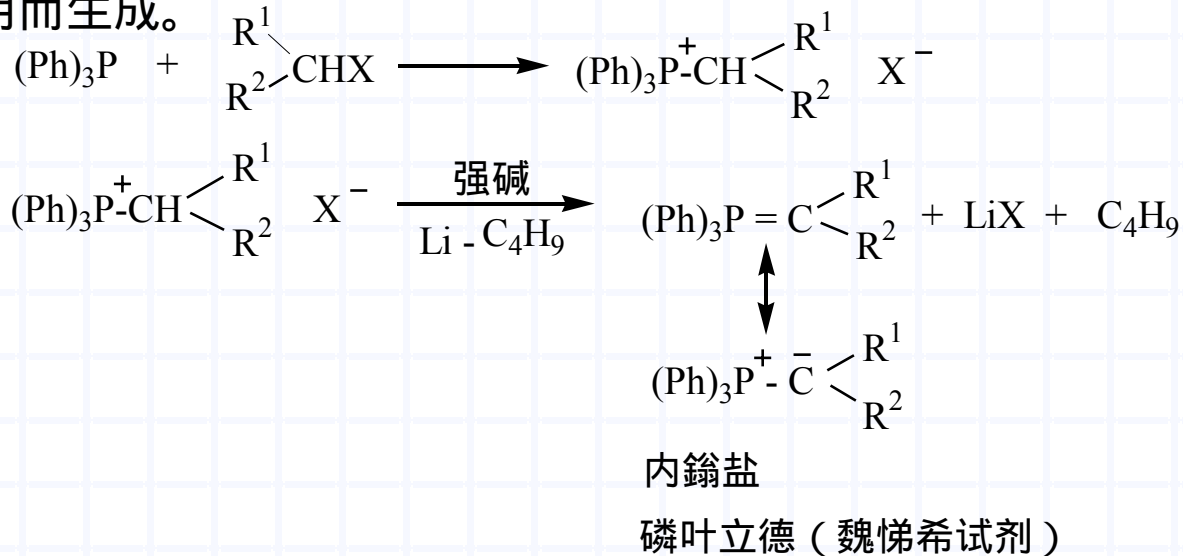


但其他醛酮与氨生成复杂的产物，如甲醛与氨生成环六亚甲基四胺。

6. 与魏悌希 (Wittig) 试剂的加成反应

魏悌希 (Wittig) 试剂为磷的内鎓盐，又音译为叶立德 (Ylide)，是德国化学家魏悌希在1945年发现的。

磷叶立德 (魏悌希试剂) 通常由三苯基磷与1级或2级卤代物反应得磷盐，再与碱作用而生成。





此反应即为魏悌希反应，是合成烯烃和共轭烯烃的好方法。

其反应特点是：

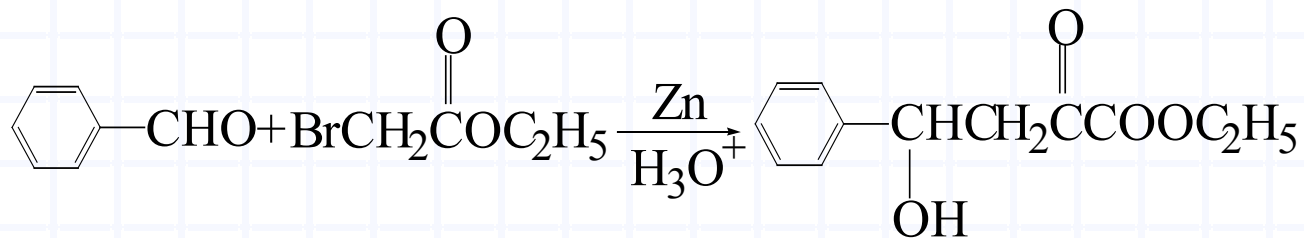
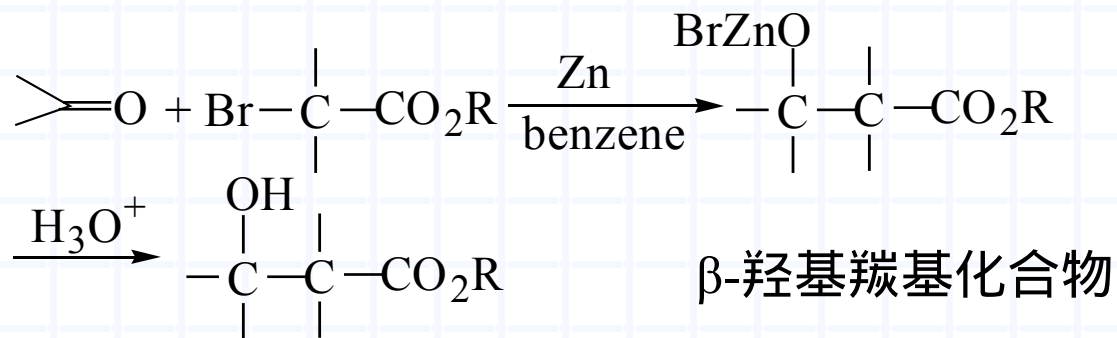
- 1° 可用与合成特定结构的烯烃（因卤代烃和醛酮的结构可以多种多样）。
- 2° 醛酮分子中的 C=C、C—C 对反应无影响，分子中的 COOH 对反应也无影响。
- 3° 魏悌希反应不发生分子重排，产率高。
- 4° 能合成指定位置的双键化合物。

魏悌希（Wittig）发现的此反应对有机合成作出了巨大的贡献，特别是在维生素类化合物的合成中具有重要的意义，为此他获得了1979年的诺贝尔化学奖（1945年43岁发现，1953年系统的研究了魏悌希反应，82岁获奖）。

7. 与希夫试剂（品红醛试剂）的反应

区别醛酮：与醛→紫红色 与酮→不反应

瑞佛马斯基反应 (The Reformatsky Reaction)



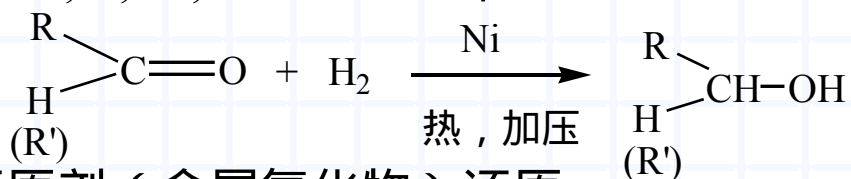
二、还原反应

利用不同的条件，可将醛、酮还原成醇、烃或胺。

(一) 还原成醇 ($>C=O \longrightarrow >CH-OH$)

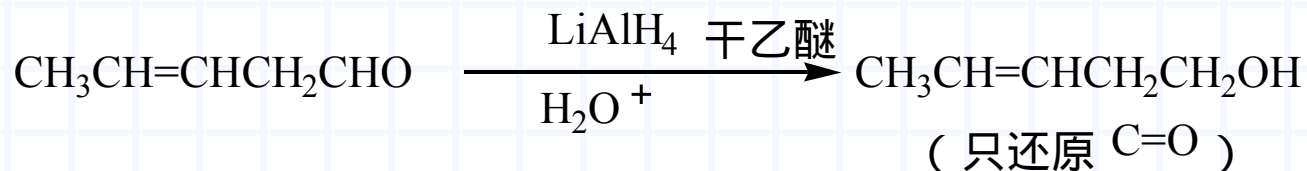
1. 催化氢化 (产率高, 90~100%)

在催化剂Pd, Pt, Ru, Pb的存在下, 醛酮可被H₂还原



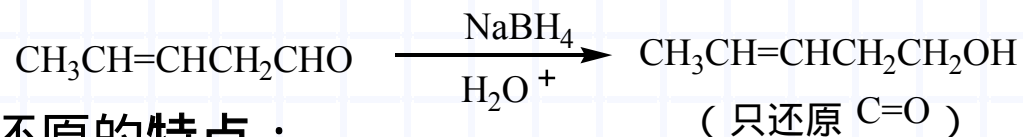
2. 用还原剂 (金属氢化物) 还原

(1) LiAlH₄还原



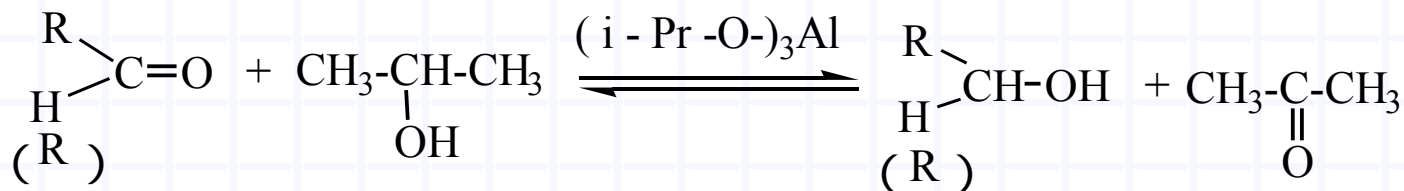
LiAlH₄是强还原剂, 但选择性差, 除不还原C=C、C—C外, 其它不饱和键都可被其还原; 不稳定, 遇水剧烈反应, 通常只能在水醚或THF中使用。

(2) NaBH₄还原



NaBH₄还原的特点：

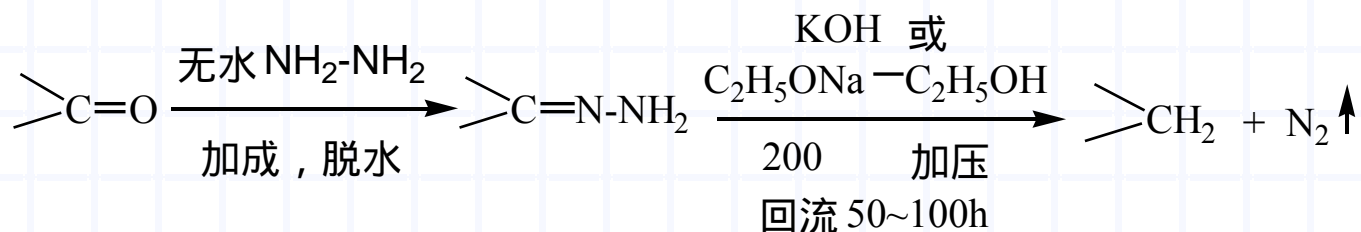
- 1° 选择性强（只还原醛、酮、酰卤中的羰基，不还原其它基团。）
- 2° 稳定（不受水、醇的影响，可在水或醇中使用）。
3. 异丙醇铝——异丙醇还原法（麦尔外因-庞道夫MeerWein-Ponndorf还原法）



(二) 还原为烃

较常用的还原方法有两种。

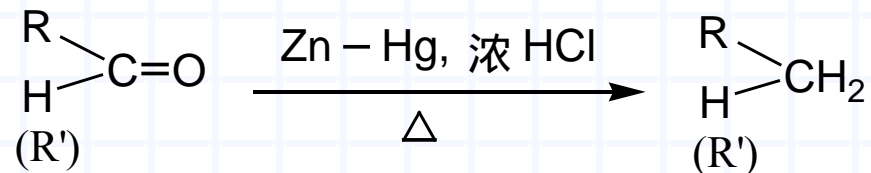
1. **吉尔聂尔-沃尔夫-黄鸣龙**还原法 (吉尔聂尔为俄国人, 沃尔夫为德国人) 此反应是吉尔聂尔和沃尔夫分别于1911、1912年发现的, 故此而得名。



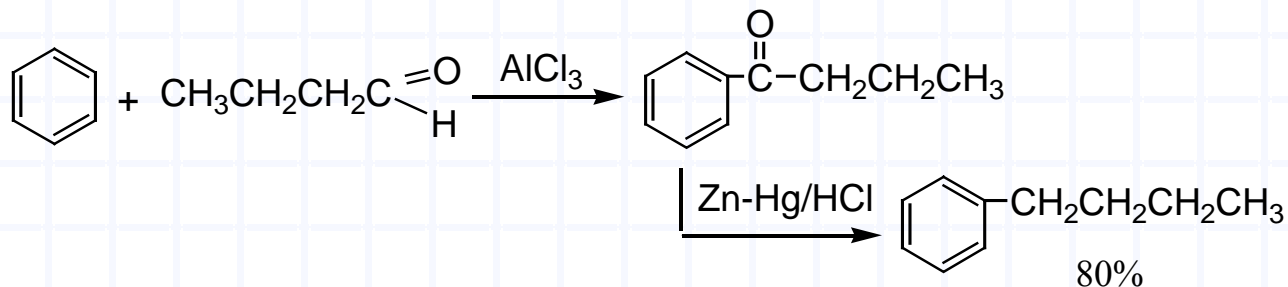
1946年-**黄鸣龙**改进了这个方法。

改进: a 将无水肼改用为水合肼; 碱用NaOH; 用高沸点的缩乙二醇为溶剂一起加热。加热完成后, 先蒸去水和过量的肼, 再升温分解腓。

2. 克莱门森 (Clemmensen) 还原——酸性还原



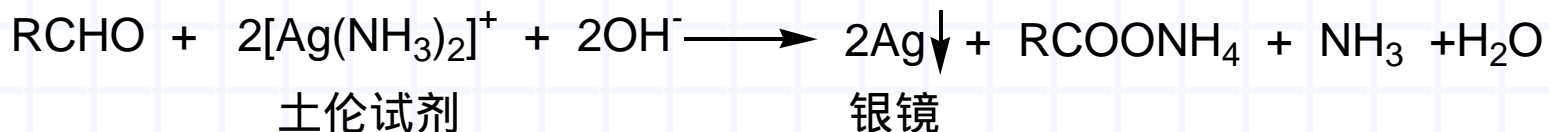
此法适用于还原芳香酮，是间接在芳环上引入直链烷基的方法。



对酸敏感的底物（醛酮）不能使用此法还原（如醇羟基、C=C等）。

三、氧化反应

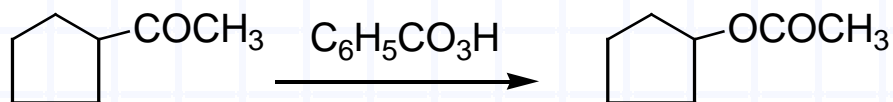
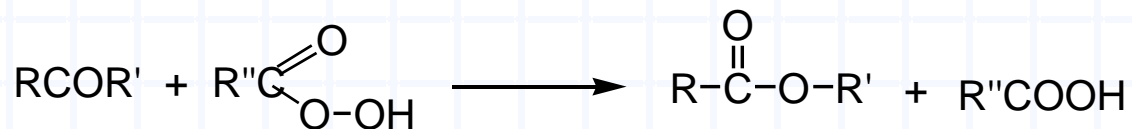
醛易被氧化，弱的氧化剂即可将醛氧化为羧酸。



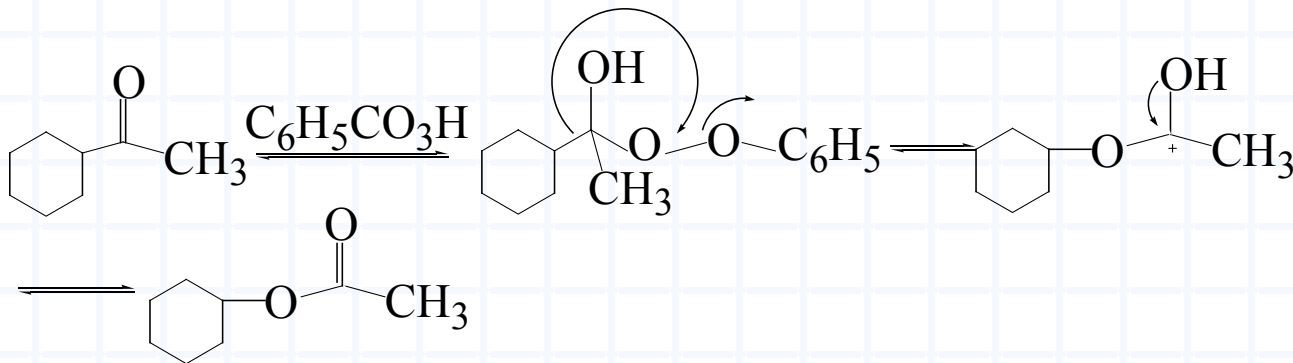
土伦试剂是弱氧化剂，只氧化醛，不氧化酮和C=C。故可用来区别醛和酮。

酮难被氧化，使用强氧化剂（如重铬酸钾和浓硫酸）氧化酮，则发生碳链的断裂而生成复杂的氧化产物。只有个别实例，如环己酮氧化成己二酸等具有合成意义。

酮被过氧酸氧化则生成酯：



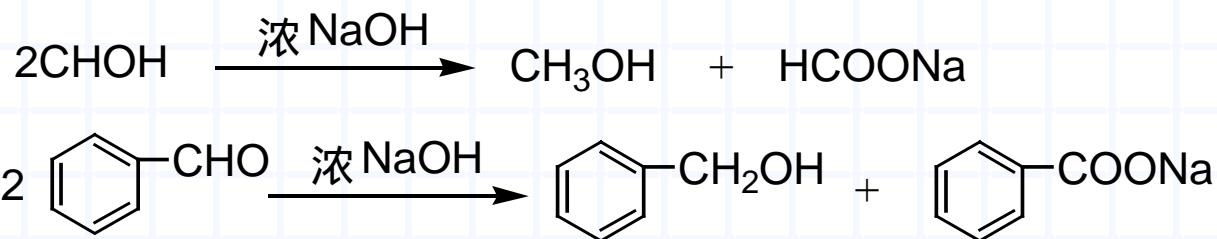
历程：



用过氧酸是酮氧化，不影响其碳干，有合成价值。这个反应称为拜尔-维利格（Baeyer-Villiger）反应。

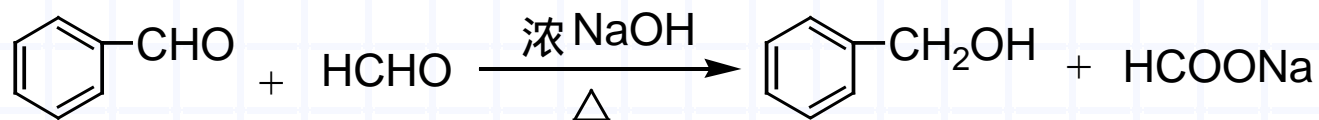
四、歧化反应——康尼查罗 (Cannizzaro) 反应

没有 α -H 的醛在浓碱的作用下发生自身氧化还原 (歧化) 反应——分子间的氧化还原反应，生成等摩尔的醇和酸的反应称为康尼查罗反应。



交叉康尼查罗反应：

甲醛与另一种无 α -H 的醛在强的浓碱催化下加热，主要反应是甲醛被氧化而另一种醛被还原：



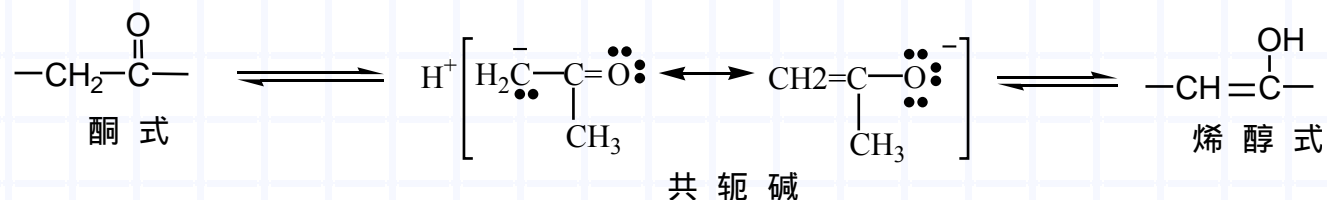
这类反应称为“交错”**康尼查罗**反应，是制备 ArCH_2OH 型醇的有效手段。

五、 α -H的反应

醛、酮分子中由于羰基的影响， α -H变得活泼，具有酸性，所以带有 α -H的醛、酮具有如下的性质：

1. 互变异构

在溶液中有 α -H的醛、酮是以酮式和烯醇式互变平衡而存在的。

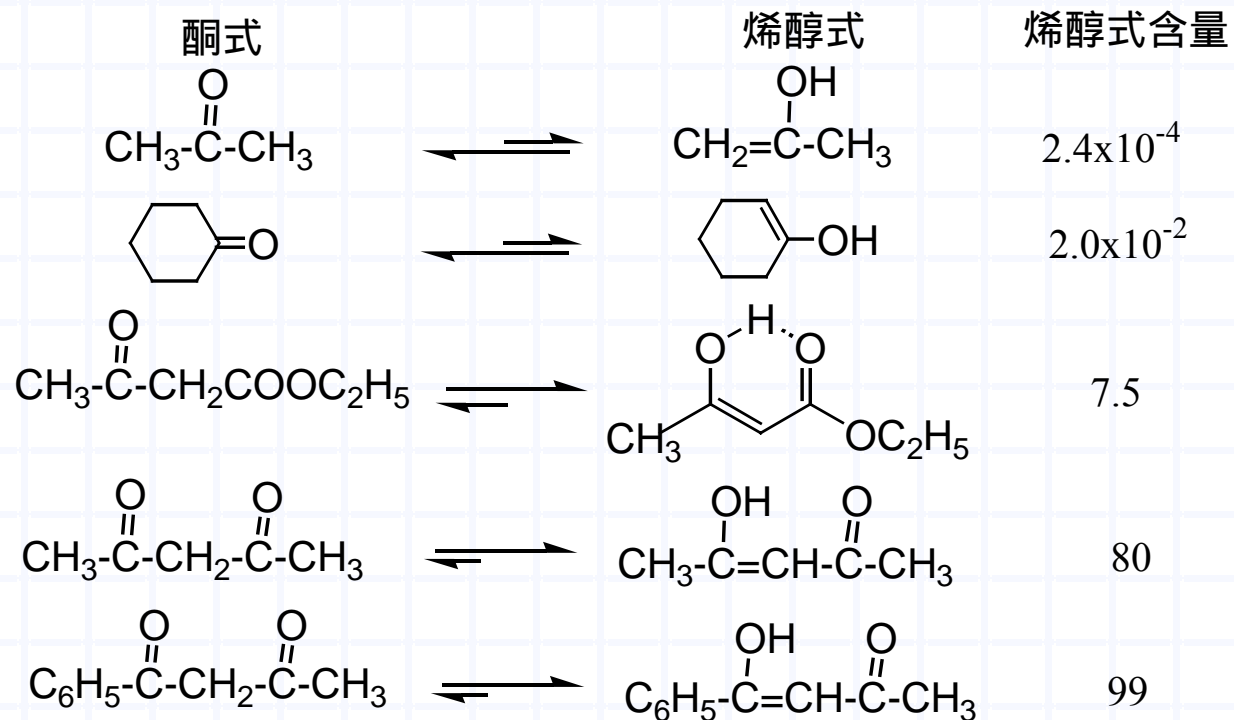


它们通过共轭碱互变，这种现象称为互变异构。（tautomerism）

酮 - 烯醇平衡常数 $K = [\text{烯醇}] / [\text{醛或酮}]$

简单脂肪醛在平衡体系中的烯醇式含量极少。

酮或二酮的平衡体系中，烯醇式能被其它基团稳定化，烯醇式含量会增多。



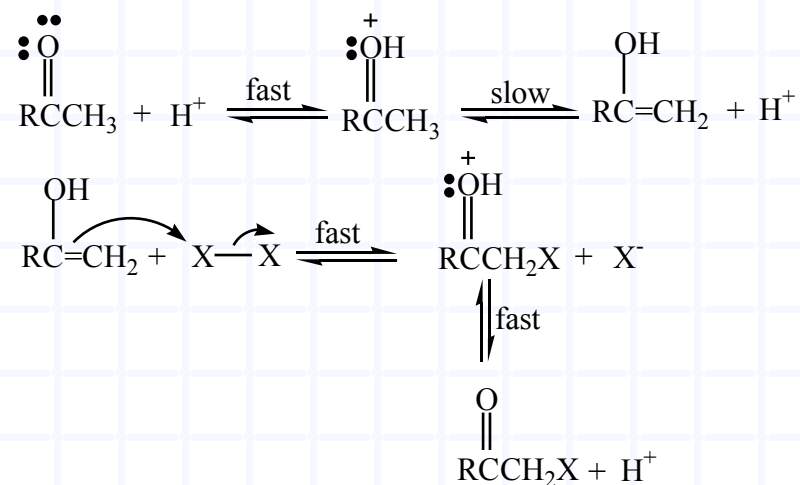
烯醇式中存在着C=C双键，可用溴滴定其含量。

2. -H的卤代反应

(1) 卤代反应

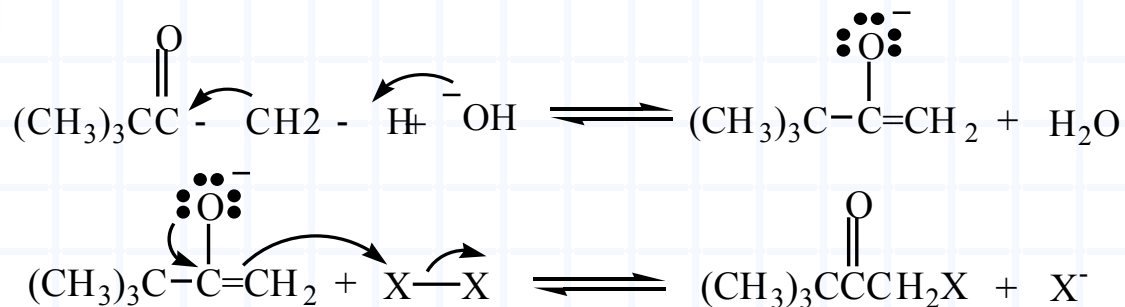
醛、酮的 α -H 易被卤素取代生成 α -卤代醛、酮，特别是在碱溶液中，反应能很顺利的进行。

酸性条件中：



实际上是卤素与C=C双键的亲电加成，所以停留在一取代上。

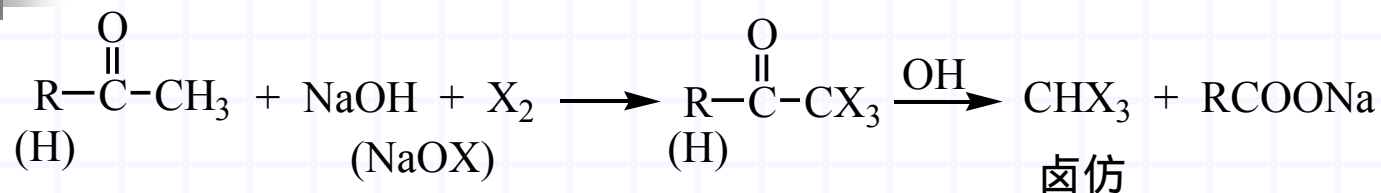
碱性条件中：



由于卤素原子的吸电子性，使 α -卤代醛酮中 α -H的酸性增强，更利于提高烯醇量，可以继续取代，得到一个 α -碳上全部是卤代产物。

(2) 卤仿反应

含有 α -甲基的醛酮在碱溶液中甲基上的三个H都被卤素取代，所生成的 α -三卤代醛酮在溶液中的碱作用下，碳-碳断裂，生成碘仿的羧酸盐称为碘仿反应。



若X₂用Cl₂则得到CHCl₃（氯仿）液体

若X₂用Br₂则得到CHBr₃（溴仿）液体

若X₂用I₂则得到CHI₃（碘仿）黄色固体 称其为碘仿反应。

碘仿反应的范围：

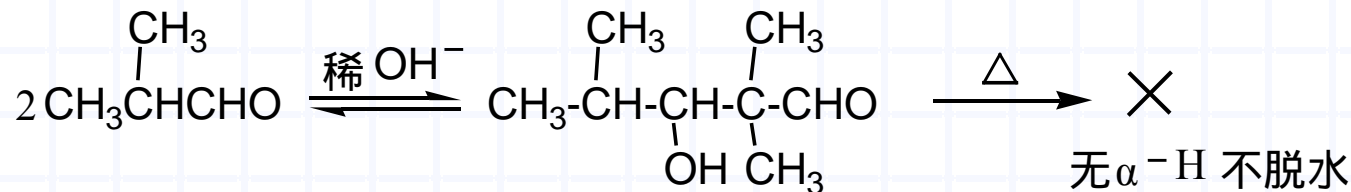
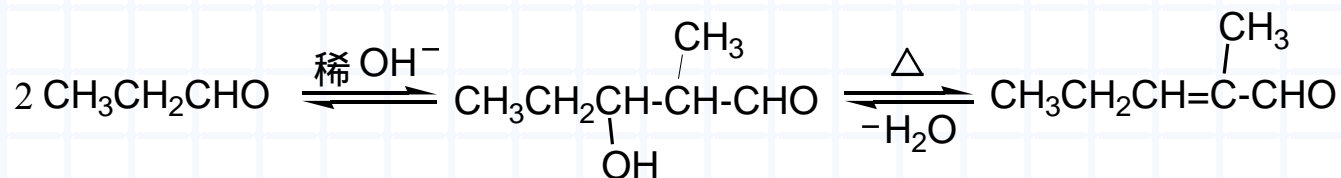
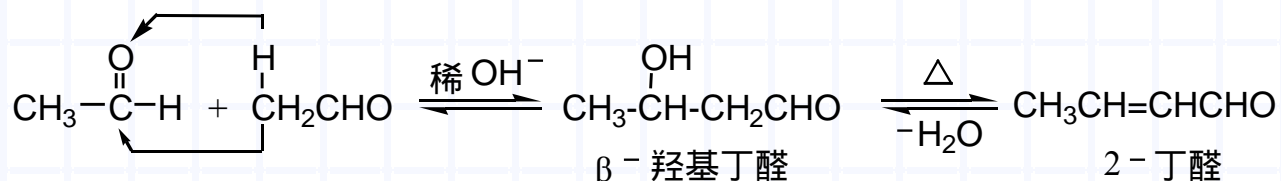
具有 $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ (R) 结构的醛、酮和具有 $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H}$ (R) 结构的醇。

因NaOX也是一种氧化剂，能将 -甲基醇氧化为 -甲基酮。

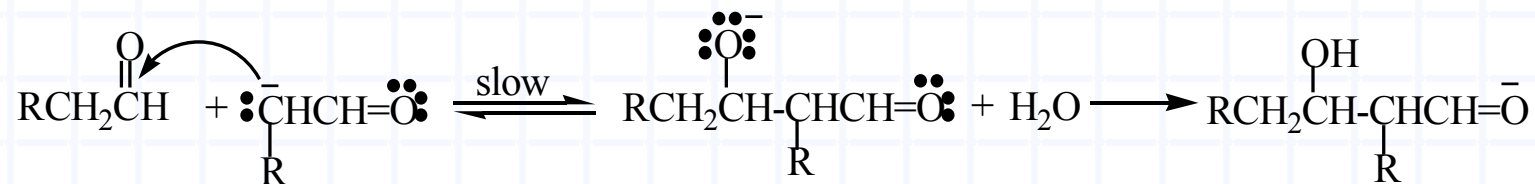
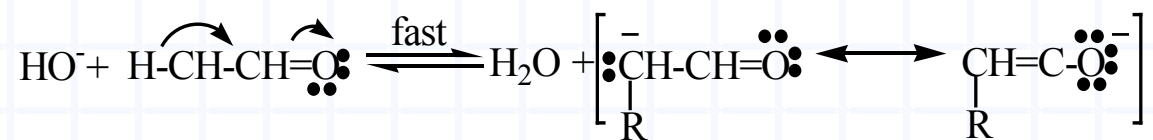
碘仿为浅黄色晶体，现象明显，故常用来鉴定上述反应范围的化合物。

3. 羟醛缩合反应

有 α -H 的醛在稀碱 (10%NaOH) 溶液中能和另一分子醛相互作用, 生成 β -羟基醛, 故称为羟醛缩合反应。



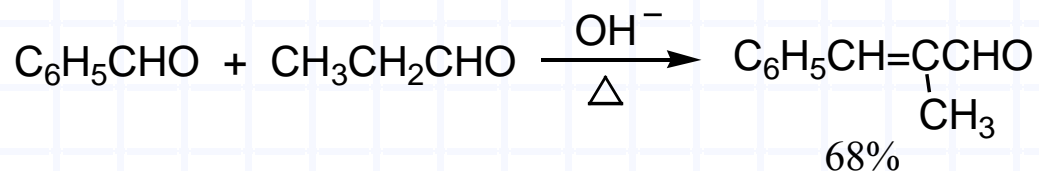
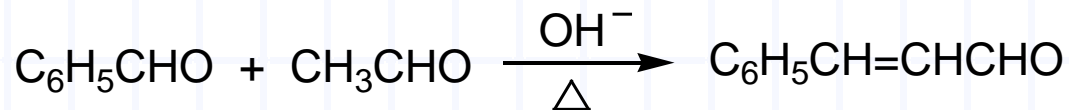
(1) 反应机理：



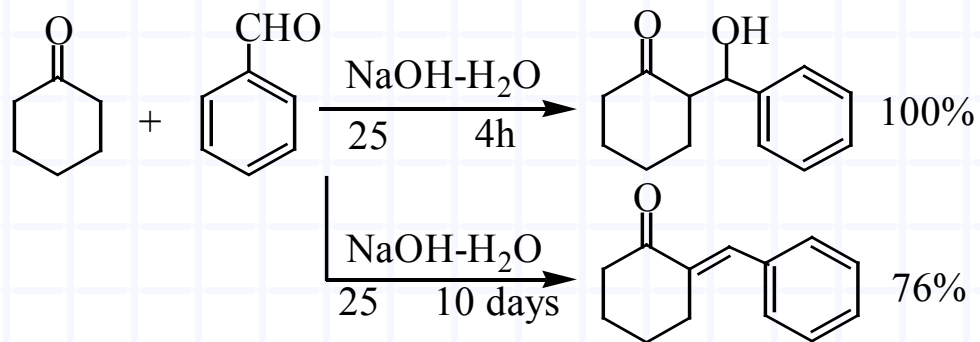
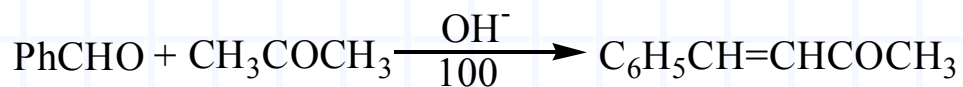
(2) 交叉羟醛缩合反应

若用两种不同的有 α -H 的醛进行羟醛缩合，则可能发生交错缩合，最少生成四种产物。

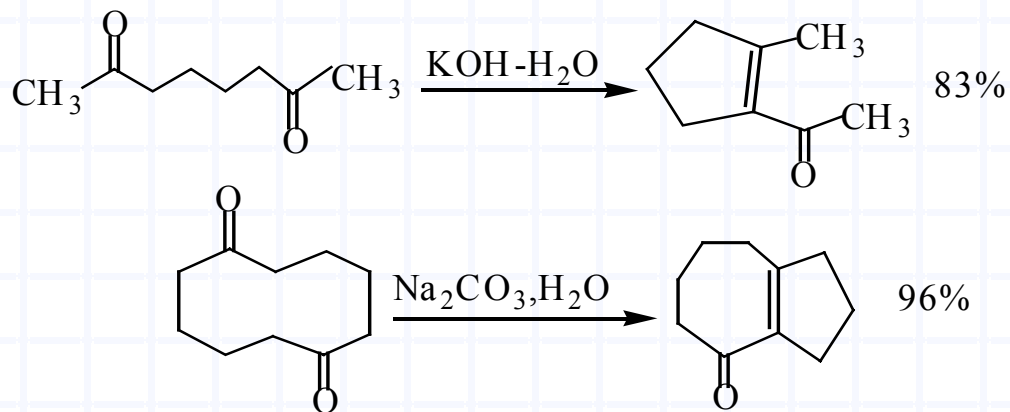
若选用一种无 α -H 的醛和一种 α -H 的醛进行交错羟醛缩合，则有合成价值。



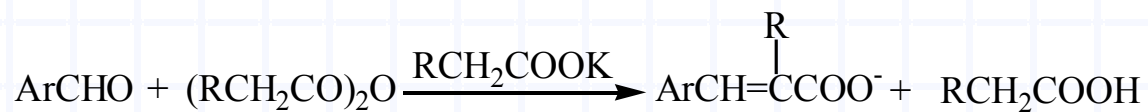
(3) 酮的 α -H 的缩合困难，一般较难进行。不过可以用一分子的醛（无 α -H）与酮进行交错缩合。



酮与醛的交错缩合可用与合成。二酮化合物可进行分子内羟酮缩合，是目前合成环状化合物的一种方法。



4. 醛酮的其它缩合反应——柏琴 (Perkin) 反应。

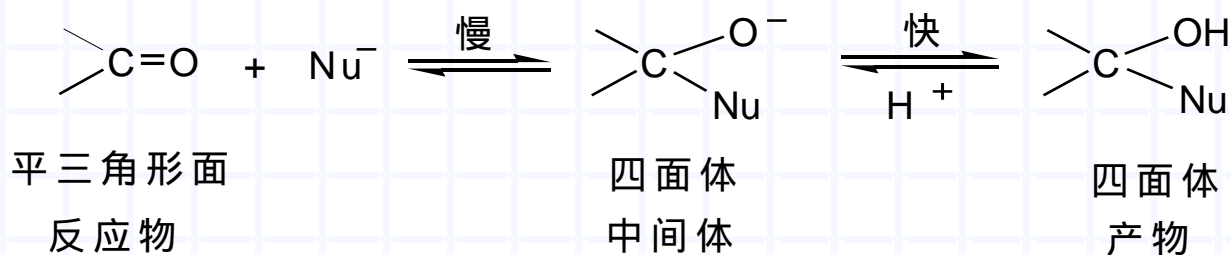


第四节 亲核加成反应历程

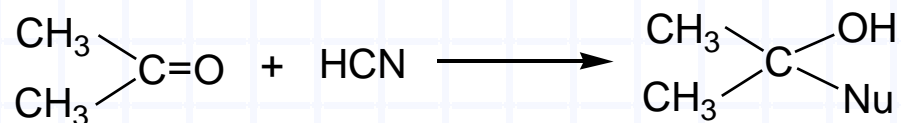
羰基的亲核加成是醛酮的典型反应，羰基是由不同元素形成的双键的典型代表，因此我们对羰基的亲核加成历程作进一步的讨论。

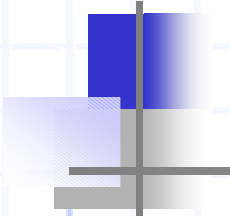
羰基的亲核加成大致分为两类，即简单加成反应和复杂的加成反应。

一、简单的亲核加成反应历程（加HCN、NaHSO₃等）



亲核加成历程的证明——以丙酮加HCN为例：





实验证明：中性（无碱存在时）3~4小时内只有一半原料起反应。

加一滴KOH到反应体系中，两分钟内反应即完成。

加大量酸到反应体系中去，放置几个星期也不反应。

这说明羰基与 CN^- 的反应确实是亲核加成反应。

原因：HCN的电离度很小，中性条件下氰酸根的浓度很小，故反应速度慢。

加入碱 OH^- 则中和了 H^+ ， CN^- 的浓度增大，故反应速度加快。

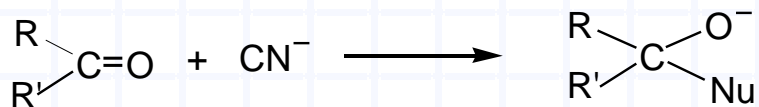
加入 H^+ 后抑制了HCN的电离， CN^- 的浓度大大减小，故反应很难进行。

各类亲核试剂对各类羰基化合物的加成反应的 K 值各不相同，有的很大，实际上不起反应；有的很小，实际上是不可逆反应。通常将 K_c 值在 10^4 以下者看作是可逆反应。HCN与醛酮加成的 K_c 值在 $10^3 \sim 10^{-3}$ 之间，是一种可逆反应，且易测定，故常用HCN为试剂来研究各种因素对亲核加成的影响。

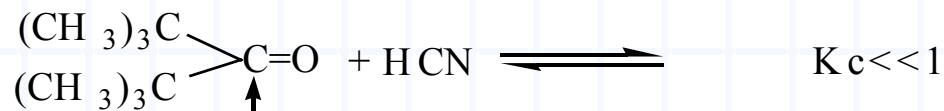
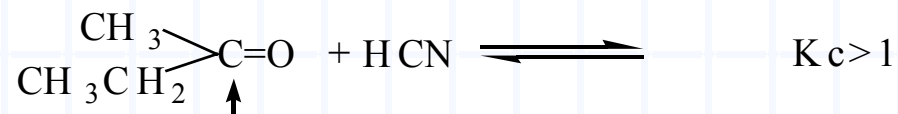
影响亲核加成的因素

1. 空间因素对亲核加成的影响

如果 R,R', Nu 体积增大, K_c 减少。



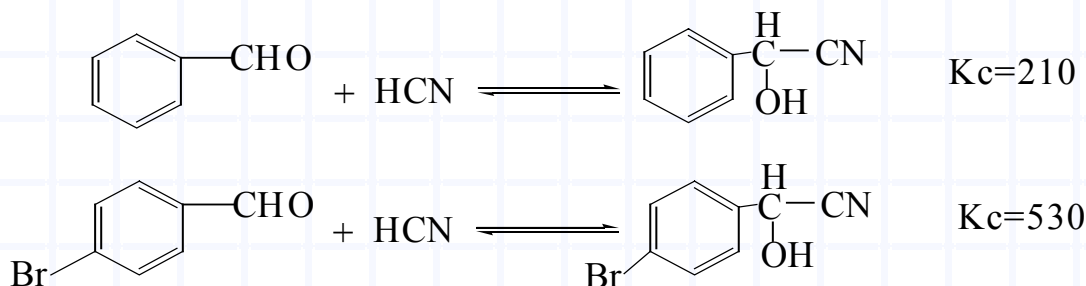
比如：



2. 电负性因素对亲核加成的影响

(1) 诱导效应 当羰基连有吸电子基时，使羰基碳上的正电性增加，有利于亲核加成的进行，吸电子基越多，电负性越大，反应就越快。

(2) 共轭效应 羰基上连有与其形成共轭体系的基团时，由于共轭作用可使羰基稳定化，因而亲核加成速度减慢。



3. 试剂的亲核性对亲核加成的影响

试剂的亲核性愈强，反应愈快。

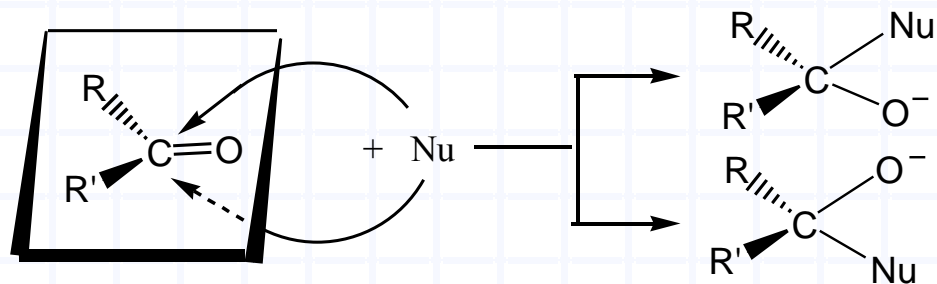
二、复杂的亲核加成反应历程

醛、酮与氨及其衍生物的加成反应为加成——消除历程。

三、羰基加成反应的立体化学

羰基具有平面结构，Nu可从任何一面进攻羰基碳原，但向两面进攻的几率是否相等？下面我们从反应物结构和试剂体积大小来进行讨论。

1. 对手性脂肪酮的加成



当R=R 时，加成产物为同一物。

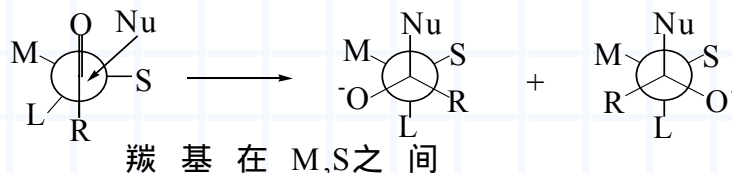
当R R 时，加成产物为外消旋体（Nu从羰基两面进攻的几率相等）。

当羰基与手性碳原子相连时，Nu从两面进攻的几率就不一定相等，加成后引入第二个手性碳原子，生成的两个非对映体的量也不一定相等。

Nu的进攻方向主要取决于 -手性碳原子上各原子（原子团）体积的相对大小。即其加成方向有一定的规律。

加成方向遵守克拉姆（Cram）规则

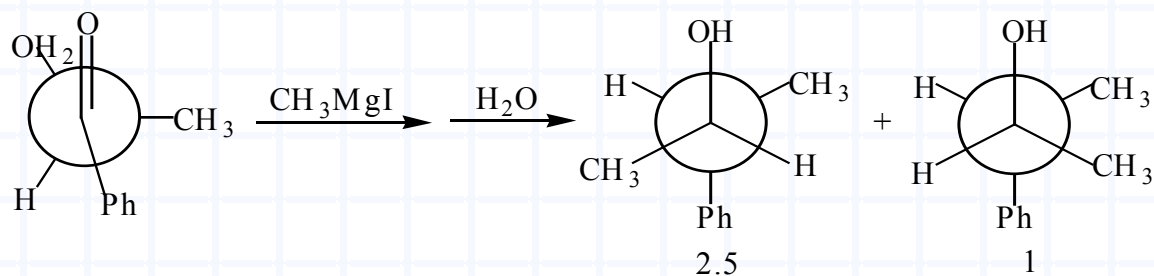
Cram规则——设 -手性碳原子上所连的三个基团分别用L、M、S代表其大、中、小，则加成时Nu主要从最小基团S一侧进攻最为有利，生成的产物为主要产物。



化合物的优势构象优势产物

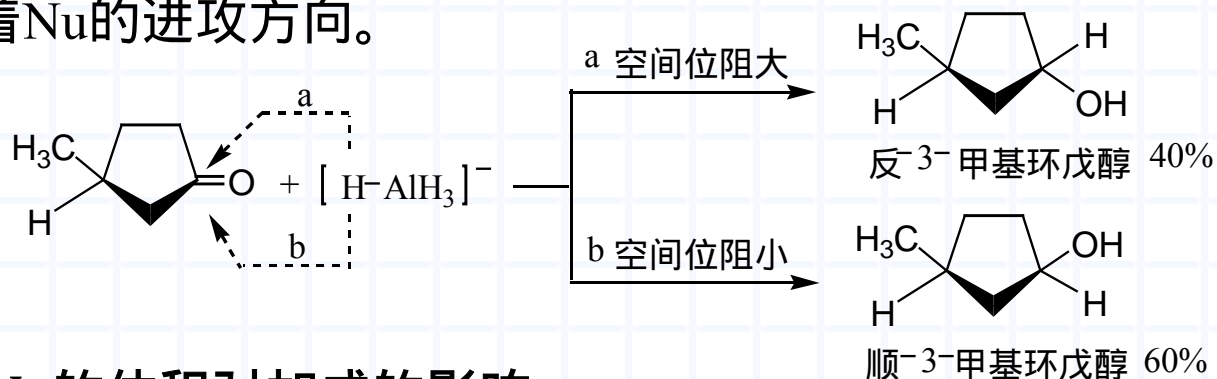
羰基氧原子处于邻位不对称中心两个小基团（ R_s 和 R_m ）之间，进攻试剂从双键位阻最小的一边进攻形成的产物就是优先形成的非对映体。

不对称合成：



2. 脂环酮的加成

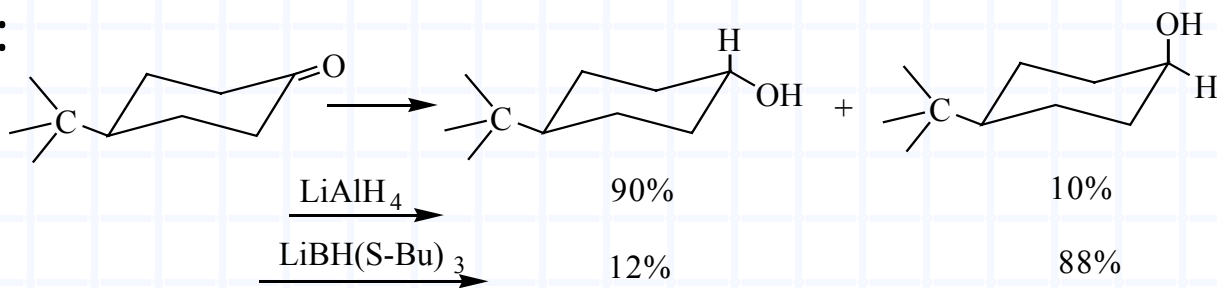
脂环酮的羰基嵌在环内，环上所连基团空间位阻的大小，明显的影响着Nu的进攻方向。



3. Nu的体积对加成的影响

对于同一反应物，所用Nu体积的大小，也影响其进攻方向。

例如：



第五节 醛、酮的制备

一、氧化或脱氢法

1. 醇的氧化或脱氢

(1) 氧化

伯醇和仲醇用三氧化铬等可以氧化成醛，酮。

一些氧化试剂如：Jones试剂 - 三氧化铬的硫酸水溶液

Collins试剂 - 三氧化铬 - 吡啶络合物

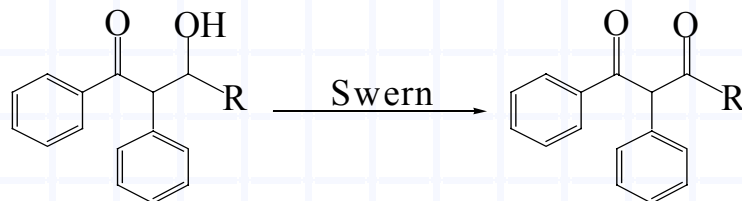
PCC - 氯铬酸吡啶盐

PDC - 重铬酸吡啶盐

还有：MnO₂，银化合物，铋化合物，高碘化合物

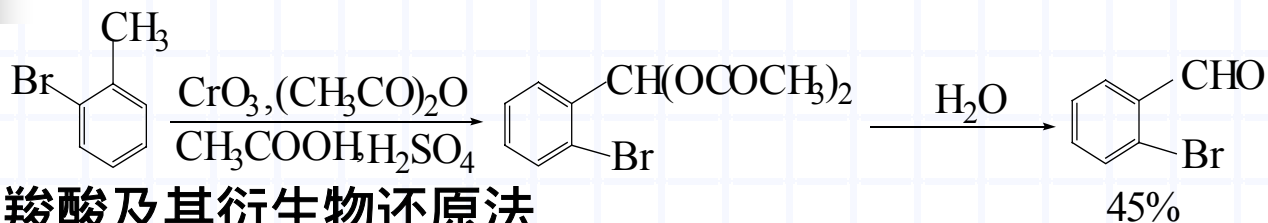
(Ag₂CO₃) (Ph₃BiCl)₂O

二氯亚砷 (Swern氧化)



Professor Yong-jia Shang

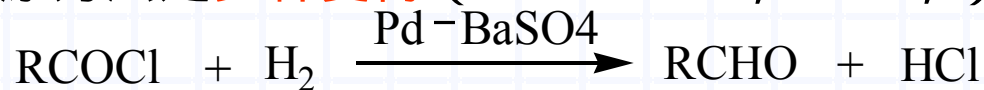
二. 炔的氧化 (主要用于制备芳香醛、酮)。



三、羧酸及其衍生物还原法

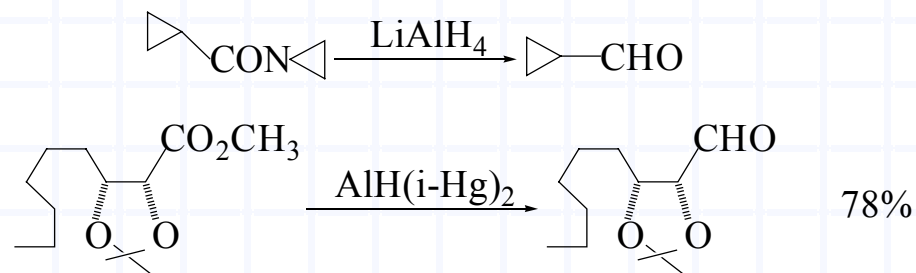
1. 还原成醛

最有价值的还原方法是**罗森曼得** (Rosenmund, K.W.,) 还原法。

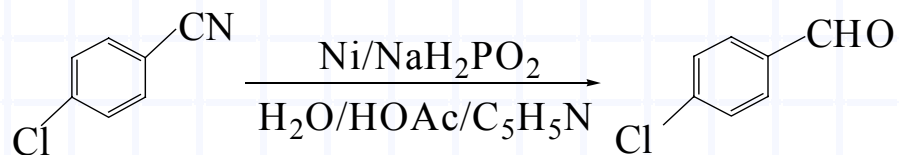


产率高, 有合成价值

酰胺, 酯, 羧酸的还原:

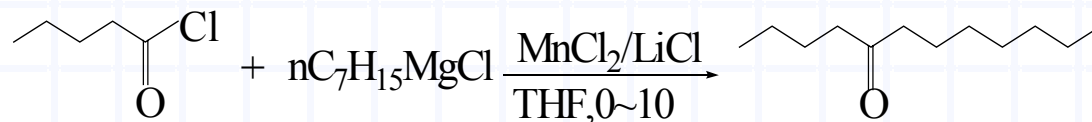


腈的还原：

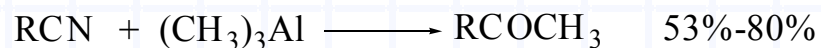


2.还原成酮（有机金属化合物的酰化及羰化反应）

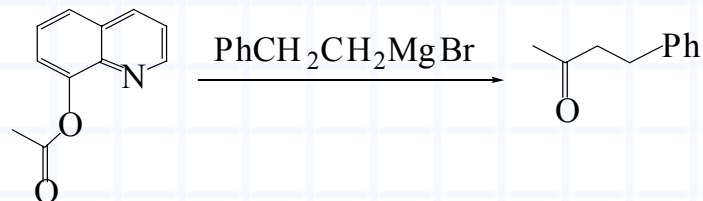
酰氯：



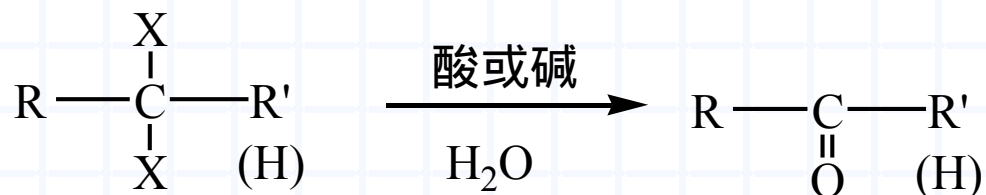
腈：



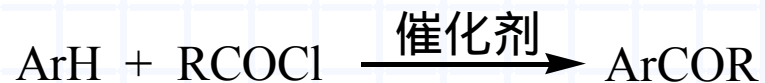
酯：



四、偕二卤代物水解法



五、付-克酰化法

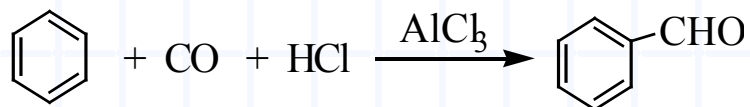


常用的Lewis酸有：三氯化铝，三氟化硼，五氯化锑，四氯化锡，二氯化锌。

六、芳环甲酰化法

1. 加特曼-科克 (Gattermann-koch) 反应

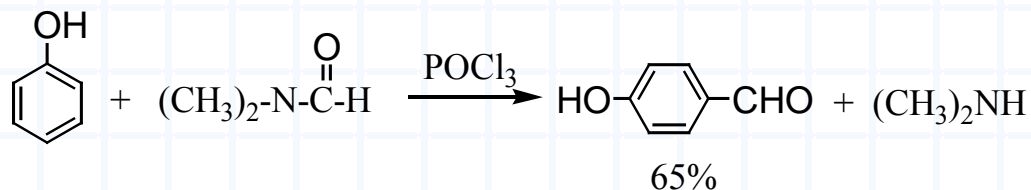
此法是用CO和干HCl为原料，在无水AlCl₃催化下，在芳环上引入醛基的方法。



此法主要用于苯环或烷基苯环的甲酰化，酚类和带有间位基的芳环不适用。

2. 维路斯梅尔 (Vilsmeier) 反应

酚类和芳胺类在POCl₃存在下与N,N-二取代甲酰胺反应，可在其对位引入一个醛基。



第六节 一些重要的醛，酮

一 甲醛

40 的甲醛水溶液叫“福尔马林”，一种医药和农业上广泛的消毒剂。

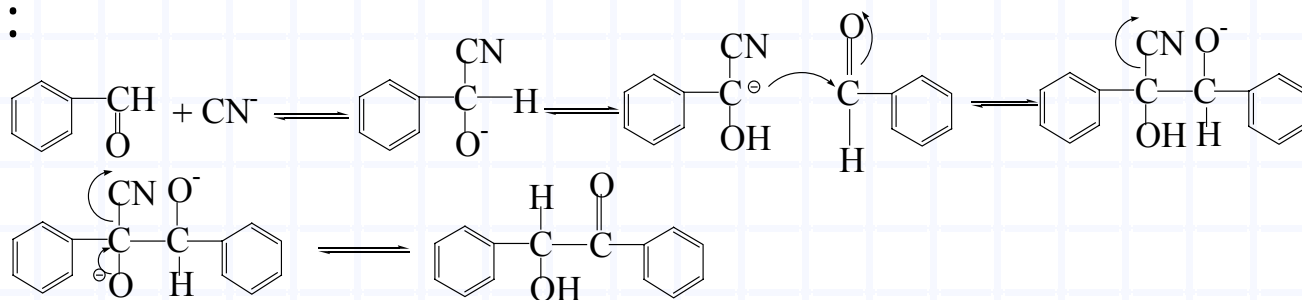
二 乙醛

三 丙酮

四 苯甲醛

安息香缩合及其机理： $2 \text{C}_6\text{H}_5\text{-CHO} \xrightarrow{\text{CN}^-} \text{C}_6\text{H}_5\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{-}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}\text{-C}_6\text{H}_5$

机理：



第七节 不饱和羰基化合物

不饱和羰基化合物是指分子中即含有羰基，又含有不饱和烃基的化合物，根据不饱和键和羰基的相对位置可分为三类。

(1) 烯酮 ($\text{RCH}=\text{C}=\text{O}$)

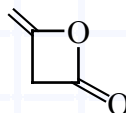
(2) α,β -不饱和醛酮 ($\text{RCH}=\text{CH}-\text{CHO}$)

(3) 孤立不饱和醛酮 ($\text{RCH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_n\text{CHO}$) $n \geq 1$

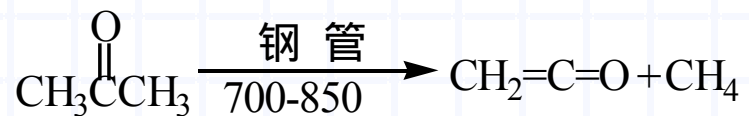
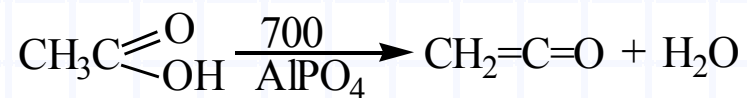
孤立不饱和醛酮兼有烯和羰基的性质， α,β -不饱和醛酮、烯酮有其特性及用途，下面我们主要讨论这两类化合物。

一、乙烯酮

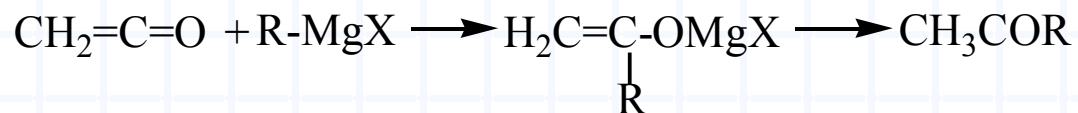
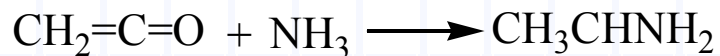
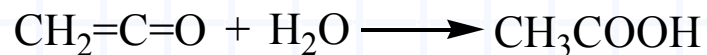
最简单且最重要的烯酮是乙烯酮。一般以二聚体存在。



制法：



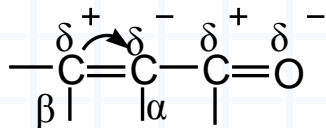
反应：



二、 α,β -不饱和醛酮

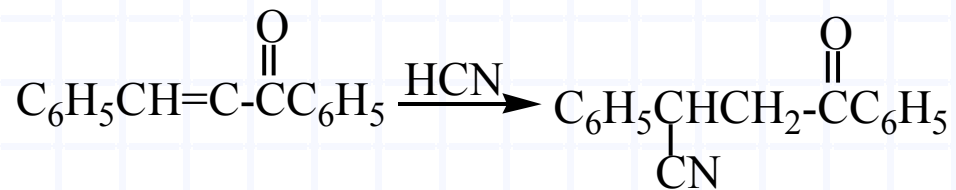
α,β -不饱和醛酮的结构特点是碳碳双键与羰基共轭，故 α,β -不饱和醛酮兼有烯烃、醛、酮和共轭二烯烃的性质，若与亲电试剂加成，则应加到碳碳双键上，若与亲核试剂加成则应加到羰基上，但其特性反应是共轭加成。

1. 共轭加成（1,2-加成或1,4-加成）

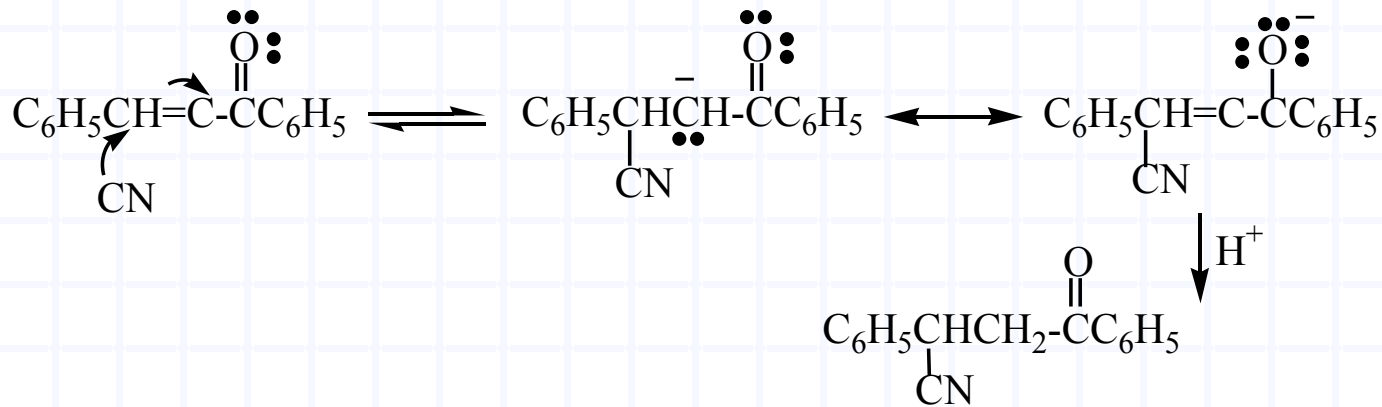


由于羰基的极化和共轭 π 键的离域，不仅羰基碳上带有部分正电荷， β -C上也带有部分正电荷，因此与亲核试剂加成时就有两种可能

加氢氰酸：（只生成1，4加成产物）

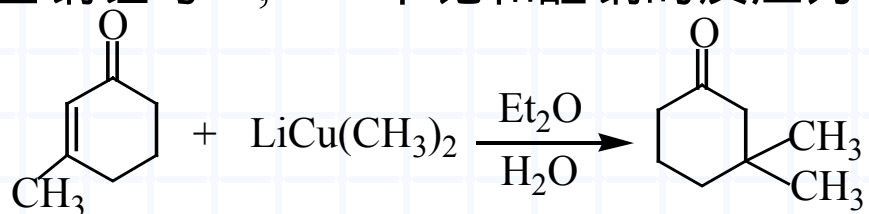


机理：



2 与金属有机化合物的反应

(1) 二烷基铜锂与 α,β -不饱和醛酮的反应为1,4-加成

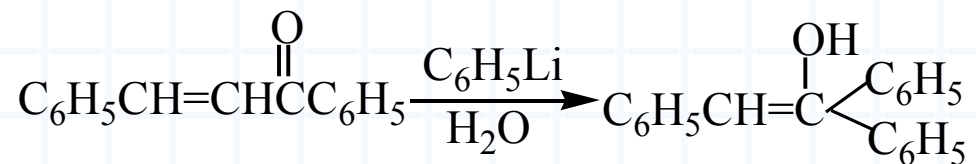


(2) 与Grignard试剂反应

有的只得到1,2-加成产物,有的得到1,2和1,4加成混合物。

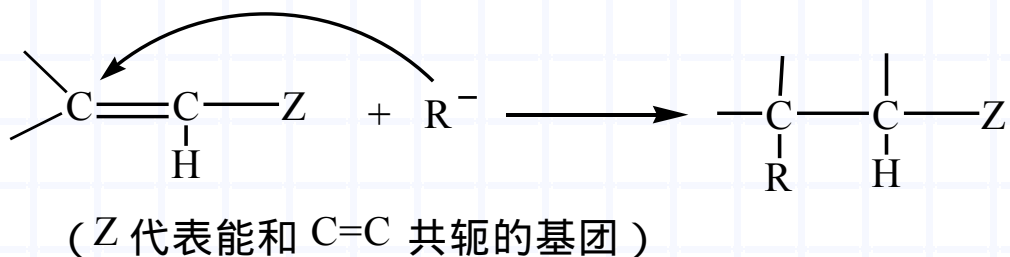
(3) 与烷基锂

只得到1,2-加成产物。



3. 迈克尔 (Michael) 反应

，-不饱和醛酮、羧酸、酯、硝基化合物等与有活泼亚甲基化合物的共轭加成反应称为**迈克尔 (Michael) 反应**，其通式是：

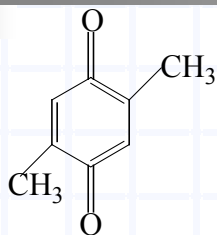


迈克尔 (Michael) 反应在有机合成上有其应用价值。

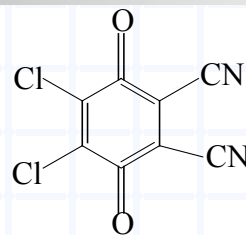
三 丙烯醛



四 醌



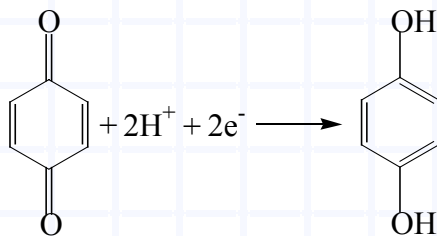
2,5-二甲基 - 1 , 4 - 苯醌



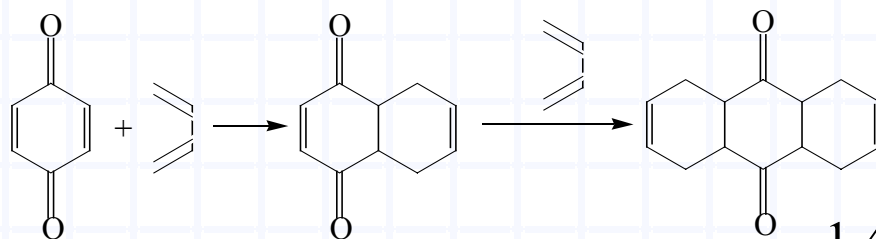
DDQ

反应：

1 还原



2 加成



1,4,5,8-四氢 - 7 , 10 蒽醌



THANK

YOU!



Professor Yong-jia Shang