

# Recent Research Advances on the Conversion of Aromatic Aldehydes into Aromatic Nitriles\*

Liang Wu<sup>1</sup>, Tucai Zheng<sup>1#</sup>, Jinfen Shi<sup>1</sup>, Sheng Chen<sup>2</sup>, Haibin Guo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Chemistry and Materials Engineering, Quzhou University, Quzhou

<sup>2</sup>Leping Safely Pharmchemicals Co., Ltd., Leping

Email: #tczheng2004@aliyun.com

Received: May 20<sup>th</sup>, 2013; revised: Jul. 20<sup>th</sup>, 2013; accepted: Aug. 22<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Liang Wu. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** This review summarizes the recent researches on the conversion of aromatic aldehydes to nitriles via one-step or two-step method with particular emphasis on the reaction conditions such as catalysts or dehydrating agents, solvents, and the application of reaction substrates. One-step method which converts aromatic aldehydes to nitriles should be the focus for future researches, while direct oxyamination of aromatic aldehydes to nitriles represents the most promising methodology for the conversion.

**Keywords:** Aromatic Aldehyde; Aromatic Nitrile; Aldoxime; Dehydration; Synthesis

## 芳醛转化为芳腈的合成研究进展\*

吴 靛<sup>1</sup>, 郑土才<sup>1#</sup>, 施金芬<sup>1</sup>, 陈 盛<sup>2</sup>, 过海斌<sup>2</sup>

<sup>1</sup>衢州学院化学与材料工程学院, 衢州

<sup>2</sup>乐平市赛复乐医药化工有限公司, 乐平

Email: #tczheng2004@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013年5月20日; 修回日期: 2013年7月20日; 录用日期: 2013年8月22日

**摘 要:** 综述了由芳醛与羟胺经一步法或两步法转化为芳腈的研究进展, 重点讨论了催化剂或脱水剂、溶剂等反应条件, 以及反应的适用底物。指出一步法是值得重点研究的芳醛转化为芳腈的方法, 而芳醛直接氨氧化合成腈则是本反应最具发展潜力的方向。

**关键词:** 芳醛; 芳腈; 醛肟; 脱水; 合成

### 1. 引言

腈类化合物广泛用于溶剂、医药、农药、染料、高分子材料、液晶材料、香料等领域<sup>[1,2]</sup>, 也是非常有用的化工中间体, 氰基可以转化为多种其它官能团。芳腈是医药、农药、染料与颜料、液晶材料、香料等的常见结构, 其合成方法一直备受重视。芳腈的合成

\*基金项目: 衢州市科技计划项目 20101016; 衢州市科技计划项目 20121019; 衢州市科技计划项目 20121040; 衢州市科技计划项目 20121054。

#通讯作者。

方法主要有甲基芳烃的氨氧化法、卤代芳烃的直接氰化法、芳酰胺脱水法、芳醛肟脱水法和芳胺重氮盐的 Sandmeyer 反应法等。氨氧化法一般适用于生产大吨位的芳腈, 要求较高, 设备投资大; 卤代芳烃的直接氰化法和芳胺重氮盐的 Sandmeyer 反应法一般需要使用剧毒的氰化物, 给生产安全和环保等造成较大困难; 因此芳酰胺脱水法和芳醛肟脱水法制备芳腈无论在实验室还是在工业上都具有重要的意义。国内已有一些芳腈合成方面的综述, 但未见专门讨论芳醛经芳

醛肟脱水法制备芳腈的综述,因此本文就近年来国内外由芳醛经芳醛肟脱水反应制备芳腈的研究进展进行综述。黄宪等<sup>[1]</sup>在其专著中对由醛肟脱水进行过详细的总结,列举了大量的脱水剂,但参考文献都是2000年之前的。韩建荣等<sup>[3]</sup>、徐保明等<sup>[4]</sup>曾对芳腈的合成方法进行过总结,但对芳醛肟脱水法的论述不多。柳爱平等<sup>[5]</sup>则主要介绍了农药中常见的氰基化合物及其合成方法。

由芳醛经醛肟脱水制备芳腈主要有两种方法,图1,即将醛肟分离出来,经干燥后再经脱水剂脱水的两步法,和芳醛、羟胺在适当条件下直接脱水的一步法。两步法制备醛肟时一般以含水乙醇为溶剂,氢氧化钠或碳酸钠为缚酸剂。常用脱水剂为醋酐、甲磺酰氯、三氯乙酰氯、三光气等,一般在溶剂中或过量脱水剂如醋酐中进行。一步法一般将醛与盐酸羟胺在甲酸、醋酸、N,N-二甲基甲酰胺(DMF)、N-甲基吡咯烷酮(NMP)等中回流直接得到腈。一步法具有操作简便,条件温和,收率良好,物耗能耗低等优点,更加符合绿色化工的理念。

## 2. 芳醛经芳醛肟制备芳腈的两步反应法

由芳醛经醛肟制备芳腈的两步反应法包括芳醛肟的制备和芳醛肟的脱水,其中后面一步为讨论的重点。

吴长增等<sup>[6]</sup>介绍了新型缩合试剂正丙基膦酸酐用于芳醛肟脱水制腈,具有条件温和,收率较高等优点。

尹振晏等<sup>[7]</sup>报道2,4-二氯苯甲醛与盐酸羟胺经醛肟化、醋酐脱水两步反应合成2,4-二氯苯腈(1),最佳条件下两步收率均为95.0%。

乔艳辉等<sup>[8]</sup>以对溴苯甲醛与盐酸羟胺反应制得对溴苯甲醛肟,再与无水硫酸钠干燥过的甲酸反应得对溴苯甲腈(2),收率98.7%。

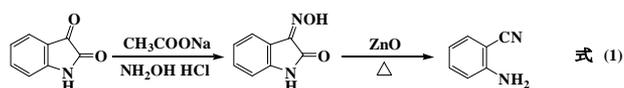
邱飞等<sup>[9]</sup>报道了降压药盐酸布新洛尔的合成,其中水杨醛与盐酸羟胺和氢氧化钠反应制得水杨醛肟,

收率96%~98%,再按文献方法脱水制得水杨腈(3),收率74%~76%。刘明国等<sup>[10]</sup>报道水杨醛与盐酸羟胺在氢氧化钠溶液中反应得到水杨醛肟,然后在醋酐中回流制得水杨腈(3),两步总收率75%。

张秋材等<sup>[11]</sup>报道了3-甲基-5-氯-4-羟基苯甲醛和3,5-二甲基-4-羟基苯甲醛与盐酸羟胺反应经两步法制备相应的腈(4)和(5),两步收率分别为88%、70%和90.2%和90.9%,醛肟脱水在三乙胺、甲磺酰氯和二氯甲烷中进行。

黄祖良等<sup>[12]</sup>报道大茴香醛与盐酸羟胺在碳酸钠溶液中反应得大茴香醛肟,再以Nafion/SiO<sub>2</sub>固体酸催化剂于微波辐射条件下脱水制得大茴香腈(6),两步平均收率87.2%。黄祖良等<sup>[13]</sup>又报道大茴香醛与盐酸羟胺在95%乙醇中制得大茴香醛肟,进一步在相转移催化剂十六烷基三甲基溴化铵作用下以甲苯作带水剂脱水生成大茴香腈(6),两步收率90.7%。

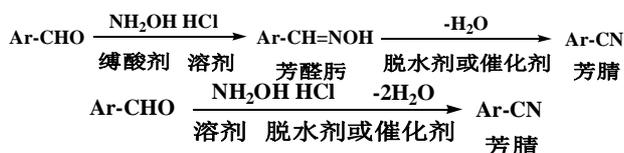
操锋等<sup>[14]</sup>以靛红为原料,与盐酸羟胺和乙酸钠反应得到靛红-3-肟,产率91%,再在氧化锌等催化下脱CO<sub>2</sub>得到邻氨基苯甲腈,产率71.2%,反应式(1)。



赵雷等<sup>[15]</sup>等设计合成了具有较好非线性光学性能的三芳基取代噻唑类化合物,其中对二甲氨基苯甲醛与盐酸羟胺缩合制得对二甲氨基苯甲醛肟,产率92.4%,再与醋酐回流脱水得到对二甲氨基苯甲腈(7),产率84.3%。

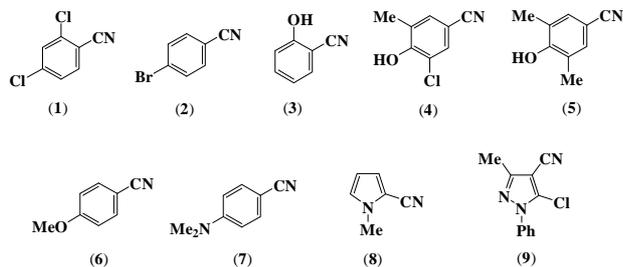
梁志宏等<sup>[16]</sup>报道N-甲基-2-吡咯醛与盐酸羟胺、三水醋酐缩合得N-甲基-2-吡咯醛肟,收率70.3%,再在醋酐中回流脱水制得N-甲基-2-吡咯腈(8),收率60%。梁志宏等<sup>[17]</sup>以同法制得N-甲基-2-吡咯肟,收率70.3%,再在醋酐中回流脱水制得N-甲基-2-吡咯腈(8),收率74.7%。于龙江等<sup>[18]</sup>报道N-甲基-2-吡咯醛与盐酸羟胺、三水醋酐反应得N-甲基-2-吡咯醛肟,收率69.4%,再与醋酐反应得到N-甲基-2-吡咯腈(8),产率64.7%。

张奉民等<sup>[19]</sup>报道5-氯-3-甲基-1-苯基-4-吡唑甲醛与盐酸羟胺和氢氧化钠在DMF中反应仅得到5-氯-3-甲基-1-苯基-4-吡唑甲醛肟,但如在醋酸中反应则得到30%的醛肟和35%的5-氯-3-甲基-1-苯基-4-吡唑甲腈



Scheme 1. Preparation of aromatic nitriles from aromatic aldehydes and hydroxylamine via two-step and one-step methods  
图1. 芳醛与羟胺经两步法和一步法制备芳腈

(9)。



Supsana 等<sup>[20]</sup>报道醛肟在 DMF 为溶剂和催化剂下 135℃回流反应制得相应的腈, 14 例芳醛肟的收率 47%至 83%, 包括羟基和硝基取代的苯、萘、吡咯、咪唑、噻吩、吡啶和喹啉的甲醛肟。推测反应机理是醛肟与 DMF 作用生成醛肟的甲酸酯, 苯甲醛肟反应的后处理残液中检测到苯甲醛肟的甲酸酯(质谱法)。

Li 等<sup>[21]</sup>报道向醛肟的甲苯溶液中滴入氯磺酸反应得到腈, 6 例芳醛肟的转化率均在 99%以上, 选择性 98%以上, 包括无取代及对甲氧基、邻甲氧基、对硝基、邻硝基和邻羟基取代的苯甲醛肟。

Sarvari 等<sup>[22]</sup>报道醛肟在氧化锌/乙酰氯催化和无溶剂条件下脱水生成腈, 17 例芳醛肟的收率 83%至 95%, 包括羟基、硝基和氨基等取代苯、萘、噻吩、吡啶的甲醛肟, 反应式(2)。氧化锌可以套用一定次数。



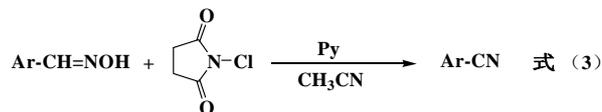
Sardarian 等<sup>[23]</sup>报道芳醛肟与氯磷酸二乙酯在甲苯中反应得到芳腈, 13 例收率 88%~98%, 包括羟基、氨基、硝基等取代苯甲醛肟, 及吡啶、吡咯、萘、菲甲醛肟, 但邻氯苯甲醛肟脱水收率仅 27%。

Sharghi 等<sup>[24]</sup>报道醛肟在石墨、甲磺酰氯无溶剂下 100℃反应制得腈, 10 例芳醛肟收率 85-98%, 包括甲氧基、羟基取代苯甲醛肟, 及吡啶、噻吩甲醛肟。

Kokare 等<sup>[25]</sup>报道醛肟在三乙胺和乙腈中以 2-苯基苯并咪唑-1-基氧磷酸二乙酯(A)为脱水剂反应制得腈, 10 例收率 91%至 98%, 包括卤素、甲氧基、硝基、二甲胺基等取代的苯甲醛肟。

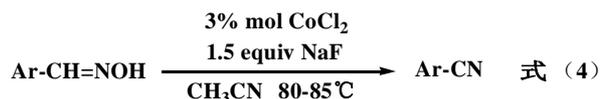
Gucma 等<sup>[26]</sup>报道推电子基团取代的芳醛肟在 N-氯代丁二酰亚胺和吡啶作用下于乙腈或二氯甲烷中反应制得芳腈, 8 例收率 50%至 95%, 包括甲氧基、烷胺基等取代的芳醛肟。收率低的实例都伴有相应的芳醛副产物, 苯甲醛肟在反应条件下完全转化为苯甲

醛, 反应式(3)。



Yamaguchi 等<sup>[27]</sup>报道钨-锡的混合氢氧化物可以作为醛肟脱水制腈的非均相催化剂, 9 例芳醛肟收率 87%~99%, 包括硝基、烷氧基等取代的芳醛肟和咪唑、噻吩甲醛肟等。

Tamilselvan 等<sup>[28]</sup>报道醛肟在氯化钴催化和无机碱如氟化钠存在下于乙腈中加热反应得到腈, 17 例芳醛肟收率 82%至 99%, 包括羟基、甲氧基、二甲胺基、卤素等取代的芳醛肟, 及噻吩、吡啶甲醛肟, 反应式(4)。

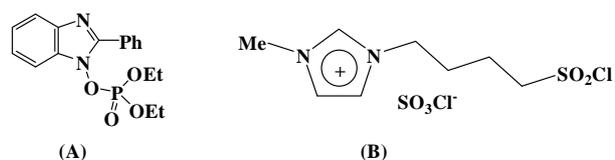


Yan 等<sup>[29]</sup>报道醛肟在三氟甲磺酸镓催化下于乙腈中加热反应得到腈, 7 例芳醛肟收率 80%至 100%, 包括硝基取代苯、吡啶和 9-蒎的甲醛肟, 邻羟基苯甲醛肟只得到苯并异噻唑, 经硅胶柱分离时逐渐分解为腈。

Nakajima 等<sup>[30]</sup>报道芳醛肟在离子液体 1-(4-氯磺酰丁基)-3-甲基咪唑啉氯磺酸盐(B)中反应得到腈, 6 例转化率为 93%至 99%, 选择性 96%至 99%, 包括氯、溴、硝基和羟基取代的苯甲醛肟。

Saha 等<sup>[31]</sup>报道芳醛肟在离子液体 1-苯基-3-甲基咪唑啉四氟硼酸盐作用和无溶剂条件下反应得到腈, 11 例收率为 75%至 90%, 包括卤素、硝基、甲氧基等取代苯、萘和噻吩的甲醛肟。

Thomas 等<sup>[32]</sup>报道了 473K 下苯甲醛肟和对甲氧基苯甲醛肟在不同质子化分子筛, K-10 蒙脱石粘土和  $\gamma$ -氧化铝催化下的气相脱水或 Beckmann 重排。苯甲醛肟在 H-Beta, H-MOR, H-ZSM-5 和 H-Y 分子筛上得到近乎定量的苯腈, 对甲氧基苯甲醛肟则得到良好总收率的腈和 Beckmann 重排产物。Thomas 等<sup>[33]</sup>还以稀土金属离子交换的 KFAU-Y 分子筛进行了上述研究, 发现了类似的结果: 苯甲醛肟得到几乎定量收率的苯腈, 而对甲氧基苯甲醛肟得到高收率的腈与酰胺的混合物。



Sahu 等<sup>[34]</sup>报道芳醛肟在二氯甲烷中被十六烷基三甲基重铬酸铵选择性氧化为芳腈, 9 例收率 70%~90%, 包括甲氧基、硝基、氯和羟基取代的苯甲醛肟。有趣的是, 微量醋酸存在下同样的反应得到芳醛。

Hekmatshoar 等<sup>[35]</sup>报道醛肟与等摩尔三甲基氯硅烷无溶剂条件下加热反应得到腈, 6 例芳醛肟收率 69%~96%, 包括甲基、甲氧基、硝基等取代苯及 3-吡啶的甲醛肟, 反应式(5)。



### 3. 芳醛经芳醛肟制备芳腈的一步反应法

林文彬等<sup>[36]</sup>报道微波辐射下, 以  $\text{I}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  为催化剂, 芳醛与盐酸羟胺在无溶剂条件下反应一锅合成芳甲腈, 15 例收率 80%至 99%, 包括卤素、甲氧基、硝基、羟基、二甲胺基等取代的芳醛。

姜玉等<sup>[37]</sup>报道在脱水剂氢氧化钾和相转移催化剂聚乙二醇复合催化和微波作用下, 芳醛与盐酸羟胺一步反应制得腈, 5 例收率 82%~93%, 包括对甲氧基、对羟基、对硝基、对氯取代的苯甲醛和呋喃-2-甲醛。

陈强等<sup>[38]</sup>以水杨醛和盐酸羟胺为原料, 在 N-甲基吡咯烷酮中一步反应合成了邻羟基苯腈(3), 收率 91.2%。

赵海双等<sup>[39-40]</sup>以对羟基苯甲醛为原料, 与盐酸羟胺、甲酸钠在甲酸中反应直接合成对羟基苯甲腈(10), 收率 88.6%。陈玉琴等<sup>[41]</sup>、张志德等<sup>[42]</sup>报道对羟基苯甲醛与盐酸羟胺在 DMF 中一锅反应合成对羟基苯甲腈(10), 收率 86.0%。刘仕伟等<sup>[43]</sup>详细考察了溶剂用量、反应时间、反应温度和物料配比等对 4-羟基苯甲醛与盐酸羟胺反应制备 4-羟基苯腈(10)的影响。在甲苯和二甲苯混合溶剂(质量比 1:1)中, 反应时间 1 h, 反应温度 100℃, 对羟基苯甲醛与盐酸羟胺摩尔比 1:1.1 的优化条件下, 产品收率达 98.3%。杨水秀等<sup>[44]</sup>报道在高压微波辐射下, 对羟基苯甲醛与盐酸羟胺在 DMF 中反应直接合成对羟基苯甲腈(10), 收率 87.5%。

郑土才等<sup>[45]</sup>以 3,5-二甲基-4-羟基苯甲醛和盐酸羟胺为原料, 分别在甲酸、乙酸和 DMF 中一步反应合成了 3,5-二甲基-4-羟基苯甲腈(5)。其中以 DMF 为

溶剂的反应效果最好, 最佳条件下收率达 90%以上。

郑土才等<sup>[46]</sup>以 3,5-二烷基-4-羟基苯甲醛(烷基为甲基、叔丁基、异丙基)为原料, 与盐酸羟胺在 DMF 中反应直接合成 3,5-二烷基-4-羟基苯甲腈(5)、(11)、(12), 收率分别为 93.5%、88.0%和 99%。

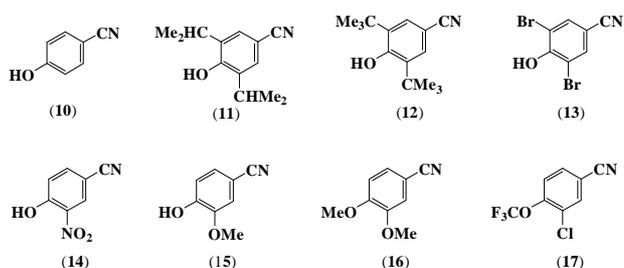
高兴文等<sup>[47]</sup>报道由对甲酚经溴化、氧化后得到的 3,5-二溴-4-羟基苯甲醛为原料, 与盐酸羟胺在甲酸中回流反应后制得 3,5-二溴-4-羟基苯腈(13), 收率 97.5%。

赵海双等<sup>[48]</sup>报道了抗牛羊肝片吸虫药硝碘酚腈(即 4-羟基-3-碘-5-硝基苯甲腈)的新合成方法, 其中 4-羟基-3-硝基苯甲醛与盐酸羟胺、甲酸钠在甲酸中回流直接制备 4-羟基-3-硝基苯甲腈(14), 收率 91.2%。

尉宏伟等<sup>[49]</sup>以 3-甲氧基-4-羟基苯甲醛为原料, 与盐酸羟胺在 DMF 中回流反应得到 3-甲氧基-4-羟基苯腈(15), 收率 95.2%。

黄祖良等<sup>[50]</sup>以大茴香醛为原料, 与盐酸羟胺在微波辐射及相转移催化剂聚乙二醇-600 催化作用下由  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NaOH}$  混合碱促进的无溶剂一步法直接制备大茴香腈(6), 收率 90.2%。黄祖良等<sup>[51]</sup>以大茴香醛为原料, 与盐酸羟胺在超声波辐射和相转移催化剂 CTMAB (十六烷基三甲基溴化铵)作用下得到大茴香腈(6), 收率为 90.9%。

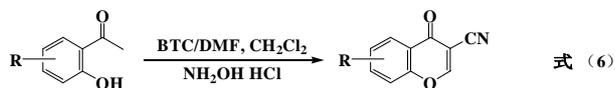
高兴文等<sup>[52]</sup>报道藜芦醛与盐酸羟胺、85%甲酸回流反应制得藜芦腈(16), 收率 87.6%。



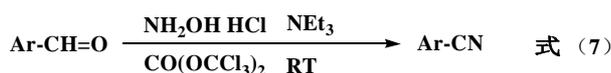
赵昊昱等<sup>[53]</sup>以 3-氯-4-三氟甲氧基苯甲醛为原料, 与盐酸羟胺、甲酸钠在甲酸中反应得到 3-氯-4-三氟甲氧基苯甲腈(17), 收率 82.6%。

陈志卫等<sup>[54]</sup>以各种取代的邻羟基苯乙酮为原料, 经 Vilsmeier 试剂环合得中间体 3-甲酰基色酮, 不经分离纯化直接与盐酸羟胺反应合成了一系列 3-腈基-4-苯并吡喃酮类化合物, 11 例收率 47%~74%, 包括甲基、卤素、硝基、甲氧基等取代的邻羟基苯乙酮,

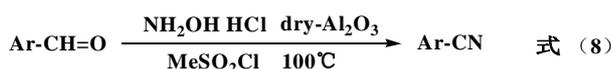
反应式(6)。



Bose 等<sup>[55]</sup>报道醛与盐酸羟胺、三乙胺、三光气在氯仿中一锅反应制得相应的腈, 7 例芳醛的收率 86%~95%, 包括羟基、硝基等取代的苯甲醛腈、咪唑-2-甲醛腈和吡啶-3-甲醛腈, 反应式(7)。



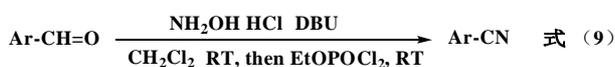
Sharghi 等<sup>[56]</sup>报道醛与盐酸羟胺、干燥氧化铝和甲磺酰氯在无溶剂条件下一锅反应制得腈, 15 例芳醛的收率 85%~98%, 包括羟基、氨基、硝基等取代苯甲醛腈、噻吩-2-甲醛腈、吡啶-3-甲醛腈及间苯二甲醛腈等, 反应式(8)。



Sharghi 等<sup>[24]</sup>报道醛与盐酸羟胺、石墨和甲磺酰氯在无溶剂条件下一锅反应制得腈, 14 例芳醛的收率 80%~98%, 包括羟基、氨基、硝基等取代苯甲醛腈、噻吩-2-甲醛腈、吡啶-3-甲醛腈及间苯二甲醛腈等。

Chill 等<sup>[57]</sup>报道醛与盐酸羟胺在二甲基亚砜中 100 °C 反应制得相应的腈, 7 例芳醛的收率 74%~97%, 包括甲氧基、卤素和硝基取代的苯甲醛腈等。

Zhu 等<sup>[58]</sup>报道醛与盐酸羟胺、1,8-二氮杂双环[5.4.0]十一碳-7-烯(DBU)在二氯甲烷中, 以乙氧基磷酸二氯为脱水剂, 一锅反应制得腈, 6 例芳醛的收率 83%~98%, 包括甲氧基、硝基等取代苯甲醛腈和 2-吡啶及 4-吡啶甲醛腈, 反应式(9)。



Yamaguchi 等<sup>[27]</sup>在钨-锡混合氢氧化物作为醛腈脱水制腈非均相催化剂的基础上, 报道醛、盐酸羟胺、钨-锡混合氢氧化物在邻二甲苯中直接反应制得腈, 4 例芳醛转化率均在 99% 以上, 选择性 87%~99%。

#### 4. 结束语

综上所述, 芳醛经芳醛腈脱水制备芳腈是合成芳腈非常有效的方法, 具有试剂价廉、条件温和、收率

较高等优点, 一步法因不需分离、干燥芳醛腈, 使用尤为方便。但国内研究多集中在具体医药、农药中间体的合成中, 而对该反应的系统研究较为欠缺。国外研究则主要集中在醛腈脱水的新试剂及催化体系上。由于羟胺价格较高, 易于分解等缺点, 国外近年对醛、氮源及合适氧化剂一步合成腈的方法尤为青睐, 报道了不少高效的氯化氧化体系<sup>[59-62]</sup>。随着该反应研究的深入, 有望使醛经醛腈制备腈的方法取得突破, 国内应开展和加强这方面的研究。

#### 参考文献 (References)

- [1] 黄宪, 王彦广, 陈振初, 主编. 新编有机合成化学(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 505-537.
- [2] 杨锦宗, 编著. 工业有机合成基础(第一版)[M]. 北京: 中国石化出版社, 1998: 490-532.
- [3] 韩建荣, 甄小丽, 康汝洪. 合成芳腈化合物的工艺进展[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2000, 24(4): 513-517.
- [4] 徐保明, 阮华屹, 周云, 等. 苯甲腈类化合物的合成研究进展[J]. 化学世界, 2012, (5): 316-320.
- [5] 柳爱平. 氰基生物物的合成及在新农药创制中的应用[J]. 精细化工中间体, 2007, 37(4): 1-4.
- [6] 吴长增, 贺贤然, 胡先明. 一种新型缩合试剂——正丙基膦酸酐[J]. 化学试剂, 2007, 29(12): 719-723.
- [7] 尹振晏, 李艳云, 檀子禄. 2,4-二氯苯腈的合成[J]. 北京石油化工学院学报, 2012, 20(1): 45-48.
- [8] 乔艳辉, 滕俊江, 李英春. 对溴苯腈的合成工艺研究[J]. 茂名学院学报, 2005, 15(1): 19-22.
- [9] 邱飞, 王礼琛, 董颖. 盐酸布新洛尔的合成[J]. 中国药物化学杂志, 2003, 13(6): 353-355.
- [10] 刘明国, 胡扬根, 程国平, 等. 3-氨基-2-苯并咪唑甲酸乙酯合成方法的改进[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2007, 29(2): 174-175.
- [11] 张秋材, 丁敏, 李文忠, 等. 制备对氧基苯酚类化合物的方法[P]. 中国专利: CN 1442404, 2003-09-17.
- [12] 黄祖良, 韦国锋, 李振中, 等. 大茴香腈的催化合成研究[J]. 化学世界, 2004, (6): 312-315.
- [13] 黄祖良, 梁威丽, 覃维雪, 等. 相转移催化合成大茴香腈的研究[J]. 精细化工中间体, 2006, 36(4): 35-36.
- [14] 操锋, 任勇, 华维一. 应用不同催化剂合成邻氨基苯甲腈的研究[J]. 中国现代应用药学杂志, 2002, 19(3): 211-212.
- [15] 赵雷, 王世敏, 张胜利, 等. 2-(4-N-硝基-N-甲基氨基苯基)-(4-硝基苯基)-5-(2,4,6-三硝基苯基)噻唑的合成及其性能研究[J]. 有机化学, 2000, 20(5): 750-753.
- [16] 梁志宏, 赵林, 谢亚雄, 等. N-甲基-2-吡咯腈的合成与表征[J]. 河南化工, 2003, (11): 10-11.
- [17] 梁志宏, 赵林, 马步伟, 等. N-甲基-2-吡咯腈的合成改进[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2005, 18(2): 192-194.
- [18] 于龙江, 欧阳杰, 沈红芹, 等. 格氏反应制备 1-甲基-2-对甲苯甲酰基吡咯[J]. 天津理工大学学报, 2007, 23(3): 26-28.
- [19] 张奉民, 蔡习美, 陈伟锋, 等. 微波促进的 5-氯-3-甲基-1-苯基-4-吡啶甲醛与氯化 N-苯乙酮基吡啶及芳酰肼的缩合反应[J]. 有机化学, 2007, 27(7): 852-856.
- [20] P. Supsana, T. Liaskopoulos, P. G. Tsoungas, et al. DMF-catalysed thermal dehydration of aldioximes: A convenient access to functionalized aliphatic and aromatic nitriles. Synlett, 2007, (17):

- 2671-2674.
- [21] D. Li, F. Shi, S. Guo, et al. Highly efficient Beckmann rearrangement and dehydration of oximes. *Tetrahedron Letters*, 2005, 46(4): 671-674.
- [22] M. H. Sarvari. ZnO/CH<sub>3</sub>COCl: A new and highly efficient catalyst for dehydration of aldoximes into nitriles under solvent-free conditions. *Synthesis*, 2005, 5: 787-790.
- [23] A. R. Sardarian, S. Shahsavari-Fard, H. R. Shahsavari, et al. Efficient Beckmann rearrangement and dehydration of oximes via phosphonate intermediates. *Tetrahedron Letters*, 2007, 48(14): 2639-2643.
- [24] H. Sharghi, M. H. Sarvari, Graphite as an efficient catalyst for one-step conversion of aldehydes into nitriles in dry media. *Synthesis*, 2003, 2: 243-246.
- [25] N. D. Kokare, D. B. Shinde. Efficient conversion of aldoximes to nitriles using phosphoric acid diethylester 2-phenylbenzimidazol-1-ylester. *Monatshefte für Chemie*, 2009, 140: 185-188.
- [26] M. Gucma, W. M. Golebiewski. Convenient conversion of aldoximes into nitriles with N-chlorosuccinimide and pyridine. *Synthesis*, 2008, 13: 1997-1999.
- [27] K. Yamaguchi, H. Fujiwara, Y. Ogasawara, et al. A tungsten-tin mixed hydroxide as an efficient heterogeneous catalyst for dehydration of aldoximes to nitriles. *Angewandte Chemie International Edition in English*, 2007, 46(21): 3922-3925.
- [28] P. Tamilselvan, Y. B. Basavaraju, E. Sampathkumar, et al. Cobalt(II) catalyzed dehydration of aldoximes: A highly efficient practical procedure for the synthesis of nitriles. *Catalysis Communications*, 2009, 10(5): 716-719.
- [29] P. Yan, P. Batamack, G. K. Surya Prakash, et al. Gallium (III) triflate catalyzed dehydration of aldoximes. *Catalysis Letters*, 2005, 101(3-4): 141-143.
- [30] M. Nakajima, K. Qiao, N. Kobayashi, et al. Efficient dehydration of aldoximes to nitriles catalyzed by a Lewis acid ionic liquid. *Chemistry Letters*, 2011, 40(4): 396-397.
- [31] D. Saha, A. Saha and B. C. Ranu. Ionic liquid-promoted dehydration of aldoximes: A convenient access to aromatic, heteroaromatic and aliphatic nitriles. *Tetrahedron Letters*, 2009, 50(44): 6088-6091.
- [32] B. Thomas, S. Prathapan and S. Sugunan. Dehydration of aldoximes over H-zeolites: A convenient and highly atom economic method for the preparation of nitriles. *Tetrahedron Letters*, 2007, 133: 59-68.
- [33] B. Thomas, S. Prathapan and S. Sugunan. Solid acid-catalyzed dehydration/Beckmann rearrangement of aldoximes: Towards highly atom efficiency green processes. *Microporous Mesoporous Materials*, 2005, 79(1-3): 21-27.
- [34] S. Sahu, S. Patel and B. K. Mishra. Selective oxidation of arylaloximes by cetyltrimethyl ammonium dichromate to arylaldehydes and arylnitriles. *Synthetic Communications*, 2005, 35: 3123-3126.
- [35] R. Hekmatshoar, S. Sajadi and M. M. Heravi. An environmentally benign system: A simple and effective procedure for dehydration of oximes into nitriles in solvent free conditions. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 2008, 55(1): 5-7.
- [36] 林文彬, 吴划方, 陈晓珍, 等. 微波辐射 I<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化合成腈类化合物[J]. *合成化学*, 2008, 16(5): 589-590.
- [37] 姜玉, 祝辉, 罗自力, 等. 微波辐射下以聚乙二醇相转移催化醛法制备腈[J]. *华药化学杂志*, 2011, 26(5): 479-480.
- [38] 陈强, 廖文文, 刘智凌. 水杨醛一步法合成邻羟基苯甲腈[J]. *现代农药*, 2007, 6(3): 21-22,24.
- [39] 赵海双, 田鹏, 马亚团, 等. 对羟基苯甲腈合成方法的研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2003, 31(3): 187-189.
- [40] 赵海双, 周乐, 耿会玲. 抗肝片吸虫药—硝碘酚腈的合成研究[J]. *化学世界*, 2003, (8): 428-431.
- [41] 陈玉琴, 张志德, 马艳, 等. 3,5-二溴-4-羟基苯甲腈的合成[J]. *青岛科技大学学报*, 2003, 24(4): 300-303.
- [42] 张志德, 袁西福, 陈玉琴, 等. 对羟基苯甲腈合成方法的改进[J]. *化学试剂*, 2005, 27(3): 181-182.
- [43] 刘仕伟, 于世涛, 裴立军, 等. 对羟基苯甲腈的合成工艺研究[J]. *精细石油化工进展*, 2010, 11(9): 40-42.
- [44] 杨水秀, 陈玲, 凌绍明. 高压微波合成对羟基苯甲腈[J]. *广东化工*, 2010, 37(3): 130-131.
- [45] 郑土才, 吾国强. 3,5-二甲基-4-羟基苯甲腈的合成研究[J]. *现代化工*, 2010, 30(3): 44-45,47.
- [46] 郑土才, 吕延文, 施金芬, 等. 3,5-二烷基-4-羟基苯甲腈的一步法合成[J]. *精细石油化工*, 2010, 27(3): 48-51.
- [47] 高兴文, 严敏. 3,5-二溴-4-羟基苯腈辛酸酯的合成研究. *安徽农业科学*, 2009, 37(16): 7314-7315.
- [48] 赵海双, 田鹏, 马亚团. 4-羟基-3-碘-5-硝基苯甲腈的新合成方法[J]. *化学试剂*, 2003, 25(4): 237-238,240.
- [49] 尉宏伟, 王瑛, 李学敏, 等. 3,4-二羟基苯腈的合成[J]. *精细与专用化学品*, 2011, 19(9): 30-34.
- [50] 黄祖良, 韦柳斌, 黄徽, 等. 在微波辐射及相转移催化剂聚乙二醇-600 催化条件下无溶剂法制备大茴香腈的研究[J]. *化学试剂*, 2008, 30(9): 699-701,704.
- [51] 黄祖良, 李振中, 韦柳斌, 等. 超声波辐射及相转移催化合成大茴香腈[J]. *精细化工*, 2009, 26(4): 379-381.
- [52] 高兴文, 赵立魁, 张延辉. 6-氨基藜芦腈的合成研究[J]. *化学试剂*, 2000, 22(4): 243-244.
- [53] 赵昊昱. 3-氯-4-三氟甲氧基苯甲腈的合成[J]. *精细石油化工*, 2005, (3): 52-54.
- [54] 陈志卫, 杨艳艳, 闫伟华, 等. 一锅法合成 3-腈基-4-苯并吡喃酮类化合物[J]. *合成化学*, 2010, 18(1): 113-115.
- [55] D. S. Bose, P. R. Goud, Bis(trichloromethyl)carbonate, an efficient activator for the one-pot conversion of aldehydes into nitriles under mild conditions. *Synthetic Communications*, 2002, 32: 3621-3624.
- [56] H. Sharghi and M. H. Sarvari. A direct synthesis of nitriles and amides from aldehydes using dry or wet alumina in solvent free conditions. *Tetrahedron*, 2002, 58: 10323-10328.
- [57] S. T. Chill, R. C. Mebane. A facile one-pot conversion of aldehydes into nitriles. *Synthetic Communications*, 2009, 39: 3601-3606.
- [58] J. L. Zhu, F. Y. Lee, J. D. Wu, et al. An efficient new procedure for the one-pot conversion of aldehydes into the corresponding nitriles. *Synlett*, 2007, 8: 1317-1319.
- [59] 章国林, 胡永洲. 铜催化下由芳香醛一步合成芳香腈[J]. *中国现代应用药学杂志*, 2001, 18(1): 45-46.
- [60] H. Veisi. Direct oxidative conversion of alcohols, amines, aldehydes, and benzyl halides into the corresponding nitriles with trichloroisocyanuric acid in aqueous ammonia. *Synthesis*, 2010, 15: 2631-2635.
- [61] K. R. Reddy, C. U. Maheswari and M. Venkateshwar, et al. Catalytic oxidative conversion of alcohols, aldehydes and amines into nitriles using KI/I<sub>2</sub>-TBHP system. *Tetrahedron Letters*, 2009, 50: 2050-2053.
- [62] J. R. Hwu, F. F. Wong. Sodium bis(trimethylsilyl)amide in the oxidative conversion of aldehydes to nitriles. *European Journal of Organic Chemistry*, 2006, 2006(11): 2513-2516.