

技术进展

# 羟胺法合成羟肟酸类捕收剂的研究进展

张宝元, 钟宏

(中南大学化学化工学院, 湖南长沙410083)

**摘要:**对羟肟酸类捕收剂的浮选机理、羟胺法合成羟肟酸的原理和方法进行了介绍和分类;在考察醇、醇/水、水溶液和乳液4种羟化反应介质下工艺特点的同时,详细阐述了羟胺法改进工艺的研究进展;针对羟胺法的工艺特点和羟肟酸分子构效关系,提出了羟胺法合成羟肟酸的发展趋势。

**关键词:**捕收剂;羟胺法;羟肟酸;合成

中图分类号:O622.5

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2010)04-0011-05

## Advances in synthesis of hydroxamic acid collectors from hydroxylamine

ZHANG Bao-yuan, ZHONG Hong

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** The mechanisms of hydroxamic acid as collectors on flotation, hydroxylamine method for synthesis of hydroxamic acid, and synthetic methods are briefly introduced and sorted. The development of hydroxylamine method, including four reaction mediums such as alcohols, alcohols/water, aqueous and emulsion are reviewed. Based on the process of hydroxylamine method and structure-activity relationship (SAR) of hydroxamic acid, some prospects of hydroxamic acid collectors synthesized by hydroxylamine method are pointed out.

**Key words:** collector; hydroxylamine method; hydroxamic acid; synthesis

羟肟酸又称氧肟酸或异羟肟酸,它有2种不可分离的酮式和醇式互变异构体。由于羟肟酸分子中含有N原子和O原子,它们都有孤对电子,属于弱电子供体,很容易与金属离子形成稳定的螯合物,因此是一类选择性能很好的螯合捕收剂<sup>[1]</sup>。羟肟酸广泛应用于赤铁矿、钛铁矿、锡石、氟碳铈矿和钽铌矿等多种氧化矿和稀土的浮选中<sup>[2-3]</sup>。羟肟酸在医药和生化领域也有广泛的应用,可作为间质金属酶(MMP)抑制剂、抗癌药物、抗肿瘤药物、除草剂、杀菌剂等。

### 1 羟肟酸类捕收剂与矿物的作用机理

浮选过程中,羟肟酸与金属离子以“O、O”或“O、N”螯合。与金属离子“O、O”螯合时能形成稳定的五元环,与金属离子“O、N”螯合时只能形成四元环,如图1所示。由于四元环的张力较大,稳定性较差,所以形成“O、N”螯合的趋势较小<sup>[4]</sup>。羟肟基与矿物表面的金属离子形成稳定的螯合物吸附在矿物表面,而疏水基团R能使矿物上浮,从而起到捕收作用。



图1 羟肟酸与金属离子螯合

邱显扬等<sup>[5-6]</sup>对羟肟酸与矿物的吸附过程做了大量研究。通过紫外、红外光谱和表面物化研究了苯甲羟肟酸与白钨矿以及钽铌锰矿的作用机理,结果表明苯甲羟肟酸与2种矿物之间均形成“O、O”五元环螯合物,不同的是羟肟酸与Ca<sup>2+</sup>的吸附过程是离子-分子吸附过程,而与Mn<sup>2+</sup>的吸附过程则以化学吸附为主。姬俊梅<sup>[7]</sup>研究了烷基羟肟酸盐与钽铁金红石的作用机理,结果表明羟肟酸与金属离子能以化学吸附形成稳定的五元环螯合结构。

杨静武<sup>[8]</sup>对邻、间、对苯二酰异羟肟酸配体及其Cu(II)、Co(II)、Ni(II)、Zn(II)金属配合物进行红外光谱检测,结果表明形成4种金属配合物后,ν<sub>O-H</sub>吸收峰消失,2个ν<sub>C=O</sub>强峰在形成配合物后发生了不同程度的红移,说明羰基氧与羟基氧均参与了配位反应;而ν<sub>N-H</sub>变形振动峰在配位前后相差不大,说明N不参与配位。由此推断,邻、间、对苯二酰异

羟肟酸配体及配合物形成“—C—O—M—O—N—”五元环结构。以邻苯二酰异羟肟酸为例,其与金属配位结构如图2所示。

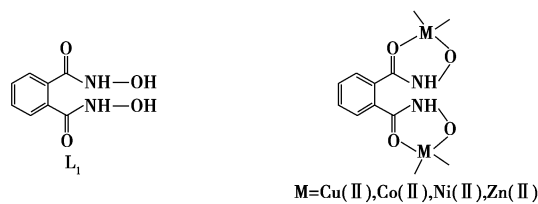


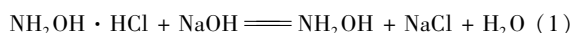
图2 邻苯二酰异羟肟酸与金属配位结构

## 2 羟胺法合成原理和方法

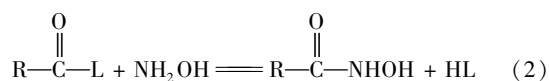
羟肟酸的主要合成方法有羟胺法、硝基烷烃重排法、酰胺氧化法、硝基铜还原法、热裂解制取法、生物酶催化转化法和固相合成法等。羟胺法合成工艺简单、生产技术难度较小且对设备要求不高,是最常用的工业合成方法。其他方法反应条件难以控制,一般不经常采用,也未见大规模工业化生产报道。就固相合成而言,反应易得到动力学控制的中间态化合物,有较高的反应效率和选择性,但技术条件较为苛刻,一般用于医药类羟肟酸衍生物的合成。

### 2.1 合成原理

羟胺的游离<sup>[9]</sup>:羟胺盐(盐酸羟胺或硫酸羟胺)与碱(NaOH或KOH)在水溶液或低级醇(甲醇或乙醇等)溶液中中和游离出羟胺,滤除无机盐固体,即可得游离羟胺溶液。反应式如式(1)。



羟肟化反应:羧酸或其衍生物R—CO—L(L为OH、O<sup>-</sup>、OR、X或NH<sub>2</sub>等)与羟胺溶液反应,在碱性介质中进行亲核取代。其反应式如式(2)。



(上接第10页)

建议国家根据燃料乙醇生产原料分别确定补贴额,基本原则是:纤维乙醇高于非粮(包括薯类和甜高粱)乙醇,非粮乙醇高于粮食乙醇。

(2)政府加大对能源型原料作物的优选、培育的资助,同时因地制宜,推广高产能源作物品种,加强乙醇非粮原料基地建设,引导农民与企业合作共赢。

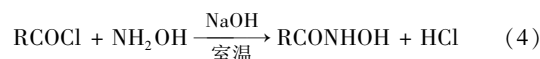
(3)鼓励企业和个人对边际土地进行改良,对符合产业政策的应给予相应的补贴,优先利用边际土地发展能源型作物,政府主导加强对边际土地利用进行规划、评估。

### 2.2 合成方法

根据原料羧酸衍生物的种类,羟胺法合成工艺主要有以下3种。

#### 2.2.1 酰氯-羟胺法

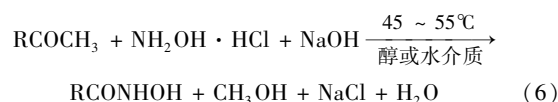
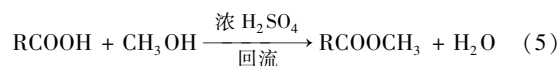
带苯环的羟肟酸宜采用酰氯-羟胺法,烃链较长的羧酸以及有些难以与醇发生酯化反应带环烃或芳烃的羧酸,也常用这种方法。羟肟化反应可在室温或更低温度下进行,在水、乙醚、乙醇或三氯甲烷介质中均可发生反应。反应式如式(3)~(4)。



曾伟等<sup>[10]</sup>指出,由于羟胺或N取代羟胺与酰氯可同时发生O酰化和N酰化反应,因此需要置于-5~0℃温度条件下反应,以大大减少前者的竞争。

#### 2.2.2 酯-羟胺法

脂肪酸与低级醇催化酯化成脂肪酸酯,再与羟胺在碱性条件下进行羟肟化反应,酸化即可得到羟肟酸。这是工业上常用的方法,用此方法可合成C<sub>5</sub>~<sub>9</sub>羟肟酸、水杨羟肟酸、H<sub>205</sub>等。用无水乙醇或水作介质,可在室温下进行反应,反应式如式(5)~(6)。



由于酯在碱性水溶液中的水解使羟肟酸收率不高。若要得到高纯度的羟肟酸产品,必须用低级醇作介质,但这会增加成本,如果用甲醇作溶剂,还会存在生产安全和环境污染的问题。

#### 2.2.3 羧酸-羟胺法

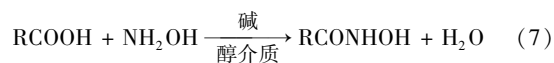
羧酸直接合成法也属于羟胺法的一种工艺手段,但较少运用于工业生产中,对于这方面的研究也

(4)秸秆等植物纤维是未来最具竞争力的乙醇原料,建议国家在纤维乙醇的研发及产业化示范上提供财政支持,并出台相应扶持政策,整合国内研发力量,推动纤维乙醇产业化技术早日实现。

### 参考文献

- [1] 孙智谋,侯霖,张俊波,等.非粮食乙醇产业化现状及展望[J].酿酒科技,2009(5):94-98.
- [2] 杜风光,冯文生.秸秆生产乙醇示范工程进展[J].现代化工,2009(1):16-19.
- [3] 张敏华,吕惠生.我国非粮燃料乙醇生产技术进展[J].酿酒科技,2008(9):91-95. ■

少见报道。反应可在室温下进行,常以有机碱(如三乙胺和碳化二亚胺)作催化剂,以醇为介质,反应式如式(7)。



### 3 羟胺法改进工艺的研究进展

#### 3.1 羟肟化反应介质的选择

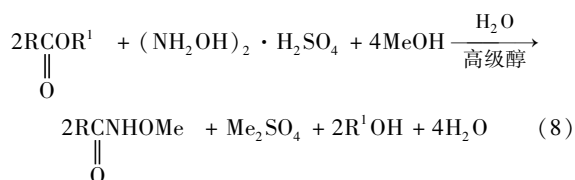
##### 3.1.1 醇介质

最早的羟肟酸合成方法为酯-羟胺法<sup>[11]</sup>,该法的主要缺点在于以有毒和易燃的甲醇作溶剂,且收率不高,约为67%。

1976年,针对传统羟胺法生产工艺的诸多缺点,Hartlage<sup>[12]</sup>提出了改进:将二甲胺引进羟肟化反应中,生成的羟肟酸再经二甲胺或碱中和可得到羟肟酸胺或金属盐沉淀,经过滤干燥即可得到羟肟酸盐产品,收率约75%。该方法虽然对传统方法有所改进,但仍然使用甲醇作为反应介质,且可能会引发酯交换等一系列副反应,此外非均相体系使反应进行得相当缓慢,产品收率也不高。

##### 3.1.2 醇/水介质

Wang等<sup>[13]</sup>提出了一种在醇/水混合介质中进行羟肟化反应的工艺: $\text{C}_{6-22}$ 脂肪酸酯(甲酯或乙酯)与羟胺盐和碱在水/ $\text{C}_{8-22}$ 高级醇混合介质中进行羟肟化反应,反应温度控制在25~35℃,反应方程式如式(8)。



该工艺转化率高,尤其在 $\text{C}_{10-18}$ 高级醇水溶液介质中效果最佳。羟肟酸盐产品含水质量分数30%~50%,产品可直接用于非硫化矿,特别是黏土的浮选。

##### 3.1.3 水溶液介质

20世纪70年代,Shechukina等<sup>[14]</sup>提出了直接以水溶液为介质分两段反应合成 $\text{C}_{7-9}$ 羟肟酸,其中酯、羟胺和碱的当量摩尔比为1:1.3:2.3,收率72%~78%。Gorlovskii等<sup>[15]</sup>以羧酸甲酯水溶液为介质,在55℃下制得 $\text{C}_{7-9}$ 羟肟酸钠盐,其中酯、羟胺和碱的当量摩尔比为1:1.22:2.2。Gorlovskii等<sup>[16]</sup>还在专利中指出羟肟酸钠盐若有高级醇及酯存在的条件下酸化,可得到羟肟酸和烷烃的混合物,产品无需分离可直接用于浮选。虽然水溶液介质避免了

醇的使用,但反应体系仍为一个非均相体系,反应速度和产率都尚需改进。

Hughes<sup>[17]</sup>提出了一种碱性水溶液条件下生产烷基羟肟酸及盐的方法。针对羟肟化反应过程中发泡的问题,提出了低级醇(如甲醇)消泡和加压消泡法。生成的羟肟酸盐经多次萃取、重结晶得到羟肟酸盐产品。过程中虽然未使用甲醇作为溶剂,但在消泡和提纯过程中使用了更多甲醇,且过程繁琐,产率也不高。Hughes<sup>[18]</sup>进一步探讨了碱性水溶液介质羟肟化反应的pH至少应在11以上,最佳pH在12.0~12.5。实验过程中还发现产品中若含有质量分数为1%的羟胺,可以使羟肟酸更加稳定。

##### 3.1.4 乳液介质

向水溶液添加乳化剂既可解决非均相反应存在的问题,又能避免低级醇的使用,增加生产的安全性,降低成本。

Shechukina等<sup>[19]</sup>发现 $\text{C}_{6-22}$ 脂肪酸甲酯或乙酯与盐酸羟胺和NaOH在水、 $\text{C}_{8-22}$ 醇和表面活性剂氯化二辛基二甲胺的混合介质中反应5h,收率大于81%,且得到的羟肟酸盐溶液能直接用于非硫化矿物的浮选。Rothenburg等<sup>[20]</sup>在 $\text{C}_{6-22}$ 的羧酸酯中添加一定量的表面活性剂,在碱性水溶液中与羟胺反应。得到的羟肟酸盐经酸化后可分油水两相,油相即为羟肟酸产品,其中还含有未反应的酯以及酯水解和酯交换形成的副产物。产品亦无需分离,和烃油复配可直接用于浮选。黄林旋等<sup>[21]</sup>用萘甲酸酯在碱性乳液介质中与羟胺反应得到新型稀土捕收剂 $\text{H}_{205}$ ——2-羟基-3-萘甲羟肟酸,可直接从稀土原矿、尾矿以及粗精矿中选出品位大于50%的稀土精矿,回收率达80%以上。

#### 3.2 酯-羟胺法的改进工艺

Chih等<sup>[22]</sup>发现,添加少量 $\text{CN}^-$ 对羟肟化反应有明显的促进作用。反应介质中 $\text{CN}^-$ 浓度越大,羟肟酸收率越高。Pradip等<sup>[23]</sup>引入了超声波增加羟肟化反应的效率,得到的羟肟酸盐经酸化即可分离出纯度较高的羟肟酸产品。

周玉林等<sup>[24]</sup>针对现有水杨羟肟酸工业生产中存在的问题提出:①羟胺和碱的当量摩尔比为1:1.3可以获得比较理想的效果,产品收率达85%;②碱和酯的当量摩尔比为2.8~3.0既可以保证羟胺的完全游离,也可以有效地控制酯的水解;③羟肟化反应温度一般不超过33~35℃,避免碱性条件下酯的大量水解,控制伴生副反应的速度在允许的范围内。在其专利中提出改进工艺<sup>[25]</sup>:在碱性(pH=12)水

溶液中加入乳化剂,采用滴加方式在 33 ~ 38℃ 进行羟肟化反应,酸化过滤后得水杨羟肟酸固体。该工艺减少 NaOH 和盐酸羟胺的接触时间,在较低的 pH 条件下肟化,不仅提高了水杨羟肟酸的收率,而且有效地减少了甲醇排放量,避免了环境污染。

### 3.3 酰氯-羟胺法的改进工艺

酰氯-羟胺法产品副产物少,产品纯度高,但存在脂肪酸酰氯化后黏度变大、流动性差、产生大量酸气、污染环境、腐蚀设备等缺点,因此酰氯化法常引入基团保护<sup>[26]</sup>。使用已知结构的羟胺衍生物,如 BOC-NH-OTHP、BOC-NH-OTBDMS 能使反应条件简单,既提高产率,又减少了后续处理,但羟胺衍生物不容易获得。Sekar 等<sup>[27]</sup>针对这一缺陷提出一步反应法:在乙醚介质中将羧酸和酰氯反应生成酸酐,然后向反应釜中加入羟胺的甲醇溶液,在中性介质中反应即可获得羟肟酸,流程如下所示:



产品经蒸发、柱分离可获得纯度较高的羟肟酸,收率可达 81%。该方法的反应效率和选择性都很高,成本较低,且反应在中性反应条件克服了传统的碱性条件下易发生副反应的缺点。但是引入了乙醚和甲醇,且产品的分离提纯困难,反而增加生产成本。

## 4 羟胺法合成羟肟酸发展前景

### 4.1 合成工艺的发展方向

#### 4.1.1 提高羟胺利用率

虽然目前国内外羟肟酸的工业生产仍以传统的羟胺法为主,但是为了提高产率,往往是使羟胺过量,而羟胺相对较贵,这样明显增加了羟肟酸的生产成本。因此提高羟胺的利用率是降低羟肟酸生产成本的关键。游离羟胺反应活性较大,可通过控制物料配比、肟化反应温度等方法来适当抑制副反应的发生。也可采用向碱溶液中滴加盐酸羟胺溶液的方法,使游离出来的羟胺立即与酯或酰卤反应。

#### 4.1.2 优化合成条件

羟胺法普遍转化率不高,影响产品浮选性能,在一定程度上阻碍了羟肟酸类捕收剂的推广。因此,不断改进羟胺法合成工艺仍是当前羟肟酸合成的主要方向。影响羟肟酸产品质量和收率的因素很多,如反应介质、肟化温度、肟化时间、pH 等,这些因素对产品影响很大,必须加以优化控制。费九光<sup>[28]</sup>结合羟肟酸多年的生产实践及试验成果,对影响产品

质量的几个主要因素进行了分析,得出了以下结论:在满足羟肟酸含量指标的前提下,合适的酯、羟胺、碱摩尔比一般为 1:1.15:(4.0 ~ 4.5);肟化反应温度一般不超过 28℃,保温不超过 30℃。

#### 4.1.3 合成工艺与浮选作业的契合

羟肟化反应需要碱性介质,反应所得羟肟酸盐须经酸化后才能获得羟肟酸。而羟肟酸在酸性介质中是不稳定的,酸性条件下易水解,且可能发生 Lossen 重排。工业应用羟肟酸类捕收剂又多配成稀碱溶液使用,若能将肟化所得羟肟酸盐直接作为成品用于浮选中,一方面可以省去酸化步骤,避免酸化所造成的一系列副反应的发生,提高产率;另一方面,产品可直接用于浮选,无需经过加碱处理。但是肟化生成的羟肟酸钠盐中含有大量杂质,如羧酸、羧酸酯、醇等,其对于捕收剂的作用效果有待进一步考察。总之,产品直接用于浮选作业是羟肟酸合成的趋势。

### 4.2 新型羟肟酸的构效关系研究

随着矿石贫化、杂化程度的增加,对捕收剂捕收能力和选择性的要求也越来越高,开发新型羟肟酸类捕收剂具有广阔的市场前景。

#### 4.2.1 羟肟酸构效关系建模

Natarajan 等<sup>[29]</sup>通过拓扑学原理、分配系数、分子表面积和溶剂残留体积等一系列局部化学和物理化学分析方法研究了 17 种羟肟酸类捕收剂作用于矿物的各种参数,如分离效率、固液分配系数、 $\log K_{oc}$  等参数。通过对 2 种不同的羟肟酸的浮选参数进行拟合分析,建立了羟肟酸类捕收剂的结构-活性关系(SAR)模型。通过这一模型可对已知结构的羟肟酸的各种浮选参数近似推测,获得其活性信息,进而了解该捕收剂在实际浮选中的效果,也可根据所要求的浮选效果选择合适的羟肟酸。

#### 4.2.2 增长疏水基团链长

新型羟肟酸捕收剂的研究重点主要集中在烷基 R 的链长及结构上。疏水基团 R 的长短对捕收剂的捕收能力和选择性有较大的影响。非极性基疏水链长度加长,捕收能力增强。但链过长,不仅水溶性差,而且还会导致选择性下降。在选择合成具有良好的选择性、且捕收能力适中的羟肟酸螯合捕收剂时,应注意选择合适疏水链长度。

#### 4.2.3 开发邻位取代芳香族羟肟酸

从工业应用来看,多取代基的芳香基羟肟酸比其他类型的羟肟酸捕收剂选择性高,如水杨羟肟酸、 $\text{H}_{205}$  等。这是因为一方面芳香羟肟酸能形成  $\pi - \pi$

共轭,键合氧原子的电子云密度增加,其螯合物的稳定性也相应较烷烃和环烷烃羟肟酸强。所以芳香烃类羟肟酸稀土矿物捕收剂的选择性能和捕收性能均优于非共轭体系的烷烃类羟肟酸;另一方面,肟基邻位上引入了一个极性取代基,在与金属螯合的过程中更能呈现多元环的螯合结构。根据络合物化学理论,配位体与金属离子形成的螯环越多,螯合物越稳定。所以羟肟酸的分子结构应由单一的烷基羟肟酸向芳香族羟肟酸、单一极性基向多极性基发展。

### 参考文献

- [1] Zeng V, Li J Z, Qin S. Dioxigen affinities and biomimetic catalytic performance of transition metal hydroxamates [J]. *Reaction Kinetics and Catalysis Letters*, 2003 (79): 111 - 117.
- [2] Lee K, Archibald D, McLean J, *et al.* Flotation of mixed copper oxide and sulphide minerals with xanthate and hydroxamate collectors [J]. *Minerals Engineering*, 2009 (22): 395 - 401.
- [3] Quast K B. A review of hematite flotation using 12-carbon chain collectors [J]. *Minerals Engineering*, 2000, 13 (13): 1361 - 1376.
- [4] 车丽萍, 余永富, 庞金星, 等. 羟肟酸类捕收剂的合成、性质及在稀土矿物浮选中的作用机理 [J]. *稀土*, 2004, 25 (6): 74 - 79.
- [5] 邱显扬, 程德明, 王淀佐. 苯甲羟肟酸与白钨矿作用机理的研究 [J]. *矿冶工程*, 2001, 21 (3): 39 - 42.
- [6] 邱显扬, 高玉德. 苯甲羟肟酸与铈钼矿作用机理的研究 [J]. *有色金属: 选矿部分*, 2005 (6): 37 - 40.
- [7] 姬俊梅. 烷基羟肟酸盐与铈铁金红石的作用机理研究 [J]. *有色金属: 选矿部分*, 2004 (4): 42 - 44.
- [8] 杨静武. 羟肟酸及金属配合物的合成、结构、抑菌活性和量化计算 [M]. 天津: 天津师范大学, 2002.
- [9] Thomas M C, Edwards V H. Preparation form hydroxylammonium sulfate; EP, 0108294A2 [P]. 1984 - 05 - 16.
- [10] 曾伟, 曾贵玉, 秦圣英. 羟肟酸的合成与应用研究新进展 [J]. *有机化学*, 2003, 23 (11): 1213 - 1218.
- [11] van der Burg W J. Preparation of hydroxamic acid; US, 3468936 [P]. 1969 - 09 - 23.
- [12] Hartlage J A. Method for preparation fatty hydroxamates; US, 3933872 [P]. 1976 - 01 - 20.
- [13] Wang S S, Naragaj D R. Novel collectors and processes for making and using same; US, 4871499 [P]. 1989 - 10 - 03.
- [14] Shchukina N E, Ryaboi V I. Laboratory and industrial methods for the production of alkylhydroxamic acids [J]. *Chemical Abstracts*, 1974, 80: 95199k.
- [15] Gorlovskii S I, Khobotova N P. Synthesis of surfactant complex-forming hydroxamic acids and their use in beneficiation of rare metal [J]. *Chemical Abstracts*, 1976, 66: 4983g.
- [16] Gorlovskii S I, Golikor V V. Flotation agent; US, 513970 [P]. 1976 - 05 - 15.
- [17] Hughes T C. Preparation of fatty hydroxamate; WO, 02/10122A1 [P]. 2002 - 02 - 07.
- [18] Hughes T C. Hydroxamate composition and method for froth flotation; US, 70078005B2 [P]. 2006 - 05 - 07.
- [19] Shchukina N E, Ryaboi V I. Synthesis of alkylhydroxamic acids in an aqueous-alkaline medium [J]. *Chemical Abstracts*, 1973, 78: 29193m.
- [20] Rothenburg A S, Giovanni L. Magliocco mineral collector compositions and processes for making and using same; US, 6739454B2 [P]. 2004 - 05 - 25.
- [21] 黄林旋, 张新民, 徐根灿, 等. 一种稀土矿物捕收剂的合成工艺: 中国, 1068247C [P]. 2001 - 07 - 11.
- [22] Chih Youg Ho, Eric David Strobel. Preparation of hydroxamic acids from esters in solution and on the solid phase; US, 0009658A1 [P]. 2006 - 01 - 12.
- [23] Pradip Rai Beena. Process for preparation of hydroxamic acid flotation collector and uses thereof; IN, 2007MU00539A [P]. 2008 - 11 - 28.
- [24] 周玉林, 袁昊. 水杨羟肟酸合成工艺的改进 [J]. *现代矿业*, 2009, 1 (477): 47 - 49.
- [25] 周玉林, 袁昊. 一种水杨羟肟酸的改进生产方法: 中国, 101519365A [P]. 2009 - 09 - 02.
- [26] Altenburger J M, Mioskowski C. Useful hydroxylamine derivatives for the synthesis of hydroxamic acids [J]. *Tetrahedron Letters*, 1992, 33 (35): 5055 - 5058.
- [27] Sekar Reddy A, Suresh Kumar M, Ravindra Reddy G. A convenient method for the preparation of hydroxamic acids [J]. *Tetrahedron Letters*, 2000 (41): 6285 - 6288.
- [28] 费九光. 影响羟肟酸合成质量指标主要因素的分析 [J]. *有色矿冶*, 1999 (3): 26 - 30.
- [29] Natarajan R, Nirdosh I. Application of topochemical, topostructural, physicochemical and geometrical parameters to model the flotation efficiencies of *N*-arylhydroxamic acids [J]. *International Journal of Mineral Processing*, 2003 (71): 113 - 129. ■

### 《现代化工》入选中国科学引文数据库核心期刊

《现代化工》创刊于1980年,为中国化工信息中心主办的综合性化工技术类期刊。经过近30年的发展,《现代化工》已经在化工领域有了很大的影响,一直入编《中文核心期刊要目总览》。今年,《现代化工》入编《2009—2010年中国科学引文数据库核心期刊》。目前,《现代化工》既是中文核心期刊也是科学引文数据库核心期刊。读者和相关单位可登陆中科院中国科学文献服务系统(<http://sdb.csdl.ac.cn>),点左下角“中国科学数据库来源期刊”查证。

——《现代化工》编辑部