

硼资源及其加工利用技术进展

朱建华¹, 魏新明¹, 马淑芬¹, 刘红研¹, 史素琴²

(1. 石油大学化工学院, 北京 102249; 2. 平顶山飞行化工集团培训中心, 河南 平顶山 467001)

摘要: 简要介绍了我国硼资源的特点和加工利用现状, 并对利用硼资源生产硼酸的现有生产工艺技术进行了评述, 包括硫酸一步分解法、两步法及萃取、沉淀分离、盐析、重力沉降等。结合近年我国发现的钠硼解石固体硼矿藏以及含硼卤水资源的特点, 对新型硼资源的加工利用进行了预测。针对四川平落坝气田的富硼卤水资源, 提出选择适宜的萃取剂, 采用萃取法提取卤水中硼酸的工艺方案, 以实现含硼卤水资源的综合利用。

关键词: 硼矿; 含硼卤水; 硼酸; 生产工艺; 综合利用

中图分类号: TQ128

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2005)06-0026-04

Advances in boron resources and their processing

ZHU Jian-hua¹, WEI Xin-ming¹, MA Shu-fen¹, LIU Hong-yan¹, SHI Su-qin²

(1. College of Chemical Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Training Center of Pingdingshan Feixing Chemical Industrial Group Co., Pingdingshan 467001, China)

Abstract: The domestic boron resources and their processing are introduced briefly. The production techniques for boric acid production, such as sulfuric acid decomposition process, two-stage process, extraction process, precipitation, salting-out, gravitational settling process, etc., are reviewed. Some processing and utilization technology are predicted, according to the characteristics of newly discovered boracic resources. For the Pingluoba boracic brine in Sichuan basin, the utilization project, which should be based on the extraction process with proper extractants, is suggested for the production of boric acid and the boron rock utilization of boracic brine.

Key words: boron rock; boracic brine; boric acid; production process; comprehensive utilization

硼酸是一种重要的化工原料, 应用于玻璃工业, 能有效改善玻璃制品的耐热、透明和机械强度, 缩短熔融时间; 在搪瓷和陶瓷工业中, 用于增强产品的光泽和坚牢度, 也是釉药及颜料的成分之一; 在冶金工业中用作添加剂、助熔剂, 生产的硼钢具有高硬度及良好的延展性, 可代替镍钢; 硼酸可用作木材的防腐剂、杀虫剂, 也被用于制造催化剂; 在金属焊接、皮革工业、照相、燃料制造、耐热防火织物、人造宝石、电容器及化妆品制造等方面也均有应用; 在农业方面可用于生产含硼微量肥料。由硼酸制造的多种硼化物广泛应用于国防及其他工业部门。

1 硼资源的特点及加工利用现状

由于硼酸具有广泛而又重要的用途, 导致国内在硼酸生产能力及加工量逐年递增的情况下, 仍供不应求。目前在我国发现并加工利用的硼资源主要为固体硼矿资源, 如辽东半岛东部宽甸地区生产的硼镁矿^[1]。随着资源勘探工作的深入, 近年在青海、

西藏等地又发现了储量丰富的钠硼解石矿^[2]。

除上述固体硼矿资源外, 在国内还发现了一些含硼的卤水资源。目前已有 4 家企业以这些含硼地下卤水或盐湖卤水为原料生产硼酸, 其中四川资中的双河盐厂就以制盐母液为原料生产硼酸, 年产量约 100 t。近年来随着四川油气勘查开发工作的深入, 在盆地西部又发现了一处高品质的富钾富硼气田卤水资源, 即平落坝气田卤水资源, 该卤水中 K^+ 、 B^{3+} 的质量浓度分别高达 54.66 g/L 和 5.670 g/L, 远超过相应的综合利用和单独开采品位, 成为当今世界上罕见的液态钾硼资源, 同时该气田卤水还富含 I^- 、 Sr^{2+} 、 Li^+ 、 Br^- 等其他有用组分, 具有很高的综合开发利用价值^[3]。

20 世纪 70 年代末期, 宽甸地区就以当地盛产的硼镁矿为原料, 利用硫酸一步法直接分解硼矿, 生产硼酸和硼镁肥, 年产 300 t 左右。到 90 年代初期, 宽甸地区的硼酸生产有了较大的发展。现在宽甸地区有 15 家硼酸生产厂, 其中采用硫酸一步法工艺的

有11家,生产能力约为2.3万t/a;采用二步法,即硼砂、硫酸中和法生产硼酸的有4家,生产能力约为1.7万t/a,宽甸地区的硼酸总生产能力约为4.0万t/a,年销售量在3万t以上。无论在生产能力和销售量上,均占全国总量的60%以上,在国内同行业中占有举足轻重的位置。

随着近年在西藏等地发现钠硼解石矿资源以来,一些生产厂家开始以钠硼解石为原料,利用硫酸一步法生产硼酸,该工艺流程短,设备简单,投资省,因此受到人们的关注,但该生产工艺过程会产生大量副产物硫酸钠,并且硫酸钠中往往混杂有10%~15%(质量分数)的硼酸^[4]。一些生产厂家未能从硫酸钠中有效地回收硼酸,直接排放产生的硼酸母液不仅污染环境,造成硼资源的极大浪费,使硼酸的回收率仅为65%~70%^[5],同时也无法有效利用副产品硫酸钠。

综上所述,随着国内对硼酸产品需求的逐渐高涨,急需对中低品位的固体硼矿以及含硼卤水资源进行开发利用。为适应这种状况,有必要根据硼资源的特点对现有的硼酸生产工艺进行分析,对硼酸生产装置进行技术改造,减少硼酸生产过程中的废渣及废水排放,提高硼的回收率及企业的经济效益,缓解我国硼资源供不应求的局面。

2 硼酸生产工艺评述

由于我国的硼矿资源主要以硼镁矿、钠硼解石矿和硼镁铁矿等固体矿物为主,所以现有的硼酸生产工艺主要是依据固体矿物的特点开发的;对于含矿卤水资源,国内外也进行了一些研究开发工作,现分别评述如下。

2.1 硫酸一步分解法

硫酸法是从硼镁石矿制取硼酸的主要方法^[6]。该法是在一定温度下用硫酸分解硼镁石矿,使矿石中的 B_2O_3 以 H_3BO_3 的形式转入液相中,然后分离出残渣和含硼酸的滤液,控制滤液中 H_3BO_3 和其他杂质的浓度,利用硼酸溶解度随温度降低而减小的性质,冷却滤液使硼酸从液相中析出。

该工艺具有无须焙烧,工艺技术成熟,流程简单等优点,被国内许多硼酸生产厂采用。但该工艺存在严重缺陷,即生产过程中有大量的硼酸随母液排放,致使硼矿中 B_2O_3 的收率不高,且这一缺陷随硼矿品位的逐年下降,矿石中杂质含量的增多而更加严重。据了解,东北某硼酸厂在过去所用硼矿品位为24%(质量分数,下同)时,硼收率尚能达到60%。

近年来由于高品位硼矿枯竭而采用约17%的中低品位硼矿时,硼收率降到45%左右,这样不仅影响了企业的经济效益,同时造成了硼资源的严重浪费。因此,提高硼回收率的研究十分迫切。

2.2 两步法

随着我国国民经济的发展及产品结构的调整,硼酸在国内市场有逐步取代硼砂的趋势。两步法生产硼酸,由于流程短、技术成熟、基本无环境污染、上马快、易于大型化等优点^[1],特别是当硼砂市场疲软,硼砂价格偏低,原料易得时,具有较大的优势。据有关资料统计,宽甸地区已有4家企业开始新建或扩建两步法硼酸生产装置,新增生产能力约1.8万t/a,并将陆续投入生产。另外,采用两步法生产硼酸,最好以现有硼砂厂为主,作为产品结构调整而新上硼酸生产线。因为两步法生产硼酸的经济效益,主要取决于硼砂价格的高低,若购买硼砂生产硼酸,风险较大,生产难以持久。

以硼砂和硝酸为原料,可制取硼酸和硝酸钠,利用2种产物溶解度的不同,通过部分蒸发进行分离,可得到符合国家标准的合格产品。中试结果表明^[7]:该方法具有硼回收率高、副产物价值高的特点。

2.3 萃取法

萃取法最早应用于从含硼卤水中提取硼酸,美国的西尔斯盐湖(Searles Lake)及前苏联博加兹海湾(Кара-Боляз-Гол)等地已采用该工艺实现了工业化生产。为合理利用我国的含硼卤水,可借鉴该方法,其原则流程如图1所示^[6]。

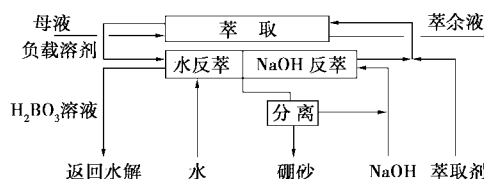


图1 萃取法生产硼酸的原则流程图

该工艺的技术关键是萃取剂的选择。萃取和反萃取在混合澄清器中进行,根据实验测定的萃取体系平衡时间、澄清时间、搅拌强度、相比、料液密度、母液处理量等数据,可以设计混合澄清器的尺寸及各相口的位置和大小。负载有机相可根据卤水的实际情况,用热水或NaOH进行反萃取。萃余液中含有高浓度的 $MgSO_4$,可根据市场情况生产 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 或 K_2SO_4 等产品。经过9级萃取,萃取率可达80%以上,萃余液中含硼质量浓度小于3g/L,负载有机相经3级水萃或一级碱萃,反萃取

率可达 90% 以上。该工艺的硼收率较高,萃取剂可循环使用,原材料消耗少,成本低,具有较好的经济效益,可用于加工中低品位硼镁石矿及含硼卤水,是一个很有发展前途的提硼工艺。

吴贤熙等^[8]开发了一种较为廉价,并能通过萃取从卤水中除硼的萃取剂和相应的卤水除硼方法,使用后的萃取剂经反萃除硼后可反复使用。对萃取前后卤水组成的分析得知卤水中镁含量未见减少,表明选用的萃取剂对卤水中的镁无萃取作用。可见,萃取法可用于卤水中微量硼酸的有效脱除。

2.4 盐析法分离硼酸和硫酸镁

用硫酸分解硼镁石矿和硼镁铁矿后,所得酸解液经除渣净化后为 $\text{H}_3\text{BO}_3\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系,将其冷却到常温即可结晶出大部分硼酸。由于受溶解度限制,还有少部分的硼酸及所有的硫酸镁存留在析出硼酸后的母液中,这部分硼酸难以通过单纯的蒸发与冷却母液而被经济地提取出来,造成了硼镁资源的浪费和环境污染。

为此国内外学者针对该母液的综合利用进行了研究,提出了一些分离方法,如将该混合液加工成硼镁复合肥;用有机溶剂萃取硼酸;硫酸盐析提取硫酸镁,盐析后母液返回用于硼矿的分解;用氯化镁或硝酸镁作盐析剂先蒸发生产一水硫酸镁,后冷却分离硼酸,分离硼酸后的母液作盐析剂循环使用等。

上述方法各有利弊,目前我国只有氯化镁和硝酸镁作盐析剂的分离方法在硫酸分解硼镁矿生产中得到应用。针对辽宁翁泉沟硼镁铁矿硫酸浸出净化液中 H_3BO_3 和 MgSO_4 的分离,通过分析 25℃ 和 100℃ $\text{H}_3\text{BO}_3\text{-MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 体系相图,采用高温蒸发析出 $\text{MgSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 及冷却净化液析出 H_3BO_3 的方法^[9],可达到减少冷却水量和节能的目的。

在硫酸法生产硼酸的过程中,有人对从母液中分离硫酸镁进行了研究^[10]。依据对物料物性的分析,确定了硫酸盐析-循环结晶工艺。通过试验,验证了其技术可行性,分离出高纯度的硫酸镁,二次母液返回酸解工序,大大提高了硼酸收率。

2.5 吸附法分离硼酸和硫酸镁

国内硫酸法分解硼镁矿生产硼酸后的母液一般含有质量分数约为 4% 的硼酸,20% 的硫酸镁,每产 1 t 硼酸需排放 8 t 母液,因为硫酸镁接近饱和,该母液难以在加工流程中循环使用,排放母液不但导致硼资源的浪费,而且还会造成环境污染。理论上可从生产 1 t 硼酸的母液中回收 320 kg 硼酸和 1 600 kg 硫酸镁。

前人提出的盐析法、多温冷却法、冷冻法和沉淀法均难达到有效分离硼、镁的目的。有人利用高效选择性吸附树脂,从生产硼酸的母液中经济有效地回收硼和镁,解决了硼镁分离难题,提供了硼酸和硫酸镁分离的新方法^[11]。

2.6 沉淀分离法

硫酸一步法制硼酸母液中 MgSO_4 和 H_3BO_3 的另一种分离方法为沉淀分离法^[6],即加入沉淀剂将母液中的 MgSO_4 或 H_3BO_3 转化为水不溶性盐而实施分离,根据使用沉淀剂类型的不同,可分为 2 种方法。

(1) 母液固硼法

该法使加入的沉淀剂与硼酸反应生成水不溶性盐并返回酸解,打破 H_3BO_3 和 MgSO_4 的共饱和点,使母液中的 MgSO_4 结晶出来,从而达到提高硼收率及综合利用的目的,其工艺流程如图 2 所示。

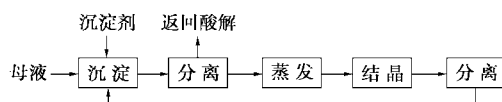


图 2 母液固硼法工艺流程

据文献报道,母液固硼法使用的沉淀剂有活性氧化镁^[12]及石灰乳^[13],采用活性氧化镁可以沉淀卤水中质量分数为 50% ~ 90% 的硼,而用石灰乳可使硼的沉淀率达到 70% 以上,硼的总收率达到 60%。

(2) 母液固镁法

该法是向母液中加入一定量的沉淀剂,将 MgSO_4 转化成水不溶性的镁盐而沉淀出来^[14],从而打破 H_3BO_3 和 MgSO_4 的共饱和点,这样得到的溶液主要为硼酸溶液,可以返回酸解工序进行利用,也可蒸发结晶出硼酸,从而达到提高硼收率和综合利用的目的,工艺流程如图 3 所示。

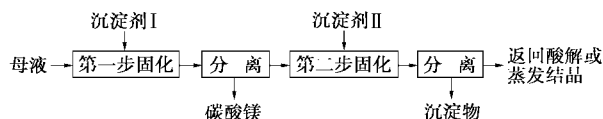


图 3 母液固镁法工艺流程

以上 2 个工艺过程具有综合利用硼镁石矿中硼和镁的优点,硼的总收率可达到 85%,镁的收率可达到 75%,但沉淀过程中可能会受到母液中铁、铝等杂质的影响,使过滤困难并影响产品质量。

2.7 浮选分离法

在捕收剂作用下,硼酸在浮选中进入泡沫,故可分离 H_3BO_3 与 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的混合物,将此法用于

硫酸法制硼酸的工艺中,可获良好效果。有人曾对该工艺过程进行研究,原则流程如图4所示^[6]。

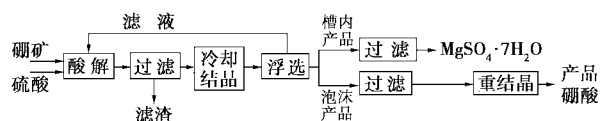


图4 母液固镁法的工艺流程示意图

捕收剂的选择和用量是浮选的关键,试验中选用的捕收剂为 Ft-13,用量为 60 g/t。由于该工艺流程中母液全部循环使用,损失的 H_3BO_3 绝大部分由 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 尾矿带走;为提高硼收率,应控制矿液比、矿酸比、捕收剂用量等条件。试验结果表明,采用浮选工艺可使 H_3BO_3 的收率提高到 82%,纯度达到 75%,浮选尾矿 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 亦可回收利用。该试验工艺流程较简单,可大幅度提高 B_2O_3 的收率,但浮选产品需经重结晶处理后方可作为硼酸产品出售。

2.8 酸解钠硼解石制取硼酸

将钠硼解石破碎后用稀硫酸分解,使矿石中的硼生成硼酸,镁、钠生成相应的水溶性盐转入液相,矿石中的钙生成硫酸钙,经固液分离随矿渣除去,液相利用硫酸镁、硫酸钠和硼酸在不同温度下溶解度的差异分离硼酸,达到一步制取硼酸,并经干燥后得硼酸产品。

实验表明^[2],用西藏某地的钠硼解石制取硼酸的单程收率可达 81.09%。同时,第 3、4 次洗渣液及洗涤粗硼酸的洗液和冷析硼酸后的母液循环利用,硼的收率将得到提高。对该过程的技术经济分析可知,采用西藏某地钠硼解石矿提取硼酸,比用硼镁矿要经济,工艺技术简单可行;第 3、4 次洗液可在下一循环的浸矿过程中使用;洗涤粗硼酸的洗液和冷析硼酸后的母液,分离硫酸盐后可循环利用,硼的收率会进一步提高;精制硼酸产品的纯度达到 99.50%, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的质量分数分别为 0.03% 和 0.06%,达到 GB/T 538—1990 一级品的标准。这样可为我国利用钠硼解石酸解生产硼酸提供一项有效技术。

2.9 重力沉降分离硼酸和硫化钠

酸解钠硼解石得到的液相中含有硼酸、硫酸钠和硫酸镁等,如何有效地分离硼酸和硫酸钠,国内外曾有人进行过研究,并利用溶剂萃取法分离出硼酸,但溶剂萃取法的缺点是:萃取剂昂贵,处理量小,设备及操作程序复杂,难以实现工业化^[15]。

李人林和赵龙涛^[16]根据硼酸、硫酸钠性质的差异,采用重力沉降的方法对该体系进行分离,操作简单、方便,分离出来的粗硼酸纯度可达 81% 以上,且

得到的硫酸钠中硼酸含量较低,通过对硫酸钠进行洗涤,可进一步降低其中硼酸的含量,预计其质量分数可降到 0.5% 以下。若采用离心分离,硫酸钠的含水量可大大降低,得到的硫酸钠完全可以作为合格的产品出售。分离出的粗硼酸在生产过程中可返回到硼酸结晶或酸解过程溶解除去硫酸钠。由于分离出的粗硼酸返回并可最终制得合格的硼酸,这样大大提高了硼的收率,减少了对环境的污染,而且钠盐又得以综合利用,故该方法的技术经济指标明显优于萃取法。

3 结语

由于我国硼矿资源主要以硼镁石矿、硼镁铁矿和钠硼解石矿固体矿物为代表,而近期发现的气田含硼卤水及部分盐湖含硼卤水资源量还不够大,在整个硼矿资源中所占份额较小,所以对含硼卤水进行加工生产硼酸的工艺技术并不多见。幸运的是,对固体硼矿的加工利用绝大多数为酸解工艺,过滤出水不溶物后得到的滤液实际即为含硼卤水,只不过是其中的镁或钠含量较高,或者是含硼卤水的 pH 值较低而已。因此,可借鉴现有对固体硼矿的加工工艺从含硼卤水中提取硼酸。

对现有生产硼酸的工艺过程进行综合评价后发现,浮选法并不适合从高浓度硼酸的卤水中提取硼酸;而吸附法生产硼酸技术由于吸附剂的吸附容量所限,也不适于从平落坝高矿化度富钾富硼气田卤水中提取硼酸;由于所用沉淀剂的局限性,并有可能产生大量的固体废渣造成二次污染,沉淀法也不适于从平落坝气田卤水中提取硼酸。这样,针对平落坝气田卤水的组成特点,选择适宜的萃取剂,采用萃取法提取平落坝卤水中的硼酸,可能是一种明智的选择,并且国外已有成功的范例可供参考。

参考文献

- [1] 曲学孟.[J].辽宁化工,2001,30(7):313-314.
- [2] 邓天龙,唐明林,廖梦霞,等.[J].矿产综合利用,1997,(1):21-22.
- [3] 林耀庭,曹善行.[J].中国地质,2001,28(7):45-47.
- [4] 史恒欣,赵文升,李人林,等.[J].无机盐工业,1998,30(5):22-24.
- [5] 曹吉林,赵蓓,刘淑琴,等.[J].化工学报,1996,47(4):454-460.
- [6] 钟耀荣.[J].化工矿山技术,1996,25(4):35-37.
- [7] 侯军.[J].无机盐工业,2004,36(5):34-35.
- [8] 吴贤熙,李琴琴,黎曼,等.[J].轻金属,1995,(7):35-38.
- [9] 曹吉林,白鹏.[J].辽宁化工,1999,28(4):194-206.
- [10] 许宁,李志富,冯文华.[J].化工科技,2003,11(6):30-33.

1.1 主要试剂及仪器

聚苯乙烯微球, 含 7% 二乙烯苯(DVB), 220 μm , 南京麦科菲高效分离载体有限公司; 乙酰化聚苯乙烯微球, 参照文献[4]制备; 四乙烯五胺, CP, 上海染料十四厂; 氯乙酸, AR, 亭新化学试剂厂; 亚磷酸, AR, 中国医药(集团)上海化学试剂公司; 多聚甲醛, AR, 上海凌峰化学试剂有限公司; 牛血清白蛋白第五组分(BSA-V), 生化级, 纯度 99.8%, AMRESCO 分装; 其他试剂均为市售分析纯。

元素分析仪, CHN-O-Rapid, 德国 Heraeus; 红外光谱仪, Nicolet 360, 美国 Nicolet, KBr 压片; 热分析仪, TG-204, 德国 Netzsch; 紫外分光光度计, TU1901, 北京谱析通用公司; 恒温振荡器, THZ-82, 常州国华企业; 全谱直读等离子体发射光谱仪, Optima 2000DV, 美国 Perkin Elmer。

1.2 氨基树脂的制备^[6]

0.5 g 乙酰化 PS 微球用无水乙醇溶胀 12 h 后, 加入计算量的多聚甲醛粉末、四乙烯五胺和浓盐酸, 90 $^{\circ}\text{C}$ 下回流一定时间后, 将反应物水洗至中性, 再用无水乙醇、甲醇各洗 3~4 次, 真空干燥至恒重, 得氨基树脂(PS-TEPA 树脂)。

1.3 氨基羧酸型螯合树脂的制备^[7]

把计算量的氯乙酸用 NaOH 溶液溶解后, 调整 pH 值至 7.0, 加入到用无水乙醇溶胀 12 h 的 PS-TEPA 树脂中(氨基与 ClCH_2COOH 摩尔比为 1:4), 用 NaOH 溶液或碳酸钠溶液调 pH 值到 10, 反应过程中不断补加以保持 pH 值为 10, 65~70 $^{\circ}\text{C}$ 回流 24 h 后, 将反应物水洗至中性, 再用 1 mol/L 的盐酸溶液洗涤数次, 水洗至中性, 甲醇洗数次, 真空干燥至恒重, 得到氨基羧酸型螯合树脂(简称 AC 树脂)。

1.4 氨基磷酸型螯合树脂的制备^[8]

PS-TEPA 树脂用无水乙醇溶胀 12 h 后, 加入计算量的亚磷酸、多聚甲醛粉末和浓盐酸(氨基与 CH_2O 、 H_3PO_3 、 HCl 的摩尔比为 1:10:10:4), 90 $^{\circ}\text{C}$ 回流 8 h 后, 将反应物水洗至中性, 用 1 mol/L 的 NaOH 溶液洗涤数次, 水洗至中性, 再用 1 mol/L 的盐酸洗涤数次使树脂转至氢型, 水洗至中性, 用甲醇洗数次, 真空干燥至恒重, 得到氨基磷酸型螯合树脂(简称

AP 树脂)。

1.5 螯合树脂对金属离子的吸附性能测定

吸附容量的测定: 采用静态吸附法。将 0.1 g 螯合树脂分别加入到 25 mL 浓度为 0.025 mol/L Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 或 Ni^{2+} 的稀溶液(pH = 5 的 HAc-NaAc 缓冲液配制)中, 25 $^{\circ}\text{C}$ 振荡 24 h, 静置, 取吸附前后的金属离子溶液稀释相同倍数后用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)测定金属离子浓度, 计算干树脂的吸附容量 $Q(\text{mg/g})$ ^[9]。

吸附率的测定: 将 0.07 g 螯合树脂分别加入到 25 mL 浓度为 100 mg/L 的 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 的稀溶液(pH = 5 的 HAc-NaAc 缓冲液配制)中, 25 $^{\circ}\text{C}$ 振荡 24 h, 不稀释, 测试方法同前, 计算吸附率 E 。

吸附选择性: 将 0.05 g 螯合树脂加入到 25 mL 浓度为 100 mg/L 的 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Fe^{3+} 、 Pb^{2+} 混合金属离子溶液中, 测试方法同吸附率的测定。

1.6 螯合树脂对 BSA-V 的吸附性能

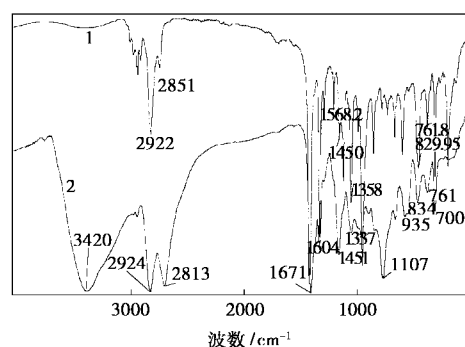
0.1 g 螯合 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 离子的树脂加入 20 mL 2.0 mg/mL 的 BSA-V 溶液中, 25 $^{\circ}\text{C}$ 140 r/min 恒温振荡一定时间, 静置, 取上清液于 1 cm 石英比色皿中, 用紫外分光光度法测定 280 nm 波长处的吸光度, 计算 BSA-V 的吸附量($Q_{\text{BSA-V}}$)。

2 结果与讨论

2.1 氨基树脂的表征

2.1.1 红外光谱分析

氨基树脂的红外光谱见图 1。



1—乙酰化 PS; 2—氨基树脂

图 1 氨基树脂的红外光谱图

(上接第 29 页)

- [11] 唐润英, 崔荣旦, 王国莲. [J]. 盐湖研究, 1997, 5(3-4): 84-92.
 [12] Martin Marietta Corporation. Pretreatment of brine for boron removal [P]. US 4035469, 1977-07-12.
 [13] 唐明林, 邓天龙, 廖梦霞. [J]. 盐湖盐与化工, 1994, 23(5): 17.

- [14] Linke W F. Solubilities: Inorganic and Metal-organic Compounds, A-Ir [M]. Vol. 1. 4th ed. Washington D C: American Chemical Society, 1958. 683.
 [15] 谢正秋. [J]. 无机盐工业, 1996, 28(3): 33-34.
 [16] 李入林, 赵龙涛. [J]. 河南化工, 2002, (2): 21-23. ■