

含水氯化镁脱水方法及其对比

徐万帮

(中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘要: 根据最近几十年的研究情况对目前流行的含水氯化镁脱水方法进行了分析、对比, 并且介绍了他们的有关应用情况和在应用过程中的优、缺点。给出了有关热力学与动力学的最新研究成果, 并对其研究前景进行了预测。

关键词: 含水氯化镁; 脱水; 方法对比

中图分类号: TQ132.2 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2004)02-0056-07

镁是极重要的有色金属, 它比铝轻, 能够很好的与其他金属构成高强度的合金, 所以, 镁被广泛的应用于航空、汽车、电子、移动通讯、冶金等领域。自20世纪90年代以来, 在传统的应用领域里, 镁的需求量不断的增加。据报道^[1], 西方金属镁的需求量以每年5%的速度递增。我们知道, 世界上镁盐资源极其丰富, 海水、井矿盐卤以及盐湖卤水中就含有丰富的镁盐资源。而在我国, 青海盐湖中氯化镁的储存量就相当的大, 目前已经探明位于青海湖区的察尔汗盐湖镁的储存量达 16×10^8 t, 占全国镁盐总储存量的74%^[2]。同时, 世界上也只有在青海独特的自然资源和气候条件下, 在盐湖共生资源中, 我们在提取钾盐以后的老卤, 只要经过简单的盐田自然蒸发, 无须纯化处理就可以获得高纯度的水氯镁石($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。而这些高纯度的水氯镁石正是生产电解用的高纯度的无水氯化镁的重要原料。含水氯化镁的工业脱水是生产高纯度的电解用的无水氯化镁的重要途径。目前生产镁的最主要的方法就是通过电解无水氯化镁来实现的。因此, 含水氯化镁的脱水研究成为制约我国镁工业发展的瓶颈问题之

一。同时, 对含水氯化镁的脱水研究也对开发和综合利用我国西部地区盐湖资源具有及其重要的意义。

含水氯化镁脱水生产无水氯化镁的工艺路线是目前金属镁工业发展最先进、最理想的工艺路线, 几十年乃至几百年来, 世界各国科技人员对含水氯化镁脱水生产无水氯化镁过程进行了大量的研究。

1 含水氯化镁脱水过程以及脱水的理论分析

目前对 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 热分解机理的报道已经很多^[3-10]。在这里, 首先让我们从水氯镁石的分子结构来对其脱水进行初步的定性探讨。水氯镁石分子结构见图1^[3]。从结构图可以看出, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的结构为 Mg 原子周围6个 H_2O 分子和2个 Cl^- 离子, 形成中心对称八面体, 配位数为6。四个 H_2O 和 Mg^{2+} 的键长为0.21nm, 另两个 H_2O 和 Mg^{2+} 的键长为0.17nm, $\text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^-$ 键长为0.39nm, O-H 的键长为0.94nm。从结构看出, 水氯镁石较易脱去前面4个水分子, 后2

收稿日期: 2003-09-23

作者简介: 徐万帮(1979-), 男, 硕士研究生。

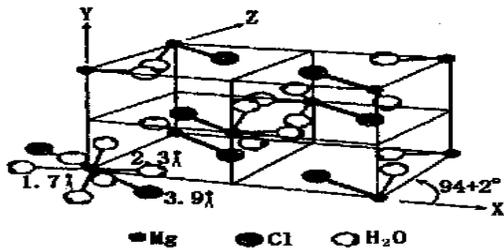
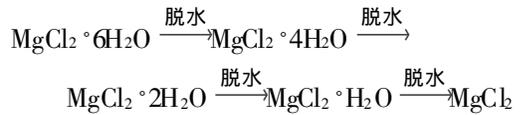


图 1 水氯镁石分子结构

Fig. 1 Structure of bischofite

个水分子较难脱去。

同时, 实验也进一步表明: 一定的条件下 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 可以进行如下系列的脱水反应:



并且, 试验也证明: $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 与 $MgCl_2 \cdot 4H_2O$ 脱水成为 $MgCl_2 \cdot 2H_2O$ 或 $MgCl_2 \cdot H_2O$ 比较容易, 水解反应的干扰程度也不大, 而 $MgCl_2 \cdot 2H_2O$ 与 $MgCl_2 \cdot H_2O$ 的脱水生成 $MgCl_2$ 则需要比较高的温度。特别是一水氯化镁热分解过程中可能发生以下各种极为复杂的反应:

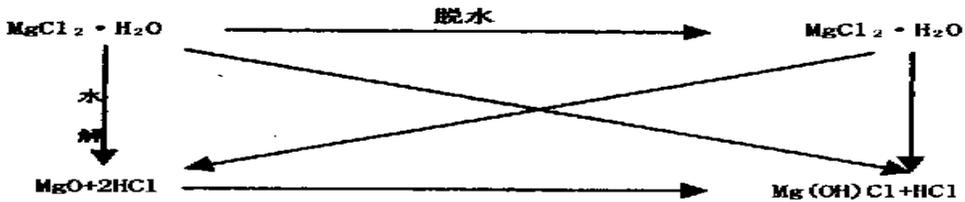
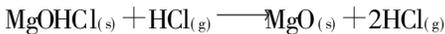


图 2 $MgCl_2 \cdot H_2O$ 脱水所有可能发生的副反应

Fig. 2 All potential reaction about the dehydration of $MgCl_2 \cdot H_2O$

在一定的条件下 $MgOHCl$ 还可以发生如下反应:



国外有许多专家学者对 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 热分解机理进行了报道^[4-6], 比较突出的是 1987 年 Kirsh^[6] 用 DTA, TG, DTG, IR, X-ray 以及对 Mg 和 Cl 的化学分析方法研究了 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 的热分解机理以及其动力学过程, 用几种方法计算了反应的动力学参数、活化能、指前因子和表观反应级数。结果发现脱水反应的表现反应级数以及表观活化能随着氯化镁的水合数的减少而急剧增加, 脱水的化学反应过程中具有相当高的活化能。

在国内, 中国科学院青海盐湖研究所^[7] 针对水氯镁石脱水这一复杂过程可能存在的化学反应的热力学函数进行了计算, 发现由一水氯化镁分解成为无水氯化镁的吉布斯自由能为一正值, 并且, 随温度的升高变化相当小。同时, 华东理工大学的宋兴福等^[8] 采用量子化学等手

段, 利用 MOPAC7.0 程序中的 PM3, 用 Hartree-Fock (RHF) 方法通过计算发现一水氯化镁脱水成无水氯化镁与水解成为碱式氯化镁这两条竞争路径的活化能和反应过程的热效应都相差无几, 也就是说, 通过提高加热温度来抑制碱式氯化镁的产生以便提高无水氯化镁的得率在理论上根本行不通。

通过上面的分析我们知道对水氯镁石脱水生产无水氯化镁的关键问题是如何通过有效的方法来抑制副反应的发生, 以便使脱水反应尽可能进行彻底, 从而有效的提高 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 的脱水率与无水氯化镁的产率。而热力学与动力学分析的结果告诉我们对于低水合氯化镁脱水所采用的办法只有在化学反应过程中加入其它的物质, 影响脱水过程中的化学平衡关系, 达到有效的控制脱水生产的进程。将无水氯化镁中的杂质控制到最低水平, 获得高纯度、高质量的电解用的无水氯化镁以及我们所希望得到的产率。

2 含水氯化镁脱水方法及其应用对比

目前国内外炼镁公认的最先进的方法是电解法, 电解法炼镁所需要的原料主要是通过含水的氯化镁脱水生产的无水氯化镁来实现。上个世纪以来, 国内外的许多专家学者, 对含水氯化镁脱水的理论研究为进行无水氯化镁的工业化生产奠定了坚实的基础。在这里, 我们主要讨论的是几种比较成熟的工艺生产方法与途径及其对各种方法的应用情况进行分析、对比。

2.1 氯化氢保护气氛下脱水

氯化氢保护气氛下脱水主要是基于脱水时的各种副反应都有氯化氢生成(见图 2)。因此, 我们在一定的温度下, 如果维持反应体系内存在适量的氯化氢气体的浓度, 通过控制有利于脱水进程非平衡态热力学和动力学条件, 影响化学反应的平衡关系, 就能够有效的减少或避免脱水过程中 $\text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的水解和各种副反应的产生。

氯化氢保护气氛下脱水的工业尝试早在 20 世纪 50 年代以来就开始了。印度, 日本, 法国等都在此方面进行了大量的实验。然而, 将氯化氢保护气氛下对 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 脱水的方法成功用于工业生产部门的是挪威^[1]。1978 年, 挪威海德鲁公司采用氯化氢保护气氛下脱水工艺建立了一条年产 15kt 的金属镁生产线。该系统将含有 MgCl_2 33% 的卤水作为原料在三个连续的流化床内, 在温度分别为 180°C 、 250°C 、 330°C 下逐步脱水至含有 4, 2, 1 个结晶水。其中第一, 第二级流化床以惰性气体为流化气体, 在第三流化床内引入氯化氢气体。微量水则在 $714^\circ\text{C} \sim 820^\circ\text{C}$ 的热空气与氯化氢保护气氛下除去。其脱水以后的结果是得到 $\text{MgCl}_2 > 95\%$, $\text{H}_2\text{O} < 0.4\%$, $\text{MgO} < 0.2\%$ 的固体电解用氯化镁。对于生产过程中所产生尾气——氯化氢气体, 则采用回收的方式, 脱水料的输送以及 HCl 回收系统全部是封闭的, 各项操作均由计算机控制, 自动化程度相当高。在国内中南大学的

张永键等^[2]对氯化氢气体回收进行的大量的研究提出氯化氢回收采用氯盐解析工艺, 用少量的盐酸补充 HCl 的消耗。使之得到充分的利用, 让大部分氯化氢气体的再次参与工艺循环。

1989 年, 挪威水电公司在加拿大 Bwancour 又新建了一产能 $403 \times 10^4 \text{ t/a}$, 位居世界第三的大型镁厂, 此更加成功的应用了氯化氢气氛保护脱水工艺^[13], 该厂采用菱镁矿为初始原料, 用盐酸溶解出氯化镁溶液。他们只采用了二级脱水, 热空气脱水在 $150^\circ\text{C} \sim 180^\circ\text{C}$ 的温度下进行, 氯化氢气氛脱水在 $300^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ 下进行; 各项技术指标比普斯格隆镁厂还要好。所得到的无水氯化镁含氧化镁 $< 0.1\%$ 。镁生产的全过程镁和氯的回收率 $\geq 97\%$

氯化氢保护气氛下脱水最主要的优点是通过化学平衡的方法, 能够有效地抑制和避免 $\text{MgCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 脱水时 MgCl_2 的水解。因此, 该法在目前含水氯化镁工艺脱水中被认为是最先进的脱水方法。并且该法的脱水工艺产品质量相当高, 环境污染相对比较小, 生产的过程中自动化程度高, 现在已经成为国内外最主要的无水氯化镁生产途径。

但是, 该法也有很多不足之处。如: 在氯化氢保护气氛下脱水需要高温, 因此能量消耗比较高。并且, 氯化氢气体的腐蚀性比较强, 其对设备的腐蚀在高温下显得尤为严重。因此, 该法对设备的要求程度高。我们要尽量提高整个系统的防腐性能。同时, 我们知道, 该法的整个过程中均有 HCl 气体参加, 因此, 我们要求整个系统必须有很好的密闭性。而且, 氯化氢气体的再循环过程还有待进一步的研究。总之, 对于该法的应用, 我们要特别注意提高系统设备的耐高温、耐腐蚀和密闭性的三大难题。

2.2 氯气熔融氯化脱水

早在 20 世纪 20 年代, MgO 在熔体中氯化的方法就被提出来了。在 20 世纪 50 年代时期, 前苏联索里卡姆镁厂率先在工业上实现了光卤石的熔融氯化技术。后来, 该厂的熔融氯化技术在美国罗莱镁厂得到发展并被应用于含水氯化镁的氯化脱水^[11]。

该方法主要是将天然卤水, 经过日光蒸发

得到镁的含量为 7%~8% 左右的卤水。并加热浓缩成含镁 10% 左右的浓卤。然后喷雾干燥得到粒径为 20 μ m 左右的细粉, 此时的 MgCl₂ 含量达到 82% 以上。MgO 和 H₂O 的含量小于 5%。然后将这些细粉加入到氯化炉, 并在氯化炉中添加石油焦粉, 通入氯气。在 810 $^{\circ}$ C 左右的温度下熔融氯化脱水生成含 MgCl₂ 95% 以上的固体。

中国科学院青海盐湖研究所马培华等^[14]根据青海盐湖的特点, 于 20 世纪 90 年代对该法做了相应的改进, 发明了新的水氯镁石脱水的工艺。此工艺利用盐湖卤水来进行生产, 生产过程中所需要的原料以及其它的辅助原料大部分来自盐湖。整个工艺流程通过控制有利于脱水进程的非平衡态热力学和动力学条件, 操作温度控制在 250 $^{\circ}$ C 左右, 使氯气在催化剂作用的流化气氛下, 以便提高脱水的效果。混合加热气中氯气的含量为 5%, 脱水产物的组成如下: 氯化镁含量达 98%~99%, 氧化镁含量在 0.1%~0.3%, 水在 0.2%~1.0% 之间。从而制得了高纯的无水氯化镁。

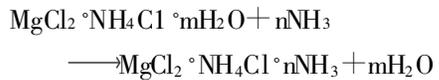
相对氯化氢保护气氛下脱水而言, 该法避免了氯化氢保护气氛下脱水中盐酸的解析过程和大量氯化氢气体在系统中的循环, 因此, 其工艺流程相对比较简单。但是, 由于氯气的毒性, 以及氯化炉出料时不可能完全密闭, 所以, 该法对环境污染程度比较大。同时, 整个过程中, 系统处于高温状态, 所以能量消耗相当高, 工业运营成本相对偏高。因此, 该法的应用范围不是很大。

最近, 加拿大的 Asbenstos, Magnola 冶金公司推出了一种氯化氢熔融氯化脱水的新方案^[16]。他们主要是针对石棉矿开采以后遗留下来的蛇纹石尾矿中富含镁资源, 同时由于用氯化的方法不能够很好地将蛇纹石中的镁转变成氯化镁, 所以, 他们经过研究而提出该方案。其工艺流程与氯气熔融氯化脱水工艺很相似。但是, 他们采用的是氯化氢作为氯化剂, 而不是用氯气。它突出的优点是氯化氢作为氯化剂的同时又抑制了氯化镁的水解。同时, 由于喷雾干燥得到的微粒含有的水和氧化镁的含量很低, 所需要的氯化氢用量比较低, 因此, 该法在

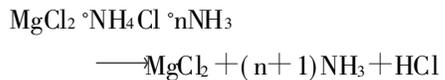
无水氯化镁工业生产中具有很独特的优越条件。

2.3 合成铵光卤石脱水

浙江宁波盐厂和郑州轻金属研究院于 20 世纪 80 年代初期对铵光卤石脱水进行了半工艺研究^[11]。前苏联, 甚至美国的道乌化学公司, 凯撒铝业有限公司也对此做过实验研究, 获得了不少的专利。合成铵光卤石脱水法中脱水脱铵的反应方程是:



然后在此基础熔剂中进行熔融脱铵, 其反应为:



在这里, 主要是利用铵镁复盐结构的作用, 脱水过程中铵光卤石的水蒸气分压值远远低于该温度下水蒸气的平衡分压, 故氯化镁的水解程度相当小。而对于脱铵时, 我们可以通过上面的化学关系式看出, 其产物有氯化氢产生, 这样又进一步的抑制了氯化镁的水解。

该法主要采用含水氯化镁和氯化铵按照 $n(\text{MgCl}_2) : n(\text{NH}_4\text{Cl}) = 1 : 1$ 的配料合成铵光卤石溶液 ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{NH}_4\text{Cl} \cdot m\text{H}_2\text{O}$)。其质量组成分数为: MgCl₂ 20% 左右, NH₄Cl 约为 11%, 水的含量约为 68%。然后在 160 $^{\circ}$ C~170 $^{\circ}$ C 和 210 $^{\circ}$ C~230 $^{\circ}$ C 的温度下进行沸腾脱水, 最终在 700 $^{\circ}$ C~750 $^{\circ}$ C 的温度下熔融脱铵和除去少量的残余水分。

该法的最突出的优点是完全避免了传统工艺中使用氯气或者是氯化氢气体的可能性, 环境污染程度很小。这种脱水的方法由于其独特的优越性已经引起了业界同行的广泛兴趣。但是, 该法目前一直以来处于实验阶段, 并没有完全的投入生产, 根据工业实验和试验数据可以看出该法目前还存在以下的问题^[17]:

(1) 试验生产阶段干燥脱水料的平均含水量为 7.8%, 与工业生产要求含水量小于 5% 还有一定的差距。

(2) 铵光卤石法炼镁的能量消耗比较高。

(3) 从试验数据看, 生产 1t 金属镁消耗工业氯化铵为 818kg(氯化铵为 93.6%), 回收率为 70.2%

同时, 我们还可以发现^[11] 脱铵料中仍然含有较多的氧化镁(1%) 以及该法对空气的湿度要求也比较高^[15]。

2.4 合成钾光卤石脱水

合成钾光卤石脱水炼镁工艺是原苏联研究成功的并于 1936 年建厂, 他们利用该工艺先后建立了五座镁厂(其中包括有镁钛联合企业)。当时, 年产 40kt 镁, 占了当时全世界原镁产量的一半, 雄居世界之冠^[11]。在我国, 贵阳铝镁设计研究院与青海的民和镁厂等单位共同开发了钾光卤石脱水炼镁工艺, 具有与国际竞争的优势。我国利用钾光卤石脱水炼镁工艺研究主要是基于青海盐湖钾提取以后的老卤经过简单的盐田蒸发, 无须纯化就可以得到高纯度的水氯化镁石。但是, 由于每提取 1t 氯化钾就有 8~11t 的氯化镁排回盐湖, 导致了盐湖中镁盐的局部富聚, 成为盐湖开发中的“镁害”^[18]。而这些富聚的镁盐主要是以钾光卤石存在。

合成钾光卤石脱水炼镁工艺与合成铵光卤石脱水的机理极为相似^[19]。但是, 也有不同之处。合成钾光卤石脱水炼镁工艺主要利用钾光卤石中氯化镁的活性比水合氯化镁中氯化镁活性小, 脱水的过程中水解明显减少, 提高了氯化镁的质量。钾光卤石脱水主要分 2 次脱水。一次脱水得到含水少的固态脱水料, 二次熔融氯化彻底脱水, 得到无水的光卤石熔体, 然后用于电解制备金属镁。

但是, 合成光卤石炼镁工艺也有很多不足之处^[17], 如: 物质流量相当大, 炼 1t 镁需要纯化处理盐田光卤石大约 25t。这样给生产带来了极大的不便, 动力和人力资源耗费比较大; 同时, 钾光卤石脱水炼镁工艺流程中存在着很严重的污染, 产生大量的废渣和废气, 这样增大了环保处理费用。同时, 对部分氯化钾进行回收时, 部分会发生分解或者是水解生成腐蚀性的氯化氢, 大规模生产会产生一定的困难。

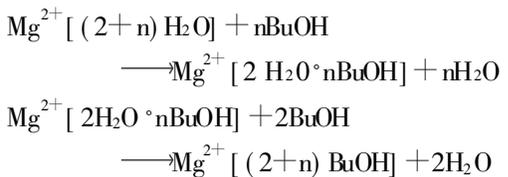
2.5 有机络合和氨螯合脱水

通过上面的分析我们知道, 上面的方法都

是在水相介质中进行的, 水合氯化镁的脱水始终没有离开水的环境和氛围。后来, 有许多国内外的专家学者提出了用有机溶剂来代替水介质。这种工艺使制备无水氯化镁脱离了水环境和氛围, 去除了溶剂水的环节, 这样, 无论在节省能耗还是在提高无水氯化镁质量方面都有了进一步的提高。所以, 近几年来, 有机络合和氨螯合脱水成为国内外重点开发的途径。

有机络合和氨螯合脱水的基本原理是^[20]: $MgCl_2$ 能够与许多的有机溶剂发生络合反应。如: 醇、醚、胺、脂等(如 $MgCl_2$ 与乙醇能够生成 $MgCl_2 \cdot 6C_2H_5OH$), 同时, 我们发现 $MgCl_2$ 也能够和氨发生螯合作用生成 $MgCl_2 \cdot xNH_3$ 系列的络合物。根据氨螯合物的有关性质以及有机络合物的有关知识我们知道, 这些络合物将以沉淀的形式存在, 这样很有利于我们收集。同时, 这些沉淀在加热的时候将发生分解, 这样就可以得到无水的氯化镁。而分解以后的有机物和氨可以回收利用, 让它们再一次的参与循环。

含水氯化镁用溶剂络合脱水的基本原理我们可以通过如下的式子表示:(溶剂用 BuOH 表示, 此时的 BuOH 可以代表任何能够与 $MgCl_2$ 络合的物质)



徐日瑶教授在论文^[20]中指出: 此时的脱水的条件是:

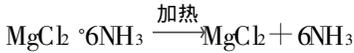
当 $n(MgCl_2) : n(H_2O) = 1 : 6$; $n(MgCl_2) : n(BuOH) = 1 : 3$ 时, 含水氯化镁中的水可以脱去 69%; $n(MgCl_2) : n(BuOH) = 1 : 7$ 时含水氯化镁中的水可以脱去 89%; $n(MgCl_2) : n(BuOH) = 1 : 12$ 时含水氯化镁中的水可以脱去 97.3%。

生成 $Mg^{2+} [(2+n) BuOH]$ 以后, 我们可以通过蒸馏法在适当的温度下脱除 BuOH, 从而获得高纯度的无水氯化镁。当与 NH_3 结合时, 在形成 $Mg^{2+} [(2+n) BuOH]$ 的基础上通入氨气, $MgCl_2 \cdot nBuOH \cdot 6NH_3$ 。除去溶剂, 再加热, 可以得到 $MgCl_2 \cdot 6NH_3$ 。

其反应方程式如下,



所得到的 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ 加热 (300 °C ~ 400 °C) 以后就可以分解成为我们所需要的无水氯化镁。



目前, 络合脱水的研究实验成果, 虽然没有应用到镁的工业生产, 但是, 在美国的 Nalco 化学公司得到了应用^[21]。随后, 澳大利亚、加拿大也对此进行了实验。美国的 Nalco 化学公司是将含有杂质的水合氯化镁放到四乙二醇二乙醚以及沸点低于四乙二醇二乙醚的共沸剂溶液中, 得到悬浮的 MgCl_2 料浆。然后将此再溶解到乙二醇中, 得到含有一定浓度的氯化镁, 然后用络合能力比乙二醇强的氨气处理该液, 得到 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ 的沉淀, 分离并加热即得到分解的无水氯化镁和氨气, 此时氧化镁的含量小于 0.8%, 符合电解制镁的标准。

在 1996 年, 加拿大 Alcan^[22] 公司也做了相当的研究。他们提出直接由水合氯化镁有机溶液氯化生成 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ 的工艺。他们在常压和低温的条件下, 将水合氯化镁有机溶液同饱和的低沸点醇的氨溶液反应生成 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ 的沉淀分离, 并加热所得沉淀, 从而制得高纯度的无水氯化镁(氧化镁的含量 < 0.1%), 分解后的氨气进行循环使用。

从总体上说, 含水氯化镁用溶剂通过络合生成络合物以后再用水合氯化镁有机溶液氯化生成 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ 的工艺。他们在常压和低温的条件下, 将水合氯化镁有机溶液同饱和的低沸点醇的氨溶液反应生成 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$ 的沉淀分离, 并加热所得沉淀, 从而制得高纯度的无水氯化镁(氧化镁的含量 < 0.1%), 分解后的氨气进行循环使用。

3 结 论

通过上面的分析, 我们知道, 在镁工业生产中, 含水氯化镁脱水的方法有很多。其中, 氯化氢保护气氛下脱水无论从产品的质量还是环境

保护以及过程控制方面都是很先进的。我们只要能够对其中的某些不足进行改进, 该法仍然不失为最先进、最实用的方法。氯气熔融氯化脱水相对简单, 如果能够有效地控制其对环境的污染, 这也是一个行之有效的方案。而由于氯化铵和其他的有机溶剂相对氯化氢和氯气而言, 毒性和对人体的危害程度相对比较小, 如果我们能够有效地提高无水氯化镁的产率, 有效地控制产品中氧化镁的数量分数, 有机溶剂和氨联合脱水工艺和合成光卤石脱水都将是脱水的好方法。21 世纪将是一个特别重视环境保护的世纪, 笔者相信有机溶剂和氨联合络合脱水工艺将是世界上含水氯化镁脱水的发展方向。

参考文献:

- [1] Robert Brown. IMA 56th Annual World Conference [J]. Light Metal Age, 57(7-8): 64-69.
- [2] 张彭熹. 沉默的宝藏—盐湖资源. 广州: 暨南大学出版社; 北京: 清华大学出版社. 2000. 8
- [3] 福建师大物理系光学组. MgCl_2 红外激光脱水探索实验情况汇报 [R]. 1975. 2.
- [4] H. Lecoeur. [J]. Ann. Chem. Phys., 1894, 2(7): 85.
- [5] J. H. Derby, V. Yngve. [J]. J. Am. Chem. Soc., 1916, 38: 1443.
- [6] Y. Kirsh, S. Yariv, et. [J]. J. Thermal Anal, 1978, 17(2): 156-160.
- [7] 景燕, 马培华, 诸敏雄. 水氯镁石热分解反应的热力学计算 [J]. 盐湖研究. 1999, 7(4).
- [8] 宋兴福, 于建国. 一水氯化镁热分解过程中的理论化学研究 [J]. 海湖盐与化工. 2001, (2): 3-6.
- [9] 汪瑾, 宋兴福, 刘够生, 等. 一水氯化镁热分解反应的热力学计算 [J]. 海湖盐与化工. 2001, (5): 12-14.
- [10] 陈建军, 陈关城, 马玉涛, 等. 水氯镁石流态化脱水的动力学研究 [J]. 青海大学学报. 1999, (5): 5-8.
- [11] 张永健. 含水氯化镁脱水方法及其应用 [J]. 轻金属, 2001, (12): 42-45.
- [12] 张永健, 刘红专, 王广明. 氯化氢气氛下制取无水镁时尾气中氯化氢回收实验 [J]. 轻金属, 1981, (9): 30-33.
- [13] Georges Mezzeta. Magnesium plant Built on Environmental Respect [J]. light Metal Age, 49(5-6): 13-14.
- [14] 中国科学院青海盐湖研究所. 水氯镁石流态化脱水制取无水氯化镁新工艺的研究 [R]. 西宁: 中国科学院青海盐湖研究所. 1993. 10.
- [15] 陈建军, 马玉涛. 水氯镁石脱水研究的进展与展望 [J]. 海湖盐与化工, 1998, 6(2): 18-21.
- [16] Houm Michael Matthew, Wong Fook-Sin, Jenkins David

- Hughes etc. Anhydrous magnesium chloride [P] . US: 6143270.
- [17] 胡中峰, 刘绍祿. 盐湖镁厂工艺方案探讨[J] . 中国镁业, 2003, (1); 4-6.
- [18] 庞全世, 李权. 柴达木盐湖镁资源综合利用与发展我国镁业的对策[J] . 盐湖研究, 2002, 10(4): 56.
- [19] 陈荣, 田忆凯. 高纯度无水氯化镁生产工艺评述[J] . 江苏化工, 2001(6), 30-32.
- [20] 徐日瑶, 刘红专, 刘荣义. 青海盐湖资源综合利用[J] . 盐湖研究, 2003, (1); 31-40.
- [21] Robert E. Brown. Magnolia—the Noranda Magnesium Process [J] . Light Metal Age, 56(1—2): 60-63.
- [22] Siviloti Olivo G, Sang Jean V, Lemay Rejean J R. Process for making anhydrous magnesium chloride [P] . US: 5514359, 1996.

Methods For the Dehydration of Hydrated Magnesium Chloride and Their Comparison

XU Wan-bang

(*Qinghai institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China*)

Abstract: A review was provided about the development of methods for dehydration of hydrated magnesium chloride in the last decades, with the disadvantages and advantages of all compared and analyzed. Meanwhile, new achievements in the thermodynamics and kinetics as well as the trends, of the dehydration research were presented.

Key words: Hydrated magnesium chloride; Dehydration; Comparison