



## 石棉尾矿的危害及综合利用途径

苏庆平, 龙小玲

(成都理工大学材料与化学化工学院, 四川 成都 610059)

**摘要:**石棉尾矿对环境具有极大的危害性,必须加以严格管理和及时处理、处置;同时石棉尾矿又是一类可以利用的矿物资源,具有较大的综合利用价值。本文分析了当前石棉尾矿的处理处置技术,认为利用石棉尾矿提取非金属矿物材料是一种值得推广的先进技术,这种技术不仅能够有效地破坏石棉的结构,消除石棉尾矿的危害性,而且可以生产出市场需求的非金属矿物材料,为企业创造经济效益。

**关键词:**石棉尾矿; 环境危害; 综合利用; 变废为宝

**中图分类号:**TD985 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2009)01-0027-05

石棉尾矿是在石棉矿采选中产生的矿物残渣,主要成分为蛇纹石,还含有少量滑石、白云石和方解石。化学成分主要为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 和少量铁、铝、钙等其他物质。我国是世界上石棉生产大国,石棉储量居世界第三位,但我国石棉矿中含石棉量不高,一般在1%~4%之间,即生产一吨石棉将产生近百吨石棉尾矿。据统计,我国每年生产石棉34万多吨,年产生石棉尾矿数千万吨,目前全国石棉尾矿的贮存量已达到几十亿吨。这些庞大的尾矿山不仅占据了大量土地资源,而且污染环境,对人类健康和安全构成严重威胁。

### 1 石棉尾矿对环境的危害

在石棉矿开采和使用中,长期吸入石棉粉尘可以导致劳动者患上石棉肺、肺癌和间皮瘤等疾病。

据统计,1949~1980年,我国石棉肺发病人数1786人;1980~1986年为2503人,累积患病人数4289人,死亡622人,死亡率14.5%。至2003年底,全国累积患病人数达7907人,死亡923人,死亡率11.67%<sup>[1]</sup>。

石棉尾矿在长期堆存下对矿区及周边环境造成的危害主要表现在:

(1)侵占土地,破坏生态环境。石棉矿长期开采将产生数量巨大的尾矿山,这些尾矿山不仅占据了有限的土地资源,而且严重破坏了当地的生态环境。尾矿山上寸草不生,如果遇上暴雨山洪,极易引发泥石流、山体坍塌等地质灾害。

(2)大气污染。石棉尾矿中含有大量未选出的细小短纤维,这些短纤维随风飘荡,造成大气质量的破坏。我国《工业场所有害因素职业接触限值》

**Abstract:** Using a titanium concentrate produced from the vanadous titanomagnetite in Panxi Region as research target, the detailed process mineralogical research of the raw material and middles of smelting furnace was performed. The mineralogical composition of the products, the form of occurrence and dissemination characteristics, as well as the behavior of the impurities of magnesium and calcium, etc., and their variation under technological processes were identified. These research results provided bases for selecting optimal technological conditions of comprehensive utilization of the mineral resources.

**Key words:** Process mineralogy; Titanium concentrate; Magnesium - removal

收稿日期:2008-08-21

作者简介:苏庆平(1953-),男,副教授,长期从事仪器分析及危险废物处理处置的教学与科研工作。

(GBZ2-2002)规定,石棉矿山和石棉制品生产企业其生产工作环境内粉尘含量不得超过  $2\text{mg}/\text{m}^3$ 。但全国各矿区的实际情况是国有大企业基本达标,中小企业普遍不能达标,工作环境中石棉粉尘含量在每立方米大气中高达数百毫克,远远超出国家标准<sup>[2]</sup>。特别值得注意的是这些细小石棉粉尘随风迁移,可以漂浮至数公里之外,造成矿山周边环境的污染(表1)。

表1 茫崖矿区选矿厂附近石棉粉尘平均浓度<sup>[3]</sup>

距选矿厂距离/m	粉尘平均浓度/ $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$
300	0.4~6.8
500	1.0~5.0
1000	0.6~5.7
1500~2000	0.7~2.7
3000	0.5~2.6

(3)水体污染和土壤毒化。石棉尾矿中含有细小短纤维、钙、镁、钾、钠及少量重金属元素,在雨水和地表水的冲刷下进入河流及地下水中,造成水体

污染。过量的可溶性盐类矿物使尾矿库周边土壤出现次生盐渍化,引起矿区局部土壤毒化,破坏当地农业生产环境。

## 2 石棉尾矿的处理处置<sup>[4]</sup>

由于石棉废物对环境和人体健康产生极大危害,发达国家对石棉废物管理非常严格,美国、英国、日本和欧盟等都制定了严格的法律,限制石棉的开采、生产和使用,并要求对石棉尾矿及废物进行妥善处置。目前使用最多的处置技术是安全填埋(表2),近年来随着高温等离子体技术的发展,意大利、法国等发达国家研发出石棉废物高温晶体化技术,在高温下石棉废物被熔融,不再呈现纤维状,而转换为耐磨、耐腐蚀的玻璃陶瓷(表3)。

表2 石棉废物的常规处置技术

处理	原理	最终目的
在水泥基质的条件下	水泥和活性添加物混合	填埋
在塑料基质条件下	添加到塑料中混合	填埋

表3 石棉废物的晶体化等处置技术

处理	原理	最终目的
玻璃化	等离子火焰或标准熔炉中熔化	填埋,建筑和道路的惰性材料
陶瓷化	标准炉中熔化,添加物可有可无	填埋,建筑和道路的惰性材料,瓷砖
火焰陶瓷化-玻璃陶瓷化	熔化和结晶	玻璃陶瓷原料,惰性材料
火石化	在炉子中熔化产生膨胀陶土	建筑业
化学腐蚀	在酸中分解	填埋
机械化学分解	通过机械化学能使结构破坏	作为水泥惰性添加物

这些处置技术虽然可以有效地防治石棉废物的环境污染,但处置成本太高,在发展中国家难以推广应用。特别对于产生量巨大的石棉尾矿,这些单纯的处置技术在经济上很难实现。

## 3 石棉尾矿的综合利用途径

### 3.1 国外石棉尾矿的综合利用技术

由于石棉尾矿主要由蛇纹石组成,化学成分主要是氧化镁和二氧化硅。早在1967年,美国F.L. Pundsael等人就采用碳酸氢铵对石棉尾矿进行处理,获得二氧化硅、碳酸镁等产品<sup>[5]</sup>。W. George等对石棉尾矿首先用盐酸浸取,过滤后将硅与镁分离,分别处理滤液和滤渣,最后得到高比表面积的二氧化硅和镁盐<sup>[6]</sup>。近年来,由于国际上镁消费的稳步增长,为充分满足镁市场供给,降低镁的生产成本和

充分利用有限资源,国外一些冶金公司正积极对石棉尾矿进行开发利用。加拿大若兰达公司技术中心与有关科研院所合作,进行了10余年的开发研究,花费了6.8亿加元的研究费用,解决了从石棉尾矿中回收镁的几个技术难关,并计划投资巨建设年产6.3万t的金属镁厂<sup>[7]</sup>。澳大利亚的戈登特利安格尔资源公司在新南威尔士州北部的伍德斯勒富镁厂利用当地堆积的蛇纹石尾矿试生产符合国际标准要求、纯度达到99.93%的高质量金属镁<sup>[8]</sup>,由于蛇纹石尾矿自然堆积,不需要任何采矿作业,所以生产成本仅为世界同类生产成本的1/4,具有良好的经济效益。俄罗斯的爱斯别斯特市也在积极建设一个以当地石棉尾矿为原料的镁冶炼厂,该地石棉尾矿中的含镁量比通常作为炼镁原料的光卤石高,预计用石棉尾矿的生产成本将比现有的镁冶炼厂低

20%~30%,该厂设计年生产能力5万t,建设投资3亿美元<sup>[9]</sup>。

目前,国外在石棉尾矿的综合利用方面主要以尾矿中的高含量镁为开发对象,采用火法冶炼技术生产高纯度的金属镁。这种技术能够充分利用石棉尾矿,在解决环境污染的同时获得较大的经济效益,是值得推广应用的新技术。但该技术前期开发费用高,规模生产投资大,必须具有雄厚的经济基础方能实施。

### 3.2 国内石棉尾矿的综合利用技术

#### 3.2.1 从石棉尾矿中回收石棉短纤维

我国石棉选矿长期以来采用干法风选技术,这种技术由于自身的限制,只能回收石棉矿中0.5mm以上的长纤维,而小于0.5mm的短纤维则混入尾矿被抛弃。正是这些存在于尾矿中的短纤维对环境形成污染,破坏空气和水体<sup>[10]</sup>。为了解决干法分选技术存在的问题,李克文<sup>[11]</sup>、荣葵一<sup>[12]</sup>等先后研究了石棉矿物的湿法选矿工艺,并申请了中国专利。他们利用石棉纤维在水中或一些化学表面活性剂溶液中会发生膨胀,施加一定外力即可变为极细的石棉纤维这一原理,将干法风选的石棉尾矿进行松解,进而回收得到满足石棉制品要求的具有一定长径比的石棉纤维。

依据上述专利技术,甘肃省阿克塞县新远石棉开发公司在2002年投资建设了年处理2.5万t石棉尾矿的回收利用厂,当年回收石棉纤维1000t,2003年回收石棉纤维3500t,所回收的石棉纤维达到中国石棉协会制定的技术要求,该产品制作的石棉橡胶板拉伸强度达到12.06MPa,经制成汽车刹车片检验,产品摩擦系数小,磨损率低,证明湿法选矿工艺完全可以应用于石棉尾矿中短纤维的回收。

这种回收技术虽然能够回收部分石棉产品,有效地提高企业的经济效益,但对于影响环境的石棉尾矿并不能减少,无法达到消除污染的主要目的。

#### 3.2.2 生产建筑材料

石棉尾矿的主要矿物成分是蛇纹石,此外还有少量的石英、粘土、滑石等。蛇纹石的纤维结构和耐热、耐磨等优异的物理性能使其能够作为生产建筑材料的基本原料,代替粘土制备砖瓦等建材。所以,对于产生量巨大的石棉尾矿,最简便的处理方法是生产砖瓦等建筑材料。

西南科技大学的廖其龙、卢忠远等人曾对石棉

尾矿制备建筑材料进行了系统研究:(1)采用石棉尾矿为基本骨料,粉煤灰为胶粘剂生产免烧砖,实验证明其制品的抗压抗折强度远高于150号免烧砖技术指标<sup>[13]</sup>;(2)将尾矿粉碎,在700~1050℃高温下焙烧后再碾磨,然后成型、水热处理,作墙体材料、保温隔热材料和装饰材料<sup>[11-15]</sup>;(3)通过原料制备、熔制、成型、退火和晶化等工艺制备微晶玻璃,其各项理化指标均达到或超过同类产品,其机械性能、耐磨性及耐腐蚀性能优异,具有良好的电绝缘性和较高的耐热性及较低的热膨胀系数<sup>[16-18]</sup>;(4)用石棉尾矿制备耐热混凝土<sup>[19]</sup>和耐火材料<sup>[20-22]</sup>,该工艺利用石棉尾矿主要含硅镁的特点,经配料、高温煅烧、碾磨、成型、低温合成等工序,最后得到上述耐火材料,其产品质量均达到国家标准的要求。

杨赞中等人研究了石棉尾矿在陶瓷生产中的应用<sup>[23]</sup>,证明用磁选除去石棉尾矿中的铁质后,可以用作生产日用陶瓷的原料,制成品达到滑石质陶瓷的标准。

使用石棉尾矿生产建筑材料,能够大量地消耗石棉尾矿,有效地解决石棉尾矿污染的环境问题,同时具有一定的经济效益。但这类综合利用方式至今未能获得推广应用,其原因主要有三点:(1)低温成型制备石棉尾矿砖瓦,尾矿中的石棉纤维未能改性,使用中仍存在石棉废物污染环境的问题;(2)使用高温煅烧制备耐火材料,虽然改变了石棉纤维的结构,消除了石棉废物的环境威胁,但生产中需要消耗大量的燃料,生产成本低,利润有限;(3)绝大部分石棉矿山都在边远山区,交通不便,运输线路长,而制成品销售价格低,企业很难获得利润来维持正常运转。

#### 3.2.3 提取石棉尾矿中的有用成分

利用石棉尾矿中含有高含量镁和硅的特性,可以从石棉尾矿中提取镁盐和硅盐产品,这样不仅有效地消除了尾矿对环境的污染问题,而且能够合理地应用选矿废物,通过综合利用使企业获得经济效益,最终达到社会效益、经济效益和环境效益的统一。

根据石棉尾矿的化学组成特性,代厚全等人研究了石棉尾矿制备碳酸镁和氧化镁的工艺流程<sup>[24-26]</sup>。尾矿经粉碎煅烧后消化,转换为氢氧化镁,然后通过碳化获得轻质碳酸镁,再进一步热解煅烧,即可获得轻质氧化镁,经工业化试验证明,产品

分别达到国标 GB1612-79 和部标 HGI-324-77 的优质级标准。谭康报道了西安地奥科技公司也成功开发了类似工艺,并被列入西安“火炬计划”,应用于实际生产中<sup>[27]</sup>。此类技术虽然能够处理石棉尾矿,但是工艺较复杂,仅能回收尾矿中的氧化镁部分,尾矿利用率只能达到 30%~35%,并且生产中将产生大量的二次固体废物,对环境仍然存在破坏作用。

为了更有效地利用尾矿资源,尽可能地减少环境污染,合肥工业大学化学工程学院杨保俊等人系统地研究了蛇纹石的浸取过程<sup>[28-30]</sup>,提出了蛇纹石综合利用新工艺<sup>[31]</sup>。该工艺采用循环活化酸浸新技术,以蛇纹石为原料同时制取轻质氧化镁和水玻璃,产品符合国家相关标准,蛇纹石中氧化镁的回收率大于 90%。该工艺不仅尽可能地利用了尾矿中的有用成分,而且还考虑到生产废水的综合利用,使用沉镁母液生产含镁硫酸肥,从而将生产造成的二次污染降至最小。利用前期的基础研究成果,他们还陆续开发了用蛇纹石制备五水偏硅酸钠<sup>[32]</sup>、有机硅化合物<sup>[33]</sup>、氢氧化镁<sup>[34]</sup>和针状纳米氢氧化镁<sup>[35]</sup>等系列产品,使产品具有更大的经济效益和市场前景。韩廷信改进了尾矿焙烧工艺<sup>[36]</sup>,首先用盐酸分解矿粉,经转化、过滤、净化、浓缩等工序,最后采用喷雾焙烧法进一步生产出优质轻质氧化镁,产品纯度达到 98.16%,该工艺还可同时制备白炭黑,其工艺流程简单,生产成本低,具有明显的经济效益,值得推广应用。中国矿业大学的郑水林等人以甘肃阿克塞矿的石棉尾矿为原料,开发出制备超细氢氧化镁和超细高比表面积二氧化硅的高效综合利用新技术<sup>[37]</sup>,并成功地通过了生产性试验,尾矿中镁和二氧化硅组分的回收率达到 80%以上。从该工艺提供的中试结果看,处理 1t 石棉尾矿可得到超细氢氧化镁 357kg,超细高比表面积二氧化硅 339kg,同时还可以从废渣中回收副产品氧化铁红,从废水中回收硫酸钠,整个工艺没有废物产出,处理 1 吨尾矿可获利 1123.4 元,具有明显的经济效益、社会效益和环境效益。

#### 4 结 语

石棉尾矿对环境和人类健康具有较大的危害性,必须进行妥善处理处置。从目前的处理处置技术来看,采用酸解提取镁盐及其他无机盐产品的综

合利用工艺是应该肯定和推广的。但是,由于各地石棉尾矿的化学组分及矿物结构有较大差异,不能完全照搬照套,必须进行前期试验研究,才可能获得最佳的工艺参数,达到经济效益、环境效益和社会效益和谐统一的预期目的。

#### 参考文献:

- [1]樊晶光. 石棉粉尘控制现状分析[J]. 劳动保护, 2005(1): 26~27.
- [2]陈照亮, 杨俊杰, 金春姬. 我国石棉的安全性分析及对策研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(2): 36~42.
- [3]潘明琨. 石棉的危害及其环境管理[J]. 甘肃环境研究与监测, 1995(8): 39~41.
- [4]周炳炎, 黄启飞. 国内外石棉废物稳定化处理和再利用技术的研究现状[J]. 中国环境管理, 2003, 22(1): 45~47.
- [5]Magram P., Chapman C. D., Recycle of material[J]. Engineer Material International Symposium, 1995(3).
- [6]Walsh George R., Delmas Michel P. B., Process for silica and magnesium salts production from tailings coming from asbestos mining[P]. CA2240082, 1998.
- [7]段德炳. 若兰达公司从石棉尾矿中回收镁[J]. 世界有色金属, 2000(12): 33.
- [8]戈登特利安格矿资源公司. 澳大利亚利用蛇纹石尾矿生产镁[J]. 国外金属矿选矿, 2001(3): 47.
- [9]人中. 澳俄加积极推进从石棉尾矿回收镁计划[J]. 世界有色金属, 2001(6): 13.
- [10]王继生. 石棉尾矿回收利用新技术[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2004(4): 47~48.
- [11]李克文. 石棉湿法浮选改性工艺[P]. 中国专利: 971127034, 1997.
- [12]荣葵一. 石棉类矿物湿法重力选矿工艺[P]. 中国专利: 981216307, 1998.
- [13]廖其龙, 卢忠远. 用石棉尾矿制备免烧砖[J]. 非金属矿, 1997(6): 34~35.
- [14]卢忠远, 王海滨, 苏光兰, 等. 石棉尾矿水热合成建筑材料的研究[J]. 环境科学, 1997(1): 68~70.
- [15]卢忠远, 万朴, 李和玉. 利用石棉尾矿生产蒸压建筑材料研究[J]. 非金属矿, 1996(4): 28~30.
- [16]廖其龙, 卢忠远. 用石棉尾矿为主要原料制备微晶玻璃[J]. 西南工学院学报, 1998(1): 1~3.
- [17]廖其龙, 卢忠远, 谭克锋. 利用石棉尾矿制造微晶玻璃装饰板材的研究[J]. 矿产综合利用, 1997(4): 32~34.
- [18]蒋文久. 石棉尾矿微晶玻璃装饰板材的研究[J]. 玻璃与搪瓷, 1997, 26(1): 31~33.
- [19]廖其龙, 卢忠远. 用石棉尾矿为主要原料研制耐热混凝

- 土[J]. 矿产综合利用,1997(4):44~46.
- [20] 卢忠远,谭克锋,廖其龙,等. 利用蛇纹石低温合成耐火材料的研究[J]. 矿产综合利用,1996(4):20~23.
- [21] 王林. 用蛇纹石等生产耐火材料的实验研究[J]. 矿产综合利用,2003(6):47~51.
- [22] 王林. 利用白云石和石棉尾矿生产稳定的镁钙耐火材料研究[J]. 非金属矿,2003,26(4):19~21.
- [23] 杨赞中,董凤芝,刘玉金. 石棉尾矿在陶瓷生产中的应用研究[J]. 矿产保护与利用,1998(4):47~48.
- [24] 代厚全,骆开均,张万成. 从蛇纹石制备轻质碳酸镁和轻质氧化镁的扩试研究[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),1998,21(2):192~195.
- [25] 骆开均,代厚全. 从蛇纹石制备轻质碳酸镁和轻质氧化镁的新方法[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),1993,16(6):83~86.
- [26] 郑华. 蛇纹石尾矿提取氧化镁工艺研究[J]. 洛阳师范学院学报,2001(5):52~54.
- [27] 谭康. 从石棉尾矿中提取氧化镁[J]. 建材工业信息,1997(4):7.
- [28] 杨保俊,于少明,单承湘. 蛇纹石硫酸浸出过程动力学研究[J]. 硅酸盐学报,1999,27(1):65~70.
- [29] 杨保俊,于少明,单承湘. 蛇纹石硫酸浸出过程工艺条件的优化作用[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2002,25(4):501~504.
- [30] 侯莉,单承湘,于少明. 酸浸条件对蛇纹石中镁浸出的影响[J]. 安徽科技,2000(1):39.
- [31] 杨保俊,于少明,单承湘. 蛇纹石综合利用新工艺[J]. 矿冶工程,2003,23(1):47~49.
- [32] 于少明,杨保俊,单承湘. 利用蛇纹石提镁残渣制备五水偏硅酸钠的研究[J]. 矿冶工程,2000,20(4):51~53.
- [33] 于少明,周爱萍,王川丕,等. 蛇纹石提镁残渣直接合成有机硅化合物的研究[J]. 矿产综合利用,2002(1):46~48.
- [34] 胡章文,杨保俊,单承湘. 由蛇纹石酸浸滤液制备  $Mg(OH)_2$  工艺条件研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2003,26(2):232~235.
- [35] 胡章文,王理想,杨保俊,等. 蛇纹石酸浸滤液提镁制备针状纳米  $Mg(OH)_2$  [J]. 非金属矿,2005,28(1):35~39.
- [36] 韩廷信. 喷雾焙烧法从蛇纹石中制取轻质氧化镁[J]. 无机盐工业,1999,31(3):10~11.
- [37] 郑水林,李杨,刘福来,等. 石棉尾矿高效综合利用技术研究[J]. 中国非金属矿工业导刊,2004(5):5~8.

## On the Approach for Comprehensive Utilization of Asbestos Tailing

SU Qing-ping, LONG Xiao-ling

(Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China)

**Abstract:** Asbestos tailings is a kind of hazardous waste, has enormous hazard to environment, so it must be managed strictly and treated timely. Simultaneously, the asbestos tailing is also one kind available mineral resource and has biggish comprehensive utilization value. This paper analyzed the present situation of the technologies for treating and disposing asbestos tailing, and concluded abstracting non-metallic mineral materials from asbestos tailing is a advanced technology which is worth of popularizing application. This technology can not only destroy the structure of asbestos effectively, eliminate harmful constituents in asbestos tailing, but also produce some kinds of valuable non-metallic mineral materials and increase economical benefits for enterprises.

**Key words:** Asbestos tailing; Environmental hazard; Comprehensive utilization; Recycling

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告