

# 从石煤中提钒现状及前景\*

漆明鉴

(核工业北京化工冶金研究院 北京 101149)

钒是一种重要的战略物资。石煤是我国独特的一种钒矿资源,分布在我国南方各省,储量极为丰富。从石煤中提取  $V_2O_5$  是获得钒的重要途径。国内有多家生产厂对从石煤中提取  $V_2O_5$ ,综合利用石煤资源进行了研究与生产,取得了明显的经济效益和社会效益。本文作者在1990年就我国从石煤中提钒的有关技术经济问题,包括钒的资源状况、提钒工艺现状及国内外对钒的供需情况进行了充分的调查研究,此文即为调研结果。

关键词 石煤 钒 现状

## 引言

钒是一种重要的战略物资,主要应用于钢铁工业、国防尖端技术、化学工业以及轻纺工业等领域。世界上钒的资源丰富,分布广泛,但无单独可供开采的富矿,而是以低品位与其它矿物共生。目前,世界各国生产钒的原料主要是钒钛磁铁矿在冶炼过程中副产的钒渣,我国亦然。

石煤——一种碳质页岩,是我国的一种独特的钒矿资源。其特点是发热量低、灰分高、含有多种金属元素。主要蕴藏在煤炭资源贫乏的我国南方各省,储量极为丰富。国外虽有类似矿物,但为数甚少。

虽然我国南方开发利用石煤资源的历史比较悠久,但在工业上的应用还是在70年代以后。近几年来,石煤资源的开发与综合利用发展迅速。从民用发展到工业利用,从单一燃烧发展到综合利用。目前,石煤综合利用的途径主要是燃料动力(石煤发电)、建筑

材料、农肥和提炼稀有金属等4个方面,并且已初具规模。在充分利用石煤低热值能源的同时,研究提取钒及其它伴生元素,不但可提高石煤的利用价值,而且可为我国国民经济建设提供更多急需的稀散、贵重金属材料,可以获得更高的经济效益和社会效益。因此,充分、有效、合理地开发利用石煤资源确实具有重大的现实意义和深远的历史意义。

本文作者针对1990年以前我国石煤提钒的有关技术经济问题,主要是钒的资源、提钒工艺现状及国内外对钒的供需情况进行了初步的调查研究,并归纳成文。

## 1 概况

### 1.1 钒及钒的产品

人类在160 a前就已发现了钒元素,但直到20世纪初才将其应用于工业上。纯金属钒呈银灰色,纯度 $>99.9\%$ 时,具有良好的可塑性和可锻性。

钒的产品种类繁多,既有高纯金属钒,钒

\* 收稿日期:1999-07-10

铁、钒铝合金,钒碳化物及钒碳氮化物等冶金产品,也有五氧化二钒、偏钒酸铵、钒酸钾、钒酸钠、氢氧化钒及氯化钒等化工产品,还有钒酸钼等电子工业材料。

### 1.2 钒的用途

由于钒具有高熔点及容易变形加工的特性,其用途非常广泛,其中最重要的是做钢铁合金中的添加元素,制造化工高效催化剂、触媒剂。

钒在钢中能起到细化晶粒的作用,提高钢的机械加工性能和物理性能,增加钢的强度。铸铁中加入钒,可提高铸件强度、韧性及耐磨性。钛基合金用于航天工业,是制造 F-16、F-18 战斗机燃气涡轮的材料之一。钒基合金可作核原料的包套材料。钒和镱的合金是重要的超导材料。钒的高价氧化物在

化学工业中,无机合成三氧化硫,有机合成醋酸、草酸、苯甲酸、邻苯二甲酸及橡胶时可作催化剂。在石油裂解增产乙烯及丙烯时,可做裂解催化剂。钒酸盐在纺织工业中做触媒剂。此外,电子、玻璃、印刷、电影、照相和陶瓷等工业,亦用钒的化合物。

## 2 钒的生产及供需形势

80 年代初期,世界上有 24 个国家 81 个生产厂生产  $V_2O_5$  及钒铁等产品,其中有 10 个国家生产  $V_2O_5$ 。据报导,国际上钒的消耗,钢铁占 85%,有色合金占 9%,化工与陶瓷占 3%,铸铁占 1%,其它占 2%。因此,影响钒的供求与市场价格的因素,主要是钢铁和钛合金的生产。80 年代,国际钒的生产状况、供求状况及市场价格见表 1、表 2 和表 3。

表 1 80 年代国际  $V_2O_5$  生产供求量

t

年 份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1990(预计)
生产能力	58 566	59 247	53 572	53 572	48 578	42 676	47 216	46 762	54 026
生产量	46 489.6	40 179	29 512	33 142	38 590	35 412	37 228	39 952	42 590
需求量	44 582.6	34 912.6	33 596	37 682	38 136	35 412	37 682	44 038	48 182

表 2 80 年代国际钒市场价格

美元/t

年 份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
$V_2O_5$ 市场价格	6 600	6 250	4 495	5 011	5 313	5 500	6 277.5	17 640

表 3 1989 年上半年国际钒市场价格

美元/t

月 份	1	2	3	4	5	6
$V_2O_5$ 市场价格	24 034.5	24 806.3	23 814	23 152.5	16 096.5	13 891.5

(1) 美国、日本和西欧各国的钢铁生产对国际市场上钒的需求状况起着决定性的作用。1981 ~ 1983 年,美国钢产量下降了 38.3%,钒的消耗量随之也下降了 12.6%,其他国家钒的消耗量也有不同程度的下降,使钒产品供过于求,导致钒价大幅度下跌,由 6 600 美元/t 猛跌到 4 495 美元/t。世界各国

钒厂的开工率仅为 55%。

1984 年以后,美、日、西欧等国钢铁生产景气,特别是合金钢的产量大幅度增长,因此钒的生产摆脱了连续 3 a 减产的局面。钒的消耗量和国际市场价格逐年增加,出现了  $V_2O_5$  紧俏的大好形势。1988 年,钒的消耗量达到 44 038 t,比 1983 年增加了 23.7%。钒

的国际市场价格大幅度上涨,由 1987 年的 6 277.5 美元/t 猛增到 1989 年 2 月的 24 806.3 美元/t。如果说 1983 年是钒行业灾难性的一年,那么 1988 年就是钒行业的黄金时代。

(2) 世界三大产钒国,即南非、苏联和美国,一直左右着钒的国际市场和价格。目前,世界上钒产品的总生产能力为 46 762 t,其中南非为 28 148 t,生产量为 24 970 t。由于南非局势动乱和国际经济制裁等原因,生产不稳定。1984 年,南非碳化物公司和海威尔德公司宣布削减产量,1985 年钒产量下降到 8 000 t。

苏联是第二大产钒国,其生产量大约与南非的相等,但苏联一直不向西方国家出口。目前,还不影响钒的国际市场。

美国产钒量较大,年生产能力为 14 000 t。生产钒的重要资源为铀钒共生矿。近年来,美、苏核电站相继发生放射性泄漏事故,核电站发展势头削弱,铀产品过剩。美国和澳大利亚都推迟了新的铀钒矿的开采,造成部分钒厂生产原料不足而停产。1986 年只生产 4 994 t,其开工率为 35.7%。1981 年消耗 13 528.5 t,基本自给。从 1983 年起跃居钒的进口大国。

另外,日本、西德、比利时和奥地利等国,钒的供应基本上都依靠进口。由于钒矿资源贫乏,澳大利亚和挪威部分钒厂停产,芬兰关闭木斯塔瓦拉钒厂,世界上钒的生产能力减少了 7 713 t。由于以上种种原因,造成当今世界五氧化二钒供应紧张,价格有呈螺旋式上升趋势。

(3) 钒产品价格持续上涨,到 1989 年 2 月达到顶峰 24 806.3 美元/t,但 1989 年 6 月又下降到 13 891.5 美元/t。造成下滑的原因有:

a. 各国钒厂持续全能生产,扩建、新建钒厂相继投产,增加了  $V_2O_5$  的产量。如美国克尔·麦吉化学有限公司扩建了苏达斯普林厂,从年产  $V_2O_5$  1 500 t 提高到 1 950 t。

b. 南非等国钒增产措施及规划落实,造成持货者争相抛售期货。如苏联、巴西打破不外销格局,向东欧抛售  $V_2O_5$  产品。

c. 美国战略矿物公司(Stratcor)为平抑钒价,采取限制供给、降低消耗及压缩购买力的策略,对用户只供应 50% 的钒原料;重开关闭 3 a 的豪特斯普林矿生产  $V_2O_5$ ,调节、缓和钒产品供不应求局面。

d. 钒产品用户放慢洽购  $V_2O_5$  节奏,尽量调用库存储备。因此,美国钒市场一度出现冷落局面,一反常态,出现了伦敦市场  $V_2O_5$  价格高于纽约市场的现象。

众所周知,钒是重要战略物资之一,美国(包括西欧)和苏联(包括东欧)对此都是需求量大于生产量。这个差距主要受国际紧张局势影响,因此,各国都保持一定的战略储备。美国的国家储备指标为 8 000 t。在西方各国库存储备很少的情况下,钒价大幅度下跌,这是一种不正常的超前现象。

(4) 国际市场钒供需预测。在 1981 ~ 1983 年低潮过后,1984 年随着钢铁工业新的发展,钒的需求量逐年上升。据报导,80 年代钒的消耗逐年平均增长率为 4.3%。1988 年,钒的供应量为 39 952 t,需求量约为 44 038 t,减少储备量约 4 086 t。1990 年的需求量可能会增加到 48 000 t 左右。按现有的钒生产能力,可满足需求,且还有剩余,但历年钒的生产能力都没有充分发挥。同时,世界上还有一批新钒厂正在筹建。美国乌拉万先锋有限公司在科罗拉多建立新厂,日处理铀钒矿 1 000 t;加拿大新建提钒厂,从油沙飞灰中提钒;委内瑞拉计划从软油焦中回收  $V_2O_5$ 。所以,对于钒的国际市场,不能过于乐观。

(5) 目前,我国钒生产能力为 11 000 ~ 12 000 t,生产量为 7 000 t,基本上都是以渡口、马鞍山钒钛磁铁矿在冶炼过程中副产的钒渣作为原料生产的。从石煤中提钒的生产能力为 1 800 t,产量达 900 t。1982 年国内消耗钒 2 255 t,其中 1 855 t 用于钢铁工业。因

此,可以有较多的出口量。

近几年来,国内由于钢铁生产增加,钛合金工业的发展,钒的消耗量日益增加。1985年起就满足不了国内需要(约3 500 t)和出口

要求(约4 500 t)。同时,在国际上钒产品供不应求和市场价格猛涨形势下,国内钒价亦出现日新月异的局面,如表4和表5所示。

表4 80年代国内市场钒价

年 份	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
钒的价格/(万元 t <sup>-1</sup> )	2.15	2.15	2.15	2.15	2.30	2.80	3.20

表5 1988、1989两年国内市场钒价统计

年(月)份	88.2	88.8	88.10	88.12	89.1	89.2	89.4	89.5	89.6	89.10
钒的价格/(万元 t <sup>-1</sup> )	5.20	8.00	12.00	14.00	14.50	15.70	14.00	12.00	11.00	9.00

1990年,国内V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的生产能力达到15 000 t,产量达10 000 t。其需求量也有较大幅度的增加。

我国石煤资源极为丰富,从石煤中提钒是石煤综合利用的一个重要发展方向。70年代,在高价格的影响下,湘、鄂、浙3省曾有过上百家小石煤提钒厂,后因国际钒价大跌,售价低于成本,又纷纷停产。1986年只有9家小厂维持生产,总生产能力为750 t,产量为500 t,其中出口300 t。1987年,生产700 t,其中出口500 t。1988年,在国际钒价猛涨情况下,国内钒价持续上涨,最高达15.7万元/t,出现了V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>空前紧俏的局面,国内外厂商纷纷要求签订合同,投资建厂和订购钒产品(包括钒铁),一批钒厂相继恢复和扩建,以及新建钒厂建成投产达20家,年生产能力达到1 800 t,产量为900 t。

另外,从钒钛磁铁矿副产渣中提钒和从石煤中提钒的成本,从目前技术水平来说,两者接近,都存在着较大幅度降低成本的潜力,

有一定的竞争能力。

所以,我国石煤提钒的发展,除要密切注意国际市场钒的需求和价格外,关键问题还在于将先进的科研成果应用于生产之中,改变我国现有石煤提钒工艺落后的局面和应变能力;搞石煤综合利用,建设大型石煤提钒厂,较大幅度地降低生产成本,增强竞争力。

### 3 钒的资源

钒是世界上资源丰富、分布广泛的金属元素,但无单独可供开采的富矿,总是以低品位与其它矿物共生。钒钛磁铁矿和石煤是提钒的主要原料。

#### 3.1 钒钛磁铁矿

目前,世界各国生产钒的原料主要是钒钛磁铁矿在冶炼过程中副产的钒渣,我国也不例外。据文献报导,南非、美国、苏联、芬兰等各国的钒(五氧化二钒)资源,总储量约为1亿t,其中已探明储量4 796万t,远景储量5 212万t(表6,表7)。

表6 世界各国V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的探明储量

国 别	南非	美国	芬兰	挪威	澳大利亚	智利	苏联	合计
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 储量/万 t	3 091	36	23	23	109	82	1 432	4 796

表7 世界各国 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的远景储量

国别	美国		加拿大		澳大利亚	新西兰	印度	南非、莫桑比克	合计
矿种	钒钛磁铁矿	油页岩	钒钛磁铁矿	焦油砂	钒钛磁铁矿	钒钛磁铁矿	粘土	钒钛磁铁矿	
w(V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/%	0.02~0.36	0.3~0.4	0.1~0.2	-	1.1	0.2	0.1	0.3~0.4	
储量/万t	3 749	45	545	636	27	5	-	205	5212

在我国的钒钛磁铁矿资源中, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的总储量为 1 741.28 万 t, 其中攀枝花地区拥有 1 600 万 t, 占全国钒钛磁铁矿中 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 总储量的 90% 以上(表 8)。

表8 我国钒钛磁铁矿中 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的储量

地名	w(V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )/%	储量/万t
攀枝花	0.2~0.3	1 600
新疆	0.24	0.23
马鞍山	-	65.16
承德	-	57.09
北京	0.48	1.62
江苏	0.20	14.36
山西	0.53	2.02
合计		1 741.28

### 3.2 石煤

石煤是一种含碳质的页岩, 主要赋存于中泥盆纪以前的古老地层中。形成石煤的物质除泥、硅、钙质等无机盐成份外, 有机质部分主要是藻菌类等低级生物、海绵及一些分类尚不明确的原始动、植物。是一种在还原环境(条件)下形成的黑色可燃有机岩, 多属变质程度高的腐泥无烟煤, 为浅海相沉积物。

石煤的主要特性为灰份高, 密度大, 发热量低, 结构致密, 着火点高, 不易燃烧和难以完全燃烧, 较硬, 难磨。在我国, 石煤主要赋存于下寒武纪的地层中。钒以类质同象形式取代 Al<sup>3+</sup> 存在于硅铝酸盐中及白云石矿物中, 是我国生产钒的主要原料之一。由于碳

质页岩在沉积过程中陆屑物的来源不同, 藻菌类等低级生物的生成条件或腐化的藻菌类产生的腐植质的络合、吸附作用, 以及成岩的热液浸染等影响, 石煤中含有或富集了较多的伴生元素, 如钒、镍、钼、铀、铜、硒、镓、银及贵金属等 60 余种。在某些层位中, 一种或几种伴生元素达到工业单独开采品位或边界品位, 可作某种矿物资源单独开采, 并通过冶炼回收有价组分。对于钒, 很多地区的石煤可作钒矿开采, 从中提钒。因为这些伴生元素的存在, 综合提取有价组分所创造的价值往往大于作为燃料的价值。

石煤矿属于低品位含钒资源, 除我国外, 世界上其他国家在工业上开采利用的尚不多见。因此, 目前这类资源的地质和储量资料较少。

据初步了解, 国外含钒碳质页岩和含钒粘土矿物主要产于美国、苏联、澳大利亚和波兰等国, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的总储量约为 100 万 t。

我国石煤的蕴藏量极为丰富。据《南方石煤资源综合考察报告》称: 湖南、湖北、浙江、江西、广东、广西、贵州、安徽、河南、陕西等 10 省、自治区石煤的总储量为 618.8 亿 t, 其中探明储量为 39.0 亿 t, 综考储量为 579.8 亿 t。仅湖南、湖北、江西、浙江、安徽、贵州、陕西等 7 省的石煤中, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的储量就达 11 797 万 t, 其中 w(V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 0.5% 的储量为 7 707.5 万 t, 是我国钒钛磁铁矿中 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 储量的 6.7 倍, 超过世界上各国 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 储量的总和。我国石煤和 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 储量的具体分布见表 9。

表9 我国南方各省石煤及  $V_2O_5$  储量分布

省 别	湖南	湖北	广西	江西	浙江	安徽	贵州	河南	陕西	合 计
石煤储量/亿 t	187.2	25.6	128.8	68.3	106.4	74.6	8.3	4.4	15.2	618.8
$V_2O_5$ 储量/万 t	4 045.8	605.3	-	2 400.0	2 277.6	1 894.7	11.2	-	562.4	11 797.0

石煤中钒的品位,各地相差悬殊,一般为 0.13%~1.2%,小于边界品位 0.5%的占 60%。在目前的技术经济条件下,品位达到 0.8%以上的才具有工业开采价值。湖北省

的石煤在探明储量和钒的品位方面均占优势, $V_2O_5$  品位大于 1%的占 3%,0.5%~1%的占 76.7%。石煤中  $V_2O_5$  的平均品位及占有率见表 10。

表 10 石煤中钒的平均品位及占有率

$w(V_2O_5)/\%$	0.1	0.1~0.3	0.3~0.5	0.5~1.0	>1%
占有率/%	3.1	23.7	33.6	36.8	2.8

## 4 石煤提钒的现状

### 4.1 石煤综合利用

众所周知,能源供应紧张已是制约我国国民经济发展的的重要因素。在我国能源消耗结构中,煤的消耗量约占能源消耗总量的 76%。而煤资源和煤产量主要分布在“三北”地区,占全国人口 57.5%、工业产值 48.8%的南方 13 省、自治区煤炭储量仅占全国总储量的 16%,煤炭产量也只占 26.7%,每年缺煤约 2 亿 t。而南方各省石煤储量却有 618.8 亿 t,因此,解决好发热量低的石煤综合利用问题,对于缓解南方各省能源供应紧张局面,扭转北煤南运,减轻交通运输负担,有着十分重要的战略意义。

国家科委和有关部门投资 3 100 多万元,利用发热量为 3 762 kJ/kg 的石煤,在湖南建成“益阳石煤发电综合利用试验厂”,包括一座年产 30 万 t 半机械化的露天石煤矿,一座装有一台 35 t/h 沸腾锅炉配 6 000 kW 汽轮发电机组的石煤发电站,一座利用沸腾炉燃烧发电后的石煤渣,生产 4 万 t 普通硅酸盐水泥、4 万 t 砌筑水泥、250 万片水泥平瓦的建材厂,一座从石煤发电烟灰中提取五

氧化二钒的钒厂。目前,除钒厂因石煤中  $V_2O_5$  的品位太低而停产外,其余各项产品均已达到或接近设计生产能力,产品质量达到国家部颁标准。

1983 年,钒厂试生产。石煤中  $V_2O_5$  品位 0.89%,烟灰中  $V_2O_5$  品位 1.13%,水溶钒转化率 70.1%,水浸出率 91.3%,沉钒率 97.7%,红钒总回收率 62.5%,直收率 59.2%,红钒含  $V_2O_5$  96.3%,车间生产成本 15 511 元/t。其工艺流程如图 1。

目前,试验厂年实际生产能力为:年开采石煤 27 万 t,年发电  $3 \times 10^7$  kW·h,年供电  $2.5 \times 10^7$  kW·h,年产水泥 4.5 万 t,水泥平瓦 280 万片,年产值 500 多万元,年销售 1 000 多万元,年利润 70 万元,为国家节省优质煤 36 万 t,经济效益和社会效益显著。同时,民间利用石煤烧石灰、砖瓦以及做生活燃料,石煤渣作肥料,广开肥源,支援农业生产,亦是促进石煤综合利用的有效途径。

### 4.2 石煤提钒的现状

我国从石煤中提钒由 70 年代开始。南方各省直接从石煤中提取高品位五氧化二钒 ( $w(V_2O_5) > 98\%$ ) 产品,远销美、日、西德和比利时等国,已取得较大成绩。

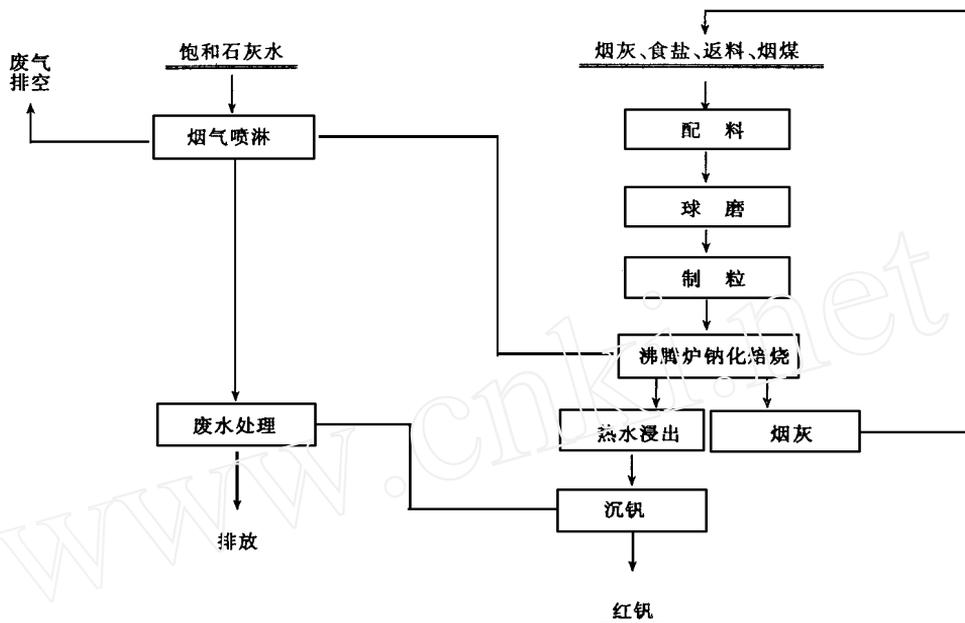


图1 从益阳石煤发电烟灰中提钒试生产工艺流程

石煤是我国一种独特的钒矿资源,从石煤中提取五氧化二钒及其它稀有金属是石煤综合利用的重要组成部分,国外研究甚少,仅美国矿业局采用钠化焙烧-硫酸浸出-溶剂萃取-铵盐沉钒工艺从内华达州的白云石页岩中( $w(\text{V}_2\text{O}_5) = 1\%$ )回收偏钒酸铵产品,钒的回收率为69.5%。

70年代以来,在钒价波动影响下,我国从石煤中提钒出现了几次大起大落。1984年以后才趋于稳定发展,产量逐年增加,达到目前年生产能力1800t,产量900t的水平。但石煤提钒生产工艺技术落后,基础理论研究薄弱。

目前,国内石煤提钒厂最大生产能力为200t,产量150t,均采用平窑钠化焙烧-水浸出-酸沉钒-碱溶解-沉淀偏钒酸铵工艺流程(如图2)。

该流程虽然提钒工艺技术比较成熟,投资少,上马快,设备简单,适合于因地制宜的小规模生产等优点,但石煤用量大(提取1t  $\text{V}_2\text{O}_5$  约需300t石煤)、热能利用低、 $\text{V}_2\text{O}_5$  总

回收率仅为45%左右,吨钒生产成本高,环境污染严重。

某钒厂采用沸腾钠化焙烧-水浸流程,设计年产300t五氧化二钒产品,配年产8万t石煤矿,总投资2236.85万元。主要技术经济指标:石煤中  $\text{V}_2\text{O}_5$  品位0.81%,生产1t  $\text{V}_2\text{O}_5$  消耗石煤255t,焙烧转化率64%,回收率97%,水浸出率91%,沉钒率97%,碱溶回收率98%,铵盐沉钒率97%,热解收率99%, $\text{V}_2\text{O}_5$  总回收率51%(粉状),精钒产品  $w(\text{V}_2\text{O}_5) = 98\%$ ,生产成本3.5万元/t。按销售价6.0万元/t计算,除上缴税金180.0万元外,企业年创纯利润580.0万元,投资利润率为23.35%,投资回收期为2.7a。企业经济效益极为显著。

当前,我国化工原料价格大幅度上涨,国内各石煤提钒厂实际的吨钒生产成本一般在5万元左右,有的甚至高达6万元以上。但国内现货价格为9万元左右,吨钒利润仍可达3万~4万元。

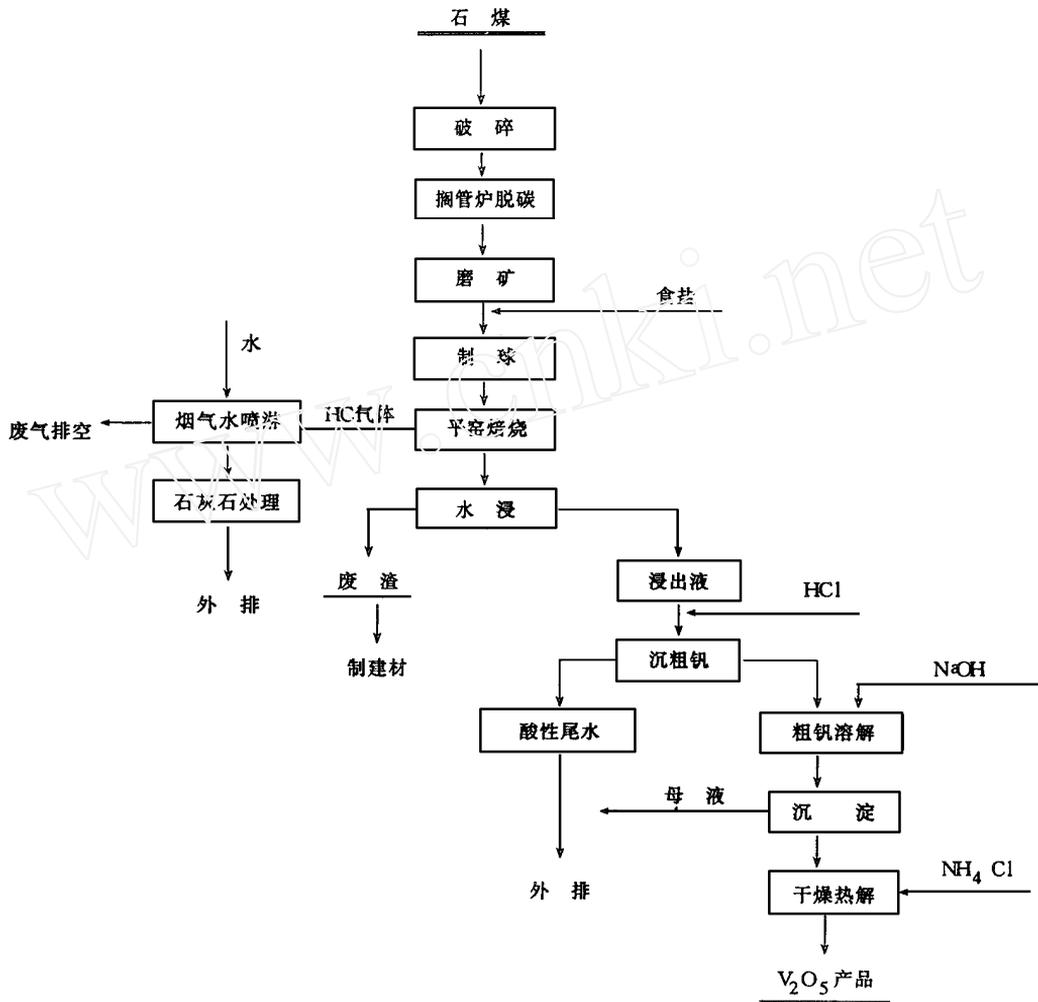


图 2 从石煤中提钒生产工艺流程

近年来,国内一些科研、生产部门为改变我国石煤提钒工艺落后局面,做了大量的试验研究工作,开发出了如石煤氧化焙烧-碱浸、钙化焙烧-碳铵浸出、钠化焙烧水浸渣再酸浸和酸浸等提钒工艺,取得了一些较好的结果,但均未有工业实践。

核工业北京化工冶金研究院试验研究的“从走马石煤中提钒”工艺流程,采用石煤氧化焙烧-硫酸浸出-固液分离-清液萃取-铵盐沉钒工艺,1987年先后完成小型和台架试验,1988年底完成中间工厂规模试验,在国

内首次获得成功,主要技术经济指标达国内提钒工艺先进水平。同平窑钠化焙烧-水浸工艺流程比较,五氧化二钒总回收率提高25%(达70.7%);吨钒生产成本下降23.6%;产品质量达GB3283—82冶金99的国家标准,并且有机械化程度高、劳动条件好、三废易处理、环境污染少、有利于综合回收其它伴生元素等优点。1989年9月已通过部、省级技术鉴定,为我国石煤提钒和综合回收有用元素开辟了一条新的技术途径。

主要技术经济指标如下:

石煤  $V_2O_5$  品位 0.88 % ;  
 $V_2O_5$  浸出率 76.1 % ;  
 洗涤效率 98.1 % ;  
 萃取率 98.4 % ;  
 反萃取率 99.4 % ;  
 沉钒率 98.8 % ;  
 热解  $V_2O_5$  收率 98.0 % ;

$V_2O_5$  总收率 70.7 % ;  
 精钒产品纯度 99.24 % ;  
 吨钒石煤消耗量 160.7 t ;  
 吨产品生产成本 3.82 万元 ;  
 核工业北京化工冶金研究院采用的硫酸法从石煤中提钒的工艺流程如图 3 所示。

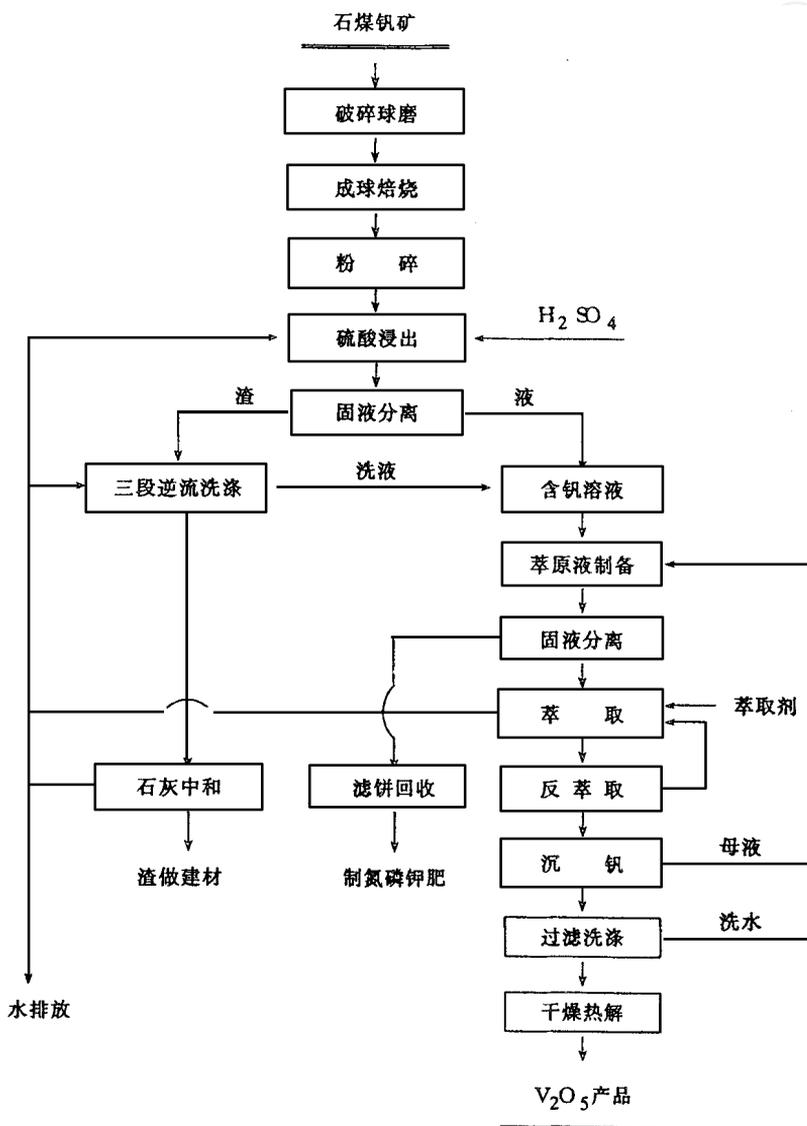


图 3 硫酸法从石煤中提钒工艺流程

此外,已建成年处理能力 5 万 ~ 10 万 t 的石煤洗选试验厂。经过洗选,既可得到含钒较高的精矿,又提高了石煤的发热量。如浙江塘乌石煤含  $V_2O_5$  为 1.07 % ,经过洗选

后,  $V_2O_5$  富集到 2.06%。从精矿中提钒的研究结果表明:含  $V_2O_5$  1.34% ~ 1.60% 的石煤,采用酸法提钒,钒的总回收率可达 74%。

总之,石煤应当综合利用。不论采用石煤发电、从灰和渣中提钒、尾渣作建材,还是石煤洗选、精矿提钒、精石煤发电、灰渣做建材,或石煤直接提钒、尾渣制作建材,其经济效益及社会效益都是十分明显的。

## 5 结束语

综上所述,石煤是我国具有多种用途的综合性矿产资源,主要蕴藏在煤炭资源贫乏的我国南方诸省,储量极为丰富。特别是石煤中的钒的储量,超过世界各国五氧化二钒储量的总和,是我国极其重要的一种新的钒矿类型。

当前,我国石煤资源的开发及综合利用,提钒工艺研究和生产发展迅速,成效显著。特别是近几年来,我国南方诸省大规模地开发石煤资源,搞石煤发电,渣作建材,烟灰提钒等综合利用,实践证明技术上可行,经济效益和社会效益极为明显。石煤完全可作为一种新的发电燃料,对缓和南方诸省能源短缺、扭转北煤南运、减轻铁路运输负担,具有极为重要的战略意义。

从石煤中提钒,全国已具有生产能力 1 800 t,从生产实践中摸索出了一套生产、技术、经营管理的办法和经验。五氧化二钒产品远销美、日、西德和比利时等国。

我国从石煤中提钒主要采用平窑钠化焙烧-水浸-酸沉钒工艺流程,虽有较好的经济效益和社会效益,但存在设备简陋、工艺比较落后、产品单一、总回收率低、生产成本低、环境污染严重等问题。

针对我国石煤钒矿的特点,及生产实践中发现的问题,综合利用石煤资源,应解决如下技术问题:

### (1) 提高石煤的钒品位

提高石煤的钒品位是提高转化率、增加

产量、降低成本的主要途径。初步推算,年生产能力 500 t 的钒厂,矿石钒品位提高 0.1%,则生产量提高 100 t,吨钒生产成本降低 1 000 元。

石煤洗选是富集  $V_2O_5$ 、提高产量、降低成本的有效途径。按现有技术水平,可将  $V_2O_5$  品位从 0.62% 提高到 0.8%,因此,石煤洗选富集钒应当加强研究。

### (2) 石煤焙烧技术是关键

石煤焙烧技术直接影响  $V_2O_5$  的回收率和生产成本,密切关系到环保和生产工人的健康。我们认为:较大规模的钒厂应当采用沸腾炉焙烧技术,因为,国内已有沸腾炉燃烧石煤的实践。按 500 t/a 规模,石煤中  $V_2O_5$  品位 0.8% 时,提高  $V_2O_5$  总回收率约 13%,年产量可增加 100 t。另一方面,也要重视改造平窑,提高焙烧技术,适应较小规模钒厂的需要。

### (3) 小钒厂生产工艺改造

目前,国内小钒厂采用平窑钠化焙烧、水浸提钒工艺流程, $V_2O_5$  总回收率只有 45%,而且对环境污染严重。因此,改进平窑结构,提高单位窑底面积生产能力,选择合理的焙烧、浸出工艺参数,处理烟气回收稀酸用于熟料浸出,可提高总回收率,达到 65% 以上或更高。

### (4) 新工艺流程研究

在我国,石煤矿石的类型主要是炭质、硅质,钒几乎全部赋存在含钒水云母(伊利石)、高岭石等粘土矿物中,与铝、钾、铁呈类质同象存在于矿物晶格里,给提钒工艺带来了极大的困难。因此,开展新的提钒工艺流程研究,适应石煤提钒工艺发展需要是十分必要的。

核工业北京化工冶金研究院研究开发的石煤氧化焙烧-硫酸浸出-溶剂萃取提钒工艺流程, $V_2O_5$  的总回收率达 70.7%,1 t  $V_2O_5$  生产成本为 3.82 万元,具有环境污染小,有利于综合回收其它伴生元素等特点,为我国石煤提钒工艺开拓了一条新的技术途径。