

广东省矿产资源开发与综合利用数据库

广州有色金属研究院

2007.8

目 录

1、概 述	4
2、铁 矿	7
2.1 铁矿石工业要求	7
2.2 广东省铁矿资源概况	7
2.3 选矿实例	10
3、锰 矿	25
3.1 锰矿石工业要求	25
3.2 广东省锰矿资源概况	25
3.3 锰矿选矿实例	26
4、铜 矿	30
4.1 铜矿石工业要求	30
4.2 广东省铜矿资源概况	30
4.3 选矿技术发展	32
4.4 铜矿选矿实例	33
5、铅锌矿	36
5.1 铅锌矿石工业要求	36
5.2 广东铅锌矿产资源概况	36
5.3 铅锌矿山的生产建设	38
5.4 铅锌矿选矿实例	40

6、钨、钼、铋矿	51
6.1 矿石一般工业要求.....	51
6.2 矿石类型及工业分布	51
6.3 钨、钼、铋选矿实例	55
7、锡 矿	68
7.1 锡矿一般工业要求.....	68
7.2 广东省锡矿资源概况	68
7.3 锡矿选矿实例.....	70
8、海滨砂矿	78
8.1 海滨砂矿一般工业要求.....	78
8.2 广东省海滨砂矿资源概况.....	78
8.3 广东省海滨砂矿选矿实例.....	79
9、钽铌矿	88
9.1 钽铌矿床一般工业要求.....	88
9.2 广东省钽铌矿资源概况.....	88
9.3 钽铌矿选矿实例	88
10、金 矿	93
10.1 金矿床一般工业要求	93
10.2 广东省金矿资源概况	93
10.3 金选矿实例.....	94
11、银 矿	99

11.1 银矿床一般工业要求	99
11.2 广东省银矿资源.....	99
11.3 银选矿实例.....	100
12、稀土矿	104
12.1 稀土矿床一般工业要求.....	104
12.2 广东省稀土资源概况	104
12.3 稀土矿选矿实例.....	104
13、高岭土	107
13.1 高岭土矿床一般工业要求	107
13.2 广东省高岭土资源概况.....	107
13.3 高岭土矿选矿实例.....	108
14 萤 石	118
14.1 萤石矿床一般工业要求.....	118
14.2 广东省萤石资源概况	118
14.3 萤石矿选矿实例.....	119
15、石 墨	123
15.1 石墨矿床一般工业要求.....	123
15.2 广东省石墨资源概况	123
15.3 石墨矿选矿实例.....	123
16、硫矿资源.....	124
17、结 语	125

1、概述

矿产资源是人类生存、社会发展和文明进步不可缺少的重要物质基础，而且已构成影响国家工业化和现代化的一个根本性制约因素，对国家发展起到重要的推动作用。据统计，国民经济发展中 95%的能源和 80%的工业原材料都来自矿物资源。

我国是矿产资源比较丰富的国家，矿产资源潜在总值居世界第三位，但人均拥有资源量仅相当于世界人均水平的一半左右，居世界第 53 位。

广东省矿产资源丰富，截至 2000 年底，本省已发现矿产 129 种，已探明有储贮量的矿产 94 种，矿产地 1769 处，其中非金属矿产 49 种，产地 470 处，金属矿产 35 种，产地 751 处。大型矿产约占 10%，中型 20%，小型 70%，固体矿产储贮量超过大型者有 300 多处。其储贮量占全国前五位的有 34 种。其中占第一位的有高岭土、石英、水泥粗面岩、锆、碲等；占第二位的有铅、铋、银，占第三位的有锡、钽铌、硒、冰洲石、玉石等，占第四位和第五位的有硫铁矿、陶瓷土、稀土、锌、汞等。富铁矿、钨矿、钛铁矿和金矿在全国亦占重要位置。

改革开放以来，广东省的矿业得到很快的发展，特别是近几年来，由于矿产品价格上涨，增长速度明显加快。到 2000 年底，本省开发利用的矿产共 49 种，矿山总数 5105 个，其中国有矿山 176 个，集体、个体和私营矿山 4929 个，年产固体矿量 3.1 亿吨，矿业总产值 292 亿元，矿产品延伸加工产值接近 2044 亿元。

铅锌矿是我省重要矿产，有大中型矿山 4 处，全省年产铅、锌金属量 15.6 万吨。大宝山铁矿和大顶铁矿的贮量超过 1 亿吨，年采铁矿石 723 万吨。钨锡是广东省传统矿产，全省有大中型钨锡矿山 19 处，年采矿石 10 万吨，主要销往省外。上世纪 90 年代相继建成河台金矿、新洲金矿、廉江银矿等大中型国营矿山，年产银 132 吨，金 1354 公斤。

随着经济发展和科学技术的进步，对非金属矿产开发利用已逐步得到重视。云浮硫铁矿是国内最大的硫铁矿山，年处理硫铁矿 300 万吨，粤西茂名、湛江是广东省重要的涂布高岭土生产基地，贮量超过 1 亿吨，目前有正规高岭土精选厂 5 家，年产刮刀涂布级高岭土 8 万吨，产品除供本省外，大部分销往日本和东南亚。省内瓷土分布广泛，其中肇庆、四会、怀集、潮安、饶平瓷土产量占 60%以

上。

随着本省经济和社会的高速发展，对矿产资源的需求将会大幅度增加。据经济形势分析，需求量较大的矿产资源主要有：铁矿、锰矿、铝土矿、铅、锌矿、铜矿、硫铁矿、陶瓷粘土、高岭土、石膏、玻璃砂等。其中铜、铝等大型矿产需求量大，省内不能满足需求。铁、铅、锌、锰等有资源优势，高岭土、石膏等除能满足省内需求外还有很大的出口潜力。

广东省的矿产资源多数属于贫矿，矿石组成复杂，矿石中往往是多金属共生，有用矿物嵌布粒度细。如广东凡口铅锌矿中含铅、锌、硫、银等多种有用元素；锯板坑钨矿除含钨之外，还含有铜、锌、锡、硫等。有一部分铁矿中，含有锡、钼、钨等有用成分，有相当多的矿山的有用矿物嵌布粒度在-200 目以下，甚至更细，因此选矿难度较大。

目前多数矿山的综合回收情况比较差，往往在矿石的多种有用成分中仅回收一、两种主要成分，因此综合回收率低，多数矿山的综合回收率低于 50%。这样不仅使矿石中的有用成分白白浪费，而且也会造成对环境的污染。

矿产资源是一次性资源，具有不可再生性。合理开发和利用矿产资源对我们这样一个人均资源量较少的国家来说，具有尤其重要的意义。建立节约型社会的内涵就在于对资源的合理利用，其中包括对重要的矿产资源。对已经建厂或将要开发的矿山，对其中的有用成分的利用实现最大化。

矿产资源综合利用最优化的基础是技术。目前广东省已在广州有色金属研究院建立了“广东省矿产资源开发与综合利用重点实验室”，该实验室的建立为广东省矿产资源合理开发利用提供了一个技术平台。

为了更好地综合利用广东矿产资源，受广东省科技厅的委托，我们汇编了“广东省矿产资源开发与综合利用数据库”，该数据库中汇编了广东省黑色金属、有色金属、稀有金属和非金属等主要资源的分布情况，同时汇编了广东省 100 多个矿山的选矿生产工艺及试验情况。由于所编写各选厂的生产及试验的时间不同，因此反应的技术水平也有差异。

进入 21 世纪后，新设备和新的浮选药剂不断涌现，如磁选方面出现高梯度强磁场磁选机，在重选方面出现了高效螺旋选矿机和微细摇床，浮选药剂出现了浮选氧化矿的新型捕收剂等。这些选矿新技术不一定很快应用于过去开采的老矿

山中，但应该逐步用新技术取代落后的工艺和技术，使矿山的资源更充分地综合利用。

本数据库刚建立，它可以为选矿技术工作者和经营者根据各自不同矿山情况参阅本数据库的相关部分数据，作为生产参考。

本数据库还不够完善，所反映的矿山情况可能有欠缺，今后的任务就是在我们和全省选矿工作者的共同努力下，不断补充和完善数据库内容，使之更好地服务于生产建设。

广东省主要矿产资源储量表

矿产名称	资源储量单位	储量	基础储量	资源量
铁矿	矿石 千吨	117507	207987	347157
锰矿	矿石 千吨	319	1966	3773
钛矿（钛铁矿）	钛铁矿 矿物吨	126202	1279938	4880508
钛矿（高钛矿）	高钛矿 矿物吨	26863	33579	52766
铜矿	铜 吨	395079	698118	673877
铜矿（伴生矿）	铜 吨	0	0	129598
铅矿	铅 吨	1234025	1472174	2538582
锌矿	锌 吨	2443603	2886392	34564454
钨矿（原生矿）	WO ₃ 吨	21202	128168	95048
锡矿（原生矿）	锡 吨	5017	213593	163584
钼矿	钼 吨	257	16764	267944
金矿（岩金）	金 千克	6723	11203	92637
银矿	银 吨	374	607	7162
铌（氧化铌）	Nb ₂ O ₅ 吨	35	36195	18691
重稀土矿（重稀土氧化物）	重稀土氧化物吨	22715	53229	133690
轻稀土矿（轻稀土氧化物）	轻稀土氧化物吨	37171	138672	180210
碲矿	碲 吨	0	0	2410000
硫铁矿（矿石）	矿石 千吨	171171	292404	153194
高岭土	矿石 千吨	80491	135417	305576
玻璃用砂	矿石 万吨	224	280	15677
石墨（隐晶质石墨）	隐晶质石墨 千吨	0	0	3513

注：该表为 2000 年的广东省主要固体矿产资源的贮量汇总表。为获得主要矿种的矿产资源分布状况，我们曾多次向广东省国土资源厅请求提供这方面的资料，但被国土资源厅拒绝。为此以下各矿种的资源分布表，我们只能引用 1976—1985 年间的资料，或从网上查询部分资料，仅供参考。

2、铁 矿

2.1 铁矿石工业要求

铁矿石工业要求

矿石类型		全铁>%		杂质平均允许含量<%							
		边界品位	工业品位	S	P	Cu	Pb	Zn	Sn	As	SiO ₂
平炉矿	磁铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿	50	55	0.15	0.15			0.04			12
	褐铁矿、针铁矿	45	50								
高炉矿	磁铁矿	45	50	0.3	0.25	0.2	0.1	0.1-0.2	0.08	0.07	
	赤铁矿、假象赤铁矿	40-45	45-50								
	褐铁矿、针铁矿	35-40	40-45								
	菱铁矿	30-35	35-40	0.2	0.2						
自熔性矿石	28-32	35-38									
贫矿	磁铁矿	15-20	20-25								
	赤铁矿	20-25	30								
	褐铁矿、针铁矿	20	30								
	菱铁矿	18-20	25								

2.2 广东省铁矿资源概况

2.2.1 矿石类型

铁矿石工业类型一般以磁性铁（MFe）对全铁（TFe）的占有率来划分：

MFe/ TFe \geq 85%，磁铁矿石；

15% \leq MFe/ TFe \leq 85%，磁铁—赤（菱）铁混合矿；

MFe/ TFe \leq 15%，赤铁矿。

2.2.2 铁矿贮量分布

铁矿贮量分布：

矿点	类型	贮量 C级万吨	品位				
			Fe	WO ₃	Zn	Mn	Cu
龙门县铁屎岭铁矿	褐铁矿	1136.8	40.78	0.14			
龙门县梅州洞铁矿	褐铁矿	79	42.31	0.269			
从化县镇安铁矿	磁铁矿	28.12	35-57				
乐昌县风朱坪铁矿	赤铁矿	53.4	46.36		2.9		
乐昌县大洞铁矿	褐铁矿	42	43.03				
乳源县人字山铁矿	褐铁矿	38.2	54.6	0.096			
曲江县曹角湾铁矿	褐铁矿	23	44-46			5.5-9.7	
韶关市乌石岭铁矿	褐铁矿	49.6	50-53				
阳山县风塘铁铜矿	褐铁矿	19.08	49-55				0.04-0.36
阳山县水晶背铁矿	磁铁、褐铁矿	99.1	32-57	0.45			
阳山县苦竹坑牛角岭铁矿	磁铁矿	100.4	63				
阳山县瑶田铁矿	磁铁矿	69.7	46-52				
阳山县黎埠观音山铁矿	磁铁矿	22.34	45-53				
阳山县苗竹坑铁矿	磁铁矿	20.84	41-61				
英德县红岩铁矿	褐铁矿	36.85	55-58				
英德县马口田螺铁矿	褐铁矿	32	53.82				
英德县西牛铁矿	褐铁矿	715	39.8				
英德县砂岗铁矿	褐铁矿	24	57.87				
英德县铁溪铁矿	磁铁矿	6.54	40-58				
英德县大龙坑铁矿	褐铁、赤铁矿	27.8	40-51			6-8	
英德县金门铁矿	磁铁矿	151	32.69				
英德县单竹坑铁矿	褐铁矿	246	39-45				
翁源县大水坑铁矿	褐铁矿	36.5	43.41				
翁源县凉桥铁矿	磁铁、镜铁矿	93	35-41				
清远县罗塘铁矿	褐铁、赤铁矿	82.5	35-52				

铁矿贮量分布：

矿点	类型	贮量 C级万吨	品位				
			Fe	Sn	Zn	Pb	Cu
清远县打拐岭铁矿	褐铁矿	4.45	>40				
清远县星寮铁矿	褐铁矿	16	41-49				
清远县牛驰岗铁矿	褐铁矿	5.25	58.4				
佛岗县江坝铁矿	褐铁矿	12.8	51.5				
龙川县矿山脑铁矿	褐铁、磁铁矿	109	47.9				
惠阳县横沥铁矿	褐铁矿	20	49-69				
惠东县松坑铁矿	磁铁矿	119	57.7	2.3			
平远县黄泥塘铁矿	褐铁矿	35	22-55	0.87		1-2	
梅县铁坑坳铁矿	磁铁矿	263	50.04	0.1-0.4			
三水县禾生坑铁矿	褐铁矿	11	46.56				
高鹤县茶山道铁矿	褐铁矿	21.2	46				
中山县南山铁矿	磁铁、赤铁矿	17	30-48				
怀集县大坪铁矿	磁铁矿	13.4	38				
怀集县黄砂冲铁矿	磁铁矿	31	44-58				
怀集县四村铁矿	磁铁矿	143	44				
怀集县罗密小竹铁矿	赤铁矿	45.6	30-38				
怀集县蒲洞铁矿	磁铁矿	29	43-65				
怀集县中洲狮子凹铁矿	磁铁矿	30	62				
怀集县小塘铁矿	磁铁矿	32.93	68				
怀集县汶塘铁矿	磁铁矿	99.9	42.9				
怀集县灰塘铁矿	磁铁矿	160.3	45.27	1.09			
怀集县岩背、坑尾铁矿	赤铁、磁铁矿	10.3	58.4				
怀集县马脚铁矿	赤铁矿	20.16	40				
四会县迳坑铁矿	褐铁矿	47	41-53				
罗定县泗绘铁矿	磁铁矿	150	29.87				

铁矿贮量分布：

矿 点	类 型	贮量 C 级万吨	品位				
			Fe	Sn	Zn	Pb	Cu
罗定县旗山铁矿	磁铁矿	159	42				
云浮县黄婆岭铁矿	褐铁矿	37	54				
信宜县楼洞铁矿	磁铁矿	333	39				
信宜县飞龙顶石马坑铁矿	磁铁矿	147	39				
信宜县八角地虎地铁矿	磁铁矿	124	30				
信宜县兰坑铁矿	磁铁矿	164	27.8				
阳春县龙弯铁矿	磁铁矿	14.9	38				
阳春县庙龙铁矿	赤铁、磁铁矿	137	33-56				
高州县木塘铁矿	磁铁矿	36.5	28-63				
廉江县铺洋铁矿	褐铁矿	36.5	40.15				
廉江县三申铁矿	褐铁矿	35.9	41				
化州县红头岭铁矿	褐铁矿	137	41				
隧溪县乌蛇岭铁矿	褐铁矿	40.5	34-51				
隧溪县马鞍岭铁矿	褐铁矿	22.2	35-40				
潮安县土头铁矿	赤铁、磁铁矿	34.6	35				
乐昌县西瓜地铁矿	褐铁矿	148	55				
乐昌县罗条岭堪下铁矿	褐铁矿	10	50.9				
阳山县红莲铁矿	磁铁矿	167	50.93				
饶平县狗头岭铁矿	赤铁矿	16.2	60				
大顶铁矿	磁铁矿	10000	44.8	0.12			
大宝山铁矿		10000					

2.3 选矿实例

2.3.1 利山铁矿

利山铁矿是一个与火成岩有关的，以铁为主，含有 Sn、Cu、Pb、Zn 多金属矿床。利山铁矿粉矿组成较复杂，铁矿物中强磁性的有假象、半假象赤铁矿、磁

铁矿，弱磁性的矿物主要是褐铁矿及细致的铁质粘土。矿石中 Sn、Cu、Pb、Zn 元素呈独立矿物存在的较少，多为粉晶包裹及胶态赋存于褐铁矿中。脉石矿物均被铁染。通过弱磁选可得到一部分优质强磁性铁精矿。但粉碎不经破碎磨矿，采用洗矿筛分，粗粒级干式弱磁选、细粒级湿式弱磁选，精矿品位可达到 63.99%。若经磨矿湿式弱磁选，精矿品位为 68%，而杂质都小于允许含量。弱磁性褐铁矿采用 $\phi 800\text{mm}$ 立环湿式强磁选机处理，由于矿石性质所决定，效果不够理想，这部分精矿品位较低，含铁为 47~48%，杂质含量较高，尾矿品位也很难降低。

2.3.2 广东大顶铁矿

广东大顶铁矿位河源市连平县，是含锡、锌的大型高温热液交代矽卡岩型磁铁矿，是广东省重要铁资源。

2.3.2.1 物质组成

原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂	Zn	Sn
含量%	44.8	15.54	2.00	7.56	6.25	12.5	0.17	0.12

表 2 矿物组成

矿物	磁铁矿	赤铁矿	黄铜矿	黄铁矿	毒砂	脉石	其它
含量	64.37	0.64	0.05	0.02	0.05	34.23	0.64

矿物组成特点：

1. 铁矿物主要为磁铁矿，占原矿总铁的 97%
2. 磁铁矿以中粗嵌布为主，其中-40+10mm 粒级，磁铁矿单体解离度为 27-38%，-10+1mm 粒级单体解离度为 54-71%，-1+0.2mm 粒级单体解离度为 83-91%，-0.2mm 单体率达 96-99%。
3. 磁铁矿中含多种不同形式的杂质，其中以尖晶石片晶和以包裹体形式存在的脉石对磁铁矿的含铁量影响较大，致使磁铁矿含铁仅为 67.52%。
4. 锡的 50%是以锡石形式存化，其它为胶态锡
5. 锌金属中以硫化锌存在的锌仅占 6.54%，氧化锌占 37.38%，尖晶石中锌占 50.08%。因此矿石主要有价矿物为磁铁矿，其次锡石。

2.3.2.2 工艺流程:

广州有色金属研究院 1998 年进行了选矿试验, 工艺流程的要点是采用粗粒预先抛废, 丢废产率占 18.52%, 铁占有率为 3.45%, 抛废后的矿石采用一段磨矿磁选得铁精矿和两段磨两段选的流程, 得到铁精矿品位都大于 65%, 铁回收率都大于 94%, 考虑到工业生产的波动的因素, 推荐两段磨矿流程。

2.3.2.3 试验结果

铁精矿产率: 63.80%; 品位: 65.54%; 回收率: 94.11%。

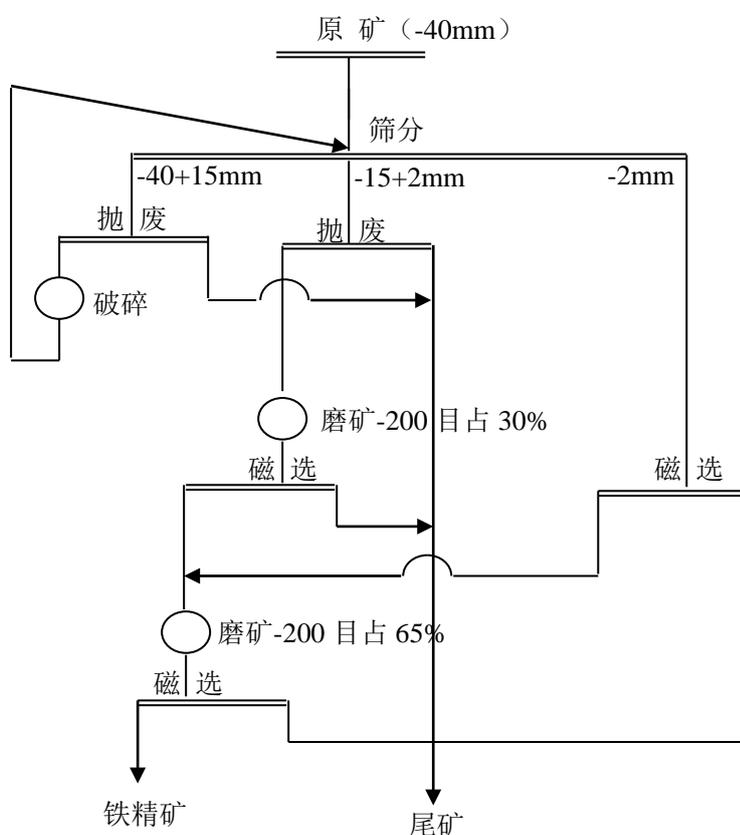


图 1 大顶铁矿试验原则流程

2.3.3 尖山铁矿

尖山铁矿位于广东省连平县境内, 已开采, 矿石贮量达 2217 万吨, 属中型铁矿。

2.3.3.1 矿物组成

该矿石矿物的组成简单，主要矿物磁铁矿和褐铁矿分别占原矿的 45.29%和 41.68%，脉石矿物以石英、石榴子石为主，还有少量的长石、绢云母、萤石、辉石，总量不超过 13%，偶见个别锡石、电气石、方解石、黄铁矿，原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2

表 1: 多元素分析

元素	TFe	Sn	SiO ₂	Pb	F
含量%	43.14	0.16	17.14	0.03	0.026

表 2 矿物组成

元素	磁铁矿	褐铁矿	石英、长石	石榴子石	萤石	锡石
含量%	45.29	41.63	8.61	3.37	0.65	0.04

磁铁矿粒度一般为 0.04-0.2mm，互相连生呈致密块状集合体，其中有时有后生的石英、褐铁矿等细脉穿插，石英脉壁可见到极细粒黄铁矿，脉宽 0.015—0.005mm 不等，从而使磁铁矿的品位略低。

褐铁矿呈水胶凝体的氧化铁集合体，常胶凝许多风化残余的硅酸盐物质，粘土等杂质，褐铁矿含 Fe 仅为 39.50%，其中 13.85%的磁性较强，含铁为 40.21%、67.31%的褐铁矿与石榴子石磁性相近，13.86%的褐铁矿的磁性很低，与脉石难分离。

原矿中的锡有 63.16%分散在铁矿物中，难以用选矿方法回收，另外 36.84%的锡呈锡石存在。

本矿可回收的矿物为磁铁矿。

2.3.3.2 试验流程:

广州有色金属研究院于 1986 年进行选矿试验，试验流程为原矿破率至-45mm 后用磁滑轮一次选别可得产率为 52.41%，品位为 60.42%，回收率为 67.37%的块状铁精矿，磁滑轮尾矿经磨矿后，进弱磁选可得产率 4.19%，品位 65.35%，回收率 5.79%的细粒铁精矿，弱磁尾矿经强磁选仅得品位为 39.05%的铁中矿，同时也对磁滑轮尾矿、磨矿后用重选法回收铁试验，铁精矿品位为 51.92%，回收率为 6.58%。磁滑轮—弱磁选流程见图 1。

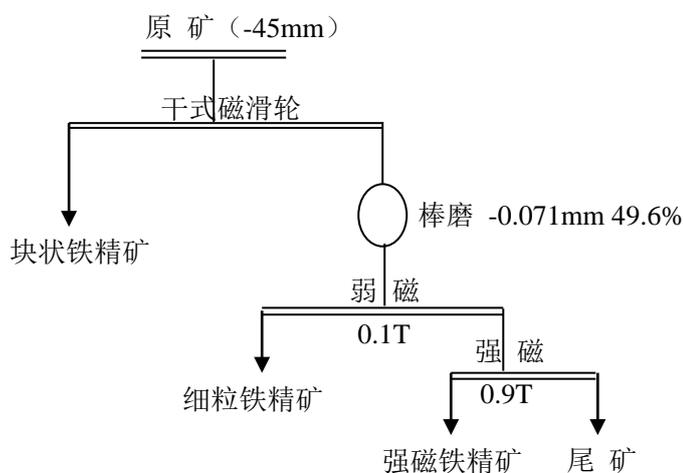


图1 磁滑轮—弱磁选流程

2.3.3.3 试验结果

产品	产率%	品位 Fe%	回收率%
块状铁精矿	52.40	60.42	67.37
细粒铁精矿	4.16	65.36	5.83
强磁铁精矿	15.36	39.05	12.77

2.3.3.4 推荐流程

如果选厂规模小，建议把原矿破碎到-45mm 用干式磁滑轮选得块状铁精矿。如果选厂规模较大，干式磁滑轮尾矿磨矿后，用湿式弱磁选进一步回收细粒磁铁矿。

2.3.3.5 尾矿综合回收试验

在选铁尾矿中仍含 Fe 21%，Mo 0.016%，Sn 0.24%， WO_3 0.12%，其中磁铁矿占 9.30%可再回收，Mo 金属中只有 25%为硫化矿。钨矿主要为白钨矿，尾矿中有回收价值的成分为磁铁矿和白钨矿。

2005 年广州有色金属研究院对该尾矿进行综合利用研究。该尾矿直接磁选 ($H=0.3T$) 可以收到产率为 9.23%的铁精矿，品位为 60.81%，回收率 27.24%的指标。选铁尾矿经重选丢弃萤石，方解石等含钙矿物，然后磨矿进行钨浮选，可以得到含 WO_3 65.68%的白钨精矿，回收率 37.93%。据测算，处理一吨尾矿可获利税 81.5 元。

2.3.4 龙川铁矿

龙川铁矿的矿石性质方面的资料并不多，仅有多元素分析结果为表 1 所示。

表 1 多元素分析

元素	TFe	MnO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Cu
含量%	39.44	0.072	41.84	0.02	0.38	0.003

原矿破碎至-32mm 后，其中+0.1mm 以上各级分级用磁滑轮选别，各级分选的精矿含铁一般<50%，不能成为铁精矿，但可以丢弃产率为 33—40%的尾矿，尾矿品位 19—24%。

将该磁滑轮分选的精矿磨矿至-200 目占 55—60%时用湿式中磁场磁选机（H=0.22T）得到磁选精矿的产率为 37.87%，品位为 64.05%，回收率为 60.09%。

而将原矿直接磨至-200 约占 55—60%时直接用中磁场磁选机磁选，磁选精矿产率为 37.62%精矿品位为 64.55%，回收率为 61.10%，两种方案指标相近，从经济方面比较采用磁滑轮—磁选方案更合理。

2.3.5 广东清远安丰铁矿

清远安丰铁矿属矽卡岩风化淋滤型铁矿床，有工业价值的矿物主要有褐铁矿和少量云母状赤铁矿。矿石疏松多孔，易碎，易泥化，矿石比重较小。

2.3.5.1 矿石性质

矿石分混合型、透辉石型，石榴子石型三种类型。其混合型矿石多元素分析见表 1，矿物组成见表 2

表 1 多元素分析

元素	TFe	SiO ₂	AlO ₃	烧减量
含量%	41.09	14.29	11.37	12.71

表 2 矿物组成

矿物	赤铁矿、磁铁矿	矿染褐铁矿	铁锰结核	砾石
含量%	2.51	71.77	1.00	24.72

褐铁矿以细晶为主，一般粒度 0.02—0.04mm，呈网状结构与高岭土、长石、石英穿插，该矿染状褐铁矿的比重小于 3.2，不适合重选分离。

云母状赤铁矿，呈片状穿插在高岭土、石英、长石中，最大粒度 10mm，一般

为 3mm，最小为 0.1mm。

脉石为高岭土、长石、石英。

透辉型矿石的矿物种类与混合型矿石相近，只是其中赤铁矿含量较高为 44%，铁染褐铁矿含量为 28%。

石榴子石型的矿物种类也与上述矿石类型相适，但赤铁矿及矿染褐铁矿含量都较低，分别为 2%和 11%。

2.3.5.2 试验工艺流程：

广州有色金属研究院于 1984 年进行选矿试验。对混合型矿石将矿石碎至 -0.84mm，用湿式强磁选机分选。经一次粗选，一次精选、一次扫选、中矿返回可获得含铁 48.40%的铁精矿，回收率为 77.05%。

透辉石型矿石粒度组成较细（-0.04mm 占 67.6%）将原矿破碎至-0.84mm，一次强磁选粗选，一次扫选，铁精矿品位为 49.50%，回收率为 59.02%。

石榴子石型矿石，原矿含铁 22%，经磁选得不到合格铁精矿，而且回收率低，无回收价值。

2.3.6 广东连平泥竹塘铁矿

连平泥竹塘铁矿在连平县境内，大顶铁矿附近。

该矿产于沉积岩与花岗岩接触带上，属高温热液矽卡岩型铁矿，矿石贮量约 700 多万吨，矿体覆盖较薄，易于露天开采。

2.3.6.1 矿石性质

原矿多元分析见表 1

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	AlO ₃	SiO ₂	Mn	As
含量%	44.44	8.38	5.74	17.26	1.6	0.18

矿石中主要金属矿物为磁铁矿（磁铁矿、假象磁铁矿占 50.1%），褐铁矿（12.2%）、软锰矿（2.5%），主要脉石矿物为石英、长石及铁染的次生硅酸岩矿物（约占 35.2%），此外还有微量的磁黄铁矿、绿帘石、透闪石，石榴子石等。

磁铁矿为不规则粒状，粒度粗细不均匀，粗细不等的脉石矿物嵌布在磁铁矿中。

褐铁矿，系赤铁矿次生变化之产物，显蜂窝状，粉末状土状。

原矿碎至-2mm，磁铁矿单体解离度为 65.07%，其中-0.5mm 单体率达 80%以上。

2.3.6.2 试验流程

广州有色金属研究院于 1987 年进行试验，其试验流程见图 1。

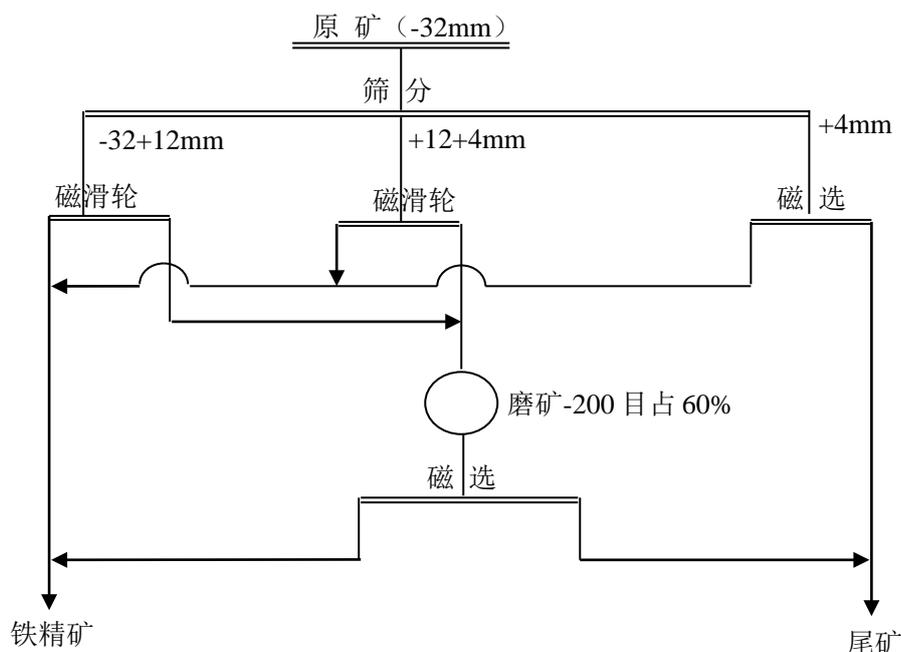


图 1 选矿原则流程

2.3.6.3 试验结果

铁精矿产率为 40.41%，含 Fe 63.95%，回收率 58.15%

2.3.6.4 铁精矿质量

含 Fe 64.94%，Cu 0.004%，Sn 0.3%，Pb 0.018%，Zn 0.095%，As 0.114%，SiO₂ 2.73%，P 0.0075%，Mn 1.3%，MgO 1.53%，CaO 0.055%，S<0.012%。

精矿中除含 Sn、As 较高外，其它元素含量都小于杂质含量要求。

2.3.7 广东连阳铁矿

连阳铁矿系含铁矽卡岩铁矿矿床，铁矿物是以赤铁矿、褐铁矿为主，磁铁矿次之，矿石中含锡很高达 1.76%，因此在选铁的同时还要考虑综合回收锡。

2.3.7.1 矿石性质

原矿多元素析结果见表 1

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	Sn	S	As	Pb
含量%	46.83	0.99	1.76	0.037	0.25	0.1

铁物相分析表明：磁铁矿中的铁占 19.16%，赤铁矿褐铁矿中铁占 76.94%，硅酸铁占 3.9%。

锡物相分析表明：以锡石存在的锡占总锡金属量的 75%。从原矿（-3mm）筛分结果来看，随着粒度变细铁品位在下降，+0.1mm 粒级铁金属占有率高达 84.59%，而锡都相反，-0.2mm 料级锡金属量占 71.52%，锡主要分布在细粒级中。另外锡和褐铁矿致密共生，在分选时易机械夹杂混入铁产品中。

2.3.7.2 选矿工艺

1985 年广州有色金属研究院进行了选矿试验，试验的原则流程为弱磁、强磁选回收铁，重选回收锡，见图 1

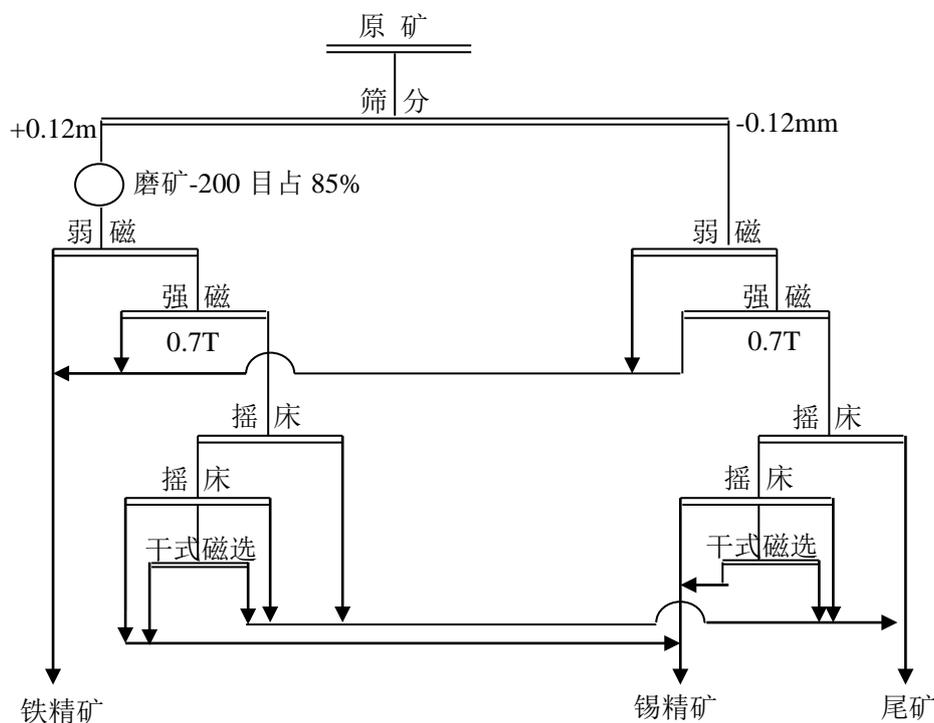


图 1 选矿原则流程

2.3.7.3 试验结果

试验结果列入表 2 中

表 2 试验结果

产品	产率%	品位%		回收率%	
		Fe	Sn	Fe	Sn
铁精矿	48.86	59.57	0.45	62.05	14.29
锡精矿	1.53	10.43	58.22	0.33	58.13

从试验结果看，铁精矿中机械夹带的锡很高，高达 0.45%，应探索加强铁精矿进一步精选试验，以降低机械夹带的锡石。

另一矿样为磁铁矿—赤铁矿类型的矿石，与矽卡岩铁矿石相比，磁铁矿较多，而锡石较少为 0.67%，采用类似的流程处理，所获得铁精矿含铁 59.22%，回产率为 74.35%，锡精矿含锡 51.48%，回收率 19.11%。

2.3.8 广东云浮铁矿

云浮铁矿是褐铁矿类型铁矿床，是广钢的主要原料基地之一。

2.3.8.1 矿石性质

云浮铁矿属于第四纪铁帽型坡积矿床，有用矿物为褐铁矿，其它金属矿物只有极少量锰矿物和个别黄铁矿。脉石矿物主要为石英、云母、角闪石、长石等。原矿多元素分析见表 1，矿物含量见表 2

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	SiO ₂	As	P	Al ₂ O ₃
含量%	44.44	0.40	21.79	0.011	0.047	3.37

表 2 矿物组成

矿物	褐铁矿	脉石（以石英为主）
含量 %	78	22

云浮矿区褐铁矿呈次生胶状构造，有蜂窝状、海绵状、致密块状、表壳状、土状等。褐铁矿是铁的氢氧化物聚集体（常呈针铁矿、水针铁矿和富含结晶水的氢氧化铁）。本矿区的褐铁矿以水针铁矿为主，纯矿物含铁在 50.50—59.70%之间，平均 56.60%。

2.3.8.2 选矿试验

1997 年广州有色金属研究院对云浮铁矿的矿石进行了选矿试验。试验流程为将矿磨至-200 目占 49—66%，用湿式强磁选机（H=1.5T）一次粗选，一次扫选、一次精选流程获得铁精矿

2.3.8.3 试验结果

铁精矿产率为 75.65%，含铁 54.58%，回收率为 90.67%。铁精矿含 S 0.26%，SiO₂ 6.66%，As 0.016%，Zn 0.042%，P 0.034%，Al₂O₃ 3.04%。

2.3.9 广东怀集县灰塘铁矿

该矿位于怀集县中洲区，距县城 46Km，C₁+C₂级贮量有 255 万吨。

80 年代以来一直是民工开采富矿，铁品位 >60%的块矿作成品精矿外售，<60%的铁矿丢弃采场，本试验以含铁 <60%的贫矿为研究对象进行选矿试验。

2.3.9.1 矿石性质

该铁矿的主要铁矿物有磁铁矿（包括假象赤铁矿）、褐铁矿、和少量赤铁矿、脉石矿物主要有石英，绿泥石、高岭土、石榴子石等，原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	Sn	Mg	Al ₂ O ₃	SiO ₂	S
含量%	41.4	8.0	0.59	3.5	5.39	28.61	0.04

表 2 矿物组成

矿物	磁铁矿	赤铁矿	褐铁矿	硫化矿	云母	石英	石榴子石
含量%	45.76	3.80	15.50	0.2	1.55	24.23	1.5

磁铁矿粒度一般为 0.05—0.5mm，最大 1—2mm，最小 0.01—0.05mm。磁铁矿与褐铁矿、脉石共生、呈港湾式接触。褐铁矿为不规则粒状、土状、钟乳状、粒度一般为 0.05—0.1mm。

2.3.9.2 选矿工艺

1985 年广州有色金属研究院进行了选矿试验，试验流程为首先将原矿磨矿至-200 目占 47%用弱磁选机（H=0.1T）磁选，磁选粗精矿再磨至-200 目占 82%，用弱磁选精选（H=0.09T）得铁精矿。

2.3.9.3 选矿指标

铁精矿产率 46.22%，含铁 65.23%，回收率为 73.34%。

2.3.9.4 铁精矿质量

铁精矿含 Sn 0.36%，Cu 0.03%，Pb 0.05%，Zn 0.07%，As 0.0022，S 0.02%，F 0.01%，SiO₂ 3.26%，Mg 1.24%。

2.3.10 广东连南石径铁矿

石径铁矿包括柏洞矿和乌石冲矿体，柏洞矿属块状磁铁矿，乌石冲属氧化淋滤土状和半块状褐铁矿。根据贮量，柏洞与乌石冲矿按 3:1 配比进行选铁试验。

2.3.10.1 矿石性质

原矿主要由磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿构成，脉石矿物主要有石英、高岭土、绿泥石、石榴子石等，原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	Mn	Mg	As	SiO ₂	Sn
含量%	47.95	3.51	0.56	0.145	0.046	25.05	0.13

表 2 矿物组成

矿物	磁铁矿	褐铁矿	赤铁矿	硫化矿	高岭土	石英	石榴子石	锡石
含量%	49.50	22.90	1.80	0.7	2.48	16.2	1.54	0.15

磁铁矿多为块状，粒状与赤铁矿共生密切，粒度为 0.05—0.5mm 之间。

褐铁矿为不规则粒状，土状、钟乳状、粒度一般在 0.05—0.1mm 之间，经常与脉石、磁铁矿、赤铁矿共生。

2.3.10.2 选矿工艺

1985 年广州有色金属研究院对该矿石进行选矿试验，由于铁矿物的嵌布粒度较粗，0.5—0.8mm 粒级铁矿物单体已占 72.31%。因此该试验流程为在粗磨条件下，弱磁—中磁选回收铁工艺。首先将矿石磨至-200 目占 45—50%，用弱磁选（H=0.09T）得高品位铁精矿，弱磁尾再用中磁场磁选机（H=0.18T）选得低品位铁粉精矿。两铁精矿为合并铁精矿。

曾进行了弱磁尾再磨再选的试验，显然回取率有所提高，但精矿质量下降，而且增加磨矿成本。

2.3.10.3 选矿指标

综合铁矿产率为 56.93%，含铁 65.15%，回取率为 76.87%。

2.3.10.4 对乌石冲矿段铁矿石的选铁尾矿综合回收锡试验，原矿含 Sn 0.37%，锡石粒度较细为 0—0.074mm，其中-0.03mm 占 18.20%。磁选铁后的尾矿用重选法回收锡，可得到锡精矿品位 31.85%，回收率 16.45%。

2.3.11 广东怀集将军头铁矿

2.3.11.1 矿石性质

将军头铁矿含铁 41%，该矿石嵌布粒度细，氧化程度较高，原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S
含量%	41.11	7.84	26.44	5.11	1.05	0.47	0.58

表 2 矿物组成

矿物	磁铁矿	褐铁矿	赤铁矿	硫化矿	粘土	石英	石榴子石	云母
含量%	43.1	20.2	0.5	1.3	5	21.3	4.25	2.52

铁矿物主要为磁铁矿和褐铁矿，脉石矿物主要有石英、石榴子石、云母等。磁铁矿为不规则块状，粒度为 0.05—0.5mm，最大 1—2mm，最小 0.01—0.05mm，常与褐铁矿脉石共生。褐铁矿为不规则粒状，土状、钟乳状、粒度在 0.05—0.1mm。褐铁矿是针铁矿，氧化硅、粘土物质的混合物，纯矿物含 Fe 41.14%，原矿物中以磁铁矿形式存在的铁占 69.71%，在褐铁矿中的铁占 27.65%。

2.3.11.2 选矿工艺

广州有色金属研究院于 1984 年对该矿石进行选矿研究试验。试验流程是将矿石磨矿至-200 目占 53.8%，经弱磁选（H=0.09T），磁性产品再磨至-200 目占 74%，然后再用弱磁选进一步精选（H=0.09T），其磁性产品就是铁精矿。弱磁选的尾矿再用强磁选（H=0.6T）选其中的褐铁矿，强磁选精矿含铁仅 32%，无回收利用价值。

2.3.11.3 分选指标

铁精矿产率为 42.43%，含 Fe 65.07%，回收率为 67.30%。铁精矿含 SiO₂ 5.70%，

其它杂质元素含量都很低。

2.3.12 广东怀集东坑铁矿

该矿区位于怀集县内，交通便利。

矿床属于矽卡岩型磁铁矿床，共有 10 个矿体，其中 1 号矿体铁矿石贮量达 180 万吨，半数以上含 Fe 达 45%以上，S、P 含量不超过最大允许量，SiO₂ 含量较高，矿体大部露出地表，易于露采。

2.3.12.1 矿石性质

矿石中主要金属矿物为磁铁矿（约占 52%），褐铁矿（约占 8%）、软锰矿（< 1%）。主要脉石矿物为透闪石，透辉石、石英。原矿多元素分析见表 1。

表 1 多元素分析

元素	TFe	FeO	As	Al ₂ O ₃	F	MgO	SiO ₂	S
含量%	42.82	11.05	0.046	2.63	0.027	1.66	21.85	0.08

铁的物相分析结果表明，磁铁矿中的铁占 85.96%，赤褐铁矿中铁占 11.61%。磁体矿为粒状集合体，粒度一般为 0.5—0.1mm。褐铁矿呈致密粒状和疏松多孔状。

2.3.12.2 选矿试验及结果

1986 年广州有色金属研究院对该矿石进行选矿试验。由于该矿石矿物组成比较简单，磁铁矿嵌布粒布较粗，在-0.8+0.5mm 粒级磁铁矿单体率已达 74.02%，因此试验采用简单的磁选方法，就可将磁铁矿回收。

将原矿磨至-200 目占 30.5%，经一次磁选（H=0.05T）就可以得到品位为 66% 的铁精矿。

铁精矿产率为 55.98%，精矿品位为 66.79%，回收率为 85.37%。铁精矿含 SiO₂ 3.17%，其他杂质元素都符合要求。此外曾作了进一步精选和扫选试验，对指标的影响不大。

2.3.13 怀集藤铁铁矿

怀集乐居矿业有限公司所属藤铁铁矿，随着采掘深度的增加，采出的风化矿量减少，产出的铁精矿品位下降，达不到优质铁精矿的要求。因此 2006 年委托

广州有色金属研究院进行提高铁精矿品位和回收率的研究。

2.3.13.1 原矿性质:

原矿含铁 31.63%，磁铁矿中铁占全铁的 91.73%。原矿中铁的嵌布粒度较细。

2.3.13.2 试验流程:

原矿磨至-0.074mm 占 76%，用弱磁选机磁选 ($H=0.09T$)，得到含铁 61.32%的产品。该产品中，粒度越粗，品位越低，只有再磨至-0.04mm 时，品位才能达 65%，为此将一段磨后的铁精矿再磨再选。再选的设备采用 LMC 立式脉冲磁场磁选机精选。LMC 立式脉冲振动磁场磁选机是一种新型弱磁场的磁重选矿设备，特别适合强磁性矿物的精选。该磁选机采用交变磁场装置产生脉冲振动磁场，采用上升水流排除非磁性物及连生体，使磁性精矿品位能大幅度提高。试验流程见图 1。

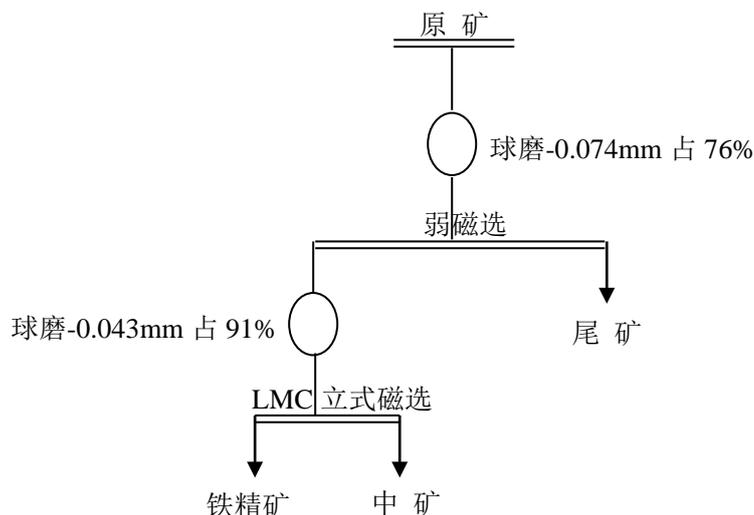


图 1 选矿流程

2.3.13.3 试验结果:

铁精矿产率为 42.48%，品位为 65.14%，回收率为 86.91%。

3、锰矿

3.1 锰矿石工业要求

矿石类型		Mn %		Mn : Fe	Mn +Fe	杂质含量≤%	
		边界品位	工业品位			SiO ₂	P
氧化锰矿	富矿	20-25	≥30	>4		<25	每 1%Mn 含 P 0.005%
	贫矿	10-15	≥20	---		<35	
碳酸锰矿	富矿	15-20	≥25	>4		<25	
	贫矿	≥8	10-15	---		<35	
铁锰矿		---	10-15	---	≥30	<35	

3.2 广东省锰矿资源概况

3.2.1 矿石工业类型

1. 碳酸锰矿；
2. 硫锰—碳酸锰矿；
3. 铁锰矿石（铁、锰比小于 1）；
4. 氧化锰矿（包括锰帽、淋滤、堆积三种成因矿石）。

3.2.2 锰矿贮量分布

广东省锰矿资源分布

矿点	矿石类型	贮量 C级万吨	品位			
			Mn	Fe	SiO ₂	P
连县三古滩锰矿	风化淋滤型	4	16-19	12-16	11-17	0.064-0.152
焦岭县觉岭锰矿	风化淋滤型	50.4	20-25	15-20	30	0.3
焦岭县白泥湖锰矿	风化淋滤型	24.4	27.5		29	0.04

3.3 锰矿选矿实例

3.3.1 阳春十二排锰矿

阳春十二排锰矿实际为氧化铅锌锰矿，矿石分残坡积和淋滤型两种，矿石类型属低磷高铅锌锰矿石。

1、矿石性质

矿石中主要含有硬锰矿，铅硬锰矿，软锰矿和褐铁矿，脉石矿物主要有含铁锰质粘土，含铁锰质砾石。原矿多元素分析见表 1

表 1 多元素分析

元素	Mn	Fe	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Pb	Zn	Sn
含量	21.39	15.10	0.087	10.44	15.98	5.5	0.59	0.18

软锰矿中的锰占锰金属的 86%，其次分布在水锰矿和褐锰矿中，占 11.86%。

原矿中的铁 96%是以赤、褐铁矿形式的存在。

2、选矿试验

矿石为胶状结构、肾状、块状、土状构造，各类矿物之间结构松散，锰大部分富集在大块矿石中，因此选矿可采用洗矿，分级，脱泥就能达到提高产品质量的目的。

将原矿洗矿，再经筛分分级，可获得三个产品，共结果列入表 2 中。

表 2 选矿筛分指标

产品	产率%	品位%			回取率		
		Mn	Fe	Pb	Mn	Fe	Pb
块矿+3mm	34.18	35.46	10.62	6.65	58.77	24.84	44.75
粉矿-3+0.074mm	30.19	22.88	16.54	6.46	33.49	34.21	36.42
原矿-0.074mm	35.63	4.47	14.61	2.40	7.74	40.95	16.83

块矿和粉矿可作为产品，二者锰的回取率可达到 92.26%，其中的铅可以在冶炼中回取。

3.3.2 广东蕉岭县三坑锰矿

三坑锰矿属次生锰矿，矿床类型主要分残集—淋积型和淋积型两种，矿石贮量 87 万吨，其中主矿体贮量达 62 万吨，属高铁，高硅，高铝和高磷锰铁矿石。

3.3.2.1 矿石的性质

矿石主要有用矿物有软锰矿、硬锰矿、偏锰酸矿、褐铁矿，脉石矿物为粘土，石英和燧石。矿石含 Mn 15.7%，Fe 13.52%，SiO₂ 40.09%，Al₂O₃ 6.41%，P 0.42%，原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	Mn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	MgO	Co
含量%	15.7	13.52	40.09	6.41	0.42	0.18	0.016

表 2 矿物组成

矿物	锰矿物	褐铁矿	偏锰酸矿	粘土	石英	燧石
含量%	28.49	29.52	3.38	29.08	7.28	2.25

其中锰金属的 83.44% 赋存于软锰和硬锰矿中，95.75% 的铁是赋存于褐铁矿与赤铁矿中。锰矿物嵌布粒度较细，与铁矿物及脉石矿物共生密切（锰矿物与脉石连生占 70%，与褐铁矿连生占 30%），在 -0.5+0.2mm 粒级中锰矿物才基本单体解离（解离度为 84.64%）。矿石中有磷灰石存在，一般粒度为 40—50 μ。

3.3.2.2 选矿流程

广州有色金属研究院于 1985 年进行选矿试验，委托方要求不破碎不磨矿。试验采用洗矿—手选—重选流程。选矿原则流程见图 1。

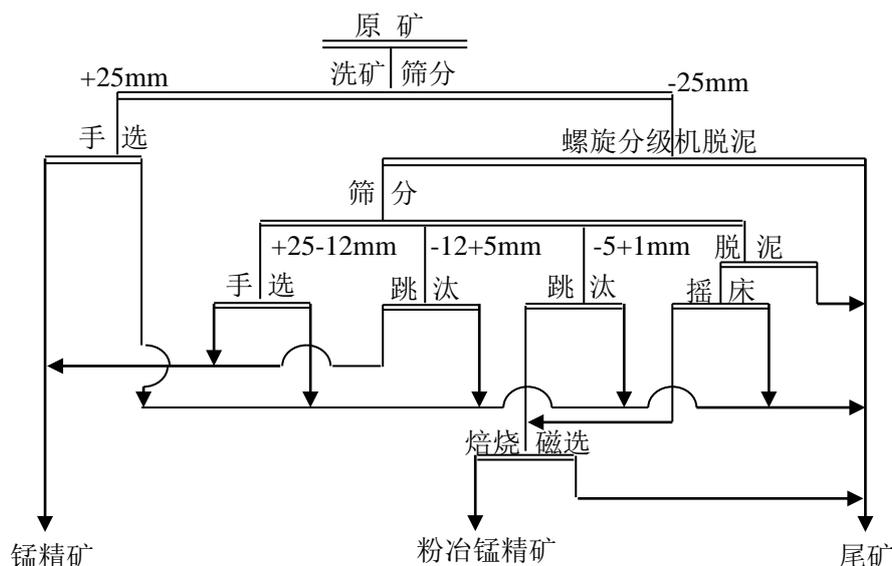


图 1 选矿原则流程

3.3.2.3 选矿指标

块锰精矿产率 9.49%，含 Mn 23.70%，回收率 57.09%，粉冶锰矿产率 4.41 含 Mn 55.71%，回收率 15.28%。

3.3.3 罗定新榕锰矿

新榕锰矿属风化堆积型氧化铁锰矿矿床，氧化铁锰矿石与泥土相伴产出，矿石以胶体结构为主，铁锰矿物密切共生，铁锰难以分离，很难提高锰精矿品位。

3.3.3.1 矿石性质

该矿石中的锰矿物主要为软锰矿、其次为水、褐锰矿。铁矿物主要为赤铁矿与褐铁矿，脉石矿物主要为石英，还有少量白云母。原矿多元素分析见表 1。

表 1 多元素分析

元素	Mn	Fe	P	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO
含量%	15.02	22.10	0.049	21.95	5.54	9.40	1.60

锰赋存在软锰矿的占 84.38%，赋存于水锰矿、褐锰矿中的锰占 15.16%。铁以赤铁矿、褐铁矿形式存在的铁占 97.54%。

3.3.3.2 选矿工艺

该矿石含泥（-200 目）高达 35%以上。经洗矿以后锰的品位有所提高。因此采用洗矿、分级与磁选工艺流程获得块矿精矿和细粒级粉精矿。

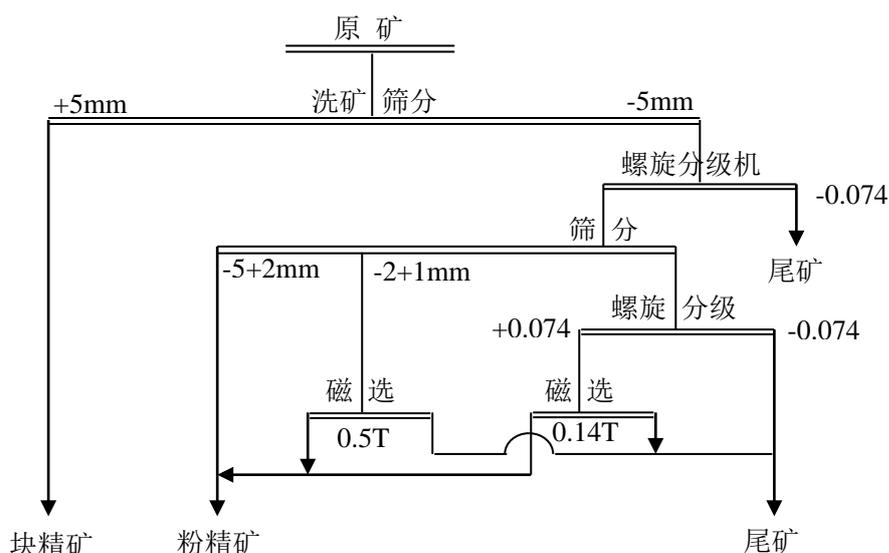


图 1 选矿原则流程

3.3.3.3 分选指标

表 2 选矿综合指标

产品	产率%	品位		回取率%	
		Mn	Fe	Mn	Fe
块精矿	27.59	25.94	31.20	47.71	38.27
粉精矿	27.42	21.76	31.95	39.71	38.95

4、铜 矿

4.1 铜矿石工业要求

铜矿一般工业要求

要求	硫化矿		氧化矿
	坑采	露采	
边界品位 Cu %	0.2-0.3	0.2	0.5
工业品位 Cu %	0.4-0.5	0.4	0.7
可采厚度 m	≥1-2	≥2-4	1
夹石剔除厚度 m	≥2-4	≥4-8	

铜矿伴生有价元素综合回收评价参考

元素	Pb	Zn	Mo	WO ₃	Sn	Ni	Bi	Au(g/t)	Ag(g/t)
含量%	0.2	0.4	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	1.0

4.2 广东省铜矿资源概况

4.2.1 矿石工业类型

全省铜矿有 39 处，保有储量列全国第十一位，分布于广州、江门、韶关、湛江、肇庆、惠州、梅州、汕头，其中大型矿床 1 处（曲江大宝山）、中型一处（阳春石茛）。主要矿床类型有斑岩型、沉积—变质型及次生堆积型。

4.2.2 广东省铜矿资源分布

广东省铜矿资源分布

矿点	矿石类型	贮量(万吨)			品位%		
		Cu	Pb	Zn	Cu	Pb	Zn
曲江县周田新凉亭铜铅锌矿	硫化矿	0.8	3.12	2.18	0.91	1.54	1.94
英德德仔崆铜铅锌矿	硫化矿	0.489	2.39	1.82	0.41-0.44	2.05	1.71
佛岗县铜溪铜钼矿	氧化矿	0.54			0.67		
龙川县金石嶂铜铅锌矿	硫化矿	0.12	0.8	1.06	0.32	1.49	1.38
龙川县黎咀铜矿	硫化矿	0.43			0.3-0.85		
河源县叶茶寨铜矿	硫化矿	0.15	0.15	0.12	1.02	0.59	0.35
河源县冷水坑铜锡矿	硫化矿	0.33			1.27	Sn 0.35	
河源县黄村永新钴铜矿	硫化矿	0.22			1.07		
梅县苏田铜铅锌矿	硫化矿	0.56	0.45	0.45	1.25	1.76	3.30
三水县芦苞老鸦岗铜铅锌矿	硫化矿	0.11	0.11	0.27	0.3-0.85	0.2-9	1.38-22
曲江大宝山矿	硫化矿	64			0.86		
连南大麦山矿	硫化矿	0.36			1.35		
新兴县天堂矿	硫化矿	3.07			0.3-1		
阳春石藁氧化矿	氧化矿	12.0			1.12-2.08		
阳春石藁硫化矿	硫化矿	17.0			0.83		

新中国成立后,自1958年起比较重视铜矿的找矿勘探工作。30余年来,发现的铜资源比较丰富。计有大型矿床1处,中小型矿床34处。现已探明的铜总储量为180余万吨,主要产地分布于曲江、阳春、连南、新兴、连平等地。含铜大于1%的富矿储量为261243吨,占总储量的14.5%。伴生铜储量259203吨,占总储量的14.4%。铜矿类型以硫化矿为主,氧化矿为辅,分别占总储量的90.85%和9.15%。矿床类型有以下几种:

1. 热液型矿床。这种矿床又可分为热液交代的铜、铅、锌矿床和热液充填钨锡矿共生的铜矿床两大类。前者以大宝山矿的多金属矿床为代表,为本省最大、最有利用价值的矿床。该矿含铜平均品位为0.86%,现已探明铜的保有储量857932吨,属大型铜矿床,占本省总储量的53.42%。产于钨锡石英脉矿中的共

生硫化铜矿，一般含铜品位较低。保有储量 63780 吨，占本省总储量的 3.97%。

2. 矽卡岩型矿床。这种矿床可分为矽卡岩型铜矿床，矽卡岩型铜、铅、锌矿床和矽卡岩型含铜磁铁矿矿床三大类，其中以矽卡岩型铜矿床为主。阳春石茛矿床、连南多金属矿床均属这一类型，保有储量为 523535 吨。占本省总储量的 32.6%。其中，石茛铜矿同时有次生富集孔雀石矿床。

3. 沉积变质热液型矿床。这种矿床主要产于寒武—奥陶系石碌群，受层位控制，矿体呈似层状，工业矿物以黄铜矿为主，含铜品位 0.3~5.36%，其保有储量 65668 吨，占本省总储量的 4.1%。

4. 斑岩型矿床。这是一种与钨钼伴生的铜矿床，平均含铜 0.147~1.135%。保有储量 5230 吨，占全省总储量的 0.34%，仅从化县桂峰一处属此类型。

4.3 选矿技术发展

(一). 石茛铜矿的离析浮选法技术指标稳定提高。石茛铜矿离析法自 1976 年正式投产以来，不断加强管理，改进技术，使技术指标稳步提高，在技术方面采取以下措施：①. 逐步降低盐煤比，改善还原用煤粉的粒度，从而降低了离析过程中的就地还原因素，使浮选指标得到显著的改善；②. 改善热工制度，将重油燃烧入炉烟气温度逐步提高到 1300℃左右，并相应的加大二次风量到 1.8 万立方米/台·时，将窑内负压增加到 8~10 毫米水柱，这样既延长了离析带的长度和离析反应的时间，又加快了离析反应速度，离析物料松散而不烧结，给窑头稳定操作、稳定选矿创造了条件。

石茛矿离析浮选主要技术指标对比如下表。

石茛铜矿离析浮选主要指标对比

指标名称	计量单位	攻关鉴定	1976 年	1985 年
年处理量	万吨		21.29	32.61
离析窑能力	吨干矿/台时	19.36	20.63	24.13
年产金属铜含量	吨	9260	4078	7853
原矿品位	%	2.433	2.62	2.83
精矿品位	%	>25	23.66	30.95
浮选尾矿品位	%	0.6	0.87	0.35
实收率	%	75	72.88	82.97

(二). 加强综合回收。大宝山矿铜选厂重视黄铁矿的综合回收, 自建厂至 1983 年累计生产黄铁矿 7.91 万吨。石蓁铜矿的氧化矿石原矿中含铁量为铜金属的 10 倍。1985 年开始该矿使用磁选方法对铁矿石进行回收, 当年生产铁矿石 15000 吨。

(三). 推广使用磷胺 4 号新型捕收剂。1980 年, 大宝山矿进行以磷胺 4 号黑药代替黄药选铜的小型试验成功后就用以进行工业生产试验。结果是铜精矿品位可提高 1.28%, 铜的回收率提高 8.96%, 硫精矿品位提高 4.6%, 硫的回收率提高 2.19%, 而且还可节约硫酸及石灰。但因供货质量有问题, 所以不能坚持使用。

(四). 浮选柱的使用。大宝山矿铜选厂在规模为 250 吨/日时, 铜与硫的浮选都使用 2200 毫米见方 6500 毫米高的浮选柱; 选厂规模扩建为 600 吨/日后, 粗选及扫选硫铁矿仍然维持使用浮选柱。该矿在使用浮选柱方面取得一定的经验。

4.4 铜矿选矿实例

4.4.1 连南低品位氧化铜矿

连南氧化铜矿, 当原矿品位高时 (6-11%) 采用浸出一电积法回收铜, 铜的浸出率达到 93-98%。

在民采的矿石中还有些低品位的氧化铜矿原矿含铜 1.34%, 其中氧化铜占 73.13%, 结合铜占 16.42%, 硫化铜占 10.45%, 要用浮选法先富集, 然后再浸出。

广州有色金属研究院对该矿石进行了选矿试验, 其工艺流程为: 将矿石磨至 -200 目占 64%, 以硫化钠为调整剂, 以丁黄药及羟肟酸为捕收剂, 2#油为起泡剂, 进行一次粗选一次扫选获得粗精矿, 粗精矿产率为 20.75%, 含铜 6.13%, 回收率 83%。

4.4.2 大宝山铜矿

大宝山铜矿位于韶关地区马坝县境内, 属于高中温热液交代型铜矿床。铜矿床上部为铁帽, 经二十多年开采相当一部分铜矿床被揭露。1970 年建成了 300t/d 的小选厂, 1976 年扩建为 600t/d 规模的铜选厂, 采用两段磨优先浮选流程, 以石灰为抑制剂, 黄药为捕收剂, 磨矿细度 80-85%-200 目, 采用一粗二扫二精流程选铜, 然后用同样流程丢尾, 得硫精矿。

4.4.2.1 矿石性质

矿石中主要金属矿物有黄铜矿，黄铁矿、磁黄铁矿等，主要脉石矿物为绢云母、石英、白云石、方解石等。原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	Cu	Fe	S	Pb	Zn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ng
含量%	1.16	22.13	20.22	0.03	0.16	32.15	11.11	3.02

表 2 矿物组成

矿物	黄铁矿	磁黄铁矿	黄铜矿	辉铜矿	石英	绢云母	萤石
含量%	27.11	12.85	3.0	0.06	10.20	38.42	1.31

原矿中原生硫化铜占 90.67%，次生硫化铜占 3.96%。

在磨矿细度-200 目占 63.34%时，黄铜矿单体解离度达 77%，在-200 目占 74.87%时，黄铜矿单体解离度为 83.5%。

4.4.2.2 选矿工艺

选矿工艺如图 1 所示

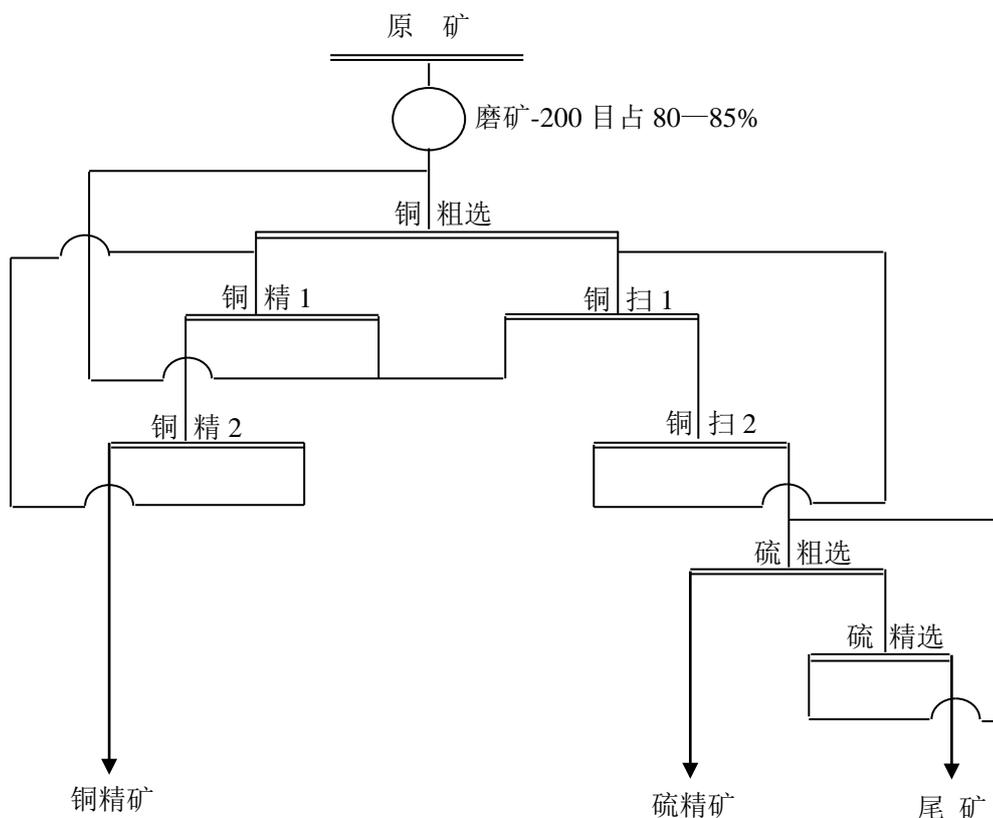


图 1 选矿工艺流程

1970年-1980年，铜精矿品位为11-14%，铜回收率为60%左右，1980-1994年铜平均品位为16.94%，回收率为79.11%。

广州有色金属研究院对该矿石进行了研究。开发了新的浮铜捕收剂“DY-1”。该药剂对铜的浮选选择性较好，兼有起泡作用，小型试验获得了铜精矿品位23.32%，回收率为94.93%的良好指标。

1995年在生产上进行工业试验。把磨矿粒度由-200目占85%，降至75%，选铜精矿品位18.56%，铜回收率87.06%，回收率较过去有较大提高。

5、铅锌矿

5.1 铅锌矿石工业要求

矿石类型		边界品位	最低工业品位	评价品位	可采厚度 M	夹石剔除厚度 M
硫化矿	Pb	0.3-0.5	0.7-1.0	Pb+Zn	1-2	2-4
	Zn	0.5-1.0	1.0-2.0	4-5		
混合矿	Pb	0.5-0.7	1.0-1.5	Pb+Zn	1-2	2-4
	Zn	0.8-1.5	2-3	6-8		
氧化矿	Pb	0.5-1.0	1.5-2	Pb+Zn	1-2	2-4
	Zn	1.5-2	3-6	8-10		

铅锌矿石伴生有价元素综合评价参考值

元素	Cu	S	WO ₃	S	Mo	Ag (g/t)
含量%	0.06	4.0	0.06	0.08	0.02	2
元素	Sb	CaF ₂	Cd	In	Bi	Au (g/t)
含量%	0.4	5	0.01	0.001	0.02	0.1

5.2 广东铅锌矿产资源概况

5.2.1 广东铅锌矿产资源工业类型

1. 硫化矿：铅锌氧化率 < 10%；
2. 混合矿：铅锌氧化率 10-30%；
3. 氧化矿：铅锌氧化率 > 30%。

5.2.2 广东铅锌矿产资源分布

矿 点	矿石类型	贮量万吨			品位%		
		Pb	Zn	Cu	Pb	Zn	Cu
曲江县一六铅锌矿	硫化矿	0.65	1.1		1.55	2.89	0.18
曲江县宝岭铅铋矿	硫化矿	0.57	Sb 0.42		2.98	Sb 2.2	
阳山县桔子塘铅锌矿	硫化矿	0.27	0.89	0.07	0.59	1.94	0.168
阳山县东坑坪铅锌矿	硫化矿	0.21	0.2		7.19	6.94	
阳山县牛岩铅锌矿	硫化矿	1.04	3.22		3.27	8.58	

英德县长岗岭铅锌矿	硫化矿	0.61	2.1		1.7-6.4	18-22	
佛冈县铜溪水龙尾铅锌矿	硫化矿	3.45	4.16		3.1	3.74	
龙川县七目嶂铅锌矿	硫化矿	1.53	0.92		1.72	1.66	
龙川县涵水湖铅锌矿	硫化矿	0.12	0.22		1.33	6.70	
河源县七树铅锌矿	硫化矿	4.9			1.2-1.3		
博罗县上达利铅锌矿	硫化矿	7.57			3.04		
焦岭县羊子殿铅锌矿	氧化矿	1.20	1.70		1.53	2.17	
丰顺县宝山铅锌矿	硫化矿	0.99			2.06		
海丰县梅陇铅锌矿	硫化矿	6.8	4.3		3.41	2.3	Sn 0.3
信宜县埂垌铅锌矿	硫化矿	0.94	0.24		1.1-3.4	0.9-1.9	
阳春县牛马坑铅锌矿	硫化矿		0.24			3.52	
阳春县南山崩坑铅锌矿	氧化矿	10	5.7		2.25	5.14	0.76
阳春先牛岭铅锌矿	硫化矿	0.3	0.12		3.44	1.44	
阳春县高基铅锌矿	硫化矿	0.82	0.55		2.54	1.73	
高州县石骨铅锌矿	硫化矿	1.37	0.36		3.85	3.05	
高州县良坑铅锌矿	硫化矿	0.47	0.02		1.8-5.8	5.73	
廉江县禾寮锌矿	硫化矿		2.59			2.5-5.6	
化州县丰村铅锌矿	硫化矿	4.9	1.9		3.95	2.19	
仁化县凡口铅锌矿	硫化矿	105	231		4.54	9.62	
曲江大宝山矿	硫化矿	14	53				
曲江大宝山西矿带	硫化矿	0.5	1				
梅县丙村铅锌矿	硫化矿	1.2	2.1				
潮安县厚婆坳铅锌矿	硫化矿	4.0	2.1				
乐昌杨柳塘铅锌矿	硫化矿	3.0	8.3				
连平县锯板坑多金属矿	硫化矿	0.7	1.7				
新兴县天堂铅锌矿	硫化矿	14	6.2				
惠阳县溪水铅锌矿	硫化矿	10	7				
高要县河村铅锌矿	硫化矿	9	6.4				
阳春县南山铅锌矿	硫化矿	10	5.7				

据 1985 年末矿产储量表, 广东有铅锌矿产地 68 处(其中: 大型 2 处, 中型 10 处, 小型 56 处), 分布在 38 个县。粤北主要有仁化、曲江、乐昌、连南及阳山; 粤东主要有连平、梅县、潮安、河源及龙川; 粤西主要有阳春、怀集、高州等。全省总计保有铅锌金属储量 895 万吨左右, 约占全国铅锌金属保有量的 1/10。而仁化县凡口铅锌矿储量又约占全省总储量的一半, 是我国重要的铅锌原料基地。该矿床伴生金属丰富, 可供综合利用的金属有 9 种。其中, 银、汞、锗的保有金属量均达到大型矿床的规模。

5.3 铅锌矿山的生产建设

广东铅锌矿山自 1958 年开始建设至 1985 年止, 已有大尖山、丙村、凡口等四个国营矿山及一个地方国营乐昌铅锌矿。这四个国营矿山的建设历史及其经验教训各具特点:

(一) 大尖山铅锌矿位于连平县西北 11 公里。1914 年已有土法采钨。1956 年发现铅锌矿。1958 年, 该矿属县地方国营。1966 年, 由省地质局 703 地质队评价勘探, 核定储量为中型矿床的规模。该矿虽中途一度停办, 但经地方多年经营并取得一定成绩。1972 年, 日采、选 50 吨的工程投产, 到 1984 年, 已发展到日处理 100 吨矿石和年产精矿含铅锌金属 1000 吨左右的生产能力。1983 年, 与洋塘钨矿合并为有色总公司所属的国营矿山。1984 年起, 用探采结合的方式进行补勘, 完成坑探工程 3013 米, 对矿体的圈定进行验证。长沙有色冶金设计研究院据此, 编制了矿山建设的可行性研究报告。

(二) 丙村铅锌矿原名银屎铅锌矿, 位于梅县丙村, 断续开采历史长达 200 多年。50 年代中期, 701 队勘探获铅、锌金属储量 18.6 万吨。1958 年列入国家建设计划后, 不久即停建。1970 年起, 由即将闭坑的小靖坑钨矿抽调人员、设备, 自筹资金进行建设。矿山自行设计施工两条竖井, 又自行设计、制造、安装多绳提升机和井架等, 成效显著。至 1974 年止, 共投入资金 526 万元(其中基建投资 25.4 万元), 建成了日处理 400 吨规模机械化开采的矿山。至 1985 年末, 累计生产精矿铅金属含量 11204 吨、锌金属含量 9938 吨, 另副产金 39 公斤, 银 7863 公斤, 上缴利润 110 万元。但由于 70 年代初建设时没有作细致的调查研究, 根据初勘报告匆忙上马。1963 年广东省储委对该矿区储量报告进行了复查, 并将大部分储量降级, C 级铅锌金属储量仅有 3 万吨, 工业矿石储量减少 279 万吨,

品位也远低于原地质报告中所列的品位，到使矿山服务年限大大缩短，成为一个无法达到设计生产能力的矿山。

(三) 凡口铅锌矿位于粤北仁化董塘镇。凡口铅锌矿于 1965 年开始建设，1968 年投产，原设计规模为日处理铅锌矿石 3000 吨。1987 年列入原中国有色金属工业总公司重点技改项目，于 1992 年具备了日处理铅锌矿石 4000—4500 吨的综合生产能力。凡口铅锌矿矿产资源丰富，矿石品位高，是目前中国已探明的地质储量最大的铅锌矿山之一，矿山可称为铅锌银镓锗矿。是中国重要的重工业和信息工业的原料基地。凡口铅锌矿是目前中国乃至亚洲最大的铅锌生产基地，现隶属于深圳中金岭南有色金属股份有限公司。设计年产金属（铅+锌）能力 15 万吨。通过不断发展壮大，已成为矿产资源一流、采选工艺技术一流、生产设备一流、环境一流和效益一流的现代化矿山。于 1990 年获国家一级企业称号。凡口铅锌矿采选工艺技术和装备属中国目前先进水平。采矿工艺中，VCR 采矿法、盘区机械化采矿法、全尾砂充填等工艺属目前国内外先进水平，地下采矿装备——铲运机、凿岩台车、PLC 控制的全自动化主副井提升机、高压变频调速机等也是目前国内外先进装备。选矿工艺中，高碱快速浮选电位调控优化工艺是目前铅锌浮选的世界先进水平，选矿装备——陶瓷过滤机、荧光分析仪、自动给药系统均为国内外最新设备。

凡口铅锌矿投入大量资金搞科研，累计完成了 270 多项生产、安全和管理中的重大科研课题。有 7 项获得国家级科技进步奖，一等奖二项，二等奖一项，有 59 项获得省部级科技进步奖。按照“学习、掌握、运用、创新”的原则分别从德国、瑞典、芬兰、美国等国家引进近 100 台套世界先进水平的设备仪表装备矿山。矿山的科技成分年增长速度为 8.47%，经济增长中技术进步因素所占的比重高达 80.98%。生产技术和工艺和技术经济指标始终跻身世界先进行列。

凡口铅锌矿先后与世界上 20 多个国家建立了合作交流关系，通过合作与交流不断提高技术和管理水平。凡口铅锌矿技术力量雄厚。2000 年 2700 多职工人数中，大中专毕业生 780 人，约占现有职工总数的 1/3，具有高级职称 38 人，中级职称 234 人，初级职称 345 人，工人技师 134 人。

凡口铅锌矿推行了“矿山技术专家”聘任制为代表的一系列激励机制，使人才脱颖而出。通过各类技术业务培训班、大专、本科和研究生学历班、选派

技术和管理拔尖的人员出国考察学习、请国内外专家到矿讲座等形式，全方位提升员工的素质，培养一专多能人才。2000年有25位技术拔尖的工程技术人员和技术工人被聘为“矿山技术专家”，享受专家津贴。并以井下一名风钻工廖观寿的名字，命名推广了光面爆破技术采矿的先进操作法——“廖观寿顶板控制操作法”。凡口铅锌矿靠技术和管理创新，一步一步走上兴旺发达之路。到2000年止，已累计生产铅锌金属量266万余吨，实现工业产值85亿多元，创税利17亿元，综合经济效益名列国内同行业前茅。

凡口矿历年使用的选矿工艺流程平均指标对照表

流程名称 \ 指标	原矿品位 (%)		铅精矿品位 (%)		锌精矿品位 (%)		回收率 (%)		使用时间
	铅	锌	铅	锌	铅	锌	铅	锌	
设计流程	5.19	11.95	41.68	7.11	2.48	42.99	71.40	88.13	
无氰流程	3.78	8.24	41.86	4.75	2.30	48.43	75.60	90.03	1975
四产品流程									
铅、锌精矿	4.18	9.64	45.63	4.46	1.89	52.55	48.67	56.58	1976~1977
混合精矿			10.75			28.67	31	35.83	
简化优先流程	4.46	10.45	40.04	5.79	2.36	51.12	74.93	89.71	1976~1980
高碱流程	5.02	11.67	52.14	4.64	1.72	51.27	80.79	91.19	1981~1984
全浮-分离流程	5.18	11.83	50.11	5.04	1.54	50.55	81.98	90.30	1982~1983

5.4 铅锌矿选矿实例

5.4.1 广东凡口铅锌矿

凡口铅锌矿深部矿体是2000年以后的主要开采对象，位于狮岭北—320m至—650m标高，共有矿体28个，其中矿石储量超过50万t的矿体有6个。矿石类型为块状黄铁矿矿石和块状黄铁铅锌矿矿石。块状黄铁铅锌矿矿石的平均品位：Pb 4.77%、Zn 8.11%、Ag 90.58g/t、S 28.69%。

5.4.1.1 矿石性质

凡口矿原矿是由热液交代形成的细粒不均匀复杂嵌布的铅锌铁高硫复合硫化矿，原矿中主要金属矿物含量高达60%，黄铁矿约占40%。硫化矿物与脉石矿物关系密切、嵌布复杂，溶蚀交代现象严重。方铅矿和闪锌矿分别呈中细粒和

粗中粒不均匀嵌布，粒度小于 20 μ ，分别占 17%和 3.5%左右，因此，分选时原矿必须细磨。原矿(1999 年综合矿样)多元素分析结果见表 1，矿物组成见表 2，铅锌物相分析结果见表 3。

表 1 原矿多元素分析结果%

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe	F	S	Cu	As	Sb
含量	12.36	2.49	11.26	23.06	0.08	27.34	0.054	0.086	0.033
成分	Pb	Zn	Cd	Bi	Ag	Ge	Ga	Hg	
含量	4.52	9.62	0.019	0.004	91.20	22.20	60.00	35.50	

表 2 原矿矿物组成/%

矿物名称	方铅矿	闪锌矿	黄铁矿	毒砂	黄铜矿	黝铜矿	其它	合计
含量	4.8	13.9	43.6	0.25	0.10	0.05	0.3	59.00
矿物名称	石英	方解石	白云石	绢云母	硅灰石	其它	合计	
含量	10.1	15.8	7.20	7.30	0.40	0.20	41.00	

表 3 原矿铅锌物相分析结果/%

铅物相			锌物相		
类别	含铅	占有率	类别	含锌	占有率
硫化物	4.02	89.13	硫化物	9.34	97.09
氧化物	0.51	10.87	氧化物	0.28	2.91

5.4.1.2 工艺流程

凡口铅锌矿选矿厂自 1968 年投产以来，选矿技术人员围绕着如何提高选矿指标和经济效益，对铅锌浮选工艺进行了多次的变革，使生产规模由 1000t/d 扩大到 4100t/d，目前日处理矿石能力达 4500 t，铅精矿品位和回收率由 37.9%、74.13%提高到 58.5%、83.27%；锌精矿品位和回收率由 44.23%、90.06%提高到 53.7%、93.7%。电耗、药耗成本降低 25%以上。

80 年代初，确立了高碱、细磨、优先浮选在工艺中的核心地位；90 年代初，应用快速浮选、混合用药、添加黄铁矿抑制剂 PS 等一系列措施(高铅流程)对原高碱流程进行优化，选矿指标与经济效益由此得以大幅提高；1998 年应用电位调控技术对高铅流程的药剂制度进行优化(高碱电位调控流程)，调整混合捕收剂用量，取消了硫酸锌与 PS 抑制剂，产品质量得以提升，药剂成本也相应下降。

进入 2000 年，针对高碱电位调控流程所存在的问题(如流程冗长、金属流失大等)大胆创新，应用快速分支浮选技术对其进行一系列改进，选矿指标与经济效益得到进一步提高。目前的生产流程见图 1，生产指标见表 4。

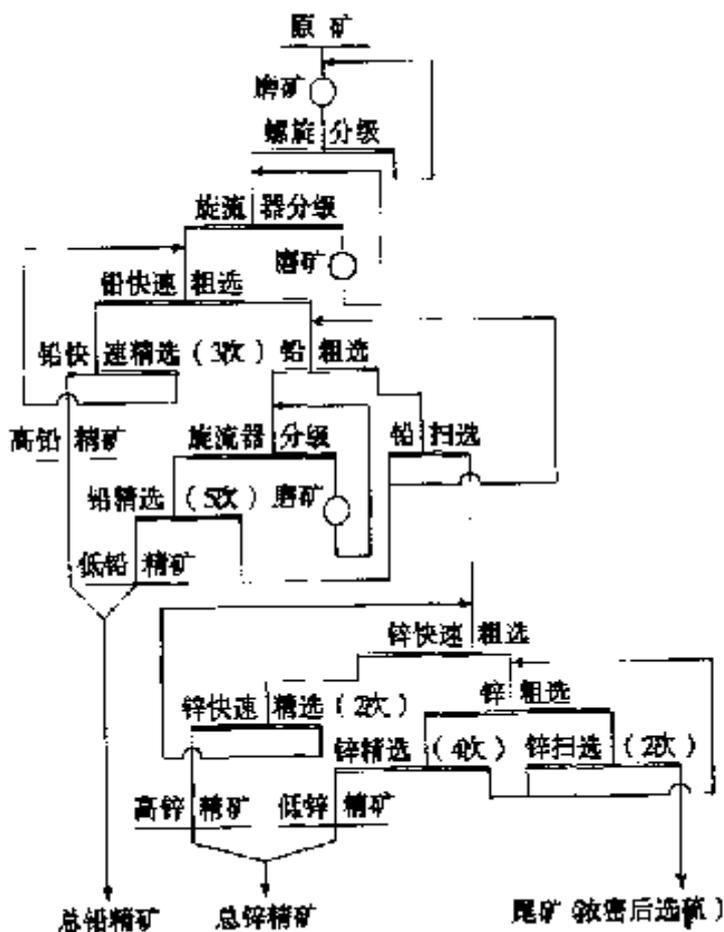


图 1 凡口铅锌矿目前生产流程

表 4 新工艺流程与原流程同期生产指标对比/%

工艺名称	原矿品位		铅精矿				锌精矿				尾矿品位	
	Pb	Zn	品位	Zn	回收率	品位	Zn	回收率	Pb	Zn	Pb	Zn
新工艺	5.28	9.36	58.69	3.59	85.43	2.95	1.37	52.95	4.27	93.40	0.72	0.45
原流程	5.28	9.37	58.50	3.43	85.24	2.84	1.36	52.89	4.27	93.72	0.73	0.43
差值	0	-0.01	0.19		0.21			0.06		-0.32		

备注:新工艺流程为 2000 年 I 系统生产统计指标,原流程为同期 II 系统生产统计指标。

(3) 技术进步

凡口铅锌矿长期的选矿生产实践,积累了许多宝贵的经验,解决了许多生产难题,创造了许多新的技术,较好地解决了高硫铅锌矿的选矿难题,取得了一流的选矿生产指标,主要的技术特点有:高碱药剂制度、原矿细磨和铅粗精矿再磨优先浮选的流程结构、采用新型的黄铁矿抑制剂 DS、采用优化比例的混合捕收剂、增加铅锌精选作业次数强化精选、采用快速浮选技术、异步混选流程结构等。选矿工艺技术日臻成熟,选矿指标有了质的飞跃,经济和社会效益显著。凡口铅锌矿的选矿工艺技术的进步为企业和国家作出了巨大的贡献。凡口铅锌矿选矿工艺流程的演变是不断摸索、发展、完善的过程,每一个工艺流程在其特定时期有其自身的价值,解决了一定的问题,作出了一定的贡献,也积累了许多经验。

工艺流程的特点为:(1)原则流程:铅锌混合浮选—分离—优先;(2)磨矿:粗磨—细磨—阶段磨选;(3)药剂制度:高消耗、有毒(氰化物)、恶臭(25号黑药等)—低消耗、无污染、组合药剂;(4)设备:大型化、耐磨、节能;(5)流程结构:简单(两次精选)—强化精选(包括快速精选、五次精选);(6)产品指标:低品位、高综合回收率、高经济效益。

凡口铅锌矿是我国大型铅锌矿山,原矿含硫较高。长期以来选硫工艺采用浮选法需要添加大量硫酸调节矿浆 pH 值,给生产管理和环境保护带来许多麻烦。为了寻找一种经济合理的选硫工艺,凡口矿与南方冶金学院合作,采用 ZXF 260 选矿机组对该矿浮选试验厂铅锌浮选尾矿进行选硫小型试验,在小型试验成功的基础上又进行了工业试验,连续运转 28 天,共处理浮选尾矿 1458 t,获得含硫 35% 以上的硫精矿约 200 t,实际回收率达 40.57%。

ZXF 260 选矿机组包括 ZXF 260 主机、900mm 及 600mm 双头矮体螺旋溜槽各一台,螺旋为三圈,径距比为 0.6:1,1.5 英寸的立式砂泵一台,机组电机总安装功率为 4.2kW,该机组安装操作方便、运行稳定。它是在机体上装有高频微幅振动器的异形筒体的振动旋流选矿设备,上部为圆柱体,中部为喇叭形筒体,下部是锅状盆体(如图 2 所示)。

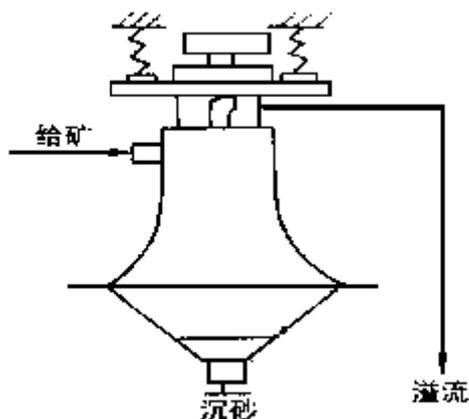


图2 选别原理图

凡口铅锌矿为了挖潜节能,对磨矿过程中的钢球种类及单耗进行了应用试验研究,结果表明低铬多元合金球用于金属矿山湿磨工艺,比高铬球、中锰稀土镁铸球磨矿费用更低,更具优越性

凡口铅锌矿在选矿废水资源化综合利用方面做了大量的工作并取得了很大的成绩。凡口铅锌矿通过在选矿废水资源化回收、澄清净化、浮选工艺循环利用及综合利用等技术的研究与应用,使废水回收利用率达到 85% 以上,实现了清洁矿山、保护环境,取得显著的经济效益和社会效益。

另外,凡口铅锌矿在稀有稀贵金属的回收、陶瓷过滤机的应用、计算机的应用、浮选自动控制、综合回收利用等方面中也投入了大量的人力物力,取得了可喜的成绩。

5.4.2 广东佛岗水窿尾铅锌矿

该矿床属中温热液交代矿床,其中铅平均品位 3.10%, 锌平均品位 3.74%, 铅锌贮量为 7.58 万吨。

5.4.2.1 矿石性质

矿石成分较简单,金属矿物主要为闪锌矿,方铅矿,黄铁矿,脉石矿物主要为石英、泥炭质等。原矿多元素分析见表 1, 矿物组成见表 2

表 1 多元素分析

元素	Pb	Zn	S	Fe	As	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量%	4.5	10.45	32.94	23.53	0.48	20.43	2.73

表 2 矿物组成

矿物	方铅矿	内锌矿	白铅矿	铅矾	菱锌矿	黄铁矿	石英等
含量%	3.38	13.99	1.31	0.84	0.66	50.30	25.83

以硫化铅存在的铅占 69.98%，以硫化锌存在的锌占锌金属的 94.41%。

嵌布粒度：方铅矿一般 0.02—0.2mm，纯矿物含 Pb 85.58%。闪锌矿一般 0.08—0.3m，纯矿物含 Zn 66.44%。

5.4.2.2 工艺流程

1985 年 6 月广州有色金属研究院对该矿石进行选矿试验，采用的流程为混合—分离流程。先将矿石磨至-200 目占 66%，然后进行硫化矿混合浮选，混合精矿磨至-200 目占 97%，加石灰和乙硫氮选铅，选铅尾再加石灰、硫酸铜，黄药选锌，选锌尾即为硫精矿。选矿原则流程见图 1。

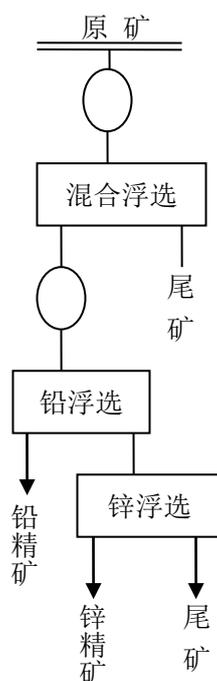


图 1 选矿原则流程

5.4.2.3 分选指标

铅精矿含 Pb 41.40%，Zn 12.30%，铅回收率 56.43%；锌精矿含 Pb 2.63%，Zn 47.50%，锌回收率为 82.89%。铅在尾矿中的损失率为 10.85%，在锌精矿中损失 10.76%，在硫精矿中损失 21.93%。由于矿石在湖水中受酸水浸蚀，淋滤、氧化变质从而影响了选矿指标。

5.4.3 广东龙门彭公山铅锌矿

彭公山矿区系地表氧化铅锌矿，原矿含 Pb 6.14%，含 Zn 12.34%，含 Ag 72.5g/t，是一个经济价值较高的矿体。

5.4.3.1 矿石性质

铅的有价矿物以方铅矿为主，其次为铅矾。铅的氧化率达 30%，锌矿物主要是铁闪锌矿，有少量闪锌矿，其他还有黄铁矿和磁黄铁矿，脉石矿物以钙铝榴石为主，其次为透辉石和绿泥石、石英、萤石等。矿石多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	Pb	Zn	Cu	S	Fe	H ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO
含量%	6.14	12.34	0.81	21.56	18.73	3.72	16.62	9.04	0.87

表 2 矿物组成

矿物	方铅矿	铅矾	闪锌矿	铁闪锌矿	磁黄铁矿	黄铁矿	钙铝榴石	透辉石
含量%	5.29	1.0	4.52	21.99	21.98	2.08	23.75	11.87

方铅矿中铅占有率为 67.83%，锌在硫化锌中占有率为 93.99%，铜有 53%为氧化铜。

嵌布粒度：方铅矿嵌布粒度较细一般为 0.01-0.05mm，与铁闪锌矿及磁黄铁矿连生。

铅矾的嵌布粒度为 0.01-0.03mm；铁闪锌矿嵌布粒度为 0.01-0.1mm；磁黄铁矿嵌布粒度为 0.05-0.5mm。矿石受风化腐蚀作用严重，铅、铁矿物氧化率高，可溶性盐多，使矿石难选。

5.4.3.2 选矿工艺

如果获得铅精矿时回收率低，氧化铅不能得到合格精矿。因此采取产铅、锌混合精矿的方案。

选矿工艺为：将原矿磨至-200 目占 90%，用乙基黄药作捕收剂进行硫化矿混合浮选得混合粗精矿，其尾矿浓密脱水脱除可溶性盐以后，分段用 Na₂S 硫化氧化铅矿，浮选得氧化铅精矿。混合粗精矿进行铅、锌与硫的分离，采用石灰与氢氧化胺或采用氰化物法来抑制黄铁矿、磁黄铁矿的方法来获铅锌混合精矿。选矿流程为图 1 所示。

5.4.3.3 分选指标

铅锌混合精矿产率为 40.33%，含 Pb 12.63%，Zn 30.12%，Ag 149.7g/t。

铅回收率为 82.25%，锌回收率为 93.55%，银回收率为 84.11%。

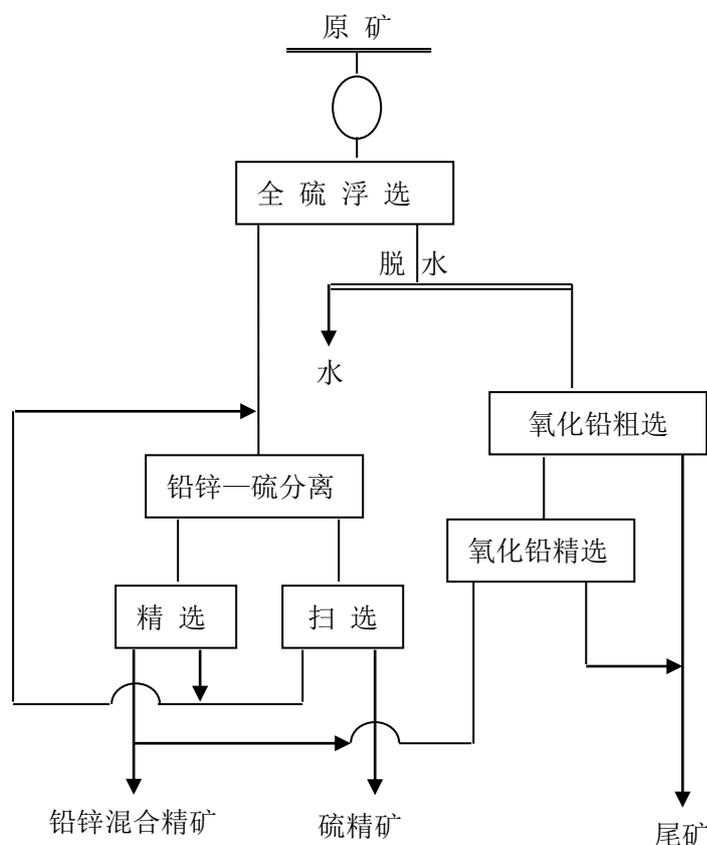


图 1 选矿原则流程

5.4.4 银针潭硫化锌矿

银针潭矿位于龙门县银针潭，距龙门县 45km，该矿石属于中温热液矿床，矿床产于二长花岗岩，内生接触带，为一交代接触矿床。

5.4.4.1 矿石性质

矿床属含锌硫化矿床，矿物组成比较简单，矿石多元素分析结果见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	Zn	Fe	S	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
含量%	8.64	7.11	4.71	41.88	21.8	3.36	3.47

表 2 矿物组成

矿物	闪锌矿	黄铁矿	钙铝榴石	透辉石	石英	萤石
含量%	14.58	0.91	52.30	12.37	17.19	1.8

矿石中闪锌矿是唯一有价成分。闪锌矿嵌布粒度一般 0.1-0.3mm，容易解离。

5.4.4.2 选矿工艺

把矿石磨至-200 目占 67-77%，以石灰作抑制剂，CuSO₄作活化剂，用乙黄药作捕收剂，一粗一精一扫，就可得到锌精矿。锌精矿品位达到 55.30%，回收率达 98.29%。

5.4.5 龙门上苍硫化铅锌矿

5.4.5.1 矿石性质

龙门上苍铅锌矿属沉积——轻微改造层控矿床。金属矿物主要有方铅矿，闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、脉石矿物主要有石英、方解石、白云石，绢云母等，原矿多元素分析结果见表 1，矿物组成见表 2

表 1 多元素分析

元素	Pb	Zn	Fe	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na	K
含量%	1.58	7.83	12.76	16.72	30.10	6.98	6.99	4.43	2.64

表 2 矿物组成

矿物	方铅矿	闪锌矿	黄铁矿	白云石	方解石	石英	绢云母	毒矿
含量%	1.5	11.5	23.0	5.0	9.8	24.0	17.9	0.7

在原矿中、硫化铅占总铅金属的 88.67%，硫化锌占总锌金属的 98.39%，硫化铁占总铁的 89.42%。嵌布粒度：方铅矿一般在 0.05-0.15mm 之间，方铅矿与闪锌矿、黄铁矿等不规则嵌布。闪锌矿一般为 0.07-0.3mm 之间，较方铅矿粗。

5.4.5.2 选矿工艺

广州有色金属研究院于 1988 年进行选矿试验。选矿工艺为：磨矿粒度-200 目占 78%，以石灰、硫酸锌和硫代硫酸钠作锌硫矿物的抑制剂，乙硫氮作铅的捕收剂，2#油起泡剂，进行铅浮选，经一次粗选一次扫选六次精选得铅精矿，浮铅尾加石灰，硫酸铜，黄药，2#油等浮选药剂进行锌浮选一粗一扫三精得锌精矿，锌尾加硫酸和黄药进行硫浮选得硫精矿。

5.4.5.3 选矿指标

铅精矿产率 2.43%，品位 49.40%，含 Zn 9.14%，铅回收率 80.91%。锌精矿产率 14.01%，含 Pb 0.59%，Zn 52.95%，锌回收率 94.48%。硫精矿产率 25.52%，含 S 42.40%。62% 的 Ag 富集在铅精矿中，达 1775g/t，锌精矿中富集 21.24%，达 104g/t。

5.4.6 玉水铜铅锌矿石

玉水铜铅锌矿在梅县葵岭多金属矿区，玉水矿段。该矿属沉积改造热液迭加矿床，主要有用矿物为黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等，脉石矿物为石英、长石、绢云母。该矿平均品位为 Cu 4.08%，Pb 1.85%，Zn 3.28%，已建有简易选厂，矿方认为铅高且铅铜比大的矿石难选，因此本试验工作针对铅高的矿石进行。

5.4.6.1 矿石性质

原矿多元素分析结果见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	Cu	Pb	Zn	S	Fe	As	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ca
含量%	8.67	19.43	2.93	16.18	22.31	0.014	13.65	1.07	0.97

表 2 矿物组成

矿物	黄铜矿	方铅矿	闪锌矿	斑铜矿	黄铁矿	赤铁矿	菱铁矿	石英	绢云母
含量%	24.11	21.94	3.10	1.81	9.02	8.77	8.97	15.84	2.95

原生硫化铜中铜占 79.88%，次生硫化铜占 17.18%。

硫化铅占总铅的 90.47%，硫化锌占总锌的 82%。

嵌布粒度：黄铜矿一般为 0.04-0.08mm，与方铅矿、闪锌矿紧密嵌布，方铅矿一般为 0.02-0.08mm，闪锌矿一般为 0.05-0.2mm

5.4.6.2 分选工艺

广州有色金司研究院于 1986 年进行选矿试验。先将矿石磨至 200 目占 89%，预先搅拌，然后再加入硫酸锌和乙黄药进行铜铅混合粗选，粗选之粗精矿磨至 -0.043mm 占 93%，然后加入 Na₂SO₃ 和 Fe₂(SO₄)₃ 抑铅，再加入黄药浮铜得铜精矿，槽内产品为铅精矿。铜铅混合粗选的尾矿再加入 CuSO₄ 和黄药浮锌得锌精矿。

5.4.6.3 分选结果

闭路试验得到如表 3 的结果

表 3 分选结果

产品	产率%	品位%				回收率%			
		Cu	Pb	Zn	Ag g/t	Cu	Pb	Zn	Ag
铜精矿	30.42	24.09	5.62	0.95	212.5	84.14	8.80	9.69	39.97
铅精矿	32.29	3.35	52.19	4.85	250	13.16	86.74	52.50	49.91
锌精矿	3.54	2.24	11.99	16.24	140	0.92	2.18	18.54	7.05

存在问题：铅精矿含铜偏高。锌的精矿达不到要求。

6、钨、钼、铋矿

6.1 矿石一般工业要求

6.1.1 钨矿石一般工业要求

钨矿石一般工业要求

项目	黑钨石英脉型	白钨矽卡岩型	砂矿
边界品位 WO_3 %	0.08-0.1	0.1-0.12	0.02
工业品位 WO_3 %	0.12-0.18	0.15-0.2	0.04
可采厚度 M	0.8-1	1	0.5
夹石剔除厚度 M	2-3	2-3	2

钨矿床伴生组分综合评价

元素	Cu	Zn	Pb	Sn	Mo	Bi
含量%	0.05	0.5	0.2	0.03	0.01	0.03
元素	Ta_2O_5	Nb_2O_5	BeO	Sb	Co	
含量%	0.01	0.08	0.03	0.5	0.01	

6.1.2 钼矿石一般工业要求

钼矿床一般工业要求

项目	露天开采	地下开采
边界品位%	0.03	0.03-0.05
工业品位%	0.06	0.06-0.08
可采厚度 m	2-4	1-2
夹石剔除厚度 m	4-8	2-3

钼矿床伴生组分综合评价

元素	Cu	Zn	Pb	WO_3	Fe	S	Bi	Re
含量%	0.06	0.1	0.2	0.4	10	1	0.03	10g/t

6.1.3 铋矿石一般工业要求

铋矿床单独开采时，其工业品位一般为 0.5% 左右。单一的铋矿床是极少见的，大部分是在生产铜、铅、钴、镍、钨、银、碲、钼、锡等多金属矿石时综合回收的。

6.2 矿石类型及工业分布

6.2.1 钨、钼、铋矿石类型

广东的钨、钼、铋矿产发现较早，遍及全省 70 个县。钨产地有 449 处，以粤北储量较多。钼产地共有 62 处，铋产地有 29 处，多半与钨矿共生。以钼为主

的矿区仅有曲江大宝山及五华白石嶂两地,与钨共生。单独铋矿仅有怀集蒲屏岭、英德长岗岭及广州市龙眼洞三处。

钨、钼、铋矿床的工业类型有下列几种:

- (一) 云英岩型矿床, 占钼总储量的 4.4%, 如高要县鸡笼山。
- (二) 矽卡岩型矿床, 占钨总储量的 2.3%, 钼总储量的 4.0%, 如曲江的一六及曲江大宝山的船肚区段。
- (三) 热液充填脉状矿床
 1. 石英大脉、细脉、薄脉型矿床。这是主要的钨矿类型, 占钨总储量的 76.80%, 铋总储量的 13.2%, 钼总储量的 8.6%, 如始兴的石人嶂、连平的锯板坑。
 2. 细脉浸染型矿床, 占钨总储量的 14.2%, 钼总储量的 6.5%, 如澄海的莲花山矿。
 3. 锡石硫化物型矿床, 仅占钨总储量的 0.2%。
- (四) 斑岩型矿床, 占钨总储量的 5.9%, 铋总储量的 2.5%, 钼总储量的 76.3%, 如曲江大宝山矿区的大宝山段。
- (五) 风化壳、残坡积及冲砂矿床, 占钨总储量的 0.6%, 如乳源县上头榜。
- (六) 其他类型伴生矿, 占铋总量的 84.4%, 钼总储量的 0.2%, 如曲江大宝山。

6.2.2 广东省钼矿资源分布

广东有大型钼矿床一处, 中型矿床 6 处, 其余为小型矿床。以钼为主体的矿床有高要县鸡笼山、曲江县大宝山钼矿、五华县白石嶂、化州县坡子营、从化县圭峰、海丰县石厝、饶平县溪西、琼海县梅岭、阳春县林湾等 10 处, 其余的多为钨的伴生矿产。

历年累计探明的储量 3.83 万吨, 远景储量 19.70 万吨; 1985 年末保有工业储量 3.20 万吨, 远景储量 19.66 万吨; 此外有尚难利用的储量 19.81 万吨。

广东省钼矿分布

矿点	矿石类型	贮量万吨		品位%	
		Mo		Mo	
曲江大宝山		1.90			
五华白石嶂		1.12		0.058	
焦岭贵人峰		0.45			
饶平溪西		0.43			

高要鸡笼山		8.79			
阳春林湾		1.89			
化州坡子营		2.87			
惠东县石门山		0.11			
廉江南和		0.55			
五华县山都哇树塘钼矿	热液充填	0.046	WO ₃ 0.040	0.55-1.64	WO ₃ 0.17-2.15
丰顺县八乡蛭湖钼钨矿	石英脉	0.14		2	
丰顺县沙田九碌铜矿	石英脉	0.021		0.128	
阳春县牛山钼矿	石英脉	0.030		0.25	

6.2.3 广东省钨矿分布

广东省钨矿资源分布

矿点	矿石类型	贮量万吨		品位%	
		WO ₃		WO ₃	
龙门县下兰钨矿	石英脉型	0.07		0.91	
龙门县平凌径钨矿	石英脉	1		0.52	
乐昌县和尚田钨矿	浸染型风化壳	0.27		0.252	
乐昌县西坑钨铜矿	石英脉	0.17	Cu 0.16	0.64	Cu 0.31
乐昌县杉木洞钨矿	石英脉	0.036		0.48-1.2	
仁化县茶头山钨矿	石英脉	0.067		0.57	
南雄南山坑钨矿	石英脉	0.067		0.4-1	
曲江县一六钨矿	矽卡岩白钨	0.41		0.65	
曲江县瑶岭北峰坳钨矿	石英脉	0.054		0.87	
始兴县椒子斜钨矿	石英脉	0.41		0.3	Mo 0.018
始兴县沟子坑钨矿	石英脉	0.21		0.26	
始兴县黄竹山钨矿	石英脉	0.025		0.83	
始兴县石壁坑钨矿	石英脉	0.024		1.02	
连平县豆地坪钨矿	石英脉	0.19		0.45-0.75	
连平县鸡啼石钨矿	石英黑白钨	0.23		0.13-0.68	
紫金县庄田钨矿	石英脉	0.047		0.53-1.52	
博罗县战斗钨矿	石英脉	0.276		2	
博罗县下炉底钨矿	石英脉	0.036	Be0.013	1.5-5.4	
博罗县网顶钨矿	石英脉	0.023		0.48-0.68	
惠东县伯公坑钨矿	石英脉	0.061		0.12-0.48	
惠东县石株樟钨矿	石英脉	0.043		0.95	
惠东县羊耳樟钨矿	黑、白钨	0.035		0.68	
宝安县布吉其头山钨矿	石英脉	0.13		0.28	
平远县葫芦岗钨矿	石英脉	0.15		0.3-0.6	
焦岭县牛背坑钨矿	黑钨	0.096		0.21-0.6	
梅县三曲坊钨矿	石英脉	0.032	Cu 0.007	0.66	Cu 0.43
大埔县玉尺坑钨矿	石英脉	0.021		0.31-0.55	

五华县羊石樟钨矿	石英脉	0.079		0.48	
五华县高山寨钨矿	石英脉	0.41		1.2	
五华县九龙潭钨矿	石英脉	0.16		0.48-0.76	
五华县瑶窝里钨矿	石英脉	0.268	Cu 0.004	0.52-1.21	Cu 0.4
丰顺县喜寮钨矿	石英脉	0.081		1	
揭西县塘湖山钨铍矿	石英脉	0.069	BeO 0.025	0.61	BeO 1.2
潮安县飞蛾山钨矿	石英脉	0.056		0.3	
海丰县陶河钨矿	黑钨、白钨	0.40		0.3	
新会县螺山钨矿	石英脉	0.13	Bi 0.012	2.28	Bi 0.21
怀集县白鹤山钨矿	石英脉	0.31		0.6	
四会县小坑钨矿	石英脉	0.083		0.56	
四会县清东钨矿	石英脉	0.13		0.37	
云浮县大钳山钨锡矿	石英脉	0.10		0.75	Sn 0.25
阳春县上洞钨矿	石英脉	0.035		1.22	
电白县大河钨铋矿	石英脉	0.035	Bi 0.004	0.14	Bi 0.18
电白县佛子楼钨铍矿	石英脉	0.029		0.86	
曲江县瑶岭钨矿	黑钨	1.1		0.22	
始兴县梅子窝钨矿	黑钨	1.0		0.252	
始兴县石人樟钨矿	黑钨	0.6		0.184	
翁源县红岭钨矿		1.1		0.24	
乐昌县龙脰钨矿		0.19		0.22	
南雄县棉土窝钨矿		0.46		0.241	
澄海县莲花山钨矿		1.5			
连平县锯板坑钨矿		1.4		0.23	
紫金县鸡笼山钨矿		0.057		0.31	
阳春县小南山钨矿		0.43		0.197	

6.2.4 广东省铋矿分布

铋有大型矿床 1 处，其余的均为小型矿床，多为钨、钼等矿的伴生矿产。已探明单独的铋矿只有英德长岗岭一处。历年累计探明的铋储量有工业储量 1.09 万吨，远景储量 7.54 万吨。1985 年末保有工业储量 3268 吨，远景储量 7.09 万吨。

广东省铋矿分布

矿山名称	累计探明		1985 年末保有	
	A+B+C	D	A+B+C	D
曲江大宝山		58707		58312
曲江瑶岭		2687		1331
翁源红岭		3719		2936
南雄棉土窝	2282	811	1608	564
澄海莲花山		3434		1827
英德长岗岭		1483		1426

6.3 钨、钼、铋选矿实例

6.3.1 广东省大宝山石英网脉型钼矿

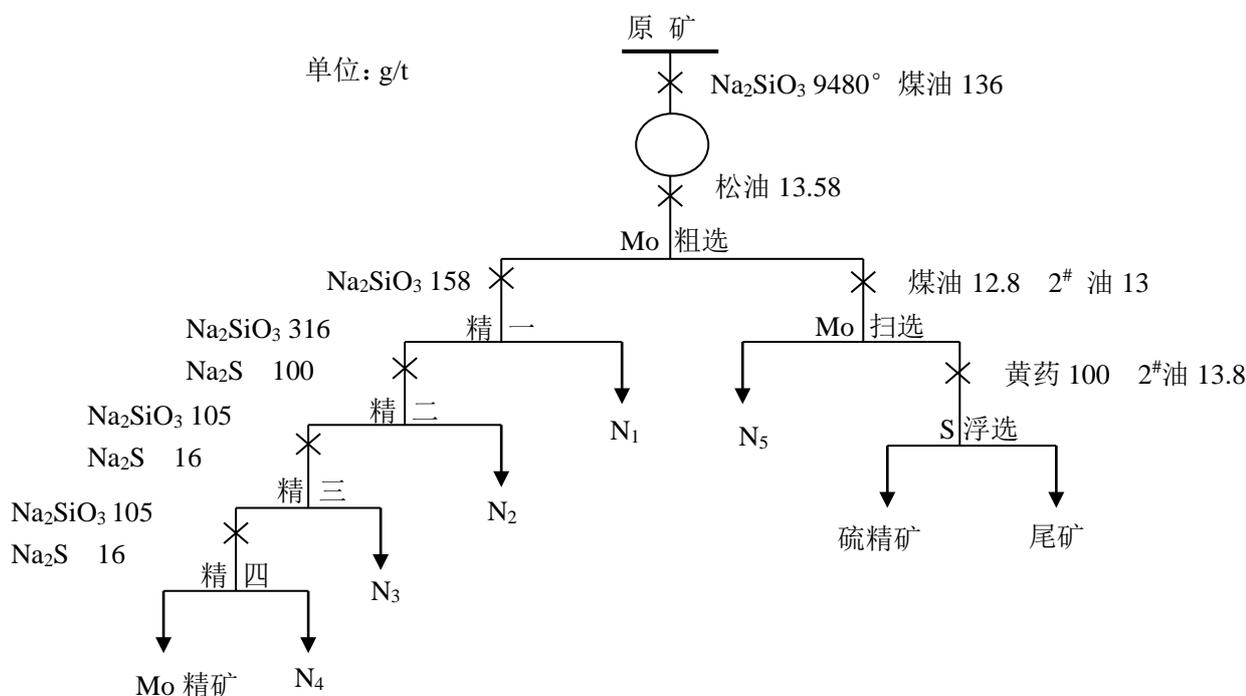
大宝山石英网脉型钼矿位于广东省韶关专区韶关市南东方向，距离 30 公里，在广东省曲江县沙溪公社境内，有铁路支线直达，约 15 公里，并有公路直通各开采区。

大宝山钼矿主要有用矿物为辉钼矿(约占 0.11%矿物量)和黄铁矿(约占 9.8%矿物量)。其余为少量的褐铁矿以及磁铁矿、黄铜矿。脉石矿物主要为石英和绢云母，两者矿物量约占 85%左右，其余为方解石、黑云母、金红石以及磷石灰、白钨、锆石和萤石等。从选矿回收的有用矿物出发，对下列矿物进行定量，其结果列表如下：

矿物名称	辉钼矿	黄铁矿	褐铁矿	磁铁矿	石英	绢云母	方解石	其它
矿物量 (%)	0.11	9.8	1.1	0.03	59.7	24.5	2.9	1.86

原矿多元素分析结果为：Mo 0.067%，S 5.68%，Fe 5.5%，SiO₂ 69.54%，Al₂O₃ 10.40%，WO₃ 0.023%。

物相分析结果表明，硫化钼占 97.01%。当矿石磨至-200 目占 90%时，辉钼矿和黄铁矿基本上单体解离。



开路试验流程图

试验结果：钼精矿含 Mo 47.34%，回收率 87.65%，硫精矿含 S 42.24%，回收率 95.81%。

现将主要金属矿物和非金属矿物简述如下：

1. 辉钼矿 (MoS_2)：铅灰色矿物，反光下为灰白色，硬度小，呈片状和细小鳞片状集合体，以浸染细脉状填充于石英脉中与石英连生，一般粒度 0.05~0.07m/m，最大粒度为+0.32m/m。
2. 黄铁矿 (FeS_2)：以自形半自形式星点状浸染于脉石中，也有脉状嵌布。极个别的黄铁矿包裹着黄铜矿。一般粒度为 0.13~0.32m/m。
3. 石英 (SiO_2)：成不等粒状，有的为齿状紧密嵌布。石英除自身的脉状外，有的还与绢云母紧密共生，细脉穿插。石英细脉中填充着辉钼矿。
4. 绢云母 (白云母)：呈细小鳞片状集合体与石英紧密共生，也有白云母单独组成的集合体。
5. 褐铁矿 ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)：为交代黄铁矿而具有黄铁矿的假象。
6. 黄铜矿 (CuFeS_2)：以粒状嵌布于脉石中或以油滴状镶嵌于黄铁矿中。
7. 磁铁矿 (Fe_3O_4)：呈粒状分散于脉石中，少量与黄铁矿连生。
8. 方解石、金红石、磷灰石、白钨、锆石、黑云母、萤石等：以自形或半自形粒状 (黑云母为片状，金红石亦具有细小的针状集合) 嵌布于石英绢云母中。

6.3.2 广东红岭矿区细脉钨钼矿床

红岭钨矿位于韶关地区，在开展脉状矿床勘探时，发现一种细脉浸染型的钨钼矿床，规模较大。原矿含 WO_3 0.15%，Mo 0.022%，Bi 0.022%，Cu 0.055%。其物相分析表明：白钨占 71%，硫化钨占 86%。主要矿物组成为：白钨矿 0.1033%，黑钨矿 0.0622%，辉钼矿 0.033%，黄铜、黄铁矿 0.317%，磁黄铁矿 0.122%，辉铋矿 0.006%，萤石 0.332%，长石 44%，石英 36%，云母 16%。白钨矿结晶粒度为 0.1~0.12mm，黑钨矿粒度为 0.08mm 居多，辉钼矿粒度较钨矿物粗。试验采用两段磨矿，(第一段磨矿粒度为-2mm，第二段磨矿粒度为-0.5mm) 磨矿后采用单一重选流程回收钨，分选指标钨精矿品位 25.28%，回收率 66.91%。

回收钼采用浮选流程，采用浮选法，一粗四精，以煤油为捕收剂，2[#]油为起泡剂， Na_2S 为调整剂，钼精矿品位达 48.64%，回收率为 74.16%。

6.3.3 广东南山钨矿

南山钨矿位于广东省阳春县。

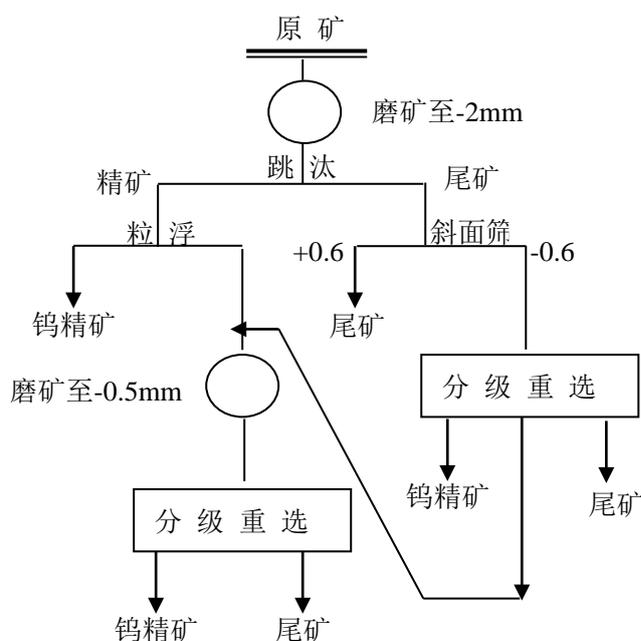
南山钨矿矿体围岩分两部分，上部矿体围岩为变质岩，黑钨嵌布粒度粗，多数在+2mm 粒级。1977 年建有 250t/d 选厂。采用流程为原矿碎至 40mm 后，手选丢废，合格矿碎至-12mm，分级跳汰选，获得钨精矿，再磨至-2mm，分级重选，得钨精矿。原矿含 WO_3 0.22%，Bi 0.054%，Mo 0.02%，Sn 0.099%。

1978 年广州有色金属研究院进行了由 250t/日扩大到 500t/d 选矿新工艺试验。主要新工艺为：

1. 用磁光选矿处理 40~20mm 原矿，预先丢废，废石丢弃率达 90.3%；
2. 经分级跳汰选后，跳汰尾矿经斜面筛丢尾矿砂（+0.4~0.6mm），产率占 70%；
3. -0.4~0.6mm 部分矿石采用湿式强磁选和摇床相结合流程，代替原来的单一重选流程。

南山钨矿深部围岩为花岗岩，矿石中主要金属矿物是黑钨矿，其次为辉钼矿、辉铋矿、黄铜矿等。主要脉石矿物为石英、英石、绢云母和方解石等。黑钨矿嵌布粒度细，0.5~0.4mm 粒级中，解离率只有 70%。

原矿含 WO_3 0.315%，Mo 0.026%，Bi 0.046%，Cu 0.038%。试验原则流程见下图。试验结果：钨精矿品位 23.8%，回收率 82.26%。



6.3.4 广东省廉江县南和钨矿区白钨矿床

南和白钨矿床位于广东省廉江县，属中、高温热液充填矿床。

原矿多元素分析结果： WO_3 0.22%，Cu 0.11%，Mo 0.026%，Bi 0.05%。钨物相分析表明，白钨占 85.27%，黑钨占 12.82%；钼物相分析表明，辉钼矿中的钼占 96.15%；铜物相分析表明，硫化铜占 65%，自由铜、结合铜占 35%。

矿物组成为：白钨矿 0.252%，黑钨矿 0.035%，辉钼矿 0.05%，辉铋矿 0.05%，黄铜矿 0.15%，角闪石 48.11%，石英 32.71%，云母 8.41%，绿泥石 6.5%。

嵌布粒度：白钨矿 0.5~0.074mm，黑钨矿 0.1~0.08mm，辉钼矿 0.5~0.1mm，黄铜矿 0.5~0.05mm。

广州有色金属研究院 1983 年进行了可选性试验，试验流程为两段磨矿，两段重选的流程。磨矿粒度分别为-1mm 和-0.4mm。重选得粗精矿，粗精矿含 WO_3 4.21%，回收率 74.95%。粗精矿中的粗粒用台浮分出硫化矿，细粒部分用浮选法分出硫化矿。然后用磁选法分出白钨精矿和黑钨精矿。

分选指标：白钨精矿品位 70.30%，回收率 52.74%，黑钨精矿品位为 62.05%，回收率为 2.15%。精选出的硫化矿磨矿后，采用优先选钼，再进行铜、硫分离的流程，铜精矿含 Cu 20.08%，回收率 30.82%，钼精矿含 Mo 38%，回收率 40%。

6.3.5 锯板坑钨矿

锯板坑钨矿原有 125t/d 规模的小选厂，采用重一浮一磁流程回收钨，但回收率较低，伴生的铜铅锌基本未回收。广州有色金属研究院于 2000 年进行了选矿扩大试验，对钨、铅、锌、铜、锡进行综合回收。目前已建成日处理 1000 吨的选矿厂，综合回收钨、铅、锌、铜、锡。

6.3.5.1 矿石性质

原矿多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	WO_3	Sn	Cu	Pb	Zn	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO
含量%	0.66	0.16	0.3	0.26	0.93	5.27	65.28	9.2	1.45

表 2 矿物组成

矿物	黑钨矿	锡石	方铅矿	黄铜矿	铁闪锌矿
含量%	0.867	0.218	0.264	0.818	1.519
矿物	磁铁矿	黄铁矿	毒砂	黄玉	石英、绿泥石
含量%	0.408	1.205	1.523	9.235	83.218

矿石中的钨、锡、铜、铅、锌分别以黑钨矿、锡石、黄铜矿、方铅矿、铁闪锌矿的形式存在，在其它矿物中分散很少。

主要矿物的嵌布粒度：

黑钨矿：一般粒度为 0.6~8mm，以粗粒为主；

锡石：晶粒不均，常见为 0.2~0.6mm；

黄铜矿：大多为 0.08~0.6mm；

方铅矿：一般为 0.2~1mm，多与黄铜矿、铁闪锌矿、黄铁矿等共生；

铁闪锌矿：一般为 0.1~0.8mm。

6.3.5.2 选矿流程

粗选段：将原矿破碎至-12mm，然后粗粒级跳汰选，-1mm用螺旋选矿机选，获得粗精矿，其尾矿进行磨矿至 0.6mm，分级重选得粗精矿。两段选的粗精矿碎至-1.2mm，粗粒用抬浮脱硫化矿，细粒用浮选脱硫化矿。脱除硫化矿后，用磁选法获得黑钨精矿，非磁部分用重选法回收锡石得锡精矿。

抬浮硫化矿及浮选硫化矿磨矿至-0.2mm，采用优先浮选流程，依次浮选得铜精矿、铅精矿和锌精矿，其原则流程见图 1。

6.3.5.3 分选指标

产品	品位%	回收率%
钨精矿	60.882	86.005
钨中矿	39.170	3.817
锡精矿	50.007	63.273
锡中矿	9.656	11.225
铜精矿	24.14	69.685
铅精矿	43.36	69.525
锌精矿	50.29	71.70

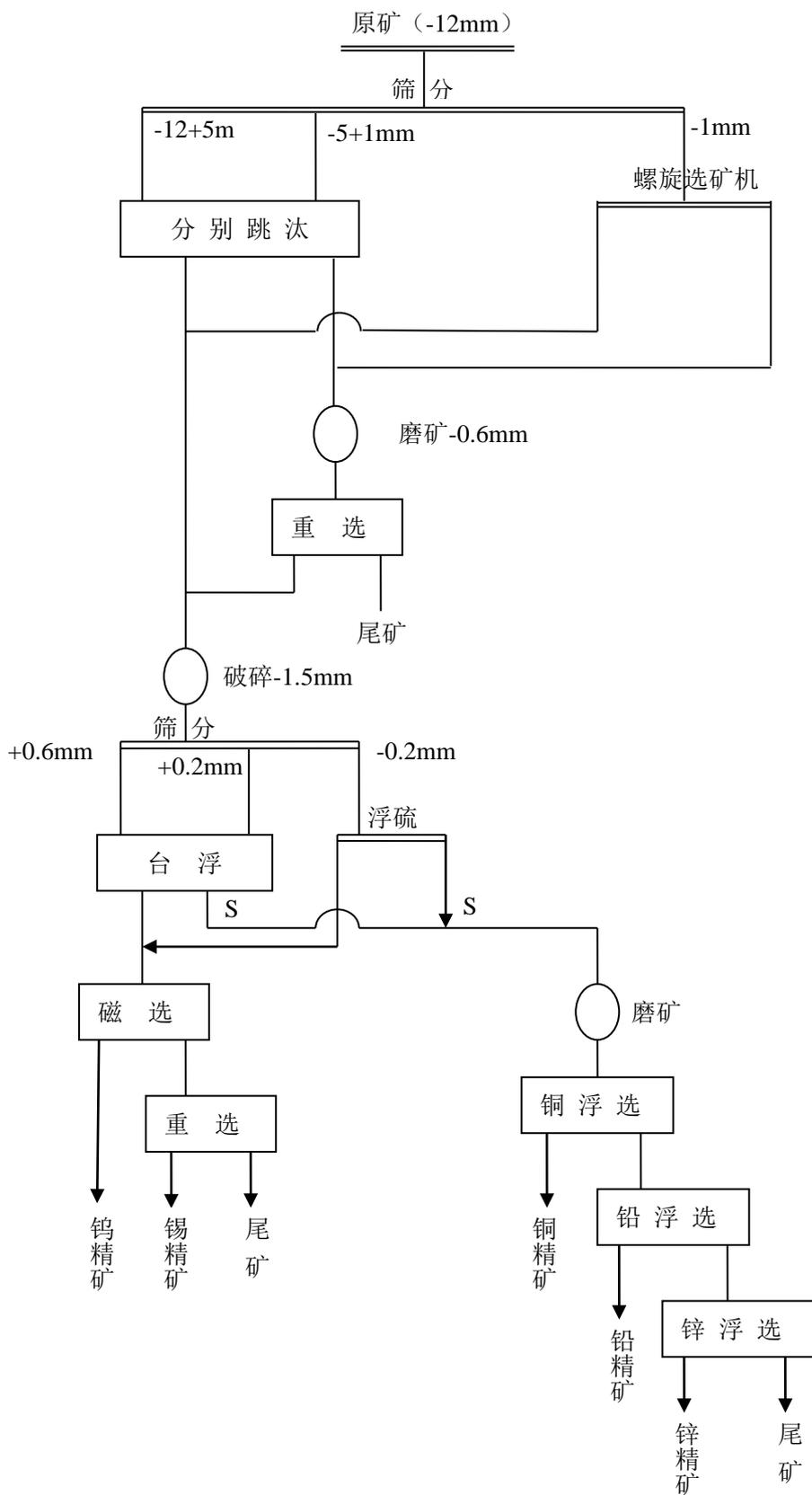


图 1 选矿原则流程

6.3.6 广东鸡笼山钨矿

鸡笼山钨矿位于广东省紫金县，其保有钨贮量 575t，远景贮量 829t。鸡笼山矿属热液充填、石英脉型黑钨—白钨矿床，现有生产选厂（规模不清）。1986 年为改造选厂，广州有色金属研究院进行了选矿试验。

6.3.6.1 矿石性质

矿石中主要有用矿物为白钨矿、黑钨矿。多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	WO ₃	S	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cu	P	TiO ₂
含量%	0.53	1.19	4.65	53.98	11.45	0.016	0.36	0.45

表 2 矿物组成

矿物	白钨矿	钨华	黑钨矿	毒砂	磁黄铁矿	脉石	黄铁矿
含量%	0.411	0.01	0.198	0.995	0.155	96.413	1.637

嵌布粒度：

白钨矿一般 0.2~1mm，最大 20mm，少量小于 0.074mm；

黑钨矿一般 0.2~1mm，最大 25mm。黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂一般嵌布粒度为 0.2~1mm，最大 25mm。

钨在白钨矿及黑钨矿赋存的占 91.81%。

6.3.7.2 选矿工艺

根据白钨、黑钨嵌布粒度较粗的特点，采用以重选为主的选矿工艺回收钨。精选采用浮选脱除硫化矿然后用强磁选获得黑钨精矿，用电选获得白钨精矿。选矿原则流程见图 1。

6.3.6.3 选矿指标

白钨精矿产率 0.366%，含 WO₃ 67.17%，回收率 46.28%；黑钨精矿产率 0.27%，含 WO₃ 66.70%，回收率 33.89%；钨中矿产率 0.043%，含 WO₃ 48.488%，回收率 3.93%。

6.3.6.4 精矿质量

精矿一般含 S、As 较高，需要用焙烧法脱除，黑钨精矿焙烧后含 WO₃ 66.70%，Sn 0.19%，As 0.072%，S 0.55%，P 0.013%；白钨精矿含 WO₃ 67.24%，Sn 0.17%，P 0.01%。

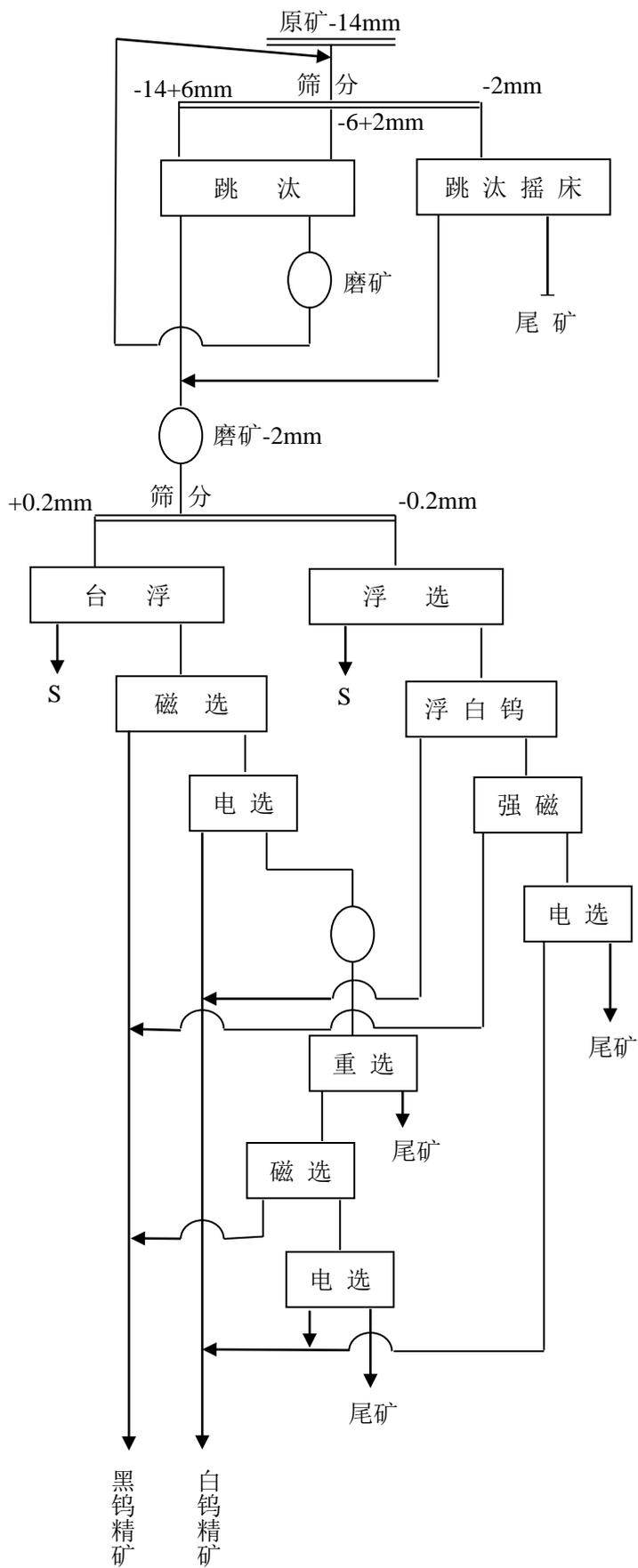


图 1 选矿原则流程

6.3.7 莲花山钨矿

莲花山钨矿位于广东省澄海县的东北部，是一高中温热液矿床，工业类型为网脉状硫化物黑白钨矿床。该矿石属于难选矿石，矿物嵌布粒度细，共生关系复杂，钨的分散率较高。

1958年已建选厂，主要处理3#矿体矿石。选厂的粗选部分，采用的工艺主要为重选工艺，粗选得粗精矿品位3.69% WO₃，回收率为69.97%。广州有色金属研究院于1978年进行了精选工艺研究。

6.3.7.1 矿石性质

原矿多元素分析见表1，矿物组成见表2。

表1 多元素分析

元素	WO ₃	As	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Ca	P	Co
含量%	0.5	0.92	8.66	61.49	11.45	0.7	0.071	0.033

表2 矿物组成

矿物	黑钨矿	白钨矿	磁黄铁矿	黄铁矿	毒砂	石英	绿泥石绢云母	黄铁矿
含量%	0.21	0.30	2.35	3.07	2.08	52.63	25.08	4.03

嵌布粒度：

白钨矿一般为0.04-0.1mm，与硫化矿、石英密切连生；黑钨矿一般为0.04-0.1mm，常与褐铁矿连生。钨在白钨矿中分布率为47.40%，在黑钨矿中分布率为30.78%，合计可回收钨占有率为78.18%。

钴主要分布在毒砂中和斜方砷铁矿—斜方砷钴矿中。

6.3.7.2 精选选矿工艺

本试验是对选厂的粗精矿进行的精选试验。精选流程为：先将毛砂矿磨至-200目占85%，浮选脱硫，再白钨浮选得白钨精矿，槽内产品用重选法回收黑钨。选矿原则流程见图1。

6.3.7.3 选矿指标

白钨精矿品位68-71%，回收率50%以上；黑钨精矿品位63%，回收率20%；含钴硫化矿含Co 0.6%。

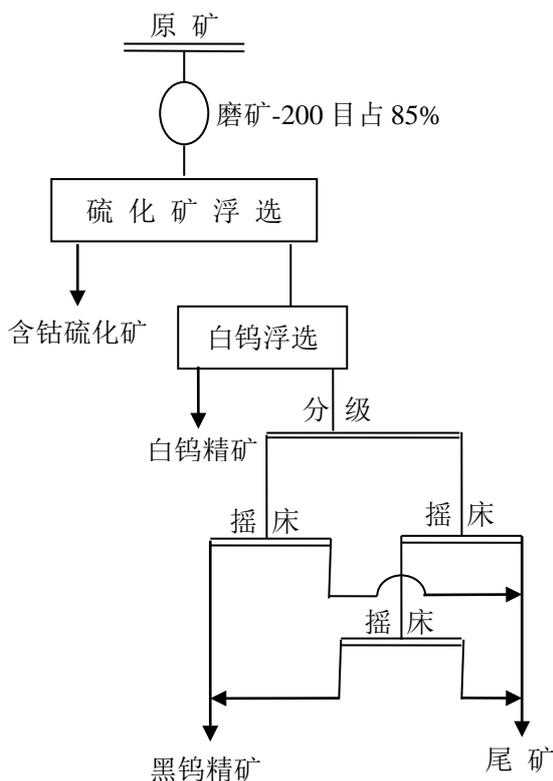


图1 选矿原则流程

6.3.8 广东棉土窝钨矿

广东棉土窝钨矿是广东省老钨矿山，矿石中除含钨之外，还含有较丰富的铋、钼、铜等有用金属。棉土窝矿采用以重选为主的选矿流程获得钨粗精矿送韶关精选厂精选。

棉土窝矿的铋、钼、铜主要赋存在硫化矿中。硫化矿与钨矿分离是用台浮法进行。1989年广州有色金属研究院对台浮硫化矿进行综合回收试验。

6.3.9.1 矿石性质

台浮硫化矿的多元素分析见表1，矿物组成见表2。

表1 多元素分析

元素	Cu	Bi	Mo	WO ₃	Pb	Zn	Si	Ag g/t
含量%	14.30	13.65	1.64	5.68	2.36	3.33	7.5	702

表2 矿物组成

矿物	黄铜矿	辉铜矿	辉钼矿	辉铋矿	黑钨矿	方铅矿	闪锌矿	黄铁矿	其他
含量%	18.46	11.53	2.37	13.13	7.05	3.21	4.95	15.63	18.35

6.3.8.2 选矿工艺

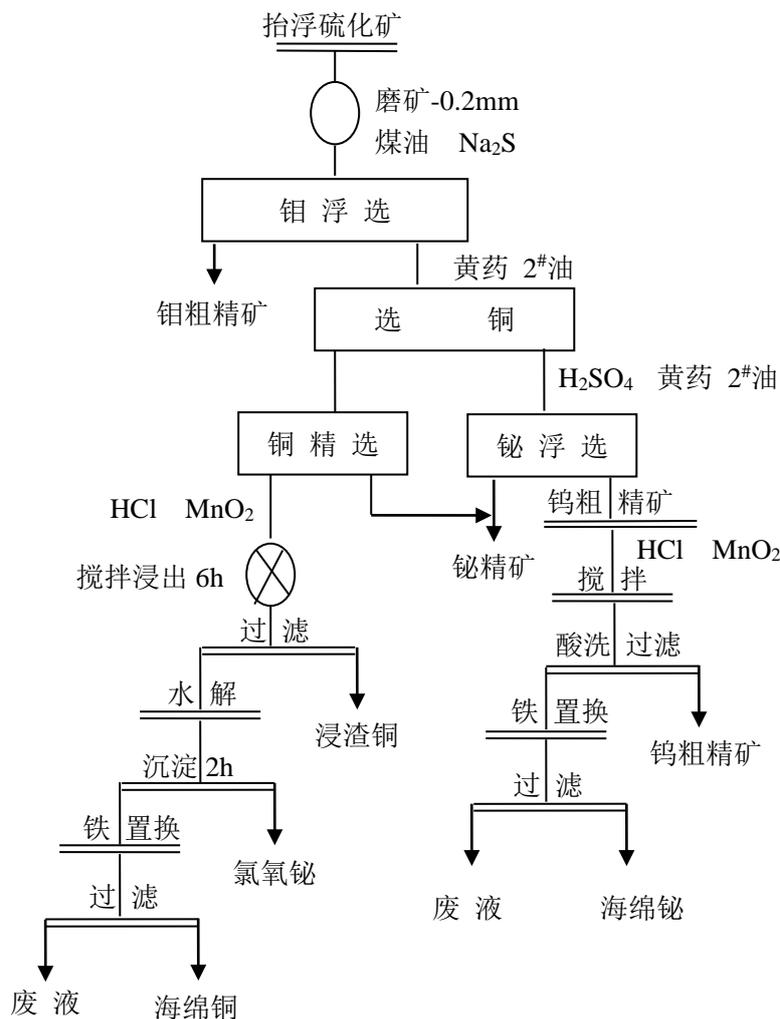


图 1 选矿原则流程

6.3.8.3 选矿指标:

产品	品位				回收率%			
	Mo	Cu	Bi	WO ₃	Mo	Cu	Bi	WO ₃
钼粗精矿	40.96				84.34			
海绵铜		74.20				18.69		
浸渣铜		23.83				65.47		
浮选钼精矿			36.96				78.23	
氯氧钼			68.79				6.51	
海绵钼			92.32				11.92	
钨粗精矿				28.37				64.96

6.3.9 怀集蒲屏岭钼矿

蒲屏岑钼矿为中温热液交代的矽卡岩钼矿床。由于矿体裸露地表，风化程度较深，矿石松软，金属硫化物和矽卡岩矿物均受到不同程度的氧化，辉钼矿已

氧化成泡铋矿，同时可见较多的褐铁矿。

6.3.9.1 矿石性质：

原矿是由褐铁矿、赤铁矿、泡铋矿、辉铋矿、镍羟锰钴矿、锂硬锰矿、含铁石榴石、黑钨矿等组成，矿石多元素分析见表 1，矿物组成见表 2。

表 1 多元素分析

元素	Bi	Co	Fe	WO ₃	Sn	SiO ₂	Al ₂ O ₃
含量%	0.69	0.064	37.29	0.11	0.11	16.37	11.38

表 2 矿物组成

矿物	泡铋矿	褐铁矿	赤铁矿	磁铁矿	锰矿物	水钴矿	脉石
含量%	0.73	74.16	1.12	0.45	2.38	0.05	20.38

泡铋矿的嵌布粒度一般为 0.2-0.5mm。泡铋矿与褐铁矿、石英、锰矿物紧密连生。钴以水钴矿存在的占 45%，其余与锰矿结合。铁主要为褐铁矿，纯矿物含 Fe 51.76%。

6.3.9.2 选矿工艺

1988 年广州有色金属研究院进行了选矿试验，试验结果表明，采用重-浮流程不如直接浮选流程好。浮选采用水玻璃、碳酸钠、硫化钠为调整剂，黄药、煤油、2#油为捕收剂和起泡剂，小型闭路得铋精矿 23.62%，Bi 回收率 56.72%

如果生产含 Bi 4-5%的粗精矿，则浮选回收率可以达到 70%，该粗精矿采用化学选矿方法即酸浸，浸液加入 NaOH 中和得铋盐。选矿原则流程见下图。

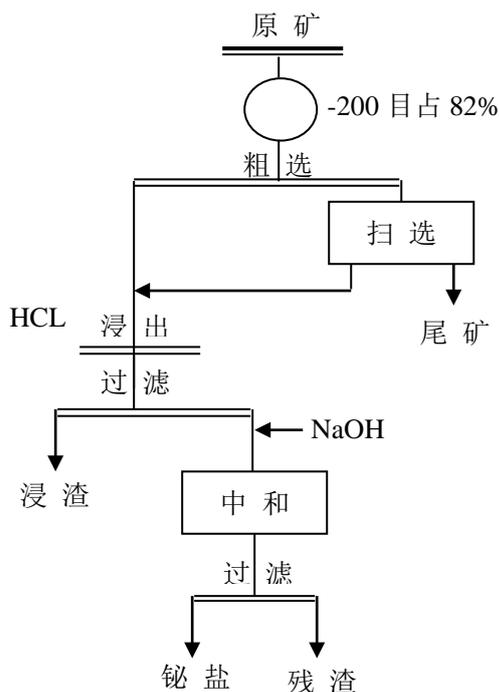


图 1 选矿原则流程

6.3.9.3 选矿指标

产生铋盐含 Bi 56-75%，回收率 59.06%。

6.3.10 多罗山钨矿

多罗山钨矿的抬浮硫化矿中含铋 2.1%，钼 0.12%。1982 年广州有色金属研究院进行了综合回收铋、钼试验。

该抬浮硫化矿组成简单，金属矿物占 90%，非金属矿物占 10%。金属矿物以黄铁矿为主，有少量磁黄铁矿、毒砂、辉铋矿、斜方辉铋矿、辉钼矿等。

试验采用不脱药，以胺醇黄药为捕收剂，石灰为抑制剂，铋钼混合浮选，再以硫化钠为铋的抑制剂进行铋钼分离的浮选工艺。

试验指标：铋精矿含铋 25.72%，回收率 68.35%；钼精矿含钼 28.67%，回收率 60.67%。铋精矿含银 682g/t，钼精矿含银 205g/t。

7、锡 矿

7.1 锡矿一般工业要求

锡矿一般工业要求

项目	原生矿	砂矿
边界品位%	0.1-0.2	0.02
工业品位%	0.2-0.4	0.04
可采厚度 M	0.8-1	0.5
夹石剔除厚度 M	2	2

7.2 广东省锡矿资源概况

7.2.1 工业类型

1. 脉锡矿：
 - 1) 锡石硫化物矿床
 - 2) 锡石石英矿床
 - 3) 锡石伟晶岩矿床
 - 4) 锡石氧化物矿床
2. 砂锡矿：
 - 1) 残坡积砂锡矿
 - 2) 冲积锡矿床
 - 3) 海滨锡矿床

7.2.2 广东锡矿分布

矿点	矿石类型	贮量 万吨		品位 %	
		Sn		Sn	WO ₃
长埔锡矿		1.86			
厚婆坳锡矿		0.59		0.51	
双德锡矿		0.093			
锡山钨锡矿		0.11		0.14	0.082
铁樟锡矿		0.10			
金子窝锡矿		0.21		0.64	
龙门县邓背矿锡矿	砂矿	0.026		432g/m ³	
增城县正果兰溪锡矿	石英脉	0.39		0.3	
连县沉塘锡铜锌矿	多金属硫化矿	0.023	Cu 0.044 Zn 0.11	0.4-1.55	Cu 1.96 Zn 9.12
乳源县谢家山锡矿	多金属硫化矿	1.21	WO ₃ 0.23	0.37	WO ₃ 0.078
阳山县东坑坪砂锡矿	砂矿	0.026		412-29574g/m ³	
英德县八宝山北部锡矿	锡石硫化矿	0.117		0.48	

紫金县铁樟锡矿	石英脉	1.15		0.21	
紫金县锡山寨锡钨矿	石英脉	0.38	WO ₃ 0.062	0.24	WO ₃ 1.5
紫金县泽高锡矿	石英脉	0.30		0.09-0.54	
紫金县高坑锡钨矿	石英脉	0.043	WO ₃ 0.017	0.42-0.84	WO ₃ 0.2-0.3
紫金县罗庚局锡钨矿	石英脉	0.054	WO ₃ 0.040	0.99	WO ₃ 0.42
紫金县铜山锡矿	锡石硫化矿	0.21		0.36-0.89	
博罗县红山锡矿	锡石硫化矿	0.1		0.15-1.24	
惠阳县秋长锡矿	矽卡岩砂矿	0.17		0.58	
惠东县新村锡矿	锡石硫化矿	0.076		0.38-0.54	
五华县罗岭锡矿	网状脉	0.35		0.03-0.05	
五华县罗岭锡矿	砂矿	0.041		0.05	
五华县香炉窝锡钨矿	锡石硫化矿	0.066	WO ₃ 0.032	0.18-0.53	WO ₃ 0.12-0.51
五华大坑尾锡铅锌矿	锡石硫化矿	0.0171	Pb 0.036	0.95	Pb 1.25
揭西县乡肚锡矿	锡石硫化矿	0.058		0.72-6.13	
揭阳县陈厝庵锡矿	锡石硫化矿	0.069		1-2.63	
潮安县飞凤山锡矿	锡石硫化矿	0.16		0.9	
潮安县锡坑锡矿	石英脉	0.059		0.5	
海丰县尖吉山锡矿	石英脉	0.092		0.87	
海丰县牛头山砂锡矿	砂矿	0.078		1068 g/m ³	
海丰县红源锡矿	锡石硫化矿	0.21		0.47	
海丰县莲湖山锡矿	锡石硫化矿	0.18		0.93-2.12	
海丰县大坑锡矿	锡石硫化矿	0.31		0.5	
海丰县大樟山锡矿	锡石硫化矿	0.11		0.47	
海丰县明热锡矿	锡石硫化矿	0.046		0.81-1.01	
海丰县东冲锡矿	锡石硫化矿	0.085		1	
海丰县侯烈坑锡矿	锡石硫化矿	0.037		1.5	
海丰县仙水沥锡矿	锡石绿泥石	0.20		0.63	
海丰县大尖山锡矿	锡石硫化矿	0.35		0.34-0.6	
海丰县博美锡矿	锡石硫化矿	0.16		0.86	
海丰县浪山岭锡矿	锡石硫化矿	0.12		0.34	
海丰县五里牌锡矿	锡石硫化矿	0.25		0.67	
台山县坂潭锡矿	砂矿	0.41	铌铁矿 0.029	486 g/m ³	钛铌钽矿 70g/m ³
台山县玄潭河砂锡矿	砂矿	0.11		335 g/m ³	
台山县黄竹排锡矿	接触变质矽卡岩	0.31	Cu 0.14	0.59	Cu 2.19
台山县石鼓达砂锡矿	砂矿	0.18		1861 g/m ³	
斗门县石坑尾砂锡矿	砂矿	0.024		577 g/m ³	
方浮县南砂河砂锡矿	砂矿	0.22		503 g/m ³	
方浮县葵洞锡铅锌矿	锡石硫化矿	0.11	Pb 0.5	0.41	Pb 1.88
信宜县锡坪锡矿	锡石云英岩	0.22		0.41-0.69	
信宜县大营锡矿	锡石云英岩	0.074		0.32-1.01	
信宜县银岩锡矿	锡石硫化矿	0.069		0.53	
阳春县石田砂锡矿	砂矿	0.10		471 g/m ³	

7.3 锡矿选矿实例

7.3.1 广东信宜银锡矿

广东信宜银锡矿属斑岩型锡矿床，矿石中除含锡外，尚含有少量钨、钼、铋、铜等有价元素。矿石中金属矿物主要有锡石，此外有辉钼矿、辉铋矿、黑钨矿、黄铜矿、黄铁矿等。

原矿石的化学组成：表 1 和表 2 分别为原矿石的光谱定性分析和化学多元素分析结果。分析结果表明：矿石中主要有价元素有锡，锡的含量为 0.51%，其次有铋、钼、钨、铜等，但其含量远比锡低，在选矿过程可作为综合回收考虑。

矿物组成及大致含量：经显微镜下鉴定并辅助以化学物相等研究结果表明，矿石中金属矿物主要有锡石、辉钼矿、辉铋矿、泡铋矿、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿、镜铁矿、赤铁矿等，脉石矿物主要有石英、黄玉，其次是云母、萤石、绿泥石等。表 3 为矿石的矿物组成及大致含量。

表 1 原矿石光谱定性分析结果

含量范围	元素名称
>1%	Si、Al、Fe
0.1~1%	Sn、Ca、K、S
0.01~0.1%	W、Bi、Mo、Cu、Zn、Mg、Ti、Mn、P
<0.01%	Cr、Co、Ni、Sr、Ta、Y、Ag、As、Zr

表 2 原矿石多元素分析结果 (%)

元素	含量	元素	含量	元素	含量
Sn	0.51	SiO ₂	80.79	S	0.15
Mo	0.023	Al ₂ O ₃	8.87	P	0.015
Bi	0.065	Na ₂ O	0.01	As	0.0041
WO ₃	0.048	K ₂ O	0.29	Mn	0.045
Cu	0.031	Mg	0.013	TiO ₂	0.021
Pb	<0.05	Ca	0.50	Au	<1g/t
Zn	0.028	Fe	2.05	Ag	40.65 g/t

锡石：矿石中锡颜色多为黑褐色至褐色，锡石呈自形、半自形晶或它形晶粒状或呈细粒团块状的聚集体。锡石常呈粒状或细粒星散状或呈细粒聚集成团块状浸染嵌布，少数呈细脉状或网状嵌布于脉石矿物中。锡石主要与石英、黄玉及云母等脉石矿物关系密切。少数嵌布于硫化矿及萤石等矿物的粒间。

表 3 矿物组成及大致含量 (%)

矿物名称	相对含量	矿物名称	相对含量
锡石	0.65	磁铁矿	0.4
黝锡矿	微	磁黄铁矿(少)	
黑钨矿	0.04	镜铁矿	4
白钨矿	0.016	赤铁矿	
钨华	少	褐铁矿	
辉钼矿	0.04	石英	76
辉铋矿	0.032	黄玉	14.5
自然铋	少	白云母	3.0
泡铋矿	0.056	绿色云母	
黄铜矿	0.1	绢云母	
斑铜矿	少或微	正长石	少
辉铜矿	少或微	绿泥石	0.2
黄铁矿	0.7	萤石	0.5
闪锌矿	0.04	方铅矿	微

锡石粒径最大为 0.9mm~1.0mm，多数介于 0.03mm~0.1mm，最小的为 0.001mm，矿石中部分锡石有电磁性，尤以黑褐色的锡石最为明显。

钼：试料中钼主要呈辉钼矿存在，氧化钼很少，表 4 为钼的物相分析结果。

表 4 原矿石钼的化学物相分析结果 (%)

相态	氧化钼	硫化钼	合计
钼含量	0.0024	0.021	0.0234
分布率	10.26	89.74	100.00

辉钼矿：颜色呈铅灰色，多呈鳞片状，有是呈团块状，偶尔见有呈细脉状星散浸染嵌布于脉石矿物中，也见少量辉钼矿沿黄铁矿，辉铋矿粒间或边缘嵌布，最大粒径为 0.5mm~1mm，一般为 0.05mm~0.3mm，最小为 0.001mm。

铋：经显微镜鉴定及物相分析结果表明，试料中铋呈辉铋矿和泡铋矿存在，少量自然铋，表 5 为原矿石的化学物相分析结果。

表 5 原矿石铋的化学物相分析结果 (%)

相态	氧化铋	硫化铋*	合计
铋含量	0.04	0.024	0.064
分布率	62.50	37.50	100.00

注：*硫化铋相包括辉铋矿和少量自然铋。

辉铋矿：铅灰色，常呈它形晶粒状，纤维状或短柱状浸染嵌布于脉石矿物

中，或与黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿等硫化矿呈比邻镶嵌，也见有辉铋矿被包裹嵌布于黄铜矿或闪锌矿中。辉铋矿粒径最大为 0.3mm~0.5mm，一般为 0.05mm~0.3mm，最小为 0.001mm。

泡铋矿：呈淡黄色，为粒状或土状，易粉碎。

钨：鉴定结果表明，试料中钨主要呈黑钨矿，次为白钨矿及少量钨华，表 6 为原矿石钨的化学物相分析结果。

表 6 原矿石钨的化学物相分析结果 (%)

相态	钨华	白钨矿	黑钨矿	合计
WO ₃ 含量	0.0076	0.0124	0.0294	0.0494
分布率	15.38	25.10	59.52	100.00

黑钨矿：黑色，多呈薄板状或粒状嵌布于脉石矿物中，最大粒径为 0.3mm~1mm，一般为 0.05mm~0.3mm，最小为<0.01mm。

白钨矿：乳白色，油脂光泽，在紫外线下发浅兰色荧光，常呈它形粒状星散浸染嵌布于脉石矿物中。粒径最大为 0.1mm~0.3mm，一般为 0.03~0.1mm，最小为<0.01mm。

铜：矿石中铜主要呈黄铜矿存在，偶见少量斑铜矿、辉铜矿。

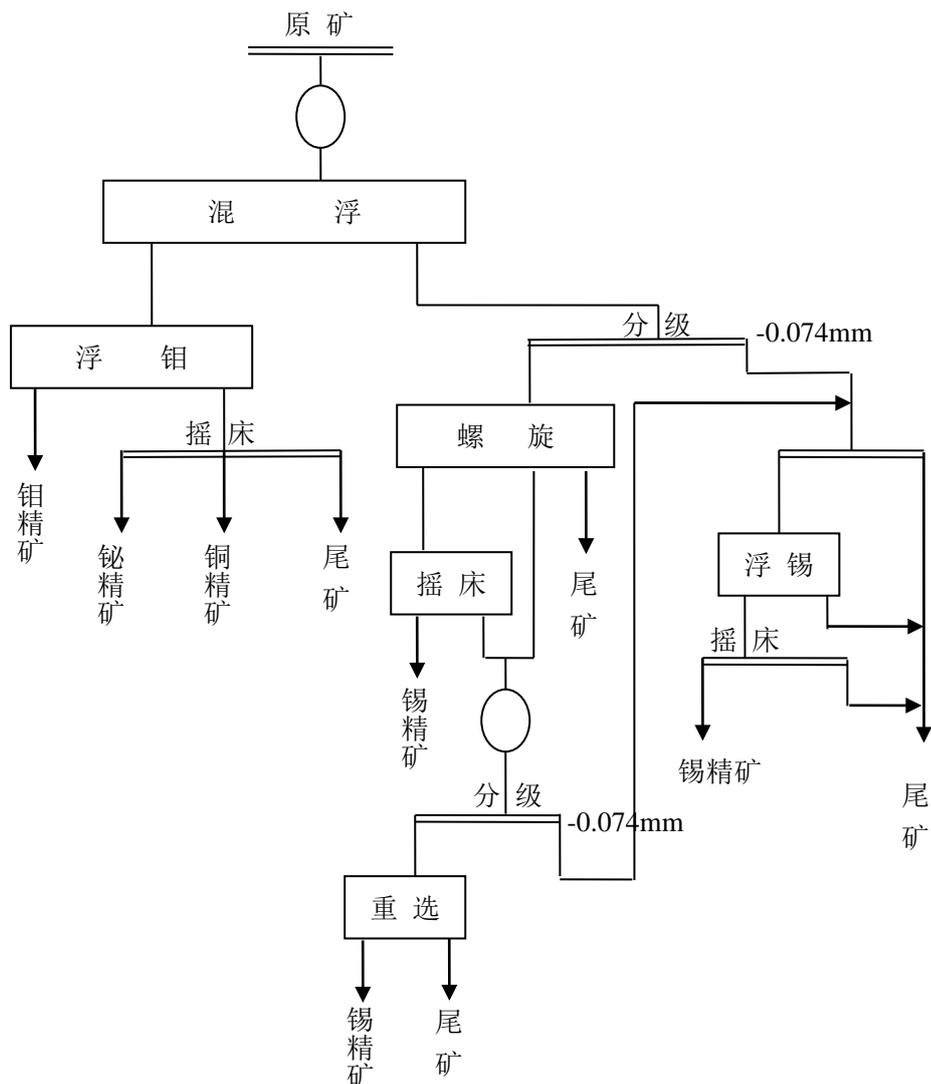
黄铜矿：呈黄铜色，多呈它形不规则粒状浸染嵌布于脉石矿物中，部分沿黄铁矿、辉铋矿、闪锌矿的粒间嵌布或者呈细脉状、乳滴状分布于闪锌矿中。黄铜矿最大粒径为 1mm~5mm，一般为 0.05mm~0.5mm，最小为 0.001mm。

硫：矿石中含硫的矿物除少量黄铜矿、辉铋矿、辉钼矿外，主要是呈黄铁矿存在。

黄铁矿：为浅黄铜色，呈自形、半自形晶或不规则它形粒状，或呈不规则的细脉状浸染嵌布于脉石矿物中。部分黄铁矿与黄铜矿、闪锌矿、辉铋矿、辉钼矿呈比邻镶嵌。粒径最大可达 5mm 以上，一般为 0.1mm~1mm。

2005 年江西南方稀土股份公司进行选矿试验，试验流程采用两段磨矿浮一重流程，原则流程如下图。

试验指标：钼精矿含 Mo 46.52%，回收率 66.99%；铋精矿含 Bi 22.92%，回收率 29.50%；铜精矿含 Cu 12.23%，回收率 50.72%；锡精矿含 Sn 55.59%，回收率 64.60%。



选矿原则流程图

7.3.2 锡山钨锡矿

锡山矿位于阳春 18 公里处，属石英—锡石、黑钨矿及云英岩型矿床。矿石中主要金属矿物有锡石、黑钨矿，其次为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、毒砂、辉铋矿。脉石主要是石英、长石。原矿含 Sn 0.14%， WO_3 0.082%，Cu 0.1%，Pb 0.16%，Zn 0.45%，Ag 20g/t。

矿物结晶粒度：石英型钨锡矿床锡石结晶粒度最大为 8 毫米，-5~+3 毫米粒级锡单体占 30%，+0.1 毫米基本全解离；黑钨矿结晶粒度最大为 6 毫米，-5~+3 毫米粒级钨单体占 40%，+0.2 毫米基本全解离。

钨锡储量：截至 1984 年底保有工业储量，锡 (Sn) 1720 吨，钨 (WO_3) 1026 吨 (表 1)，按日处理能力 250~300 吨计算，尚可开采 8~9 年。全矿职工 628

人，其中选厂 142 人，年生产锡精矿（Sn）120.86 吨，钨精矿（WO₃）65.39 吨。

选厂规模 250 吨/日，选矿工艺分粗选和精选两个部分：

- 1) 粗选流程采用三段开路破碎（最终破碎粒度为-16 毫米），二段开路磨矿（第一段棒磨，磨矿粒度为-4.5 毫米；第二段球磨，磨矿粒度为-0.5 毫米）的跳汰—摇床流程，获得粗精矿品位：Sn 8.4%，WO₃ 5.46%，回收率：Sn 85.99%，WO₃ 85.49。
- 2) 精选采用重—浮—磁流程，获得锡精矿含 Sn 65.1%，回收率 79.49%（对入选矿石）；钨精矿含 WO₃ 73.02%，回收率 77.46%（对入选矿石）；铅精矿含 Pb 50%，回收率 68.25%；铜精矿含 Cu 11.59%，回收率 12.46%。

表 1 锡山钨锡矿截至 1984 年底保有储量

储量等级	矿石量 (万吨)	品位 (%)					金属量 (吨)				
		Sn	WO ₃	Cu	Pb	Zn	Sn	WO ₃	Cu	Pb	Zn
A+B	31.91	0.218	0.123	0.15	0.31	0.768	604	425	530	838	2714
A+B+C	83.6						1720	1026	1287.7	2256	6367
D	39.6						949	414	591	1560	3100
A+B+C+D	123.2						2669	2440	1878.7	3816	9467

该流程的特点：

- 1) 最终破碎粒度控制在-1.6 毫米，磨矿比为 3.55，节约了能耗。
- 2) 采用分级跳汰，跳汰精矿含 WO₃ 8.99%，Sn 12.87%，占总回收率：Sn 70.81%，WO₃ 为 81.31%。

存在的问题：

- 1) 跳汰尾矿-1.6 毫米部分占原矿 63.98%，通过摇床复选可以丢弃对原矿 40.59% 的尾矿（含 Sn 0.03%，WO₃ 0.01%，Cu 0.036%，Pb 0.026%，Zn 0.215%），而这部分未丢，仍全送入磨矿回路再磨，影响处理量，浪费能耗，提高成本。
- 2) 矿泥（-200 目）占原矿 33.8%，其中 WO₃ 占总钨 18.53%，Sn 占总锡 21.13%。由于分级脱泥不好，又无细泥选别设备，一部分随矿砂流入 Ø12 米浓密机，一部分送入云夕分级箱，泥砂混淆，仍随摇床尾矿流入尾矿坝。
- 3) 粗精矿由于被次生铁污染结团结块，需用酸煮洗，每月不但耗酸 5 吨，而且影响工人身体健康。

4) 综合利用指标低, 锌基本没回收。

7.3.3 金子窝锡矿

金子窝锡矿位于云浮县 13 公里处, 属锡石硫化物型矿床。矿石中主要金属矿物有锡石、方铅矿(含白铅矿)、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿, 脉石主要有方解石、白云石、石英。原矿含 Sn 0.649%, Pb 3.2%, Zn 2.18%, Ag 175g/t。

锡: 锡石占 92.13%, 黄锡矿占 5.01%, 胶态锡占 2.86%。

铅: 方铅矿占 50.78%; 氧化铅占 12.50%; 硅锌矿占 6.25%。

银: 主要呈分散状态赋存在方铅矿中(3350g/t)、白铅矿中(246g/t)、黄铁矿中(840g/t)、磁黄铁矿中(250g/t)、褐铁矿中(1085g/t)、闪锌矿中(160g/t)。

主要矿物结晶度粒一般在-0.5~0.074mm。

锡、铅、锌、银储量(截至 1984 年底保有工业储量): Sn 为 2189 吨、Pb 为 11000 吨、Zn 为 7495 吨、Ag 为 60 吨。但 1985 年经肇庆地区储量初审决议, C 级储量: Sn 为 761 吨、Pb 为 3096 吨、Zn 为 3244 吨、Ag 为 16.76 吨, 两者相差较大。年产精矿 Sn 30.5 吨、Pb 110 吨、Zn 40 吨。

选厂规模 50 吨/日(实际 26.5 吨/二班), 选矿流程分粗选和精选两部分:

- 1) 粗选, 采用一段开路破碎(最终破碎粒度有时大于 50mm), 二段闭路磨矿(第一段棒磨、磨矿粒度-0.2mm; 第二段球磨, 磨矿粒度-200 目)的浮一重流程。获得锡粗精矿含 Sn 10.39%, Pb 0.85%, Zn 14.63%; 铅精矿含 Pb 69.29%, 回收率 83.61; 锌精矿含 Zn 41%, 回收率 19%。
- 2) 锡粗精矿精选, 采用重一浮一重流程, 获得锡精矿品位(Sn) 55%, 回收率 57%(对原矿)。

存在的问题:

- 1) 矿产储量表上储量比初审储量高二倍。按日处理能力 50 吨计算, 前者尚能开采 18 年, 后者则只能开采 6 年。应抓紧提高勘探程度, 落实工业储量。
- 2) 最终破碎粒度过大, 磨矿比高达 250, 电耗太大。
- 3) 磨矿粒度过细, 矿石中的锡石单体解离度在-1~+0.5mm 时为 28.6%; 在-0.5~+0.25mm 时为 81.8%。而生产采用磨矿机与螺旋分级机闭路, 第一段磨矿粒度确定为-0.2mm, 过粉碎现象严重, 流程结构不合理, 这是金子窝锡回收率长期上不去的主要原因。

- 4) 分级脱泥效率低, 矿泥用摇度选别, 微细粒锡石流失大。
- 5) 锌、银回收率太低。

7.3.4 九曲岭锡矿

九曲岭矿系金子窝锡矿的一个坑口, 距金子窝约 5~6 公里。属锡石石英脉型矿床, 矿体分大脉(1#、5#矿脉)和细脉二种矿带。大脉带含 Sn 0.42%, Cu 0.049%, WO_3 0.038%, S 1.22%。主要金属矿物有锡石, 少量有黄铁矿、黑钨矿、黄铜矿、脉石主要有石英、长石。锡石最大粒晶为 1mm, 一般为-0.32~+0.08mm。锡工业储量 3071 吨。1984 年开始筹建坑口, 日采选能力为 50 吨, 采用两段开路破碎, 二段磨矿的重一浮一磁一电组合流程, 设计指标, 锡精矿品位(Sn)55%, 回收率 60%。

存在的问题:

- 1) 九曲岭锡矿大脉带已在开采, 开发的单位有云浮县矿产公司 15~20 吨/日选厂一座; 云浮县粮食局、高申乡政府和金子窝矿联营的 30~40 吨/日选厂一座, 加上新建的 50 吨/日选厂, 则日处理能力将达到 100 吨以上, 按保有矿石量 74.6 万吨计算能开采 23 年。如不统一开采计划, 势必会乱采滥挖, 矿山寿命将会大减。
- 2) 第一段开路磨矿, 磨矿粒度不易控制好, 过粗或过细将会增加锡在摇床尾矿中的损失。
- 3) 第二段磨矿球磨机与螺旋分级机构成闭路, 由于锡石比重大有部分单体仍会随矿砂返回球磨再磨, 造成过粉碎。
- 4) 中矿-200 目部分采用电选效果将不会好。

7.3.5 厚婆坳锡矿

厚婆坳矿位于潮州市 12 公里处, 属锡石硫化物型矿床。分西、中、东、南四个区域。西东两区是开采地区, 原矿含 Sn 0.51%, Pb 3.16%, Zn 1.92%, Ag 160 克/吨。主要金属矿物有锡石、方铅矿、闪锌矿, 还有少量的白铅矿、铅铁玢(褐铁矿含铅)、硅酸锌、黄铁矿、毒砂、黄铜矿等。脉石主要为石英、绿泥石。矿物结晶粒度锡石粒晶最大为 1.2mm, 一般为-0.2~0.01mm; 方铅矿结晶粒度最大

为 4mm, 一般为-0.2~0.01mm; 闪锌矿结晶粒度最大为 3mm, 一般为-0.2~0.01mm。保有工业储量 Sn 5611.3 吨, Pb 33793 吨, Zn 21137 吨, Ag 176.56 吨。全矿职工 699 人, 其中选厂职工 102 人。年产锡精矿 (Sn) 64.79 吨、铅 (Pb) 706.51 吨、锌 (Zn) 286.53 吨, Ag 4.03327 吨, 年亏损 58.133 万元。

选厂规模 125 吨/日 (实际 120 吨/日), 采用两段开路破碎 (最终破碎粒度有时为 50 毫米), 二段闭路磨矿 (磨矿粒度: 第一段为 55~60%-200 目; 第二段为 75%-200 目) 的浮一重流程。生产指标: 锡精矿品位 (Sn) 47.25%, 回收率 62.23%; 铅精矿品位 (Pb) 42.56%, 回收率为 79%; 锌精矿品位 (Zn) 28.4%, 回收率 29.15%。

存在的问题:

- 1) 采、选费用每吨矿石高达 84.56 元, 其中采矿费为 57.38 元/吨, 排水费占 41.45%; 选矿费为 27.18 元/吨, 材料费占 26.23%, 电费占 33%。
- 2) 综合利用回收率低, 黄铁矿含银为 208 克/吨, 占原矿银总量 38%左右没回收。各种精矿含砷超标, 产品质量受到影响。

7.3.6 海丰锡矿

海丰锡矿位于海丰县 10.5 公里处, 属锡石硫化物型矿床。矿石中主要金属矿物有锡石、黄铁矿、磁黄铁矿, 还有少量的方铅矿、闪锌矿、毒砂, 脉石中主要为石英、电气石。原矿品位: Sn 0.52%, Pb 0.12%, Zn 0.17%, S 4.61%, As 0.34%。锡石结晶粒度最大为 1 毫米, 一般为-0.177~0.074 毫米。工业储量 Sn 10522.4 吨, Pb 2026.8 吨, Zn 2753.7 吨。

存在的问题:

- 1) 矿脉变化大, 储量不落实;
- 2) 三级矿量不平衡;
- 3) 选厂流程结构和设备安装都存在一些问题, 调试工作量大;
- 4) 试验对硫砷分离做的工作不够, 硫精矿中含砷高 (As 2~5%), 银未回收。

8、海滨砂矿

8.1 海滨砂矿一般工业要求

海滨砂矿中主要有钛铁矿、金红石、锆英石、稀土矿等。

钛矿床一般工业要求

类型		边界品位%	工业品位%	可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
原生矿 (TiO ₂)	金红石	1	1.5	>0.5-1.6	≥0.5-1.0
砂矿 (kg/m ³)	金红石	≥1	≥2		
	钛铁矿	≥10	≥15		

锆矿床一般工业要求

矿床类型	边界品位		工业品位		最小可采厚度 m
	ZrO ₂ %	锆英石 kg/m ³	ZrO ₂ %	锆英石 kg/m ³	
海滨砂矿	0.04-0.06	1-1.5	0.16-0.24	4-6	>2
风化壳矿床	0.3	—	0.8	—	
内生矿床	3.0	—	8.0	—	

8.2 广东省海滨砂矿资源概况

广东钛矿分布

矿点	矿石类型	贮量万吨	品位
		钛铁矿	钛铁矿 kg/m ³
广东甲子锆矿	砂矿	10.0	6.05
南山海稀土矿	砂矿	7.0	1.67
化州县平定钛铁矿	砂矿	393	31.5
广东陵水砂矿	砂矿	1.98	4.73
兴宁霞岗钛矿	风化壳	88	6.6%

广东锆矿分布

矿点	矿石类型	贮量万吨 (锆英石)	品位 kg/m ³
广东甲子锆矿	砂矿	3.1	2.31
南山海稀土矿	砂矿	4.1	1.4
化州县平定钛铁矿	砂矿	9.1	0.73
广东陵水砂矿	砂矿	1.2	5.3

广东省海滨砂矿资源丰富，沿海一带花岗岩出露地表，这些地带长期风化和海融作用，使钛铁矿、锆英石、金红石、稀土矿物得以富集于海滨，形成丰富的海滨砂矿主要分布在湛江、汕头地区沿海一带，尤其是湛江地区，东起旧江县南山海，西至徐闻县外罗港，全长 200km 海岸，特别富含独居石，磷钇矿，由东至

西以含独居石、锆英石为主，逐步过渡到以锆英石为主。同时，徐闻、湛江、吴川、电白的海砂矿中富含金红石及变种锐钛矿和板钛矿等。

2001年广东省海滨砂矿产量8011t，工业总产值2348万元。广东海滨砂矿多数为民营和个体经营，只有甲子锆矿和南山海稀土矿是具有采选能力的矿山，此外在水东、徐闻、湛江、陆丰建有精选厂，处理个体毛砂矿。

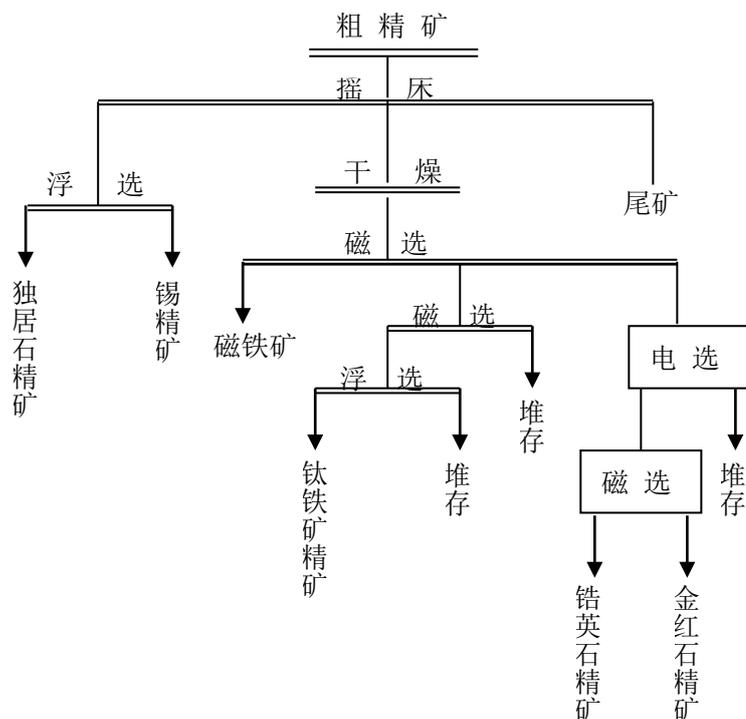
8.3 广东省海滨砂矿选矿实例

8.3.1 甲子锆矿

甲子锆矿位于陆丰县甲子镇。矿体呈东西向沿海分布，长5500m，平均宽870m，矿体平均厚度3.639m，最厚11m。矿石主要矿物为细粒石英砂，粒度0.5~0.1mm。主要有用矿物有：锆英石、钛铁矿、金红石、独居石等。有用矿物多呈单体存在，主要富集于0.125~0.063mm粒级。平均地质品位锆英石为2.185kg/m³ (ZrO₂ 0.0908%)，钛铁矿5.728 kg/m³ (TiO₂ 0.185%)。采矿为水采水运，6寸水枪开采，8寸砂泵运输至选厂。

选矿分粗选和精选两部分。

开采出砂矿，用2mm筛子除去废石后，浓缩进螺旋溜槽粗选，然后摇床精选，得粗精矿。粗选厂处理能力为80t/h。粗精矿中含ZrO₂ 8%，含TiO₂ 20%。粗选回收率为ZrO₂ 60%，TiO₂ 45%。



甲子锆矿精选原则流程图

精选工艺相对较复杂，有重选、磁选、电选、浮选，其原则流程如上图。

精选作业回收率： ZrO_2 85%， TiO_2 60%（其中钛铁矿回收率为 59%，金红石为 7%）。可年产锆英石精矿 1000t，钛铁矿精矿 2000t，金红石 150t，独居石 5t，锡石 5t。

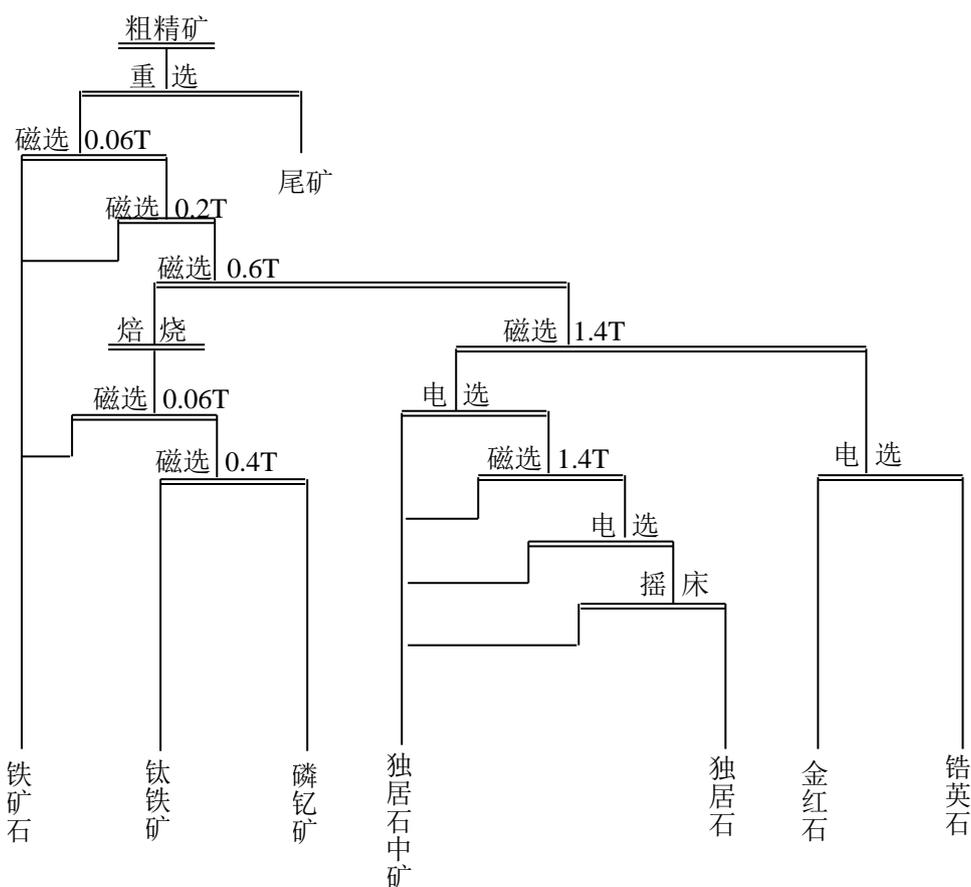
8.3.2 广东东里浅海砂矿

东里地区浅海砂矿位于广东省徐闻县新寮岛东部水深-5m 以上海域，矿体宽 1500~5000m，长 15300m。矿石中主要有价矿物为金红石、锐钛矿、白钛石、钛铁矿、独居石等。主要脉石矿物为石英、长石、海绿石、云母等。

原矿多元素分析： TiO_2 0.52%， ZrO_2 0.073%， TR_2O_3 0.031%；

矿物组成：钛铁矿 0.231%，锆英石 0.116%，金红石 锐钛矿 0.031%，白钛矿 0.077%，独居石 0.012%，磷钇矿 0.001%，磷灰石 0.014%。

广州有色金属研究院 1990 年进行了选矿试验，原则工艺流程如下图。



精选原则流程图

由于矿石中 useful 矿物的品位较低，粒度细，矿石较难选。

粗选结果：

粗精矿产率为 0.99%，含 TiO_2 21.69%， ZrO_2 6.98%， TREO 1.05%，回收率分别为 37.54%，75.73%，33.78%。

精选工艺流程：

首先经重选再富集，然后按磁性分组，各组分别用磁、电、重选等工艺精选，获得最终精矿。

试验总结果：

钛铁矿精矿含 TiO_2 51.25%，回收率 11.787%，金红石精矿含 TiO_2 85.32%，回收率 2.373%，

锆英石精矿 1 含 ZrO_2 65.16%，回收率 18.59%，锆英石精矿 2 含 ZrO_2 61.53%，回收率 39.788%，独居石精矿含 TREO 62.14%，回收率 9.219%。

8.3.3 广东兴宁霞岚钒钛铁矿

风化壳型钒钛磁铁矿床在综合评价阶段，其工业价值主要取决于矿石的可选性和矿床可能达到的规模。广东兴宁霞岚矿床的含矿母岩为沿北西方向深断裂侵入的燕山期第二期岩株状基性岩体——辉绿辉长岩。岩体结晶分异作用良好，岩石具中细粒全晶质辉绿结构。主要矿物为单斜辉石、基性斜长石，次要矿物有角闪石、橄榄石、黑云母、钒钛磁铁矿、钒铁矿等。岩体地面面积约 5 km^2 (以往勘查面积 4 km^2)，出露地形为呈舒缓波状起伏的平缓山丘，地表及浅部风化程度很深，易风化的铁镁硅酸盐造岩矿物辉石、斜长石等风化呈土状(褐铁矿)，大部分风化完全，其中呈浸染状、稠密浸染状的钒钛磁铁矿、钒铁矿以水洗脱泥即可达到初步富集。据笔者对 70 年代详查报告中有编录和采样分析成果的 20 个浅钻孔统计，风化壳矿体厚 $7.96 \sim 25.36 \text{ m}$ ，平均厚度 14.35 m ；矿石品位： TFe $16.47\% \sim 27.85\%$ (平均 21.86%)， TiO_2 平均 5.62% ， V_2O_5 平均 0.248% 。广东省地勘局根据报告资料，重新统计了见有风化壳矿体的 20 个浅钻孔、20 个浅井和部分(深)钻孔的厚度，风化壳矿体厚(深) $12.8 \sim 65.6 \text{ m}$ ，平均厚 28.2 m ， TFe 含量 $15\% \sim 25\%$ 。据广东省地勘局 723 地质大队最近的勘查资料^⑧，霞岚矿床风化壳

矿体的最厚(深)处达到 72.34 m(基性岩第一相带), 其余相带 20~30 m。

8.3.3.1 矿石的可选性

广东省地质局在 70 年代勘查霞岚矿床时曾采大样作选矿试验, 结果表明: 风化壳矿石中铁的回收效果较好(该结果是笔者提出对霞岚矿床重新评价的重要依据)。近来, 广东省矿产应用研究所、长沙矿冶研究院选矿研究所先后对风化壳矿石作进一步选矿试验或物质组分研究, 也得出相近的论述, 三个单位的选矿情况分述如下:

1. 70 年代勘查时, 在主干线 22、26、36 线的地表工程中混合采取风化矿石作可选性选矿试验。样重 875 kg, 风化完全, 不经破碎即可通过孔径 5 mm 的筛孔。原矿品位: TFe 27.45%、TiO₂ 7.18%、V₂O₅ 0.37%、Co 0.03%。试样中主要矿物: (钒钛)磁铁矿 32%、钛铁矿 8.5%、(赤铁矿+褐铁矿)1.5%、粘土矿物 35%, 其他硅酸盐矿物 21%。样品经水力旋流器粗选脱泥(-0.002 mm 占 37.85%)后再经磁选—重选, 获得铁钒钛精矿、钛精矿(表 1)。从选矿结果(表 1)看, 铁的选矿效果很好, 钒也能回收(因铁与钒部分呈固熔体状态, 故钒的回收率低), 铁精矿中钒的含量也较高。

表 1 风化壳矿石选矿试验结果

产 品	产 率 %	品 位 %			回 收 率 %		
		TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅
铁钒(钛)精矿	32.83	58.19	13.57	1.0	51.21	43.97	65.69
钛 精 矿	8.50	34.58	43.65	0.17	5.34	24.70	2.15

2. 1998 年, 广东省矿产应用研究所对风化壳矿石的物质组分作了研究, 试样的平均品位为: TFe 24.93%、TiO₂ 10.09%、V₂O₅ 0.35%、Co 0.012%、Sn 0.0054%。主要金属矿物为磁铁矿、钛磁铁矿、钛铁矿、褐铁矿, 主要脉石矿物为铁染微晶云母集合体、长石、粘土。磁铁矿、钛磁铁矿粒径 0.1~1 mm 的占 97%(钛铁矿粒径 0.1~1 mm 的占 96%), 二者常被赤铁矿、褐铁矿交代。褐铁矿呈土状集合体, 易碎成粉状。磁铁矿和钛铁矿除呈独立矿物外, 还呈固熔体分离结构, 在磁铁矿主晶中包含网格状钛铁矿片晶(宽 0.003~0.01 mm)。矿石中金属矿物的半定量测定结果为: 磁铁矿、钛磁铁矿 32.86%, 钛铁矿 8.0%, 褐铁矿 13.34%, 褐铁矿的矿物量占全部铁矿物的 20%~25%。矿石的矿泥量(-0.074 mm)约占矿石量的 50%, 其成分以褐铁矿为主体、含铁量约占总铁的 28%。

3. 1999年,长沙矿冶研究院选矿研究所对风化壳矿石(由723队采集的209个样品组成的组合样原矿品位: TFe 22.79%、TiO₂ 6.08%、V₂O₅ 0.23%、Al₂O₃ 17.13%、SiO₂ 29.16%、Cu 0.061%、Co 0.027%、Ni 0.009%、S 0.018%、P 0.063%)作了选矿试验,共获得以下主要认识:

(1)原矿中可以经选矿回收的组分为铁、钒、钛,可考虑综合回收利用的组分(铜、钴、镍等)及有害杂质(硫、磷等)的含量都很低,选矿过程要排除Al₂O₃、SiO₂等主要组分。

(2)矿石中主要金属矿物是磁铁矿、半假象赤铁矿、褐铁矿、钛铁矿等,脉石矿物主要是粘土矿物和长石、石英等(表2)。

表2 风化壳矿石的矿物含量

矿物	磁铁矿、半假象赤铁矿	褐铁矿	钛铁矿	锐钛矿	金属硫化物	辉石、云母等	长石、石英	高岭石等粘土矿物	其他
含量	15.13	5.53	5.98	0.23	0.03	6.31	8.64	57.65	0.50

磁铁矿的粒径一般0.1~2 mm,大于0.3 mm的占92.87%,含固熔体分离的钛铁矿片晶(宽0.005~0.02 mm)、尖晶石微粒,以及呈类质同像形式的TiO₂(平均含量8.64%)。磁铁矿单矿物分析结果为TFe 60.68%、TiO₂ 11.68%、V₂O₅ 1.06%,次生变化主要是假象赤铁矿化。钛铁矿大部分呈粒状集合体(与包裹于磁铁矿中片晶的比例为15:85),粒径0.1~0.8 mm,大于0.1 mm的占91.78%,钛铁矿单矿物分析的TiO₂ 49.61%。褐铁矿粒径一般0.1~0.5 mm,由假象赤铁矿和辉石等含铁硅酸盐类矿物氧化或蚀变而成。高岭石等粘土矿物,铁染成浅红色等,包裹磁铁矿等矿物。

(3)风化壳矿石中,铁和钛的赋存状态都比较复杂。表3为铁和钛的物相分析结果。在磁铁矿和半假象赤铁矿中铁的分布率合计为39.53%,如采用弱磁选的方法,此值即为理论最大回收率。钛矿物(钛铁矿、锐钛矿)中TiO₂的分布率共53.29%,但磁铁矿和硅酸盐(脉石)中的TiO₂分别达到27.63%、19.08%,使TiO₂的回收率降低。

表3 铁和钛的物相分析

物相	磁铁矿	半假象赤铁矿	赤铁矿、褐铁矿	钛铁矿	碳酸铁	硫化铁	硅酸铁	合计
铁的含量	5.76	3.25	8.37	3.03	0.03	0.02	2.33	22.79
及分布率	25.27	14.26	36.73	13.30	0.13	0.09	10.22	100.00

	钛铁矿	磁铁矿	锐钛矿	硅酸盐	合计
钛的含量 (TiO ₂)	3.00	1.68	0.24	1.16	6.08
及分布率	49.34	27.63	3.95	19.08	100.00

(4) 风化壳矿石的脱泥试验(表 4)中矿石的含泥量较高, -0.074 mm 粒级的占含量的 58.45%; 脱泥量约占原矿的 1/4, 脱泥效果明显(金属量的损失并不大)。

表 4 风化壳矿石脱泥试验

产品	产率	品 位			回 收 率		
		TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅
泥砂	74.30	25.94	7.68	0.28	85.3	94.55	91.62
泥	25.74	12.58	1.28	0.074	14.7	5.45	8.36
原矿	100.00	22.51	6.04	0.23	100.0	100.00	100.00

(5) 对风化壳矿石中的磁铁矿采用 3 种弱磁选方法(表 5)试验: 原矿直接弱磁选、原矿磨矿后弱磁选、原矿弱磁选后粗精矿磨矿再磁选。结果表明, 3 种方法都能得到全铁品位大于 55% 的铁精矿。但第 1 种方法的铁精矿品位、回收率都较第 2 种方法低, 且铁精矿的品位很难再提高; 第 2 种方法和第 3 种方法的铁精矿品位、回收率相近, 前者钛的回收率稍高, 但后者可节约 75% 的磨矿量。铁的回收率虽接近 40%, 但已达到霞岚矿床铁的理论回收率。铁精矿中 TiO₂、V₂O₅ 的含量较高, 钒的回收率达 70% 左右。

表 5 风化壳矿石磁铁矿选别试验

选别方案	产品名称	产 率		品 位			回 收 率					
		作业	对原矿	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	TFe		TiO ₂		V ₂ O ₅	
							作业	对原矿	作业	对原矿	作业	对原矿
弱磁—弱磁	精矿	21.20	15.60	55.18			44.22	37.87				
	尾矿	79.00	58.70	18.50			55.78	47.76				
	原矿	100.0	74.30	26.20			100.0	85.63				
磨矿—弱磁—弱磁	精矿	21.04	15.63	57.78	12.87	0.92	46.60	39.90	36.56	34.57	69.03	63.25
	尾矿	78.96	58.67	17.64	6.44	0.11	53.40	45.73	63.44	59.98	30.97	28.37
	原矿	100.0	74.30	26.09	7.79	0.28	100.0	85.63	100.0	94.55	100.0	91.62
弱磁—磨矿—弱磁	精矿	21.43	15.92	56.86	13.22	0.89	46.96	40.21	35.68	33.74	70.82	64.89
	尾矿	78.57	58.38	17.52	6.50	0.10	53.04	45.42	64.32	60.81	29.18	26.73

原矿	100.0	74.30	25.95	7.94	0.27	100.0	85.63	100.0	94.55	100.0	91.62
----	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

(6)以弱磁选的尾矿对钛铁矿作了多种选别试验。粗选采用强磁选、螺旋、摇床等试验,精选采用浮选、摇床、电选等方法。试验结果表明,浮选和摇床试验获得的钛精矿最高品位 TiO_2 45%~46%,电选可获得 TiO_2 大于 47%的钛精矿(入选 TiO_2 品位需达到 45%左右)。表 6 中的两种选别方案均能获得 TiO_2 含量大于 47%的钛精矿,但选矿流程复杂,回收率分别为 16.22%和 10.34%,距钛的理论回收率甚远。这可能与钛铁矿与赤铁矿、褐铁矿难以分离有关。

(7)将赤铁矿、褐铁矿原矿磁选出铁精矿、钛精矿后,采用强磁选或摇床试验回收赤铁矿、褐铁矿。强磁选获得强磁精矿的全铁含量 TFe 30.08%,摇床试验的铁精矿 TFe 26.49%。这说明要通过选矿获得高品位赤铁矿、褐铁矿难度很大,回收率很低。

综上所述,三个单位的试验结果表明:风化壳矿石含泥量高(脱泥量约占原矿的 $1/3 \sim 1/4$),原矿脱泥之后品位略有提高。矿石的铁、钒选矿效果较好,铁(钒)精矿的 TFe 约 58.00%,铁的回收率约 40%(这已是矿石中磁性铁的最大值), V_2O_5 可富集到 0.9%~1.0%,但钛的含量较高(TiO_2 13%±),增加了选冶难度。钛铁矿的分选指标差,回收率很低。随着今后勘查工作的深入,风化壳矿石的选矿研究应在已有资料的基础上,深入探索适合霞岚矿石特征的工艺流程试验。

表 6 风化壳矿石钛铁矿选别试验

选别方案	产品名称	产 率		品位 (TiO_2)	回收率(TiO_2)	
		作业	对原矿		作业	对原矿
强磁— 摇床—电选	精矿	3.69	2.16	47.22	27.05	16.22
	尾矿	96.31	56.51	4.82	72.95	43.76
	原矿	100.00	58.17	6.44	100.00	59.98
摇床 —电选	精矿	2.36	1.37	47.03	17.24	10.34
	尾矿	97.64	56.80	5.46	82.76	49.64
	原矿	100.00	58.17	6.44	100.00	59.98

8.3.3.2 综合利用

除铁、钒、钛主要组分外,矿石还可能有多多种可考虑综合利用的伴生组分,如: $Au(0.03 \sim 0.06) \times 10^{-6}$ 、 $Ag 2 \times 10^{-6}$ 、 $Co(0.01\% \sim 0.03\%)$ 、 $Sn 0.04$ (精矿)、 $Sc 0.002\%$ (精矿),可能还有 Cr、Ni 及铂族元素等。

矿石中泥质含量相当高, -0.074 mm 含量大于 50%, 脱泥量可占原矿的 $1/3 \sim 1/4$ 。矿泥的矿物成分以褐铁矿、粘土矿物为主, 除 Al_2O_3 较高外, 矿泥中全铁、 TiO_2 和 V_2O_5 分别占各自总量的 28%、13% 和 15% 左右。这类特殊的高铁钒钛矿泥可当作粘土矿床对待, 如可作为紫砂粘土矿、砖瓦粘土矿、水泥原料的粘土质矿等, 其矿床规模也都较大。

风化壳矿石的下面为风化程度较浅的基性岩中贫矿体(平均 TFe 17.34%), 原详查报告计算暂不利用钒铁矿石储量(表外储量)2.20 亿 t, 但风化壳矿石一旦被开采剥离之后, 此类矿石相当部分暴露于外。随着今后采选、选冶技术的提高, 可以考虑和研究这些矿石的工业利用问题。

综合利用霞岚矿床的各种矿产资源, 不仅可以提高矿床的工业价值, 而且可以减少污染, 有利于环境保护, 使霞岚矿床具有良好的社会效益和经济效益。

8.3.3.3 风化壳矿床的发展前景

在霞岚的外围尚有多多个与霞岚矿床成矿地质条件相近的岩体存在。在霞岚北西 2 km 处的兴宁澄清岩体, 出露面积 8.3 km^2 , 风化壳比较发育, 地表采样分析 TFe 11%~15%, 钒钛磁铁矿的含矿率约 400 kg/m^3 。在霞岚南东约 30 km 的兴宁永和岩体的主体为闪长岩(面积 18.8 km^2), 辉长岩呈岩枝状穿插在闪长岩体内, TFe 16%~23%, Co 0.03%, 还含有 Cr、Ni 及铂族元素, 已见到风化壳矿体。五华长安岩体, 出露面积 8 km^2 , 岩体有橄榄辉石岩、辉绿辉长岩等, 岩体内有钒钛磁铁矿化。这些岩体的地表风化很深, 很可能存在风化壳型矿床, 今后有望在广东的兴宁—五华地区形成风化壳型钒钛磁铁矿矿田, 进而发展成为与钒钛磁铁矿资源相关联的经济发展区。

霞岚岩体具有岩浆结晶晚期分异作用的特征, 并有比较广的钒钛磁铁矿贫矿化。随着今后工作的逐步深入, 在一些岩浆结晶作用比较完全的岩体内可能会发现富钒钛磁铁矿床。

霞岚矿床风化壳矿石的选冶性能如能得到肯定, 今后不仅在兴宁—五华地区, 还可在广东省内及邻近地区具相似成矿地质条件的地段, 寻找新的风化壳型钒钛磁铁矿矿床, 霞岚矿床作为实例将具有标志性意义。

霞岚矿床最初是检查重砂异常、航磁异常发现的, 重砂异常、磁异常(航磁异常和地面磁异常)是有效的找矿标志。此外, 化探(土壤)异常也是良好的找矿

标志，当出现呈面状分布的 V、Ti、Cr、Ni、Co 等次生晕异常时，指示可能有风化程度较深的基性、超基性岩体存在。基性、超基性岩经常沿着深断裂带呈串珠状具方向性展布，沿深断裂带追索是宏观的找矿方向。

9、钽铌矿

9.1 钽铌矿床一般工业要求

钽铌矿床一般工业要求

矿床类型	边界品位%		工业品位%		最小可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
	(Ta, Nb) ₂ O ₅	或 Ta ₂ O ₅	(Ta, Nb) ₂ O ₅	或 Ta ₂ O ₅		
花岗伟晶岩	0.012-0.015	0.007-0.008	0.022-0.026	0.012-0.014	0.8-1.5	≥2
花岗岩	0.015-0.018	0.008-0.01	0.024-0.028	0.012-0.015	1.5-2	≥4
风华壳	0.008-0.01	80-100g/m ³	0.016-0.02	250-280 g/m ³	0.5-1	—
原生铌矿床	0.05-0.06	—	0.08-0.12	—	5	>5
砂矿床	0.004-0.006	40 g/m ³	0.01-0.012	250 g/m ³	0.5	≥2

9.2 广东省钽铌矿资源概况

9.2.1 工业类型

1. 花岗伟晶岩型
2. 花岗岩型
3. 沉积变质高温热液交代矿床

9.2.2 广东省钽铌矿分布

广东省钽铌矿分布

矿点	矿石类型	贮量 (吨)		品位%	
		Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅
台山县板潭锡矿	砂矿	钽铌钽矿 592	铌铁矿 294	钽铌钽矿 70.4g/m ³	铌铁矿 34.8g/m ³
广东博罗 524 矿	花岗岩	6130	36400	0.0036	0.0213
广东博罗 525 矿	风化壳花岗岩	11099	17990	0.0083	0.0134
恩平龙山褐钇矿	砂矿		褐钇矿 227		褐钇矿 81.4g/m ³
广东横山钽铌矿	花岗岩	700	280	0.020	0.013
广东永汉钽铌矿	砂矿		2600		0.008

9.3 钽铌矿选矿实例

9.3.1 广东中山昆山钽铌矿

昆山钽铌矿位于中山县石歧镇，属于花岗岩型矿石。矿床主要产于弱云英岩化、强钠化细粒斑状花岗岩中。矿化面积 0.223km²。

原矿多元素分析：Ta₂O₅ 0.014%，Nb₂O₅ 0.008%，SiO₂ 68.21%，Al₂O₃ 18.94%，

K 2.95%, Na 0.92%。

矿物组成如下：钽铌铁矿 0.013%，细晶石 0.002%，石榴子石 0.043%，锰结核 3.73%，长石 31.13%，石英 27.13%，云母 9.7%，高岭土 28.11%。

钽铌铁矿一般粒度为 0.01~0.2mm，其中-0.074mm 占 78%。钽铌铁矿含 Ta_2O_5 32.43%， Nb_2O_5 47.25%。细晶石一般粒度在 0.08~0.01mm，其中-0.074mm 占 85~90%，细晶石含 $(Ta, Nb)_2O_5$ 为 72.53%。

广州有色金属研究院分别于 1974 年和 1978 年进行了选矿试验，试验的粗选部分采用两段磨矿（磨矿粒度分别为-0.5mm 和-0.3mm），两段重选流程。精选流程为：先摇床精选，精矿用干式强磁选获得钽铌精矿。钽铌精矿含 $(Ta, Nb)_2O_5$ 46.235%，回收率 31.87%，次精矿含 $(Ta, Nb)_2O_5$ 17.53%，回收率 4.29%。可以考虑综合回收长石和高岭土。

9.3.2 广东博罗泰美钽铌矿

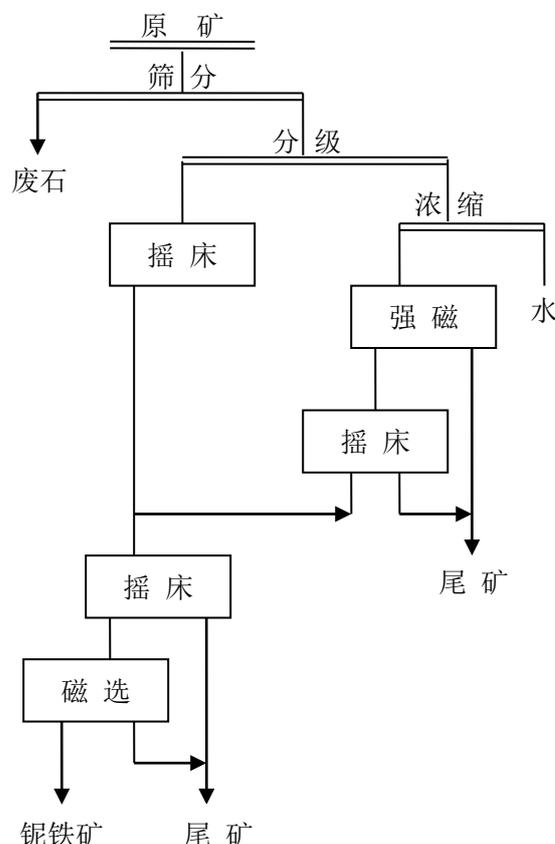
泰美钽铌矿位于广东省境内，系一中型花岗岩风化壳钽铌铁矿矿床。目前开采的矿区有博罗 521 矿区和泰美 524 矿区，其中 521 为主要矿区。原矿含 Nb_2O_5 0.029%。矿石中主要金属矿物有钽铁矿、细晶石、易解石、富铪锆石、钽石、磷钇矿。脉石主要有石英、长石。矿物晶粒：钽铁矿一般小于 0.1mm，富铪锆石一般小于 0.074mm。该矿是中国目前钽原料的主要生产基地。

选矿厂分粗选和精选两个部分。粗选采用重一磁一重流程，原矿（水枪开采）先通过筛选，大于 0.5mm 部分不含矿废弃。0.5-0.3mm 物料采用摇床选别，小于 0.3mm 物料经 $\Phi 12m$ 浓缩机浓缩，浓缩机溢流（-0.075mm）废弃，浓缩机沉砂（0.3-0.074mm）送给 $\Phi 1.5m$ 立环湿式强磁选机，经过一次粗选、一次扫选，磁性部分用摇床精选，获得的钽铁矿粗精矿品位 7-8% Nb_2O_5 ，回收率 44.75%，送精选厂进一步处理。

精选：采用重选—磁选—电选—浮游重选组合流程。钽铁矿粗精矿先经筛选，大于 4mm 物料不含矿废弃，小于 4mm 物料经过水力分级箱分级，各级物料分别用摇床选出高锡钽精矿、钽精矿、次精矿三种产品。各种产品经筛分成+0.9mm 和-0.9mm 两个粒级，用双盘或三盘干式强磁选机选出钽铁矿商品精矿磁选中矿用浮游重选选出独居石，非磁性物料用摇床选别，摇床精矿返回分级箱，摇床中矿

用电选选出锆石。生产指标：铌铁矿精矿含 Nb_2O_5 60%，回收率 95%（对原矿 42.51%），同时还回收了部分锆石和独居石产品。

选矿原则流程见下图。



选矿粗选原则流程图

9.3.3 坂潭砂锡—钽铌矿选矿厂

坂潭砂锡—钽铌矿位于广东省境内，系一河流冲积锡、钽铌多金属矿床。原矿含锡石 $479g/m^3$ ，钛铁矿 $839g/m^3$ ，磷钇矿 $18.3g/m^3$ ，独居石 $34g/m^3$ ，铌铁矿 $34g/m^3$ ，曲晶石 $11.3g/m^3$ 。脉石主要有石英、长石、黄玉。矿物晶粒：锡石最大为 $0.92mm$ ，一般为 $0.5-0.02mm$ ，铌钽矿物最大为 $0.4mm$ ，一般为 $0.2-0.01mm$ 。

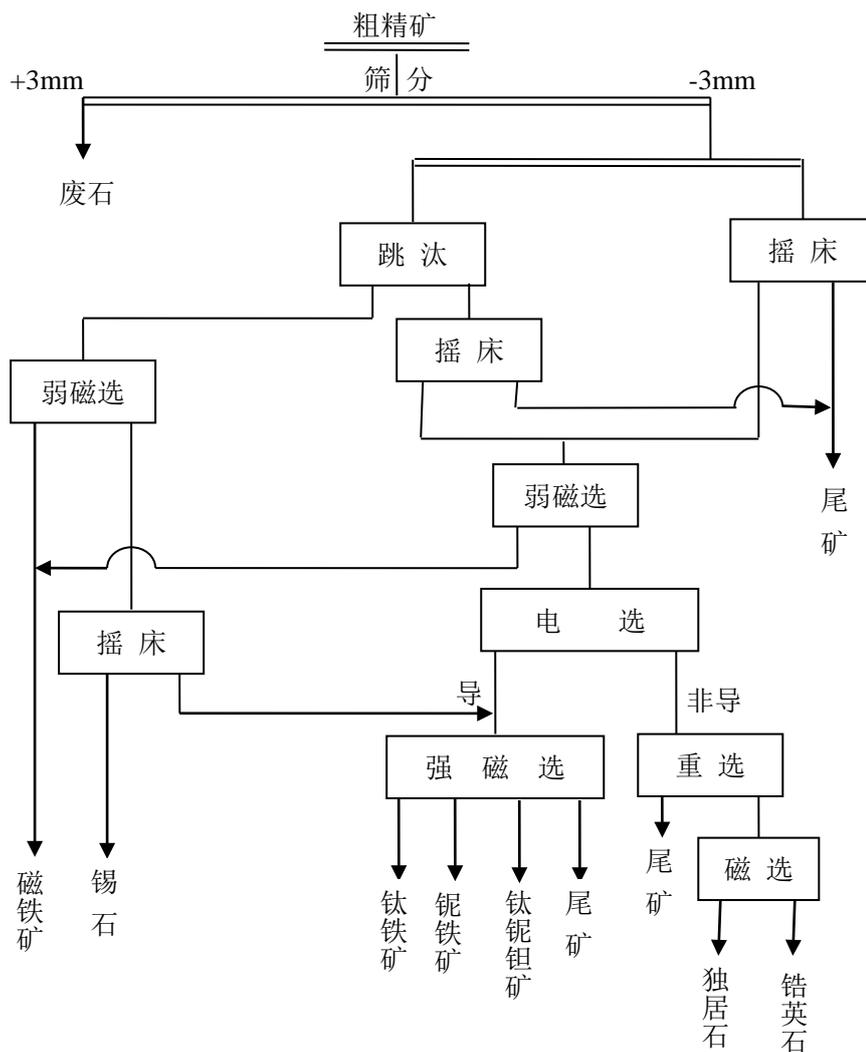
选矿厂整个工艺分粗选、精选两个部分。粗选采用跳汰—组合尖缩溜槽—摇床组合流程。原矿（水枪开采）给到 $6mm$ 圆筒筛，大于 $6mm$ 物料不含矿废弃，小于 $6mm$ 物料经过水力分级， $6-0.25mm$ 粒级给入广东甲型跳汰机，跳汰精矿给入广东丙型跳汰机精选。 $-0.25mm$ 粒级通过 $\Phi 500mm$ 旋流器，旋流器底流用组合尖

缩溜槽选别。矿泥集中先用 $\Phi 125\text{mm}$ 旋流器脱除 0.051mm 部分细泥，然后经水力分级，各级物料分别用摇床选别，获得的锡—钽铌粗精矿含 Sn 1.433%， $(\text{NbTa})_2\text{O}_5$ 0.38%，送精选厂进一步处理。

精选采用重选—磁选—电选—浮游重选的组合流程。锡—钽铌粗精矿先通过 3mm 振动筛：大于 3mm 物料不含矿废弃；小于 3mm 物料给入分级斗。分级斗沉砂采用跳汰机—摇床选别；分级斗溢流经水力分级后采用摇床选别。跳汰和摇床精矿根据其矿物组成、密度、相对磁化系数和相对导电率的差异，首先用磁选机选出磁铁矿，非磁性部分经筛分级（分成 $+0.25\text{mm}$ ， $0.25-0.18\text{mm}$ ， -0.18mm 三级），分别给入电选机。导体物料给入磁选机，用不同磁场强度选出钛铁矿、铌铁矿和钛铌钽矿三种产品。非导体物料经分级用摇床选别，摇床精矿、中矿分别给入磁选机，磁性物料经浮游重选—磁选—电选，分选出独居石、磷钇矿和锆石三种产品。

生产指标：锡精矿含 Sn 71.23%，回收率 49.02%（对原矿），铌铁矿精矿含 $(\text{NbTa})_2\text{O}_5$ 57%，钛铁铌钽矿含 $(\text{NbTa})_2\text{O}_5$ 27%，还回收了钛铁矿，独居石，磷钇矿和锆石四种产品。

精选原则流程如下图：



坂潭砂锡—钽钼矿精选原则流程

10、金 矿

10.1 金矿床一般工业要求

砂金矿一般工业要求

项 目	露天开采							
	全面开采					水 枪 开 采	分割开采	
	采金船开采							
	南方		北方					
	50-100L	150-300L	50-100L	150-300L				
边界品位 g/m^3	0.05-0.07	0.04-0.06	0.06-0.08	0.05-0.07	0.1	0.3-0.5		
最低工业品位 g/m^3	0.16-0.18	0.14-0.16	0.18-0.20	0.16-0.18	0.3	0.6-1		
夹石剔除厚度 m	30-35	40-60	30-35	40-60				

砂矿地下开采：边界品位：1 g/m^3 ，最低工业品位：3 g/m^3 。

岩金矿一般工业要求：边界品位：1-2g/t；最低工业品位：3-5g/t。

岩金矿伴生元素综合评价

元素	Cu	Pb	Zn	S	Mo	Sb	WO ₃
含量%	0.1	0.2	0.4	2.0	0.01	0.4	0.05

10.2 广东省金矿资源概况

10.2.1 工业类型

我国金矿主要有以下几类：

1. 石英脉型金矿；
2. 破碎带蚀变岩型金矿；
3. 细粒浸染型金矿；
4. 石英-方解石脉型金矿；
5. 卡林型金矿；
6. 砂金矿。

10.2.2 广东省金矿分布

广东省金矿分布

矿点	矿石类型	贮量 t		品位 g/m ³	
		Au		Au	
封开县金庄砂金矿	砂矿	6.69		2.732	
封开县金鼓金矿区	岩金	1.9		9-49	
封开县锦绣砂金矿	砂金	0.639		0.537	
怀集县狮子头金矿	脉金	0.28		12-55g/t	
怀集县桥头砂金矿	砂金	1.05		0.01-0.39	
怀集县岗坪砂金矿	砂金	0.76		0.34	
罗岭县连州金矿	风化壳	0.51		0.62 g/t	
罗岭县泗绘砂金矿	砂金	0.192		0.31-1.71	
廉江县塘蓬金矿带	砂金	0.094		0.24-0.94	
廉江县塘蓬金矿带	脉金	0.64		2.48-7.13 g/t	
廉江县坡心金矿	脉金	0.275		2.48 g/t	
廉江县大岭一金山金矿带	脉金	0.366	Ag 0.814	7.13 g/t	Ag156 g/t
遂溪县求水岭金矿	脉金	3.12		6 g/t	
阳江县程村金钩子金矿	脉金	0.106		8.5 g/t	
阳江县雷山金银矿	脉金	0.2		98 g/t	
连山县吉田砂金矿	砂金	0.44		0.1-2.3	
英德县崧山嶺金银矿	脉金	1.6		6.22 g/t	
英德县金造金矿	砂金	0.28		0.223	
英德县金牛坪砂金矿	砂金	0.4		0.5-0.55	
广州前进金矿	脉金	0.247	Ag 1.35	15 g/t	Ag361 g/t
恩平县高桥砂金矿	砂金	0.32		1.63	

10.3 金选矿实例

10.3.1 广东省高要县长坑金矿

该矿属含砷、碳质的微粒金矿床，上部以角砾状硅化岩、风化粘土、硅化含砾砂岩和硅化砂岩组成的风化物，下部为原生矿。

原矿多元素分析 (%)

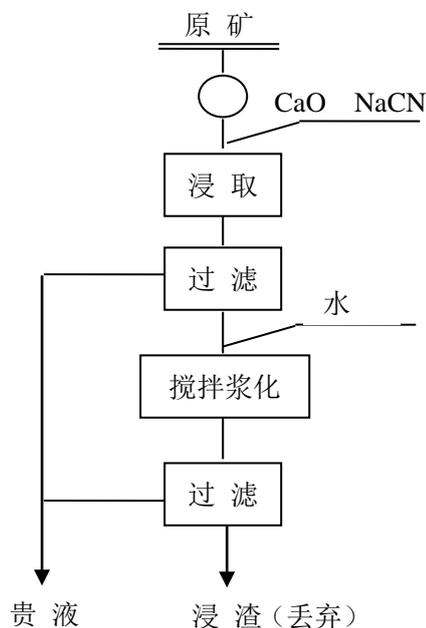
元素	Au g/t	Ag g/t	SiO ₂	As	S	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
含量	6.5	<3	75.41	0.1	0.028	7.81	15.02

原矿金属矿物有：自然金、自然银、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、褐铁矿和磁铁矿，脉石矿物主要为石英、伊利石和高岭土。

原矿中单体金占 81.67%，包裹金占 18.33%。自然金粒度细小，小于 5 μ 占 80.35%。97%的金赋存于自然金中。矿石中影响氰化提取金的有害元素量很低，

尤其是砷、炭的含量均低于千分之一。

广州有色金属研究院 1991 年进行了试验，试验方案为全泥氰化浸出一锌丝置换及炭浸法。全泥氰化浸出流程为：



全泥氰化浸出流程图

条件：磨矿细度 88%-200 目，NaCN 用量 1340g/t，石灰 5.4 kg/t，矿浆固液比 2: 1，浸出搅拌 14 小时。浸出结果：贵液含金 1.10mg/L，浸出率 97.69%，用锌丝置换，置换率 95.76%。

10.3.2 广东省英德九龙金矿

九龙金矿属原生矿，原生矿主要矿物为石英、绢云母、方解石，其次为黄铁矿，有少量磁铁矿、绿泥石、粘土等。金以自然金形式存在。

原矿多元素分析：

SiO₂57.57%，Al₂O₃13%，CaO 8.83%，Au 5.37g/t，Ag 3.5g/t。

主要矿物组成：

黄铁矿为 0.31%，方解石为 26.86%，石英 38.95%，绢云母为 33.85%。

金主要为自然金，含量为 89.96~99.59%，平均 90.48%，粒度 0.1~0.08mm，粒金金属量占 43.9%，0.08~0.04mm 级金金属量占 50.8%。

试验采用单一浮选，重一浮和浮一重流程三种方案试验，三种方案分选指标相差不大。

单一浮选方案：精矿含 Au 102g/t，回收率 96.07%，

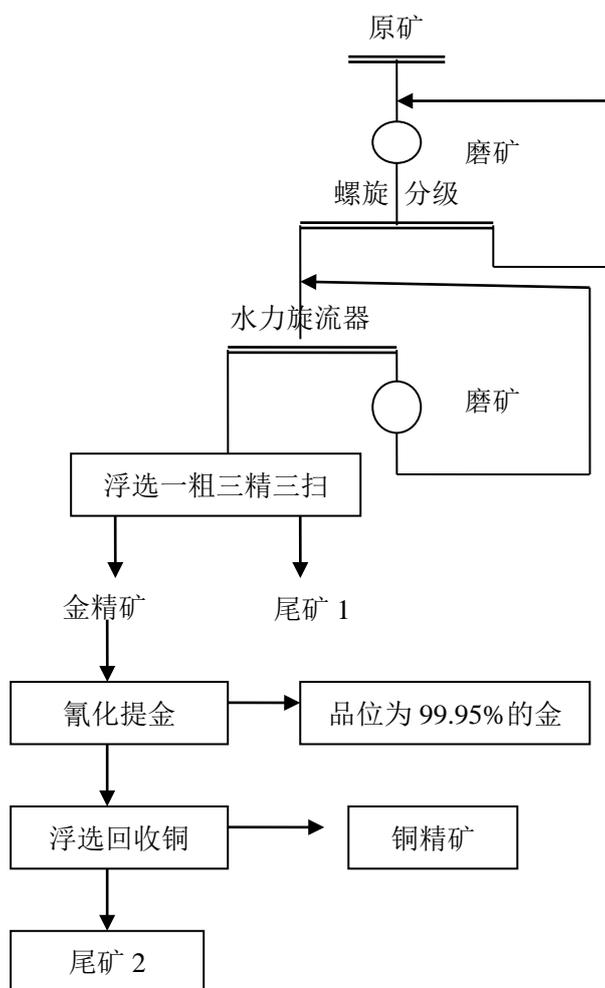
重一浮方案：精矿含 Au 120g/t，回收率 98.18%，

浮一重方案：精矿含 Au76.78g/t，回收率 98.30%。

10.3.3 广东高要河台金矿

河台金矿的金除有单体金之外，有些矿物如黄铁矿、黄铜矿和褐铁矿也是金的载体矿物。现在选厂规模为 750t/d，金精矿含 Au60g/t 左右，选矿回收率近 90%。金精矿用氰化提金，氰化提金回收率 96%以上，合质金品位为 99.95%以上；氰化渣用浮选法回收铜，铜精矿品位 18%以上，铜精矿含金 5g/t 以上，铜作业回收率 78%以上。

生产流程如下图：



高要河台金矿生产流程图

10.3.4 广东省廉江坡心金矿

廉江坡心金矿是多金属硫化矿床，1976年投产，生产能力为40t/d。生产中铅、锌、金的品位波动较大。1982年以前处理1号矿体，含Pb 0.4%，Au 1.92g/t。生产工艺是采用磨矿—浮选流程，在此期间，生产指标不理想，铅精矿品位为17%，难以销售，主要问题可能浮选药剂制度不甚合理造成。1983年以后处理1号矿体。1号矿体铅锌比例为1:1。因此需强化锌的浮选工艺（具体情况尚不清楚）。

10.3.5 广东前进金矿

前进金矿在广州市郊区，该矿属于热液充填含金石英脉矿床。

原矿多元素分析结果：Au 4.59g/t，Ag 40~53g/t，SiO₂ 76.18%，Al₂O₃ 11.0%，Fe 3.43%，Cu 0.006%，Pb 0.06%，Zn 0.011%。

金属矿物有黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、自然金、银和辉银矿。脉石矿物有石英、云母和重晶石。

自然金粒度为0.01~0.06mm，自然银粒度为0.1~0.35mm。金银赋存状态：金主要以自然金形式存在，其次呈微细包裹体形式分布于黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、赤铁矿、辉银矿和自然银等矿物中。银主要以自然银、辉银矿形式存在，其次分散于方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、赤铁矿和自然金等矿物中。

原生产规模为10t/d，为重选—氰化流程，1977年广州有色金属研究院试验，改为混汞—浮选流程。改造后金和银的回收率分别达到了73~82%和50~87%，比改造前回收率提高了22~35%。

10.3.6 广东罗定上寨金矿

上寨金矿是一民营企业。矿床为含金沉淀变质岩，上部风化程度较深，下部为原生矿。1981年广州有色金属研究院进行了上部风化矿的选矿试验。

原矿多元素分析结果：Au 6.17g/t，Ag 1.75g/t，SiO₂ 60.56%，Al₂O₃ 17.40%，As 0.12%，Fe₂O₃ 7.8%。

主要金属矿物有自然金、钛铁矿、赤铁矿、磁铁矿、黄铁矿、毒砂、锆英石。主要脉石矿物有石英、长石、白云母、绿泥石等。

金是惟一有价矿物，94.04%的金是以自然金形式存在，金的粒度粗细不均，+0.08mm 粒级金分布率为 38.96%，-0.08+0.04mm 粒级分布率为 39.67%，-0.04mm 粒级分布率为 21.67%。

原矿中锰、砷、硫元素少，对混汞和氰化有利。试验进行了四种工艺试验。

1. 浮一重联合流程，2. 单一混汞流程，3. 混汞一浮（重）选，4. 氰化浸出。

试验结果表明，氰化流程技术指标最高，但由于矿石中含泥量大，氰化物消耗多，不利环境。采用浮一重联合流程，精矿品位 109.82g/t，金回收率为 76.85%，采用混汞一重选方案，金回收率可达 83%，单一采用混汞法，金回收率仅 65~67%。根据试验结果，研究单位推荐浮一重联合流程或混汞一重选方案作为生产改造流程。

10.3.7 广东清远新洲金矿

新洲金矿矿石已经风化，结构疏松，呈多蜂窝状。主要有用矿物为自然金，主要脉石矿物为石英、云母，矿样中砷含量比较高，主要含砷矿物为臭葱石、毒砂，矿物量分别为 15.34%和 1.36%。

原矿多元素分析：

Au 22g/t, Ag 3g/t, SiO₂ 55.76%, Al₂O₃ 3.70%, As 8%, Fe₂O₃ 16.41%。

矿物组成：

自然金 0.705%，褐铁矿 10.31%，石英 40.12%，云母 30.11%，臭葱石 15.34%，毒砂 1.36%，高岭土 1.13%。

金的粒度不均匀，+0.08mm 粒级金金属量为 42.03%，-0.02mm 粒级金金属量为 10.01%。曾进行多方案试验，从技术经济综合考虑，推荐混汞一重选方案。用该方案试验，金的回收率可达 64.83%。

11、银 矿

11.1 银矿床一般工业要求

大部分银是伴生在铜矿，铜、铅锌多金属矿，铜镍矿和金矿床中。在开采和炼铜、铅、锌、镍、金这些主组分时可顺便把银提炼出来，所以在工业上没有固定要求。

对独立银矿床规定边界品位 40-50g/t，工业品位 100-120g/t，矿床平均品位 140-150g/t，可采厚度 \geq 0.6-1m，夹石剔除厚度 \geq 2-4m。

11.2 广东省银矿资源

11.2.1 一般工业矿床类型

1. 脉型；
2. 斑岩型；
3. 矽卡岩型；
4. 火山岩型；
5. 岩浆岩型；
6. 变质岩型；
7. 沉积岩型；
8. 铁锰帽型。

11.2.2 广东银矿分布

广东银矿分布

矿 点	矿石类型	贮量（吨）		品位	
		Ag		Ag g/t	
凡口铅锌矿	硫化矿	3337		108	
曲江大宝山矿	硫化矿	1812		5-64	
连南坪头岭铅锌矿	硫化矿	102		100	
连平锯板坑多金属矿	硫化矿	534	Au 3	9	
梅县丙村铅锌矿	硫化矿	208		106	
昌江县昌化铅锌矿	硫化矿	58.5		50	
连县小带锰、铅锌矿	硫化矿	43		32	
连南县铁屎坪铅锌矿	硫化矿	67		20-140	
阳山县陆子空铜铅锌矿	硫化矿	34.74		50	
曲江县新凉亭多金属矿	硫化矿	76.77		42.54	

曲江县宝岭多金属矿	硫化矿	17.87		64.95	
英德县长岗岭多金属矿	硫化矿	54.87		500	
佛岗铜溪水龙尾铅锌矿	硫化矿	56		50	
丰顺县宝山铅锌矿	硫化矿	37.8		75	
潮安县厚婆坳矿	硫化矿	694		163	
海丰长埔锡矿		80		30-80	
连平县大尖山铅锌矿		408		57.9	
河源七树铅矿	硫化矿	250		60.9	
广东廉江银矿	硫化矿	676		311	

11.3 银选矿实例

11.3.1 从化县大窝金银矿

该矿位于从化县潭口镇。大窝矿仅有两条矿脉，上部为氧化矿。

原矿多元素分析结果：Au 4.6g/t, Ag 565g/t, SiO₂ 74.12%, Al₂O₃ 10.90%, Fe 3.9%, As 0.02%, Cu 0.018%, Pb 0.13%, Zn 0.027%, SO.061%。

矿物组成：石英 61.31%，绢云母 34.14%，褐铁矿 4.04%，黄铁矿 0.09%，铜兰、闪锌矿、方铅矿 0.08%，辉银矿 0.04%。

金主要以自然金，其次为金银矿，少量银金矿。另外尚有部分以显微或次显微包裹赋存于其他矿物中，当矿石磨至 0.05mm 时，尚有 2% 的金未解离，当磨至 -0.08mm 时，有 27.71% 的金未解离。

银矿物主要为辉银矿，少量角银矿和自然银。当矿石磨至 -0.08mm 时，有 5% 的银未解离，包裹于其他矿物中。

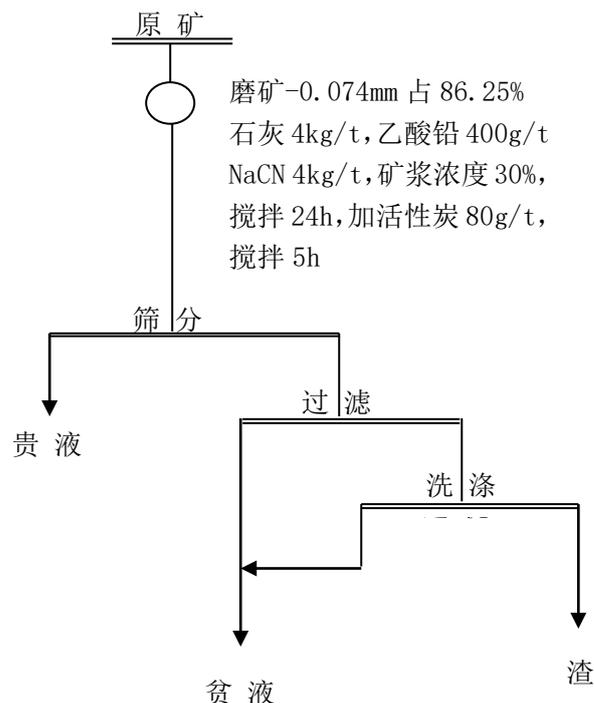
广州有色金属研究院于 1992 年进行选矿试验，试验采用浮选法和炭浆法两种方法。试验结果：

浮选法：精矿含 Au 80.76g/t, Ag 13789.96g/t, 金回收率 73.89%，银回收率 94.37%。

炭浆法：金回收率 96.74%，银回收率 88.29%。

最后推荐炭浆法为选金银工艺。

炭浆法试验条件：



11.3.2 廉江银矿

廉江银矿是以金银为主的铅、锌等多金属金属硫化矿。

原矿多元素分析结果：Ag 311g/t，Au 0.41g/t，Pb 0.56%，Zn 0.47%，Cu 0.033%，S 1.03%，SiO₂ 78.67%，Al₂O₃ 6.91%。

金属矿物以黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿为常见，金银矿物有银黝铜矿、辉银矿、辉铜银矿、硫锑铜银矿、金银矿等。

脉石矿物主要有石英和绢云母。

含金矿物有自然金、银金矿、金银矿等。

嵌布粒度：黄铁矿一般为 0.1~0.2mm，闪锌矿为 0.2~0.5mm，方铅矿为 0.2~0.4mm。

1989 年建成 25t/d 小选厂，随后准备扩建到 250t/d 选厂。小选厂的生产工艺为：一段磨矿—混合浮选。精矿产率为 2.04%，精矿含 Ag 12570g/t，Au 13.8g/t，Pb 23.12%，Zn 18.31%。回收率 Ag 82.45%，Au 68.66%，Pb 85.75%，Zn 79.47%。

11.3.3 广东省厚婆坳银矿

广东厚婆坳银矿是复杂的多金属金属共生矿，有回收价值的元素有铅、锌、锡、银、硫等。原矿含银品位高，是广东省主要银矿山之一。

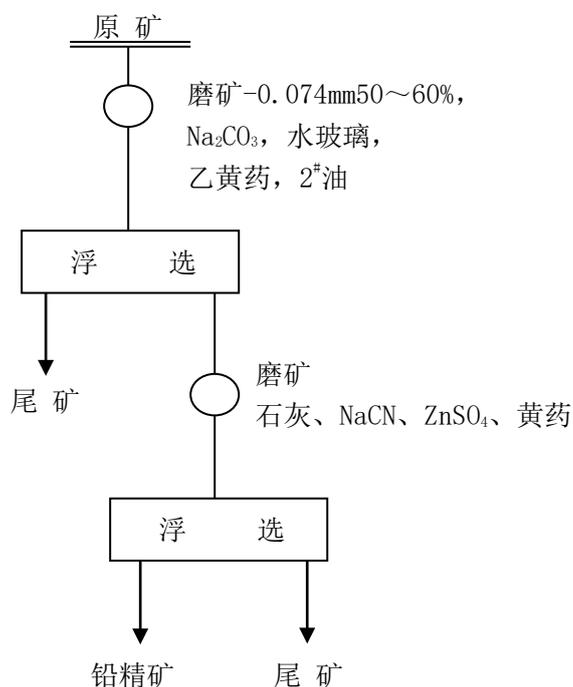
原矿多元素分析：Pb 2.5%，Zn 1.5%，S 14.04%，Fe 16.26%，Sn 0.45%，As 5.09%，
Al₂O₃ 6.75%，SiO₂ 46.19%，Ag 155g/t。

铅物相：硫化铅占 56%，铅铁矿和其他氧化铅占 44%；

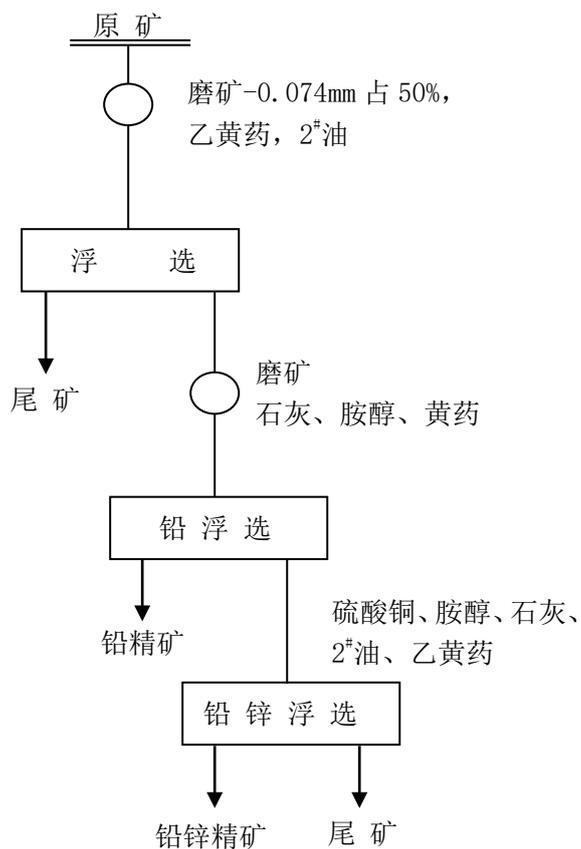
锌物相：硫化锌占 93.28%；

银物相：硫化银及包裹体在其他矿物中的银占 99.67%。银矿物粒度细（大多数小于 15 μ），分布在铅矿物中的占 37.8%，锌矿物中占 15.23%，黄铁矿和毒砂中占 35.15%。

1967 年建有规模为 125t/d 的选厂，选厂原则流程为：



1982 年针对生产工艺未回收锌，造成银的回收率低的问题进行了新工艺流程试验，原则流程如下图：



试验指标:

产品	品位			回收率%		
	Pb	Zn	Ag (g/t)	Pb	Zn	Ag
铅精矿	43.00	3.85	1600	51.22	8.00	31.65
铅锌精矿	12.80	37.65	1075	13.18	67.49	18.38

与原流程相比，铅和银的回收率分别提高 12%和 15%。

12、稀土矿

12.1 稀土矿床一般工业要求

稀土矿床开采的工业要求

矿床类型	边界品位	工业品位	可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
含氟碳铈矿、独居石原生矿	REO 0.5%	REO 1%	1-2	2
独居石、砂矿及风化壳矿床	独居石 100-200g/m ³	独居石 300-500g/m ³	1	1-2
含钇（磷钇矿、硅钇矿） 伟晶岩碳酸岩矿床	Y ₂ O ₃ 0.03%	Y ₂ O ₃ 0.05-0.1%	1-2	2
风化壳、淋积型稀土矿床	REO>0.08%	REO≥0.01%	>1	1

12.2 广东省稀土资源概况

1. 内生矿床：广东省湛江市山岱高岭土矿含氟碳铈矿—重晶石细脉及网状脉带，含氟碳铈矿—独居石—磷灰石白云岩、硅钇矿—氟碳铈矿—铈铁矿碱性花岗岩。

2. 变质矿床

3. 外生矿床

4. 风化壳、淋积型稀土矿床

12.3 稀土矿选矿实例

12.3.1 南山海稀土矿

南山海稀土矿位于阳江县境内，距湛江 230km，南山海矿属较大型海滨砂矿，以独居石为主，重矿物含量较少，以石英为主要轻矿物，含量达 98.68%，独居石含量为 0.0516%，磷钇矿为 0.0107%，铈铁矿为 0.172%，锆英石为 0.135%，有用矿物集中于-0.15mm 粒级。

原矿多元素分析结果：TR₂O₃ 0.047%，TiO₂ 0.31%，ZrO₂ 0.152%，ThO₂ 0.005%，Sn 0.033%，SiO₂ 93.87%。

有用矿物纯矿物分析结果：铈铁矿含 TiO₂ 52.19%，FeO 32.40%；独居石含 TR₂O₃ 55.25%，Ce₂O₃ 29.97%，ThO 10.20%，P₂O₅ 30.36%；

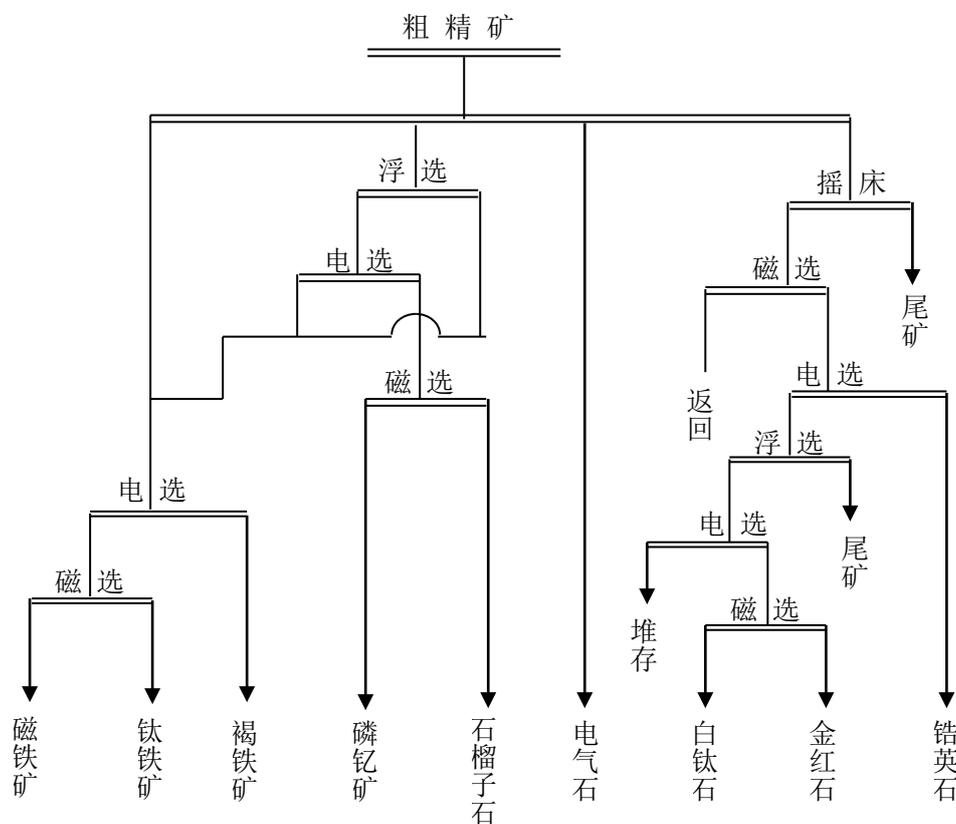
磷钇矿含 $(Y)_2O_3$ 59.10%， P_2O_5 33.24%；

锆英石含 ZrO_2 64.74%。

采矿方法为水采水运，水枪开采，8寸砂泵运输，选矿分粗选厂和精选厂两部分。粗选厂规模为2000t/d，主要工艺为用隔筛筛除+2mm部分，然后经螺旋溜槽选得粗精矿。

原矿含 TR_2O_3 0.509%，粗选后得粗精矿含 TR_2O_3 1.8%， ZrO_2 3.69%， TiO_2 4.79%， R_2O_3 回收率为72.84%。

精选工艺是将粗精矿用摇床进一步丢弃尾矿，然后再用磁选、浮选、电选及重选法得独居石、磷钇矿、钛铁矿、锆英石等产品。精选原则流程图如图。



精选原则流程图

精选指标：

稀土精矿（磷钇矿、独居石）含 TR_2O_3 61.60%，回收率 72.10%；

锆英石精矿含 ZrO_2 65.10%，回收率 69.80%；

钛精矿含 TiO_2 49.00%，回收率 12.70%。

12.3.2 龙岗磷钇矿

龙岗磷钇矿位于深圳市北东 30km 的龙岗区内，面积 $12km^2$ ，以燕山三期侵入

的中粒黑云母花岗岩为主，磷钇矿品位一般为 20~120g/t，锆英石含量为 150g/t。

原矿中稀土氧化物 TR_2O_3 为 0.065%，其中离子型稀土氧化物 TR_2O_3 为 0.015%，占有率为 24~25%。

磷钇矿和独居石矿物量为 0.026%，其中 TR_2O_3 占有率为 26.58%。稀土元素呈类质同象和微小矿物包裹体分散于高岭土、石英、云母等矿物中的 TR_2O_3 占有率为 48.15%，不能回收。该矿中，磷钇矿、独居石和锆英石主要富集在 0.05~0.02mm 粒度中，粒度很细，属难选矿石。

原矿中 5~0.4mm 粒级产率占 47%，经选择性磨矿，可使 SiO_2 含量提高到 97.9%， Al_2O_3 为 1.04%， Fe_2O_3 为 0.16%，可作玻璃和建材之用。

原矿中-10 μ 粒级中，经加工白度可达 74~81%，其中 Al_2O_3 为 33.74%， SiO_2 为 47~48%， Fe_2O_3 为 0.7~0.5%，可做陶瓷原料及橡胶造纸填料。

12.3.2 离子型吸附稀土

广东英德某矿采用原地浸矿及直接分离技术稀土回收率达到 77%。

13、高岭土

13.1 高岭土矿床一般工业要求

高岭土属粘土矿物，亦称为瓷土。自然界常以低温风化、残积风化或二次沉积产出，其可选性都各有差异。高岭土化学性质稳定，物理性质独特（晶粒微细、质软、色白、比重低、熔点高、导热和导电性能差，有良好的塑性和滑腻感）。因而被广泛应用与造纸、瓷器、搪瓷、橡胶、塑料耐火材料、纺织、电器及航天工业上的填、涂料。

标准的纯高岭石其颗粒为六角形扁平片状。一般粒度在 $\pm 2\mu$ 。化学成分分析值为 Al_2O_3 ：39.8%， SiO_2 ：46.3%，灼烧减量13.9%。

日用及建筑陶瓷用高岭土矿床一般工业要求

项目		化学成分%		
		Al_2O_3	$Fe_2O_3+TiO_2$	
			总量	其中 TiO_2
高岭土	原矿	>18-30	<2	0.6
砂质高岭土	原矿	>14	<2	<0.6
	淘洗精矿-43 μ m	>24	<2.5	<0.7

造纸用涂料用高岭土矿床一般工业要求

项目		白度%	粘度 $mpa \cdot s$	精矿淘洗率%	可采厚度 m	夹石剔除厚度 m	平均采剥比
高岭土	精矿	>80	<500	—	≥ 1	≥ 1	<6-8
硬质高岭土	精矿	>80	<500	>13	≥ 1	≥ 1	<6-8

13.2 广东省高岭土资源概况

13.2.1 矿石工业类型

1. 风化壳；
2. 热液蚀变型；
3. 沉积型。

13.2.2 广东省高岭土矿分布

广东省高岭土矿分布

矿点	贮量 (万吨)	
广东茂名山阁矿	28633	
广东茂名大同矿	5661	
汕头松子岭矿	10	
梅州丰顺县丰良镇高岭土矿	8000	
惠州沙尾高岭土矿	6800	
潮州飞天燕瓷土矿	3109	
陆丰大安镇高岭土矿	4000	
阳山县七拱镇高岭土矿	3000	
高要县高岭土矿	21000	

13.3 高岭土矿选矿实例

13.3.1 湛江市山岱高岭土矿

湛江市山岱高岭土矿床位于湛江市东南面约 30 公里，经 704 地质队勘探获得 B+C+D (1 级+2 级) 总储量为 1090 万吨。矿体属风化壳型，高岭土矿成矿原岩为二长花岗岩，矿体产于二长花岗岩之上及其风化壳中。矿石工业类型为砂性高岭土。湛江市山岱高岭土矿主要影响产品白度的有害杂质元素是铁和钛。铁在 -0.02mm 粒级中呈独立的铁矿物 (赤铁矿、褐铁矿) 的铁占 43%，分散在高岭土、伊利石、水云母等，硅酸盐物中铁占 47%，这些铁以三价铁形式存在，而 Fe^{3+} 又以类质同象或紧密包裹体、离子吸附形式污染高岭土，或形成高铁高岭土。钛在 -0.02mm 粒级中呈钛矿物 (白钛石、钛铁矿、金红石) 占 80%，分散在高岭土中的钛占 20%，这些钛矿物化学性质稳定，只有磁选法能除去一部分矿物钛，而钛元素常以离子吸附状或类质同象形式存在。因此对白度的提高带来困难。采用磁选和化学处理结合的方法提高产品的白度、降低钛铁含量是有效的。

国内外精选工艺简介：

美国高岭土精选流程是把原矿分散混合后，通过沉淀槽和筛子除去 +40 μ 粗粒，然后用连续离心机把 -40 μ 粒级分成粗细两部分，粗的含 -2 μ 约 35% 左右，进入层磨后返回离心机分级，-2 μ 产品混合成涂料产品，+2 μ 余物为填料产品，为控制质量指标，采用高梯度钢毛强磁选除去物料中的杂质然后用化学漂白方法提高产品白度。其产品方案有浆状产品，喷雾干燥产品，半煅烧产品。

英国高岭土精选流程是把原矿捣浆螺旋分级除砂，然后采用三至四级重力沉降池逐步分选系统，通过严格控制流入量和溢流来调节沉降物的粒度，获得填料和涂

料产品，为了控制产品质量指标，采用浮选法除去物料中的杂质，然后用化学漂白方法提高产品白度。其产品方案有浆状产品，条状干燥产品和煅烧产品。

日本精选流程是把原矿轧碎后球磨、浮选、二级水力旋流器分出粗细两部分，细的供涂布造纸用，粗的再经三级旋流器分成两部分，一部分为填料，另一部分粗砂供农药用。它们主要采用离子交换化学漂白法，除去杂质提高白度，产品均为干品。

13.3.2 广东省惠州高岭土矿

广东省惠州高岭土矿位于惠州市境内。该高岭土矿有多部矿体组成，其中7#矿体更具规模。

原矿多元素分析结果：

元素	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O
含量%	18.68	0.66	71.32	0.27	2.26

原矿粒度分布：

粒级 mm	产率%	含量%		
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
+0.5	28.84	2.13	96.9	0.26
+0.043	30.93	12.65	74.16	1.31
-0.043	40.23	35.18	50.88	0.44
合计	100.00	18.68	71.35	0.66

各粒级矿物组成

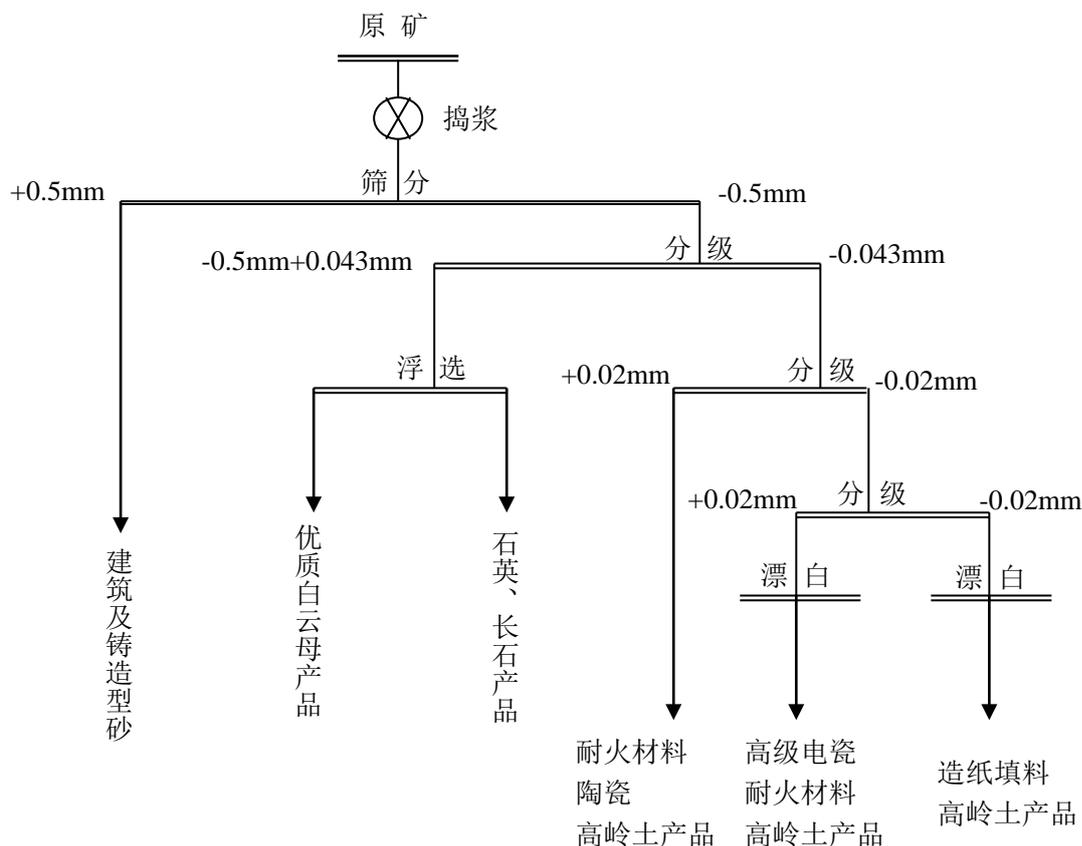
粒级 mm	产率%	7A 埃洛石、伊利石	长石、石英	白云母	褐铁矿
+0.5	28.84	0.04	96.14	3.82	0
+0.043	30.93	1.23	52.06	46.53	0.18
-0.043	40.23	100	0	0	0
合计	100.00	40.57	43.82	15.51	0.06

本矿有如下特点：

1. +0.5mm 粒级主要为石英，该级的 SiO₂ 含量达 96.9%，石英无色透明，颗粒表面较清洁，可作建筑及铸造型砂。
2. -0.5mm+0.043mm 粒级，主要为石英和白云母，其中白云母含量达 46%，有 92% 的白云母富集于该粒级。经浮选试验，可获得纯度为 96.41% 的优质白云母精矿。
3. -0.043mm 粒级，该级别主要有片状伊利石和管状 7A 埃洛石（含水高岭土）组成，而 7A 埃洛石主要富集于 -10μ 产品中，-2μ 高岭土基本全为 7A 埃洛石。

产品	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	白度%	
					自然	1200℃
-43μ 高岭土	35.20	49.51	0.36	0.013	83.42	91.51
-2μ 高岭土	37.00	47.37	0.27	—	87	93

推荐原则流程:



13.3.3 广东潮安飞天燕瓷土矿

飞天燕瓷土矿为一大型高岭土矿床，B+C+D 级贮量为 3219 万吨。矿层为似层状，产状较平缓，矿体物质成分比较简单。共 3 个矿体，其中 1 号矿体为主矿体。

原矿物质组成:

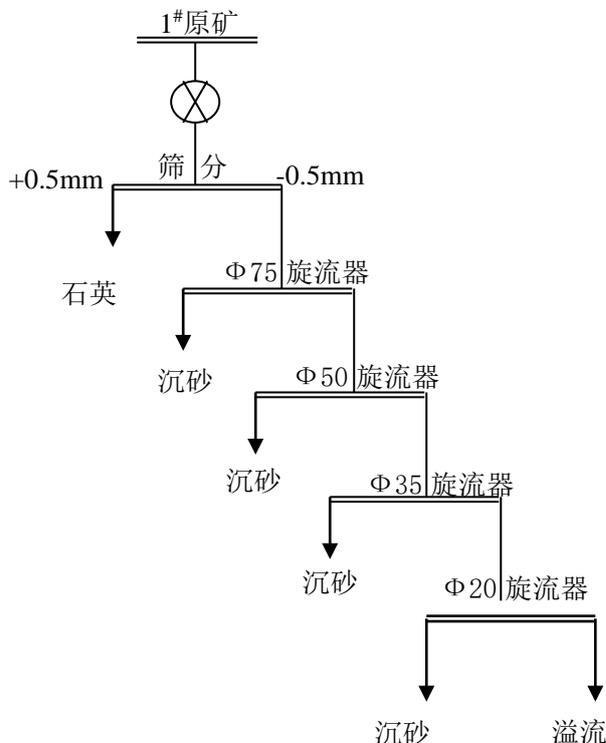
元素	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	T _{Fe}	TiO ₂
含量%	14.93	76.85	2.67	0.89	0.30	0.04

矿物组成:

矿物	粘土	长石	石英	其他
含量%	34.09	8.42	56.5	0.99

粘土中伊利石占 70~80%，高岭土占 20~30%。粘土颗粒微细，多数在 2μ

以下， $5\sim 10\mu$ 粒级含有粘土与石英、长石的连生体，因此含 Al_2O_3 大为降低。铁元素以类质同象形式取代铝而均匀分布于硅酸盐矿物中，难用物理方法除去。广州有色金属研究院于 1983 年对该矿样进行试验。



$\Phi 20\text{mm}$ 旋流器溢流产率为 15.30%，其中 Al_2O_3 为 32.96%，粒度为 -2μ 粒级占 85~90%。热差分析结果为含伊利石、高岭土的混合粘土，伊利石占 70~80%，高岭土为 20~30%。

粘土精矿用连二亚硫酸钠化学处理后，其白度可由 75 度提高到 80 度以上。

13.3.4 广东肇庆白诸瓷土矿

该瓷土矿位于肇庆市南 18.5km，区内有混合花岗岩、均质混合岩和条状混合岩三种，主要矿物有钾长石、斜长石、石英、黑云母、白云母。

矿物化学组成： Al_2O_3 20.25~35.26%， SiO_2 46.44~69.97%， Fe_2O_3 0.3~0.4%。

该区发现矿点多处，但规模都较小，2 号矿体有一定规模。1986 年对 2 号矿样的 K_1 、 K_5 两槽探样及 K_{1-7} 、 K_{1-10} 、 K_{4-1} 和 K_3 等点样品进行了探索性试验。

矿样经捣浆 30 分钟，筛除 $+0.04\text{mm}$ 粗矿，用六偏磷酸钠作分散剂，分级为 $+2\mu$ 和 -2μ 粒级， -2μ 物料聚沉后得高岭土产品。

试验证明, K_1 、 K_5 和 K_{1-7} 三部样品的 -2μ 物料性能较好, 产率分别为24.67%、16.60%和29.35%。其含 Al_2O_3 分别为32.49%、30.03%和36.31%, 白度达82~89度。产品未见斜管状晶形, 有利于造纸涂布。

13.3.5 源潭瓷土矿

源潭瓷土矿位于广东清远县源潭。将矿样捣浆25分钟, 用325目筛子, 筛除 $+40\mu$ 物料, -40μ 部分产率为92.33%, 含 Al_2O_3 32.76%, 含 Fe_2O_3 1.53%, 自然白度70度。

用移液法将 -40μ 物料分成 $-40+2\mu$ 和 -2μ 两级产品, -2μ 级物料产率为70.71% (对原矿)。含 Al_2O_3 35.44%, 含 Fe_2O_3 1.53%。该产品以高岭石为主, 晶形以片状为主, 呈破裂不规则六方形体, 其中 -0.5μ 占51%, 产品中有害元素 Fe_2O_3 和 TiO_2 较高, 采用磁选、浮选、漂白等联合方法除杂, 结果漂白产品产出率为81%, 含 Fe_2O_3 1.48%, 白度72.4, 仍达不到要求。

13.3.6 广东台山三合月角瓷土矿

该矿位于台山县三合区的玉怀乡与角岭乡交界处。该矿床属花岗岩类岩体风化壳型矿床, 矿区面积 $0.45km^2$, 平均厚度8m, 高岭土主要由花岗岩中的斜长石和钾长石风化而成。

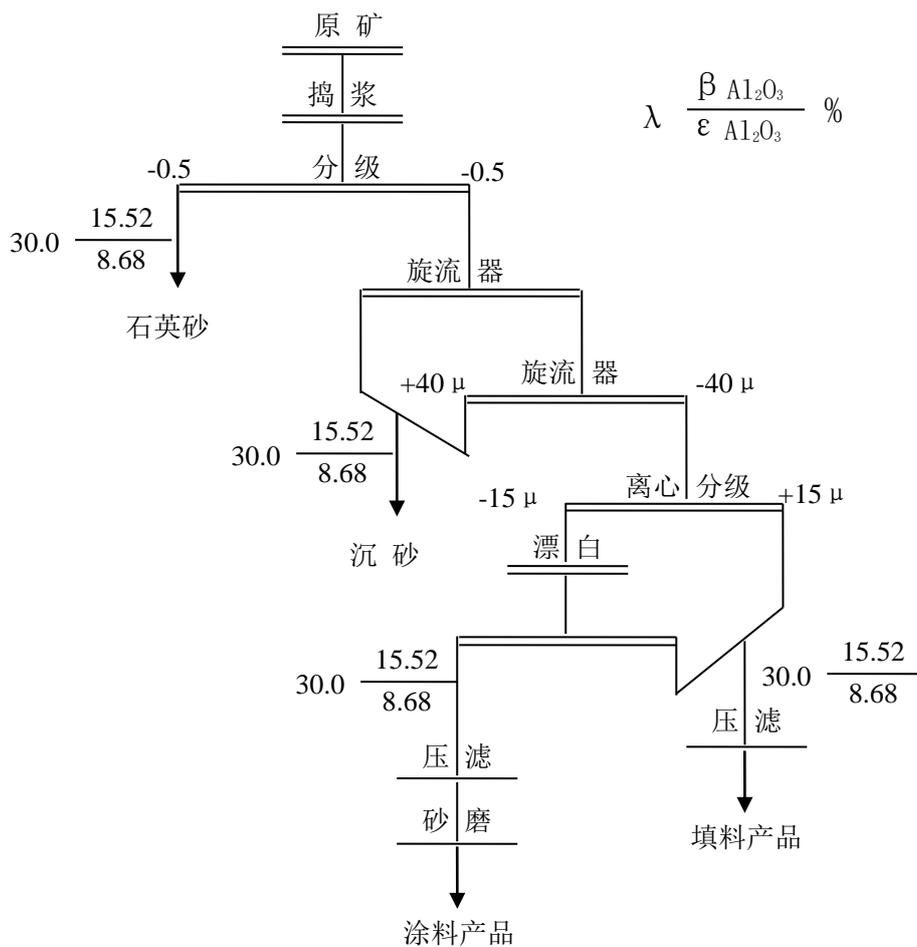
取1[#]样、2[#]样和3[#]样分别代表不同部位, 广州有色金属研究院1985年分别对三部矿样进行了试验。

原矿多元素分析: Al_2O_3 23.22%, SiO_2 61.35%, Fe_2O_3 1.04%, TiO_2 0.069%, Ta_2O_5 0.015%, Nb_2O_5 0.005%。

矿物组成: 高岭土、埃洛石、长石、石英、云母及少量电气石, 还有部分的赤铁矿、黄玉、磷灰石、铁锰质矿物。

在原矿中, -2μ 部分针状和管状的埃洛石含量较高, 占50~60%, $-40+2\mu$ 粒级中, 片状高岭土较多。

小生产试验流程如下:



小生产试验流程图

产品磨后粒度为-2 μ 占 62%，白度为 85.1。

13.3.7 广东高州高岭土矿

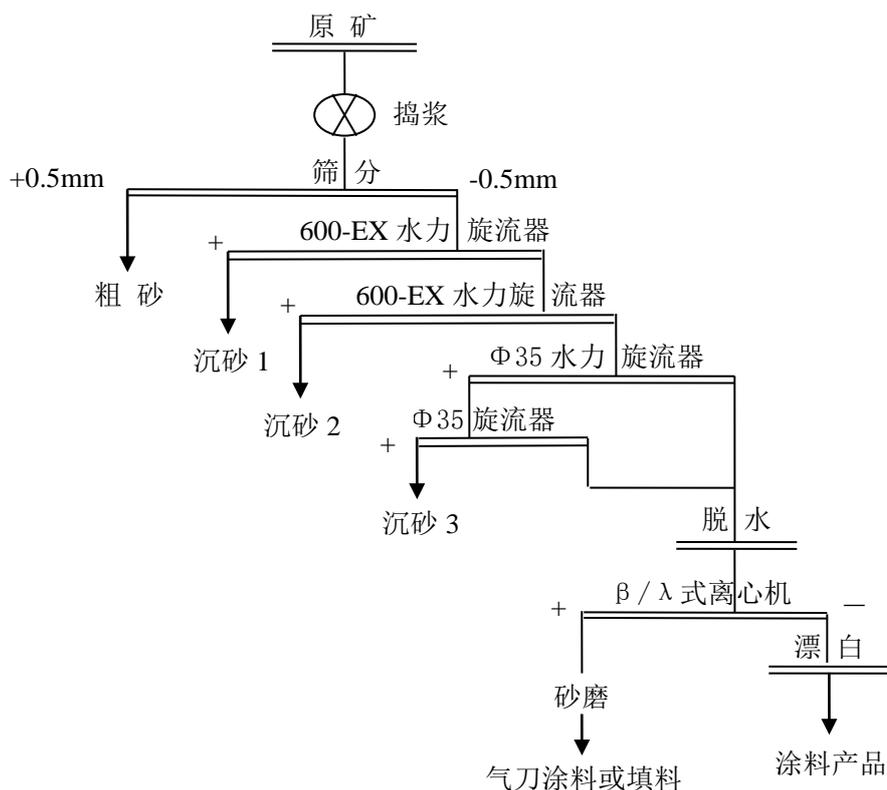
该矿位于高州县境内，属风化残余型矿床，矿物组成比较简单，粘土矿物以高岭土为主，少量埃洛石和伊利石。非粘土矿物有石英、长石、白云母、电气石。微量矿物有赤铁矿、褐铁矿。

石英是主要非粘土矿物，含量高达 40%以上，粒度较粗，一般 0.2~0.6mm。白云母的含量为 11%，粒度一般为 0.1~0.2mm，在此级别中，白云母的矿物量达 40%以上。

原矿多元素分析:

粒度 mm	产率%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %
+0.4	40.37	3.69~6.0	86~94	0.17~1.0
+0.3	30.93	16~29	55~72	0.5~1.57
-0.3	28.70	36~37.77	44~49	0.2~0.4
合计	100.00	19.49	70.08	0.64

1988年广州有色金属研究院进行了半工业试验, 试验流程为:



试验流程图

试验结果:

产品	产率%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %
筛上产品	33.7	3.56	90.23	0.56
600EX 旋流器沉砂 1	31.66	16.78	71.35	1.47
600EX 旋流器沉砂 2	6.35	33.85	49.06	0.52
Φ35 旋流器沉砂	2.33	37.16	45.51	0.30
Φ35 旋流器溢流	25.96	37.96	45.13	0.29

说明: 1. 在酸性矿浆中, 采用亚硫酸盐作漂白剂是有效的, 可使自然白度由 80~81% 提高到 85~86.5%。

2. 卧式离心机的溢流 (-4μ) ($<2\mu$ 占 80% 以上) 作为涂料级产品是合适的。

3. 卧式离心机沉砂 ($4\sim 20\mu$) 经剥片 (砂磨) 提高 -2μ 级别含量, 其晶形片

状为主，可作气刀涂布土用于造纸。

13.3.8 湛江龙头高岭土矿

龙头路西矿是石英斑岩完全风化的产物，主要成分为高岭土、长石、云母、石英及少量蒙脱石组成。原矿多元素分析结果： Al_2O_3 22~24%， SiO_2 63~67%， Fe_2O_3 0.4~0.65%。 -20μ 级产率为50.2~51.45%，含 Al_2O_3 37.15~37.7%， SiO_2 46.2~46.5%， Fe_2O_3 0.56~0.75%（其中难溶硅酸铁占82%以上），自然白度71.7%，主要由近似六角形小薄片层叠状高岭土组成。大于0.5mm级别为 SiO_2 达97%以上的优质石英砂。0.5~0.02mm级别物料含 Al_2O_3 18~23.9%， SiO_2 64~66.5%， Fe_2O_3 和 $\text{TiO}_2 < 1$ 的陶瓷原料。

广州有色金属研究院于1990年进行了小型试验和扩大试验。将原矿捣浆后，筛分出+0.63mm粒级物料作石英砂产品，-0.63mm物料经二次35mm旋流器分级，其沉砂作陶瓷原料，溢流浓缩后漂白得填涂料。

试验结果：

产品	粒度 mm	产率%	$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	$\text{SiO}_2\%$	$\text{SiO}_2\%$	白度%
石英砂	+0.6	33.23	3.06	95.76	0.09	——
陶瓷原料	+0.6~ -0.02	16.53	21.68	68.09	0.75	70.5
填涂料	-0.02	50.24	38.38	46.85	0.78	85.8

结论：

1. 矿石中的铁82.14%为难溶硅酸铁，这种晶格铁并不影响白度；
2. 涂填料产品经鉴定主要为高岭土。

13.3.9 广东茂名高岭土矿

茂名高岭土矿共分三个矿区，即山阁区，霞地区和金塘区。茂名高岭土矿是由长石砂岩沉积风化而成，主要矿物为高岭土、石英、伊利石、少量白云母、锐钛矿和褐铁矿。

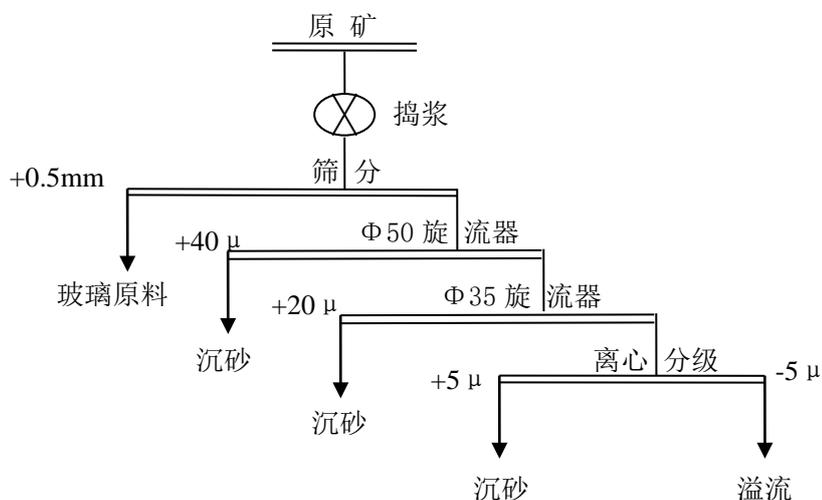
原矿多元素分析：

产地	$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	$\text{SiO}_2\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3\%$	$\text{K}_2\text{O}\%$	$\text{Na}_2\text{O}\%$	$\text{TiO}_2\%$
山阁区	3.62	88.05	0.036	0.045	0.001	0.1
霞地区	8.19	80.55	0.11	0.58	0.022	0.2
金塘区	5.71	83.71	0.094	0.089	0.001	0.18

三矿区按 1: 1: 1 配成混合样粒度结果:

粒度 mm	产率%	品位%		
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
+0.5	57.29	0.43	98.77	0.25
-0.5+0.071	19.72	1.11	96.18	0.074
-0.071+0.043	1.01	5.25	89.54	0.037
-0.043+0.02	5.81	23.56	63.91	0.41
-0.02+0.01	4.99	34.57	48.71	0.38
-0.01+0.002	1.39	36.84	46.84	0.42
-0.002	9.79	36.09	47.47	0.43

广州有色金属研究院于 1987 年进行了扩大试验, 试验原则流程如下:



试验流程图

扩大试验结果:

产 品	产率%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	SiO ₂ %	自然白度%
筛上	55.54	0.78	97.65	0.046	
Φ50 旋流器沉砂	16.20	2.12	94.98	0.42	
Φ35 旋流器沉砂	10.10	10.63	82.93	0.49	
离心分级沉砂	10.01	32.90	47.29	0.50	
离心分级溢流	8.14	36.91	46.40	0.47	85

结论:

1. 山阁、霞地区高岭土提纯后化学元素、白度、粒度均能满足铜板纸刮刀涂布料要求;
2. 金塘区高岭土自然白度只达到 83%, 经漂白, 白度达 85%, 只能满足铜板纸低

含固气刀涂布用料要求；

3. +0.5mm 物料占 50%，能满足玻璃工业用料要求；
4. -4 μ 的高岭土产品产率小；
5. 三矿样混合处理，白度只达 84%，经漂白处理白度提高不大，结果不理想。

14 萤石

14.1 萤石矿床一般工业要求

萤石矿床一般工业要求

项目	边界品位 CaF ₂ %	最低工业品位 CaF ₂ %	S%	最低可采厚度 m	夹石剔除厚度 m
富矿	——	>65	<1	0.7	>0.5-0.7
贫矿	≥20	≥30	<1	1.0	>1.0-2.0

14.2 广东省萤石资源概况

14.2.1 工业类型

1. 单一萤石矿；
2. 石英—萤石矿；
3. 方解石—萤石矿
4. 碳酸岩—萤石矿；
5. 硫化物—萤石矿；
6. 重晶石—萤石矿；
7. 硅质岩—萤石矿。

14.2.2 广东省萤石矿分布

广东省萤石矿分布

矿点	矿石类型	贮量（万吨）	品位 CaF ₂ %
从化温塘肚萤石矿	热液型	1.9	43
从化和丰萤石矿	热液型	5.3	40-60
乐昌大王山萤石矿	热液型	25.1	76.01
乐昌大湾萤石矿	热液型	2.8	89.65
乐昌北乡采矿山萤石矿	热液型	2.5	92
河源县鸡石角萤石矿	热液型	2.76	85.3
河源县胜利萤石矿	热液型	13	86.65
兴宁县牛神寨萤石矿	热液型	1.88	63.22

14.3 萤石矿选矿实例

14.3.1 广东乐昌张姑岭萤石矿

张姑岭萤石矿为单一的萤石矿，矿物组成简单，未发现可回收的其他共生元素。

原矿多元素分析结果：

SiO₂ 46.22%，CaO 20.68%，F 21.2%，Fe 3.37%，Al₂O₃ 2.25%。

矿物组成：萤石 45.77%，长石、石英 53.91%，磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿 0.3%。
萤石解离粒度较粗，+0.5mm 级别连生体不超过 10%。

1979 年广州有色金属研究院进行了可选性研究。将矿石磨至-0.08mm 占 87% 时，以碳酸钠和水玻璃为调整剂，氧化石蜡皂为捕收剂，一次粗选两次精选，得到结果是：

精矿含 F 44.07%，回收率 96.9%。相当于精矿中含萤石矿物为 93.23。精矿质量难以达到 CaF₂ 大于 98% 的化工级标准。

纯矿物分析表明：紫色萤石含 F 46.2%，折合 CaF₂ 为 94.85%，白色萤石含 F 47.4%，折合 CaF₂ 为 97.35%。

14.3.2 广东佛岗旗岭萤石矿

矿产地为中粗粒黑云母花岗岩，萤石矿脉产于花岗岩中，矿脉长 400m，厚 2~5m，平均厚 0.5m，地址储量大于 30 万吨。

原矿化学组成：CaF₂ 40~55%，SiO₂ 20~30%，Fe₂O₃ 1~2%。

主要矿物为萤石和石英，少量绿泥石和绢云母。地表已风化呈粉矿，20 米深度以下原生矿逐渐增加。

1985 年广州有色金属研究院进行了选矿试验。当矿石磨至-0.074mm 为 60~75% 时，以碳酸钠和水玻璃为调整剂，以油酸或油酸钠作捕收剂，精选时用 H₁₁₀₁ 作捕收剂，采用一次粗选，六次精选的浮选流程，获得萤石精矿。

精石精矿产率为 55.03%，含萤石 98.66%，回收率 98.34%。精矿中含 SiO₂ 0.29%，CaCO₃ 0.23%，S 0.0031%，P₂O₅ 0.006%。

14.3.3 广东紫金散滩萤石矿

金散滩萤石矿已有 1[#]、2[#]、5[#]、6[#]、7[#]坑口出矿。原矿多元素分析：CaF₂ 61.72%，SiO₂ 34.56%，CaCO₃ 0.33%，Fe₂O₃ 0.43%，Al₂O₃ 0.18%，S 0.056%，P 0.010%，As 0.001%。

主要矿物为萤石、石英、蛋白石、绢云母、褐铁矿及少量硫化矿。

萤石的嵌布粒度较粗（缺少物质组成资料）。

1990 年广州有色金属研究院进行了萤石浮选试验。其浮选工艺为：当磨矿细度为-0.074mm 占 82%时，以碳酸钠和水玻璃为调整剂，以油酸为粗选捕收剂，H₁₁₀₅ 为精选捕收剂，经一次粗选六次精选，得到萤石精矿产品。

精矿产率为 61.36%，含 CaF₂ 98.85%，回收率 98.36%，精矿质量合乎特级产品要求。

14.3.4 广东乐昌两江萤石矿

广东乐昌两江萤石矿贮量比较丰富，原矿品位较低，但是地质资料不清楚。原矿多元素分析结果：CaF₂ 38.36%，SiO₂ 53.50%，CaCO₃ 0.33%，Fe₂O₃ 0.65%，Al₂O₃ 0.54%。主要矿物有萤石、石英、粘土、长石、绢云母、黑云母、白云石及褐铁矿。大部分萤石嵌布较粗，但有 30~40%的萤石必须磨至 0.05mm 以下才呈单体。

1988 年广州有色金属研究院进行了试验。磨矿细度为-0.074mm 占 87%，浮选浓度 25%，浮选温度 26~30℃，浮选工艺为一次粗选，七次精选。第一次精选的中矿与尾矿合并，第二次精选中矿返回粗选作业。粗选的捕收剂为 H₁₁₀₅ 与油酸，精选三补加少量 H₁₁₀₅。

最终精矿含 CaF₂ 98.36%，回收率 95.46%。精矿中含 SiO₂ 0.62%，CaCO₃ 0.26%，S 0.01%，P 0.003%。达到了特级品萤石精矿的要求。

14.3.5 广东惠阳萤石矿

惠阳萤石矿为含萤石较高的富矿。原矿多元素分析：CaF₂ 67.61%，SiO₂ 27.55%，CaCO₃ 1.19%，S 0.17%，Al₂O₃ <0.005%。矿物相对含量：萤石 67.8%，石英类（石英、绢云母等）31.73%，褐铁矿 0.42%，黄铁矿 0.05%。

矿石中萤石主要呈团块浸染状和散粒状分布于石英中与石英紧密相连。一般为1~3mm，粗者达40mm，细者0.02mm。在矿石中石英以细粒或细粒集合体分布或包裹于萤石中。萤石纯矿物含CaF₂ 99.61%。

广州有色金属研究院于1989年进行了试验。将矿石磨至-0.074mm占79%，粗选用水玻璃、碳酸钠作调整剂，油酸作捕收剂，精选用具有良好选择作用的G33作调整剂，经过一粗一扫六精的浮选流程，可获得含CaF₂ >98%，含SiO₂ <0.6%的特级萤石精矿，回收率>90%。

14.3.6 广东乐昌正水萤石矿

乐昌正水萤石矿位于乐昌县九峰山，该萤石矿含萤石较高，属于富矿。原矿多元素分析：CaF₂ 67.49%，SiO₂ 27.35%，CaCO₃ 0.45%，Fe₂O₃ 0.8%，Al₂O₃ 0.29%。

主要矿物有萤石、石英、玉髓、粘土、电气石、褐铁矿、磁铁矿等。1988年广州有色金属研究院进行了浮选试验，其工艺为：将矿石磨至-0.074mm占76%，在自然温度下，所用捕收剂为H₁₁₀₅与油酸，或者用FP₂₀₆₄B进行一次粗选六次精选，获特级萤石矿。精矿品位>98%，回收率分别为96%和98%。

14.3.7 广东河源萤石矿

广东河源县境内萤石矿较多，探明贮量已有数百万吨，开采条件良好。1987年广州有色金属研究院对河源县提供的样品进行了试验。本样品多元素分析：CaF₂ 50.27%，SiO₂ 42.65%，CaCO₃ 0.47%，Fe₂O₅ 1.45%，Al₂O₃ 2.20%。

矿物组成：以萤石、石英为主，有少量黄铁矿、绢云母、方解石、绿泥石、重晶石、粘土矿及多种硫化物。萤石的嵌布粒度不均匀，粗者达40mm，细者小于0.01mm，一般为1~3mm，呈集合体块状，另有细脉状，萤石与石英共存。

在磨矿粒度-0.074mm占87%条件下，采用浮选法选萤石，浮选温度为25~36℃，以H₁₁₁为捕收剂，分别添加在粗选、精二和精四作业，经一次粗选、六次精选可获得特级萤石精矿。精矿含CaF₂ 98.96%，回收率91.81%（精矿含SiO₂ 0.55%）。

14.3.8 广东五华中洞萤石矿

五华中洞萤石矿已有采矿坑口，分西、中、东段分别设堆矿场。按各坑口出矿量配矿后把样送至广州有色金属研究院进行试验，试验于 1988 年完成。

混合样的多元素分析：

CaF₂ 72.45%，SiO₂ 21.63%，CaCO₃ 0.44%，Fe₂O₃ 1.42%，Al₂O₃ 0.73%。

主要矿物为萤石、石英、玉髓、粘土及褐铁矿。原矿中含泥较多，属于富矿。当矿石磨至-0.074mm 占 80%时，萤石的单体解离度 >90%。试验磨矿细度为-0.074mm 占 83%，浮选温度 22~27℃，以油酸与 H₁₁₀₅ 为捕收剂，经一次粗选六次精选，最终萤石矿含 CaF₂ 98.21%，回收率 98.06%。

15、石 墨

15.1 石墨矿床一般工业要求

石墨矿床一般工业要求

矿床类型		一般工业指标			
		品位（固定碳含量%）		夹石剔除厚度 m	最低可采厚度 m
		边界品位	最低工业品位		
品质石墨	风化矿石	2-3	2.5-3.5	1-4	2-4
	原生矿石	2.5-3.5	3-8	1-4	2-4
隐晶质石墨		≥55	≥65	1-3	0.7-1.4

15.2 广东省石墨资源概况

15.2.1 工业类型

1. 晶质石墨：片度大于 1 μ m；
2. 隐晶质石墨：片度小于 1 μ m

15.3 石墨矿选矿实例

15.3.1 广东连山禾洞石墨矿

该矿矿石中石墨为片状，粒度细，有部分石墨与脉石共生，矿石风化严重，矿泥较多。脉石矿物以石英为主，另有大量绿泥石和绢云母。

原矿分析结果：固定炭 16.25%，灰份 77.23%，挥发份 6.52%。

石墨嵌布粒度细，-2+0.1mm 粒级物料产率占 35.42%，品位仅为 1.6%，石墨金属占有率仅为 3.48%，因此这部分可以直接丢弃。

广州有色金属研究院于 1989 年进行试验。试验流程为：当矿石磨矿至 -0.074mm 占 94% 时以煤油和丁黄药为捕收剂，以六偏磷酸钠和水玻璃为调整剂，一次粗选三次扫选、九次精选的全浮选流程，可以得到含碳大于 85% 的合格石墨精矿。石墨精矿品位可达 86.37%，回收率 76.81%。经试验表明，若要求精矿品位达 90% 以上，那么回收率大幅度下降。

16、硫矿资源

以黄铁矿（硫铁矿）和伴生黄铁矿（硫铁矿）为主。我国的地质保有储量居世界第一位，但富矿不多，含硫大于 35%的 I 级品仅占总储量的 5%，绝大部分属于中低品位矿石，只有选矿富集，才能利用。

广东省最大的硫铁矿山为云浮硫铁矿，探明硫铁矿储量 2.08 亿吨，平均含硫 31.04%，氟、砷、铅、锌等有害元素含量均低于国家规定值，是生产硫酸的优质化工原料，其储量、品位及品质规模目前均居世界首位。设计年产原矿 300 万吨，是我国最大的硫铁矿生产基地和硫精矿出口基地，素有“东方硫都”之美誉。

硫铁矿选矿实例：广东云浮硫铁矿

该矿分为富矿和贫矿部分，富矿不用选矿富集，破碎到-3 毫米直接作为精矿出售。贫矿采用浮选法富集，获得高品位的硫精矿。对于采矿过程中采出的低品位边界矿石，广州有色金属研究院研究出采用动筛跳汰机和螺旋选矿机等重选新设备相结合的高效重选新工艺流程，从低品位的硫铁矿石中提取合格硫铁精矿，对条带状的矿石，在原矿含硫 23.15%的情况下，获得硫精矿含硫品位达 35.50%，精矿中硫回收率 83.36%；对致密块状的矿石，在原矿含硫 23.88%的情况下，获得硫精矿含硫品位达 35.00%，精矿中硫回收率 78.45%。

17、结 语

在本数据库中我们分别对铁、锰、铜、铅、锌、钨、钼、铋、锡、海滨砂矿、钽铌、金、银、稀土、高岭土、萤石、石墨、硫等矿石的资源状况进行了概括和分类，并列举了近百户矿山的矿石性质及生产试验的选矿工艺与生产指标情况，其中绝大部分资料是广州有色金属研究院所提供。今后随着矿业的发展和科技进步，我们将不断完善和充实该数据库，使之更好地服务于广东省的经济建设。

广东省矿产资源虽然丰富，但也有缺陷，其表现是五多五少：大型矿少，中、小型矿多；露天矿少，地下矿多；富矿少，贫矿多；单一矿种的矿少，复杂共生矿多；沿海地区少，边远山区多。

广东省的矿业和全国一样，目前有大约 2/3 的大中型矿山进入中晚期，1/3 的矿点资源即将枯竭。为了合理的综合利用广东省矿产资源，增加矿山经济效益和延长矿山服务年限，我们应该在总结前人技术工作的基础上，应用选矿新技术，不断提高选矿产品质量和资源综合利用率。

过去铁矿山一般只回收强磁性铁矿物，现在出现了高梯度强磁铁机，可回收中、弱磁性赤铁矿、褐铁矿、镜铁矿等，使综合回收率大大提高。钨矿山的尾矿中，往往白钨矿和其它伴生金属损失严重。现在由于有了高效的捕收剂，不但可使钨的损失大大降低，而且可以联合使用浮选法及化学选矿方法回收其中的铜、铅、锌、铋、钼等多种有用成分。花岗岩型钽铌矿的选矿尾矿，经过处理可回收其中的石英、长石、云母等有用成分，使选厂成为无尾矿或少尾矿的选厂。

通过强化有用成分的综合回收，可以提高矿山自身的经济效益，并可以减少对环境的污染。

本数据库建立的主要目的也就是展示矿产资源综合回收的途径、方法和新技术，为使广东省的矿产资源综合利用状况提高到一个新水平作出贡献。