

# 矿产资源节约与综合利用先进适用技术汇编（第二批）

<b>第一篇 油气类</b> .....	1
1. 特低渗透油藏生物活性复合调驱提高采收率技术 .....	2
2. 高含水期聚合物驱油开发技术 .....	5
3. CO <sub>2</sub> 驱油与埋存技术 .....	8
4. 陆相页岩气水平井井壁稳定性及大型压裂关键技术 .....	11
5. 致密油有效开发利用技术 .....	14
<b>第二篇 煤炭类</b> .....	16
6. 高水膨胀材料充填采煤技术 .....	17
7. 村庄下与承压水上膏体充填绿色开采技术研究 .....	20
8. 急倾斜煤层综放开采顶煤超前预爆弱化技术 .....	23
9. 高瓦斯厚煤层采煤方法改造项目 .....	26
10. 分布式地下水库技术 .....	28
11. 特厚煤层采空区瓦斯地面直井抽采技术 .....	32
12. 矿井瓦斯发电技术 .....	35
<b>第三篇 金属矿产类</b> .....	37
13. 地下立体分区大规模控制爆破开采技术 .....	38
14. 安全隐患条件下诱导崩落连续开采技术 .....	40
15. 无底柱充填联合采矿技术 .....	42
16. 露天采场第四系砂砾卵石层承压水下开采综合技术 .....	44
17. 57 钼精矿新工艺及产业化技术 .....	47
18. 铜冶炼渣资源综合利用 .....	50
19. 复杂难处理钨细泥高效选矿新工艺 .....	52
20. 冶金矿山高压辊磨新工艺成套技术与装备 .....	55
21. 钛铁矿高效回收工艺及装备产业化集成技术 .....	57
22. 原矿焙烧提金技术与工艺 .....	60
23. 含钒页岩双循环高效氧化提钒技术 .....	61

24. 金属矿山选矿尾砂、干渣和冶炼废渣膏体充填技术 .....	64
25. 铁尾矿梯级分离多元素综合回收技术 .....	66
26. 难浸金精矿细菌氧化预处理工艺技术 .....	68
27. 有色金属尾矿萤石综合回收利用关键技术 .....	69
<b>第四篇 非金属矿类 .....</b>	<b>71</b>
28. 人工永久矿柱置换安全高效开采技术 .....	72
29. 局部胶结充填与空场组合采矿技术 .....	74
30. 多层薄矿体一次性开采技术 .....	76
31. 提高高岭石淘洗率及可塑性的技术 .....	78
32. 低品位滑石光选提纯技术 .....	80
33. 硬石膏制硫酸废渣联产水泥 .....	82
34. 含钾尾矿溶解转化热溶结晶法生产氯化钾技术 .....	85
35. 低品位湖盐生产液体盐技术 .....	87
36. 低品位含铀硼铁矿资源综合利用技术 .....	89
37. 高岭土矿资源高效开发与综合利用关键技术 .....	91

# 第一篇 油气类

# 1. 特低渗透油藏生物活性复合调驱提高采收率技术

## 一、技术类型

油气资源高效开采技术。

## 二、适用范围

储层非均质性较强，油水井注采差异很大，水窜水淹严重，水驱效果差，油井单井产能小，含水上升快，产量递减快，整体采收率低的地层温度小于 70℃，地层水矿化度小于 100000mg/L，地层水中二价离子小于 5000mg/L 的砂岩特低渗透油藏。

## 三、技术内容

### （一）基本原理

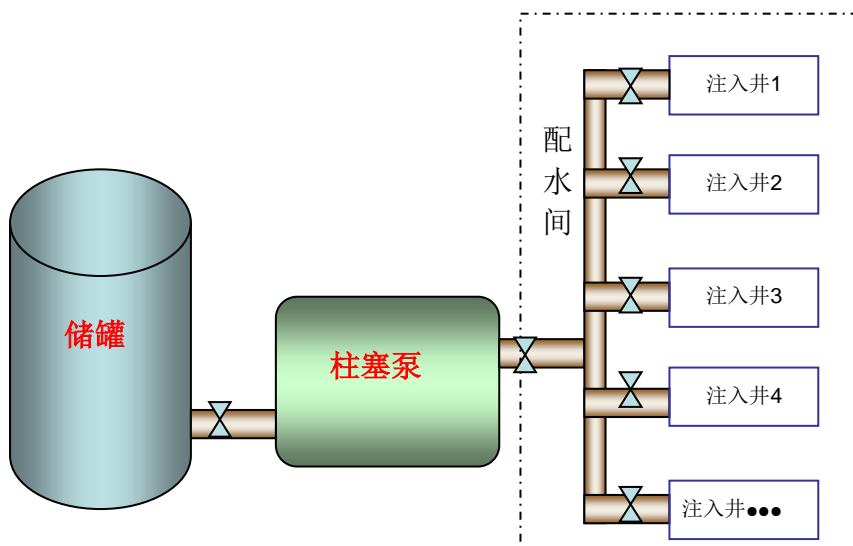
在筛选驯化出本源微生物菌种基础上，研制了微生物菌液中试发酵装置，研发了具有超微尺度、超低界面张力、中性润湿反转、降解、环保、廉价等特点的生物活性复合驱油剂及抗温、抗盐、抗剪切性、成胶时间可控的耐盐长效生物弱凝胶调堵剂体系，实现了微生物菌种地面发酵与地下发酵的融合及特（超）低渗透油藏深部调剖与驱油的有机结合，形成了特（超）低渗透油藏生物活性复合调驱提高采收率技术。

### （二）关键技术

- 1.特低渗透油藏生物活性复合驱油剂研制技术；
- 2.特低渗透油藏生物弱凝胶调堵剂的研制技术；
- 3.特低渗透油藏生物活性复合调驱地面配套工艺技术。

### （三）工艺流程

矿场使用方式可以采取两种途径实现：一种是与注入水按一定的比例混合好后按照注入井配注量，直接通过注水泵加入到注水系统中；或者采取按照相对较大的浓度配好驱油剂，利用加药泵将其按照方案设计的浓度加入到注水干线中，从而保证驱油剂进入油层中。另外一种是将配方中的主要药剂分段塞注入到地下，使其在油层中混合作用，从而起到提高洗油效率的作用。注入加药流程如下：



现场注入工艺流程图

#### 四、主要技术指标

室内驱油效率较水驱可提高 20%以上，根据矿场试验应用评价，矿场平均单井产量提高 30%~37%，含水率降低 3%~8%，采收率提高 5.2%。

#### 五、技术应用现状及典型实例

##### (一) 技术应用现状

本技术自 2008 年 1 月以来，先后在延长油田股份有限公司所属延长油田股份有限公司所属的子长、杏子川、子北、瓦窑堡、永宁、七里村等 6 个采油厂工业化应用，累计增油  $15.88 \times 10^4 \text{t}$ ，新增产值 5.24 亿元，新增利润 1.87 亿元，新增税收 2.32 亿元，经济效益显著。

##### (二) 典型案例

杏子川采油厂王 214 注水区生物活性复合调驱矿场试验。试验区共有油水井 52 口，注水井 9 口，受益井 43 口，含油面积  $3.687 \text{km}^2$ ，区块地质储量  $274 \times 10^4 \text{t}$ 。在现有注水配水间管线上外加注入药剂加药装置，药剂自储罐由注入泵按照一定速度泵入各个注入井的单井注入管线中，与注入水混合注入地下。杏子川采油厂王 214 试验区自 2010 年 5 月 27 日开始进行生物活性复合调驱矿场试验，截止 2012 年 12 月底，累计增油 26261.32t，利用水驱特征曲线法预测新增可采储量  $16.68 \times 10^4 \text{t}$ ，提高采收率 6.08%。新增产值 8666.23 万元，新增利润 3089.52 万元，新增税收 3831.00 万元。

#### 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

延长油田目前有石油地质储量  $22.4 \times 10^8 \text{t}$ ，其中有  $15.66 \times 10^8 \text{t}$  适合生物活性复合调驱，按本项技术达到的技术经济指标，预计新增可采储量  $0.83 \times 10^8 \text{t}$ ，新增产值 2738.93 亿元，新增利润 976.43 亿元，新增税收 1210.77 亿元，具有广阔的推广应用前景。

本技术具有效果好、成本低、施工简便、不伤害油层、不污染环境等特点，对陕北地区石油资源高效开发与生态环境保护具有重要意义，对同类油田的高效开发与生态环境的协调发展具有重要的借鉴与示范作用。

## 2. 高含水期聚合物驱油开发技术

### 一、技术类型

油气资源高效开采技术。

### 二、适用范围

低温低矿化度砂岩油藏三次采油开发。

### 三、技术内容

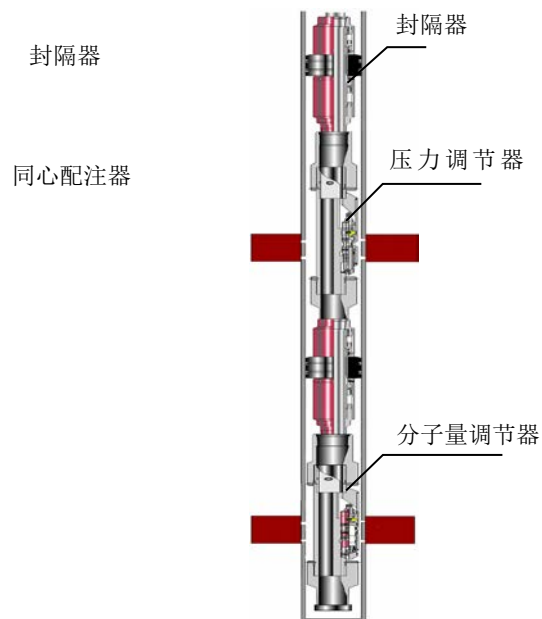
#### （一）基本原理

聚合物驱油技术是在注入水中加入聚合物，提高注入水的黏度，改善油水流动度比，扩大驱替液在油层中的波及体积，提高原油采收率。

#### （二）关键技术

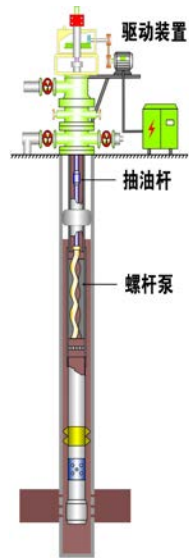
1. 聚合物粘弹性提高微观驱油效率理论；
2. 聚合物方案优化设计和跟踪调整为特点的聚合物驱油藏工程技术；
3. 简省高效的地面工艺模式；
4. 先进高效的聚合物分层注入和举升采油工艺技术；
5. 聚合物驱油注入/产出剖面测井技术。

#### （三）工艺流程

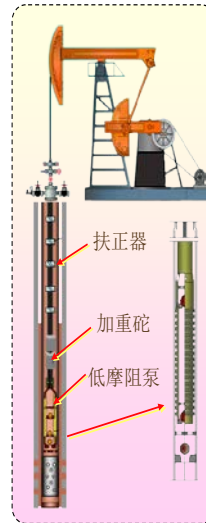


同心分注工艺示意图

分质分压注入工艺示意图



螺杆泵采油示意图



抽油机采油示意图

聚合物驱油技术是一项复杂的系统工程，涉及到油田生产中注入参数和注入方式的优化、聚合物溶液的配制、注入、生产井的举升、采出液的处理以及动态监测等多个环节，其生产工艺是由油藏工程、地面工程、采油工程和测试工程 4 个系统组成的高度集成化的四位一体工艺流程。

#### 四、主要技术指标

一类油层提高采收率 15%，二类油层提高采收率 12%，三类油层提高采收率 10%。

#### 五、技术应用现状及典型实例

##### (一) 技术应用现状

大庆油田 1996 年开始聚合物驱油技术工业化应用，到 2012 年底，聚合物驱工业化应用收到显著的技术经济效果，工业化区块投注 83 个，面积 669.15km<sup>2</sup>，动用地质储量 9.8×10<sup>8</sup>t；采收率提高了 13 个百分点以上，平均操作成本比水驱低 0.1~2.83 美元/桶；年产油量连续 11 年超过 1000×10<sup>4</sup>t，累计产油量突破 1.6948×10<sup>8</sup>t，累计增油 0.9221×10<sup>8</sup>t，新增利润 880.86 亿元人民币。聚合物驱技术已成为大庆油田可持续发展的开发主导技术。

##### (二) 典型案例

在喇南聚合物驱油工业性试验区提高采收率 14.23%的基础上，为确保大庆油田持续高产稳产，大庆油田提出并实施了聚合物驱工业化推广。喇嘛甸油田北



东块聚合物驱建设项目主要为新建计量间 21 座，转油站 3 座，污水处理站 1 座，注入站 8 座。该区块动用地质储量  $2848 \times 10^4 \text{t}$ ，新钻井 249 口，生产原油  $542 \times 10^4 \text{t}$ ，其中聚合物驱增油  $360.3 \times 10^4 \text{t}$ ，提高采收率 12.65%，井网加密产油  $79.7 \times 10^4 \text{t}$ ，水驱产油  $102.0 \times 10^4 \text{t}$ ，取得了较好开发效果。评价期内税后财务内部收益率为 48.62%，大于行业基准值 12%。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

本项技术应用前景十分广阔，创建的高含水期聚合物驱油开发技术，抢占了国内外同行业技术制高点。应用这一技术，大庆油田可增加可采储量 1.24 亿吨以上，将继续支撑 4000 万吨持续稳产。本技术成果已在国内 6 个油田推广应用，

对中国陆上近 100 亿吨储量的高含水油田深度挖潜、进一步提高采收率，具有重要指导作用。预计可提高采收率 10 个百分点以上，增加可采储量超过 10 亿吨。本项技术成果已在苏丹、哈萨克斯坦、印尼等国家得到应用。对我国实施能源“走出去”战略，具有强力支撑作用。

本技术创新维护了国家能源安全，推动了我国石油开采、化工、机械制造等行业领域的技术进步，促进了地方经济社会的繁荣发展，为能源开采型城市转型和东北老工业基地振兴做出了巨大贡献。

### 3. CO<sub>2</sub>驱油与埋存技术

#### 一、技术类型

油气资源高效开采技术。

#### 二、适用范围

特低、低渗透较均质油藏可实现 CO<sub>2</sub>混相、近混相驱和有效埋存。

#### 三、技术内容

##### （一）基本原理

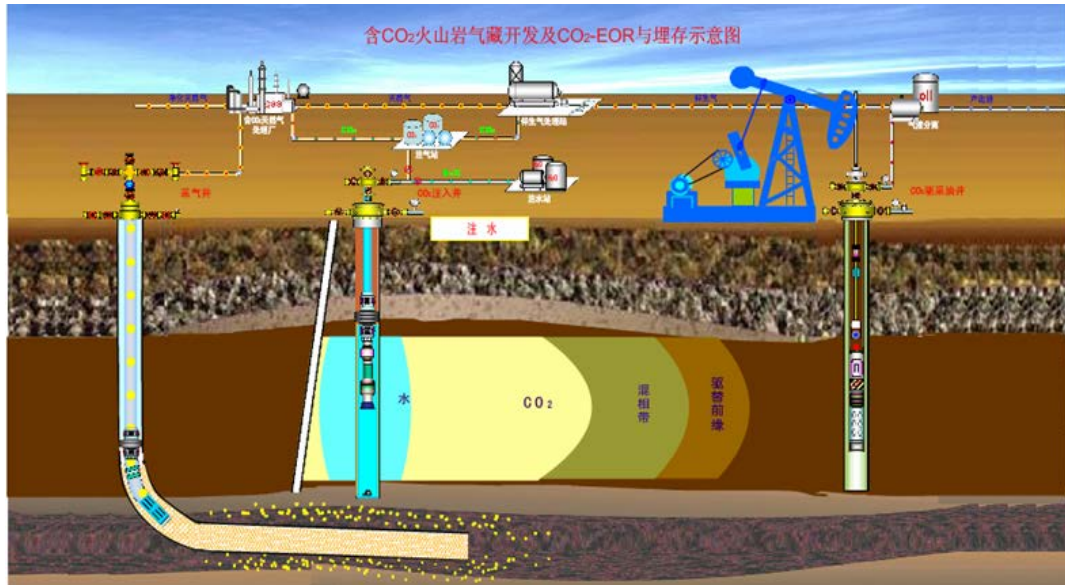
CO<sub>2</sub>驱油与埋存主要经过 CO<sub>2</sub>捕集、CO<sub>2</sub>注入及驱油、原油及 CO<sub>2</sub>采出、CO<sub>2</sub>循环注入及埋存等过程。捕集气田产出的 CO<sub>2</sub>，将其注入油藏，使 CO<sub>2</sub>溶解在原油中，达到膨胀原油体积、降低原油粘度、降低 CO<sub>2</sub>与原油界面张力，从而大幅提高驱油效率，实现低渗透油藏原油采收率的提高和 CO<sub>2</sub>的有效埋存。

##### （二）关键技术

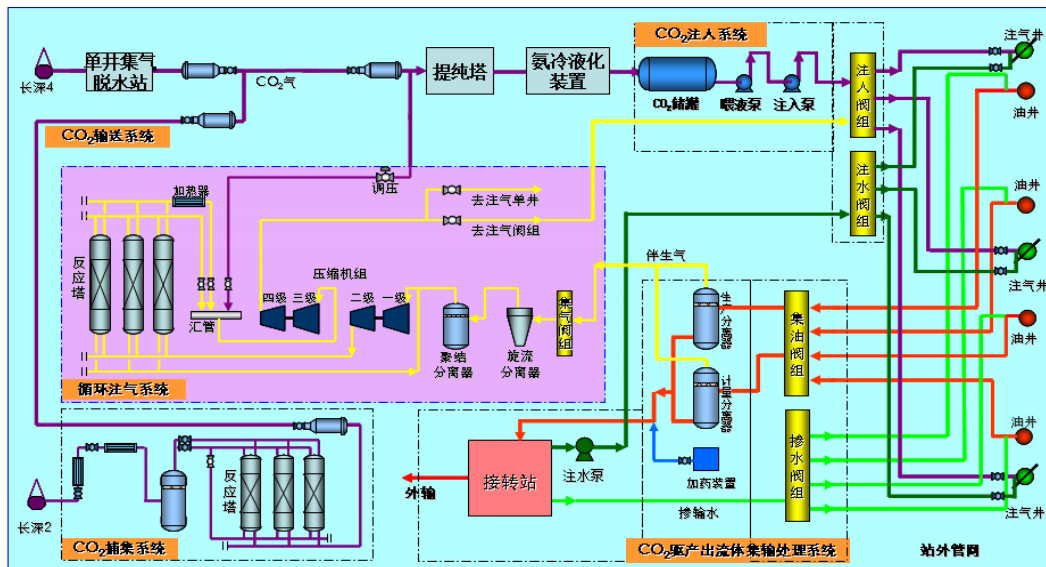
- 1.CO<sub>2</sub>捕集技术；
- 2.CO<sub>2</sub>驱油适应性室内实验评价技术；
- 3.CO<sub>2</sub>驱油藏方案优化设计技术；
- 4.CO<sub>2</sub>驱油藏动态监测技术；
- 5.陆相油藏 CO<sub>2</sub>驱扩大波及体积技术；
- 6.CO<sub>2</sub>腐蚀与防护技术；
- 7.CO<sub>2</sub>驱与埋存井筒工程技术；
- 8.CO<sub>2</sub>长距离输送及超临界注入技术；
- 9.CO<sub>2</sub>驱采出流体集输处理技术；
- 10.CO<sub>2</sub>驱产出气循环注入技术。

##### （三）工艺流程

将 CO<sub>2</sub>从含 CO<sub>2</sub>天然气分离捕集后，进行干燥、液化等处理，注入到油层中驱油，部分 CO<sub>2</sub>伴随原油采出，进一步通过超临界混合回注的方法，将采出的 CO<sub>2</sub>循环注入油层，从而实现 CO<sub>2</sub>埋存和零排放。工艺流程见下图。



CO<sub>2</sub>驱油与埋存技术工艺流程图



CO<sub>2</sub>驱试验区地面工艺流程图

#### 四、主要技术指标

1. 已形成年驱油能力 10 万吨，年捕集、埋存 CO<sub>2</sub> 能力 25 万吨，试验区最终可提高采收率 10% 以上，较水驱多增加可采储量 42.73 万吨；
2. 形成 CO<sub>2</sub> 驱油与埋存监测技术，监测准确率达到 70% 以上；
3. 形成 CO<sub>2</sub> 驱腐蚀与防护技术，腐蚀速率控制在 0.076mm/a 以内；
4. 形成 CO<sub>2</sub> 驱油与埋存井筒工程技术，可以实现 3 层以内分层注气和 300m<sup>3</sup>/t 气油比油井正常生产；
5. 形成 CO<sub>2</sub> 管道输送、CO<sub>2</sub> 及伴生气超临界注入以及含 CO<sub>2</sub> 伴生气分离注入技术，最高超临界注入压力达到 25MPa 以上，含 CO<sub>2</sub> 伴生气适应于伴生气 CO<sub>2</sub> 浓

度 10%~80%。

## 五、技术应用现状及典型实例

### （一）技术应用现状

在吉林大情字井油田建成 6 个井组的先导试验区、18 个井组的扩大试验区和 10 个井组的全过程开发规律认识试验区，年产油 10 万吨，可提高采收率 10% 以上，年埋存 CO<sub>2</sub> 气 25 万 t；技术已具备工业化推广条件，规划新增井组 115 个，年产油 40 万 t，累计可埋存 CO<sub>2</sub> 气 864 万 t；在建 83 个井组，年产油能力 28 万 t，累计可埋存 CO<sub>2</sub> 气 581 万 t，通过技术完善，采收率可提高 13% 以上。

### （二）典型案例

2008 年以来，在吉林大情字井油田先后建成黑 59CO<sub>2</sub> 驱油与埋存先导试验区和黑 79 扩大试验区，年产油 10 万 t，可提高采收率 10% 以上，年埋存 CO<sub>2</sub> 气 25 万 t，取得了显著的经济效益。

黑 59 先导试验区含油面积 1.7km<sup>2</sup>，地质储量 102 万 t，注气井 6 口，采油井 25 口，投资额为 7103 万元。方案设计注入 CO<sub>2</sub> 总体积 0.5HCPV，预计较水驱采收率提高 11%。截至 2012 年 12 月，累计注气 22.99 万 t，折合体积 0.29HCPV；累产油 14.5 万 t，采出程度 13.0%；累计产出 CO<sub>2</sub> 0.89 万 t，CO<sub>2</sub> 埋存率 96.1%。CO<sub>2</sub> 驱储量动用程度 84.9%，较水驱提高 11 个百分点；CO<sub>2</sub> 换油率 0.4t/t，高于国外认定的经济极限 0.3t/t；目前试验区平均单井日产油 2.0t，2012 年采油速度 1.68%，分别是水驱的 135% 和 140%，累计增油 2.63 万 t，实现利税 2.21 亿元，项目税后财务内部收益率 15.3%，税后净现值 1068 万元，投资回收期 6.67 年。

## 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

吉林油田适于进行 CO<sub>2</sub> 混相驱的地质储量有 15403 万 t，主要集中于大情字井油田。未来 5 年，将在大情字井油田规划推广应用井组 115 个，年产油能力 40 万 t，累计可埋存 CO<sub>2</sub> 864 万 t；目前在建 83 个井组，年产油能力 28 万 t，累计可埋存 CO<sub>2</sub> 581 万 t，通过技术完善，采收率可提高 13% 以上。适于进行 CO<sub>2</sub> 近混相驱的地质储量有 16706 万吨，分布于邻近长岭气田的乾安、海坨子油田，石油资源与长岭气田 CO<sub>2</sub> 气源形成较好配置关系，因此可在大情字井油田 CO<sub>2</sub> 混相驱工业化应用过程中，逐步完善集成经济有效的配套技术，根据 CO<sub>2</sub> 气源供应情况，由近及远，逐步扩大 CO<sub>2</sub> 驱规模。

## 4. 陆相页岩气水平井井壁稳定性及大型压裂关键技术

### 一、技术类型

油气资源高效开采技术。

### 二、适用范围

陆相页岩气水平井钻完井及压裂改造。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

针对陆相页岩层水平井井壁稳定问题，开发了一种油基钻井液，有效降低高粘土含量页岩层段水平井钻井过程井壁坍塌事故发生率、提高钻井成功率；针对鄂尔多斯盆地陆相页岩气储层粘土矿物含量高、岩性致密、非均质性强、地层压力低及压裂配液周期长的特点，开发形成专用助排剂，结合专用压裂液配制方法，形成陆相页岩气压裂液体系配方。

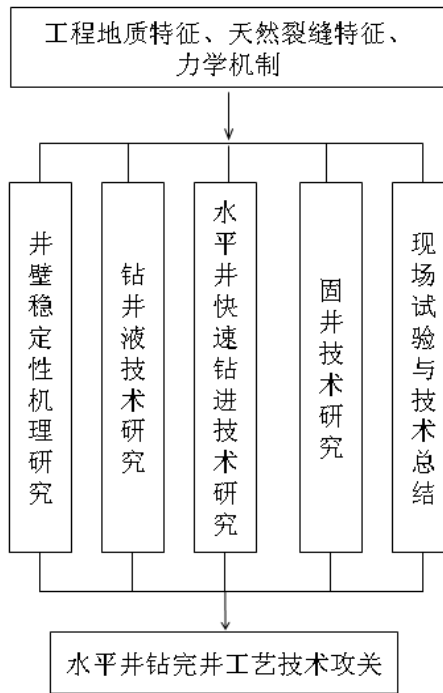
根据陕北沟壑纵横的地形特点和水资源缺乏的特点，设计出大型压裂施工专用供液管汇系统（专利号：ZL 201220060512.3），减少了储液罐出口与混砂车进口对接的数量，为压裂施工提供了技术保障。采用界面絮凝、催化氧化、强化固液分离等技术，自主设计了移动式压裂返排液处理装置（专利号：ZL 201220231735.1、ZL 2012 2 0171204.8），处理后水质达到压裂液配液用水和回注用水要求，达到水资源循环利用、节能减排和保护环境的目的是。

#### （二）关键技术

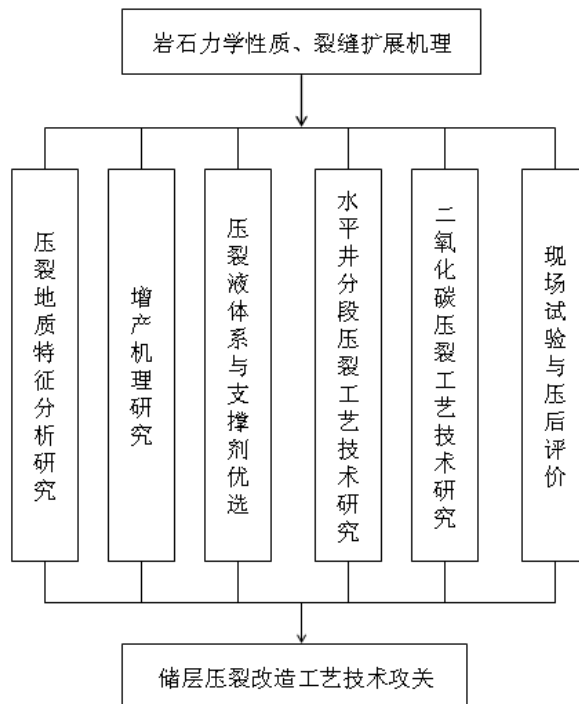
- 1.油基钻井液井壁稳定关键技术；
- 2.陆相页岩气压裂液体系配方关键技术；
- 3.非对称大型压裂施工专用供液管汇系统；
- 4.压裂返排液回用处理技术。

#### （三）工艺流程

1. 陆相页岩气水平井井壁稳定关键技术工艺流程



## 2.大型压裂关键技术工艺流程



## 四、主要技术指标

- 1.油基钻井液体系润滑系数低于 0.08，破乳电压 $\geq 1000$  伏，API 滤失量接近于 0，HTHP 滤失量 $\leq 10\text{ml}$ ，井漏率下降 20%以上；
- 2.陆相页岩气压裂液体系配方施工摩阻降低 10MPa 以上，压后残液返排率提高 10%；
- 3.通过回用处理技术，水质达到《鄂尔多斯盆地页岩气压裂返排液处理回用

水质标准》I 级标准。

## **五、技术应用现状及典型实例**

### **(一) 技术应用现状**

陆相页岩气水平井井壁稳定关键技术已经在鄂尔多斯盆地下寺湾地区成功应用于 2 口水平井（延页平 1 井、盒延页平 2 井），其中延页平 1 井为盆地内第一口页岩气水平井，钻井过程安全无事故。

陆相页岩气大型压裂技术已经在鄂尔多斯盆地下寺湾地区成功应用于 15 口井（水平井 1 口、直井 14 口），压裂后均获得井口气流。

该无害化处理技术在延页平 1 井上成功使用，污水处理能力 600m<sup>3</sup>/d，处理水质达到《鄂尔多斯盆地页岩气压裂返排液处理回用水质标准》I 级标准，基本可重复利用于页岩气井压裂。

### **(二) 典型案例**

延长油田股份公司下寺湾采油厂。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

国土资源部公布的全国页岩气资源潜力调查结果显示，我国陆相页岩气资源量为 35.26 万亿立方米，占总资源量的 26.23%，可采资源量为 7.92 万亿方，占总量的 31.59%。

全国陆相页岩气储层具有和鄂尔多斯盆地三叠系延长组页岩层基本相似的地质特征，延长石油集团攻关形成的陆相页岩气水平井井壁稳定技术及大规模压裂技术可以推广应用到国内相似盆地陆相页岩气的勘探开发中，从而盘活陆相页岩气资源，为快速推进我国页岩气产业发展贡献力量。

## 5. 致密油有效开发利用技术

### 一、技术类型

油气资源高效开采技术。

### 二、适用范围

致密油开发。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

集成应用“水平井、体积压裂及井网优化”等主要手段，通过增加原油流动通道，提高泄油体积，建立有效驱替压力系统，提高致密油单井产量，实现致密油的有效开发利用。

#### （二）关键技术

- 1.水平井开发技术；
- 2.“体积压裂”技术；
- 3.致密油水平井注采井网优化技术；

#### （三）工艺流程

在致密油层中钻水平井，通过大规模体积压裂，增加原油泄油体积，提高单井产量。

- 1.综合地质研究，选择水平井部署区；
- 2.水平井井网优化，水平段长度优化，形成水平井注采井网；
- 3.关键工具研发，工艺参数优化，开展大排量体积压裂，在储层中形成缝网系统；
- 4.水平井投产。

### 四、主要技术指标

水平井水平段长度 800-1500m，井均压裂 9 段 23 簇，排量 6-17m<sup>3</sup>/m，加砂量 500-1400m<sup>3</sup>，入地液量 5500-15600m<sup>3</sup>，单井产量由常规开发手段的 1.6t/d 提高到 10~12t/d。

### 五、技术应用现状及典型实例

#### （一）技术应用现状



2012-2013 年在姬塬油田安 83 长 7、马岭油田西 233 长 7 部署水平井 83 口，已完钻水平井 36 口，投产 30 口，平均单井产量达到 10-12t/d。

致密油有效开发利用技术使鄂尔多斯盆地丰富的长 7 致密油难动用资源的优质转化成为现实，预计可建成百万吨致密油开发区，长 7 致密油已成为长庆油田公司上产、稳产的现实区域。

## （二）典型案例

中国石油天然气集团公司长庆油田分公司姬塬油田安 83 井区、马岭油田西 233 井区，预计可部署水平井 300 口以上，2-3 年内可形成百万吨级致密油“水平井体积压裂”开发示范区。2012-2013 年在姬塬油田安 83 长 7 致密油用准自然能量开发及五点水平井井网超前精细分层注水开发，共部署水平井 56 口，已完钻 26 口，水平段长度平均 734m，油层钻遇率 93%；已完成“体积压裂”改造 20 口，井均改造段数 9 段 23 簇，井均日产油 63.2m<sup>3</sup>/d；已投产井 20 口，平均单井日产油 10.4t，增产倍数达到常规直井开发的 6-9 倍，实现效益开发。目前已累计生产原 3.28 万吨，创产值 1.25 亿元。

马岭油田西 233 长 7：2012-2013 年在马岭油田西 233 共部署水平井 27 口，已完钻水平井 10 口，平均水平段长度 1573m，油层钻遇率 90.3%；已完成“体积压裂”改造 10 口，井均改造段数 13 段 26 簇，井均日产油 118.3m<sup>3</sup>/d；已投产 10 口，平均单井日产油 12.1t。目前已累计生产原 1.67 万吨，创产值 0.64 亿元。

## 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

致密油有效开发利用技术的推广应用，盘活了大批低品位储量，使以前没有效益或效益较差的低效资源转化为优质可采储量，该技术应用前景广阔。根据长庆油田致密油开发规划，到 2015 年预计致密油可新增动用储量 1.5 亿吨，原油产量达到 100 万吨，按油价 80\$/bbl 计算，可增加产值 38.04 亿元/年，可增加石油资源可采储量 2775 万吨。

## 第二篇 煤炭类

## 6. 高水膨胀材料充填采煤技术

### 一、技术类型

煤炭资源高效开采技术。

### 二、适用范围

煤炭企业“三下”压煤（建筑物下、铁路下和水体下）和非煤矿山企业的采空区充填。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

以粉煤灰、风积沙或尾矿、建筑垃圾等硅质材料为主料，配以延缓剂、速凝剂、固化剂和膨胀剂等辅料，将各种原料混合后，制成固水质量比为 1：1.3 左右的充填料浆。通过管路输送到采空区，在 2 小时以后开始固化并伴随体积膨胀，可实现主动接顶，在 8 小时以后形成固体并可承受压力，最终单轴抗压强度最高可大于 10 MPa。

#### （二）关键技术

1.高水膨胀材料具有较强的“液态自流输送、膨胀自动接顶”的性能，充填体将上覆岩层的移动变形控制在允许范围之内。

2.研发了由初浆搅拌、辅料配给、料浆制备和自动化控制等四部分系统组成的料浆制备成套装置。

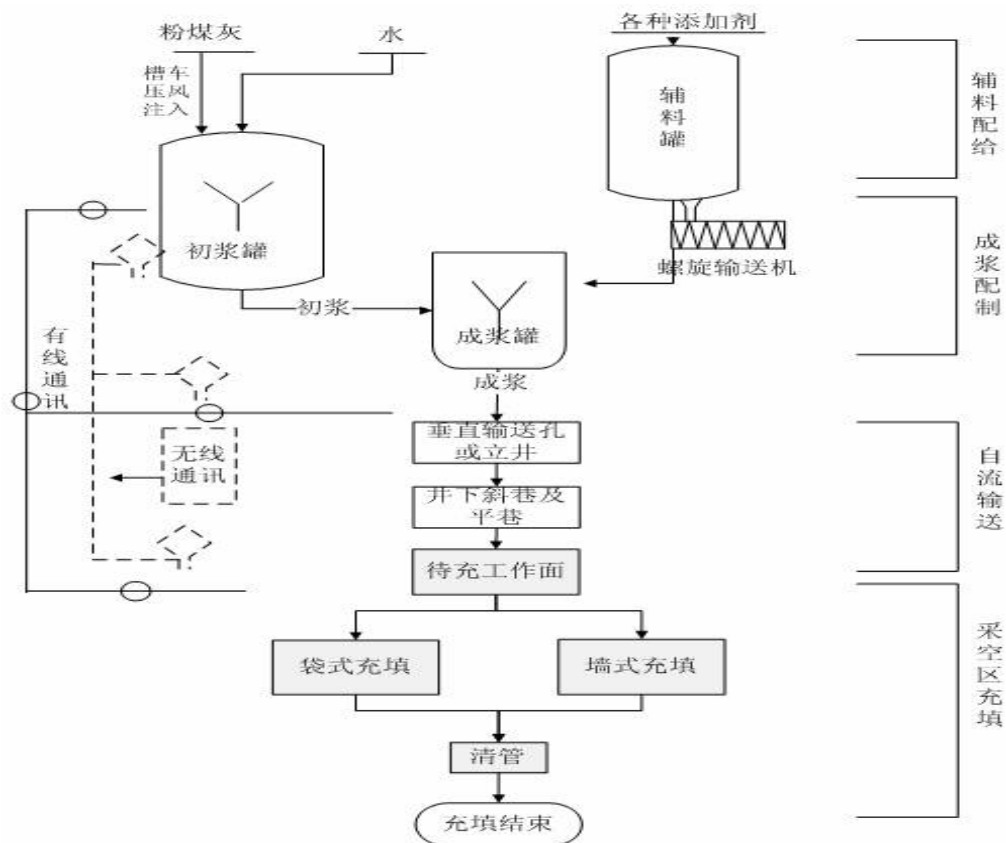
3.研发了综采工作面膨胀充填材料移动密闭充填装置。

4.“三下”压煤在地表无明显沉降的情况下实现高回收率开采。

#### （三）工艺流程

料浆制备：将粉煤灰等基料和水混合通过初浆搅拌系统制成初浆，再将初浆与辅料配给系统中的辅料按照比例进行混合通过料浆制备系统制成膨胀充填材料。

料浆输送：制成的膨胀充填材料通过管路输送系统输送到采空区。



#### 四、主要技术指标

1. 基料和辅料的来源充足而且丰富，适合推广的地域相对广泛；
2. 10%以下的体积膨胀使充填体实现膨胀自主接顶，可实现控制围岩移动；
3. 充填体最终单轴抗压强度超过 10PM，可以有效控制围岩移动；
4. 充填体中的含水硅酸钙和含水路酸钙是化学性质非常稳定的化合物，可以长期控制围岩移动；
5. 充填站建设投资 500 万元以下；
6. 充填作业劳动定员 10 人以下；
7. 充填料浆实现数控制备和自流输送；
8. 大量消耗固体废弃物和污染物，可以有效促进生态环境的保护与治理；
9. 控制地表无明显沉降，可以实现“三下”资源的高回收率开采。

#### 五、技术应用现状及典型实例

##### (一) 技术应用现状

本技术已经在辽宁阜新矿业集团彩屯和艾友煤矿、山西晋城无烟煤矿业集团有限公司王台铺煤矿、陕西中能煤田有限公司、山东能源淄矿集团埠村煤矿和山

东坤升控股集团有限公司等煤矿企业推广应用。

采用本技术的煤矿，都实现了生态和安全两个环境的明显好转。一是采区范围内的上覆岩层没有发生明显移动，原始的地质结构得到了有效的保护，实现了煤矿的保水和减沉开采，从而保持了矿区范围内的原有生态；二是由于及时消除了采空区的长期存在，有效避免了顶板垮落、瓦斯聚集、煤层自燃、冲击地压和承压水突出等自然灾害的发生。

## （二）典型案例

阜新矿业集团有限公司使用该技术后解放“三下”压煤 1 亿吨，延长 20 年矿井使用寿命。

## 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

国家重点煤矿的建筑物下、铁路下、水体下和承压含水层下压煤总量约 138 亿吨。仅山东现有“三上一下”压煤 40 亿吨，占全省煤炭资源的 50%。如果在全省煤矿企业应用膨胀材料充填采煤技术，将能实现回收煤炭 40 亿吨，并消耗 16 亿吨的粉煤灰、尾砂、风积沙、煤矸石和建筑垃圾等填入采空区，减少了废弃物占地和环境污染，保护了生态环境，实现了煤炭企业资源与环境和谐发展。淄博市王庄煤矿自应用膨胀材料充填采煤技术以来，已回收临淄地区的公路与村庄压煤 50 万吨，新增产值 36371 万元，新增利税 20729 万元。同时，还取得了临淄煤田近 2 亿吨原来禁采资源的采矿权与探矿权，解放了自身 10 年以上的开采储量。

## 七、注意事项

1、高水膨胀材料在矿井的长期稳定性，影响地面建（构）筑物的长期稳定性，应加强长期观测。

2、充填材料不要带给地下水的污染。

3、充填开采对地表移动的影响。目前都在非充分采动、小面积采动的情况下为“没有明显移动”，在充分采动、在大面积开采的情况下，地表移动规律值得进一步研究。

## 7. 村庄下与承压水上膏体充填绿色开采技术研究

### 一、技术类型

煤炭资源高效开采技术。

### 二、适用范围

村庄下与承压水上煤炭资源的开采。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

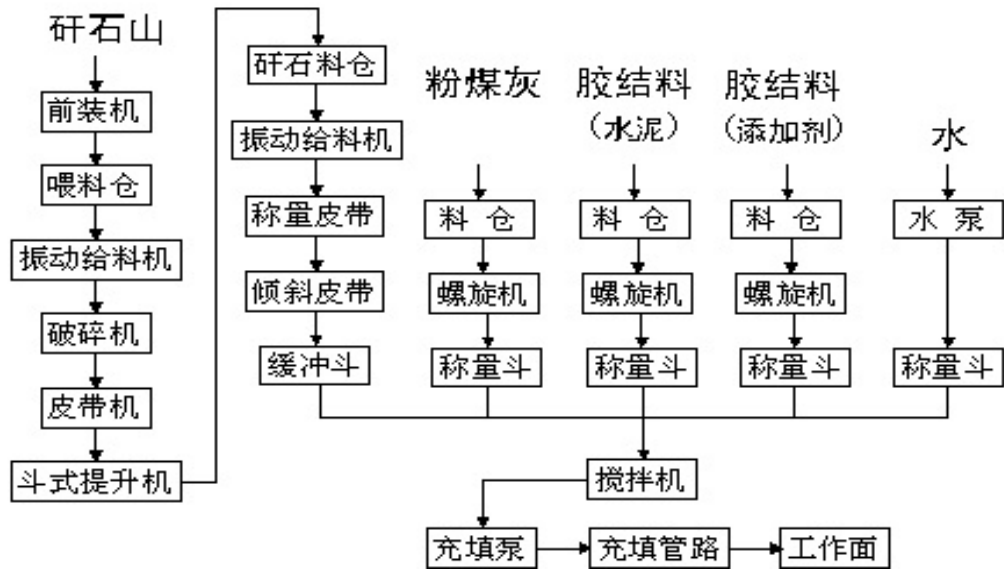
将煤矸石、粉煤灰、胶结料及矿井水等按照一定的配比制作成膏体，通过充填泵输送充填到回采工作面采空区，凝固形成覆岩支撑体系，做到地表基本不变形，解决地表下沉问题，同时降低底板应力不平衡度，实现不迁村开采和承压水上煤炭资源安全回收。

#### （二）关键技术

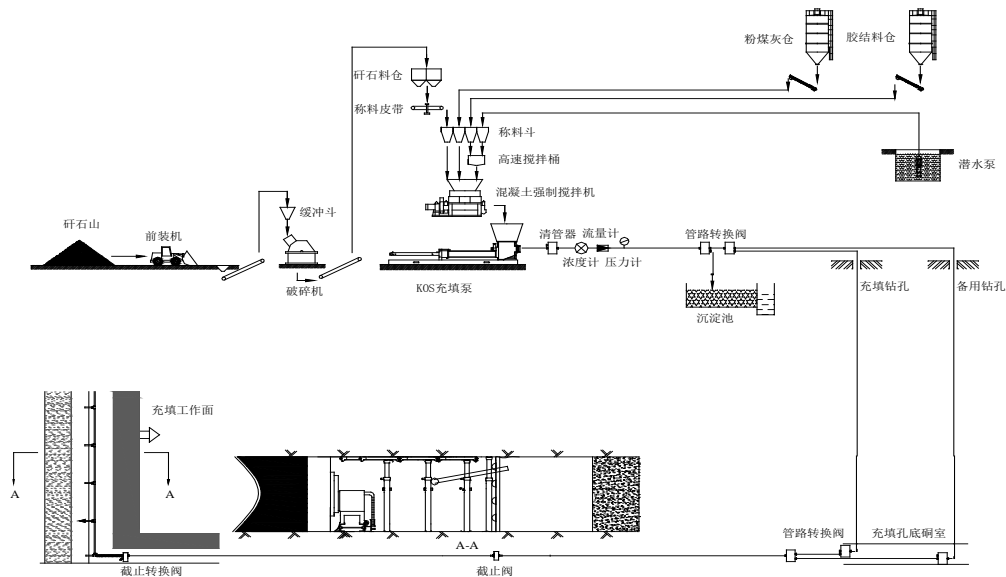
充填原料变化时，充填浆体流动性自动甄别、处理方法；充填开采支架支护强度与充填体强度的评价体系与确定方法；充填开采防止突水和地表沉陷控制的要求与评价方法；再现充填开采顶底板围岩变形破坏和充填体受力变形过程，并确定控制力学对策；提出煤矿建筑物下与承压水上膏体充填绿色开采设计方法。

#### （三）工艺流程

煤矸石破碎加工，充填材料（包括煤矸石、粉煤灰、胶结料等）储存，材料计量配比（包括给料机、称料斗、称重传感器等），料浆搅拌，充填泵加压，充填管路与控制闸阀，工作面充填。工艺流程图见下图。



膏体充填系统工艺流程图



膏体充填工艺方法

#### 四、主要技术指标

- 1、膏体充填系统能够满足矿井一5煤条件下工作面日产700t能力的需要。
- 2、一5煤层膏体充填开采以后地表村庄建筑物90%以上控制在I级损害范围内，正常质量房屋受采动影响最严重者不超过II级损害。
- 3、以煤矸石、粉煤灰为集料，膏体充填材料成本不高于40元/m<sup>3</sup>，如果煤的密度按照1.54t/m<sup>3</sup>计算，吨煤充填材料成本不高于26元。

#### 五、技术应用现状及典型实例

### （一）技术应用现状

膏体充填开采技术已经成熟，本项技术已应用在焦煤集团的朱村矿、小马矿和韩王矿，还应用到鹤煤集团鹤煤二矿。

### （二）典型案例

2008年8月开始在焦作煤业（集团）有限责任公司朱村矿54采区一5煤开采中应用，4年来，取得的成效有：（1）回收煤炭效益。截至2012年底，利用膏体充填开采技术，在54区共完成充填量54万m<sup>3</sup>，安全采出煤炭95.32万t，按500元/t平均售价计算，创造产值4.77亿元。（2）沿空留巷效益。与传统的条带开采相比，采用膏体充填开采，可沿空留巷，节省了巷道的掘进量。

朱村矿原来在建筑物下采煤采用传统的条带开采，采出率一般在40%左右，而采用充填开采后，采出率可达到90%以上，采出率提高了50个百分点，仅目前一5煤54采区就解放了储量72.8万t，延长了采区服务年限。现在该项技术已应用在焦煤集团的小马矿、韩王矿，鹤煤集团鹤煤二矿。

## 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

膏体充填开采技术还可以推广到该矿二1煤的开采，可以解放二1煤层村庄建筑物下压煤400万t，延长矿井服务年限8~10年。焦作各矿都有大量“三下”压煤，多数矿井已经进入衰老期，可采煤炭资源十分有限，采用本项目膏体充填技术，可以根本解放“三下”压煤，最大限度地扩大开采范围，提高煤炭资源采出率，延长矿井服务年限，对于矿井的可持续发展具有十分重要的意义。焦作城市下压煤10亿t（焦南、恩村2个完整井田未开采）有望解放。我国东中部煤矿大多与焦作相似，有大量的“三下”压煤，迫切需要高采出率不迁村采煤技术，该技术具有广泛的推广应用前景。

## 七、注意事项

1、高水膨胀材料在矿井的长期稳定性，影响地面建（构）筑物的长期稳定性，应加强长期观测。

2、充填材料不要带给地下水的污染。

3、充填开采对地表移动的影响。目前都在非充分采动、小面积采动的情况下为“没有明显移动”，在充分采动、在大面积开采的情况下，地表移动规律值得进一步研究。



## 8. 急倾斜煤层综放开采顶煤超前预爆弱化技术

### 一、技术类型

煤炭资源高效开采技术。

### 二、适用范围

各种倾角条件下中厚、厚及特厚煤层综放开采。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

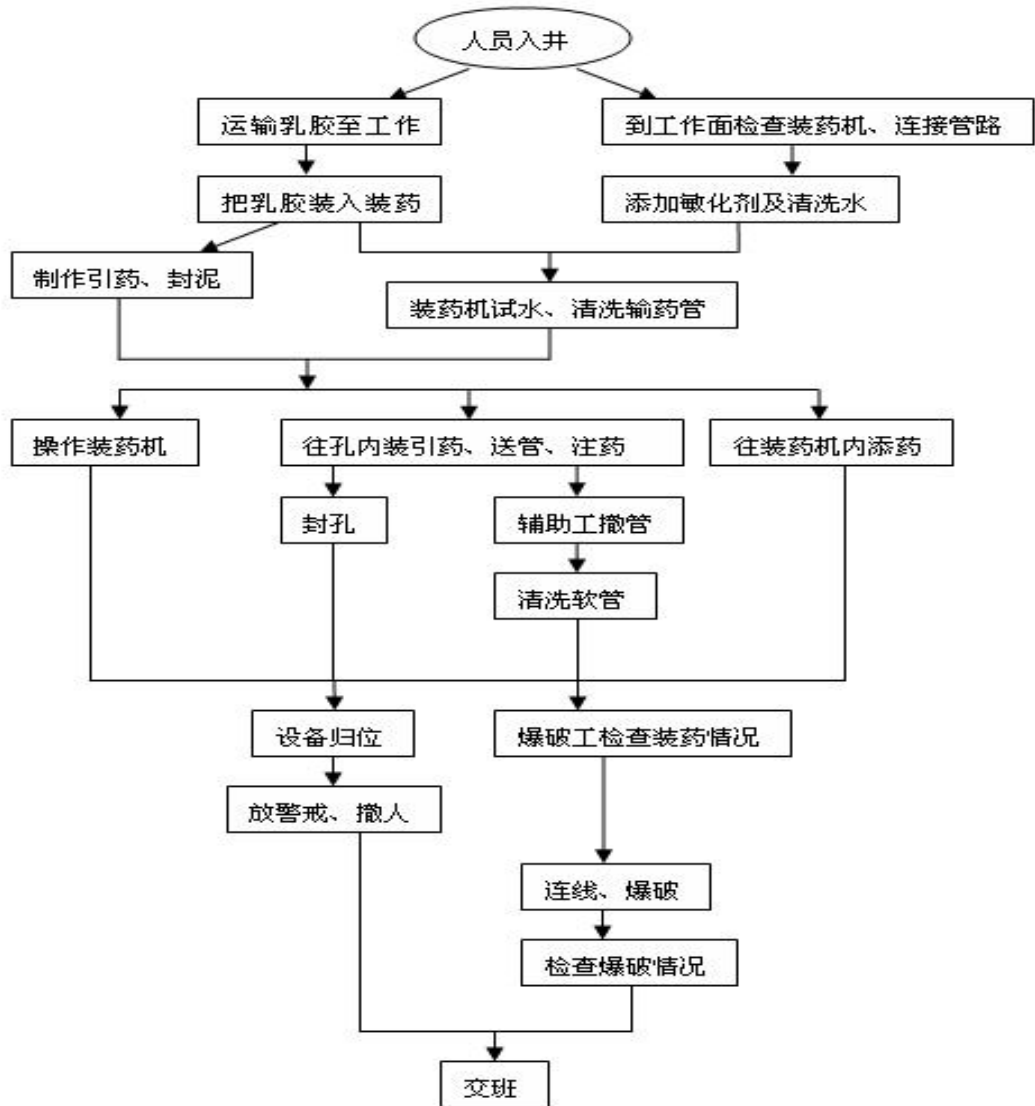
急倾斜特厚煤层综放开采覆岩移动和覆岩大规模剪切矿压显现规律、顶煤超前预爆破弱化机理、综放支架双重控制机理。

#### （二）关键技术

- 1.急倾斜特厚煤层综放超前预爆破工艺；
- 2.急倾斜特厚煤层大采高综放开采理论；
- 3.急倾斜特厚煤层综放安全控顶工艺技术；
- 4.急倾斜煤层综放开采危险源辨识；
- 5.急倾斜特厚煤层综放开采安全保障技术。

#### （三）工艺流程

工艺流程见下图。



#### 四、主要技术指标

- 1.工作面采出率提高 6%;
- 2.生产时间提高 5 小时左右;
- 3.优化工作面生产工序、提高生产的连续性, 采煤综合机械化程度达到 100%;
- 4.综合成本降低 5%~10%。

#### 五、典型实例及成效

目前本项目成果已在小红沟煤矿、大洪沟煤矿、铁厂沟煤矿进行推广应用, 并取得较好效果, 各项技术均已成熟。本技术应用推广后, 材料消耗不断减少, 生产工艺工序得到优化, 推进度、生产持续性显著提高, 综合成本、回采率等主要指标均明显改善, 经济与社会效益很大。

采用超前预爆破后，回采率提高了 6.0%，平均日产量由 3150.7t 上升到 4446.2t，提高了 41%。生产时间均衡性和连续性明显改善，日推进度由 2.4 米上升到 3.0 米，推进度提高 25%。生产时间明显提升，提高 5 小时左右，提高 40% 以上。瓦斯浓度 0.1% 以下，提高了安全性；工作面粉尘浓度降低 10.0%，大大改善了工人作业环境。13 个月内，碱沟煤矿累计生产原煤 174.92 万 t，增加产量 39.92 万 t，新增产值 5988 万元。

碱沟煤矿试验工作面工效综合提高，最高工效 77t/d，平均工效达到 60.84t/d，提高了 35.2%，明显降低了工人劳动强度。降低了爆破材料消耗，炸药使用量和雷管消耗量大幅下降，爆破位置的改变使得炮线消耗也得到降低，每吨爆破材料费降低了 15.16 元。

本技术陆续在小红沟、大洪沟和铁厂沟煤矿推广，四年四个矿井(碱沟、小红沟、大洪沟和铁厂沟煤矿)累计生产原煤 2400 万 t，节约资源 144 万 t，按吨煤售价 150 元计算，新增产值约 2.16 亿元。

## **六、推广前景**

采用综放开采是目前我国大多数厚及特厚煤层的主要方法，但由于煤层坚硬、厚度大导致煤体不易自然垮落，需要实施爆破弱化工艺，从而提高采出率、降低资源损失。不论是近水平、缓倾斜、倾斜以及急倾斜煤层，本技术均适用。特别是针对于南方缺煤的 9 省(广东、福建、海南、四川、云南和重庆等)，北方一些边远和边疆少数民族省区(如新疆、内蒙、青海、甘肃等)，对这些省区经济发展有重要意义。由于急倾斜煤层在我国有广泛的分布，因而本项目研究成果具有广泛的推广应用前景和很强的市场竞争力。

## 9. 高瓦斯厚煤层采煤方法改造项目

### 一、技术类型

煤炭高效开采技术。

### 二、适用范围

对目前矿井现有及设计推荐的采煤方法为水平分段综采放顶煤和伪倾斜柔性掩护支架炮采的高瓦斯厚煤层煤矿。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

大黄山煤矿是高瓦斯矿井并伴有“突出”危险性，煤层厚，开采难度高。采用代替炮采采煤法，改善了矿井安全生产条件。

#### （二）关键技术

大采高综放液压支架技术；电牵引采煤机、可弯曲刮板输送机和可伸缩带式输送机的使用。

#### （三）工艺流程

主要工艺流程：瓦斯抽放→抽采达标→割煤→推前溜→移架→拉后溜→割煤→推前溜→移架→放顶煤→拉后溜，工作面采煤：配备 MG-200/500-QM 型电牵引采煤机割煤。工作面装煤：采煤机切割落煤直接落入前部可弯曲刮板输送机上和支架下部放落的顶煤直接落入后部可弯曲刮板输送机运出工作面。若遇有夹矸顶煤难以下放时，用煤矿安全钻机打眼放松动炮使顶煤落下，当顶煤含矸率增大时停止放煤。工作面运煤：选用 1 台 SGZ-730/110 型可弯曲刮板输送机，将工作面采煤机切割下的煤经 SGZ-730/110 型可弯曲刮板输送机运至工作面运输顺槽的转载机、可伸缩带式输送机上，液压支架后部放落的顶煤经 SGB-730/160 型可弯曲刮板输送机运至工作面运输顺槽的转载机、可伸缩带式输送机上运出，刮板输送机运量为 500t/h。工作面运输顺槽选用 1 台 DSS-100/2×75 型可伸缩带式输送机，输送量为 630t/h。工作面支护：工作面支护选用 ZFS5200/17/32 低位放顶煤液压支架和 ZFSG5600/17/32 放顶煤过渡支架，工作面端头支护采用 π 型钢梁配 DW25-25/100 型单体液压支柱。

### 四、主要技术指标

- 1.大黄山一号井 100 万 t/a 产量，工作面个数可降低 50%；
- 2.大黄山一号井淘汰炮采采煤法，矿井采煤综合机械化程度可提高到 100%；
- 3.提高工作面回采工效 40%；
- 4.吨煤成本可降 30%左右；
- 5.万吨掘进率比原掘进率降至 35%。

## **五、技术应用现状及典型实例**

### **（一）技术应用现状**

高瓦斯厚煤层开采技术改造项目在大黄山实施后，提高了矿井的安全生产条件，将矿井回采率由 30%提高到 75%以上，瓦斯抽采率由 30%提高至 60%。

### **（二）典型案例**

大黄山一号井已采用该技术成功回采两个综采工作面，现回采+735 综放工作面为一号井西翼中大槽第一个工作面，煤层厚度为 19~25 米，平均 21.5 米，煤层倾角为 30~42 度，绝对瓦斯涌出量为 2.4 m<sup>3</sup>/t，煤尘爆炸指数为 39，瓦斯含量为 6.2 m<sup>3</sup>/t，采面共计储量约 242.3 万 t。顶板为沙砾岩，硬度 6.33，厚度 30~65m，顶板岩性由西向东（IV线到VIII线）由泥质粉砂岩变为沙砾岩，粒度变粗，底板为粉砂岩、细砂岩、碳质泥岩，硬度 4.5，厚度 9.0m，底板为粉砂岩、炭质泥岩、细砂岩。该煤层基本无夹矸，仅个别地段夹有 0.15 米的炭质泥岩夹矸。工作面自 2011 年回采以来，产量稳定，2012 年该工作面回采 68 万 t/a，没有出现人员伤亡情况，工作面可回采 25 个月。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

大黄山一号井大采高液压支架技术的突破，包括基本支架、过渡支架及端头支架，使一个工作面基本可以确保矿井设计产量，减少了开拓准备工程量及设备投入，简化了矿井的生产系统，实现矿井的集中生产、集中管理，大大提高了矿井的安全生产性，为矿井创造了良好的经济效益及社会效益，为国内新疆类似煤层条件发展综采技术提供了借鉴。

## **七、注意事项**

鉴于回采工作面比较短，可采用短机电牵引采煤机，减少倾斜进到的距离，提高采煤机的截割效率。

## 10. 分布式地下水库技术

### 一、技术类型

煤炭资源综合利用技术。

### 二、适用范围

所有井工矿井。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

井下分布式地下水库技术是利用井下采空区对生产污水的过滤、沉淀、吸附和离子交换作用,自生矿物生成作用等物理化学过程,使得矿井污水中的悬浮物、钙离子及其他有害离子大幅度减少,可以直接作为工业用水(即污水注入采空区后经过一定时间后,流出的水变为清水,其水质能满足井下生产用水的要求);在采空区各顺槽口构筑防水密闭,将生产污水通过注水孔注入采空区较高区域,生产污水在采空区从较高区域流向较低区域时,经采空区净化后通过出水口提前施工的配套设施和供水管路流出,然后通过加压泵、管路把采空区净化后的清水输送到矿井每个用水地点,实现了井下污水的零排放和地下水循环利用。

#### (二) 关键技术

- 1.采空区注水点、出水点确定及注、排水孔设计及施工;
- 2.上下水平之间供排水系统连接方式及施工技术;
- 3.采空区高强度防水密闭技术参数及施工技术;
- 4.采空区水位检测监控系统;
- 5.各采空区水库水量调配系统。

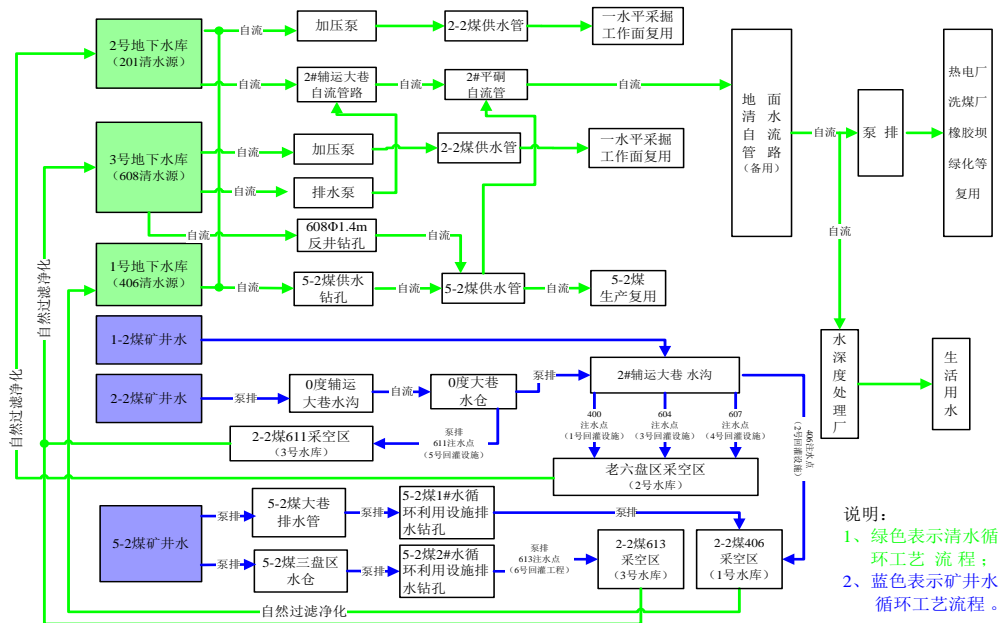
#### (三) 工艺流程

井下一水平 2-2 煤的污水,通过管道直接由各注水点(如 406、613 等注水点)注入采空区进行过滤、净化,经采空区净化后的清水则会通过各清水源供水点(如 201、608 等出水点),一部分由管路输送至各采掘工作面用水点使用,另一部分通过 2-2 煤平硐自流管路自流至地面供地面生产、生活使用。井下二水平 5-2 煤的污水,通过盘区水仓,经过一、二号水循环利用硐室的注水钻孔向上泵排至 2-2 煤各水库净化,5-2 煤生产所需清水同样由从 2-2 煤 406、608 出水点经过供

水钻孔进入 5-2 煤一、二号水循环利用硐室再与 5-2 煤供水管路相连，供 5-2 煤生产使用。其中，各供排水管路中分别设水仓作为输送水的中转站。

1. 井下一水平各作业地点的生产污水→中转水仓→排水管路（大巷水沟）→注水点水仓→注水钻孔→水库→出水点（406、201、608）→大巷供水管路→井下各用水点、地面复利用。

2. 井下二水平 5-2 煤各作业地点的生产污水→中转水仓→5-2 煤三盘区水仓→5-2 煤一、二#水循环利用硐室→2-2 煤 406、613 注水点→1、3#水库→出水点（406、201、608）→大巷供水管路→井下各用水点、地面复利用。下图为井下分布式地下水工程水循环利用工艺流程示意图。



井下分布式地下水工程水循环利用工艺流程示意图

#### 四、主要技术指标

1. 水库面积约 70.1 万 m<sup>2</sup>；
2. 水库库容 210 万 m<sup>3</sup>；
3. 污水处理量 350.4 万 m<sup>3</sup>/年；
4. 清水供应量 245.3 万 m<sup>3</sup>/年；
5. 节省费用 5550 万元/年。

#### 五、技术应用现状及典型实例

##### (一) 技术应用现状

目前已建成一水平 2-2 煤三个井下水库（406、201、608 水库），406 和 201 水库清水相互调配系统、三个清水出水点（406、201、608）硐室及配套供水设施，六个注水点（22400、22406、22604、22607、22611、22613）及配套工程及注水设施、二水平 5-2 煤 1、2#水循环利用硐室及配套设施、一水平 2-2 煤副一平硐清水自流地面系统、配套的防水密闭和水位监测系统。

已建成的水循环利用系统能满足井下 2000 万 t/a 生产能力的需要。

水循环利用系统自 1998 年投用后，随着矿井生产规模的扩大，也不断扩大系统使用及服务范围，从原来的服务一个水平到目前的同时服务两个水平的生产并兼顾地面热电厂、生活小区生产用水。

本技术系统运用可靠、安全、高效，效益显著，具有井下供水、井下排水、矿井水处理、水灾防治、环境保护和节能减排六大功能和优势。

## （二）典型案例

大柳塔井已建成的水循环利用系统能满足井下 2000 万 t/a 生产能力的需要。

## 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

该技术具有井下供水、排水、水处理、水灾防治、环境保护和节能减排六大功能和优势，该技术具有科学创新内容，方案合理、效益好、潜力巨大，对煤炭行业保水开采具有很好的实用价值，推广应用前景良好。

该系统可根据井下采空区及采场布置实际情况，灵活设计，施工技术简单，相关矿务准备工程量也较小，设备及管路安装要求不高，便于推广。

如按照年产 1000 万 t 的矿井每小时产生污水 300m<sup>3</sup>计算，每年可产生污水 262.8 万 m<sup>3</sup>，处理 1m<sup>3</sup>污水费用按 1.8 元计算，每年可节省污水处理费用 473.1 万元；按照 1 个综采面，1 个连采工作面计算，每个综采面平均每小时用水量 60m<sup>3</sup>，每个连采面平均每小时用水 20m<sup>3</sup>，大巷及顺槽消尘每小时用水 120m<sup>3</sup>，共计每小时用清水量 200m<sup>3</sup>，每年可减少从地面供应清水量 175.2 万 m<sup>3</sup>，每方清水供应费用 15 元计算，每年可节省清水供应费用 2628 万元。因此，若采用分布式地下水库技术及系统，年产 1000 万 t 的矿井每年可节约费用 3100 多万元，经济效益非常显著。

## 七、注意事项

一采空区作为地下水库，这个水库对下覆煤层的开采就是水体下开采，也是



临近开采的水害，应注意带来的相邻开采安全问题。

## 11. 特厚煤层采空区瓦斯地面直井抽采技术

### 一、技术类型

煤炭资源高效开采技术。

### 二、适用范围

高瓦斯突出特厚煤层条件下瓦斯治理。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

通过地面钻井抽采采空区瓦斯，大幅度降低工作面瓦斯涌出量，降低回风巷、上隅角瓦斯浓度，确保工作面安全高效回采。

#### （二）关键技术

1.运用 FLUENT 软件，通过计算机数值模拟，研究了地面钻井抽采条件下采空区瓦斯浓度场及漏风流场变化规律，揭示了地面钻井抽采负压改变漏风流场、有效降低采空区的瓦斯浓度的实质，为使钻井抽采效果最佳，确定合理布井位置。

2.基于岩层移动分析和数值模拟，研究了影响地面钻井井身稳定性的关键因素，提出了容移缓冲间距的概念，研发了筛管强化技术，设计了防止剪切破断的新型地面钻井井身结构。

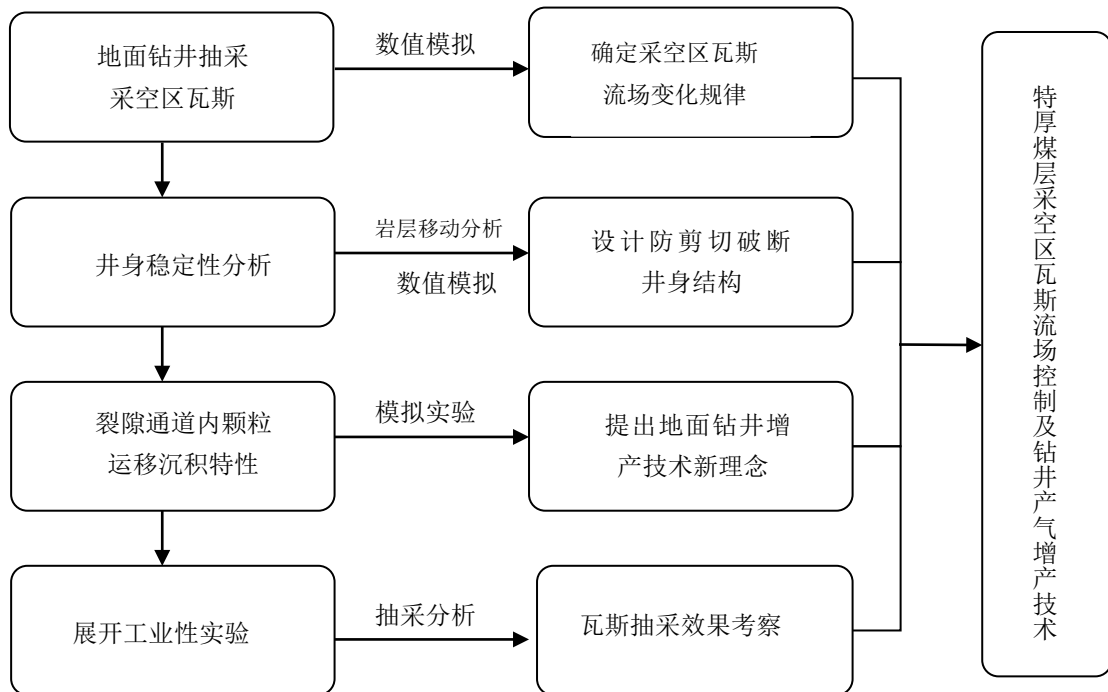
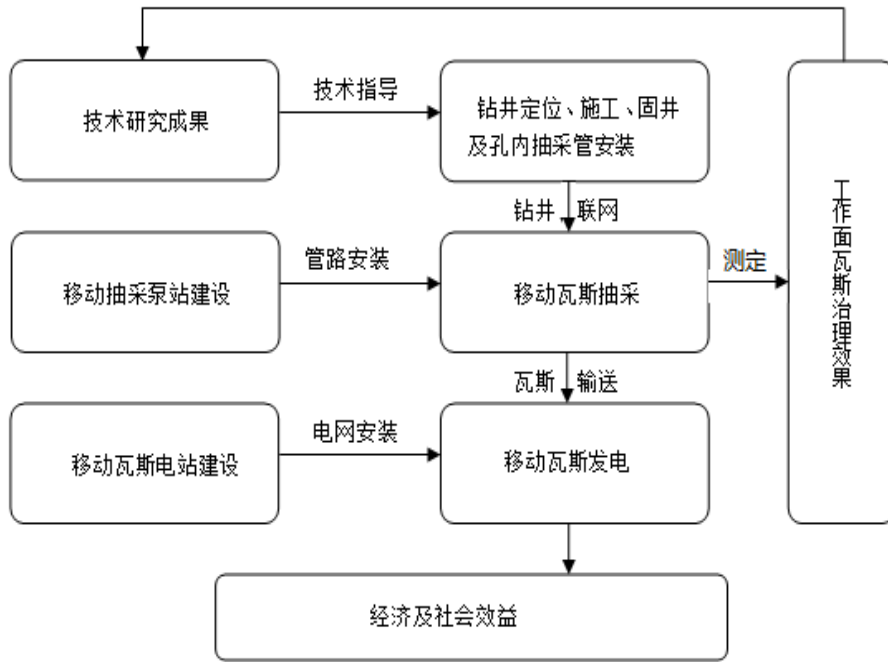
3.构建了裂隙中粉粒运移物理模拟实验平台，验证了裂隙内微颗粒运移沉积，影响抽采效果假设的正确性。

4.提出了气-液相联合增产技术，实施后取得了显著效果。

#### （三）工艺流程

## 工程应用流程图

效果考察完善技术



#### **四、主要技术指标**

- 1.抽采孔开孔孔径：Φ311mm，终孔孔径：Φ108mm；
- 2.钻井内抽采管管径：D127mm，系统管径：D219mm；
- 3.平面上钻井沿工作面走向距切眼 50m，沿倾向距风巷 30m，钻井间距为 220m；
- 4.地面钻井抽采采空区瓦斯后，回风瓦斯浓度基本保持在 0.2%~0.3%，特别是 2#钻井进入预抽第二阶段，回风瓦斯浓度基本处在 0.2%以下；
- 5.实施气液相组合增产技术累计增产纯瓦斯 106904 m<sup>3</sup>。

#### **五、技术应用现状及典型实例**

##### **（一）技术应用现状**

大幅度降低了瓦斯对矿井安全生产的影响，同时实现了煤层瓦斯的资源化开发；为我国西部高瓦斯及煤与瓦斯突出矿井的瓦斯治理、煤层气的开发利用提供了技术示范，推动了甘肃省瓦斯治理技术水平的进步；对建设和谐社会、保障我国煤炭事业的持久发展具有重大意义。

##### **（二）典型案例**

甘肃靖远煤电股份有限公司魏家地煤矿。

#### **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

西北地区是矿产资源非常丰富的地区，我国优质煤总量的 90%分布在该地区，该地区煤炭资源埋藏浅，表土层薄，但是煤层厚度大，矿区内煤层气资源富集，造成瓦斯及突出灾害严重，如宁夏呼鲁斯太矿区、甘肃窑街矿区（煤与二氧化碳突出）和内蒙古包头矿区等，在这些有相似地质条件的矿区，可以推广应用该项技术，确保煤与瓦斯安全、高效、和谐共采，为煤矿的安全生产做出贡献。

## 12. 矿井瓦斯发电技术

### 一、技术类型

煤炭资源综合利用技术。

### 二、适用范围

瓦斯抽放系统纯瓦斯抽放量在 100 万  $\text{m}^3/\text{a}$  左右，瓦斯浓度在 6%~25%的煤矿。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

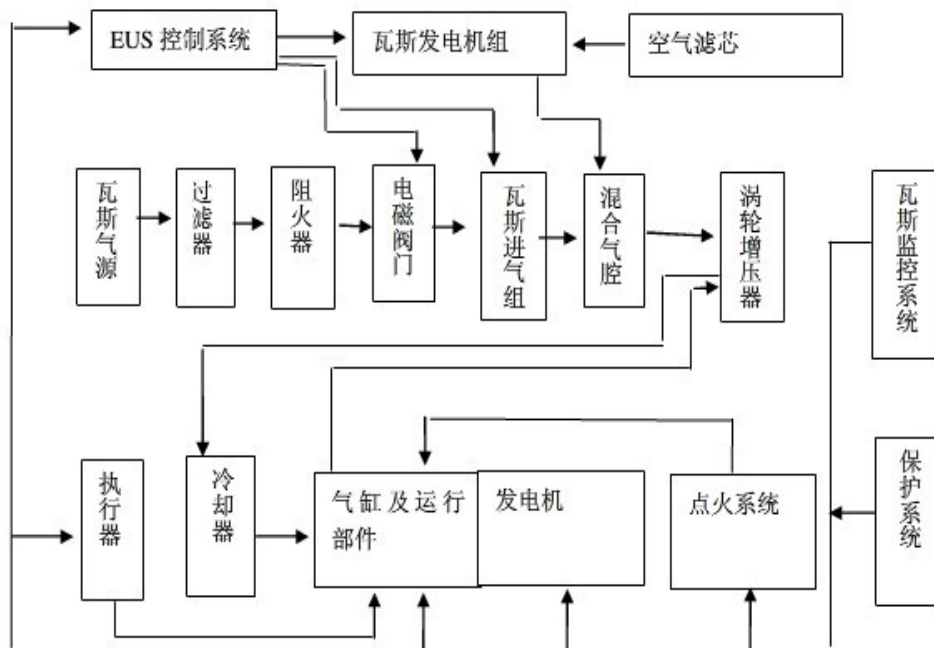
由瓦斯抽排设备将井下瓦斯排至地面输送至瓦斯发电站，瓦斯发电机组是以成熟的内燃机技术为基础结合煤矿瓦斯的特点对柴油发电机组加以改造而成。它由原来燃油改为燃烧瓦斯，发动机驱动发电机运转达到由机械能转化为电能的目的。

#### (二) 关键技术

瓦斯混合，自动控制，安全阻火三大类。

#### (三) 工艺流程

生物能—热能—机械能—电能，详见下图。



#### **四、主要技术指标**

500GFI—3PWW 瓦斯发电机组配套电机 TYPEIFC6455-6，设计年发电量 401.5kWh。700kW 瓦斯发电机组配套电机 700GFWD,设计年发电量 562.1kWh。

#### **五、技术应用现状及典型实例**

##### **(一) 技术应用现状**

建成一座瓦斯发电站，瓦斯发电技术走向正轨，取得了一定的经济效益和社会效益，促进了矿区的安全生产，保护了环境。

##### **(二) 典型案例**

沈阳焦煤鸡西盛隆矿业有限责任公司新城煤矿

#### **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

瓦斯发电在一定程度上改善能源结构，实现“以利用促抽采，以抽采促安全”的煤矿良性循环发展；在抽放站附近建立电站，实现“就地发电，就地使用，多余上网”的模式，缓解区域性电力短缺，提高煤矿企业生产效益，具有安全、环保、节能的显著特点，经济效益和社会效益都十分显著。

## 第三篇 金属矿产类

## 13. 地下立体分区大规模控制爆破开采技术

### 一、技术类型

金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

矿体中厚以上，矿岩硬度在中硬及以上（ $f \geq 6$ ），生产规模较大；中厚以上矿柱群回采及采空区处理；中厚以上矿体的规模化开采。

### 三、技术内容

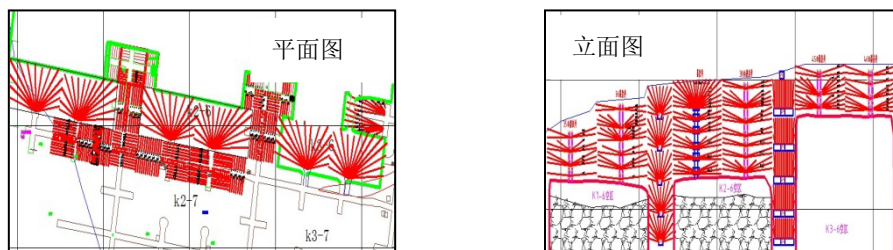
#### （一）基本原理

根据确定好的一次性回采区，按爆破矿体体积及所需补偿空间的比例，以及爆破自由面与毫秒微差雷管排列顺序的关系，将回采区分解成补偿空间和爆破自由面相对独立的几个至几十个爆区。为了保证施工作业安全和好的爆破效果，各爆区呈三维立体错位布置，爆破体积与补偿空间等比。各爆区为独立的回采单元，爆破抵抗线方向各异，崩落矿石相互挤压、碰撞破碎，各爆区形成的爆破空气冲击波、爆破震动波相互抵消衰减。一个回采区内的空区处理与矿柱回采由具有相对独立结构力学体系的等比错位立体分区来控制。

#### （二）关键技术

- 1.等比错位立体分区控制回采技术；
- 2.多临空面自拉槽挤压大量崩矿技术；
- 3.非线性等阻力自由面爆破技术；
- 4.多向组合双线同径微差起爆技术；
- 5.科学严密的现场施工组织技术。

#### （三）工艺流程



立体分区控制开采炮孔布置示意图

针对井下特大空区条件下矿柱及顶板矿体回采存在的重大安全隐患，建立地



压监控系统，采用强制崩落、诱导崩落与自然崩落相结合的方式，组织实施了井下立体分区大规模中深孔控制爆破，有效处理了采空区，实现了安全高效开采。

#### **四、主要技术指标**

1. 矿段开采回采率由 42%提高到 90%;
2. 炸药单耗 0.4~0.5kg/t;
3. 水平大孔以采空区为自由面，由下往上顺序爆破最大高度 56.5 米。

#### **五、技术应用现状及典型实例**

##### **(一) 技术应用现状**

2006 年 9 月在柿竹园多金属井下已实施总装药量 100t 以上的大规模爆破 10 多次，崩落矿石总量 1075 万 t。其中最大一次爆破开采总装药量达 821t，创井下中深孔爆破世界纪录。目前，该技术已在内蒙古获各琦铜矿、紫金矿业崇礼金矿等 5 个矿山矿柱回采和采空区处理中得到了推广应用，取得了良好的效果。

##### **(二) 典型案例**

湖南柿竹园有色金属有限责任公司多金属井下矿柱回采与采空区处理。

#### **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

本技术幅射面广、产业带动力强，达到同期世界领先水平，在国内外同类技术市场中有很强的竞争力，适应矿业的市场需求，推广应用前景良好，将有力地推动我国资源开发水平的整体提高。

## 14. 安全隐患条件下诱导崩落连续开采技术

### 一、技术类型

金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

适合采用崩落法处理的矿段。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

通过对隐患金属矿产资源特定受力环境的研究，构建了符合隐患金属矿产资源开采扰动状况的矿岩动静组合加载试验系统与失稳环境控制方法。

#### （二）关键技术

地下矿山隐患矿体诱导崩落连续开采技术；基于信息融合的地压灾害监控和孔内观测技术。

#### （三）工艺流程

1.非重叠区下矿体的回采，采用中深孔崩矿人工扰动诱导顶板崩落的连续采矿法；

2.对于重叠区下矿体的回采，采用高分段中深孔崩矿弱化围岩诱导顶板崩落连续采矿法。

### 四、主要技术指标

非重叠区下诱导崩落顶板连续采矿法矿石贫化率控制为 12%~15%，矿石平均回采率控制为 84.6%，切割掘进量为 511.5m<sup>3</sup>/万 t，矿块生产能力达到 1200t/d。重叠区下中深孔崩矿、诱导崩落顶板连续采矿法矿石贫化率控制为 8.3%，矿石平均回采率控制为 77.9%，切割掘进量为 572m<sup>3</sup>/万 t，矿块生产能力达到 876t/d。

### 五、技术应用现状及典型实例

#### （一）技术应用现状

采用诱导崩落连续采矿技术开采隐患矿体，通过非重叠区回采，使矿体开采贫化损失率大大降低（相对原房柱法开采），贫化率由原来的 25%~40%降至 15%以下，损失率由 35%降至 15.4%，采矿成本也比原来大为降低。针对矿体重叠区域，采用高分段中深孔崩矿围岩弱化诱导顶板崩落连续采矿法，重叠区下回采证

明，该采矿方法集中了留连续矿柱空场法、无底柱分段崩落法两大采矿方法的优势和长处，也克服了各自的缺点和弊病，使其成为一个生产能力大、作业较安全、采矿成本低、劳动生产率高和贫化损失适中的重叠区隐患矿体回采方案。

## （二）典型案例

广西华锡集团股份有限公司铜坑矿。

### 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

本技术在上部已经开采形成无充填或非胶结充填体大空区的金属矿山，特别是缓倾斜多层重叠厚大矿体上部已形成大范围隐患区，资源无法安全高效回采的金属矿山具有示范作用，值得大力推广。采用该技术可最大限度地回收隐患资源，仅铜坑矿 92 矿体就盘活锡锑资源量 4000 多万 t，增加产值约 140 亿元，增加税费 17.8 亿元。可推广到占我国金属资源 30%~35% 的隐患矿床，其前景和潜力是不可估量的。

## 15. 无底柱充填联合采矿技术

### 一、技术类型

金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

不允许地表塌陷地区，厚大或急倾斜中厚矿体的矿山。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

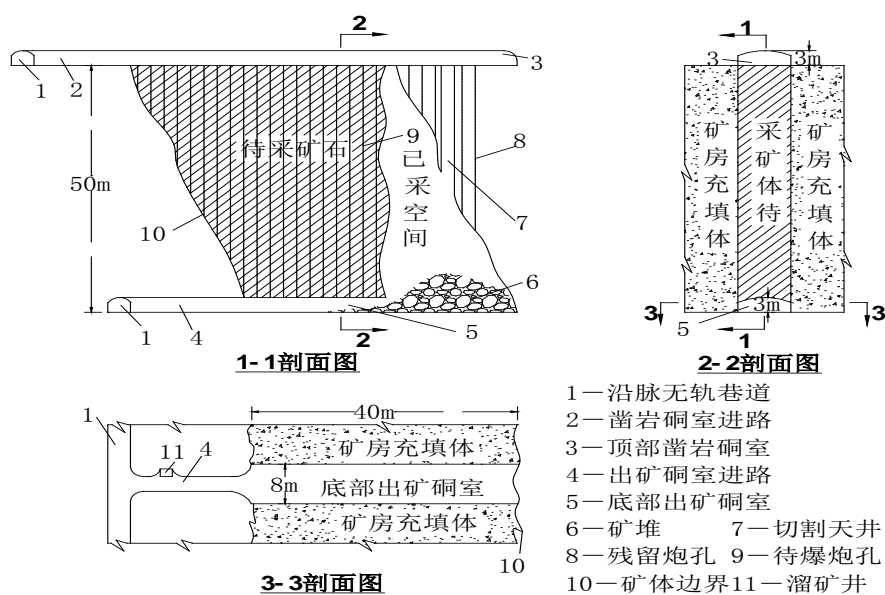
采用现场测试、室内试验、理论分析、数值模拟、工业试验相结合的研究手段，先后进行优化大孔径精细爆破技术、研制泡沫砂浆充填工艺、采用基于 CMS 采场空区探测技术、优选尾砂沉降絮凝剂等关键技术的研究工作，成功试验了无底柱充填联合采矿技术。

#### (二) 关键技术

大孔径精细爆破技术、研制泡沫砂浆充填工艺、采用基于 CMS 采场空区探测技术、优选尾砂沉降絮凝剂和泡沫砂浆新型充填材料及其制备系统等关键技术。

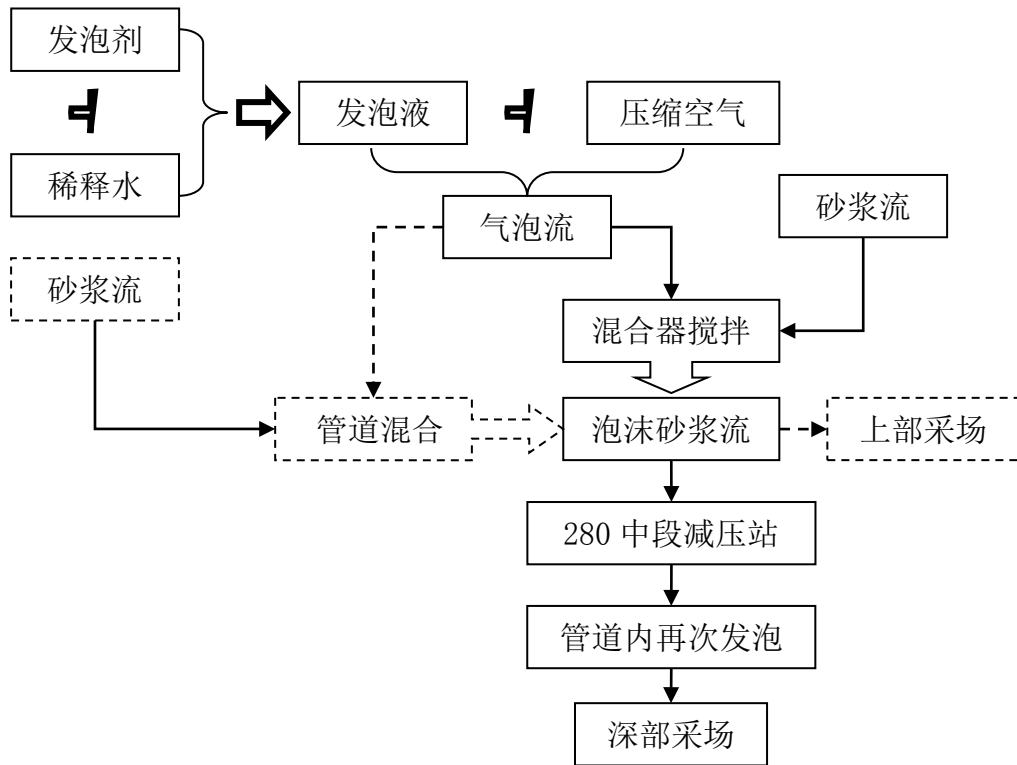
#### (三) 工艺流程

##### 1. 采矿采用无底柱后退式开采新流程



间柱采场无底柱后退式开采示意图

## 2. 充填采用泡沫砂浆充填新流程



泡沫砂浆充填工业试验流程

### 四、主要技术指标

单个采场综合生产能力大于 230t/d，贫化率和损失率分别小于 6%、2%，大块率小于 1%，尾砂利用率在 95%以上，水泥用量减少 20%以上，水用量减少 65%以上，充填效率提高 20%以上，结实率由常规的 65%提高到 95%以上。采矿直接成本降低约 21 元/吨，综合充填成本降低约 20 元/m<sup>3</sup>。

### 五、典型实例及成效

无底柱充填联合采矿技术已全部应用于凡口铅锌矿生产实际，并取得了良好的技术经济指标：通过近三年的现场工业实践，实现了凡口铅锌矿的安全高效开采，使采矿直接成本降低约 21 元/t，综合充填成本降低约 20 元/m<sup>3</sup>，每年总经济效益可达 1.351 亿元，新增利税 8517.86 万元，节支总额 4989.35 万元。

### 六、推广前景

无底柱充填联合采矿技术有效地提高了矿山的生产能力和安全水平，变废为宝，实现选矿尾砂的充分利用，改善我国传统充填工艺中水泥和水消耗非常大的现状，具有显著的节能作用，对条件类似的金属和非金属矿山具有借鉴意义。

## 16. 露天采场第四系砂砾卵石层承压水下开采综合技术

### 一、技术类型

金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

露天开采第四系砂砾卵石层承压水防治和矿石的安全回采。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

应用半墙可控双液灌浆对砂砾卵石层承压水形成防渗帷幕堵水、砂砾卵石层边坡开挖拉槽揭露试验、软土置换、分层控制、逐步推进，控制爆破减震、压坡护坡、水文位移观测、及时内排覆盖等综合技术组合应用。目的是截断采场外围区域第四系砂砾卵石层承压水往采场内补给，保证采场砂砾卵石层揭露开挖、回采下覆铁矿石资源，延长露天采场服务年限。

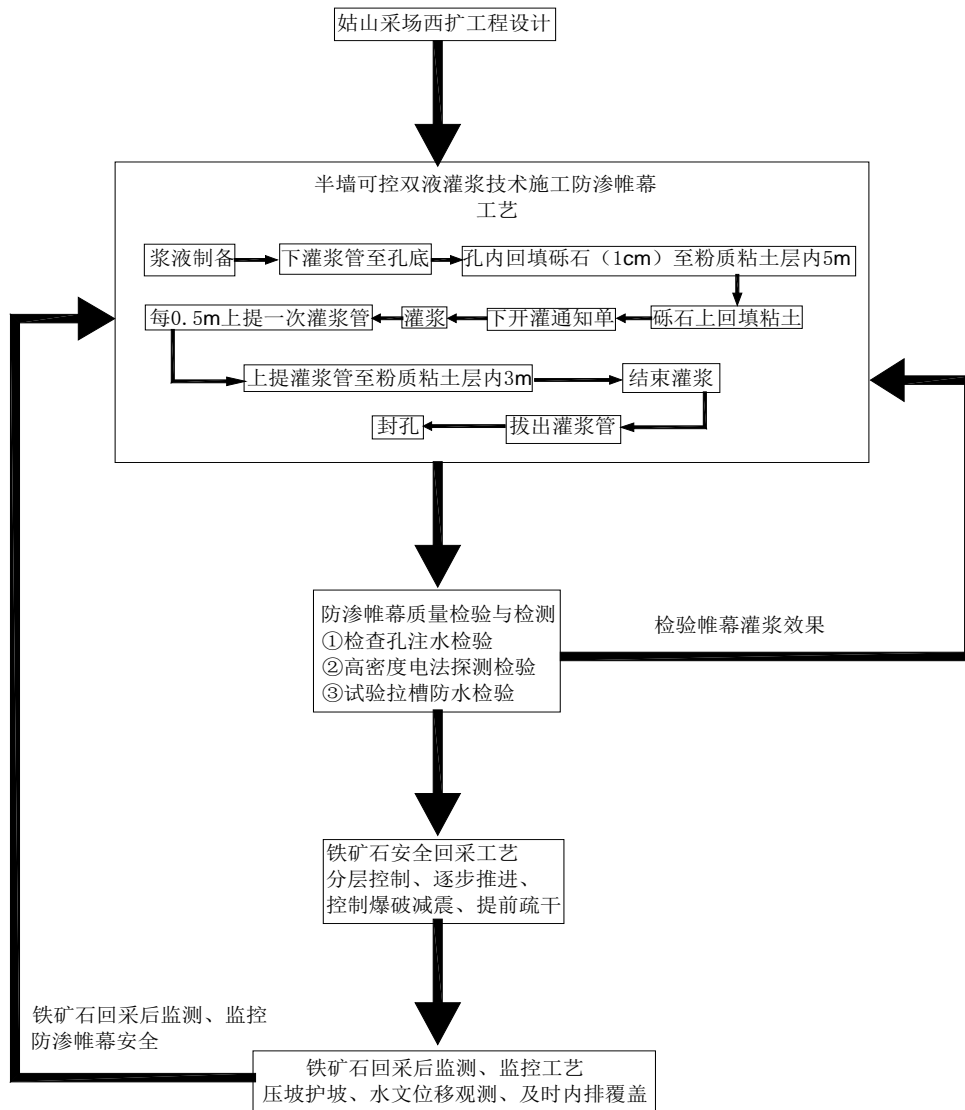
#### （二）关键技术

- 1.半墙可控双液灌浆施工；
- 2.防渗帷幕质量检验与检测：①检查孔注水检验；②高密度电法探测检验；③试验拉槽防水检验；
- 3.超前疏干；
- 4.分层开采；
- 5.边坡治理；
- 6.护坡与减震措施；
- 7.内排覆盖。

#### （三）工艺流程

工艺流程见下图。

## 姑山铁矿露天采场第四系砂砾卵石层 承压水下开采综合技术研究工艺流程



露天采场第四系砂砾卵石承压水下开采综合技术工艺流程图

### 四、主要技术指标

第四系松散层渗透系数均值为  $2.32 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 。

### 五、技术应用现状及典型实例

#### (一) 技术应用现状

姑山铁矿露天采场第四系砂砾卵石层承压水下开采综合技术研究自 2008 年施工，已保障姑山采场铁矿石安全回采，边坡稳定、第四系砂砾卵石层地下水涌出量少。关键技术之一的半墙可控双液灌浆帷幕技术方案在水库大坝加固、堵水

中应用广泛。

## （二）典型案例

马钢（集团）控股有限公司姑山矿业公司姑山铁矿露天采场。

### 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

本技术充分吸取了矿山多年的治水经验，并结合开采实际，在国内金属矿山首次对砂砾卵石层承压水下矿体开采关键技术进行了全面、系统、深入的研究，并通过生产采场的实践，验证了所研究的防渗帷幕止水方案及其技术要素满足第四系覆盖下的矿体露天开采要求。

半墙可控双液灌浆帷幕技术方案对下部砂砾卵石层承压水的封堵，构思新颖，方案独特。控制了浆体扩散范围，达到了防渗帷幕厚度不小于 2m，渗透系数  $K$  小于  $5 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  的技术要求。

通过实践的检验，所采用的“分层开挖、以点带面、疏干推进，出水不管涌”揭露砂砾卵石层原则是正确的。采用了以抽水井、拉槽放水组合方式进行帷幕内疏干放水，分层控制，逐步推进，控制爆破减震，置换、压坡护坡，水文位移观测，及时内排覆盖等综合开采措施，是开采砂砾卵石层承压水下矿体的开采技术集成。

该技术盘活姑山铁矿工业铁矿石资源量 389.54 万 t，低品位铁矿石 28.19 万 t，提高资源利用率 15.98%，同时延长露天服务年限 4.87 年，产生的经济效益合计约为 100592.38 万元。



## 17. 57 钼精矿新工艺及产业化技术

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

钼矿或铜钼矿的选矿。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

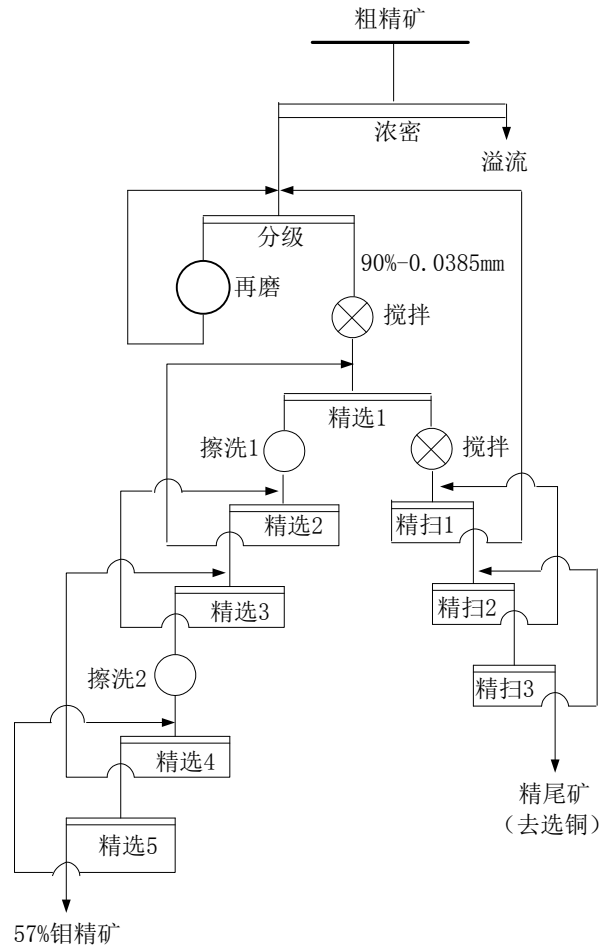
通过矿石性质研究，查明矿床及矿物特性，为确定再磨位置、调整流程结构、药剂制度；通过实验室试验，确定 57 钼精矿工艺流程及工艺参数；通过工艺设计及工业试验，攻克实际生产中提高钼精矿品位与稳定选矿回收率的技术瓶颈，确定既适合于微细粒级分选又兼顾粗粒级回收的浮选设备及适合于钼精选泡沫擦洗用设备。

#### （二）关键技术

- 1.使用浮选柱浮选，简化工艺流程，快速提高钼精矿品位；
- 2.联合使用浮选柱、浮选机，对微细粒、较粗粒级进行有效回收；
- 3.立式螺旋搅拌磨对钼精矿泡沫进行有效擦洗，充分暴露矿物新鲜表面；
- 4.应用旋流器提高再磨分级细度。

#### （三）工艺流程

钼粗精矿采用浓缩脱药、多段再磨擦洗、浮选柱与浮选槽联合进行深度精选原则流程，详见下图：



#### 四、主要技术指标

钼精矿含 Mo  $\geq 57\%$ ，选钼回收率  $\geq 87.50\%$ 。

#### 五、技术应用现状及典型实例

##### (一) 技术应用现状

2006年9月底，浮选柱新工艺在金钼股份百花岭选矿厂2#系统进行工业试验。经过设备调试和工艺完善，2007年3月形成了稳定的生产线。利用浮选柱+浮选机联合流程处理不同品位的矿石，可连续大批量生产出57%钼精矿。

2007年11月，57钼精矿新工艺在百花岭选矿厂3#精选系统进行推广。六年多的生产实践表明：处理不同品位的矿石，新工艺可全部稳定生产含Mo  $\geq 57\%$ 的钼精矿，精选回收率和总回收率分别达到98.37%和86.57%，较原有浮选机工艺各提高0.54和0.48个百分点，无低品位的副产钼精矿。经过新工艺的推广应用，金钼股份已形成年产57钼精矿8900余t的生产能力，平均年创税前利润

38766 万元，税后净利润 24815 万元。

2008 年 3 月，金钼股份新建 1 万 t/d 选矿厂。2011 年 3 月份，金钼汝阳 5000t/d 选矿厂建成投产，运行效果良好。另外，2 万 t/d 选矿厂正在进行初步设计。

## （二）典型案例

金钼股份百花岭选矿厂。

### 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

随着矿产资源利用率的提高，入选矿石中品位低、嵌布粒度细、矿物组成复杂的难选矿石所占比例日益增大，而冶炼、化工等工艺对钼精矿的质量要求愈来愈高，给该技术的推广应用提供了良好的机遇和广阔的前景。

本技术所用电耗较国内深度浮选工艺降低了 861.5kwh/t 精矿，电价按 0.67 元/kwh 计，我国钼选矿厂年生产 57 钼精矿节约电费 6311 万元，新增利润 4733 万元，新增税收 1578 万元。

钼酸铵的生产原料变为 57 钼精矿后，其工艺由水洗替代了酸洗，省去了生产用硝酸及废水处理环节。

另外，由于 57%钼精矿品位高，含杂低，对氧化钼、钼酸铵、钼粉等后续产品加工技术及装备水平的要求相对较低，生产成本大幅降低，产品附加值大幅提升，同样有着不可估量的潜在经济效益。

## 18. 铜冶炼渣资源综合利用

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

处理各种铜冶炼工艺生产的炉渣。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

利用渣包缓冷技术，增加金属铜的结晶粒度，提高选铜回收率。采用的半自磨+球磨工艺代替了传统的碎磨流程，该工艺碎磨成本低；采用浮选工艺回收炉渣中的铜矿物。

#### (二) 关键技术

- 1.渣包车+渣包缓冷工艺；
- 2.半自磨+球磨工艺；
- 3.浮选工艺；
- 4.新型高效环保捕收起泡剂酯-22。

#### (三) 工艺流程

炉渣自冶炼产出后，使用渣包承装，用专用渣包车将渣包拉运到缓冷场，热渣包就位 4~8 小时后开始喷淋，累计冷却到 55 小时后，使用专用渣包车倾倒入渣堆场，经凿岩机破碎到小于 500mm 粒度。渣的冷却采用自动化控制，起止时间自动记录，喷淋作业自动进行。然后，使用装载机将炉渣倾倒入原矿仓，进入选矿生产流程。

原料仓物料由棒条振动给料机给至 1 号胶带输送机上，再由胶带输送机送到颚式破碎机进行破碎至-200mm；破碎后的产品进入半自磨机进行磨矿，并与圆筒筛构成闭路；筛下产品和球磨机排矿合并经砂泵扬送至一段旋流器进行分级，溢流再通过砂泵扬送至二段旋流器进行控制分级，两段旋流器的沉砂均送到球磨机构成闭路磨矿，二段旋流器溢流（-325 目占 80%）进入浮选作业。浮选给矿经搅拌后进行一次粗选，一次粗选得最终铜精矿产品，一次粗选的尾矿进入二次粗选；二次粗选粗精矿进入精选作业，尾矿进入扫选作业；粗精矿经三次精选得最

终精矿，精选尾矿和扫选精矿一起合并为中矿，返至磨矿段的球磨机进行再磨。

#### **四、主要技术指标**

在原料品位 Cu 1.4%时,精矿品位 Cu 24.2%，尾矿铜品位 0.3%；Cu 回收率 79.4%。

#### **五、技术应用现状及典型实例**

##### **（一）技术应用现状**

本技术采用选矿方法回收铜冶炼渣中的有价金属，有利于提高金属铜回收率，且处理后的炉渣浮选尾矿含铜较低，该技术比较成熟。目前美国肯尼柯特犹他冶炼厂，芬兰奥托昆普公司的哈里亚瓦塔冶炼厂、贵溪冶炼厂、金川公司铜冶炼系统、铜陵有色集团、大冶有色集团及祥光铜业集团等均采用渣选矿方法回收铜冶炼渣中的铜，符合循环经济要求，综合考虑经济、节能、综合利用、环境保护等因素,炉渣选矿仍将是今后回收铜的主要手段。

##### **（二）典型案例**

贵溪冶炼厂渣选系统处理能力 5000t/d,是目前国内最大混合炉渣处理系统。处理炉渣原矿品位为 2.6%，铜金属回收率达到 88%左右，渣尾矿含铜品位降至 0.3%，每年可回收 3.4 万 t 铜金属量，尾渣直接销售到水泥厂。

#### **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

白银有色集团公司铜业公司年产 137 万 t 炉渣，相当于一座大型铜矿，通过浮选回收，炉渣含铜品位可降到 0.28%左右，铜的回收率可以达到 76%以上。

目前我国从事铜冶炼的企业较多，根据初步统计，截止到 2013 年全国铜冶炼炉渣近 1200 万 t，如果炉渣通过技术进步全部得到利用，不仅促进了资源节约与综合利用，使废弃物最大资源化，排放最小化、无害化，铜冶炼企业循环经济得到进一步发展，经济效益、社会效益非常显著，因此本技术在全国铜冶炼厂推广应用，具有非常广阔的应用前景。

## 19. 复杂难处理钨细泥高效选矿新工艺

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

复杂难处理钨细泥。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

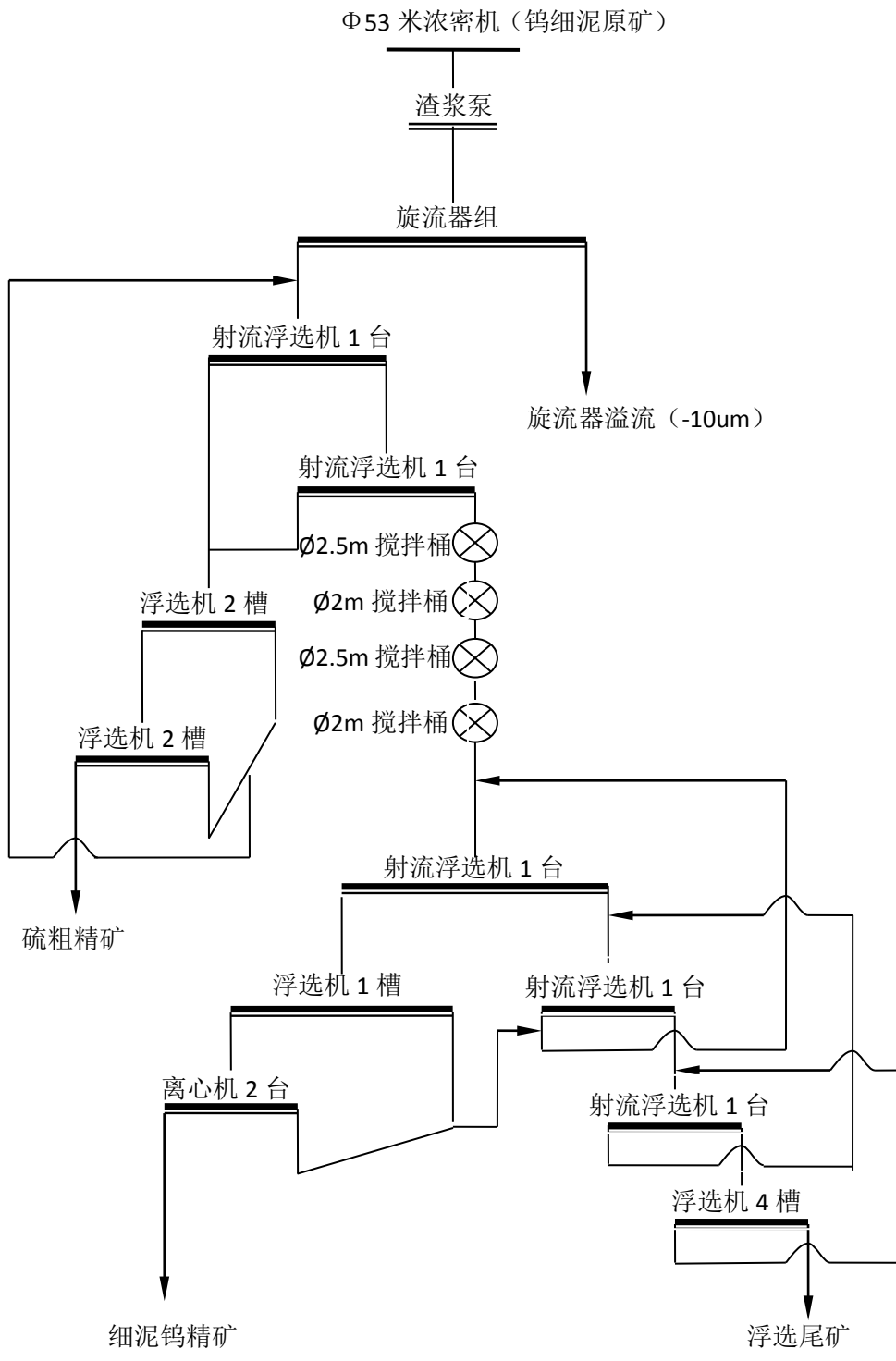
采用捕收力强、选择性好的钨矿组合捕收剂 GYB+FW 替代常规浮选药剂进行常温浮选。采用离心选矿机实行高效重选，有效地提高了钨细泥选矿的金属回收率及钨精矿品位。

#### （二）关键技术

1. “细泥预处理—常温浮选—重选”简单工艺流程；
2. 捕收力强、选择性好的钨矿组合捕收剂 GYB+FW；
3. 高效离心选矿机的使用。

#### （三）工艺流程

钨细泥原矿进入  $\Phi 53\text{m}$  浓密机浓缩后，通过旋流器组脱泥，溢流主要为  $10\mu\text{m}$  以下粒级直接排入尾矿库，沉砂进行预选脱硫，脱硫采用一粗一扫二精流程，得到的硫化矿粗精矿进入硫化矿综合回收车间，脱硫尾矿进入选钨作业。选钨采用浮选—重选相结合的方式，浮选采用一粗三扫一精作业，得到合格的浮选钨粗精矿进入离心机重选，再经过浓缩烘干混匀，最终得到合格的钨精矿，整个流程为循环闭路流程。



钨细泥回收生产工艺流程

**四、主要技术指标**

钨精矿品位  $WO_3$  20%，钨细泥综合回收率 60%。

**五、技术应用现状及典型实例**

(一) 技术应用现状

本技术已在宁化行洛坑钨矿有限公司细泥车间投入生产使用,并取得了优良的经济技术指标,2010、2011、2012 连续 3 年钨产品金属量分别为 242 吨、284 吨、300 吨,选矿总回收率三年分别提高 7.96、9.13、9.65 个百分点。

## **(二) 典型案例**

宁化行洛坑钨矿有限公司细泥车间目前已投入生产,并获得了较好的经济效益和社会效益。经过 2009 年的调试成功正常生产以后,2010~2012 三年连续生产的钨金属量分别达到 242 吨、284 吨、300 吨,全厂钨精矿综合回收率连续三年分别提高 7.96、9.13 和 9.65 个百分点,毛利润达到 7038 万元。同时,解决了矿山所在地富余劳动力 30 多人的就业问题。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

新工艺成功应用于行洛坑钨矿,可推广到国内外与行洛坑钨矿矿石性质相类似的钨矿山,使国内外复杂难处理钨细泥的综合回收技术指标有显著提高,钨细泥选矿整体水平上一个新台阶。针对贫、细、杂难选钨资源开发及钨尾矿资源的二次开发与利用,推广使用浮-重联合工艺特别是微细粒的离心选矿机对提高钨回收率具有重大潜力。



## 20. 冶金矿山高压辊磨新工艺成套技术与装备

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

矿山矿石细碎，实现多碎少磨。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

利用料层粉碎原理，高压辊磨机对物料实施的是物料与物料之间的相互粉碎，辊子间的物料受挤压后除粉碎外，尤其重要的是在颗粒内部产生了大量裂纹、塌散、疏松等缺陷，使物料可磨性大为改善，在后续工序的磨机内易于磨碎，节省大量能耗。

#### （二）关键技术

采用高压辊磨机新技术，配套“破碎—高压辊磨—球磨”碎磨工艺流程，将矿石碎磨到-3mm，真正实现了选矿厂的多碎少磨和磨前湿式粗粒磁选抛尾。

#### （三）工艺流程

高压辊磨机在工艺应用中既可以代替细碎作第三段破碎，又可以在三段破碎后作第四段超细碎；既可以全开路破碎，也可以在开路条件下进行边料返回破碎；既可以实现高压辊磨后单独的湿筛闭路粗粒湿选，也可以组合成高压辊磨—分级—球磨后粗粒湿选；既可以与碎矿系统同步作碎矿设备，又可以与磨矿同步作磨矿设备。

马钢集团南山矿业公司凹山选矿厂采用“破碎—高压辊磨—球磨”碎磨新工艺，创新性地实现了低品位磁铁矿高压辊磨—-3mm 湿式筛分—筛上返回闭路—-3mm 筛下在磨前湿式粗粒磁选抛尾—部分粗粒尾矿不进尾矿系统—-3mm 湿式粗粒磁选粗精矿进入磨矿选别系统的新的选矿工艺流程。

### 四、主要技术指标

以马钢集团南山矿业公司凹山选矿厂技术改造为例，矿石高压辊磨，将矿石碎磨到-3mm，真正实现了选矿厂的多碎少磨；在磨前湿式粗粒磁选抛尾，减少了近 50%的磨矿量，节省了大量的能耗和钢球损耗，电耗节省约 25%，在全国大

型铁矿选矿厂中，凹山选矿厂的球耗仅为 0.4~0.5kg/t 原矿；-3mm 湿式粗粒磁选抛尾后捞出粗砂 120 万 t/a 不进尾矿系统，减少了尾矿输送矿量，降低了尾矿库库容对尾矿堆排的压力，减少了尾矿库的征地面积或增加了尾矿库的使用年限，使矿山更加绿色安全环保。在减少原有磨矿系列的情况下，使凹山选矿厂的处理能力由 500 万 t/a 提高到 700 万 t/a。

### **五、典型实例及成效**

本技术已经应用在马钢集团南山矿业公司凹山选厂、和尚桥铁矿选矿厂，马钢集团张庄矿业公司选矿厂，重钢西昌矿业公司选矿厂和秦皇岛青龙县龙汇矿业公司等矿山。

### **六、推广前景**

本技术已经投入使用并在节约集约利用矿产资源方面取得显著效益，特别是在低品位磁铁矿的资源利用方面发挥了决定性作用，反映了节约集约利用矿产资源最新进展；推广前景好，预期可大幅度提高矿产资源节约与综合利用水平；同时在选矿厂的碎磨流程的节能降耗方面，也具有推广的意义。本技术应用范围广，在全行业应用前景广阔。

## 21. 钛铁矿高效回收工艺及装备产业化集成技术

### 一、技术类型

金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

钒钛磁铁矿选钛技术领域。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

通过从钒钛磁铁矿中分离钛铁矿、硫钴矿、铁精矿，进行提纯及制备。

#### （二）关键技术

##### 1.粗粒钛铁矿高效回收工艺技术

采用“强磁—磨矿分级—强磁—浮选”流程回收粗粒钛铁矿，且强磁流程采用“粗选—精选—精选扫选”结构提高系统的回收率和浮选原矿品位。

##### 2.细粒钛铁矿高效回收工艺技术

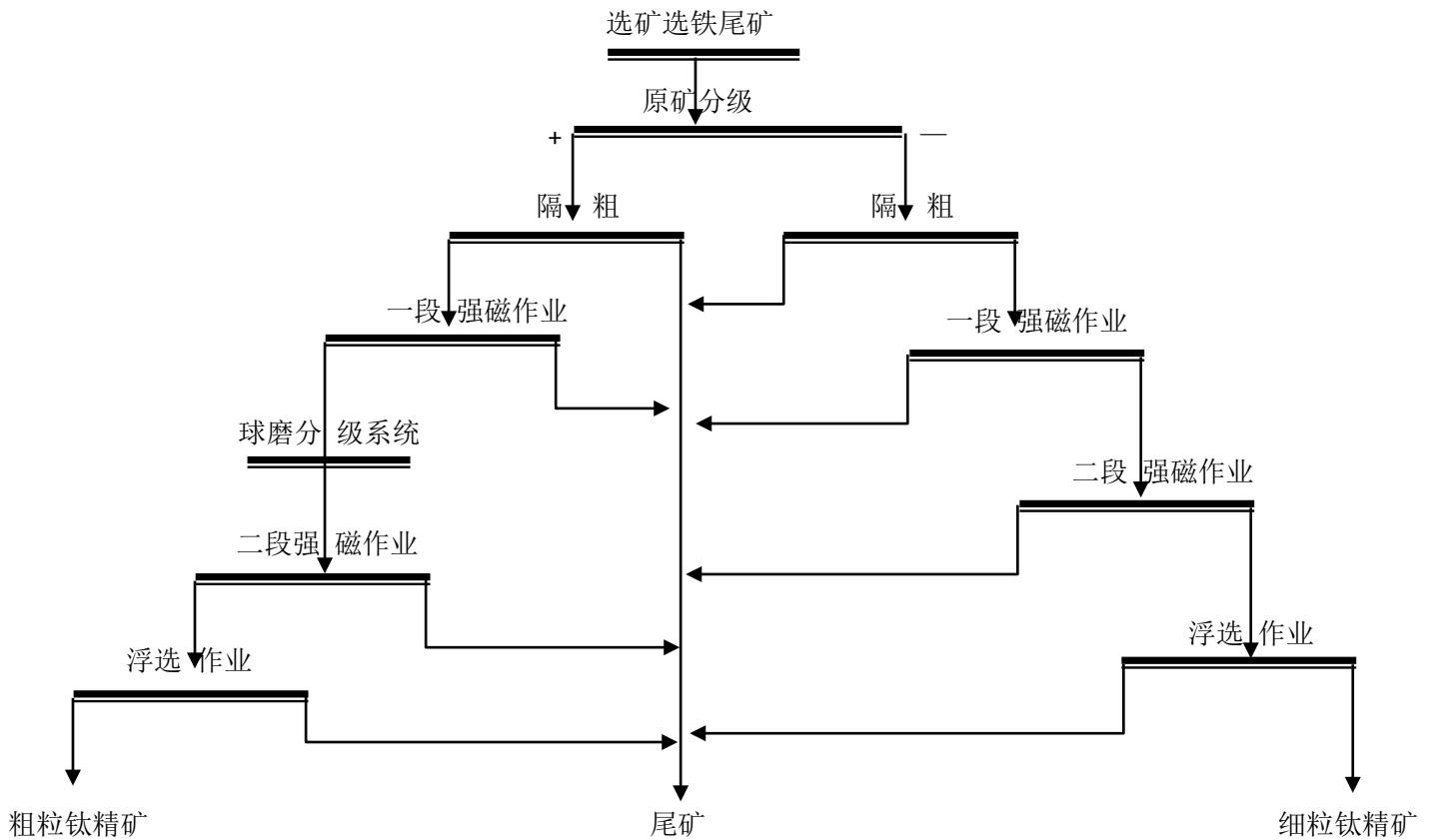
采用“强磁—强磁—浮选”流程，且强磁流程采用“粗选—粗选扫选—精选—精选扫选”结构，使细粒物料回收粒度下限由 0.038mm 降至 0.020mm，提高了系统的回收率和浮选原矿品位。

##### 3.高效粗粒钛铁矿捕收剂研发使用

针对岩浆型钒钛磁铁矿中粗粒钛铁矿的物理化学性质，研发新型捕收剂 MOH-2 浮选粗粒钛铁矿，同时研究出合理的药剂制度，使浮选原料粒度上限由 0.1mm 提高到 0.154mm，确保粗粒钛铁矿通过浮选实现有效回收。

#### （三）工艺流程

选矿厂选铁后的尾矿经原矿斜板分级分成粗、细两个产品，分级粒度为 200 目，其中粗粒原矿进入强磁-磨矿-强磁-浮选工艺流程，细粒原矿进入强磁-强磁-浮选工艺流程；在强磁选别工艺中的除铁精矿进入次铁精矿选别流程，其工艺流程为磨矿-分级-磁选工艺流程；在选钛浮选工艺中脱硫精矿进入硫钴精矿选别流程，其工艺流程为浓缩-浮选工艺流程。工艺流程图如下图。



钛铁矿高效回收工艺流程图

#### 四、主要技术指标

1. 钛精矿：TiO<sub>2</sub>品位≥47.00%，含 S≤0.18%，TiO<sub>2</sub>回收率≥37.26%；
2. 钒钛铁精矿：TFe≥52.50%；
3. 硫钴精矿：S≥30.00%。

#### 五、典型实例及成效

本技术在攀钢集团矿业有限公司选钛厂得到应用，2008年8月开始改造建设，2009年10月建成投产，实现了工艺技术和装备的整体提升。在原料量不变的情况下，选钛厂钛精矿年产量由26万t提高到2012年的52万t，增加26万吨，回收率由20%左右上升到37.26%，提高17个百分点以上；钛精矿单位成本较原流程降低；硫钴精矿产量由1万t提高到2万t左右；年新增铁精矿20万t规模，已累计创效8.23亿元。

## 六、推广前景

在攀枝花—西昌地区蕴藏着极其丰富的钒钛磁铁矿资源，已经探明的钒钛磁铁矿储量达 100 亿 t，集中分布在攀枝花、白马、红格、太和四大矿区，其中  $\text{TiO}_2$  的储量为 8.7 亿 t。

本技术已在攀西地区及国内部分选厂得到推广，生产实践证明，可在攀西地区、全国乃至世界钒钛磁铁矿钛铁矿回收领域中推广。

## 22. 原矿焙烧提金技术与工艺

### 一、技术类型

金属矿山高效选冶技术。

### 二、适用范围

高砷、高碳、微细粒浸染难处理金矿石。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

通过控制焙烧条件破坏包裹金的硫化物，使载金矿物结构上出现裂隙，同时固砷、固硫；消除有机碳对后续提金工艺的负面影响，达到显著提高金回收率的目的。

#### （二）关键技术

原矿干式磨矿和沸腾焙烧提金预处理工艺技术。

#### （三）工艺流程

原矿干式磨矿—焙烧—焙砂氰化炭浆提金。

### 四、主要技术指标

原矿金品位 2.6g/t，砷的氧化率 99%，硫的氧化率 98%，有机碳氧化率 95.35%，砷的固化率 98.99%，硫的固化率 72.95%，金总回收率 80%。

### 五、典型实例及成效

本技术已经应用在贵州金兴黄金矿业有限责任公司紫木凼金矿。紫木凼金矿原矿金品位 2.6g/t，有机碳含量为 1.43%，砷含量为 1.26%，硫含量为 4.41%，金总回收率 80%。原矿干式磨矿和沸腾焙烧提金预处理工艺技术首次在国内实现了工业化生产。近五年的生产实践表明：本技术对处理有机碳含量高的矿石有特效，适应性强，已达到国际先进水平。

### 六、推广前景

国内难处理金矿资源总金属量在 1000t 以上，主要分布在我国的贵州、云南、四川、甘肃、青海、广西、陕西、新疆等西部偏远地区省份，该技术成为难处理金矿资源高效利用的重要技术支撑，可将资源优势迅速转化为经济优势对地方经济的发展做出贡献。

## 23. 含钒页岩双循环高效氧化提钒技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

原生型、混合型或氧化型含钒页岩资源。

### 三、技术内容

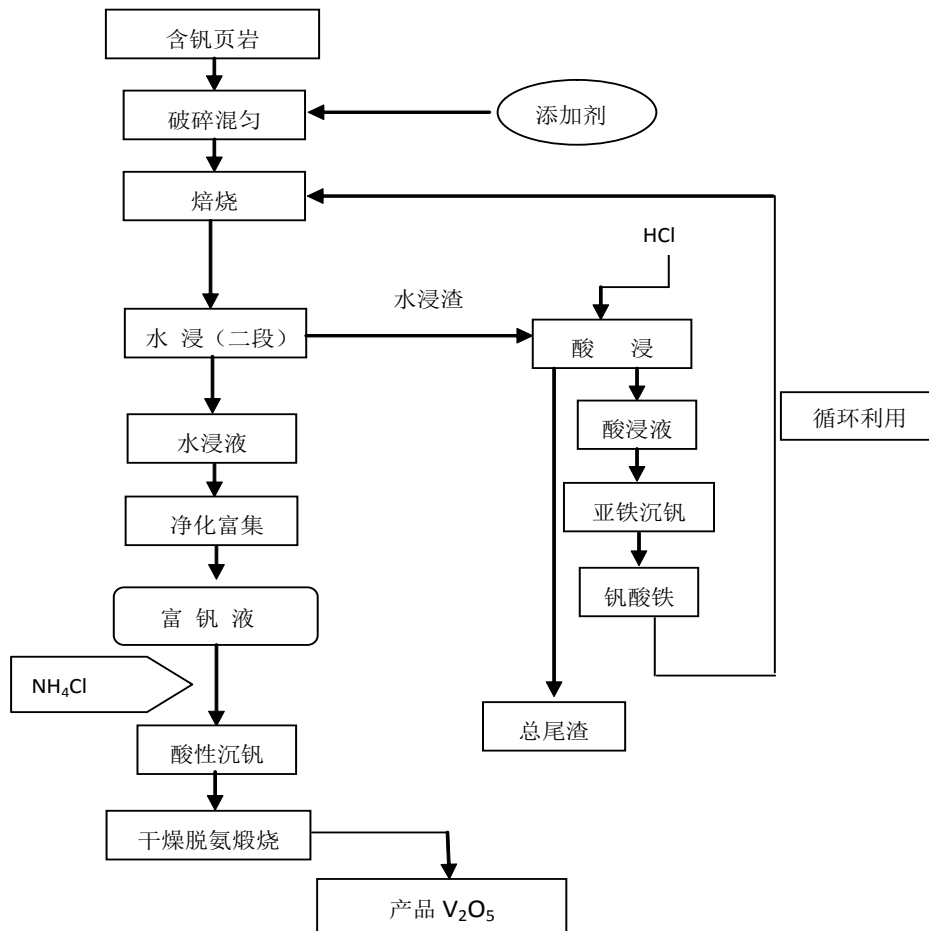
#### （一）基本原理

以工艺自身产生的富钒渣为催化剂，在加速复合添加剂分解的同时，强化对含钒页岩云母结构的高效解离破坏，促使三价钒从晶格束缚中转变为游离状态，从而被焙烧气氛中的  $O_2$  氧化，通过自催化-高效解离-循环氧化，实现低价钒的循环氧化和回收。

#### （二）关键技术

项目在国内首创了双循环高效氧化提钒新工艺，创建了全新的在线循环新思路，通过多种强化机制，发明了自催化-高效解离-循环氧化提钒新方法，突破了含钒页岩低价钒难以氧化转价的技术难关和环境瓶颈。

#### （三）工艺流程



含钒页岩双循环高效氧化提钒技术原则工艺流程图

#### 四、主要技术指标

获得工业 99 级  $V_2O_5$  产品，钒回收率 > 75%。

#### 五、典型实例及成效

本技术已经成功应用于湖北省通山腾达矿冶有限公司、湖北省郟西平凡矿业有限公司等。湖北通山腾达矿冶有限公司所属上陈钒矿经详查确定  $V_2O_5=0.7\%-0.8\%$  的钒矿石资源储量 2736.4 万 t，由于一直未有先进提钒技术，常年处于封存状态。经采用含钒页岩双循环高效氧化提钒技术后，上陈钒矿得到了有效开发利用。工艺过程稳定，总回收率高达 70% 以上，不仅有效地开发利用了含钒页岩资源，还降低了单位产品的矿石用量。将提钒工艺产生的烟气、废水和尾渣有效处理，形成工艺所需的中间产品返回主流程在线循环，热能利用率 > 90%，提钒尾渣可以用于建材制备解决了每年 20~30 万 t 提钒尾渣的堆存问题。

#### 六、推广前景

含钒页岩是我国尚未有效开采和利用的钒矿资源。项目将解决当前我国含钒



页岩提钒工艺中的重大关键技术难题，按市场价格计算，仅湖北、江西两地含钒页岩得以综合利用计，可建成年生产 10 万 t  $V_2O_5$  工业规模高起点、高配置水平的含钒页岩高效提钒生产厂，可年销售  $V_2O_5$  收入 125 亿元/a，原矿生产潜在经济效益约 2.75 亿元/a，项目在线循环产生约 7.5 亿元/a 的经济效益，项目总体效益达 135.25 亿元/a，潜在经济效益巨大。

本技术可以在湖南、陕西、浙江、安徽等含钒页岩资源丰富的地区推广应用，将有效利用我国低品级含钒页岩资源，扩大可利用钒资源储量近 100 亿 t，极大地促进我国钒行业的发展。

## 24. 金属矿山选矿尾砂、干渣和冶炼废渣膏体充填技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

金属非金属矿山充填法开采，井下具备一定的干式运输充填系统，结合膏体胶结充填使充填效果达到最佳。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

利用深锥浓密机将选矿产生的不同粒级尾砂进行混合，通过自动加药系统添加阴离子絮凝剂，流入深锥浓密机进行搅拌混合，使其浓缩到一定浓度。利用搅拌槽按工艺配比添加冶炼废渣和水泥，经二级搅拌混合后，由充填专用管道自流输送到井下。通过视频监控软件和上位机对生产工艺过程进行实时监控，根据不同的工艺配比，使膏体符合采场使用强度。既减少冶炼废渣对环境的污染，同时降低了水泥用量，又解决了尾矿库尾砂堆积产生的环保问题。

#### （二）关键技术

选矿尾砂混合技术；深锥高效浓密机混合制备不同浓度尾砂工艺技术；水泥、尾砂、水淬渣工艺配比技术；充填料均匀搅拌设备及控制技术；膏体自流输送技术；采场充填工艺技术。

#### （三）工艺流程

将不同粒级的选矿尾砂经深锥浓密机，添加絮凝剂后，根据所充填采场性质，制备成浓度为 70%~75%的砂浆，再经过两级搅拌槽，根据不同工艺配比添加冶炼废渣—水淬渣和水泥，将充填料混合成浓度为 73%~78%的膏体，经充填管道，以 30-90m<sup>3</sup>/h 流量自流输送到井下采场。

### 四、主要技术指标

采矿回采率达到 98.5%左右；充填料浆浓度 73%~78%。

### 五、典型实例及成效

本技术已经成功应用于云南驰宏锌锗股份有限公司会泽矿业分公司下属的麒麟厂与矿山厂两座矿山。膏体充填技术在会泽矿山已经成功使用了 6 年多，共

计完成 82 万 m<sup>3</sup>空区膏体胶结充填，真正成为矿山生产中必不可少的生产环节。

会泽矿业分公司自 2007 年膏体充填技术的成功应用以来，采矿技术经济指标贫损得到有效提升与控制，按 28.07%~30.02% (Pb+Zn) 年均正常出矿品位计算，共计增加采出金属量 619.12t。采场顶板垮塌率明显下降，采场掘进渣综合利用率达 93%以上，选矿尾砂利用率达 100%，有效解决了地表尾砂堆存带来的尾矿坝改扩建、维护成本高、安全环保事故等难题，为无废绿色矿山的建设与发展提供了条件。

## **六、推广前景**

随着地表及埋深较浅资源的回采，深井三高（高地应力、矿岩含水高、矿岩破碎）采矿将是地下采矿行业中日渐突出，而“金属矿山选矿尾砂、干渣和冶炼废渣膏体充填技术”有效的将选矿尾砂、冶炼废渣及井下生产掘进渣结合在一起，形成联合膏体胶结充填达到采空地压控制、固废综合利用等经济社会效益，在地下矿山充填采矿工艺中具有广阔的应用前景。

## 25. 铁尾矿梯级分离多元素综合回收技术

### 一、技术类型

金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

含硫铁矿石尾矿。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

通过选矿、冶金联合流程，对含硫铁尾矿进行浮选，浮选尾矿制砖，浮选精矿为高硫精矿，焙烧制备烧渣，含硫烟气制酸，烧渣浸出除杂产出合格铁精粉，浸出液中的多元素梯级分离回收。通过此流程，实现含硫铁尾矿中的多种有价元素的综合回收利用。

#### （二）关键技术

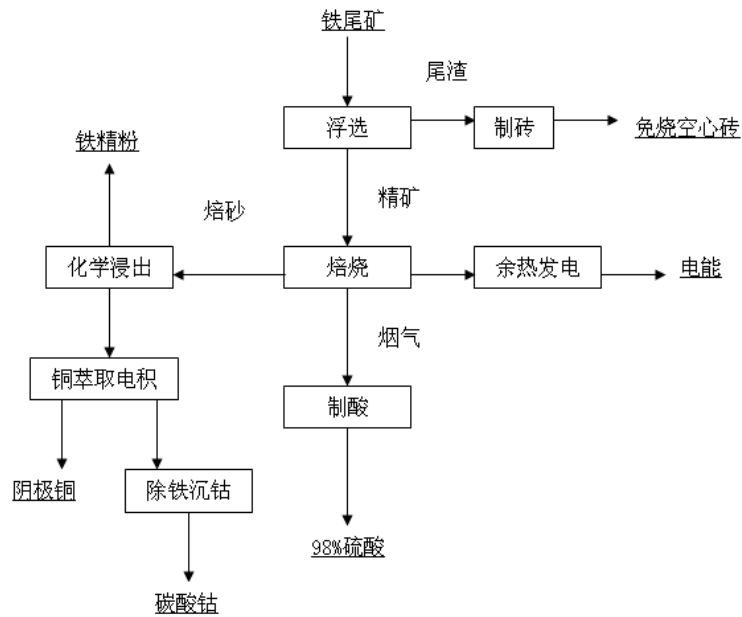
1.通过预处理及浮选工艺的优化，获得了含硫>45%的高硫精矿，提升了焙烧原料品质，为铁尾矿多元素综合回收利用奠定了基础；

2.焙烧时采用循环流态化焙烧，使焙烧更加高效，大幅提高了焙砂中有价元素如金、银的回收率。循环流态化焙烧技术使得气固反应更加剧烈，物料温度分布更加均匀，传热速率快，停留时间可控，反应更加充分；

3.针对焙砂的含铁、铜、钴等多种有价元素，采用酸浸、还原浸出、碱浸等选择性分离技术，梯级分离有价元素，实现了金、银、铜、钴等多种有价元素分离提取，达到了综合回收利用的目的。

#### （三）工艺流程

对铁尾矿进行选矿，浮选尾矿制砖，浮选精矿为高硫精矿，铁、铜、钴等有价元素也得以富集。精矿经流态化焙烧炉焙烧，含硫烟气制硫酸，焙烧渣浸出除杂产出合格铁精粉，浸出液中的多元素梯级分离回收，铜经萃取电积制取阴极铜，钴经沉淀得碳酸钴。原尾矿中如含有金银，可通过对焙烧渣进行氰化回收金银。通过此流程，实现含硫铁尾矿中的多种有价元素的综合回收利用。工艺流程见下图。



铁尾矿梯级分离多元素综合回收技术工艺流程图

#### 四、主要技术指标

1. 钛硫精矿含硫>45%;
2. 高品质铁精粉含铁>65%。

#### 五、典型实例及成效

本技术已应用于镇江韦岗 2000t/d 铁尾矿梯级分离、综合回收铜钴项目，从铁尾矿中得到铁精粉、铜、钴、硫酸、砖等产品。固定资产投资 5600 万元（不含土地及外部配套设施），年均利润在 3000 万元以上。

目前，河北邢台 2×2200t/d 铁矿尾矿综合利用项目工程已投产，生产出合格的铁精粉、硫酸、阴极铜、空心砖等多种产品，同时解决了该矿山尾矿库占地问题。投产后年利润总额为 1900 万元。

#### 六、推广前景

目前，我国的尾矿综合利用率只有 7%，堆存的铁尾矿量高达十几亿吨，占全部尾矿堆存总量的近 1/3，遍及我国河北、山东、辽宁、内蒙古、新疆、青海、河南、甘肃、陕西、湖南、湖北、广东、云南、四川等大部分的省份，常用的处理方法精矿铁品位低，有价值元素回收利用率不高，造成了资源的浪费。本技术及生产应用的成功，对同类铁尾矿具有借鉴价值和推广价值。

## 26. 难浸金精矿细菌氧化预处理工艺技术

### 一、技术类型

金属矿山高效选冶技术。

### 二、适用范围

含砷、硫化物微细包裹型的难浸浮选金精矿。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

自然界中的嗜酸性化能自养菌经过严格的筛选、培养、驯化后，在适宜的条件下，对矿石中的硫化物进行氧化分解，使包裹于其中的金矿物暴露解离，再用浸金剂，达到提高金浸出率的目的。

#### （二）关键技术

- 1.不同环境下，浸矿用氧化亚铁硫杆菌、氧化硫硫杆菌、氧化亚铁钩端螺旋菌等微生物的适应性驯化；
- 2.高效生物氧化反应器的设计制作。

#### （三）工艺流程

金精矿生物氧化—氰化浸出—逆流洗涤—锌粉置换提金（或炭浆法提金、树脂提金）。

### 四、主要技术指标

金回收率 80%以上。

### 五、典型实例及成效

该技术目前在阿希金矿、辽宁天利金业有限责任公司、江西三和金业有限公司等均有应用。阿希金矿生物提金技术改造前后工艺指标发生明显变化，氰化浸出工序金的浸出率由 60%提高至 97%左右。辽宁天利生物氧化提金厂生产能力 200t/d，金和银浸出率平均为 95.71%和 89.69%，比常规氰化金、银浸出率分别提高 85%、30%以上，生产成本得到有效控制，在国内外同行业中处于领先水平。

### 六、推广前景

难处理金精矿生物冶金技术提高了金回收率，增加了企业经济效益，扩大了矿产资源利用范围，缓解了金资源短缺现状。

## 27. 有色金属尾矿萤石综合回收利用关键技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

有色金属尾矿中萤石资源回收、氢氟酸和氟化铝及萤石球团生产。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

1.从尾矿中浮选萤石时，加入活化剂 CFC 消除有色金属选矿过程中对萤石的抑制作用，恢复萤石表面活性，显著提高萤石的回收率。

2.新型捕收剂 BK410 选择性好，捕收力强、耐低温能力强，解决了尾矿成份复杂、含 Ca 相似矿物多的选矿难点，提高了萤石精矿质量。

3.将旋流-静态微泡浮选柱应用于萤石选矿，提高了精矿品位和回收率，同时简化设备流程、节省设备投资。

4.通过在氟化氢气体导通管道中安装弯管洗涤装置、在洗涤塔上部安装特殊结构的洗涤塔板、在洗涤塔出气口后连接水分离器等措施，除去粗氟化氢气体中夹带的粉尘和水雾，解决了粉尘在后续设备中的累积造成堵塞而无法正常连续生产的问题，以及设备严重腐蚀的问题。

5.将一种新型结构的精馏塔技术首次应用到无水氟化氢的生产。装置具有处理能力大，传质效率高，压降小，操作弹性大等优点。产能增大、提高效益，设备的使用寿命显著延长。

6.在 HF 反应炉炉尾端设置紧急出口和吸收装置，解决了反应炉内压力波动时，可能对环境造成污染的问题。

7.开发一种新型粘结剂，以硅基材料为主要载体，辅以其他几种氟化物按一定比例配制而成的粘结剂，用量少 ( $\leq 2\%$ 的用量)，粘结力强，成本低廉。

#### (二) 关键技术

- 1.有色金属尾矿萤石活化技术；
- 2.有色金属尾矿萤石分选技术；
- 3.反应炉产生的氟化氢气体净化技术；
- 4.超细萤石粉成球技术。

### （三）工艺流程

根据矿石特性开发多产品工艺流程，研发适应性强的药剂，用浮选柱回收萤石精矿，然后用内返渣炉生产无水氟化氢，或采用辊压成型技术生产高强度萤石球团。

### 四、主要技术指标

1.氟化钙综合回收率 $\geq 40\%$ ，氟化钙含量 $\geq 94\%$ ，碳酸钙 $\leq 2.0\%$ ，二氧化硅 $\leq 2.8\%$ ；

2.尾矿回收低品位萤石生产无水氟化氢，合格品率 $\geq 95\%$ ，优级品率 $\geq 85\%$ ；

3.生产干法氟化铝，质量达到 F1 级以上 $\geq 95\%$ ；

4.超细萤石粉成球技术指标：粘合剂添加量 $\leq 3\%$ ，一次成球率 $\geq 80\%$ ，产品机械强度 $\geq 5$  牛顿/厘米。

### 五、技术应用现状及典型实例

#### （一）技术应用现状

柿竹园萤石总回收率达到 60%以上，绝大部分产品质量符合酸级萤石（95%以上）要求的目标；减少了矿山开采和尾砂排放；带动就业，增加就业岗位 600 多个；年创利润 5600 万元。

#### （二）典型案例

湖南有色郴州氟化学有限公司、湖南有色湘乡氟化学有限公司、湖南有色郴州萤石球团有限公司。

### 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

柿竹园有色金属矿伴生萤石资源占全国伴生萤石矿资源总量的 76%，萤石、氢氟酸、氟化铝、萤石球团市场需求量不断增大，本技术的推广应用前景广阔。



# 第四篇 非金属矿类

## 28. 人工永久矿柱置换安全高效开采技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

缓倾斜薄-中厚矿体的地下矿山。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

在备采矿房的矿柱硐室内先浇筑人工砼矿柱，后回采矿房矿石。

#### （二）关键技术

1.指定矿区采场地压情况的调查及地压显现研究，采空区范围内的地压、变形大小及分布；

2.采空区地压及变形对采空区上部岩层及地表的影晌范围、影响程度及发展趋势；

3.采矿方法结构参数分析；

4.人工置换矿柱的技术方案；

5.替代矿柱结构参数；

6.替代矿柱材料及力学性能；

7.替代矿柱的施工方法；

8.采空区地压及变形的安全监测；

9.采空区潜在危险区的安全处理对策。

#### （三）工艺流程

1.在矿块内向上掘切割上山和切割横巷，掘出人工矿柱硐室；

2.支模板，浇筑混凝土矿柱；

3.待人工矿柱达到设计强度后即可回采矿房矿石。

### 四、主要技术指标

1.回采率达到 95%以上；

2.人工矿柱的抗压承载力不低于 25MPa；

3.人工矿柱采场结构参数：C25 混凝土人工矿柱截面尺寸采用沿矿体走向宽  $\geq 4$  米，沿倾斜方向长  $\geq 6$  米；沿走向矿柱净距不超过 12 米，沿倾斜方向矿柱净

距不超过 9 米。随采空区面积增大，覆盖岩层厚度增加，人工矿柱截面尺寸相应增加，或矿柱间距相应减小。

## **五、技术应用现状及典型实例**

### **（一）技术应用现状**

湖北柳树沟矿业股份有限公司丁西磷矿通过两期项目的实验研究，与同类矿山实施情况相比，工艺更优化，施工更安全，替代矿柱承载力更强，资源利用率更高。

### **（二）典型案例**

湖北柳树沟矿业股份有限公司丁西磷矿。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

本技术可适用于缓倾斜薄-中厚矿体的地下矿山开采，特别是宜昌磷矿采用房柱开采的缓倾斜薄-中厚矿体的地下矿山。

本技术的实施可以更多的回收矿产资源，回采率由设计的 78.1%提高到 95%以上。采空区得到有效治理，上覆岩层及地表更加稳定，降低了因采矿诱发地质灾害的机率。开采过程中的废石得到有效利用，真正实现了无废开采。

## 29. 局部胶结充填与空场组合采矿技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

水平-缓倾斜、薄-中厚矿体。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

本技术针对水平-缓倾斜矿体空场采矿法，在矿体开采过程中，应用胶结材料进行局部胶结充填形成采场支撑骨架，支撑采场顶板，控制地压，达到安全高效开采、提高矿石回收率，充分回收矿产资源的目。

#### (二) 关键技术

##### 1.局部胶结充填技术；

(1) 胶结材料配比分析研究。

(2) 胶结体骨架结顶技术。

##### 2.局部胶结与空场法回采过程关键技术。

(1) 局部胶结充填体结构参数。

(2) 采准、回采工艺技术。

(3) 采场地压控制与安全保障。

#### (三) 工艺流程

1.在矿块内向上掘切割上山和切割横巷，掘出局部胶结充填所需硐室；

2.支模板，用废石、废渣与水泥等材料配比而成的混凝土浇注形成充填体；

3.待混凝土充填体达到强度要求后，即可回采充填体周边矿房的矿石。

### 四、主要技术指标

1.矿石回采率由原 65%~75%提高到 90%~95%；

2.矿石贫化率由原 10%~12%降低到 4%~8%；

3.矿块生产能力达到 200t/d。

### 五、技术应用现状及典型实例

#### (一) 技术应用现状

本技术已应用于四川省金河磷矿马槽滩磷矿。金河磷矿已研究制订了这项采矿技术的安全规程、施工程序等有关文件，拟在金河磷矿全矿区范围内推广应用该项技术。

## （二）典型案例

四川省金河磷矿。

### 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

我国有大量的金属、非金属矿应用房柱法等空场法进行开采，开采过程中留下的矿柱大多无法回采而损失。采用局部胶结充填与空场组合采矿法，胶结充填体的抗压强度比原生矿柱要好，且胶结充填体风化、片帮的程度比原生矿柱的要低，胶结充填体维持的时间比原生矿柱的时间要长，可以改善采场的应力和安全状况，降低地质灾害的影响。使用该项成果，能更好更多地回采矿产资源，提高了资源的利用率，延长矿山的服务年限，增加就业机会，实施局部胶结充填与空场组合采矿所使用的水泥、砂石等原材料的采购可以带动相关产业发展，有利于促进当地经济的发展。局部胶结充填还能充分应用矿山废石、废渣，减少矿山废石的排放。项目具有良好的经济效益、社会效益和环境效益，因而推广应用前景广阔。

## 30. 多层薄矿体一次性开采技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效采矿技术。

### 二、适用范围

5°~15°缓倾斜矿体，相邻矿层间距不超过 2 米，充填法开采。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

空区完全充填，在矿压周期及步距内安全采矿。

#### （二）关键技术

利用一条底层矿采准巷辅以压顶将多层矿同步采出。

#### （三）工艺流程

沿底层矿掘采准巷至边界后退式开采底层矿；压顶至上一层矿，同步开采、运输；再次压顶至上部矿层，后退式回采，矿石通过一条采准巷运输。

### 四、主要技术指标

采准巷长度一般 250~300 米，间距不超过 60 米，作业面宽度不超过 1.5 米并辅以支护，废石完全充填，相邻矿层作业面步距一般在 20 米以内。矿块回采率达到 80%以上。

### 五、技术应用现状及典型实例

#### （一）技术应用现状

本技术在湖北荆门石膏矿山推广试采，技术成熟，开采安全有充分保障。

#### （二）典型案例

湖北龙源石膏有限公司板庙石膏矿,湖北龙源石膏有限公司横店石膏矿。

### 六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力

我国已探明的石膏资源总保有量近 600 亿吨，但优质纤维石膏资源仅有约 1.5 亿吨，且多为连续沉积的薄矿体。按多层薄矿体保有储量占优质纤维石膏总量的一半（即 0.75 亿吨）计算，若采用该技术进行开采，可盘活资源储量 0.25 亿吨，增加产值约 100 亿元、税费 20 亿元，具有十分显著的经济效益。本技术在纤维石膏的开发利用领域极具推广潜力，同时对其它金属、非金属多层薄矿体

的开采也具有重要的借鉴意义。

## 31. 提高高岭石淘洗率及可塑性的技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效选矿技术。

### 二、适用范围

风化型砂质高岭土原矿选矿。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

砂质高岭土原矿主要由高岭石类粘土矿物和石英组成，采用具有选择性破碎作用的机碓破碎手段，大大提高了高岭土原矿淘洗率。同时高岭土被机碓过程逐渐变细，当颗粒细到微米粒级时，矿物晶体外形和粒度分布得到改善，从而提高可塑性。

#### (二) 关键技术

##### 1. 高岭土原矿机碓解离技术

通过研究高岭土原矿的矿物结构，试验不同机碓设备、机碓时间、碓矿量等条件，得到高岭土原矿机碓最佳效果。

##### 2. 机碓高岭土原矿配矿技术

高岭土原矿经过机碓后粒级比例发生了改变，通过试验不同机碓高岭土原矿的配比条件，达到最佳产品的理化指标及可塑性。

##### 3. 机碓高岭土原矿选矿技术

通过改善分选浓度、流程、设备等确定合适的机碓高岭土原矿选矿技术。

##### 4. 关键设备

碓机、水力旋流器。

#### (三) 工艺流程

高岭土原矿机碓 → (机碓高岭土原矿 / 高岭土原矿) 配矿 → 捣浆 → 水力选矿 → 浓缩 → 压滤 → 325 目高岭土产品。

### 四、主要技术指标

高岭土原矿 325 目淘洗率由 21%~22% 提高到 34%~35%；325 目产品可塑性指数由 0.45 提高到 0.65；325 目产品选矿粒级回收率由设计的 90% 提高到 94%。



## **五、技术应用现状及典型实例**

### **(一) 技术应用现状**

本技术已经成熟应用于龙岩市及周边高岭土选矿厂，年处理高岭土原矿 10 万吨以上，取得较好的使用效果。

### **(二) 典型案例**

龙岩高岭土有限公司 2006 年建设一条拥有 372 硃头的年产 1 万吨 325 目机硃高岭土生产线及建设一个拥有 360 个硃头的高岭土原矿机硃厂，总投资 1500 万元，其中设备投资 500 万元，运行费用 200 万元/年，利润 434 万元/年，投资回收年限 3.4 年。自采用该技术后，打破了原设计的高岭土原矿直接水选的工艺，提高了选矿回收率，解决了精矿可塑性较低等重大难题。

2012 年，机硃高岭土原矿 4.24 万吨，多回收 325 目高岭土泥饼 6497 吨，多增加产值 851.11 万元，并节约 1.97 万吨高白度高岭土原矿的消耗（淘洗率 28%，回收率 93.76%），减少尾矿排放 5512 吨。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

我国高岭土资源储量约 14 亿吨以上，其中 60%以上是砂质高岭土，采用本技术对适用于陶瓷原料的风化型砂质高岭土矿产资源节约与综合利用有积极作用。该技术针对风化型砂质高岭土特点采用机硃加水选的工艺流程，提高了精矿回收率及可塑性，减少高岭土原矿使用，延长矿山服务年限，在国内同类型高岭土具有广阔的推广前景与巨大的潜在经济价值。

## 32. 低品位滑石光选提纯技术

### 一、技术类型

非金属矿山高效加工技术。

### 二、适用范围

处理低品位滑石小粒、尾矿和混合矿。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

依据滑石与脉石矿物之间硬度、反光性等物理性质的差异，通过先择性破碎分级及光选技术实现其分离，得到纯度较高的优质滑石产品。

#### （二）关键技术

##### 1. 筛分设备

振动筛选用国内先进的偏心块结构，筛体分 3 层（12mm、18mm、25mm），筛网采用合金耐磨材质。

皮带输送机采用电动滚筒移动式结构，并配有磁性滚筒（磁力 10000GS），自动除铁。

##### 2. 水选设备

水选机选用国内先进设备，旋转筒体及内部旋转分料装置均采用变频调速。

##### 3. 提纯设备

提纯装置引进 Biuder 公司光选设备，该设备具有自动化程度高、适应性强、节能环保等特点，工作性能稳定，可将不同粒度物料自动分级、分选。

#### （三）工艺流程

将低品位粉体滑石送到振动筛上进行筛分，筛分得到的粒度为 20mm 以下的各种物料送到皮带机小料斗内，经皮带机输送到水选机料仓，料仓下面安装振动给料机，振动给料机将物料定量、均匀、连续地送到水选机，水选机旋转和矿粒产生摩擦力，由于滑石和脉石硬度不同、摩擦力不同，在水流作用下将滑石与脉石的预分离，再经分料器将各种物料输出到光选提纯装置，提纯后的物料进入储存各个不同粒度产品的储存库。

### 四、主要技术指标

艾海公司低品位滑石年处理量达 50 万吨。生产一级品滑石约占 10%，二级品占 20%，低品级占 70%。一级品滑石硅含量约为 60%，二级品滑石硅含量约为 53%。

## **五、技术应用现状及典型实例**

### **(一) 技术应用现状**

艾海公司从 2010 年建成该项目后，分选数量与提纯质量远远的超过了人工手选。

### **(二) 典型案例**

从艾海公司近 2 年来的生产运行情况看，项目运行良好，既降低堆存空间，又减少排放，减少了土地的占用面积，环境得到很大的改善。

2012 年艾海公司通过该技术盘活滑石资源 15 万吨，年主营业务收入可达 1.2 亿元，新增税金 2733 万元。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

据统计，全国年产滑石 300 余万吨，按行业标准推算预计会产生低品位滑石尾矿达 350 余万吨(未含往年开采产生的低品位滑石尾矿)，以往粒度在 20mm 以下的滑石小粒都被当作废石进行低价处理。依照年处理低品位滑石尾矿回收 30% 的滑石产品比例推算，如向全国推广该技术，每年可为国家回收滑石 90 多万吨，其中一级品滑石约为 30 万吨，二级品滑石 60 万吨，滑石副产品约为 210 万吨。年可增加收入达 7.32 亿元，新增税金约 1 亿元。

本技术符合国家非金属矿产业发展方向，对于有效合理利用国内滑石资源，调控不可再生资源的综合利用，提升尾矿及低品位滑石的附加值，提高滑石行业的加工技术和装备水平，拓展滑石资源节约与综合利用的技术领域，具有明显的社会意义和广阔的推广前景。

## 33. 硬石膏制硫酸废渣联产水泥

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

天然石膏、工业副石膏、脱硫石膏等化工硫酸生产及水泥建材领域。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

用石膏同时生产硫酸和水泥的基本原理是以焦炭为还原剂，在高温下促使 $\text{CaSO}_4$ 分解成 $\text{CaO}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 气体。 $\text{CaO}$ 与掺入生料中的 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，进行多级固相矿化反应生成水泥熟料，而 $\text{SO}_2$ 气体则随同废气由窑尾排出，经净化、洗涤、干燥、转化、吸收等工序制成硫酸。

#### (二) 关键技术

1.设计的生产配方既能满足生产硫酸又能联产高贝利特水泥熟料。主要原料为硬石膏， $\text{CaSO}_4$ 的分解会残存少量的 $\text{SO}_3$ ，起到稳定 $\beta\text{C}_2\text{S}$ 生成和活化作用，工艺环节更简捷；

2.开发一种石膏烟气制硫酸成品酸脱色的方法，提升硫酸品质；

3. $\text{CaSO}_4$ 的还原分解和熟料烧成是在回转窑中以固相反应的方式进行的，故整套生产装置的关键设备便是回转窑。基订参数如下：

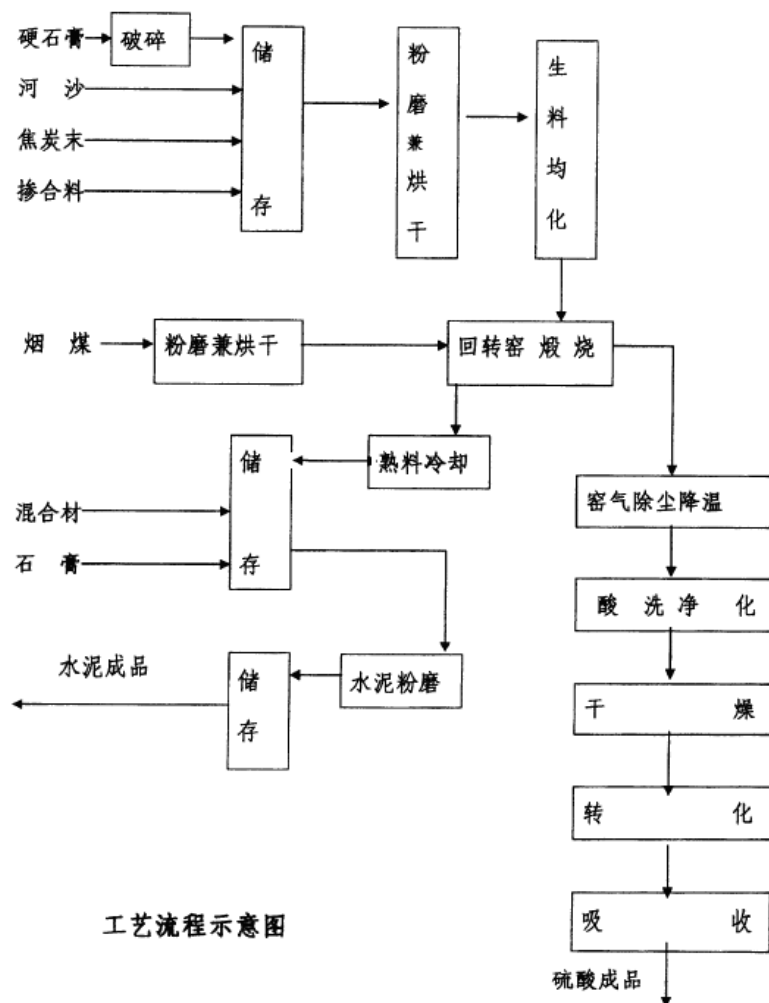
回转窑规格： $\Phi 3.2 \times 89\text{m}$ （ $L/D=28$ ）

回转窑斜度：3.5%（正弦）

回转窑转速：0.41~3.5r/min。

#### (三) 工艺流程

主要为三个环节：生料制备、熟料烧成和窑气制酸。其工艺流程见下图。



硬石膏制硫酸-水泥工艺流程示意图

#### 四、主要技术指标

- 1.熟料： $C_2S \geq 40\%$ ，标号 52.5，水泥产品符合 GB/T21372-2008 标准；
- 2.硫酸：转化率  $\geq 99.5\%$ ，吸收率  $\geq 99.95\%$ ，尾气  $SO_2$  排放浓度  $\leq 100\text{ppm}$ ，成品酸符合 GB/T534-2002 标准。

#### 五、技术应用现状及典型实例

##### （一）技术应用现状

目前，该技术已日臻成熟，已进入产业化生产阶段。湖南嘉丰建材 2010 年筹建的石膏制 100KT/a 硫酸联产 150KT/a 水泥装置已于 2012 年初实现了达标达产。

##### （二）典型案例

湖南嘉丰建材有限公司利用已被国家产业政策淘汰的湿法水泥生产装置，改造成以硬石膏为原料制硫酸联产高贝利特水泥生产线。产品质量稳定可靠，用户

反映良好。销售硫酸 10 万 t 和水泥 15 万 t，销售额约 9000 万元，经济效益良好。硫酸质量达到国家工业硫酸优等品指标。生产的水泥各项指标符合国家标准要求。经过对比分析，用硬石膏制硫酸联产水泥的原材料及动力消耗成本是硫酸制酸的 58.5%，是硫铁矿制酸的 63.1%，水泥熟料的消耗成本也接近新型干法的费用。由此可见，本项目技术成熟可靠，经济效益显著，实现了矿山资源综合利用，已形成规模化生产，可以大力推广应用。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

我国已探明石膏储量的有 600 亿吨，湖南省有 49.7 亿吨，其中的硬石膏占 76%。硬石膏使用范围小，开发利用率低。目前，使用本技术在国内的生产装置总能力不到 100 万吨/年，该技术的应用推广将大大拓展石膏的利用范围，并且其附加值显著提高。此外，该技术还可广泛应用于工业副产石膏（磷石膏、氟石膏、盐石膏、脱硫石膏等）。目前国内磷石膏的堆存量 6000 万吨/年，我国每年磷石膏的排放量已达 6000 万吨，累计堆放量超过 2 亿吨，脱硫石膏年排放量达 3000 万吨，盐石膏年排放量达 500 万吨。

## 34. 含钾尾矿溶解转化热溶结晶法生产氯化钾技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

钾肥生产尾矿中钾资源回收以及低品位钾矿综合利用。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

将尾矿或低品位钾矿中的氯化钾溶解制得含钾卤水，卤水输送至盐田晒制钾石盐矿。钾石盐通过热溶结晶工艺生产出高品位氯化钾。

热溶结晶法工艺是钾石盐矿用循环母液加热到 90℃以上进行溶浸，氯化钾全部溶解于溶液中，绝大部分的氯化钠仍以固体存在，经离心分离后除去；澄清的氯化钾饱和液经真空冷却结晶出氯化钾产品。

#### (二) 关键技术

- 1.尾矿溶洗钾盐回收率控制技术；
- 2.钠盐池、调节池溶浸过程中钾溶解率的控制技术；
- 3.钾石盐矿的高效晒制技术；
- 4.热溶真空结晶技术及工艺设备的选型和工艺控制。

#### (三) 工艺流程

加工厂尾矿（或低品位盐田低钾矿）→采收输送→加工厂洗涤溶解→矿浆过滤→含钾卤水输送至盐田→钾石盐矿→热溶装置→真空结晶→冷却结晶→氯化钾产品。

### 四、主要技术指标

- 1.反浮选冷结晶工艺回收率由 60%达到 66%；
- 2.氯化钾单位产品用水指标 6.4t/t，其中热溶工艺耗水 2.4t/t。

### 五、技术应用现状及典型实例

#### (一) 技术应用现状

通过对现有生产废弃物（尾矿）中钾的溶解回收，盐田晒制钾石盐，热溶真空结晶工艺建设 10 万 t/a 精制氯化钾装置，2012 年试生产出 7 万吨的合格氯化钾

产品，工艺技术成熟,整个装置生产过程不需添加药剂，氯化钾产品质量可以控制在 98%以上，粒径 $\geq 0.4\text{mm}$ ，产品不含药剂，产品防结块性好。

## **(二) 典型案例**

青海盐湖三元钾肥股份有限公司热溶法年产 10 万吨/年精制氯化钾装置投入生产后，盘活尾盐及低品位矿 220 万吨，将实现销售收入 22000 万元，实现税金 5830 万元，利润 10800 万元。本工艺的实施提高了盐湖股份公司的科研技术水平，同时为国内钾肥生产起到了示范作用。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

目前，国内钾肥钾肥价格态势很好，市场需求的缺口仍然很大，高品质的氯化钾更是紧缺，剩余盐渣稍作处理可以作为工业盐原料。本技术的推广应用将为社会提供高品质氯化钾产品，以满足国内钾肥需求。



## 35. 低品位湖盐生产液体盐技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

湖盐。

### 三、技术内容

#### （一）基本原理

采用挖掘机采掘湖区贫矿，经过洗涤、筛分生产出液体盐原料；将盐盖、二层盐（再生盐与原生盐的混合物）粉盐等贫矿、尾矿加入淡水溶解，制成饱和卤水后，通过管道输送给客户。

#### （二）关键技术

- 1.机械洗盐生产工艺关键技术；
- 2.液体盐生产工艺关键技术，包括化盐、卤水澄清。

#### （三）工艺流程

采用挖掘机采掘盐湖贫矿区盐层，通过汽车运送至机械洗盐生产线，物料经过输盐泵输送到螺旋洗盐器内进行洗涤，再进入直线振动筛进行筛分，通过皮带输送机堆坨。

将盐盖、二层盐（再生盐与原生盐的混合物）粉盐等贫矿、尾矿通过刮板输送机输送至化盐桶内，加入淡水，使淡水与原料逆向流动，当混卤中 NaCl 含量达到 300~310 克/升时，经化盐桶溢流槽，进入澄清器，在重力作用下，混卤中的泥沙及硫酸钙等密度比卤水大的杂质向下运动，沉降到澄清器底部，由底部的排料口排出；澄清后的清液则从容器上部边缘的环形槽溢出，进入清卤罐。澄清后的清卤储存在清卤罐中，根据客户需求量的大小，通过供卤泵输送至客户。

### 四、主要技术指标

#### （一）机械洗盐生产线主要技术指标

- 1.采矿回收率达 75%以上；
- 2.成品盐中氯化钠含量 $\geq 70.0\%$ ；硫酸钙 $\leq 16.0\%$ ；水不溶物 $\leq 4.0\%$ 。

#### （二）液体盐生产线主要技术指标

- 1.年回收尾矿中氯化钠 90%以上；
- 2.液体盐中氯化钠含量 $\geq 300\text{g/L}$ ； 镁离子含量 $\leq 0.4\text{g/L}$ ；
- 3.废渣中氯化钠含量 $\leq 5.0\%$ 。

## **五、技术应用现状及典型实例**

### **（一）技术应用现状**

目前已经按该工艺建成二条液体盐生产线，并为液体盐生产线配套设计了二条机械洗盐生产线。每年可处理湖区内废弃盐盖约 10 万吨，盐泥约 30 万吨，盘活资源量 33 万吨，这些项目生产工艺简单，生产成本低、机动灵活性强，可对盐湖内的多种贫矿及尾矿进行回收利用。现项目在我公司已成功运行五年，各项指标均能达到设计要求，已累计生产液体盐 116.6 万吨，二层盐 138 万吨，经济效益十分可观。不仅增加了公司盐产品品种结构，而且对盐湖矿区的地质环境进行了有效治理，改善了盐湖矿区生产作业环境，对吉兰泰盐湖的可持续发展起到了重要作用。

### **（二）典型案例**

内蒙古兰太实业股份有限公司新增了一条盐产品生产线，每年处理盐湖区内的废盐盖及盐湖区尾矿、废盐泥约 40 万吨，生产液体盐 110 万方（合固体盐 34 万吨）供吉兰泰碱厂，经济效益十分可观。与之配套的机械洗盐生产线，每年可生产成品盐约 60 万吨，其中用于液体盐原料 33 万吨，不仅盘活资源量，而且补充了成品盐产量，提高了资源回采率。

## **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

液体盐可做为成品盐销售，弥补成品盐产出不足的困难，每年可减少优质原盐的采掘量近 20 万吨，有效地延长了吉兰泰盐湖的开采年限，对吉兰泰盐湖的可持续发展起到了重要作用，对当地环境治理保护及经济发展成效显著，在湖盐企业推广应用意义重大。

## 36. 低品位含铀硼铁矿资源综合利用技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

低品位含铀硼铁矿及类似共伴生资源的矿物加工分离和资源综合利用。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

遵循在当前技术经济条件下最大限度利用硼资源的原则,通过对低品位含铀硼铁矿的选矿加工获得硼精矿、富镁低硅的含硼铁精矿、铀精矿,其中硼精矿和铀精矿采用化学工艺进行深加工。在利用硼的基础上,综合利用了铁、铀、镁等资源。

#### (二) 关键技术

对原矿含  $B_2O_3$  品位 5.0% 以下的低品位含铀硼铁矿进行矿物加工,在富集出高镁低硅含硼铁精矿 ( $TFe \geq 54.0\%$ 、 $MgO \geq 9.0\%$ 、 $SiO_2 \leq 5.0\%$ 、 $B_2O_3 \leq 3.0\%$ ) 的基础上,能够同时回收  $B_2O_3$  品位 10% 以上的硼精矿和 U 品位 0.15% 以上的铀精矿。硼精矿满足硼化工原料要求,含硼铁精矿高镁低硅,作为优质炉料添加剂倍受欢迎,在改善含铁炉料冶金性能及节能降耗方面发挥作用,铀精矿可加工 111 产品。

#### (三) 工艺流程

1. 采矿: 采用露天水平分层缓帮开采工艺。

2. 选矿: 破碎系统为三段一闭路破碎、预先检查筛分、干式抛尾再选回收工艺。磨选系统采用两段阶段闭路磨矿,湿式磁选;在矿石物料一定粒度条件下,通过磁选方式实施粗粒抛尾作业,重点抛掉蛇纹岩等脉石;通过严格控制磨矿粒度,提高共伴生资源的单体解离度水平;采用“磁选-筛分”工艺富集含硼铁精矿,对磁选尾矿根据不同的粒度,采用不同的重选方式进行晶质铀矿的回收。

3. 硼化工工艺: 硼精粉经闪速煅烧,加碳酸钠溶液,通二氧化碳气体在 0.6MPa 压力和 135℃ 温度下进行碳解,碳解液分离出渣后,不同温度结晶不同硼砂产品,结晶母液循环使用。硼砂加入硫酸酸化结晶出硼酸,母液经蒸发分离出硫酸钠副

产品。

4.水冶技术：铀精矿浆经浓密后酸法浸出，添加氧化剂，浸出矿浆调节酸度并去除磷酸盐，带式过滤实施固液分离。滤液离子树脂吸附，饱和后淋洗沉淀，沉淀物压滤为“111”产品，工艺废水经处理后循环使用。

#### **四、主要技术指标**

矿石回采率 95%，贫化率 5%。

联合选矿工艺对低品位含铀硼铁矿进行矿物加工分离，生产硼精矿  $B_2O_3$  品位  $\geq 10.0\%$ ，含硼铁精矿 TFe 品位  $\geq 56.0\%$ ，铀精矿 U 品位  $\geq 0.15\%$ ，铁的回收率达到 79.00%，考虑含硼铁精矿中硼的综合利用，硼的总回收率可达到 75.42%（其中含硼铁精矿中硼的回收率为 30.08%，硼精矿中硼的回收率为 45.34%）。

硼化工主要技术指标：硼砂  $B_2O_3$  收率  $\geq 60\%$ ，硼酸  $B_2O_3$  收率  $\geq 95\%$ 。水冶主要技术指标：浸出率 90.0%，金属总回收率 85.0%。

#### **五、技术应用现状及典型实例**

##### **（一）技术应用现状**

选矿采用“磁-重-分级”联合选矿工艺，硼化工采用硼砂-硼酸联产工艺，铀水冶采用酸法浸出-离子交换吸附工艺，工艺流程适应性强，技术成熟可靠，指标稳定。

##### **（二）典型案例**

辽宁首钢硼铁有限责任公司,一期采选规模 200 万吨/年矿石，年产 TFe 品位 56%含硼铁精粉 80 万吨，年产  $B_2O_3$  品位 10%硼精粉 16 万吨，年产 U 品位 0.11%铀精矿 2.32 万吨；硼化工年产硼砂 1.5 万吨，硼酸 0.6 万吨；水冶生产“111”金属 33t。

#### **六、推广前景和矿产资源节约与综合利用潜力**

低品位含铀硼铁矿资源综合利用技术研制之前，翁泉沟硼铁矿为呆矿，未开发利用。本技术经过几年来不断完善，已成功应用于该矿，并取得了显著的经济效益。共伴生资源选矿分离加工、设备配置、环保措施等在国内同类矿山企业具有广泛的推广应用前景。

该项技术推广应用可使辽宁凤城占我国内地固体硼总储量 58%的翁泉沟硼铁矿资源得到利用，预计盘活铁硼矿储量 28300 万吨，硼矿物  $B_2O_3$  组份储量 2185 万吨，铀金属量 1.36 万吨，镁金属 500 万吨。

## 37. 高岭土矿资源高效开发与综合利用关键技术

### 一、技术类型

非金属矿山综合利用技术。

### 二、适用范围

软质高岭土矿物的采选及各种高岭土矿物的深加工。

### 三、技术内容

#### (一) 基本原理

高岭土矿共-伴生矿物中高岭石、埃洛石、伊利石、石英等矿在浆液中悬浮、分散、比重均存在着一定的差异，这为新型精细分选工艺在理论上提供了可能。直焰动态低温煅烧偏高岭土技术中，烟煤燃烧进入高温净化室二次燃烧，同时烟气夹带的粉尘经高温聚合沉降净化后直接提供热源；高岭土经低温煅烧处理后，随着其层间结构水的脱出，导致高岭土原有层状结构发生坍塌，其中的铝和硅变得具有活性，产品整体活性点增多。为高纯埃洛石生产、煅烧高岭土制备玻纤、制备 4A 分子筛和高岭土制备 13X 型分子筛奠定了基础。

#### (二) 关键技术

- 1.高岭土精细分选技术；
- 2.直焰动态低温煅烧偏高岭土技术；
- 3.利用低温煅烧后的偏高岭土制备 4A 分子筛、13X 型分子筛技术。

#### (三) 工艺流程

“强磁—强磁—浮选”工艺流程。

### 四、主要技术指标

1.原矿淘洗率从 15%提高到 40%；入选原矿品位从 20%降到 15%；原矿  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量从需小于 1.5%提高到不限制。分选获得的 325 目高岭土精矿粒度控制在 15~45 $\mu\text{m}$  之间，杂质含量低，稳定性好。6250 目超细高岭土产品中粒径小于 2 $\mu\text{m}$  的颗粒含量大于 99%。管状结构纳米高纯埃洛石直径 20~80 nm，管长 100~500 nm。

2.偏高岭土的煅烧温度从 920 $^{\circ}\text{C}$ 降低到 650 $^{\circ}\text{C}$ ，直接利用烟煤燃烧烟气作煅烧热源，热利用率从 60%提高到 95%。

3.4A 分子筛钙交换能力 ( $\text{mgCaCO}_3/\text{g}$ —干基) 大于 310，13X 分子筛静态水

吸附量>23%，比表面积>600 m<sup>2</sup>/g。

## 五、典型实例及成效

本技术已经成功应用于云南天鸿高岭矿业有限公司永泉高岭土矿建设的“年产 20 万吨各类高岭土产品”工程中。预计可盘活云南天鸿高岭矿业有限公司高岭土资源存量 700 万 t，可盘活当地高岭土资源存量约 2000 万 t。

## 六、推广前景

我国软质高岭土储量 15 亿吨，年开采量为 964.2 万吨，其中高岭土产品达 320 万吨，尾矿量达 642.4 万吨。该工艺使得软质水洗高岭土中的各种混合成分诸如伊利石、高岭石、石英砂、埃洛石等得以高效分离；最终将价格低廉、利用范围窄的混合矿物变为价格较高、利用广泛的多种高纯单一矿物。传统的偏高岭土生产工艺煅烧高岭土温度高达 920℃，能源消耗极大，而本工艺闪蒸干燥中选用了新型带有碎散功能的闪蒸干燥机和低温（650℃）煅烧工艺，降低了能耗和成本。同时，采用 650℃煅烧制备偏高岭土具有较高的活性和催化特性，可用作制备混凝土添加剂、合成物的催化剂、分子筛等的原料，为高岭土在新兴领域的应用提供了充分的条件。针对低品位难选和伴生高岭土尾矿，此工艺可盘活云南天鸿高岭矿业有限公司高岭土资源存量 700 万吨，可盘活当地高岭土资源存量约 2000 万吨，实现了环保、减排和循环经济的目标，为全国软质高岭土生产企业提供无尾矿综合利用技术示范。本技术在全国范围的推广可实现高岭土产业的升级换代，向规模化、高端化、系列化、资源化方向发展；彻底解决我国高岭土产业综合利用低、品种少、价格低、高端产品依赖进口的局面。本技术具有极大的推广价值和广阔的应用前景。