

会议主办单位

地质矿产部矿产开发管理局

中国矿业协会选矿委员会

中国地质学会矿产资源综合利用专业委员会

中国核学会铀矿冶学会

中国有色金属学会采矿学术委员会

中国有色金属学会选矿学术委员会

中国有色金属学会重冶学术委员会

中国有色金属学会环保学术委员会

湖北省金属学会选矿委员会

广西有色金属学会

冶金部环保情报网

中国有色金属工业总公司环保情报网

中国有色金属工业总公司选矿情报网

中国选矿科技情报网

(单位不分先后)

目 录

矿产综合利用与管理

1. 矿产资源合理利用及对策..... 地矿部矿管局 杨志刚(1)
2. 借鉴美国的经验充分开发利用我国的贫铜资源..... (4)
北京有色冶金设计研究总院 曹昇生
3. 我国某些非金属矿的开发及与国外水平的比较..... (9)
地矿部矿产综合利用研究所 汪镜亮
4. 我国磷资源的综合利用 地矿部矿产综合利用研究所 陈炳炎(14)
5. 湖南主要铅锌矿床伴(共)生银资源概况及其综合利用现状 (17)
中国有色金属工业总公司矿产地质研究院 李艺
6. 攀枝花矿产资源综合利用现状及其发展前景 (22)
攀枝花冶金矿山公司矿山设计研究院 孟长春
7. 对金川硫化铜镍矿床资源合理开发的认识和建议 (27)
金川公司二矿区 刘元尚
8. 从白银公司露天铜矿的锌、硫回收谈矿产资源的综合利用 (31)
中国有色金属工业总公司兰州公司 韩河初
9. 矿产资源综合利用程度的灰色关联分析法 中南工业大学 韩旭里等(36)
10. Fuzzy 积分在评价矿产资源综合利用中的应用 中南工业大学 韩旭里等(39)
11. 浅谈煤炭开发中“三废”的综合利用与环境保护的关系 (41)
太原市地质矿产局 李刚
12. 矿产资源、环保与资源综合利用的关系 平桂矿务局水岩坝矿 梁平(45)
13. 保护、节约和合理利用矿产资源 淮南市矿管局 金嘉臻(48)
14. 强化实施《矿产资源法》合理利用矿产资源 大冶铁矿 黄继慈(51)
15. 加强采场技术管理, 合理开发利用矿产资源 山东铝厂阳泉矿 蒋庆文(52)
16. 充分开发利用资源, 加强技术经济管理 青城子铅锌矿 黄文龙(56)
17. 浅谈损失贫化的管理与效益 中条山胡家峪铜矿 卫乃文(60)
18. 江西硅藻土的基本特征及利用价值 江西省科学院应用化学所 吴南萍等(63)
19. QC 小组在矿山矿石“三率”管理活动中的实践 (65)
浙江省天台银铅锌矿 党胜义
20. 常抓不懈、管好、用好矿产资源 大兴安岭地区行署经委矿管处 曲少春(69)
21. 珍惜矿产资源, 搞好综合回收 马钢南山铁矿 王志云(72)
22. 调处钨矿“热点”纠纷初探 戴国忠 李唐祯(76)
23. 依法调处采矿纠纷, 认真整顿采矿秩序 赣州地区矿管局 李唐祯(78)
24. 综合利用矿产资源, 提高企业经济效益 浙江绍兴平水铜矿 郭葵(82)
25. 根据矿床地质特征, 合理开发矿产资源 曹先凤(83)
26. 闽东地区矿产资源开发利用现状与发展对策 (88)
福建宁德地区矿管办 陈其祥

27. 上饶地区矿产资源开发利用现状及对策 上饶地区矿管区 杨大德(92)
28. 平定县矿产资源的综合利用 山西平定县地矿局 苗逢雨(95)
29. 昆钢所属矿山资源综合利用工艺与实践 昆钢矿山处 樊兴国(99)
30. 布干维尔铜矿低品位矿石综合利用现状与展望 德兴铜矿 严圣任(102)
31. 合理开发利用阳泉地下矿产资源 山东铝厂阳泉矿 于振彬(106)
32. 绢云母的性质及利用的探索 浙江瑞安市矿产资源管理处 邹采抒(109)
33. 铜坑锡矿长坡选厂资源综合利用的探讨 大厂矿务局 黄显源 胡荣锦(115)
34. 开发生产石榴子石的展望 大冶有色金属公司 韩明修(119)
35. 提高石灰石资源利用率及经济效益的有效途径 (127)
长沙黑色冶金矿山设计研究院 喻翔
36. 衢化建德石灰石矿的综合利用 衢州化工公司 燕庭富(132)
37. 金川二矿区特富矿的合理开采 金川公司二矿区 朱长安(136)
38. 金川二矿区贫矿资源开采利用的设想 (142)
北京有色冶金设计研究总院 邵昌寿
39. 对回收残矿有关问题的探讨 锡矿山矿务局 唐定芳(146)
40. 浅谈资源的保护和合理利用——深部铜矿资源管理措施 (149)
白银有色公司 王凤义
41. 控制 VCR 法采矿贫化损失的途径 凡口铅锌矿地测处 熊海(152)
42. 降低缓倾斜、薄矿脉采矿贫化率的措施 青城子铅矿 刘胜君(155)

["三废"资源的开发利用]

43. 开拓铁矿山"三废"资源综合利用的新途径 上海梅山冶金公司 唐双清(157)
44. 粉煤灰的开发利用研究 地矿部南京综合岩矿测试中心 张登和(161)
45. 冶炼废渣及粉煤灰的利用 西安冶金建筑学院 张治元(169)
46. 从采矿废渣中回收铁矿石 莱钢总厂莱芜铁矿 曹刚(174)
47. 武钢程潮铁矿尾矿砖的试制 武钢矿山研究院所 汪桂萍(175)
48. 尾矿制砖实践 龙头汪金矿 赵日东(181)
49. 赤泥综合利用的现状及其在塑料生产中的应用 (186)
中南工业大学 章庆和 庄剑鸣 王隆千
50. 从分银炉烟灰中回收硒的研究 沈阳冶炼厂 刘玉梅 吴瑞兰(191)
51. 强磁尾矿综合回收的研究 大冶公司铜绿山铜铁矿 李明霞(196)
52. 平水铜矿尾矿资源开发利用的研究和初步设想 (200)
浙江绍兴平水铜矿 费水生
53. 重选法回收铅锌尾矿中硫的研究 广东省矿产应用研究所 邱乐(205)
54. 用重选法从铅锌浮选尾矿中回收黄铁的生产实践 傅增祥 周辉等(207)
55. 老尾矿综合回收的可行性研究 栗木锡矿冶炼厂 唐仲民(212)
56. 从含钒污泥渣中提取 V_2O_5 的研究 上海第二冶炼厂 戴祥生(217)
57. 用氨浸—萃取法从铜锌渣中提取分离铜锌 (222)
地矿部郑州矿产综合利用研究所 周伟杰 张云 张玉杰 蔡淑霞 郑琳

- 58.从硫代硫酸盐溶液浸出渣中回收铜..... 中科院化冶所 龚乾等(228)
- 59.钛白粉厂副产硫酸亚铁和钛废液的综合利用..... 国营二七二厂 程士哲(233)
- 60.用铝电解槽废旧阴极炭再制阴极炭块的研究..... 东北工学院 朱旺喜等(237)
- 61.炼油催化剂滤渣的综合回收..... 冶金部长沙矿冶研究院 喻庆华等(240)
- 62.回收废钒催化剂中钒的新工艺..... 贵州冶金设计研究院 林志英(244)
- 63.从铅电解阳极泥中综合回收银和锑等金属..... 金城江冶炼厂 杨案然(250)
- 64.从冶炼厂废镁砖中回收铜的研究..... 李玉亭 杨仁厚(255)
- 65.利用石灰窑气生产二氧化碳和碳酸氢铵的工艺设计..... (259)
长沙黑色冶金矿山设计研究院 喻翔 何青
- 66.磁选工艺在二次资源回收中的利用..... 长沙矿冶研究院 陶亦工(264)

[综合利用工艺研究]

- 67.提高铅锌选矿综合回收水平..... 北京矿冶研究总院 李凤楼(268)
- 68.完善工艺、提高钛资源的综合利用率..... 攀矿选矿厂 谢应龙 戴向东(271)
- 69.提高铅锌矿中银回收率和综合回收铜的试验研究..... (275)
湖南有色金属研究所 周菁 王庆
- 70.白云鄂博矿氟碳铈矿与独居石分选工艺研究..... 包头稀土研究院 刘耀(280)
- 71.银锰矿的选冶试验 广西冶金研究所 杜淑珍 叶义新 陈贤海 曾如钦(285)
- 72.对锡钨矿石中伴生铜的回收工艺探讨..... 栗木锡矿 李已保(290)
- 73.彩钼铅矿化学分选的研究..... 云南化工冶金研究所 戴元宁(295)
- 74.湿式精选新工艺综合回收海滨砂矿资源..... 广州有色金属研究院 叶志平(301)
- 75.广东棉土窝钨矿钨铋钼综合回收的研究..... (304)
广州有色金属研究院 雷一锋
- 76.河北平山硅线石矿综合利用研究..... (308)
地矿部郑州矿产综合利用研究所 管永涛 郑犹龙 赵平 杨康平
- 77.从蛇纹石矿中综合回收镁和镍..... 南方冶金学院 黄万抚 卢继美(312)
- 78.某地萤石矿综合利用的试验研究..... 地矿部青海中心实验室 张益魁(316)
- 79.花岗岩风化壳白云母矿综合回收..... 地矿部江西省中心实验室 陈基禄(320)
- 80.陕南黑木林水镁石、蛇纹石及其开发利用研究..... 周开灿 万朴等(324)

矿产资源合理利用及对策

地矿部矿管局 杨志刚

我国矿产资源总量和开发量均占世界第三位，是发展国民经济的重要物质基础，现在的开发量已是新中国成立初期的 30 多倍。由于需要量的加大，一些主要资源如铁、铜、锰、铬、钾盐等，已跟不上经济发展的需要，常年大量进口。但是在矿产资源开发和使用中，损失、浪费是严重的，这不仅使资源消耗过快，提早失去我国矿产资源大国的地位，而且还破坏了生态环境，影响着我国社会主义经济建设的健康发展。

一、矿产资源损失浪费

1. 勘探资源时的损失浪费：我国矿产资源大多数是五、六十年代勘探的，由于当时技术水平低，加上部门分割，勘探资源时只找本部门所管的矿，如勘探煤，不管煤系地层中共生的铝土矿、黄铁矿、耐火粘土、高岭土；勘探石油时，不管盆地上部的盐岩等，没有做到综合普查勘探和评价，这种弊病不仅浪费了勘探工作量，而且漏掉了大量的宝贵资源，使矿山建设开采时缺少综合利用的依据，形成矿山企业长期只生产一种产品。实际上许多矿床是由多种元素或矿物组成的，如白云鄂博铁矿中含有 72 种元素、142 种矿物，50 年代也只是勘探了铁矿资源。又如湖南水口山铅锌矿三号矿体已开采完，后来把勘探时保存的副样拿出来化验，发现黄金品位很高，经计算，仅在这一矿体中就应有 7 吨多黄金。有的矿山快闭坑时在围岩中又发现其它矿体，如辽宁的八家子和青城子铅锌矿，近年在围岩中都发现了储量可观的银矿。广东茂名油页岩矿，矿体上部是一层约 30m 厚的砂岩，开采 30 多年只把它当废石推掉，经研究发现砂岩胶结物是极优质的高岭土，它的价值比油页岩高的多，矿山企业很快上马生产。

综合勘探是综合开发利用的基础，由于基础不牢，大量矿床都没综合开发，矿山企业长期受部门分割的影响，只生产一种指令性产品，以完成上级任务为目的，这种现象近年虽然有所转变，但是现在生产一种产品的矿山还是占有很大比例，这与综合勘探不够有着直接关系，导致不知不觉造成资源浪费。

2. 矿山企业开发利用水平低：从全国矿山调查得知，我国金属矿山矿井开采回采率为 50%，煤矿平均矿井回采率只有 34%，石油回采率为 20%。我国矿山企业中，先进与落后差距很大，全国统配煤矿平均矿井回采率为 45%，地方国营煤矿矿井回采率 33%，乡镇集体、个体仅为 20%。

在开发过程中，还有一种损失就是共、伴生矿产的损失。我国共、伴生矿产资源量约占总量的 1/3。全国有 80 多种矿产有共、伴生储量，黄金的 40%、白银的 90%、铂族金属和稀有、稀土、稀散元素的全部或大部，都是共、伴生矿产。但是，共、伴生资源的利用率和回收率都远远低于主矿种。

我国每年产煤矸石 1.5 亿吨，其实煤矸石是一种资源，有的可以选硫铁矿；有的可以

选沸腾煤；有的是耐火粘土、有的是高岭土。现在全国煤矸石利用率不足 20%。

有些矿山企业对共、伴生资源很重视，如抚顺煤矿充分利用煤层中的瓦斯，年产瓦斯量相当于 10 万吨标准煤的发热量，但是有些煤矿企业明知是高瓦斯井，不仅不利用反而受害。有的矿山矸石堆积如山，企业领导为征地和污染罚款苦恼。但也有的企业领导，如山西汾西矿务局柳湾煤矿，根据煤矿有共生资源特点，利用共生硫铁矿办起了硫酸厂、硫磺厂，利用共生铝土矿、石英岩等办起了铝盐厂、建材工业硅厂等七个企业，生产 40 多种产品，三年多共创产值 1500 多万元，有些产品还远销国外。

3. 选、冶技术落后：据对全国 9 种有色金属调查，国营矿山选矿回收率平均为 70%，乡镇矿平均在 40% 左右。全国还有 80% 以上的原煤未经洗选，每年约有 3000~4000 万吨矸石随着煤炭外调在长途旅行。

资源利用的好坏与选冶关系极为密切，由于选冶技术不过关，有些矿山选不出合格精矿，产品无销路，或因回收率太低，选矿成本太高，造成企业亏损。如我国有名的共生矿白云鄂博，过去很长时间生产不出合格的稀土精矿，影响产品进一步深加工和出口创汇，直至 1989 年方研究出可从矿石中直接分选出氟碳铈矿精矿和独居石精矿的工艺，这不仅为出口合格精矿打开了通道，而且为稀土进一步萃取分离创造了条件，使我国稀土工业有了飞跃的发展。但是在白云鄂博铁矿石中还有大量的含铈矿物、磷灰石、重晶石、萤石等都可以利用，仅萤石在铁矿石中就有共生储量 2 亿吨，如能回收，将成为我国一个巨大的萤石基地，对世界萤石供应都将产生影响。金川镍矿也随选冶的不断进步而发展。七十年代镍的选冶综合回收率只有 50% 左右、钴 30%、硫 5%。被列为国家重点攻关项目后，取得了大量选冶科研成果。到八十年代末，镍的综合回收率提高了 22 个百分点，伴生的铂族元素，冶炼回收率提高三分之一至十多倍。金川公司自开展科技攻关以来，纯科技进步效益高达 11 亿多元。

共生有用矿物和伴生元素都要靠选冶技术来回收，现在应回收的共、伴生矿物或元素，有以下三个特点：第一类是价值高拿出来就是钱的，如黄金、白银、铂族元素等，在有色金属矿山和冶炼厂尽力回收，全国每年回收伴生黄金 7 吨多，白银 700 多吨，仅江西德兴铜业公司一年回收伴生黄金高达 1.5 吨；第二类是产量大销路好，有色金属矿山一般都在回收共生金属硫化物、硫铁矿、萤石等；第三类是销路差、价值低、含量少、困难大，有其中之一者，回收都有问题。

矿产资源除了在采选过程中损失浪费外，在冶炼加工中浪费也很严重。我国每炼一吨钢比国外先进水平多用 100Kg 标准煤；每发一度电多用 100g 标准煤。在我国的矿业活动中，还存在着大量的土焦炉生产土焦和土法冶炼有色金属等，这些都是高消耗矿物原料、回收率低、产品质量差的企业。土焦不仅质量达不到要求，而且把大量的焦炉煤气和煤焦油损失掉，污染了环境。在云南兰坪铅锌矿有大量的群采矿，他们只采富矿，回采率仅有 10~20%，采出来的富矿在山坡用最原始的马槽炉冶炼，大量的有益元素随烟尘和炉渣跑掉。先进的冶炼方法则大不相同，如江西铜业公司引进八十年代先进的闪速冶炼，可比传统反射炉冶炼节能三分之一，硫的回收率提高了 30%。

我国矿床中还存在大量选冶问题，如湖南柿竹园矿有 100 万吨钨、锡、钼金属，需要选矿去分离；内蒙黄岗铁矿中伴生 40 万吨锡金属，需要冶炼去解决。他们的每一项突破，都会给我国工矿业注入新的血液。

二、建 议

上届学术会议的全体代表共同提出了,“关于如何加强矿产资源综合利用的建议”,经大会秘书组整理后,上报了国家科委和有关部门。经过两年的努力,有的建议得到了落实;有的建议有一定进展,总的趋势是好的。如上届建议中提到的“尽快制定、完善矿产资源综合利用法规”。国家计委经过两年的努力,已完成《中华人民共和国综合利用率》的可行性研究报告和“立法大纲”的编写工作。法的具体实质条文起草已完成,经修改准备1993年上报人大讨论。该法通过明确职责、加强管理、科技进步、应用奖励与处罚等手段,在自然资源开发,原材料、能源使用与废弃物再生资源化等重要环节把好关,并计划在国家资源综合利用大法之下,建立“矿产资源综合利用”子法;在矿产资源综合利用宣传上、技术引进以及在综合利用部门之间协调等方面,都有一定进展。现在矿产资源综合利用应注意以下问题:

1.《综合利用率》要尽快出台。矿产资源综合利用要走向正轨,与《矿产资源法》的贯彻落实和《综合利用率》的出台实施有着直接关系。通过立法和贯彻法规推动综合利用工作,使国民经济由高消耗型逐步向资源节约型转化。《综合利用率》及其配套法规的出台与实施,对综合利用肯定是个促进,使之健康向前发展。

2. 规模经营有益于矿产资源的综合利用:我国国营矿山8000多座,年产矿石14亿吨,平均每一个国营矿山年产矿石量10多万吨;全国乡镇集体矿约24万个,年产矿石26亿吨,平均每个乡镇矿山年产矿石1万多吨,由于矿山规模过小,不仅不利于应用新技术和新设备,而且对于矿床中的共、伴生资源回收利用也很不利。有些资源由于开采量小,伴生资源量更小,使矿山企业为回收伴生资源单建选厂或增加流程,经济上不合理,难以行通。所以矿山企业开采或选矿必须达到一定规模,才有益于综合利用共伴生矿产的开发。如大冶铁矿,年产矿石300多万吨,矿石中有共生硫、钴,年产硫钴精矿达8万多吨。而条件类似的邯邢地区,年产铁矿石量是大冶铁矿的一倍以上,同样有硫、钴伴生,由于分散开采和选矿,只有极个别矿山企业生产硫钴精矿,而绝大多数的硫、钴资源都白白流失。初步计算,邯邢地区的铁矿石如能集中选矿,每年可回收硫钴精矿13万吨;又如分散炼土焦,每生产一吨土焦比机焦多用原煤0.3吨,全国一年因烧土焦浪费原煤500~600万吨。如果有计划的把这些土焦改为机焦,把大中型的焦炉建在城镇附近,与城镇用煤气配套考虑,不仅节约资源,煤气供民用,煤焦油用来发展城镇化工工业,而且对矿区环境、城镇环境都会得到改善,使资源达到优化应用,综合效益会大大提高,所以矿产资源开采、加工都应做到规模经营,逐步达到合理应用。

3. 矿产资源必须走精加工的道路。现在全国有80%的矿山只生产原矿,不搞加工和多种经营,经济效益差。但是有的矿山综合利用是好的,如山西汾西矿务局柳湾煤矿,过去把共生的多种资源当废渣扔掉,现在则用这些“废渣”生产40种产品。又如,云南海口磷矿建起擦洗厂后,成品矿石品位提高、杂质降低,减少了用户的运输量和加工成本;擦洗精矿粒度均匀,各项指标稳定,是生产高浓度磷酸和复合化肥的优质原料,用擦洗精矿生产每吨磷酸可节约硫酸10%,节电3000度。如果能够将废弃的电厂粉煤灰干、湿分开,粗、细分开,为下步利用创造条件,就能由无用变有用,利用率就有可能大大提高。

只有搞精加工，为后道工序利用创造条件，资源就能利用的更好。

借鉴美国的经验充分开发利用 我国的贫铜资源

北京有色冶金设计研究总院 曹异生

1991年随着我国铜规划考察组赴美国了解贫铜矿开发利用现状，先后看了5座大型贫铜矿山和堆浸-萃取-电积厂，访问了两个专门研究溶剂萃取技术的研究所。看到美国溶剂萃取技术有着飞速发展，贫铜资源获得充分利用，并取得巨大的经济效益，这些方面经验值得我们借鉴。由于常规的采矿、选矿和冶炼方法工艺复杂、建设投资大，能源消耗高，生产费用昂贵，而且严重污染环境，因而溶剂萃取技术出现以来引起人们极大关注，不仅贫铜资源得到充分利用，而且是一次新的技术飞跃，显示出强大的生命力。

一、铜溶剂萃取技术取得很大进展

二次世界大战以来，湿法炼铜技术发展迅速，传统的浸出-沉淀-置换方法，逐渐被新兴的溶剂萃取技术所取代。美国目前只保留少数铁屑置换法工厂，产量占全美湿法产铜比重约5%。60年代中期，由于对铜具有高选择性的羟基肟类萃取剂出现，才使铜溶剂萃取技术应用于工业生产，1968年世界第一座铜矿浸出-萃取-电积工厂(年产电积铜约4500t)在美国蓝鸟(Bluebird)铜矿投产，成功地用溶剂萃取法取代了铁屑置换法。以后这项技术飞速发展，目前全世界每年约有800,000t铜是用这种方法生产的，其中美国约占450,000t，为该国1990年矿产铜产量的29%，而且还有不断增长的趋势，估计1991年就能突破500,000t。

美国铜矿开采历史悠久，开发规模大，长期积存下来大量的贫铜矿石、尾矿和含铜废石，据美国矿冶工程学会会长BHAPPU教授介绍，这些物料含铜量，潜在价值约有300亿美元，引起美国铜企业家重视对这部分资源回收利用，不惜重金委托科研院所进行试验研究，探索回收方法。这次我们访问的两个研究单位都把铜溶剂萃取技术列为多年的攻关项目，取得一系列引人注目的成果，并在生产中得到应用，获得巨大的经济效益。目前美国矿业界一致公认，铜浸出-萃取-电积生产方法，具有工艺简单，基建投资和生产费用低，环境污染少，而且能够充分利用贫铜矿，表外矿，难选冶矿和采矿后残存的矿石，可以说在炼铜历史上是一次新的飞跃。

表 1 1990 年美国铜溶剂萃取厂

矿山名称	隶属公司	浸出方法	铜生产能力 (10 ⁴ t/a)	备 注
Morenci	Phelps Dodge	矿堆浸出	11.0	计划扩建
San Manuel	Magma	矿堆浸出, 就地浸出	7.3	
Miami	Cyprus	堆摊浸出	6.0	
Tyrone	Phelps Dodge	矿堆浸出	5.5	
Casa Grande	Cyprus	就地浸出, 搅拌浸出	4.6	正在扩建
Chino	Phelps Dodge	矿堆浸出	4.5	
Ray	Asarco	矿堆浸出, 堆摊浸出	3.9	计划扩建
Twix Buttes	Cyprus	搅拌浸出	1.8	
Baydad	Cyprus	矿堆浸出	1.2	正在扩建
Pinto valley	Magma	矿堆浸出	0.9	正在扩建
Miami	Magma	就地浸出	0.8	
Sierrita	Cyprus	矿堆浸出	0.55	正在扩建
合 计			48.05	(不包括小矿在内)

根据我们这次考察看到的, 美国浸出-萃取-电积方法处理的含铜物料, 计有氧化铜矿石、硫化铜矿石、表外铜矿石、含铜废石、尾矿和坑内残留矿石。这次我们看到的都是酸浸, 在细菌参与下, 将元素硫氧化成为硫酸, 将硫酸亚铁氧化成硫酸高铁, 间接促进金属硫化物的溶浸, 而且溶解速度大大提高。处理品位一般含铜 0.2~0.4%, 个别高的达到 0.8~1.0%, 最低的为 0.03~0.04%。浸出方法包括矿堆浸出, 堆摊浸出、就地浸出和搅拌浸出等多种形式。

矿堆浸出和堆摊浸出均为露天浸出, 将采出贫矿或含铜废石在山坡或地面上堆成矿堆, 堆浸地点一般选在有坡度的不透水的地面上, 使浸出液能自流到集液池。必要时在地面铺以粘土, 混凝土或塑料垫层, 以免浸出液流失。矿堆结构要有一定的孔隙度和渗透性, 利于空气流通和溶液渗透。一般采用多层堆置, 逐层浸出, 每层厚度 5~10m, 最大厚度约 60~70m。用喷撒方法注入浸出液, 在表面安装洒液管或旋转喷液器, 均匀喷洒, 这是目前普遍使用的浸出方法。

就地浸出主要用于处理坑内采空区残留矿石, 或未采的氧化矿和贫矿, 一般以 30×30~15×7.5m 间距钻直径 15~25cm 的钻孔, 孔中插入塑料管, 溶剂注入塑料管流入矿体, 富液汇集到井下深部集液池, 然后泵出地表。

搅拌浸出包括沉淀池、浓密机、槽浸等形式, 浸出前需将物料破碎成细粒, 然后进行搅拌浸出, 由于基建费用比较高, 只适合处理较富的物料。以上三种方法获得的浸出液, 要求含铜量达到 1g/L, 如果一次溶浸达不到需要浓度时, 还需进行反复溶浸。

萃取-电积主要过程包括: ①用对铜有选择性的羟基肟类萃取剂(Lix-984、Lix-864、Lix64N 等)的煤油溶液萃取铜, 铜进入有机相而与铁、锌等杂质分离。②用浓度较高的 H₂SO₄ 溶液反萃铜, 得到含铜 50g/L 的溶液。反萃后的有机溶剂, 经洗涤后, 返回萃取

过程使用。③电积硫酸铜溶液得电铜，电解后液返回用作反萃剂。

美国最早使用的萃取剂是通用矿山公司研制的 Lix63、Lix64 及 Lix65，以后其他萃取剂制造厂进行了改进，使应用范围扩大到处理低 pH 值，高浓度的溶液，目前广泛应用的萃取剂是 Lix984、Lix864、Lix64N 和 Acorga 公司生产的 M5640、M5615、M5397 等系列产品。Lix64N 是 Lix65 和 Lix63 的混合物，Lix864 是 Lix860 和 Lix64N 的混合物，而 Lix984 是 Lix860 和 Lix84 的混合物，其他产品均含有提高其分离性能的改性剂。

铜溶剂萃取厂均由混合器和澄清池组成，首先是在混合器中有机萃取剂与低浓度浸出液接触，然后与纯反萃液接触。我们这次考察中看到的，多数溶剂萃取厂采用二级逆流萃取和一级反萃，也有个别的采用三级逆流萃取和二级反萃。富集以后富液送电积厂生产电积铜。

二、典型的浸出-萃取-电积工厂

1. San Manuel 铜矿：目前属 Magma 铜业公司管辖，系采、选、冶、加联合企业。大型斑岩铜矿，原勘探获得铜金属储量约 7,000,000t，地质品位含铜 0.75%，五十年代就开始大规模开采，以后又陆续扩建，七十年代出矿量曾达到 66000t/d，目前硫化矿储量剩余 1.6 亿吨，含铜品位 0.74%，露天开采部分已结束，仅进行坑内开采，采用矿块崩落法，出矿能力 50000t/d，为全世界最大的坑内采铜矿山。这部分矿石经过选矿以后送给 San Manuel 冶炼厂处理。另外上部尚留有储量 3.3 亿吨的氧化矿，含铜品位 0.36~0.4%，1985 年起进行露天开采，1986 年处理这部分氧化矿的堆浸-萃取-电积厂投产。目前出矿能力已达 35000t/d 全部进堆浸处理。1987 年又对地下老采空区残矿开展就地浸出，浸出液与堆浸液合并送往萃取-电积工厂。原设计氧化矿年产电积铜 43000t，其中堆浸占三分之二，就地堆浸占三分之一，1990 年电积铜实际产量已达 73000t，超过设计能力，金属回收率约 70%。

该矿共有 15 个堆场，专门浸出氧化矿，每堆底面积约 $3.8 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，有的选在平缓的山坡上，有的选在平地上，每堆大约堆矿 110,000t，分层周期性浸出，第一层堆高约 15 米，喷淋浸出一定时间后再在其上堆一层新矿，以后每层堆高约 7.5 米，直至总高达到 100m 左右。每个底层面积通常要堆十多层矿石，总的浸出时间 60~100 天，喷淋速率为 $5.1 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$ 。

就地浸出主要是处理采空区残矿和贫化后的矿石，注液井深约 300m，井筒套装塑料管，共有 200 多个注液井，每个井的注液量 $6.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ，塑料管通到矿体以后，浸液利用各种孔隙浸出矿石，约在井下 500 多处建有集液池，浸出液利用地下采矿的旧运输巷道汇集，并用 2 台耐腐蚀泵将浸出液提升到地面。

堆浸和就地浸出合并后的溶液含铜 1.2~1.7 克/升。萃取厂共有四个系列，每个系列为二级萃取一级反萃。每列水相流量为 $908 \text{ m}^3/\text{h}$ ，总处理量 $3634 \text{ m}^3/\text{h}$ ，萃取剂为 Lix984，相比 $O/A=1$ ，反萃相比 $O/A=7.5:1$ ，反萃液流量 $137 \text{ m}^3/\text{h}$ ，反萃液含铜 30~40g/L，硫酸 160~170g/L。富铜电积液含铜 50g/L，硫酸 160g/L，铁 3g/L。

电积作业采用 MIM 技术：电积厂共有 188 个电积槽，每槽有 60 块不锈钢阴极和 61 块铅阳极，阴极电流密度 212 A/m^2 ，槽电压 1.9V，电流效率 94%，电能消耗约

1900kW.h/t。电积周期7天，到时阴极从不锈钢板用剥片机取下，每片阴极重量40.8~54.4Kg。所产铜质量较好，送铜棒厂进行深加工。

2. Pinto Valley 铜矿目前属 Magma 铜业公司管辖，属采、选、冶联合企业。大型斑岩铜矿，现尚有矿石储量4亿吨，地质品位含铜0.43%。该矿十九世纪就开始采矿，1952年低品位矿石进行堆浸，并用铁屑置换生产海绵铜，1979年开始建设萃取-电积厂。目前出矿能力65,000t/d，采出矿石铜品位大于0.26%进选厂处理，含铜低于0.26%进行堆浸。该矿铜矿物以黄铜矿为主。矿石堆在山谷之中，共有四个堆场，间歇轮流使用。最初用人工培植的细菌浸出，后来发现自然生长的菌种即已满足浸出的需要，目前只需用萃取余液返回浸出即可。堆浸喷淋速率 $7.42\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ，浸出液含铜 0.6g/L ，铁 1.3g/L ， $\text{pH}=2$ 。浸出液渗滤进入贮液池，用泵将浸出液送到萃取厂。

萃取厂共有两个系列，每个系列为二级萃取，一级反萃。萃取剂为2%Lix864，萃取相比 $O/A=1$ ，浸出液流量 $12\text{m}^3/\text{min}$ ，反萃相比 $O/A=35$ ，反萃液流量 $0.34\text{m}^3/\text{min}$ 。铜萃取回收率约90%。反萃用废电积液，含铜 30g/L ，铁 3g/L ，硫酸 150g/L 。富铜电积液含铜 45g/L ，硫酸 127g/L 。

电积厂共有8个种板槽，52个生产槽。种板槽电流密度 $192\text{A}/\text{m}^2$ ，生产槽电流密度 $232\text{A}/\text{m}^2$ 。每槽30片阴极，31片阳极（铅-钙合金）。电积液流量每片阴极为 $2.63\text{L}/\text{min}$ ，生产周期5天。目前电积铜生产能力约9000t。

三、铜浸出-萃取-电积技术的优点

1. 贫铜矿资源得到充分利用

美国现在已进入资源二次利用阶段。这次我们考察见到的，San Manuel 铜矿将过去露天开采废弃位于塌陷区的氧化矿，重新开采进行堆浸；坑内开采剩下的残矿和低品位矿，则进行就地浸出。两者二次利用的资源经过萃取-电积以后，年产铜量达到 $7\times 10^4\text{t}$ ，超过目前坑采原生铜产量。Pinto valley 铜矿在旧露天采区进行扩帮，开采过去废弃的氧化矿和低品位矿，进行堆浸。Twin Buttes 铜矿重新开采氧化矿和老尾矿，处理品位0.86%，采用搅拌浸出，年产铜近30000t。Sierrita 铜矿将含铜仅0.04%的剥离废石全部进行堆浸处理，每年仍可产铜5000t。以上这些实例都是资源二次利用取得的成果。

2. 工艺过程简化，原材料消耗低，污染源减少，有利于环境保护。

常规的采、选、冶流程共有十几道工序，而现在仅简化为三、四道工序，特别是取消了花钱最多的选矿和火法熔炼，可以说是一次技术革命。由于工艺过程简化，原材料消耗也相对降低，大宗消耗物资只有硫酸一项，大约产一吨铜消耗3吨硫酸，萃取剂和稀释剂消耗量大体上和浮选药剂相当，但节省了大量的钢球、衬板、燃料、耐火材料和电力。

常规的采、选、冶流程环境污染严重，三大污染源一废气、废水、废渣，不容易妥善治理，长期困扰铜工业的发展。而新工艺基本上消除废气和废水两大污染源，仅有浸出后的废渣要作妥善处理，因而有利于环境保护。

3. 建设投资少，生产成本低。

浸出-萃取-电积流程，由于工艺过程简化，重型设备和大型厂房明显减少，节约建设投资。San Manuel 铜矿建设年产7000t铜规模，包括露天采场、堆浸、就地浸出、萃

取和电积全部配套工程，共用投资 8500 万美元，吨铜单位投资 1214 美元，估计比用常规流程建设同等规模投资要节省 70%。而且建设工期短，一般只用一年多的时间就可以建成。

经济效益对比：以 San Manuel 铜矿为例，井下开采的原生硫化矿，目前出矿铜品位 0.6% 左右，出矿量 50000t/d，采用矿块崩落法，是座先进的矿山，经过选矿、冶炼、电解处理以后，每磅电铜生产成本 95 美分；而露天开采氧化矿，目前出矿品位 0.4% 左右，出矿量 35000t/d，经堆浸、萃取、电积处理以后，每磅电积铜生产成本 65 美分，降低 32%。又以 Sierrita 铜矿为例，露天开采硫化矿出矿品位 0.28%，出矿量 95000t/d，经过选矿以后，每磅铜精矿含铜量生产成本 76 美分，再加上冶炼费用，估计每磅电铜生产成本近 100 美分；而该矿含铜 0.04% 的废石，经堆浸-萃取-电积处理以后，每磅电积铜生产成本 46 美分，两者相比相差一倍还多。Twin Buttes 铜矿采用搅拌浸出，处理氧化矿和老尾矿，经过破碎和粗磨，原矿品位 0.86%，每磅电积铜生产成本 56 美分。以上三个实例可以看出，采用浸出-萃取-电积工艺以后取得明显的经济效益。

四、几点建议

铜浸出-萃取-电积技术是成熟的，适应性很强，应在我国积极推广应用，把我国的贫矿资源充分利用起来，多增产一些铜原料。我们建议“八·五”期间选择一批铜矿先作试点。

1. 江西德兴铜矿处理表外矿、含铜废石和尾矿试点。目前可先搞含铜 0.27% 的表外矿，这部分数量巨大。德兴铜矿目前边界品位 0.3%，如把 0.3% 降到 0.25% 平均 0.27% (相当于美国 sierrita 铜矿开采品位)，就可增加矿石量 2 亿吨，铜金属量 54 万吨。如果边界品位再降低，增加铜金属量就更多了。另外德兴铜矿堆放剥离废石的洋桃坞废石场，堆有含铜金属十多万吨的废石，是搞堆浸的理想场所。该矿既有资源条件，又做了大量的试验研究工作，科研成果已具备设计条件，因此应该先走一步。

2. 永平铜矿处理含铜废石和氧化矿试点。该矿废石场目前已堆存废石近 1.2 亿吨，含铜金属量 10 万吨左右，另外还有大量的氧化矿，含铜品位较高，可搞搅拌浸出。

3. 中条山铜矿峪处理氧化矿试点。该矿上部有氧化矿 20,000,000t，含铜 0.7% 左右，含铜金属 14 万吨，可考虑用搅拌浸出或堆浸方法进行处理。

4. 湖北铜录山、石头咀，云南大姚，牟定和广东石录也有许多的氧化矿可作试点。

5. 几乎所有老矿山均有大量坑内残矿可作就地浸出试验。

另外，我国现有铜资源中，含铜 0.5% 以下的金属储量占到 22.4%，伴生金属中还有含铜 0.05% 左右的大量资源，这些资源用常规的采矿-选矿-冶炼方法无法处理，只能用堆浸-萃取-电积方法探索回收途径。

从长远来看，我国特大型矿床—西藏玉龙铜矿，铜金属储量多达 6,500,000t，其中难选氧化矿储量 2,700,000t，含铜品位 2.6%，但因矿体赋存在海拔标高 4570m 到 5118m 之间，矿区气候属半干旱的高寒带，气候多变，地区经济十分落后，距成都市 1184 公里，按常规的生产工艺建设，基建投资大，经济效益差，难以开发利用，长期成了“呆滞”资源。如果采用堆浸-萃取-电积流程，开发玉龙铜矿就有一线希望，我们准备开展这方面

的研究工作。

但并不是所有铜矿都可以用溶剂萃取方法处理。美国矿业界目前把注意力集中于寻找“可溶于酸”的铜矿石，美方介绍按目前国际市场铜价(大体上每磅铜在 100 美分以内)，这类矿石含铜品位只要达到 0.03% 以上，就有开采的经济价值，生产 1 磅电积铜约消耗 3 磅硫酸。但不溶于酸或耗酸高的碱性铜矿石，即使品位高几倍甚至十几倍都难以利用。如我国汤丹氧化铜矿保有铜金属储量 1,280,000t，含铜品位 0.87%，属于含硅的碱性氧化铜矿，难以采用酸浸。美方专家也到汤丹考察过，感到处理这种矿石很棘手。

总之，我们要转变对待资源的观念，过去废弃的贫矿、残矿、尾矿、废渣、废石又有可能作为资源加以重新利用，我国铜资源就可以扩大不少，“采矿”可转变成活矿，闭坑的可以重新开采，尾矿也可以重新利用，废石堆也可能变为有用资源。

我国某些非金属矿的开发及与国外水平的比较

地矿部矿产综合利用研究所 汪镜亮

前 言

我国是世界非金属矿资源大国，许多非金属矿产品的产量和出口量在世界上占有重要地位。在整个矿业界，非金属矿的地位已越来越具有举足轻重的作用。非金属矿业的发展和黑色金属、有色金属、石油化工等几乎每个产业的发展都密切相关、互相促进，因此它们有一个相互依存，协调发展的关系，正是抓住和利用了这种关系和机遇，整个矿产资源事业才会得到今天如此明显的进步。

现在我国已探明的非金属矿种达 80 多种，产地 4700 余处，已开发利用的 50 多种，工业产值达百亿元 (1989 年非金属矿产采掘业产值 84.8 亿元)，现有县办以上非金属矿和加工厂 600 多个，1979—1989 年间非金属矿产品产量以每年 10—15% 的速率递增：“七五”期间累计创汇 26.53 亿美元，占全国矿产品出口创汇总额的 25% 左右，已有 30 多种矿产及其制品销售到世界 40 多个国家和地区，其中石墨和滑石原矿出口量占世界贸易量的 1/3；在美国 1990 年进口的重晶石中，中国产品的份额即占 86.1%；而 1991 年 1—6 月日本进口的稀土产品数量和金额中，中国分别占 32.8% 和 43.2%，均居第一位，超过美国、马来西亚、法国和独联体。

我国非金属矿的开发利用有不少进步，也因起步晚、某些加工技术低等因素制约，与国际水平尚有不少差距。本文以我国几种重要非金属矿产的不同开发利用水平为例，作一些与国外发展水平的比较论述，供矿业界参考。

一、稀土矿产——国内开发应用水平较高且出口效益又大的代表

稀土是我国重要矿产之一，储量占世界已探明储量的 80%。主要有分布于内蒙、甘肃、山东、四川的氟碳铈矿，广东、广西、湖南的独居石和磷钇矿，江西、福建、广东的粘土离子型稀土矿。内蒙包头生产中国稀土的 80%。包钢扩建后，三个稀土厂的稀土精矿、氯化稀土和单一稀土氧化物产量分别提高 3.5、1.3 和 6.3 倍，能同时分离 7 种不同稀土，氧化铈的年生产能力达到 20t。江西稀土含铈很低，但富含 Sm、Eu、Tb、Y。采用湿法从矿石可生产含 90% REO 的富集物。江西第二稀土厂年产 80t 荧光级氧化钇 (99.99%)、170t 稀土富集物，精制 Pr、Nd、Ce、Sm、Eu、Gd 等 14 种产品，年产 140t 稀土肥料。甘肃、山东、四川、广东也生产多种稀土产品。

鉴于丰富的稀土资源及近 10 多年的技术进步和成功开发，我国稀土的提取和分离水平达到了新的高度，为稀土产品的大规模应用和出口创汇提供了坚实的基础。

生产和应用：从 1987 年以来我国稀土产品年产量均为 15,000t 左右，1991 年为 17,065t。年用量增长 20%，1991 年国内消耗量 8,286t。其中机械、冶金部门应用最多，约占 1/2，生产出稀土铸铁约 1,200,000t，稀土钢（高强度钢、弹簧钢、化工用钢）约 300,000t，稀土铝约 150,000t，年经济效益 40 亿元；石油化工每年用稀土产品 2,500t，占 30%，主要生产石油裂化用的稀土催化剂，使每年多生产汽油 1,300,000t，再加上用于油漆催干剂、尾气净化等，年效益 10 亿元；玻璃和陶瓷业每年用稀土产品 700t 左右，使玻璃脱色、澄清、着色、抛光、研磨、上釉水平提高，年效益 5 亿元；目前全国施用稀土肥料的农田达 5000 万亩，施用后粮食作物增产 5—10%，经济作物增产 10—15%，年效益 3 亿元；在养殖业方面仅作肉鸡饲料添加剂每年就使上海增收 1000 万元；稀土用于纯毛、化纤、蚕丝、棉、麻等纤维的染色，上染率高、色牢度好、颜色鲜艳、节省染料、降低铬离子污染；用于皮革鞣剂使皮革鞣后柔软，利于染色，也减少铬污染，仅南京纺织公司的稀土助染产品的年产值就达 2 亿元，增效益 350 万元；我国每年至少有 200 万台彩色显象管使用了稀土荧光材料，“八五”末期节能效果达 70% 的稀土节能灯产量将达到 8000 万支；钕铁硼永磁材料的生产及在电机、电脑、通讯上的应用已进入先进行列，稀土高温超导材料的研制已显现成效。

稀土产品出口：从 1988 年至 1991 年，每年出口稀土产品约 8000t，年创汇约 1 亿美元（1991 年出口 8024t，创汇 1 亿美元），在世界稀土流通量中占重要地位。

我国稀土矿产开发的一些问题：1. 产量与资源地位还不符合。美国仅莫利公司在帕斯山的工厂 1990 年就生产 22700t REO；2. 出口价格中有的竞争力还不够，如出口日本的氯化稀土为 1.3 美元/kg，美国产品为 8.4 美元/kg； Y_2O_3 为 13.7 美元/kg，美国产品高达 130 美元/kg；3. 进口稀土产品价格又高于其他国家，如日本销售给中国的稀土产品平均每公斤 271 美元，比销售给美国的高 6—7 倍，比它销售给我国台湾、香港的单价高 15 倍；4. 这些说明虽然我国已掌握了稀土分离提纯技术，但推广应用方面还有差距。

我国稀土矿产的开发是成功的，可以说是非金属矿开发的代表，其原因是国家、矿山、科研、生产单位极为重视和有远见；开发工艺和应用研究与国民经济的发展相结合；

充分把握发展方向。据最近报道,从世界的发展看,将来稀土应用增长最快的部门是永磁磁体、可充电电池、特种激光晶体、光学储存装置。高温超导则是长远发展目标。而我国根据实际情况,要将高科技与整个国民经济发展方面的应用相结合,节能荧光材料、永磁材料、机械、冶金、石油化工催化剂、农业、轻纺、玻璃、研磨材料仍是主要发展的应用方向,开发合适的产品;同时要针对世界发展趋势,生产供出口用的传统产品及高新技术用稀土产品。

二、锂矿产——综合利用及合理开发的代表

重要的锂矿物有锂辉石、透锂长石、锂云母、锂磷铝石、锂霞石等,其中前三种产出多,因而也最重要。过去锂矿产仅作为生产金属锂及其他锂化合物的稀有金属矿产及化工矿产,列入保密范畴,而忽略了它们的直接应用即作为非金属矿的应用,贻误了这方面的一些机会。诚然,锂矿产是生产金属锂和锂化工产品的宝贵资源,但作为直接应用的非金属矿产也已有数十年历史。因此可以说,锂资源的开发前景是宽广的,与锂矿产共生的铍、铌、钽、锡等矿产的综合利用也是重要的。

我国四川、新疆有重要的锂辉石和透锂长石资源,江西有丰富的伴生锂云母矿产。四川锂辉石储量占全国60%,又有从卤水和气田水提取碳酸锂的经验,金属锂及其他锂产品的出口也具有代表性。

由锂辉石生产金属锂:我国已从硫酸或硫酸盐焙烧、水浸、碳酸钠沉淀碳酸锂、转化为氯化锂,与氯化钾一起经熔盐电解生产了金属锂;也采用石灰石焙烧、水浸产出氢氧化锂、转为氯化锂、熔盐电解生产了金属锂。金属锂经两次真空精炼获得纯度为99.9%的产品。

此外,我国还生产了碳酸锂、氯化锂、溴化锂、氢氧化锂、锂基润滑脂、铝锂合金、镁锂合金等。仅铝电解中添加碳酸锂节能一项,全国“七五”期间每年消耗碳酸锂即达1,000t,再加上其他应用达每年5,000t;锂基润滑脂年消耗估计2,400t,年需氢氧化锂150t。

作为对比,1990年西方国家生产的锂产品相当于29,500t碳酸锂,1991年铝工业所需碳酸锂有了增加,润滑脂、合成橡胶部门对锂产品需求也不断上升;锂蓄电池由于可储藏电能,所以日、美等国均有增长,尤其是日本。

应该指出,锂矿物如锂辉石作为直接用于陶瓷、玻璃、瓷釉中的非金属矿已有相当长的历史,只是近10多年随着低铁锂辉石、玻璃级锂辉石的大规模生产,发达国家才又广泛应用,这就是当今锂矿物作为非金属矿应用的重要方面。在这一领域我国则处于起步阶段,因而也有广阔的发展前景。

将低铁锂辉石或透锂长石精矿直接加入到单色阴极射线管玻璃的生产中可以降低这种射线管的变暗效应,改进玻璃的生成特性和表面光洁度,这方面的增长与国民生产总值的增长同步,占目前锂矿物消耗量的20%。

锂矿物在耐高温玻璃生产中的消耗量占20%。

生产高质量化妆品、食品和饮料用容器玻璃时,锂矿物是一种强力熔剂,改善玻璃特征,提高产品强度、耐久性和外观,这是锂矿物的主要应用部门,占锂矿物用量的

30-40%，年增长速率 50%；其中高品级精矿用于化妆品容器生产，较低品级的矿物用于容器、纤维和平板玻璃生产。

90 年代，生产陶瓷坯体和陶瓷釉用的锂矿物将迅速增长，从而取代原料中原先使用的铅和砷；一般只需添加 4% 锂辉石，可使一次烧成卫生陶瓷的烧成温度降低 30-40℃。

锂矿物在冶金工业中作熔剂应用，80 年代后期欧洲用于生产连铸粉，并已迅速在亚洲和北美得到推广；锂矿物是强力熔剂，大大降低渣的粘度，降低金属在渣中的损失，减少渣被包裹于金属中的量。

与上述世界发展趋势相比，我国玻璃、陶瓷、瓷釉、冶金熔剂方面直接应用锂矿物存在不少差距。我国锂矿物的应用今后应该改进生产金属锂、各种锂化合物及锂合金的生产工艺，将开发高科技锂产品与在玻璃、陶瓷、冶金方面大范围的直接应用相结合，创造更高的效益，为此必须象加拿大、澳大利亚和津巴布韦一样，提高选矿水平和能力，提供更多的优质锂矿物。

同样重要的是，锂矿产的开发必须与铍、铌、钽、锡、钨、铯等稀有和有色金属矿产的综合开发和利用相结合。这方面江西、四川、新疆都作了一些工作。

以四川锂资源为例，目前保有储量为百万吨 Li_2O ，远景储量可达 400-500 万吨，共生 BeO 38990t、 Nb_2O_5 8687t、 Ta_2O_5 4484t、 Rb_2O 47661t、 Cs_2O 4770t。以锂铍矿石而言，除浮选可回收 5-7% Li_2O 的锂精矿外，还可回收 BeO 8.32% 的铍精矿、 Nb_2O_5 30.63% 和 Ta_2O_5 21.56% 的铌钽精矿、 Sn 61.34% 的锡精矿及锡铍混合精矿；回收和利用这些伴生组分无疑有重大意义。为此四川阿坝州锂铍矿指挥部已建成综合回收铍、锡、锂、钽等有色金属和稀有金属矿采选厂，日采选矿石 200t，年产值 1000 万元，利润 400 万元。江西宜春钽铌矿从粗选钽铌矿的尾矿中浮选回收锂云母，1989 年生产锂云母精矿 27, 446t，含锂长石粉 85, 382t。或许可以说，锂矿产的开发和利用是我国非金属矿和金属矿共生矿产综合利用的代表，也是一种矿产多类应用的典型。我国锂矿产综合利用已取得一些进展，但回收率与产率还不令人满意，而且规模还不大，因而锂矿产的更广泛应用还受到制约，有待进一步扩大和提高。

三、造纸用非金属矿——需要加强研究，扩大开发品种，提高本国资源利用率，更好地服务于其他行业的非金属矿代表

造纸涂布颜料用的非金属矿要求严格，主要有高岭土、滑石、碳酸钙等，近年伊利石等也有应用；造纸填料用非金属矿则广泛得多，高岭土、滑石、碳酸钙、伊利石、重晶石、叶蜡石、地开石、膨润土、霞石正长岩、沸石、石膏等均可应用。为我国开发这些非金属矿提供了良机，但目前利用水平还不够。

1991 年世界纸消耗量达 2.47 亿吨。我国大小纸厂 5360 家，1989 年纸及纸板产量 1333 万吨，次于美国 (6953 万吨)、日本 (2681 万吨)、加拿大 (1654 万吨)，超过德国 (1127 万吨)、原苏联 (1100 万吨)、芬兰 (875 万吨)、瑞典 (836 万吨)。我国人均产量仅 12kg，世界平均 44.1kg，瑞典 229kg，日本 222kg，美国 303kg。这不仅与我国纸浆产量低有关，也与我国造纸非金属矿利用水平差有关。

我国大部分纸厂（不论是木浆、苇浆、草浆、还是蔗渣纸），目前使用的填料多为滑石，每吨纸添加量从数十公斤到数百公斤，最高 407kg；只有部分纸厂加添碳酸钙，最大添加 220kg；有的纸厂还添加二氧化钛颜料。

我国涂布纸（铜版纸）厂约 43 家，每年总生产能力 20 万吨，每吨纸除用约 50kg 重晶石及约 20kg 碳酸钙作填料外，还使用 140—270kg 涂布高岭土。每年所需涂布高岭土不足 10 万吨，但还需进口相当数量。众所周知， $-2\mu\text{m}$ 的高岭土才能作铜版纸涂布颜料代替昂贵的二氧化钛颜料，而且需除去影响白度的有色杂质矿物及磨耗物料。近年我国研究了高岭土剥片、化学漂白及选矿除杂质的工艺，开拓了造纸涂布高岭土的生产，同样也生产了伊利石。

在滑石、重晶石、膨润土、碳酸钙等造纸用非金属矿中，应特别提到碳酸钙。随着对纸质及保存期要求的提高，以及转轮凹版印刷的减少、胶印的发展，为碳酸钙填料纸的普及提供了机会，而酸性造纸工艺向中性和碱性造纸工艺的转变则为碳酸钙的广泛应用开辟了道路，而且发展迅速，例如西欧造纸业中，碳酸钙填料和涂布颜料的份额已从 1975 年的 7% 提高到 1990 年的 35%，据报道，以 70% 碳酸钙和 30% 高岭土作混合涂布颜料生产的纸，质量可以达到全部用高岭土的质量。但是由于种种原因（如转产的困难等），我国造纸业至今才开始应用碳酸钙，使我国丰富优质的碳酸钙资源没有得到合理利用。这可以说是非金属矿利用方面的一个差距。

结 语

我国非金属矿的开发有许多成功经验，也有不少差距，从上述三类非金属矿的开发成功及差距的例子，可以得到以下共识。

1. 国家重视、矿业部门共同努力，必将使非金属矿开发达到一个新水平：稀土矿产的开发、国内应用领域扩大、程度加深、出口效益好，皆源于国务院稀土领导小组以及 70 年代国家计委的重视、领导、协调的结果，以及各部门稀土分离、提纯、新产品生产技术的完善。

2. 非金属矿产的合理开发和综合利用是一个支柱和方针，既是目标也是现实的必须。以锂矿产为代表，要将其稀有金属、化工矿产和非金属矿原料的地位集于一身，合理开发，而且还要对与之共生的其他稀有和有色金属矿产通过选冶工艺加以综合回收和利用。广而言之，许多非金属矿物资源都必须合理开发及综合利用。

3. 非金属矿产的开发有赖于所用技术的提高及设备的现代化。以造纸用非金属矿为例，只有掌握了获得 $-2\mu\text{m}$ 高岭土或其他非金属矿的技术，并辅以化学和机械提纯技术，才能生产出高质量涂布颜料。

4. 非金属矿产在有色和黑色冶金、石油化工、医药化妆品、轻工、农牧养殖等行业的应用正日益扩大，因此必须把非金属矿只作为建材产品原料的管理、研究、生产、经营等格局及机制作相应调整与配合，使非金属矿的开发利用领域更加扩展，生产出更多国民经济急需、对生态环境又无害甚至有利的非金属矿制品。