

内部材料
注意保存

2000 - 2005 年

冶金科技发展指南

(专业部分)

-62

82

中国金属学会

一九九九年七月

前 言

“九五”期间，我国钢铁产量连续几年突破一亿吨，成为世界钢铁大国。但总体看，我国钢铁工业结构不合理，工艺技术水平 and 经济效益不高，不适应于市场竞争的需要。

充分依靠科技进步和科技创新是调整结构、发展钢铁工业、迎接下世纪机遇与挑战的根本措施。为此，在国家冶金局领导下，由规划发展司、中国金属学会和冶金科技发展中心共同组织了“十五”冶金科技发展指南的预研工作。“2000—2005 年冶金科技发展指南”的具体编写由中国金属学会组织完成。

该指南在总结我国“九五”冶金科技进步的基础上，遵循国际冶金科技进步的发展趋势，提出了 2000—2005 年冶金科技进步方向、目标 and 对策、建议，以及各冶金专业领域可供选择的新技术 and 新型冶金材料，包括一批推广应用的先进成熟技术、一批攻关开发的关键技术和为下世纪我国钢铁工业发展提供技术储备的前瞻性、基础性高新技术，以指导行业 and 企业的科技进步，并作为“十五”国家科技项目申报、立项的依据。

为了做好这项工作，召开了冶金科技预研工作会和多次专家研讨会。来自企业、科研、设计和大学的百余名专家及其主管技术工作的领导参加了研讨会。在此基础上，相关专业分会的专家执笔编写了 2000—2005 年

冶金科技发展的专业指南，又以此为基础，经汇总、分析、研究，形成了2000—2005年冶金科技发展的行业指南。值此，向参与“十五”指南讨论和起草工作，以及为修改“十五”指南提出宝贵意见的所有专家表示感谢！

尽管如此，由于时间、水平有限，错误难免，请予指正。

2000—2005 年

冶金科技发展指南

(专 业 部 分)

目 录

1 资源·····	1
2 炼铁·····	16
3 炼钢·····	32
4 轧钢·····	45
5 环保·····	55
6 自动化·····	65

资 源

我国铁矿资源的主要特点是贫矿多,多金属共生矿多,细粒嵌布矿石多,为铁矿资源的开发利用带来许多困难。但是,经过“七五”、“八五”科技攻关,在大型露天铁矿成套采矿设备、大区微差爆破技术、高陡边坡稳定性分析和加固技术以及铁矿选矿、多金属共生矿综合利用技术等方面均取得重大突破。目前,国产铁矿石年产量已达 2.5 亿吨,为年产钢过亿吨提供了可靠的原料保证。

“十五”期间,应以保持稳定的国产矿石产量,合理开发资源、控制矿石开采和加工对环境的影响为目标,组织科技攻关。其重点研究内容有:适应现代高炉冶炼需要的高品位铁精矿生产技术;高效、节能少污染的二次资源综合利用技术;我国富有的钛、钒与稀土的深加工技术;大型深凹露天铁矿经济、节能、高效运输系统及综合开采技术;大型尾矿库安全性、稳定性监测与加固技术;生产过程自动控制与智能调度系统及高效节能设备技术等。

资源

1 发展现状及面临的主要问题

1.1 发展现状

资源与环保是人类社会赖以持续发展的重要基础条件。

矿产资源最根本的特性是一次生成，不能再生。故开发利用矿产资源应坚持合理与节约的原则。

铁矿资源是发展钢铁工业的主要物质基础。虽然，我国已探明铁矿石总储量达 515.41 亿吨，但工业储量仅为 225.82 亿吨。按人均占有铁矿石储量计算，我国人均占有 31.8 吨，低于美国、俄罗斯等国。由此看来，我国是一个铁矿资源相对不足的国家。

还应看到，我国铁矿石产出的条件差，主要表现有：①贫矿多，平均品位 32%，比世界平均品位低 11 个百分点；②多金属共生矿多，约占铁矿石总储量 37% 以上，且多为大型铁矿床；③铁矿物呈细粒嵌布者居多。前述不利因素增大了开发利用我国铁矿石的难度。

虽然我国铁矿资源不利因素较多，但经过不断努力，我国铁矿开采及选矿技术水平明显提高：依靠我国科技人员及广大矿山职工的奋斗，我们突破了红铁矿选矿技术难关；成功地解决了包头中贫氧化铁矿选矿技术难题；攀枝花钒钛磁铁矿的综合利用取得了突破性进展，继高钛含钒铁矿石炼铁及提钒获得成功之后，高品位钛精矿大量供应市场；磁铁矿的精矿品位达到 68%；一批高效节能型的矿山设备研制成功并应用于矿山生产。到 1996 年产出铁矿石近 2.5 亿吨，占当年产粗钢 1 亿吨所需矿石量的 70% 左右，成为我国钢铁工业发展的重要物质保证。更令人高兴的是，我国铁矿

石中伴生的 TRE、Nb、V、Ti 等有价值金属产品的深度开发不但引起人们普遍关注，且取得一批科研成果，资源优势有的（例如 V、TRE）已经转化为经济优势，有的在不久的将来有望成为高科技发展的重要原材料。

1.2 面临的主要问题

21 世纪我国钢铁工业仍将持续发展。但是为之提供矿石原料的矿山生产却面临着严峻挑战。其主要表现有：

（1） 矿山生产条件日趋困难，矿山生产能力出现下滑苗头

占全国重点铁矿山矿石产量 81.8% 的 18 座大中型露天铁矿中，已有 16 座转入封闭圈以下开采。转入深部开采后各种不利因素增多，采场深度增加、矿岩提升高度增大、运输距离增长，排土场加高，设备利用效率降低，生产成本增加。地下矿山由于开采深度增加，生产条件变差，生产成本增高。

其次，占铁矿石产量 58% 地方中小铁矿的生产处于由开采地表露头矿转到向地下深部开采，只有加大资金投入才能保持现有产量。

（2） 矿山开采及选矿生产中金属回收率不高，资源浪费现象不容忽视

我国露天铁矿开采贫化率高达 5~10%，地下矿为 10~27%。

磁铁矿选矿回收率平均 78%，低于发达国家 4~9 个百分点，红铁矿选矿平均回收率 71%，低于发达国家 10~15 个百分点。

据报导，如能将磁铁矿选矿平均回收率提高到 85%，红铁矿选矿平均回收率提高到 80%，则相当每年多产铁精矿 400 多万吨，产值达 10 亿元。

（3） 多金属共生矿综合利用水平低

我国特有的含 TRE、Nb 的包头铁矿石和含 V、Ti 的攀枝花铁矿石其有价成分的储量居世界前列。近些年来，我国 TRE、Nb、Ti 的选矿技术虽已取得重大技术突破，已经可以分离出单一高品位稀土精矿和钛精矿，以及含 Nb_2O_5 2% 以上的铌精矿，为上述有价金属的深加工提供了丰富原料，促进了深加工产品的发展，但是其总回收率仅为 10% 左右，资源潜力远未发挥。

（4）废石及尾矿综合利用亟待加强

矿山年产废石 3~4 亿吨，选矿尾矿约 15 亿吨，其成分与建材、轻工及无机化工所需原料成分相近。近些年来，从选矿尾矿中提取有用成分制作地面砖、微晶玻璃花岗岩、玻化砖、轻质砖以及普通水泥、磁化肥等的试验取得良好进展，显示出选矿尾矿综合利用的前景广阔。如果能把选矿尾矿中某些成分真正作为建材、轻工及无机化工的原料，无疑将扩大资源的利用率，有利于环境保护。

然而，如今的现实是实际利用率仍然很低（仅为 2%）。主要原因是市场开发不足和产品成本缺乏竞争力。

（5）尾矿库的安全性和坝体稳定性亟待加强与控制

现已建有铁矿尾矿库 400 余座。许多尾矿库已接近设计库容。尾矿库运营费每年高达 75 亿元。每年约有 15 亿吨尾矿还要送入尾矿库。建库初期由于诸多原因，尾矿库容积偏小，如今面临扩容难题。为保证尾矿库安全运营，必须随时监测尾矿库的安全性和坝体的稳定性，防止溃坝、泄漏等事故发生。

（6）矿山废水亟待治理与复用

矿山及选矿厂排出废水量大，废水中含有固体微细粒物质，有的还含有残余药剂及溶于水中的金属离子。大量废水外排，既污染了矿区周围

河流、农田，也浪费了宝贵水资源。因此，矿山废水亟待治理。

2 科技攻关的目标与对策

如前所述可以看出：

（1）我国自产铁矿石的生产能力面临严峻挑战，如不采取果断措施，将难以继续维持住国产铁矿石对我国钢铁工业发展的保证程度；

（2）已经到了要全面考虑整治矿山生产对矿区环境造成污染和对生态环境造成破坏的时候了；

（3）必须以节约资源、降低能耗、减少对环境污染为内容，花大气力开发与综合利用二次资源。

据此，应安排以合理开发利用矿产资源和控制、治理矿区生态环境为总目标的综合技术研究。“十五”期间具体科技攻关项目应围绕以下目标组织安排：

（1）积极推广已行之有效的成熟技术，提高铁矿石采矿与选矿生产的金属回收率。要求磁铁矿选矿回收率提高 5 个百分点，达到 85%，红铁矿选矿回收率提高 5%，达到 75%；

（2）适应大型露天铁矿转入凹陷开采，要提出经济、节能与高效的综合开采技术方案；

（3）提出尾矿库安全性和较高尾矿坝体稳定性的监测技术方案及可行的防范措施和加固技术。同时，提出尾矿库复垦与植被的技术方案。争取建成 2~3 个示范点；

（4）适应生产精品钢的要求，高炉生产强烈希望提供高品位优质铁精矿。对此，应积极开展生产优质铁精矿的工艺技术研究，尽早提出可靠的技术方案；

(5) 加大二次资源综合利用配套、有效技术和开发力度，真正达到变废为宝，化害为利，减少工业废料排放量，为最终建立少废及无废生产工艺创造有利条件。所包括的内容有选矿尾矿中有价金属及非金属有用成分的提取分离技术、尾矿水的治理与复用技术，我国特有的且至今尚未利用的含钛高炉渣和含钽高炉渣的处理与利用技术，我国富有的含 Ti、V、TRE、Nb 产品的深加工技术等。

3 “十五”科技攻关项目

3.1 推广应用的成熟技术

(1) 继续推广“多破少磨”工艺流程，降低入磨粒度

在选矿生产成本中磨矿能耗占有重要份额，降低入磨粒度，“多破少磨”是降低选矿生产能耗的有效措施。

(2) 加强预选作业，推广高效预选设备

由于入选矿石贫，在入磨矿前如能将大部分废石预先排出，将会降低入磨量，相应增大磨矿能力，提高入选品位，有利于降低生产费用。已证明是行之有效的手段。高效预选设备的选择是提高预选效果的前提条件，应予注意。

(3) 高效分级技术及设备

目前，我国许多选矿厂仍然使用分级效果只有 30% 左右的螺旋分级机。国外，早已使用高效旋流器分级，其分级效率可达 60~70%。目前，已有部分选矿厂采用旋流器分级取代螺旋分级机获得满意效果，应大力推广旋流器分级技术，注意点是选择好合适型号且质量合格的旋流器。

(4) 高效浓缩技术

选矿尾矿深度低，体积量大，运送至尾矿库所需能耗较大，如能提高输送深度达 45% 以上，则有利于节约能耗。为此，应大力推广适合特定物料性质的高效浓缩技术，特别是占地面积小的高效深锥浓密机。

(5) 高陡边坡稳定性分析方法与加固技术

(6) 大区微差爆破配套技术

(7) 露天矿振动给矿装载机

(8) 地下矿多级通风技术

3.2 攻关开发技术

在推广成熟技术挖掘现有矿山及选厂的生产潜力外，“十五”期间应安排若干科技攻关课题。

(1) 大型露天铁矿经济、节能、高效运输系统开发研究

我国现有年产 300 万吨以上铁矿石的大型凹陷露天铁矿 14 座，主要运输方式是缓坡铁路或缓坡铁路—汽车联合运输，运输能力达 2 亿吨。进入深凹开采后，采场空间变小，矿岩提升高度增大，运输距离增长，由于重车上坡运输，牵引量减少，运输能力下降，运输成本增加。如能充分利用现有大型露天铁矿多以铁路运输为主的条件，对其系统改造，加陡铁路运输坡度（由 30% 提高到 50~60%），缩短运距，减少线路压矿，就可以大大降低运输成本（按克服相同高差比，铁路运输每吨成本仅为汽车运输的 50~60%）和最大限度回收矿产资源，获取巨大经济效益。例如攀枝花朱铁矿，如采用陡坡铁路运输系统改造其现有运输系统，将可降低运输费用 1.8 亿元，多回收 7000 万吨铁矿石，效益 2.1 亿元。此工艺成功后可在国内其他 13 个大型露天铁矿推广应用。

（2）深凹露天矿高效开采技术研究

重点攻关内容有：研究与运输系统相适应的高效采矿工艺；依据不同采区矿岩特性，应用岩性识别系统确定合理凿岩爆破参数；边坡稳定性分析及加固技术；应用计算机对生产调度实施智能管理，使穿爆、铲装、运输、排土各工序的设备处于优化状态，充分发挥生产效率，实现高效开采。相应开展边坡稳定性分析及其加固技术的研究。

（3）现代化地下开采综合技术

我国有年产 100 万吨铁矿石的地下铁矿 6 座，地下开采比重占 26%，大多采用无底柱分段崩落法。当前存在的主要问题是：采掘设备、铲运设备比较落后，采矿方法结构参数过小，难采矿体的开采技术尚未过关，损失贫化率高。此外，露天转地下开采，露天与地下联合开采的问题也日益突出。

地下开采综合技术研究重点应是高分段大间距的无底柱采矿方法和难采矿体的开采技术；采场地压活动规律和控制技术；巷道支护新技术；地表移动规律和控制技术；开发新型全液压采矿和掘进凿岩台车；装药车、电动或柴油铲运机等高效设备以露天转地下的开采技术。

（4）纯净铁精矿选矿生产技术

我国部分铁矿含有 S、P、 ThO_2 等有害成分，在选矿生产过程中它们富集于铁精矿中。此种含 S、 ThO_2 的铁精矿在炼铁时有的（S）进入大气，成为酸雨来源，有的（ ThO_2 ）进入高炉渣。含有放射性的高炉渣既不能利用，又难于安全堆存。因此，应力争在选矿过程中预先将其分离出来。这样不但利于资源的有效利用，也从源头上防止对环境的污染。

适应现代高炉冶炼技术发展需要，要采取得力措施，把磁铁矿选矿厂生产的铁精矿品位稳定在 68%，为高炉节能、高产、优质提供精料。

分离有害杂质还需加强高效选矿药剂的研究。

(5) 生产过程自动控制与智能调度系统

生产过程的计算机自动控制可以达到优化生产、提高指标、降低消耗、节约成本，给企业带来明显经济效益。

国外选矿厂绝大多数采用计算机集中管理和过程行动控制。据统计，采用计算机自动控制后选厂产量可提高 8~10%，电耗可降低 5~10%，生产成本可降低 10~15%。

目前我国选厂只有局部作业实行自动控制，绝大多数选厂仍然是人工调整、操作。

因此，应开展选矿厂全厂生产自动控制与智能化管理技术研究，把我国选厂生产技术水平提到一个新高度。

(6) 大型共生铁矿选铁尾矿中有价成分高效综合利用技术

经过近 20 年的努力，我们不但可以从选铁尾矿中获得高品位钛精矿（攀枝花铁矿）、混合稀土精矿和单一稀土精矿（包头铁矿），而且对铌、硼的回收利用也取得重大进展。

但是，有用成分的回收率仍然不高，例如钛为 10%，稀土为 5%。推广应用则刚刚起步，深加工产品几乎是空白。

把选铁尾矿中的 Ti, TRE, Nb, B 等有价成分最大限度提取出来，使其在我国钢铁、化工等工业中发挥应有的作用，并成为在国际上具有竞争力商品。

因此研究我国特有的含有 Ti, TRE, Nb 大型铁矿选铁尾矿中有价成分的高效综合利用技术，将会使我国特有的丰富资源优势变为经济优势，具有重要现实意义。

(7) 从尾矿中分离与提取有用成分的综合技术研究

尾矿中的非金属矿物约占 90%，其成分与许多建材、轻工、无机化工等工业使用的原料成分相近。同时它已经不需采矿、破碎、磨矿作业处理，是一种已加工成细粒的复合矿物原料。

根据市场需要，如能将其有效分离成适合建材或轻工、无机化工需要的原料，无疑将扩大资源的利用率，同时减少尾矿的堆存量，有利于环境保护。

目前的试验结果表明，利用某些尾矿制成尾矿磁肥，具有增产和改良土壤效果。其次，用某些尾矿作微晶玻璃花岗岩、玻化砖、轻质砖以及普通水泥试验也取得良好效果。

此外，某些尾矿中的石榴石是一种天然磨料，可用作造船、大型机械构件喷砂磨料以及用于彩电显象管和光学仪器研磨与抛光，还可用于耐磨路面、石油钻井泥浆加重剂。

（8）大型铁矿尾矿库、超高排土场的安全性和稳定性监测与防止溃滑的综合技术研究

修建尾矿库和排土场不但要占用土地，而且又是一项由散体物料堆成的、结构复杂、投资大的综合构筑物。现在尾矿库已达 400 余座，大小排土场已达数百座，每年营运费高达数十亿元。不仅如此，每年还有约 1.5 亿吨尾矿和 3~4 亿吨废石需要送入尾矿库和排土场堆存。许多矿山的尾库坝和排土场已接近设计容积和堆高，解决尾矿库和排土场的问题提到议事日程。

历史教训表明，由于尾矿库和排土场溃滑已发生多起伤亡事故，死亡数百人，毁坏及掩埋了数万亩农田和村庄。

大型铁矿山的尾矿库不但容积大，而且坝体高，例如攀枝花马家田尾矿库设计坝高 210m，长 1200m，总库容积 1.86 亿立方米。目前，坝高

已达 113m。该坝在建设初期由于诸种原因留有影响坝体稳定的隐患，如不采取措施综合治理，一旦溃坝，长江中下游的水系将变黑，后果不堪设想。尾矿坝稳定性研究应包括地质勘察、地震小区划研究，尾矿高（中）浓度筑坝技术、渗流分析与坝体动、静稳定性分析和尾矿坝综合技术等内容。排土场稳定性研究应包括堆排工艺、极限堆高、地基承载能力和防治泥石流等内容。

（9）尾矿库复垦与绿化综合研究

现有 400 余个铁尾矿库中已堆存尾矿 10 余亿吨（7 亿立方米），已占土地数万亩，直接污染区百余万亩，漂尘污染可达 100~200km。

大量尾矿库不但占用土地，污染矿区环境，还影响着局部生态平衡和存在安全隐患。

因此，发达国家很重视尾矿库和矿区的复垦，例如美国矿区复垦面积已达 80%，有的国家还在复垦成功的矿区植树造林、种植各种农作物。

我国矿区尾矿复垦种植起步较晚，80 年代以来在东鞍山地区铁矿、马鞍山地区铁矿、大冶铁矿等尾矿库进行过复垦试验，已获得初步成功，但尚需继续试验研究。

根据我国《土地管理法》、《矿产资源法》、《环境保护法》和《土地复垦规划》等一系列法律法规要求，“十五”期间应强化矿区及尾矿库复垦与绿化研究，建立示范基地，使这种减少环境污染、美化环境、保护尾矿资源的技术推广普及，为子孙造福。

（10）矿山生产废水综合治理与废水最大回收技术研究

我国是一个水资源不足的国家。而维持矿山正常生产又必须用水、排水。例如，全国重点选矿厂年需水 126 亿立方米，扣除可部分回用的水，年仍需新水 37.8 亿立方米。

排放废水既污染了环境，又浪费了宝贵的水资源。因此矿山废水资源化研究具有迫切性和现实性。零排放应成为奋斗目标。

国外铁矿选厂废水回用率已达 90%，我国现为 70% 左右，差距颇大。我国矿山废水回用率低的原因一是废水中固体物含量高，这些固体物颗粒微细尚无有效去除手段；二是某些废水中含残余药剂离子，他们和微细粒固体物一样干扰生产过程稳定运行，使生产指标恶化。

废水治理应从两方面着手：一是研究含固体微细颗粒和残余选矿药剂废水治理的有效技术；二是优化分选作业，最大限度利用回水。

废水治理后回用，其经济效益可观。以首钢水厂铁矿为例，现三磁尾水每小时 2000m^3 ，由于缺乏有效治理手段，全部排放。如能将其治理后加以利用，每年可增加回水 1440 万立方米，节约水费数百万元。

（11）地下尾矿库综合技术

将尾矿排入地下矿山采空区，是减少尾矿地面堆存的有效措施之一，能实现尾矿在地面上零的排放。

建立地下尾矿库的优点是可以减少在地面建尾矿库的巨额投资，不再占用土地，污染周围环境，同时还可消除采空区突发灾难性崩塌事故和地面塌陷带来的安全隐患。经济、社会与环境效益明显。如西石门铁矿现有尾矿库只够用 4~5 年，若建立地下尾矿库不但可节省建地面尾矿库投资 1.6 亿元，还可使每年 350 万元尾矿贮存营运费大幅下降。

（12）我国特有含 Ti 及 Th 高炉渣和冶炼厂含铁尘泥的综合利用与无害化处理综合技术研究

高炉渣作为矿渣水泥的原料受到厂家欢迎。然而我国特有的含 Ti 及 Th 的高炉渣却至今不能使用，只好堆存，既占用土地又污染地区环境，成为一害。

含 Ti 高炉渣产自攀钢，一般含 TiO_2 23% 左右，每年产出量约为 200 万吨，现在第一渣场将堆满，又花 2 亿元建设第二渣场。

含 Th 高炉渣产自包钢，其总 α 比放为 $3.6 \sim 6.8 \times 10^{-7}$ 居里/千克，高于国家标准 (1×10^{-7} 居里/千克) 3.6~6.8 倍。现存高炉渣中含有 TrxOy 635.200 吨， ThO_2 9984 吨， Nb_2O_5 5280 吨。

含 Ti 高炉渣如能从中把 Ti 分离出来，则不仅扩大了我国钛资源，而且也高炉渣作为水泥原料创造了有利条件。近两年实验室试验结果表明，利用选择性析出原理开发的分离新技术——选择性析出技术有可能经济有效地从高炉渣中分离出 Ti。

对含 Th 高炉渣的实验室研究表明，可以在选铁作业控制 Th 进入铁精矿数量，从而大大降低高炉渣中 Th 含量。如能研究出无害处理工艺，则不但能提取分离出 TRE, Nb, Th，而且渣也可得到利用。

钢铁厂含铁尘泥包括烧结尘、转炉尘、电炉尘等，其中除含有可利用的 Fe、C 外，有的还含有 V, Pb, Zn 等有价值金属。尘泥年产量很大，例攀钢转炉尘每年产出 6 万吨。如能将其有效处理，将会多回收有价值金属，同时明显降低对环境的污染。国外发达国家重视从尘泥中回收有价值金属，如西德每年从钢铁厂尘泥中回收 45 万吨铁，2.4 万吨锌，0.7 万吨铅。从钢铁厂尘泥中综合回收和无害化处理实验研究结果表明，采用选—冶联合流程有可能达到既综合回收有价值金属，又使其达到排放标准的目标。

综上所述，我国特有高炉渣和钢铁厂尘泥的综合利用和无害化处理已有一定基础，在“十五”期间经过努力有可能使之工程化，为全面解决提供样板。

(13) 长江流域矿山环境保护与治理

长江流域有大中型铁矿山近 10 座，他们产生的废弃物和废水是污染