

# 中国矿业现代化的战略思考

于润沧

(中国恩菲工程技术有限公司,北京 100038)

[摘要] 从掌握资源是矿业企业最基本的竞争力、构建生态矿业工程乃当务之急、信息化建设彻底改变矿山面貌三个方面阐述了我国实现矿业现代化的重要途径和发展战略。

[关键词] 中国矿业;现代化;发展战略

[中图分类号] TD 98 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)03-0027-10

## 1 前言

实现现代化是我国 21 世纪发展的目标,也是几代人的追求和梦想。矿业是人类步入文明社会的奠基石,是国民经济发展乃至高新技术产业的重要物质基础。在实现现代化的进程中,无论从保障原材料可持续供应的角度,还是从节能减排的角度,矿业现代化都处于非常突出的地位。对我国而言,实现矿业现代化的标志,最根本的就是要从矿业大国发展为矿业强国,实现资源—经济—环境相协调的可持续发展。为此必须:a. 掌控的矿产资源品种和数量能满足国家实现现代化的需求,而不存在不可控的风险和危机;b. 矿产资源开发的生产过程需是安全的;c. 矿产资源的开发不构成对生态环境的破坏,或者有确定的资金和明确的职责能及时完成生态修复与环境治理;d. 基于先进的技术、装备和管理,矿产资源开发的生产成本是有竞争力的。要全面实现这样的转变,任务十分艰巨,需要思维的变革,体制、技术、管理的创新。自然也应当看到有利因素,科技进步和社会发展已使可利用矿产资源的品位显著降低,也使深部隐伏矿、以及其他难采矿等开采条件差的资源得以经济开发利用。此外,环保要求的日益严格,成为一种强制性的促进因素。文章主要阐述金属矿业现代化的有关问题,希望对其他矿业也有

一定的参考价值。

## 2 掌握资源是矿业企业最基本的竞争力

### 2.1 国家层面的对比

我国毫无疑问地是一个矿业大国,就资源而言,我国是世界上矿产资源种类比较齐全的少数国家之一,目前全球已经发现矿产资源 200 余种,我国迄今已经发现矿产资源 171 种,其中探明储量的有 159 种。在这些矿产资源中,我国基础储量居世界前列、的有钨、钼、锑、钛、稀土、石膏、菱镁矿、重晶石、萤石等。从生产和消费角度看,截至 2010 年底,钢产量已连续 15 年居世界首位,有色金属产量也连续 9 年居世界首位。铁矿石消费量没有直接统计资料,按生铁产量换算,早在 2001 年之前铁矿石消费已据世界第一。主要有色金属的表观消费量,铜从 2001 年开始连续 10 年居世界第一,铝从 2004 年开始连续 7 年居世界第一,锌从 1998 年开始连续 13 年居世界第一,铅从 2005 年开始也连续 6 年居世界第一。这些数据表明,自 20 世纪 90 年代以来,我国工业化进入了高速发展阶段,大宗矿产品的生产和消费均快速增长。这种增长的速度需要消耗大量矿产资源来支持,于是我国的许多大宗消费矿种如铁、铜、铝、镍、钾等都已成为紧缺资源,对外依存度均在 50% 以上,有的甚至高达 70%~80%,而这样巨大的缺

[收稿日期] 2011-08-30

[作者简介] 于润沧(1930—),男,山西浑源县人,中国工程院院士,中国恩菲工程技术有限公司教授级高级工程师,北京科技大学兼职教授、博士生导师,研究方向为矿山工程设计与科研;E-mail:yurc@enfi.com.cn

口目前主要还是依靠贸易进口来弥补。这种状态表明我国非能源矿产资源的供需关系极为脆弱。要从一个资源大国转变为一个资源强国,还需要艰难地跋涉<sup>[1]</sup>。

日本是一个比我国资源更为匮乏的国家,几乎全部依靠进口,而工业化需要消耗大量的矿产资源,它是如何实现工业化并发展成为世界第二大经济体的?它在解决矿产资源大量需求方面的经验有无可资借鉴之处?日本从明治维新就开始工业化的初始阶段,1938年以前已经获得了快速发展,但由于战争的影响,是一种畸形的发展,一、二、三产对GDP的贡献相应为7.1%、85.9%和7.0%。1946—1955年是战后恢复时期,从1956年开始日本的工业化进程加快,经济进入高速增长阶段,在20世纪60年代,GDP增长达到10.12%。20世纪70年代以前,第二产业GDP一直保持两位数的增长,而且以中小企业为主,也是吸纳劳动力的主角,极大地推动了工业化的进程,70年代以后,第三产业超过第二产业并保持稳定增长。在日本工业化的过程中,综合商社的经济体制为其提供矿产资源的保证发挥了决定性的作用。下面以三井财团为例来说明其中的奥秘。

日本经济体制的特点是资源和金融的统合。三井物产是日本代表性的综合商社。作为三井财团的核心企业,三井物产的主要股东是金融机构,包括三井住友银行、中央三井信托银行、三井生命保险等;此外,三井物产还与外部大金融机构存在交叉持股关系,正是在这样雄厚且独立的商社金融支持下,三井物产才成为日本资源战略的关键执行者,高度完善了原料供应渠道。1960年前后,三井物产便开始在墨西哥、智利、加拿大、澳大利亚参与铜矿开发,并独立进行资源勘查,向矿业公司推荐优质矿源,共同开发。2001年,三井物产从CMM公司买进该公司60%具有表决权的股份,加上之前已经拥有的40%的股份,三井物产彻底并购了CMM。之后三井物产将一半的CMM股份卖给巴西当时的淡水河谷,帮助淡水河谷成功控制CMM公司。此后,三井物产继续扩展和深化与淡水河谷的合作关系并签署了战略联盟协议。2003年,三井物产出资8.3亿美元收购了Valepar公司1960.7万普通股,成为Valepar的第三大股东。而Valepar是淡水河谷的控股公司,此次收购的股份相当于淡水河谷总股份的5.05%或普通股的7.84%。由此三井物产派遣业务主管进入淡水河谷的行政委员会,事实上成为公司的经营决策者。这也是淡水河谷在世界性的铁矿石贸易

中总能和日方顺利达成一致的缘故。三井物产不仅在巴西布局,它的钢铁/金属原材料本部在全球共有17个子公司,包括澳大利亚的三井铁矿石发展有限公司、印度的Sesa Goa有限公司、澳大利亚的三井伊藤忠铁矿有限公司、美国的原材料发展有限公司、巴西的三井物产金属销售株式会社等。同时三井物产在澳大利亚、巴西、印度、智利等国还设立了三井贸易有限公司,以及其他分布在各地的12个相关联公司,构建了一个钢铁原材料的全球交易网络,直接或间接拥有大量当地铁矿石企业的权益。三井物产拥有权益比例的铁矿石控股产量已跃居世界第四位。日本钢铁行业和海运行业的重要企业,以及造船企业,都是相互交叉持股的利益共同体,从而奠定了合作趋同的基础,促使三井物产、新日铁、商船三井、丰田汽车以及其他众多的成员企业,围绕着如何获取全球钢铁产业链的主导权精耕细作,较好地解决了矿产资源可持续供应问题。日本的经验告诉我们,企业联合成利益共同体,在金融机构的主导下,力争掌握产业链的主导权比争取定价话语权更为重要<sup>[2]</sup>。

## 2.2 企业层面的对比

矿产资源是矿业企业生存和发展的命脉。前面简述过我国大宗消费的矿产资源的短缺情况,就企业而言,相互之间有些差异,但总体看来,资源的自给率是很低的。与国外矿业巨头对比,就不难看出我国矿业企业竞争力弱的基本所在。

### 2.2.1 Vale 矿产品产量和生产矿山的矿石储量

淡水河谷(Vale)是铁矿石生产巨头,目前年产铁矿石超过3亿t,球团矿近5000万t。生产矿山(不包括在建的、拟建的和勘探的矿山)保有的高品位探明和控制两级储量在160亿t以上,资源的保障程度很高,该公司除生产铁矿石外,还从事煤、镍、铜、铝等多种矿产品的生产,详见表1和表2。

表1 Vale 2010年矿产品产量

Table 1 Production of Vale in 2010

矿产品种类	产量
铁矿石/亿 t	3.078
球团矿/万 t	4 899
煤/万 t	689
镍/万 t	17.9
铜/万 t	20.7
铝矾土/万 t	1 433
氧化铝/万 t	580
铝/万 t	4.47

表2 2009年生产矿山矿石储量

Table 2 Ore reserves in 2009

矿产品种类	探明储量/万t	品位/%	控制储量/万t	品位/%	储量合计/万t	品位/%
铁矿	991 510	58.2	610 310	53.8	1 601 820	56.5
锰矿	5 250	38.2	2 140	37.0	7 390	37.9
镍矿	33 900	1.64	15 710	1.52	49 610	1.60
铝土矿	15 010	49.7	6 430	49.2	21 430	49.6
	23 050	48.5	5 820	49.3	28 870	48.7
铜矿	73 110	0.90	52 680	0.80	125 790	0.86
钴矿	19 260	0.09	7 370	0.05	30 070	0.08
贵金属矿	77 020	0.43 g/t	50 660	0.42 g/t	124 540	0.42 g/t
煤矿	53 120	—	55 610	—	108 730	—
磷矿	23 710	17.3	190	15.9	2 390	17.2
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

### 2.2.2 Rio Tinto Group 的矿产品产量和生产矿山的矿石储量

力拓集团(Rio Tinto Group)是铁矿石生产三巨头之一,虽然2010年的铁矿石产量不到2亿t,但储产比很高,生产矿山(不包括在建矿山、拟建矿山、

勘探项目的资源储量)的高品位探明和控制储量在37亿t以上,而且有色金属的产量还占很大份额,见表3和表4。

表3 2010年矿产品产量

Table 3 Mineral production in 2010

矿产品种类	产量
铁矿石/万t	18 463
精矿含铜/万t	67.8
精铜及阴极铜/万t	39.28
钼精矿含量/t	12 900
铀/万磅 U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1 138
精矿含金/万盎司	77.2
金/万盎司	59.6
精矿含银/万盎司	686.2
银/万盎司	473.2
铝矾土/万t	3 344
氧化铝/万t	908.9
铝/万t	379

注:1盎司=28.3495g,1磅=0.4536kg

表4 2010年生产矿山矿石储量

Table 4 Mine ore reserves in 2010

矿产品种类	探明储量/万t	品位/%	控制储量/万t	品位/%	储量合计/万t	品位/%	金属量
铁矿	201 600	>60	125 800	>60	327 400	>60	—
铜矿	294 000	0.84	498 100	0.73	793 200	0.77	6 107万t
铜矿含金	—	—	—	—	—	—	235.6t
铜矿含银	—	—	—	—	—	—	—
铝土矿	81 500	51.9 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	117 800	52.9 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	199 300	52.5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—
金刚石	2 400	1.7克拉/t	8 000	2.36克拉/t	10 400	2.2克拉/t	—

注:1克拉=0.2g

### 2.2.3 BHP Billiton Ltd. 的矿产品产量和生产矿山的矿石储量

必和必拓公司(BHP Billiton Ltd.)亦为铁矿石生产三巨头之一,2010年生产铁矿石1亿多t,生产矿山的储产比达30,亦均为高品位矿石,其铝和镍的生产也都占有很重要的地位,见表5和表6。

表5 2010年矿产品产量

Table 5 Mineral production in 2010

产品种类	产量
氧化铝/万t	384.1
铝/万t	124.1
阴极铜和精矿含铜/万t	107.52
镍/万t	17.62
铁矿石/亿t	1.25
冶金煤/万t	3 738.1
锰矿石/万t	612.4

表6 生产矿山矿石储量

Table 6 Mine ore reserves in 2010

矿产品种类	年度	探明储量/万 t	品位/%	控制储量/万 t	品位/%	储量合计/万 t	品位/%
铁矿	2008	194 800	56.5	168 100	59.3	362 900	57.8
铝土矿	2010	27 900	32.9	5 900	30.4	33 800	32.5
铜矿	2010	196 700	0.83	296 600	0.62	493 300	0.73
铜铀矿	2010	18 200	Cu 1.97 U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 0.59	41 600	Cu 1.78 U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 0.58	59 800	Cu 1.8 4U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> 0.59 kg/t
铜锌矿	2010	10 400	Cu 1.05 Zn 0.65	57 200	Cu 1.05 Zn 0.61	66 700	Cu 1.05 Zn 0.63
银铅锌矿	2010	2 300	Ag 297 Pb 7.5 Zn 3.7	450	Ag 210 Pb 5.5 Zn 3.6	2 750	Ag 283 g/t Pb 7.2 Zn 3.7

2.2.4 Xstrata 的矿产品产量和生产矿山的矿石储量

斯特拉达(Xstrata)公司是矿业界的后起之秀,而且发展很快,在几经成功并购之后,已经成长为矿业巨头,其生产以铜、镍、铅锌为主,生产矿山(亦不包括在建的、拟建的、勘探的在内)的储产比相应为33、20和8,详见表7和表8。

表7 2010年矿产品产量

Table 7 Mineral production in 2010

矿产品种类	产量
铜矿石/万 t	6 055
铜精矿含铜/万 t	73
阴极铜/万 t	71.5
阳极铜/万 t	68.7
铜精矿含金/盎司	271 000
镍矿石/万 t	443.2
镍精矿含镍/万 t	14.6
冰镍-铜(铷)/万 t	13.1
精矿含铜/万 t	2.9
铅锌矿石/万 t	1 951.3
精矿含锌/万 t	128.7
精矿含铜/万 t	1.8
铅块含铅/万 t	14

表8 2009年生产矿山储量

Table 8 Mine ore reserves in 2009

矿产品种类	探明储量	控制储量	储量合计
铜矿/万 t	121 900	282 800	204 700
镍矿/万 t	5 500	4 100	9 600
铅锌矿/万 t	8 200	8 200	16 400

从发展前景来看,2010年上述矿业巨头的可研和预可研项目的投入亦相当可观,详见表9。

表9 2010年预可研和可研项目的投入

Table 9 Investment for prefeasibility and feasibility study projects in 2010

矿种	项目名称	地点	费用/亿美元
Vale	铁矿 Serra Sul	巴西	112.97
	Apolo	巴西	25.09
Rio Tinto	铜矿 Salobo	巴西	18.08
	铁矿 Simandou	圭亚那	60.00
BHP Billiton	铜矿 La Granja	秘鲁	25.00
	镍矿 Pujada	菲律宾	20.00(概念研究)
Xstrata	铜矿 Tampakan	菲律宾	52.00
	La bambas	秘鲁	42.00
	Frieda River	巴布亚新几内亚	25.00
	El Pachon	阿根廷	19.00

上述列表还未涉及资源量和正在勘探的项目,但已可看出,这些矿业巨头按目前的产量资源的保障程度是非常高的,而且都不局限于一种矿种。有了这样的基础,他们便可以“呼风唤雨”,便可以操纵市场价格,除此之外,他们还掌握着海运的主导权,这就是矿业企业的基本竞争力。通过以上的对比不难看出,矿业强国需要有竞争力强的矿业企业,面临工业化对矿产资源强劲的需求,矿业企业做大容易,真正做强就比较困难,如果不解决基本竞争力问题,即使进入几百强,在国际竞争面前仍然是虚弱的。

2.3 实施全球矿产资源战略

我们的矿业企业如何提高自己的国际竞争力?

首先,从观念上要十分明确,作为矿业企业,其基本竞争力是掌握资源,尤其是优质资源,在资源不落实的局面下,仅仅依靠强化冶金产能,把产业做大是无法持续的,也难以参与国际竞争。近几年不少企业在这方面已经开始有了一些可喜的转变。

其次,纵观发达国家的工业化历史,没有哪一

个国家是完全依靠自己的资源实现工业化的,因此实施全球矿产资源战略就成为自然的趋势。近十年来,我国企业“走出去”进行金属矿产资源勘查、开发逐渐步入发展的快车道,取得明显的业绩。在境外勘查方面,山东地矿局、华北地勘局、河南地矿局等57个地勘单位2001—2008年在南美、澳大利亚、非洲及中国周边国家共执行勘查项目159项,涉及铝土矿、铁矿、铀矿、铜矿、多金属矿、金矿、铅锌矿等诸多矿种。在参股、并购、买矿方面,自从1987年中钢集团公司与澳大利亚哈默斯利铁矿有限公司合资开发恰那铁矿迈出第一步之后,经过20多年来三个不同的发展阶段,到目前为止,在铁矿方面,包括在建的矿山已拥有境外铁矿石产能约1亿t/a,以及相应的资源储量。在铜矿方面,从1998年收购谦比西铜矿开始,先后已有10多笔铜矿交易,因无确切数据,估计已拥有铜金属资源量3500万~4000万t,此外,还有五矿集团与波兰、智利、保加利亚签署的长期供货合同。在铝土矿、镍矿、铅锌矿、金矿方面也有一定的进展。与此同时也积累了不少宝贵的经验教训。

实施全球矿产资源战略分国内和国外两个方面。

国内主要是加大勘探投入。国家层面重点在新区找矿,根据创新的成矿理论,已提出803个成矿找矿的预测区,并优选出了214个矿产勘查区,列入国土资源部及各省的勘查规划与计划中。到2004年底,有45个靶区已取得较好的验证结果,共发现矿床(矿产地)110处,有的已转入商业性勘查阶段。但是矿产勘查工作还是以找大型的几百米深的隐伏矿床为主,因此需加强对国土范围内系统的深部地壳、上地幔的调查。国内目前还缺乏深部隐伏矿体精确定位的技术方法,同时低成本的深部勘查仪器设备的欠缺也限制了大范围地开展深部钻探。企业层面重点是在生产矿山深部和周边探寻新的资源。我国大部分矿山还在500~800m以上生产,一些矿山的实例表明,深部找矿的前景是乐观的。但是从目前掌握的资料看,紧缺资源的对外依存度很难有根本性改变。

国外发展最重要的是投资方式取向和国际化人才的获得。国际并购是企业迅速壮大,增强竞争力,同时获得优势资源、先进技术、国际化人才和先进管理经验的捷径,也是利用并购的企业进一步发展的良策。在国际金融危机期间,为国际并购提供了良

好的机遇,其难度主要在于获得东道国的理解和后期的整合。2009年以来,我国企业参与境外矿产资源并购的力度明显加大,参与固体矿产资源并购谈判签约的已有二十余起。少参股多包销是矿产资源极度匮乏的日本实现工业化的经典战略。这种投资取向投入少、风险小、企业有利,国家收益更大、非常有助于解决资源紧缺的燃眉之急。日本虽然资源对外依存度极高,但是日本的资本早就渗入到了世界各地的矿产资源和跨国矿业公司,在很大程度上可以对冲掉进口矿产品特别是在高价位时进口矿产品的代价,优势显而易见。我国在少参股多包销方面也有一些成功的范例,如金川公司2004年投资500万美元与澳大利亚Sally Malay公司共同开发Sally Malay镍矿,并包销该矿全部产品,每年可购得8万t镍精矿。金川公司2007年还出资3850万欧元,收购了Allegiance Mining NT 10.4%股份,并签署了Avebury矿的产品包销权。但由于我国央企总有通过控股或全资做大做强指导思想,这方面的范例为数还不多。此外就是正常的获取探矿权或采矿权。从草根勘查开始,虽然属于风险勘探,但投入少,有可能获得较好的资源,也有的采取合资勘探模式,将来一旦投入生产则包销产品。风险勘探周期较长,从勘探、建设到生产出产品,一般需要5—10年时间,适合于长远投资。采矿权有3种类型,一种是新建矿山,一种是停产矿山复产,另一种是正在生产的矿山,各有特点。

不论采取哪一种投资取向,开始都需要对项目进行非常认真的风险评估,提出抵御风险的对策,这一点是目前我国企业做得较差的,在普遍缺乏国际化人才的情况下,问题尤为突出。不同的投资取向,风险评估的内容也不一样,对于矿业企业,最主要的风险评估包括以下几个方面。

1)资源风险评估主要涉及:资源的可靠程度(勘探程度,品位分布情况,初期有无可能开采高品位矿段,远景资源的希望);矿床中含有害杂质情况;目前有无条件做可选性试验;有无不利的开采技术条件,预期生产规模的可行性和合理性;基建期的长短;勘探过程所提供的地质、水文地质、矿岩岩石力学性质资料深度。

2)建设条件评估主要涉及:交通运输状况及价格水平;供电、供水情况;气象条件;地震级别;厂址选择的难易程度;有无泥石流、飓风海啸等影响;周边工业发展状况,有无采矿业,劳动力来源;辅助材

料可供性;对生态环境本底的初步了解,根据当地对环境保护的要求,满足环保要求的难易程度。

3)经济风险评估主要涉及:市场基本供需状况;金属价格变化周期及预期;项目应盈亏平衡点的价格水平,可采储量消耗掉一半之前收回全部投资的价格水平;利率、汇率变动;通货膨胀及金融危机;企业竞争能力(生产规模、产品质量、成本优势,销售渠道,物流控制)。

4)政策风险评估主要涉及:东道国政府的财政、货币、外汇、税收、环保、劳工、资源政策的调整;国有化征收。

5)政治风险评估主要涉及:政局变化;战争或武装冲突;恐怖袭击或绑架;社会动乱;民族、宗教冲突;治安犯罪。

改革开放30多年来,中国企业“走出去”也摸索到了一些宝贵的经验。中国企业能够在陌生的国度立足并获得发展,除了这些企业员工能吃苦、敢拼搏,更重要的是,这些企业在不断地寻找“本土化”钥匙,依据我国境外投资体现互利双赢、共同发展的方针,把自身的发展同当地社会经济发展紧密结合在一起,休戚与共。“本土化”进程中产权形式可以多样化,独资企业“本土化”,可能需要更长的时间;合资是企业“本土化”的楔子,能够在较短时间内有效地融入当地经济社会,整合当地生产要素,便于抵御风险,迅速组织生产,实现企业良性运营。

许多进入中国的跨国公司,基本奉行员工逐步“本土化”的政策。我们目前还非常缺乏国际化人才,因此在高管层吸纳国外的优秀职业经理人才,在当地逐步推行管理层“本土化”,应当是迅速提高我国企业国际化水平的捷径,值得我们思考、研究。

### 3 构建生态矿业工程

#### 3.1 对采矿业发展的反思

国家的工业化高速发展阶段,矿产品的消费与GDP增长的正相关性非常高。随着矿产品生产和消费量的迅猛增加,我国的经济得以持续高速发展,同时也使一些经济不发达地区得以依靠矿产资源的开发利用实现脱贫致富。然而由于缺乏工业过程生态化的理念,缺乏现代生态经济的思想,同时也受局部经济利益的驱动,导致生态系统恶化和环境严重破坏。矿产资源开发带来诸多生态和环境问题,包括植被和地貌景观破坏、耕地减少、地质灾害等。由于矿山开采,每年占用和破坏土地数十万公顷,产生

固体废物上百亿吨,有的企业甚至将未经处理的废水排入江河湖海,造成区域性的重金属污染,加之诸多老矿山环境问题历史欠账,又缺乏治理资金,尽管国家对环境保护极端重视,将其定为基本国策,从20世纪80年代开始制定了许多保护生态环境的法律法规、目标及对策措施;不少部门也做出诸多努力,已有无废矿山、花园式矿山、以及复垦植被的示范性工程存在,但从全局来看,仍处于局部改善、整体恶化的发展态势。据资料报道,截至2005年年底,全国矿山开采共引发地质灾害12379起,死亡4251人,地面塌陷面积约35.22万 $\text{hm}^2$ ,造成直接损失161.6亿元。因此构建生态矿业工程对实现可持续发展具有非常重要的现实意义,是矿业现代化必须解决的问题。

生态工程这一新的科学概念从提出到现在只有40多年的历史,其目的就是解决社会经济发展和生态环境保护相协同的问题,亦即可持续发展问题。生态矿业工程是它的一个分支,是建立在生态平衡环境友好基础上的。生态系统包括生物和环境两个方面,自然界的生态系统依靠自身的调节保持着动态的平衡,当外来干扰因素超过一定限度时,生态系统自我调节功能便会受到损害,导致生态失衡,乃至生态破坏,同时也危及人类的正常生活,甚至带来灾难。

生态矿业工程就是当人类开发矿产资源引起自然生态平衡遭受破坏时要建立人为的生态平衡,也就是人类有意识地、理性地同时依靠法律、政策法规安排能满足人类对矿产资源需求和生态、环境系统承载能力的工程部署与实施,达到可持续发展的目标。这也是科学发展观在矿业工程中的具体体现。强调“有意识地”、“理性地”是要求人们树立工业过程生态化的理念,做到在矿业项目规划、立项、设计、施工建设、生产、闭坑的全过程,将环境保护和环境治理、生态修复融为项目的有机组成元素,保证各阶段的资金投入,落实各阶段的社会责任。强调“法律和政策法规”是要求通过制定和严格执行法律和政策法规明确各阶段的社会责任,并使环保行动从非经济行为变为经济行为,从末端治理变为源头控制,真正做到有效监督和严格奖惩,真正做到经济发展与生态平衡相协调。生态采矿工程的理论框架如图1所示。

矿产资源开发之前的生态环境本底调查是构建生态矿业工程的基础,这项工作必须委托有资质的

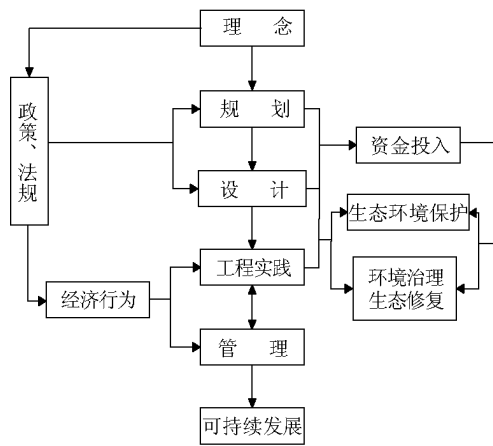


图1 生态矿业工程的理论框架图

Fig.1 Framework of eco-mining engineering

单位和有资质的专家学者来完成。其内容主要包括：环境空气质量现状评价，地表水环境质量现状调查与评价，地下水现状监测与分析，生态系统类型及特征调查，植物区系级特点调查分析，野生动物资源及水生生物，调查与分类评价，土壤环境质量现状调查等。

在此基础上，分析研究矿产资源开发可能诱发的对上述生态和环境状况的干扰与破坏，从而首先制订从源头上控制干扰和破坏的技术路线与措施，这样很可能会导致基建投资的增加，但与生态破坏、环境污染的成本相比，应该说是合理的；在确实无法从源头上控制时，要尽早落实、及时进行环境治理和生态修复的技术方案并计算出不同阶段所需资金，根据具体情况分别纳入基建投资的环保基金或记入生产成本<sup>[3]</sup>。

### 3.2 生态矿业工程的发展模式

根据我国生态系统的现状，构建生态矿业工程可分为几种类型：

1) 新建矿山。首先要研究建设无废开采的可能性，即立足于循环经济模式、强化资源综合利用（包括非金属矿物）及废料资源化，做到不建尾矿库，不设废石场，无外排不达标废水等。对于金属品位高尾矿产率低的地下开采矿山，如铁矿、铅锌矿等有可能实现。地处南京栖霞山风景区的南京铅锌银矿已成为这方面的示范工程。该矿从一开始就走了一条清洁生产之路，不需设尾矿库和废石场，在生产过程中，除最大限度地提高选矿回收率以降低尾矿产率外，采用尾矿充填采空区，并将多余的尾矿经浓缩脱水后外销，用做水泥辅料，掘进废石同样也用于

充填采空区，废水实现了100%回用于选矿生产。并且一直通过科技创新，不断完善、提高其工艺技术水平，达到了“既采矿又保护风景区”的目的。

在进行露天开采与地下开采方案比较和地下开采采用崩落法与充填法方案比较时，都要计算造成生态环境损失和环境治理、生态修复的成本，选择真正符合资源—经济—环境相协调的方案。在此基础上探寻废料资源化的途径，尽可能做到减少废料排出，并实现废水零排放。对于排出的固体废料，应尽量早、及时进行复垦治理。有采空区内排可能的矿山，应按内排设计实施，同样需尽早、及时进行复垦治理。

2) 对于生产矿山。参照国外的经验，生产矿山可以通过编制和实施闭坑规划（设计）体现生态矿业工程的思路。近几年来国外对矿山闭坑规划的重视程度日益增强，每年举办一次国际学术会议，从政府制定法规、条例，矿山严格履行，矿业破坏生态环境的问题有望逐步好转。下面举一矿山实际案例加以说明。

Antamina 是秘鲁的一座露天铜矿，由必和必托公司、斯特拉达、泰克、三菱合资经营，各方所占股份比例相应为33.75%、33.75%、22.5%、10%。日产矿石70 000 t。地处4 100~4 700 m 标高处。2001年4月开始生产，目前预计开采到2024年。2003年秘鲁议会通过了矿山闭坑条例（Ley N° 28090），同时建立了公共听证会制度，要求矿山闭坑设计达到预可研的深度。Antamina 委托能源矿业部认定 Klohn Crippen Berger 公司完成闭坑规划。

闭坑规划依据政府相应的法律、法规、条例，包括闭坑目标、闭坑参数、闭坑规划的实施、预算和财务保证等内容。

矿山闭坑规划的目标：满足秘鲁有关法规、条例的要求；满足环评的要求和承诺；履行与第三方的承诺，闭坑设计应使长期维护工作量最少；与 Antamina 合作者环境目标一致，遵守健康源泉标准，无力稳定性应尽可能与潜在风险评估一致；强制性的腐蚀控制，强制性的地球化学稳定性控制，以减少酸性水的形成；土地与水和矿用相协调。

矿山闭坑规划参数：应与法律要求、技术实践和 Antamina 合作者的政策一致。矿山停止生产后，所有设施必须拆除和取消，全部设施、设备的回收价值为零。对废石场进行外形修整并恢复植被。对尾矿库防治土壤侵蚀、空气污染和酸性水产生。物理

稳定性:尾矿库的安全系数在静态条件下为 1.5,在地震条件下为 1.15。废石场库的安全系数在静态条件下为 1.3,在地震条件下为 1.1。露天矿的安全系数在静态条件下为 1.3,在地震条件下为 1.1。地球化学稳定性:废水排放及受体按照秘鲁水标准和 Antamina 环评以及毒理学研究;露天矿按本底研究的对比;尾矿库蓄水按废水排放质量。水文稳定性:按 200 年一遇设计。恢复植被:按所用土壤类型。复垦:水生环境的复垦按受体条件,废石场恢复植被。社会责任:按 Antamina 的社会责任计划。后闭坑阶段参数:地表和地下水监测,第一次雨季后的维护,邻近社区的社会监测,对水和土壤的环境评价。

闭坑规划分 4 个阶段实施:临时闭坑,因某种原因需临时停产,日后将恢复;逐步闭坑,在最终闭坑之前,生产的同时实施部分闭坑设计;最终闭坑,采矿公司停止其一切生产活动;后闭坑阶段,最终闭坑后的维护和监测活动。各阶段都有许多不同的内容和要求<sup>[4]</sup>。

闭坑费用的来源一般有两种可能,其一是从产品销售收入中按一定比例提作专用基金,再则是刚开始生产的矿山用部分矿石价值资产和矿石储量抵押贷款,随着生产的发展,以部分产品形成的基金取代。Antamina 的逐步闭坑的环境治理从 2021 年露天矿结束开始,最终复垦从 2025 年开始到 2029 年止,后闭坑阶段计划需 20 多年。逐步闭坑活动需要全部闭坑费用的 45%,最终闭坑活动 38%,后闭坑活动 16%,所有各项承诺均列入预算<sup>[4]</sup>。

历史上已闭坑的遗弃矿山则应由政府出资治理,据前几年的调查资料,全国需部署矿山地质环境治理工程 212 个,治理矿山 15 678 个,其中近期应开展治理的 7 080 个。如有可能,也可按照谁出资谁受益的原则部分通过社会融资解决。加拿大各省在处理此类问题方面都有可资借鉴的法规和经验。

从上述案例可知,通过实施闭坑规划解决生产矿山生态修复环境治理问题,效果是好的,但首先需要政府立法并制订实施细则条例,重要的是解决财务保证和有效监督。

#### 4 信息化建设彻底改变矿山面貌

党中央对“十二五”规划的建议就提出了“全面提高信息化水平”的战略决策,从其重要意义和推动的难易程度衡量,信息化建设是一把手工程,矿山信息化建设的目的就是构建数字化矿山。

到目前为止,关于数字化矿山还没有一个确切的公认的定义。数字化矿山涵盖由初级到高级的三个层次:矿山数字化信息管控一体化系统,虚拟矿山(数字矿山)与远程遥控和自动化采矿。

数字化矿山具有如下特征:矿山作为一个劳动对象不断变化的生产企业,信息隐蔽、难以预测,很难进行精确的量测与控制。因此从信息采集、传输、处理、集成、显示到应用于生产过程自动控制,涉及领域非常广泛,需要多学科交叉、创新,积累。应当认识到,数字化矿山是矿业发展的目标和方向,而不是一项具体的工程。

矿山数字化信息管控一体化系统包括 8 个子系统,即矿区地表及矿床模型三维可视化信息系统,矿山工程地质、矿区水文地质、岩石力学研究、数据采集、处理、传输、存储、显示与探采工程集成系统,矿山规划与开采方案决策优化系统,矿山主要固定安装设备运转状态信息及自控系统,生产环节工业电视监控与调度系统,矿山环境变化及灾害预警信息系统,下井人员及移动设备定位、跟踪安全系统,矿山生产经营管理及经济活动分析信息系统。这些系统可以有选择性地建立,也可以统一规划分步实施。

矿山数字化信息管控一体化系统实施的效果可以实现决策最优化、管理科学化、生产高效化、安全增强化。

在上述信息系统的基础上,增加实时动态响应和更广泛的集成,运用多媒体、模拟、仿真、虚拟技术使真实矿山整体及其相关现象实现数字化再现,便成为虚拟矿山(数字矿山)。在这个人工环境中使人具有身临其境的感觉。通过它可以直观地了解矿山系统所涉及的动态信息,以及多源信息之间的关联,从而为生产经营管理决策、开展科学研究等创造更有利的条件。

数字化矿山的最高层次是远程遥控和自动化采矿。人们坐在距离采矿场遥远的地面控制室内,依靠地面、井下通信系统,实时自动定位、导航技术操纵智能化采掘设备完成采矿作业,即采矿办公室化。远程遥控和自动化采矿的理论框架如图 2 所示。

远程遥控和自动化采矿目前的技术进展情况,总体来看,矿业发达的国家如加拿大、瑞典、芬兰、智利、南非、印度尼西亚、澳大利亚等为此不懈努力,已奋斗了 20 多年,获得了丰硕的成果。目前我国尚属空白。

在凿岩方面,从地面遥控的自动化凿岩(包括



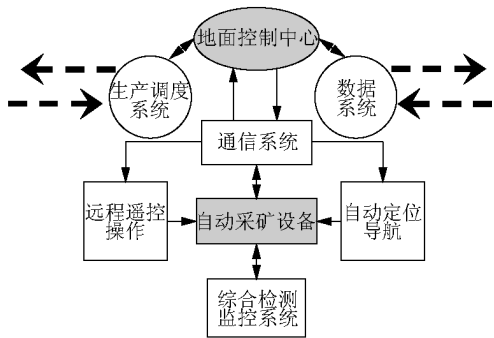


图2 远程遥控和自动化采矿的理论框架

Fig. 2 Framework for remote control and auto-mining system

掘进工作面凿岩和深孔采矿凿岩)已经实现,并且在试验矿山生产中得到应用。可以连续自动完成掘进工作面一个循环的炮孔或深孔采矿工作面一排扇形炮孔的凿岩。凿岩精度得到提高,工时利用显著增加,操作人员大幅减少,但设备移动就位和维修仍需工人下井直接干预。

LHD和运输设备自动化发展较快,应用也较普遍。司机在地面控制室内操控,远程遥控铲装,自动行驶、卸载、再返回指定装矿点,单人操纵多台设备,随时切换运行模式,生产区封闭,实行交通管制。自动化LHD和运输设备车载导航、通信、视频、安全及远程操作系统(包括摄像头、矿山局域网天线、激光扫描器、模式显示灯、视频箱和ACS箱、矿山局域网和InfraFREE导航计算机)。

地下通信系统已很完善,以工业以太环网和由电视网络主干、无线电传送器和漏泄同轴电缆及光纤组成的地下矿山通信网,在实验矿山生产中应用多年。

关于自动化装药和爆破,加拿大的采矿自动化计划预定研制电子雷管和起爆系统与可重复泵送、可变密度、可变能量的散状乳化炸药系统,根据凿岩时提供的岩石性质数据,能在不同炮孔装填不同密度、不同装药结构的炸药。这一项目遇到不少困难,但研究工作仍待继续进行。芬兰的智能矿山计划也有类似的设想。

撬毛和支护虽然也是危险性较大的作业,但有关这些作业自动化信息的报道很少。

目前已有七、八个国家建立了远程遥控和自动化采矿的示范采区,一直正常生产,并且积累了丰富的经验。由于这是矿业发展的宏伟目标,所以异常引人瞩目。其中以采用自然崩落法的矿山以其生产

工艺相对比较简单成为自动化采矿发展较快也能连续生产的矿山。例如:

1)智利El Teniente铜矿。这是目前世界上生产规模最大的地下矿山,日出矿137 000 t。其Pipa Norte采区实现了自动化出矿。控制室设在地表距生产区约15 km处,由两名工人操纵3台17.5 t 0010C型智能化LHD在自然崩落法盘区15条出矿巷道188个装矿点中出矿,日出矿10 000 t。首先遥控LHD装载,然后切换到自动模式,LHD自动运行到矿溜井卸载,之后再自动运行到下一个指定的装矿点。如溜井上有不合格大块,控制室内遥控操作溜井口的液压碎石机将其破碎。这一采区从2004年开始采用Sandvik公司的AutoMine系统实现自动化出矿,现在正在建设另一自动化采区Diablo Regimiento,计划日出矿28 000 t。

2)南非Finsch金刚石矿,这也是采用自然崩落法和Sandvik公司AutoMine系统的地下矿山,生产规模为年出矿350万t。该矿采用5.4 m<sup>3</sup> Toro 007型人工操作的铲运机装矿、6辆50 t Toro 50D型全自动化卡车运输的生产系统。铲运机装完矿后,在5个卸矿点之一直接将矿石卸入卡车。

3)印尼Grasberg深部矿带,由P. T. Freeport Indonesia经营,采用自然崩落法采矿,放矿柱高度达350~500 m,Elphinstone LHD 15台,Elphinstone和Toro型卡车6辆,采用Modular Mining Inc.的Intellimine调度系统。

此外,瑞典LKAB所属基鲁纳铁矿采用分段崩落法,是应用自动化技术最早的矿山。早在1970年,其主运输水平的电机车运输就实现了从坑内控制室遥控装载和无人驾驶自动运行与卸载。1995年凿岩台车Simba 469 W投入使用。该台车由775 m水平的控制中心遥控,一排扇形孔的8~10个炮孔由台车自动凿岩,最深的炮孔为50 m,凿岩完成后由人工移位。目前已在生产中应用了5台Atlas Copco Simba 469 W和2台Tanmrock DataSolo 1069智能台车。1999年实现出矿LHD Toro2500Es半自动化作业,除铲斗装载遥控操作外,运行和卸载均进入自动运行状态。

加拿大原国际镍公司系发展远程遥控和自动化采矿技术的先行者,早在20世纪80年代,就创立了“连续采矿系统”在铜崖北矿进行试验。1996年又实施为期5年的采矿自动化计划(MAP),投资2 700万美元,在铜崖北矿175矿体和福如德-斯托

比矿进行试验。到2000年11月,除遥控装药技术外,MAP的技术目标均已达到。福如德-斯托比镍矿从1996年开始采用自动化采矿,已持续十多年。该矿采用两种采矿方法:VRM(即大孔采矿)法和分段崩落法,采用2台ST8B LHD(Robo Scoops)、3台Tamrock DataSolo 1000 LHD、1台Wagner 40 t卡车均由地面控制室操作,日出矿10 000 t。

山德维克公司近期开发的车载AutoMine-Lite系统用于小区域的视频和无线电遥控,能较灵活地用于自然崩落法以外的采矿方法,面包车可移动到不同的采区或采场封闭区域附近,接通控制线路后,便可操纵智能设备运转,作为自动化采矿的初级补充方案,易于推广应用。

自动化采矿的经济和社会效益:a.彻底解决矿山生产的安全问题;b.极大地提高劳动生产率,降低生产成本,使企业在金属市场不景气情况下仍处于竞争优势地位;c.降低能耗,提高设备工时利用率;d.由于劳动生产率的提高,能耗的大量降低,生产成本的下降,对我国大量贫矿的开采极为有利;e.有利于更准确地控制放矿;f.实现自动化采矿,将带动相关产业链的发展,也会使矿工的社会地位发生根本性的转变。

如果以整体矿山实现远程遥控和自动化采矿为目标,目前所达到的水平仍处在婴幼儿期。许多矿山面临开采深度增加、开采条件恶化、矿石品位降低、市场价格波动和安全标准提高等困境,远程遥控和自动化采矿技术对摆脱这种困境能发挥重要作用,在今后20多年里,这些技术必将逐步发展成熟,并

将矿业带入一个全新的领域<sup>[5]</sup>。

## 5 结语

我们应当为明天采矿远景的实现未雨绸缪。我国在这方面已落后发达国家最少十多年,借鉴国外先进技术,在有可能引进技术的情况下,采取引进—消化—吸收—再创新的技术路线,要比重复别人已经走过的路去研发速度快,效果好。我国的金属矿山数量达十多万,从具体国情出发,要求不可千篇一律,实现矿业现代化建立矿业强国的主力是重点的大中型矿山。

建设远程遥控和自动化采矿体系初期投入较大,一般是从建立示范采区起步,它不是着眼于眼前的利益,它是服务于矿业的长远发展,着眼于建设矿业强国,着眼于实现采矿办公室化的理想,成就有远见卓识的企业领导人富国强民的抱负。

## 参考文献

- [1] 国土资源部信息中心. 2008—2009世界矿产资源年评[M]. 北京:地质出版社,2010.
- [2] 白彝民. 瞄准日本财团—发现中国的对手与榜样[M]. 北京:中国经济出版社,2010.
- [3] 于润沧,唐建,刘育明. 构建生态矿业工程[J]. 中国矿业 2008,17(增刊):21-23.
- [4] Mendoza A. Antamina closure plan: a top-level practice [C] // Proceedings of the Fifth international Conference on Mine Closure, Chile, 2010.
- [5] 于润沧. 采矿工程师手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.

# Strategic consideration on China's mining modernization

Yu Runcang

(China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

[Abstract] The paper explores three important points and development strategies for realization of mining modernization. To control resources is the basic competitive power; constitution of mining-ecology engineering must be enforced for mining enterprises; information building would completely change the mine feature.

[Key words] China's mining; modernization; development strategy