第一章　矿产资源战略评价的由来

§1.1 中国矿产资源的现状及产业发展

中国现已发现171种矿产资源，查明资源储量的有158种，其中石油、天然气、煤、铀、地热等能源矿产10种，铁、锰、铜、铝、铅、锌等金属矿产54种，石墨、磷、硫、钾盐等非金属矿产91种，地下水、矿泉水等水气矿产3种。矿产地近18 000处，其中大中型矿产地7 000余处。

1.1.1 中国矿产资源禀赋特点和勘查、开发利用与保护现状*

（1）中国矿产资源的基本特点是：

——资源总量较大，矿种比较齐全。中国已探明的矿产资源种类比较齐全，资源总量比较丰富。煤、铁、铜、铝、铅、锌等支柱性矿产都有较多的查明资源储量。煤、稀土、钨、锡、钼、锑、钛、石膏、膨润土、芒硝、菱镁矿、重晶石、萤石、滑石和石墨等矿产资源在世界上具有明显优势。地热、矿泉水资源丰富，地下水质量总体较好。

——人均资源量少，部分资源供需失衡。人口多、矿产资源人均量低是中国的基本国情。中国人均矿产资源拥有量在世界上处于较低水平。金刚石、铂、铬铁矿、钾盐等矿产资源供需缺口较大。

——优劣矿并存。既有品质优良的矿石，又有低品位、组分复杂的矿石。钨、锡、稀土、钼、锑、滑石、菱镁矿、石墨等矿产资源品质较高，而铁、锰、铝、铜、磷等矿产资源贫矿多、共生与伴生矿多、难选冶矿多。

——查明资源储量中地质控制程度较低的部分所占的比重较大。查明资源储量结构中，资源量多，储量、基础储量少；经济可利用性差或经济意义未确定的资源储量多，经济可利用的资源储量少；控制和推断的资源储量多，探明的资源储量少。

——成矿条件较好，通过勘查工作找到更多矿产资源的前景较好。石油、天然气、金、铜等矿产资源的找矿潜力很大。老矿山深部、外围和西部地区是

* 资料来源：《中国矿产资源改革》白皮书，2003年。

重要的矿产资源接替区。

（2）中国矿产资源的勘查、开发利用与保护现状：

新中国成立以后，中国政府大力加强地质工作，明确要求地质工作要走在国民经济建设的前面，提出了“开发矿业”的战略方针，并在每个五年计划期间，都对矿产资源勘查开发作出了部署，矿产资源勘查开发得到了极大的发展，使中国逐步成为世界矿产资源大国和矿业大国。矿产资源勘查开发为经济建设提供了大量的能源和原材料，提供了重要的财政收入来源，推动了区域经济特别是少数民族地区、边远地区经济的发展，促进了以矿产资源开发为支柱产业的矿业城市（镇）的兴起与发展，解决了大量社会劳动力就业，为国民经济和社会发展作出了重要贡献。

——相继发现和探明了一大批矿产资源。以大庆油田为代表的一大批油气田，使中国由一个贫油国转变为世界上主要产油国之一。发现和扩大了白云鄂博稀土金属矿、德兴铜矿、金川镍矿、柿竹园钨矿、栾川钼矿、阿什勒铜矿、焦家金矿、玉龙铜矿、大厂锡矿、厂坝和兰坪铅锌矿、东胜－神木煤田、紫金山铜金矿、羊八井地热田等一批重要矿床。发现和探明了一批重要地下水供水水源地。西部地区矿产资源集中区逐渐显示出良好的找矿前景。在一批老矿山外围或深部找到了新的资源。新一轮国土资源大调查陆续取得一批成果。50 多年的矿产资源勘查工作，使中国从矿产资源家底不清到成为世界矿产资源大国。

——矿产资源开发规模迅速扩大。1949 年，中国保留比较完整的矿山仅 300 多座，年产原油 12 万 t，煤 0.32 亿 t，钢 16 万 t，有色金属 1.30 万 t，硫铁矿 1 万 t，磷不足 10 万 t。经过 50 多年的努力，中国先后建立了大庆、胜利、辽河等大型石油基地，大同、兖州、平顶山、“两淮”、准格尔等煤炭基地，上海、鞍山、武汉、攀枝花等大型钢铁基地，白银、金川、铜陵、德兴、个旧等大型有色金属基地，开阳、昆阳、云浮等大型化工矿山基地，形成了能源与原材料矿产品的强大供应系统。一大批矿业城市拔地而起，促进了中国的城市化建设。目前，中国的矿产品产量、消费量居世界前列。2002 年，中国共有大型矿山 489 座，中型矿山 1 025 座，小型矿山和砂石粘土采场 14 万多处，从业人员 907 万人。矿业产值 4 542 亿元。生产原油 1.67 亿 t，天然气 327 亿 m^3。矿石和砂石粘土采掘量 48.49 亿 t，其中：原煤 13.80 亿 t，铁矿石 2.31 亿 t，磷矿石 2 301 万 t，十种有色金属产量 1 012 万 t。目前，中国原煤、钢、十种有色金属和水泥产量居世界第一位，磷矿石和硫铁矿产量分别居世界第二位和第三位，原油产量居世界第五位。国有矿山企业是中国矿产资源开发的支柱，也是能源、原材料工业的稳定供应基地。原油、天然气和 36％的其他矿石产量都来自 7 679 个国有矿山企业。国有矿山企业不仅为工农业发展奠定了基础，而且为提高人民生活水平和综合国力作出了重要贡献。

——矿产资源保护和合理利用水平逐步提高。50 多年来，中国物探、化探、遥感、钻探、坑探等矿产资源勘探技术和实验测试、计算技术取得了很大进展，提高了矿产资源勘查的科学技术水平。矿产资源综合利用和回收利用成效明显，资源利用率逐步提高。目前，中国废钢的回收率为 40％，废旧有色金属的综合回收率为 27.70％，铂族和稀散元素几乎全部来源于综合利用，近 1/3 的硫酸原料也是由有色金属生产过程中综合回收。一些矿山企业对与煤伴生的瓦斯、油页岩、高岭土、高铝粘土进行综合开发，对煤矸石、粉煤灰进行加工利用，产生了较好的经济效益和环境效益。

——矿产品对外经济贸易快速发展。2002 年中国矿产品及相关能源与原材料进出口贸易总额为 1 111 亿美元，占全国进出口贸易总额的 18％。原油、铁矿石（砂）、锰矿石（砂）、铜精矿、钾肥进口量较大。铅、锌、钨、锡、锑、稀土、菱镁矿、萤石、重晶石、滑石、石墨等优势矿产品的出口量较大。中国矿产资源领域的对外合作不断扩大。通过海洋油气资源对外合作勘查，陆续发现了一批新的油气田，海洋油气产量逐年增加。到国外勘查开发油气资源已具一定规模，到国外勘查开发固体矿产资源也已开始。在煤层气领域与一些国家建立了长期的研究开发合作关系。

1.1.2 中国矿产资源产业发展中的可持续发展问题

在我国矿产资源产业发展过程中，也存在着一些与可持续发展战略不相协调的隐患，主要表现在以下方面：

（1）长期以来，资源分配上的指令配置模式导致矿产资源区域开发不合理，最终影响区域的协调发展。

中国矿产资源具有明显的空间分布特征。主要表现在：①遍在性程度高且收敛特征明显。根据对中国 20 种关键矿种的遍在性分布程度分析，遍在性高、中、低和极低的比例为 5∶2∶3∶0。其遍在性存在着由传统、现代和新兴逐次下降的明显趋势，收敛特征明显，如煤、石油和天然气的遍在度为 0.94、0.58、0.48。②多样化特征明显。总体而言，中国能源资源的 80％左右分布在北方；化工矿产资源的 80％分布于南方诸省；铁矿资源的大部分蕴藏于北方东部地区，有色金属的 60％～70％以上则集中在长江流域及以南地区。若按三大地带的划分，东部地区在铁、石油、铅、锌、金和硫矿等矿种的资源有一定基础；中部地区在煤、石油、铜、铝、金、硫和磷等矿种有较好的资源基础；西部地区的矿产资源、有色和非金属资源基础可观。③组合结构不尽理想。中国三大能源矿种煤、油、气的资源地域组合为 1∶0.02∶0.000 7，世界水平为 1∶0.14∶0.014；三大关键金属矿种铁、铜、铝的资源地域组合为 1∶0.001 5∶0.05，而世界水平为 1∶0.05∶0.5，与全球水平差距很大。

受计划经济的影响，经济转轨前，我国多数资源产品是采用国家直接定价的办法，经济转轨之后，国家逐步对一些工业产品价格放开。鉴于我国长期存在的能源和矿产原材料工业产品价格偏低，而加工产品价格偏高，国家相继逐步提高基础工业产品价格，以使所有工业品生产的资金利税率趋于均衡。但是，矿产资源开发受资源有限性的约束，其边际生产成本不断提高，而收益却不断递减，表现出了非常明显的资源价格扭曲。我国对价格偏高或偏低产业的传统宏观调控办法是，通过国家调控部门，如财政部、国家计委等，将盈利偏高产业的利税，以亏损补贴的形式“返还”给盈利偏低的产业。现在采用国家财政转移支付来解决此类问题。这种做法看似公平，但由于资源价格扭曲的存在，使得偏高和偏低产业的双方都没有达到应有的经济效率，反而使得资源无法按照经济规律和市场规律有效配置，资源价格变得更为扭曲。根据翟立功等计算的1985—1989年我国工业各行业的价格扭曲率结果，可以明显地看出我国矿产资源开发（包括采矿业和矿产品加工业）的价格扭曲情况及其变化趋势。在矿产资源分配上的指令配置模式，导致了矿产资源价格的严重扭曲，许多地区随着资源的开采，不是越来越富，而是越来越穷，出现了“富饶的贫困”。

西部地区是中国的资源富集区，矿产资源一直是西部经济发展的一大优势，受指令配置模式的影响，矿产资源开发资金投入只考虑到资源本身的潜在优势，而没有考虑到进入市场后资源是否仍然还具有市场优势，加上资源价格的严重扭曲，导致西部地区的许多矿产资源如煤炭、铁矿等已经基本丧失了市场竞争能力，发展路径对矿产资源的严重依赖，致使西部地区与东部发达地区的差距越来越大。1999年，中国东、西部地区人均分别为10 102元、4 172元，东部与西部间差距由1978年的45.9%上升到58.7%。这与国家在资源分配上采取指令配置模式，通过对东部沿海与中西部地区实行两种不同的经济发展战略是密切相关的。

这种指令配置模式除了造成矿产资源价格的严重扭曲外，由于未考虑中国矿产资源分布及组合状况，致使矿产资源区域开发，无论是在矿产资源开发布局上，还是在矿业组织上，片面追求矿产资源产品的增长，导致产业布局不合理，产业组织结构不合理，致使整个矿产资源产业效率低下。以煤炭资源为例，在开发布局上既没有充分考虑资源的经济可采性，也没有考虑煤种特点和消费布局。据研究，在现有的市场、技术和经济条件下，国有重点矿山594处矿井中，经济可采煤矿仅121处，占总处数的20.37%，生产能力25 170万t/a，为总能力的47.05%；非经济可采煤矿279处，占总处数的46.97%，生产能力11 633万t/a，为总能力的21.75%。在原煤产量中，炼焦煤产量占50%以上，入洗比重低，大部分被作为动力煤使用；而我国炼焦煤资源占煤炭资源总量的27%，其开采比重远远超出其资源所占比重。煤炭生产力布局与煤炭消费布局

不适应，致使部分煤矿生产能力闲置。据统计，西部现有矿区有 5 000 万 t 生产能力闲置。煤炭产业组织结构不合理，企业数量过多，大企业规模不大，小煤矿数量太多，产业集中度低。目前我国现有各类煤矿 3 万多处，平均每处生产原煤 3 万 t 左右，产业集中度为 12%。原煤产量超过 1 000 万 t 的大型企业有 17 家，产量占全国原煤总产量的 28%。我国目前最大的动力煤生产企业大同煤业集团公司市场占有率仅 2.9%，最大的炼焦煤生产企业开滦有限责任公司市场占有率也仅 1.5%。而世界主要采煤国家的煤炭企业，都以经营规模大、经济实力强的大集团和大公司为主，目前美国年产煤 10 亿 t，其中 4 家大公司产量 3.49 亿 t，占 36%；俄罗斯年产煤 2.55 亿 t，其中 1 家大公司产量 2.43 亿 t，占 95%；印度年产煤 3.08 亿 t，其中 1 家大公司产量 2.37 亿 t，占 77%。

（2）大规模、高速度的开采导致矿产资源耗竭速率过快，直接冲击国民经济的持续、健康发展。

我国长期以来，由于计划经济体制等原因，在区域经济发展中，特别强调矿产资源开发对区域经济增长的基础性作用，产业总规模恶性膨胀且集中度低，布局极不合理，劳动效率普遍偏低，许多资源被严重破坏、浪费，经营市场秩序混乱，资源产出效益低而消耗水平高，目前单位矿产资源投入产出只及日本的 1/6 和美国的 1/3，矿产资源开发速度明显高于世界平均水平。

新中国成立后的 50 多年里，我国主要依靠本国的矿产资源开发，成功地实现了发展经济的目标。我国主要矿产品产量变化和主要矿产资源保有储量变化如表 1－1 和表 1－2。近 10 年来，国内矿物原料生产无论是对加工能力、还是对消费需求，其保障能力都在快速下降（如表 1－3 所示）。虽然我国近十几年资源开采和加工量逐步增加、占世界产量的比例逐步增大，到 2001 年，石油、煤炭、天然气、粗钢、精炼铜、精炼铝和精炼锌产量分别达到了 1.65 亿 t、12.94 亿 t、270 亿 m^3、1.42 亿 t、142.7 万 t、342.5 万 t、204 万 t，分别占到世界的 4.6%、24.4%、1.23%、17.16%、9.18%、13.97%、22.42%；到 2002 年钢产

表 1－1　1952 年以来中国主要矿产品产量变化

矿产品＼年份	1952	1960	1970	1980	1990	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002
原煤(亿 t)	0.66	3.97	3.54	6.2	10.8	12.92	13.25	12.33	10.45	9.99	11.10	13.80
原油(万 t)	44	520	3 065	10 595	13 800	14 900	16 400	16 000	16 000	16 300	16 500	16 700
天然气(亿 m^3)	0.08	10.4	28.7	142.7	153	173.98	221	215.59	252	272	303	327
铁矿石(万 t)	429	11 279	6 422	11 259	17 756.9	26 191.9	26 861.2	24 689.1	20 900	22 400	21 700	23 100
十种有色金属(万 t)	7.4	40.76	71.23	124.79	239.32	496.62			680	760	856	1 012

资料来源：国土资源部。

量已经达到 1.8 亿 t，有色金属总产量突破了 1 000 万 t，均为世界第一。但是，由于需求量的调整增长，国内资源的保障能力总体上呈现下降趋势。不论是总体上，还是从局部上，我国矿产资源的耗竭速率一直高于世界平均水平。据预测，由于储量消耗速度远大于增长速度，到 2010 年，已探明的 45 种主要矿产中只有 23 种可以保证需求，到 2020 年下降为 6 种。

表 1－2 1978 年以来中国主要矿产保有储量

矿产名称＼年份	1978	1980	1985	1990	1995	1999	2000
煤(亿 t)	5 960	6 425	7 692	9 544	10 076	10 063	10 063
石油(亿 t)			23.32	21.87	23.27	23.56	
天然气(亿 m^3)					6 436	10 175	
铁(矿石,亿 t)	420.6	437.6	496.41	501.17	462.32	458.07	458.1
锰(矿石,亿 t)	3.91	3.97	4.79	5.82	5.53	5.48	
铝土矿(矿石,亿 t)	11.6	11.75	14.96	20.14	22.76	22.96	
铜(金属,万 t)	5 040	5 369	5 874	6 154	6 273	6 281	
铅(金属,万 t)	2 208	2 273	2 807	3 337	3 530	3 497	
锌(金属,万 t)	5 296	5 699	6 920	8 396	9 256	9 212	
金(金属,t)	1 325.1	1 629	1 998.6	3 136.6	4 265	4 134	
硫铁矿(矿石,亿 t)	27.7	32.7	40	42.84	44.08	47.44	
磷(矿石,亿 t)	104.5	102.4	133.4	157.2	133.26	132.54	132.5

这种大规模、高速度的开采使矿产资源产业集约化程度不高，资源利用方式粗放，其后果是伴随区域经济增长出现资源破坏和环境问题突出，同时由于矿业有一定的生命周期，随着资源储量的枯竭，产业需要退役，大规模、高速度开采必将导致资源产业退役过快，直接冲击国民经济的持续、健康发展。

（3）矿产资源开发对生态环境产生重大影响，直接破坏土地、森林、草地等自然资源并造成环境污染。

中国矿产资源开发对生态环境的影响主要表现在：①矿产资源的开发对土地资源的破坏：矿山开采占用、破坏大量的土地，全国因采矿累计占用土地约 586 万公顷，破坏土地 157 万公顷，且每年仍以 4 万公顷的速度递增（而矿区土地复耕率仅为 10%，比发达国家低 50 多个百分点）。矿业废弃地迅猛扩增，大量耕地被侵占，破坏耕地面积 26.3 万公顷。仅国有煤矿矸石一项，现有煤矸石山 1 500 余座，历年堆积量达 30 亿 t，占地 5 000 多公顷。各类尾矿累计约 25 亿 t，并以每年 3 亿 t 的速度递增，不仅占用了大量土地，还对土地、水资

表 1－3　1990 年以来我国主要能源与金属矿产的供应能力（%）

年份 / 供应能力	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
石油国内供应能力	116	114	112	100	104	100	100	85.5	84.2	76.4	67.7	70.2	67.6
铁矿山产量对加工供应能力	85.3	81.9	78.6	75.6	75.3	74.8	73.6	69.1	71.8	71.6	65.6	61.8	57.6
铁矿山产量对消费供应能力				63.8	75.3	81.6	76.6	72.7	72.2	61.8	59.1	57.9	51.8~54.6
粗钢产量对消费供应能力				84.3	100	109.1	104	105	100.6	94.3	90.1	93.6	90~96
铝矿山产量对加工供应能力	90.4	83.8	76.6	77.7	65.5	61.9	71	71.4	72.7	72.4	69.7	58.8	56
铝矿山产量对消费供应能力	107	97.8	90.6	75	67	62	66.5	68.8	73.1	69.2	65	58	59
铝产量对消费供应能力	118	117	117	96.9	102	100	93.6	96	100	95.2	90.9	96.6	105
铜矿山产量对加工供应能力	53.1	53.7	50.7	47.3	53.7	41.2	61.8	63.3	40.2	44.3	43.4	38.1	35.5
铜矿山产量对消费供应能力	40.6	39.2	39.5	37.6	47.7	38.8	57.9	58.8	34.8	38.7	29.8	25.6	24
铜产量对加工消费能力	76.4	73	77.8	79.4	88.7	94.1	93.8	92.9	86.7	87.3	68.6	67.3	67.4
锌矿山产量对加工供应能力	145	130	117	90.5	97.4	93.9	94.7	58.9	81.4	68.5	90.9	76.7	
锌矿山产量对消费供应能力	206.8	121.5	117.6	116.3	131.2	111.1	114.8	105.9	107.2	105.4	127.1	103.3	
锌产量对加工消费能力	142.5	93.5	100.5	128.5	134.5	118.4	121.1	179.9	131.7	153.4	139.5	134.5	

资料来源：王安建、王高尚：《中国新型工业化进程与重要矿产资源战略研究》，载国家经济贸易委员会行业规划司编：《我国走新型工业化道路研究》，表 5 至表 9，机械工业出版社，2003 年版，第 229~231 页。

源、大气、动植物等造成了严重污染与危害。露天开采三场占用土地也相当可观。据推算，因露天开采每年破坏土地约 0.7 万~1 万公顷，露天采矿场占地面积占矿山破坏土地面积的 27% 左右。尤其是在有色金属、黑金属和建材矿的开采中，露天开采占主导。矿区塌陷又是破坏土地资源的一个重要因素。据不完全统计，我国因采矿业造成的地面塌陷灾害已达 500 万~600 万亩，其中损坏

耕地130万亩，严重影响农作物产量，倒塌、损坏房屋3 800万m^2。环境污染造成土地质量下降，使可用耕地减少。②矿产资源开发对森林、草地资源的破坏：全国因采矿而破坏的森林面积已达106万公顷。据调查，矿山开发占用林地面积最多的4个省区依次为黑龙江、四川、山西和江西。我国现有森林面积1.34亿公顷，森林覆盖率仅为13.9%，在200多个国家中，人均占有森林面积居第136位。矿山开发占用、破坏林地不容忽视。全国矿山开发占用草地面积为26.3万公顷。草地退化日趋严重，退化率由20世纪70年代的16%上升到37%，平均每年以67万公顷的速度递增，且仍呈发展趋势。③矿产资源的开发对地表景观、地质遗迹的破坏及潜在威胁：对地表景观的破坏，主要表现为开发活动对自然景观、地貌、地形、地质遗迹、土地及地表植被的破坏，废弃物、粉尘等对地表景观、地质遗迹的污染和侵蚀。④“三废”污染：目前矿山固体废弃物占全国工业固体废弃物的85%，特别是采煤业居世界首位，国有重点煤矿堆积山累计1 500余座，仅矸石一项约有30亿t。全国每年采矿产生的废水、废液排放量约为3.6亿t，占全国工业总排放量的10%，但处理率仅有4.23%。除此之外，露天矿、尾矿、矸石等废弃物受雨水淋滤后排出的废水，以及矿区其他工业及生活排放的污水也是重要的污染源。我国每年约有50亿~60亿m^3煤层瓦斯逸散于大气，井下抽排放高浓度瓦斯6亿m^3，其中3亿m^3放空不能利用；煤炭全行业3万余台工业锅炉、窑炉，年燃煤4 450万t，年排SO_2 57万t。据不完全统计，煤炭行业现有矽肺病患者40万人，且仍以每年8 000人发病快速增长，若按每人每年因病导致的直接经济损失1万元计，每年合计直接经济损失达40亿元。

1.1.3 目前中国矿产资源产业的发展环境

进入21世纪，可持续发展被提高到中国经济发展的战略层面，全面建设小康社会将是我国未来20年的核心目标。面向此双重目标，必须对矿产资源开发利用的目标、方式和手段进行重新评价、重新认识和设计。

由于人类认识水平由低级向高级的变化，人们对资源量的评价也随时间的推移、认识的深化和科学技术的进步在变化。以油气资源为例，油、气是指地壳中天然富集的液态和气态烃，是一种客观存在的实体，其总量是一个确定的数，通过人们的勘探开发部分可以为人类所利用，为不可再生的资源。但由于油气埋藏在地下深处，对于总资源量的估算受多种因素影响，如理论认识、经济成本、勘探开发技术等条件的限制，于是它就成了一个变量，随着理论认识深化、工程技术进步和发展，油气资源量在不断地增长。如20世纪70年代对世界石油的储量估计仅为960×10^8~$1\ 000\times10^8$ t，而1986年则为$2\ 400\times10^8$ t，1990年为$2\ 900\times10^8$ t，1994年为$3\ 000\times10^8$ t，而2000年在第16届世界石油大会上美

国USGS评价认为世界储量已达到4 000×10^8 t以上。同样，对中国的储量的估算变化更大（对中国资源量的算法与国际上是有差异的，我国算的是地质资源量，而国际上算的是可采资源量，两者不能等同），1922年美孚公司从中国贫油论出发，评价中国的石油储量仅为11.75×10^8 t，1945年中国矿业评价结果为151.51×10^8 t，1964年石油部评估为217×10^8 t，1971年石油部评价量为400×10^8 t，1976年美国的博比威廉斯评价为949×10^8 t，1984全国资源评价中国能源学会公布为787.15×10^8 t，1994年中国石油天然气总公司资源评价为940×10^8 t，2002年第三次资源评价已超过1 000×10^8 t。矿产资源的储量，随着人类开采技术的不断提高发展，向更大的深度和更加复杂区域拓展，可开采储量在不断的增加。但是从环境保护及可持续发展的意义观察，原有的地下资源量已经不再确切。就是说在现有已经查明的矿产储量中的一部分，因其开采中可能引起地质环境问题而不能被近期开采利用，这部分资源从环境意义上讲不能再作为可采资源量。由于环境因素的制约，实际的可开采储量远低于探明的地下资源量，而相关资源之间的互耗作用是引起我国资源进一步短缺的主要因素之一。

全面小康社会建设对矿产资源开发利用提出了新的要求。我国影响全面小康社会建设的矿产资源问题甚多，突出的有资源供应、矿城与矿山、欠发达及西部地区矿产资源开发，矿产开发导致的生态环境破坏、资源浪费与安全事故等。现实告诉我们，利用好“两种资源、两个市场”，实现矿区资源立体综合协调开发与资源生态化利用，大力推进资源的3R (Reduce、Recycle和Reuse)，建立以矿产资源开发加工为主体、固体废渣利用、土地生态修复、环境景观再造、农林及旅游业协调发展的矿业生态系统是解决“四矿问题”、保障矿产资源供应安全及矿山与矿城全面小康建设的主要策略，矿产资源的不可再生性、对全面建设小康社会的至关重要性及开发对资源环境的破坏性、作业条件的危险性，决定了矿产资源开发与管理必须改变传统模式，走以高新技术为支撑、与生态环境相协调、符合循环经济架构的新型工业化道路，迫切需要建立综合应用空间信息技术、自动控制与计算机辅助决策技术、机电一体化技术、矿业工程技术等现代科技，以获得矿产资源开发利用高效、安全、洁净、集约的现代化矿产资源产业发展模式。当前我们要特别树立精细矿业观念，着力解决两大关键技术——矿区资源立体综合协调开发技术、矿区资源生态化利用技术，深入研究三大理论——资源开发的资源环境效应模拟理论、系统优化理论及可持续发展理论，这是解决当前矿产资源产业发展问题、保证全面小康顺利实现的关键与基础。

未来中国矿产资源持续开发的基本模式是：基本模式=结构改善+技术进步+资源国际化+环保意识增强；区域开发调整的模式是：区域开发基本模式=充

分开放东部+积极稳定中部+适度开发西部。随着我国加入 WTO 和对外开放的不断扩大，人们对中国经济未来走向的认识越来越明确，建立开放型经济是我们的必然选择。市场经济本质上要求在开放型经济体系中得到有效的运行，建立开放型经济体系意味着中国经济真正融入国际经济的大循环中，在经济全球化进程中来获得更好的发展。我国的改革开放既意味着从计划经济向市场经济转轨，同时也意味着从封闭经济向开放经济的转轨，实际上这是二位一体的过程。以构建开放经济体系为目标，形成与开放型经济相适应的资源配置方式、经济运行流程和利益分配机制，调整产业结构（中国经济已经进入需要以结构变迁来启动和支撑总量扩张的阶段，产业结构的演变已成为推动经济总量持续扩张的基础的启动因素，产业结构的调整步伐将直接地对未来的经济发展速度产生重大的影响），是我国进入 21 世纪之后惟一明智的选择。中国矿产资源区域开发战略调整的关键在于如何顺应这种变化，促进新机制的形成及国民经济的持续稳定发展。

开放型经济体系的特征大体上可以从 3 个方面来进行分析：一是实行双向交往的开放制度。从制度安排的层面上看，开放型经济体系的开放是深层次的、内在的开放，不同于由政府主导和推动型的对外开放。二是资源的配置达到相对的均衡。从市场经济的运行层次上来看，开放型经济在整体上已经实现按照比较优势原则对生产资源进行配置，比如，外部经济交流已经直接与改善公众的福祉水平密切地联系在一起，对外开放的重心已经不直接或不再局限于生产规模的扩张或经济增长速度的提高。三是保持比较稳定的债权国地位。从国际收支的层面来观察，开放型经济具有良好的支付能力。总的说来，开放型经济的特征绝不只是表现其与外部经济存在着十分密切的联系，更是因为其内在的资源配置本身具有开放性。开放型经济的这些特征是以其特有的产业结构为基础的，正是由于资源配置结构的根本性变化，形成了特定的国民经济循环流程和市场竞争格局，构建出开放型经济的运行体系。

任何区域的发展都是建立在一定的系统要素资源基础上，这些要素资源主要包括自然资源、环境资源、经济资源和社会资源等。就矿产资源要素而言，在开放型经济中，某个区域的经济和社会发展不仅依靠区域内部的矿产资源要素，而且通过区域内外的资源要素的交换，而大量利用外部的资源。区域经济社会发展可利用的矿产资源是区内资源与区外资源的整合，推动区域间资源要素流动的关键动因是区域发展的比较优势和对资源要素的吸引力。要素流动必然伴随着要素结构的变动，通过市场对资源配置的过程，直接导致区域矿产资源结构的调整。因此，中国未来矿产资源区域开发战略调整的趋势是开发格局的网络化，全方位的开放是其必然选择。

§1.2 矿产资源战略评价的内涵、意义和作用

1.2.1 矿产资源战略评价的内涵

快速、精确查明我国矿产资源现状，科学、准确评价我国矿产资源潜力，深入分析、把握我国国民经济和社会可持续发展对矿产资源的需要，动态跟踪、了解国际矿产资源市场的发展态势，是国家制定矿产资源政策和战略规划的需要。党的“十六大”确立的全面建设小康社会的目标是：“……可持续发展能力不断增强，生态环境得到改善，资源利用效率显著提高，促进人与自然的和谐，推动整个社会走上生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。”因此，在这种背景下，矿产资源战略评价被赋予了新的内涵，如何构筑矿产资源的资源-环境-经济技术综合评价新体系，就显得尤为迫切。矿产资源战略评价，就是从战略管理的角度出发，以可持续发展为基本原则，应用包括 3S 技术在内的最新技术与方法，充分考虑矿产资源可持续利用的资源-环境-经济技术条件，通过对矿产资源战略评价的理论和方法的揭示，寻求实现我国全面小康目标的矿产资源保护与持续利用对策。

1.2.2 矿产资源战略评价的意义和作用

据有关机构预测，到 2020 年，我国将超过美国而成为世界上最大的矿产资源消费国。一方面，为保证国民经济持续、健康发展，必须对我国矿产资源的现状和未来重新加以认识，不能以巨大的资源消耗和环境破坏为代价来保持经济的高速增长，而是要树立矿产资源忧患意识，充分认识矿产资源的重要性、稀缺性和不可再生性，要依据国家经济可持续发展的战略需要，建立符合我国矿产资源特点的矿产资源评价新方法和新技术，以便为整个矿产资源再生产过程，合理开发利用资源提供宏观和微观指导，为政府和管理部门制定相关政策和法规提供科学决策依据。另一方面，矿产资源开发利用的全球化已成为一种必然，如何合理开发利用全球范围内的各种矿产资源，已成为世界各国矿产资源评价的重要内容。显然，在全球、国家、地区环境和经济技术发展总体框架下，综合考虑矿产资源和其他自然资源的综合立体评价、规划、管理、保护与合理利用问题是我国政府资源决策的一种必然选择。然而，我国传统矿产资源评价重点考虑的是矿产资源的地质属性，主要按其自然属性及形成特点进行专项评价，并完成了全国第一轮成矿远景区划、第二轮成矿远景区划和全国矿产资源总量预测，忽视了经济技术和环境因素，致使这种评价成果无法适应经济

社会可持续发展的要求，无法保障国民经济持续高速增长对矿产资源的供给需求，也无法解决日益加剧的因采矿而引发的矿山生态环境问题。矿产资源战略评价则以经济和资源可持续发展为目标，充分利用“两种资源、两个市场”，着重解决矿产资源的安全供给和与环境协调发展问题，对实现传统矿业向非传统矿业的转变具有重要的作用。

中国的工业化正处在一个重大转变时期，中共“十六大”报告指出，我国要走一条新型工业化道路，即一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源得到充分发挥的可持续发展之路。这种道路的选择，必将对未来国家矿产资源开发利用提出巨大挑战。从战略高度深化对矿产资源开发利用过程的认识就成了一种必然。显然，传统的矿产资源评价由于主要着眼于矿产资源开发活动的项目层次，不能充分考虑环境、政治－法律、经济、技术和社会－人文等宏观因素对区域矿产资源战略目标和战略选择的影响，已不能适应这种新型工业化道路的要求。因此，揭示矿产资源战略与区域可持续发展相互作用的内在机制的矿产资源战略评价就显得尤为重要。通过矿产资源战略评价，将资源与环境、经济、社会发展密切联系起来，综合考虑政策、体制、结构的影响，强调资源政策实施后产生的资源环境影响及其社会经济含义，不仅要从环境、经济和技术角度衡量资源开发利用项目或有关政策的可行性、合理性，而且还要考虑其资源环境影响，达到社会、经济、资源环境的协调发展。

从全球范围来看，人类今天的生存性矛盾和危机，已经由以往的供给不足危机转变为生存危机，生态失衡对于未来人类的威胁，已经大大超过了生产不足的威胁，保护生态资源给人类带来的快乐与福利在总体上已经与增加生产给人们带来的快乐持平，甚至已经超过了增加生产给人们带来的快乐。在这样的生存与发展性矛盾转变的时机中，经济开发与资源环境保护的重要性需要重新排序，需要把生态安全置于人类安全的首位。而人文发展权利的实现，需要一定的资源消费保障。随着人口增加和社会经济的发展，对自然资源的需求也在不断增加。这对矿产资源的安全性和经济性提出了更高的要求，需要进一步揭示区域经济发展对矿产资源的需求及其约束对充分实现人文发展权限的影响，从理论与现实的角度看，这种揭示矿产资源战略与区域可持续发展相互作用内在机制的矿产资源战略评价，其意义都是非常重要的。

1.2.3 矿产资源战略评价与矿产评估的区别

矿产资源战略评价和矿产评估的原则和目标是一致的，在整个评价程序和步骤上具有一些相似之处。但是它们是不同的两个概念，在评价内容、对象、范围（时空）、评价方法及评价结论等方面是有区别的。矿产评估主要针对具体的资源开发利用项目，对其产生的直接经济社会效益进行定量、定性的评价和

预测，然后在评价和预测的基础上对项目建设或区域矿产资源开发提出相应建议。矿产资源战略评价给决策者提供的是战略性的、累积的、间接的和诱导性的资源环境影响及其社会经济含义方面的信息，评价内容往往更多地着重于资源开发利用战略的经济、社会、环境效益，其实质是矿产资源可持续利用的评价，其中很重要的一点就是包含社会、经济、环境评价，把资源环境问题与社会经济有机结合起来，给出的是定性的、宏观的指导结论。在评价程序上，矿产资源战略评价比矿产评估更具有不可确定性；在评价方法上，矿产资源战略评价要求的资料多、信息广、跨越的时间长、包含的项目多、影响面广、综合性强、精确性差。矿产资源战略评价与矿产评估的具体区别可以参见表 1－4。

表 1－4　矿产资源战略评价与矿产评估的对比

对比项目	矿产资源战略评价	矿产评估
对象	矿产资源法规、政策、规划、计划等	具体的矿产资源开发利用项目
影响形式	间接的、累积的、战略性的	直接的
地域范围	全球的、国家范围的、区域级的	地方的、区域的
评价结论	定性的、定量的	定量的
时间尺度	早期的、长期的	后期的
成分	战略成分的、区域的	项目方向的

第二章 矿产资源战略评价系统

§2.1 可持续发展与矿产资源战略

矿产资源战略评价是促进可持续发展的一种有力手段，可持续发展的要求指导着矿产资源战略评价的发展，矿产资源战略的实施有利于促进区域可持续发展目标的实现。其关键在于通过揭示矿产资源战略与可持续发展相互作用的内在机制。

2.1.1 可持续发展与矿产资源战略——目标与手段的关联效应

按照 F.Kuhnen 的观点，区域可持续发展的基本内涵就是使“区域保持长期发展能力”，就是协调好人口、资源、环境与发展之间（PRED）的关系和行为，这种协调不会自然实现，必须通过掌握可持续发展规律的人，采取科学的、行之有效的行政手段、经济手段和政策法规手段，对 PRED 系统有计划地跟踪调控预警。盲目进行区域发展的调控预警，可能会出现经济混乱，造成 PRED 系统内部的矛盾冲突激化。这种情况客观上要求一系列的区域发展战略（规划）来落实、协调、规范区域发展中的冲突行为，只有通过战略评价（规划），才能比较彻底地认识区情，了解区域，抓准矛盾的主要方面；也只有通过战略（规划）的实施，才能不断地调整、约束和管理人类自身的行为，使其符合可持续发展的要求。

就矿产资源战略而言，为了保证实现区域可持续发展的目标，通过对区域发展的病理诊断，找出发展中的矛盾问题，尤其是与矿产资源开发利用有关的问题，如矿山生态环境问题、资源利用效率问题、资源开发利用规模和矿业组织问题等，制定相应的政策法规和实施其他管理行为，保证战略手段的可行性，并对区域发展进行监控预警，凡一切偏离目标的行为都必须进行调节和控制。这是一种带有巡回诊断、监控和预警的关联效应，目的是使区域长期保持持续发展能力。矿产资源战略是区域系统实现由现状到发展目标的手段之一，是区域系统有意识地、自觉地走可持续发展之路的有力保障，它与区域可持续发展

之间相互作用的内在机制是这种保障的重要基础。可见，区域可持续发展与矿产资源战略是一种显著的目标与手段关系。

2.1.2 矿产资源战略与可持续发展相互作用的内在机制

研究矿产资源战略与可持续发展相互作用的内在机制，主要是揭示两者之间相互作用的动力机制和协同机制。

矿产资源战略评价的社会需求、经济需求、科技需求和生态环境需求分别将依次通过需求机制→启动机制→支撑机制→保障机制最终得到满足，在需求满足的过程中，必须从理论和实践两大层面考察满足需求的以下基础条件：①在控制人口总量、实行适度消费和消除贫困政策的条件下，适当降低人类消费矿产资源需求的净增量，缓解对矿产资源及环境承载能力的负荷强度；②在全力向市场经济过渡的条件下，彻底改变以初始投入多、高资源消耗和低经济效益为特征的粗放型经济增长方式，实现可持续的内生型经济增长，日新月异的现代科学技术为经济增长方式的根本转变提供了强大的技术后盾，尤其是全球信息化、网络化、数字化与智能化的发展，为此提供了一条良性互动的新路；③在许多国家目前仍在经受 PRED 失调造成的种种威胁和损害的条件下，应唤醒人们对矿产资源及环境的危机警觉性，树立可持续发展观为首要条件。

矿产资源战略与可持续发展相互作用的协同机制见图 2－1 所示。按照协同学的基本观点，在自然界和人类社会普遍存在的一系列不稳定序列中，即从无序变为有序的过程中，总会产生彼此合作或协同作用，从而使这些不稳定序列得到一次比一次更为有序的结构，并生成更新的系统结构和功能。如果进一步分析协同作用形成的机理，首先要从中找到在从无序的不可持续发展演变为有序的可持续发展过程中起主导作用的统筹协调控制对象。图 2－1 表明，在实施区域可持续发展战略的过程中，矿产资源战略综合协调控制的对象包括：以人类生产与全面发展为中心的第一再生产过程；以满足人类生存发展的消费需求进行物质资料生产为中心的第二再生产过程；以保护资源持续利用和生态环境恢复良好化为中心的第三再生产过程。三大类再生产过程之间，第一类再生产过程的严重超前，第二类再生产过程的严重扭曲和第三类再生产过程的严重滞后，是引起矿产资源战略与区域可持续发展之间协同错位并导致矿产资源战略失效的主要原因，也是矿产资源战略协同控制的重点。为此，需要按以下思路强化两者之间正向相互作用的协同力：

（1）在实施可持续发展战略的新时期，必须从战略高度考察并设法扭转在三大类再生产过程中大量存在的无序状态以及三者之间反向相互作用的进程；在运用矿产资源战略手段调控第一和第二再生产过程的消极影响和不良过程的同时，应尽快建立并强化第三再生产过程，努力缩小三大类再进产过程之间协

同错位的幅度，逐步形成正向相互作用的协同力，克服或大量减少在非协同状态下出现的一系列负面效果，提高矿产资源战略在协同中的工作效能。

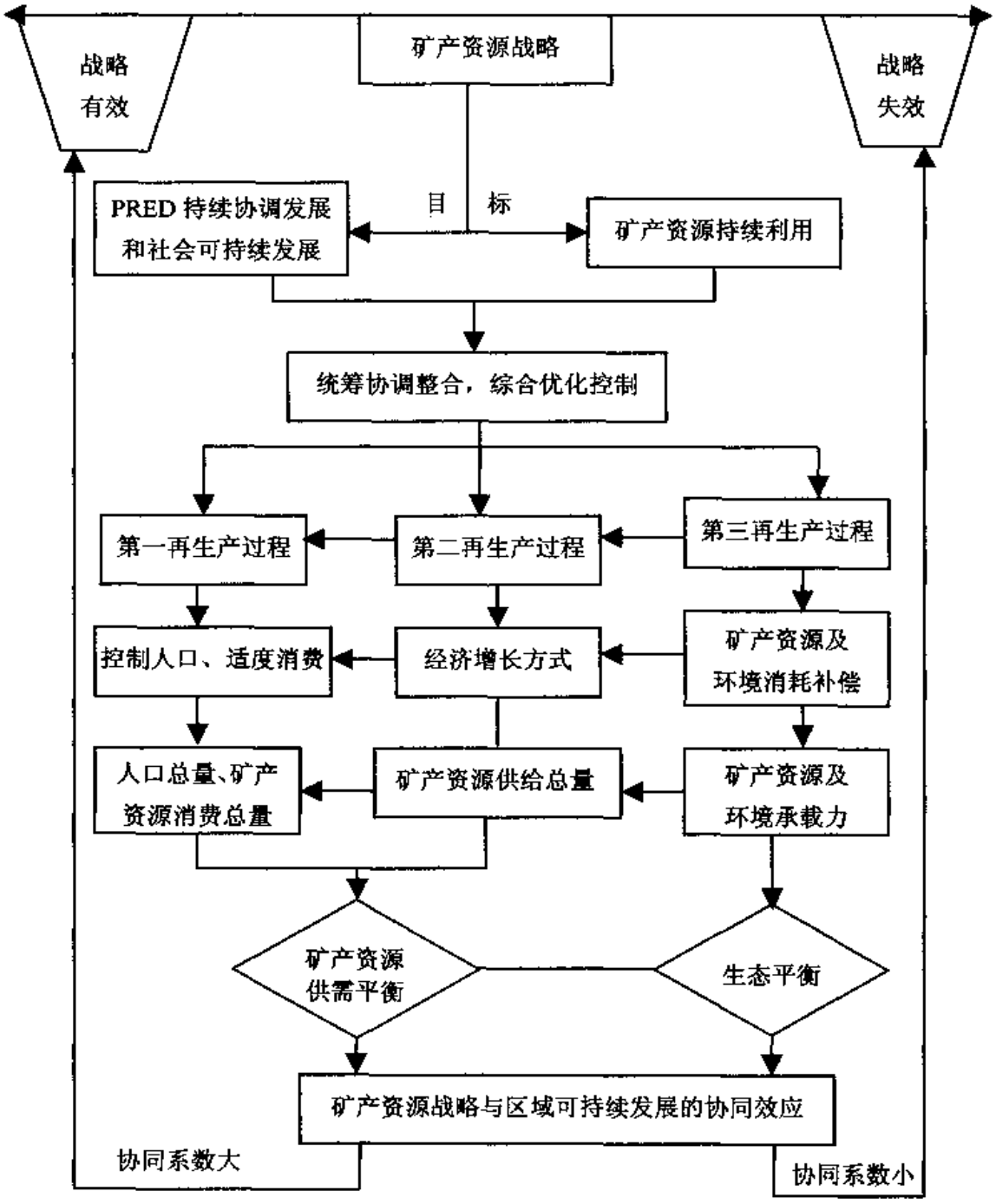


图 2－1 矿产资源战略与区域可持续发展的协同机制分析

(2)关键是保证三大类再生产过程形成正向相互作用,一是控制人口总量,提高人口素质,提倡科学的适度消费与符合现代文明要求的生活方式;二是第二再生产过程必须采取符合可持续发展要求的经济增长方式,即以高效低耗、少污染的集约型经济增长方式取代过去粗放型经济增长方式,实现可持续的内生型经济增长,这也是新型工业化的要求;三是建立并实行以对矿产资源存量、流量及其财富价值进行科学计量并纳入国民经济核算体系为中心内容的矿产资源核算制度及环境损失经济补偿制度;四是提倡大协调经济学指导下的多维统计方法,同时统计生态、环境、资源、人口、经济、社会等多维数据及其相互影响因素。

(3)惟有在三大类再生产过程同向合力、互相协调配合的条件下才能形成它们之间正向有序的相互作用,并产生三者之间的协同共振,也只有在不断的协同共振中才能逐步实现矿产资源消费总量与资源环境承载能力的相对平衡,实现 PRED 持续协调发展和社会可持续发展战略。在这样的协同机制作用下进行矿产资源战略评价才有利于实现矿产资源的可持续利用。

2.1.3 保证矿产资源战略实现区域可持续发展目标的对策

根据矿产资源战略与区域可持续发展之间相互作用的动力机制和协同机制,要实现 PRED 协调发展、社会可持续发展战略和矿产资源可持续利用,在矿产资源战略中应坚定不移地将 PRED 协调发展与人地关系整体优化思想始终贯穿于三大类再生产过程中,将区域可持续发展作为一条主线始终贯穿于矿产资源战略的全过程。矿产资源可持续利用最终只有落实到矿产资源战略上,才能成为一种管理性行为的指导纲领。

(1)矿产资源战略目标由单目标转向多目标且优先保证主目标。受经济发展阶段的影响,以往的矿产资源开发利用的目标是一种片面追求经济增长的单目标模式。这种模式虽然对国家和区域增加物质财富作出了应有的贡献,但却带来了日益沉重的人口、资源、环境与社会压力。正如 I. Moffatt 所说的那样:“尽管我们在物质上富了,在其他方面却变得穷了”。新形势下矿产资源战略的概念不再是建立在从自然界得到越来越多的资源上,也不再是把 GDP 作为发展的惟一尺度,而是以经济、社会和生态环境的多目标协调发展为指导原则,把绿色 GDP 作为发展的重要尺度,追求全方位的综合发展,提高资源的利用效率。与此相适应,矿产资源战略目标的制定必须紧紧围绕 PRED 协调发展这一中心议题,由经济发展的单目标模式向经济、社会与资源环境协调发展的多目标模式转变,在保证矿产资源的可持续利用的同时,使经济持续适度快速增长,社会系统健康发展,生态环境良性循环,真正实现经济发展目标、社会进步目标和生态环境改善目标的高度协调统一。根据区域差异,正确处理好效益

目标与公平目标的关系、极化效应与扩展效应的互补关系，从近期利益看，两者是矛盾关系，而从长远利益看，则是统一关系。

但无论在什么时期、什么条件下，矿产资源战略总目标不能只单纯追求一种目标，完全放弃另一种目标，必须保证主目标优先，并兼顾其他目标的需要。不论主目标何等优先，仍须同时兼顾生态环境目标和社会公平目标。总之，追求复合型矿产资源战略目标是实现可持续发展总目标的关键。

（2）社会与生态环境尺度必须同时作为衡量最佳矿产资源开发利用方案的重要标准。区域发展是一个非常综合多维的概念，是既包括经济增长和经济结构，也包括社会发展和人的素质提高以及生态环境改善诸方面在内的多元、多层次进步过程，所以矿产资源开发利用方案的确定与最终选优必须同时用效益尺度、社会进步尺度和生态环境尺度去等额量度。一是指标的选取除注重经济总量指数、经济效益指数外，还必须注重资源保证系数及资源空心化系数、环境污染指数和生态指数等的选取、量化；二是经济社会指标的量度必须与资源、环境的承载能力保持动态平衡，矿产资源开发利用水平要适度，经济增长不得超过资源与环境承载能力。

（3）矿产资源开发利用项目的建设与布局实行“三同时”与“三结合”准则，即项目建设与环境保护设施同时设计、同时施工、同时使用，实现经济效益、社会效益和生态环境效益的有机结合统一。实施资源与环境成本内部化，将资源与环境成本纳入国民经济核算体系，倡导用绿色 GDP 作为衡量综合国力的真实指标，逐步改善增长质量和协调质量，提高发展质量和生活质量，提高区域可持续发展的能力。

除此以外，在不同时空尺度的区域矿产资源战略之间，战略中的 PRED 之间，PRED 中的两要素、三要素之间都必须保持时间、空间和功能上的动态协调，确保 PRED 协调发展作为矿产资源战略的核心内容，在矿产资源战略中的主导地位始终不变。

§2.2 矿产资源战略评价系统

2.2.1 矿产资源战略评价系统结构

基于可持续的矿产资源战略的主要目标就是，建立与社会经济发展相适应，无害环境的矿产资源供应体系和消费模式。从系统论的角度，矿产资源战略评价的目的也就是，着眼于整个矿产资源生命周期，采取系统措施实现矿产资源开发利用及保护子系统与区域可持续发展系统的协同进化。以金属矿产为例，

其生命周期模型如图 2－2 所示，通过勘探活动将地质资源转化为储量，矿石采出后被用来提炼金属或金属化合物（初级生产），随后被用来生产最终消费品。在利用时，一些金属物质慢慢散失在环境中，金属残渣以一定方式储存，只要它们没有散失到环境中就可能进行再循环利用。也就 0 是说，在它们的经济寿命结束后，物质还可能直接再循环（二次生产）。在模型中，消费包括初级产品和二次产品。矿产资源生命周期模型中各参数关联如图 2－3 所示。

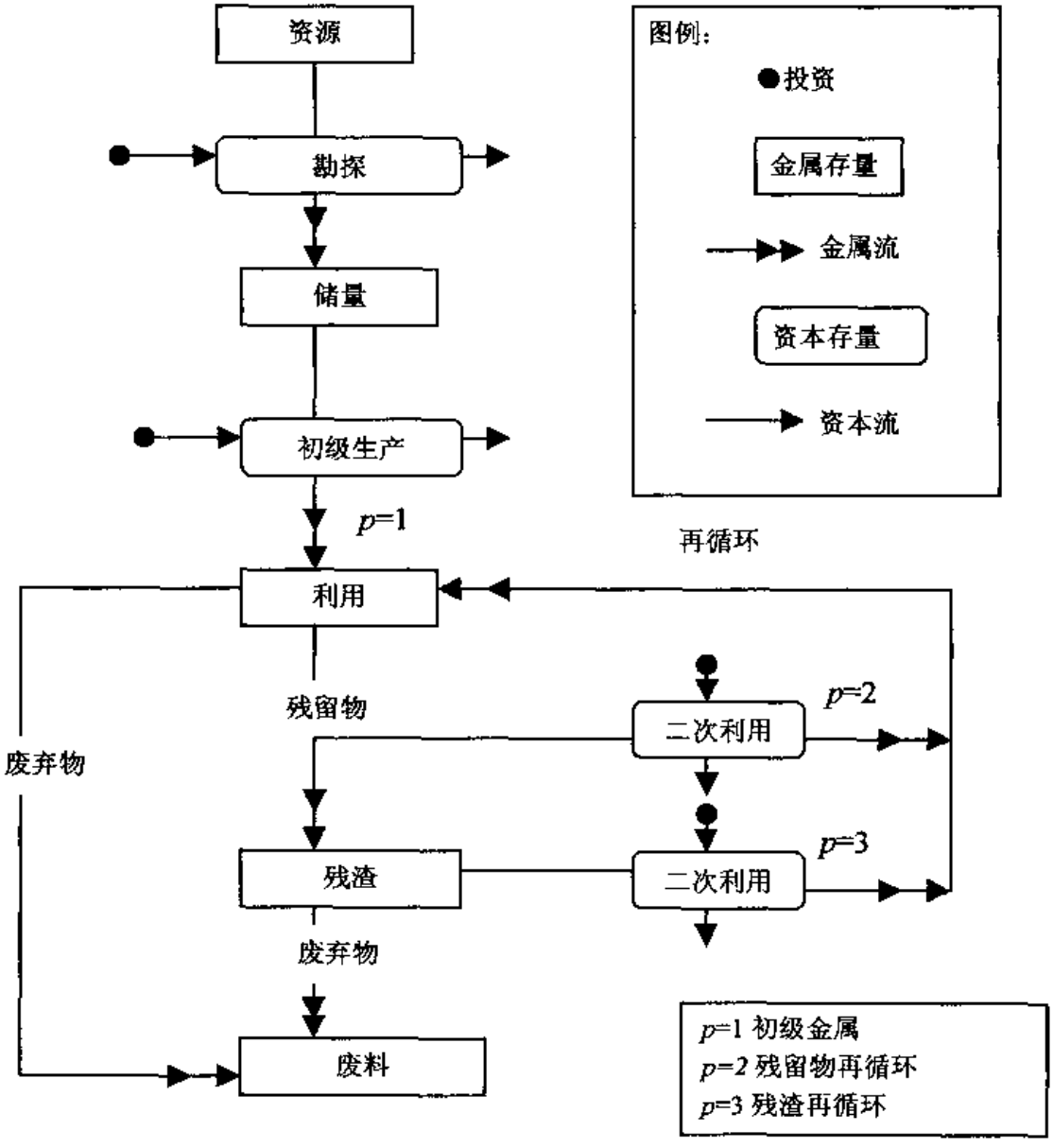


图 2－2　矿产资源生命周期模型（以金属矿产为例）

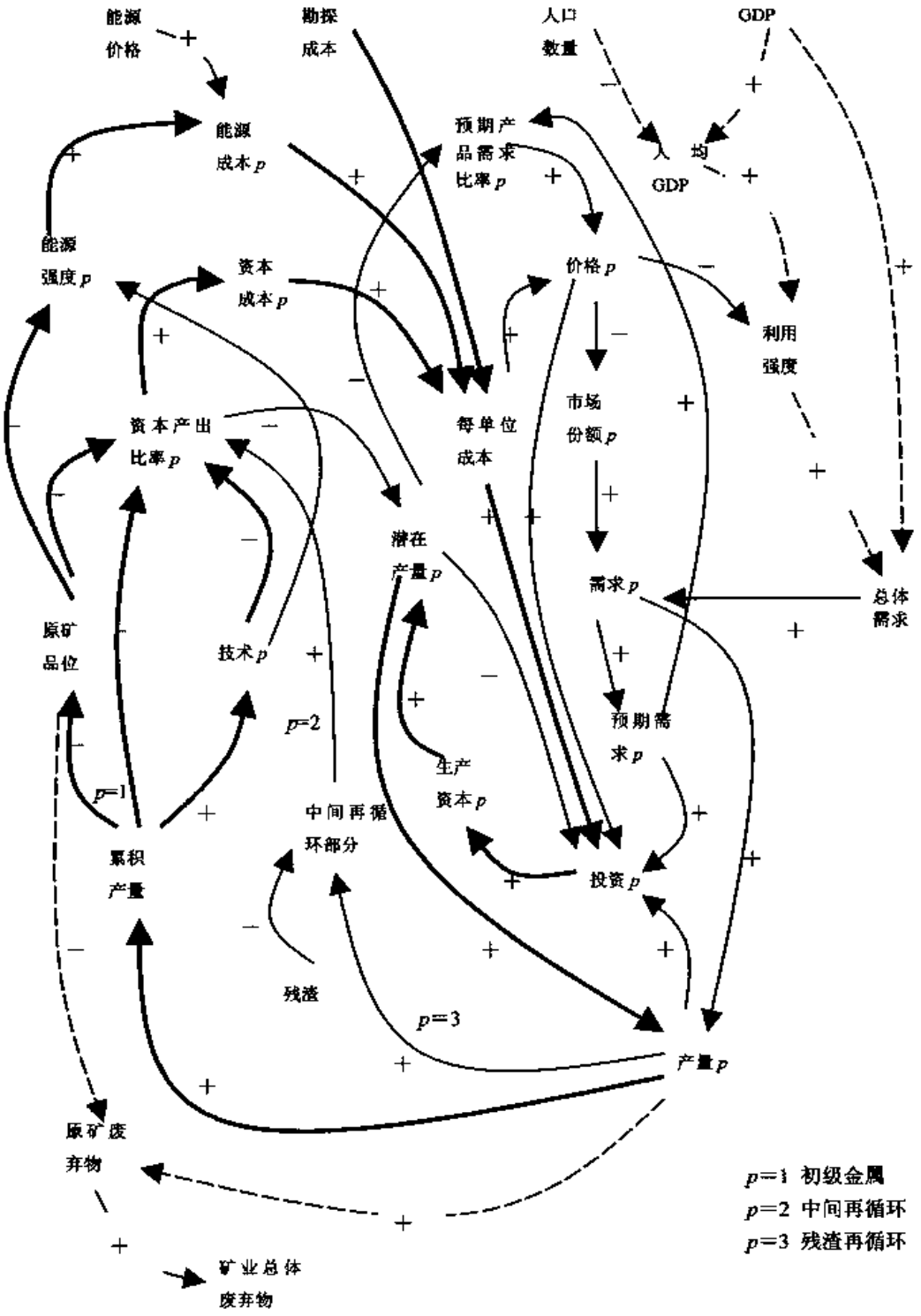


图 2-3 矿产资源生命周期模型中各参数关联图（以金属矿产为例）

可持续发展意味着提高矿产资源开发利用的环境和社会成本，资本注入在工业生产率提高以及资源环境保护方面扮演着重要角色（如图 2－3），可以推动矿产资源产业的发展，但从历史数据分析看，这种发展已不足以弥补其环境和社会成本的提高。值得注意的是，考虑到信息化已成为当今社会发展的重要推动力，信息和通信技术将为矿产资源产业生产率的提高提供新的可能。这是因为，信息化对包括人口、资源、环境、经济、社会在内的整个区域可持续发展系统产生重大影响（如图 2－4）：①信息化不只是一次经济革命，更是一次社会革命，它在很大程度上改变了人们的生活观念，使经济社会－人口负因果环的作用在一定程度上减弱了。②信息化不仅促进社会经济量的扩张，更为重要的是，信息化使得经济运行方式出现质的改变。信息时代的生产方式无论是在资源需求上还是在环境影响上较之传统生产方式而言都大大地减少了。同时信息化促进了科技水平的提高，加速了新的环保技术和资源利用技术的出现，也对缓和经济社会发展与资源、环境间的矛盾有重要的意义。这样，社会经济发展－资源和经济社会发展－环境间的负因果环在一定程度上减弱了，特别是对于社会经济发展－环境回路，在某种条件下，信息化带来的新生产方式甚至能产生社会经济发展促进环境改善，环境改善又促进社会经济发展的正向因果环。

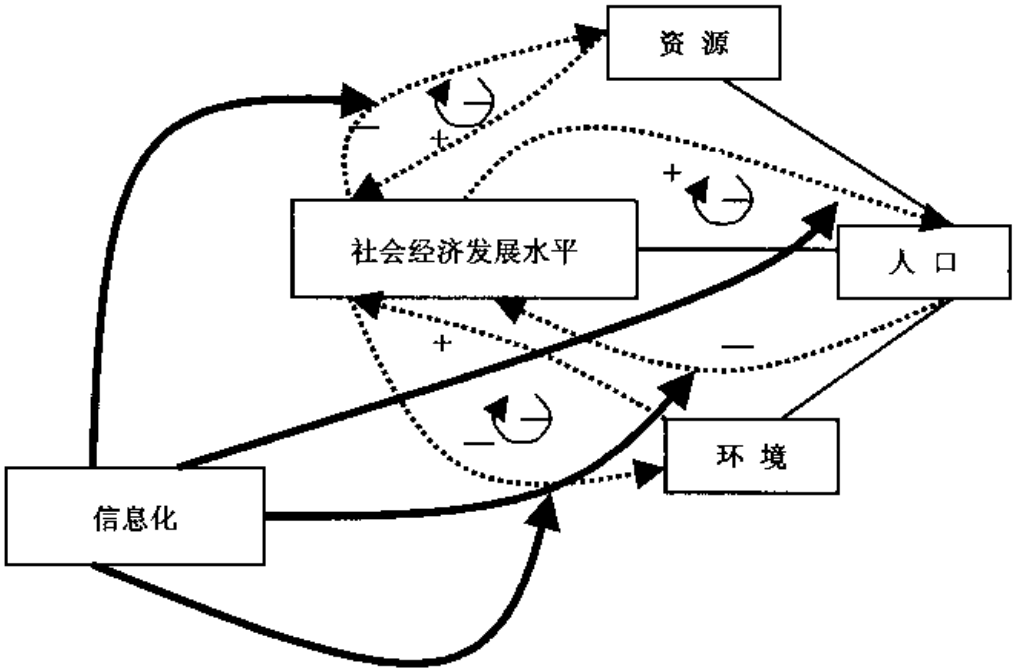


图 2－4　信息化——人口、资源、环境、社会、经济发展系统的因果回路图

因此，一个完整的矿产资源战略评价系统，必须充分考虑矿产资源生命周期中各参数的相互关联性，这些要素也就构成了区域矿产资源战略评价的客体，是矿产资源战略评价系统的评价对象。矿产资源战略评价系统研究的技术路线与流程如图 2－5 所示。

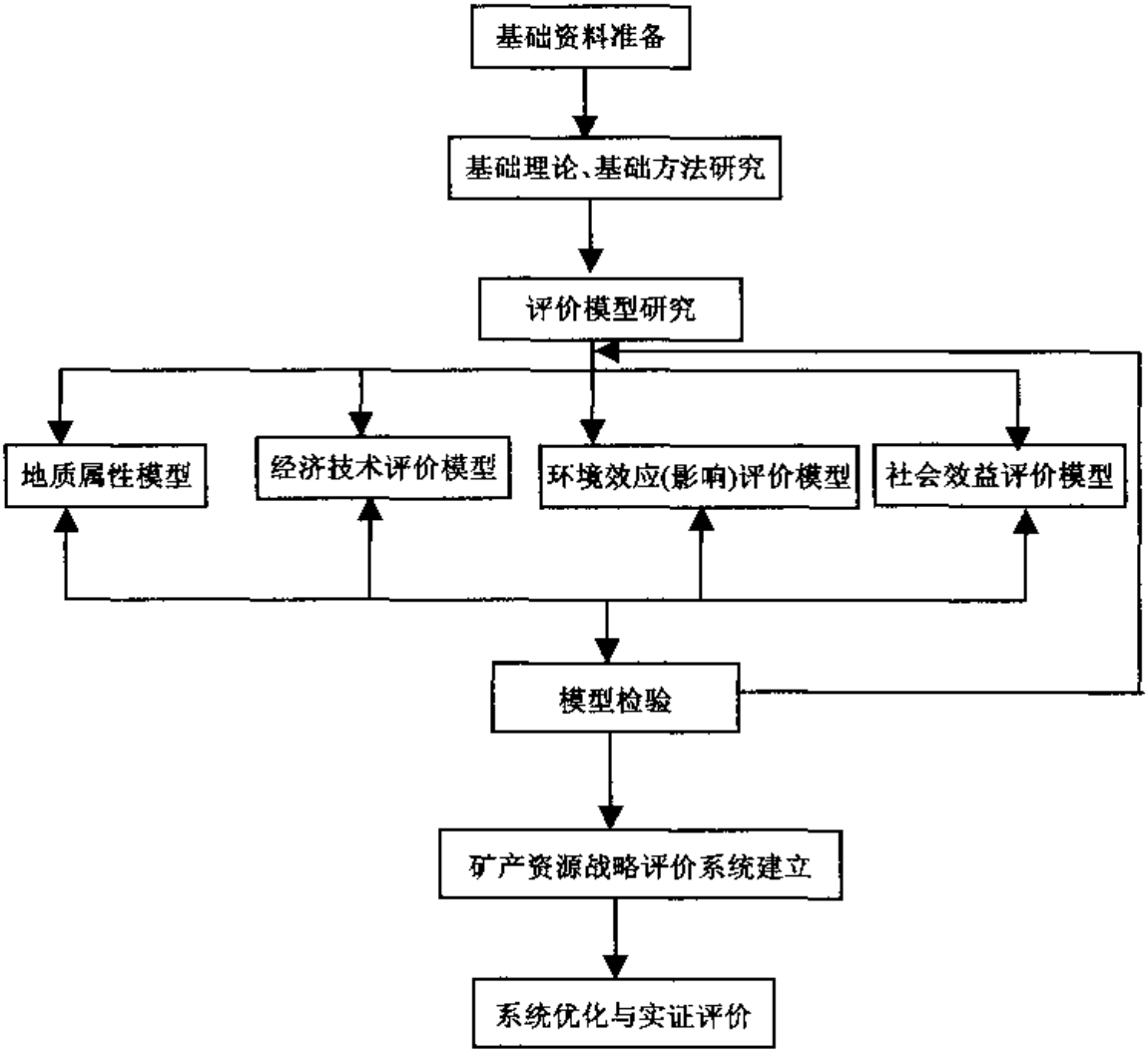


图 2－5 矿产资源战略评价系统研究的技术路线与流程

2.2.2 矿产资源战略评价的系统思想

矿产资源战略评价系统研究对象——区域可持续发展系统具有系统性、综合性、非线性和不确定性等特点以及矿产资源自身的特点，决定了矿产资源战略评价具有阶段性、层次性、动态性与综合性的系统思想。

（1）阶段性：由于对客观地质规律认识上的阶段性、矿产勘查工作的阶段性以及矿山建设发展过程的阶段性要求等，同时考虑到区域社会经济发展的阶段性，使得矿产资源战略评价也必然具有阶段性。以矿产资源经济技术评价模型为例，可进一步划分为矿产资源预评价、矿产资源概略经济技术评价、矿产资源初步经济技术评价、矿产资源详细经济技术评价以及矿产资源后评价 5 个阶段，各阶段的评价方法、目的以及所对应的矿产勘查工作阶段等综合于表 2－1。

表 2－1　矿产资源经济技术评价模型中各阶段的基本特征

矿产资源经济技术评价的阶段	预评价	概略经济技术评价	初步经济技术评价	详细经济技术评价	后评价
矿产资源勘查工作阶段	区调	普查	详查	勘探	开发
矿产评价结构水平	矿区	矿田	矿床	矿体	矿段
评价主要目的	矿产普查工作的依据	矿业远景规划和矿产详查的依据	矿区建设开发总体设计和矿产勘探的依据	矿山工程设计和矿山开发勘探的依据	矿山经济参数优化和矿产勘查开发总结
评价指标（或方法）	矿产资源价值	矿产资源工业价值，静态企业经济效益	动态国民经济评价和财务经济评价	经济－自然－社会综合效益	经济－自然－社会综合效益
评价主要依据的资料	矿产资源形势，矿产区调	矿产普查	矿产详查	矿产勘探	矿山开采，矿山开发勘探

这 5 个阶段既独立又联系，具体表现为：①从矿产资源预评价到矿产资源后评价构成一个矿产资源勘查、开发利用的完整评价及反馈系统，前一个评价是后一个工作阶段和评价的依据，后一个评价则是前一个评价的验证和深入。如矿产资源初步经济技术评价为矿产资源勘探工作提供了决策依据，而矿产资源详细经济技术评价是矿产资源初步评价的深入，且为矿产资源开发利用提供决策依据。②不同的矿产资源经济技术评价阶段的对象、目的、内容、方法不同。如矿产资源预评价的主要目的是回答有无国家所需的矿产资源以及资源量，其以矿产区域调查资料为依据，同时考虑国家矿产资源政策、工业布局、工业发展以及社会经济地理等因素，为矿产资源普查工作的开展提供决策依据，此决策主要属战略型宏观决策。

矿产资源后评价的基本目的是：①通过探采对比，对矿床勘探程度和研究程度作出客观、公正的评价，提高认识，总结和积累经验，指导矿床勘探工作

（如矿床边界品位确定、勘探方法的选择等），使矿产资源勘探更为合理；②通过矿山企业实际经营的经济效益与矿产资源经济技术评价的经济效益对比，找出引起（或导致）差异的主要原因（或因素），指导矿山企业改善经营以及为矿山设计提供科学的依据和借鉴，使将来的矿产资源评价更为可靠、更切合实际。

开展矿产资源后评价的必要性在于：①与其他经济活动（或行为）相比，矿产资源勘查和开发过程中的不确定性更大，经济风险更大；②探采脱节的现象还没有从根本上扭转，没有形成探采有机结合的经济体系；③对矿产资源地质成因、开发技术经济条件的进一步认识，应贯穿于矿产资源勘查开发的全过程，提出的矿产资源预评价和矿产资源后评价是矿产资源经济评价系统中不可缺少的两个重要环节，只有包含了这两个环节的矿产资源经济技术评价才能形成一个完整的评价系统。

（2）层次性：矿产资源战略评价是对区域可持续发展系统与矿产资源战略内在机制的揭示，具体表现在包括法律、政策、计划、规划和具体项目上的应用，其目的是通过矿产资源战略评价消除或降低因战略失效造成的资源环境影响以及社会经济影响，具有层次性（如图 2－6）。按照其层次结构，可将矿产资源战略评价的评价战略分为法规、政策、计划、规划、具体项目 5 个层次类型；同一层次之间也有等级上的差别，比如全国性、省级、地市级和县级等。这样，某一层次的战略制定和实施，不仅要受到上一层次战略的左右，而且必须根据上一等级同一层次战略进行。可以说，所有这些战略都会直接影响到人

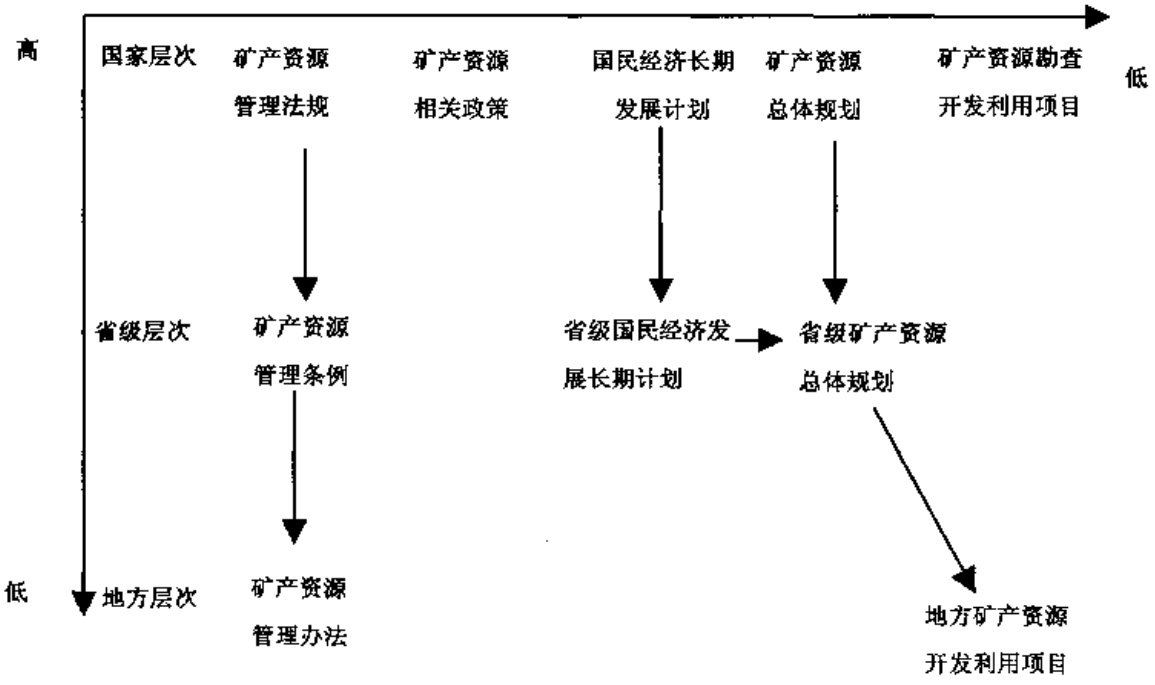


图 2－6 矿产资源战略评价层次性体系框架

们的经济行为，继而通过经济行为产生社会和资源环境影响。以政策层次为例，经济政策影响区域生产规模、产出结构及投入产出效率，这些因素将对资源环境产生积极或消极的影响，所带来的效益、收益通常能降低对包括矿产资源在内的自然资源投入物的需求；资源环境政策可以提高矿产资源的使用效率，降低使用强度，并能鼓励采用利于矿产资源保护和环境破坏较小的技术和生产。矿产资源战略评价系统所评价战略的层次结构类型可用图 2－7 表示。

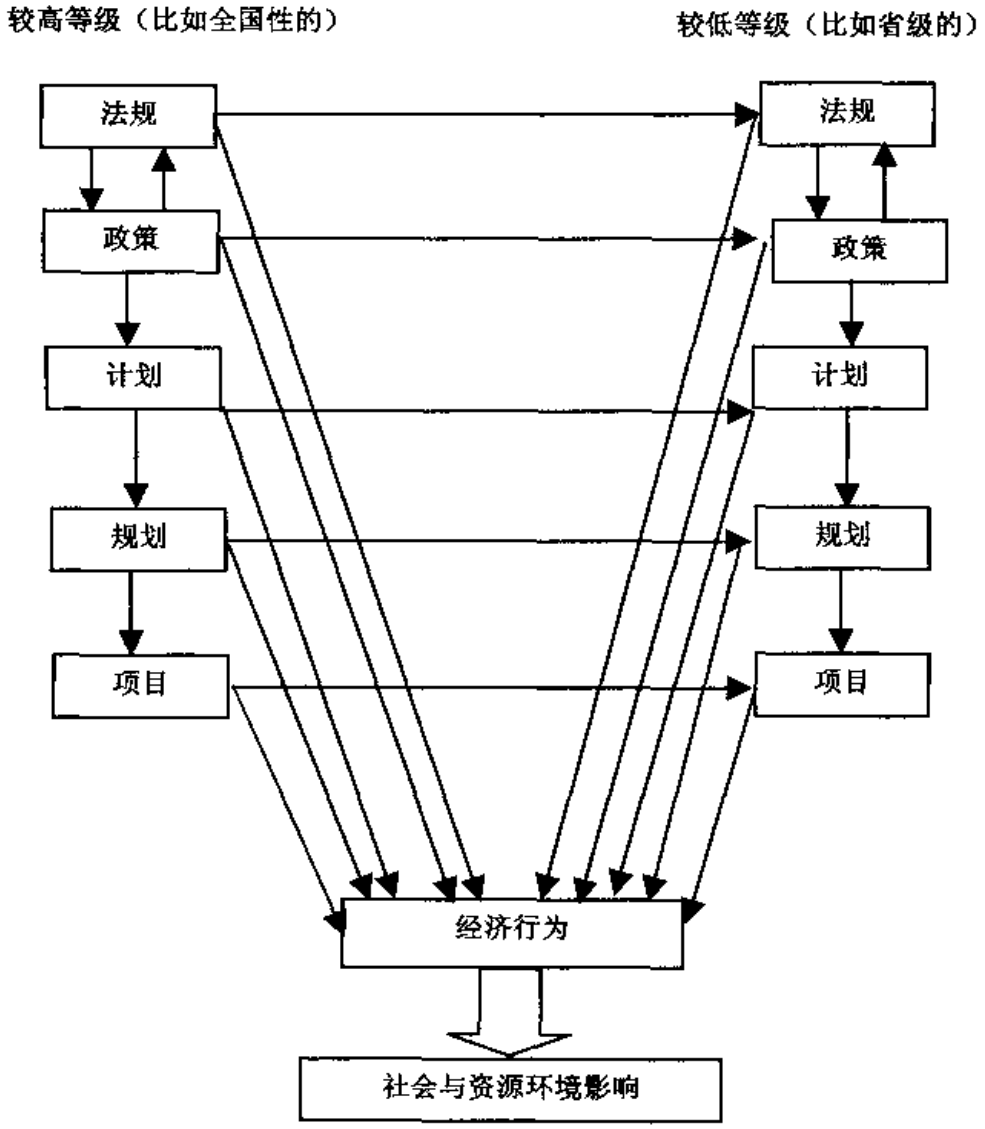


图 2－7　矿产资源战略评价系统的评价战略层次结构类型

另外，矿产资源战略评价的层次性还表现在评价对象的层次性和评价方法的层次性两方面。在评价对象方面，由于矿产资源的成矿在空间分布上往往具有很明显的结构特征，层次性是其最主要的表现形式之一。如对于金属矿产由高层次到低层次依次为：成矿区（平均分布面积 7 600km^2）→矿结（平均分布面积 375km^2）→矿田（平均分布面积 22km^2）→矿床（平均分布面积 1.5km^2）→矿体→矿段。由于不同的矿产资源勘查工作阶段对应不同的矿产资源层次对象，这就使得矿产资源战略评价也具有层次性。在评价方法上，以矿产资源经济评价为例，由于矿产资源勘查、开发与利用的基本原则之一是既要最大限度地满足国民经济发展和人民群众物质文化生活需要，又要考虑矿山企业自身的经济效益，所以，矿产资源经济评价（尤其是大中型矿床）都必须在财务经济评价和国民经济评价两个层次上进行。由于财务经济评价与国民经济评价存在差异（如评价角度不同、效益与费用含义不同、价格不同以及一些主要评价参数贴现率等不同），使得财务经济评价结果有时与国民经济评价结果相抵制。如煤矿中的薄煤层开采问题，是一个突出的例子。薄煤层开采产量低、万吨掘进率高、工人劳动强度大、工作环境差以及生产成本高等，在煤矿企业经济效益不好的情况下使开采薄煤层的经济效益更差，财务经济评价是否定的，但从国民经济的宏观角度评价其开采又是经济的。为了做好国家煤炭资源的保护和利用，国家仍需要开采薄煤层资源，但又必须考虑企业的经济利益，而实行对开采薄煤层的倾斜政策（如薄煤层生产成本补贴等）。另一种情况则是财务经济评价是肯定的，但国民经济评价是否定的。如某一金矿的开采，企业经济效益会很好，但要以破坏珍奇的自然景观为代价，因而国民经济评价是否定的。国民经济评价的主要目的是使矿产资源合理、有效的开发和利用，使社会、自然、经济效益相统一。

（3）动态性：任何事物之间都是相互联系的，且随时间的变化而不断地发生变化。矿产资源战略评价也必须充分考虑这一动态性。矿产资源战略评价的动态性，是基于资源开发利用过程中参数随时间的变化性及各参数之间的相互联系性和制约性考虑的。如对矿产品的需求随时间的变化，从而导致矿产品价格的变化，品位指标的变化会引起矿石储量和质量的变化，从而引起采、选手段和成本的变化。又如开发一个油田，就要估计是否有其他油田在建设，有无其他重大代用能源（如天然气、煤、电力等）的开发在进行，还要注意全世界节约石油的科技进展，这些都会影响新开采的石油价格。

（4）综合性：矿产资源战略评价要求矿产资源勘查、开发和利用必须纳入环境－社会－经济系统中，综合评价矿产资源开发利用的环境、社会及经济效果，达到环境、社会与经济的和谐统一。另外，还包括评价方法的综合性。

2.2.3 矿产资源战略评价系统的基本类型

矿产资源战略评价应是一个动态过程，一般而言，它可分为矿产资源战略需求评价、矿产资源战略控制评价以及矿产资源战略后评价 3 种类型，如图 2－8 所示。

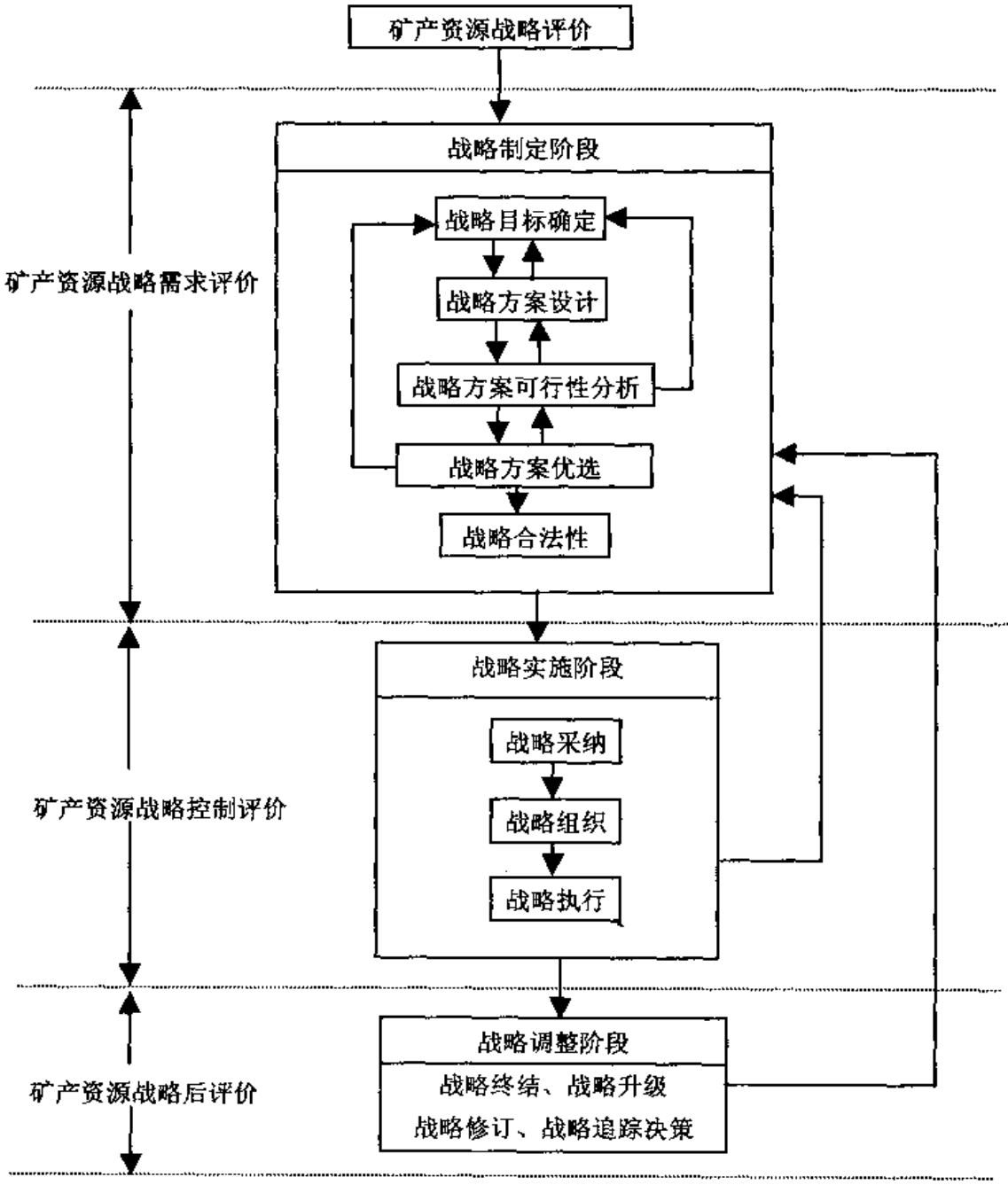


图 2－8　矿产资源战略评价动态过程与矿产资源战略评价系统的基本类型

（1）矿产资源战略需求评价：矿产资源战略需求评价发生在涉及矿产资源调查、勘探、开发利用等方面的战略方案设计阶段，其任务是，识别和量化对矿产资源、环境等信息的目前需求以及预期需求，为国家或地区制定矿产资源计划、规划等提供决策依据，并结合方案的可行性分析和方案优选进行。评价结论作为战略方案可行性分析及优选的主要内容和投资决策依据，最终体现在战略目标制定和战略方案设计上。矿产资源战略需求评价，目的在于尽可能消除或降低战略内容、战略目标、战略方案、战略措施制定的缺陷而造成的各种影响，包括公众等社会影响、环境影响等，并对于战略内容引发的不可避免的相关影响提出相应的减缓、补救措施。

（2）矿产资源战略控制评价：矿产资源战略控制评价是在战略实施过程中对战略组织、战略执行的各种影响进行监测、评价，并将评价结论通过决策者反馈到战略调整上。由于战略问题及社会经济资源环境系统的复杂性，战略实施引发的许多诸如环境问题是战略制定阶段料想不到的，矿产资源战略控制评价的目的就在于及时解决这些问题，保证战略运行不偏离资源环境社会约束目标。

（3）矿产资源战略后评价：矿产资源战略后评价，也即绩效评价，是对战略实施完成后处于调整中的战略进行的，其主要任务是评价战略执行后已经产生的各种影响。其结论是关于矿产资源战略计划或规划绩效的最终反映，对于战略过程及战略系统的改进具有重要作用。

第三章　矿产资源战略评价的理论基础

§3.1 理论基础一：系统理论

3.1.1 关于系统论

现代系统论的诞生以贝塔朗菲于 1945 年发表的论文《关于一般系统论》为标志（霍绍周，1988）。经过 50 多年的发展，它已成为一门涵盖系统学理论、系统方法学及系统工程学，从理论方法到应用的、完善的系统科学体系（朴昌根，1988）。作为一门横断学科，系统论已成为社会学、自然科学、思维科学、工程技术等研究领域的基础理论和方法。

系统一般被定义为“具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素所构成的一个整体”。就一般系统的共同属性和整体运动规律而言，系统的基本原理包括以下 7 个方面（曾广容，1988）：

（1）整体性原理。整体性是系统的最基本属性，它一般被表述为“整体大于各部分之和”，或者说系统的质不同于各要素的质的简单相加。系统的整体性主要是由 3 个方面决定的，即：①系统组成要素的性质和数量；②系统的结构；③系统的环境。根据系统整体性原理，矿产资源战略制定和实施必须从整体出发，综合考虑战略的经济效率、社会需求与可接受程度以及战略环境效应与效果，即进行资源、环境与发展综合决策。

（2）相关性原理。相关性是指系统、要素、环境之间的相互影响、相互作用、相互依存、相互制约的特征，即联系。从本质上看，联系是相互之间的物质、能量、信息的交换。因此就形式而言，系统的相关性或联系有系统联系、结构联系、功能联系、起源联系、因果联系等不同类型。

（3）结构性原理。系统的结构是系统保持整体性以及具有一定功能的内在依据。其基本形式有：①空间结构，即系统要素在空间上的排列组合方式；②时间结构，即系统随时间变化而呈现的流动性、变动性结构。但一般而言，系统结构是空间性与时间性的统一。从特征上看，系统结构又是相对的稳定性

与绝对的运动性的统一。由于结构是功能的内在依据，因此矿产资源战略评价必须依据区域发展系统的结构进行；同时，系统的结构性及系统结构的稳定性是各种评价模型建立的基石。

（4）层次性原理。一方面，系统由一定的要素组成，这些要素同时还是由更小要素组成的子系统；另一方面，系统本身又是更大系统的组成要素，这就是系统的层次性。一般而言，不同层次的系统具有不同的性质，也遵循不同的规律。这就意味着系统的层次性越高，其结构越复杂、功能也就越多。因此，研究中应针对系统的层次性特点采取与之相适应的研究方法，同时不能忽视各层次间的相互作用、相互影响。

（5）动态性原理。现实系统都是开放系统，都有物流、能流、信息流在不断运动；系统本身都有生命周期。系统的这种运动、发展、变化称为“动态性”，它表明处于不同历史时期的系统，或在同一系统的不同阶段，其结构和表现出来的功能是不同的。

（6）目的性原理。系统自我趋向稳定有序状态的特性就是系统的目的性。而这种目的性是受系统行为结果信息控制的，或者说系统的目的性是通过系统反馈机制来不断调整系统行为而达到的。矿产资源战略控制评价就是通过对现行战略资源、社会、经济、环境效果或效益进行监测，并将有关信息反馈给战略主体，主要是战略决策者以作为战略调整的客观的科学依据，保证战略目标体系，即社会目标、经济目标、环境目标的实现。

（7）适应性原理。系统适应环境（包括其他系统）变化的能力称为适应性。对于开放系统，其功能的表现过程，必然是系统与环境间的相互作用过程。在矿产资源战略评价中，对于系统的“环境”，应从两个方面进行理解：一方面，矿产资源战略经济环境大系统中，如果把矿产资源战略、经济、环境3个子系统相对来看，任何两个都可以看成是第三者的“环境”；另一方面，任何一项战略的实施区域都是明确的，受其影响的区域范围也是可以确定的，因此，作为矿产资源战略评价研究对象的区域可持续发展系统的边界是明确而具体的，边界之外的任何相关要素都可以看成是这一复合系统的“环境”。在分析系统与环境或与其他系统的相互作用关系时，应从4个方面入手：①相互依存关系。比如，随着世界一体化进程，各区域之间、各国家之间的联系更加密切。具有很强的互补性经济关系的两个区域或国家就互为依存关系；②相互竞争关系。指资源有限时，不同系统或系统与环境对资源的竞争性需求；③相互破坏关系。比如，经济发展一方面消耗资源，另一方面向环境中排放废弃物，从而造成环境退化和环境污染，而环境退化和环境污染又会反过来限制经济发展；④相互吞食关系。比如，资源开采系统对于资源保护系统的关系。

3.1.2 灰色系统论

矿产资源战略评价的研究对象是区域可持续发展系统，由于这一系统具有非线性、复杂性、动态性等特点，再加上人类对于该系统的认识能力上的局限性，使得系统对于人类来说是一个信息不充分不完全的系统，即灰色系统。灰色系统所具有的“信息不完全性”，主要包括以下4个方面（邓聚龙，1990）：①系统要素不完全明确；②要素关系不完全清楚；③系统结构不完全知道；④系统作用原理不完全明了。因此，对于区域可持续发展系统这样的灰色系统来说，就难以用一般的系统理论和方法进行研究。而已发展起来并初步完善的灰色系统理论方法，包括灰色关联分析、灰色预测、灰色决策等提供了可行与可靠的研究方法。

（1）灰色关联分析。灰色关联分析的基本任务是基于行为因子序列的微观或宏观几何接近，以分析和确定因子间的影响程度或因子对主行为的贡献测度。在矿产资源战略评价中，一项战略所调整的社会经济行为不止一个，或者说多个战略共同作用于同一项社会经济行为。同样，一项社会经济行为的资源环境影响也是多方面的，或者说受同一社会经济行为影响的资源环境因子也不只一个；同时也存在着多项社会经济行为共同作用于同一个资源环境因子。并且不同战略之间、同一战略的不同战略要素之间、各经济行为之间以及各资源环境因子之间也存在着复杂联系，引发次级的、三级的，甚至是更高级的影响。运用灰色关联分析，通过计算灰色关联系数、灰色关联度就能明确上述各关系。

（2）灰色预测。灰色理论的灰色模型是基于关联度收敛原理、生成数、灰导数、灰微分方程等观点和方法建立的微分方程型模型。灰色理论认为系统的行为现象尽管是朦胧的，数据是杂乱无章的，但它又是有序的，是有整体功能的，无序的后面必然潜在着某种规律。通过灰数的生成，就是在杂乱无章的原始数据中寻找其内在的现实规律。灰色灾变预测可以对系统行为特征量超出某个阈值（即环境风险）将在何时出现进行预测，从而确定战略环境评价中不确定出现的时间；灰色拓扑预测是对一段时间内行为特征数据波形的预测，用来预测战略环境影响的总费用（或总效益）；灰色系统综合预测是基于一系列相互关联的GM（1，N）模型来预测整个系统的变化及系统中各个环节的发展变化，用于研究整个区域可持续发展系统的行为分析。

（3）灰色决策。灰色决策包括灰色局势决策、灰色规划和灰色层次决策3类。矿产资源战略评价的目的就是为矿产资源战略方案的决策提供科学依据。利用灰色局势决策，把各战略方案的资源环境影响作为事件，其各自战略方案作为对策，二者组合为局势。由于战略资源环境影响的不确定性的存在，这一局势中含有灰元，进行灰色局势决策；灰色规划法把不确定性概化为目标函数，

建立灰色规划模型，进行求解；灰色层次决策，先按职权范围将战略主体分为决策者、智囊层、执行层和群众层，这4个层次的决策意向，分别用“权”表示，由于各战略主体层的决策意向具有不确定性，因此这些“权”的数值可按灰色理论、灰色模型求解，进行灰色层次决策。

3.1.3 模糊系统理论

一般来说，系统性和模糊性有着内在的本质联系，凡系统（形式化系统除外）必有模糊性，并且系统的内外联系越多样复杂、组织水平越高，模糊性也就越强（于连生，1992）。无论矿产资源子系统、经济子系统，还是环境子系统一般都是多因素、多层次、组织水平比较高的复杂系统，因此其模糊性都很强，而作为这3个子系统的上一层次的区域可持续发展系统的模糊性则更强。在矿产资源战略评价中，区域可持续发展系统的模糊性主要表现在以下4个方面：①评价对象的模糊性。②评价区域系统边界的模糊性。③评价时间尺度上的模糊性。④评价因子的模糊性。矿产资源战略评价的研究对象——区域可持续发展系统本身就是一个模糊系统，因此一些相应的模糊数学方法，包括模糊分析（模糊聚类分析、模糊相关分析、模糊系统分析）、模糊预测、模糊综合评价、模糊决策等可以分别用于矿产资源战略评价中的各环节。

3.1.4 非线性系统理论

非线性理论，具体包括耗散结构论、协同学、突变理论、混沌与分形理论等。这些非线性理论共同研究的最基本内容，是系统的复杂性和综合性。作为矿产资源战略评价的研究对象，区域可持续发展系统是一个复杂的巨系统，非平衡性、非线性、多尺度性、突变性、自组织性、自相似性、有序性和随机性等是该巨系统的最本质的属性，而这些属性恰是非线性理论关注的焦点。同时，对于该系统结构、功能、行为进行的描述和分析也必须借助非线性理论与方法，尤其可以作为矿产资源战略评价中不确定性分析的研究方法。

根据混沌理论，一个系统在演化过程中可能出现5种类型的状态：有序态、无序态、混沌态、反混沌态和自组织临界态。其中混沌态是结构有序的系统所产生的不确定运动状态。处于混沌态的系统具有系统动态行为对初始状态条件的敏感依赖性和分形特征。敏感依赖性说明，由于系统初始的不确定性得到指数律倍数的放大，使对其进行的长期预测没有意义。因此，在利用混沌理论中的轨道预测和区间预测来进行战略环境系统预测时，注意用最大的 Lyapunov 的倒数（$1/\lambda$）为评价极限基础来确定其预测水平；混沌态的分形特性在空间表现为混沌吸引子，即局部上的不稳定性，随机扰动的不可预见性（即不确定性），在总体上则为稳定的协同整体，从而可以从系统的历史状态预测其未来。

显然，具有非线性动力系统特征且具有类似随机行为的区域发展系统是一个混沌系统。这一系统的行为可通过混沌理论与方法进行描述、预测。

3.1.5 开放的复杂巨系统理论

“开放的复杂巨系统”是由马宾最先提出，并由钱学森先生积极倡导及亲自参与研究而发展起来，并成为系统科学中的一个“很大的新领域”（钱学森，1990）。开放的复杂巨系统是指“子系统种类很多并有层次结构，它们之间关联、关系又很复杂，又是开放的系统”，它具有以下 4 个特征（钱学森，1994）：①系统本身与系统周围的环境有物质、能量、信息的交换，即系统是开放的；②系统所包含的子系统很多，所以是巨系统；③子系统种类繁多并且系统的结构不断改变，所以是“复杂的”；④系统具有许多层次，即子系统到整个系统之间的系统结构的层次。

目前，在社会系统、人体系统和地理系统 3 个复杂巨系统研究实践的基础上提炼、概括和抽象出来的从定性到定量的综合集成方法是能用的，并且是惟一有效的处理开放的复杂巨系统的方法。这一方法的实质就是将专家群体、数据和各种信息与计算机技术有机结合起来，把各种学科的科学理论与人的经验知识结合起来。这个方法的成功运用就在于发挥了这个系统的整体优势和综合优势。矿产资源战略评价研究对象——区域可持续发展系统就是一个开放的复杂巨系统，因此综合集成方法可以作为其研究方法之一。

§3.2 理论基础二：可持续发展与新型工业化经济增长理论

3.2.1 可持续发展观的形成与发展

人类今天的生存性矛盾和危机，已经由以往的供给不足危机转变为生存危机，生态失衡对于未来人类的威胁，已经大大超过了生产不足的威胁，保护生态资源给人类带来的快乐与福利在总体上已经与增加生产给人们带来的快乐持平，甚至已经超过了增加生产给人们带来的快乐（由于受经济短缺和贫富对立等问题的长期困扰，经济学家们一般总在功利境界范围内来解释经济人行为，并把物质利益最大化视为人类经济行为的一般倾向或根本动因。事实上，人类行为的根本准则或行为原动力是“趋乐避苦”，即快乐才是人类行为的终极目的）。在这样的生存与发展性矛盾转变的时机中，经济开发与资源环境保护的重

要性已经需要重新排序，需要把生态安全置于人类安全的首位。实现资源环境保护和发展的可持续性，才是人类真正有理性的发展战略选择。

根据边际效用理论，并就整个人类经济史而言，自然财富与国民财富恰好存在着两条相反的边际效用曲线（如图 3－1）。在相当长的时期内，由于生产力水平落后，国民财富对人类的快乐满足而言，都维持在一个较高的效用水平上；而自然财富则因其相对充裕性（空的世界），对于人类的快乐满足的边际效用相对较低。但是，随着科技进步而来的社会生产力突飞猛进的发展，国民财富急剧增加了，人类的基本生活需求得到满足并出现了经济过剩，而自然财富却由于同样的原因而不断减少，甚至成为人类群体存在的主要威胁（满的世界）。正是在这种情况下，国民财富对于人类快乐满足的重要性（边际效用）逐渐地趋于下降，而自然财富的边际效用快速上升，并形成了两条财富效用曲线的均衡点（转折点），这便是人类生存性矛盾的嬗变。

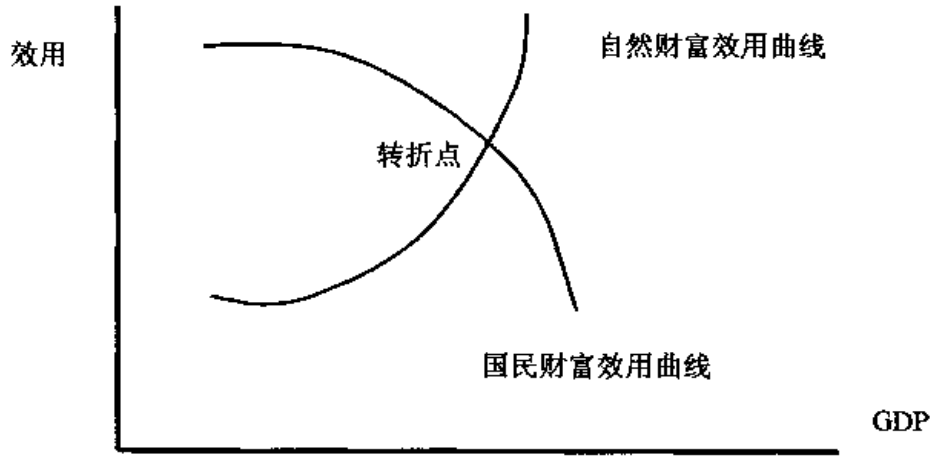


图 3－1　自然财富与国民财富边际效用曲线

伴随人类生存性矛盾的嬗变，人们对于资源与发展观念的认识也正在发生深刻的变化。资源环境与生态安全问题已经越来越突出，自然财富保护的重要性已经超越于一般国民财富增长的重要性，人们开始重新审视与调整人类原先确立的一系列财富理念、经济目标与环境政策，并形成了与之相对应的“可持续发展观”。

“可持续发展观”在 20 世纪 80 年代初形成之后，立即得到迅速传播，有关可持续发展理论的研究，从生态环境研究领域扩展到整个经济发展研究领域，从学者书斋的议论走向各国政府和国际社会论坛，并成为左右发展决策的强有

力的理论体系。1983 年联合国成立世界环境与发展委员会（WCED），任命挪威前首相 G.H.布伦特兰夫人为世界环境与发展委员会主席，要求以“可持续发展”为基本纲领，领导制定全球的“变革日程”，并同时委派以布伦特兰夫人为首的世界环境与发展委员会和环境规划署合作编制《环境前景》文件。经过 3 年多的调查研究，该组织向于 1987 年召开的第 42 届联大“环境与发展会议”提交了一份题为《我们共同的未来（Our Common Future）》的报告。该报告多次强调“可持续发展”这一关键概念，同时提出和阐述了“可持续发展”战略，得到了大会确认，从而为促进全球特别是发展中国家接受“可持续发展观”和加强环境保护的国际合作起了重要的推动作用。对此，发展中国家与发达国家进行了一系列对话和辩论，并于 1989 年 5 月在联合国环境规划署第 15 届理事会期间达成共识，认为“可持续发展”系指满足当前需要而又不削弱子孙后代满足其需要能力的发展。这一共识包含子孙后代的需要、国家主权、国际公平、自然资源、生态抗压力、环保与发展相结合等重要内容。1992 年 6 月，联合国在巴西里约热内卢召开环境与发展大会，这次会议以可持续发展为指导，从政治平等、消除贫困、环境保护、资源管理、生产和消费方式、科学技术、立法、国际贸易、国际合作动员广大群众特别是妇女和青年与当地群众参与以及加强能力建设等方面，进行了一系列热烈讨论，在许多重要问题上达成共识，旗帜鲜明地摒弃了传统的大量消耗能源和资源、以牺牲环境质量为代价的发展，选择了与生态系统相协调的经济、社会发展战略。会议通过了《21 世纪议程》、《里约环境和发展宣言》以及联合国气候变化框架公约、联合国生物多样性公约，还有关于各种森林类型的管理、保护和可持续发展的无法律约束力的全球协议及权威性原则声明等一系列文件。同时，会议号召各成员国制定其本国的“可持续发展”战略与政策，并加强合作，以推动《21 世纪议程》的落实。《21 世纪议程》是世界各国为促进全球可持续发展而制定的一个共同行动准则，反映了实现全球可持续发展战略目标，在环境与发展领域广泛开展合作的全球共识和最高级别的政治承诺，正式确立了“可持续发展”战略，提供了落实“可持续发展”战略的行动方案，为人类改善环境、完善发展展示了广阔前景。在这次会议上，可持续发展问题无论在理论上还是实践上，都被与会的 183 个国家和 70 多个国际组织所接受，使得它与生物多样性保护、全球变化问题一起，被列为当代生态和环境科学的三大前沿领域。同时，“可持续发展”亦成为经济学和社会学领域中的重要范畴，“可持续发展”逐步完善为系统观念和系统理论。

虽然现代意义上的可持续发展的系统思想产生于 20 世纪 70~80 年代，但朴素的可持续发展思想则早已有之。我国早在 2 000 年前的春秋战国时代，先儒就有了保护正在怀孕或产卵期的鸟兽、鱼鳖的“永续利用”思想和定期封山育林的法令等明确的对可再生资源持续利用的思想（王军，1997）。另外我国古

代对区域分异的认识也孕育了朴素的区域可持续发展概念（陈彭等，1997），并且这些思维成功地运用到了三角洲的开发和体现在三角洲文明的形成之中。大概从 14 世纪起，珠江三角洲发展了基塘系统，对沼泽地、海涂滩地加以利用。三角洲地下水位很高，于是就把低洼积水地方的土挖出来，培成基，基围成塘。基上种桑树，桑叶养蚕，蚕屎喂鱼，鱼粪肥桑，形成一个封闭式的生态农业循环系统。此外，封闭的基塘系统通过一种巧妙的灌溉体系，形成了一种具备可持续发展能力的区域开发模式，达到了人类发展和自然生态系统发展两者之间的相互协调。西方经济学在 19 世纪对林业的研究和 20 世纪对渔业的研究也提出并分析了可再生资源的“可持续产量”问题，反映了人们对可持续发展也有了朴素的认识。但西方学术界对可持续发展展开较为系统的研究则始于 20 世纪 60 年代。这些学术思想虽然并未明确提出可持续发展这一概念，但在对经济发展、资源问题、人口问题、环境问题等方面的论述中都包含了非常丰富的可持续发展思想。根据刘文等人的概括（刘文、王炎库、张敦盲等，1996），这些思想包括如下几个具体学说：20 世纪 60 年代末美国波尔丁（K. E. Boulding，1966）的“宇宙飞船经济”理论；美国麦多斯（Meadows，1972）等人的“增长的极限”理论及与之相关的“零增长论”；英国戈德史密斯从自然资源需求出发的“平衡稳定的社会”理论；英国舒马赫重视人与自然关系的“小型化经济”理论；美国卡伦巴斯主张的生态乌托邦经济的“人道主义社会”理论；美国巴克利和塞克斯勒的“调整人类活动的物理、生物、经济和社会诸方面整体结构论”；美国塞尼卡和陶希格以“稀缺的世界”为出发点的“补偿论”；美国戴利的“稳态经济学”，等等。

在“可持续发展”中，究竟什么应该是可持续的，一般有两种回答：一种认为效用应该是持续的，即未来世代的效用将不会下降，就效用而言，未来至少应该和现在一样富裕或者幸福。另一种认为，物质的生产能力（Throughput）应该是持续的，即从自然而来，经过经济活动又返回自然这样一个熵的物质流不会下降。不管是从理论上还是在实践中，我们无法将效用或者快乐留传给未来世代，我们可以给他们留下物品和知识，未来世代用这些馈赠得到的是快乐还是痛苦，则不在我们的控制之中。因此，将可持续性界定为代际间不会减少的馈赠，而且是一些不可计量又不可留传的东西，是毫无意义的。而物质的生产能力的持续，更确切地说，生态系统保持这些循环的能力是不会衰竭的，自然资本将保持不变，就可得到的生物物质资源以及生态系统所提供的服务而言，未来至少将享有和现在相同的福利。这种用以产生取之自然、用之自然的熵的生产能力，是我们赖以生存和生产的新陈代谢的循环，是在代际间可计量和更可传递的东西，这个概念更能够表现可持续性的内涵。从物理学的角度来说，由热力学第一定律发现，自然界能量的数量在传递和转化过程中保持不变，即

能量守恒。一个系统要做功，要么消耗内能，要么就是吸取系统外部的能量。由热力学第二定律揭示，当物质形态转化时，会使某种能量受到一定的损失，这种不能再被转化做功的能量的总和就是熵。在一个国家中，国民经济增长依赖于大量自然资源消耗的支持，而经济增长过程中消耗大量资源，会导致熵的不断增加，从而大大扩展经济发展的负外部性，导致生态系统失去平衡和生命维持系统功能弱化，产生生态可持续性问题。因此，自然资源开发利用的可持续性是可持续发展研究的焦点所在，以怎样的态度来看待经济增长过程中的自然资源问题，如何认识物理规律对经济规律的限制，也就成了当代经济学家所必须做出回答的关键问题。

3.2.2 新型工业化经济增长理论

（1）新型工业化与经济增长：自然资源的优化配置。

什么是新型工业化，江泽民同志在党的“十六大”报告中明确指出，这是“一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化路子。”它主要具有以下特点：①由信息化带动的工业化道路；②以集约型增长为主的工业化道路；③发挥比较优势和后发优势的工业化道路；④机械化与就业协调的工业化道路；⑤力求产业结构优化的工业化道路；⑥与城镇化适度同步的工业化道路；⑦以经济效益为中心的工业化道路；⑧实现可持续发展的工业化道路；⑨对外开放型的工业化道路；⑩政府导向、市场推动型的工业化道路。工业化与信息化的互动形成新型工业化的内在发展机制，而新型工业化的“对外输出”则是对经济发展的进一步促进。依靠科技进步和创新，充分发挥人力资本优势，以信息化带动工业化，降低自然资源消耗水平，减少环境污染，协调经济发展与人口、资源、环境之间的关系，是新型工业化的实质所在（如图 3－2）。

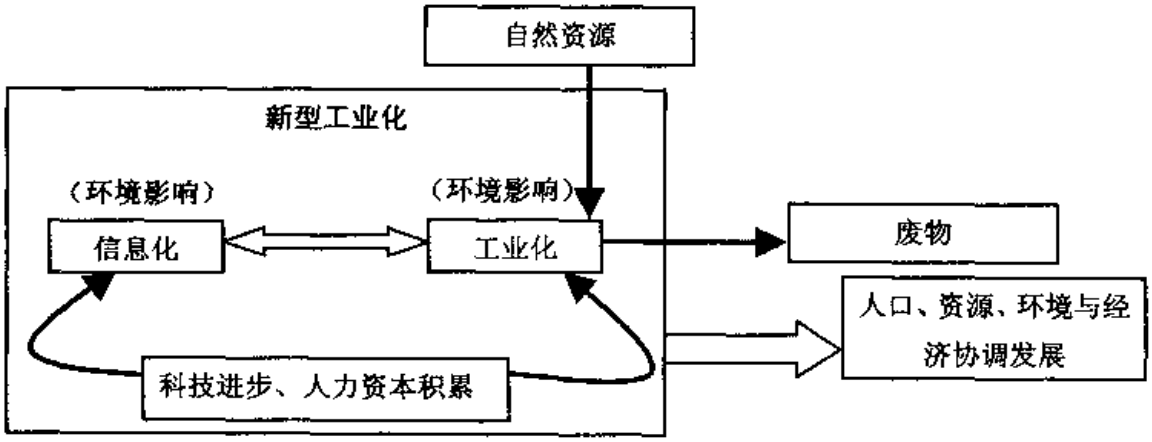


图3－2　新型工业化与经济发展

从自然资源开发利用的角度来讲，新型工业化强调通过现代技术不断深度开发和广度拓展自然资源在工业生产过程中的利用价值，实现资源利用的高效率和可持续利用，使中国工业从资源消耗型转变为资源节约型和技术导向型。新型工业化对自然资源配置的基本要求主要表现为以下几个方面：

第一，自然资源随着工业化过程的推进，其开发利用的深度不断延伸、广度不断拓展。一般认为，工业化过程是一个大量消耗自然资源、快速积累人类社会的财富、迅速提高人们生活水平的过程；而新型工业化则强调通过现代技术不断深度开发和广度拓展自然资源在工业生产过程中的利用价值。一方面，现代工业对自然资源的利用效率不断提高，利用同种类和同数量的资源能够生产出更多数量、更多品种、更高质量的工业产品，而且许多重要的矿产资源可回收再利用；另一方面，新的现代工业部门不断产生，拓展自然资源的利用范围。例如，传统采掘工业主要包括黑色金属矿的采选，有色金属矿的采选，煤炭、石油、化学矿和非金属矿的采选，但随着现代科学技术的发展，新的资源部门不断产生，包括对阳光资源采集的太阳能工业，直接从空气中制氧、制氢的工业，等等。

第二，从资源结构上看，新型工业化要求自然资源的使用效率逐步提高；在工业投入中，对自然资源依赖程度将逐渐相对减少，对高素质人力资源的依赖程度逐渐增大，并将主要依赖高素质人力资源。历史表明，工业化需要耗费大量的能源与矿产资源作为工业快速发展的支撑条件。工业化阶段，尤其是快速工业化时期，自然资源的消耗速度之快、强度之大、人均消耗量之高、消耗总量之大都是前所未有的。美国以大约 300 多亿 t 石油和近 50 亿 t 的钢，以及其他大量的能源和矿产资源的耗费为代价，完成了工业化进程。而日本也消耗了 30 多亿 t 石油和近 11 亿 t 的钢，以及其他大量矿产资源，才将工业化过程推进尾声。然而，工业化过程的中后期，随着工业化进程的逐步推进，在技术进步的作用下，自然资源的使用效率将得到提高，单位工业产品的自然资源消耗量将逐步减少，工业生产和发展对自然资源的依赖程度将逐渐相对减少，而对高素质人力资源的依赖程度逐渐增大。由于无论是技术还是知识，都主要以人力资源为核心载体，尤其是体现为高素质的人力资源的投入，因而新型工业化要求工业资源结构从以自然资源和劳动力数量为主逐步转为以技术、知识和劳动力质量为主。

第三，新型工业化要求工业生产所需单位自然资源消耗对环境的污染达到最小。自然资源与自然环境密不可分，自然资源是自然环境的基本组成因素。矿产、土地、生物、水和空气资源，既是工业生产的原料和动力来源，也是人类生态环境的重要组成部分。在工业对资源的加工和消费过程中，会产生各种废弃物，从而形成对环境的污染。当工业对环境的污染超过自然界的本身净化

能力时，将最终影响人们的生活。最常见的污染包括大气污染、水污染、噪声、辐射、酸雨等。从可持续发展角度看，由于环境污染的存在，通常衡量一国经济总量或者国家财富的指标 GDP 指标是不真实的，有“虚增”部分，因为 GDP 中没有减去由环境污染所造成的环境质量下降而导致的损失、自然资源的匮乏与配比不均衡而造成的损失、自然灾害引起的经济损失、资源稀缺性引发的成本、物质和能量的不合理利用而导致的损失，等等。据估计，我国 20 世纪 80 年代前期环境破坏形成的损失约占 GDP 的 6%，生态破坏的损失约为 GDP 的 9%～12%。在 20 世纪末，我国每年由于环境污染而造成的损失达 3 000 多亿元，约占当年 GDP 的 4%左右。而新型工业化对工业生产及其发展的资源配置和利用方式提出了要求，要有利于生态环境保护和改善，必须考虑资源的生长（再生）周期并保持生态系统的良性循环。从理论上说，对于现代工业体系而言，应该不存在完全没有利用价值的“工业废物”，只有能够被回收、循环和再利用的“工业剩余物”。工业剩余物意味着它只是一个工业生产环节的剩余，对于其他工业环节则是有利用价值的。

（2）新型工业化经济增长模型及假设。

假设 Cobb－Douglas 生产函数：

$$Y = AK^{\alpha}(uhL)^{\beta}R^{\gamma}P^{-\delta}h^{\theta}$$

$$A,\alpha,\beta,\gamma>0;\delta,\theta\geqslant 0,\alpha+\beta+\gamma=1 \qquad (3-1)$$

其中，Y 为总产出；K 为物质资本；h 为人力资本；L 为劳动力；R 为用于生产过程的自然资源；P 为自然消耗产生的污染；u 为用于生产过程的劳动力的份额。

污染流量方程：

$$P = DR^{\lambda} \qquad D,\lambda>0 \qquad (3-2)$$

假设生产过程中自然资源对总产出的贡献要大于其生产过程中增加污染产生的负面影响，即：$\gamma>\delta\lambda$。

假定：

$$\dot{K} = Y - cL, K(0) = K_0 \qquad (3-3)$$

$$\dot{h} = B(1-u)h, B>0, h(0) = h_0 \qquad (3-4)$$

$$\dot{S} = -R, S(0) = S_0 \qquad (3-5)$$

即生产最终产品一部分用于消费，一部分用于积累，式（3－3）表示资本积累方程，其中 c 表示人均消费量；人力资本积累方程如式（3－4），它依赖于受教育的时间长短；在资源生产部门，自然资源存量 S 初期是一固定的已知值，每期开采的资源 R 都用于生产，且开采成本为 0，如式（3－5）。

对于社会计划者，则该问题变为求解效用函数最大化问题：

$$\max \int_0^{\infty} \frac{c(t)^{1-\varepsilon}-1}{1-\varepsilon} e^{-\rho t} L\mathrm{d}t, \varepsilon, \rho > 0, \varepsilon \neq 1$$

$$\max \int_0^{\infty} \ln c(t) e^{-\rho t} L\mathrm{d}t, \varepsilon = 1, \rho > 0 \qquad (3-6)$$

得到 Hamiltonian 函数为：

$$H = \frac{c^{1-\varepsilon}}{1-\varepsilon} L + u_1[AK^{\alpha}(uhL)^{\beta} R^{\gamma} P^{-\delta} h^{\theta} - cL] - u_2 R + u_3(1-u)Bh \qquad (3-7)$$

其中 P 可被 DR^{λ} 代替。

控制变量 $c \geqslant 0, u[0,1], R \geqslant 0$ 与状态变量 K, S, h 的一阶条件为：

$$c^{-\varepsilon} = u_1 \qquad (3-8)$$

$$u_2 = u_1(\gamma - \delta\lambda)\frac{Y}{R} \qquad (3-9)$$

$$\frac{u_1 \beta Y}{u} = u_3 Bh \qquad (3-10)$$

$$\frac{\dot{u}_1}{u_1} = \rho - \alpha\frac{Y}{K} \qquad (3-11)$$

$$\frac{\dot{u}_2}{u_2} = \rho \qquad (3-12)$$

$$\frac{\dot{u}_3}{u_3} = \rho - \frac{(\beta+\theta)u_1 Y}{u_3 h} - (1-u)B \qquad (3-13)$$

其中 u_1, u_2, u_3 分别为物质资本、自然资源和人力资本的影子价格。

横截性条件为：

$$K(t) \geqslant 0, S(t) \geqslant 0, h(t) \geqslant 0 \qquad (3-14)$$

$$\lim_{t\to\infty} u_1(t)K(t)e^{-\rho t} = 0 \qquad (3-15)$$

$$\lim_{t\to\infty} u_2(t)S(t)e^{-\rho t} = 0 \qquad (3-16)$$

$$\lim_{t\to\infty} u_3(t)h(t)e^{-\rho t} = 0 \qquad (3-17)$$

求解得到产出的增长率为：

$$g = \frac{(\beta+\theta)B - (\beta+\gamma-\delta\lambda)\rho}{\delta\lambda + \varepsilon(\beta+\gamma-\delta\lambda)} \qquad (3-18)$$

人力资本的增长率为：

$$g_h = \frac{(\beta+\theta)[\beta+\varepsilon\gamma+(1-\varepsilon)\delta\lambda]B - (\beta+\gamma)\rho}{(\beta+\theta)[\delta\lambda+\varepsilon(\beta+\gamma-\delta\lambda)]} \qquad (3-19)$$

并满足条件：$0 < g_h < B$，即：

$$0<(\beta+\theta)[\beta+\gamma+(1-\varepsilon)\delta\lambda]B-\beta(\beta+\gamma)\rho<(\beta+\theta)[\delta\lambda+\varepsilon(\beta+\gamma-\delta\lambda)]B \tag{3-20}$$

上式成立的充分条件（但不是必要条件）为：$\varepsilon \geqslant 1$。

自然资源的增长率为：

$$g_R=\frac{(1-\varepsilon)(\beta+\theta)B-(\beta+\gamma)\rho}{\delta\lambda+\varepsilon(\beta+\gamma-\delta\lambda)} \tag{3-21}$$

根据式（3-18）、式（3-19）、式（3-20）、式（3-21），可以得到：

$$\frac{\partial g}{\partial \gamma}=\frac{-[\varepsilon B(\beta+\theta)+\delta\lambda\rho]}{[\delta\lambda+\varepsilon(\beta+\gamma-\delta\lambda)]^2}<0 \tag{3-22}$$

$$\frac{\partial g}{\partial \delta}=\frac{\lambda[(\varepsilon-1)(\beta+\theta)B+(\beta+\gamma)\rho]}{[\delta\lambda+\varepsilon(\beta+\gamma-\delta\lambda)]^2}>0 \tag{3-23}$$

从式（3-22）可以看出，这是自然资源稀缺的结果，γ 的大小体现了生产中资源的重要性，自然资源生产弹性越大，产出增长率就越小。式（3-23）表明，自然资源消耗所产生污染的生产负效应越明显，长期最优产出增长率就可能越高。由于自然资源消耗产生污染对生产影响很大，随着时间的推移，自然资源的消耗就会变小，有损经济增长的环境负效应就会越低。这暗示沿着均衡增长路径，这种由于资源消耗产生的流量污染问题将随着时间推移而消失。而且，在生产中既定污染物的负面影响越大，长期最优生产增长率就越高。沿着这条路径，环境质量将得到提高（污染下降），且污染对当前生产影响越严重（即 δ 越大），相对于当前形势，未来的环境质量就会越高。所以，自然资源消耗组合变化由高污染型转向低污染型是经济发展的一种必然，投资自然资本的其中一个目的就在于，降低自然资源生产弹性，并将自然资源消耗所产生污染带来的生产负效应刻划在经济发展的每一时期，以节约资源，减少污染。因此，为适应新型工业化道路的要求，必须对矿产资源开发利用的目标、方式和手段进行重新评价、重新认识和设计，通过矿产资源战略评价，将资源与环境、经济、社会发展密切联系起来，综合考虑政策、体制、结构的影响，强调资源政策实施后产生的资源环境影响及其社会经济含义，不仅要从环境、经济和技术角度衡量资源开发利用项目或有关政策的可行性、合理性，而且还要考虑其资源环境影响，达到社会、经济、资源环境的协调发展，具有重要的理论价值和现实意义，新型工业化经济增长理论是矿产资源战略评价的重要理论基础。

§3.3 理论基础三：矿产资源估价及核算理论

3.3.1 矿产资源价值与估价方法

矿产资源对人类的有用性是其具有价值的基础。人类在认识矿产资源使用价值及研究掌握开发利用技能的过程中，矿产资源已经凝结了人类一般“附加”劳动，地质勘查劳动使矿产资源凝结了人类的一般劳动，使其具有价值。但矿产资源价值的大小不是由劳动投入的多少决定的，而是由矿产资源中所含的有用物质的数量、质量和开发利用条件所决定的，它们决定着矿产资源使用价值的大小，决定着其被开发后预期收益的多少。此外，在开采矿产资源时，不可避免地要破坏周围环境，而与此相关的环境补偿价值，也构成矿产资源价值的一部分。因此，矿产资源的价值由地勘劳动投入及其权益、开发后的超额收益（矿产资源的出让租金）、环境补偿价值三部分构成，即地勘劳动价值、潜在收益价值和环境价值，即为：

$$V_C=V_L+V_N+V_E \tag{3-24}$$

式中：V_C 为矿产资源资产价值；

V_L 为地质勘查劳动价值；

V_N 为矿产资源潜在收益价值；

V_E 为矿产资源环境价值。

矿产资源的估价方法包括以下几种：

（1）现值法：现值法是针对地下矿产资源等自然资产进行估价所提出的一种方法。该方法认为矿产资源的出售价格超过各项成本之和的部分，即为其内在“价值”。如果矿产资源是在若干年内开采出来的，则应视其开采时距现在的时间长短，对矿产资源的价值进行贴现，各年的现值总得即为该自然资源存量的价值。估价模型为：

$$V=\sum_{t=0}^{T}\frac{(S_t-C_t-R_t)}{(1+r)^t} \tag{3-25}$$

式中：V 是资源存量总价值；

T 是预计开采年限；

S_t 是资源在 t 期销售额；

C_t 是 t 期开采费用（包括中间消耗、工资、折旧等）；

R_t 是 t 期投资资本的“正常回报”；

r 是贴现率。

现值法采用了目前比较成熟的货币时间价值理论及未来价值的贴现方法，

有其合理的一面，但是作为自然资源的估价方法，它尚存不足：①该方法要用到贴现率，人们对贴现率大小的选择问题存在着较大的争议。不同估算者选择不同的贴现率，对相同自然资产会得到不同的估值。②现值法需要用到的数据太多，有的不易得到。该方法要求预测出未来各年的资源开采量、销售价格和各种开采成本。如果开采寿命期较短，对这些变量尚可以估算，然而，如果开采寿命期较长，随着不确定因素的增加，对这些变量的预计值误差将会变得很大，影响到对矿产资源的精确估价。

（2）净价格法：净价格法也是对矿产资源为主的实物供给类型资源估值的一种方法，它对矿产资源价值的界定与现值法相同，不同之处在于该方法认为，已探明的矿产资源，无论是当年开采的，还是未来开采的，它们都具有同样的内在价值。不能因为人为的开采技术能力的限制或对产量的限制，而影响到矿产资源的本身价值。因此，不需要对未来开采的矿产资源价值实行贴现。估价模型为：

$$V_t=\left(\frac{S_t-C_t-R_t}{Q_t}\right)\times\sum Q_t \qquad (3-26)$$

式中：V_t为t期矿产资源的全部存量价值；

S_t、C_t、R_t与式（3－25）中的相同，分别表示该资源在t期的销售额、开采费用和投资资本的“正常回报”；

Q_t为t期矿产资源开采量；

$\sum Q_t$为矿产资源预计开采总量。

式（3－26）右边括号中表示矿产资源的单位价值（被称为矿产资源的单位净价格）。用单位净价格乘以经济活动消耗的矿产资源量，则得到矿产资源的价值量。因此，净价格法不仅能用于矿产资源存量估价，也能用于矿产资源的流量估价。

由以上分析可以看出，与现值法相比，净价格法的形式较为简单，它只需估算自然资源在寿命期中的开采总量，而不需要估算出各年的开采量。此外，它也不需要使用贴现率，避免了人们对其大小选择的争论。

然而，净价格法对矿产资源价值的规定与现值法相同，存在一定的缺陷，对此作如下剖析：①这两种方法对自然资源价值的规定，限制了它们对自然资源估算的应用范围。对于矿产资源来说，现值法和净价格法仅能估算在当前技术条件下具有经济开发价值的矿产资源，即按这两种方法定义的“价值”为正（$S_t-C_t-R_t>0$）的资源，对于目前尚无经济开发价值的矿产资源，按这两种方法估算的“价值”为负值（当然只能令其为零）。②按照这种“价值”定义，矿

产资源随着不断开采而难度加大，开采成本会不断提高，因而资源的“价值”会不断减少。这就意味着同样数量的自然资源消耗，对应着较小的环境耗减成本，即此时这两种方法会较少地反映对自然资源的消耗。当开采成本上升到使地下资产的“价值”为零或负数时，由于实际资本转移的相对困难性，此时即使投资资本“正常回报”有一定的减少，对矿产资源的开采活动还会继续下去。虽然自然资源被不断开采和消耗，但这两种方法反映的对矿产资源的消耗成本都为零。因此，在这种情况下低估了对矿产资源的消耗成本。

（3）再生产补偿费用法：根据马克思再生产补偿理论，资源的价值量等于对经济活动消耗自然资源的再生产（即补充）成本。据此，能够估算出被消耗的矿产资源价值及单位价值，用矿产资源的单位价值分别与矿产资源总存量和资源耗量相乘，则可以得到对矿产资源的存量估价和矿产资源的消耗成本估价。

资源存量估价模型：

$$V_t = \left(\frac{C_t}{\Delta Q_t}\right)\sum Q_t \tag{3-27}$$

资源消耗成本估价模型：

$$V_t = \left(\frac{C_t}{\Delta Q_t}\right)Q_t \tag{3-28}$$

式中：V_t分别为矿产资源存量价值和矿产资源耗减成本的估价；

ΔQ_t、C_t分别为 t 期再生产（即补充）矿产资源数量，活动中所消耗的活劳动和物化劳动成本；

$\sum Q_t$为矿产资源总存量；

Q_t为矿产资源在 t 期消耗量。

两式右边括号中代表矿产资源的单位价值，为了避免各个时期的波动性，这一单位价格可以用最近几期的平均数代替。

该方法估算模型中的ΔQ_t表示耗费成本 C_t所补充的矿产资源数量。因此，该方法假定前提是，只要付出一定费用，总可以补充新的矿产资源。如果这种假定永远成立，则新补充的资源成本就是资源再生产（即补充）活动所消耗的活劳动和物化劳动的价值。在这种情况下，该方法无疑是最合理的估价方法，因为这就像对待一般固定资产一样，对该资产消耗的价值，就是将其再生产出来的社会平均成本。从短期看，这种假定是可以接受的，然而，从长期看，由于不可再生的矿产资源总有耗尽的时候，这种估价方法是否科学呢？我们认为，即使从长期看，再生产补偿费用法也有其合理的一面。诚然，某种地下资源总

有耗尽的时候，但是在这一情况出现之前，由于科学技术的进步，或者人类消费习惯的改变，人们已经发现了另外可替代的新资源，或者不再需要原来的那种资源。另外还有如机会成本等其他方法。

（4）EI-Serafy 方法：EI-Serafy（1989）提出在自然资源核算中，可耗竭资源的净价格可分为两部分。真实收入 Y 是能够被每年的年金消耗的净收益部分（潜在收益价值）。如果净收益的剩余部分被投资于可再生资源资本（地勘劳动价值），这部分真实收益流可由下式求得：

$$\int_0^{\infty} Y_t \cdot e^{-rt} \cdot dt = \int_0^{\infty} (P_t - C_t) q_t \cdot e^{-rt} \cdot dt \qquad (3-29)$$

每年的真实收入 Y_t 在每个周期内只是净价格的一部分，可以说明它等于 $Y_t=NP \cdot (1-e^{-rT})$。净价格的剩余部分 $NP \cdot e^{-rT}$ 是耗竭成本，每个周期内不得不用于投资，如果发展为可持续的，构成耗竭成本的净价格的百分比取决于两个参数值，折现率 r 和资源的预期寿命期 T。拥有较大的 T 值，作为使用成本核算的净价格部分是非常小的。

这种方法以弱可持续性为基础，以资源的耗竭成本定价，不包括资源开采的真实收益，此时，矿产资源的价格包括耗竭成本（$NP \cdot e^{-rT}$）、地勘投入及环境成本。

（5）可持续性价格：这是 Von Amsberg（1993）提出的一种方法，他称为可持续性价格，它以强可持续性标准为基础。他同意 EI-Serafy 提出的论点，应该区分出真实收入与用于可持续投资的耗竭补贴。Von Amsberg 定义可持续价格为“来自耗竭自然资源服务能够通过可持续性替代品无限地提供所支付的成本，如果对于每个单位耗竭自然资本，可持续价格为用于替代品的投资。”如果没有可耗竭资源的替代品，没有开发这种资源的新替代资源的手段，在将来没有资源价值的知识，这种方法不能使用。

这个公式的用途是计算资源的价格，以保证获得资金流。如果在替代品生产中投资，甚至在可耗竭资源被开采后，会产生效益流且等于真实收入部分。例如假设石油储量可供未来 T 年开采，每年产量为 q_t 吨，平均成本为 C_t，有可再生替代品存在，其价格为 p_u，可持续价格 p_s，由 Von Amsberg 定义为 p_s 满足下式：

$$\int_0^{\infty} q_t \cdot p_s \cdot e^{-rt} \cdot dt = \int_0^{T} q_t \cdot C_t \cdot e^{-rt} \cdot dt + \int_T^{\infty} q_t \cdot p_u \cdot e^{-rt} \cdot dt \qquad (3-30)$$

左边积分等于 p_s 产生的未来收益流的折现值；右边的第一项积分为生产可

耗竭资源成本的折现值，第二项积分为 T 年后使用替代品的年生产成本折现值，含资源开采的投资资本收益。在这种情况下，耗竭成本为 p_s-C，即 $V_c=p_s-C$，C 为资源开采成本（含资源开采的投资收益）。

（6）交易价值：因为在理论上，资源存量的市场价值等于未来收益的折现值，资源存量的矿业权流转价格提供了这些收益的价值，这是资源定价最理想的方法。但是，这种方法一直受到公众可得数据缺乏的制约。使用储量交易而得出的价格作为其他储量耗竭成本，存在很大问题。这些问题反映在这一事实上，每位储量的价格是变化的。这是因为没有任何两处资产是完全相同的，用于出售的资产经常包括其他非资源资产，开采成本、运输成本及已探明储量占潜在储量的百分比在不同地点变化很大。因为这些，实际上，储量的交易价值不是资源价格估计的最优来源。

地勘劳动价值评估一般采用重置成本法、成本加和法。依据国民经济核算的市场性原则，当期的矿产资源勘查投入以资本投资计入投资账户。潜在收益价值评估常用的估价方法有收益现值法、净价格法、可持续性价格法、交易价值法等，与矿产资源资产估价所不同的是，应将地勘投入（现在为探矿权价格）、环境成本及损失扣除。矿产资源环境价值评估的主要方法有：评估环境污染与破坏的损失可采用市场价值法（生产率法）、人力资本法或收入损失法、机会成本法、工资差额法、资产价值法及意愿调整评估法；评估为防止或阻止环境污染与破坏而支付的费用可采用防护费用法、恢复费用法和影子工程法等。

3.3.2 矿产资源核算

矿产资源是自然资源的重要组成部分，由于它在自然资源中的重要地位和我国作为对矿产资源依赖程度高的发展中国家的自身特点，矿产资源纳入国民经济核算体系具有很强的迫切性和重要性。最近10年来，发达国家和发展中国家先后开展了改革现行国民经济核算体系的研究，我国也积极进行了探索，取得了一定的研究成果。其中，国务院发展研究中心组织国内有关单位，与世界资源研究所开展的《自然资源核算及其纳入国民经济核算体系》课题研究，具有代表性，关于自然资源核算体系的框架如图3－3所示。

由图3－3可见，我国准备实行的自然资源核算体系，大体上分为3个层次：一是对土地、淡水、森林、矿产、石油等每一类自然资源进行实物和价值核算，以反映各类资源的增减变化；二是进行自然资源的综合核算，以价值量的形式反映自然资源总量的增减变化；三是把自然资源核算纳入国民经济核算体系，以便全面反映国民财富的增减变化、资本形成规模，以及国民生产总值和国民生产净值的实际状况。

结合我国实际，矿产资源核算的研究应注意以下几方面：

（1）对矿产资源核算表式、账户形式进行研究，解决各类账户之间的相互衔接问题。

（2）完善矿产资源核算内容。建立矿产资源核算统计指标体系，不能直接套用社会经济统计指标体系，而应根据可持续发展思想及矿产资源的变化规律，来确定矿产资源核算指标体系的项目、数量、统计口径、计量单位及计算期间，同时注意自然资源核算指标体系与社会经济统计指标的相互衔接，体现统计大核算的风范。

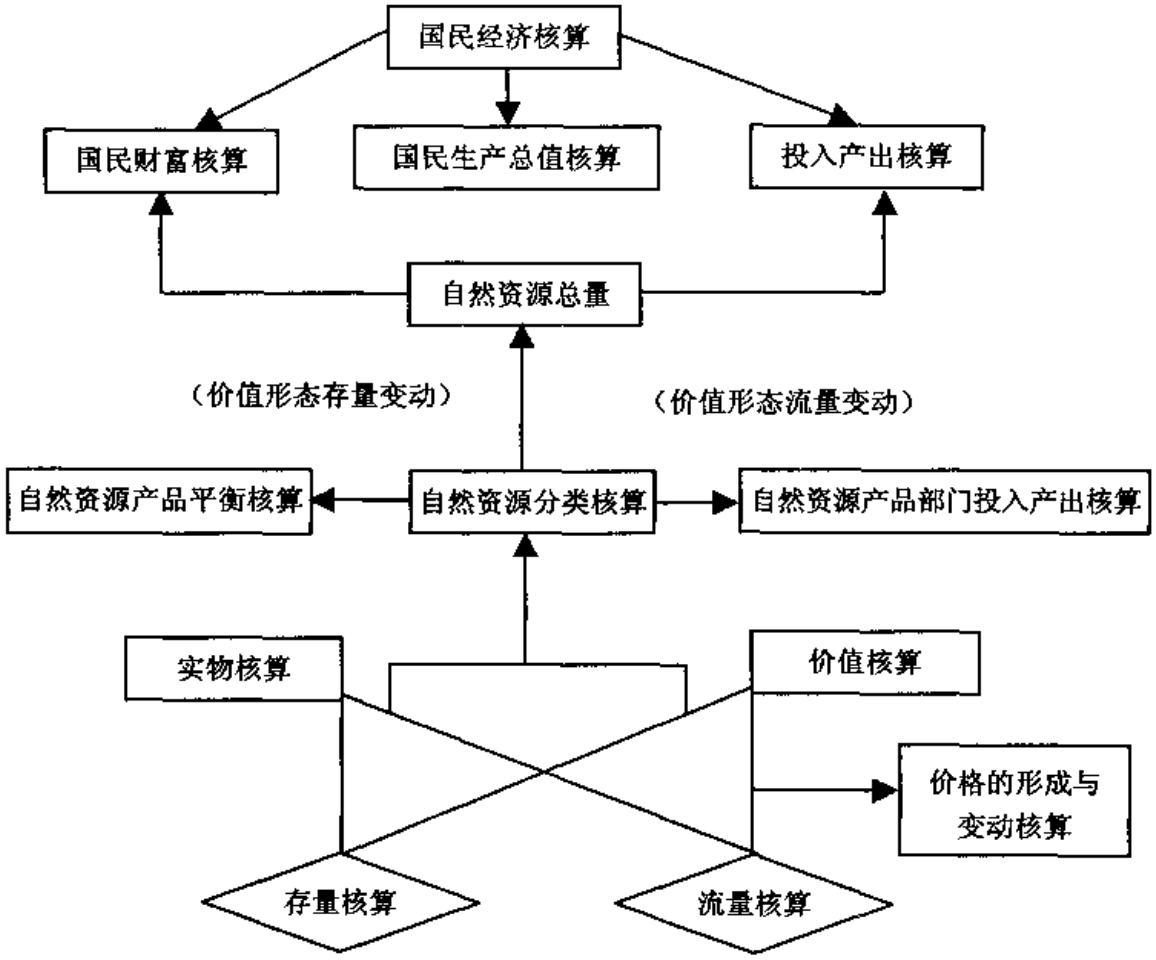


图 3－3　中国自然资源核算体系框架

（3）对矿产资源核算计价方法研究。无论是国际还是国内，矿产资源核算的实物量核算有一定的研究基础，而价值量核算是进行矿产资源核算的难点，解决这个难点的关键在于其价值量核算的科学性，这是进行矿产资源核算的前提。

（4）建立资源－经济一体化核算体系，决定于资源、经济两大核算主体自身核算形式及其相互关系。为保证现行国民经济核算体系的持续性，维持 SNA 体系不变并以其为核心来设计资源－经济一体化核算体系。基于可持续发展目标导向下的经济－社会－科技－资源－环境宏观整合核算体系及 SEEA 中分设核心账户体系与卫星账户体系，为规范其相互关系，使资源－经济一体化核算更具实用性与可操作性，构建其基本框架如图 3－4 所示。

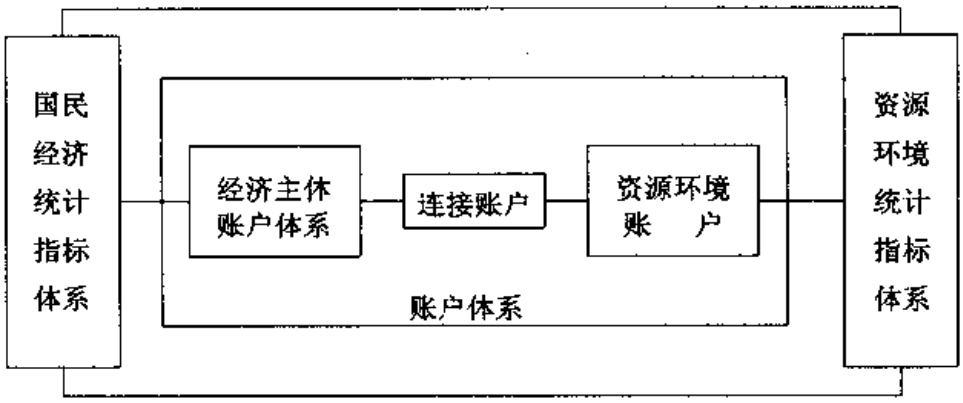


图 3－4　矿产资源－经济一体化核算的基本框架

经济主体账户体系即国民经济账户体系是以生产、消费、积累、国外及资产负债账户五大合并账户为中心，是相对独立完整的体系。主体账户体系在概念结构上具有完全一致性，同时又与现有的国民经济统计数据有良好的协调性。严格的复式登录方式及核算指标内容的完全货币化是主体账户的两大特点。资源环境账户体系设置了矿产资源资产期初存量、矿产资源资产其他数量变化、矿产资源资产期末存量等3个实物量账户及矿产资源资产期初存量、矿产资源资产其他数量变化、矿产资源资产持有/损失、矿产资源资产期末存量等4个价值量账户。由于矿产资源的开采，既涉及环境质量的变动，又涉及污染物流量的变化，因此又设置了污染物流量账户和环境保护支出账户。这些账户的设置考虑了将所有自然资源资产与环境资源纳入国民经济核算体系的通用性，并留有接口。这些账户通过连接账户与主体账户体系相连接。

§3.4 理论基础四：矿产资源可持续开发利用理论

3.4.1 侯太龄定律

Hotelling 在 1931 年美国《政治经济学杂志》上发表的《可耗竭资源的经济学》是有关资源最优开采率的经典文献。他认为，在最优的耗竭条件下，资源的价格与开采成本之差（所谓的租）的增长率等于其他资产的利息率。最终，由于租的上涨和开采成本的增加，资源产品的市场价格上升并导致矿产品的需求下降。按照最优的耗竭率，资源将在需求下降到零时完全耗尽，生产也就因此完全停止。在此基础上，Dasguta & Heal（1979）等人进一步对该问题进行了探讨，并在分析中融入了经济增长最优路径的方法。该理论已被广泛地用于分析在不同的市场条件下资源的最优耗竭率的决定方式。所谓的最优耗竭理论，就是关于可耗竭资源最优耗竭速度和条件的理论。达到资源最优利用状态要具备两个条件：一是随着时间推移，资源的稀缺性租金须以社会贴现率相同的速率增长，并被后人称为侯太龄定律；二是资源产品价格等于边际成本与资源影子价格的和。

有关可耗竭资源最优耗竭率决定的一个简单但非常有效的模型是由 Dasgupta & Heal(1979)所创立的。同时进一步阐述，最优的资源耗竭政策取决于如下几个方面：①资源开发利用量 R 是否为消费品的生产所必需的；②技术进步是否可以通过发展替代品，使资源成为生产消费品的非必需要素；③对于新资源的发现是否存在不确定性。资源和资本品之间的替代性是否存在不确定性。

最优化的结果可以用图 3－5 来予以阐述。该图显示了动态的消费 C_t 是如何随时间 t 而变化的。如果可耗尽资源是生产消费品所必需的要素（这就是说，R 和 K 之间的替代弹性小于 1），贴现率 r 是正的，并在资源的替代品开发方面没有技术突破，则消费随时间的变化路径是：首先增加并达到极值，然后下降并趋于零（曲线 ABD），如果时间偏好率是正的，后代将受到损失。一个功利主义的社会并不考虑在早期积累足够的资本以补偿后来不断减少的资源的不可逆转的耗竭。如果贴现率相当高（r_1 较高，r_2 较低），消费在当前就达到最高，尔后一直下降（曲线 EBD）。这种可怕的情况，如果未来某一时期 T 有重大的技术突破，还是可以避免的，技术的突破可以使经济又重新振兴起来，资本积累，消费增加，达到稳定的消费水平 C^*。路径如曲线 $AEBFG$ 所示。

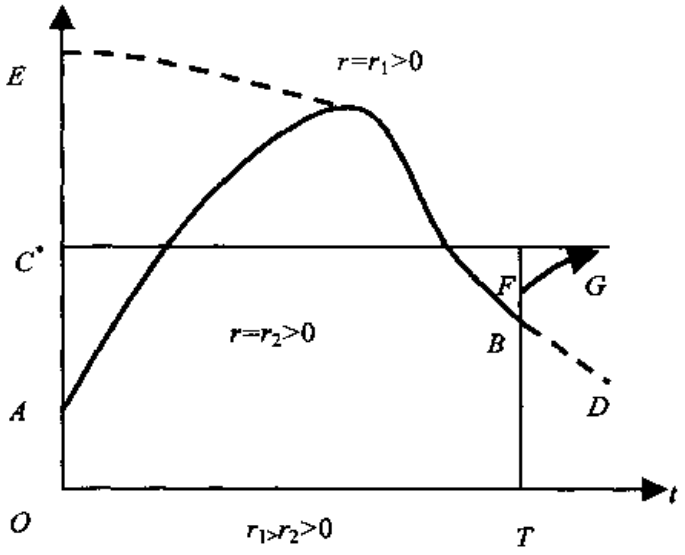


图 3－5 可耗竭资源的最优耗竭

在具有技术进步和资本与资源之间具有替代性的前提下，因自然资源过度开采而给经济带来的稀缺性约束可以得到避免。Solow（1974）利用一个同上述模型相似的经济模型（但是，所采用的社会福利函数是罗尔斯社会福利函数，并假设替代弹性大于 1），论证了如果可耗竭的自然资源可以被同样可复制资本品全部补偿，则这种耗竭率是最优的。同样，利用一个更加特殊的柯布－道格拉斯总量生产函数，Stiglitz（1974）也阐述了技术进步和资本积累可以补偿因可耗竭资源的下降而带来的自然资源投入下降的影响。

3.4.2 矿产资源开发的生产函数模型

矿产资源开发过程可以理解为劳动力、资金及矿产资源存在的函数。如果以 $R(t)$表示矿产资源开采过程，则有：

$$R(t)=\varphi\{L_1(t),K_1(t),S_1(t),M_1(t),t\} \tag{3-31}$$

式中：$L_1(t)$为开采矿产资源所需要的劳力；

$K_1(t)$为资金投入；

$S_1(t)$为矿产资源状况，包括储量、品位、赋存条件等；

$M_1(t)$为矿产资源开采的可持续发展投入。

由于矿产资源赋存的复杂性，矿产资源状况是一个随时间变化的量，即可以看作是通过开采矿产资源，勘探等级增加，而增长或减少的过程，若以 $H(t)$

表示矿产资源的增长（减少）过程，则有：

$$H(t)=\pm\phi\{L_2(t),K_2(t),S_2(t),M_2(t),t\} \tag{3-32}$$

式中：$L_2(t)$、$K_2(t)$为矿产资源增长（减少）过程的人力及资金的投入；

$S_2(t)$为矿产资源状况；

$M_2(t)$为矿产资源增长（减少）可持续发展投入。

其中，+为矿产资源增加过程，–为矿产资源的减少过程。于是，可以用下述模型来描述矿产资源系统：

$$\begin{aligned}S(t)&=S(t-1)+H(t)-R(t)\\&=S(t-1)\pm\phi\{L_2(t),K_2(t),S_2(t),M_2(t),t\}-\varphi\{L_1(t),K_1(t),S_1(t),M_1(t),t\}\end{aligned} \tag{3-33}$$

式中：$S(t-1)$为 t 时段初期矿产资源状况；

$S(t)$为当 t 时段终了时矿产资源状况，必然是先前时段加上本时段 t 所发现或新增长（减少）的，再减去 t 时段所“消耗”掉的资源 $R(t)$。

由于 $S_2(t)$表示矿产资源的状况，所以有：

$$S_2(t)=\int_0^t H(\tau)\mathrm{d}r \tag{3-34}$$

将式（3-33）依时间过程，取连续的形式，可以改写为：

$$S(t)=S(0)+\int_0^t[\pm H(t)-R(t)]\mathrm{d}r \tag{3-35}$$

或 $$S(t)=S(0)+\int_0^t\{\pm\phi[L_2(t),K_2(t),S_2(t),M_2(t),t]-\varphi[L_1(t),K_1(t),S_1(t),M_1(t),t]\}\mathrm{d}r \tag{3-36}$$

式（3-34）、式（3-35）中，存在两个状态变量，$S_2(t)$和 $S(t)$，它们随时间变化的速率为：

$$\dot{S}(t)=\pm H(t)-R(t) \tag{3-37}$$

$$\dot{S}_2(t)=\pm H(t) \tag{3-38}$$

矿产资源的需求函数为：

$$P(t)=D[R(t),t] \tag{3-39}$$

上式是说明矿产资源的需求用价格表示。矿产资源的社会效益为产出的价值和存量价值 $A[Q(t)]$之和，因此有：

$$SB(t)=\int_0^{R(t)} D(\delta,t)\mathrm{d}\delta+A[Q(t)] \tag{3-40}$$

令 μ_1和μ_2 分别为矿产资源的开发利用、勘探的资本，劳动投入和可持续发

展的机会成本，则矿产资源开发的优化模型为：

目标：

$$\max \int_0^{\infty}\left\{\int_0^{R(t)} D(\delta,t)\mathrm{d}\delta + A[Q(t)] - \mu_2[L_2(t),K_2(t),M_2(t)] - \mu_1[L_1(t),K_1(t),M_1(t)]\right\}e^{-rt}\mathrm{d}t$$

约束：

$$\begin{aligned}&(1)\quad S(t)=S(0)+\int_0^t\left[\pm H(t)-R(t)\mathrm{d}t\right]\\&(2)\quad R_2(t)=\int_0^t H(\tau)\mathrm{d}\tau\\&(3)\quad S(t)\geqslant 0\end{aligned}\tag{3-41}$$

3.4.3 矿产资源开发速率与开采时间关系模型

为研究矿产资源开发与开采时间的关系，首先定义储采比，储采比（D）是矿产资源储量（S）与开采量（R）之比。

$$D=\frac{S}{R}\tag{3-42}$$

设 $S_0(0)$为现实矿产储量，$R_0(0)$为矿产开发的年生产能力，矿产资源的开采以固定的速率 r 增加，则：

$$R_0(t)=R_0(0)e^{rt}\tag{3-43}$$

现实的资源储采比为：$S_0(0)/R_0(0)=D$

即如果矿产储量不变，矿产以每年 $R_0(0)$的速率进行，则矿产资源将在 Y 年开发完毕。但实际上 $S_0(0)$、$R_0(0)$随着时间的变化而变化，下面研究变化过程，根据 $R_0(t)=R_0(0)e^{rt}$，在 T 时间内矿产资源的开采总量可以由下式表示：

$$R(T)=\int_0^T R_0(t)\mathrm{d}t=\int_0^T R_0(0)e^{rt}\mathrm{d}t=\left[R_0(0)/r\right](e^{rt}-1)\tag{3-44}$$

我们认为 $R(T)$与初期的储量相等，则：

$$\begin{aligned}&S_0(0)\approx R(T)=\left[R_0(0)/r\right](e^{rt}-1)\\&S_0(0)/R_0(0)=\frac{e^{rT}-1}{r}=Y\\&T=\frac{\ln(rY+1)}{r}\end{aligned}\tag{3-45}$$

式（3-45）揭示了这样一种情形：随着矿产开采量的变化，矿产资源的实际开采年限将发生变化，即到达 T 时刻，矿产建设项目所开发的资源储量将被耗尽。当 $r>0$ 时，资源将加速耗竭，$r<0$ 则反之。根据储采比的基本模型可

知，要维持矿产资源的持续开采，重要的是通过勘探增加矿产储量。

3.4.4 矿产资源动态优化配置模型

对矿产资源的动态配置，可以将消费从以后时期向当前时期转移，因而类似于借贷决策。为了生产的目的开发的矿产资源，在生产中要维持它的生产能力的决策，类似于投资决策。因此，投资理论能够直接应用于矿产资源管理，这时，最困难的问题并不在于应用投资决策理论，而在于如何适当地表示矿产资源生产能力的时间分布和管理决策对矿产生产能力时间的影响。

在矿产资源有限，边际开采成本为常数情况下，来研究矿产资源的有效配置。由于矿产资源的有限性，前期的开采利用和后期的矿产资源在数量上是互补的关系，这样就会产生矿产资源在时间上的有效配置问题。

设有限矿产资源的需求函数是线性的，P_t 为 t 年的矿产资源价格，Q_t 为 t 年的开采量，a 为 P_t 的上限，b 为资源边际开采成本，则有：

$$P_t=a-bQ_t \tag{3-46}$$

那么在 t 年的总收益 TB_t 是：

$$TB_t=\int_0^{Q_t}(a-bQ)\mathrm{d}Q=aQ-(b/2)Q_t^2 \tag{3-47}$$

由于假设矿产资源的边际成本为常数，t 年开采 Q_t 数量的总成本 TC_t 为：

$$TC_t=c\times Q_t \tag{3-48}$$

式中：c 为单位生产成本。

如果可开采的矿产资源总量为 Q，那么 n 年的已利用的自然资源的最大收益净现值和剩余可利用资源的价值之和为：

$$\max Q_t\sum_{i=1}^{n}\frac{aQ_t-(b/2)Q_t^2-cQ_t}{(1+r)i-1}+\lambda(Q-\sum_{i=1}^{n}Q_t) \tag{3-49}$$

式中：r 为稳定利率；

λ 为初期价格和边际开采成本之差，称为边际使用成本。

上式表明矿产资源的最优动态配置。由于自然资源是有限的，矿产资源总量 Q 小于需求量，那么，当满足下面公式时：

$$\frac{a-bQ_t-c}{(1+r)^{t-1}}=0,\quad t=1,2,\cdots,n \tag{3-50}$$

$$Q-\sum_{t=1}^{n}Q_t=0 \tag{3-51}$$

TB 最大，也就是矿产资源达到了最优配置。

上述分析说明，可持续发展条件下的矿产资源动态优化配置，需要合理分配不同时期的资源使用量，使矿产资源利用的净效益现值最大化，实现矿产资源的最优可耗竭。

3.4.5 矿产资源最适耗竭模型

矿产资源的可持续利用问题是矿产资源战略评价的重要组成部分，也是可持续发展的核心问题之一。矿产资源的可持续利用问题实际上就是其最适耗竭问题。

针对矿产资源最适耗竭问题，将矿产资源的勘探和发现引入到最优耗竭理论，建立以全社会利益的最大化为目标的矿产资源最优利用模型，并应用现代控制理论中的庞特里雅金最大值原理获得矿产资源的最优利用条件，寻求资源环境与经济协调发展的规律，以期实现资源的可持续利用。

矿产资源各阶段存量的变化为：

$$Q(t)=Q(t-1)+E(t)-R(t) \tag{3-52}$$

式中：$Q(t)$ 为矿产资源存量；

$E(t)$ 和 $R(t)$ 分别为矿产资源勘探发现量和开发利用量；

t 为时间。

其中，$R(t)=g[L_1(t),Q(t),t]$，为矿产资源商品的生产函数，$L_1(t)$ 为开采出商品性矿产资源的资本和劳动的投入；$E(t)=h[L_2(t),M(t),t]$，为矿产资源的增长函数，反映了资源存量随着时间的增长过程，$L_2(t)$ 为矿产资源的勘探和发现过程的资本和劳动的投入，$M(t)$ 为矿产资源的累加发现值，$M(t)=\int_0^t E(t)\mathrm{d}t$，为状态变量，它随时间变化的速率为：$\dot{M}(t)=E(t)$。

将式（3-52）依时间过程取一种连续的形式，则矿产资源存量的动态方程为：

$$Q(t)=Q(0)+\int_0^t[E(\tau)-R(\tau)]\,\mathrm{d}\tau \tag{3-53}$$

$Q(t)$ 为状态变量，它随时间变化的速率为：

$$\dot{Q}(t)=E(t)-R(t)$$

矿产资源商品生产的需求函数为：

$$P(t)=D[R(t),t] \tag{3-54}$$

它的作用相当于对待定的矿产资源商品的需求，应用统一的价格转换去计量商品性的资源生产。

矿产资源利用的社会效益，是资源供给曲线与需求曲线在产出速率 $R(t)$ 点相交所围面积，再加上未开发利用的资源存量 $Q(t)$ 的环境价值，即 $A[Q(t)]$：

$$SB(t)=\int_0^{R(t)} D(\eta,t)\mathrm{d}\eta + A[Q(t)] \tag{3-55}$$

令 ω_1 和 ω_2 分别为矿产资源的开发利用、勘探发现的资本和劳动投入的机会成本，矿产资源开发利用的优化模型为：

目标：

$$\max_{L(t)} \int_0^{\infty} \left\{ \int_0^{R(t)} D(\eta,t)\mathrm{d}\eta + A[Q(t)] - \omega_1 L_1(t) - \omega_2 L_2(t) \right\} e^{-rt}\mathrm{d}t \tag{3-56}$$

约束：

（1）$Q(t)=Q(0)+\int_0^t [E(t)-R(t)]\,\mathrm{d}t$

（2）$M(t)=\int_0^t E(t)\mathrm{d}t$

（3）$Q(t)\geqslant 0$

应用现代控制理论中的庞特里雅金最大值原理就可获得矿产资源的最优利用条件：

$$P(t)=\frac{\mathrm{d}A[Q(t)]}{\mathrm{d}Q(t)}+\frac{\omega_1}{\partial R(t)/\partial L_1(t)}+q_1(t) \tag{3-57}$$

$$q_1(t)=\frac{\omega_2}{\partial E(t)/\partial L_2(t)}-q_2(t) \tag{3-58}$$

在上述模型中，由价格所代表的矿产资源商品的边际效益，在任何时间，都必须等于边际生产成本、环境的边际损失和资源的稀缺性租金，即边际成本等于生产成本、环境成本以及稀缺性成本。或者说，沿着以价格等于边际成本情况下的速率开采资源，可以得到矿产资源最优利用轨迹，能够在一定程度上保持资源经济系统的可持续发展。技术进步，尤其是采选技术和冶金技术的科技进步在一定时期将显著影响资源的生产成本，使资源开采的边际成本持续下降，可使资源在消耗规模扩大的基础上，对矿产资源进行最大可持续使用，保持资源、经济和社会的可持续发展。随着矿产资源存量的不断减少，资源的稀缺性租金为正。但是，技术水平，特别是地质勘探技术进步和大型矿床的发现，可能会导致资源的稀缺性租金为负，即矿产资源的稀缺性租金可能不符合其速率的提高恰好等于社会贴现率。

第四章 矿产资源战略评价的模型

在传统发展观念下，没有考虑资源的稀缺性和可耗竭性，对矿产资源的开发利用表现为对自然的索取和掠夺，经济的发展与矿产资源的再生能力之间没有进行很好的协调。在可持续发展观念下，矿产资源战略评价，既要考虑矿产资源的稀缺性、可耗竭性和环境外部性，即矿产资源可持续利用的资源－环境－经济技术条件，使资源的价值观真正体现出来，又要考虑区域可持续发展与矿产资源战略的内在联系，揭示区域发展对矿产资源的需求及其约束对实现人文发展权限的影响。因此，矿产资源评价战略评价模型应包括地质属性模型、经济技术评价模型、环境影响评价模型、社会效益评价模型以及在此基础上建立起来的区域矿产资源竞争力评价模型和区域矿产资源综合评价模型。其基本原则包括：①从经济发展方向和优化配置的要求出发，有的放矢，最优化开发利用自然资源，避免盲目性；②在评价时，要注重社会需求、环境与生态问题；③矿产资源战略评价必须综合分析各种条件因素之间相互联系和制约的作用，对影响区域经济发展的主导因素要进行重点评价并深入分析；④评价要论证资源开发利用的合理性。

§4.1 矿产资源地质属性模型

矿产资源地质属性模型应考虑的主要内容涉及：①矿产资源的数量和质量。矿产资源要达到一定的储量和厚度才宜于开发。数量评价既包括探明储量、可采储量和远景储量等，还包括矿产资源绝对量与社会需要量对比的相对量；质量评价则包括矿层厚度、品位分布、矿床埋藏深度、可否露天开采、矿物开采的采剥比、水文地质状况等内容。②矿产资源的地理分布特点及其相互结合状况。矿产资源价值不仅取决于数量和质量，还取决于分布、相互间结合状况和变化情况。③矿产资源开发利用可能性，有利方面和不利方面，应充分估计开发利用矿产资源可能会引起自然界的生态变化。在矿产资源战略评价中矿产资源地质属性模型可进一步分为矿产资源潜力评价模型和矿地产价值评估模型。

4.1.1 矿产资源潜力评价模型

矿产资源潜力评价主要以成矿的地质条件为基础，并考虑环境和技术经济因素。现有资料的积累和新理论、新技术方法的应用，是建立矿产资源潜力评价模型的基础，其中多源地学信息系统的建立是关键。

矿产资源潜力评价的多源地学信息系统所涉及的矿产地质数据主要包括：地质、构造、地层、岩石、矿体（点）、钻孔、物化探等数据，还有与地质矿产有关的各项研究成果数据。矿产资源潜力评价的物化探信息分类体系如表 4－1。以成矿区带为例，矿产资源潜力评价的多源地学信息分类体系如表 4－2。

进一步还可应用 GIS，以研究区内一系列找矿标志的空间分布图和已知矿床（点）空间分布图为依据，应用有关理论计算出研究区各空间位置属于有矿（或无矿）集合的基本概率分配函数，从而绘制研究区矿产资源潜力分布图。

表 4－1　矿产资源潜力评价的物化探信息分类体系表

类		主题（层）		亚层（表）	
名称	范畴	名称	范畴	名称	范畴
重力	重力测量成果	重力剖面	剖面号、起止坐标、点数		
		重力数据	点号、坐标、布格重力异常		
		测区	测区名、测区范围	密度	地层（岩石）、密度值
			测点数、密度、精度	测区范围	角点号、坐标
航磁	航空磁测成果	测区	测区名、测线数、高度、测区范围、磁参数	磁参数	地层（岩石）、k、J_r
				测区范围	角点号、坐标
		航磁数据	测线、测点坐标、磁场值		
化探	化探测量信息	图幅信息	名称、编号、测区范围	测区范围	角点号、坐标
		化探数据	样品号、坐标、分析结果	分析结果	样品、分析元素、含量
物探异常	物探异常解释结果信息	异常特征	异常名、位置、形态、走向、范围	异常位置	异常中心坐标
		异常解释	起因、异常源、形态、埋深、产状		
		异常区物性	异常名、测量参数	测量结果	样品号、物性参数值
化探异常	化探异常解释结果信息	化探单元素	名称、位置、化学元素	异常位置	异常中心坐标
		异常特征	统计值		

表 4-2 矿产资源潜力评价的多源地学信息分类表（成矿区带）

类		主题（层）		亚层（表）	
名称	范畴	名称	范畴	名称	范畴
区域构造地质	区域构造、地质基本特征	区域构造单元	名称、编号、级别、时代、构造期		
		沉积（火山沉积）地层	名称、编号、成因、厚度、岩石组成、化学成分、控矿性、相关矿种	岩石组成 化学成分 相关矿种	名称、编号、类型、含量 样品名、编号、成分、含量、样品数 编号、矿种名、比例
		变质地层（构造片岩）	名称、编号、成因、厚度、接触关系、岩石组成、化学成分、控矿性、相关矿种	岩石组成 化学成分 相关矿种	名称、编号、类型、含量、空间分布 成分、含量、样品数 编号、矿种名、比例
		侵入岩	名称、编号、类型、时代、构造运动期、形态、产状、长度、宽度、围岩蚀变、岩石组成、化学成分、控矿性、相关矿种	同位素年龄 岩石组成 化学成分 相关矿种	名称、编号、类型、同位素年龄 名称、编号、类型、含量、空间分布 成分、含量、样品数 编号、矿种名、比例
		岩脉	名称、编号、类型、时代、控矿性、相关矿种	同位素年龄 岩石组成 化学成分 相关矿种 围岩蚀变	名称、编号、类型、同位素年龄 名称、编号、类型、含量、空间分布 成分、含量、样品数 编号、矿种名、比例 构造名称、编号、类型、发育程度
		沉积相带	名称、编号、类型、时代、控矿性、相关矿种	相关矿种	编号、矿种名、比例
		变质相带	名称、编号、级别、性质、时代、构造期、产状、长度、宽度、深度、围岩蚀变、控矿性、相关矿种	相关矿种	编号、矿种名、比例
		断层	名称、编号、类型、时代、构造期建造、控矿性、相关矿种	围岩蚀变 相关矿种	名称、编号、类型、发育程度 编号、矿种名、比例
		褶皱	名称、编号、成因、时代、构造期、长度、宽度、控矿性、相关矿种	上、下盘建造 相关矿种	构造名称、编号、建造名称、位置 编号、矿种名、比例
		不（假）整合面	名称、编号、级别、形态、波及地层、控矿性、相关矿种	相关矿种	构造名称、编号、建造名称、位置 编号、矿种名、比例

续表 4－2

区域构造地质	区域构造、地质基本特征	火山构造	名称、编号、成因、时代、构造期、长度、宽度、控矿性、相关矿种	相关矿种	编号、矿种名、比例
		成矿区（带）	名称、编号、级别、构造期、相关矿种	相关矿种	编号、矿种名、比例
固体矿床（点）地质	固体矿床、矿点、矿化点的地质	矿床（矿点、矿化点）地质	名称、编号、位置、含矿地层、构造、岩体、岩石、变质作用、围岩蚀变、矿石、矿物、变质相、作用方式、沉积作用、沉积相	矿床位置 含矿地层 地质构造 侵入岩体 含矿岩石 围岩蚀变 矿体特征 矿石特征 矿物特征 相关矿种	编号、坐标、时代、成矿相带 编号、矿种、含矿地层、厚度 编号、控矿构造名、性质、产状 编号、名称、形态、产状、作用方式 编号、岩体名称、矿石名称、结构、构造 编号、形状、走向、长度、类型、强度、蚀变矿物 编号、矿种、品位、产状、厚度 编号、类型、结构、构造 编号、矿种、类别、名称 编号、矿种名、比例
钻孔地质	钻孔成果信息	钻孔地质	编号、位置坐标、矿种、地质特征、分析项目、分析结果	地质特征 分析项目 分析结果	编号、分层深度、地层、岩石、岩体、构造、断层 编号、样品名、分析项目 编号、样品名、分析结果

4.1.2 矿地产价值评估模型

L.C.Kilburn 认为，矿地产的价值主要受 5 个基本因素制约，即地质工程、矿产品市场、金融市场、股票市场和矿地产市场，其中后 4 个因素属市场专家的研究范畴，前者则由地质学家负责。而矿产地的技术价值评估主要取决于 4 个主要矿地产特征，即：①相对于任何探矿权以外的有价值矿物迹象的位置或相对于任何有利的地质、物化探异常的位置；②待估矿产地品位和矿化度；③待估矿产地物化探异常及其相对位置；④用以前的经验或可开采矿床对比为基础，认为待估矿产地中对发现可供开采矿床有利的地质型式。现又将这 4 个特征细分为 19 个亚范畴，并依重要性排序，具体见表 4－3。

由于地质勘查所处的阶段不同，对矿产地的勘查精度亦不同，地质勘查工程所能获得的矿产资源信息有所差别，其地质要素标志也不相同，按照矿产地的勘查过程可能提供的找矿信息，以及这些信息在由选定找矿范围到缩小找矿靶区，最终到确定矿体位置以及矿石富集程度等整个过程中所起的作用，可将主要地质要素归集为几个部分，每个部分都从低精度到高精度赋予一定的标志，

表 4-3 L.C.Kilburn 地质工程法亚范畴分类及对应的价值因子

主要特征	亚范畴	价值因子	亚范畴分类依据
一、位置因素，周围矿体或周围靶区	(1)	1.5	具次级矿石品位，并至少一半可开采，已经过平面测量
	(2)	2.0	具矿石品位，并经过二维平面测量
	(3)	2.5	具次级矿石矿化带，至少一半可开采，已经过平面测量
	(4)	3.0	矿石品位矿化带，已经过三维测量，但未显现经济可采性
	(5)	4.0	矿山——过去或现在开采
	(6)	5.0	大型矿山——过去或现在开采
	(7)	1.3	已知存在一个靶区，或据不同方法有相关的两个靶区
	(8)	1.5	有 3 个或更多的靶区
二、品位因素，矿产地的品位和矿化度，周围靶区	(9)	2.0	具次级矿石品位，并至少一半可开采，已经过平面测量
	(10)	3.0	矿石品位矿化，经过平面测量，规模上有经济效益
	(11)	5.0	次级矿石品位矿带，经三维测量，至少一半可采
	(12)	6~8	矿石品位矿化，经三维测量，规模具经济效益，但未显现经济可采性
	(13)	7~8	矿山——过去开采，具已经三维测量的矿石品位矿化，规模具经济效益
	(14)	9~10	大型矿山——过去开采，其余同第 13 项
三、物化探异常靶区	(15)	2.0	有一个地球物理/地球化学靶区
	(16)	3.0	2~3 个彼此相关的地球物理/地球化学靶区
	(17)	4.0	4 个或更多彼此相关的地球物理/地球化学靶区
四、地质型式	(18)	2.0	具 1 个或 2 个可以与已开采矿床相比较的地质型式
	(19)	3.5	具 3 个或更多个可以与已开采矿床相比较的地质型式

以此作为评判价值的依据。主要地质要素包括：矿产地所处的大致成矿位置（成矿显示）、勘查过程中采用的物化探及遥感等手段提供的异常等级及数量（异常显示）、勘查工程所采集样品的化验品位（品位显示）、矿床成因类型（成因显示）、矿床规模的大小（蕴藏规模显示）、矿石中富含有用组分的多少（前景显示）6 个部分。每种显示又可划分成若干级（表 4-4）。

地质要素定性标志只能说明矿产地的地质勘查程度和所获得资源信息的多少及其质量的好坏。要对矿产地进行价值评估就必须通过对地勘成果进行综合评价，由经验丰富的地质学家根据基本成矿理论与以往的工作经验，分别对它

们赋予一定的数值，即价值系数（表 4－4），其值的大小取决于各要素在矿产勘查中找到有经济价值矿床的贡献的高低。根据比较程式化的评估程序，就可得到待评估矿产地的价值大小。

表 4－4　地质要素评序分类及对应价值指数表

要素显示	分级	要素标志		价值系数
一、成矿显示	1	非成矿预测区		1.1
	2	Ⅲ级成矿预测区		1.2
	3	Ⅱ级成矿预测区		1.6
	4	Ⅰ级成矿预测区		2.0
二、异常显示	1	新圈定异常	区域异常、非叠加异常、局部异常	1.1
			两种方法以上的叠加异常	1.3
	2	工程验证异常	单一方法异常	1.5
			双叠加异常：一种物探方法，一种化探方法	1.9
			三叠加异常：包括航空遥感	2.5
			四叠加异常：多种方法的共同异常	3.0
	3	见矿异常		3.5
三、品位显示	1	矿化：大于异常值，低于一般边界品位，矿点检查，简单地质工作		3.5
	2	达到一般边界品位，做过地质草测		4.0
	3	达到边界品位，低于工业品位，做正规地质测量，有工程控制，矿样验证 60 件以上		4.5
	4	达到工业品位，做正规的比例地质测量，有工程控制，矿样验证 100 件以上		5.5
四、成因显示	1	沉积型矿床，层状矿床		1.8
	2	热液型矿床，似层状矿床		1.5
	3	热液交代型矿床，脉状、透镜状矿床		1.2
	4	变质岩型矿床，层状、似层状、透镜状矿床		2.0
五、蕴藏规模显示	1	低于小型矿床规模（按预测资源量 20％计算）		1.7
	2	小型矿床规模（按预测资源量 20％计算）		2.4
	3	中型矿床规模（按预测资源量 20％计算）		3.1
	4	大型矿床规模（按预测资源量 20％计算）		4.0
六、前景显示	1	单一矿种，有害组分超标，难选		1
	2	单一矿种，有害组分低于标准，易选		2.0
	3	伴生、共生多种矿种，综合利用差，难选		1.7
	4	伴生、共生多种矿种，综合利用好，易选		2.5

§4.2 矿产资源技术经济评价模型

4.2.1 传统矿产资源技术经济评价及缺陷

传统矿产资源技术经济评价主要针对矿产资源开发利用建设项目进行，一般可分为财务评价、经济评价和社会评价3个层次，归纳为两类评价范畴，其中财务评价属于微观评价，而经济评价与社会评价（在我国统称为国民经济评价）属于宏观评价。即先从微观评价开始，测算矿产资源开发利用项目的经济性，然后，从国家的整体角度，对矿产资源开发利用项目进行宏观的财务、经济与社会分析，考察其对国家财政的影响，对社会总生产和资源利用的影响，最后进行整体综合评价，从微观和宏观两方面，综合权衡项目的成本和效益，得出最终获得的社会净效益，作为投资决策依据。

（1）矿产资源开发利用建设项目的财务评价。矿产资源开发利用建设项目财务评价是指按照现行财税制度和规定，根据现行市场价格，仅仅计算项目在财务上的收入和支出，并独立地测算一个项目投入的资金所能带来的利润，不考虑广泛的社会经济效果。一般包括3个部分，即进行矿产资源开发利用建设项目获利性分析、财务清偿能力分析和资金流动性分析。其主要评价指标是：投资收益率、投资利润率、投资利税率、净现值、投资回收期、借款偿还期及资产负债比率、流动比率、速动比率等。

（2）矿产资源开发利用建设项目国民经济评价。矿产资源开发利用建设项目国民经济评价是从国民经济整体角度出发，站在国家的立场上，使用影子价格、影子汇率、影子工资和社会折现率等国家经济参数，计算矿产资源开发利用建设项目需要国家付出的代价和项目对国民经济整体提供的效益，分析矿产资源开发利用建设项目给国家和社会所做出的贡献大小，考察项目投资的经济合理性和宏观可行性，依此评价矿产资源开发利用建设项目在经济上的可取性。矿产资源开发利用建设项目的国民经济评价特别注重项目对整个经济的贡献，审查项目的经济净效益能否全部抵偿项目所耗用的资源，以求达到合理有效地配置和使用国家有限资源的目的。

（3）矿产资源开发利用建设项目社会评价。矿产资源开发利用建设项目社会评价是从整个社会角度出发，使用以经济评价的影子价格为基础进行调整的社会价格，考察投资项目对实现社会目标方面的贡献。社会目标主要是指经济增长速度、收入分配、自力更生能力、劳动就业影响、技术进步及其他社会变革等影响。但其中最主要的是经济增长目标和收入公平分配目标。经济增长目标是项目的国民收入增加情况，而收入分配目标是指矿产资源开发利用建设项

目所得的国民收入在不同社会阶层、不同地区和时间上的分配合理程度。

由于受传统发展的限制，目前我国矿产资源开发利用建设项目技术经济评价分为两个层次，即财务评价和国民经济评价。对矿产资源开发利用建设项目社会评价尚处于初始理论研究探索阶段，因此，在项目国民经济评价中包括部分社会效果指标的计算与经济分析，建设项目的财务与国民经济评价均采用报表的形式完成。传统矿产资源开发利用建设项目技术经济评价存在以下弱点或缺陷：

在传统发展观条件下，矿产资源开发利用建设项目的主要目标是为了赢利，矿产资源开发利用建设项目必须面向市场，没有市场，矿产品就无法进行销售。所以，一方面，矿产资源开发利用建设项目确立首要任务是市场调查和预测，要调查和预测项目是否适应市场需求、市场产量、需求量的变化趋势等，在此基础上对矿产资源开发利用建设项目进行分析，研究投资的可行性，并进行技术经济评价，包括财务评价和国民经济评价，以决定是否建设。这说明传统意义上的矿产资源开发利用建设项目技术经济评价排斥了项目可能产生的非市场效益与成本。另一方面，矿产资源开发利用建设项目要注重经济效益，就是对矿产资源开发利用建设项目经济活动的目的性与有效程度进行经济评价。它体现为有效成果同相应劳动耗费的对比关系。只有当比值（有效所得/所费）大于1 时才存在经济效益。在有效成果等高的情况下，劳动耗费越少，其经济效益越高，反之亦然。经济效益强调了投资项目的实现，反映了成果的合乎目的性与有效性，只有追求经济效益才能立足于市场。另外，在矿产资源开发利用建设项目评价中还要对项目的经济、规模、组织等方面进行控制。在传统的矿产资源开发利用建设项目评价中基本上都强调项目的直接经济效益，对项目的其他效益尤其是生态环境效益评价重视不够，没有把项目对环境的影响而造成的损失纳入到其评价范围之内，也就是把项目本身的费用转嫁到社会中。由此可见，这种传统的矿产资源开发利用建设项目评价已远不能适应当今社会全面推进可持续发展战略的要求。

在传统发展观条件下，矿产资源开发利用建设项目评价没有充分（或只是局部）考虑经济外部性问题。矿产资源开发利用建设项目经济的外部性分为外部的经济性和外部的不经济性，无论哪一种都与外部影响相关联。外部影响是一种经济力量对于另一种经济力量的“非市场性”的附带影响，是各种经济力量之间的相互作用的结果。这些影响有好的作用，也有坏的作用。外部影响有以下两个标志：①它们是伴随生产或消费的活动而产生的；②它们或者是积极的影响（即带来利益），或者是消极的影响（即带来危害）。

从这两个标志出发，可以把外部影响基本上分为以下 3 种：①积极的生产

外部影响。它是指矿产资源开发利用建设项目在生产中给其他生产者带来的经济利益；②消极的生产外部影响。它是指矿产资源开发利用建设项目在生产中给其他生产者或居民造成的损害，从而增加他们的外部费用。例如，矿产资源开发利用建设项目在建设与生产中造成空气和水源污染，使附近的生产者和居民的利益遭到损害；③积极和消极的消费外部影响。它是指矿产资源开发利用建设项目产品在消费中给外界带来的利益和消极损害。

在传统发展观条件下，矿产资源开发利用建设项目评价没有充分（或只是局部）考虑区域社会外部性问题。这里的区域社会，是矿产资源开发利用建设项目所处的外部地域，区域社会外部性问题包括以下几个方面：①环境。环境包括自然环境和社会环境。矿产资源开发利用建设项目对自然环境的影响主要是指由于建设该项目而引起的大气、水文、土壤及其作物等的变化。项目对社会环境的影响，主要是指由于建设项目而引起的人口过分集中，住房紧张，交通、用水、蔬菜等物资的供应不足，造成人们的生活水平下降，一些风景区和文化古迹等遭到破坏，等等。②就业。矿产资源开发利用建设项目的建设与生产，都会对所属区域的就业问题产生影响。矿产资源开发利用建设项目属于劳动密集型的项目，将吸收大量就业人员，缓和失业情况。③收入及其分配。由于矿产资源开发利用建设项目，会引起项目所属区域其他个人或单位的收入的变化从而影响收入再分配。一是对于竞争性矿产资源开发利用建设项目企业和消费者来说，由于本项目的加入，可能会引起收入的变动。因为矿产资源开发利用建设项目产品投入市场后，可能会使产品价格下降，但是这时使用该产品的消费者却得到了好处，也就是消费者剩余；二是前向联系和后向联系。这两个术语是艾伯特·赫希曼在其《经济发展的战略》一书中使用的。前向联系是指某行业（矿产资源开发利用建设项目企业）与它的产品的使用者间的联系。后向联系是指某行业（矿产资源开发利用建设项目企业）与其供应者间的联系。前向联系和后向联系其实是发展经济学家们设计的经济发展模式。④消费和储蓄。这是矿产资源开发利用建设项目外部的一个重要方面。由于项目的建立，可能会影响当前消费，也有可能影响当前储蓄。⑤与矿产资源开发利用建设项目有关联而产生的一种辅助货物或劳务，它们不但在项目内部有益于本项目产出的价值，而且在外部也有益于其他企业或个人。例如，矿产资源开发利用建设项目修建了一条项目产品和原材料运输道路系统。显然这条运输道路系统不仅服务于本项目，而且有利于整个区域改进交通运输条件并降低运输费用。

在传统矿产资源开发利用建设项目评价中，遇到的另一个难以解决的问题，就是怎么衡量外部效果。有的外部效果，比如由于矿产资源开发利用建设项目的建立而使产品价格下降，从而使其他竞争性企业利润下降等，在竞争市场条

件下，如何确定矿产品的价格，当然，可以用市场机制进行确定。但更多的是外部效果，例如矿产资源开发利用建设项目排放出来的污染物造成居民的生活质量的降低等，是无法用货币来衡量的。正如《项目经济分析》一书中所指出的那样："遗憾的是，这些外部效果有时很难识别，即使能够识别，其大小也几乎总是难以衡量"。那么，是否由于矿产资源开发利用建设项目的外部效果难以衡量而可置之不理呢？《项目经济分析》一书中接着指出："项目的外部效果是令人感到十分棘手的问题，对此还没有一种令人满意的统一处理方法。但是笼统地予以忽略是没有道理的"。正是由于外部效果的这种难以衡量而又不能笼统地予以忽略，致使项目技术经济评价不得不"被迫放过"包括外部效果在内的许多影响。

通过对传统矿产资源开发利用建设项目技术经济评价的分析，可以看出对矿产资源开发利用建设项目技术经济评价只是考虑内部经济性问题，在竞争市场条件下有些问题仍然难以解决，对于矿产资源开发利用建设项目的经济外部性总是给予弱化。所以传统矿产资源开发利用建设项目评价理论已无法适应现代发展的要求，同时这种仅限于项目层次的评价无法适应区域可持续发展的要求，缺乏系统性和整体性，无法从战略高度对区域矿产资源开发利用整体筹划。因此必须建立基于可持续发展的观念下（即矿产资源战略评价框架下）的矿产资源技术经济评价模型，既要包括对具体项目层次的技术经济评价，也要从政策层面、区域层面对矿产资源开发利用进行整体评价。

4.2.2 矿产资源战略评价中的矿产资源技术经济评价模型

矿产资源战略评价中的矿产资源技术经济评价的核心通过资源开发利用促进经济增长。矿产资源价格，不仅关系到项目的经济合理性，而且还会影响到一系列技术经济指标的确定。在市场经济条件下，掌握未来矿产资源的需求规律及其价格的变化，对于矿产资源政策、规划、计划等的制定以及规划矿产资源开发利用项目的投资、规模以及预测未来项目经济效益至关重要。

（1）矿产资源市场需求预测模型。

依据市场需求规律和矿产资源的特点，矿产资源市场定性的需求模型如图4－1所示。

由矿产资源市场需求图可以看出，消费者决定市场的能力和属性，竞争决定市场的社会特征，国民经济发展规划与计划是市场的制约因素，供给是市场的源泉，价格是市场的调节因素。这5项是市场需求的输入量，而需求则是市场需求模型的输出量。

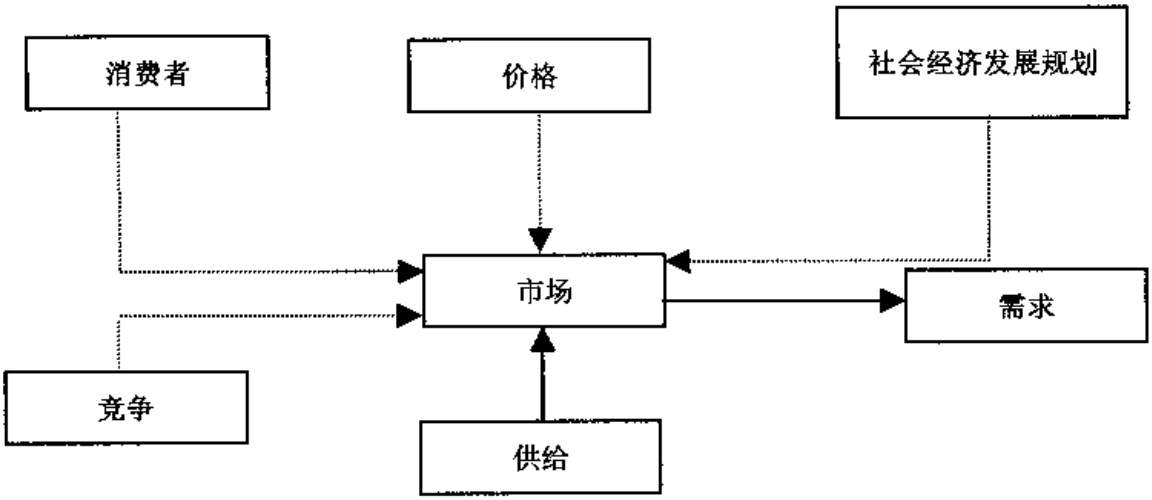


图 4-1 矿产资源市场需求模型图

图 4-2 表示市场需求的宏观特性。各种影响市场需求的因素宏观上表现为供给（S）、需求（D）和价格（P）之间相互依存关系。左图表示供给、需求和价格之间为线性关系的情形；右图表示供给、需求和价格之间为非线性关系的情形。两者都说明了调节市场功能的价值法则：供给多则价格低，少则价格高；需求多则价格高，少则价格低。依据数量经济学理论，考虑矿产资源价格和消费者的收入或预算，一般的需求模型可表示为：

$$Q = f(P,U) \tag{4-1}$$

式中：Q 为矿产资源未来需求量；

P 为矿产资源的价格；

U 为消费者的收入或预算。

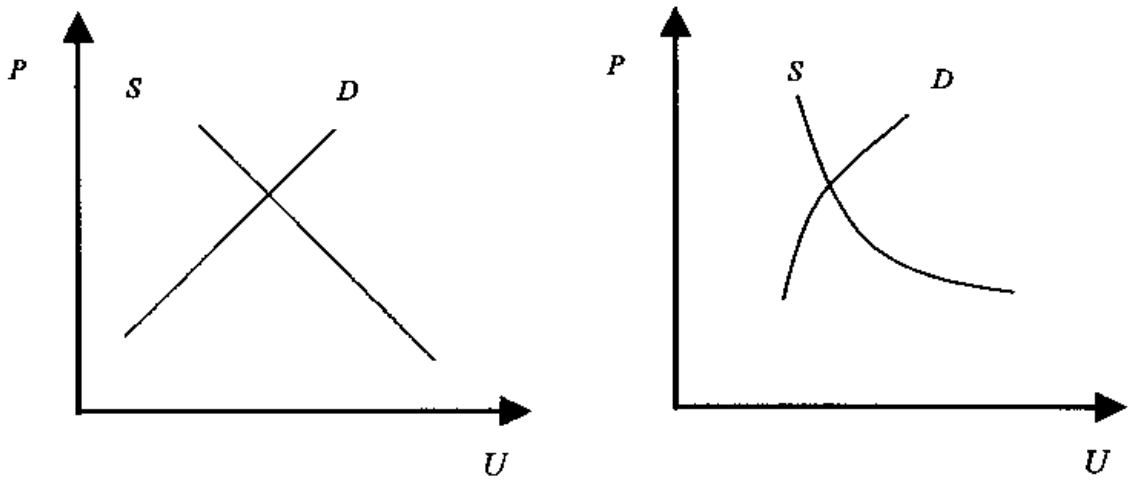


图 4-2 市场需求的宏观特性图

（2）矿产资源价格数学模型。

①矿产资源供给量 S 和需求量 D 的关系。假定矿产资源的供给量为 S，需求量为 D，从控制论的观点将矿产资源价格及矿产资源成本作为系统的输入，矿产资源需求量 $D(k)$为系统的输出，不难看出矿产资源的供给量 $S(k)$与总成本 $C(k)$及矿产资源价格 $P(k)$有关。如果成本低而价格高，则供给量就多，关系见图 4－3。

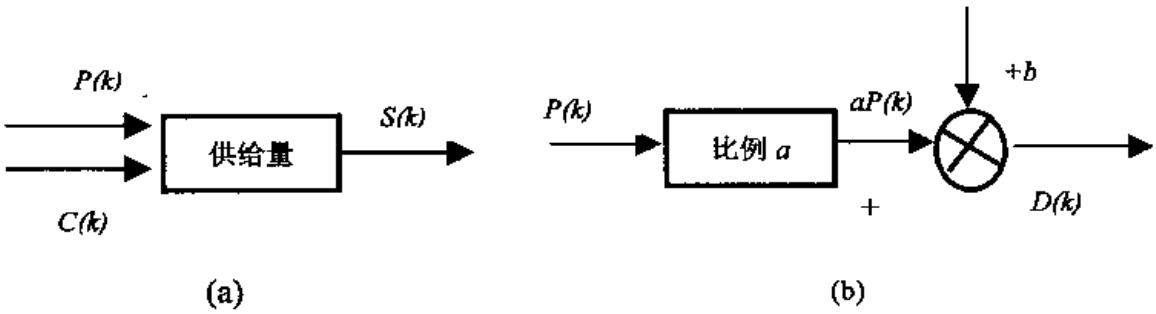


图 4－3　矿产资源的供给系统

②模型结构。对图 4－3 (b)的模型，如果考虑 n 个输入，则可用线性方程表示因果关系，则有：

$$D(k)=aP(k)+a_1P_1(k)+\cdots+a_nP_n(k)+a_{n+1}l \qquad (4-2)$$

式中：$a,a_1,\cdots,a_{n+1}$是待定常数。

当购买力变化很小时，其他价格对矿产资源需求量 $D(k)$影响不大，上式简化为：

$$D(k)=aP(k)+b \qquad (4-3)$$

式中：a,b 为常数。

由图 4－3 系统可知，成本与供给量有关，两者可以表示成：

$$C(k)=f[S(k)] \qquad (4-4)$$

在 S_0 处对上式用泰勒级数展开：

$$C(k)=f(S_0)+f'(S_0)[S(k)-S_0]+1/2\times f''[S(k)-S_0]^2+\cdots$$

并取前三项得：

$$C(k)=\alpha+\beta S(k)+\gamma S^2(k) \qquad (4-5)$$

式中：$\alpha = f(S_0) = f'(S_0)S_0 + 1/2f''(S_0)S_0^2$；

$\beta = f'(S_0) - f''(S_0)S_0$；

$\gamma = 1/2f''(S_0)$

当矿产资源采出量等于销量时，矿产资源采出量 $S(k)$可获利润是：

$$X = 收入 - 成本 = PS(k) - C(k) = PS(k) - \alpha - \beta S(k) - \gamma S^2(k) \quad (4-6)$$

企业要求利润最大：

$$\frac{\partial X}{\partial S} = P(k) - \beta - 2\gamma S(k) = 0$$

$$S(k) = \frac{1}{2\gamma}P(k) - \frac{\beta}{2\gamma} \quad (4-7)$$

这样，对供给系统来讲，矿产资源供给是资源价格的线性函数，将公式（4-7）记为：

$$S(k) = e + \mathrm{d}P(k) \quad (4-8)$$

式中：$e = -\frac{\beta}{2\gamma}$；

$d = \frac{1}{2\gamma}$。

图 4-4 表示公式（4-8）的数学关系。

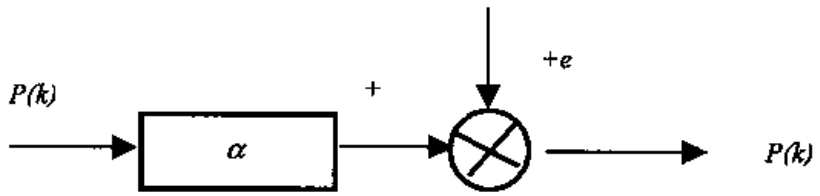


图 4-4 供给量与矿产资源价格的关系

必须指出，上述的 $S(k)$只是企业愿意提供的产量，就是在 k 时期矿产资源价格为 $P(k)$，企业以此算出应确定多少产量才能使利润最大。实际上由于生产延迟，矿产资源生产量 $S(k)$与实际上市量 $G(k)$之间有一滞后关系，如果假定矿产资源生产周期为一年，那么今年上市量 $G(k)$等于去年供给量 $S(k-1)$，见图 4-5，有下式：

$$G(k+1) = S(k) \quad (4-9)$$

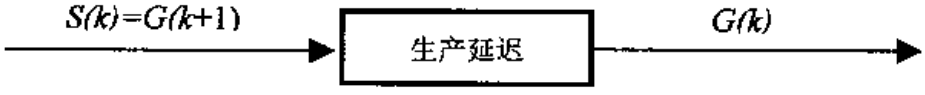


图 4-5 矿产资源产量与上市量的关系

综合图 4－4、图 4－5，得到图 4－6 供需关系。上述分析是在物价和购买力均衡条件上进行的，如果变化较大则必须用非线性关系来描述因果关系。

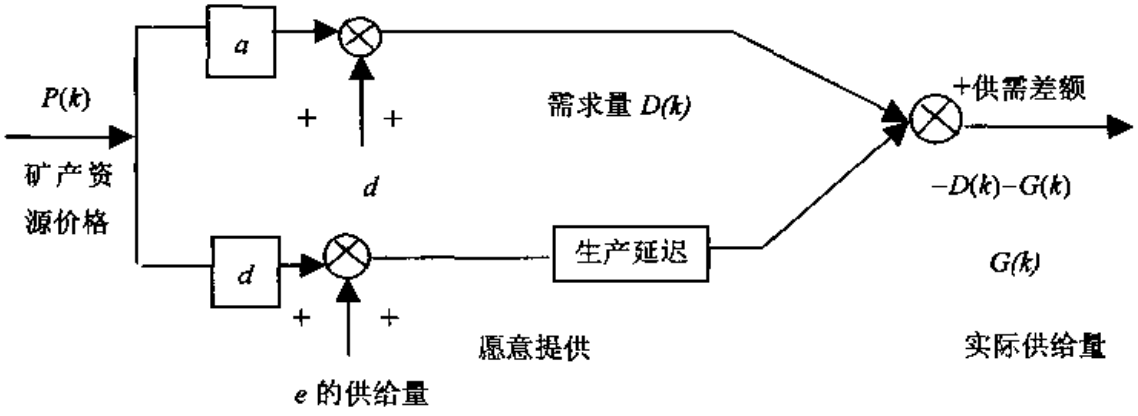


图 4－6　供需系统

上述问题在实际动作过程中，存在以下问题，当供不应求时，即 $D>G$ 时，调整矿产资源价格使上升；当供过于求时，即 $D<G$ 时，调整矿产资源价格适当下降；当供求平衡时，即 $D=G$ 时，维持物价不变。由此得出上述矿产资源定价策略数学模型：

$$P(k+1)=P(k)+\delta[D(k)-G(k)] \qquad (4-10)$$

式中：$k+1$ 表示本年度；

$D(k)-G(k)$ 反映去年矿产资源情况；

δ 为适当系统，依据控制论知识选择。

采用公式（4－10）的定价策略模型时，可将图 4－6 的系统扩展成图 4－7 的闭环系统。

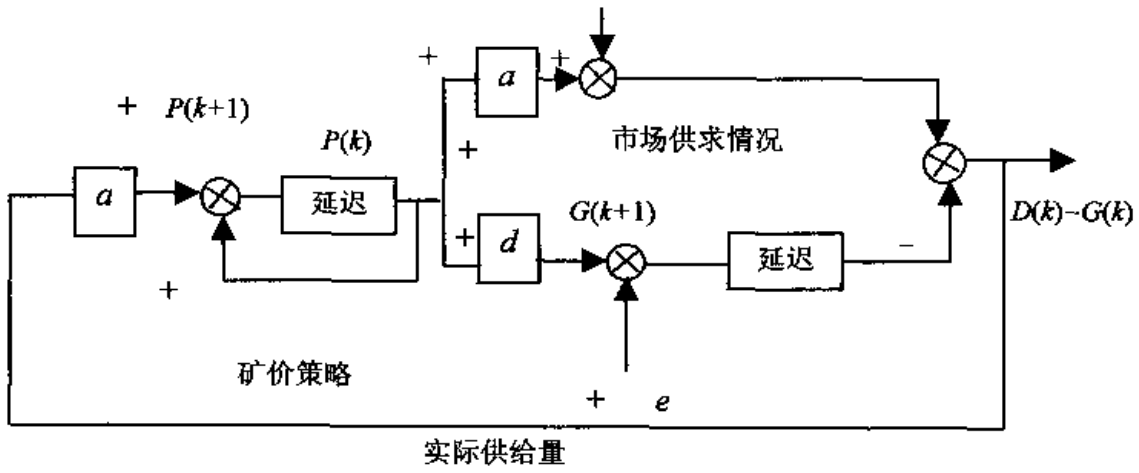


图 4－7　市场调节

图 4－7 各变量的关系可以用下式表示：

$$\begin{cases} P(k+1)=(1+\delta a)P(k)-\delta G(k)+\delta b \\ G(k+1)=\mathrm{d}P(k)+e \end{cases} \tag{4-11}$$

系统的状态方程为：

$$\begin{bmatrix} P(k+1) \\ G(k+1) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1+\delta a & -\delta \\ d & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} P(k) \\ G(k) \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} \delta b \\ e \end{bmatrix} \tag{4-12}$$

由矩阵知识可知，当矩阵 $A=\begin{bmatrix} 1+\delta a & -\delta \\ d & 0 \end{bmatrix}$ 的特征值模小于 1 时，k 足够大之后，$P(k)$和 $G(k)$趋于常数。

$$\lim_{k\to\infty}P(k)=P^*,\lim_{k\to\infty}G(k)=G^*$$

P^*和 G^*为常数，代入公式（4－11）得：

$$\begin{cases} P^*=(1+\delta a)P^*-\delta G^*+\delta b \\ G^*=dP^*+e \end{cases} \tag{4-13}$$

解上述方程得：$P^*\dfrac{b-e}{d-a},G^*=d\dfrac{b-e}{d-a}+e$，在价格 P^* 之下的需求量

$$D^*=b+aP^*,$$

$$D^*=b+a\frac{b-e}{d-a}=\frac{ab-ae+bd-ab}{d-a}=\frac{bd-ae}{d-a}=d\frac{b-e}{d-a}+e=G^* \tag{4-14}$$

上式表明了一个重要的事实，不必知道 a、b、d、e 的值，只需采取公式（4－10）的定价策略，在经过一定时间 k 之后，都将使市场达到供需平衡：

$$\lim_{k\to x}[D(k)-G(k)]=D^*-G^*=0$$

当外界环境发生变化之后，即参数 a、b、d、e 发生了变化，只要状态矩阵 A 的特征值模小于 1，采用公式（4－10）价格策略，最终可以达到供需均衡状态。

必须指出，达到供需均衡的过程可能有两种情况，其一是依据“看不见的手”进行调节，在调节过程中，矿产资源可能产生剧烈波动，这种调节会对国民经济及矿业产生严重冲击，同时造成生产过程中资源的浪费；其二是依据政府政策干预，但是很难达到矿产资源企业生产的边际效益。两种方式都有其利弊，必须进行两者的协调，寻求合理价格，达到供需均衡。

另外，公式（4－10）的定价模型是递推公式，第(k+1)年的价格主要依据第 k 年的供需情况。如果经济政策连续，公式（4－10）可以得出较理想的价格。

如果经济政策发生变动，必须考虑与价格相关因素，进行协调处理，确定“动态”合理价格。

通过上述分析，给出了确定合理的矿产资源价格的计算模型，该模型通过市场调节器使矿产资源自动达到供需平衡。

§4.3 矿产资源环境影响评价模型

矿产资源开发利用对生态环境来说具有双重作用。一方面，资源的勘查、开发和利用，表现为大量的工程活动，直接作用于生态环境，改变了生态环境的要素构成和质量；另一方面，资源的开发利用会产生大量的“三废”，直接对环境造成污染，或资源开发工程活动诱发滑坡、崩塌、泥石流等环境灾害，对环境造成巨大影响。因此，如何在资源开发利用的同时，开展环境影响评价，是实现区域可持续发展的重要内容，也是矿产资源战略评价的核心组成之一。根据国外相关研究表明，采矿引起的环境损失约占矿产品产值的 1% 左右，据此计算我国的矿产资源的环境价值，我国主要矿产品产量统计如表 4－5，各种矿产品的产值由矿产品产量乘价格确定，得到其环境损失价值如表 4－6。

表 4－5　主要矿产品产量统计表

矿种＼年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
石油	1.38	1.41	1.42	1.45	1.46	1.50	1.57	1.60
天然气	152.98	160.73	157.88	167.65	175.63	173.98	201.14	227.03
煤	10.80	10.87	11.16	11.51	12.30	13.60	14.00	13.70
铁	1.79	1.91	2.10	2.26	2.54	2.62	2.52	2.67
锰	406.00	418.50	408.96	374.92	351.33	435.19	441.21	370.62
铜	29.59	30.40	33.43	34.70	39.56	44.52	56.90	49.40
铅	36.39	35.22	33.02	34.63	46.19	51.98	64.34	71.19
锌	76.31	74.98	75.81	72.93	99.03	101.07	116.11	120.97
金	65.91	75.17	80.83	94.55	96.91	115.45	145.33	181.61
磷矿	0.23	0.24	0.26	0.22	0.27	0.32	0.25	0.26
盐	0.20	0.24	0.28	0.29	0.30	0.26	0.29	0.32

注：单位，石油、煤、铁、磷矿、盐为亿 t，锰、铜、铅、锌为万 t，天然气为亿 m^3，金为 t。

矿产资源战略评价中的矿产资源环境影响评价是通过对矿产资源开发利用造成的环境影响和整治措施进行分析，确定环境影响的损益和环境整治的效益，

为有效控制环境污染和实施区域可持续发展战略提供依据。其主要内涵包括两个方面：一是为矿产资源勘查、开发和利用以及环境保护投资提供可行性分析；二是为制定矿产资源勘查、开发和利用的环境政策、实施环境管理和污染控制提供决策依据。在矿产资源勘查、开发和利用的可行性研究中，不仅要考虑经济上合理，还要考虑环境的可持续性问题，同时预见其经济后果和环境后果。

表 4－6 环境损失价值估算表 单位：亿元

矿种＼年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
石油	2.49	2.54	2.56	2.61	2.63	2.70	2.83	2.89
天然气	0.28	0.29	0.28	0.30	0.32	0.31	0.36	0.41
煤	5.51	5.54	5.69	5.87	6.27	6.94	7.14	6.99
铁	1.47	1.56	1.72	1.85	2.08	2.15	2.07	2.19
锰	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.09	0.09	0.07
铜	0.17	0.17	0.19	0.19	0.22	0.25	0.32	0.28
铅	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12
锌	0.18	0.17	0.18	0.17	0.23	0.23	0.27	0.28
金	0.20	0.23	0.24	0.28	0.29	0.35	0.44	0.54
磷矿	0.07	0.07	0.08	0.06	0.08	0.10	0.08	0.08
盐	0.08	0.10	0.11	0.12	0.12	0.10	0.12	0.13
合计	10.58	10.81	11.19	11.60	12.39	13.30	13.82	13.97

以采矿为例，矿产资源开采对环境的影响有大有小，性质亦不同。这一切取决于被开采的矿产资源的种类、形式，开采方式、方法及矿山周围的环境特性，矿山所在地的社会经济发展水平等。因此，要对不同的矿种及矿山根据其不同的实际情况采用恰当的环境影响估算模型与方法进行估算，目前尚还存在诸多困难。以下仅简单介绍环境影响评价的一般数学模型和环境影响经济评价指标体系。

4.3.1 环境影响评价数学模型

环境影响评价数学模型可分为：环境指数模型和环境质量综合评价模型。

（1）单因子环境评价指数。

单因子环境评价指数是最简单的质量指数，其定义如下：

$$I_i = \frac{C_i}{S_i} \tag{4-15}$$

式中：C_i 为第 i 种评价因子在环境中的观测值；

S_i 为第 i 种评价因子的评价标准。

单因子环境质量指数是无量纲量，它表示某种评价因子在环境中的观测值相对于环境质量评价的程度。I_i 的值是相对于某个评价标准而言的。对同样一个观测值，当评价标准变化时，I_i 的值也会变化。因此，环境质量指数在进行横向比较时，注意它们是否具有相同的评价标准。

国家在制定环境质量评价标准时，会考虑政治、经济、历史、文化、社会和自然资源等多方面约束性条件，以保证整个国家社会进步、经济持续发展、环境质量不断改善。合理的环境质量评价标准应在考虑当地的土地利用状况、区域环境规划和社会经济发展规划的基础上，由当地环境保护的行政管理部门根据国家所制定的环境质量标准加以指定，对地域性很强的环境问题还可能制定有各种地方环境质量标准。

（2）多因子环境评价指数。

矿产资源经济循环中涉及的是多因素的环境问题，通常需要对环境问题的多个因子的单因子环境评价指数进行综合，将多因子目标值组合成一个单指数，这就是该环境要素的多因子环境质量分指数。多因子环境评价指数是对多个因子的单因子环境评价指数加权后，再将其综合。根据综合的方法将指数分为以下几类：

①加和型环境指数。加和型环境指数是将多个具有可比性的单因子环境评价指数加和后得到的综合指数。根据加和的方式，加和型环境质量指数是将多个单因子环境评价指数简单加和的综合分指数。其计算公式为：

$$I = \sum_{i=1}^{n} I_i \tag{4-16}$$

式中：n 为与矿产资源经济循环中环境要素分指数综合计算所涉及的评价因子的数目；

I_i 为对应的单因子评价指数。

②加权加和型环境质量指数。根据不同评价因子的环境特性，对每个单因子环境评价指数乘以权值系数后进行简单加和或矢量加和。其计算公式为：

$$I = \sum_{i=1}^{n} \varpi_i I_i / \sum_{i=1}^{n} \varpi_i \tag{4-17}$$

式中：ϖ_i 为各单因子环境评价指数对应的权系数。

（3）矿产资源经济循环的环境综合评价模型。

矿产资源经济循环中的环境要素可以分为大气、地表水、地下水、土壤 4 个因子。假设环境质量标准可以分为：理想级 a_1、良好级 a_2、安全级 a_3、污染级 a_4、重污染级 a_5，下面建立评价模型。根据所分级别，按照降半梯形分布分别建立各级别的隶属度函数：

理想级

$$\mu_{i1}=\begin{cases}1 & (x_i \leqslant a_1)\\ \dfrac{a_2-x_i}{a_2-a_1} & (a_1<x_i<a_2)\\ 0 & (x_i \geqslant a_2)\end{cases} \tag{4-18}$$

良好级

$$\mu_{i2}=\begin{cases}0 & (a_3 \leqslant x_i \leqslant a_1)\\ \dfrac{x_i-a_1}{a_2-a_1} & (a_1<x_i<a_2)\\ \dfrac{a_3-x_i}{a_3-a_2} & (a_2<x_i<a_3)\end{cases} \tag{4-19}$$

安全级

$$\mu_{i3}=\begin{cases}0 & (a_4 \leqslant x_i \leqslant a_2)\\ \dfrac{x_i-a_2}{a_3-a_2} & (a_2<x_i<a_3)\\ \dfrac{a_4-x_i}{a_4-a_3} & (a_3<x_i<a_4)\end{cases} \tag{4-20}$$

污染级

$$\mu_{i4}=\begin{cases}0 & (a_5 \leqslant x_i \leqslant a_3)\\ \dfrac{x_i-a_3}{a_4-a_3} & (a_3<x_i<a_4)\\ \dfrac{a_5-x_i}{a_5-a_4} & (a_4<x_i<a_5)\end{cases} \tag{4-21}$$

重污染级

$$\mu_{i5}=\begin{cases}0 & (x_i < a_4)\\ \dfrac{x_i-a_4}{a_5-a_4} & (a_4<x_i<a_5)\\ 1 & (x_i \geqslant a_5)\end{cases} \tag{4-22}$$

①计算各评价因子（指标）对于各级别的隶属度。把各评价的实测值分别代入各级别的隶属函数内，若有 n 个评价因子计算结果就组成了一个 $n\times5$ 阶的隶属度矩阵 $\bar{\boldsymbol{R}}$。

②计算各评价因子的权重 ϖ_i，各评价因子的实测值 (X_i) 分别与评价因子的各分级标准的平均值 (S_i) 比，$\varpi_i = X_i / S_i$。计算结果组成了一个 $1\times n$ 阶的权重矩阵 $\boldsymbol{A}$，为了便于计算还需对各权重进行归一化处理，方法是把各评价因子

的权重值ϖ_i与同一监测点所有评价因子权重之和比，即$\overline{\varpi}=\varpi_i/\sum_{i=1}^{n}\varpi_i$，归一化后的权重矩阵为$\overline{A}$。

③模糊矩阵的复合运算，对权重矩阵$\overline{A}$和隶属度矩阵$\overline{R}$进行复合运算，其结果即为矿产资源经济循环中各环节的环境质量评价的结果。

4.3.2 环境影响经济评价指标体系

进行环境影响经济评价，首先必须解决环境质量的经济量化问题，这样才能够通过对矿产资源经济循环中各环节的前后环境质量指标的分析对比，确定出矿产资源经济循环对环境影响的经济度量。所谓环境质量，是指在一个具体的环境区域内，环境的总体或环境的某些要素对人类的生存和繁衍以及社会经济发展的适宜程度。对于一定区域的生态环境来说，这种适宜程度包括正反两个方面：正的方面是指环境要素为人类的生存和发展所带来的优异条件；反的方面是指环境要素对人类的生存和发展所带来的制约作用。因而，要能够全面系统地评价环境质量的好坏，必须建立一套完整的评价指标体系，具体包括以下几个方面：①环境资源丰富程度；②环境灾害发育程度；③环境污染严重程度；④社会经济发展程度。

而要从经济角度来衡量环境质量的高低，还必须使这些指标能够经济量化，这样就可以建立如下的指标体系（表4-7）。

表4-7　环境质量经济评价指标体系

大　类	指标组	具体指标
环境因素经济指标	环境资源利用价值	矿产资源利用价值
		土地资源利用价值
		水资源利用价值
		森林资源利用价值
		其他资源利用价值
	工程基础处理费用	地层岩性及构造基础处理费用
		地表平整基础处理费用
		地层富水基础处理费用
	环境灾害损失费用	滑坡灾害损失费用
		地震灾害损失费用
		泥石流灾害损失费用
		崩陷灾害损失费用
		地表沉降及海蚀灾害损失费用
		水土流失灾害损失费用
		其他环境灾害损失费用

续表 4-7

环境因素经济指标	环境污染损失费用	大气污染损失费用 水污染损失费用 土壤污染损失费用 噪声污染损失费用
	社会经济状况指标	工业总产值 农业总产值 基础设施折合值 其他行业总产值
环境质量经济指标	环境质量优劣度 $=\frac{\text{工程基础处理费用}+\text{环境灾害损失费用}+\text{环境污染损失费用}}{\text{环境资源利用价值}}$ 环境经济损益度 $=\frac{\text{环境灾害损失费用}+\text{环境污染损失费用}}{\text{社会经济总产值}}$	

矿产资源经济循环对环境的影响作用是在原环境质量背景基础上叠加的，表现为对环境资源的消耗、对环境污染的加重以及可能产生和诱发环境灾害的发生。同时，由于矿产资源经济循环也会产生经济效益和社会效益，增强评价区域内的社会经济实力。因此，在环境质量经济评价的基础上，可确定矿产资源经济循环的环境影响经济评价指标如下：

$$\text{矿产资源经济循环各环节环境影响综合经济损益度}=\frac{\text{矿产资源经济循环各环节环境资源消耗费用}+\text{矿产资源经济循环各环节环境灾害损失费用}+\text{矿产资源经济循环各环节环境污染损失费用}}{\text{矿产资源经济循环各环节的经济效益}+\text{矿产资源经济循环各环节的社会效益}}$$

$$\text{矿产资源经济循环各环节投资经济损益度}=\frac{\text{矿产资源经济循环中环境资源消耗费用}+\text{矿产资源经济循环中环境灾害损失费用}+\text{矿产资源经济循环中环境污染费用}+\text{矿产资源经济循环中各环节投资费用}+\text{矿产资源经济循环中各环节运行费用}}{\text{矿产资源经济循环各环节运行的经济效益}+\text{矿产资源经济循环各环节运行的社会效益}}$$

上述指标中，矿产资源经济循环中各环节的环境影响综合经济损益度为主要评价指标，反映矿产资源经济循环对周围生态环境的干扰和影响程度；矿产资源经济循环中各环节的投资经济损益度是反映环境核算基础上，矿产资源经

济循环中各环节的投资经济可行性。以上评价指标应小于 1，指标值越小，反映矿产资源经济循环的环境、经济效益越好。

§4.4 矿产资源社会效益（需求）评价模型

在矿产资源战略评价中，矿产资源社会效益（需求）评价的任务是，识别和量化社会对矿产资源经济循环过程中各阶段投资的需要以及这种决策产生的社会影响。它以“发展贡献论”为理论依据，以矿产资源信息流、物质流和经济流的研究为方法论，以矿产资源对区域可持续发展的贡献为目标，从战略高度，研究矿产资源的社会需求及影响问题，其中包括矿产资源安全问题。矿产资源安全问题，一方面是指我国储量不足的战略矿产资源的供给安全问题；另一方面是我国储量丰富的矿产资源如钨、稀土等，它们对世界市场有主导性的影响，其经济利益的最优化实现也是矿产资源安全的重要部分。

4.4.1 矿产资源战略评价的社会需求及影响评价矩阵和模型

明确了矿产资源战略评价中社会效益评价的任务是，识别和量化社会对矿产资源经济循环过程中各阶段投资的需要以及这种决策产生的社会影响。在此基础上可构建如下社会需求及影响评价矩阵和模型。

（1）社会需求评价矩阵与模型：

$$D=\sum_{i=1}^{n} d_i(x_i+y_i+z_i) \tag{4-23}$$

其中，D 表示社会总体需求程度；d_i 表示某一种社会需求的程度；$x_i+y_i+z_i$ 表示社会需求强度系数；x_i 为显示系数；y_i 为紧迫系数；z_i 为吻合系数。社会需求评价矩阵如表 4-8。

表 4-8　矿产资源战略评价的社会需求评价矩阵

需求种类	基本分	社会需求强度系数				需求分
		显示性	紧迫性	区域吻合性	合计	
资源需求						
工程需求						
规划需求						
环境需求						
科研需求						
外交需求						
总计						

矿产资源经济循环过程中各阶段投资是可以满足国民经济和社会发展的多方面需求的，但各种需求的强度又不相同，这种需求进一步可以区分为资源需求、工程需求、规划需求、环境需求、科研需求和外交需求等，影响需求强度的因素主要有显示性、紧迫性和区域吻合性。其中，区域吻合性又包括地质吻合性、生态吻合性和经济吻合性等。由此可以建立起如表 4－8 所示的矿产资源战略评价的社会需求评价矩阵。

以基础地质调查为例，其需求的多样性表现在以下几方面：①资源需求。经济发展、社会稳定和国防安全需要新增矿产资源储量（含能源和地下水）作保证。国家地质调查部门有必要通过基础地质调查工作提供成矿远景区和可供商业性开采的矿产地。基础地质调查项目提供的矿产资源信息能够满足国民经济和社会发展寻找矿产资源的需要，将基础地质调查工作的这种功能简称为资源需求。长期以来，我国的基础地质调查工作主要是为满足资源需要服务。②工程需求。兴建重大工程如水利枢纽、交通干线、大型工业基地和新建城市等需要基础地质信息，简称工程需求。一方面，重大工程的立项和建设必须有地质信息作为依据；另一方面，重大工程还会对工程所影响的区域产生持久广泛的地质环境影响。例如，由于三峡库区没有做 1∶5 万的基础地质调查工作，更不用说三峡工程影响的整个区域。这就很难对三峡工程的地质环境影响做出实事求是的评价。又比如，由于工程施工单位对区域地质背景资料了解不够，昆玉铁路玉溪段选线时恰好选在破碎带上，打隧道时接二连三地塌方，导致经费增加了 300%，工期延长，也增加了以后铁路维护的难度。③规划需求。制定、调整全国或地区国民经济和社会发展规划需要地质信息，简称规划需求。一个地区的发展规划是否合理，在相当程度上取决于拟定的产业结构、城乡布局和基础设施等是否充分利用了当地的地质地理条件，是否有利于将当地的资源优势转化为经济优势，是否有利于回避不利的自然条件并且尽可能减轻对环境的破坏。没有地质信息作为依据的发展规划具有很大的盲目性。有待开发的地区，区域发展规划，或涉及到资源环境的发展规划需要充分的地质信息。④环境需求。自然灾害的预警和防治以及维护生态安全等需要地质信息，简称环境需求。自然灾害频发地区，生态环境变化异常和敏感脆弱地区等需要我们掌握充分的地质信息。⑤科研需求。对地球奥秘的探索需要地质信息，简称科研需求。科研需求主要存在于地质现象复杂，学术争议比较集中的区域。另外，将发展和改进地质调查工作本身的需要也归类到科研需要里面。⑥外交需求。有关国境线和越境水源等的地质信息事关外交政策的制定和调整，简称外交需求。以上 6 种需求是根据地质信息同经济社会发展的内在联系推断出来的一般情况。显然，相对于某一个具体地质调查项目而言，各种需要的强度是不一样的。需要强度是一个反映不同社会群体和区域对地质信息需要程度差异的概

念，即在以上6种需要中，对于不同的社会群体和地区来说，有一些需要更为重要。影响需要强度的因素主要有显示性、紧迫性和区域吻合性。其中，区域吻合性又包括地质吻合性、工作吻合性和经济吻合性等。

（2）社会影响评价矩阵与模型：

$$I=\sum_{i=1}^{n} f_i a_i \tag{4-24}$$

其中，I表示总的社会影响；f_i表示各种社会反应；a_i表示社会影响系数。社会影响评价矩阵如表4-9。

表4-9　矿产资源战略评价的社会影响评价矩阵

	地方影响	全国影响	国际影响	系数小计
舆论反应				
学术反应				
决策反应				
投资反应				
系数总计				

一般我们把社会反应进一步区分为舆论反应、学术反应、决策反应和投资反应4种类型，每一种反应又可以分为地区影响、全国影响和国际影响。

以基础地质调查为例，舆论反应主要是指公众对地质调查工作及其成果的关注，一般通过电视、电台和报纸等新闻媒体表现出来。学术反应指学术界对目标项目及其新发现、新认识、新技术和新经验所做出的反应，一般通过学术论文、著作、学术会议和学术认证等形式表现出来。如：①国际国内科研机构和部门关注、认可的新地质现象；②一定数量的 SCI 论文或核心期刊论文；③被国家地质调查部门肯定推广的工作方法、工作经验、新技术和新专利等。决策反应指以各级政府和部门为代表的行政决策机制对地质调查成果的反应，主要表现为目标区域因为基础地质调查成果而制定、调整和修正国民经济和社会发展思路、战略、规划、计划和政策等。如：①新的地质信息使目标区域乃至全国有了新的发展思路；②新的地质信息使现有发展思路、战略、规划、计划和政策等暴露出严重不足（包括已经不可能修正、调整和充实的情况）；③新的地质信息有助于解决一些有关国民经济和社会发展的争议性或悬而未决的问题；④新的地质信息导致外交关系的调整和变化；⑤新的地质信息导致新的工程动议，或对拟实施和正在实施的项目进行调整，等等。新资金因为新的地质发现或资源发现而有流向目标区域的兴趣或意向，可以看成是目标项目的投资反应。投资反应是基础地质调查工作最直接也是最强烈的影响。基础地质调查的投资影响主要有以下几种情况：①目标项目的新发现而使国外矿业公

司、勘查公司或其他企业产生了投资兴趣或合作意向（如函电垂询资料信息、来华考察、商谈合作项目等等）；②国内矿山企业、勘查单位或其他企业有商谈矿业权交易的意向或合作勘查和开发意向；③地方政府因为新发现而愿意追加投资或配套投资；④新的地质发现使国际合作组织产生了投入研发资金的兴趣和意向；⑤国家科研机构和地质调查部门因为新发现而愿意在目标区域继续进行地质调查投资，等等。此外，新的地质信息有可能导致新的工程，如"西气东输"工程就是对新疆油气资源发现的工程反应。但对于基础地质调查项目而言，产生工程影响的情况比较少见。

4.4.2 矿产资源安全战略评价模型：以油气资源为例

（1）油气资源安全战略评价系统的界定：从全球范围来看，所谓油气安全就是合理价格下的可靠的、足够的油气供给。就国家而言，所谓油气资源安全就是指一国经济发展所依赖的油气供给获得有效保障（包括以最小的环境成本保证油气供应），其数量和质量能够保障该国经济当前的需要、参与国际竞争的需要和可持续发展的需要，在油气生产、消费、进出口等方面采取有效的安全措施，有免于油气价格大幅度变动（包括上涨和下降）、油气供给突然中断以及油气资源污染对经济发展与社会环境所造成的危害的能力，其散布于国内外的储量、市场和投资等商业利益不受威胁，其经济安全运行所依赖的油气供给不受国际政治、经济危机等的负面效应影响。

油气资源安全战略评价就是把油气资源、经济、社会和环境作为一个系统来观察，分析影响油气资源安全的各要素之间的相互作用过程及影响程度，进而理解各要素对油气资源安全的影响过程、结果和调控方式，从而揭示油气资源安全战略机理。人口增长、经济社会发展给油气资源承载力带来巨大压力；人类对油气资源的开发利用，改变资源存量的状态和环境的质量，即影响资源环境系统的生态稳定性或可恢复性；进而影响了人类自身的发展和后代人的福利。压力和资源环境问题向资源环境研究和管理决策提出了挑战，要求采取应对措施：首先要对油气资源的开发利用状况和潜力、资源供需态势、贸易体系、资源政策水平、科学技术发展水平和社会经济状况包括人文发展水平等做出正确判断和评价；然后依照社会经济可持续发展目标、油气产业的国际竞争力及综合国力，结合人文发展权益的实现，制定实现油气资源最优配置和代际公平的开发利用和保护政策，在可持续发展中建立油气资源安全保障体系、资源节约体系、安全供应的贸易体系、科技创新体系和管理体系，合理开发利用油气资源；最终还要对油气资源安全状况进行动态监测和评估，对政策执行效果实施跟踪，以便适时调整油气资源战略和管理政策，确保油气资源安全和经济持续发展。因此，油气资源安全战略评价系统可被看作是一个动态的、开放的复

杂系统。由于油气资源安全系统各要素作用机制的复杂性和非线性以及特定历史时期人类认识能力和认识手段的局限性，油气资源安全战略评价系统的演变始终是确定性和随机性的统一，不可逆性、非线性、可调控性、反馈性是油气资源安全战略评价系统的基本特点。

从垂直方向考虑，油气资源安全的影响因素主要包括国内因素即本土层次、国际因素，国际因素进一步又包括区域层次、全球层次两方面的因素。国内因素包括：一国经济运行的制度安排、油气经济运行的制度安排问题；可持续发展战略、油气经济发展战略和政策；油气安全战略的制度和组织措施；油气产业结构的失衡；经济结构、产业政策和油气消费政策；国家经济社会发展对各种能源的需求；本国所拥有的油气资源量、油气在能源消费结构中的比重、油气的储采比、油气生产能力和进口依赖度、出口情况；资源的耗竭和破坏、自然灾害的发生、政治和社会的动荡等。国际因素主要是国际政治经济关系。经济全球化、国际经济一体化过程中和竞争的国际经济环境下，包括区域性或全球性政治经济危机、经济封锁和物资禁运等经济制裁措施、经贸摩擦冲突、全球性的自然灾害以及大规模的武装冲突、与石油输出国的外交关系、局部战争等引起的国际油气市场的变化都将对世界油气经济产生严重的影响，直接威胁一国的油气资源安全。从保证“国家利益”的角度来讲，对油气进口国而言，油气资源安全主要是获得充足稳定的油气供应；对于油气输出国则主要是保证稳定高价的油气输出。在一国油气安全系统中油气生产者是石油公司，国家以市场调节作为主要工具，通过国家宏观经济政策、投融资政策、产业政策、税收政策和贸易政策等来调节，刺激各石油公司按照市场需求来组织生产，从而满足全社会油气资源需求。作为油气市场需求方的消费者，国家可以根据资源禀赋和经济发展水平，通过能源政策、产业政策、税收政策等，以价格作为指示器来引导消费者的能源消费偏好，从而保证能源消费结构的合理性，实现能源可持续发展。

从水平方向上看，随着“油气”这个特殊商品，向国际商品、战略商品又向“油气金融化”商品的演变，油气资源安全研究范畴包括“油气供应安全”、“油气金融化安全”和“油气产业安全”3个“方面”。因此，将垂直的“层次分析”与水平的“方面分析”结合起来，就形成了油气资源安全战略评价系统的边界。

油气资源安全战略评价系统的研究以本土层面即国家层面为自然边界，既要以全球层次分析为背景，又要以区域层次分析为支撑。在经济全球化和市场经济条件下，面对油气资源短缺和国际市场资源供应的各种风险和不确定性，综合分析“油气供应安全”、“油气金融化安全”和“油气产业安全”3个“方面”，适时制定和实施科学有效的资源安全管理对策，确保系统运行安全和稳定。

从国家经济安全的角度，油气资源安全战略评价系统主要包括两个层面的内容：一是“可持续发展”，即国家经济体系所具有的实现油气资源产业可持续发展的能力，它以油气资源的可持续开发利用为基础；二是“稳定”，即国家经济体系所具有的抵御、化解国内外各种干扰、威胁和侵袭，确保国家经济稳健运行的素质、状态和能力，尤其是抵御油气中断产生经济混乱的能力。这也是油气资源安全战略的内生机制。

(2)油气资源安全战略评价模型与评价指标体系：从以上的分析可以看出，一国油气资源安全状况，要看以下几个方面：国家经济的独立性、油气供应的经济性、油气供应的可持续性。从保证国家经济发展的独立性讲，应减少对进口油气的依赖，大力发展本国的油气资源，增加自产油气的供应，建立自己的能源供应保障体系。而从油气供应的经济性角度，则要比较国内外两种资源、两个市场的成本，择优而用，还要比较油气与其他替代品的成本，追求更高的经济效益。从油气供应的可持续性角度，则要加大油气替代品的力度，大力加强节能技术的研发与推广，保证油气资源的持续利用。进一步，从考察一国油气资源安全系统演进的角度出发，决定各国油气资源安全系统演化态势的是油气资源的对外依赖程度和抵御“不安全”的能力。油气资源对外依赖程度主要取决于各国油气资源禀赋（油气供给）与油气需求两方面的平衡，以确保国家经济增长目标的实现；抵御 “不安全”的能力主要来自于国家政治经济位势、油气产业的国际竞争力，以防止油气价格波动对国民经济的冲击，并处理好油气供应的国内外两个市场的关系。从国家层次看，油气资源安全战略评价模型包括油气资源供应安全评价模块、油气金融化安全评价模块和油气资源产业安全评价模块三大模块。

①油气资源供应安全评价模块。油气资源供应安全评价模块可分为油气资源基础评价子模块、油气资源供应风险评价子模块和可持续发展能力评价子模块。所谓油气资源基础就是油气储量与油气需求量的比较，表现为油气资源对经济发展保障的相对程度。油气资源供应风险来自于油气地缘政治经济、军事因素，主要体现为两个方面：一是油气资源的对外依赖程度以及其国际市场获得性；二是经济成本以及防止油气中断对国民经济造成冲击的能力。所谓可持续发展能力就是指油气能在较长时期内支持国民经济发展和人文发展权利的实现，同时不对环境产生较大污染，使油气开发利用中熵的增加控制在生态系统能够承受的限度内，以实现持续的长期油气资源保障的能力。在这里可以用油气资源建设投资指标、油气储采比指标、油气替代产品建设指标、节能指标和环保指标等来描述。一般来说，油气工业项目投资大，建设周期长，因此油气工业发展要比整个国民经济发展有一个提前期才能满足国民经济的发展。油气资源建设投资指标和油气储采比指标是从资金和资源两方面保证油气资源能够

长期稳定地支持国民经济的发展。油气资源的开发利用必然带来一定的环境问题，而人文发展权利的实现又要有一定的能源消费保障，对于发展中国家来讲由于人均能源消费水平明显低于发达国家这个问题更为突出。因此，为了实现可持续发展的目标，一方面，要加大油气替代品的开发力度；另一方面，必须要通过节能和加强环境保护来控制熵的增加，维持生态系统的稳定。油气资源供应安全评价的指标体系如图 4－8 所示。

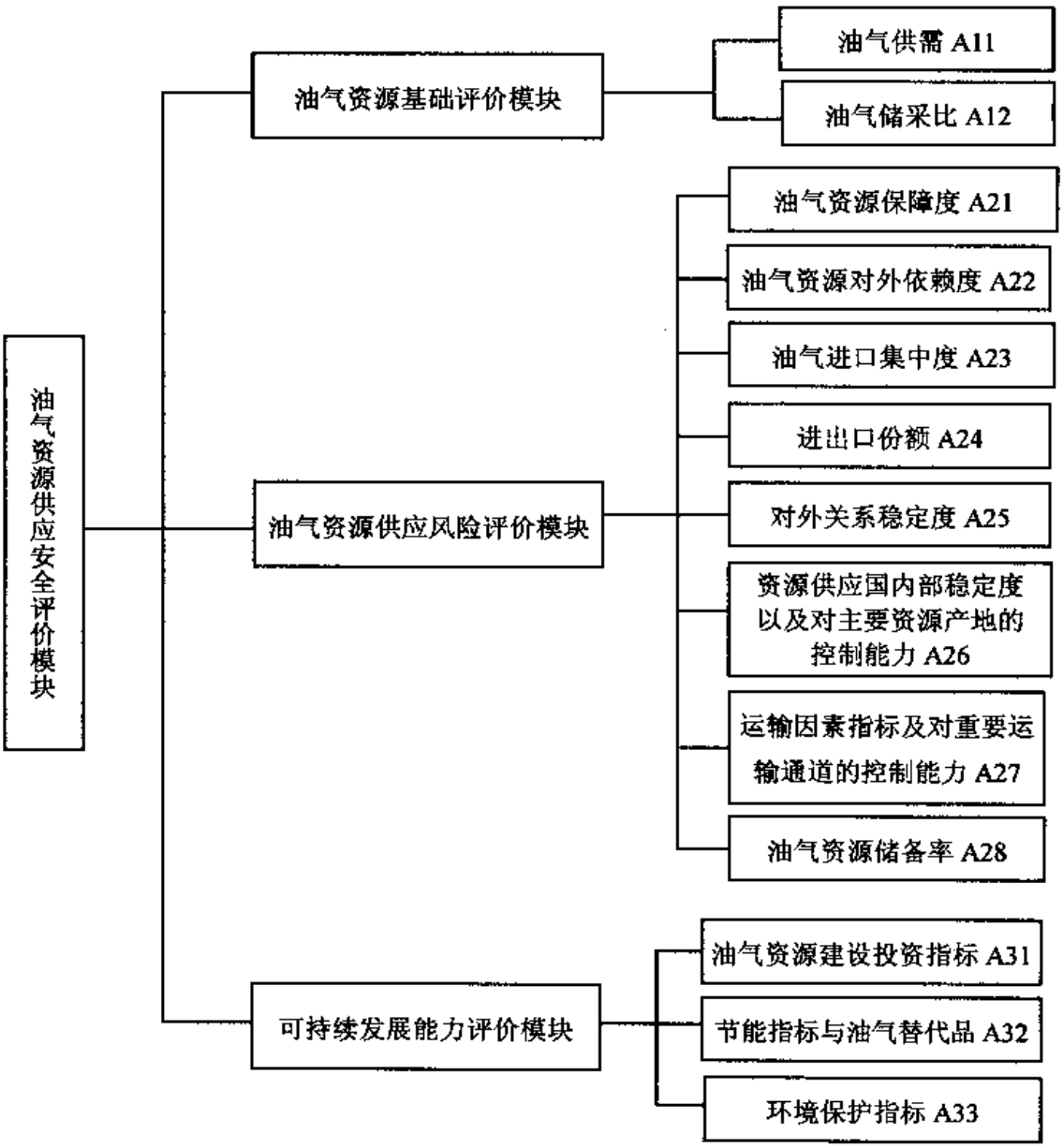


图 4－8　油气资源供应安全评价的指标体系

②油气金融化安全评价模块。随着经济全球化的发展，国际资本正以前所未有的速度向油气领域转移，油气资源供应面临的最激烈、最危险的竞争不再是纯粹的产品的竞争，而已转向产权的竞争。目前从国际市场获得油气供应有3种形式：一是现货交易；二是期货交易；三是产权分成。现货交易的优点是随时可以获得资源，但价格波动的风险不容低估；期货交易的优点是可以通过期货市场套期保值，锁定价格，甚至盈利，但期货市场常为国际金融资本和投机资本所控制，需要专业的金融机构和较高的交易技巧，风险也不容忽视；产权分成与现货交易和期货交易相比最大的优点是保有了国家资源储备，节约了国家外汇，有利于减轻价格波动对国家金融安全的威胁，但产权分成需要在海外建立油气基地，一方面受所在国政治环境、经济政策的制约，另一方面油气勘探开发本身就是一项风险投资。因此，从某种意义上来讲，油气金融化安全考虑的重点就是通过油气金融互换和多元风险采购来降低油气价格波动给国民经济带来的冲击，其风险来自于国际金融经营。

油气金融化安全评价模块的指标构成包括：短期油气资源进口能力指数（B1）、长期资源进口能力指数（B2）和油气价格波动系数（B3）。

③油气资源产业安全评价模块。油气资源产业安全风险可以通过油气资源产业国际竞争力的评价来反映。油气资源产业国际竞争力实际上就是一国油气资源产业对国外和国内油气资源市场份额的争夺能力。从静态角度出发，可用国内油气资源市场份额（C1）、国外油气资源市场份额（C2）两个指标来描述。

考虑到油气市场的垄断竞争和动态特点，可以建立如下指标体系来对油气产业国际竞争力进行比较分析（如图4-9），其中竞争实力指标主要包括资源拥有量与经营规模、技术水平与创新能力、资本运作能力等；竞争潜力指标可以从资源潜力和技术创新潜力两个方面来加以分析；竞争环境和风险指标主要包括国内外市场竞争现状、政治经济技术环境及相关产业的发展水平。

根据有关因素的作用机理，我们可以将油气资源安全评价指标进一步分为“安全诱发因素”和“安全状况描述指标”。根据“安全”属性，评价方式可以区分为“依赖性评价”和“基础性评价”。依赖性评价反映“不安全”因素的传递机制，而基础性评价反映一国抵御油气资源“不安全”因素袭击的能力。根据“安全”的程度，“基础性评价”的主要标准可以是安全强势、安全优势、安全均势、安全弱势和安全劣势；“依赖性评价”的评价标准是高风险、较高风险、一般风险、较低风险和低风险。

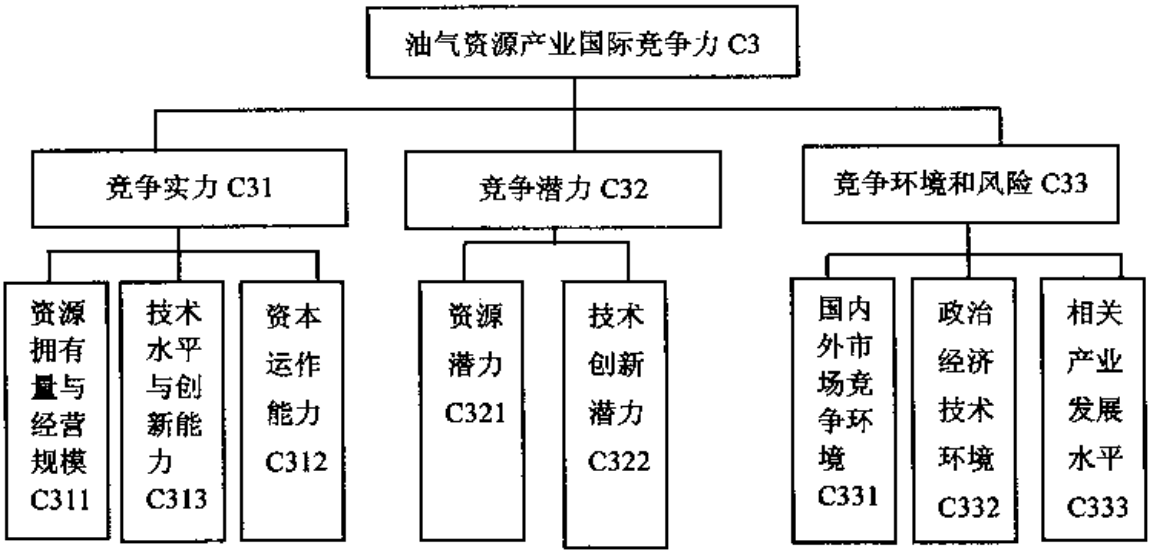


图 4－9　油气资源产业国际竞争力指标体系

§4.5 区域矿产资源综合评价模型

在矿产资源战略评价中，区域矿产资源综合评价的关键在于通过资料处理、专题分析和综合评价，建立地质－技术经济－环境－社会动态评价系统。矿产资源战略评价最终归结为矿产资源的可持续利用，实现资源、环境、经济与社会发展的相互协调。区域矿产资源综合评价模型即为上述四大模型的集成，区域地质－技术经济－环境－经济社会系统的基本运行模式如图 4－10 所示。

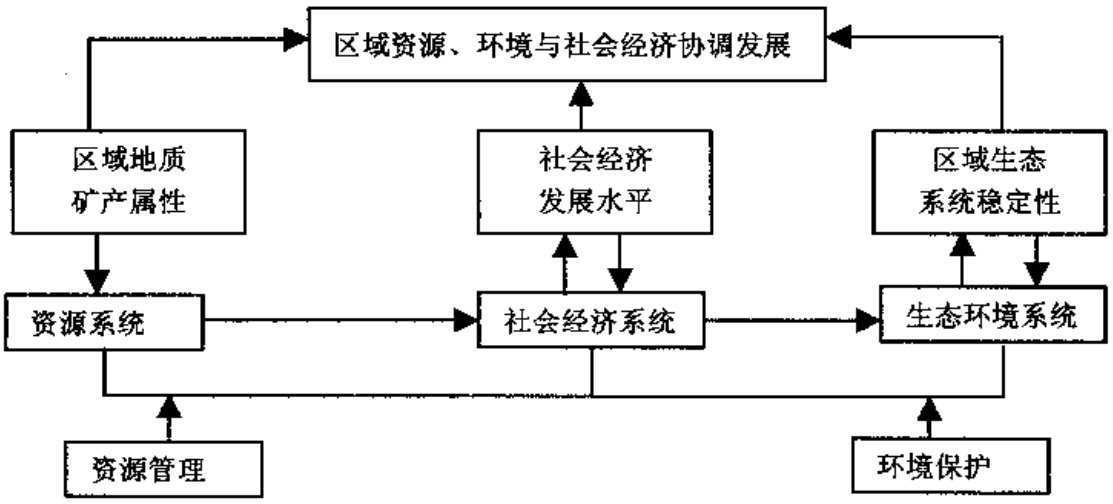


图 4－10　区域资源、环境与经济社会系统运行模式图

它包括4个层次，第一层次是系统的目标层，即实现区域资源、环境与社会经济的协调发展；第二层次是系统的表现层，它包括区域地质矿产属性、社会经济发展水平、生态系统的稳定性3个方面；第三层次是系统运行层次，该层次包括有资源开发利用、经济社会系统运行、对环境的影响3个主要过程，其中社会经济系统运行是核心；第四层次是系统的措施层，主要包括为了提高系统运行效率和质量所采取的措施，如资源管理、环境保护措施等。矿产资源战略评价主要评价资源开发利用与经济社会系统、生态维护之间的协调性和稳定性，需要采用多项指标进行综合评价。从社会经济系统运行的角度来讲，区域矿产资源综合评价模型研究的核心是区域资源优势与整体竞争力评价模型的构建。

4.5.1 区域矿产资源优势评价模型

考虑到现有区域资源优势评价分析模型的理论体系，大多是在已知结论的情况下，反思变量的发展趋势而构建出来的，不能解释自身理论的成因及发展的趋势。这里，根据矿产资源战略评价的综合性特点，将采用能量可用性的分析思想，在对能量系统与矿产资源系统进行比较分析的基础上，提出了区域矿产资源评价的㶲分析模型，从矿产资源的数量、开发条件、外部环境、与其他自然资源的组合以及内部耗散因素等诸多方面，对区域矿产资源的总体优势进行综合评价。

（1）㶲分析的基本思想：早在19世纪下半叶，科学家就已注意到，由于能量形态的不同，只计算能量的数量来衡量能量系统的优劣是不够全面的。因此，提出了能量可用性的概念，把一般能量划分成了“可用能”与“不可用能”两部分。可用能，就是能量的可用部分，即我们现在所讨论的㶲（exergy）。

一般的能量形式可分为3类：第一类是其转换能力不受第二定律限制，可以完全转化为其他任何形式能量的能量，如机械能、电能、动能、位能等。在热力学中，以上述这些形式存在的能量统称为动力，是在技术上和经济上最为重要和宝贵的能量形式。第二类是其转换能力要受到第二定律限制的能量，只能有限度地由一种形式转换为另一种形式。如内能和热量在一定的条件下，可以部分地转化为第一类形式的能量。第三类是完全不能转化为其他形式的能量，如环境温度下的大气、海洋、岩石等所具有的能量。它们虽然蕴藏量十分巨大，但却不能用于烧开一杯水。由此可见，不同形式的能量，其利用价值是不同的，完全以能量的大小规定它们的价值是不够全面的。

另外，热力学领域中还有一个现象值得注意，即能量被利用的环境不同，它产生的效果也不一样，比如，50℃的热能在30℃的环境下使用，其价值并不很大，但若在-30℃的环境下使用，其价值就大得多，比如可用来供暖等。这

说明能量的价值还与使用的环境相关。因此，能量有其“量”和“质”两方面的特征，从“量”和“质”两方面来全面考察物质所具有的能量，就显得十分必要。㶲概念正是在探索能量品质问题的过程中诞生的，它认为能量的品质在于能量的可用性，亦即能量的㶲。

㶲的确切定义是，一定形式的能量或一定状态的物质，经过完全可逆的变化过程后（传热、传质、化学反应等），达到与环境完全平衡的状态，在这个过程中该能量或物质所能做的最大功称为㶲，用符号 Ex 表示。显然功的㶲是功本身。热量的㶲可通过卡诺定理计算得到：

$$Ex=(1-T_0/T)Q \tag{4-25}$$

式中，Q 为热量；T_0 和 T 分别为环境温度和系统温度。由此可见，热量中仅有一部分是㶲，温度愈接近环境温度，㶲所占的比例愈小。所以热能是一种品位随着温度变化的能量。

热力学中，被研究的对象通常是作为系统出现的，当系统从某个状态出发变化到另一个状态时，系统就可能对外做功。经简单的推导，可以知道系统的㶲值为：

$$Ex=(H-H_0)-T_0(S-S_0) \tag{4-26}$$

式中，H 为系统的焓；S 为系统的熵，它代表系统内部的耗散因素；下标 0 为环境状态。

系统的焓由系统的内能及系统的流动做功能力两部分构成，即：

$$H=U+PV \tag{4-27}$$

式中，U 为系统的内能；P 为系统的压力；V 为系统占据的体积。考虑到内能一般通过热能的形式转变为功。因此，公式（4-26）的最终形式可表示为：

$$\begin{aligned}Ex&=Q\frac{T-T_0}{T}+\Delta(P\cdot V)-T_0\cdot(S-S_0)\\&=Q\frac{\Delta T}{T}+\Delta(P\cdot V)-T_0\cdot\Delta S\end{aligned} \tag{4-28}$$

式中，Q 为系统可向外界提供的热量；ΔT 为系统与环境的温差；ΔP 为系统与环境的压差；ΔS 为系统与环境的熵差。

式（4-28）表明，系统是在势差（温差 ΔT 和压差 ΔP）的作用下，具有对外做功能力的。同时，由于系统内部的耗散性必然存在，又使得系统的做功能力相应减小。而且系统的做功能力㶲 Ex 是始终与环境因素相关的，不能割裂环境问题讨论系统的㶲。

因此，热力学中的㶲分析思想，概括起来有如下4个方面：①可用性（㶲）在于事物的质。能量的可用性归根到底在于能量的品质。事物的可用性也归根到底在于事物中所包含的质。一架机器锈坏了，但构成它的物质依然存在，它不能使用，是因为构成它的物质中的质降低了。②事物的质是与使用它的环境密切相关的。任何物质被利用，都离不开环境，所以环境必然要对它的品质施加影响，这是丝毫不难理解的。在热力学中，㶲既是一个状态的函数，但它又与环境有关，充分说明了系统的㶲与环境有千丝万缕的联系。任何割裂这种联系讨论事物的质都是不正确的。③事物品质的降低是不以人的意志为转移的。任何实际的热力学过程都是不可逆的，所以，耗散的存在不可避免。同样，任何系统在被人类利用过程中，都伴随着能量与物质质的降低过程，而正是在这一过程中，得到了所需的㶲。因此，质的降级是不可抗拒的自然规律。④㶲是系统与环境差异的量度。当系统与环境的差异增加时，系统的品质就增加了。系统与环境的正向差异，使系统载有㶲；系统与环境的负向差异，同样使系统载有㶲。比如，烧红的铁块在环境中载有㶲，结冻水（冰块）在高温环境中同样载有㶲。当与环境的差异增加时，系统的含㶲量也增加。

（2）区域矿产资源优势的㶲分析模型：热力学理论对系统的㶲分析可以概括在式（4－28）中。它主要包含4个方面的内容：系统能量的总数量对系统品质的影响；系统的流动做功能力对系统品质的影响；系统的熵耗散对系统品质的影响；系统所处的环境对系统品质的影响。由于区域矿产资源也可以构成一个系统，对区域矿产资源优势的评价，其实就是对区域矿产资源系统品质的评价。因此，可以利用分析系统㶲品质的方法对区域矿产资源的品质进行探讨。

在利用㶲分析思想对区域矿产资源优势的评价中，式（4－28）中的 Ex 即代表矿产资源的优势度。式（4－28）右边的 Q 可以理解为矿产资源的储量，它代表矿产资源的储量对矿产资源优势度的影响。这是在传统的评价方法中已经被广泛注意到了的。资源的储量确实对资源的优势度有着重要影响，在总量上处于劣势的资源，其优势度就要大打折扣。这也是与常识相符的。但矿产资源的储量并不是优势的绝对影响因素，其他因素也会对优势度产生重大影响，有时甚至可以使在量上处于劣势的资源在总体上占有优势。式（4－28）中的 $\Delta T/T$ 因子，在热力学系统中代表系统温度与环境温度的偏差百分数。在对矿产资源优势的评价中，可以理解为本地资源在量上偏离平衡态的百分数。该因子越大，表明区域资源在量上的优势越明显，反之越不明显。如果本地资源的平均储量与背景的平均数一样，则说明本地资源在量上没有优势。如果平均数小于背景平均数，则说明本地资源在量上处于劣势。

式（4－28）中右边第二项的 $\Delta(P \cdot V)$，在热力学系统中代表系统的流动做

功能力，是在压差（即势差）的作用下实现的。在对矿产资源优势的评价中，该项中的 P 可理解为矿产资源的已开发力度，V 可理解为已开发的范围（在热力学中，P 和 V 也分别有力度和范围的含义）。具体地说，ΔP 可化分为多级，实行模糊控制。比如，开发得很全面可为 1，未开发为 0，其他情况在 0 和 1 之间变化。V 为已开发的范围，可理解为已开发的量。如果总量为 100，已开发了 40% 的范围，则为 40。

式（4－28）中的$(S-S_0)$项，在热力学中代表系统的熵耗散，它又可分解为两个部分，由系统内部不可逆性引起的熵耗散称为熵产，由系统与外部交换能量引起的熵耗散称为熵流。熵产恒取正值，是热力学过程应尽可能避免或取最小值的。熵流可正可负，在热力学过程中应尽量令其取负值，这意味着系统获取低熵物质而使系统的熵增加，即品质增加。据此，$(S-S_0)$可分解写成 $\Delta S_g+\Delta S_f$。在对区域矿产资源优势的评价中，也应将资源的耗散分解为两部分。一部分是由资源本身固有的，比如不同的矿种开采引发不同环境污染等，这些不利因素都是由区域矿产资源所处位置决定的，是内部所固有的耗散。另一部分耗散是在开发利用矿产资源的过程中产生的。比如，矿产资源的开发利用往往会产生区域自然资源整体的结构受损，环境污染灾害等不利因素的影响，这相当于熵流取正值的情况。相反，也有在开发过程中，其耗散会减少的情况。比如，通过矿产资源的开发利用使区域产业结构得到合理布局的情况，这相当于熵流取负值，是系统汲取了外界的低熵物质，从而使系统的品质得以提高的情况。因此，在矿产资源的开发利用过程中，除了要尽量避免和减少其内部的熵产耗散外，也要使其过程耗散取最小值，最好取负值。在热力学中，系统的熵变 $\mathrm{d}S=\dfrac{\mathrm{d}Q}{T}$，因此熵也是与过程换热量相关的。在对区域矿产资源优势的评估中，如果 Q 理解为资源的总量，则 ΔS_g 可理解为本区域矿产资源环境污染强度与背景平均值之差的百分数乘上资源总量，即为 $g\cdot Q$。ΔS_f 可理解为本区域矿产资源的开发损失度与背景平均开发损失度之差的百分数乘上资源总量，即 $f\cdot Q$。式（4－28）中右边最后一项 $T_0\cdot\Delta S$ 中的 T_0，代表了系统所处环境对系统品质的影响。在对矿产资源的开发利用中，也必须考虑背景环境对资源优势的影响问题。因此，T_0 可理解为环境对矿产资源优势产生作用的一个影响因子，可以采取如下方法对其进行量化：在最利于本资源的使用环境中，T_0 取为 0.1，在取不利的环境中使用，T_0 取为 1，其中共分为 10 级，参考使用。

综合上面的分析可以得到，区域矿产资源总的优势度可表述为：

$$Ex=Q[\alpha+\Delta P\cdot\beta-T_0(g+f)] \tag{4-29}$$

式中，Q 为区域矿产资源的总储量；α 为资源量与环境背景平均数偏差的百分

数；ΔP为已开发的程度，取值从0到1；β为已开发量占总量的百分数；T_0为环境影响因子，取值从0.1到1；g为本区域矿产资源环境污染强度与平均污染强度之差的百分数；f为本区域资源开发损失与平均开发损失之差的百分数。

4.5.2 区域矿产资源整体竞争力评价模型

矿产资源竞争力是指将矿产资源优势转化为经济优势的能力。资源优势矿产主要是指那些自然禀赋好的矿产，即地质条件优越，矿产资源丰富，矿床的赋存条件及其开采、选冶技术条件好，自然经济地理条件优越等具有得天独厚条件的矿产。而经济优势则是指矿山生产能力强、开发加工利用技术先进，产品成本低、利润高，市场环境、投资环境、生态环境、社会经济条件优越，其产品在市场上竞争能力强的矿产。如果一个地区没有矿产资源优势，无论那里的经济怎样发达，开发环境如何优越，都谈不上矿产资源竞争力。资源优势是通过成本优势和价格优势影响资源竞争力的，这是由矿产资源的特点所决定的，只有同时具备成本优势和价格优势的矿产才能称其为经济优势矿产，才是具有竞争力的矿产。矿产资源竞争力一方面是由其资源优势所表现出来的竞争能力；另一方面又受市场环境、投资环境、生态环境等因素的影响所表现出来的竞争能力，矿产资源的竞争力是其内在素质和外部环境影响的综合体现。因此，矿产资源竞争力的评价应以矿产资源禀赋条件评价即地质矿产属性为基础，以技术经济评价为主要依据，结合社会需求评价与环境影响评价，评价其将资源优势转化为经济优势的能力。

区域矿产资源整体竞争力是指某个地区的全部矿产资源的总的综合盈利能力，称为竞争能力。区域矿产资源整体竞争力（W）是一个综合指标，它包括以下3个方面内容：①资源要素优势（R）。它是指本区域矿产资源的品位、储量等指标，可用区域矿产资源总的优势度来表示，如式（4-29）。②成本要素优势（C）。它是指矿山企业充分利用其所占有的物质资源、人力、物力、财力和信息资源的能力。若矿山企业在这方面强于竞争对手，则它生产的矿石产品的成本越低，竞争能力就大。③市场要素优势（M）。它是指当该矿产品的市场供应状况、政府的调控政策、市场竞争激烈程度等。

上述3个参数（R、C、M）同W之间的关系为：

$$W = K_R R + K_C C + K_M M \tag{4-30}$$

式中，$K_R + K_C + K_M = 1$；K_R为区域矿产资源优势能力的权数；K_C为矿产资源成本优势能力的权数；K_M为矿产资源市场优势能力的权数。

在竞争力表达式（4-30）中，矿产资源的竞争力（W）由矿产品资源优势能力（R）、成本优势能力（C）以及市场优势能力（M）组成，R、C、M这

3 种优势能力都由一定的因素构成，它们共同构成了评价区域矿产资源整体竞争力的指标体系。

（1）区域矿产资源优势能力（R）：一个区域矿产资源的资源优势能力，由下面 4 个因素构成，这些因素直接决定着它的资源优势能力。

①矿产资源储量（R_1）：矿产资源是指在地质作用过程中形成并赋存于地壳内（地表或地下）的有用的矿物或物质集合体，其质和量适合于工业要求，并在现有的社会经济和技术条件下能够被开采和利用的自然资源。矿产资源产品属于耗竭性产品，具有不可再生性，在自然界中其储量有一定的限度。矿产资源储量包括已查明的具有现行经济价值的能利用储量和已查明的暂不能利用储量以及尚未发现的矿产资源量等三部分。这里主要指矿区已探明的保有储量和可采储量以及远景储量。矿产资源储量规模的大小主要决定矿区的开发规模和服务年限，是构成区域矿产资源经济综合优势的数量基础。

②矿产资源品位及质量（R_2）：矿产的种类及质量反映了矿产品的用途和矿床开发的经济价值。将矿产资源总量的货币表现称之为矿产资源的潜在价值。

$$V=\sum_{i=1}^{n}Q_iC_iP_i \tag{4-31}$$

式中，Q_i 为第 i 矿种矿床的保有储量；C_i 为第 i 矿种有用组分的平均含量；P_i 为第 i 矿种矿产品价值。

③资源匹配程度（R_3）：资源配套程度是指与矿产资源开发建设和生产相关的其他资源的自给程度，如水、电、燃煤、木材、铜材、石材、冶金辅助材料及备品备件等。

④其他因素（R_4）：主要考虑生态环境对矿产资源开发利用过程的自身适应能力，以及与其他自然资源的组合。

综上所述，有：

$$R=\alpha_1R_1+\alpha_2R_2+\alpha_3R_3+\alpha_4R_4 \tag{4-32}$$

式中，$\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4=1$；$\alpha_1$、$\alpha_2$、$\alpha_3$、$\alpha_4$ 分别为 R_1、R_2、R_3、R_4 的权数。

（2）矿产资源成本优势能力（C）：人类获取资源产品和服务会产生开发成本、环境成本和代际成本。相应地，资源成本优势包括开发成本优势、环境成本优势和代际成本优势。这里指的成本并不是狭义上的成本，它包括开发成本、环境成本和代际成本。开发成本是指获得资源产品和服务耗费的劳动和资本，可以用反映区域特征的行业平均成本推算。主要指标有劳动生产率、平均产量、平均工资、平均利润率或利率（资金成本）等。矿产资源成本优势能力

（C）由劳动生产率（C_1）、平均产量（C_2）、平均工资（C_3）和平均利润或利率（C_4）构成，它们之间的关系用式（4－33）表示：

$$C=\beta_1C_1+\beta_2C_2+\beta_3C_3+\beta_4C_4 \tag{4-33}$$

式中，$\beta_1+\beta_2+\beta_3+\beta_4=1$；$\beta_1$、$\beta_2$、$\beta_3$、$\beta_4$分别为$C_1$、$C_2$、$C_3$、$C_4$的权数。

（3）矿产资源市场优势能力（M）：矿产资源的资源禀赋是不变的，但矿产品的市场环境却是可变的。对资源产品的需求是使相同资源禀赋有不同资源竞争力的重要因素。需求对资源竞争力的影响可以概括为以下几个方面。

首先，只有那些能够满足人类需要的自然物才成其为资源。社会需求的变化会改变特定资源的边际品位，从而有不同的资源储量。农作物耕种面积由优等地到劣等地的不断扩张，就是伴随着人口增长的农产品需求增加使然。

其次，需求决定了相同的资源储量在报告期内能够提供多大的产品和服务流量。决定资源竞争力的是市场需求量而不是由资源储量决定的产品供给量。

最后，需求变动既会使同一种资源的竞争力发生变化，又会改变不同资源之间的竞争力差异。比较不同资源的竞争力，必须研究各种资源所面临的市场需求状况。称一种资源较之于其他资源在一定时期内具有较高的需求增长率为需求态势较强，反之，需求态势较弱。

矿产资源市场优势能力，由市场需求状况(M_1)、矿业市场发展完善程度（M_2）、产业政策变化的应变能力（M_3）、竞争变化的应变能力(M_4)构成，因此矿产资源市场优势能力用式（4－34）表示：

$$M=\chi_1M_1+\chi_2M_2+\chi_3M_3+\chi_4M_4 \tag{4-34}$$

式中，$\chi_1+\chi_2+\chi_3+\chi_4=1$；$\chi_1$、$\chi_2$、$\chi_3$、$\chi_4$分别为$M_1$、$M_2$、$M_3$、$M_4$的权数。

将式(4－32)、式(4－33)、式(4－34)代入式（4－30），即得出评价区域矿产资源整体竞争力的数学模型式（4－35）：

$$W=K_R\times\sum_{i=1}^{4}\alpha_iR_i+K_C\times\sum_{j=1}^{4}\beta_jC_j+K_M\times\sum_{m=1}^{4}\chi_mM_m \tag{4-35}$$

利用式（4－35）评价区域矿产资源整体竞争力时，首先，根据区域矿产资源的特点，确定权数K_R、K_C、K_M；其次，再分别确定R、C和M各自的权数大小；最后，利用式（4－35）计算出区域矿产资源整体竞争力大小。

需要指出的是，上述区域矿产资源整体竞争力评价模型并未考虑社会需求及影响对其竞争力的影响，进一步，可以把区域矿产资源整体竞争力评价模型表示为4个基本因素的函数：资源优势能力、成本优势能力、市场优势能力以

及社会需求与影响因素，即：

$$W=(\theta\Pi)^{1/2} \tag{4-36}$$

式中，Π为资源优势能力、成本优势能力、市场优势能力的综合度量；θ为社会需求与影响因素的度量，在公式中表达为竞争力的调整系数。

第五章 矿产资源战略评价方法学体系

§5.1 矿产资源战略评价的工作程序

矿产资源战略评价的工作程序对促进矿产资源战略评价由理论走向实践，保证评价的科学性和可操作性均具有重要意义。由于区域可持续发展系统是复杂的、开放的巨系统，矿产资源战略评价系统也就具有了阶段性、层次性、动态性和综合性等特点，这就决定了矿产资源战略评价的涉及领域、评价对象、评价目标等也多种多样，评价的具体技术路线、采用的模型和方法也不尽相同。但是，矿产资源战略评价的基本思路和框架应具有很多相同之处，据此可以大致归纳出一个基本的评价框架，即矿产资源战略评价的工作程序（见图 5－1）。

5.1.1 准备评价工作

通过矿产资源战略分析确定是否需要进行矿产资源战略评价，如果需要进行就要首先明确矿产资源战略评价的主要任务，并成立相应的评价组织机构和落实评价经费，然后系统收集、评价与分析制定评价方案所需的各类资料。在资料收集的过程中，尤其要注意两点：一是要注意做好协调工作，由于矿产资源战略评价涉及范围广、考虑因素多，收集资料所涉及的部门和单位也相应比较多，这就需要评价领导部门做好协调并给予经费保障；二是要注意评价资料的层次性，在收集和整理资料的过程中，要将所收集的资料按层次进行归类。

5.1.2 制定评价方案

在准备阶段收集资料的基础上，矿产资源战略评价即进入到关键的制定评价方案阶段，该阶段的工作大致可包括以下 4 个方面：

（1）确定评价对象：在矿产资源战略评价理论研究的基础上，根据评价任务确定评价对象。既要使所确定的评价对象与评价任务相吻合，并具有重要的评价意义，还要考虑评价对象的可行性，即从时机、人力、物力、财力以及所

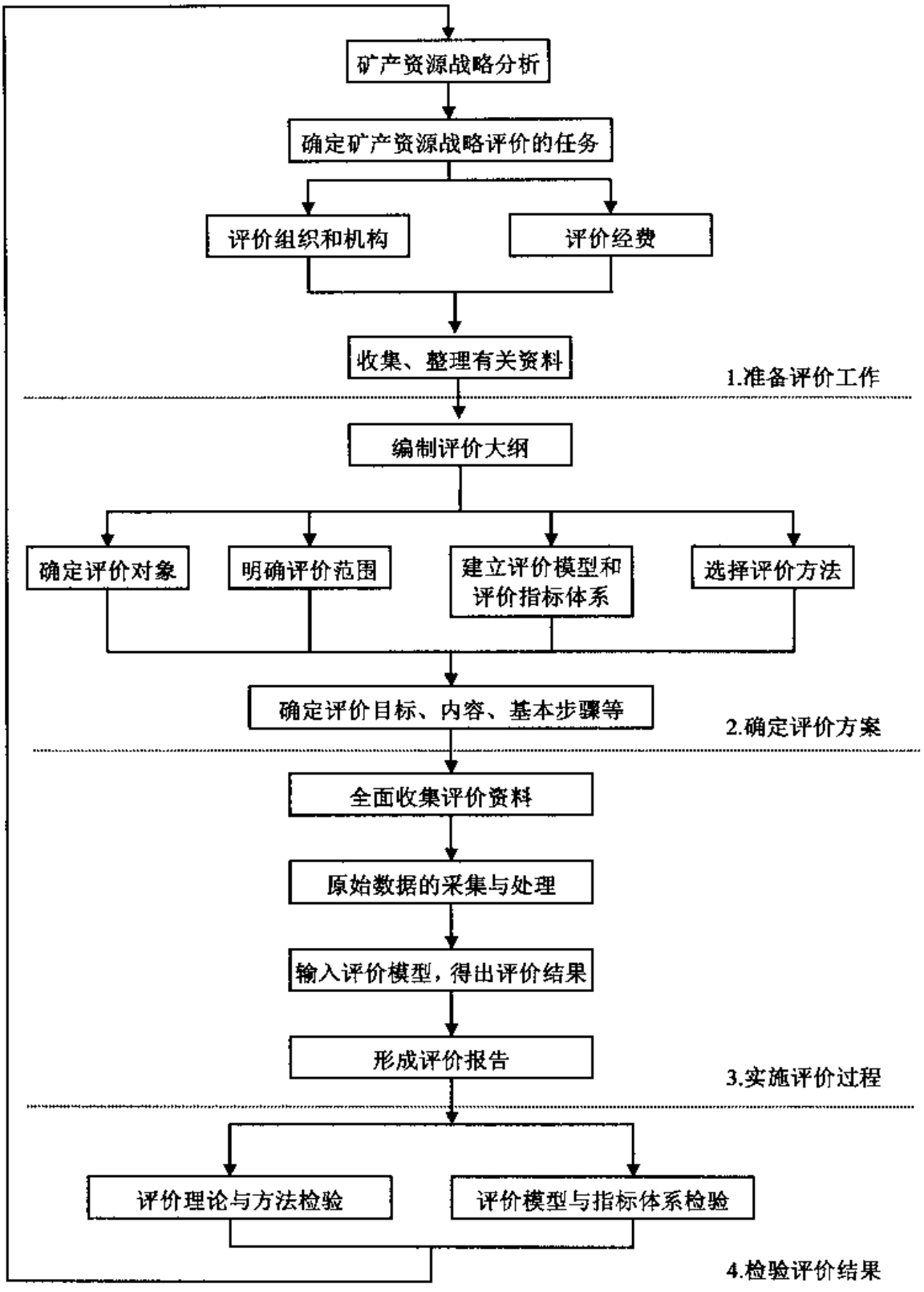


图 5－1　矿产资源战略评价的基本程序

掌握的资料等方面能否满足评价的需要。从矿产资源战略评价系统的阶段性来看，其评价对象可包括区调阶段、普查阶段、详查阶段、勘探阶段和开发阶段所具有的不同结构水平的矿区、矿田、矿床、矿体、矿段、资源储量直至矿产品等；从矿产资源评价系统的层次性来看，其评价对象可包括国家级、省级和地方级别的矿产资源法律法规、政策、规划和计划等；从矿产资源战略评价的动态性来看，评价对象又可包括制定中的战略（矿产资源战略需求评价）、实施中的战略（矿产资源战略控制评价）和调整中的战略（矿产资源战略后评价）。由上可知，矿产资源战略评价对象的确定也是一个复杂的工作，需要根据有效性和可行性原则予以科学确定。

（2）明确评价范围：矿产资源战略评价的范围有时间上的范围和空间上的范围两方面的内容。矿产资源战略评价范围在时间上可能不仅包括区调阶段、普查阶段、详查阶段、勘探阶段或开发阶段，还包括若干阶段的组合；也可能不仅包括战略实施阶段，还包括战略制定阶段或战略调整阶段，甚至是两者或三者的组合。矿产资源战略评价范围在空间上可能不仅包括矿区、矿田、矿体或矿段，还包括待采的资源储量或采出的矿产品；也可能不仅包括战略实施区域，还包括实施区域以外相关联的区域。矿产资源的评价范围一般要综合考虑该战略的层次性、有效期、评价区域的社会文化背景及人们的认可程度等来确定。

（3）建立评价模型和评价指标体系：由于矿产资源战略评价对象和范围的差异性，其评价模型和评价指标体系也就存在区别，这就需要根据评价任务、评价对象和评价范围等来进行构造和选择。在选择模型和指标体系的过程中，应充分考虑以下原则：①目的性，即所选择的评价指标既能反映矿产资源战略评价的预测内容，又能反映评价目标的已实现程度；②多样性，评价指标体系中既有定量指标又有定性指标，既有绝对指标又有相对指标，以满足不同性质、不同层次、不同范围、不同要求的影响因素的度量；③层次性，不同层次的战略，其在实施范围、影响范围及受影响的环境因素上有不同层次。因此，所选择的评价指标应能充分反映其层次上的差异；④系统性，虽然选择的指标层次丰富、种类繁多，但各个指标之间要具有科学合理的逻辑关系，要能形成一个完善的指标体系；⑤无相关性，各具体指标在内容上应该互不相关，彼此独立，避免考虑因素的重叠；⑥同趋势性，各指标要保持同向趋势，以便于不同量纲的指标可通过归一化等方法处理后进行比较；⑦可操作性，度量指标所需数据易获取和表述。

（4）选择评价方法：矿产资源战略评价方法的选择必须考虑各方面的因素，对不同评价对象和评价范围采取不同的方法，或将其有机结合、综合运用。矿产资源战略评价的方法主要有系统工程学的理论和方法、层次分析技术、数

学模型法（一维模型、二维模型、三维模型、经验模型等）、最优规划方法（线性规划、多目标规划、多目标混合整体规划等）、专家咨询方法、以地理信息系统为核心的3S（RS、GPS和GIS）方法等。这些方法在应用时必须结合矿产资源战略评价的特点进行完善。

通过以上4个方面的工作，最终确定矿产资源战略评价的目标、内容和具体的评价步骤，这些都将以评价大纲的形式予以反映。

5.1.3 实施评价过程

根据评价大纲全面地收集各方面的评价资料，本阶段所涉及的信息量巨大，既包括文字、表格，还包括各种图件等。在全面收集各方面的资料后，对资料按层次进行整理分类以取得有效数据，再通过数据处理后运用评价模型得出评价结果。

（1）全面收集评价资料：这是矿产资源战略评价的基础工作，其工作质量直接影响到后续工作及评价的效果。在收集过程中要利用多种调查手段和先进的技术设备，多渠道、全方位地收集与矿产资源战略评价有关的第一手资料及当时社会、经济、资源、环境等相关方面的资料。收集资料的方法有实地调查法、问卷调查法和利用遥感或GIS技术收集法等，在实际评价工作中常常是多种技术相互配合与补充的集成方法，保证所收集的信息具有广泛性、系统性、准确性、及时性。

（2）分析处理评价数据：从所收集到的资料中获取有用信息，重点是原始数据的采集，还需要对数据进行系统的整理、分类、统计和处理分析。通常采用多变量统计分析方法对各类数据进行系统研究。

（3）得出评价结果：数据经过分析处理之后，应用评价方案中所确定的评价模型和指标体系进行评价，最后得出评价结果，形成评价报告。

5.1.4 检验评价结果

由于矿产资源战略评价工作正处在萌芽阶段，因此每次评价工作完成之后应对评价结果进行总结，特别是对于评价的模型和指标体系要进行修正，完善矿产资源战略评价的理论和方法，完善矿产资源战略评价系统，为进一步开展矿产资源战略评价提供指导建议。

§5.2 矿产资源战略评价的一般方法

矿产资源战略评价除了要有一套成熟的评价程序之外，还需要有一些相应

的评价方法。其中，最主要有复杂系统分析方法和层次分析法，这两种方法在系统评价中是比较重要的研究方法。

5.2.1 复杂系统分析方法

系统科学按照复杂性将系统分成简单系统、简单巨系统、复杂巨系统和开放的复杂巨系统。其中，简单系统包含子系统数目少，相互作用关系简单，用牛顿定律（现在加上计算机）就可以完全解决它们的演化问题；简单巨系统的子系统数目多，相互作用关系比较简单，它们的演化可以通过相应的自组织理论来解决；很多实际系统属于复杂巨系统，如人体系统、生物系统等，它们子系统的数目也很多，且分成若干层次，每个子系统相互作用也不太复杂，但子系统具有学习功能，目前主要通过计算机程序来分析系统演化的特点；开放的复杂巨系统（社会系统）更加复杂，不仅系统分成若干层次，多数子系统之间形成网状结构，而且子系统的相互作用也不确定，还没有找到规范的方法来分析系统的演化规律，目前仅有钱学森院士提出的从定性到定量的综合集成方法是在方法论层次上相对比较成熟。

对于简单系统或较简单系统的研究，由于精密数学和统计数学提供了十分精美的方法，在20世纪40年代就进入了黄金时代。然而，包括矿产资源评价系统在内的实际系统大多是复杂系统，其子系统及种类众多并有层次结构，它们之间的关联又很复杂，而且不断与外界有能量、信息与物质的交换，对它们的研究仍处在一种经验处理的较原始的状态。目前，对此类系统的研究思路基本是：从复杂系统的层次结构出发，根据多学科知识，定性分析复杂系统众多变量的因果关系及反馈机制，建立系统的数学模型；然后对其中的各子系统根据与实际情况的差异，分别运用人类已有的各类系统工程手段，以定性的知识和判断及定量的数学模型技术确定模型中的各类参数；利用计算机技术、知识工程技术及有关的经验知识建立相应的专家系统，对参数进行调试（戴汝为，1998；郝柏林，1999）。这是一种综合运用多学科知识，定性与定量相结合，科学理论与经验知识相结合，宏观研究与微观研究相结合的研究方法，这一类方法被钱学森院士（1990）称为“定性与定量相结合的综合集成的方法”。

在复杂系统分析中，实施“定性与定量相结合的综合集成的方法”，建立和运用模型是关键性步骤。在矿产资源评价系统的研究中，以下两种方法对复杂系统的模型应用具有重要意义：

（1）唯象分析：由于区域可持续发展系统的复杂性，子系统之间的相互作用很难描述清楚，也就很难找出系统行为特点与系统机制之间的关系。所以，可以从分析系统的行为特点出发，根据系统整体表现出来的性质，建立唯象的系统演化模型。由于系统不同的性质在同一模型中应具有联系，故可以根据系

统的某种行为特点，建立唯象模型，然后通过求解模型，则可肯定系统应具有另外的性质，从而指导对系统的研究。这种方法可以对系统的整体演化性质进行描述，找出不同演化行为之间的联系，对系统性质作某种预测，但无法给出出现这种行为的机制或原因。由于系统的复杂性，特别是系统行为与机制之间联系的多重性，一种系统行为可能由多种机制引起，一种机制也可以引起系统的多种不同行为，所以不同的人研究同一系统可能会采用不同的唯象模型，即使同一个人研究同一系统，在不同时期针对不同目的，也可能采用不同的模型，对系统行为机制的分析也就会得到不同的结果，并且不同的模型往往难分优劣。这种方法是在宏观层次上对系统进行研究，不涉及子系统之间及子系统与系统之间的关系。

（2）随机层次分析：对于由多个子系统组成的复杂系统，唯象分析得到的只是系统状态的平均值，无法对系统有更进一步的了解。在希望对系统演化性质作深入分析，但又无法对系统内子系统与系统关系进行讨论的情况下，采用在随机层次上的分析方法是必要和可行的。这种分析方法的特点在于：宏观分析所得系统状态平均值确定后，系统实际状态仍不确定，可以变化。由于对系统内子系统之间的相互作用以及子系统对系统宏观变量的具体影响不清楚，可将系统宏观变量看成随机变量。然后在唯象分析得出的系统演化方程的基础上，加一随机扰动项，就可得到系统演化在随机层次上的方程。通过求解方程不仅可以得到系统状态的平均值，而且可以研究系统的涨落情况，对系统有更进一步的了解。在随机层次上讨论的带有随机项的反应扩散方程为 Langevin 方程，同时人们也还在此层次上讨论 Master 方程和 Fokker-Planck 方程，这 3 类方程在数学上都有规范的解法。这种分析方法，虽不是直接从微观分析出发，但它比同一层次上的唯象分析方法更接近实际，它已深入到了系统与子系统的关系。

对矿产资源战略评价系统的研究，定性与定量相结合应该是研究方法中的一个重要原则。在评价系统中，有的因素、指标不能（精确）定量、定性的估计，假设就在所难免。由于矿产资源战略评价系统的子系统种类和数量众多，子系统之间的关联和相互作用复杂，往往不能只用一个模型，而需要建立多个模型或模型组才能涵盖所要研究的复杂对象。对于模型组的数学处理，只有依靠计算机，对于各种可能的联结条件和参数，进行反复测算比较，才有可能建立和求解模型组问题。

5.2.2 层次分析法

层次分析法可以把复杂系统的评价问题分解为各个组成因素，将这些因素按支配关系分组，形成有序的递阶层次结构，通过两两比较的方式，确定层次中诸因素的相对重要性，然后综合人的判断，以决定诸因素相对重要性总的顺

序。该方法不仅可以进行定量分析，也可以进行定性分析，它可以把评价过程中的定量与定性因素有机地结合起来，用一种统一的方式进行处理。层次分析方法改变了最优化技术中只能对定量问题进行处理的局限，因此在资源分配、冲突分析、方案评比、计划评比等问题中均可使用。层次分析法建立数学模型的过程大致可分为以下 4 个步骤：

（1）建立递阶层次结构模型：首先把评价问题分解为若干因素，然后按属性的不同把这些因素分成若干组，划分递阶层次结构，一般可分为最高层、中间层和最低层。最高层也称为目标层，这一层中只有一个元素，就是该问题要达到的目标或理想结果。中间层称为准则层，层中的元素为实现决策目标所采取的措施、政策、准则等。准则层不见得只有一层，可以根据问题规模的大小和复杂程度，分为准则层、子准则层。最低层也称为方案层，包括为实现目标可供选择的方案。递阶层次结构的一般形式如图 5－2 所示。

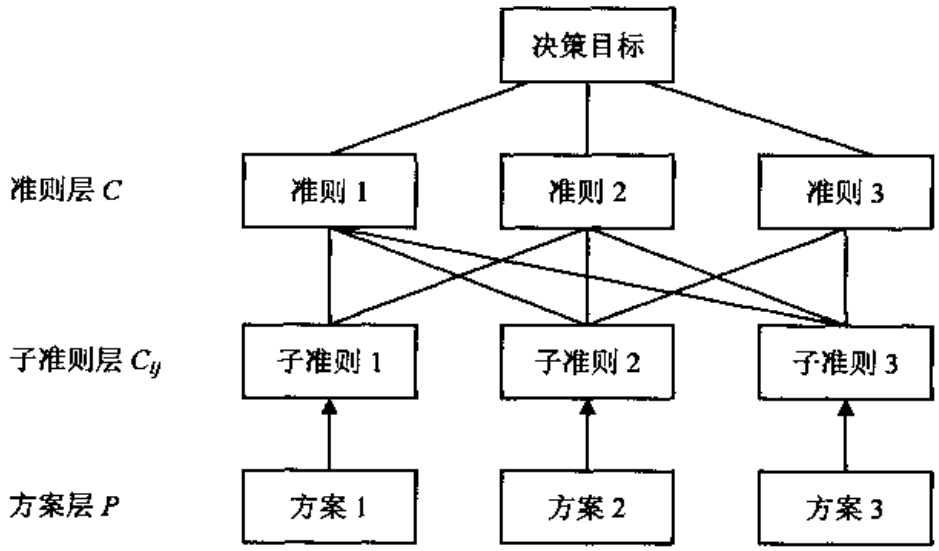


图 5－2 层次分析递阶层次结构

（2）构造两两比较判断矩阵：建立递阶层次结构以后，上下层次之间元素的隶属关系就确定了。假定上一层次的元素 C_k 作为准则，对下一层次的元素 A_1，A_2，…，A_n 有支配关系，目的是在准则 C_k 之下，按它们的相对重要性赋予 A_1，A_2，…，A_n 相应的权重，或称 A_1，A_2，…，A_n 在 C_k 中占的比重。层次分析法使用 1~9 的比较标度，其含义见表 5－1。

表 5－1　比例标度及其含义

标度值	含　义
1	表示两个元素相比，具有同等重要性
3	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素稍重要
5	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素明显重要
7	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素强烈重要
9	表示两个元素相比，一个元素比另一个元素极端重要
2，4，6，8	如果成对事物的差别介于两者之间时，可取上述相邻判断的中间值

对于准则 C_k 之下的 n 个元素，两两比较得到判断矩阵 $\boldsymbol{A}$，即：

$$\boldsymbol{A}=(a_{ij})_{n\times n} \tag{5-1}$$

$\boldsymbol{A}$ 为正互反矩阵。显然 $\boldsymbol{A}$ 应具有如下性质：

① $a_{ij}>0$；

② $a_{ij}=\dfrac{1}{a_{ji}}$；

③ $a_{ii}=1$。

（3）层次单排序：在准则 C_k 下，对元素 A_1，A_2，…，A_n 的单排序计算：①求正互反矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的最大特征值 λ_{max}；②利用 $\boldsymbol{AW}=\lambda_{max}\boldsymbol{W}$，解出 λ_{max} 所对应的特征向量 $\boldsymbol{W}$；③将 $\boldsymbol{W}$ 标准化（归一化）后即为同一层次中，相应于上一层某个因素 C_k 的相对重要性的排序权值。

（4）层次总排序：计算同一层次所有元素对于最高层相对重要性的排序权值，称为层次总排序，这一过程是由最高层到最低层逐层进行的。设上一层次 $\boldsymbol{A}$ 包含 m 个因素 A_1，A_2，…，A_m，它的层次总排序权值分别为 a_1，a_2，…，a_m；下一层次 $\boldsymbol{B}$ 包含 n 个因素 B_1，B_2，…，B_n，它们对 A_j 的层次单排序权值分别为 b_{1j}，b_{2j}，…，b_{nj}（当 B_k 与 A_j 无联系时，记 $b_{kj}=0$）。此时总排序权值由表 5－2 给出。

表 5-2 B 层总排序权值表

层次 A / 层次 B	A_1	A_2	…	A_m	B 层次总排序权值
	a_1	a_2	…	a_m	
B_1	b_{11}	b_{12}	…	b_{1m}	$\sum_{j=1}^{m} a_j b_{1j}$
B_2	b_{21}	b_{22}	…	b_{2m}	$\sum_{j=1}^{m} a_j b_{2j}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
B_n	b_{n1}	b_{n2}	…	b_{nm}	$\sum_{j=1}^{m} a_j b_{nj}$

第六章　湖北省矿产资源战略评价

§6.1 湖北省矿产资源现状分析

湖北省是我国最早开展地质工作的地区之一，矿产资源的采冶更是始于两千多年前。省境地壳在 20 多亿年漫长的变迁历史中，沉积作用、岩浆活动、变质作用、构造变动和外力地质作用长期、频繁、复杂，不仅造就了太古代、元古代、古生代、中生代、新生代乃至现代各个地质历史时期的沉积岩、岩浆岩和变质岩，更形成了各类相应的矿产资源，广泛分布于全省各地。在湖北省的国民经济建设和社会发展中，矿产资源始终起着促进国民经济不断增长和社会持续发展的重要作用。在 21 世纪初期实现湖北省全面建设小康社会、跨越式发展现代化建设的新历史时期中，矿产资源仍然是不可或缺的重要物质基础，矿业仍将是国民经济的基础产业。

6.1.1 矿产资源特点

（1）矿产资源总量较丰富，种类较齐全，资源禀赋居全国中游。目前，湖北省已发现的矿种有十一类143种。其中有查明资源储量的矿产98种(含亚种)，包括能源矿产 5 种、金属矿产 40 种、非金属矿产 51 种、地下水及矿泉水各 1 种。共有矿床 801 个，矿产地 1 406 处。这些矿床分布于全省各县、市，其中 65 % 的矿床相对集中于 22 个地区。13 种重要矿产中，磷矿分布于宜昌、钟祥、保康、大悟；石灰岩分布于 10 个市，最多的是宜昌、黄石、荆门；石膏矿主要分布于应城、云梦、荆门、当阳，其次是黄石、鄂州、武昌；盐矿与芒硝分布于云梦、应城、汉川、潜江、天门；铁、铜、金主要分布于大冶、鄂州、阳新以及长阳等地的“宁乡式铁矿”；银矿主要分布于竹山、郧西，其次是阳新；白云岩分布于武昌、宜昌、通山、荆门；耐火粘土分布于襄樊、荆门、宜城、枝城；硫铁矿分布于宜昌、建始、恩施、大冶；石油分布于江陵、潜江等地。全省有 56 种矿产资源储量列居全国前 10 位。

（2）化工、建材及部分冶金矿产资源相对丰富，能源及部分大宗矿产（如石油、天然气、富铁矿等）短缺。一方面，磷、盐、石膏、芒硝、铜、铁较为丰富，比较优势突出；水泥灰岩、水泥配料、玻璃硅质原料、冶金辅助原料、

建筑用花岗岩、饰面石材资源潜力巨大，前景广阔；钛、钒、镁、铌、钽、铯、铯、锂、钪、稀土、硒、锶、金、银、溴、碘、硼、石墨、重晶石、化工白云岩、膨润土、耐火粘土、累托石粘土、石榴子石、化肥用橄榄岩、建筑用辉绿岩等矿产和地热资源潜力较大；菊花石、百鹤玉、绿松石等矿产具有地方特色，前景良好。另一方面，省内缺煤、少油、乏气；铁、铜资源虽较丰富，但因采选能力强而显不足；地下水总量丰富，但面上丰缺不均；铝、铅、锌、钨、锡、钼、锑资源前景不容乐观；铂族金属、钾盐、铬铁矿资源严重短缺。

（3）资源分布广泛，矿床规模偏小，但主要矿产资源集中度较高，区域特色明显。在 801 个单一矿种和主要矿种构成的矿床中，小型矿床数占总数的 70%，大中型矿床只占 30%，其中，大型矿床仅占 12%，矿床规模总体偏小。但是，铁、铜、岩金、银、石墨、磷矿、硫铁矿、芒硝、石膏、水泥用灰岩、盐矿等主要矿产集中度较高，80%以上资源储量被大中型矿产地（矿床）占有，且空间分布与生产力布局匹配较好，有利于建立较完备的、规模化的矿业及矿产加工业体系。省内矿产资源分布广泛，但地区差异明显，形成不同矿产的相对集中区，如鄂东南地区的铁、铜、金、银、钨、钼、钴等矿产分布较为集中；鄂中主要分布石油、岩盐、石膏、芒硝、溴、碘、硼、钪、铯、锂等矿产；鄂西南主要分布磷、硫、铁、煤等矿产；鄂西北的银、金、钒、稀土矿产也具有重要的位置。

（4）共、伴生矿多，贫矿、难采选矿多，开发利用难度较大。全省有色金属、贵金属和非金属矿床中，80%的矿床为共、伴生矿床，其内有益组分选矿加工技术难度较大，相当一部分矿产在现有技术条件下难以综合利用。省内煤矿层薄、面广、质差，高磷赤铁矿、铝土矿、锰矿、钛（金红石）矿、稀土矿、硫铁矿等矿产矿石质量差、贫矿多、富矿少、有害杂质含量高、矿物嵌布粒度细、开发利用成本高。

6.1.2 矿产资源勘查、开发利用与保护现状

（1）矿产资源勘查现状：湖北省地质工作历史悠久，但系统的地质调查和矿产勘查还是新中国成立以后才全面开展的。半个世纪来，原地矿部和冶金、煤炭、石油、化工、建材、核工业等主管部门所属 30 多个地勘单位，2 万多名地质职工，通过艰辛努力，在湖北境内进行了大量地质调查和勘查活动。目前已基本完成了全境 1∶20 万区域地质调查与矿产普查、区域水文地质工程地质调查和 1∶50 万区域重力测量、区域环境地质调查；完成了除平原区外的 1∶20 万区域重力测量、区域地球化学测量；完成了 1∶5 万区域磁力测量和重要成矿区带 1∶5 万地质调查或矿产普查。同时，还完成了相应的区域地质、矿产、物化探总结研究，基本查明了全省三维空间的地质构造特征及矿产资源的时空

分布规律，为全省矿产资源的调查评价与勘查提供了科学的基础地质依据。截至2002年底，发现矿产143种，查明矿床（区）801个（大型矿床95个、中型矿床225个、小型矿床481个，大中型矿床占总数的30%），矿产地1 406处，为湖北的工农业发展和武汉钢铁基地，鄂东有色冶金基地，宜昌、荆襄、保康、大悟四大磷化工基地，能源基地，江汉石油化工基地以及大宗建材基地，云应盐化工基地等的建设提供了大量矿产资源储量，地质工作名符其实地成为经济建设的先行。

（2）矿产资源开发利用现状：湖北省矿产资源开发利用成就显著，特别是改革开放20多年来，各种经济类型的矿山企业蓬勃兴起，极大促进了湖北省矿业的发展。全省开发利用矿产达98种（亚种），包括能源矿产5种，黑色金属矿产3种，有色金属矿产8种，贵金属矿产2种，稀有金属矿产1种，冶金辅助原料非金属矿产9种，化工原料非金属矿产13种，建材及其他非金属矿产50种，水气矿产2种；已开发矿产地达906处，包括开采、基建矿产地630处，停采、闭坑矿产地276处，占已查明资源储量矿产地总数的64.44%。现未开发利用但可供规划开发的矿产地148处，占10.52%；未开发利用且因矿石质差、难选冶而近期难以利用的矿产地233处，占16.57%；其余119处矿产地则需作进一步的勘查方可决定其可利用状况。在已开发利用的93种矿产中，有37种矿产的资源储量占用率大于80%；10种矿产的资源储量占用率在50%～80%之间，即全省有50.5%已开发利用矿种的资源储量已被占用50%～80%，而近50%的矿种资源储量占用率小于50%；未被占用的资源储量多因矿石质量差、难选冶或开采条件不具备而暂难利用。因此，总的来说，湖北省矿产资源的开发利用程度较高，但后备的可供利用矿产地显得不足，矿产资源开发利用的形势较为严峻。

全省拥有各类矿山企业5 868家，从业人数达38万余人，其中国有矿山369家，集体矿山3 673家，其他经济类型矿山1 826家。从开发矿产类型看，本省以建材及其他非金属矿山数最多（达3 628家），其次为能源矿山（1 534家，以煤为主）和化工原料非金属矿山（384家）。本省绝大多数矿山属小型矿山企业，大中型矿山仅66家，其涉及矿产类型主要为岩盐、石膏、磷矿、金矿、铜矿、铁矿、水泥用灰岩等。2001年，全省年产固、液体矿石总量12 364.15万t，矿业总产值63.35亿元，较2000年有所下降，人均产值1.99万元。砖瓦用粘土、水泥用灰岩、铁矿、石油、盐矿、煤、磷矿、铜矿、金矿、建筑石料用灰岩、石膏等11种矿产开发年产值分别达1亿元以上，其合计年产值占全省矿业总产值的91.2%，其矿山数和从业人数也分别占全省总数的78.8%和90.7%，是本省主要开发利用矿种。

矿业开发为全省经济与社会发展提供了大量矿产品，积累了资金、技术和

人才，有力地促进了部分山区人民脱贫致富，为铁、铜冶金、磷盐和石油化工、建材及后续加工产业的形成与发展，特别是钢铁和化工两大支柱产业的形成奠定了基础。以矿业为先导和基础，出现了武钢、鄂钢、冶钢、大冶有色、江汉油田、黄麦岭磷化工集团、荆襄化工、兴发化工、昌达化工、宏博实业、双环碱业、银光盐化、沙隆达（盐化工）、武汉葛化、荆门石化、华新水泥、当玻集团、三峡新材、恒达石墨等一大批具有较强实力的矿产开发与加工企业，基本形成了“三大矿业走廊”（武汉－鄂州－黄石冶金、建材走廊，云应－天潜－荆州盐化工走廊，荆襄－宜昌磷化工、建材走廊）和“七大矿业基地”（黄石－鄂州冶金、建材基地，云应盐化工、石膏生产基地，潜江石油生产基地，宜昌磷矿、建材生产基地，黄麦岭磷化工基地，荆襄磷矿基地，荆门－当阳建材基地）的生产力布局。

6.1.3 矿产资源勘查、开发利用与保护中存在的问题

（1）矿产勘查连年萎缩，后备资源紧缺，勘查机制未能启动。一方面，由于地勘投入大幅减少，商业性矿产勘查机制尚未形成，矿业勘查筹资困难，许多地勘工作无法深入开展，新发现矿产地数量明显减少，主要矿产储采比下降。另一方面，现有矿山多已进入中晚期，资源逐渐枯竭，条件恶化，成本提高，陷入资源性困境。“商业性勘查”机制已经提出多年，并未具体实施，致使许多矿产地的勘查既不能申请中央地勘费立项，又无社会资金，处于停滞状态。

（2）矿产供需总量失衡，开发利用布局与结构不尽合理。石油、煤、铁、铜、铝、硫等大宗支柱性矿产长期供不应求，供需缺口越来越大；磷矿、石膏、重晶石等非金属矿产因生产结构不合理和受市场变化影响，常供过于求；矿业生产力主要集中在中部的“金三角”及其周边地区，而其他地区矿业发展明显滞后；石化、冶金矿产后续加工产业生产能力较大，而建材类矿产（水泥用和玻璃用矿产除外）尤其是新兴非金属矿产深加工能力明显不足。大矿小开、一矿多开、重复建设问题相当突出。

（3）矿产资源利用方式粗放，资源利用率低，浪费和破坏较为严重。重开发，轻保护，采主弃副、采富弃贫、采易弃难、重采轻掘、乱采滥挖现象仍较普遍，本省部分优势矿产如磷矿的资源优势正在消失；矿山企业采选技术和装备水平较低，矿石采选综合回收率和共、伴生矿产综合利用率较低；矿产品加工程度低，原矿、初级加工产品多，资源效益和经济效益较差。占矿山总数 94％的个体和集体矿山，设备、技术、工艺、管理差，经营粗放，效率低，事故多，“三废”污染严重，资源利用率低，总体处于“多、小、低、散、差”的状况。

（4）国有矿山企业经营困难，矿业整体效益差。发展资金短缺，包袱沉重，体制不顺，机制不活，上下游产品定价不合理，税费过重，综合产能效

益较低，生产成本较高，信息化与总体科技水平低，竞争力弱化，虽然实现逐年减亏，但到1999年仍总计亏损达4亿多元。

（5）矿山生态环境问题相当严重。矿产开发过程中，忽视矿山生态环境，矿山植被、景观、土地、水均衡遭受破坏，“三废”达标排放率低，恢复治理率和土地复垦率低，局部地区水源、大气、土地受到严重污染，诱发采空区地面塌陷、沉降、山体开裂、崩塌、滑坡、泥石流、尾矿库溃坝等次生地质灾害。

（6）矿产资源管理存在薄弱环节。矿业体制改革和对外开放滞后，矿业投资、经营环境较差，对外资缺乏吸引力；矿政管理格局不适应社会主义市场经济体制，管理网络不健全；矿业法规、规划、政策、标准体系尚不完善，宏观调控和监督力度较弱；矿产资源资产化管理处于起步阶段，矿业权市场发育迟缓，流转不规范；基层管理重收费、轻监督较为普遍，乡镇、集体矿山“三率”考核尚未全面展开。

§6.2 湖北省矿产资源战略评价

由于矿产资源战略评价的理论和方法尚处于酝酿阶段，实例研究仅涉及湖北省的矿产资源优势评价及矿产资源变量相关关系分析。

6.2.1 矿产资源优势评价

（1）矿产资源比较优势分析：将全国各省（区、市）的自然资源状况进行统计对比，形成表6－1。根据表6－1，从矿产资源（不包括能源资源）的赋存状况来看，居前10名的省（区、市）依次是辽宁、四川、河北、湖北、山西、云南、新疆、湖南、甘肃、广西，湖北省居第4位，优势明显；从能源资源来看，居前10名的有山西、内蒙古、陕西、贵州、宁夏、安徽、河南、新疆、山东、黑龙江，能源丰富的省（区）大都集中在西部地带，而东部地带能源相对欠缺，且能源资源蕴藏量赋存丰富的省（区）和赋存贫乏的省（区）相差非常悬殊，湖北省也处于明显劣势；从各地区水资源占全国比重来看，水资源拥有量居前10名的依次是四川、广东、云南、湖南、广西、江西、福建、贵州、湖北、浙江，北方省（区）明显居于劣势，而南方省（区）水资源相对较为丰富，湖北名列全国第9位，水资源相对丰裕；从耕地与气候条件来说，较丰富的有四川、江苏、山东、湖南、河南、湖北、甘肃、新疆，湖北居第6位，具有相对优势；从自然资源总量因子分析，排名较前的省（区）依次是内蒙古、四川、云南、黑龙江、山西、湖南、广东、湖北、广西、陕西，湖北排名第8位，具有相对优势；从人均资源因子分析，排名较前的省（区）有青海、内蒙古、山

西、新疆、吉林、江西、宁夏、湖北、黑龙江，湖北在其中仍居第 8 位，人口因素并没有对人均资源指标产生太大影响。需要指出的是，影响人均资源指标的主要是两个因素：一是人口数量，二是资源数量。青海、内蒙古等省（区）排名较前的原因或是因为其资源量多，或是因为其人口少，而天津、北京、上海三市相对于其他省市来说，人口较少，但人均资源量仍居末位，说明其在自然资源方面是极度匮乏。

表 6－1 各地区（不包括我国台湾省和港澳地区）基本资源丰度表

地区名称	各地区资源占全国比重（%）					总量因子	位次
	水能源	能源	矿产	可利用土地	耕地与气候		
北京	0.13	0.37	1.42	0.24	0.51	−0.747 30	26
天津	0.05	0.18	0.00	0.16	0.32	−0.786 53	28
河北	0.86	2.13	9.78	2.67	4.31	0.128 60	19
山西	0.51	27.35	6.36	2.33	2.10	0.331 74	5
内蒙古	1.83	26.65	2.96	13.58	1.41	1.550 84	1
辽宁	1.34	1.12	15.44	2.11	3.30	−0.199 46	20
吉林	1.42	0.33	1.09	2.86	3.66	−0.225 31	21
黑龙江	2.98	2.31	1.13	6.86	3.97	0.366 77	4
上海	0.08	0.00	0.03	0.11	0.74	−0.772 42	27
江苏	1.22	0.51	0.95	1.50	9.62	−0.116 96	18
浙江	3.38	0.02	0.19	1.53	4.54	−0.228 88	22
安徽	2.89	3.00	4.49	2.07	5.44	−0.038 24	15
福建	4.47	0.11	0.75	1.80	1.93	−0.027 081	23
江西	5.27	0.16	3.76	2.51	4.37	0.005 80	11
山东	1.25	2.45	2.97	2.23	8.03	−0.000 70	12
河南	1.54	2.77	2.01	2.40	7.07	−0.016 09	13
湖北	3.64	0.09	8.24	2.81	6.07	0.070 56	8
湖南	5.88	0.39	4.25	3.23	7.11	0.274 16	6
广东	7.92	0.12	1.77	3.12	4.40	0.205 75	7
广西	6.89	0.31	0.80	3.16	2.85	0.067 45	9
海南							
四川	11.36	1.14	13.03	8.15	9.41	1.326 89	2
贵州	3.81	6.50	4.33	2.54	1.88	−0.034 64	14
云南	7.53	2.24	6.19	5.64	2.24	0.433 26	3
西藏							
陕西	1.63	11.47	1.86	3.00	2.31	0.027 72	10
甘肃	1.03	0.90	2.10	3.17	1.27	−0.317 90	24
青海	2.32	0.62	0.58	5.68	0.24	−0.045 99	16
宁夏	0.04	4.15	0.02	0.65	0.36	−0.627 33	25
新疆	3.18	2.51	1.11	3.66	1.38	−0.103 79	17

续表 6－1

地区名称	人均资源量指数（全国平均为100）					总量因子	位次
	水能源	能源	矿产	可利用土地	耕地与气候		
北京	14.9	41.2	159.1	27.4	55.0	−0.571 57	26
天津	6.6	2.4	0.0	21.1	41.7	−0.944 33	28
河北	16.7	41.5	190.3	51.6	88.4	−0.225 48	19
山西	20.7	1 116.0	259.5	94.7	83.0	0.472 96	3
内蒙古	98.1	1 426.8	159.3	726.3	73.1	1.078 81	2
辽宁	38.6	32.3	446.1	61.1	93.1	0.205 88	8
吉林	65.0	15.0	50.0	130.5	165.0	0.338 89	5
黑龙江	94.2	72.9	35.6	216.8	124.0	0.124 68	10
上海	6.0	0.0	2.2	9.5	63.1	−0.773 54	27
江苏	20.8	8.7	96.2	25.6	140.7	0.044 28	13
浙江	89.6	0.5	4.9	40.0	117.2	−0.174 77	18
安徽	60.0	62.4	93.3	43.2	109.9	−0.116 18	15
福建	177.9	4.4	29.7	71.6	74.4	−0.343 19	23
江西	163.9	5.1	116.8	77.9	131.8	0.243 99	6
山东	17.3	34.0	41.1	30.5	108.3	−0.289 84	21
河南	21.4	38.4	27.9	33.7	95.3	−0.405 82	25
湖北	78.0	71.9	177.8	61.1	128.3	0.201 93	9
湖南	112.2	26.4	81.2	62.1	131.8	0.119 48	11
广东	137.7	82.1	30.8	54.7	81.9	−0.306 72	22
广西	195.1	18.8	22.7	89.5	77.1	−0.282 63	20
海南							
四川	117.6	11.8	134.8	84.2	95.9	−0.086 67	14
贵州	137.8	238.3	156.4	91.6	66.1	−0.143 01	16
云南	238.6	71.4	196.1	178.9	68.7	0.058 15	12
西藏							
陕西	58.1	409.4	66.3	107.4	80.1	−0.155 06	17
甘肃	54.3	47.4	110.9	166.3	65.1	−0.375 81	24
青海	613.3	163.6	154.7	1 501.1	62.0	1.665 78	1
宁夏	11.9	1 097.5	5.8	170.5	92.5	0.239 60	7
新疆	251.0	198.1	87.8	288.4	105.9	0.400 21	4

为了更客观、准确地反映各地区的自然资源赋存状况，用因子分析和因子得分方法，综合考虑自然资源赋存的总量指标和人均指标，根据表 6－1 测算出各地区自然资源赋存状况的综合实力，其结果见表 6－2。由表 6－2 可知，自然资源赋存状况综合实力排前几名的省（区）依次是内蒙古、山西、青海、辽宁、四川、云南、新疆、江西、湖北、吉林，湖北在其中名列第 9 位，从总体

表 6-2 各地区（不包括我国台湾省和港澳地区）自然资源赋存状况的因子分析和因子得分排序结果

地区名称	自然资源赋存状况综合实力		水和土地因子		能源因子		矿产因子		耕地与气候因子	
	得分	位次	得分	位次	得分	位次	得分	位次	得分	位次
北京	−0.538 32	26	−0.690 94	24	−0.616 98	24	0.200 97	8	−1.443 22	27
天津	−0.914 96	28	−0.865 69	28	−0.747 44	27	−0.918 49	26	−1.929 11	28
河北	−0.123 02	18	−0.655 96	23	−0.560 63	23	1.350 72	2	−0.221 34	16
山西	0.881 15	2	−0.586 03	22	2.844 29	2	1.181 42	3	−0.025 21	13
内蒙古	1.091 44	1	0.588 01	4	3.418 43	1	−0.122 26	14	−0.435 89	19
辽宁	0.389 88	4	−0.397 32	19	−0.642 67	25	3.604 76	1	−0.133 98	15
吉林	0.144 02	10	0.037 76	13	−0.062 33	8	−0.602 31	19	2.059 15	1
黑龙江	0.020 46	14	0.206 06	10	0.028 34	7	−0.785 54	23	0.804 63	6
上海	−0.773 67	27	−0.792 02	27	−0.649 13	26	−0.909 73	25	−1.253 62	26
江苏	−0.119 49	17	−0.536 62	21	−0.479 28	20	−0.319 66	15	1.874 36	2
浙江	−0.233 06	21	−0.109 26	15	−0.354 62	17	−0.969 06	27	0.727 07	8
安徽	−0.070 94	16	−0.319 68	16	−0.232 80	12	0.080 63	11	0.591 82	9
福建	−0.305 43	22	0.232 10	9	−0.448 81	18	−0.734 49	22	−0.758 27	22
江西	0.244 64	8	0.439 98	6	−0.209 28	10	0.106 51	9	1.152 28	5
山东	−0.340 42	23	−0.719 24	26	−0.502 34	22	−0.406 04	17	0.793 75	7
河南	−0.426 31	25	−0.694 41	25	−0.468 55	19	−0.607 86	20	0.311 81	10
湖北	0.225 15	9	−0.088 73	14	−0.353 91	16	1.022 94	5	1.159 75	4
湖南	0.135 04	11	0.168 49	11	−0.256 91	13	−0.092 58	13	1.349 99	3
广东	−0.171 94	19	0.288 37	8	−0.219 29	11	−0.719 98	21	−0.401 65	17
广西	−0.192 47	20	0.487 61	5	−0.304 08	14	−0.843 61	24	−0.643 21	21
海南										
四川	0.267 02	5	0.382 61	7	−0.344 87	15	1.135 34	4	0.200 81	12
贵州	0.038 64	13	0.046 56	12	0.214 27	5	0.424 77	7	−0.930 25	23
云南	0.247 40	6	0.836 21	2	−0.145 61	9	0.813 47	6	−0.951 41	24
西藏										
陕西	−0.016 01	15	−0.366 68	18	0.827 00	4	−0.448 97	18	−0.431 20	18
甘肃	−0.406 73	24	−0.322 80	17	−0.502 10	21	−0.075 56	12	−1.127 00	25
青海	0.644 73	3	3.049 86	1	−0.751 52	28	0.093 61	10	−0.601 68	20
宁夏	0.058 02	12	−0.436 36	20	1.404 53	3	−1.082 73	28	−0.029 13	14
新疆	0.245 20	7	0.818 22	3	0.116 27	6	−0.376 29	16	0.290 75	11
贡献率	0.923 4		0.302 9		0.291 0		0.198 3		0.131 2	

注：因海南、西藏数据不全，故空缺。本表是利用因子分析方法对各地区资源和人均资源量指数进行数据处理的结果。

来说占有一定优势。据各因子得分分析，从矿产因子比较，居前几名的省（区）依次是辽宁、河北、山西、四川、湖北、云南、贵州、北京、江西、青海，湖北居第5位，具有明显的优势；从能源因子来比较，位居前几名的省（区）依次是内蒙古、山西、宁夏、陕西、贵州、新疆、黑龙江、吉林、云南、江西等，湖北居第16位，居中游水平；在水和土地因子中，青海、云南、新疆、内蒙古、广西、江西、四川、广东等省（区）名列前茅，湖北列第14位，也处于中游水平；从耕地与气候因子比较，吉林、江苏、湖南、湖北、江西、黑龙江、山东、浙江、安徽、河南居前十名，湖北在其中居第4位，优势较为明显。

利用聚类分析对上述省（区）进行归类，基本上可以分为5种类型：①矿产资源占主要优势，如辽宁、河北、山西、四川和湖北等；②水和土地资源占主要优势，如青海、云南、新疆、内蒙古和广西等；③耕地与气候资源占主要优势，如吉林、江苏、湖南、湖北和江西等；④能源资源占主要优势，如山西、内蒙古、宁夏、陕西和贵州等；⑤各种资源均无明显优势，如北京、天津、上海、福建和广东等。

（2）矿产资源产业优势比较分析：根据以上分析，湖北省矿产资源禀赋在全国具有相对优势，随着矿产资源的大规模开发利用，在资源产业方面也形成了一定优势。

①非金属矿产资源产业比较优势分析。1999年，湖北省非金属矿产资源产业总产值和增加值在全国的比重分别是5.29%和2.42%，总产值区位商和增加值区位商（区位商是指本省矿产资源产业占全省产值比重与全国矿产资源产业占全国产值比重之比，大于1则表明该资源产业为基础产业部门，小于1则不是）分别是1.12和1.02，非金属矿产资源产业经济基础规模大，是本省重要的基础产业部门。1999年度，湖北省非金属矿物制品业和采选业的增加值分别为21.93亿元和5.25亿元，两项总和形成的增加值是27.18亿元，占湖北省工业增加值的9.39%，居当年各工业行业第1位，居全国非金属矿产资源产业的第5位。1995—1999年，非金属矿产资源产业增加值居各年湖北省各工业行业前5位，非金属矿产资源产业已成为湖北省的重要主导性产业。1997年，非金属矿采选业增加值居全国前3位的省（区）是安徽、湖北、山东，增加值分别为19.67亿元、18.56亿元、17.60亿元，湖北居第2位，占全国的10.38%；非金属矿物制品业增加值居全国前3位的是山东、江苏、广东，增加值分别为113亿元、101.11亿元、83.65亿元，湖北是74.92亿元，居第6位，占全国的6.74%，湖北的非金属矿采选业较加工制品业更具相对优势。

依据各地区非金属矿产资源的优势和特色，湖北省已建成了几个重要的非金属矿产品生产基地，主要有荆州－潜江－应城盐化工生产基地，荆襄、黄麦岭、宜昌的磷矿、磷肥、磷化工基地，宜昌水泥、浮法玻璃、优质花岗石材等

建材和石墨生产基地，黄石水泥等建材基地，应城、荆门、当阳石膏矿产品生产基地。由于湖北非金属矿产资源的优势，形成了以盐、盐化工产品，以磷矿、磷肥、磷化工产品，以水泥、玻璃、石膏产品及建筑石材为主的建材产品等非金属矿产品。但是，产品结构存在着以传统的矿产品为主、深加工产品所占比重还很小等问题，非金属矿产品仍处于资源型和劳动密集型阶段。

②金属矿产资源产业优势比较。1999 年，湖北省金属矿产资源产业总产值和增加值在全国的比重分别是 4.49％和 1.39％，金属矿产资源产业的区位商也大于 1，但呈逐年下降的趋势，由 1996 年的 1.33 下降到 1999 年的 1.12，这说明金属矿产资源产业也是本省的基础产业部门，但其相对优势正在逐步消失。在金属资源产业部门中，黑色金属矿采选、冶炼及加工业的区位商大于 1，是基础部门，而且以武钢为代表的黑色金属冶炼及压延加工业相对优势最大。但是，1996—1999 年黑色金属矿产资源产业的区位商也是逐步下降的，这说明该产业的相对优势也呈下降趋势。有色金属采选、冶炼及加工业的区位商则基本小于 1，未形成基础部门，其主要原因是由于在 10 种有色金属矿产中湖北仅铜矿具有相对优势，且有色金属加工业也相对薄弱。

湖北省黑色金属矿产资源产业集约化程度较高，武钢的钢产量及增加值进入全国前 4 位，铁矿石原矿产量居第 10 位；有色金属矿产资源产业集约化程度则偏低，仅大冶有色金属公司属全国七大铜业生产企业。以武钢为主体的钢铁工业目前已形成以热轧板、冷轧板、汽车用板、硅钢片等板材为主的高新产品结构特色，而有色金属工业产品则存在结构性生产过剩、高技术含量、高附加值产品生产能力不足或不能生产、产品质量与国外有较大差距等问题。

6.2.2 矿产资源变量相关关系检验分析：以煤炭、石油为例

这里，借鉴喻小军教授在《湖北省经济－资源－环境协调发展研究》中建立的指标体系，本着客观性、可操作性和独立性原则，从区域经济、资源、环境协调发展的角度择选了 8 个有代表性指标来研究湖北省矿产资源变量相关关系（如表 6－3）。

表 6－3 区域经济协调发展指标体系

经济系统	资源系统		环境系统	
GDP 总量	原煤产量	石油产量	废水排放量	废气排放量
工业总产值	发电量		工业固体废物排放量	

经济系统指标反映区域的近年经济发展状况，其下属子指标包括 GDP 总量和工业总产值；资源系统指标反映了区域的资源开发利用状况，其下属子指标包括原煤产量、石油产量和发电量；环境系统指标反映区域的环境状况，包括废水排放量、废气排放量和工业固体废物排放量。在这里选取的样本组为1985—2001 年的经济指标，总共 17 个数据列，各指标字段名为：①工业总产值：GIOV（Gross Industrial Output Value）；②原煤：Coal；③原油：Ccoil（Crude Oil）；④发电量：Electricity；⑤废水：WW（Waste Water）；⑥废气：WG（Waste Gas）；⑦固体废物：SW（Solid Wastes）。

多元分析处理的是多指标的问题，由于指标过多使分析的复杂性增加。观察指标的增加本来是为了使研究过程趋于完整，但反过来说，为使研究结果清晰明了而一味增加观察指标又让人陷入混乱不清。由于在实际工作中，指标间经常具备一定的相关性，故人们希望用较少的指标代替原来较多的指标，但依然能反映原有的全部信息，于是就产生了主成分分析、对应分析、典型相关分析和因子分析等方法。

（1）非参数检验：非参数检验是针对那些总体分布不能用有限个实参数来刻画，而只能对其作一些诸如分布连续、有密度、具有某阶矩等一般性假定的统计问题。非参数统计的一个重要特点是非参数统计问题中对总体分布的假定要求的条件很宽，因而使得针对这种问题而构造的非参数统计方法，不至于因为对总体分布的假定不当而导致重大错误，所以它往往有较好的稳健性。但正是因为非参数统计方法需要照顾范围很广的分布，在某些情况下会导致其效率的降低。不过，近代理论证明：当一些重要的非参数统计方法与相应的参数方法比较时，即使在最有利于后者的情况下，其效率上的损失也很小。

由于要分析的变量之间的相关性数据目前只有 17 个年度的资料，在样本不足的情况下，采用参数检验法存在局限性，因此采用非参数检验中的秩相关分析法。常用的秩相关分析法有两种——Spearman 秩相关系数检验和 Kendall-τ 检验。Spearman 秩相关系数检验的基本思想是：如果 X 和 Y 之间存在正相关，那么 X 与 Y 应同时增加或减少，这种现象会反映在样本（X_i,Y_i）对应的秩（R_i,Q_i）上；反之，若（R_i,Q_i）具有同步性，那么（X_i,Y_i）的变化也具有同步性。Kendall-τ 检验的基本思想是：如果 X 与 Y 之间正相关，那么当观测值 $X_1>X_2$ 时，观测值 Y_1 倾向于比 Y_2 大，即 $Y_1>Y_2$；反之亦然，也就是说，（X_1-X_2）与（Y_1-Y_2）倾向于具有相同的符号。

首先分别作资源系统指标原煤（Coal）、原油（Ccoil）和发电量（Electricity）和环境系统指标废水（WW）、废气（WG）、固体废物（SW）同工业总产值（GIOV）的分类变量检测（FREQ）。

The FREQ Procedure Statistics for Table of GIOV by Coal

Statistic	Value	ASE
Gamma	−0.117 6	0.227 3
Kendall's Tau-b	−0.117 6	0.227 3
Stuart's Tau-c	−0.117 6	0.227 3
Somers' D C|R	−0.117 6	0.227 3
Somers' D R|C	−0.117 6	0.227 3
Pearson Correlation	−0.122 6	0.262 8
Spearman Correlation	−0.198 5	0.305 5
Lambda Asymmetric C|R	1.000 0	0.000 0
Lambda Asymmetric R|C	1.000 0	0.000 0
Lambda Symmetric	1.000 0	0.000 0
Uncertainty Coefficient C|R	1.000 0	0.000 0
Uncertainty Coefficient R|C	1.000 0	0.000 0
Uncertainty Coefficient Symmetric	1.000 0	0.000 0

Sample Size = 17

同样我们作以下分类变量检测（FREQ）,其中部分内容删减。

The FREQ Procedure Statistics for Table of GIOV by Ccoil

Statistic	Value	ASE
Kendall's Tau-b	−0.633 3	0.119 0
Spearman Correlation	−0.800 0	0.122 0

The FREQ Procedure Statistics for Table of GIOV by Electricity

Statistic	Value	ASE
Kendall's Tau-b	0.970 6	0.033 1
Spearman Correlation	0.992 6	0.011 9

这 3 个是资源开发利用同工业总产值之间的非参数检验，通过以上的数学分析,可以清晰地看到工业总产值同原煤和原油的产量之间没有明显的正相关，而同发电量存在着明显的正相关（其中 Kendall's Tau-b 值为 0.970 6，Spearman Correlation 值为 0.992 6。），这也从一侧面说明了国家“西电东输”战略的重要性。

The FREQ Procedure Statistics for Table of GIOV by WW

Statistic	Value	ASE
Kendall's Tau-b	0.100 0	0.266 1
Spearman Correlation	0.035 3	0.332 7

The FREQ Procedure Statistics for Table of GIOV by WG

Statistic	Value	ASE
Kendall's Tau-b	0.941 2	0.036 7
Spearman Correlation	0.987 7	0.012 1

The FREQ Procedure Statistics for Table of GIOV by SW

Statistic	Value	ASE
Kendall's Tau-b	0.867 6	0.064 0
Spearman Correlation	0.958 3	0.032 0

在环境系统的3个指标中，废气（Kendall's Tau-b：0.941 2，Spearman Correlation：0.987 7）、工业固体（Kendall's Tau-b：0.867 6，Spearman Correlation：0.958 3）的产生同工业生产活动有着极大的关系，而废水（Kendall's Tau-b：0.100 0，Spearman Correlation：0.035 3）的排放相对来说，关联系数较小。所以说，治理矿产资源产业环境污染的重点在于工业废气和工业固体排放两个主要方面。

（2）因子分析：分析的基本目的就是用少数几个因子去描述许多指标或因素之间的联系，即将相关比较密切的几个变量归在同一类中，每一类变量就成为一个因子，以较少的几个因子反映原资料的大部分信息。因子分析的基本原理就是依据可测指标变量之间的相关系数，从中寻找出合理的有实际意义的潜在因子，并估计出潜在因子对可测指标变量的影响程度。

①原煤、原油和发电量生产、消费的因子分析（分析过程如下所示）：

Initial Factor Method: Principal Components

Prior Communality Estimates: ONE

Eigenvalues of the Correlation Matrix: Total=3　Average=1

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	1.966 391 69	1.076 923 19	0.655 5	0.655 5
2	0.889 468 50	0.745 328 69	0.296 5	0.952 0
3	0.144 139 81		0.048 0	1.000 0

在确定潜在因子的个数时一般依据“特征根大于1”、因子载荷大于或等于0.5的原则。因此，通过最小特征值标准（MINEIGEN criterion）得到一个潜在因子。

	Factor 1
Ccoil	0.947 71
Coal	0.457 48
Electricity	−0.926 80

Variance Explained by Each Factor

Coal	Ccoil	Electricity
0.209 285 77	0.898 145 47	0.858 960 46

②废水、废气和固体废物产生的因子分析（分析过程如下所示）：

The FACTOR Procedure

Initial Factor Method: Principal Components

Prior Communality Estimates: ONE

Eigenvalues of the Correlation Matrix: Total=3 Average=1

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	1.938 768 17	0.923 599 41	0.646 3	0.646 3
2	1.015 168 76	0.969 105 69	0.338 4	0.984 6
3	0.046 063 07		0.015 4	1.000 0

通过最小特征值标准（MINEIGEN criterion）得到两个潜在因子。

Factor Pattern

	Factor 1	Factor 2
SW	0.987 99	−0.032 32
WG	0.961 75	0.231 04
WW	−0.194 12	0.980 18

Variance Explained by Each Factor

Factor 1	Factor 2
1.938 768 2	1.015 168 8

Final Communality Estimates: Total=2.953 937

WW	WG	SW
0.998 425 77	0.978 334 98	0.977 176 18

The FACTOR Procedure

Rotation Method: Varimax

Orthogonal Transformation Matrix

	1	2
1	0.988 45	−0.151 57
2	0.151 57	0.988 45

Rotated Factor Pattern

	Factor 1	Factor 2
WG	0.985 65	0.082 60
SW	0.971 68	−0.181 70
WW	−0.043 31	0.998 27

Variance Explained by Each Factor

Factor 1	Factor 2
1.917 549 8	1.036 387 2

Final Communality Estimates: Total=2.953 937

WW	WG	SW
0.998 425 77	0.978 334 98	0.977 176 18

③变量关系的典型相关分析：典型相关分析是研究两组变量之间的相关关系的一种统计分析方法，它能够真正反映两组变量之间的相互线性依赖关系。取环境系统指标作为第一组变量，而资源系统的指标作为第二组变量。通过研究两组的综合指标之间的关系来反映两组变量之间的相关关系。

The CANCORR Procedure

Canonical Correlation Analysis

	Canonical Correlation	Adjusted Canonical Correlation	Approximate Standard Error	Squared Canonical Correlation
1	0.994 668	0.993 504	0.002 842	0.989 365
2	0.792 945	0.770 637	0.099 217	0.628 762
3	0.004 695		0.267 255	0.000 022

其中：Canonical Correlation Analysis

Standardized Canonical Coefficients for the VAR Variables

	V1	V2	V3
WW	−0.060 4	0.590 4	−1.131 6
WG	1.068 5	1.276 0	2.856 8
SW	−0.072 6	−1.371 3	−3.077 7

Standardized Canonical Coefficients for the WITH Variables

	W1	W2	W3
Coal	−0.146 2	0.990 0	0.329 2
Ccoil	0.083 9	−0.811 8	1.822 1
Electricity	1.018 8	−0.264 9	1.689 6

第一典型相关系数为 0.994 668，经 F 检验后，其显著度也小于 0.000 1，这说明第一典型变量很好地解释了两组变量之间的关系。第二典型相关系数等于 0.792 945，经 F 检验后，其显著度为 0.034 6；同时第三典型相关系数经 F 检验后，其显著度为 0.987 9。所以，第二、第三典型变量不能较好地解释两组

变量之间的关系。故归纳起来，就取第一典型系数。因为各变量测量的单位不相同，所以计算分析中要采用标准化的典型系数来定义典型变量。经标准化后，计算的结果如下：

构成第一对典型变量的两个组内线性组合是：

（-0.060 4）WW +（1.068 5）WG +（-0.072 6）SW

构成第二对典型变量的两个组内线性组合是：

（-0.146 2）Coal +（0.083 9）Ccoil +（1.018 8）Electricity

通过典型相关分析，环境系统指标和资源系统指标的相关系数为 0.994 668，说明了资源开发利用活动同环境质量降低存在着密切关系。所以说，在看到矿产资源的开发利用为湖北省经济的发展所做出贡献的同时，也应该看到矿产资源的开发利用对环境造成的破坏，因此在保证矿产资源的开发为湖北省经济发展奠定一个重要和可靠的物质基础的同时，要实现经济发展、资源的消耗与环境保护协调进行，走可持续发展的道路。

§6.3 湖北省矿产资源可持续利用对策

6.3.1 建立政府调控与市场运作相结合的资源优化配置新机制

在社会主义市场经济条件下，市场机制将对矿业市场中的资源配置起基础性作用，但必须充分发挥国家宏观调控的作用保障矿业市场良性运行。彻底改变封闭式的矿产资源计划管理体制，逐步建立政府调控与市场运作相结合的资源优化配置新机制。

（1）加强矿产资源地方法规体系和制度建设。矿产资源地方法规体系和制度应该是指在湖北省目前和今后的一定时期，以现行的和拟将制定的地质矿产资源行政管理法规为基础所形成的用来科学地、系统地规范与调整矿产资源勘查开发与保护管理和地质环境管理中所产生的各种社会关系和行为规则的总和。随着社会主义市场经济体制的逐步建立和完善，根据全省国民经济和社会发展规划目标的要求、市场经济条件下矿产资源管理的通常规则和区内外矿产资源的形势，进一步完善矿产资源勘查、开发利用与保护的地方法规体系和制度建设。重点加强利用“两种资源、两个市场”的法规和制度的建设，积极利用区外的资源解决本省“缺煤、少油、乏气”和铁、铜资源储量无法满足采选能力需要等问题，在实现稳定、安全的矿产资源供应的同时，进一步提高资源利用水平和配置效率，在依赖市场化和建立开放型的资源供应体系的基础上，已从根本上解决技术的低效率、资源的浪费、环境的恶化、销售运营的阻滞以

及阻碍发展的地区保护主义。

（2）全面推进和落实矿产资源规划。矿产资源规划是对一定区域内的矿产资源进行合理开发利用的总体部署。它通过对一定区域内矿产资源禀赋、勘探开发现状、勘探开发区位条件和矿产资源供求形势的分析，研究该区域矿产资源短期（5 年）、中期（10 年）和长期（15~20 年）的勘探开发计划与资源保护措施，划分资源调查评价远景区，鼓励、限制、禁止勘查区或开采区，确定矿业结构调整方向和资源利用方式，制定矿业组织政策，用制度方法促进经济增长并支持资源和环境保护。矿产资源规划体系是政府实施宏观调控的基础和依据，应具有宏观性、战略性、政策性、科学性和可操作性。湖北省应根据国民经济或区域经济发展的要求，制定矿业经济发展的总目标、矿产资源开发利用和保护的重大方针政策，研究矿业生产力的合理布局和矿产品结构调整方向，提出矿产资源开发利用和保护的重大战略措施，并将其以规划体系的形式确定下来。

（3）加强矿产资源行政管理体系建设。矿业权市场的建设要靠地矿行政管理才能实现，矿业权市场的宏观调控也要靠地矿行政管理才能落实，与宏观调控极为密切的国土资源规划要靠地矿行政管理才能实施，作为宏观调控的国土资源法规体系，也只有依靠地矿行政管理才能执行。因此，矿产资源行政管理体系对市场条件下宏观调控极为重要。利用行政管理体系实施宏观调控，必须把宏观调控的任务落实到行政管理的各个环节。首先是利用市场的准入条件实施政府宏观调控。其次是利用开发过程中的监督管理实施宏观调控。对于省内不按开采设计滥采乱挖、浪费资源的矿山企业，要实施强有力的治理整顿，规范其采矿行为，达到合理利用矿产资源的目的。再次是利用矿产资源储量管理实施宏观调控。通过对矿产资源的形势分析，给政府实施宏观调控提出具体的方针政策。最后是利用年检制度实施宏观调控。这 4 种宏观调控手段看起来是微观的行政行为，但能有效地起到宏观调控作用。

6.3.2 实施技术创新战略，通过高新技术实现矿产资源可持续利用

湖北省矿产资源禀赋和矿产资源产业虽然具有一定优势，但在开发利用过程中也存在着矿产品加工程度低、结构不合理，矿石采选综合回收率和共、伴生矿产综合利用率低等矿产资源不可持续利用的问题，使资源优势向经济优势的转化效果大打折扣。只有实施技术创新战略，不断提高开发利用中的技术创新能力，才能解决矿产资源对经济发展和环境保护的制约作用，才能保证矿产资源的可持续开发利用。

（1）加强高新技术在矿产勘查中的应用，提高新型矿种和深部矿种的发

现率；在采、选、冶过程中推广新型工艺，提高矿产资源的回收率，从而扩大矿产资源开发利用的广度、深度，依靠科技进步，增加矿产资源的供给量。

（2）建立合理的技术进步驱动机制，加快矿业技术创新步伐。政府逐步建立起完整的矿业技术进步调控体系，对矿业科技研究与开发过程实施有力的宏观调控，运用多种手段，在市场机制失灵的情况下承担起技术进步宏观调控的职能；在市场机制力所不及的领域，政府应该直接介入技术进步进程。完善技术创新扩散制度，制定优惠政策，完善专利制度，保护技术创新机构的合理权益，对重大的创新技术实施强制转让，并采取措施补偿创新机构的利益损失。

（3）加快建立以企业为主体的技术创新体系。积极利用本省的高校资源，组织重大联合技术开发，推动“产学研”联合，加强矿产资源开发利用与保护的新理论、新技术、新工艺、新方法的研究、开发与推广应用，为提高矿产资源利用水平提供科技支撑，促进矿产资源可持续利用科技成果的产业化。用高新技术改造采矿业，制定相关导向政策，依靠科技进步，提高矿产资源利用水平。在充分调查研究的基础上，采用分类指导的办法淘汰落后的采、选设备，制定大、中、小型矿山企业在开采、洗选、加工、利用上的新技术、新工艺、新设备目录，鼓励和扶持难采、难选、低品位矿产开发利用和尾矿利用的科技项目攻关。制定相关导向政策，如在信贷上实行差别利率，在财政上实行部分贴息和全额贴息，在税收上实行进口免税、出口退税，支持和鼓励各类矿山企业应用国内外高新技术成果，提高矿产资源在开采、洗选综合利用上的技术水平和装备水平，提高矿产品深加工能力和矿产品的附加值。制定鼓励向非金属矿产资源应用开发研究投入的政策，加速推进这方面工作的开展，适应新时期高新技术及其产业特别是新材料技术及产业发展的需要。

6.3.3 采取多种措施加强矿山地质环境保护和地质灾害防治

矿产资源开发利用中存在着较严重的负效应——对环境的破坏。这些负效应包括：矿产资源开采中“三废”的排放及所产生的大气污染和酸雨；地下采空及露天堆放诱发的各类地质灾害；地下水位下降和水质污染等。从生态角度看，可持续发展的核心内容是“环境保护与经济发展的合理平衡”。实现矿产资源的可持续利用就要求对资源开发的全过程实行环境管理；在采选冶企业推行清洁生产技术，减少废弃物的排放，推进矿山企业对周围环境影响的无害化。

（1）引进市场机制，摆正治污主体，构建环保治理公司。引进市场机制，是实现矿山环境保护与治理良性循环的正确之路。我国环保工作存有明显的“主体错位”现象。虽然根据环境成本内部化理论，本着“谁破坏谁恢复，谁开发谁保护，谁受益谁补偿”的原则，可以将矿山企业理解为即是环保主体也就是矿山生态环境治理主体和地质灾害防治主体，这种理解有失偏颇。“环保”对企

业来讲不是主业，而且先天性缺乏主动性和内在动因。而对于中小企业，更由于资金、技术缺乏，经营灵活性大而约束性差，复垦、生态环境的恢复等由其执行几乎成为不可能。在市场经济条件下，应该逐步实现“致污主体”与“治污主体”的分离，实现矿山生态环境保护与地质灾害防治的专业化。矿产资源的开发者承担生态环境恢复与重建的责任，作为恢复与治理的责任人与治理者分权经营。建立具有独立的法人地位的环保公司，独立职能。在生产企业与环境治理公司间建立起市场供需关系，这样更符合社会分工的要求，也有利于专业化经营。通过致污主体与治污主体的分离，达到了治污主体与受益主体的统一；同时又推动了环保市场机制的运作，从根本上校正环保“市场失灵”。

（2）加强环境经济政策和经济手段研究与运用。环境经济政策和手段是根据价值规律行使环境管理的政策和手段，具有政策导向、刺激和集资等多种功能。在对矿业市场进行宏观调控的过程中，积极研究和制定以矿山地质环境保护和地质灾害防治为目的的矿山地质环境保护管理法规，完善矿山地质环境管理体制，国土资源主管部门负责矿产资源及开发的监督管理，重点建立采矿权授予前的地质灾害影响评价报告审批制度。贯彻“预防为主、防治结合、综合治理”的方针，做好矿产资源勘查、矿山设计、矿山基地与生产、矿山闭坑 4 个阶段全过程的综合防治。建立矿山地质环境监测及地质灾害预警制度，加大矿山地质环境保护和地质灾害防治的科技投入。

6.3.4 加强非传统矿产资源的勘查与开发

非传统矿产资源是指由于当今技术、经济原因尚未进行工业利用的资源和尚未被看作矿产的、未发现其用途的潜在资源，或虽为传统矿产但因地理原因极难发现的矿产资源，它是一个包括非传统矿产－非传统方法－非传统矿业－非传统矿业经济等的完整体系。矿产资源是不可再生的自然资源，用一点少一点。为确保资源的持续供给，必须加强非传统矿产的勘查与开发，用非传统矿产原料替代传统矿产资源，促进矿产资源的二次开发利用。

（1）加强科学技术投入，包括科技人才投入、科研基金投入和科研设备投入等，建立非传统矿产资源基础研究的基地，拟定非传统矿产资源开发基础研究的全省规划，实施研究项目，成立专门机构，组建专门队伍。开展非传统矿产资源的基础理论研究。界定非传统矿产资源的含义、目标和对象；非传统矿产资源与传统矿产资源在组成、结构、空间分布、形成条件与形成机理等方面的共性和个性；提出寻找非传统矿产资源的思路和方法。

（2）非传统矿产资源具体包括：①陆地上金属的特殊自然来源（如从液态矿中提取金属，从特殊的矿物、岩石中提取金属等）；②人类活动所造成的矿物原料的来源（如矿山尾矿、工厂的污水等）；③海洋中（大陆架、深水盆地）的

矿产来源（如洋底铁锰结核、深水盆地的含金属卤水、海底含金属软泥）；④深部矿区来源；⑤地球以外（月球、陨石等）的矿产来源。对湖北省非传统矿产勘查与开发来说，新类型主要是贵金属矿产资源，如金、银、钡及铂族元素矿床；新深度主要加强鄂东地区铜、铁多金属矿聚集区的深部研究和勘探；新工艺主要是开展金红石、硒矿、银钒矿、钾长石等的选冶技术开发和贵金属、有色金属的低品位矿及尾矿的回收；新用途则主要集中在有优势的非金属矿的开发利用，如铝土矿提纯，改性制造新型材料，将恩施州富硒的矿石加工制成饲料添加剂，加入牛、羊、猪、家禽等饲料中，转化为富硒的蛋、奶、肉等食品供人体吸收等。

6.3.5 实行资源－环境－经济－社会协调发展的矿产资源环境核算体系

传统的国民经济衡量指标（GNP）无法反映经济发展过程中由于矿产资源开发导致的生态破坏、环境恶化和资源代价，它在 3 个方面存在严重缺陷：①没有将环境视为财富；②没有计算自然资源等自然财富的消耗；③它总是将环境治理费用加进国民收入，而不是将环境破坏造成的损失从国民收入中扣除。这些缺陷使目前的国民经济核算体系不能分析和核算矿产资源开发与经济和环境之间的相互作用以及由此产生的许多问题。因此，需要建立一个综合的矿产资源环境核算体系来监控整个国民经济运行过程中的矿产资源开发。

（1）湖北省作为一个矿业较发达的省份，矿产资源开发利用必须从实施可持续发展的高度，充分认识资源保护与环境保护的意义。坚持在开发利用矿产资源的过程中，实现资源－环境－经济－社会的协调发展，使经济效益、资源效益、环境效益和生活质量提高等方面能有机结合。严格推行资源保护和环境保护政策，逐步建立矿产资源和环境价格的核算体系，建立考核资源利用效益、环境效益、生态保护的考核指标体系和评价指标体系。

（2）积极开展资源核算的理论研究，完善资源评估和定价方法，分析国内有关的资源价格以及国际上同类资源的可比价格，建立将资源核算纳入国民经济核算体系的科学方法及自然资源的价格政策。加强综合的资源环境与经济核算机构以及部门之间的协调，以确保在规划和决策层次上环境与发展的有效结合；制定信息交流和技术转让的管理制度、指导方针和机制，以便能最有效和最广泛地使用综合经济与资源环境核算体系。提高决策过程中数据收集、贮存、组织、评价和使用能力，开展综合经济与资源环境核算体系所需的各种层次上的培训，包括对从事环境和经济分析人员的技术培训和对决策人员的培训等。

后　记

《矿产资源战略评价体系研究》是在我的博士论文的基础上修改充实而成的，同时也是研究项目“中南地区矿产资源战略评价”的一个总结，本书的许多想法是在与吴巧生博士合作的过程中完成的。同时，本书最终能够顺利付梓，尤其是我的博士论文的完成，更离不开领导、老师、同学和亲人的指导、关心、爱护和支持。在此，我郑重地向他们表示衷心的感谢。

首先要特别感谢导师胡明安教授和成金华教授，在我博士学习的过程中，自始至终得到了两位导师的热情帮助和悉心培养，始终让我树立信心，催我奋进，教我做事、做人，提供了良好的学习环境。可以说，两位导师在学习、工作、生活上为我做出了榜样，它们求真务实的治学精神、一丝不苟的工作作风、博厚扎实的专业知识，将使我终生受益。

其次要感谢张锦高教授、姚书振教授、郭凤典教授、王华教授等专家学者，在学习和工作上一直给予了大力的帮助和热情的关怀，在管理理念和学术思想上给了我许多启迪，对本书的形成起到了重要的作用。

还要感谢王来峰老师的真诚合作，提供了许多资料和文字加工方面的建议，同时要感谢中南五省厅局（湖南、湖北、广东、广西、海南）、中国地质大学、宜昌地质矿产研究所等单位提供了大量翔实的资料，感谢中国地质调查局、中国地质大学（武汉）研究生院、资源学院、人文与经济学院和宜昌地质矿产研究所的领导和老师们对我无私的关心和帮助。

本书的完成是一项系统工程，涉及许多方面，在此，向文中引用到其学术论著及研究成果的专家、学者与同行们致谢。

李金发

2006．2．16

参考文献

白永平. 油气地缘经济与中国油气安全. 人文地理. 1999（4）

卜善祥. 非传统矿产资源与可持续发展. 中国地质矿产经济. 1998（12）

曹连海，李海舰. 论新型工业化的道路. 中国工业经济. 2003（1）

陈朝晖. 不同评价指数模式对评价结论的影响. 云南环境科学. 1999（2）

陈惠雄. 生存危机转变中的人类发展战略. 世界政治与经济. 2002（2）

程胜高，李国斌，陈德兴. 矿产资源开发的生态环境影响评价. 环境保护. 1997（12）

戴汝为，操龙兵. 一个开放的复杂巨系统. 系统工程学报. 2001（5）

戴汝为. 大成智慧工程. 冶金自动化. 2001（1）

邓冬娅，黎志成. 市场需求预测的定性模拟研究. 武汉理工大学学报（信息与管理工程版）. 2003（1）

董春雨，姜璐. 层次性：系统思想与方法的精髓. 系统辩证学学报. 2001（1）

董春雨，姜璐. 试论熵概念的层次性. 自然辩证法研究. 1995（8）

葛家理，胡机豪，张宏民. 我国石油安全与监测预警复杂战略系统研究. 中国工程科学. 2002（1）

顾丽娜. 大型水利建设项目的社会评价. 水利水电技术. 2003（5）

国务院发展研究中心市场经济研究所课题组. 中国石油安全对策研究. 经济研究参考. 2001（25）

郝柏林. 复杂性的刻画与“复杂性科学”. 物理. 2001（8）

湖北省地勘局. 湖北省矿产资源开发利用统计年报. 2001

湖北省国土资源厅. 湖北省矿产资源总体规划. 2002

湖北省统计局. 湖北统计年鉴. 北京：中国统计出版社，1998—2002

简新华，向尚琳. 论中国的新型工业化道路. 当代经济研究. 2004（1）

姜璐. 三类复杂系统的比较研究. 首都师范大学学报（社会科学版）. 2002（6）

姜璐. 熵——描写复杂系统结构的一个物理量. 系统辩证学学报. 1994（4）

鞠美庭，朱坦，徐鹤等. 战略环境评价的发展以及适合中国的管理程序和技术路线探讨. 环境保护. 2003（5）

李春林. 工业经济的比较优势分析. 北京：冶金工业出版社，2003

李万亨，杨昌明. 矿床技术经济评价的理论与方法. 武汉：中国地质大学出版社，1989

李夏，戴汝为. 系统科学与复杂性（Ⅰ）. 自动化学报. 1998（2）

李夏，戴汝为. 系统科学与复杂性（Ⅱ）. 自动化学报. 1998（4）

李岩. 矿业权的资产属性及其评估方法. 中国地质矿产经济. 1998（8）

刘朝马. 矿业权估价研究. 中南工业大学学报. 2002（1）

刘龙飞，谷树忠. 中国石油安全及其保障机制初探. 资源科学. 2002（5）
刘文，王炎痒，张敦富. 资源价格. 北京：商务印书馆，1996
刘展，王万银，黄继先等. 矿产资源评价系统的地质矿产数据模型. 西安石油经济学院（自然科学版）. 2002（1）
刘展，王万银，黄继先等. 矿产资源评价系统的物化探数据模型. 长春科技大学学报. 2001（3）
刘仲红. 湖北省矿业开发现状与对策. 矿产保护与利用. 1998（6）
吕立志. 新型工业化进程中资源观的新发展. 南京社会科学. 2003（2）
吕政等. 论我国传统工业化道路的经验与教训. 中国工业经济. 2003（2）
马蔚纯，林健枝，陈立民等. 战略环境评价（SEA）及其研究进展. 环境科学. 2000（9）
钱学森，于景元，戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论. 自然杂志. 1990（1）
任苇，刘年丰. 生命周期影响评价（LCIA）方法综述. 华中科技大学学报（城市科学版）. 2002（3）
任毅，藏维，徐幼林. 矿产资源的优化开采经济模型及其求解算法. 中国矿业. 1998（3）
尚金城，包存宽. 战略环境评价导论. 北京：科学出版社，2003
尚金城，包存宽. 战略环境评价系统及工作程序. 中国环境科学. 2000（增刊）
沈镭，唐永虎. 论中国资源市场管理与对策. 资源科学. 2003（5）
史忠良，丁梁. 经济全球化条件下的中国石油安全问题. 当代财经. 2002（4）
宋瑞祥. 96'中国矿产资源报告. 北京：地质出版社，1997
谭繁华. 油气储量价格研究及计算方法. 中国地质矿产经济. 1994（5）
田宝国，谷可，姜璐. 从线性到非线性——科学发展的历程. 系统辩证学学报. 2001（3）
田家华，牛建英. 矿产资源开发环境影响评价的指标体系及方法. 地质科技情报. 1996（3）
王安建，肖克炎，王全明. 国土资源评价若干构想. 中国地质. 1999（6）
王波. 湖北省非金属矿产资源产业发展研究. 江汉论坛. 2003（1）
王波. 湖北省金属矿产资源产业可持续发展研究. 长江流域资源与环境. 2003（4）
王波. 中国中部资源环境与可持续发展对策. 武汉：中国地质大学出版社，1999
王广成，刘效参. 矿产资源核算的理论框架. 中国煤炭经济学院学报. 2000（2）
王广成，任满杰. 矿产资源定价方法的实证研究. 黄金. 2001（12）
王广成. 基于绿色核算的矿产资源定价方法研究. 中国煤炭经济学院学报. 2001（1）
王广成. 矿产资源纳入国民经济核算体系的定价方法研究. 软科学. 2001（3）
王义达. 技术创新在矿山企业可持续发展中的作用. 矿业工程. 2003（1）
王志宏，彭世济，张达贤. 矿产资源地质条件综合评价方法. 中国矿业. 1995（4）
王志宏. 矿产资源竞争力及其评价指标体系. 煤炭学报. 2002（1）
魏晓平，王立杰. 矿产资源与最佳耗竭速度研究. 管理工程学报. 1997（2）

魏晓平，王立杰. 市场经济条件下矿产资源价值与最优配置研究. 系统工程理论与实践. 1997（6）

魏晓平，王新宇. 矿产资源最适耗竭经济分析. 中国管理科学. 2002（5）

吴巧生，王华，成金华. 中国可持续发展油气资源安全态势. 中国工业经济. 2003（12）

吴巧生，王华，成金华. 中国可持续发展油气资源安全系统研究. 武汉：湖北人民出版社，2004

吴巧生，王华，成金华. 中国能源战略评价. 中国工业经济. 2002（6）

夏华龙，姚华军，石东平. 可持续发展与资源利用. 武汉：中国地质大学出版社，1998

谢高地，成升魁，于贵瑞等. 中国自然资源消耗与国家安全变化趋势. 中国人口·资源与环境. 2002（3）

谢和平. 21世纪高新技术与我国矿业的发展与展望. 中国矿业. 2002（1）

熊义伟，袁国华. 矿产资源、地质环境与可持续发展. 资源·产业. 2000（6）

徐强. 我国矿产资源利用的环境问题及对策. 中国人口·资源与环境. 1995（1）

杨昌明，成金华，邵赤平. 资源环境经济学. 武汉：湖北人民出版社，2002

杨昌明，洪水峰. 矿产资源可持续发展指标探讨——焦点问题法. 资源·产业. 2001（1）

杨泓清，李万亨，赵鹏大. 矿业权评估理论与方法研究. 中国矿业. 1999（5）

杨永国，秦勇，姜波. 煤层气项目经济评价理论与方法研究. 徐州：中国矿业大学出版社，2001

杨勇平，刘文毅，郭喜燕等. 考虑环境成本的能量系统㶲经济学分析模型. 工程热物理学报. 2004（1）

姚书振，胡立山. 湖北省矿产资源与经济可持续发展. 地球科学——中国地质大学学报. 1999（7）

袁国华. 我国矿产资源耗竭特点与供应安全保障. 国土资源. 2003（8）

袁亮. 把握技术创新源动力推进矿区可持续发展. 煤炭科学技术. 2001（1）

张海利，郝英奇. 关于区域矿产资源技术经济综合评价问题的进一步研究. 地质技术经济管理. 1997（3）

张金锁，李怀祖，何德权. 矿产资源估价的动态收益现值法研究. 西南交通大学学报. 2000（1）

张坤民. 可持续发展论. 北京：中国环境科学出版社，1990

张雷. 中国矿产资源持续开发与区域开发战略调整. 自然资源学报. 2002（2）

赵鹏大，陈建平. 非传统矿产资源体系及其关键科学问题. 地球科学进展. 2000（3）

赵鹏大，池顺都，刘粤湘. 关于矿产资源竞争力评价问题. 世界科技研究与发展. 2001（6）

赵鹏大. 非传统矿产资源研究：可持续发展的重要课题. 中国地质. 2001（5）

郑宏飞. 㶲分析方法在社会科学领域中的应用. 北京理工大学学报（社会科学版）. 2000（2）

郑宏飞. 区域资源优势定量评价的㶲分析模型. 西安交通大学学报（社会科学版）. 2003（10）

中华人民共和国国土资源部. 国土资源公报. 2001

中国矿产资源政策（白皮书）. www. mlr. gov. cn.

赫曼·戴利. 可持续发展：定义、原则和政策. 国外社会科学. 2002（6）

H. 钱纳里等. 工业和经济增长的比较研究. 上海：上海三联书店，1989

A M M Jamal, John L Crain. The Hotelling Valuation of Natural Resources: Some Further Results. Resources Policy, Vol. 23, No. 4, 1997

Alan Randall. Resource Economics: an Economic Approach to Natural Resource and Environmental Policy, Grid Publishing, Inc, Coltimbus, Ohio, 1981

Allen V Kneese, Blair T Bower. Managing Water Quality, Economics, Technology, Institutions. Published by the Johns Hophins University Press and Resources for the Future, 1968

Allen V Kneese. Measuring the Benefit of Clean Air and Water. Published by Resources for the Future, 1984

Bhappu R and Guzman J. Mineral Investment Decisions Making. Engineering and Mining Journal, 1995

Brennan M J & Schmartz E S. Evaluating Natural Resource Investments. Journal of Business, 1985

Buck W K . Mineral Economics—its Definition and Application. CIM Bulletin, 1972

David Gerard. The Development of First-ossession Rules in US Mining, 1892—1920: Theory, Evidence, and Policy Implications. Resources Policy, Vol. 24, No. 4, 1997

Dennis S Kostick. The Material Flow Concept for Materials. Nonrenewable Resources, Vol. 5, No. 4, 1996

Deverle P Harris and Frederik P Agterberg. The Appraisal of Mineral Resources. Economic Geology, 75th Anniversary Volume, 1981

Earle B Amey. Special Issue on Materials from the New Materials Society-ransition to Sustainable Development. Nonrenewable Resources, Vol. 5, No. 4, 1996

Franklin J Stermole. Personal Skills: Economic Analysis of Mineral and Energy Investments. Mining Engineering, February 1984

Frimpong S and Whiting J M. Dynamic Simulation of Multipulti-phase Mining Venture Risks Resolution in Competitive Markets. Proc, of the 6th MPES, Ostrava, Czech Republic, September 1997

Frimpong S, Laughton D G and Whiting J M. The Management of Feasibility Studies and Mine Development, a Modern Asset Pricing Approach. Proc, of the 2nd CAMI. Vancouver, 1991

Frimpong S and Whiting J M. Derivative Mine Valuation: Strategic Investment Decisions in Competitive Markets. Journal of Resources Policy CSM, Golden (in review), 1996

Geoffrey G Snow and Brian W Mackenzie. The Environment of Exploration: Economic,

Organizational, and Social Constraints. Economic Geology 75th Anniversary Volume, 1981

Graham A Davis. The Minerals Sector, Setoral Analysis and Economic Development, Resources Policy, Vol. 24, No. 4, 1998

Jacoby H and Laughton D. Project Evaluation: a Practical Asset Pricing Method. Emergy Journal, 1992

James L Riggs. Engineering Economics. Copyright 1982, 1977 by McGraw - Hill, Inc

Jin F Lemons Jr and David Berry. Sustainability in a Materials World. Nonrenewable Resources, Vol. 5, No. 4, 1996

Karl-Goran Maler. Environmental Economics, a Theoretical Inquiry. Published by Resources for the Future. Copyright 1974. Resources for the Future, U. S. A.

Keith R Long. Economics of Mining Law. Oxford University Press, 1995

Paul R Portney (editor). Public Policies for Environment Protection. Published by Resources for the Future. 1616 P Street, N. W., Washington, D. C. 20036. U. S. A. Copyright 1990. Resources for the Future. U. S. A.

Peter N Grimshaw. Environmental Benefits of Surface Mining Magazine, December 1986

Raymond F Mikesell. Explaining the Resource Curse, with Special Reference to Mineral Exporting Countries. Resources Policy, 1997

Sinha R K and Sharma N L. Mineral Economy. Oxford &TBH Publishing Co. 1980

Tom H Tietenberg, Emissions Trading. An Exercise in Reforming Pollution Policy. Resources of the Future, U. S. A. 1985

William C Peter. Exploration and Mining Geology. Oxford University Press, 1978

William P Blacutt. The Investment-worth Model: Concepts and Methods for Estimation of Model Parameters. Oxford University Press, 1995