

矿产地质勘查与矿业可持续发展的科学技术模拟^{*}

裴荣富, 李莉, 王浩琳

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037)

摘要:当前出现国际金融危机、矿业萎缩, 给我国地质勘查和矿业发展带来挑战和机遇。通过大量的地质勘查与矿山开采验证对比工作, 在掌握众多新成矿信息和有效技术经济可行性条件的基础上, 提出合理地质勘查、矿山开发、风险投资决策和矿业循环经济科学技术方法模拟。这四项模拟是针对矿产不可再生和风险勘查的特殊属性, 对矿产勘查地质学、矿山地质学和矿业循环经济创新发展。

关键词:地质勘查; 矿业持续发展; 合理模拟; 循环经济; 5R 原则

中图分类号: F407.1; F205 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2009)01-0007-06

Scientific Technique Modeling for Geological Exploration and Sustainable Development of Mining Industry

PEI Rong-fu, LI Li, WANG Hao-lin

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: As the current situation of financial crisis of the world and the shrink of mining industry, a great challenge and opportunity are brought to China for making further reformation of geological mineral exploration and for development of mining industry. In this case, based on a great amount information of correlation between geological mineral exploration with mining work and a lot of new ore forming knowledge as well as a effective economic technique feasibility, the authors propose four reasonable scientific technique modeling for geological mineral exploration, mine exploitation, decision system for risk investment and recycling economy of mining industry. This four modeling is an important innovation to mineral exploration geology, mining geology and recycling economy based on the Specialities of non-renewable mineral resources and risk investment of geological explorations.

Key words: geological exploration; sustainable development of mining industry; reasonable modeling; recycling economy; "5R" principle

1 21 世纪我国矿业发展面对的问题

进入 21 世纪, 社会经济各方面的发展都将进入一个全新的阶段。中国经济规模巨大并以惊人的速度发展, 矿产资源需求量的增长速度很快, 供应也随之增长(图 1), 在为我国矿业快速发展, 为工业化、城市化提供原材料保障的同时, 也面临矿产对外依存度高(图 2)、资源回收率低、资源高消耗和日渐短缺等一些日益严峻的问题。

有关研究表明^[2,5,7], 在我国 10 618 座各类型金属矿山中, 大多始建于上世纪 50 至 70 年代, 经几十年开采, 2/3 矿山呈现老化, 近 80% 的矿山比原设计的服务年限延长了 10 年以上。保有储量严重不足, 造成许多矿山资源枯竭, 企业生产陷入困境。按目前的资源保有储量, 到 2010 年我国 46% 的主要有色金属矿山将因资源枯竭而关闭; 到 2020 年仅有不足 20% 的矿山能维持生产。我国正处于工业化中期阶段, 市场对资源的需求旺盛, 急剧增长的矿产需

* 收稿日期: 2009-01-31

作者简介: 裴荣富(1924-), 男, 研究员, 博士生导师, 中国工程院院士。历任矿床地质研究所所长, 中国地质学会矿床专业委员会主任和矿产勘查专业委员会副主任, 国际矿床成因协会主席兼协会大构造与矿床专业委员会副主席。

求和日渐枯竭的资源供应形成了尖锐的矛盾,怎样缓解这个矛盾,是现在急需思考的问题。

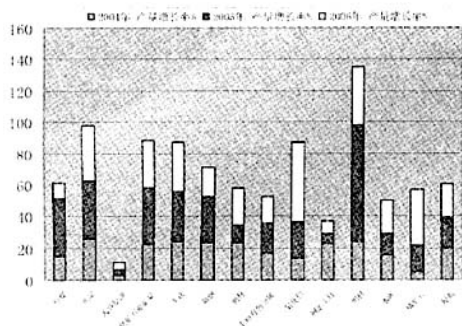


图1 中国主要矿产品增长率

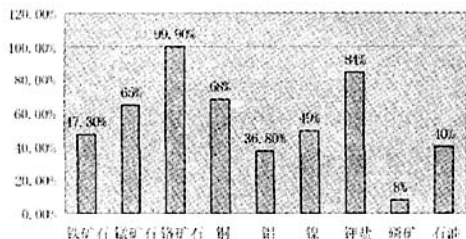


图2 我国矿产对外依存度(2003年)

我国经济快速发展建立在资源高消耗的基础上,2003年我国经济增长率达到9.1%,分别消耗了全球8.4%的原油,30%的铁矿石,27%的钢材,40%的水泥,创造出的国内生产总值却不足全球的4%。我国资源产出率低,资源利用效率低,资源综合利用水平低,再生资源回收利用率低,这种资源高消费—低效益的经济增长方式急需得到改变。

据845个矿山调查,综合利用率达70%的矿仅占7%,综合利用率达50%的矿山不到15%;75%的综合型矿山企业的综合利用率为2%~5%,比国外先进水平低20%~30%。据全国34个矿种的515个国有大中型矿山工业普查资料统计:综合利用比较好的矿山只有160个,占31.1%;部分综合利用的矿山为132个,占25.6%;完全不进行综合利用的矿山233个,占43.3%;20多万个集体个体矿山基本未进行综合利用。而发达国家非常重视共生(伴)生资源综合利用,共生(伴)生金属的综合回收率平均达到80%以上,综合利用产值占总产值的30%以上,比我国高出20%。美国、日本的铜、铅、锌、镍等金属矿山综合利用率为76%~90%。

因此要减轻经济增长对矿产资源供给的压力,

除国家已在全国开展危机矿山项目外,更需要大力加强矿产合理勘查与开发,重点发展矿业循环经济技术方法研究,从而促进矿产资源的再发现,再利用,减量化,再回收和再复垦绿色矿山建设等环节,促进矿业稳固地可持续发展。

2 固体矿产合理勘查的“双控论、合理域”模拟

我国矿产勘查分为预查(初查)、普查(详查)、详查(初勘)、勘探(详勘)四个阶段(层次)^[1,3,6]。矿产勘查虽然是以矿产开发技术条件是否可行、经济效益是否有利为主要准则,但必须建立在金属成矿省四个等级体制涵括的地质背景、“控矿”场、成矿流体“相”、就位“床”,称之为“景”、“场”、“相”、“床”耦合度充分研究和探明储量准确可靠的地质基础上^[3]。必须科学地掌握不同层次成矿全过程的客观规律,才能实现合理的矿产勘查。当然,还要强调经济投入的合理性,高风险投资政策的支持和有序引导矿产勘查的大力发展。据此,笔者提出矿产勘查评价三原则:一是须要掌握矿床成矿到勘查工作全过程的客观规律;二是必须以等级体制成矿和技术——经济条件可行保证程度的双控因素为合理评价准则;三是还须以风险投资的市场经济性和特殊政策要求作为合理矿产勘查评价的尺度。

为了保证矿产资源和矿业的可持续发展,首先根据上述一、二两项原则提出下列矿产合理勘查的“双控论”、“合理域”的模拟^[6]:

该模拟的设想是建立在矿产资源兼具地质研究保证程度和技术经济条件可行的双重性控制基础上,称为“双控论”。其中地质研究采用四个等级体制成矿最佳耦合研究的保证程度(定性地分为预耦—耦—最佳耦合三级)来表达,如图3坐标(a);技术—经济条件研究的保证程度用各种开发技术条件和经济效益的可行性(定性分为预可—可—最佳可行三级)来表达,如图3坐标(b)。在坐标图上按a与b比例的不同斜率画出一条矿产勘查的曲线(粗线),并按斜率的大小划分出7个勘查评价程序(图3, I、II、III、IV、V、VI、VII),8个不同评价的矿床(图3, 1~8)和5个不同评价的矿山(图3, 9~13),使矿产勘查评价程序不仅建立在成矿等级体制耦合研究不同保证程度基础上,也达到技术—经济条件研究保证程度的要求。图3中标出的勘查开

发不同阶段的界线带是反映合理勘查评价相对性和优选性的。因为若需矿产勘查评价达到最佳界限,必须投入极大,但对一些复杂的难于确切探明的矿产资源不需要做到最佳界限,只要达到当前经济技术条件允许,并能满足矿产地质研究保证程度就合理了。图中界线带的阴影范围即为“合理域”。

本模拟强调矿床通过勘查(详勘)达到满足矿

山建设设计后,在建设过程中还要根据基地质和技术经济新信息,按缓建—基建—建成—投产来部署,特别强调基建地质研究程度和调整技术—经济条件可行的重要意义。最后,应指出这一模拟是矿产勘查科学技术方法的创新,是评价任一矿产成果是否合理的准绳,对有序引导当代商业性矿产勘查的发展有重要指导作用。

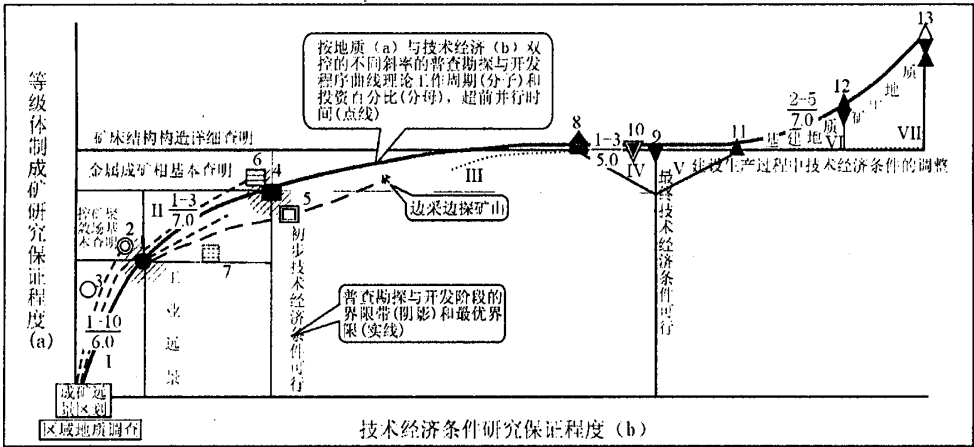


图3 矿产勘查评价模拟设想

I—矿产预查(初查);II—矿产普查(详查);III—矿产详查(初勘);IV—矿床勘探(详勘);V—矿山建设;VI—矿山基础建设矿床地质研究;VII—矿山生产矿床地质研究 1—可进行普查(详查)矿床;2—工业远景不明矿床;3—无地质和工业远景矿床;4—可进行详查(初勘)矿床;5—成矿复杂但具开采技术经济条件初步可行矿床;6—成矿基本查明但具未来开采技术经济条件可行矿床;7—成矿复杂不具开采技术经济条件可行矿床;8—可进行勘探和满足矿山建设设计矿床;9—按计划任务进行建设设计矿床;10—缓建或技术储备矿山;11—投资单位基建矿山;12—已建成矿山;13—已投产和持续扩大远景矿山。1~3/5.0:工作周期/投资百分比。

3 不同规模矿山开发与合理生产年限的模拟

通过对25种金属大量矿山调查,将不同规模矿山开发与合理生产年限模拟为横坐标图4-1。图4

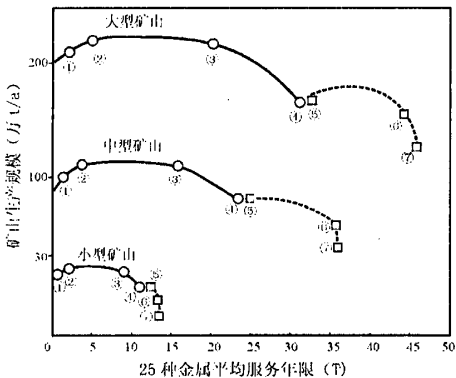


图4-1 不同规模矿山合理生产年限模拟

按不同规模矿山及其合理生产年限,划分出试产①—达产②—稳产③—萎缩④—补偿⑤—闭坑⑥—复垦⑦共7期。

-1 横坐标为矿山按正常生产阶段可划分为试产、达产、稳产、萎缩、补偿、闭坑、复垦七个阶段的平均服务年限,纵坐标为不同规模矿山(大型、中型、小型)按七个生产阶段应该对应的合理平均服务年限。据此,可作为矿山开发初始至闭坑全过程的合理评定标准(图4)。

对不同规模矿山不同开采阶段的合理分析是:试产阶段即试车阶段。投产阶段即从基本建设完成后,试生产(试车)开始达到一定规模,大型矿山一般达到设计能力的30%表示投产阶段开始,中型矿山达到50%,小型矿山达到100%,到矿石产量达到设计能力为止。这个阶段,大型矿业企业一般需5年左右时间,中、小型矿山企业需2~3年。这个阶段尚难发挥投资效益,但随设备正常运转、工艺流程合理调试,主要采选指标正确控制,矿山企业矿石产量逐年提高,直到达到设计要求产量,矿山企业经济效益也随之逐渐上升。稳产阶段是达到设计生产能力后,矿业企业生产均衡,产量稳定,也是矿业企业

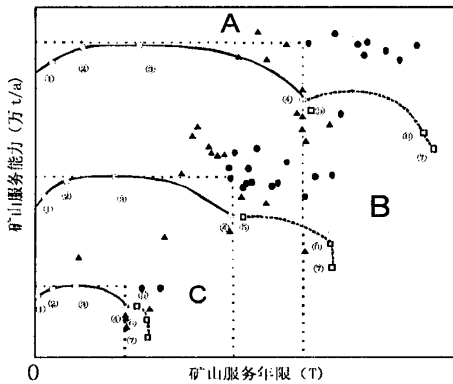


图 4-2 52 个铁矿探采对比

根据 52 个铁矿山在合理开发模拟图上的投点显示,▲代表探采对比情况不好的矿山,●代表探采对比情况好的矿山,我们得到 24 个情况良好的矿山(包括 8 个大型矿山,14 中型矿山,2 个小型矿山),起到对矿山开发的验证和指导作用。

经济效益最好的阶段。大型矿山维持 20 年左右,中型矿山 15 年左右,小型矿山 10 年左右。萎缩阶段即开采范围内储量逐年减少,矿山产量递减,产量逐年降低,提升运输环节复杂,矿山的开采条件逐渐恶化,生产成本增加,矿业企业的经济效益递减。矿山生产发生萎缩,这是矿企的属性,必须重视矿山找矿再发现。补偿阶段是指通过资源再发现,新增探明储量,产量逐年增加。闭坑阶段是满足闭坑条件,提交闭坑地质报告时期。复垦阶段则应贯彻于矿山开发的始终,在绿色矿山要求下逐步关停矿山,全面完

成矿山与环境的治理。

最后应指出的是,该模拟将对矿山开采起到指导作用和评定其是否合理。根据 52 个铁矿山在模拟图上的投点(图 4-2),已起到对矿山开发的验证和指导。

4 矿产勘查风险投资决策支持系统的模拟

矿产勘查模型在西方国家称为“勘查艺术(逻辑)”,东方国家则称为“规范”,“规程”。加拿大的 S. W. 霍姆斯^[8]在其《有效勘查方法学》一书中把识别每种地质环境,建立相应环境有关地质模式和寻找某种环境中特定矿产的有效勘查方法称为“完整勘查程序”。R. J. Hutson^[9]进一步探讨了“完整勘查程序”的理论,强调环境(成矿构造背景)、模型(成矿特征)和方法(勘查评价和经济投入)的有机联系;J. H. Reedman^[10]在论述矿产勘查评价性质的基础上,进一步提出勘查风险与投资理论值,探讨了合理风险投资问题。K. Milos^[11]等提出勘查评价投资百分比和评价周期的可能年限等。综合上述论断,明显地反映了矿产勘查评价必须建立在成矿地质背景,矿产地质特征的基础上,合理地使用矿床成矿理论、勘查程序、方法和技术经济评价以及风险投资等问题^[3,5,7,10]。

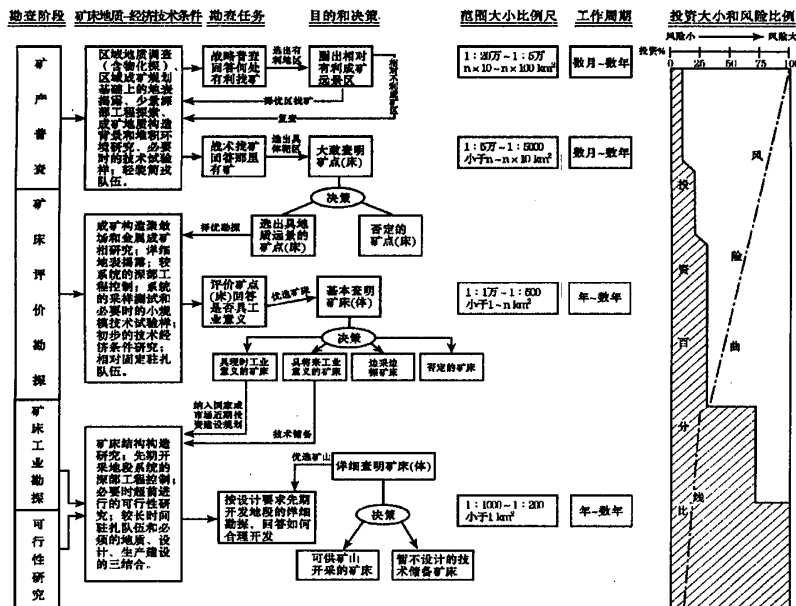


图 5 矿业活动决策支持系统模拟

在矿产勘查原则和勘查模拟的基础上,建立矿产勘查风险投资决策支持系统是合理进行勘查管理的重要举措。风险投资决策支持系统应根据其工作的不同勘查阶段、不同矿床地质复杂程度、勘查技术的经济条件、工作目的任务和勘查范围等决策其勘查成果、周期、投资大小和风险比例。通过对国内外大量勘查投资资料,按不同勘查阶段、地质经济技术条件、任务、目的、工作范围大小、工作周期、投资大小和风险比例对矿业活动决策支持系统模拟如图 5。图 5 可以看出:普查阶段以成矿地质构造背景和成矿堆积环境和简要的经济—技术条件试验研究为主,回答的勘查任务是何处找矿和哪里有矿,决策目的是圈出有利成矿远景区,采用的地质测量是大—中等范围的小—中比例尺,工作年限为数月或复查到数年,投入小,以不足总勘查费用的 10% 为限,风险可允许大到 100%;矿床评价勘查阶段则以进入成矿构造聚敛场和金属成矿相详细的和经济技术条件可行的初步研究为主,勘查任务是回答勘查对象是否具有工业意义,决策目的是提供现时工业意义的矿床或仅具有将来意义或具边采边探或予以否定

的矿床,工作范围小于几平方公里,采用中—大比例尺地质测量,工作年限为年到数年,投入中等,最多投入达总勘查费用的 35%,风险小于 50%;矿床工业勘探阶段则以进行矿床结构—构造的详细研究,回答矿山如何开发或暂不进行矿山建设设计为将来提供技术储备的矿床,采用大比例尺地质测量和工作范围小于 1 km²,一般 1~2 年完成,投入大,可达总勘查费用的 75% 以上,风险投资应小于 25%。这一模拟对风险勘查的决策具有重要指导意义。

5 矿业可持续发展 5R 循环经济的模拟

矿业发展面对严峻形势,怎样解决以上所提到的问题,我们结合矿产地质需要长期探索找矿和保护生态环境的特殊属性,在其他产业通用的 3R 减量化(Reducing)、再利用(Reusing)、再回收(Recycling)循环经济基础上,增加再发现(Rediscovery)和复垦(Reclamation)构成 5R 循环经济的矿业可持续发展的模拟。该模拟是矿业合理开发和缓解资源紧缺的一个重要举措(图 6,表 1)。

表 1 矿业循环经济中的 5R 原则

阶段	再发现原则(Rediscovery)	再减量原则(Reduce)	再利用原则(Reuse)	再循环原则(Recycle)	再复垦原则(Reclaim)
勘查	在满足矿山建设设计要求的矿产勘查基础上,应在矿床深部和外围找矿,探索第二成矿空间和侧向延展	提高勘查质量和准确性,按照“合理域”投入勘查量	加深充分利用矿产的地质工作	多次开发勘查资料	开展生态环境承载力研究
开采	在满足采准和备采储量基础上,应加强成矿新信息的收集,开拓找矿新方向,发现新矿体	创新开采技术,降低剥采比、贫化率,减少消耗的人物力	提高采收率,就实际情况进行回采	—	就地取材,利用废弃尾矿、矸石、积土或垃圾等回填于露天采坑、塌陷地并将客土覆盖和植被
选矿冶炼	创新选矿冶炼新工艺	创新提高选冶技术,减少矿石消耗量,降低矿产品的边界品位	改进先进流程,提高选矿回收率	提高技术,综合回收有价值元素	综合利用废弃物,同时进行无害化处理
深加工	开发新产品,新用途	创新加工工艺,减少原材料的消耗	采用先进工艺,提高主元素回收率,提高产品质量,节能降耗,保持适度规模提高适应性达到标准化,综合回收有价值元素	—	对难回收的有价值元素进行回收,废气废水废渣的综合利用废弃物,进行无害化处理
尾矿处理	开发尾矿中新的有用组分	减少废石,废渣,废气,废水的排放量	尾矿中有价组分的回收利用	增加再生金属矿产	可以在尾矿库上复垦造田,根据土壤的实际情况,选择作物

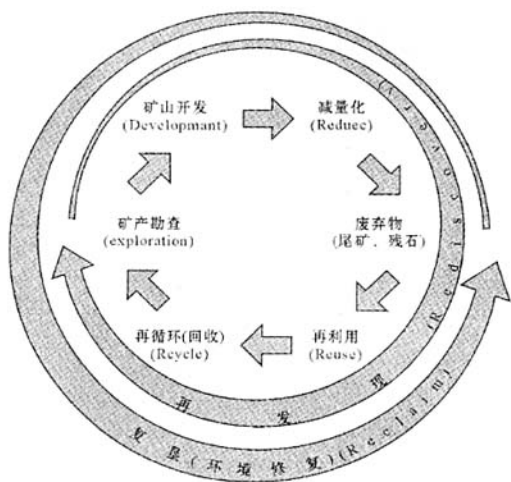


图6 矿业循环经济模式

实现矿产资源可持续发展的一个重要问题是如何提高资源的利用率乃至永续利用。据统计,我国共伴生矿产资源综合利用率不到 20%,矿产资源总回收率只有 30%,而国外先进水平平均在 50% 以上,差距分别为 30 和 20 个百分点。循环经济能在社会生产、流通、消费和产生废物及各个环节上循环利用矿产资源,发展矿产资源回收利用产业,以最大限度提高矿产资源的利用率,真正实现矿产资源的可持续利用。科技进步和创新是矿产资源领域循环经济发展的主要动力,生态环境是可持续发展的基础。因此我们在原有“3R”基础上补充再发现 (Rediscovery) 和再复垦 (Reclaim),建立矿业循环经济的 5R 原则。但应重点指出 5R 循环经济应贯彻于矿山勘查、开发、闭坑于始终。

最后应特别强调的是再发现和再复垦应贯彻于矿业活动的始终,矿产开发应居安思危,开发过程中要不断发现新资源,适时复垦建设绿色矿山,为了有效贯彻再复垦,特提出应建立矿区复垦保证体系。该体系应包括:一是制定全国矿山复垦规划;二是建立矿区复垦资金体系;三是研究矿区复垦机制建立示范区。

6 结语

新世纪即将进入新的知识经济时代,矿产资源

的可持续发展除适应新时代的资源供需全球化、加强政策宏观调控、强化环境生态保护等措施外,更应强调创新人才和智能化,依靠科技创新,深化认识矿产资源调查评价、矿产勘查和开发的新“认知”,以探寻和达到勘查和开发具有适应 21 世纪矿业需求的国家目标。据此,在本文提出的矿产地质勘查与矿业可持续发展科学技术模拟研究的基础上,深入实际做大量详细地质观察研究,对成矿新“认知”的重要科学问题进行示范研究的突破,重视资源利用新工艺、新技术、新设备的研究,加大政府的推广示范和引导力度,特别要注重开发新技术、新产品,挖掘资源综合利用潜力,采纳合理的矿产勘查和矿业活动支持系统将是今后可持续发展的重要方向。

参考文献:

- [1] 裴荣富,丁志忠,傅鸣珂. 试论固体矿产普查勘探与开发的合理程序[J]. 中国地质科学院院报,1981,(5):1-16.
- [2] 宋瑞祥. 中国矿产资源报告[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [3] 裴荣富,熊群尧. 金属成矿省等级体制成矿与矿产勘查评价[A]. 陈毓川. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法[C]. 北京:地震出版社,1999. 134-141.
- [4] 赵鹏大. 矿产勘查理论与方法[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2000.
- [5] 梅燕雄,叶锦华. 浅议矿产资源的可持续利用战略[J]. 中国地质,2000,(4):25-27.
- [6] 裴荣富,梅燕雄. 矿产勘查的双控论和合理域[J]. 矿产地质,2001,20(4):307-312.
- [7] 裴荣富. 21 世纪矿业应向后工业发展技术倾斜——适者生存和可持续发展[J]. 地球科学,2002,27(1):72-80.
- [8] S. W. 霍姆斯. 有效勘查方法学[M].
- [9] Hutson R J. Exploration models for gold in the Archean[J]. Canadian Mining Journals,1980,(2):20-28.
- [10] Reedman J H. Techniques in mineral exploration[M]. London: Applied Science Publishers Ltd,1979. 35-45,56-69.
- [11] Milos K, Miloslov B. Prospecting and exploration of mineral deposits[M]. Amsterdam: Elsevier,1978. 58-69,101-120.