

国家科技攻关计划、地质大调查项目

中国西部 重要成矿区带 矿产资源潜力评估

陈毓川 王登红 等著

地质出版社

计划

地质大调查项目

中国西部重要成矿区带 矿产资源潜力评估

陈毓川 王登红 付小方 唐菊兴 李光明
李厚民 肖克炎 梁 婷 应立娟 王成辉
陈世平 陈郑辉 刘 峰 郭春丽 李建康 等著
高晓理 徐志刚 李华芹 屈文俊 周汝洪
侯立玮 刘德权 朱明玉 傅旭杰 王龙生

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是一部对我国西部地区阿尔泰、东天山、秦岭、三江和西藏冈底斯等重要成矿区带的矿产资源潜力进行宏观评估的专著。全书以矿床的成矿系列理论和成矿体系理论为基础,在对我国西部新发现或取得新进展的新疆池西铁铜矿、小红山铁矿、彩霞山铅锌矿、乔夏哈拉铁铜金矿,西藏雄村铜金矿、驱龙铜金矿,四川梭罗沟金矿、跑马铅锌矿、岔河锡矿,云南会泽铅锌矿,陕西马元铅锌矿等重要矿床野外调查和典型矿床研究的基础上,通过典型矿床的研究和对西部重要成矿区带成矿规律的总结,建立了从成矿地质基础分析成矿潜力、从成矿信息分析成矿潜力、从新类型分析成矿潜力、从新发现分析成矿潜力、从新认识分析成矿潜力、从成矿系列和成矿谱系分析成矿潜力、从成矿体系的形成历史分析成矿潜力的矿产资源潜力评估的技术流程,并运用于对各个成矿区带的实际工作中,如对东天山地区的一些矿产地给出了具体的评价意见,有助于下一步的地质找矿工作。本书可供从事野外地质找矿工作、矿床学理论研究、矿产资源潜力评价和预测以及矿产资源管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估/陈毓川等

著. —北京:地质出版社,2010.4

ISBN 978-7-116-06616-8

I. ①中… II. ①陈… III. ①成矿区—矿产资源—资产评估—西北地区②成矿区—矿产资源—资产评估—西南地区 IV. ①F426.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 052458 号

组稿编辑:白 铁 王大军

责任编辑:于春林 白 铁

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324579(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@ gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:889mm×1194mm¹/₁₆

印 张:31

字 数:1000 千字

版 次:2010 年 4 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:100.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-06616-8

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

对于某一区域的矿产资源进行潜力评价,如同人口普查、经济普查一样,是一项战略性工作,无论是对一个省还是对一个国家都是如此。当前国内外对于矿产资源潜力评价工作都给予了高度重视,但是,如何对一个区域的矿产资源潜力作出科学的、及时有效的评估,摸清家底,无论是理论还是方法技术均还处在探索阶段。

本次工作以东天山、西南三江和冈底斯 3 个重点成矿区带为主,把中国西部作为整体对其矿产资源潜力进行评估性研究。这样的小比例尺的评估工作(为区别于中、大比例尺的“评价”工作,我们把小比例尺的评价称为“评估”)还是第一次。应该说,虽然本课题研究延续的时间偏长了一些,但相对于需要研究的科学问题和国家目标来说,矿产资源的潜力评价永远是一个“承上启下”的关键性课题。尽管在项目执行的后期,由于“全国重要矿产资源潜力评价”项目在 2006 年 8 月份的启动,课题的主要人员为新的项目而忙碌,影响到本课题的进度,好在这两个项目(“我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估”与“全国重要矿产资源潜力评价”)具有持续性和连贯性。“我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估”所取得的部分成果(包括技术流程)已经在新项目中得到了充分的应用和发挥。但是,也需要指出,本课题所取得成果还是初步的,需要不断深化。

本书是国家科技攻关计划项目“中国西部优势矿产资源潜力评价技术及示范研究”课题(编号:2003BA612A-01)与地质大调查项目“我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估”的综合成果,是分工合作编写完成的,第一章由陈毓川、王登红和李厚民编写,第二章由王登红、徐志刚、李华芹、李建康等编写,第三章由王登红、王成辉、梁婷、郭春丽、陈世平、高晓理、李厚民等编写,第四章由王登红、陈世平、李华芹、王龙生、刘德权、周汝洪等编写,第五章由付小方和侯立玮编写,第六章由李光明编写,第七章由唐菊兴编写,第八章由李厚民、王登红编写,第九章由应立娟、刘峰和王登红编写,结论、参考文献和图版由王登红编写。全书最后由陈毓川和王登红统稿。同位素年代学由李华芹、屈文俊和王彦斌等完成,项目的管理工作由朱明玉和傅旭杰承担。

本次研究在野外工作期间得到了新疆、云南、四川和西藏等地勘单位各级领导的大力支持。四川地质勘查与开发局骆耀南高级工程师、攀西地质大队的赵支刚总工程师、西南冶金地勘局的王小春总工程师等领导给予了大力协作,四川会理县小石房铅锌矿、岔河锡矿以及四川三洲矿业股份有限公司等企业也提供了工作方便;在西藏工作期间,得到了西藏地质勘查与开发局的次仁达局长、多吉院士、李金高副总工程师、陆彦副总工程师等领导的关心和接待,西藏地质调查院的黄卫高级工程师、中国地质大学(武汉)的郑有业教授、西藏第二地质大队的高顺荣博士等一起陪同野外考察并参加了学术交流,期间还得到了西藏地热队、西藏鸿陆投资控股有限公司王志董事长等提供的野外考察方便,在此一并致谢。

在分析测试方面,得到了中国地质科学院成矿作用与资源评价重点实验室、北京离子探针中心、国家地质实验测试中心、中国科学院地质与地球物理研究所等单位 and 个人的协助,在此深表感谢。研究过程中还得到了中国地质调查局、中国地质科学院和矿产资源研究所各级领导的指导和关心,裴荣富院士、翟裕生院士、汤中立院士、郑绵平院士、叶天竺研究员、彭齐鸣主任、王全明处长、卢明杰处长、刘凤山处长和中国科学院地质与地球物理研究所刘秉光研究员等专家,在工作进行过程中给予很多的帮助和指导,在此一并致谢。工作中得到了国土资源部系统、中国科学院系统和教育部系统众多领导和个人以及国家地质实验测试中心、宜昌地质调查中心和国家离子探针中心等实验室的帮助、指导,也得到了众多矿山企业和地勘单位的大力协作,在此再次深表感谢。对于书中的缺漏和错误,敬请批评指正。

目 次

前言

第一章 绪论	(1)
第一节 国内外有关矿产资源潜力评估的研究概况	(1)
一、国外研究的概况及趋势	(1)
二、国内矿产预测理论与技术研究的现状与实践	(3)
三、我国西部地区矿产资源潜力评价工作进展概况	(5)
第二节 西部大开发对于矿产资源潜力评估的新要求	(6)
一、对理论创新的新要求	(6)
二、对矿产资源潜力评价技术方法的新要求	(7)
三、西部地质找矿工作的现实需要	(7)
第三节 本次研究的基本思路与主要内容	(9)
第二章 西部矿产资源潜力评估的理论问题	(11)
第一节 中国西部矿产资源的宏观特征	(11)
一、西部地区矿产资源的种类与概况	(11)
二、西部地区的优势矿产及资源潜力	(19)
第二节 中国西部矿产资源的时间分布及主要成矿时代	(20)
一、西部地区主要成矿时代	(20)
二、西部地区成矿时代研究的一些进展	(22)
第三节 中国西部矿产资源的空间分布及成矿区带划分	(48)
第四节 我国西部地区的主要矿床成矿系列	(53)
一、新疆北部地区的矿床成矿系列	(53)
二、天山地区的矿床成矿系列	(54)
三、新疆南部地区的矿床成矿系列	(56)
四、西南三江、松潘-甘孜及周边地区的矿床成矿系列	(56)
五、康滇地轴地区的矿床成矿系列	(57)
六、秦岭-祁连山-柴达木地区的矿床成矿系列	(58)
七、冈底斯地区及西藏其他地区的矿床成矿系列	(60)
八、上扬子及周边地区的矿床成矿系列	(61)
九、西部其他地区的矿床成矿系列	(63)
十、第四纪及跨区域的矿床成矿系列	(63)
第三章 西部矿产资源潜力评估的技术流程	(65)
第一节 从成矿地质基础分析成矿与找矿潜力	(65)
一、从地层看资源潜力	(65)
二、从变质岩看资源潜力	(66)

三、从岩浆岩看资源潜力	(66)
四、从沉积岩看资源潜力	(66)
五、从构造看资源潜力	(66)
六、举例——东天山包尔塔楞萨依潜在矿集区	(67)
第二节 从成矿信息分析找矿潜力——以四川梭罗沟金矿为例	(69)
一、概述	(69)
二、四川梭罗沟金矿	(70)
第三节 从新类型分析资源潜力——以贵州水银洞金矿和新疆小红山铁矿为例	(73)
一、概述	(73)
二、水银洞金矿的地质特征	(74)
三、新疆东天山小红山铁矿	(106)
第四节 从新发现分析找矿潜力——以东天山彩霞山为例	(108)
一、概述	(108)
二、新疆彩霞山铅锌银矿	(108)
第五节 从新认识分析找矿潜力——以冈底斯甲玛铜金矿为例	(124)
一、概述	(124)
二、甲玛铜金多金属矿	(125)
第六节 从新技术分析找矿潜力——以岔河锡矿为例	(126)
一、概述	(126)
二、新测试技术的运用——老矿床发现新矿种	(127)
三、稀有金属资源潜力评估的相关问题	(131)
四、新技术——矿产资源综合利用的建议	(134)
第七节 从成矿系列和成矿谱系分析找矿潜力——以东天山铁矿和稀有金属为例	(135)
一、从矿床成矿系列理论到“全位成矿与缺位找矿”理念	(135)
二、“全位成矿与缺位找矿”与矿产资源潜力评价的三原则	(136)
三、运用“成矿谱系”的理论研究华北陆块铁矿的资源潜力	(137)
四、哈密镜儿泉伟晶岩型稀有金属矿床	(144)
第八节 从成矿体系分析找矿潜力——以东天山的铜镍硫化物矿床为例	(146)
一、概述	(146)
二、东天山葫芦铜镍硫化物矿区	(146)
三、其他铜镍硫化物矿床	(153)
第九节 潜力评估过程中有关原则性问题的讨论	(156)
第四章 东天山地区矿产资源潜力评估	(158)
第一节 东天山地区的成矿规律	(158)
一、东天山地区矿产资源研究现状	(159)
二、东天山地区的宏观成矿地质特征	(160)
三、东天山地区优势矿产资源与矿床成矿系列分布概况	(171)
第二节 东天山已知矿产地资源潜力评价	(173)
一、对东天山部分已知大型矿床资源潜力的评价意见	(173)
二、对东天山部分中、小型矿床资源潜力的评价意见	(179)
第三节 对东天山部分潜在矿集区的资源潜力评估	(187)

第四节 东天山典型矿床研究进展	(193)
一、土屋铜钼矿床	(193)
二、小白石头泉白钨(钼)矿床	(198)
三、白山铍钼矿	(202)
第五节 东天山找矿方向	(204)
第五章 西南三江中段矿产资源潜力评估	(205)
第一节 研究程度概述	(205)
第二节 从成矿地质基础看资源潜力	(206)
一、从沉积岩(和地层)看资源潜力	(206)
二、从岩浆岩看资源潜力	(212)
三、从变质岩看资源潜力	(225)
四、从构造变形看资源潜力	(228)
第三节 从区域成矿规律与找矿信息看资源潜力	(232)
一、资源概况	(232)
二、区域成矿规律	(241)
三、从成矿信息看资源潜力	(244)
四、从新类型看资源潜力	(244)
五、从新发现看资源潜力	(246)
六、从新认识看资源潜力	(248)
第四节 从区域成矿谱系看资源潜力	(250)
一、区域成矿谱系	(251)
二、西南三江成矿谱系形成演化的构造背景	(255)
第五节 重点成矿远景区矿产资源潜力评估	(258)
一、成矿远景区划分与含义	(258)
二、金沙江铜金成矿远景区资源潜力评估	(260)
三、巴塘-中咱铜铁金铅锌成矿远景区资源潜力评估	(262)
四、雀儿山-格聂锡银铜铅锌成矿远景区资源潜力评估	(263)
五、白玉-中甸银铅锌铜金汞(砷)成矿远景区资源潜力评估	(271)
六、甘孜-理塘金(锑)成矿远景区资源潜力评估	(275)
七、雅江-九龙锂铍铌钽水晶成矿远景区资源潜力评估	(279)
八、鲜水河-折多山金银铅锌钨锡成矿远景区资源潜力评估	(280)
九、九龙铜锌及木里铁金成矿远景区资源潜力评估	(281)
十、盐源铜金成矿远景区资源潜力评估	(281)
第六节 结论与建议	(282)
第六章 西藏雅鲁藏布江地区矿产资源潜力评估	(284)
第一节 雅鲁藏布江地区资源评价与研究概况	(284)
第二节 冈底斯区域成矿基础	(286)
一、从成矿构造背景看资源潜力	(286)
二、从区域地层与沉积建造看资源潜力	(290)
三、从岩浆岩看资源潜力	(291)
四、从区域地球物理场及壳幔结构看资源潜力	(292)
五、从区域地球化学场看资源潜力	(293)

六、从构造演化看资源潜力	(293)
第三节 区域矿产与成矿规律	(298)
一、区域矿产基本特征	(298)
二、重要矿床类型	(298)
三、矿床的空间分布规律	(300)
四、矿床的时间分布规律	(301)
五、中新生代成矿谱系	(303)
六、成矿带划分	(305)
七、矿床成矿系列与成矿谱系	(306)
第四节 冈底斯中生代成矿谱系——燕山期的主要成矿作用	(308)
一、燕山期与沉积-火山-岩浆活动有关的 Fe、Cu、Pb、Zn 成矿作用	(308)
二、与燕山期花岗质岩石有关的 Cu、Fe、Pb、Zn、Ag 成矿作用	(310)
第五节 冈底斯新生代成矿谱系——喜马拉雅期主要成矿作用	(315)
一、与喜马拉雅早期花岗岩类有关 Cu、Fe、Pb、Zn、Au 成矿作用	(315)
二、与喜马拉雅晚期花岗岩类有关的 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、W 成矿作用	(318)
三、喜马拉雅期与岩浆-流体作用有关的 Au、Sb 成矿作用	(328)
第六节 区域成矿潜力评估与成矿远景预测	(330)
一、成矿远景区划分	(331)
二、主要成矿远景区评价	(332)
三、区域找矿潜力评估	(338)
第七节 找矿方向	(341)
第七章 典型矿床的资源潜力评价——以西藏雄村铜金矿为例	(343)
第一节 工作程度及进展	(343)
一、概况	(343)
二、区域地质矿产调查及综合研究	(343)
三、矿区及其外围矿产勘查工作评述	(344)
第二节 区域地质特征	(345)
一、区域构造	(345)
二、区域地层	(347)
三、区域岩浆岩	(350)
四、区域构造变形	(351)
第三节 矿区地质	(353)
一、地层	(353)
二、含矿岩系	(354)
三、岩浆岩	(355)
四、构造	(358)
五、围岩蚀变	(359)
六、小结	(363)
第四节 矿床地质	(363)
一、矿体(层)特征	(363)
二、矿化特征	(365)
三、矿石特征	(365)

四、矿体中主要金属元素分布特征	(371)
五、矿床成因及找矿标志	(373)
第五节 矿床资源评价的结果及其示范意义	(376)
一、勘探结果	(376)
二、资源综合评价	(376)
三、找矿模型	(378)
四、示范意义	(378)
第八章 秦祁昆地区矿产资源潜力评估	(380)
第一节 东秦岭地区矿床研究进展	(380)
一、陕西南郑马元锌矿床研究进展	(380)
二、甘肃阳山金矿	(386)
第二节 近年来东秦岭地区找矿工作新进展	(389)
一、陕西省地质找矿工作进展	(389)
第三节 东秦岭地区矿产资源潜力评估	(392)
一、从成矿基础看潜力	(392)
二、从新类型看潜力	(393)
三、从新发现看潜力	(393)
四、从成矿系列看潜力	(394)
五、从成矿谱系看潜力	(395)
第九章 西部老矿山的深部资源潜力评估	(396)
第一节 老矿山新认识新类型——以乔夏哈拉式铁铜金矿为例	(396)
一、乔夏哈拉铁铜矿床的区域地质特征	(397)
二、乔夏哈拉铁铜矿床地质特征	(406)
三、乔夏哈拉铁铜矿床的地球化学特征	(412)
四、乔夏哈拉铁铜矿床与国外 IOCG 矿床的对比	(424)
五、乔夏哈拉式铁铜金矿床的成矿模式及找矿模型	(429)
六、讨论——乔夏哈拉式铁铜矿床的找矿潜力	(432)
第二节 深部找矿的实例——云南会泽铅锌矿	(433)
一、勘查历史与矿产资源概况	(433)
二、矿床地质与矿产资源概况	(435)
三、存在的问题和解决方法	(438)
四、本次研究的一些新认识	(440)
第三节 西部地区一些老矿山的深部资源潜力	(444)
一、云南金顶矿区	(445)
二、四川攀枝花矿区	(446)
三、西藏罗布莎矿区	(447)
四、新疆萨尔托海矿区	(448)
五、甘肃西成铅锌矿	(449)
六、内蒙古狼山成矿带	(450)
七、贵州晴隆大厂锑矿	(450)
八、四川会理大铜厂(鹿厂)砂岩型铜矿	(451)
九、云南澜沧老厂铅锌矿	(452)

第十章 西部矿产资源潜力评估的技术方法与示范 (453)

第一节 有关未发现矿产资源潜力评价的几个问题 (453)

一、国家公益性未发现矿产资源潜力评价与具体地区成矿预测 (453)

二、未发现矿产资源潜力评价矿床模型问题 (453)

三、示范区未发现矿产资源远景区圈定和优选的问题 (454)

四、未发现矿产资源远景区资源量预测估算问题 (454)

第二节 西部优势矿产资源潜力评价方法研究 (455)

一、矿产资源预测评价的工作内容 (455)

二、西部固体优势矿产资源潜力评价方法研究 (458)

第三节 方法示范——以东天山斑岩铜矿为例 (466)

一、数据搜集和准备 (466)

二、综合地质信息预测 (466)

三、东天山斑岩铜矿区域评价模型建立 (469)

四、预测区圈定、优选及资源量估算 (471)

结 语 (475)

主要参考文献及资料 (480)

第一章 绪 论

我国西部地区是中国、也是世界上地质历史悠久、成矿作用复杂的地区之一,从元古宙(可能还从太古宙)以来的各个地质历史时期的构造运动都或多或少地留下了记录,并伴随相应的成矿作用,其中形成了大型超大型矿床或成矿系列的地质事件可称为主要成矿事件或成矿运动。从成矿事件或成矿运动的角度看,中国有太古宙的绿岩型金矿和条带状磁铁矿(北美和澳大利亚的铁矿和金矿);有元古宙和古生代与地幔柱成因基性超基性岩有关的贵金属矿床(南非和俄罗斯的铂族元素)及铬铁矿矿床;中国也有中生代环太平洋造山带斑岩型铜矿和浅成低温热液型贵金属矿床。此外,中国有的成矿事件,如元古宙以白云鄂博为代表的稀土元素成矿事件、华南燕山期以有色金属为代表的成矿事件,国外却不一定发育。中国之所以拥有丰富的矿产资源,除了在时间上各个地质历史时期的构造运动在中国均发育外,还因为世界上最重要的三大成矿域(古亚洲成矿域、环太平洋成矿域和特提斯成矿域)在空间上交汇于中国。因此,复杂的构造运动、多次的拉张成盆与多次的封闭造山造就了中国独具特色的成矿体系。但是,各个历史时期和各个成矿域中的成矿事件是如何发生的?具有多大的成矿强度和多大成矿深度?与国外已知类似成矿事件如何对比?这些问题却并未解决。

第一节 国内外有关矿产资源潜力评估的研究概况

一、国外研究的概况及趋势

矿产资源作为关系到国计民生和经济可持续发展的问题历来为世界各国政府高度重视,纷纷列入国家重要的发展战略计划。经济发达国家纷纷开展了大规模的矿产资源评价计划,以美国为例,在 20 世纪 70~80 年代完成了四项国家级计划:①阿拉斯加矿产资源评价计划(AMRAP);②国家铀矿资源评价计划(NURE);③美国本土计划(CUSMAP);④美国尚未发现的石油和天然气可回收资源的地质估计(725 号公报)。研究创立了三阶段评价方法,即资料叠合矿床成因分析和传统地质的统计模型分析、品位和吨位的模型分析及未发现矿床的预测评价,总投资在 6.5 亿美元,并取得了较好效益。国际上实施了“矿产资源评价中计算机应用标准(IGP98 项)”,总结并向全世界推广了区域价值估计法、体积估计法、丰度估计法、矿床模型法、德尔菲法和综合方法共六种预测方法。

进入 20 世纪 90 年代信息化阶段,矿产资源潜力评价在评价理论和方法技术上取得重大突破:将全球板块构造理论与成矿学结合,总结了世界上重要矿床的成矿模式;广泛应用了 GIS 等计算机信息处理技术进行矿产资源评价。地理信息系统(GIS)是用来获取、管理、分析、模拟和展示空间相关信息的计算机系统。GIS 技术大大地推进了地学数字化、信息化。空间信息系统建设在发达国家的地质机构如美国地质调查局(USGS),被认为是其为公众服务的核心实力条件。

哈萨克斯坦早在 2000 年的 30 届国际地质大会上就公布了其矿产资源评价的核心:“大型和巨型矿床的地质”、“发展地区可持续发展对于矿物资源需求潜力的评价”、“成矿过程的数学和计算机模拟”三大核心。2000~2005 年间,以“哈萨克斯坦金属成矿体系”项目为导向,哈萨克斯坦在全国范围内开展了包括理论基础、过程和目标模拟、区域预测和资源评价技术的研究,其主要目标为:

——形成新的金属成矿理论和方法;

——运用与改进新一代的有效的预测与勘探技术；

——选择一批具有发现新的大型目标(矿区、矿田、矿床)的远景区(即靶区优选)。

为了实现上述目标,他们确定了以下的主要研究内容:

1) 哈萨克斯坦的全球地质和区域地质:包括岩石圈和地幔的构造、地震层析;地表和深部构造的相互作用,板块构造和地幔柱构造编图;岩石圈的地球动力学机制;地质结构构造和金属成矿体系。

2) 金属成矿体系和过程:初始的特定状态和金属成矿体系的演化;不同尺度金属成矿规律的对比分析;金属成矿体系的空间关系;地质空间中,金属成矿体系定位的编图和成矿规律;金属成矿体系和过程的计算机模拟。

3) 矿区预测的技术以及预测资源的定量估计:物质、几何、构造特征的描述方法以及地质空间蚀变动力学和金属成矿体系;盲矿预测中的“相(phase)地球化学”方法;远景区的选择技术和预测资源的定量估计;定量预测的计算机综合技术。

4) 远景区的选择和对工作方向的建议:在考虑到深部构造、地球动力学和金属成矿特点等的基础上,将哈萨克斯坦领土划分为不同的区域;构筑标准模型系统,以描述矿床的勘查类型;构筑预测特征体系(区域和矿床类型);远景区的选择和预测资源的估计,结果的检验;对找矿方向和方法提出建议并汇总。

5) 信息支持和人员培训;编制数据库,为上述调查研究提供信息支持;选拔专家,提高其理论、方法和技术方面的能力。

2002年,美国地调局启动了为期8年的全球矿产资源潜力评价项目(中国也参与该项目),使用了标准一致的评价方法,在1:100万尺度水平上对全球紧缺矿产资源进行科学评价,并建立全球矿产资源评价信息系统。同时,世界资源大国也不断推出新的资源潜力的分析方法,最近美国的资源评价专家麦卡门和D. P. 哈里斯在Internet网上公开了这些计划的部分成果,并提出了目前修正的矿产资源评价方法体系(网址://pubs. usgs. gov/info-handout/revision)。从最近公布的资源评价方法来看,GIS已是资源评价的基本工具,同时也发展引进了诸如数字矿床专家系统、神经网络模型、分形等非线性科学,进行定位评价;开发了以矿床模型研究为基础的预测矿产数量和经济评价的产出率模型(Rate of Deposits Occurrence)及经济成本滤波器模型(Economical Cost Filters)。这从另一侧面反映了矿产资源评价必须采用及研究新一代的评价方法,以满足现代地矿调查评价需求。

另外一些资源大国则仍然针对特色矿种进行重点研究,如智利针对铜资源问题进行了专门的研究,制定对策。

发达国家在矿产资源、地下水、地质灾害资料数字化以及资源信息数据库建设方面作了大量的工作,取得了令社会公众承认的成就。从20世纪60年代开始,美国等一些先进国家针对地球资源信息的重要性,在地质资料数字化方面作了大量的工作。前期主要是进行资料的胶片微缩工作。随着计算机技术的迅猛发展,近年主要进行大规模的地质资料计算机数字化工作,并取得了骄人的成果。目前,英国、美国、法国、加拿大等西方发达国家,已有较多的地质资料实现了计算机数字化。近年来,随着数字化资料的大量涌现,美国更是提出了“数字地球”的概念。在空间数据库的理论技术方面美国等一些先进国家作了长期艰苦的工作,发展了一批成熟的空间信息技术,美国在20世纪70年代出现了管理、采集空间信息的软件系统。80年代以来随着计算机软硬件环境的改善,美国、加拿大、澳大利亚、英国等在地学空间信息建设方面取得了丰硕成果。美国通过近10年的工作,发展了空间数据交换格式标准(SDTS),该标准目前正逐步成为许多国家、机构、公司进行空间信息相关标准制定的标准。美国1994年正式实施了国家空间数据基础设施计划——NSRDI,完成了国家1:100万地形数据库,完成了1:50万国家地质图库的70%,并建立有近11万条数据的世界矿产资源战略数据库。加拿大地调局已完成全国918幅1:25万地形图,初步建立全国地图数据库,向社会提供公开的信息服务。在矿产资源潜力评价数据库方面,美国地调局公布了1998年美国国土资源潜力评价的成果数据库,其中主要的是矿床模型库,包括矿床地质描述模型和品位吨位模型。成果库中还包括不同预测金属矿种的不同类型的可能地段和有利地段图,资源量估计成果数据等。

二、国内矿产预测理论与技术研究的现状与实践

1. 在矿产资源预测理论方面

在矿床学界和矿业界,人们一直关注超大型矿床的寻找。勘查储量占 70% ~ 85%、而数量仅占 10% 的超大型矿床,不仅能够对地方乃至国家经济产生重要影响,而且对它的研究将极大地推动固体地球科学的发展。从 20 世纪 70 年代末期以来的短短 20 多年时间里,国内外相继找到了若干规模巨大、产生重大经济效益的超大型矿床,如澳大利亚的奥林匹克坝、加拿大的赫姆洛、日本的菱刈等。从 1987 年温哥华举行的国际地球物理和大地测量会议后,对超大型矿床给予了更高度的重视,这主要表现于在美、加、俄、澳等国举行的一系列围绕超大型矿床的讨论会、短训班,大型研究课题的展开和各种专著的出版。我国自 90 年代起也兴起了此项工作。

1992 年由涂光炽院士主持的国家攀登计划项目 A-30“与寻找超大型矿床有关的基础研究”项目的启动,促进了我国大型、超大型矿床的研究工作。在大型、超大型矿床的成矿机制、成矿背景和成矿条件等基本问题上,取得了与国际上相对一致的研究成果,即大型、超大型矿床的形成需要多种成矿作用的叠加,良好的大地构造背景和适宜的围岩条件(涂光炽,1989,1994,2000;Hodgson, et al., 1993;Clark, 1993,1995;Whiting,Hodgson, et al., 1993;Siniger,1995;Robert,et al., 1997;Zhai Yusheng,1998,1999;欧阳自远,1994,1997;戴自希,1997;陈毓川,1993,1994,1999;裴荣富,1999 等),但是成矿的物化条件,成矿物质来源等与较小的矿床并无特别之处。就金矿而言,尚未发现超大型矿床与其他具有类似成果但规模较小的矿床间在成矿流体上有什么明显的区别,似不存在能形成超大型金矿的独特流体(何知礼,1994)。既然如此,超大型矿床与一般矿床的最大区别就是量的差异,而量的差别直接反映成矿物质供给的差异。

对大型、超大型矿床的预测,应该说我国地质科技工作者走在了世界的前列。由谢学锦、刘光鼎两院士为首席科学家的国家攀登 85B-34“找寻难识别及隐伏的大矿、富矿的新战略新方法新技术基础性研究”项目,把取得巨大经济效益和发展找矿工程学理论及方法摆在了首位。谢学锦院士从成矿物质供应量入手,根据积累了数以千万计的我国高质量的区域化探扫面数据,提出了地球化学块体理论,认为除了各种类型的局部分散晕、分散流及区域性异常之外,还存在一系列更宽阔的套合的地球化学模式谱系。这些宽阔的地球化学模式表明,地球上存在着特别富含某种(或某几种)金属的巨大的地球化学块体(geochemical blocks)(谢学锦,1995)。在这些地球化学块体中,由于成矿元素供应量巨大,因而可能在其漫长的多期地质过程中,逐步在块体内成矿地质条件有利的地点富集而形成密布着矿床的矿集区,或超聚集成一个或几个巨型矿床。故而可以根据每一地球化学块体内成矿元素的供应量的大小预测其中潜在的资源量。至于这些资源量是超聚集在一个或几个巨型矿床中,还是分散于一系列中小型矿床中,可以根据地球化学块体内部套合的地球化学模式中成矿元素的逐步浓集,用一种“逐步聚焦”方法追踪大型至超大型矿床可能存在的地点,并预测其可能的资源量。

刘光鼎院士从地球壳-幔系统演化的角度,提出应用深部地质构造研究大型、超大型矿床地质、地球物理背景,开展大型、超大型矿床预测工作。

赵鹏大院士提出了地质异常理论和方法,认为与成矿有关的条件都表现为地质演化过程中的地质异常事件,通过不同层次地质异常研究可以识别和圈定成矿可能地段→找矿可行地段→找矿有利地段→潜在资源地段→远景矿体地段。

王世称教授提出利用综合信息成矿预测理论与方法,将大型、超大型矿床、中型、小型矿床作为统一整体,即将矿集区作为研究对象,从分析矿床总体分布规律入手,研究地质条件组合的控矿规律性及各种地质条件之间的互相制约机制;通过应用对地质矿异常的“求异理论”来发现有意义的特殊地质矿异常,并建立筛选和评价这类特殊地质矿异常的评价准则;通过已知大型、超大型矿床的剖析以及大型、超大型矿床与同类中、小型矿床之间的对比研究,应用“相似类比”理论和方法,建立大型、超大型矿床综合信息找矿模型;分析、研究、划分矿床密集区(或金属省),以大型、超大型矿床密集区为模型单元,矿

床密集区或异常密集区为预测单元,通过空间实体的划分,充分利用 GIS 的空间分析功能对比分析,研究和提取综合信息成矿预测变量,采用多种统计、类比方法,建立大型、超大型矿床统计预测模型,进而实现对大型、超大型矿床的成矿预测。即以地质信息为前提,透视性信息(地球物理)为格架,确定性矿化信息(矿床、点)为基础,表观信息(地球化学、遥感)为向导,以寻找大型、特大型矿床为主要目标,强调能揭示深部矿化“显微露头”和地球化学背景的直接信息的先导作用,重视间接信息的复合印证及向直接信息的转化,突出找矿战略的实践性和有效性,正在成为本领域研究的热点和前沿。

从 20 世纪 70 年代后期以来,在总结成矿规律和找矿经验的基础上,程裕淇、陈毓川等矿床学家创立并完善了“矿床成矿系列”理论。按照矿床成矿系列的学术思路,先后在南岭、三江、秦岭、阿尔泰等重要成矿省进行了区域成矿规律的研究,极大地推动了这些地区的找矿工作。20 多年的实践证明,矿床成矿系列理论对于总结中国纷繁复杂的成矿规律具有实用性,比板块构造理论更加适合于中国多旋回渐进式演化、多成矿域交汇的实际情况,也更可能进一步发展出一系列的新的学科生长点。矿床成矿系列理论与综合信息找矿技术在数字时代的结合,将极大地促进我国的资源评价工作。本次研究就是要实现这种更高层次的结合,也必将产生比美国“三步式”等评价方法更加完善、更加适合于中国实际、更加先进的大陆成矿理论与评价技术。

从总体来说,我国在资源潜力评估和区域成矿学方面,虽然取得一定成果,但与当前地质找矿的基本要求比较起来,与先进国家比较起来,尚有一定的差距,主要体现在:

中国的地质演化比世界上任何一个国家都要复杂,中国是世界上唯一一个环太平洋成矿域、特提斯成矿域与古亚洲成矿域三大世界级成矿域相交汇的地质大国,中国也是少数几个成矿作用从太古宙一直延续至今的少数国家之一。板块构造理论等国外发展起来的地质理论及成矿学理论,只能部分地反映中国的地质情况;美国等国家总结的矿产资源评价方法对于中国来说显得“简单化”了。因此,要发展 21 世纪新的成矿理论,尤其是大陆成矿理论及复杂情况下的矿产资源评价技术,只有中国人自己才能做到,但以往更多的是引进技术,独创性成果甚少。另一方面,大量的地质、矿产资料,尤其是新中国成立以来半个多世纪的地质勘查资料尚未全面、系统地进行总结,无法为今后的地质找矿工作提供参考和借鉴。

总体来说,对我国重要的支柱性矿产资源潜力评价,我国只在 1984 年完成金、铁、铜、石灰岩 4 个矿种的资源总量预测。以后,此项基础工作再也没有开展过,由于当时的地质资料、勘查技术手段的限制,得出的成果远远满足不了当前矿产资源规划的要求。全国一轮、二轮成矿区划也主要从具体地区的找矿工作为研究目的,一些国家级的地质找矿科研专项也限定在某些具体地区的找矿工作,没有形成关于全国矿产资源潜力形势的综合性、全局性的成果,以致目前对我国一些重要紧缺性矿产资源的潜力仍不清楚。

区域成矿理论的基础研究与当代成矿学理论存在一定的差距,成矿地质环境系统研究还未开始,成矿学研究与矿产资源评价技术的结合有明显的差距,没有形成与国际矿产资源评价接轨的标准的评价模型和体系。

信息化程度不高,高新技术含量低,定量评价方法滞后,在预测评价工作中,地、勘、物、化、遥有机结合程度较低,成矿信息的提取和识别的技术方法研究不够系统,地质矿产成果的存储、管理及服务使用处在较为落后的水平上,难以满足矿产资源快速准确评价的需求。

以上方面的关键问题通过本书的研究加以解决。项目实施后,我国 21 世纪初矿产资源潜力评估将步入新技术应用阶段。

2. 在成矿预测的技术方法研究方面

1979~1984 年,原地质矿产部组织实施了全国第一轮成矿远景区划工作,取得了一系列重要成果。该成果在全国划分出 30 个成矿区带,6 个重点片区,作为“七·五”和“八·五”矿产勘查宏观布局和实施新一轮普查的依据。1981~1985 年间,我国又完成了铁、铜、金、石灰岩四种矿产的第一轮总量预测工作,提出了我国金矿资源潜力较大,总资源量在 1.5 万~1.65 万吨之间;石灰岩特别丰富,加工水泥后出口,比单纯出口煤的经济效益高 4~5 倍;铁矿资源较丰富,但贫矿多,需大量进口富铁矿,否则钢铁

企业的效益差;铜矿属我国紧缺资源,目前查明的资源供不应求,需进口才能满足我国国民经济发展和国家基本建设的需求。至1992年,在这些区带中共发现超大型、大型矿床和中型矿床150余处,提高了我国20世纪末和21世纪初矿产资源的保证程度。

1992年起,我国开展第二轮成矿远景区划工作,投入地勘费6500余万元,共设置127个项目,完成后圈出成矿远景区1208处,圈定矿产勘查跨世纪工程25片。至今国土资源大调查工作的主体仍然落在这25片范围内。此项工作初步总结了固体矿产成矿规律,应用我国地质学家独创的矿床成矿系列理论(程裕淇等,1979),对全国矿产进行预测,共圈出五大成矿域,16个Ⅱ级成矿区带,79个Ⅲ级成矿区带,提出中西部比东部具有更大的资源潜力。随着计算机技术的引入,第二轮成矿远景区划在技术方法上也取得了显著的进展,独创了地质异常法、综合信息法和地质理论—模型预测方法体系,研制了矿产资源评价系统(MRAS),使矿产资源评价进入计算机化、数字化、智能化新阶段。理论和技术的突破,使得第二轮成矿远景区划工作不但较以往工作有了突飞猛进的发展,也为当前的新一轮的全国矿产资源潜力评价工作奠定了新的基础。

过去30年来的成矿学和矿产资源潜力评价理论研究,基本上沿着两条主线发展,其一是以板块构造理论为基础,在宏观尺度上研究特定构造环境与特定类型矿床(群)之间的联系,发展成矿带的地球动力学与成矿作用理论,开展一个国家或地区的战略性矿产资源评价工作;其二是建立和改进各类矿床的形成模式和找矿模式(陈毓川等,2000),依据成矿理论和类比原理,实现矿床或矿体的定位、定量技术性资源评价。

与国际地质资料数字化和资源信息数据库建设的现状比较而言,我国在地球信息数据库建设方面取得到了一些成果。原地质矿产部初步完成了居世界领先的国家1:50万、1:20万地球物理(区域重力、航磁)数据库、1:20万化探数据库,完成全国1:20万地质数字化图库,完成了矿产资源储量数据库。正在建设全国矿产地、重砂、二轮区划成果数据库。

针对上述存在的问题,本项研究将应用我国大陆成矿理论与先进的矿产资源潜力评价方法和信息技术,实现对西部重要矿产资源潜力进行科学评价的目标。

三、我国西部地区矿产资源潜力评价工作进展概况

西部地区涉及我国四大成矿域中的特提斯成矿域、秦-祁-昆成矿域和古亚洲成矿域,在我国矿产勘查紧缺性、导向性固体矿产中,铜、金、银、铅、锌、铬、钴、镍、铝、铂、钾盐等具有明显比较优势。自1999年以来,我国开展了新一轮的地质调查与战略性矿产资源调查评价工作,其中大量的工作量是投放到西部的地区,其中:

在基础地质调查方面。已经完成的国家1:50万、1:20万地球物理(区域重力、航磁)数据库、1:20万化探数据库,1:20万地质数字化图库、矿产资源储量数据库和正在建设的全国矿产地、重砂、二轮区划成果数据库也为本书的实施提供了资料基础。中国地质调查局、新疆、内蒙古等地新开展的1:5万矿调工作,既可以为本次工作提供最新的资料,也可以与本项研究配合进行,实现“互动”。对西部以前工作的空白区开展了大量基础性地质工作,完成了1:250万中国西部地区固体矿产大型超大型矿床预测综合研究项目、1:25万地质填图、西藏1:20万航空磁法测量、1:20万化探空白补齐工作。

在矿产资源调查方面。自1999年以来,我国开展了新一轮的地质调查与战略性矿产资源调查评价工作。中国地质调查局2000年部署的矿产资源评价工作中,在西部(东经110°以西)共部署了60个项目,遍及华北陆块成矿省西部、天山-北山成矿带、西昆仑成矿带、东昆仑成矿带、阿尔金成矿带、祁连成矿带、甘孜-秦岭成矿带、扬子地台西南缘成矿区、三江成矿带、藏东成矿区、西藏—江两河成矿区等10个成矿区带。

在科学研究方面。国家也先后在西部地区开展了一系列攻关科学研究工作,如国家重点基础研究发展规划项目“大规模成矿作用与大型矿集区预测”(973)、“中亚型造山过程与成矿”、国家基础科技攻关新疆305项目等,对我国西部地区矿产基础地质问题研究起了很好的促进作用。“十五”后期,国家

科技部在基础科技攻关计划项目中设立了“中国西部优势矿产资源潜力评价技术及示范研究”课题(编号:2003BA612A-01),为本次地质大调查项目“我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估”的研究奠定了重要基础。

此外,综合信息矿产资源评价方法是我国地质学家提出的一套行之有效的基于信息提取和综合矿产资源评价方法,经过近 20 年的生产实践,取得了较好的矿产资源评价效果。该方法的倡导者王世称教授在“中国成矿体系与区域成矿评价”(陈毓川主持,1999~2004)等项目支持下,在新疆、云南等地的重要成矿带开展了综合信息矿产资源评价工作,取得了一定的成果和积累。因此,综合信息法和地质异常法、地质理论-模型预测构成的方法体系是本书的方法基础。

第二节 西部大开发对于矿产资源潜力评估的新要求

进入 21 世纪以来,我国实施了“西部大开发”战略,而西部大开发的基础是其潜在的矿产资源供给能力。那么,西部地区有什么样的矿产资源、哪些种类的矿产资源具有优势并可以作为国民经济发展的物质基础、矿产资源的空间分布如何等问题就是必须要解决的关键问题,而查明矿产资源有什么、有多少、在哪里、如何有效利用等问题即是矿产资源潜力评价的主要内容。可以说,矿产资源潜力评价不但可以为矿产地质勘查工作提供理论指导,同样也为政府部门制定国民经济战略规划提供科学依据。随着“九五”以来地勘工作重点的向西转移,尽快对西部地区优势矿产资源潜力进行定性的判断和定量的预测,为今后矿产勘查工作的部署和政府部门制定产业规划提供科学依据,正确引导国有资本和民间资金在公益性地质工作的基础上进行商业性风险勘查,已是迫在眉睫。因此,当前西部大开发战略的实施对西部矿产资源潜力的评估工作提出了一系列新要求。

一、对理论创新的新要求

西部地区矿产资源丰富,以往在对西部地区的成矿规律、成矿作用等方面的研究工作,不同程度地运用了国内外当前先进的成矿理论,如:叶庆同、侯立玮等(1994)运用矿床成矿系列理论对三江地区的成矿规律进行了研究,侯增谦等(2003)运用大陆碰撞理论对冈底斯成矿带的斑岩型铜矿进行了研究。但是,立足于西部地区创立起来的矿床成矿理论或者对以往成矿理论的发展有重大贡献的研究成果还是比较少的,尤其是具有中国特色或者中国西部特色的原创性成果比较少。因此,迫切需要加强对西部地区成矿作用和成矿规律的创新性研究,以便于为矿产资源潜力的评价提供理论依据。本次研究运用矿床成矿系列理论和成矿体系理论,对冈底斯成矿带的成矿演化历史进行了分析,提出了在冈底斯成矿带演化的不同阶段均可能存在成矿作用并可能找到成型矿床,也就是说,冈底斯的成矿作用不只是局限在 14Ma 前后,在其他的历史阶段也必然存在成矿作用。在这样的思路指导下,通过唐菊兴、李光明等人对西藏日喀则地区雄村铜金矿的详细研究(在企业支持下,唐菊兴教授还承担了雄村铜金矿的勘探任务,于 2007 年提交了勘探报告并通过了国土资源部主持的评审),结果证实雄村金矿的形成时代要早于 14Ma(四个辉钼矿的 Re-Os 模式年龄分别为 $173.6 \pm 2.5\text{Ma}$ 、 $169.5 \pm 2.6\text{Ma}$ 、 $176.8 \pm 2.5\text{Ma}$ 、 $172.5 \pm 2.4\text{Ma}$),与驱龙斑岩铜金矿和甲玛矽卡岩型铜金矿的成矿时代明显不同。最近,我们对冈底斯成矿带上另外两个新发现矿床——沙让钼矿和亚贵拉铅锌矿的同位素年龄进行了初步研究,获得沙让钼矿中辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为 $51.9 \pm 0.91\text{Ma}$ 和 $52.69 \pm 0.77\text{Ma}$,亚贵拉矿区 3 个辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为 $65.53 \pm 1.07\text{Ma}$ 、 $60.71 \pm 1.34\text{Ma}$ 和 $57.43 \pm 1.08\text{Ma}$,有 1 个辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为 $161.9 \pm 14.8\text{Ma}$ 。上述成果初步证明冈底斯成矿带不单单存在晚第三纪的成矿作用,也存在早第三纪的成矿作用,而且还存在燕山期的成矿作用。可见,冈底斯成矿带也可以构成一个以铜金为特色的成矿谱系。因此,本次研究试图在成矿带成矿规律研究的基础上,在成矿体系理论方面也有所发展。

二、对矿产资源潜力评价技术方法的新要求

当前以新一轮国土资源大调查信息资料为基础,在新的成矿理论指导下,开发和应用当代最新的矿产资源评价技术,特别应用计算机 3S 技术、海量分布式大型数据库技术对我国西部新中国成立以来地质矿产勘查信息进行综合分析,对我国西部地壳近地表(1km)矿产资源种类、矿床类型、分布区位、资源潜力、经济价值和发现概率进行科学评价。开展本项研究的目的是为国家制定西部矿产资源勘查规划及合理部署勘查工作提供科学依据。

未发现固体矿产资源潜力评价是对我国大陆地区各地质单元的评价金属矿种的不同矿床类型可能出现的位置、数量及经济价值进行科学评价。

在国家实施西部大开发战略的前提下,对于西部矿产资源的潜力进行科学的评价并总结出一套有效的评价技术方法,既有科学意义又有现实意义。西部地区铜、金、银、铅、锌、铬、钴、镍、铝、铂、钾盐等具有明显比较优势,目前我国最大的铜矿(西藏的驱龙铜矿)、最大的铅锌矿(云南兰坪的金顶铅锌矿)、最大的镍矿(甘肃金川镍矿)以及绝大部分的铂族金属(甘肃金川、云南金宝山和四川杨柳坪)和稀有金属都分布在西部地区。此外,近年来新发现的许多重要矿床和潜力极大的成矿带也都分布在西部,如新疆阿舍勒的火山岩型铜矿、东天山的斑岩型铜矿、西藏一江两河的斑岩型铜矿、青藏高原北部的砂岩型铜矿、峨眉山玄武岩分布区的玄武岩型自然铜矿床、陕甘川金三角的金矿、滇黔桂金三角的金矿、三江地区的夏塞银铅锌多金属矿床、扬子地台西缘不同时代不同类型不同成因的铂族元素矿床及罗布泊的钾盐等等。这些新矿产地的发现,充分证明加强西部地区成矿规律的研究,总结出一套资源潜力评价(包括定性分析和定量预测)的办法,是非常必要的。

三、西部地质找矿工作的现实需要

发现更多、更大、更好的矿床,是当前西部地区矿产资源工作(包括潜力评价和地质勘查工作)的最大的现实需要。首先要明确西部地区有哪些优势矿产资源,确定主攻目标,尔后要尽快地提高西部地区的研究程度,尤其是提高成矿规律的研究,为有效、快速地发现新的矿产地或者扩大已知矿产地的矿产资源量提供科学依据。

1. 西部矿业发展对资源准备的需要

矿产资源是工业的粮食和血液,是国民经济建设与社会发展的物质基础。其保障程度直接关系到国家安全。21 世纪前 20~30 年是我国实现社会主义市场经济、加速工业化阶段、步入中等发达国家,实现第三步战略目标的关键时期。随着我国工业化快速进程和人口高峰的逼近,我国对矿产资源的消费需求将急剧膨胀。不需十年我国一些重要的支柱性矿产如铜、铝、锌、铁等将成为世界第一消费大国。但目前我国矿产资源储量保证年限锐减,矿产资源的紧张局面越来越严重。除了石油天然气等能源矿产外,有色金属和贵金属及特种矿产资源的紧缺同样突出,许多大宗支柱性矿产资源处于产量增速大于储量增速的失衡状态,保证年限就在 10 年左右。另外,随着国民经济的发展和人民群众生活水平的提高,对金、铂、金刚石等贵金属和宝玉石矿产资源的需要日益增大,使原本紧缺的资源更加紧缺。2001 年,我国进口铂金 40 吨,占世界总产量的 55%,国内铂金消费已经超过了 20 亿美元,成为世界上最大的铂金消费国。

我国现有有色金属矿山面临着浅部资源近于枯竭、深部资源不清、开采成本加大、外围接替资源供不应求的严重局面,据有关权威部门的统计,到 2000 年底,我国 10 种常用有色金属原料的矿山生产能力为 550 万吨,远远不能满足 900 万吨的冶炼需要,40% 以上的铜精矿、30% 左右的氧化铝依赖进口。县级以上国有矿山(911 座)2/3 以上进入中晚期,开采储量急剧下降,矿山生产陷于困境,并涉及社会安定等一系列问题。预计到 2010 年一半以上的矿山要关闭,到 2020 年只有不到 20% 的矿山能维持生产。如果考虑到加入 WTO 的影响,我国矿山将受到国际市场更大的冲击。因此,增加资源量和储量,