

A COMPUTERAIDED DECISION MODEL FOR ASSESSMENT OF MINERAL RESOURCES

矿产资源评价决策模型

以攀西钒钛磁铁矿为例

A test case of bearing Vanadium
Titanomagnetite in Panzhihua-Xichang region

四川科学技术出版社
Sichuan Publishing House of Science and Technology

矿产资源评价决策模型

——以攀西钒钛磁铁矿为例

A COMPUTERAIDED DECISION MODEL FOR ASSESSMENT OF MINERAL RESOURCES

——A test case of bearing Vanadium
Titanomagnetite in Panzhihua—Xichang
region

Yang Benjin Guo Luhe Peng Fouyu et al.,
(The Panzhihua—Xichang Geologic Team)

杨本锦 郭履和 彭富钰 廖刚琴
郭建国 张冬林 郭本钰编著

四川科学技术出版社

SICHUAN PUBLISHING HOUSE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

一九八五年·成都

CHENGDU 1985.

责任编辑：崔泽海 罗孝昌

矿产资源评价决策模型

出版：四川科学技术出版社

印刷：四川地矿局测绘队印刷所

发行：四川省新华书店

开本：267×1092毫米 1/16

印张：11 插页：

字数：264千 插图：

印数：1—1,200

版次：1985年10月第一版

印次：1985年10月第一次印刷

书号：17298·15

书价：3.30元

前 言

本书以攀西地区钒钛磁铁矿为实例,论述计算机资源评价决策模型的建立原理和方法。重点介绍怎样应用丰度法、矿床模拟法、时率法、回归分析方法,预测区域矿产资源总量和怎样预测矿体埋藏深度、可能品位和可能勘探成本。每种方法均附用Basic语言编写的计算机程序,所有程序组合即构成资源评价决策模型软件包。

本书是集体劳动成果,其中基础地质资料是多年来广大地质职工辛勤劳动的结晶。直接参与本书编写的人员分工如下:彭富钰同志编写第三、十、十一章,郭履和同志编写第四、九章,杨本锦同志编写第六、八章,张冬梅同志编写第七章,何辛同志编写第二章,郭建国同志编写第五章,第一章由周信国、郭履和同志编写,第十二章陈茂勋、张冬梅同志编写,第十三章郭履和、杨本锦同志编写。英文摘要、目录由陈茂勋翻译,张立生校定。陈茂勋同志还为本书撰写了绪论。计算机程序由张冬梅、何辛、郭建国、郭履和、杨本锦同志分别编写,最后由郭建国同志汇总统一。书中插图全部由廖刚琴同志编制和清绘。全书最后由杨本锦、郭履和、彭富钰等同志执笔统一编著而成。

地质矿产部矿床地质研究所朱裕生同志从专题研究到本书编写,自始至终给予热情帮助和指导,为我们解决了许多关键性的技术问题。我局廖升学、肖懿同志对本书编写要点作了具体指导并提供宝贵资料。

本专题研究一开始就得到省局王朝钧、张云湘总工程师,胡正纲、秦震、郝子文副总工程师和我队杨忠华、潘竹梅、谢贻谋等领导的关心和支持。长期从事钒钛磁铁矿找矿勘探和科研工作的周信国、黄炳新高级工程师,刘玉书、杨顺枢、田竞亚等工程师为专题研究和本书编写提供了他们积累的经验和资料。对上述同志我们表示深深的谢忱!

作 者

一九八五年一月

目 录

绪 论

第一章 攀西钒钛磁铁矿床简要地质特征..... (3)

第一节 攀西钒钛磁铁矿地质调查史..... (3)

第二节 钒钛磁铁矿在世界上的分布及其大地构造环境..... (3)

第三节 攀西含钒钛磁铁矿基性超基性岩地质特征..... (4)

第四节 矿床地质特征..... (7)

第二章 数据预处理..... (10)

第一节 数据预处理的必要性..... (10)

第二节 可疑观测值的剔除与缺失数据的补齐..... (10)

第三节 数据转换..... (13)

第四节 曲线变直线..... (15)

第五节 小结..... (18)

第六节 格拉布斯程序“GRUBBS”..... (19)

第七节 正态检验及转换程序“NORMAL”..... (22)

第八节 曲线变直线通用程序..... (25)

第三章 丰度法..... (29)

第一节 方法的回顾..... (29)

第二节 方法选择的地质依据..... (29)

第三节 判别岩体的含矿性..... (31)

第四节 模型岩体的选择..... (31)

第五节 富集系数计算..... (32)

第六节 预测结果..... (36)

第七节 岩石化学特征值计算程序“ZHOU”..... (39)

第八节 逐步二级判别分析程序“DISCR”..... (42)

第九节 富集系数计算程序“CONC”..... (47)

第四章 据岩体资料用矿床模拟法预测..... (50)

第一节 方法选择的地质依据..... (50)

第二节 预测方法简述..... (50)

第三节 特征分析..... (51)

第四节 资源量预测..... (59)

第五节 特征分析程序“CHAR”	(61)
第六节 一元多项式回归程序“MULTI—REG”	(67)
第五章 据图件资料进行预测的矿床模拟法	(71)
第一节 预测方法简述	(71)
第二节 建立成矿模型	(72)
第三节 蒙特卡洛模拟	(82)
第四节 频率直方图程序“HI”	(88)
第五节 蒙特卡洛模拟程序“MONT”	(91)
第六章 时率法	(95)
第一节 预测方法简述	(95)
第二节 预测步骤	(95)
第三节 成果解释	(98)
第四节 散点图绘图程序“DOT”	(98)
第五节 广义S型曲线回归分析程序“S—REG”	(102)
第七章 伴生组分资源量预测	(105)
第一节 伴生组分的赋存状态、分配规律及综合利用	(105)
第二节 资源量预测	(107)
第八章 可能品位预测	(109)
第一节 逐步回归分析	(109)
第二节 指数函数拟合	(111)
第九章 矿体的可能埋藏深度预测	(113)
第一节 分异特征论证	(113)
第二节 见矿距离回归分析	(118)
第三节 小结	(120)
第四节 逐步回归分析程序“PROG—REG”	(121)
第十章 金刚石成矿预测	(125)
第一节 金刚石成矿地质条件分析	(125)
第二节 利用岩石化学成分判别	(126)
第三节 地质找矿线索	(131)
第四节 小结	(131)
第五节 三角图解程序“TRI”	(131)
第六节 双三角图解程序“BTR”	(134)

第十一章 矿床勘探成本分析	(138)
第一节 计算方法	(138)
第二节 勘探成本与时序的关系	(139)
第三节 勘探成本与矿床规模间关系	(140)
第四节 小结	(141)
第五节 广义指数曲线回归分析程序“EXP-REG”	(142)
第十二章 矿床地质经济评价	(145)
第一节 攀钢铁矿资源的保证程度	(145)
第二节 钒钛磁铁矿的地质经济地位及评价	(146)
第三节 小结	(152)
第四节 时序绘图程序“GL”	(153)
第十三章 结 论	(156)
第一节 预测方法评述	(156)
第二节 预测资源量分级	(157)
第三节 预测结果	(158)
第四节 地质解释	(159)
第五节 存在问题	(160)
ABSTRACT	(161)
CONTENTS	(163)
Chapter 1, The brief geological charactersties of bearing Vanadium Titano- magnetite deposits in panzhihua—Xichang region	(163)
Chapter 2, Data Preprocessing	(163)
Chapter 3, Abundance estimation	(163)
Chapter 4, Prognostication by deposit simulation According to informa- tion of the massif	(164)
Chapter 5, Prognostication by deposit simulation According to geologic map	(164)
Chapter 6, Time—rate method	(164)
Chapter 7, Prognostication of resource extent of accompanying elements	(164)
Chapter 8, Prognostication of potential ore—grade	(164)
Chapter 9, Prognostication of potential buried depth of ore—body	(164)
Chapter 10, Metallogenic prognosis of diamond	(164)
Chapter 11, Analysis of prime cost of geological prospecting of a deposit	(164)

绪 论

现代科学发展的一般趋势是由定性研究走向定量研究。一门科学的定量化程度,决定了这门学科的成熟程度;如果没有数学的渗透和应用,那么任何科学都是不完善的。遗憾的是,地质学这门古老的学科恰恰在这一点上落后于其它兄弟学科。地质科学要改变这种落后状况,不断的向定量化发展,与数学结合和使用电子计算机是关键的一着。近半个世纪以来,世界经济的发展使得人们更多地关注于能源、资源、水和环境的保护,对地质科学提出了越来越高的要求。广泛的区域地质调查和矿产普查勘探中地球物理、地球化学、遥感技术的应用,使地质工作者的工作领域不断扩大。大量资料信息的分析处理,从客观上使数学在地质学上有了用武之地。人类当前面临的新的技术革命,要求在生产过程控制,经济技术管理、劳动管理方面普遍应用电子计算机进行控制,优化生产,实现环境监测,资源预测,生产过程的自动化。同时,也要求在地质勘探作业中逐步应用电子计算机,实现资料搜集、信息提取、数据处理、科学计算、资料整理和成图自动化。可以预言,地质学与现代数学和电子计算机结合,将给地球科学带来一场彻底的变革,这场变革将要涉及的方面很多,如地质工作程式,找矿勘探方法,组织管理等。而其中最引人注目的莫过于建立计算机资源评价决策模型,利用电子计算机找寻和评价矿产资源。

计算机找矿是理论找矿的新发展。在找矿难度越来越大的今天,地质找矿在许多地区和许多矿种都进入了寻找隐伏矿、难辨认矿的新阶段。找矿空间已由原来的二维空间发展到三维空间。地质科学正朝着上天(宇航地质)、入地(深部地质)、下海(海洋地质)和全球化(将地球作为整体研究)的多极化研究方向发展。在地质找矿工作上,由于深部矿体在地表反映的信息已不是直接找矿信息或强信息,而通常是以不同物理、化学参数反映出来的间接信息和弱信息。这些信息虽数量众多,但与矿床本质之间的关系十分模糊,人们难以确定哪些是主要因素,哪些是次要或干涉因素,找矿效果仍不理想。电子计算机能高速地、大容量地储存和定量分析数据,进行智能模拟;从众多的成矿控制因素中筛选出主要成矿控制因素;把不同专业、不同手段取得的多维、多色彩资料,经过数学分析、归纳、推理、联想,吸其精华,扬其糟粕,抽象成矿产资源评价决策模型。以便地质找矿工作者能够通过多因素的总合分析,科学客观地总结成矿规律,指导找矿。据此人们可以看出地球科学从传统地质学向地球化学、地球物理学,以至计算机地质学发展的必然趋势。

四川省地质矿产局攀西地质大队资源预测研究组于一九八一至八三年承担了《攀西钒钛磁铁矿资源总量预测及方法研究》这一地质矿产部的重点科研课题。该项研究包括国外利用电子计算机进行资源预测与评价方法的引进和消化,钒钛磁铁矿资源预测评价方法的选择,模型参数的确定,资料 and 数据的预处理及标准化,计算机程序设计,输出结果的综合解释等。在前人积累的大量宝贵地质资料的基础上,在矿床研究所朱裕生同志的指导与配合

下,应用国际地科联第98项计划——矿产资源评价中使用计算机的准则所推荐的方法,经过改进和创新,建立了攀西钒钛磁铁矿计算机资源评价决策模型。该模型由矿床模拟法、丰度法、时率法、回归分析、特征分析、判别分析等地质和数学方法组成。当你按照计算机语言、程序向该模型输入有关地质资料和数据后,计算机将自动输出:什么地方有矿?有多少矿?品位如何?埋藏多深?勘探成本多少?经济效益如何等评价矿床所必须的资料,供地质人员进一步工作时参考。这个模型不仅可用于钒钛磁铁矿,其方法、思路和程序亦可用于其它地区和其它矿种。

在该项专题研究中,先后完成的《国外区域矿产资源总量预测方法》一书编译和十八项中间性研究成果、专题论文,都已公开出版或在有关学术会议交流或期刊上发表。最终研究报告完成后,地质矿产部科学技术司、全国地质资料局、矿床地质研究所于一九八三年十二月组织评审验收,认为“报告内容丰富、资料齐全、论据充分,具有国内先进水平,是一份有价值的矿产资源总量预测方法研究成果”建议向全国地质系统推广。经四川省人民政府批准,一九八四年十二月八日四川省科学技术委员会发布公告授与该研究成果一九八四年度四川省重大科技成果奖。《矿产资源评价决策模型》一书,就是从方法学的角度出发,根据上述研究成果写成,向读者展现地质找矿工作中应用电子计算机的美好前景。鉴于该书的宗旨主要是提供一种思路与方法,因此对其中一些实例的数据,笔者在编撰时进行了技术处理,并不都是真实的,敬请读者原谅。

建立矿产资源评价决策模型,利用电子计算机找矿的研究工作还是刚刚起步,难度大,探索性强。攀西地质大队总量预测组的同志作了许多有益的工作。但总的说来,他们建立的模型内涵尚待丰富,模型的预测能力亦有待进一步提高和在今后的实践中完善。

第一章 攀西钒钛磁铁矿床 简要地质特征

摸清矿床的成矿地质条件、成因类型以及矿床地质特征,是建立矿产资源评价决策模型的先决条件,也是选择各种矿产资源评价方法的地质依据。

第一节 攀西钒钛磁铁矿地质调查史

攀西钒钛磁铁矿的地质工作,最早是1936年常隆庆、殷学忠到攀枝花铁矿的倒马坎矿区进行地质调查。继后1940年常隆庆、刘之祥又到攀枝花铁矿的兰家火山、尖包包矿区工作。他们著有《宁属七县地质矿产志》和《康滇边区之地质矿产》等文献。对兰家火山、尖包包矿区估算了地质储量^①。解放前对本区钒钛磁铁矿进行过工作的还有汤克成、秦馨发、李善帮、陈正、薛承凤、郭文魁、业治铮等地质工作者。但限于当时条件,对矿床规模、品位、产状、成矿规律等均缺乏系统了解。

解放后,1955年成立了531地质队,对攀枝花钒钛磁铁矿进行系统的普查和勘探工作。随后又在攀西地区相继开展了大规模的区域物、化探和地质找矿工作,先后发现了红格、白马、太和等几个大型矿床。在对这些矿床进行勘探的同时还进行了大量科学研究工作。参加研究的主要单位有四川省地质局106地质队、地科院矿床地质研究所、峨眉矿产综合利用研究所、中科院贵阳地化所、成都地质学院、成都地质矿产研究所及后来成立的攀枝花地质综合研究队。通过对矿床的勘探和科学研究,基本查明了区内基性超基性岩体的岩石化学、矿物特征、岩相分带、韵律结构及其与成矿的关系。对各矿床的成矿地质条件、矿床地质特征、矿石物质组分及其赋存状态、分布规律、矿石选冶性能等均作了系统深入地研究,并提交了相应的报告。这些成果为建立攀西钒钛磁铁矿资源评价决策模型奠定了基础。

第二节 钒钛磁铁矿在世界上的分布 及其大地构造环境

世界上规模巨大经济价值很高的钒钛磁铁矿、铬铁矿、铂族金属矿床等多与层状基性超

^①王朝钧、缪以琨、黄淑德1984年“攀枝花式钒钛磁铁矿床勘查历史的回顾与展望”

基性杂岩体有关,如被称为世界岩浆金属矿床最大宝库的南非布什维尔德杂岩体就是一例。这类岩体总是沿一定的地质构造环境成带分布,通常在长达数百公里的成矿带内形成数十个含矿岩体,单个岩体的规模也往往非常巨大。如布什维尔德岩体面积达67000平方公里,美国斯蒂尔沃特岩体达181平方公里,我国攀西红格岩体群,虽被后期构造破坏,断续出露面积亦达100平方公里。矿体在这类岩体中常成层出现,厚度大且稳定,似乎可视矿体为岩体某些旋回的组成部分,而且随岩体的岩相带变化,形成一套有工业价值的铬、铜镍、钒钛磁铁矿等金属矿床成矿系列。

对于层状杂岩体分布的构造环境,随着板块理论的研究和发展,近年来一些学者对一些研究较详岩体也纷纷提出了新的认识。我们通过对攀西地区层状杂岩体的研究,结合国内外一些学者对层状杂岩体构造环境研究的评述,可以说世界各地成带分布、规模巨大的层状基性超基性杂岩体,都分布在地台或地盾区的巨大引张构造带内。这些引张构造均切穿岩石圈,地幔岩浆沿此构造上涌侵入于地壳浅部,在引张构造不断扩张,上涌岩浆源得到不断补充和地质环境较为稳定的条件下,岩浆从容分异堆积而形成层状岩体和钒钛磁铁矿床。

第三节 攀西含钒钛磁铁矿基性

超基性岩地质特征^{①②}

本区位于杨子古板块西部的康滇大陆古裂谷带中段,区内火成活动频繁,地质构造复杂(图1-1)。

区内钒钛磁铁矿床,无一例外的产在基性超基性岩体中,然而并非所有基性超基性岩体均含钒钛磁铁矿床。据统计,目前本区发现有155个岩体,其中能形成钒钛磁铁矿的仅有38个岩体。这些含矿岩体的主要特征如下:

一、含矿岩体的时空分布

1. 含矿岩体都分布在北起冕宁,南至攀枝花以南,长达300多公里,东西宽3~5公里的川滇南北向裂谷构造带内,受安宁河深断裂、昔格达深断裂和攀枝花深断裂的控制。尤其集中分布在裂谷带内的锯齿状剪切拉张地段。以太和、白马、攀枝花、红格四大含矿岩体为中心成群产出,有明显的丛集趋势。超越裂谷带的范围,则未发现含矿岩体。

2. 含矿岩体一般多侵位在上震旦统观音岩组和灯影灰岩之中,或侵位在震旦系与前震旦系地层不整合面间。用钾氩法测定同位素年龄均在3.34~3.60亿年之间,最近用U—pb法测定辉长岩中的磷灰石年龄为3.06亿年,测定锆石年龄为2.37亿年(碱性岩脉),一般为3.4亿年,属海西早期。岩体中硫稳定同位素 δS^{34} 在-1.9~5.6‰之间,说明岩浆物质来源于

①周信国、唐兴信、方绍枚等1981年“攀枝花——西昌地区钒钛磁铁矿成矿规律与预测研究报告”。

②卢纪仁、施泽民等1980年“攀枝花——西昌地区钒钛磁铁矿共生矿物质成分研究报告”。

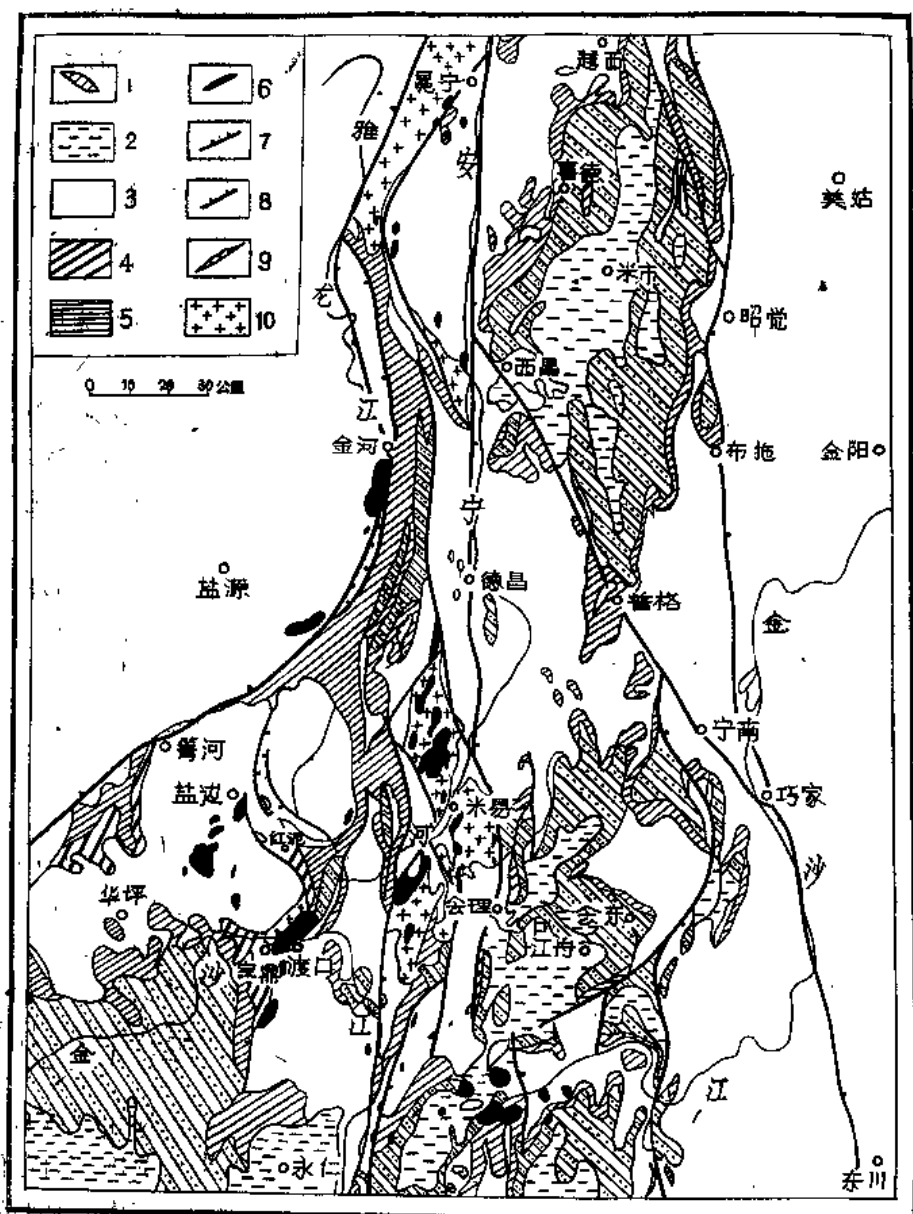


图1-1 攀西区域构造略图 (据骆耀南^[1] 原图略改而成)

1. 上三叠统宝鼎组; 2. 上白垩统一古新统; 3. 侏罗系一下白垩统飞天山组;
4. 上三叠统丙南组一大坪地组; 5. 上三叠统海相地层; 6. 基性超基性岩;
7. 逆掩断层; 8. 同生正断层; 9. 冲断体; 10. 轴部裂谷岩浆杂岩带

上地幔。

3. 凡为含矿岩体，均有碱性正长岩和碱质玄武岩相伴随，即所谓的“三位一体”。三者实质上是同源碱质玄武岩浆分异演化不同阶段的产物。

二、含矿岩体主要造岩矿物的矿物学特征及其分布规律

尽管各含矿岩体的岩石类型组合不同（有两种组合：一是辉长岩——橄榄辉长岩、橄长岩组合；二是辉长岩——辉石岩——橄辉岩组合），但是它们的造岩矿物基本相同。主要斜长石、辉石和橄榄石三种。三者岩体中的含量互为消长关系，随岩体从上至下呈有规律的变化。

1. 斜长石：均以拉长石为主，An成分一般变化在44~73%之间。随岩体从上至下斜长石的含量逐渐减少，而其中的An成分则逐渐增加。

2. 辉石：本区含矿岩体中的辉石几乎全为单斜辉石系列，没有或很少见有斜方辉石系列。其化学成分中 TiO_2 含量比一般普通辉石高若干倍，而低于钛普通辉石，故命名为含钛普通辉石。它与同类型辉石成分相比，具有低铁（FeO）、镁（MgO）而高钙（CaO）的特征。辉石矿物含量有随岩体自上而下递增的规律。

3. 橄榄石：以贵橄榄石为主，一般在岩体或韵律旋回的下部比较富集。随岩体（或韵律旋回）从上到下橄榄石的含量递增，橄榄石中镁橄榄石成分（Fo）亦从小到大，一般从70~80%。

三、含矿岩体的分异特征与矿体的赋存规律

凡含矿岩体均分异良好，且具有明显的韵律旋回和层状构造。这种韵律旋回和层状构造是由不同的岩石类型，按照一定的顺序多次重复出现而构成的。它反映了岩浆结晶作用和矿物的堆积顺序。在一个理想的完整的韵律旋回中，成岩作用的基本顺序是包橄榄岩→橄榄岩→钛磁铁矿橄辉岩→钛磁铁矿辉石岩→钛磁铁矿辉长岩→暗色（富磷灰石）辉长岩→浅色辉长岩。这种成岩作用顺序，在不同的含矿基性超基性岩体中，由于岩浆结晶分异程度不同，序列的完整程度就不尽相同，因而构成了各含矿岩体的个性。

实践证明，岩体的分异程度、韵律旋回和层状构造与岩体的含矿性和矿体的赋存规律有密切的关系。一般说来，岩体的分异程度愈好，韵律旋回和层状构造愈发育，则岩体的含矿性就愈好。就整个岩体而言，下部韵律层含矿性较上部好，在同一韵律层内亦是下部较上部为好。矿体通常都富集在每个韵律旋回的底部，各伴生元素亦有相似的变化规律。

四、含矿岩体的岩石化学特征

1. 该区含矿岩体在岩石化学方面与国内、外同类岩体相比较，具有更为富铁、钛，钙偏高的特点，钛一般高出1~4倍，钙高出1~3倍；

2. M/f 比值（原子数之比）较小，变化于0.2~3.22之间，一般为0.5~2之间；

3. 基性度 $[Mg + (Fe)/Si]$ 变化于0.2~1.85之间, 一般为0.4~1.3之间, 且从上到下递增;

4. $K_2O + Na_2O$ 变化在0.5~5%之间, 一般为1.5~3.5%之间;

5. SiO_2 不饱和。

综上所述, 本区含矿岩体属于富铁、钛, 钙偏高, 贫硅, 偏碱性的基性超基性岩。化学成分上的这些特点是找矿的重要标志之一。

第四节 矿床地质特征

本区钒钛磁铁矿床属岩浆结晶分异——火成堆积而成的典型岩浆晚期矿床。已获储量占我国同类矿床总储量的4/5以上^[2]。主要集中分布在太和、白马、攀枝花和红格四大矿区及其外围, 按照含矿岩体的岩石类型组合不同, 分为基性岩型(辉长岩型)和基性——超基性岩型(辉长岩——辉石岩——橄辉岩型)两大类。前者以攀枝花矿床为代表(属于这个类型的还有太和、白马等), 后者以红格为代表(属于这个类型的还有安宁、白草、中干沟、秀水河等)。两类矿床虽各有其独特之处, 但由于它们的控矿构造及成矿地质条件基本相同, 故而有显著的共同特征。

一、矿床的成矿序列

本区各钒钛磁铁矿床的一个重要特点是成矿序列基本相同。随着岩浆由超基性向基性(或由基性程度高向基性程度低)方向演化, 其成矿序列依次是: 岩体底部含铬、镍、铂的钒钛磁铁矿层→岩体中、下部以钒钛磁铁矿为主的钒钛磁铁矿主矿层→岩体中上部以钛铁矿为主富含磷灰石的钒钛磁铁矿层或钛铁矿层→岩体上部则为不具工业价值的含矿基性岩(辉长岩)。这种成矿序列与一定的岩石类型相联系, 不同矿床的完整程度, 不完全一致, 而有的矿床(如红格)这种成矿序列呈多次重复出现, 则使矿床显现多次韵律旋回的特点。

二、矿体的形态、产状特征

矿体均产在含矿基性超基性岩体的中下部或每个韵律旋回的底部。实质上矿体本身亦是岩体的一部分, 二者之间常为渐变过渡或相变接触关系。矿体的形态产状与岩体一致, 均受岩体底板形态的影响, 一般呈层状、似层状或透镜状。矿体的厚度, 视各矿床的具体情况而定, 一般数米至数十米不等。

三、矿石物质成分及其变化规律

(一) 矿石中主要矿物及其产出特征

本区各钒钛磁铁矿床矿石的矿物成分及其产出形态特征基本相同。矿石矿物主要是钛磁

铁矿，次为钛铁矿，少量磁黄铁矿，黄铁矿、黄铜矿、砷铂矿等金属硫、砷化合物。脉石矿物主要有辉石、斜长石和橄榄石（脉石矿物前已叙及此处从略）。

1. 钛磁铁矿和钛铁矿

二者密切共生，产出形态亦基本相同。二者的90%以上呈半自形——它形粒状集合体充填于橄榄石、辉石、斜长石颗粒之间，构成典型的海绵陨铁结构和粒状镶嵌结构，这种产出形态是工业利用的主要对象；其次是呈自形、半自形晶粒嵌布在橄榄石、辉石、角闪石中，形成嵌晶结构和假斑状嵌晶结构；还有固溶体分离的钛磁铁矿，钛铁矿常呈细小片晶状分布于辉石、角闪石和部分斜长石、橄榄石的解理裂隙中，构成闪光构造和环带状构造。

2. 金属硫、砷化合物

该类矿物含量虽少（仅占0.5~2%），但是矿石的重要组成部分。它们含有较高的铜、钴、镍和铂族等元素可供综合回收利用。以磁黄铁矿、黄铁矿为主，二者之和占该类矿物的90%以上。主要呈它形粒状集合体充填于铁钛氧化物、硅酸盐矿物颗粒之间；其次是呈细脉或网脉状充填在岩矿石节理裂隙中。硫、砷化合物在岩体中有一定的富集层位，且有明显的分带性，一般是岩体上部基性程度低，以黄铁矿为主。岩体下部基性程度增高，以磁黄铁矿为主。钴、镍硫化物均与磁黄铁矿密切共生。铂族元素亦主要分布在岩体的下部。

硫、砷化合物的含量随矿石品位增高而增高。

（二）矿石主要化学成分的变化特征

尽管本区各个钒钛磁铁矿床的规模大小悬殊，有的几十亿吨，有的仅几千万吨，但矿石中 TFe 、 TiO_2 、 V_2O_5 三种主要化学成分的含量却比较稳定，三者为正相关关系。 TFe/TiO_2 、 TFe/V_2O_5 、 TiO_2/V_2O_5 三种比值的波动范围不大，一般 TFe/TiO_2 为2.5~4， TFe/V_2O_5 为105~116， TiO_2/V_2O_5 为25~45。而国外的同类矿床，如南非的布什维尔德层状矿床，三种比值的波动范围较大，分别为2.1~4.7，19~161，4.5~76.6。这是本区钒钛磁铁矿床区别于国外同类矿床的又一特征。

（三）主要矿石矿物中物质成分的变化规律

1. 钛磁铁矿中主要组分的变化特点

（1）钛磁铁矿中 TFe 、 V_2O_5 的含量变化与矿石中的 TFe 含量有密切联系，它们随矿石中 TFe 的含量增高而降低。

（2）钛磁铁矿中 TiO_2 的含量随矿石中 TFe 含量的增高而增高。

（3）钛磁铁矿中 Cr_2O_3 含量与含矿岩体类型密切相关，在基性——超基性岩型含矿岩体中，钛磁铁矿含 Cr_2O_3 明显增高。

（4）钛磁铁矿中微量元素Ga的含量比较稳定，一般为0.004~0.005%。有随矿石变贫而含量增高的趋势。

2. 钛铁矿中主要组分的变化特点

（1）钛铁矿中 TFe 含量随矿石中 TFe 含量的增高而降低； TiO_2 含量随矿石中 TFe 含量的增高而增高。这与钛磁铁矿类似。

（2）钛铁矿中 MgO 、 CaO 含量高是一个突出特点，它们随矿石中 TFe 、 MgO 含量的增高而增高。

（3）钛铁矿中 MnO 平均含量较一般钛磁铁矿的 MnO 高2~3倍，它随矿石 TFe 含量的增

高而降低。

四、矿石的结构构造特征

(一) 矿石的结构

以陨铁结构为主，嵌晶结构次之。

1. 陨铁结构：系铁钛氧化物呈半自形——它形粒状集合体充填于先晶出的橄榄石、辉石、斜长石等脉石矿物颗粒之间而成。若金属矿物少，呈零散地充填在脉石矿物颗粒之间，则称为填隙状陨铁结构。若金属矿物增多，彼此连接呈网环状，则称为海绵陨铁结构。当金属矿物再增多，脉石矿物就象孤立分布在金属矿物基质中的斑晶时，则称为假斑状陨铁结构。这些结构是岩浆晚期矿床的典型结构。分布广泛。

2. 嵌晶结构（或称包含结构）：系岩浆中早期晶出的橄榄石、钛磁铁矿、钛铁矿等自形晶被后生成的粗大的辉石、角闪石包裹而成。它是岩浆早期成岩成矿阶段的产物。通常出现在含矿岩体的下部或每个韵律旋回的底部。以稀浸矿石中最发育。在稠浸矿石中主晶辉石或角闪石呈填隙状，但相邻颗粒光性连续，成为形态不连续而光性连续的大主晶，构成所谓的填隙状嵌晶结构。

(二) 矿石的构造

各类矿石都以均匀浸染状构造为主。根据铁钛氧化物与脉石矿物的比例变化，可划分为星散浸染状、稀疏浸染状、中等浸染状和稠密浸染状构造。其次是条带状构造，它是由铁钛氧化物相对集中并定向排列而成，在辉石型矿石中最清楚。