

原地质矿产部“九五”攻关课题

原地质矿产部“百名科技人才”基金

联合资助

教育部高校骨干教师基金

川西北金矿地质 和 成矿预测

张 均 吕新彪 杨逢清 等著

中国地质大学出版社

原地质矿产部“九五”攻关课题
原地质矿产部“百名科技人才”基金
教育部高校骨干教师基金

联合资助

川西北金矿地质和成矿预测

张 均 吕新彪 杨逢清

廖群安 王 革 王可勇 张晓军 著

王全伟 王红梅 陈康林 付绍洪

中国地质大学出版社

前言

川西北地区是我国新近崛起的大型金矿资源富集区之一。该区地处西秦岭冒地槽褶皱带、摩天岭优地槽褶皱带和松潘-甘孜褶皱带三个构造单元的交接部位。巴颜喀拉大海槽构造了厚逾万米的浊流复理石沉积建造。古亚洲成矿域、特提斯成矿域、秦-祁-昆成矿域和滨太平洋成矿域在该区相互叠加,形成以陆内推覆、走滑剪切和断隆断坳为主的构造运动和多期次的岩浆活动。有利的大地构造部位、复杂的地质演化历史、多种类型的构造-地层组合、构造-岩浆组合及含金岩石建造,为本区金成矿提供了极有利的地质背景。

为加速我国金矿资源的勘查与开发,推进国民经济建设重点的战略西移。原地质矿产部在部署“九五”战略性资源勘查计划——“固体矿产跨世纪勘查工程”中,将包括川西北地区在内的陕甘川地区列为 25 个重点勘查片(区)中的三个重点勘查区之一,并设立了与跨世纪勘查工程相匹配的“九五”固体矿产资源重点科技攻关项目“陕甘川邻接区金铜成矿条件、成矿规律及靶区优选(95-02-002)”。本专著即为该攻关项目所属二级课题“川西北地区金矿成矿条件、矿床勘查模型及找矿靶区优选(95-02-002-03)”的综合研究成果。

川西北地区采金历史悠久,但系统的金矿勘查及专题研究工作,却始于 20 世纪 70 年代东北寨、桥桥上金矿的发现及随之拓展的一系列找矿突破之后。本课题研究工作是在前人工作,特别是四川地质勘查局川西北地质队、205 地质队、区调队、化探队、成都理工学院、中国地质大学(武汉)等单位“七五”、“八五”研究工作的基础上进行的。几年来,根据部重点科技攻关项目的总体要求,课题研究工作充分利用川西北地区近年来基础地质和矿产勘查工作所取得的新资料、新进展,运用相关学科的新知识、新理论、新技术、新方法,按照“求实、创新、深化、提高”的工作原则,在宏观与微观研究密切结合的基础上,针对“八五”地质科研攻关中的薄弱环节和新一轮地质找矿评价急需,对研究区金矿成矿环境与含矿建造,不可见金的赋存状态,“3S”集成找矿技术,快速轻型电法及生物找矿新技术,岩浆活动与金成矿,成矿体系及其结构,矿床勘查模型,资源潜力及找矿靶区等进行了深入剖析和专题研究。探索和总结了区域成矿特征、成矿规律,评价了区域资源潜力、找矿远景和找矿方向,优选了找矿远景区段和具体预测靶区,并取得了成效显著的新认识、新进展。

本课题是在原地质矿产部地质调查局、现国土资源部科技司和项目负责人姚书振教授的领导和指导下完成的。课题完成过程中,得到宋瑞祥、陈毓川、叶天竺、张洪涛、王保良、朱明玉、白冶等上级主管领导的关心与指导。四川地质勘查局骆耀南、姚冬生、赖祥符、张树铭、曾令新、赖绍明、郭强、吴心惠,川西北地质队杨恒书、李小壮、赵勇、张凤岭、文锦明,区调队张建民、范晓、谭庆鹤,205 地质队李后蜀、宁兴贤、石道南和项目办公室王方正、秦小玲、邢作云等领导、专家和同志在科研业务及工作条件等方面给予了大力支持和热情帮助。在此,对上述关心、指导、帮助过本课题研究工作的领导、专家和有关同志致以崇高敬意和衷心感谢。

本专著是集体的研究成果;由张均教授主持全书总体构思和章节设计,具体分工为:前言由张均执笔,第一章由张均、杨逢清执笔,第二、三章由杨逢清、廖群安、王全伟执笔,第

四、五章由王可勇、王苹、吕新彪、张均、张晓军、陈康林、付绍洪执笔，第六章由张均执笔，第七章由张均、张晓军、王红梅、杨逢清执笔，第八章由吕新彪、张均执笔，第九章由张均、张晓军执笔，第十章由张均执笔。全书最后由张均统一编纂、定稿。专著中所涉一些专题研究成果、学术观点及认识已以论文形式发表于相关的地球科学刊物上。另外，除上述各章节的执笔人外，先后参加过本课题研究工作的尚有周乔伟、熊伟、王治平等。

最后需要强调说明的是，为了对川西北地区金矿的成矿特征及成矿规律的认识能够更为系统和全面，专著撰写过程中参考和引用了部分前人（如李小壮、杨恒书、曹志敏、文锦明、贺尚荣、赖旭龙等）的相关研究成果。在此谨向上述同志致以诚挚的谢意。本专著由于多人执笔，且各有专题，各有专长，因此在成矿物源、矿床成因等重大基础地质问题上亦各抒己见，不尽一致，甚至大相径庭。对此，笔者的想法是，应当充分考虑成矿物质的多源性、控矿因素的多元化和成矿过程的复杂性。只要有客观事实作为依据，就应充分尊重不同的观点与认识，并尽可能在专著中予以保留和反映。因为，笔者认为若将认识强行统一于一种观点，扬弃一些与之相矛盾的现象、数据和资料，尽管会使本专著的系统性、结构性、针对性更突出，文字更流畅。但也许会因此而将一些正确的观点和认识扼杀，将一些有用的信息和线索丢失，甚至将找矿引向歧途。而从启迪找矿思路、拓宽找矿视域、深化成矿认识角度，多一种观点，多一些认识，就会多一些思路、信息和线索，这无疑对找矿工作是大有裨益的。因此，本专著尽管可能存在观点的矛盾、认识的不统一和结构的不完整，但却有助于启迪找矿思路，拓宽找矿视域，把认识导向深入。

限于时间和水平，专著中难免存在错漏及不足之处，欢迎读者批评指正。

著 者

2002年2月1日

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 研究区范围及工作任务	(1)
§ 1.2 地质工作程度及金矿研究现状	(3)
§ 1.3 课题任务完成情况	(4)
§ 1.4 重要研究进展	(5)
第二章 成矿地质背景	(9)
§ 2.1 区域地层	(9)
§ 2.2 区域构造	(17)
§ 2.3 区域岩浆活动与岩浆岩	(40)
第三章 金成矿条件分析	(64)
§ 3.1 地层、岩相与金成矿	(64)
§ 3.2 构造对金成矿的控制	(76)
§ 3.3 岩浆作用对金成矿的贡献	(85)
第四章 重要金矿床地质特征	(93)
§ 4.1 马脑壳金矿床	(93)
§ 4.2 金木达-南木达(壤塘)金矿床	(107)
§ 4.3 哲波山金矿床	(127)
§ 4.4 阿西金矿床	(141)
§ 4.5 联合村金矿床	(162)
第五章 区域金矿床系列及其成因模式研究	(173)
§ 5.1 矿石特征及金的赋存状态研究	(173)
§ 5.2 主要金矿床的地质地球化学类型及特征	(183)
§ 5.3 金矿床成因研究	(218)
§ 5.4 成矿作用机制分析和讨论	(252)
第六章 金的区域成矿规律研究	(258)
§ 6.1 金的成、控矿条件分析	(258)
§ 6.2 典型金矿床的构造-岩相组合特征	(269)
§ 6.3 区域金成矿的地质异常控制	(277)
§ 6.4 川西北地区金矿的双源复合成矿新认识	(283)

§ 6.5 金矿化的时空结构特征	(287)
§ 6.6 金的区域成矿体系及其结构	(298)
第七章 新技术、新方法的初步应用	(305)
§ 7.1 分形方法及其在金矿化时空结构分析中的应用	(305)
§ 7.2 遥感和多源地质矿产数据图像处理技术在金矿预测中的应用	(311)
§ 7.3 微生物找矿技术及其初步应用	(321)
§ 7.4 “3S”集成找矿技术及其应用	(328)
§ 7.5 有机地球化学方法在沉积环境和矿源层分析方面的应用	(340)
§ 7.6 便携式直流数字电测仪在找矿中的应用	(349)
第八章 矿床勘查模型的初步构建	(357)
§ 8.1 矿床勘查模型的概念及其研究意义	(357)
§ 8.2 建模的原则和要求	(358)
§ 8.3 矿床勘查模型构建的基本思路及流程	(359)
§ 8.4 找矿标志集的建立及优化	(361)
§ 8.5 主要金矿床类型综合勘查模型的初步构建	(368)
第九章 找矿前景评价及找金靶区优选	(371)
§ 9.1 预测的思路、原则与方法	(371)
§ 9.2 基于地质异常单元的找矿有利地段圈定与评价	(374)
§ 9.3 基于 RS 技术的成矿预测	(377)
§ 9.4 金矿资源总量预测及找矿潜力评价	(383)
§ 9.5 找矿靶区优选	(394)
§ 9.6 阿坝地块西南缘金矿找矿远景预测	(402)
第十章 主要结论、存在问题与工作建议	(410)
§ 10.1 成矿认识与研究方法上的新进展	(410)
§ 10.2 对重点研究区的新认识	(411)
§ 10.3 专题研究的若干新进展	(413)
§ 10.4 快速勘查评价技术方法的新探索	(416)
§ 10.5 今后找矿工作建议	(417)
参考文献	(418)
图版说明及图版	(427)

第一章 绪 论

§ 1.1 研究区范围及工作任务

1.1.1 研究区范围

本课题研究范围为川西北地区的松潘、南坪和壤塘等地。具体研究范围为东经 $102^{\circ}00' \sim 104^{\circ}20'$ 、北纬 $32^{\circ}00' \sim 33^{\circ}40'$ ，总面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。重点研究区 2 个，兼顾研究区 1 个，面积约 2000 km^2 （图 1-1）。

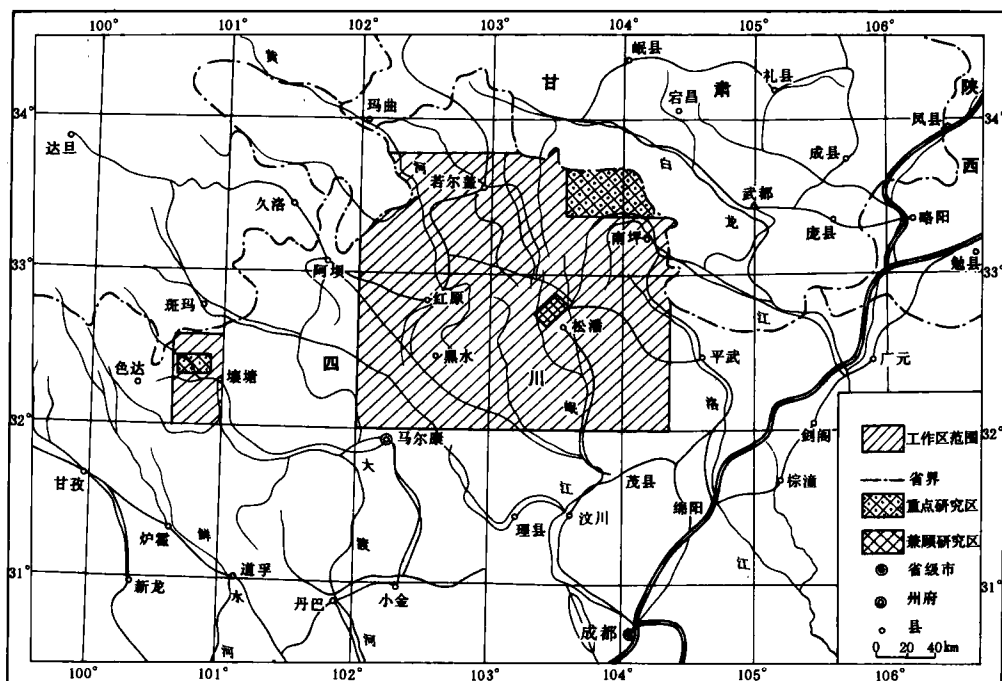


图 1-1 工作区位置图

1.1.2 工作任务和目标

(1) 主要研究任务：以金、铜为找矿对象，金为主攻矿种，浅成低温热液型金矿为主攻对象，选定马脑壳、金木达-南木达 2 个重要成矿区（矿田）为重点研究区，以哲波山矿

区为兼顾研究区。以马脑壳、金木达 2 个典型矿床为重点研究对象,以查明浅成中—低温热液金矿成矿地质条件、成因机制、关键控矿因素及其组合特征、矿床时空展布规律,预测评价标志,建立成矿模式和勘查模型为重点研究任务,以找矿靶区快速优选和找矿潜力评价为技术关键,最终为四川地质勘查局跨世纪勘查工程的实施提供可靠有效的科学依据和找矿靶区,力争提供 1~2 处具中、大型规模远景的金矿找矿靶区和实现地质认识、预测技术及找矿效果的突破。

(2) 预期目标:①初步解决本区与金成矿相关的若干重要关键地质问题;②探索并提出先进、适用、有效的预测找矿方法组合;③对川西北地区金矿找矿远景、找矿方向提出预测评价意见;④优选金矿找矿靶区 3~4 处,供地质勘查单位进一步勘查开发。

1.1.3 立项目的和意义

中国东部经济的腾飞和西部经济发展的滞后,东部矿产资源的紧缺与告罄和西部矿产资源的丰富与呆滞,东部地区人民奔小康的盎然生机与西部少数民族企盼脱贫而举步维艰的强烈矛盾和反差,使原地质矿产部的各级领导、专家和学者都深刻地认识到加速中国西部资源,特别是矿产资源的勘查、开发和利用,把资源优势转化为经济优势,是协调国民经济发展、平衡东西部经济发展反差、使少数民族地区脱贫致富的必由之路;是加强民族团结、稳定边疆和巩固国防的需要;也是我国国民经济能否持续、稳定、高速发展的关键。川西北地区金矿资源丰富,“七五”、“八五”的研究进一步确定该区是我国重要金矿化集中区之一,成矿条件好,找矿潜力大,有望继续找到新的大型、特大型金矿床。川西北地区又处于我国西部川、陕、甘、青四省交接地带,这一地域经济的发展,无疑会促进 4 省经济的发展。同时研究区所处构造部位特殊,地质环境独特,是地球科学上创立新学说、建立新理论的理想场所。为此,原地质矿产部决定“九五”期间对该区继续进行科技攻关研究。其任务和目标是在“八五”研究基础上,紧紧围绕成矿规律、成矿预测和资源潜力评价中的关键性、战略性的基础地质、矿床地质问题及已知重要成矿区带的成矿地质条件进行深入研究,提供一批找矿远景靶区;在基础地质、区域成矿理论等方面有新的认识和提高;为把川西北地区建成国家贵金属矿产开发基地,准备充足的矿产资源和提供开发利用的科学依据。

1.1.4 研究思路和工作方法

本课题按照构造-岩浆/沉积-成矿统一动力学体系为主线,从两个层次上展开研究:一是全区性综合研究,多层次、多视角对区域构造的形成与演化、岩浆的形成与演化、沉积体系的形成与演化、深部与浅部构造的联系、碰撞造山效应及其与金成矿的关系,进行全面系统的深入研究和综合分析;二是从重要成矿带的地质构造演化和典型矿床解剖及矿(化)点的检查评价入手,查明各成矿带的成矿地质背景、构造演化、成矿系列与典型金矿床的成矿条件、控矿机制,建立成矿模式,阐明时空分布规律,指出找矿方向,圈选找矿靶区。基于“八五”研究已查明川西北地区金矿主要形成于印支期与燕山—喜马拉雅期两次陆内造山阶段,其形成明显受构造-岩浆或沉积体系等作用的控制。本课题在研究内容和工作部署上实行找矿视域上拓展,对区域上收缩、主攻类型上集中的研究策略。即研究的重点集中在马脑壳、壤塘、哲波山等金矿区,同时兼顾阿西、东北寨、桥桥上、联合村、大水等重要金矿产地。

§ 1.2 地质工作程度及金矿研究现状

工作区的地质研究可追溯至解放以前。当时因地处边远,交通闭塞,经济落后,地质工作十分薄弱,仅有少数地质工作者的先驱深入草原及山区进行地质调查。1933年谭锡畴、李春昱曾沿岷江作路线地质调查,将广泛出露的黑色碎屑岩系称为“西康系”,据所见植物化石,定其时代为侏罗纪;将黄龙雪宝顶一带出露的碳酸盐岩命名为“雪宝顶系”,认为属泥盆一二叠纪地层。1941年熊永先只身涉入草地,进行1:50万地质路线调查,首先披露了草地地质的神秘面纱,将黄胜关以西出露的绿色碎屑岩系称为“草地系”,拟定时代为石炭一二叠纪。还有一些其他学者对区内地质及砂金等矿产作过调查。但由于当时条件所限,地质研究均较粗略。

解放以后,随着我国经济建设事业的蓬勃发展,交通和社会条件逐渐改善,地质工作在边远地区相继深入开展,并获大量研究成果。解放初期,主要限于地质路线和部分矿点调查。20世纪60年代至70年代,区内开展了1:100万及1:50万区域地质调查工作,地质研究日渐深入,一些矿点陆续发现。随着70年代以后1:20万及1:5万地质填图的全面铺开和《青藏高原的三叠系》、《秦岭及邻区三叠系》等各专题研究成果的出版,对区内地层的划分与对比、构造特征、岩浆活动及矿产都进行了系统的调查和总结,解决了许多长期存疑的地质问题,如对研究区内大面积出露的“西康群”(原称西康系)的时代以前认识都不一致,通过1:20万区域地质调查和多项专题研究,厘定为大部分属中、上三叠统,并据岩性、岩相、生物组合的纵横变化特征,将其自下而上划分为蒺茨沟组、扎尕山组、杂谷脑组、侏倭组、新都桥组等岩石地层单位。同时还对局部地区的生物地层、生态地层、层序地层等作了初步研究。对区内包括金矿在内的一些重要矿床(点)进行了较详细的研究与评价,对其分布特征、赋存规律、与构造及地层的关系等都有了较深入的研究成果。

随着地质工作的普遍开展和研究程度的不断深入,在研究区内陆续发现许多金属矿床,尤其金矿床(点)更是星罗棋布,构成陕甘川金三角的重要组成部分。对区内金矿床(点)的研究最早始于20世纪30年代,当时谭锡畴等人沿雅碧江、鲜水河、色尔曲作路线地质调查时,曾对该区砂金作过调查;40年代,熊永先在草地工作时,曾对著名的漳腊砂金矿进行调查,并著有《松潘金矿地质报告》;解放前夕,岳希新对金川砂金矿作过踏勘。解放后,在各种比例尺的填图中,相继发现一些金矿点,对已知金矿点也进行了一定的研究和评价。60—70年代,着重于砂金的普查。70年代后期,四川地质局区域地质调查队和西南冶金地质勘探公司先后发现东北寨金矿和桥桥上金矿后,即在本区掀起了岩金普查热潮,一批金矿专业队云集川西北地区。80年代,在1:20万化探扫面中,于松潘、漳腊、巴西、文县、南坪、平武等地相继发现一大批金矿床(点)和多金属地球化学异常,提供了丰富的找矿信息。尔后,通过异常检查,先后发现了哲波山、团结、马脑壳、喀嘎、水神沟、幸福村、沟里村等一批金矿床(点)。四川物探队在铜矿普查中又发现了阿西金矿。甘肃地质局和四川冶金勘探公司又相继发现了拉日玛金矿、茶铺子金矿、大水金矿和南坪联合村金矿。川西北地质队在对东北寨、哲波山、阿西金矿进行普查的同时,又发现了松潘郎盖、石不烂金矿点和若尔盖地区的牙相、京格尔、降扎等金矿点。近年来,根据1:20万区域地质调查资料中的金矿化点,又发现了金木达—南木达金矿床。以上金矿床(点)的发现,显示了川西北地

区具有良好的金及多金属矿床的找矿前景。

随着金矿床(点)的陆续发现,对金矿的研究也日渐深入,研究成果主要集中在东北寨、桥桥上、马脑壳和拉日玛等矿床。其中具代表性的有李小壮等(1993)《东北寨式微细浸染型金矿成矿条件、成矿模式及远景预测报告》;郑明华等(1994)以拉日玛金矿、马脑壳金矿为依托完成的《喷流型与浊流型层控金矿床》。该论著中以大量第一手野外资料和丰富的室内测试数据,论证了产于阿坝地块东北缘寒武系太阳顶群硅质岩中的金矿床属海底喷流型层控矿床,而产于地块东部中、上三叠统复理石建造中的金矿床属浊流型层控金矿床。杨恒书等(1995)在原地质矿产部“八五”攻关项目《川北甘南地区金和多金属矿在三叠系中的控矿因素、成矿规律及找矿标志、成矿预测研究》的报告中,完成了研究区内金矿床的成矿地质背景、典型矿床和成矿预测诸方面的研究,提供了多处有价值的找矿靶区。总之,以上所述各项研究成果为本课题研究工作的开展打下了良好的基础。

§ 1.3 课题任务完成情况

整个科研的野外工作是在比较艰苦的条件下进行的。研究区地处青川藏高原的东缘地带,海拔高程大多在 3 500m 以上。多变的高原气候和人烟稀少及交通不便等给课题研究带来极大困难。但课题组同志能够团结奋斗、克服困难,严格按照合同要求,开展以成矿地质条件、矿床勘查模型和找矿靶区优选为重点的研究工作。顺利完成了以下主要研究工作:

(1) 按合同要求和部局跨世纪勘查工程需要,连续 4 年(1996、1997、1998、1999)对壤塘金木达—南木达、南坪马脑壳—两河口两个重点研究区和松潘哲波山兼顾研究区进行了重点剖析和深入研究。厘定了西穷—东风牧场长达 80km 的构造-岩浆-矿化带,对其空间结构特征、成矿物理化学条件、成矿流体性质、金的赋存状态、矿化富集体空间定位规律及预测评价标志进行了专题研究。

(2) 按设计要求,完成了果然沟—电站沟等 29 条野外地质调查路线;重点研究区、兼顾研究区和初选找矿靶区的实测剖面 48 条(其中地质地球化学剖面 and TC 编录 29 条,钻孔剖面 5 条,电法剖面 14 条);实测地层-岩相剖面 3 条(14.6km);路线控制地质地球化学剖面 19 条。采集并处理各种专项测试样品 1 300 余件,各种岩、矿标本 800 余件。

(3) 根据地质勘查单位(区调队,哲波山;205 地质队,马脑壳;川西北地质队,金木达、南木达、阿西)金矿开发工作急需,课题组对上述几个重要金矿区的矿石组构特征进行了系统的矿物学、矿相学研究。并以此为基础,从主要矿物成分及含金性的电子探针分析,矿石中超显微金的高分辨透射电镜分析等方面对矿石中金的赋存状态进行了较为深入的专门研究。

(4) 应用 GIS、GPS、RS 集成技术,进行了川西北地区 1:50 万地质矿产图、构造-岩浆图、构造-岩相图的编制及野外修测工作。

(5) 按照区金成矿特点和产出特征,对壤塘、南坪、松潘、若尔盖、红原地区的主要金矿床、矿(化)点和异常进行了系统检查与评价;对青川、平武、南坪、松潘地区的铜、铅、锌、锑多金属矿(化)点进行了兼顾性研究与评价;对研究区相邻的甘肃大水金矿进行了对比性考察。共检查矿床、矿(化)点、异常 40 个,采集各类测试样品和典型标本 400 余件。

(6) 进行了川西北地区金矿构造-岩相组合规律性, 构造-岩浆活动与金成矿关系, 构造-流体-成矿关系, 生物成矿与找矿, “3S” 集成技术及其应用, 马脑壳式、金木达式金矿勘查模型, 区域成矿体系结构与找矿靶区优选、资源潜力评价与找矿远景分析等专题研究工作, 并取得了一定的新进展、新认识和新发现。

(7) 新发现了摩天岭-杜鹃山构造-岩浆-矿化带, 荇塘-葫芦沟-甲勿池构造-岩浆-矿化带和勿角 Au-Sb 矿点; 对西穷—东风牧场长达 80km 的构造-岩浆-矿化带进行了系统追索与厘定; 提出了值得进一步工作的 19 个找矿靶区和重视阿坝地块西南缘色达、炉霍断裂带找矿的建议。

§ 1.4 重要研究进展

(1) 从构造与金成矿角度: 本区金矿的区域性展布均受阿坝地块周缘的一些大型断裂带控制。如沿阿坝地块北缘的玛曲-略阳断裂带分布有阿西、马脑壳、京格尔、团结、大水、忠曲等金矿; 沿阿坝地块东缘的岷江断裂带分布有东北寨、桥桥上、尖尖山、金宝硐、银厂等金矿; 沿阿坝地块西南缘的壤塘、色达、炉霍断裂带分布有金木达、南木达、嘎拉、丘洛、普弄巴等金矿。这是因为: 从宏观上, 阿坝地块周边常为薄壳区, 也是构造、岩浆、火山活动频繁区, 在前三叠纪演化过程中曾经历裂陷、洋壳形成、洋壳俯冲与碰撞等重大地质异常事件, 从而形成壳-幔物质交换和海盆山活动, 提供一定的成矿物质来源, 进而控制了区内三叠系金矿床的空间展布。从微观上, 川西北地区三叠系金矿床无一例外地受区内剪切构造破碎带控制, 这一方面是因为构造破碎带为含矿溶液运移提供了通道, 使成矿流体沿破碎带流动循环, 造成金元素的再次富集; 另一方面构造破碎带的碎裂化岩石, 如碎裂板岩、砂岩、脉岩以及构造角砾岩为金矿床的形成提供了容矿空间, 所以各矿区主要含矿岩石都是以上几种碎裂化板岩及砂岩等高孔隙度岩石。

研究区内控矿断裂主要有近南北向的岷江断裂和虎牙断裂, 北西向的羊布梁断裂、水神沟断裂、荷叶断裂、壤塘断裂、黑水断裂和色达断裂, 近东西的雪山断裂和北东向的青川断裂。区内金矿与构造关系十分密切, 其形成与分布明显受构造控制。据统计, 川西北地区的 118 个金异常(点) 均与较大的断裂、多组断裂交汇或线、环构造复合部位有关。例如跨石崖断裂上的东北寨金矿, 羊布梁断裂上的马脑壳金矿, 荷叶断裂上的阿西金矿, 壤塘断裂上的金木达金矿等。其中, 应当引起关注和重视的是: 北西西向断裂对区内金矿的形成与展布具重要控制作用。这种区域性北西西向断裂构造发育于阿坝地块的北东缘和南西缘。由北东向南西, 依次为玛曲-荷叶断裂、阿坝断裂、黑水断裂、金木达-南木达断裂、色达断裂。从区域地球化学资料分析, 上述北西西向断裂带上均有较明显的金异常显示, 且不乏重要金矿床(点) 的发现, 从异常强度及已掌握的矿化线索来看, 这些区域性北西西向断裂构造带应该具有良好的找矿前景和资源潜力, 尤其是线性构造(断裂) 与环形构造(岩体或热蚀变晕) 的复合部位。

(2) 从地层性质、沉积作用与金成矿角度: 本区三叠系金矿绝大多数产于扎尕山组和新都桥组(卡卡组) 两套地层中, 层控特征较为明显。经对典型矿床的构造岩相组合分析, 矿床与其中的含钙(或含碳) 板、砂岩关系尤为密切。经专题研究表明: ①三叠系沉积地层不仅是本区金矿的主要赋存层位, 而且也是本区金矿的主要矿源层; ②本区中三叠世—晚三叠

世的半深海与深海大陆斜坡盆地相,以浊积岩为主的沉积环境形成金成矿物质的初始富集,含金丰度较高的深水陆缘型砂、板岩为金成矿的主要矿源岩系;③地层中有机质在成矿物质富集成矿中具一定作用,在还原环境下形成的以浊积岩为主的三叠系地层中富含的有机质在热流体等各种地质作用下,一方面热降解形成以含 H_2O 、 CO_2 、 H_2S 、 CH_4 等为特征的有机流体;另一方面缩聚成含碳率更高、分子更大的干酪根、沥青、石墨等,从而影响流体的化学组成性质。当流体流经富碳地层时,有机质裂解产物中大量还原性物质的进入使成矿流体演化为相对还原的流体,从而大大有利于金的沉淀。同时含有机质较高的碳质板岩对沉淀下来的金具有吸附作用,导致金矿化的进一步富集。区内三叠系金矿床的形成与分布具有一定的构造-岩相组合规律性。通过对壤塘金木达、南坪马脑壳、若尔盖阿西、松潘东北寨、哲波山、桥桥上等几个重要金矿床的构造-岩相组合特征研究发现,本区三叠系金矿均属微细浸染型低温热液金矿床。成矿过程一般可分为沉积初始富集、热液(岩浆期后热液或地下热卤水)改造富集及表生大气降水氧化改造富集三个大的阶段。而沉积初始富集、热液改造富集两个阶段与区域构造、岩浆活动关系十分密切。本区典型金矿床的构造-岩相组合型式可表征为“浅层次脆性断裂构造+含钙(碳)砂、板岩+浅成、超浅成小岩体(脉)群”,这种“三位一体”的构造-岩相组合特征是川西北地区三叠系金矿形成与分布的最直观找矿标志。

通过对金木达、南木达矿区的含矿层位、沉积成矿环境进行详细剖析和对金木达矿区的日基沟地层剖面、南木达矿区的曼迪一绒尔苟地层剖面、马脑壳矿区的鹿耳韭沟地层剖面进行详细观察和实测,采集并处理了相应的化石样品,对研究区的主要含矿层位及其岩性、岩相特征进行了专题研究与厘定。经杨逢清教授等对本区中晚三叠世沉积环境和岩相古地理条件的专门研究认为,本区中晚三叠世为古特提斯海东缘,本区东部的东北寨、桥桥上地区发育为半封闭的松潘海湾;北部的马脑壳、水神沟地区为南坪海湾;中部的阿西、哲波山地区发育为具火山活动的障壁浅海;壤塘金木达、南木达地区为小型深海盆地。其沉积建造主要为半深水—深水浊流复理石建造,总体为陆缘碎屑沉积。金木达矿区和马脑壳矿区的含矿地层分属两个不同地层分区,沉积环境和岩性组合有所差异,但总体都属晚三叠世。

(3) 从岩浆活动与金成矿角度:研究表明,川西北地区的几乎所有金矿床(点)都或多或少地发育岩浆活动,包括前人认为几乎没有岩浆活动的东北寨、马脑壳矿区。且从时间演化关系来看,发生于印支—燕山期的中酸性岩浆侵入活动与区内热液成矿期大体吻合,说明岩浆活动与成矿作用在时间演化上具有统一特征。从空间分布关系上,燕山期浅成—超浅成石英闪长玢岩、花岗斑岩等小岩体或岩脉均受控于区内各级逆冲推覆构造边缘的压扭性断裂,在相当一部分矿区(阿西、团结、哲波山、金木达、京格尔、联合村等),石英闪长玢岩或花岗斑岩本身就是金矿床的容矿围岩。由此显示,区内燕山期构造-岩浆-成矿活动在空间分布上具有对应一致性。据研究,壤塘地区与金矿化有关的岩浆岩均为燕山期岩浆活动的产物,主要以北西—北西西向的岩脉群方式产出。岩脉类型可分闪长玢岩和花岗斑岩两大类,空间分布上总体与西穷—中壤塘复式向斜枢纽区及北西西向剪切断裂带的位置相一致。按其空间产出特点,大致可划分为3个构造-岩浆亚带。与金矿化具密切时、空、成因联系的主要为闪长玢岩脉。岩脉主要受北西—北西西向剪切构造带控制。根据对含矿脉岩的岩相学、岩石化学和岩石地球化学的专题研究表明,本区岩浆均属亚碱性系列的钙碱性岩浆。但据哈克图解显示,在闪长玢岩与花岗斑岩之间在 SiO_2 成分间断, SiO_2 与主要氧化物之间亦存在在成分间断处转折,表明二者相关性较差,不是同源岩浆演化的产物。另外,花岗斑岩和闪长玢岩具富集型的稀土元素配分型式,但稀土分馏程度明显不同,与闪长玢岩相比,花岗斑

岩的轻稀土并没有明显富集,但重稀土相对亏损,稀土分馏程度较高,铈异常均不明显,与同源岩浆结晶分异的演化特征不同。微量元素蛛网图中,两类岩脉具基本相同的分布型式,表现为大离子亲石元素的富集,具不同程度的 Nb、Ta 负异常,与造山花岗岩的特征相似。

(4) 从区域成矿体系结构分析:区内金矿均明显受控于深大断裂-岩浆带。依据成矿地质构造背景、地球化学场及成矿特点,可将其初步划分为川西北金矿化富集区,阿坝地块东北缘和西南缘 2 个金矿化富集亚区和 4 个各具特色的构造-岩浆成矿单元。即①金木达-南木达成矿单元,该单元位于阿坝地块的西南缘,中、上三叠统类优地槽型含矿建造发育,主导控矿条件是壤塘北西向走滑-冲断构造及侵位其中的燕山期浅成-超浅成相中酸性岩浆岩株或岩脉群,矿床类型以与中酸性岩浆期后热液活动有关的金木达式为主。②若尔盖-红原成矿单元,该单元位于阿坝地块中部,主导控矿条件是一系列走滑-冲断控岩控矿构造带和广泛发育的燕山期浅成-超浅成中酸性岩脉群,矿床类型以阿西式金矿为主。③南坪成矿单元,该成矿单元主要受北西-北西西向玛曲-略阳断裂及其次级断裂控制,主导控矿条件是顺层的韧-脆性强破碎剪切构造带和三叠系浊积岩系岩性,主要矿床类型为马脑壳式金矿。④松潘-平武成矿单元,该成矿单元位于阿坝地块东缘,矿床类型复杂多样,主要为东北寨式、哲波山式和银厂式金矿。其中东北寨式金矿集中产出于中上三叠统浊积岩建造中的多层次顺层韧-脆性剪切构造带中,而哲波山、联合村等金矿则受构造-岩浆岩带控制,与小岩体或岩脉群有密切的时、空、成因联系,而银厂式金矿、甲勿池-荇塘 Au-Sb 矿化带和杜鹃山金矿化带等则受近 EW 向走滑-冲断带和近 NE 向张性断裂带的复合控制。上述各成矿单元中主干断裂带的控岩控矿特征明显,在空间上,构成相对集中的构造-岩浆矿化富集带;在时间上,共同经历了燕山期的叠加改造成矿作用,主成矿期相近;在物质组成上,各成矿单元中的各种类型金矿床均具有浅成低温热液成因的矿物和元素共生组合特征,具有密切的内在成生联系。初步认为区内金矿的优势找矿类型为:①产于浊积岩系中的微细浸染型金矿。②与中酸性小岩体群具密切时、空、成因联系,产于小岩体内、外接触带的微细浸染型金矿。这两种主要找矿类型的矿床勘查模式大致可表征为:“矿源层+岩浆岩+蚀变断裂破碎带+成矿元素组合异常+物性异常+共生金属矿物”。

(5) 在金矿化成矿机理研究方面:以区内典型金矿床(马脑壳、金木达)为对象,开展了川西北地区微细浸染型金矿构造-流体成矿系统演化与成矿机理的专题研究工作,并取得了初步的研究进展。主要可归纳为:①川西北金矿化富集区的形成与分布受成矿大地构造背景制约,位于阿坝地块边缘的古-中生代沉积地层内,受地层-岩性、构造-岩浆活动的双重控制。②区内金矿化具一系列相似而独特的矿化特征,如赋矿围岩大多以未变质或弱变质的细碎屑岩夹碳酸盐岩组合为主;金颗粒微细,主要呈“不可见金”形式产出;发育中低温矿物组合及 Au-As-Sb 特征元素组合等。③成矿物质分别来自沉积地层、岩浆活动,成矿流体以大气降水为主,古地热梯度、构造或岩浆活动均可成矿作用提供热动力来源,成矿时代多为中生代以后(尽管赋矿地层可以为多个时代)。④成矿热液主要为富含 CO_2 的中低盐度稀溶液,多种不同性质流体的混合是矿质沉淀的主要机制。⑤区内金矿的成矿作用可分为大气降水循环汲取、岩浆期后热液分异交代、生物有机质吸附还原 3 种机制。

(6) 通过近 4 年的研究,对川西北地区金矿的成矿作用和成矿规律认识进一步深化,先后提出了川西北金矿化富集区、双源复合成矿、地质异常成矿控矿、“3S”技术集成找矿等新概念、新认识和新方法。即根据小岩体或岩脉群与金矿化在空间上相依、时间上相近、成因上相关的认识,采用岩相学、岩石化学、稀土、微量、同位素地球化学方法专题探讨了

岩浆活动与金成矿的内在成生联系,首次提出了双源复合成矿的新概念,进而以构造控矿为主线,对区内不同类型金矿的层控、岩控、双控特征进行了剖析。根据区内金矿床(点)和物探、化探、遥感异常在空间上的展布特征和相对集中、趋群、成带的结构特征,首次提出了本区地质异常成矿、控矿的新认识,并对不同层次地质异常的成矿、控矿特征进行了初步的厘定与表征。探索性采用“3S”集成找矿技术进行了已有地质、物探、化探、矿产资料综合分析,数据库、图形库的初步建立和野外找靶矿区快速优选及定位预测,为新一轮地质矿产调查中应用高新技术方法进行了有益探索,取得了较显著的工作效果。

(7) 通过对研究区内几个重点矿床、矿带的剖析研究,获得了一些新认识、新进展。例如:对金木达金矿、马脑壳金矿、哲波山金矿矿石中金的赋存状态研究;马脑壳金矿、金木达金矿成矿流体演化与成矿机理的研究;马脑壳金矿、金木达金矿的成岩、成矿年代学研究;应用“3S”集成技术对川西北地区金矿化空间结构与成矿规律的研究;应用层序地层学、沉积岩相学对重点金矿区成矿环境的研究;应用构造岩浆成矿分析方法对区内岩浆活动与金成矿关系的研究;应用轻便物探找矿方法和微生物找矿方法寻找隐伏矿的找矿新方法试验等。

(8) 针对研究区植被覆盖严重,基岩出露少,找矿难度大的特点,探索深部找矿新方法。首次在川西北地区试验利用土壤中特有的蜡状芽孢杆菌寻找评价隐伏金矿化,并取得良好的阶段性成果。实践表明,应用蜡状芽孢杆菌这种微生物地球化学找矿方法与元素地球化学找矿方法相结合,可有效提高覆盖区预测找矿的精度和可信度。

(9) 综合应用“3S”集成找矿技术,取得了良好的地质成果和找矿效果。例如根据本区金矿的成矿特点,应用遥感方法提取了本区金矿的遥感找矿标志(线性构造、环形构造、含矿地层及围岩蚀变),研究了本区主要断裂构造的成矿和控矿关系,厘定了有成矿远景和找矿前景的主要成矿断裂带(岷江、哲波山、雪山、荷叶、黑水、壤塘、羊布梁、炉霍、色达等)及其相对有利的成矿、找矿地段。特别是通过线、环构造组合关系的研究,发现多组断裂构造与环形构造交汇结点部位,往往是金矿最有利产出部位和最有利的找矿靶区。这种线、环构造与金矿化空间结构关系的厘定与表征,对深入揭示本区金矿成矿规律,指导新一轮预测找矿具有重要现实意义。

(10) 首次提出川西北金矿化富集区的新概念和重视并加强阿坝地块西南缘金矿勘查的新见解。将川西北金矿化富集区依其本区金成矿特点和分布规律,划分为阿坝地块北东缘和南西缘两个相对集中的金矿化富集亚区和壤塘-色达、若尔盖-红原、南坪、松潘-平武4个三级成矿单元及若干条构造-岩浆-矿化带,其与具体的矿床、矿(化)点、异常一起构成川西北地区金矿的区域成矿体系。并对该区域成矿体系的时空结构特征、主要控矿因素和预测评价标志建立了初步认识,开展了本区金矿资源评价和成矿远景区划。

第二章 成矿地质背景

§ 2.1 区域地层

本专著所指川西北地区的范围为东经 $100^{\circ} \sim 105^{\circ}$ 、北纬 $32^{\circ} \sim 34^{\circ}$ 之间的地区，属川西北高山高原区。它被夹持于北东向的龙门山深大断裂带、北西西向玛沁（玛曲）-略阳深大断裂带和北西向鲜水河深断裂带之间，在大地构造位置上相当于松潘甘孜陆块北部的阿坝地块（图 2-1）。阿坝地块周缘是断裂构造、变质变形、火山-岩浆活动及金属成矿等地质作用最为集中的地带，也是最为有利的成矿地段。因而，川西北地区是我国川甘陕金三角地区的重要组成部分，已发现数十个金矿床（点）（图 2-1），它们大多产于地块北、东、西南边缘与邻区的构造结合部位。金矿主要赋存于泥盆纪和三叠纪地层内，其中尤以三叠纪浊积岩系中的金矿床（点）为多，约占总数的 80% 左右，且金的富集相对集中在中、晚三叠世的浊积岩系中。因此，研究川西北地区含金岩系的划分、对比沉积环境及其在金矿床形成中的贡献是十分有意义的。

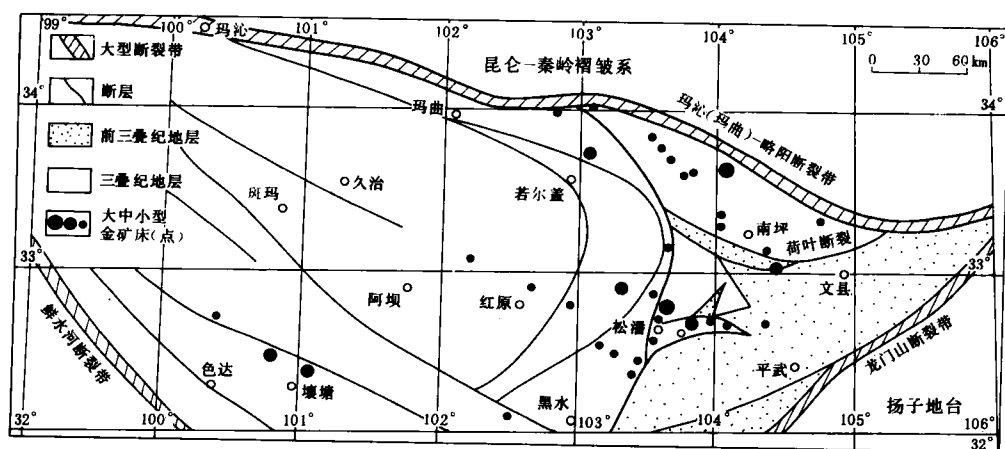


图 2-1 川西北地区构造地质和金矿床（点）分布略图

2.1.1 阿坝地块的形成、发展及演化

阿坝地块的发生、发展和消亡控制和影响着研究区的地层区划及沉积特征。

显生宙以来，松潘-甘孜海槽经历了加里东、早海西（泥盆纪）和晚海西—印支三期开合旋回，于印支晚期造山成陆。下面分别叙述阿坝地块在这三个时期的演化史及与扬子地台、西秦岭之间的关系。

(1) 加里东期

加里东期，西秦岭出现了大型裂陷槽，即白龙江加里东裂陷槽（或称西秦岭加里东裂陷槽），裂陷中心在南秦岭的白龙江，代表裂陷槽的沉积是寒武系—志留系白龙江群复理石沉积，整个裂陷槽的沉积厚度大于 6 000m。在白龙江加里东裂陷槽形成的同时，在扬子地台的西北部还出现另两条大型裂陷槽，一条是昌都地块东侧的金沙江加里东裂陷槽，代表此裂陷槽沉积的是奥陶系青尼硐群复理石碎屑沉积；另一条是扬子地台西缘的龙门后山、锦屏山加里东裂陷槽，代表龙门后山加里东裂陷槽的沉积是茂县群（以志留系为主体，包含有寒武系和奥陶系）复理石沉积，锦屏山裂陷槽则以奥陶系瓦厂群碎屑沉积为代表。上两条裂陷槽的堆积厚度均在 6 000~10000 m 以上。白龙江、金沙江和龙门后山、锦屏山诸加里东裂陷槽将西秦岭、松潘甘孜地区、扬子地台三者割裂开来，形成三角形的松潘甘孜陆块，阿坝地块（阿坝、若尔盖、松潘地区）则是其中的一部分（图 2-2）。

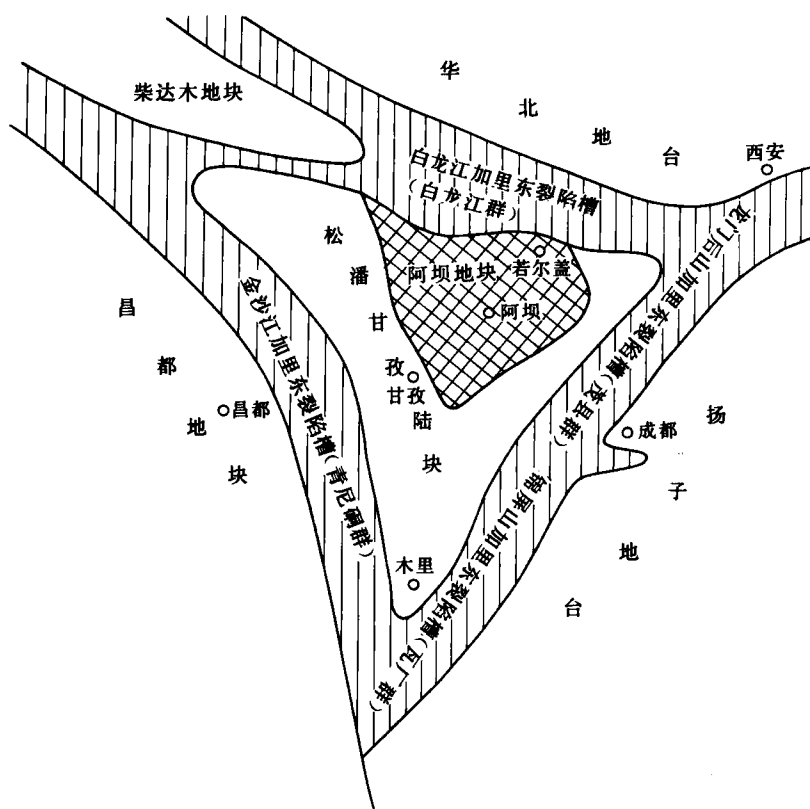


图 2-2 加里东期秦岭、松潘甘孜地区、扬子地台裂陷槽示意图

(2) 早海西期

由于松潘甘孜陆块东高西低，地块东北部的阿坝、若尔盖和松潘地区在震旦纪、早古生代时基本处于古陆状态。从泥盆纪开始，阿坝地块才在古老花岗质基底上不同程度地沉积了浅海碳酸盐岩（铁山群）和少量碎屑岩类（危关群、石坊群等）。

早古生代末加里东运动把松潘甘孜陆块从古扬子地台西北部割裂出，但这次解体并不彻底，裂陷槽在晚志留世（或早泥盆世）之后逐渐弥合填平。因而泥盆纪、石炭纪（有些地区

到中三叠世安尼期)时,松潘甘孜陆块东与扬子地台、北与南秦岭地区之间均为浅海碳酸盐沉积,生物群面貌也十分相似,标志着三者又重新联合在一起。

(3) 晚海西至印支期

早二叠世茅口期,松潘甘孜陆块与扬子地台之间由于峨眉地裂运动而发生裂陷,使阿坝地块第二次从扬子地台解体出来,裂陷大致沿木里—平武一线。在北段沿岷江上游断裂(松潘、漳腊一带)亦有分支裂陷,裂陷南强北弱,北止于漳腊以北及武都西南一带。在裂陷带的两侧普遍发育斜坡相的碳酸盐碎屑流——三道桥组,继以强烈的玄武岩喷发,形成峨眉山组和大石包组。

中三叠世拉丁期是发生重大地质变革的时期,早印支运动普遍而强烈,使中、北秦岭褶皱成山,扬子地台抬升成陆,松潘甘孜陆块留在特提斯海域而开始了新的裂陷,成为沉陷中心,接受来自北面新抬升陆的岩屑,形成巨厚的由砂岩、板岩夹薄层灰岩组成的浊流复理石沉积。

晚三叠世,松潘甘孜浊积盆地继续强烈下陷,接受了逾万米厚的复理石碎屑沉积,成为裂陷槽。裂陷槽可从浊积岩常量元素的特征得到佐证。

用常量元素判别构造背景,本专著采用了 Bhatia (1983) 所提出的判别函数方法和方国庆 (1993) 提出的 $K_2O/(Na_2O+CaO)-SiO_2/Al_2O_3$ 判别图法进行分析。用于分析的样品共有 7 件,其中壤塘地区 3 件,南坪地区 2 件,若尔盖地区 2 件,均为上三叠统浊积岩,其化学成分如表 2-1 所列。

表 2-1 川西北地区上三叠统浊积岩化学成分

地 点	序 号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O/(Na ₂ O +CaO)	SiO ₂ / Al ₂ O ₃
壤塘金木达	1	69.16	0.58	12.40	4.12	0.96	0.09	1.69	2.64	2.48	1.90	0.14	5.58	0.37
	2	75.39	0.53	11.11	1.80	1.51	0.06	1.09	1.23	3.64	1.02	0.13	6.79	0.21
	3	75.96	0.67	11.23	1.86	2.35	0.06	1.00	0.29	2.42	1.42	0.13	6.76	0.52
南坪	达舍沟	4	66.90	0.91	13.26	4.39	0.06	2.73	1.56	2.77	2.54	0.21	5.04	0.59
	东北村	5	70.93	0.54	12.38	3.27	0.08	1.60	1.96	2.83	1.98	0.12	5.72	0.41
若尔盖牙相	6	71.82	0.64	11.86	3.22	0.83	0.05	1.88	1.58	2.34	2.57	0.17	6.06	0.66
	7	68.12	0.61	9.55	2.59	0.81	0.08	1.55	6.14	1.97	2.25	0.15	7.13	0.28

(样品由原地质矿产部武汉综合岩石矿物测试中心分析)

采用 Bhatia 的以 11 种主要化学成分特征为基础的判别公式及判别函数系数值(表 2-2), 分别计算出以上三个地区的判别函数 I 、 II 的得分值(表 2-3), 并分别投入判别函数对的直角坐标图中(图 2-3)。从图 2-3 中可看出, 绝大部分样品经投点落入大陆岛弧环境, 壤塘地区样品有 1 个点落入主动大陆边缘环境。