

三江地区义敦岛弧构造-岩浆演化 与火山成因块状硫化物矿床

侯增谦 侯立纬 叶庆同 著
刘福祿 唐国光

地 震 出 版 社

1995

目 录

第一章 绪言	(1)
第二章 区域地质背景与义敦岛弧的构造格架	(4)
第一节 义敦岛弧及“三江”特提斯造山带时空结构	(4)
第二节 义敦岛弧带的构造-地层单元	(8)
第三节 义敦岛弧的“基底”特征	(11)
第四节 义敦岛弧的火山-侵入杂岩特征	(12)
第三章 义敦岛弧火山岩系岩石地球化学特征及岩浆起源演化	(25)
第一节 火山岩岩相学特征	(25)
第二节 火山岩岩石系列与火山岩组合	(30)
第三节 火山岩地球化学特征	(38)
第四节 岩浆演化系列与岩浆演化过程	(55)
第五节 原生岩浆与母岩浆	(63)
第六节 岩浆起源	(65)
第七节 岩浆源岩的地球化学特征	(67)
第八节 上地幔富集作用	(73)
第九节 岩浆源岩地球化学类型	(75)
第四章 义敦岛弧的构造-岩浆演化	(77)
第一节 火山岩的构造-岩浆类型	(77)
第二节 义敦岛弧的构造-岩浆演化	(80)
第三节 关于岛弧的几个基本问题	(90)
第五章 义敦岛弧火山成因块状硫化物(VMS)矿床基本地质特征	(97)
第一节 义敦岛弧成矿带地质特征	(97)
第二节 VMS矿带矿床地质基本特征	(98)
第三节 嘎衣旁矿床基本地质特征	(102)
第四节 呷村矿床基本地质特征	(133)
第六章 火山成因块状硫化物矿床成矿机理与成因模型	(153)
第一节 成矿作用的物理化学制约	(153)
第二节 成矿流体的化学作用	(169)
第三节 稳定同位素地球化学与成矿流体及物质来源	(184)
第四节 义敦岛弧的构造-火山-成矿体系	(196)
第五节 成矿模型	(207)
第六节 找矿标志与远景评价	(210)
参考文献	(213)
照片说明	(218)

TECTONO-MAGMATIC EVOLUTION OF YIDUN ISLAND- ARC AND VOLCANOGENIC MASSIVE SULFIDE DEPOSITS IN SANJIANG REGION, S. W. CHINA

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	(1)
Chapter 2. Regional Geology and Tectonic Framework of Yidun Island -Arc	(4)
1. Major tectonic-magmatic events of Tethys orogenic belt and Yidun Island-Arc	(4)
2. Stratigraphic-tectonic units in Yidun Island-Arc	(8)
3. The characteristics of the arc basement	(11)
4. Volcano-pluton complexes in Yidun Island-Arc	(12)
Chapter 3. Petrologic, Geochemical characteristics of Volcanic Rocks and Magmatic Evolution and Their source	(25)
1. Petrology of the volcanic rocks	(25)
2. Rock series and association	(30)
3. Geochemistry of the volcanic rocks	(38)
4. Magmatic series and processes	(55)
5. Primary magma and parental magma	(63)
6. Origin of the magmas	(65)
7. Geochemistry of the source for magmas	(67)
8. Enrichmentism of the upper mantle	(73)
9. Geochemical type of the for magmas	(75)
Chapter 4. Tectono-Magmatic Evolution of Yidun Island-Arc	(77)
1. Tectono-magmatic type of the volcanic rocks	(77)
2. Tectono-magmatic evolution of Yidun Island-Arc	(80)
3. The basic problems on the island-Arc	(90)
Chapter 5. Geology and Characteristics of Volcanogenic Massive Sulfide Deposits in Yidun Island-Arc	(97)
1. Geology and characteristics of metallogenic belt in Yidun Island-Arc	(97)
2. Geology and basic characteristics of VMS deposits	(98)
3. Geologic features of the Gayiqiong ore deposit	(102)

4. Geologic features of the Gacun ore deposit	(133)
Chapter 6. Genetic Model and Ore-forming-Processes of VMS Deposits	(153)
1. Physical-chemical constraints on the formation of VMS deposits	(153)
2. Chemical processes of the ore-forming fluids	(169)
3. Isotopic geochemistry and the source of the fluid and metals	(184)
4. Tectono-magmatic-mineralization system in Yidun Island-Arc	(196)
5. Model on VMS deposit	(207)
6. Ore-prospectng indicators and possible prospective targets	(210)
Reference	(213)
Photos and Their Notes	(218)

第一章 绪 言

“三江”地区系指金沙江、澜沧江和怒江所穿过的横断山脉地区，地处阿尔卑斯-喜马拉雅构造域与环太平洋构造域交汇部位，是冈瓦纳大陆与欧亚大陆解体裂离、镶嵌汇聚和拼贴碰撞的复杂作用地区和巨型造山带，不仅以其独特的构造位置和极其复杂的构造特征被誉为解决全球构造，特别是特提斯构造的窗口，而且蕴藏着极其丰富的矿产资源，成为我国西南有色金属和贵金属勘查基地。义敦古岛弧地处四川西部高原，是“三江”构造带中的重要构造单元和银多金属成矿带。岛弧的形成演化不仅对于揭示“三江”特提斯乃至青藏高原的演化有重要意义，而且对于揭示成矿规律亦有着重要的实际意义。因此，地质矿产部在“七五”期间将其作为重点科技攻关项目，分别对“义敦古岛弧火山-沉积作用”（胡世华和罗再文负责）、“川西呷村银多金属矿床成矿地质特征”（徐明基、付德明和金庆民负责）和“义敦岛弧火山活动与成矿作用”（侯增谦负责）进行了专题研究。原中国地质大学博士研究生侯增谦等与四川地矿局科研所、中国地质大学、中国地质科学院矿床地质研究所成都地质矿产研究所等地质同仁相互配合、密切协作，完成了三级课题报告和博士论文，重点研究了义敦岛弧火山岩系、构造-岩浆演化及呷村等黑矿型块状硫化物矿床地质特征与成矿条件。

近年来，在“七五”科技攻关研究提出的重要找矿靶区和地勘部门的重点勘查地区——赠科地区，川地 108 队对区内矿床、矿点的普查评价取得了重大进展，初步探明嘎衣穷矿床的远景储量达中型规模，并在外围发现了一批矿点和矿化点。为在义敦岛弧带尽快地使嘎衣穷矿床成为继呷村矿床之后的另一特大型矿床，由四川地矿局提议，部直管局批准，设立了“嘎衣穷火山岩型多金属矿床成矿地质特征及找矿靶区研究”课题，项目负责人为叶庆同、侯立纬和刘福禄，主要科研人员为侯增谦、唐国光、陈才金、何显纲。课题组进行了两年多的野外调研和室内研究，由侯增谦、唐国光、刘福禄、陈才金和何显纲编写，侯立纬统纂完成了“四川白玉赠科地区嘎衣穷火山岩型多金属矿床成矿地质特征及找矿靶区研究”课题报告。

在我国，虽有许多古岛弧发育，但缺乏对其深入的研究和总结。有关海相火山成因块状硫化物矿床的实例多有报导，但研究多限于对典型矿床的剖析，而缺乏对成矿环境和成矿条件的深入揭示以及对成矿规律的系统总结。本书以嘎衣穷典型矿床“定向基金”研究报告和侯增谦的博士论文为基础编纂而就，试图弥补以上缺陷。我们以构造-岩浆-成矿统一动力学体系为指导思想，在义敦岛弧火山作用火山岩的深入研究和典型矿床的深入剖析基础上，探讨和总结了义敦岛弧的构造-岩浆演化、成矿作用特征、成矿地质-物化条件及成矿规律。

一、过去工作基础和存在问题

1. 过去工作基础

川西地区的系统地质工作始于 60 年代后期，经四川地矿局各区调队努力，已于 1973 年和 1989 年相继完成 1:100 万和 1:20 万区域调查工作，并提交了系统的区调报告。目前

部分重点地段正在开展 1:5 万区域地质调查。各矿种,特别是金银多金属的找矿和勘探工作亦取得较大进展。

自 70 年代以来,已陆续出版或完成了一批研究成果,对区内矿产、构造、岩石、地层等进行成果归纳和广泛研究。具代表性的综合成果有《四川省地质志》、《川西藏东地区地层与古生物》、《怒江、澜沧江、金沙江区域地质》、《怒江、澜沧江、金沙江区域矿产志》、《青藏高原的形成演化及主要矿产分布规律》及《三江有色金属成矿带成矿远景区划》。具代表性的科研专著有《金沙江-澜沧江-怒江地区大地构造》(陈炳蔚等,1987,1991)、《怒江-澜沧江-金沙江地区重要金属矿产成矿特征及分布规律》(李永森等,1986)、《川西藏东三叠系沉积-构造演化与成矿》(侯立纬等,1992)、《三江地区花岗岩类及其成矿专属性》(吕伯西等,1993)。最近,胡世华等(1992)出版了其专著——《川西义敦古岛弧火山-沉积作用》,对义敦岛弧的地层、沉积相、火山岩及有关矿产进行了较为系统的论述和总结,使义敦岛弧的研究程度大大提高。

2. 存在问题

(1) 关于义敦岛弧

“义敦岛弧”由张之蒙和金蒙于 1979 年命名,目前已为众多地质工作者所公认。然而,因对该古岛弧还未进行专门系统研究,因此尚存在某些问题和争议:① 义敦古岛弧主要地质依据和火山岩浆作用特征;② 义敦古岛弧的极性与发育时限;③ 义敦古岛弧的“基底”性质(陆壳?洋壳?)和特征(张性?压性?);④ 义敦古岛弧的类型及构造-岩浆演化特征。

在岛弧及火山岩研究方法上尚存在某些问题和不足:① 研究工作多以专业设立课题,缺乏不同学科之间的相互交叉和综合分析;② 研究中往往运用稳定台区工作方法来研究复杂造山带地质,缺乏新理论和新思想的引入;③ 单纯依靠地球化学图解(如 Pearce 图解)来鉴别构造环境,缺乏从岩浆源区特点(物质组成、热状态、流变学)、岩浆起源物理化学条件和岩浆凝聚上升过程中与其穿过的各结构层间的相互作用去认识和研究火山岩浆作用及火山作用与大地构造关系;④ 受技术条件限制,分析成果测试精度较低。对蚀变变质作用过程中的元素变化缺乏估计,单纯依靠在蚀变作用中较活动的主要元素(SiO_2 - Na_2O + K_2O)判别岩石系列,出现了某些混乱。

(2) 关于呷村式和嘎衣穷式多金属矿床

近 20 年来,国外对此类矿床已进行十分深入的研究,我国近几年的研究亦取得了长足的进步。尽管如此,我们认为该类矿床研究中存在着某些倾向和缺陷:① 由于课题设置和专业分工,往往只偏重矿床本身研究(矿体特征、物质组成、成矿物质来源与流体来源研究),缺乏对成矿地质环境、地质背景及成矿地质条件研究和分析;② 微观的流体地球化学和成矿物理化学条件研究与宏观的地质环境和成矿条件研究缺乏统一,出现明显脱节;③ 过分强调成矿流体的海水来源,否定岩浆水的贡献。

上述问题有些是义敦岛弧及有关矿床研究中存在的问题,有些则具有一定的普遍性。

二、研究思想和工作方法

构造-岩浆-成矿是一个统一的动力学体系,我们以火山岩浆作用与构造环境和成矿特点的统一性,即构造-岩浆-成矿“三位一体”作为研究工作的基本指导思想。以火山岩浆作用研究为基点和核心,利用最新理论和方法,揭示构造、岩浆、成矿之间的内在联系,探索岛弧的构造-岩浆演化过程,揭示矿床的基本特点和成矿规律。具体说来,在岛弧研究中,

采用以下工作方法：

(1) 应用重点突破方法。工作中选择出重点地区，如昌台地区、赠科地区和乡城地区，在构造位置关键部位、火山岩系发育地段开展深入细致的地质工作，建立适应该区段的火山作用及构造-岩浆演化模型。然后在面上展开，进行必要的工作补充和对比研究，从而获得适用于整个岛弧的普遍性规律；

(2) 以火山岩系和火山岩浆作用为基点和核心，加强火山-沉积岩系剖面测试与观察，对火山岩系时空分布规律及岩系层序、喷发类型、韵律旋回、岩石组合、岩石地球化学特征进行系统的观察分析与深入研究，为进一步研究奠定基础；

(3) 充分发挥火山岩的“地幔探针”作用，研究岩浆源区物质组成、地球化学特点、流体活动与热状态及其对岩浆类型及其地化特征制约，研究岩浆物理性质（如密度、粘度等）对火山喷发机制的制约作用，了解岩浆演化过程中的物理化学条件，并将其放在区域构造演化时空格架中分析研究，揭示火山岩浆作用的特征与规律，以及火山作用与大地构造的内在联系；

(4) 应用岩石构造组合分析方法，划分构造岩浆类型，揭示构造环境对动力学条件、岩浆源区特征和热状态，以及岩浆演化机制和岩石组合、化学特征的制约作用。

在矿床研究中，我们把该岛弧带的成矿作用做为区域构造-岩浆序列中的特殊事件，重点分析研究成矿的地质背景和成矿环境；将含矿岩系-矿体-围岩（含喷气沉积岩）“三位一体”系统考察与分析，深入研究它们间的成因联系及各自特征，如含矿岩系的岩石地化特征和热液蚀变体系，矿体的空间分布、矿床结构、金属化学分带及矿石结构构造，围岩岩相特征等。在此基础上，选择代表性剖面 and 钻孔系统地进行地球化学、同位素、包裹体分析和热力学研究，探索成矿流体性质成分、成矿物质来源、成矿物化约束及矿石堆积过程。基于成矿地质条件和控矿因素综合分析，建立矿床成因模型，提出可行的找矿方法和找矿标志，筛选找矿靶区。

研究工作是在地矿部科技司、直管局、地质科学院、“三江”项目领导小组及四川地矿局的领导下进行的，得到课题负责单位及参加单位有关领导的关怀和指导。四川地矿局科研所胡世华、罗再文、付德明、李开元、曾宜君、尹显科、浦彪及川地 108 队徐明基、任长生等给予了无私的帮助和大力支持。中国地质大学池际尚教授和莫宣学教授给予了悉心指导。中国地质大学路凤香、林培英、漆家福、杨开辉、胡享生、薛迎喜、谭劲、马鸿文等也曾给予大力帮助和指导。中国科学院地质所吴利仁教授、鄂莫岚教授，中国地质科学院矿床所宋叔和教授、韩发研究员，南京大学周新民教授，中国地质大学邓晋福、邱家骧、莫宣学、孙善平、周珣若教授，中国地质科学院成都地质矿产研究所刘增乾研究员，南京地质矿产研究所陶魁元研究员，地质研究所刘梦庚研究员，四川地矿局郝子文、骆耀南、陈茂勋、胡世华、罗再文、付德明、段克勋高级工程师及直管局白冶主任工程师，先后审阅了本书初稿，并提出了宝贵的修改意见。在此一并表示衷心感谢。

第二章 区域地质背景与义敦 岛弧的构造格架

第一节 义敦岛弧及“三江”特提斯造山带时空结构

“三江”（金沙江、澜沧江、怒江）特提斯造山带地处阿尔卑斯-喜马拉雅构造域与环太平洋构造域交汇部位，是冈瓦纳大陆与劳亚大陆解体裂离、镶嵌汇聚和碰撞拼贴造山带，同时亦是全球性地幔对流循环中的两个汇聚中心之一（Irvine, 1989）。该构造带的强烈火山岩浆活动贯穿于岩石圈演化的始终，发育多条代表消减洋盆的蛇绿混杂岩带和与之配对的反映大洋板块俯冲消减乃至碰撞的弧火山岩和碰撞型火山岩带，标志着古板块的边界；记录着特提斯洋的开合历史。义敦岛弧作为“三江”特提斯造山带的重要次级构造单元，形成演化亦可能受着全球性统一动力学机制的制约（侯增谦等，1992）。

“三江”古特提斯造山带由4条板块结合带与其间的稳定陆块（或微大陆）相间拼合而成。自东而西依次排布的结合带分别为甘孜-理塘结合带、金沙江-哀牢山结合带、澜沧江结合带和丁青-怒江结合带，其间的稳定陆块分别为中咱陆块、昌都-思茅陆块、羌塘陆块和保山陆块（图2-1）。

1. 主要陆块属性

依据各陆块的沉积建造和生物群及构造特征，将其分为三组：①属冈瓦纳大陆的保山-掸邦陆块和羌塘陆块；②属欧亚大陆（扬子板块）的中咱陆块；③“原地”微大陆——昌都-思茅陆块。前两组陆块分别来自两大陆的南缘和北缘的认识基本趋同，其证据亦较充分。昌都-思茅陆块的归属亦是一个冈瓦纳与欧亚大陆的分界问题，其两侧的金沙江缝合带和澜沧江缝合带哪一条代表两大陆分界线问题，历来相争不下（黄汲清等，1986；陈炳蔚等1987；李兴振等，1990；李春昱，1986；高延林，1990）。我们认为，该陆块是冈瓦纳与欧亚大陆间过渡性软基底热地壳大陆单元的残留碎块（侯增谦等，1992），其主要证据为：①该陆块不具有地盾或地台型纵向建造序列上的“双层结构”；②古特提斯造山带内碎屑沉积物源区并非扬子古陆和印度古陆；③陆块生物群具明显的冷-暖水混生现象（饶荣标，1989）；④古地磁测量表明，晚古生代的陆块古纬度（17.4°S）与扬子古陆（15.9°N）相距甚远。地球物理资料亦表明两者基底相差甚大。

2. 金沙江-哀牢山板块结合带

由金沙江-哀牢山-马江古海沟和江达-维西复合弧组成。古海沟大致展布于北段金沙江断裂和南段哀牢山断裂至红河马江（越北）断裂带沿线（图2-1），断续分布着晚古生代（ C_1-P_1 ）蛇绿岩、蛇绿混杂岩、洋壳沉积物和高压低温变质带（王凯元等，1983；陈炳蔚等，1983）。北段蛇绿岩（下该-吉义独）层序完整，其洋脊-准洋脊玄武岩属嘎金雪山群（ P_1 ）。高压低温变质岩标志矿物为蓝闪石-3T多硅白云母-钠闪石-黑硬绿泥石。据研究，南

段红河马江, 洋盆于杜内期—韦宪期发生向西南方向俯冲 (Sengor, 1984), 北段较晚。江达-维西复合弧经历了岛弧向陆缘弧转化最后碰撞造山的复杂发育历史。形成海退型陆缘复碎屑与中酸性火山岩建造。岛弧火山岩浆活动始于早二叠末期, 形成典型的岛弧钙碱性火山岩系和相伴产出的古色-夏日共花岗岩带 (271~173 Ma) 主体 (王凯元等, 1983)。早三叠世至晚三叠世卡尼期的弧火山岩系叠加于江达-维西岛弧之上, 在北段, 中酸性钙碱性火山岩系构成陆缘弧或大陆弧, 在南段, 则发育高硅高钾流纹岩和流纹斑岩, 与海陆交互碎屑岩交互产出, 显示碰撞型流纹岩和 TTG 花岗岩地化特征。晚三叠世诺利克期, 在甲丕拉组 (T_3^1) 红色磨拉石建造之上, 于弧后或弧间发育一套细碧岩、细碧角斑岩和枕状玄武岩, 与含放射虫硅质岩及硅质灰岩共生。复合弧区的高温低压变质带与古海沟的高压低温变质带呈对出现, 自东而西依次发育绿泥石黑云母带→铁铝榴石带→十字石带→矽线石带 (王凯元等, 1983)。这些资料表明, 金沙江洋盆于石炭纪开启, 晚古生代 (P_1) 开始向西俯冲消减乃至碰撞。

3. 澜沧江板块结合带

主体由澜沧江古海沟和妥坝-景洪弧构成 (图 2-1)。古海沟大致展布于安多-丁青断裂带和澜沧江断裂带沿线, 分布着晚古生代的各类蛇绿岩套残片、构造混杂体和高压变质岩类等 (王凯元等, 1983; 高延林, 1990)。高压变质带之 3T 多硅白云母年龄 260~240 Ma, 其东侧的临沧-勐海花岗岩带年龄为 244~195 Ma (王凯元等, 1983)。表明古海沟形成于早二叠世晚期, 俯冲带向东北倾斜。妥坝-景洪弧亦经历

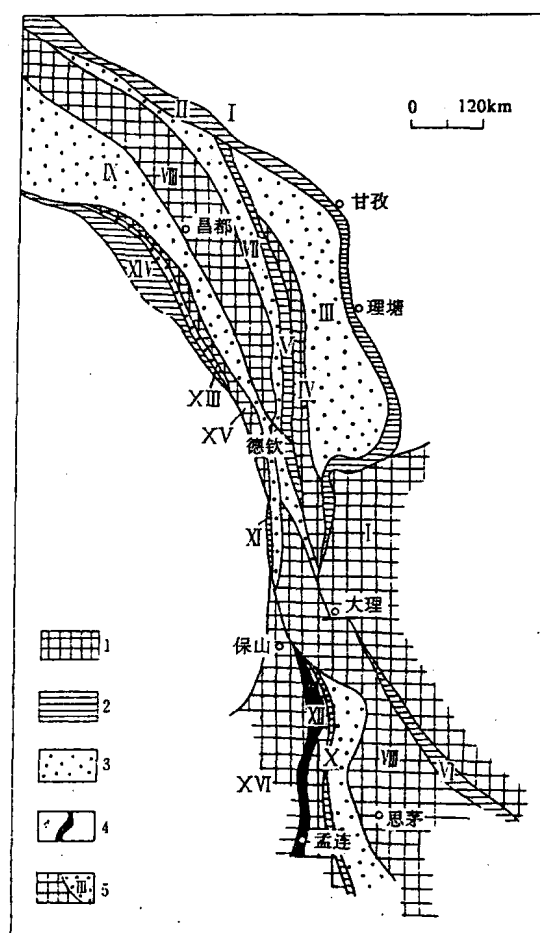


图 2-1 三江特提斯造山带构造格架和火山岩分布
Fig. 2-1 Tectonic framework and the distribution of the volcanic rocks in the Tethys Orogenic Belt, Sanjiang Region

- 1—陆块-微陆块火山岩区; 2—洋脊-准洋脊火山岩-蛇绿岩区;
3—弧火山岩区; 4—裂谷洋盆火山岩区; 5—岩区分界:
I—扬子板块及火山岩区; II—甘孜-理塘俯冲带及蛇绿岩带; III—义敦岛弧及火山岩区; IV—中咱陆块及火山岩区; V—金沙江俯冲带及蛇绿岩区; VI—哀牢山俯冲带及蛇绿岩区; VII—江达-维西复合弧及火山岩区; VIII—昌都-思茅陆块及火山岩区; IX—妥坝-南佐弧及火山岩区; X—云县-景洪弧及火山岩区; XI—澜沧江俯冲带及蛇绿岩区; XII—昌宁-孟连裂谷洋盆及火山岩区; XIII—左贡-路西弧及火山岩区; XIV—丁青-怒江俯冲带及蛇绿岩区; XV—羌塘陆块及火山岩区; XVI—保山陆块及火山岩区

了岛弧 ($P_1^i-P_2$) → 碰撞造山 ($T_2-T_3^i$) → 引张开裂 (T_3^i) 发育历程, 相应地发育岛弧火山岩系、碰撞型中酸性火山岩和钾质粗面玄武岩-高钾流纹岩双峰岩石组合。其中, 弧火山岩构成 3 个岩浆演化系列, 即拉斑玄武岩系列 → 钙碱性系列 → 钾玄岩系列, 自西而东依次展布 (朱勤文等, 1991)。与造弧活动和碰撞运动相伴, 发生华力西期 (244~235 Ma) 和印支期 (230~195 Ma) 酸性侵入活动, 形成规模巨大的临沧-勐海花岗岩带, 相应地发育红柱石-矽线石高温变质带。

4. 丁青-怒江板块结合带

大体由丁青-斑公湖-怒江古海沟和其北东侧的左贡-路西弧构成 (图 2-1)。古海沟西延至中帕米尔和阿富汗法拉河, 南延至缅甸。沿线分布有蛇绿岩套、蛇绿混杂岩、深海复理石沉积及高压低温变质岩 (郑海翔, 1983; 郑一义, 1983; Girardeau et. al., 1989)。据强变形硅质岩之放射虫时代, 蛇绿岩可能形成于三叠纪 (Girardeau et. al., 1989)。据辉长岩之角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 (220~200 Ma) (Girardeau, 1989), 推测古海沟及蛇绿岩形成于三叠纪。左贡-路西弧发育于羌塘陆块南缘和保山陆块西缘, 为一套钙碱性弧火山岩和燕山早期壳源重熔型花岗岩。在中帕米尔地区, 在古海沟北侧, 发育兴都库什-巴达赫尚晚三叠世安第斯型钙碱性岩浆活动形成的花岗岩带 (Girardeau, 1989)。这些资料揭示, 怒江洋盆可能于晚三叠世向北东方向俯冲消减。闭合于侏罗-白垩纪。

5. 甘孜-理塘板块结合带

主体由甘孜-理塘古海沟和义敦古岛弧构成, 发育典型的沟-弧-盆体系。

甘孜-理塘海沟: 古海沟大致展布于甘孜-理塘断裂带间, 沿线分布有晚古生代 (南段) 和早中生代 ($T_1-T_3^i$) 蛇绿岩残片和洋壳沉积物、构造混杂体及少量高压低温变质矿物和变质岩类 (刘宝田等, 1983)。

沿线分布的蛇绿岩多被肢解, 零散分布。层序完整的蛇绿岩套仅见于理塘禾尼、木里美沟、玛旁等地。完整的层序自下而上为变质橄榄岩、堆晶杂岩、席状岩墙、枕状熔岩和放射虫硅质岩。变质橄榄岩主要包括蛇纹岩、方辉橄榄岩和二辉橄榄岩。其 $m/f = 8.46 \sim 9.33$, 属镁质超基性岩。堆晶杂岩系自下而上依次为纯橄岩、次闪石化单辉橄榄岩和斜长石堆积岩, 穿插堆晶杂岩的席状岩墙由辉绿岩、辉绿玢岩和少量辉长岩组成。玄武岩常具枕状构造, 以低 K_2O (平均 0.19%~0.37%)、中 TiO_2 (平均 1.38%~1.63%)、具平坦型 REE 配分型式为特征, 与现代大洋中脊玄武岩相似 (莫宣学等, 1993)。这些蛇绿岩残片标志着甘孜-理塘古洋盆的发育。

据地层对比, 在蛇绿岩带南段, 玄武岩时代为上二叠世, 北段相当于曲嘎寺组 (T_3^i)。在中段, 放射虫硅质岩之放射虫时代为早中三叠世 (刘宝田等, 1983), 表明洋盆自晚二叠世开始开启, 自南而北逐渐打开。据玄武岩 K_2O 、 TiO_2 、 θ 值与洋脊扩张速率关系 (Sugisaki, 1976) 估计, 甘孜-理塘洋盆扩张速率约 1.4~4.2 cm/a (侯增谦等, 1993), 洋盆宽约 480 km。据弧火山岩成分 (K_2O 、 Na_2O 、 θ), 估算得甘孜-理塘微板块俯冲速率约 4.5~6.5 cm/a^①, 平均速率为 5.5 cm/a。根据板块俯冲速率与俯冲角度反相关系, 推测板块俯冲角度较大, 倾角介于马里亚纳与安第斯弧的大洋板块俯冲角度。正是由于甘孜-理塘大洋板块向西的陡深俯冲, 其海沟内墙既高又陡 (邹成敬和韩子章, 1985)。

① 侯增谦, 1988, 博士论文

义敦岛弧：义敦岛弧东为甘孜-理塘海沟所限，西为中咱地块和金沙江海沟所围，北起四川德格，南抵云南中甸，为一条长 500 km、宽约 90~150 km 的 NNW 向展布的构造-火山（岩浆）带（图 2-1）。义敦岛弧由“基底”和弧体构成。这里，基底系指岛弧火山-沉积岩系之下的构造-地层单元。该基底为陆壳而非洋壳，其中发育裂谷型玄武岩系和巨厚的深水碎屑岩系，分别在北部昌台和南部乡城形成两个沉积中心，并具堑-垒相间的构造格局（侯增谦和莫宣学，1991；胡世华等，1992）。弧体本身经历了复杂的发育历史，伴随着岛弧演化，出现了各具特色的火山-侵入杂岩组合和复杂的火山槽岭沉积体。据研究，岛弧可分为 3 个次级构造单元（侯增谦和莫宣学，1991）。

弧前区 位于措交玛-稻城花岗岩东侧与甘孜-理塘断裂带所夹狭长区内，断续出露上义敦群的岩石组合，因构造破坏层序不清，部分与甘孜-理塘混杂岩带混为一体。沉积相组合复杂，具弧前盆地沉积特征（胡世华等，1992）。

主弧区 西为德格-乡城断裂所限，东为巨大花岗岩带所围。沿赠科、昌台、乡城一带展布。主弧区主要分布着晚三叠世呷村期火山-沉积岩系。其火山-岩浆活动有 3 个阶段：早期造弧阶段、岛弧裂谷阶段和晚期造弧阶段，相应地发育形成外弧、岛弧裂谷、内弧（图 2-2）。沉积岩系具典型的火山槽岭沉积体系特点。在岛弧裂谷阶段，形成了典型的火山成因块状硫化物矿床。主弧区的火山岩浆作用及其成矿作用将在后面各章详细叙述。

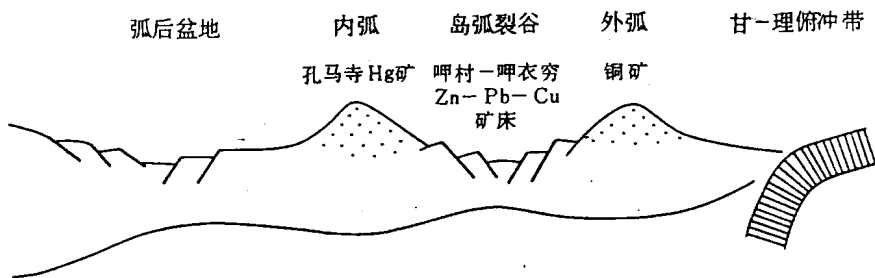


图 2-2 义敦岛弧的沟-弧-盆体系

（据侯增谦和莫宣学，1991）

Fig. 2-2 Trench-arc-basin system in the Yidun Island-Arc

弧后区 位于德格-乡城大断裂西侧狭长区域内，主要出露晚三叠世勉戈期的火山-沉积岩系。其下部为较厚的变质碎屑岩夹灰岩，常见滑塌变形构造和不完整的鲍马序列，具次深海-深海环境沉积特征。中上部岩石组合复杂，由高钾双峰岩石组合和断陷盆地式黑色砂板岩系构成，属弧后盆地环境沉积。

义敦岛弧形成与演化决非孤立，而是与其它各造山带有着密切的内在联系。在古特提斯演化历史中，以冈瓦纳大陆和欧亚大陆间的过渡性地壳单元的残留体——昌都-思茅陆块为中轴，两侧的扩张轴分别随时间（ $C-T_1^3$ ）向两大陆内部迁移，澜沧江洋与金沙江洋（ C_1-P_1 ）及理塘洋与怒江洋（ P_2-T_3 ）先后呈对开启，又先（ $P_1^2-T_3$ ）后（ T_3^2-J ）成对相向俯冲，向昌都-思茅中央陆块消减汇聚，陆块双向增生（图 2-3，侯增谦等，1992）。老的大洋板块俯冲消减与新的陆缘裂离成洋同步进行，反映了古特提斯岩石圈通过两种构造体系相互转化实现其演化的基本运动程式（李兴振等，1992）。据研究，这种岩石圈板块运动程式受深层地幔对流循环体制的制约（Hou et. al., 1993）。

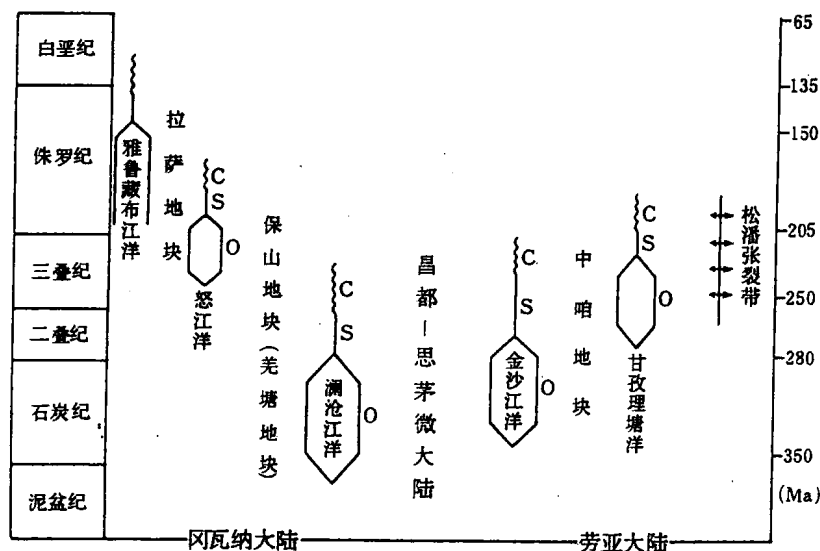


图 2-3 “三江”特提斯造山带在地质历史时期的主要地质事件

Fig. 2-3 Sketch map showing major tectono-magmatic events in Tethys Orogenic Belt during early Mesozoic time

O—大洋；S—俯冲；C—碰撞

第二节 义敦岛弧带的构造-地层单元

一、区域地层

义敦地区的古生界出露于东西边缘，三叠系广布全区，出露面积约占全区总面积的 80 %，最大厚度 19655 m，其中，上三叠统约占整个三叠系出露面积的 70 %（胡世华等，1992）。第三系和第四系仅零星出露。

义敦地区构造复杂，岩相多变，并具东西分带特点。按照现代地层学理论，充分考虑区内不同地点客观存在的岩石地层体之间的区别，把义敦地区地层特别是三叠纪火山-沉积特点与义敦岛弧各单元有机地联系起来对区内地层进行了较为合理的划分（表 1-1）。其中，下义敦群和下热水塘群代表岛弧形成前的产物；上义敦群中义敦型和茨巫型分别代表弧后区不同位置的沉积特点；昌台型是岛弧带中火山-沉积作用产物。各群、型特征已有详尽描述（胡世华等，1992），在此不再赘述。

二、构造-地层单元特征

依据义敦地区不同地质时期构造运动、基底特征及其对沉积建造、岩相特征和火山作用的制约关系，将区内古生界—中生界划分为 4 个构造-地层单元。

1. 奥陶系—下二叠统构造-地层单元

主要分布于东部马尼干戈、理塘、瓦厂一线和西部雅洼、色仓一带。奥陶系主要为黑色大理岩、石英片岩和石英砂岩，其底界以砂岩或石英岩与下伏地层分界。志留系—泥盆

系主要为白云质大理岩、块状结晶灰岩和绢云石英片岩。石炭系一下二叠统主要为互层的大理岩与千枚岩及结晶灰岩。就相型而言，东部地层多属介壳灰岩——“笔石”碎屑岩相，碳酸盐发育较少，生物相对贫乏。地层总厚约 13600 m；西部多为礁灰岩相，偶夹碎屑岩相，生物十分繁盛（姚冬生，1983），地层总厚 5900 m。就沉积类型和生物面貌，东西部均属台型沉积，与扬子台型沉积相类似。就火山岩系而言，东部仅奥陶、志留系和下二叠统偶夹基性火山岩；西部各系地层均夹有规模不等的基性火山岩，反映西部较东部有着较大的活动性。基性火山岩系主要属碱性系列和拉斑系列，显示板内玄武岩地球化学特征（侯立纬等，1983），表明东西两带于此时期发育成重要的张裂带。

表 Ⅱ-1 川西义敦地区地层划分简表

Table Ⅱ-1. Stratigraphic divisions of the Yidun area, Western Sichuan

地 区	拉 纳 山		茨巫-沃岗		白玉-义敦		昌台-乡城		甘孜-理塘		
上义敦群							喇 嘛 垭 组				
	拉纳山型	拉纳山组 火山碎屑岩组 (断层)	茨巫型	上岩组 中岩组 下岩组	义敦型	海子山组 图姆沟组 曲嘎寺组	昌台型	勉戈组 呷村组 根隆组	上热水塘群		
下义敦群			碳酸盐岩型	茨岗组	碎屑岩型	列衣组 党恩组	碎屑岩型	列衣组? (未出露)	下热水塘群	放射虫硅质岩 火山碎屑岩 枕状熔岩 外来岩块	
下伏地层			岗达概组		波格西组				(断层)		

据胡世华等，1992

2. 上二叠统一中三叠统构造-地层单元

与上述单元相依分布，但较广。包括下义敦群和下热水塘群主体。东部与下伏地层多呈整合接触，西部则多呈超伏不整合接触。

在西部，中下三叠统分别包括列衣组和党恩组（表 Ⅱ-1），沉积相型主要为碳酸盐岩型和碎屑岩型，其中，碳酸盐占相当大的比重，富含生物化石，如瓣鳃类、腹足和菊石类。由鲕状灰岩、砾状灰岩、白云石化灰岩和紫红色—灰色砂岩、页岩组成，具小型交错层理、条带状的波状或脉状层理，可能形成于海岸环境（胡世华等，1992）。碎屑岩型主要分布于巴塘义敦等地，下部由深灰色板岩、千枚岩夹变质砂岩和少量大理石化灰岩组成，厚 830~2640 m；上部由深灰色中厚层状变质岩屑砂岩夹少量千枚岩、粉砂岩和板岩构成，厚 1205~2184 m。其沉积相表明，它们可能形成于浅海环境。

在东部，地层主要以碳酸盐岩为主，夹少量碎屑岩。因受多期构造运动破坏，地层层序不清，灰岩块体、枕状熔岩、火山碎屑岩、放射虫硅质岩和少量板岩混杂堆积。

位于东带与西带之间的昌台等地，出露一套灰色—灰绿色的绢云石英千枚岩、绢云母石英片岩、岩屑石英砂岩和粉砂岩，具明显的水平层理，生物化石贫乏。据区域地层对比可能属中下三叠统。

在此构造-地层单元，晚二叠世火山岩大量发育。在东部甘孜-理塘一带，玄武岩具枕状

构造,具典型的 MORB 地化特征,它与镁质-镁铁质岩、席状岩墙群和放射虫硅质岩构成蛇绿岩套,标志着晚古生代—早中生代甘孜-理塘古洋盆的发育(刘宝田等,1983;莫宣学等,1993)。在西部,火山岩主要为基性火山岩,以低 MgO 、高 TiO_2 为特征,显示板内张裂型玄武岩的地化特征,表明西部地区与东部开裂成洋作用相呼应,发生强烈的张裂乃至断陷。

3. 上三叠统下部构造-地层单元

广布全区,厚达 5000 m。以曲嘎寺组 (T_3^1) 或根隆组 (T_3^2) 为代表。

在西部,地层与下伏单元呈角度不整合或假整合接触,界面处出现花岗质角砾或砾石。曲嘎寺组厚 944~1441 m,底部为灰黄—紫红色砾岩或变质粗砂岩,下部为灰色厚层状灰岩、生物碎屑灰岩、板岩夹杏仁状玄武岩,中部为灰色薄—中层长石石英砂岩、粉砂岩夹千枚岩和板岩,上部为泥晶—微晶灰岩、千枚岩夹岩屑砂岩。其沉积相揭示其古地理环境由滨海向浅海演变。

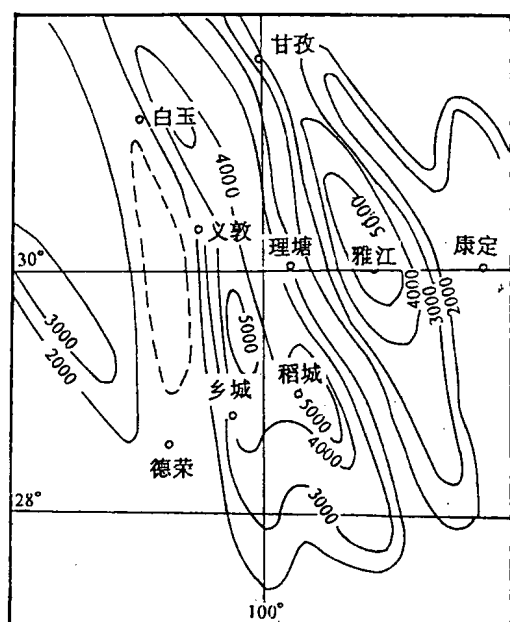


图 2-4 川西地区 T_3^1 时期的沉积等厚图

(据川西藏东地层与古生物 第2册)

Fig. 2-4 The isopach map of sediments during early stage of late Triassic in Western Sichuan

此外,在靠近中咱断隆带(地块)的茨巫-得荣一线,砂板岩系中出现大量大小不等的外来块体。块体一般为灰岩,所含化石指示其来自古生界的碳酸盐岩,具浅水台地沉积特点(胡世华等,1992)。块体的“基质”砂板岩系,具粒序层理、砂纹层理、水平层理和底面印模,显示鲍马序列特点。该套岩石呈带分布,构成所谓“泥砾混杂岩带”(张之蒙,1979),显示海底滑(塌)积岩特征(胡世华等,1992),暗示其形成于强烈扩张的背景下,在台缘裂堑或地堑盆地内滑塌堆积而成。

在东部甘孜-新龙-理塘一带,因构造破坏,层序混乱。岩系主要为变质的碎屑岩、千枚岩、灰岩、板岩和火山碎屑岩。沉积相复杂,深浅环境的岩相混杂。

在中部赠科-昌台-乡城一带,该单元由根隆组构成,主要为一套火山-沉积岩系。以南部乡城和北部昌台为中心,构成较大的沉降带,接受巨厚的复理石沉

积(图 2-4),显示裂谷堑-垒系构造格架(侯增谦和莫宣学,1991;胡世华等,1992)。其火山-沉积作用特征将在下面各章节详细讨论。

4. 上三叠统中上部构造-地层单元

以图姆沟组、拉纳山组或呷村组和勉戈组为代表。广泛分布于东西两条古生界岩带其间,与下伏单元地层呈角度不整合或假整合接触。该单元既是义敦岛弧的主体物质表现,又是区域成矿作用的重要构造-地层单元。本书将对此进行系统研究和介绍。

第三节 义敦岛弧的“基底”特征

一、岛弧基底具薄陆壳性质

在义敦地区,古老变质基底仅见于西南缘的“恰斯断隆”上,由前震旦系恰斯群构成,与扬子地台上的河口群相当(李兴振等,1991)。其上具有统一的地台型震旦系观音崖组和灯影组沉积盖层,表明恰斯断隆曾是扬子地台西缘的一部分,但被甘孜-理塘俯冲带与之隔开。在义敦广大地区,基底由3个构造-地层单元组成。奥陶系一下二叠统地层单元的沉积相特征和生物面貌与扬子地台类似,表明中咱地块和义敦地区可能是扬子地台西缘的组成部分。上二叠统一中三叠统构造-地层单元的碳酸盐型沉积和碎屑岩型沉积揭示其形成于陆缘盆地或陆棚环境。上三叠统曲嘎寺组地层自下而上由砾岩和粗砂岩向砂泥岩转变反映其形成环境由滨岸向陆棚环境演变。其基性火山岩亦显示板内玄武岩亲和性。因此,义敦地区曾处于扬子地台西缘,其构造-地层单元可能为大陆边缘不同构造部位的沉积产物。侯增谦和罗再文(1992)依据岩浆密度对岩浆喷发侵位活动的制约关系,估计义敦岛弧基底陆壳厚度介于20~25 km间,与地层累计厚度大体相当,表明义敦岛弧具薄陆壳基底特征。

二、义敦岛弧基底曾处于强烈拉张状态

义敦岛弧基底的伸张始自早古生代时期,主要表现为火山的强烈喷发活动。扩张中心主要集中于金沙江东侧和甘孜-理塘断裂带上。

在早古生代时期,火山主要喷发期出现于早中寒武世、早奥陶世及中晚志留世。在金沙江东侧得荣-巴塘一带,寒武纪火山岩主要为基性火山岩,以低MgO、高TiO₂、较高<FeO>/MgO值为特征,显示板内张裂型玄武岩特征。奥陶纪和志留纪酸性火山岩大量产出,与基性火山岩构成“双峰”岩石组合,反映该带强烈扩张,形成大陆裂谷系或地堑沟(裂陷槽)(侯立纬等,1983)。甘孜-理塘断裂带内的火山岩主要为基性火山岩,由晚期的高MgO、TiO₂中等、低<FeO>/MgO和低碱质的拉斑玄武岩及早期的低MgO、高TiO₂、高碱质的碱性玄武岩组成。前者显示大洋玄武岩特征,后者显示大陆玄武岩特征,表明甘孜-理塘带于古生代时期由裂谷系向大洋方向演变。

石炭纪和二叠纪是义敦地区乃至整个中国西南部的重要张裂时期。石炭纪的大洋中脊型玄武岩沿金沙江带喷发,成为金沙江洋壳的组成部分。二叠纪时间,峨眉地裂运动导致扬子地台西南缘的玄武岩大量溢流(罗志立,1981)。与之呼应,甘孜-理塘沿线形成大洋中脊型玄武岩,与超基性岩、辉绿岩墙群和入射虫硅质岩密切共生,成为甘孜-理塘古洋壳的重要组成部分。

进入晚三叠世卡尼早期,义敦地区强烈扩张,产出曲嘎寺组(根隆组)大陆裂谷型碱性玄武岩和拉斑玄武岩系及“双峰”岩石组合(见后文),并发生块断活动。

三、义敦岛弧基底的堑垒体制

伴随着金沙江洋的开启和大洋板块的向西俯冲,义敦地区所处的扬子被动大陆边缘在拉张作用下发育堑-垒体系,控制着地层分布和沉积相特征。二叠纪地层对比表明,晚古生代时期,义敦地区的堑-垒系的地堑分别位于中咱陆块东侧和甘孜-理塘带(图2-5),地垒分别位于甘孜-理塘带西侧和中咱地块上(图2-5)。地垒接受碳酸盐台地型沉积,地堑内部则

为细陆源碎屑岩沉积和少量硅质岩沉积，于晚三叠世卡尼早期，义敦地区的堑-垒构造格局基本保持不变，但在地堑盆地发育次级堑-垒系（参见图 4-4）。

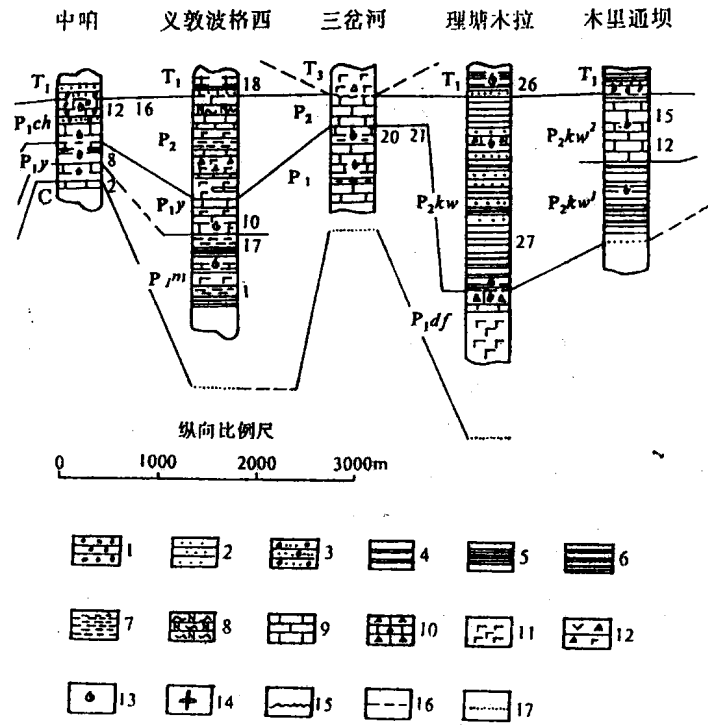


图 2-5 义敦岛弧及邻区二叠系对比图
(据雪冰等, 1983)

Fig. 2-5 The stratigraphic column of Permian in Yidun area

1—砾岩；2—砂岩；3—含砾砂岩；4—硅质岩；5—页岩；6—板岩；7—千枚岩；8—钠长绿泥片岩；9—灰岩；10—角砾状灰岩；11—基性火山岩；12—中、基性火山角砾岩；13—动物化石层位；14—植物化石层位；15—角度不整合；16—假整合；17—关系不明（柱状图右侧 1、2、3……是主要化石名称编号，化石名称见表 1）

第四节 义敦岛弧的火山-侵入杂岩特征

建筑于具堑-垒系特征的薄陆壳上的义敦岛弧，有着复杂的挤压-扩张交替更迭的演化历史，发育各具特色的火山-岩浆岩组合和槽岭沉积体系。本节将重点讨论义敦岛弧各次级单元的火山岩系和火山-侵入杂岩。

一、火山旋回与火山岩时空分布

在义敦岛弧带，火山岩主要形成于晚三叠世卡尼期和诺利期，系岛弧不同发育阶段产物。它们集中分布于南部乡城地区（南岩区）和北部昌台-赠科地区（北岩区），具多旋回活动特征（图 2-6，图 2-7）。

1. 根隆火山旋回

根隆火山旋回有 3 个亚旋回、纳楞海亚旋回、根隆亚旋回和池中亚旋回。前两个亚旋回火山岩在南北两岩区广泛分布；后一个亚旋回火山岩仅产于南岩区内。

(1) 纳楞海亚旋回

火山岩主要分布于义敦岛弧带的东西两侧。呈 NNW 向带状展布 (图 2-6, 图 2-7)。

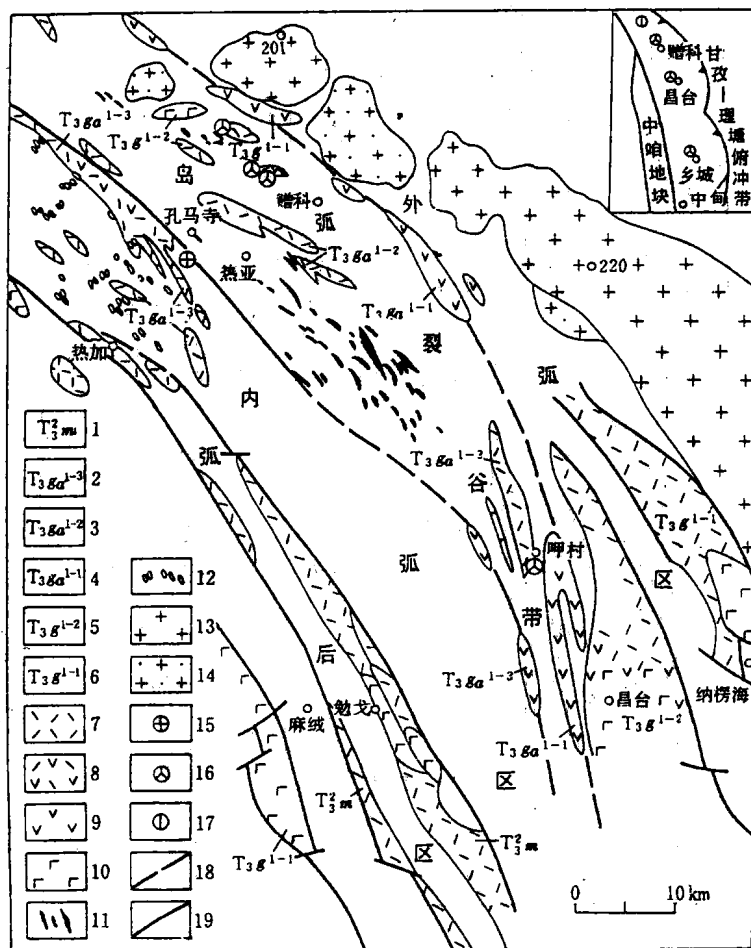


图 2-6 义敦岛弧北段的火山岩-构造略图

Fig. 2-6 A sketch map showing tectono-magmatic units in northern segment of Yidun Island Arc

- 1—勉戈旋回 (弧后期) 火山岩；2—呷村旋回 (主弧期) 第三亚旋回火山岩；3—呷村第二亚旋回双峰式火山岩；4—呷村旋回第一亚旋回火山岩；5—根隆亚旋回火山岩；6—纳楞海亚旋回火山岩；7—流纹岩类；8—英安岩类；9—安山岩类；10—玄武岩类；11—辉长辉绿岩；12—闪长岩-闪长玢岩；13—印支期花岗岩类；14—燕山期花岗岩类；15—汞矿；16—多金属矿；17—铜矿化；18—火山弧轴线；19—断层

在西带，火山岩沿北岩区的白玉-麻绒-果德一线和南岩区的野切-子洼一线分布。火山活动严格受 NNW 向断裂控制，裂隙式喷发、溢流相为主，构成平行中咱地块 (或断隆带) 的、绵延数百公里的基性火山岩带 (图 2-6, 图 2-7)。早期火山喷发形成厚层块状玄武岩、玄武安山岩及玄武质角砾岩和角砾熔岩，厚约 200~300 m。覆盖于石英岩、砾岩及砂