

中国地质调查项目

扬子地台 西缘变质基底演化

耿元生 杨崇辉 王新社 著
杜利林 任留东 周喜文

YANGZI DITAI XIYUAN BIANZHI JIDI YANHUA



地质出版社

中国地质调查项目 (编号: 200313000061)

扬子地台西缘变质基底演化

耿元生 杨崇辉 王新社 著
杜利林 任留东 周喜文

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书对扬子地台西缘变质基底进行了系统的构造变形、岩石学和地球化学对比研究,获得了一批高质量的测年数据,基本查明该区前寒武纪“变质结晶基底”和褶皱基底的组成情况;在康定杂岩区厘定出大量岩浆杂岩体;对河口群和盐边群的构造变形进行了研究,对区域变质时代作了限定;提出本区麻粒岩属于岩浆成因的新认识。

本书可供从事地质、矿产研究的科研人员参考使用,也可供相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

扬子地台西缘变质基底演化/耿元生等著. —北京:地质出版社, 2008. 10

ISBN 978 - 7 - 116 - 05749 - 4

I. 扬… II. 耿… III. 变质岩-基底-大陆演化-四川省 IV. P588.392.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 112793 号

责任编辑: 祁向雷

责任校对: 李 玫

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) 82324577 (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: 787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张: 14.25

字 数: 320 千字

印 数: 1—800 册

版 次: 2008 年 10 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 05749 - 4

(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)

序

《扬子地台西缘变质基底演化》是中国地质调查局大地构造项目“中国典型造山带岩石圈结构及动力学研究”项目中的一个工作项目，实施单位为中国地质科学院地质研究所，工作时限为2003年1月至2005年12月。由耿元生为首和其他五位同志组成的项目组具体负责项目的实施，按照任务书的要求，已全面完成了野外和室内的调查研究任务，并编写了最终研究报告；通过了中国地质调查局组织的专家评审验收。项目组根据评审专家组的意见，在原有报告的基础上，做了进一步的补充，正式出版了研究成果，这是该项目的完整总结。

该项目的工作地区位于扬子地台西缘，从四川省西部的康定到云南省的元谋，南北长700余千米，宽数十千米，呈南北向狭长条带分布。带内出露有不同时代和不同变质程度的多套变质岩系，构成了该带的前震旦纪变质基底。前人将这一基底划分为下部的结晶基底和上部的褶皱基底，具双层结构特征。传统上的结晶基底，系指断续分布于此狭长地带的太古宙—古元古代的康定杂岩或康定岩群。对其岩系组成和时代，由于没有全面系统研究和缺乏可靠的年龄依据而一直存在争议。近年来，已有不少地质工作者从不同角度，在不同地点进行了区内的地质研究，发现这套变质结晶基底的组成大部分为岩浆杂岩，而变质表壳岩较少，而且获得了许多新元古代的年龄数据，因而对原有认识提出了不少质疑。

项目组在前人研究的基础上，从整个狭长地带的地质构造全局出发，从北往南，比较系统地进行了构造变形、岩石学和地球化学的对比研究，对不同类型岩石系统地采集了代表性的样品，采用先进的SHRIMP锆石U-Pb测定方法，获得了一批高质量的定年数据，通过综合分析，提出了以下几方面具有重要意义的新认识和新进展。

1) 基本查明了该区前寒武纪“变质结晶基底”和褶皱基底的组成情况，明确指出：以康定杂岩或康定岩群为代表的变质结晶基底主要是由大量的新元古代(750~850 Ma)岩浆杂岩和少量的中-新元古代变质地层组成。康定岩群或康定杂岩作为专用地层名词已无存在的前提，应予以取消。对褶皱基底的不同变质岩系，也进行了较系统的研究和对比，初步建立了序列，确定了时代和年代格架；在此基础上，编制出了扬子地台西缘前寒武纪变质岩群的划分对比表。认为本区最老的变质地层是中元古代早期的河口群和晚期的会理群，在区域上与会理群相当的地层有登相营群(冕宁地区)、原仁和群(大田地区)、原五马箐组(米易垭口地区)和原尤黑木群(拖乌地区)。盐边群和盐井群都属新元古代，前者老于后者。

2) 在原称的康定群或康定杂岩分布区,厘定出大量岩浆杂岩体,按时代可分为格林威尔期 (1027 ± 8) Ma) 和晋宁期 (860 ~ 740 Ma) 岩浆杂岩。格林威尔期岩浆杂岩包括二长花岗岩和火山岩,前者富钾过铝,具有典型碰撞花岗岩的特征,如米易垭口二长花岗岩 (1027 Ma)。火山岩包括会理群天宝山组火山岩 (1028 Ma)、登相营群火山岩 (1030 Ma) 等。这些认识对研究该区地质-岩浆演化具有重要的意义。根据岩石学和地球化学特点,晋宁期岩浆岩可划分为4个系列,即①镁铁-超镁铁质系列,以冷水箐杂岩和同德杂岩为代表,其成因与岛弧岩浆活动有关;②辉长岩-闪长岩系列,代表性岩体有康定杂岩、宝兴杂岩和冕宁杂岩等,早期形成于 810 ~ 820 Ma,晚期形成于 760 ~ 790 Ma;③英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩系列,在6个岩体中都有分布,特点是高硅、富钠、低钾低钛低磷,明显具岛弧岩浆岩特征;④钾质花岗岩系列,属钙碱性系列的过铝花岗岩,多数属A型花岗岩,具后造山特点。

3) 对河口群和盐边群的构造变形进行了初步研究,对区域变质作用的时代作了限定。指出中元古界河口群和会理群的早期构造变形为东西向,反映了格林威尔期变形特征,南北向构造多是晚期叠加的产物。区域变质作用的时代大致为 750 Ma 左右。

4) 较有根据地提出本区麻粒岩是属岩浆成因的认识。

总之,本书的出版对提高本区的研究程度和研究水平将起到重要作用,对本区地质演化的认识提高了一大步。但由于本区地质构造复杂,岩系众多,露头不连续,分布面积又广,3年的研究时间有限,所获得的成果虽然具有十分重要的意义,但尚有不少地质问题有待进一步研究,如格林威尔期造山作用的性质、不同系列岩浆岩的构造环境、部分变质地层的确切时代及其横向对比;在河口群和与会理群相当的登相营群均发现有太古宙—古元古代的残余锆石,而且前者之中古元古代残余锆石之多更为少见,盐边群的玄武岩中也有残余古元古代变质锆石,它们的物源区何在?是异地来源还是就地取材?这些岩群的深部或其附近是否存在太古宙—古元古代的变质基底?因此,从发展的观点看,这次项目成果的出版仅仅是阶段性的,是新阶段研究的前奏,为下一阶段的研究指明了方向。作为地质基础研究,需要在较长时期内持续不断地深入研究,才能取得更多关键性的成果。

本书的出版为全面总结扬子地台西缘及其整体地质演化,提供了重要的基础性资料和地质认识,也十分有利于今后继续在本区进一步深入研究的地质工作者参考和应用。

沈其韩

2008年7月15日

前 言

一、任务的由来与目的

在扬子地台西缘,从四川省小金到云南省元谋南北延伸 700 余千米、东西宽数十千米的范围内断续出露变质程度存在明显差异的变质岩系,属于扬子地台基底。对这套变质岩系,前人进行了大量的研究,20 世纪 30 年代黄汲清等将其称为康滇地轴,新中国成立后经过区域地质调查,将本区的基底岩系分为太古宙—古元古代的结晶基底和中元古代的褶皱基底。之后,通过部分地区的 1:5 万区域地质调查和专题研究,认为原划分的太古宙—古元古代结晶基底主要由新元古代的变形岩浆杂岩组成,由于这些工作多属于点上的工作,是否在全区具有普遍性仍存在不同认识。因此该区是否存在太古宙—古元古代的结晶基底成为影响认识扬子地台西缘基底组成和演化的一个关键问题。此外,根据大量新元古代岩浆岩的同位素年代学和地球化学资料,不同学者对新元古代的构造演化提出了不同认识,有的学者提出新元古代超级地幔柱导致该区处于伸展环境;有的学者提出新元古代该区处于岛弧体系,属于造山环境。总之,自 20 世纪 90 年代以来,随着研究工作的不断深入,对该区基底的组成、演化、形成环境等都提出了不同的认识。在此情况下,我们提出了对该区基底的组成、演化进行研究的立项建议。中国地质调查局通过专家论证,于 2003 年下达了工作项目任务书,工作项目名称为“扬子地台西缘变质基底演化研究”,工作项目编号为“200313000061”,所属实施项目是“中国典型造山带岩石圈结构及动力学研究”(中国地质科学院地质研究所负责)。该工作项目实施单位为中国地质科学院地质研究所,工作起止年限为 2003 年 1 月至 2005 年 12 月。

根据中国地质调查局地质调查工作内容任务书的要求,本次工作内容的总体目标是:在已有研究工作的基础上,结合地质调查新成果、新资料,深入探讨和研究区域地质调查工作中存在的疑难问题,重点解决研究区内前寒武纪岩系的岩石特征、形成时代、变质作用演化、形成环境和大地构造背景等基础地质问题,揭示扬子地台双层基底的特征,提高扬子地台基底的研究工作程度。为查明扬子陆块前寒武纪的成矿地质背景、大区域的编图、古大陆的重建以及与中国其他地区的对比提供可靠的基础资料,并为三江造山带和松潘—甘孜造山带的研究提供重要的限定。

二、工作的基本情况

任务书下达之后,由耿元生、杨崇辉、王新社、杜利林、周喜文、任留东等组成了项目组。项目组详细收集了该区的各种资料 200 余份,在充分调研的基础上编写了项目设计书。通过三年的工作共完成以下工作量。

野外路线地质调查从北部的四川省小金到南部云南境内的元谋,贯穿了扬子地台西缘前寒武纪变质岩出露的主要地区,共完成野外路线地质调查数千千米。

采集各类样品共 1012 件,其中包括岩石样品、构造分析样品(56 件)和用于同位素定年的大样(80 件)等。

磨制岩石薄片 839 件(包括构造薄片 53 件),并全部进行了岩石薄片鉴定。

锆石等单矿物分离共完成 68 件。

为研究岩石成因和矿物特征,进行了大量的分析测试工作,其中完成岩石常量、微量和稀土元素分析 226 件, Sr-Nd 同位素分析 97 件,矿物电子探针分析 400 点。

为研究变质岩石和岩浆岩的形成时代,进行了大量同位素年龄分析,完成锆石阴极发光照相 509 幅,完成锆石离子探针 U-Pb 同位素年龄分析 39 件,完成独居石电子探针分析 2 件样品共 118 点,完成 Rb-Sr 岩石-矿物内部等时线一条。

在详细的野外和室内研究的基础上,项目组按要求编写了地质调查项目技术报告。2006 年 12 月组织专家对提交的报告进行了评审验收。评审意见书认为“本项目完成了预定的实物工作量和技术指标,最终研究报告内容丰富、资料翔实、数据可靠、图文并茂,结论可信,圆满完成任务书规定的任务,达到了研究目标,并在前寒武纪地质事件序列及年代学研究方面取得了重要进展与创新性成果”,同时提出了一些修改建议。通过评审验收后,项目组根据专家意见进行了修改与补充,提交了最终成果。本书就是在研究报告的基础上修改完成的。前言由耿元生撰写,第一章由耿元生和杜利林撰写,第二章由杨崇辉和杜利林撰写,第三章由王新社撰写,第四章由任留东撰写,第五章由周喜文撰写。最后由耿元生和杨崇辉对全书进行了统编。

三、研究工作的主要进展

扬子地台西缘变质基底情况复杂,自然条件艰苦,研究程度较低。通过三年的研究,克服各种困难,在以下几个方面取得了较明显的进展。

1. 基本查明了川西地区前寒武纪变质基底的组成特征

以往多认为扬子地台西缘的变质基底由下部的结晶基底(太古宙—古元古代的康定群)和上部的褶皱基底组成(中—新元古代的会理群等组成)(程裕淇,1994;四川省地质矿产局,1991)。本项目根据大量的野外地质关系、岩石学和同位素年代学的研究,明确提出原划分的康定群(结晶基底)主要由大量的新元古代(750~850 Ma)岩浆杂岩和少量的中—新元古代变质地层组成,因此所谓的结晶基底并不存在。通过大量的研究,初步查明扬子地台西缘的变质基底主要由中元古界下部的河口群、上部的会理群及相当地层、新元古界的盐边群及相当地层、新元古界的盐井群及相当地层和大量的新元古界的岩浆杂岩(包括镁铁-超镁铁质系列、辉长-闪长质系列、英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩系列、钾质花岗岩系列)组成。

2. 初步建立了川西地区变质地层的年代格架

扬子地台西缘紧邻三江造山带,构造变形复杂,导致地层出露不连续,地层划分较混乱。为便于划分和对比,本项目提出了研究区的主地层序列和区域对比地层序列的划分方案。根据这一思路,初步建立了该区变质地层的序列和年代格架。自下而上可划分为:中元古代早期的河口群,形成时代时间为 1700~1300 Ma;中元古代晚期的会理群,形成时代为 1300~1000 Ma。区域上相当于会理群的岩层包括喜德地区出露的登相营群、米易垭口地区出露的原划分的五马箐组、攀枝花南大田-白拉古地区原划分的仁和群等;新元古

代早期的盐边群,形成时代为810~950 Ma,区域上相当的变质地层包括茨达地区原划分的咱里组、康定-泸定地区残留的部分原划分的冷竹关组;新元古代中期的盐井群,形成时代为780~810 Ma,区域上相当的地层有苏雄组、开建桥组和康定地区岩浆杂岩中捕虏的少量残留地层。通过本次研究,提出盐井群中原划分的黄店子组,实际是古生代变形的产物,不属于盐井群的范畴。

3. 厘定出大量岩浆杂岩体,并划分出格林威尔期和晋宁期两个不同时期的岩浆岩

根据野外相互关系、岩石学特征和同位素年代学资料,从原划分的变质地层(主要是原划分的康定群)中厘定出大量的岩浆杂岩,从形成阶段可划分为格林威尔期二长花岗岩和晋宁期侵入岩,前者分布局限,只在米易垭口的火山沟有出露,该期的二长花岗岩富钾过铝,具有典型的碰撞花岗岩的特征,其形成年龄为年龄为 (1027 ± 8) Ma。晋宁期侵入岩是指大体形成于860~740 Ma的岩浆杂岩,该阶段岩浆活动异常频繁,在不同地区形成了组成和时代都不尽相同的岩浆杂岩。按产出位置可分为康定杂岩、宝兴杂岩、冕宁杂岩、米易-磨盘山杂岩、同德杂岩、大田杂岩。需要指出的是,在本区识别出格林威尔期的火山和岩浆作用对认识该区的地质演化具有重要的意义。本区是否存在格林威尔期的岩浆作用始终没有明确的定论,通过本次研究不仅厘定出 (1027 ± 8) Ma的二长花岗岩,还确定了会理群天宝山火山岩形成于1028 Ma,登相营火山岩形成于 (1030 ± 19) Ma,这些数据充分表明,在扬子地台西缘,存在格林威尔期的岩浆活动,并且它们都具有同构造的特点,它们反映了格林威尔期的造山活动。

4. 建立了晋宁期岩浆杂岩的系列和演化时序

本区晋宁期的岩浆侵入作用异常强烈,分布广、类型多,本次研究改变了以往在某一杂岩进行研究的现状,对全区的晋宁期岩浆侵入杂岩进行了全面研究。根据岩浆杂岩的岩石学和地球化学特征划分为4个系列,即:①镁铁-超镁铁质系列,以石棉超镁铁质杂岩、冷水箐超镁铁质杂岩和同德镁铁-超镁铁质杂岩为代表,它们形成于820~810 Ma,属于岛弧环境。②辉长岩-闪长岩系列,它们分布广,有时与超镁铁质岩共生,有时与钠质系列的花岗岩共生,在康定杂岩、冕宁杂岩、宝兴杂岩以及同德杂岩中都有较多的出露,该系列的岩浆杂岩以低碱富钠为特点,主要形成于岛弧环境。与超镁铁岩共生的辉长岩-闪长岩主要形成于820~810 Ma,与钠质系列花岗岩共生的辉长闪长岩主要形成于790~760 Ma。③英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩系列,在所划分的6个岩浆杂岩中都有较广泛的分布,它们以高硅富钠低钾、钛、磷为特点,与埃达克岩相类似,主要属于火山弧花岗岩,形成时代总体呈北老南新的特点,宝兴、格宗等地的该系列岩石主要形成于860~830 Ma,康定杂岩中的英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩主要形成于800~780 Ma,冕宁、大田、元谋等地的该系列岩石主要形成于770~750 Ma。④钾质花岗岩系列,在各杂岩体中零星分布,有时以花岗岩脉的方式产出,该系列的特点是富钾低钠,多数显示出A型花岗岩的地球化学特征,属于壳源成因,形成于后造山环境,主要形成于750~740 Ma。

5. 初步查明前寒武纪变质岩系的变形特征

通过野外构造观察和构造要素的解析,初步查明了不同构造层的变形特征。构造分析表明,河口群发育4个世代的变形构造(不包括后期断裂改造),前两个世代变形构造线为北西向,发育透入性的构造面理;第三世代主要发育在靠近菜子园断裂附近,变形构造

线为近东西向,局部发育轴面劈理;第四期变形为南北向宏观褶皱构造。小型构造分析表明,会理群经历了三个世代的变形改造(不包括断裂改造)。前两个变形世代的构造线近东西向,第三期变形的构造线为近南北向。盐边群经历了3个世代的变形。第一世代构造以 S_0 位变形面,形成板劈理 S_1 及层内掩卧褶皱 F_1 ,伴有低绿片岩相变质,褶皱枢纽优选产状为: $97^\circ\angle 8^\circ$, $277^\circ\angle 28^\circ$ 。第二世代构造以 S_1 为变形面,形成劈理 S_2 及较大型的褶皱 F_2 。 S_2 在野外较难识别,优选产状为 $149^\circ\angle 82^\circ$,褶皱 F_2 多为倾竖褶皱,枢纽近于直立。第三世代变形为近南北向大型褶皱构造。由于研究区内大型的南北向断裂发育,对早期的变形特征前人研究较少,本次研究表明中元古代的构造层(河口群和会理群)早期的变形为近东西向,反映了格林威尔期变形的特征,南北向构造更多是晚期叠加的产物。

6. 根据变质作用的研究提出变质分带与构造作用相关的认识

通过对前寒武纪变质岩系变质作用的研究,认为整个川西基底在许多部位,既有低、中级变质,甚至局部可达到高角闪岩相;但是,更多的部位却显示轻微变质、甚至不变质的特征。在变质作用发育的部位,变质相带的产出和分带是清楚的,如从黑云母带、石榴子石带、十字石-蓝晶石带,甚至夕线石-堇青石亦可在最高级别的长英质片(麻)岩中出现,基性变质岩也有相应的变化。尽管如此,变质带出露的总宽度却较窄,仅为1~2 km至5~6 km,如元谋白沙滩自极低级变质至十字石-蓝晶石带的总宽度不足2 km,而在元谋朱布村附近、攀枝花市高坪、新民乡六道湾、盐边冷水箐等地区变质带出露的宽度较大(5~6 km),向北如茨达、尤黑木等地最高至石榴子石带,变质宽度也较小。总体而言,在川西基底变质岩中,变质岩及变质带的分布是不均匀的,变质强的部位可达角闪岩相,变形作用明显;低者弱变质甚至不变质,变形轻微。另一方面,无论变质强度还是变质带的出露宽度,自南而北,似乎有逐渐降低和变窄的趋势。区域变质作用发生的时间大致在750 Ma左右。

7. 提出本区麻粒岩主要是岩浆成因的认识

关于研究区内是否存在通过区域变质产生的麻粒岩一直是一个争论的问题,本次研究通过详细的野外观察、岩相学研究和同位素地质的研究,提出扬子西缘沙坝地区 and 同德地区所谓的“麻粒岩”是变质的辉长苏长岩体,区域上并不存在麻粒岩相变质作用。沙坝“麻粒岩”岩体的侵位年代为793~822 Ma,同德“麻粒岩”岩体的侵位年代为 (822 ± 11) Ma。

四、存在问题和建议

扬子地台西缘分布的变质岩系经历了非常复杂的变质变形改造,对它们的基本组成(是以变质地层为主还是以大量的岩浆杂岩为主?)、是否存在双层基底、形成时代(从太古宙到中元古代还是以新元古代为主,有少量的中元古代岩层?)、变形期次和各期变形的特征、该区是否存在格林威尔期的造山作用、新元古代是与地幔柱有关的裂解环境还是早期为岛弧晚期为后造山的张裂等问题,一直存在不同的认识。本项目通过3年的研究以详细的野外工作和大量的分析测试数据提出一些基本认识,基本解决了扬子地台西缘的组成、形成时代、麻粒岩的成因等问题,但还有一些问题需要更深入的研究,格林威尔期造山作用的特点、不同系列岩浆杂岩形成的构造背景、一些变质地层的归属和区域对比等,都需要进一步研究。

由于该区所处的大地构造位置对认识罗迪尼亚超大陆的形成和裂解具有重要的意义,已引起部分国外学者和中国香港地区以及内地其他一些行业学者的高度重视,加之该区还有许多重要问题需要深入研究解决,因此我们建议中国地质调查局把该区作为一个重点地区进行不断地深入研究,在“十一五”期间通过地质调查工作的开展和专题研究的进行大大提高该地区的研究程度。

五、致谢

本项目在立项和执行过程中始终得到中国地质调查局科技外事部彭齐鸣主任、叶建良副主任、卢民杰副主任、肖桂义处长、刘凤山处长的大力支持和帮助。在项目执行过程中项目依托单位的主要领导、科技处副处长姚培毅等给予了大力支持。在野外工作和资料收集中得到四川省地勘局、四川省地质科学研究所、四川省攀西地质大队有关领导的支持和帮助。在野外工作期间得到了攀西地质大队杨铸生先生和四川省地质科学研究所杨学俊先生的热情帮助。在锆石离子探针分析中得到了北京离子探针中心刘敦一主任、万渝生研究员、王彦斌研究员、陶华工程师、张巧大副研究员的指导与帮助。在地球化学数据分析和矿物电子探针分析中得到了中国科学院地质与地球物理研究所、国家地质测试中心、中国地质科学院矿产资源研究所和北京大学地球和空间科学学院的支持。在研究过程和报告编写过程中始终得到沈其韩院士的悉心指导,在报告编写过程中曾与李锦轶研究员、闫全人研究员进行过有益的探讨。以肖庆辉教授为组长的专家组对项目的认真评审和对报告的修改建议使报告更加完善。在本书出版之际,谨向上述单位和同志表示诚挚的感谢。

目次

序

前言

第一章 前震旦纪基底的岩石地层	(1)
第一节 概述	(1)
一、结晶基底的划分沿革和已有年龄资料的讨论	(1)
二、褶皱基底的划分对比和形成时代讨论	(5)
三、本文对该区前寒武纪地层的划分	(6)
第二节 河口群	(8)
一、基本特征和划分	(8)
二、锆石 U-Pb 年龄和形成时代讨论	(8)
三、地球化学特征	(11)
第三节 会理群	(14)
一、基本特征和划分	(14)
二、地球化学特征	(14)
三、锆石 U-Pb 年龄和形成时代讨论	(16)
四、天宝山组酸性火山岩成因讨论	(18)
五、区域对比	(20)
六、关于会理群的小结	(33)
第四节 盐边群	(34)
一、基本特征和划分	(34)
二、岩相学和地球化学特征	(35)
三、锆石 U-Pb 年龄	(39)
四、形成时代与构造环境讨论	(41)
五、区域对比	(42)
六、关于盐边群的小结	(58)
第五节 盐井群	(59)
一、基本特征和划分	(59)
二、岩相学和地球化学特征	(59)
三、锆石 U-Pb 年龄	(62)
四、区域对比	(65)

五、关于盐井群的小结	(68)
第二章 前震旦纪侵入岩	(70)
第一节 Grenville 期二长花岗岩	(71)
一、地质和岩石学特征	(71)
二、岩石化学特征	(72)
三、地球化学特征	(72)
四、锆石 U-Pb 年龄	(74)
第二节 晋宁期侵入岩	(76)
一、各杂岩的野外地质特征	(76)
二、岩相学特征	(79)
三、地球化学特征	(83)
四、晋宁期岩浆杂岩的小结	(132)
五、有关问题的讨论	(134)
第三章 扬子地台西缘基底岩系构造解析及基本构造格局探讨	(137)
第一节 概述	(137)
第二节 扬子地台西缘基底岩系的时空分布及结晶基底问题	(137)
一、基底岩系的时空分布	(137)
二、结晶基底问题	(144)
第三节 前震旦纪基底岩系构造解析	(144)
一、河口群	(145)
二、会理群	(146)
三、盐边群	(151)
四、岩浆杂岩带	(151)
第四节 扬子地台西缘前震旦纪构造格局	(154)
第五节 扬子地台西缘前震旦纪构造演化	(156)
第四章 变质地质演化	(157)
第一节 变质岩分布	(157)
第二节 变质矿物的特征	(159)
一、云母	(159)
二、石榴子石	(159)
三、斜长石	(162)
四、闪石-单斜辉石	(166)
五、夕线石-红柱石	(167)
第三节 变质温压条件和变质时代的讨论	(168)
第五章 扬子地台西缘“麻粒岩”的成因与演化	(174)
第一节 沙坝杂岩、同德杂岩与变质表壳岩的产状与分布	(175)

一、沙坝杂岩	(175)
二、同德杂岩	(175)
三、变质表壳岩	(176)
第二节 岩相学与矿物学特征	(177)
一、沙坝杂岩	(177)
二、同德杂岩	(184)
三、五马箐、荒田和原冷竹关组变质表壳岩	(185)
第三节 同位素年代学	(191)
一、离子探针 (SHRIMP) 锆石 U - Pb 定年	(191)
二、独居石电子探针 U - Th - Pb 原位化学法定年	(194)
第四节 讨 论	(199)
一、沙坝与同德“麻粒岩”的成因	(199)
二、沙坝与同德“麻粒岩”的侵位时代	(201)
三、康滇地轴的区域变质时代	(202)
四、结论	(202)
参考文献	(203)
附录 1 本书中同位素年龄样品的采样地点	(209)
附录 2 本书中岩石地球化学样品的采样地点	(210)
附录 3 本书中采用的矿物缩写、中文名称、英文名称对照表	(215)

第一章 前震旦纪基底的岩石地层

第一节 概 述

一、结晶基底的划分沿革和已有年龄资料的讨论

从四川省西部的康定到云南省的元谋,长700余千米、宽数十千米的南北向狭长带内出露有变质程度不同的多套变质岩系,它们构成了扬子地台西缘的前震旦系基底。前人根据变质程度、变形特征和形成时代等将该区的前震旦系基底划分为下部的结晶基底和上部的褶皱基底(程裕淇等,1994;四川省地质矿产局,1991)。

传统意义上的结晶基底,通常是指断续分布于康定—攀枝花—元谋一带的变质混合岩系(辜学达等,1997)。对于这套变质杂岩系的认识可以概括为4个阶段。第一阶段,自20世纪30年代至50年代,一些地质前辈通过路线地质调查,在扬子地台西缘陆续发现了一些结晶片麻岩,被称为“康定片麻岩”(谭锡畴,李春昱,1931,1959)、“磨盘山结晶片岩”(黄汲清,1945,1954)、“康定杂岩”(张兆瑾,1940),并认为它们经历了较复杂的变质变形改造,构成了康滇地轴的核心。第二阶段是从60年代到80年代,通过1:20万区域地质调查,获得了一批600~900 Ma的K-Ar法同位素年龄数据,认为这套变质杂岩系主体是晋宁期—澄江期的岩浆杂岩,划分出若干期次的不同岩体,包括闪长岩、石英闪长岩、花岗岩、花岗闪长岩等。这一阶段主要的特点是,将该区古老的结晶片麻岩划分为不同期次、不同成分的岩浆杂岩体。第三阶段是从70年代到90年代,刘俨然、贺节明、骆耀南等相继在该杂岩带的沙坝等地发现了麻粒岩,继而冯本智等又在同德大田、盐边坝头、攀枝花市渡口桥头也发现了麻粒岩。这些研究者认为它们应是老于会理群的一套有序的岩石地层单位。张应圭、程文祥、冯本智(1983)等分别提出建立“康定群”,其含义范围不仅包括了原有的“康定片麻岩”、“康定杂岩”、“磨盘山结晶片岩”和元谋混合花岗岩,同时认为1:20万区域地质调查中在该区划分的 δ_2 、 δo_2 、 γ_2 、 γm_2 、 $\gamma \delta_2$ 和部分 γ_5 可能均属康定群的范围。程文祥在泸定北—瓦斯沟建立了该群的典型剖面,自下而上建立了咱里组和冷竹关组。李复汉等(1988)对康定群进行了重新划分,自下而上划分为泸定组和瓦斯沟组;同时,将在攀枝花渡口、同德一带分布的中深变质岩系命名为仁和群,自下而上划分为仰天窝组和大田组。并认为攀枝花地区的仁和群与北部康定—泸定地区的康定群是相对应的地层单元。有的研究者则划分为大田组和冷水箐组(冯本智等,1982;徐先哲等,1985);有的研究者则将康定群划分为3个组,自下而上为咱里组、冷竹关组和五马箐组(邢无京,1989)。有的研究者(姚祖德等,1990)提出在五马箐组之上建立下村群,分为4个组,四川省在地层清理时采纳了这一方案(表1-1;辜学达等,1997)。而有的研究者则认为,下村群与康定群的五马箐组是连续的,因此将下村群的4个组并入康定群,将康定群自下而上划分为咱里组、冷竹关组、汞山组、

吴家沟组、小荒田组和核桃湾组 6 个组（见表 1-1；朱占祥等，1991）。这一阶段多数研究者认为，康定群是位于褶皱基底（会理群、登相营群、盐边群等）之下的结晶基底（四川省地质矿产局，1991），时代为古元古代—太古宙（李复汉等，1988；冯本智等，1990；程文祥等，1990），但也有少数研究者认为，康定群与会理群、盐边群等是同时代的产物，均划归前震旦纪东川期构造层（陈志梁、陈世瑜，1987）。第四阶段是从 90 年代至今，在这一阶段，通过 1:5 万区域地质调查和专题研究，在第三阶段划分的康定群中划分出大量的岩浆成因的片麻岩。在泸沽幅等 6 幅 1:5 万地质调查中划分出教场坝超单元、摩挲营超单元、沙坝片麻岩套等岩浆成因片麻岩单元。在泸定地区划分出黄草山片麻岩、下索子片麻岩等岩浆成因的片麻岩套。在攀枝花地区，通过 1:5 万区域地质调查，马玉孝等（2001，2003）认为，原来由大渡口“麻粒岩”、仰天窝组和大田组等组成的仁和群实际上是由晚二叠世非层状侵入岩及侵入其中的二长花岗岩和钾长花岗岩组成。在河门口至老街一带由于受韧性剪切影响，局部变成了花岗质糜棱岩、碎裂岩或片麻状角闪辉长岩。他们认为前人划分的康定群五马箐组为晚二叠世热接触变质岩，其原岩为上震旦统把河关组和观音崖组；前人划分的冷竹关组是由韧性剪切作用形成的花岗质糜棱岩和碎裂花岗岩，其原岩为晚二叠世二长花岗岩和钾长花岗岩。在除去这些后震旦纪的变质变形岩浆杂岩外，他们认为该区的结晶基底仅由前人所称的大田杂岩（石英闪长岩）、同德杂岩（辉长闪长岩）和它们的围岩斜长角闪片麻岩及石英云母片岩组成，并提出有少量片麻岩和片岩属于变质地层，建立了红格群，自下而上分为回龙组和湾湾组，时代划归到古元古代到太古宙。这一阶段的特点是，在原划分的康定群中划分出大量岩浆成因的片麻岩，仅保留了少量的变质地层，仍将它们划归到太古宙—古元古代的康定群或红格群。这一阶段，对划分出的岩浆成因的片麻岩进行了大量的锆石 U-Pb 同位素年龄测定，表明它们主要形成于新元古代（表 1-2）。

表 1-2 原康定群或康定杂岩的同位素年龄表

样品名称	所属单元	年龄 Ma	测试方法	采样位置	文献作者
花岗片麻岩	米易杂岩	764 ± 9	SHRIMP U-Pb	米易东南 20 km 左右	Zhou et al. , 2002
片麻状花岗岩	康定杂岩	797 ± 10	SHRIMP U-Pb	康定东南 3 km 左右	Zhou et al. , 2002
片麻状花岗岩	康定杂岩	795 ± 11	SHRIMP U-Pb	康定东 20 km 左右	Zhou et al. , 2002
片麻状花岗岩	康定杂岩	796 ± 13	SHRIMP U-Pb	康定东 25 km 左右	Zhou et al. , 2002
闪长岩	康定杂岩	768 ± 7	SHRIMP U-Pb	姑咱北 4 km	Li et al. , 2003
花岗闪长岩	康定杂岩	755 ± 6	SHRIMP U-Pb	姑咱南 10 km	Li et al. , 2003
花岗岩	康定杂岩	751 ± 10	SHRIMP U-Pb	泸定西南 15 km 左右	Li et al. , 2002
辉长岩（沙坝麻粒岩相片麻岩）	康定杂岩	752 ± 11	SHRIMP U-Pb	喜德西、沙坝北	Li et al. , 2002
辉长岩（沙坝麻粒岩相片麻岩）	康定杂岩	752 ± 12	SHRIMP U-Pb	喜德西、沙坝北	Li et al. , 2002
闪长岩（米易）	康定杂岩	775 ± 8	SHRIMP U-Pb	攀枝花北东 20 km	Li et al. , 2003
大田花岗闪长岩	康定杂岩	759 ± 11	SHRIMP U-Pb	攀枝花南	Li et al. , 2003

续表

样品名称	所属单元	年龄 Ma	测试方法	采样位置	文献作者
变质沉积岩	康定杂岩	1750 ~ 1000	SHRIMP U - Pb	攀枝花南 32 km	Li et al., 2002
花岗片麻岩	康定杂岩	1007 ± 14	SHRIMP U - Pb	攀枝花北回管沟	Li et al., 2002
大田杂岩	康定杂岩	828 ± 52	常规锆石 U - Pb	同德大田	胥德恩等, 1995
磨盘山杂岩	康定杂岩	776 ± 2	常规锆石 U - Pb	磨盘山	胥德恩等, 1995
沙坝杂岩	康定杂岩	753 ± 15	常规锆石 U - Pb	冕宁县沙坝	胥德恩等, 1995
花岗质片麻岩	康定杂岩	772 ± 15	SHRIMP U - Pb	冕宁县沙坝	陈岳龙等, 2004
麻粒岩	康定杂岩	721	SHRIMP U - Pb	冕宁县沙坝	陈岳龙等, 2004
角闪变粒岩	康定杂岩	773 ± 11	SHRIMP U - Pb	冕宁县沙坝	陈岳龙等, 2004
沙坝麻粒岩	康定群	1140 ± 110	Sm - Nd 矿物等时线	冕宁县沙坝	徐士进等, 2002
沙坝麻粒岩	康定群	1128 ± 120	Sm - Nd	冕宁县沙坝	徐士进等, 2002
沙坝麻粒岩	康定群	877 ± 12	Ar - Ar (角闪石)	冕宁县沙坝	徐士进等, 2002
沙坝麻粒岩	康定群	825 ± 13	Ar - Ar (角闪石)	冕宁县沙坝	徐士进等, 2002
同德麻粒岩	康定群	827 ± 12	Ar - Ar (角闪石)	同德东北公路桥下	徐士进等, 2002
同德二辉斜长片麻岩	康定群	2957 ± 304	Pb - Pb		袁海华, 1985
斜长角闪岩	康定群	2451	锆石 U - Pb	泸定北	间接引用
二辉斜长片麻岩	康定群	2404 ± 189	Rb - Sr	冕宁县沙坝	邢元京, 1989

对于康滇地轴结晶基底（康定群或康定杂岩）的形成时代，一直存在较大争议，并进行了大量的同位素地质年代学的研究。早期以矿物（或全岩）K - Ar 法和全岩 Rb - Sr 法为主，后期则以锆石 U - Pb 法为主，进行了部分全岩 Pb - Pb 法和 Sm - Nd 测定。近年又采取锆石 SHRIMP U - Pb 法进行了大量测定。李复汉等（1988）对早期的矿物（或全岩）K - Ar 法和全岩 Rb - Sr 法的年龄测定结果进行了系统总结。目前多认为 K - Ar 同位素体系和 Rb - Sr 同位素体系在变质作用中易于活动，在确定经历了变质变形改造的古老岩石的形成时代时尽量避免采用。因此本文主要将近些年对采用锆石 U - Pb 法获得的康定群（杂岩）的已有资料和部分已被广为引用以确定康定群（杂岩）属于太古宙—古元古代的代表性年龄数据汇总如表 1 - 2。从中可以看出，原康定群中的许多片麻岩都是新元古代期间形成的。

前人把结晶基底康定杂岩定为太古宙—古元古代的主要依据有两点，一是康定杂岩部分变质较深，如冕宁沙坝、攀枝花大渡口等地前人认为变质程度达到麻粒岩相，形成时代应相对较老。但近年研究表明这些麻粒岩其原岩部分属于苏长岩，属于岩浆成因，不属于变质成因（马玉孝等，2001）。即使部分岩石变质程度较深，也难以说明其形成时代一定老。如华北地区中部带中的一些麻粒岩的变质作用发生的时间是 1.8 Ga 左右（Guo et al., 2005），比相邻的片麻岩（2.5 Ga 左右，变质程度通常为角闪岩相）要年轻得多。此外在喜马拉雅地区发现有 18 Ma 的麻粒岩，表明麻粒岩的形成与时代并无必然的联系。前人将康定群或康定杂岩划分为太古宙—古元古代的同位素年龄依据主要有：①同德角闪