

金矿地质研究丛书

华夏地块 韧性剪切带型 金矿地质

王鹤年 张守韵
俞受盛 陈 骏
等 著

地质出版社

金矿地质研究丛书

华夏地块韧性剪切带型 金矿地质

王鹤年 张守韵 俞受璠 陈 骏 等著

国家自然科学基金资助项目

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

韧性剪切带型金矿是世界上最重要的金矿类型之一。全书将韧性剪切带型金矿的形成与华夏地块的演化紧密地联系起来,详细地研究了武夷—云开—海南成矿带这类矿床的地质背景,从源—运—储整个成矿过程中金的迁移富集,阐明了金矿的成因、成矿规律,建立了成矿模式,提出了找矿标志及找矿方向。

本书可供从事金矿地质学、矿床学、构造地质学等方面的生产、研究单位和地质院校的师生参考。

金矿地质研究丛书
**华夏地块韧性剪切带型
金矿地质**

王鹤年 张守韵 俞受鏊 陈 骏 等 著

责任编辑 谢洪源

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100707

北京朝阳区东华印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1992年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1992年11月第一次印刷 印张:11.5 插页:2
印数:1—800 字数:261 000

ISBN 7-03-003315-9/P·645

定价:14.20 元

序

韧性剪切带型金矿是我国东南部武夷—云开—海南成矿带颇具特色的金矿类型。它不仅在矿床数量及储量规模上均居该区首位，而且还有国内外少见且极具研究价值的典型矿床——河台金矿。韧性剪切带型金矿的确立改变了人们对胶东、小秦岭、吉林夹皮沟等金矿的传统成因观点，也发现了象新疆阿尔泰等地大型金矿。国外西澳大利亚、加拿大等地一些大型、特大型绿岩带中金矿也都属此类。因此韧性剪切带型金矿引起人们极大关注，研究其成因、成矿规律具有重要意义。

全书紧密地将韧性剪切带型金矿的形成与华夏地块的形成和演化联系起来。作者以活动论为指导，运用板块构造及地体构造理论，阐明了成矿地质背景。根据前寒武纪变质基底中不整合或假整合的存在和大量同位素年龄数据，讨论了华夏地块的形成和演化；第一次探索性地提出了华夏地块的边界及其与江南地块的碰撞特征，以及深层次的韧性剪切带与金矿形成和分布的关系。

作者从源—运—储整个成矿过程探讨了华夏地块这类金矿的成矿规律。它的形成经历了矿源层形成阶段（海底火山—喷流沉积作用）→金的活化转移阶段（区域变质、混合岩化作用）→浸染型金矿形成阶段（早期韧性剪切作用）→金的叠加富集阶段（晚期脆性或韧—脆性推覆剪切、破裂作用及岩浆作用）。

该书将过去看来是孤立的糜棱岩带蚀变岩型金矿、破碎带蚀变岩型金矿、剪切细脉带型金矿和石英脉型金矿在成因上联系起来，建立了成矿模式。作者研究证明了在空间上随韧性剪切带产出的不同深度层次，由上部脆性域到下部韧性域矿床类型的变化。在时间上由早期韧性剪切阶段到晚期脆性阶段矿床类型的变化。晚期脆性破裂为各种成因热液活动及脉岩的上侵提供了通道。书中强调了晚期推覆剪切及岩浆作用，使金更加富集。该书内容丰富，观点新颖，资料翔实，学术水平较高，对于研究韧性剪切带型金矿具有重要的参考价值。

王德滋

1992年7月

前 言

武夷—云开—海南金矿带是我国近年来新发现的金矿带，其中大多数矿床是受韧性剪切带控制的。我们将这类受韧性剪切带控制、成矿作用与韧性剪切带的发生、发展有成因联系的金矿床称之为韧性剪切带型金矿床。随着对韧性剪切带型金矿床认识的深化，改变了人们对胶东、小秦岭、吉林夹皮沟等金矿集中区金矿成因的认识，也发现了象新疆阿尔泰等地大型金矿。国外西澳大利亚、加拿大一些大型、特大型绿岩带金矿也都属此类。因此，华夏地块韧性剪切带型金矿引起人们极大关注，研究我国这类典型矿床的成因及成矿规律具有重要的理论和实际意义。

全书紧密地将韧性剪切带型金矿的形成与华夏地块的演化联系起来。以“活动论”为指导，运用板块构造及地体构造理论阐明了成矿地质构造背景。从源—运—储整个过程探讨了这类金矿的成矿规律。将多种矿床在成因上联系起来，从而建立了成矿模式，讨论了这类矿床的形成机制。主要论述的内容有：

1) 论证了华夏地块的存在及范围，提出了武夷—云开—海南在元古宙时为一统一古陆，并在研究成矿地质背景方面获得了突破性进展。我们在海南首次发现了1400Ma前中元古代陆壳重熔型抱板花岗岩；发现了晚元古代石碌群(840Ma)与中元古代金牛岭群(>1400Ma)间的不整合或假整合。在东安运动(1400Ma)与晋宁运动(850Ma)之间存在约600Ma长时间的沉积间断，缺失相应的地层。这一间断在武夷地区龙北溪组与麻源群之间；浙南龙泉群与陈蔡群之间均有出现。大量同位素数据也证实了这一事实。这一发现对元古宙华南大地构造性质的认识有重要意义。

2) 第一次提出华夏地块的演化史、地块的边界及其与扬子地块碰撞的特征。提出边界韧性剪切带、中压双变质带以及碰撞型花岗岩可作为陆壳垫托之上的板内碰撞的特征。

3) 论述了武夷地区五个矿源层(天井坪组、麻源群、龙北溪组、铁砂街群、周潭群)中五个层位、五个推覆剪切带，提出了矿源层与深大断裂带复合成矿，晚期脆性与早期韧性剪切带复合成矿，花岗岩与推覆剪切带复合成矿的新认识。通过理论模式找矿、综合找矿方法的运用，在武夷地区的找金工作取得了重大进展，找到了一些中、小型具有工业意义的金矿床，开拓了该区找矿新局面。书中还对此进行了理论总结。

4) 紧密地将韧性剪切带型金矿的形成与华夏地块的演化联系起来，从源—运—储整个过程探讨了这类金矿的成矿规律。它经历了矿源层形成阶段(海底火山—喷流沉积作用)→金的活化转移阶段(区域变质、混合岩化作用)→浸染型金矿形成阶段(早期韧性剪切作用)→金的叠加富集阶段(晚期脆性或韧—脆性推覆剪切作用、破裂作用、岩浆作用)。

5) 将糜棱岩带蚀变岩型金矿、破碎带蚀变岩型金矿、剪切细脉带型金矿、石英脉型金矿在成因上联系起来，建立了成矿模式。在空间上证明随韧性剪切带产出的不同深度层次，由上部脆性域到下部韧性域金矿类型的变化。在时间上由早期韧性剪切阶段到

晚期脆性阶段矿床类型的变化,指出了晚期脆性破裂为各种热液活动及脉岩上侵提供了通道。强调了晚期推覆剪切及岩浆作用使金叠加富集。

6) 对于河台金矿韧性剪切带存在的各种糜棱岩、玻状岩及“硅包”(变质分异体),作了详细的岩石学及构造地球化学研究,阐明了这些构造岩的特征及形成的物理化学机制。在金矿成矿理论上,第一次提出了糜棱岩化过程中可以同步形成金的矿化富集,突破了以往只限于脆性阶段成矿的理论。在这本书里作者又提出了扩容变质分异硅质体“硅包”与金的富矿包形成的关系以及玻状岩与金矿体的形成关系。这些重要的事实与理论,在动力变质岩石学、构造地球化学及韧性剪切带金矿成矿理论方面都有所创新。

7) 系统地总结了韧性剪切带型金矿找矿标志、找矿地球化学模式及综合找矿模式,并在实际运用中取得了成功。如矿源层与韧性剪切带次级构造、花岗岩带复合标志,糜棱岩带与以硅化、黄铁矿化、毒砂化为特征的蚀变岩复合标志,地球化学异常与地球物理异常、遥感环形影像和重砂异常复合标志等,对找矿具有实际意义。还应用地球化学找矿法发现了福建太阳山、熊山等一批新矿床;应用 Pb 同位素异常找矿或寻找隐伏矿体。

8) 在研究成矿规律、成矿模式、综合找矿模式及找矿标志基础上提出了华夏地块的找矿方向,对指导该区今后找矿具有重要意义。

这本专著是国家自然科学基金委员会资助的重大基金项目“中国东部金矿重要类型、成矿条件、富集规律及找矿方向研究”的二级子课题的部分成果。由南京大学地球科学系、中山大学地质系和有色金属工业总公司华东地质勘察局共同承担这部分的研究工作。自1989年1月至1992年6月,由于参加单位密切配合,因此提前、超额完成了项目所规定的任务,取得了一些重大成果。

参加本书编写工作的主要有王鹤年、张守韵、俞受璠、陈骏等4人。具体分工如下:第一章王鹤年;第二章张守韵、高鑫;第三章王鹤年、戴爱华;第四章俞受璠;第五章陈骏;第六章张守韵。最后由王鹤年统编。

参加第一章部分编写工作的还有南京大学李红艳、曲晓明、郑晴;第二章有张立公、刘毅、余绍桂、张若琳;第四章有陈志中、单惠珍、邓铁殷、李强。

此基金项目是在国家自然科学基金委员会及南京大学领导下进行的。本课题的研究自始至终得到项目负责人刘英俊教授的具体指导和关心。工作中得到项目顾问及学术委员会徐克勤、王德滋、胡受奚教授的热情关心和指导。此外,还得到广东省及福建省地质矿产局及有关地质队,中国有色金属工业总公司华东、江西、广东、海南等地质勘查局及有关地质队,河台金矿、龙水金矿及政和县矿管站等的大力支持,在此一并致谢!

作者

1992年7月30日

目 录

序

前言

第一章 华夏地块韧性剪切带型金矿成矿地质构造背景	1
第一节 华夏地块前寒武纪基底地质.....	2
第二节 华夏地块的边界及其特征.....	14
第三节 华夏地块的演化.....	19
第四节 华夏地块金矿成矿地质构造背景.....	21
第二章 武夷韧性剪切带型金矿成矿地质特征	25
第一节 含金矿源层.....	26
第二节 武夷金矿带推覆剪切与成矿.....	31
第三节 矿床特征及其成因.....	38
第四节 武夷韧性剪切带型金矿的成矿规律.....	48
第三章 河台含金剪切带的地质特征及矿床成因	51
第一节 成矿地质背景.....	51
第二节 河台含金剪切带的特征.....	68
第三节 河台金矿矿床特征.....	71
第四节 河台金矿矿床地球化学.....	76
第五节 河台金矿成矿机制.....	86
第四章 抱板金矿带成矿地质特征及矿床成因	91
第一节 成矿地质背景.....	92
第二节 矿床特征.....	105
第三节 控矿地质条件及矿床成因.....	114
第五章 韧性剪切带型金矿床成矿模式	124
第一节 韧性剪切带的一般特征.....	124
第二节 韧性剪切带的控矿规律.....	127
第三节 韧性剪切带中元素的迁移和变化.....	131
第四节 韧性剪切带型金矿床成矿模式.....	138
第六章 华夏地块韧性剪切带型金矿成矿规律及找矿方向	143
第一节 成矿规律.....	143
第二节 找矿标志及找矿模式.....	152
第三节 找矿方向.....	164
参考文献	169
图版说明	176
图 版	177

第一章 华夏地块韧性剪切带型金矿 成矿地质构造背景

武夷—云开—海南金矿成矿带是我国80年代新发现的金矿带。1983年广东河台韧性剪切带型大型金矿的发现是华南找金地质工作的重大突破。其后又在海南岛抱板金矿带找到了同类型许多矿床（点）。1988年又在武夷山开拓新区，找到了这类金矿，打开了武夷成矿带找矿新局面。因此，总结成矿规律、在理论上阐明华夏地块韧性剪切带型金矿成矿地质特征、成矿机制及成矿模式，为指导今后找寻这类金矿具有重要意义。

要阐明韧性剪切带型金矿成矿地质条件、成矿规律，必须探明成矿地质构造背景。

武夷—云开—海南金矿成矿带地处我国东南沿海，位于欧亚大陆东端，太平洋西岸。这里是全球性古欧亚造山带，特提斯造山带和环太平洋造山带复合交切地带，构造运动和岩浆活动频繁，构造形式多样，是全球大陆岩石圈中结 和演化最复杂地区之一。由于构造运动、变质作用及岩浆活动多次叠加，使许多构造演化形迹难以保留，给华南大地构造的研究增加了很多困难。因而，对于武夷—云开—海南金矿成矿带构造格架的认识也几经变化，在“华夏古陆”肯定—否定—再肯定反复的过程中加深了认识。

华夏地块与“华夏古陆”的范围大致相当，并略扩大。不同的是本书所论华夏地块是在当今板块构造及地体地质学新的理论基础上对“华夏古陆”加以认识，华夏地块是由前寒武纪基底变质岩构成较为稳定的克拉通。早在本世纪20年代 Grabau(1924) 认为浙闽粤一带出露的一套变质混合岩系皆属太古宙及元古宙，其上为泥盆系不整合覆盖，缺失震旦系及下古生界，因而命名为“华夏古陆”(Cathaysia)。从此拉开了华南大地构造格架研究的序幕。李四光(1952)是最早同意“华夏古陆”存在的著名学者。陈国达(1956)列述了闽、粤罗峰溪系及龙山群多处为古生代地层不整合覆盖，认为各地基底地层皆可对比，从而认为东南沿海不是褶皱带，而是范围广阔的前寒武纪古陆，华夏地台活化区。张文佑(1959)也肯定了“华夏古陆”的存在，范围东抵现在海岸线，西及武夷山、粤西、海南岛，认为是与“江南古陆”并存的一级构造单元。

60年代初，由于华南前寒武纪龙山群及罗峰溪系中古生物的发现，古生代地层被陆续分离出来，又由于K-Ar法测得变质岩同位素年龄几乎皆小于300—400Ma，从而对浙闽、云开地区变质岩时代归属提出异议。黄汲清(1945, 1977)认为扬子地台以南的广大地区为加里东褶皱区，而在浙闽粤沿海及海南岛大部分为华力西褶皱系。

70年代初尹赞勋(1973)将板块理论从国外引入我国后，运用板块构造理论解释华南大地构造成为主流(郭令智, 1980, 1984; 李春昱, 1980; 王鸿祯等, 1986)，使理论研究提高到一个新的水平。郭令智(1980)提出了著名华南的“沟—弧—盆”复合构造体系，认为元古宙时江南古岛弧南侧为海沟，北侧修水一带为弧后盆地。加里东期当时海

沟已迁于丽山—政和—大埔一带,武夷—云开为古岛弧。总之,自元古宙以来,岛弧从NW向SE向不断迁移,由于大洋板块的俯冲,大陆地壳自扬子地块向SE向不断增生。华南不存在前寒武纪古老基底。

80年代以来东南沿海变质基底地质研究取得重大进展。我国Sm-Nd同位素年龄测定工作自1986年后得到迅速发展。水涛等(1986, 1987, 1988)对陈蔡群、建瓯群等变质岩一系列同位素年龄测定都在600—2000Ma之间,使人们不得不相信浙闽一带有古老变质基底的存在,同时对武夷山加里东古岛弧的存在提出了疑虑。徐克勤等(1989)和黄萱等(1989)开展华南花岗岩Sm-Nd同位素研究,根据获得的Nd模式年龄提出华南存在1—2Ga陆壳基底。

水涛等(1988)通过浙闽变质基底地质研究,提出了华夏古陆和江南古陆对接碰撞造山的基本演化历史。认为江南古陆与华夏古陆在早晋宁期沿江山—绍兴断裂带发生碰撞对接,这一新观点得到许多人的赞同。但在浙闽碰撞带之外,其它地区资料尚嫌不足。同位素资料较少,分布范围也很局限。

任纪舜(1990)提出华南为一造山带,位于扬子准地台与印支—南海准地台之间,属滇越—华南造山带的东部。他仍主张华南是加里东冒地槽褶皱带,大陆上的所谓华夏古陆应是加里东古陆,而前震旦纪的华夏古陆应位于大陆海岸之外,就是印支—南海准地台。同时指出中国大陆之东曾有西太平洋古陆存在,古陆远及日本、菲律宾。以后经历碰撞,大陆壳裂解、沉没、洋化只剩下大陆残块,即现在的海岛。

许靖华等(1987)提出华南中生代碰撞造山带的新观点。他将华南分为扬子地块、华南地块及其间的湘赣浙缝合带。华南经受了早期古生代海洋与大陆板块的俯冲以及中生代(印支期)碰撞造山作用,其中复杂变形是大陆内部碰撞形成的。

许靖华等(1987)崭新的观点引起地质界极大震动,激起不同学术观点争鸣的新浪潮,只要能密切结合我国地质实际,这将促进对华南大地构造研究的进展。

为了阐明韧性剪切带型金矿成矿地质构造背景,这里我们重点通过前寒武纪变质基底研究,讨论华夏地块是否存在统一的古陆,这一古陆的边界及其特征、古陆的演化,以及韧性剪切带型金矿与古陆演化的关系。

第一节 华夏地块前寒武纪基底地质

武夷—云开—海南成矿带的构造环境长期以来有着不同看法。不论以往槽台观点确定的加里东褶皱带或海西褶皱带,还是以板块观点称之为武夷—云开加里东古岛弧,都认为本区变质基底均由古生代地层组成;而赞同“华夏古陆”的则认为本区基底为前寒武纪变质岩。华夏地块存在与否,争论焦点在于变质基底的年代问题。对古老岩石年龄测定比较有效的Sm-Nd法同位素年龄测定工作的开展,区域内陆续确定了前寒武纪变质岩,从而为研究华夏地块及其演化发展历史奠定了基础。

华夏地块前寒武纪变质基底的研究,以往发表的文章及数据以浙闽一带居多,云开—海南一带的资料却十分缺乏,基础地质研究薄弱。经过近5年的研究,俞受鏊(1990b)确定了海南岛前寒武纪基底变质岩金牛岭群(大于1400Ma);发现了该群与石碌群

(840Ma) 之间的沉积间断。王鹤年等¹⁾ 确定了云开群中亚群硅铁建造形成的时代(810Ma)与石碌群相当。王鹤年等(1992)在云开群中块状硫铁矿中发现前寒武纪藻类化石, 这些事实都肯定了武夷—云开—海南一带前寒武纪变质基底存在。

一、前寒武纪基底地质

(一) 武夷—陈蔡地体前寒武纪基底变质岩

浙南—陈蔡地区前寒武纪基底变质岩为陈蔡群, 由上、下两个亚群组成。上亚群以浅粒岩、变粒岩、大理岩夹斜长角闪岩为特征, 底部具底砾岩与下亚群不整合接触。下亚群, 以夕线石黑云斜长片麻岩为主, 夹斜长角闪片麻岩及夕线石黑云石英片岩, 厚约1300m, 混合岩化强烈。

陈蔡群上亚群自上而下为:

上部: 斜长角闪片岩、辉石斜长角闪片岩或角闪岩层。斜长石与辉石、角闪石形成黑白相间的条带。

中部: 长英质浅粒岩及斜长变粒岩、长英质片岩、二云石英片岩, 偶夹石英岩、磁铁石英岩等。浅粒岩大多由微斜长石、斜长石及石英组成, 并有少量黑云母及白云母。

下部: 灰白、乳白色透闪石粗晶质白云石大理岩及灰白、浅绿色辉石、橄榄石白云质大理岩, 间有灰绿色斜长角闪片岩、黑云变粒岩等细条带。

底部: 变质含砾岩层及变质砾岩层, 出露宽度120m。根据砾石成分、含量和砾径等差别可分为四层, 自上而下为:

1) 层: 变余含砾黑云石英片岩, 砾石成分单一, 为石英岩、一般为细砾(2—10mm), 经强烈拉伸, 黑云母富集成带状, 类似片麻理, 层厚约20m。

2) 层: 含石榴黑云石英变质砂砾岩层。灰黄、黄褐色、厚层块状。砾石含量>30—40%。主要由粗大石英岩砾石组成。长径2—6cm。少量深色角闪质砾石, 形态不规则, 砾径1—2cm。“基质”中大量存在重结晶粗粒石英、斜长石、黑云母、石榴子石等。此层厚约10cm。

3) 层: 变质杂砾岩、砾石形态各异, 大小悬殊, 大者20cm, 小者仅2—3cm。砾石成分复杂, 有角闪岩、二长角闪辉石岩、角闪斜长变粒岩、石英岩、绿帘钾长变粒岩及变质大理岩等。

4) 层含石榴黑云石英片岩, 石英砾岩在此层中渐趋消失, 保留变余砂粒状结构。

底部砾岩层¹⁾ 与下伏陈蔡群下亚群片麻岩为不整合接触, 上亚群变质砾岩产状较缓, 走向NE40°, 倾向SE, 倾角25°—35°, 基本为NE轴向同斜褶皱。矿物共生组合为石榴子石+黑云母+石英+斜长石为低角闪岩相。片麻岩产状较陡NE50°—60°, 倾向SE, 倾角40°—60°。基本构造形态为大幅度平卧、倒转褶皱。矿物组合, 夕线石+黑云母+钾长石+石英为高角闪岩相, 广泛出现穹状混合岩化。

沿不整合面为一滑脱面, 长数公里, 有伟晶岩充填其中。

据丁家坞剖面, 陈蔡群上亚群浅粒岩全岩Rb—Sr等时线年龄为901Ma²⁾, 并为辉石橄榄岩侵入, 辉石K—Ar法测得变质年龄892Ma。上亚群底部变质砾岩层中, 来自下伏变质岩的碎屑锆石, U—Pb不一致线上交点年龄为1438Ma。1438—901Ma之间有一沉积间断。

浙南变质基底岩石与陈蔡地区相当。龙泉乌岙、八都、狮子坊; 遂昌冶岭头、龙游

1) 王鹤年等, 1991, 云开群Sm—Nd同位素地质研究。

2) 据浙江区域地质调查队有关资料。

溪口一带广泛分布黑云斜长片麻岩类,并普遍混合岩化。由乌岙碎屑锆石得U-Pb不一致线上交点为2 004Ma。遂昌大拓和龙殿剖面Rb-Sr 全岩等时年龄分别为1 569Ma及1 813 Ma,当属陈蔡下亚群。

龙泉查口、小梅一带至玉岩、里庄等皆为变粒岩、磁铁石英岩、石英片岩以及斜长角闪片岩、绿帘绿泥石片岩等可与陈蔡上亚群相当,曾命名为“龙泉群”。

武夷地区前寒武纪基底变质岩由于经受强烈构造变形及混合岩化,原始沉积特征和岩石组成已明显改变,给研究带来极大困难。由于60年代以来建瓯群大量 K-Ar 年龄大多为古生代,又在地层中找到类似非洲奥陶纪锥几丁虫的化石,对前寒武纪建瓯群时代提出了异议。建瓯群逐渐解体并为新的群、组划分所代替。

建瓯群解体后又新建有迪口组、麻源组、大岭组、龙北溪组、吴垱组、稻香组。但历年来层序上、下反覆,变动颇大。同一地区变质岩又被不同研究者划分为不同群、组,因而难以准确对比。80年代以来,浙闽基底地质研究工作的深入,Sm-Nd同位素年龄研究的开展,原建瓯群的时代变得愈来愈老。本书以最新的研究成果及文献资料,参照福建省地质矿产局(1985)有关资料进行讨论及对比。

1. 晚太古代—早元古代天井坪组的确定

闽西北武夷山地区花岗岩、变质岩、沉积岩Sm-Nd同位素的研究, T^{Nd} 模式年龄计算,华夏地块地壳最早形成年龄应为2 500Ma左右。这一推测1991年得到证实。

福建建宁西部陈坊、里心、客坊等地广泛出露低角闪岩相变质岩系,前人把它划分为丁屋岭组 and 上震旦统。福建省区测队付树超等(1991)新建了上太古界天井坪组,划分为上、下两段,总厚855m。自上而下:

上段主要岩性为厚—巨厚层状(含夕线石)黑云斜长变粒岩、含石榴子石黑云变粒岩、黑云二长变粒岩,偶夹二云片岩、长石石英岩薄层,部分地区发育巨厚层状(黑云)斜长角闪岩及角闪斜长变粒岩夹层,厚度大于481m。

下段:主要为砂、泥质碎屑沉积岩,有少量火山沉积岩。岩性为中—中厚层黑云斜长变粒岩,夕线石黑云变粒岩与薄到中厚层含夕线石二云片岩、二云石英片岩、夕线石斜长二云片岩及黑云片岩互层,夹有长石石英岩透镜体。下部常发育韧性断层,未见底。

天井坪组中黑云斜长变粒岩大量发育,呈厚—巨厚层状产出,可见变余斑晶斜长石,原岩为中酸性火山岩。斜长浅粒岩、二长浅粒岩较少,亦有半自形板状斜长石斑晶,具环带结构。少数石英残斑,原岩为中酸性火山岩。根据岩石化学进行原岩恢复为正变质岩,属钙碱性火山岩。

本组上段有厚3.9—22.4m的斜长角闪岩,在区内分布较广。原岩恢复为拉斑玄武岩。

采自建宁天井坪组(黑云)斜长角闪岩样品5件,经宜昌地质矿产研究所Sm-Nd同位素全岩等时线法测得年龄为 $2\,682 \pm 148\text{Ma}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.509601 \pm 98$, $\epsilon_{\text{Nd}}(T)=+8.7$,确定为晚太古代。

2. 中元古代麻源群

构成武夷隆起古陆核,环绕天井坪组外围分布。构成NE向复背斜,NE端开阔并延入浙江,西南端在将乐洋源倾伏。除第二段以黑云斜长变粒岩为主外,其余各段以各类片岩为主,部分地区尚有不同程度的混合岩化。自上而下:

第四段:岩性复杂,主要为片岩、变粒岩、变质砂岩、千枚岩,局部发育变质凝灰质砂岩。

第三段:灰色及灰绿色黑云石英片岩,白云片岩夹薄层黑云片岩。白云石英片岩及厚层黑云斜长变粒岩,局部夹4—5层石墨云母片岩及1—3层晶质石墨矿层。石墨云母片岩的片理中局部见微细层状的黄铁矿条带(10—5mm)。

第二段:主要为厚层黑云(斜长)变粒岩夹薄层黑云石英片岩。变粒岩大多是细纹状构造。

第一段:白云石英片岩及石英白云片岩,中部偶夹薄层黑云变粒岩。

麻源群为一套厚度巨大的火山-沉积岩。总特征由NE向南西沉积物粒度变粗,火山活动增强,变质程度减弱、厚度变薄。其中第二段及第四段变粒岩大多为黑云斜长变粒岩及黑云变粒岩,少数为角闪斜长变粒岩。第二段大多呈厚层块状。镜下部分钾长石、斜长石及石英呈残斑或晶屑,局部见大小不等的岩屑。岩石化学及微量元素表明,原岩为中—酸性火山岩。第四段有变沉积凝灰岩、流纹质晶屑凝灰岩夹变质流纹岩及英安岩,因而部分应为中—基性喷出岩。总之,麻源群总体上可分为两个沉积-火山喷发旋回,为一套厚度巨大的火山砂、泥质(陆屑)建造。

麻源群时代据德化涂寨—田地一带发现微古植物8属,其中以*Trematosphaeridium*及*Leiominuscula*较普遍。与南方昆阳群大隆口组及北方蓟县系雾迷山组及青白口系部分分子相似,时代大致为蓟县纪略偏新。

与其层位相当的将乐黄潭二长浅粒岩(原岩为酸性火山岩)之锆石U-Pb不一致线上交点为1961Ma,锆石晶形完好,其年龄代表成岩年龄。在建阳竹洲侵入该群的混合花岗岩 T_{Nd} 为1415—1191Ma,麻源群时代应大于1400Ma,为中元古代。原迪口组的岩性大致与麻源群相当。

黄春鹏等(1991)在火山岩覆盖区戴云山隆起尤溪梅仙采得基底变质火山岩,全岩Sm-Nd同位素等时线年龄 $t=1599\pm 88\text{Ma}$, $I_{Nd}=0.510839\pm 0.000005\varepsilon_{Nd}(T)=+5.24$ 。 T_{Nd} 为1678—1739Ma。变质古火山岩受地壳物质混染少,等时线年龄代表成岩年龄。为中元古代火山作用喷发产物。其层位相当我国北方南口系和南方神农架群底部。

3. 上元古界龙北溪组

据福建省区域地质志的标准剖面,岩性如下:

上部:绿片岩类,主要有绿泥绿帘石片岩、钠长绿帘石片岩、阳起石绿帘片岩、绿泥石片岩等。

厚度>373m。中上部含金属硫化物矿层。

中部:白云母石英片岩、二云母片岩夹含磁铁石英岩薄层,条带状石英岩,二云斜长变粒岩。厚>1246m。

下部:薄层石英岩与白云质大理岩互层,夹黑云石英片岩。中夹厚约1m的磷矿层。

底部:含砾黑云石英片岩、黑云石英砾岩等,与下伏麻源群呈假整合接触。

值得指出的是:①龙北溪组上部绿片岩原岩恢复为富钠的碱性玄武岩,且以高钛低钾为特点。又具长英质浅粒岩、变粒岩,火山岩具双模式特征,是裂谷环境产物。该

组含Cu、Pb、Zn、Fe、Au、Ag、P等矿床，并为本区金矿主要矿源层之一。部分变质火山岩成分近细碧角斑岩，具含铜黄铁矿层。

变基性火山岩在福建中部呈NNE向带状分布，南起安溪剑斗、尤溪、青溪、北至南平、建瓯、松溪。从稀土元素及岩石化学特征判断，古火山活动亦与大陆裂谷拗陷有一定联系。②龙北溪组底砾岩，于60年代发现。下构造层麻源群为含夕线石、蓝晶石、十字石、黑云斜长片麻岩，混合岩化发育属高角闪岩变质相，龙北溪组属绿片岩相。两者为不整合接触。表明龙北溪组形成之前武夷古陆亦已形成。

武夷地区龙北溪组底砾岩曾在多处发现，据水涛等（1988）所述：

郑文武1962年发现底砾岩，认为迪口组与龙北溪组之间为不整合接触，并命名为“迪口运动”。

在建瓯杉洋—龙岗—西坑等地变质砾岩主要为石英，磨圆度良好，砾径一般0.5—3 cm，含量约10—20%，由下而上递减，胶结物已片理化，厚度数十米。

在建阳长坪与龙北溪组相当的绢云母石英片岩底部也曾发现厚达20m片理化变质砂、砾岩及变质砾岩层。

武夷地区与龙北溪组相当的变质岩还有大岭组，它似应归于龙北溪组中部。东岩组也有置于龙北溪组之上或置于其下的，大致相当于龙北溪组中、上部。稻香组相当其上部。

龙北溪组时代根据同位素资料为800—900Ma，属晚元古代青白口系。其中政和下坑东岩组变玄武岩的Nd模式年龄为 $800 \pm 50\text{Ma}$ ， $e_{\text{Nd}}(0) = 6.92489$ ， $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512998$ ， $\text{Sm}/\text{Nd} = 0.332$ ，表明母岩浆直接来自地幔，模式年龄相当于火山喷发年龄。

建阳水吉矿区东岩组铅、锌、银矿源层，相当于龙北溪组中、上段，含变玄武岩—流纹岩组合。 ^{206}Pb 模式年龄为946—814Ma，5个样品平均868Ma。

综上所述，①武夷地区发育了晚太古代至晚元古代变质岩，构成了武夷地区古老变质基底。②晚太古代、早元古代时火山岩发育，表明华南陆壳形成初期火山活动频繁。③晚太古代—中元古代华夏地块基本形成稳定的克拉通，随后经历1400—900Ma之间的沉积间断、古陆经受剥蚀。④晚元古代时古陆边缘及陆内裂谷发育，形成海底火山—喷气—沉积多金属硫化物矿床，玄武岩—硅铁建造及与细碧角斑岩有关的含铜黄铁矿等。

（二）云开地体前寒武纪基底变质岩

云开—海南地体前寒武纪基底变质岩的时代是解决华夏地块是否南延的关键问题，也是解决地质演化中粤西、海南岛关系的主要基础地质问题。

云开大山基底变质岩由于变质较深，缺乏化石，时代归属长期争论不休。徐瑞麟（1931）将云开大山地区深变质岩系及混合花岗岩分别定为前寒武纪—寒武纪变质岩系及太古宙片麻岩。此后这套变质岩历经沧桑，曾被划为寒武系、奥陶系、直至泥盆系。广东省地质矿产局（1988）将粤西、粤中划为云开群；将粤北变质岩分为鹰扬关群和乐昌峡群，均置于震旦系。根据最新资料，我们认为应属中、晚元古代变质岩系。

云开群可分为上、中、下三亚群：

上亚群：顶部为硅质层，厚约60m，其下为含碳质、硅质黑色板岩、变质粉砂岩及大理岩，中夹

层凝灰岩并有块状黄铁矿矿床形成。规模可达超大型。王鹤年¹⁾采用黄铁矿层中硅质岩、Rb-Sr全岩等时线法测定,矿床形成时代为680Ma,为晚元古代或震旦系,并在黄铁矿矿石中发现藻类化石(王鹤年等,1992)。

中亚群:以硅铁建造-变玄武岩(斜长角闪岩、角闪岩)为特征:

上部:由长石石英砂岩、变粒岩、片岩、千枚岩、含石榴子石、夕线石、堇青石。

中部:以含基性火山岩、层间夕卡岩为特征。主要为千枚岩、板岩、石英云母片岩、云母石英片岩,有海底喷流沉积含铁、磷矿层。含铁层为条带状含铁石英岩或含磁铁矿、镜铁矿、赤铁矿千枚岩。当透辉石、透闪石、绿帘石层间夕卡岩发育时,其中常含铁质条带。此层富含金、锡,是这些元素的矿源层。

下部:以粗粒长石石英砂岩、杂砂岩为主的碎屑岩夹泥质岩,局部夹砂砾岩。砾石含量达30—35%,成分以石英为主,砾径1—5cm,磨圆度差,为近源浅海-滨海碎屑沉积。

下亚群:混合岩化发育,变质较深,并有片麻岩产出,一般出露不全。

我们对云开群中亚群硅铁建造中斜长角闪岩及变辉绿岩进行Sm-Nd同位素全岩等时线年龄测定,其形成年龄为808Ma,为晚元古代青白口纪。南颐(1989)在信宜冻水坑铁矿层之下硅质层中,采得藻类化石,也定为青白口纪。云开群中亚群可与福建龙北溪组对比。

上海同济大学对罗定分界——罗罅剖面云开群进行Rb-Sr同位素年龄测定,获1900Ma年龄值²⁾,表明云开地区应有中元古代地层存在。云开群下亚群片麻岩可与福建麻源群对比,时代为中元古代。

由上所述,可以认为①云开大山变质基底应为中、晚元古代变质岩。云开古陆形成于中元古代,晚元古代大陆内部或大陆边缘裂陷槽或裂谷发育,形成硅铁建造及沉积物容矿的超大型块状黄铁矿矿床。②中亚群硅铁建造可作云开群的标志层,可将云开群分为上、中、下三个亚群。③中亚群的下部也有值得注意的含砾岩层,可以代表沉积间断。

(三) 海南岛地体前寒武纪基底变质岩

近年来,海南岛基底变质岩的研究取得重大进展。俞受璠(1990b)、俞受璠等(1992)在研究抱板群时,发现抱板混合岩为一侵入岩体。它侵入于金牛岭群(原旧村岭群)之中。采取中粒片麻状似斑状二长花岗岩11个锆石样品,测定U-Pb同位素年龄,其不一致线上交点为1440.8Ma,岩体形成于中元古代。因此,金牛岭群年龄应大于1440Ma,同时也证明了海南岛有元古宙变质基底的存在。金牛岭群下亚群主要为千枚岩、板岩,地层Pb-Pb等时线为1329Ma。上亚群主要为石英绢云母片岩、黄色粉砂岩。

金牛岭群之上为石碌群,石碌群下部为白色中粗粒石英岩,底部有一层底砾岩,砾石成分有石英绢云母片岩、石英岩、变质粉砂岩,粒径0.2—2.5cm。其上为绢云母石英片岩、白云岩、碳质板岩、条带状硅质岩。再向上,铁矿层的下部为透辉石透闪石岩、白云岩、铜钴矿化层。上部为铁矿层,由含铁千枚岩、含铁砂岩及富铁矿层组成,向上渐贫直至砂岩、粉砂岩。

1) 王鹤年、李红艳, 1991, 广东大降坪黄铁矿中硅质岩Rb-Sr同位素年龄(待刊)。

2) 邱元喜, 1991, 区域构造学讲座, 广东省地质矿产局夏训班讲义。

张仁杰等(1992)用Sm-Nd法测得石碌群成矿年龄为840Ma。这一年龄与南颐(1987)发现的藻类化石及张仁杰等(1989)发现的宏观藻类化石(*Chuarina circularis* Walcott, *Tawuia* cf. *dalensis* Hofmann)年龄相当,地层时代为晚元古代青白口系。

综上所述,①云开地区与海南岛前寒武纪基底变质岩时代相当,同位素年龄及化石时代相当,硅铁建造层位可以对比,因而元古宙时为一统一陆块。②海南岛金牛岭群于东安运动前形成,其后1400—840Ma之间存在沉积间断,显示了古陆特征。云开地区800Ma之前地层发育情况尚不明确,但中亚群下部多砾岩,亦有隆起水面经受剥蚀的可能。

(四) 华夏地块前寒武纪基底地质特征

1) 武夷—云开—海南地区广泛存在前寒武纪基底变质岩,其时代从晚太古代(2600Ma)至晚元古代(680Ma),证明了华夏地块前寒武纪时为一统一古陆。

2) 华夏地块在1400—850Ma之间存在沉积间断。即东安运动华夏古陆块形成之后到晋宁运动经历了上升、隆起阶段。这一特征与康滇地块的黑山(1600Ma)、昆阳(1050Ma)、东川上升相当。

3) 晚元古代华夏地块的大陆边缘及陆内裂陷槽(或拗拉谷)、裂谷频繁发生,分布广泛,形成龙北溪组或云开群的双峰式火山岩,变玄武岩、硅铁建造、块状硫化物矿床及黄铁矿型铜矿。某些大型裂谷的“开”、“合”,产生硅铝壳垫托之上板内碰撞造山(如龙泉—南平碰撞带)。

二、华夏地块形成、演化的同位素证据

80年代以来国内Sm-Nd同位素研究的开展,锆石U-Pb同位素分析技术的进步,同位素分析测试数据的积累,为华夏地块地壳的形成与演化历史提供了可靠的同位素证据。

(一) 残留锆石U-Pb年龄

大陆地壳形成后,岩石中锆石由于风化剥蚀,形成了沉积岩、变质岩中的再循环锆石。后者由古老地壳重熔、改造,也可以形成壳源型(S型)花岗岩中残留锆石。残留锆石为研究源岩年龄提供了直接测定对象,示踪该区地壳形成和演化的历程。

华夏地块及其邻区残留锆石U-Pb年龄如表1-1,可见集中在2500—2700Ma及1400—2000Ma以及<1000Ma三个阶段。

据国外统计资料,全球范围内壳幔分异主要集中在3500Ma,2600Ma、1800Ma。其中2600Ma晚太古代大陆生长达到高峰,全球60%以上的大陆在这个阶段形成;1800Ma则是元古宙地壳形成主要阶段,全球地壳基本于上述两阶段形成,此后,大规模地壳增长逐渐停滞,整个地壳处于壳幔再循环的动态平衡和缓慢增长之中。

表 1-1 华夏地块变质基底U-Pb同位素地质年龄

序号	地 点	岩 性	测试样品	年 龄 (Ma)	年龄类别	资料来源
1	浙江龙游罗家	陈蔡群中片麻状花岗岩	独居石	644	模式年龄	水涛等, 1988
2	浙江诸暨丁家坞	陈蔡群变质岩	碎屑锆石	$t_1=1438, t_2=578$	不一致线年龄	
3	浙江龙泉乌岙	陈蔡群变质岩		$t_1=2004, t_2=508.4$		
4	浙江八都	八都群片麻岩	结晶锆石	1878	模式年龄	李根坤 等,1988
5	福建将乐黄潭	变质火山碎屑岩		$t_1=1960.5, t_2=533.1$	不一致线年龄	
6	福建建瓯迪口	黑云斜长变粒岩		$t_1=1805, t_2=527$		
7	福建建瓯迪口	迪口组片麻岩		1822	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
8	福建尤溪新桥	花岗闪长岩(yδ3)	碎屑锆石	$t_1=2758.5, t_2=411.5$	不一致线年龄	
9	福建清流嵩口	韦埔斑状花岗岩		2280	模式年龄	
10	福建清流洛坑	变质沉凝灰岩	碎屑锆石	$t_1=2478.5, t_2=705.0$	不一致线年龄	
11	福建顺昌元坑	斑状二长花岗岩		2063 ± 78	模式年龄	
12	福建建阳水吉铅 锌矿	矿体		$836-1041$		
13	福建建瓯大岭	二云石英片岩	锆石	924		
14	福建建瓯禾呈	建瓯群变质岩	碎屑锆石	$t_1=1851$	不一致线年龄	水涛, 1988
15	福建建宁标头	天井坪组中混合花岗岩	结晶锆石	1310	不一致线年龄	李根坤, 1991
16	福建建宁上坪	天井坪组中变质石英 闪长岩		1714	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
17	福建上杭梅坝	糜棱岩化混合花岗岩		1986	模式年龄	
18	福建戴云山	变粒岩		1097	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
19	湖南桂东	花岗闪长岩	碎屑锆石	1220, 少数1400	模式年龄	李献华, 1990
20	湖南桂东寨前	花岗岩		1230		
21	江西汤湖	花岗岩		1410, 少数2520		
22	广东信宜罗群	云开群片理化英安 斑岩	锆石	$t_1=910.7, t_2=238$	不一致线年龄	丘元禧, 1992
23	广东信宜大田顶	片麻状花岗岩	锆石	2489	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	
24	广东廉江庞西洞	眼球状混合岩		1240	不一致线年龄	
25	广东清远	石英绢云母片岩		$t_1=2498, t_2=687.8$	不一致线年龄	
26	广东信宜银岩	眼球状片麻岩		$t_1=1735\pm364, t_2=425\pm26$	不一致线年龄	
27	广东罗定太平圩	混合花岗岩		$t_1=1210\pm670, t_2=316\pm9.4$		叶伯丹, 1989
28	广东高要仙口	花岗岩		$t_1=1420\pm328, t_2=209\pm29$		

续表 1-1

序号	地 点	岩 性	测试样品	年 龄 (Ma)	年龄类别	资料来源
29	广东德庆播值	混合花岗岩	锆石	$t_1=1\ 003\pm 108$, $t_2=209\pm 13$	不一致线年龄	叶伯丹, 1989
30	广东廉江塘蓬	花岗岩		$t_1=1\ 487\pm 68$, $t_2=128\pm 4$		
31	广东四会南坑	二长花岗岩		$t_1=850\pm 22$, $t_2=249\pm 8.5$		
32	广东扶溪	花岗闪长岩	碎屑锆石	1 160	模式年龄	李献华, 1990
33	广东澜河	片麻状花岗岩		1 380		
34	广西英桥	眼球状混合花岗岩	锆石	$t_1=834$, $t_2=309$	不一致线年龄	叶伯丹, 1989
35	广西博白	英桥二长花岗岩		$t_1=967\pm 72$, $t_2=87\pm 4$		
36	海南岛	抱板群中的花岗岩	锆石	$t_1=1\ 440.87$, $t_2=283.34$	不一致线年龄	俞受黎 等, 1992

华夏地块在武夷山区清流、尤溪一带变质岩中存在2 600Ma左右的残留锆石, 证明了区内存在晚太古代物源区, 并提供了再循环地壳物质。1991年于建宁伊家湾发现了天井坪组变质岩, 其Sm-Nd等时线年龄为2 682Ma, 从而证明武夷山区存在晚太古代古陆核。

存在2 500Ma左右的残留锆石的地区还有广东云开大山大田顶, 广东 清远新洲以及赣湘交界处诸广山、桂东、汤湖一带。这些地区正好与老变质岩区出露地区一致, 云开大山为一古陆核、粤赣湘交界处也极可能为一古陆核 (图1-1)。

本区花岗岩类岩石中大量存在1 400—2 000Ma残留锆石, 表明中元古代是区内地壳增长又一重要阶段。残留锆石年龄与本区前寒武纪基底岩石形成年龄一致, 说明这些S型花岗岩是基底岩石重熔、改造的产物。1 400Ma 东安运动以后, 区内大规模的地壳增长基本结束, 而以古老地壳物质的风化、沉积、变质、重熔等再循环为主。

(二) 华夏地块Nd模式年龄及地壳的形成与演化

地壳岩石Nd模式年龄的概念最初是由Depaolo等 (1976) 提出, 它代表了地壳岩石中的Sm、Nd从地幔储库中分离以来所经历的时间, 即壳幔分异的时间或大陆地壳的形成时间。由于Sm、Nd在地壳演化过程中不发生明显的分馏而保持近似的封闭体系, 所以陆壳改造型花岗岩、沉积岩、变质岩的Nd模式年龄已被广泛运用于估计地壳形成年龄。

华夏地块及其邻区S型花岗岩、变质岩、沉积岩Nd模式年龄如表1-2, 图1-2。

由表1-2可见: ①华夏地块Nd模式年龄大多在1 400—2 600Ma之间, 华夏地块在东安运动时已基本形成。②华夏地块Nd模式年龄也集中在2 600Ma、1 400—2 000Ma 两个阶段与基底岩石Sm-Nd同位素年龄大致相当。华夏地块形成经历两个阶段, 2 600Ma形成古陆核; 1 400—2 000Ma陆块扩大, 增生, 于1 400Ma本区大规模陆块增长基本结束。Nd模式年龄与本区岩石形成Sm-Nd 同位素年龄基本吻合, 证明了本区地壳可能形成于两次主要的壳幔分异时期。