
中华人民共和国地质矿产部

地 质 专 报

四 矿床与矿产

第 51 号

武夷-云开典型成矿区 矿产预测

饶家光 刘姝群 杨世义 梁约翰 著
钟增球 杨振强 战明国 黄圭成

P
406
141-1
51

地 质 出 版 社

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

四 矿床与矿产 第51号

武夷-云开典型成矿区矿产预测

饶家光^① 刘姝群^① 杨世义^① 梁约翰^① 著
钟增球^② 杨振强^① 战明国^① 黄圭成^①

①宜昌地质矿产研究所；②中国地质大学（武汉）



536230



地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是以地质矿产部“八五”科技攻关项目第 85-01-007 项研究的 3 个课题报告、14 个专题报告为基础编写而成的。在系统总结武夷-云开地区成矿环境的基础上,详细阐明了研究区铜铅锌矿床成矿规律和几个重要类型金银矿床的形成条件,建立了相应的成矿模式和铜铅锌矿床区域成矿系列及矿床成矿系列,进而分别对铜铅锌矿及金银矿进行了成矿预测,对 27 个成矿远景区作了评述。

本书是一部区域成矿学专著,又是一份多学科综合性研究成果,内容丰富,资料翔实,理论与实际并重。书中附 1/200 万成矿规律图、成矿预测图 3 幅,可供从事地质勘查、矿床地质研究的科研、教学人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中华人民共和国地质矿产部地质专报 (四): 矿床与矿产 第 51 号: 武夷-云开典型成矿区
矿产预测/饶家光等著. -北京:地质出版社,1997.3
ISBN 7-116-02324-0

I. 中… II. 饶… III. ①地质学-研究报告-中国②矿床-研究-中国③矿产-研究-中国④金属
矿床-成矿预测-武夷山 IV. P5-55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 00379 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:孙旭荣 江晓庆

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.125 插页: 2 字数: 21.6 万

1997 年 3 月北京第一版·1997 年 3 月北京第一次印刷

印数: 1—450 册 定价: 17.00 元

ISBN 7-116-02324-0
P·1742

前 言

武夷-云开地区是我国重要的有色金属和贵金属矿产基地之一。40多年来,广大地质工作者在该区进行了大量的普查勘探和科学研究工作,发现并勘查了一批大型和超大型矿床;同时,取得了大量的科研成果,有效地指导了普查找矿工作的进行。为了配合“八五”期间本区地质找矿工作,1991年2月地质矿产部第3次科技工作会议确定,将“武夷-云开典型成矿区矿产预测”项目列为地质矿产部“八五”科技攻关项目。项目的负责单位是宜昌地质矿产研究所、广东省地质矿产局、中国地质大学(武汉),参加单位有江西省地质矿产局、广西壮族自治区地质矿产局、湖南省地质矿产局及地质力学研究所。项目的可行性论证报告,经地质矿产部科技司于1991年5月在河北正定召开的项目论证会认可。自此,本项目的研究工作正式启动,分层次进行。

项目的研究目标是:分层次系统进行不同类型的硫化物多金属矿床成矿理论的研究,按不同成矿地质环境建立成矿模式及找矿模式,选择典型成矿区(带)进行成矿预测,提出预测区,并筛选找矿靶区。项目设置3个课题、14个专题(见表1、图1)。

项目实施过程中,各课题、专题组按各自计划任务书的要求,有计划、有步骤地进行科研工作,在科研经费不充裕的情况下,注意全面收集、消化地质、物探、化探、遥感和较新的研究成果,重视资料的二次开发,有针对性地投入工作量(表2),突出重点,解决影响找矿的主要地质问题和筛选预测区(或靶区)。执行科研计划的情况,总的来说是比较好的。1994年6—9月,各专题分别提交了专题研究报告,并在当年通过了成果鉴定及验收。1995年6月,3个课题分别提交了研究报告,并于7月中旬通过了成果鉴定及验收。这样,3个课题研究报告、13个专题研究报告,连同本项目报告一起组成了“武夷-云开典型成矿区矿产预测”项目成果报告系列。课题报告计有:

1.85-01-007-01,罗霄-武夷隆起区成矿地质环境和成矿预测研究,编写人有杨明桂、梅勇文、周子英、芮柏;

2.85-01-007-02,粤北-东江拗陷区成矿地质环境和成矿预测研究,编写人为杨振强、刘家齐、路远发、陈开旭、毛晓东;

3.85-01-007-03,云开隆起区成矿地质环境和成矿预测研究,编写人是梁约翰、张启富、杨世义、刘姝群。

专题报告计有:

1.85-01-007-01-1,湖南郴州-临武断裂带两侧成矿预测及靶区优选,童溶明、李荣清、张建新等;

2.85-01-007-01-2,江西贵溪-东乡地区成矿预测及靶区优选,冯志文、杨恩湛、刘迅、赵永鑫、赵志刚、刘丹英、朱大岗等;

3.85-01-007-01-3,江西南部控矿构造体系及成矿预测的研究,战明国、芮柏、李波、张树淮等;

表1 “武夷-云开典型成矿区矿产预测”课题、专题设置表

Table 1 Establishment of monographic studies of the project

课 题		专 题	
名 称 及 编 号	要 求	名 称	编 号
罗霄-武夷隆起区成矿地质环境和成矿预测研究 85-01-007-01	查明成矿条件,确定找矿方向,对典型成矿带(鹰潭-定南断裂及郴州-临武断裂两侧)进行成矿预测,提出3—4处可供验证(其中1处有重要找矿意义)的靶区	湖南郴州-临武断裂带两侧成矿预测和靶区优选	85-01-007-01-1
		江西赣南-东乡地区成矿预测及靶区优选	85-01-007-01-2
		江西南部控矿构造体系及成矿预测的研究	85-01-007-01-3
		江西广昌-安远地区成矿预测及靶区优选	85-01-007-01-4
粤北-东江拗陷区成矿地质环境和成矿预测研究 85-01-007-02	查明成矿条件,确定找矿方向,对典型成矿带进行成矿预测,提出3—4处可供验证(其中1处有重要找矿意义)的靶区	广东梅县-蕉岭一带成矿预测及靶区优选	85-01-007-02-1
		广东横河-淡水地区成矿预测、靶区优选	85-01-007-02-2-1
		钟丘洋铜矿综合信息定量预测	85-01-007-02-2-2
		粤北拗陷晚古生代裂陷盆地演化特点、热水作用及其与成矿的关系	85-01-007-02-3
云开隆起区成矿地质环境和成矿预测研究 85-01-007-03	查明隆起区基底与盖层的性质、形成历史和查明隆起,增陷环境各自的铜、铅、锌、金(银)成矿条件和找矿标志,确定其找矿方向;对典型成矿带进行成矿预测,提出3—4处可供验证(其中1处有重要找矿意义)的靶区	广西容县-博白地区成矿预测及靶区优选	85-01-007-03-1
		广东新兴-阳江地区成矿预测及靶区优选	85-01-007-03-2
		广东廉江-化州一带成矿预测及靶区优选	85-01-007-03-3
		广西大瑶山地区斑岩型金矿的找矿前景	85-01-007-03-4-1
		贵池-横县地区成矿预测和靶区优选 ^①	85-01-007-03-4-2
		云开隆起区基底岩系地质特征、构造演化及含矿性	85-01-007-03-5

①1993年10月项目协调会上将专题题目改为广西贵港市龙头山镇龙山地区成矿预测及靶区优选。

4.85-01-007-01-4, 江西广昌-安远地区成矿预测及靶区优选, 梅勇文、沈纪利、朱元早、张贤祥等;

5.85-01-007-02-1, 广东梅县-蕉岭一带成矿预测及靶区优选, 刘家齐、陈永烈、蔡锦辉、邱庆水等;

6.85-01-007-02-2, 广东横河-淡水地区成矿预测、靶区优选及钟丘洋铜矿综合信息定量预测 (85-01-007-02-2-1 及 85-01-007-02-2-2 合编一份报告), 路远发、徐坤华、刘智洋、谢衍光、马丽艳等;

7.85-01-007-02-3, 粤北拗陷晚古生代裂陷盆地演化、热水作用及其与成矿的关系, 杨振强、陈开旭、毛晓东、陈善庆等;

8.85-01-007-03-1, 广西容县-博白地区成矿预测及靶区优选, 张启富、陈明是、张

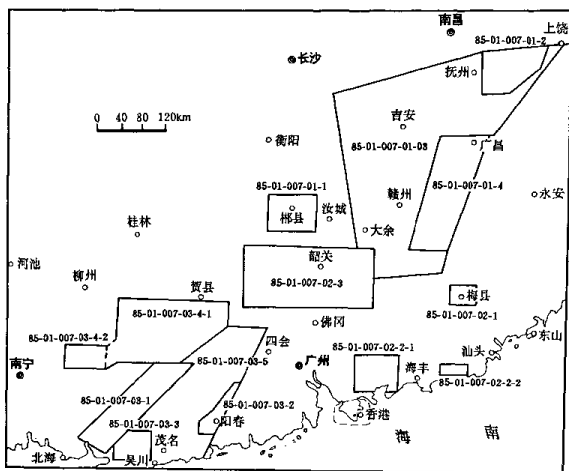


图1 武夷-云开地区专题研究分布图
Fig.1 Distributional map of monographic studies in Wuyi-Yunkai Area

表2 武夷-云开典型成矿区矿产预测项目投入主要工作量简表

Table 2 Simplified table showing main amount of work throwing into the project

重点研究 面积(km ²)	填制大比 例尺地质图 (km ²)	测试各类 样品(件)	同位素测 年(组、个)	槽探 (m ³)	浅硐(m)	钻探(m)	观察矿床 (点、个)	TM图像处 理(km ²)	其它
11950	184	7780	16组(U-Pb、 Rb-Sr、Sm- Nd) 19个 (K-Ar)	4442	67.4	623 (靶区验证)	107	12800	占地磁测量 点200个, 送金刚石选 矿样1个

树淮、冯启民等;

9.85-01-007-03-2, 广东新兴-阳江地区成矿预测及靶区优选, 陈辉琪、易顺华、林豪登、汤明珠、陈士金、郑思娟等;

10.85-01-007-03-3, 广东廉江-化州一带成矿预测及靶区优选, 吴淦国、周竞平、陈紫英、池顺都、林豪登、伍大茂、王淑华等;

11.85-01-007-03-4-1, 广西大瑶山地区斑岩体的地质特征及斑岩型金矿的找矿前景,

康先济、杨世义等；

12.85-01-007-03-4-2, 广西贵港市龙头山-镇龙山地区成矿预测及靶区优选, 李蔚铮、许仿实、李先粤等；

13.85-01-007-03-5, 云开隆起区基底岩系地质特征、构造演化及含矿性, 游振东、钟增球、韩郁菁、周汉文等。

本书是在这些课题、专题报告的基础上编写而成的。本书在内容安排上的考虑是, 除充分反映和归纳各课题、专题的主要成果外, 力图把国内外有关新的成矿预测理论及方法与本区实际结合起来, 以深化对区域成矿地质环境与成矿规律的认识, 为预测提供依据。在判明区域成矿地质背景的基础上, 重点论述铜、铅锌矿床及金(银)矿床的成矿规律, 突出反映项目、课题、专题不同层次成矿预测的成果, 以满足“九五”期间部署地勘工作的需要。本书是项目及课题、专题 70 多位科技人员集体劳动的成果。本书编写人员是: 第一章第一至第五节分别由钟增球、梁约翰、刘姭群及杨世义、杨振强、战明国执笔; 第二、三章由刘姭群、杨世义执笔, 刘姭群、杨世义、黄圭成负责铜铅锌成矿规律图及金银成矿规律图(1:200 万)的编制; 第四章及前言、结语由饶家光执笔, 并负责成矿预测图(1:200 万)的编制。全书由饶家光统编。研究过程中得到地质矿产部地质调查局及原直管局、中国地质科学院领导的关心与指导, 得到广东、江西、广西、湖南地质矿产局、中国地质大学(武汉)、地质力学研究所的多方支持; 本区 1:100 万卫星遥感图像地质解译工作是请地质矿产部遥感中心楼性满高级工程师完成的。在此一并致谢。

目 录

前言	饶家光 (I)
第一章 区域地质背景	钟增球等 (1)
第一节 基底变质岩系的地质特征及构造演化	钟增球 (1)
第二节 主要赋矿地层及其地球化学特征	梁约翰 (10)
第三节 成矿岩体的时空分布、成因类型与重要岩带(区)的主要地质-地球化学特征	刘姝群、杨世义 (16)
第四节 沉积盆地演化及控矿作用	杨振强 (26)
第五节 区域构造特征	钱明国 (33)
第二章 铜铅锌矿床类型及区域成矿规律	刘姝群、杨世义 (44)
第一节 矿床类型与主要类型矿床地质特征	(44)
第二节 区域成矿规律	(49)
第三章 主要类型金银矿床的形成条件与成矿规律	刘姝群、杨世义 (68)
第一节 金银矿床类型的划分	(68)
第二节 蚀变岩型金银矿床	(70)
第三节 斑岩(次火山岩)型金(银)矿床	(83)
第四节 热液石英脉型与热(卤)水溶滤型金(银)矿床	(95)
第四章 区域成矿预测	饶家光 (103)
第一节 成矿单元及成矿预测准则	(103)
第二节 铜铅锌矿预测	(105)
第三节 金(银)矿预测	(118)
第四节 对今后普查工作的建议	(124)
结 语	饶家光 (126)
参考文献	(130)
英文摘要	(134)

CONTENTS

Preface	<i>Rao Jiaguang</i>	(1)
Chapter 1 Regional Geological Setting	<i>Zhong Zengqiu et al.</i>	(1)
Section 1 Geological Features and Tectonic Evolution of the Basement Metamorphic Rock Series	<i>Zhong Zengqiu</i>	(1)
Section 2 Principal Ore-Hosted Strata and Their Geochemical Features	<i>Liang Yuehan</i>	(10)
Section 3 Temporal-Spatial Distribution and Genetic Types of the Ore-Forming Granitoids and Geological-Geochemical Features of Principal Rock Belts (Districts)	<i>Liu Houqun, Yang Shiyi</i>	(16)
Section 4 Evolution of Sedimentary Basins and Its Significance to Ore-Controlling	<i>Yang Zengqiang</i>	(26)
Section 5 Regional Tectonic Features	<i>Zhan Mingguo</i>	(33)
Chapter 2 Types of Cu, Pb, Zn Ore Deposits and Regional Metallogenetic Regularities	<i>Liu Houqun, Yang Shiyi</i>	(44)
Section 1 Deposit Types and Geologic Characteristics of Major Deposit Types		(44)
Section 2 Regional Metallogenic Regularity		(49)
Chapter 3 Formational Conditions and Metallogenic Regularity of Major Type Gold and Silver Deposits	<i>Liu Houqun, Yang Shiyi</i>	(68)
Section 1 Division of Gold and Silver Deposit Types		(68)
Section 2 Altered-rock Type Gold and Silver Deposits		(70)
Section 3 Porphyry (Subvolcanic) -type Gold (Silver) Deposits		(83)
Section 4 Hydrothermal Quartz Vein-, and Thermal (Brine) Water Filtering-type Gold (Silver) Deposits		(95)
Chapter 4 Regional Metallogenic Prognosis	<i>Rao Jiaguang</i>	(103)
Section 1 Metallogenic Units and the Criteria for Metallogenic Prognosis		(103)
Section 2 Prognosis for Copper, Lead and Zinc Prospecting Targets		(105)
Section 3 Prognosis for Gold (Silver) Prospecting Targets		(118)
Section 4 Proposal to Prospecting Work Ahead		(124)
Concluding Remarks	<i>Rao Jiaguang</i>	(126)
References		(130)
English Abstract		(134)

第一章 区域地质背景

武夷-云开地区(研究区,下同)是华南造山带主要组成部分,在加里东期属扬子板块南东大陆边缘,在海西期属于华南板块的主体,在中生代为欧亚大陆板块内部构造岩浆活动带。中生代构造岩浆活动控制成矿岩体及有关的有色、贵金属矿床的生成与分布,其构造岩浆演化和成矿作用与西部特提斯构造域演化关系更为密切。

以下主要从研究区域成矿规律的需要出发,对基底变质岩系、地层、岩浆岩、前中生代沉积盆地及区域构造特征作一说明。

第一节 基底变质岩系的地质特征及构造演化

云开和武夷隆起区广泛出露的前寒武纪变质岩系经历了至少从晋宁期以来的变质、变形作用,经受了强烈的成分再造和构造-热再造及改造作用,呈现出复杂而又有规律的组合特点和结构格局。以云开隆起区的基底变质岩系为重点,对基底变质岩系的组成、变质及构造演化历史、含矿性作一简要阐述。

一、基本组成

(一) 云开隆起区

野外地质调查及详细的岩石学及构造学研究表明,云开隆起区主要由深层次基底、浅层次基底和盖层3部分组成。深层次基底为古—中元古界中深变质岩系和经过晋宁—加里东构造-热再造所形成的不同重熔程度的混合岩和花岗岩,浅层次基底为变质较浅的新元古界云开群及下古生界,盖层为变质很浅或不变质的泥盆系及其以上地层。此亦即云开隆起区基底组成的双层结构式样(图1-1)。

1. 深层次基底变质岩系

深层次基底岩系主要分布于信宜、高州、北流、六麻、六靖和天堂山一带,在云浮大笪山和广宁石洞等地也有出露,其主要组成包括:①中深变质的片麻岩、变粒岩和片岩及少量石英岩、大理岩等,夹极少量斜长角闪岩,以碎屑岩建造为主,变质程度普遍达角闪岩相,局部达麻粒岩相(麻粒岩相岩石常为紫苏花岗岩的包体);②不同重熔程度的混合岩、混合片麻岩和花岗岩及紫苏花岗岩等。前者大多以残留体形式赋存于后者之中,故深层次基底总体为一套片麻岩系,主体部分为岩浆杂岩,显示出递进重熔的特点(图1-2)。这套岩系经历了自晋宁期以来的多期变质、变形和重熔再造,已难以建立层序。考虑到信宜、高州一带较为典型,暂称之为信宜-高州杂岩。

从变质变形特点及同位素地质年代学分析,深层次基底碎屑建造很可能形成于古—中元古代,球斑状花岗岩碎屑锥石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 表面年龄(1152和1364Ma)^①是证据之一,但准确的建造年龄还有待深入研究。此外,南颐(1994)所提供的子信宜难熔变质酸性火

① 周汉文、游振东等,1993,粤西云开隆起区钾长球斑状花岗岩中锆石特征及其U-Pb同位素年龄的意义。

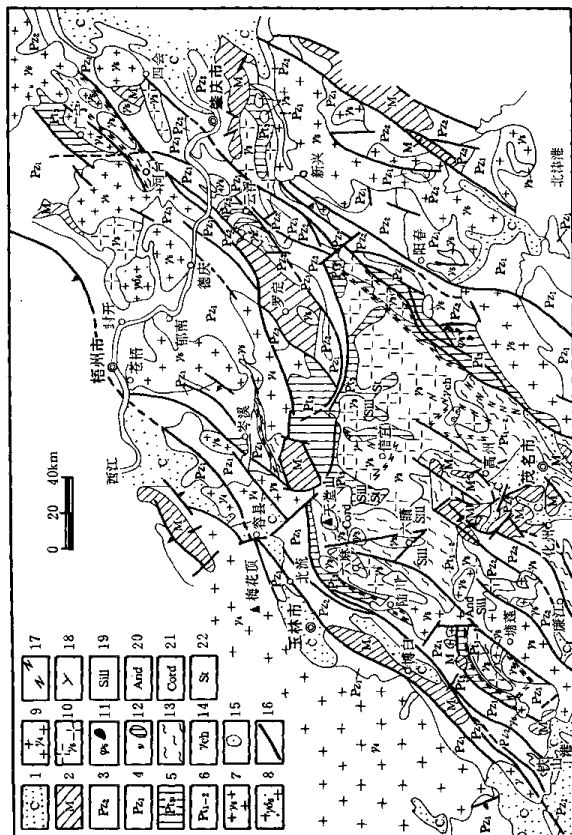


图 1-1 两广云开隆起地质图

Fig. 1-1 Geological map of the Yunken uplift on the border between Guangdong and Guangxi

1—新生界; 2—中生界; 3—上占生界; 4—下占生界; 5—新元古界; 6—古、中元古界; 7—燕山期花岗岩; 8—燕山期花岗岩; 9—印支期花岗岩; 10—加里东期花岗岩; 11—超基岩; 12—基性岩; 13—粗合岩; 14—麻岩; 15—麻岩; 16—断层; 17—韧性剪切带; 18—片麻岩; 19—夕线石; 20—红柱石; 21—蓝晶石; 22—十字石

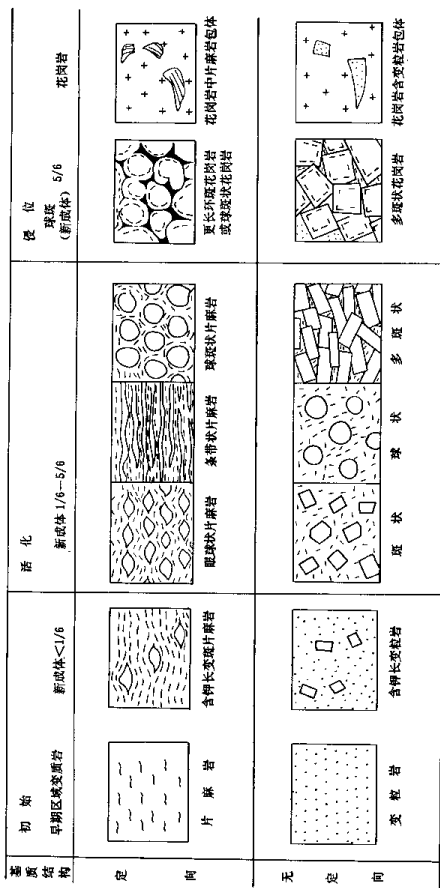


图 1-2 云开隆起区从混合岩至花岗岩递进重熔过程图

Fig. 1-2 Diagram showing the processes of progressive remelting from migmatites to granitoids in Yunkai uplift

初始阶段：斜长石颗粒少，岩石基本由变斑岩组成。

活化阶段：新成斜长石颗粒增大，基质矿物粒度增大。

侵位阶段：具岩基性质，外貌似花岗岩，具侵入产状，含有包体。

山岩中所获碎屑锆石表面年龄分别为 1616、2038 和 2084Ma, 也为云开隆起区内古—中元古代结晶基底的存在提供了佐证。

2. 浅层次基底变质岩系

浅层次基底环绕深层次基底杂岩分布。其中的云开群为一套以变质陆源碎屑岩为主、夹少量碳酸盐岩和基性—酸性火山岩组合。在罗碑—分界地区, 其下部为变质粉砂岩夹少量变质泥质岩、长石英砂岩、绿帘石岩、阳起透辉岩, 中部以变质泥质岩为主, 夹变质粉砂岩和英安斑岩, 上部为变质长石英砂岩夹少量变质基性岩。变质作用以绿片岩相为主, 局部达绿帘角闪岩相。变质碎屑岩中具变余沉积结构、构造, 鲍马层序发育, 属次深海—深海浊流相沉积。

据同位素地质年代学分析, 云开群底部云母片岩和石英片岩所夹的变质基性火山岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 980Ma (李献华, 1993), 中部云母石英片岩中所夹英安斑岩之锆石 U-Pb 年龄为 911 ± 11 Ma (张仁杰, 1990), 表明其时代均属新元古代。云开群中所含的微古植物化石组合, 如小型光面小球藻 (*Leiominiuscula minuta*)—小光球藻 (*Leiosphosphera minor*) 组合 (南颐, 1994), 也证实其形成时代为新元古代。

3. 深层次基底杂岩中的混合岩和花岗岩

云开隆起区深层次基底杂岩中广泛发育各类混合岩和花岗岩 (图 1-1)。按重熔程度, 可分出眼球状、条带状混合岩, 眼球状 (或球斑状) 黑云混合片麻岩及球斑状黑云母花岗岩等。其形成过程如图 1-2 所示。随着重熔作用的增强, 岩石中长英质矿物增加, 钾长石球斑也增多、增大。至新成体数量超过 85% 时, 岩石整体具花岗岩块状外观, 可称为钾长球斑黑云母花岗岩。其中钾长石斑晶常具环边, 由细粒斜长石、斜长石+石英或斜长石+微斜长石+石英所组成, 类似更长环斑花岗岩的特征。这暗示岩石形成时岩浆瑞利数已超过 R 的临界值 (104), 是在岩浆产生对流的条件下定晶的。

球斑花岗岩在野外可见与围岩呈侵入接触关系, 如在合水、思贺一带, 岩体侵入于云开群, 而在英桥、灵山一带, 则见岩体侵入于混合岩。详细的地质填图还显示, 球斑花岗岩与不同重熔程度的各种混合岩乃至片麻岩常呈环带状分布, 表现出递进重熔的特点, 这在高州龙修—云炉圩一带尤为明显。岩石化学分析结果和 CIPW 计算结果在 K-Na-Ca 图解上部分投影点落入岩浆花岗岩低熔区, 在 Q-Ab-Or 图解上, 投影点全部落入侵入花岗岩成分区, 在 ACF 图上成分点全部落入 S 型花岗岩区。其稀土元素亦具地壳重熔成因特征, 这些都说明球斑花岗岩很可能是以深层基底岩石为源岩、经深熔形成岩浆、侵入结晶而成。结晶条件为 $p = 0.5\text{GPa}$ 、 $t = 670^\circ\text{C}$ 。为低温花岗岩。

据 85-01-007-03-5 专题研究, 球斑花岗岩中锆石 U-Pb 年龄为 463—508Ma, 重熔作用时代为加里东期。另据前人在本区花岗岩中所获的同位素年龄结果 (Rb-Sr 等时线法和锆石 U-Pb 法) 也主要集中于 460—510Ma、460—440Ma 及 440—390Ma 3 个时期。据此, 笔者认为, 云开隆起区基底的成型时代应在加里东晚期, 泥盆系应是本区的第一个盖层, 它与基底间的不整合乃是加里东运动最后幕的表现。

除球斑花岗岩外, 深层次基底杂岩中还发育有紫苏花岗岩, 见于高州龙修—云炉圩地区, 仅出露于钾长球斑黑云母花岗岩中, 并往外与花岗岩、混合片麻岩、混合岩乃至片麻岩呈环状递变。紫苏花岗岩可明显分为两类, 一类为暗色的紫苏闪长岩, 一类为较浅色的紫苏花岗岩闪长岩。前者多被后者包裹。两者的组成相近, 主要矿物均为斜长石、紫苏辉

石、石榴石、黑云母和石英, 均可明显分为两个世代, 第二世代石榴石常呈串珠状分布于黑云母和紫苏辉石周围, 而第二世代的斜长石和紫苏辉石则常为石榴石的分解产物。

野外填图发现, 紫苏花岗岩与围岩具侵入接触关系, 其中还含有大量的低压麻粒岩相变质岩包体和少量角闪岩相变质岩包体。利用岩石标准矿物 $Qz-Ab-Or$ 图解, 紫苏花岗岩的投点多落入低熔岩浆区或接近该区, 在 $Na-K-Ca$ 图解上, 投点集中分布在典型岩浆花岗岩区的界线附近, 亦显示一定的岩浆成因特征。而从矿物的化学特征看, 主要矿物均显示变质成因特征, 而且是麻粒岩相变质条件下的产物。据此可认为, 本区紫苏花岗岩是在麻粒岩相变质基础上由深熔作用形成岩浆结晶而成的, 经历过变质作用的改造, 在成因上具双重性。

用矿物温压计求得紫苏闪长岩的形成条件, 压力为 0.668GPa , 温度为 750°C , 而紫苏花岗岩的形成条件为 $p=0.481\text{GPa}$, $t=720^{\circ}\text{C}$ 。两者形成条件的差异, 似反映其形成深度的不同。从所获得的锆石 $U-Pb$ 年龄表明, 紫苏闪长岩的结晶年龄为 $434.9 \pm 1.3\text{Ma}$, 形成于加里东期。

值得注意的是, 近来的研究表明, 在上述大规模的加里东期混合岩和花岗岩中, 还可能存在更古老的混合岩和花岗岩。如据近年来 $1:5$ 万信宜幅、怀乡幅区调 (庄文明等, 1994) 和有关专题研究 (符力奋等, 1994) 的报道, 在信宜、怀乡和白石一带的片麻状花岗岩或片麻状花岗闪长岩中已获得一批年龄值为 $800-1200\text{Ma}$ 之间的单颗锆石 $Pb-Pb$ 同位素地质年代学数据, 应是中、晚元古代陆壳的重熔作用所致。

(二) 武夷隆起区

在武夷隆起区的石城、建宁、邵武和建瓯一带, 也出露了一套中深变质岩系 (图 1-3)。据孙大中^① (1991)、赵同春等 (1994)、金文山等 (1992)、游振东等 (1986) 和福建省队近年来的研究。该套岩系主要由各类片麻岩和变粒岩组成, 夹有斜长角闪岩和石英岩等。主要岩石组合为黑云斜长 (二长) 片麻岩 (变粒岩) 和角闪斜长片麻岩 (变粒岩) 夹斜长角闪岩和石英岩。相当于原划的建瓯群下部和麻源群或迪口群。其变质程度达角闪岩相。由片麻岩中存在夕线石与钾长石共生这一现象表明, 局部已达高角闪岩相。岩系中重熔作用显著, 出现强烈的混合岩化或融合作用, 形成不同类型的混合岩和花岗岩与变质岩一起组成杂岩区。岩相学及岩石化学研究结果表明, 中深变质岩系的原岩主要为一套陆源碎屑沉积岩, 其中所夹的斜长角闪岩则可能为早期发育的基性岩浆岩。

在这一套中深变质岩系之上的一套变质较浅的火山沉积岩系, 包括原划的建瓯群下部和马面山群等, 为一套变质碎屑岩、变质酸性-基性火山岩和变质碳酸盐岩及硅质岩组合, 主要由各类石英片岩、白云钠长变粒岩、钠长绿帘绿泥片岩、绿帘阳起片岩夹大理岩、石英岩和滑石片岩等组成。据游振东等 (1986) 研究, 其变质作用以绿片岩相为主, 比前述中深变质岩系普遍要低, 且很少伴随有混合岩化。据岩石化学及地球化学分析, 其中的火山岩等属钙碱性和拉斑玄武岩系列, 似应代表岛弧或大陆边缘的变质火山岩系。

近年来, 武夷隆起区的年代学研究取得较大进展, 在闽北变质岩中获得了一批年龄较大的 $Sm-Nd$ 同位素年代数据, 如麻沙、长坪一带麻源群的 $2116 \pm 22\text{Ma}$ (袁忠信等, 1991)、建宁西部天井坪组的 $2652 \pm 148\text{Ma}$ (李根坤等, 1988)。它们似反映原岩年龄, 说明武夷隆起区很可能存在古元古代甚至是新太古代的地壳。

① 孙大中, 1991, 闽北前寒武纪变质岩岩层序划分和构造演化。

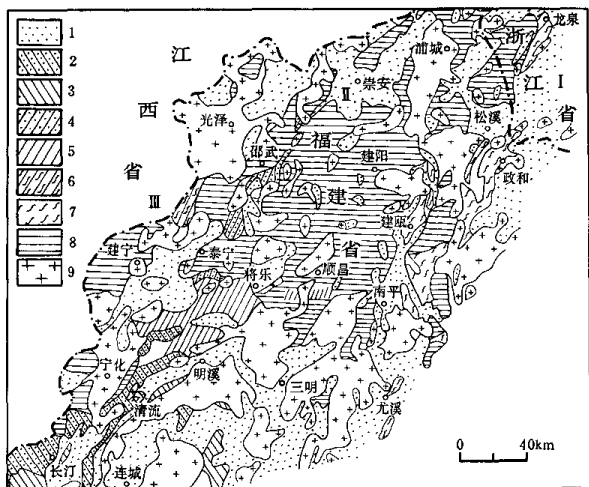


图 1-3 福建北部和西南部区域变质岩系变质相分布略图

(据金文山等, 1992)

Fig. 1-3 Distributional map of regional metamorphic rock series and metamorphic facies in northern and southwestern Fujian

(after Jin Wenshan et al., 1992)

1—后寒武纪地层; 2—低绿片岩相绢云母变质级 (闽西南原林田群分布区); 3—低绿片岩相绢云母变质级 (闽西南原梭子坝群、丁屋岭组、南岩组和黄蓬组分布区); 4—低绿片岩相黑云母变质级 (闽北原林田群分布区); 5—低绿片岩相黑云母变质级 (顺昌吴墩、将乐黄潭和明溪一带浅变质岩系分布区); 6—泰宁宝石、水溪一带低绿片岩相黑云母变质级浅变质岩系; 7—高绿片岩相-低角闪岩相 (马面山群分布区); 8—角闪岩相 (麻源群分布区); 9—加里东—燕山期花岗岩类

据甘晓春等 (1993) 研究, 上述中深变质岩系 (以麻源群为代表) 的形成年龄大于 1850Ma, 其中有古元古代花岗岩及花岗闪长岩体的侵入, 并与麻源群一起发生变质。马面山群的形成年龄约为 1100Ma, 属中元古代。在麻源群和马面山群中所发现的碎屑锆石, 其年龄分别为 1961Ma, 2142—2415Ma 和 2589Ma, 似都反映了该区有古元古代以至更老结晶基底的存在。

据研究, 武夷隆起区的前寒武纪变质岩系也曾受到了晋宁期和加里东期的强烈构造-热改造。晋宁期表现为混合岩化 (855—870Ma) 和热构造再造, 加里东期则表现为强烈

的重熔再造和构造改造。

综上所述,武夷隆起区的中深变质岩系似应代表古老的结晶基底,而其上的较浅变质岩系(马面山群等)为一套岛弧或大陆边缘火山沉积岩系,组成了较浅层次基底。

武夷隆起区基底变质岩系的组成与云开隆起区的大体相似,但在其中深变质岩系(相当于深层次基底)中出现了较多的基性变质岩,还有古元古代的岩浆活动。这是云开隆起区所没有或是尚未发现的。此外,浅层次基底中火山活动较为显著,且形成时代与云开隆起区浅层次基底也不尽一致。两者组成的相似性和差异性反映了其形成环境既相近,又有差别,也反映了构造演化的不均一性。

二、变质作用及变质演化

云开隆起区深层次基底普遍遭受了低压角闪岩相变质,局部达麻粒岩相。低压麻粒岩相的分布与紫苏花岗岩有密切的联系,其岩石组合以片麻岩为主,夹薄层石英岩、大理岩和夕线堇青云母片岩、堇青石英岩等,为一套沉积变质组合,常作为紫苏花岗岩的包体出现。由其特征矿物组合(如 $\text{Hy} + \text{Alm} + \text{Cord} - \text{Pl} + \text{Kf} + \text{Bi} + \text{Q}$)和紫苏辉石、石榴石和黑云母(高钛富铁黑云母)的成分特征等,都指示了麻粒岩相的变质成因。现已获得的资料表明,低压麻粒岩相变质作用始于 $950\text{Ma} \pm$, 即晋宁早期(周汉文等, 1994)。此外,变质作用还具多期性,这表现在麻粒岩相的变质矿物演化上,其主要矿物普遍可分出 2 个世代,峰期变质条件为 $t = 700 - 800^\circ\text{C}$, $p = 0.4 - 0.6\text{GPa}$, 退变质作用的条件为 $t = 650 - 710^\circ\text{C}$, $p = 0.4\text{GPa}$, 地热梯度可达 $54^\circ\text{C}/\text{km}$, 属典型高温低压环境。根据矿物的演化特点建立的变质作用 pT 演化轨迹如图 1-4 所示。其轨迹可分为两段, D-D' 为峰期变质和地下居留冷却, 而 D'-D'' 则为抬升后的冷却。总体记录了麻粒岩在峰期变质后有长期居留地下冷却的历史, 然后是近等压冷却的抬升历史。

角闪岩相变质岩主要分布于北流的六靖、六麻和高州一带, 在云浮大笪山和河台、广宁石洞等地也有出露, 以各类片麻岩、片岩和变粒岩为主。其原岩主要为泥质岩、石英砂岩和杂砂岩等。此外还夹少量斜长角闪岩, 为变基性火山岩。这些都说明变质作用属低压型。变质作用条件为 $t = 600 - 700^\circ\text{C}$, $p = 0.4 - 0.6\text{GPa}$, 地热梯度为 $30 - 53^\circ\text{C}/\text{km}$ 。低压角闪岩相变质常伴有深熔作用。低压角闪岩相变质区均以花岗岩或混合岩为中心, 往外混合岩化作用渐弱, 变质作用也有减弱的趋势, 结果在区域上构成了若干热穹隆。据深层次基底变质岩被加里东期花岗岩所捕虏判断, 大规模的区域变质作用在前加里东期, 至少在加里东早期即已发生。区域性的重熔作用是在区域变质作用基础上所发展起来的, 本区以加里东期的重熔作用最为显著, 规模也最大。

浅层次基底云开群环绕深层次基底分布, 其峰期变质作用主要为绿片岩相, 以变质泥质岩中出现绿泥石 + 白云母 + 绿色黑云母和变基性岩中出现阳起石 + 钠长石 + 绿帘石的组合为特征。局部可达绿帘角闪岩相。利用矿物温度计计算, 其变质温度为 $500 - 550^\circ\text{C}$, 由白云母的 b_0 值确定变质作用为中压型 ($b_0 = 9.00 - 9.036$)。

海西一印支期, 沿四会-吴川断裂带分布的上三叠统, 变质变形已达相当程度, 但不是区域性的, 如果将它与罗定那蓬岩体南侧的变质作用联系起来, 似应属云开隆起区内部或边缘的断裂变质作用(莫柱孙, 1983)。燕山期的变质改造主要表现为燕山期花岗岩的接触热变质作用。这种多期变质作用的不均一, 似反映了隆起区地壳热状态的不均一性。不同时代和不同性质变质作用的叠加和共存, 使云开隆起区基底呈现出复杂的变质演化图像。

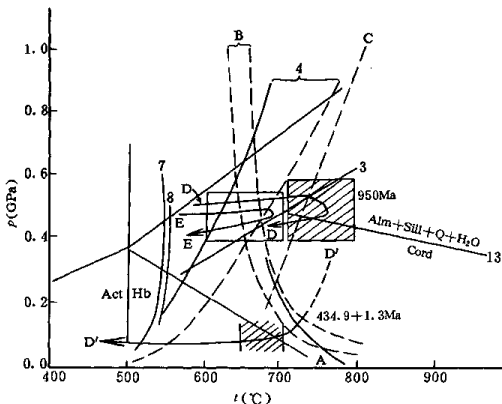


图 1-4 深层次基底岩石变质作用的 p - t 演化图

Al_2SiO_5 变体单变线据 Holdaway (1971)

Fig. 1-4 Sketch showing the p - t evolution of metamorphism of the deep-level basement rocks
 A—大容山岩体初熔实验曲线 (贵阳地化所, 1979); B—花岗岩初熔线 (Tuttle, Bowen, 1958, Luth, 1964, Robertson, Wyllie, 1971, Hyndman, 1981); C—碱性长石-条纹长石 (或反条状长石) 均质的 (Na, K) $AlSi_3O_8$ 出熔线的上限; D、D'—麻粒岩相轨迹; E—角闪岩相轨迹。方框为角闪岩相的温压计算范围, 斜线阴影区为温压计测定的变质的 p - t 范围, 950Ma 年龄为麻粒岩变质锆石 U-Pb 法测定值, 434.9 ± 1.3 Ma 为紫苏花岗岩锆石 U-Pb 法年龄结晶年龄。3— $Bt + Sill + Q \rightarrow Cord + Kf + Grt + H_2O$ (Osana et al., 1991); 4— $Ms + Q \rightarrow Sill + Kf + H_2O$ (Helgeson, et al., 1978); 5— $Alm + Sill + Q + H_2O \rightarrow Cord + Sp$ (Perchuk, L. L., 1985); 7— $Chl + Ms + Q \rightarrow Cord + Bt + H_2O$ (Fawcett and Yoder, 1966); 8— $Fe + Chl + Q + Mt \rightarrow Alm + H_2O$ (Hsu, 1968)

三、变形特征及构造演化

伴随多期变质作用, 云开隆起区基底还经历了多期变形作用。晋宁期本区处于拉伸的构造环境, 这种构造环境下地幔上隆, 导致高热流的产生。之后, 于前加里东期或加里东早期, 云开隆起区表现为以挤压体制下的地壳增厚为主, 这从深层次基底杂岩之残留变质岩系和云开群中保留各种紧闭倒转、斜卧不协调褶皱及鞘褶皱等可以反映。地热流的计算也表明, 浅层次基底变质岩的热流值中慢源的贡献仅占 50% 左右, 其生热并不高, 要形成高热流唯有增加地壳厚度, 也反映了一种挤压的构造环境。

于加里东期, 伴随大规模的变质和重熔作用, 云开隆起区基底成分再造、大量岩浆的形成, 使云开地块上浮、隆升, 以致伸展垮塌, 从而导致不同层次基底或基底与盖层之间的滑脱, 形成了边缘韧性剪切带阵列, 包括西缘的灵山-陆川-凤山剪切带和东缘的大王山