

中国地质科学院院报

第 16 号



地质出版社

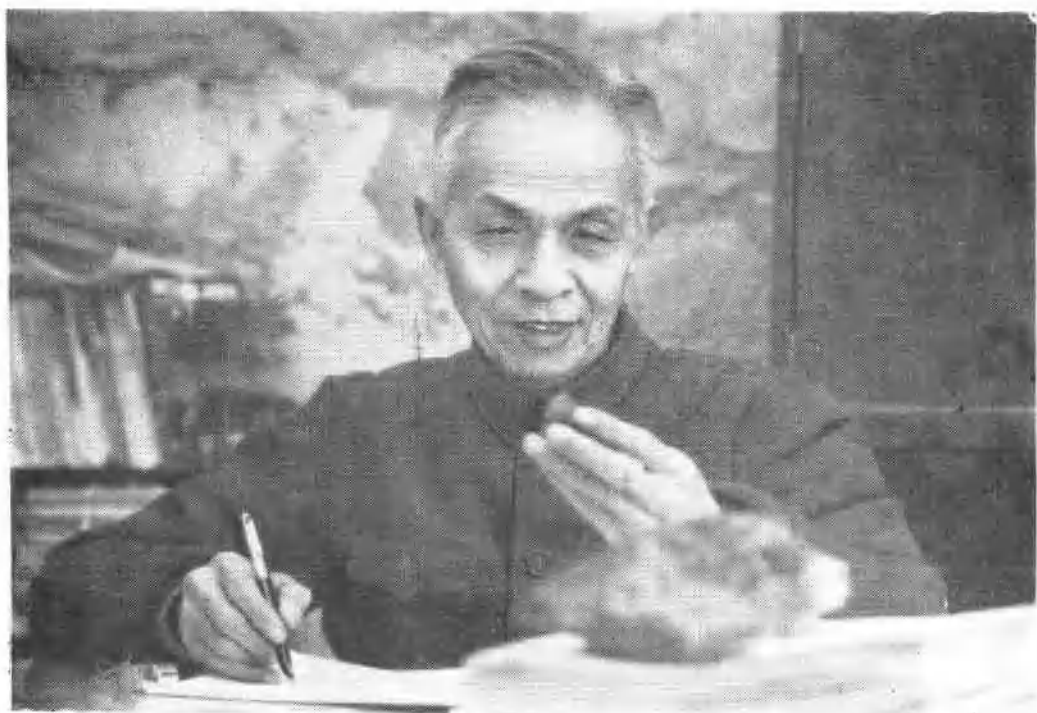
中国地质科学院院报

第 16 号

庆贺程裕淇教授从事地质科学事业58周年

CONGRATULATIONS ON 58TH ANNIVERSARY
OF PROF. CHENG YUQI'S GEOLOGICAL CAREER

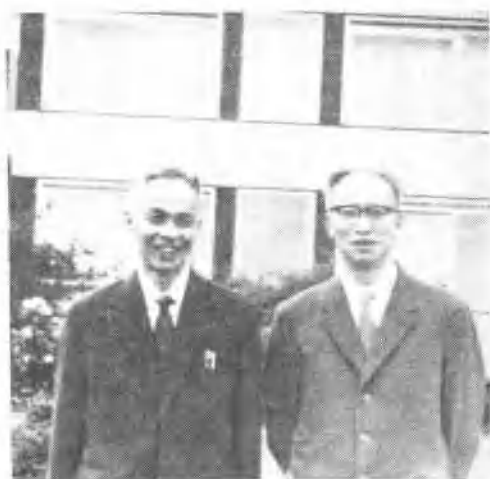
地质出版社



程裕淇教授在进行岩石学研究



1978年9月在西天山赛里木湖湖滨



1978年5月在联邦德国西法伦州地质调查所前



1980年7月在英国爱丁堡机场野外旅行归来



1980年7月在巴黎出席二十六届国际地质大会



1974年9月在基鲁纳铁矿以北看变质枕状熔岩



1979年9月在拉萨



1983年6月于河南嵩山进行野外考察



1987年7月在西藏自治区第四纪冰川残留区



1982年11月在云南昆明杨村处以寒武剖面分界线



1981年9月在泰山绿石峪观察古老片麻岩



1982年10月在五台山进行野外考察



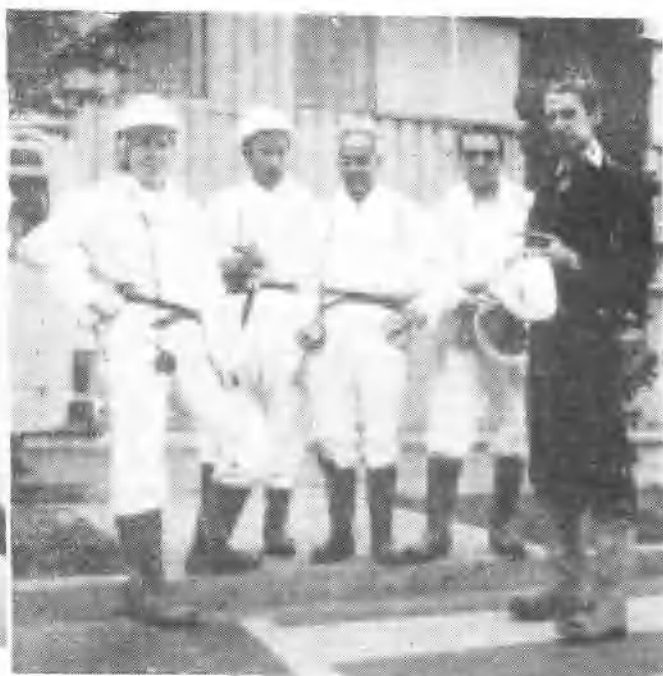
1980年5月在浙江黄岩五部铅锌矿附近观察
火山岩系内部接触后作记录



在乌克兰野外用显微镜观察岩石薄片



1937年8月从英国去芬兰考察途中船上



1978年6月在法国南部圣萨尔维铅锌矿

目 录

热烈祝贺程裕淇教授从事地质事业58周年.....	李廷栋 (1)
有关混合岩和混合岩化作用的一些问题——对半个世纪以来某些基本认识 的回顾.....	程裕淇 (5)
程裕淇教授对中国铁矿地质的调查研究.....	周维屏 (21)
略论我国前寒武纪变质作用和地壳演化的某些特征.....	张寿广 (27)
多旋回成矿论.....	沈永和 (41)
华北地台的元古宙构造演化.....	孙大中、陆松年 (55)
花岗质岩石的交代结构构造及其成因意义.....	董申葆、贺高品 (71)
关于“沉积成矿系列”的若干理论问题.....	宋天锐 (83)
混合岩化作用的地质成因分类.....	贺同兴 (95)
中国东南部中生代火山岩区域成矿条件.....	裴荣富、吴良士 (99)
北京房山地区的变质带.....	刘国惠、伍家善 (113)
鞍山、本溪地区鞍山群变质岩岩石化学研究及条带状铁矿的成矿条件	周世泰 (139)
辽东半岛早元古宙地壳的演化.....	张秋生 (155)
内蒙集宁群变质岩系U-Pb和Rb-Sr同位素年龄的讨论	沈其韩、刘敦一、王 平、高吉凤、张荫芳 (165)
阜平群条带状铁建造中硅质鲕粒特征及其成因.....	伍家善、耿元生、金龙国 (179)
鲁西山区与早、中前寒武系有关的几个地质问题的新认识	曹国权、王致本、董一杰、郑良峙、张成基 (189)
从五台山下前寒武系变形特征论某些构造形迹的运动学意义.....	白 瑾 (201)
河南登封石碑河“变闪长岩体”的部分岩石学和地球化学以及U-Pb同位素 年龄.....	王泽九、沈其韩、金守文 (215)
略论福建燕山旋回成矿系列.....	边效曾、陈春光、吴克隆 (227)
云南个旧锡矿床花岗岩接触带的交代现象.....	赵一鸣、李大新 (237)
程裕淇教授著作目录.....	(253)
简讯：中国地质科学院召开第二次编辑工作会议.....	(154)

中国地质科学院院报

第16号

责任编辑：邢瑞玲 刘建三

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092^{1/16} 印张：15^{1/2} 插页：9 页字数：371,000

1987年10月北京第一版·1987年10月北京第一次印刷

印数：1—2300册·国内定价：4.30元

统一书号：13038·新430

BULLETIN OF THE CHINESE ACADEMY OF GEOLOGICAL SCIENCES, No. 16

CONTENTS

Congratulations on 58th Anniversary of Prof. Cheng Yuqi's Geological Career..... On Migmatites and Migmatization.—Half a Century's Recollection of Certain Related Problems Prof. Cheng Yuqi's Research on Geology of Iron Ore in China Some Characteristics of Precambrian Metamorphism and Crustal Evolution of China On Polycyclic Minerogenesis..... Proterozoic Tectonic Evolution of the North China Platform..... The Classification of Metasomatic Replacement Fabrics of Granitic Rocks and Its Genetic Significance..... On Some Theoretical Problems of "Sedimento-minerogenetic Series" of Mineral Deposits..... Geological Classification of Migmatization Regional Metallogenetic Conditions of the Mesozoic Volcanics in South China Metamorphic Zones of the Fangshan Area in Beijing..... The Petrochemical Study of the Archean Banded Iron Deposit in Anshan-Benxi District, Liaoning Province..... Early Proterozoic Crustal Evolution of the East Liaoning Peninsula..... U-Pb and Rb-Sr Isotopic Age Study of the Jining Group from Nei Mongol of China Characteristics and Origin of Siliceous Oolites in the Banded Iron Formation of the Fuping Group New Recognition on some Geological Problems Related to the Early-Middle Precambrian in the Western Shandong Mountainous Region On Kinematic Significance of some Structural Features in View of Deformation Feature of the Lower Precambrian in Wutai Mountain..... Petrology, Geochemistry and U-Pb Isotopic Dating of the Shipaihe "Metadiorite Mass" in Dengfeng County Henan Provinces, China..... On the Yanshanian Metallogenic Series in Fujian Province Metasomatic Phenomena in the Granite Contact Zones of the Gejiu Tin Deposit, Yunnan Province, China..... Bibliography of works of Professor Cheng Yuqi..... The 2nd Editorial Meeting of Bulletin Series CAGS.....	<i>Li Tingdong</i> (1) <i>Cheng Yuqi</i> (17) <i>Zhou Weiping</i> (26) <i>Zhang Shouguang</i> (38) <i>Shen Yongho</i> (53) <i>Sun Dasheng and Lu Songnian</i> (68) <i>Dong Shenbao and He Gaopin</i> (78) <i>Song Tianrui</i> (92) <i>He Tongxing</i> (98) <i>Pei Rongfu and Wu Liangshi</i> (111) <i>Liu Guohui and Wu Jiashan</i> (130) <i>Zhou Shilai</i> (152) <i>Zhang Qiusheng</i> (162) <i>Shen Qihan, Liu Danyi, Wang Ping, Gao Jifeng and Zhang Yinfang</i> (177) <i>Wu Jiashan, Geng Yuansheng and Jin Longguo</i> (185) <i>Cao Guoquan, Wang Zhiben, Dong Yijie, Zheng Liangzhi and Zhang Chengji</i> (199) <i>Bai Jin</i> (212) <i>Wang Zepu, Shen Qihan and Jin Shouwen</i> (225) <i>Bim Xiaozeng, Chen Chunguang and Wu Kelong</i> (235) <i>Zhao Yiming and Li Daxin</i> (249) (253) (154)
---	--

Geological Publishing House
Address, Xisi, Beijing, China

Chinese Academy of Geological Sciences
Address, Baiwanzhuang Road, Beijing, China

热烈祝贺程裕淇教授从事地质事业五十八周年

CONGRATULATIONS ON 58TH ANNIVERSARY OF PROF. CHENG YUQI'S GEOLOGICAL CAREER

著名地质学家，中华人民共和国地质部前副部长，中国科学院地学部学部委员，中国地质科学院一级研究员，中国地质学会现任理事长程裕淇教授，1912年10月7日生于浙江省嘉善县城。1929年考入清华大学地学系，1933年毕业，获理学士学位。1933年至1935年任地质调查所调查员。1935年至1938年赴英国留学，在利物浦大学地质系深造，获哲学博士学位。其间曾赴北欧三国考察变质地质，又去瑞士巴赛耳大学矿物岩石系短期学习和野外地质考察。回国后历任地质调查所矿物岩石研究室副主任、主任，经济地质研究室主任，并兼任原中央研究院地质研究所研究员。1944—1946年曾赴美国、加拿大、墨西哥进行地质矿产考察和参观访问。解放后，曾历任中国科学院地质研究所副所长，矿产地质勘探局经济地质处副处长，大冶四二九勘探队队长，地质部地质矿产司副司长和技术司总工程师，地质部地质研究所研究室主任、副所长、所长，中国地质科学院副院长，地质部副部长，地质矿产部总工程师，地质矿产部科学技术顾问委员会主任等职。现任地质矿产部学位委员会主任、科学技术委员会副主任、科技顾问委员会委员，全国政协常委，中国科学院学部委员和地学部副主任，中国地质学会理事长，《中国百科全书·地质卷》主编，《地质学报》，《中国地质》，《中国地质科学院院报》主编，中国国际地质对比计划全国委员会主任，中国国际岩石圈计划全国委员会执行主席等职。

程裕淇教授是我国老一辈地质学家，是我国现代地质科学的开拓者之一，是我国变质岩和前寒武纪地质研究的奠基人，是国际地质界知名的学者。在半个多世纪的地质工作中，他一贯重视实践，勇于开拓，顽强奋斗，精心治学，坚持理论和实践相结合，科研和生产相结合。他的足迹遍及包括台湾省在内的我国30个省、市、自治区，并先后赴欧洲、北美等十三个国家进行过地质考察和科学研究，作了大量开拓性的地质矿产调查和科学研究工作，组织领导过许多地质勘查和科学研究项目，参加和主持过若干地区不同比例尺的地质填图和十几种金属、非金属和燃料矿产、特别是铁矿的矿床地质勘查工作，领导和参加了鞍山、本溪、大冶等重要铁矿的普查、勘探和地质研究，以及参与水库的地质初勘工作，取得不少突破性的和高水平的科学成果，发表了百余种科学论文、报告和专著，对促进我国地质事业的发展 and 推动地质科学技术进步作出了重大贡献。

在矿产勘查和矿床地质研究方面，他做了许多开创性的工作，主要贡献是：第一，1939年初在化学分析人员配合下发现了云南昆阳大型富磷矿。这是我国沉积磷矿勘查上的首次突破，对于昆阳磷矿的勘探和矿山建设以及西南广大地区许多相当层位或相似地质条件磷矿床的发现，起了开路先锋的作用。第二，1950—1951年，他率队勘查并首先提交了有关我国古老变质岩系中已知最大的弓长岭富铁矿的详细地质报告，阐明了矿区地质特征和矿床成因，指出进一步寻找和扩大富矿的地段。以后又几次对全国铁矿类型进行了总

结,指出不同类型铁矿的找矿方向,推动了铁矿的普查、勘探工作,或促使了一些铁矿的发现和扩大远景。第三,70年代中期,提出铁矿类型组和铁矿成矿系列的概念,以后又把这种概念引伸于其他矿种、矿组,并先后发表了《初论矿床的成矿系列问题》和《再论矿床的成矿系列问题》两篇论文,对于总结成矿规律和进行矿产预测已经发挥并将继续发挥重要的指导作用。第四,在西南、中南、华东、新疆等地所进行的矿床地质工作及其有关成果,为这些地区矿床的进一步普查或勘探工作奠定了基础,提供了科学资料依据。

在基础地质方面,程裕淇教授进行过领域广泛的调查研究工作,作出了多方面的贡献,特别在变质岩和变质地质研究方面有精深的造诣和突出的建树。早在30年代中、后期,在英国留学期间,通过对苏格兰培戴希耳混合岩的研究发表了两篇论文,首次引用芬兰的“混合岩”名词于英伦三岛相似岩石类型的研究中,补充了它的含义,对该区存在的6种类型的变质岩及由它们生成的各类混合岩进行了系统的岩石学描述,对混合岩化过程中反映的岩石化学、矿物学等方面的变迁进行了综合分析,将全过程大致划分为相当“正岩浆末期”和“热液期”两个阶段,从而丰富了混合岩化的理论。1945年发表的《西康丹巴附近的渐进区域变质带》一文,第一次报道了我国发育较完善的区域变质带,并把“等化学系”原则从粘土质原岩首次推广应用于中、酸性火山沉积岩系的变质带划分。50年代到60年代,他又先后提出混合岩化迁移、交代作用形成富铁矿和硼矿的观点,发表了若干有关混合岩方面的论文,有效地指导了地质勘查工作的顺利进行,不但引起国外许多学者的重视,并得到国内同行的普遍承认和引用。在长期实践和研究的基础上,于1962年与沈其韩、刘国惠、王泽九合著了《变质岩的一些基本问题和工作方法》一书,并先后发表了6篇有关论文。它集中总结概括了程裕淇教授二十余年从事变质岩和变质地质研究的主要成果和新认识、新见解,提出“过渡类型变质作用”的概念,并分析了其形成的地质背景;拟定了详细、系统的区域变质岩和混合岩分类命名的原则和方案;论述了混合岩化作用的理论分析和微观特征;分析了变质岩系分布地区的成矿特征和找矿方向;论证了某些变质作用之间的相互关系;详细阐述了变质地质的野外工作方法。这本专著从理论和实践的結合上提高了国内广大地质科技人员的科学技术和地质观察研究的能力,对于保证区域地质调查和矿产普查工作的质量和效率发挥了重要的指导作用。通过典型调查和综合研究,于1965年提出了“混合岩系列”的概念。1979—1980年又进行了我国不同时代变质岩系和变质岩带的综合研究,于1982年发表了《略论我国不同变质时期的变质岩系、变质带和若干有关问题》的论文,第一次系统地总结、论述了我国不同变质时期变质岩系、变质带的分布特点、演化规律和影响变质程度深浅的控制因素,探讨了多期变质作用和同期变质作用的多阶段问题和双变质带问题。80年代初期,他又指导编制了1:400万中国变质地质图。

在前寒武纪地质研究方面,程裕淇教授进行了大量卓有成效的专题性和综合性的研究工作,取得许多具有立典性的科学成果,有力地推动了我国变质岩和前寒武纪地质研究的深入发展。在专题研究方面,除结合地质勘查研究了辽东半岛、四川西部、秦岭等地的前寒武系以外,在60年代初期,他曾率队详细研究了山东新泰雁翎关地区的泰山群变质岩系,并于1977年发表了《山东新泰雁翎关一带泰山群变质岩的初步研究》(科研报告)。通过研究,查明了本区泰山群三个组之间的层位关系,肯定了雁翎关组含有大量变质基性熔岩和凝灰质岩石,阐明了角闪岩相岩石的原岩建造为浅海相到海陆交互相基性火山沉积岩

系,新发现三种变质熔岩构造,并摸索出有效的变质基性熔岩和凝灰质岩石原岩恢复的室内外工作方法,为古老变质岩系的研究提供了一个良好的范例。此外,还根据同位素年龄测定资料肯定了雁翎关地区泰山群的变质年龄在24.5亿年以上;初步确定崑山岩体为混合交代成因,把本区混合岩化作用划分为钠质交代为主和钾质交代为主两期;并对本区角闪质岩类、黑云变粒岩类和其他岩类进行了较系统的分类和描述,较详细地阐明了本区混合花岗岩的成因。在综合研究方面,在其他同行专家协助下,程裕淇教授对我国前寒武纪地质进行了四次全国性的或大区域性的系统研究和科学总结。①在1960年前后,他与地质部地质研究所前寒武纪及变质岩研究室的同志们一起编写、出版了《中国前寒武系》一书和1:300万中国前寒武纪地质图。②1972年,与钟富道、苏泳军发表《中国华北和东北地区前震旦系》一文。③1982年,与白瑾、孙大中合写《中国的下、中前寒武系》一文,刊于《中国地层概论》一书。④1986年,与杨遵仪、王鸿祯教授合著英文版《中国地质学》,由英国牛津大学出版社出版,在他编写的三章中,全面、扼要地总结了我国太古宙岩层、岩浆岩和岩浆作用,论述了不同时期变质岩系和变质带的基本特征和有关问题。在几次大的总结中,他都对我国前寒武纪地质进行了新的概括,提出若干新认识和新观点,不断地引导着我国前寒武纪地质研究向新的高度和深度发展,促进了我国前寒武纪地质研究和找矿工作的开展。

在五十多年的地质工作生涯中,程裕淇教授博于地球科学的各个领域,特别精深于变质岩及变质作用,前寒武纪地质和铁矿地质。他的代表性著作主要有《(苏格兰)索受兰郡培戴希耳附近的混合岩》、《中国已知铁矿类型的特征、分布与生成的地质条件及今后普查方向》、《变质岩的一些基本问题和工作方法》、《中国的前寒武系》、《中国华北和东北地区的前震旦系》、《山东新泰雁翎关一带泰山群变质岩系的初步研究》、《中国几组主要铁矿类型》、《初论矿床的成矿系列问题》、《再论矿床的成矿系列问题》以及《中国地质学》等。由于他在科学事业上的贡献,解放前他曾获中国地质学会赵亚曾纪念奖;《变质岩的一些基本问题和工作方法》和由他主编或参与编制的有关全国性地质图件获全国科学大会奖和一九八二年国家自然科学奖;一九八二年他被选为英国伦敦地质学会荣誉会员。

程裕淇教授长期担负了各种行政、技术领导职务,参与了若干重大科学技术问题的决策,有效地发挥了科学技术的指导作用。参与领导了全国地质工作和地质科学技术发展规划的制定;领导和指导了一些重大地质勘查和科学研究项目的筹划和实施;倡导和指导了全国各省、自治区地质志的编纂和地质矿产部出版系列的建立工作;倡议制定地质矿产资源法和纠正野外工作与室内研究脱节的偏向。程裕淇教授也是我院创始人之一,长期担任院的领导职务,对学院的创建和发展建立了历史的功绩。

程裕淇教授曾数度率团出国考察和参加国际会议,多次担任在中国召开的国际学术会议的组织机构主席,经常接待外国科学家的来访,为开展国际学术交流,推动我国地质科技进步,扩大我国地质工作在国际地学界的影响付出了辛勤劳动,作出了重要贡献。

程裕淇教授非常关心和重视对青年科学工作者的培养和教育,对他们严格要求,热心指教。他多次呼吁和倡导要给青年科技工作者以机会和条件,到地质工作的第一线从事实际的地质调查工作,充实基础知识,加强地质工作基本功的训练。他热心为国家培养人材,从1963年开始他多次招收研究生,对他们严格要求、耐心指导,并亲赴野外进行邦

助，深受青年同志们的爱戴和尊敬。

程裕淇教授长期主持几个刊物的主编工作，他对编辑工作极其重视，一贯认真负责，仔细审阅各篇稿件，还常常帮助修改外文摘要。对各刊编辑人员诲人不倦、悉心培养，对广大编辑工作者起到了表率作用。

1987年是程裕淇教授诞生75周年之岁，也是他献身地质事业五十八年之年。在五十多年的地质工作中，他一贯刻苦治学，勤奋工作，努力开拓，取得了光辉的科学成就，为我国的地质事业建树了重大的业绩。我们为他出版这本专刊的目的，旨在祝贺他的成就，表彰他的业绩，以激励广大中、青年地质科技工作者奋发进取。我们衷心祝愿程裕淇教授健康长寿，在科学的探索中取得更大成就，为发展我国的地质事业作出新的更大的贡献！

中国地质科学院院长 李廷栋

一九八六年十月十一日

有关混合岩和混合岩化作用的一些问题—— 对半个世纪以来某些基本认识的回顾

ON MIGMATITES AND MIGMATIZATION—— HALF A CENTURY'S RECOLLECTION OF CERTAIN RELATED PROBLEMS

程 裕 洪

内容提要 本文首先论述了混合岩和混合岩化作用的一些基本特征(四大特征)。提出了混合岩和有关岩石的混合岩化程度的分类,即三分为部分混合岩化的岩石、混合岩和混合花岗质岩石三大类。论述了确定混合化岩石下界的五个综合标志及混合花岗质岩石的八大特征等,还讨论了部分混合岩化岩石的命名问题。最后从混合岩化作用的地质背景将其分为三类:区域性混合岩化作用、边缘混合岩化作用及断裂带混合岩化作用,并对各自的特征进行了讨论。

混合岩和混合岩化作用的一些基本特征

混合岩这个名词,是1907年由芬兰地质学家赛得霍姆(J. J. Sederholm)创立的,系指混合生成的片麻状岩石,它由两种组分构成,即具有叶理的原岩(变质的沉积岩或火成岩)和原岩重溶(re-solution)后形成的或外来注入(injection)的物质^[14]。后来他更强调^[15]它是在特定的注入变质(或“注染变质”, injection metamorphism)条件下,由原岩同外来的花岗质岩浆或岩汁(ichor)在原地混合形成的,两者之间的相互作用^①,往往形成一些长英质或花岗质的脉状体。这些外来浆、汁,可由地壳一定深处的岩石经分异性熔融(或“深熔”, differential anatexis)形成。从其发展、演化角度考虑,这种现象可称为再生作用(或“再造作用”, palingenesis)。大致同时,瑞典的霍姆魁斯特(J. Holmqvist)却认为混合岩中的这些脉状体是通过原岩的超变质作用的分异作用所形成,在其生成过程中没有外来物质的加入,后来许多人认为这是由原岩经熔(溶)融作用生成的。这种对混合岩形成过程(即混合岩化作用)的不同认识,一直延续到现在。其实,在自然界,这两种现象都是客观存在的;而且在有的混合岩的形成时(见后),两者都起着明显的作用,不仅是伴生,而是相互影响和促进的。当然,在一定的时间和空间内,只有一种起着主导的作用。

经过详细和较深入的野外和室内工作,是可以说明在有些混合岩的形成过程中,外来物质的交代作用确曾起过明显的作用。如作者经吕德(H. H. Read)教授启示后,在

① 主要是交代作用。

1936—1938年的苏格兰北海岸彼德希耳(Bettyhill)混合岩区工作中,用沿变质沉积岩原岩走向在短距离内(几米、或70m、或350m)采集系列标本的方法,经详细研究,充分说明或证明由变泥质岩石(黑云斜长片麻岩,其斜长石含量 $35\pm\%$ 、成分为An30),经(沿走向)混合岩化形成黑云斜长渗透混合岩(斜长石含量 $45-55\pm\%$ 、成分为An25 $\pm$)、和由变粉砂质岩石(黑云变粒岩,斜长石成分An30 $\pm$),经(沿走向)混合岩化形成细粒均质混合岩(斜长石含量 $35\pm\%$ 、成分An23)和更进一步的细粒黑云混合花岗岩(斜长石 $49-56\%$ 、成分An20—18 $\pm$),以钠质为主的交代(长石化作用)机制起着决定性的作用^[10]。而在另外一些混合岩(如眼球状混合岩)的形成过程中,则经历了以钾为主的碱交代作用。但在无法证明或说明两块或几块外貌不同岩石(原岩和混合岩、或混合岩化程度有差别的混合岩之间的比较)的原岩成分(主要是化学成分)是相同或基本相同的情况下,去计算混合岩形成时化学组分的带入和带出,其实只是一种数学游戏,毫无科学或实际的意义。

另一方面,通过五十年代末期以来有关的实验岩石学和其他的地质工作^[5,7,16,17],已充分说明和证明了从固态岩石通过熔融作用形成混合岩的机理。确有相当多的混合岩(在许多地区则是绝大多数的混合岩类),主要是由原岩经熔融(局部或接近全部)所形成的。

总的来讲,经过(或主要经过)交代作用形成的混合岩,经历的混合岩化程度愈高,生成的碱性长石也愈多(其碱金属总量相应增高),其物质组分(包括矿物的)也愈接近花岗岩。而经过(或主要经过)熔融(深熔)作用形成的混合岩,则其初期生成的脉状体的成分接近花岗岩,而全部熔融后原地固结而成的花岗质岩石的化学成分,应该大体上是原岩的平均成分,因而有可能同花岗岩有不同程度的差别。这些物质成分(尤其是化学成分)上的差别,往往可作为区分混合岩化两大类不同机理的一种佐证。

但混合岩(系列)及其形成,确有其共同的特征。第一,混合岩是由原已固结的岩石、经历了不同程度(和时间)的增温和增压等过程以后生成的,在这阶段以前,大多数原岩已经受了不同性质和程度的变质作用。第二,原岩经过初期的增温和增压阶段以后,一般还受到一定较长时期、变化不大的高温高压的影响,最后再经历一个降温降压的阶段。因此,混合岩形成(即混合岩化作用)的过程,大致可分为早、中、晚三个阶段,其早阶段的时间跨度可能很短甚至很不明显^①,而中阶段则一般经历的时间最长,岩石的成分和组构的变化最多,是主要的阶段。第三,在前两阶段中,岩石中的固态和流态组分,在数量和相对比例上不断发生变化,总的趋势是前者的数量不断减少,后者则不断增加(即由无到有,由少到多),而第三阶段(晚)则又经历了固、流两态比例的相反变化,终于又成为固结的岩石——混合岩;如主阶段的时间较长而温度、压力又达到一定的程度(如 $850-900^{\circ}\text{C}$ 以上,($400-500$)MPa($4-5\text{kbar}$)以上),则在一定空间内,有可能最终基本上达到全部为流体的浆质状态,因而大致经历了从变质岩的生成到广义的岩浆形成这个阶段的一系列变化,最终形成的岩石,在组构等方面,一般兼具变质岩(残留)和花岗质岩石的特征。当然,由于不同地区地质演化条件上的差别,混合岩化作用不一定达到最后的浆质体状态,

① 如原岩经历的变质作用还未终止,它又为混合岩化作用所超覆。

致使不同混合岩类曾含有的固、流两态比例有一定或较大的差别。第四,混合岩(系列)都是由原岩经过混合岩化作用以后,基本上在原地固化、结晶(重结晶)的产物。其中曾基本上达到浆质阶段后又迁移异地固结的,作者认为应作为广义的岩浆型花岗质岩石(侵入体)对待和处理,当然这是导源于混合岩化作用的类花岗岩,形成于地壳的不同部位,它在许多方面的特征,同在其他条件和空间部位形成浆质体(如主要来自地幔的)所凝结成的花岗质岩石,所具有的特征和地质意义,是有很大差别的。

根据以上论述和分析,可以认为混合岩既是一种特殊的变质岩类,又在实质上是位于变质岩类和花岗岩类之间的过渡岩类,为此,作者曾于1965年提出了“混合岩系列”^①的名称和概念,事实上赛得霍姆于1907年就指出了混合岩具有火成岩和结晶片岩之间的过渡性质^[10]。

混合岩和有关岩石的混合岩化程度分类 和命名问题

探讨混合岩类的分类和命名,需考虑混合岩和一切有关的岩石,也就是要包括作者1965年所提出的“混合岩系列”的全部岩石,这是五十年代以来国内的习惯做法^[3,7]。但对具体的划分,还未取得一致的意见。而国外考虑的范围,一般较小一些,即大多不包括许多部分混合岩化的岩石,同时,往往阐述命名较多,系统讨论分类问题较少。关于混合岩的具体命名,理应宏观和微观(显微镜下)相结合,而且往往突出宏观特征,因而几乎全部的混合岩是按构造形态命名的,如芬兰早就提出了脉状混合岩(arterite)、网状混合岩(dictyonite)、星云状(雾迷状)混合岩(nebulite)等名称,后来,国内外又先后增加了一些新的(主要按形态命名的)混合岩名称^[7,12],可见,在地质界对其命名的一般原则,没有什么明显的分歧^[3,7,12]。为此,本文只重点分析和阐述它们的分类问题。

由于混合岩化过程的演变很复杂,对有关作用的程度深浅估计较难,作者认为混合岩系列岩石的划分以从简为宜,仍主张^[7]应用两个综合性划分标志,按其混合岩化程度的差别,三分为“部分混合岩化”(或“混合岩化”)的岩石、混合岩和混合花岗质岩石三大类,当然,在有些地区三类岩石不一定都存在。但国内有些同志则提出了实质上是四分的意见(见后)。

从不同种类的原岩(在一般情况下都是变质岩),经受性质、特征和程度有所差别的混合岩化作用、而向混合花岗质岩石演化中,发生了一系列(局部的或一定范围的)矿物成分、组构与岩石结构、构造的变化,以及化学组分的迁移和/或变化,可说经历了一个由老(原岩)到新(新形成的混合岩系列)的一系列转化或变革的过程,反映了地质条件和环境的不断变化。而用毛泽东同志的哲学思想来分析,其中充满着一系列新与旧的矛盾的对立与斗争,又在实质上是一系列量变和大、小质变的过程。因而,作者于1965年^①提出,划分混合岩系列岩石内部的两个综合标志是否在一定程度上就是质变的标志问题。看

① 程裕淇, 1965, 关于混合岩、混合岩化作用和花岗岩化作用, 西南科技情报, 1965年卷, 3期。

来答案是肯定的。

其实,从没有受到混合岩化影响的原岩,到岩石中有一定数量的长英质(或长石质)交代细脉、和第一代交代矿物斑点与团块的出现,或第一批低熔矿物(如石英、钾长石和斜长石)细脉与团块的形成,也就是开始出现明显的长石化作用和有关的交代作用、或部分熔融现象,都可以认为在岩石及其所反映的地质环境的演变上,具有一定的质变性质。在一般情况下,除了原岩是富钠的以外,通过交代作用(主要是碱金属交代作用)形成的长石,不是较原岩中同类矿物含有更多的钠长石分子的斜长石,就是新生的钾长石,而低熔生成的斜长石,也一般较原岩中斜长石含有稍多或较多的钠长石成分。要是受到交代性混合岩化作用的原岩是区域变质岩石,则在分析、对比它们所经历的区域变质和混合岩化前后两个阶段中某些矿物的演变方向时,就会发现两者之间有着明显的差别,也可以说基本上是相反方向的。如递进区域变质从低级向高级演变的趋势,是所含斜长石中钙长石分子含量的渐次增加,含结晶水变质矿物(如绿泥石类、云母类、闪石类等)的变化是从无到有,由少到多,然后渐次减少,进入二辉麻粒岩亚相后,终于基本消失。而这些岩石受到交代性混合岩化作用后,新生的斜长石大多较原岩中同一矿物含有较少的钙长石分子,已如上述;同时也常形成较原岩为多的含结晶水矿物(如角闪石、云母)或一定的混合岩化热液期矿物,如绢云母、绿泥石等。因而这两个阶段之间,确实存在着一个具有质变性质的分界线或矿物组合演化的转折点。

根据以上分析,作者认为在探讨混合岩系列岩石的分类时,除需考虑划分其内部的一个综合标志外,还要探讨怎样推定或确定混合岩化岩石下界(也就是混合岩化作用的起点)的综合标志。从宏观与微观相结合的原则出发,初步认为可供选用的标志大致包括下列五个方面:

1. 交代成因或熔融成因的脉状体或斑点与团块的出现,所含斜长石中钙长石分子百分比有所减少。
2. 受到交代作用影响的岩石中,长石含量大多有所增加,但其分布局限于一定的部位,并开始出现交代结构。
3. 岩石的矿物粒度有所增大,但主要限于受混合岩化作用的部位。
4. 岩石的一部分,有时显示混合岩化热液期的蚀变作用(如绢云母化、绿泥石化和其他流体作用的影响)。
5. 原岩具有层理或叶理时,这些构造面没有或基本上没有发生变化。

关于划分混合岩系列岩石本身的第一个综合标志,也就是混合岩和部分混合岩化岩石之间、所具有一定质变意义的区分标志,作者于1964年在沈阳一个工作会议上^①曾针对主要由交代作用生成的混合岩的各方面特点,认为就岩石的整体而言,许多混合岩与原岩相比,一般具有以下特征。

1. 一些典型的混合岩构造形态(如条带状、条痕状、眼球状等)发育较好。
2. 长石总含量(斜长石和/或钾长石)的增多 $>5-10\%$;斜长石中钙长石分子的减

^① 程裕祺, 1965, 关于混合岩、混合岩化作用和花岗岩化作用, 西南科技情报, 1965年卷, 3期。

少 $>3-5\%$ 。

3. 石英含量的减少 ($>3-5\%$)。

4. 原有结构和构造 (主要是小的构造如片麻理的具体形态等等) 的较明显或显著的变化。原岩具层状构造的, 层的厚度已明显增加。在有些岩石类型中, 如黑云变粒岩、角闪变粒岩、浅粒岩、角闪 (黑云) 斜长 (二长) 片麻岩等, 在薄片中具有一系列的交代和熔 (溶) 融结构^[7] (如缝合线结构、棋盘结构、蠕英石结构、交代条纹长石结构、绢云母化奥长石的净边结构等等), 相应地也有一定数量呈缝合线外形的奥长石或钾长石交代变斑晶的出现; 但在其他类型中不发育或发育较差。

5. 其他矿物成分 (如黑云母、闪石类等) 的部分变化。

6. “新生矿物” (包括已经改变了成分的矿物, 如斜长石) 含量显著增加, 估计达一半以上。

7. 粒度明显增大; 但在薄片中还看到粒度较小的矿物结集体, 是原岩的残留部分。

8. 往往具有明显的混合交代晚期热液蚀变 (如绢云母化、绿泥石化等) 和相应的交代结构^[6, 7]。

9. 同部分混合岩化岩石相似, 它们还不同程度地保留了一些较大型的构造特征, 如层状构造 (限于由层状岩石生成的混合岩) 以及片麻理和片理等; 但随着混合岩化程度的加深, 这些构造逐渐模糊, 并向均匀化发展。

至于主要由熔融作用 (或称“深熔作用”) 形成的混合岩, 由于总的研究程度较差, 因而对它同混合岩化岩石之间的综合划分标志, 还提不出较多的经验性意见。看来同原岩相比, 一些特征性的混合岩构造形态也发育较好, 矿物颗粒普遍地明显增大, “新生矿物”也居绝对优势, 岩石的一部分显示岩浆岩的矿物结晶顺序, 因而一部分斜长石呈半自形晶出, 交代作用遗迹虽较少见, 也有可能见到混合岩化晚期的热液蚀变现象, 而原生的一些较大型构造 (如层状构造和叶理等) 仍不同程度地保留, 新生的斜长石成分, 在一定程度上似可反映原岩钙、钠含量的相对比例。又据梅耐尔特 (K. R. Mehnert)^[12]和王平^[2]的报导, 斜长石中有许多石英小滴点出现。

根据作者和沈其韩、王泽九等于六十年代初期在山东新泰、辽宁营口等地工作的体会, 结合对混合岩化过程中量变、质变现象的初步分析, 作者曾在上述1964年的工作会议上, 同时提出了混合花岗质岩同混合岩之间宏观的综合划分标志^①, 现再参考过去二十多年来在国内一些地区主要是野外的考核和观察的体会, 提出修改的混合花岗质岩石的特征 (也可说是进入花岗质岩石的质变标志) 于后:

1. 原岩的原有层理和层状构造已全部消失, 节理 (一般见有三个以上的不同方向) 发育, 具块状特征。

2. 原岩的片麻理等面型构造几已全部消失 (混合花岗质岩石形成后, 又受后期地质作用的影响而出现的片麻理等面型结构, 不在此列)。

3. 岩石中新生构造的出现, 如: 1) 花岗质交代脉中平行脉壁的分带现象的出现, 有

● 见前第8页脚注。