

ZHEJIANGSHENG CHENGKUANG GOUZAO HUANJING
YU JINSHU KUANGCHUANG ZHAOKUANG FANGXIANG

浙江省成矿构造环境 与金属矿床找矿方向

周乐尧 等著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

浙江省重大科技专项重点社会发展项目(2010C03004)

浙江省成矿构造环境 与金属矿床找矿方向

ZHEJIANGSHENG CHENGKUANG GOUZAO HUANJING
YU JINSHU KUANGCHUANG ZHAOKUANG FANGXIANG

周乐尧 等著

 中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

浙江省成矿构造环境与金属矿床找矿方向/周乐尧等著. —武汉:中国地质大学出版社,2016. 11
ISBN 978-7-5625-3781-6

- I. ①浙…
II. ①周…
III. ①成矿构造-成矿环境-浙江省②金属矿床-找矿-研究-浙江省
IV. ①P613②P618.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 123977 号

浙江省成矿构造环境与金属矿床找矿方向		周乐尧 等著
责任编辑:王凤林 胡珞兰		责任校对:周旭
出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		邮编:430074
电 话:(027)67883511	传 真:(027)67883580	E-mail:cbb@cug.edu.cn
经 销:全国新华书店		Http://www.cugp.cug.edu.cn
开本:880 毫米×1230 毫米 1/16	字数:840 千字	插页:3 印张:26
版次:2016 年 11 月第 1 版	印次:2016 年 11 月第 1 次印刷	
印刷:武汉中远印务有限公司	印数:1—1000 册	
ISBN 978-7-5625-3781-6		定价:298.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

浙江省成矿构造环境与金属矿床找矿方向

项 目 类 型:浙江省重大科技专项重点社会发展项目

项 目 编 号:2010C03004

项目起止时间:2010 年 10 月—2014 年 12 月

项目承担单位:浙江省地质矿产研究所

项目参加单位:浙江省有色地质勘查局

浙江省第一地质大队

浙江省第三地质大队

浙江省第七地质大队

浙江省第九地质大队

浙江省第十一地质大队

浙江省地球物理地球化学勘查院

浙江省水文地质工程地质大队

项 目 负 责:周乐尧 胡勇平

项 目 组 成 员:周乐尧 刘 荣 钱俊锋 贾宝剑 金 宠

黄建军 王海棠 何胜忠 吕新前 俞跃平

何良军 杨晓春 贾锦生 王成良 刘美善

周州强 翁祖山 马俞高 邱郁双 吴建勇

王 永 朱 虹 徐菲琪 朱晓亚

前 言

“浙江省成矿构造环境与金属矿床找矿方向”是浙江省重大科技专项重点社会发展项目(编号:2010C03004)。项目起止时间:2010年10月至2014年12月。

本项目在综合研究前人资料和浙江地层、岩石、地球化学及地球物理特征基础上,以板块和大陆动力学理论为指导,以地球化学、地球物理、同位素示踪与定年和遥感解译技术为手段,以时间为主线,以整个华南及东南沿海地区为视域,探讨浙江地质构造演化与岩浆活动轨迹,划分浙江地质构造单元;以地质构造单元为系统,以系统内构造-岩浆演化轨迹为主线,剖析成矿地质地球化学特征及其演化规律,识别并划定内生金属矿床成矿环境;厘定各个成矿环境中金属矿床成矿作用期次、形成的矿床类型和矿床(矿体)空间定位条件;在浙江省优势金属矿产资源潜力进行评价基础上,指出找什么类型的矿,在什么地方找矿和相应的找矿模型与找矿技术方法。依此技术路线,经过近4年的研究,取得了丰硕的研究成果。

1. 综合20世纪90年代以来浙江区域地质调查资料、构造、地层、岩石和岩相古地理研究成果,结合本项目主量元素、微量元素、稀土元素和同位素示踪与定年测试资料,以整个华南及东南沿海地区为视域,探讨了浙江地质构造演化轨迹。

浙江是由华夏古陆与扬子板块拼贴而成的。华夏古陆在2200~2000Ma间经历原始陆壳减薄、张裂下陷、接受八都群沉积,1900~1800Ma间受吕梁-中条运动(浙闽运动)影响,开始变质变形,同时产生地壳深熔作用,引起大面积区域混合岩化作用和花岗质岩浆侵入作用,形成早元古代华夏(浙闽)克拉通,从1800Ma起华夏陆块隆起,遭受剥蚀。大约1400Ma开始,华夏陆块开始裂解,地壳减薄,形成陆内裂陷槽,接受陈蔡群沉积,晋宁运动使陈蔡群遭受角闪岩相、绿片岩相区域动力-热流变质。浙闽变质基底在空间上联为一体,通过岩石学、成岩同位素年代学、岩石地球化学和变质变形特征对比研究,确定浙江的八都群对应福建的麻源群,陈蔡群对应马面山群,它们是相同时代、同一构造环境的沉积地层。陈蔡群(马面山群)早期为钙泥质砂岩、泥质砂岩和火山杂砂岩沉积,其后接受碳酸盐岩-大陆碱性拉斑玄武岩-中酸性火山岩(或火山碎屑岩)沉积,晚期为滨浅海相硅质岩、泥质砂岩和泥岩沉积,其火山活动具双峰式特征(碱性玄武岩和中酸性火山岩),显示其为裂谷环境产物,并将江绍拼接带与丽水-舟山断裂之间的浙东南区块与闽北武夷地区合称为浙闽晚元古裂谷带。

1. 1~0.9Ga华夏块体开始向扬子板块会聚,其间南华洋洋壳俯冲、消减,扬子陆块南缘形成由双溪坞群岛弧火山-沉积岩系组成的江南古岛弧。0.9~0.85Ga间江南古岛弧与华夏块体碰撞、拼接,沿拼接带发育一系列大小不等的石英闪长岩(924~832Ma)。碰撞造山,形成骆家门组前陆盆地磨拉石堆积、复理石建造和虹赤村组复陆屑杂砂岩建造。华夏块体与扬子南缘岛弧碰撞拼接后,浙江进入大陆演化阶段,构造体制也由海洋动力体系转化为大陆动力体系。

晋宁运动晚期,碰撞汇聚带进入拉张伸展阶段,即构造转换阶段,以上墅组陆相双峰式火山岩喷发(0.832~0.8Ga)和基性-酸性双峰式侵入岩组合(815~775Ma)为标志,江绍拼接带西北侧乃至整个华南地区沿钦杭构造带开始裂解,发育北东向马金-乌镇、萧山-球川等深大断裂,形成构造转换陆内裂陷沉积盆地。

进入加里东期,浙西北进一步裂解,演变为加里东裂陷沉积盆地。浙西加里东裂陷沉积经历三个阶段:早期陆相沉积阶段(新元古晚期),形成陆相双峰式火山岩;中期海陆交互沉积阶段(震旦纪),形成磨

拉石建造-类复理石建造-碳酸盐建造-硅质岩建造;晚期海相沉积阶段(寒武纪—志留纪),形成泥质碳酸盐建造-复理石、类复理石碎屑岩建造。

加里东运动,浙江褶皱造山,形成轴迹北东向的开阔褶皱。浙东南诸暨—绍兴一带普遍遭受低绿片岩相动力退变质作用,沿江绍拼接带发生韧性剪切,形成韧性剪切带,在遂昌—龙泉一带地壳热流量高,还发生地壳熔融作用,出现 I 型花岗岩侵入。

到中泥盆世,加里东造山带构造松弛、伸展,马金—乌镇和萧山—球川断裂重新活动,使得其间的块体整体呈地堑式下陷,导致浙西北拗陷演变为陆表海沉积环境。

印支运动导致浙江全区褶皱抬升,广泛发育褶皱与推覆构造,褶皱构造总体呈北北东向,叠加在加里东期北东向开阔褶皱之上。印支期火成活动弱,缺乏火山活动的证据,仅在浙北晚二叠世见厚约 0.19m 的酸性凝灰岩,浙东南华夏地块出现较多的挤压环境下形成的混合岩化花岗岩。

进入燕山期(从 180Ma 开始),古太平洋板块开始向欧亚大陆俯冲,俯冲作用制约了岩浆活动。燕山早期(>145Ma)低角度俯冲,形成大规模的盖层褶皱和推覆构造,同时挤压作用造成地壳物质部分重熔,并伴随深部岩浆的部分加入,形成造山环境的 I 型和 S 型花岗岩侵入;燕山晚期早阶段(145~115Ma),俯冲角逐渐变陡,形成大面积的火山岩,并伴随 A 型、I 型为主,少量 S 型花岗岩侵入;燕山晚期晚阶段(115~85Ma)古太平洋板块俯冲角进一步变陡,俯冲带逐渐后退,岩浆弧由西向东迁移,浙江地壳由早白垩世的挤压环境转换为拉张伸展环境,火山活动减弱,形成一系列火山—沉积盆地。

喜马拉雅期浙江为陆缘凹陷沉积期,嵊县期的堆积物主要分布于三门湾—嵊州北西向条带上,发育钙碱性拉斑玄武岩、碱性玄武岩,为大陆裂谷型拉张构造背景下的火山喷溢产物。

2. 应用全省 1:20 万航磁、重力数据和 Spot5 遥感数据,综合解译全省线性构造和中生代火山构造,从岩相古理研究入手,理清区域深大断裂控岩规律,从而确定区域深大断裂形成时代和活动特征,并依据断裂构造相互切割关系,厘定全省主要区域断裂构造的发生期次。

一是将以往确定的余姚—丽水断裂修正为丽水—舟山断裂。丽水—舟山断裂自福建进入浙江,经景宁—丽水—天台盆地北缘—宁波盆地南缘—舟山,向北东潜入东海。二是解译识别出衢州—磐安东西向断裂,该断裂切割江绍拼接带,使断裂南侧的江绍拼接带向西位移,并控制金衢盆地呈东西向长条状形态。三是根据断裂构造相互切割关系,结合浙江构造发展阶段,初步厘定主要区域性断裂构造的发生期次:晚元古代华夏古陆裂解,形成丽水—舟山断裂;华夏与扬子板块碰撞拼接,形成江绍拼接带;晋宁末期,华夏与扬子形成统一陆块,褶皱造山,形成东西向衢州—磐安断裂和昌化—普陀断裂,并切割江绍拼接带;新元古浙西北陆内裂陷,形成北东向萧山—球川和马金—乌镇断裂,并切割东西向构造;印支运动主要形成北北东向断裂构造;燕山期古太平洋板块向北西俯冲挤压,形成一组北西向断裂构造和北东向温州—三门断裂等;晚白垩世浙江由挤压环境转化为拉张环境,形成一组近南北向断裂。

3. 以岩浆岩岩相特征、矿物组成、结构构造和侵位状态地质调查资料为基础,采集地质地球化学样品,采用同位素定年技术,确定岩浆岩侵位时代;通过岩石主量元素、微量元素、稀土元素和同位素示踪研究,基本查清全省各构造期岩浆成因、形成的构造环境,并以构造演化为脉络,理清了浙江岩浆活动特征。

浙江最早的岩浆活动可以追溯到早元古代华夏地块八都群沉积时的基性火山喷发沉积(变质岩原岩恢复信息),中条运动出现花岗质岩浆侵入,先是形成碰撞环境下的 I 型、S 型花岗岩(1912~1875Ma),稍后出现拉张阶段的 A 型花岗岩(1872~1832Ma)。大约 1400Ma 开始,华夏陆块开始裂解,开始陈蔡群沉积,期间出现碱性拉斑玄武岩—中酸性火山岩构成的双峰式火山沉积。1.1~0.9Ga 华夏块体开始向扬子板块会聚,形成双溪坞群岛弧火山岩,在华夏块体与扬子板块南缘岛弧碰撞拼接时,沿江绍拼接带发育一系列大小不等的石英闪长岩(924~832Ma)。碰撞拼接后进入构造伸展阶段,浙西北出现陆内裂解环境下的上墅组陆相双峰式火山岩喷发(832~800Ma)和基性—酸性双峰式侵入岩组合(815~775Ma, A2 型花岗岩)。加里东运动,在遂昌—龙泉高地壳热流量区发生地壳熔融作用,出现 I 型花岗岩侵入。印支运动导致浙东南华夏地块出现较多的挤压环境下,由基底变质岩部分熔融形成的混

合岩化花岗岩。燕山早期($>145\text{Ma}$)挤压作用造成地壳物质部分重熔,并伴随深部岩浆的部分加入,形成造山环境的 I 型和 S 型花岗岩侵入;燕山晚期早阶段($145\sim 115\text{Ma}$),出现大面积的火山喷发,并伴随 A 型、I 型为主,少量 S 型花岗岩侵入;燕山晚期晚阶段($115\sim 85\text{Ma}$),岩浆弧由西向东迁移,构造环境由挤压环境转换为拉张伸展环境,火山活动减弱,出现 A 型花岗岩侵入。喜马拉雅期三门湾-嵊州北西向条带上,发育钙碱性拉斑玄武岩、碱性玄武岩,为大陆裂谷型拉张构造背景下的火山喷溢产物,同时沿深大断裂带出现超基性角砾岩、超基性岩侵入。

4. 以构造演化与岩浆活动轨迹为依据,编制 1:50 万浙江省构造地质图,划分地质构造单元。

采用遥感解译厘定构成地壳表层构造的存在状态、结构组成和组合系统;应用重力、航磁解译,揭示深部构造、表层构造与深部构造的相互关系;在浙江省构造演化、构造层划分和几何构造特征研究基础上,编制 1:50 万浙江省构造地质图。依据特定构造部位和构造时期所发生的主要地质事件及其形成的特定的可观察、可鉴别、可测量的优势岩石-构造组合(构造相)的空间分布,并综合地球物理及地球化学块体信息,运用将今论古的比较构造地质方法,厘定浙江省各级构造单元。全省构造单元划分为 I 级构造单元 3 个,II 级 6 个,III 级 10 个(表 0-1),编制浙江省构造单元图。

表 0-1 浙江省构造单元划分一览表

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元
I ₁ 扬子板块	I ₁ -1 下扬子陆块	I ₁ -1-1 长兴被动陆缘盆地(S-T)
	I ₁ -2 松木坞古岛弧(Pt ₂)	
	I ₁ -3 诸暨-常山古岛弧(Pt ₂)	
	I ₁ -4 临安-开化陆缘裂谷沉积盆地(Pt ₃ -S ₂)	I ₁ -4-1 昌化-廿乌印支褶皱隆起带(D ₃ -P)
		I ₁ -4-2 杭州-开化印支裂陷沉积盆地(D ₃ -T ₁)
		I ₁ -4-3 湖州-德清印支陆表海沉积盆地(D ₃ -T ₁)
I ₂ 江绍拼接带		
I ₃ 华夏板块	I ₃ -1 嵊州-龙泉中元古裂谷沉积盆地(Pt ₂)	I ₃ -1-1 上虞-东阳华夏前缘逆冲隆起带(J-K)
		I ₃ -1-2 武夷隆起带遂昌-庆元隆起区(J-K)
		I ₃ -1-3 新昌-武义中生代火山坳陷沉积盆地(K)
	I ₃ -2 普陀-文成中生代陆缘火山活动带(K)	I ₃ -2-1 泰顺-平阳火山构造隆起区(K)
		I ₃ -2-2 括苍山火山构造隆起区(K)
		I ₃ -2-3 象山-定海火山构造隆起区(K)

5. 依据地质构造环境和成矿地球化学环境特征,划分了浙江省内生金属矿床成矿环境。由于构造多旋回叠加作用,早期形成的成矿环境会被晚期构造岩浆作用叠加改造,不同空间或地段会形成新的成矿环境。本报告具体划分成矿环境时,依据构造期所发生的主要地质事件及其衍生的主要成矿作用划定 I 级成矿环境, I 级成矿环境中再划分出后期构造岩浆作用叠加形成的次级成矿环境。 I 级成矿环境依据构造单元边界划定,次级叠加成矿环境依据后期构造-岩浆作用叠加形成的次级构造单元边界或者控制矿床集中分布(成矿集中区)的几组断裂构造或火山构造边界圈定。全省共划定 5 个 I 级成矿环境和 20 个次级成矿环境,编制 1:50 万内生金属矿床成矿环境图。在成矿环境划分基础上,深入研究了各个成矿环境中内生金属矿床成矿时代、成矿作用和矿床类型。

6. 根据各个成矿环境中构造-岩浆演化轨迹与内生金属矿床成矿作用关系和成矿时代研究,将浙江内生金属成矿作用分为华夏陆块元古代浙闽裂谷块状硫化物矿床(VSHMS 型)成矿期、晚元古代华

夏陆块向扬子板块俯冲形成的火山岛弧型块状硫化物矿床(VHMS型)成矿期、浙西北加里东陆缘裂陷沉积盆地热水沉积改造型硫化物矿床(SEDEX型)成矿期、江绍拼接带和基底变质岩加里东期区域动力变质(韧性剪切)型金矿成矿期、浙西北杭州—开化海西期—印支期拗陷沉积盆地热水沉积改造型硫化物矿床(SEDEX型)成矿期、燕山期岩浆(火山)热液矿床成矿期(斑岩型、矽卡岩型和火山热液型)6个成矿期。通过典型矿床解剖,建立了各个成矿期典型矿床成矿模式和找矿模型。

7. 依据浙江省查明的主要金属矿床类型和相应的金属资源量,对比“浙江省矿产资源潜力评价”项目预测的金属资源量,指出浙江省具有找矿潜力的金属矿产为铀、金、银、铜、铅、锌、钼、钨和锡,同时具体阐明了最具找矿潜力的矿床类型,空间分布和相应的找矿技术方法,编制1:50万《浙江省金属矿床找矿部署图》,从而为全省内生金属矿床找矿指明了方向。

8. 产学研紧密结合,科研带动矿产勘查,地质找矿取得新突破。本项目研究过程中,中国地质大学(武汉)2名硕士研究生,浙江省地质矿产研究所博士后科研工作站1名博士后,浙江大学1名博士、2名硕士研究生全程参与,并完成了各自的学位论文。项目参加单位将阶段性科研成果及时应用于找矿实践,浙江省第一地质大队按热水沉积改造型矿床模式成功实施了淳安银山银多金属矿床勘查;有色金属地质勘查局以斑岩—浅成热液成矿系统模式指导新昌后岸银矿床深部勘查,在4线、5线、8线、9线、12线、16线等勘探线沿矿脉延深方向追索出较好的银(铅锌铜)矿体。近3年来,浙江省地质勘查局各地勘单位以科研为指导,相继开展了淳安—临安银铅锌矿、开化—江山地区金钼铅锌、衢江地区铀多金属、绍兴—诸暨地区金银铅锌铀、天台—仙居地区银铅锌和庆元—遂昌地区金银铅锌钼等勘查项目,科研带动矿床勘查投入资金近3.8亿元,评价了淳安银山银多金属矿、诸暨寺前银多金属矿、淳安潘家钨钼矿、开化石龙头金矿、新昌后岸银矿、衢江区银坑银铅锌矿、天台银坑铅锌矿和徐村铅锌多金属矿等,基本探明大型铀矿床1处,新增金属资源量(333)金1.15t,银1686.78t,铜 7.42×10^4 t,铅锌 64.36×10^4 t,钼 2.69×10^4 t,并提交可进一步勘查的矿产地22处。

本报告由浙江省地质矿产所牵头,浙江省地质勘查局各地勘单位共同参与,是集体研究的成果。

项目组衷心感谢浙江省科学技术厅、浙江省国土资源厅和浙江省地质勘查局给予科研经费支助。感谢浙江省地质勘查局华宣奎局长、蔡剑虹副局长对项目开展的关心和指导!感谢浙江省地质勘查局王国武处长、浙江省国土资源厅邱宏坤、王一民处长的大力支持!感谢姚道坤、张永山、汪庆华、许金坤、吕新前、金维松、李长江等专家的悉心指导!感谢浙江省地质调查院和各地勘单位提供的大量地质资料!

目 录

第 1 章 地 层	(1)
1.1 地层层序	(1)
1.2 浙西北地层	(2)
1.3 浙东南地层	(5)
1.4 浙江中生代火山-沉积地层	(12)
第 2 章 岩浆作用与岩浆岩	(18)
2.1 中条期岩浆岩	(18)
2.2 晋宁期岩浆岩	(30)
2.3 加里东期岩浆岩	(45)
2.4 印支期岩浆岩	(53)
2.5 燕山期岩浆岩	(63)
2.6 喜马拉雅期岩浆岩	(100)
第 3 章 构造演化与构造层划分	(106)
3.1 元古代华夏古陆裂解-沉积-变质阶段	(107)
3.2 晚元古代华夏陆块与扬子板块碰撞对接与褶皱造山阶段	(128)
3.3 早古生代陆内裂陷沉积与褶皱造山阶段	(151)
3.4 晚古生代陆表海沉积与褶皱造山阶段	(161)
3.5 中生代陆缘火山活动阶段	(162)
3.6 喜马拉雅凹陷沉积阶段	(166)
第 4 章 几何构造特征与构造环境划分	(167)
4.1 遥感构造解译	(167)
4.2 航磁构造解译	(167)
4.3 重力构造解译	(167)
4.4 综合地质构造图	(168)
4.5 断裂构造	(169)
4.6 褶皱构造	(170)
4.7 火山构造	(177)
4.8 浙江省构造环境划分	(195)

第 5 章 成矿环境与内生金属矿床成矿作用	(202)
5.1 成矿环境划分	(204)
5.2 成矿环境与成矿作用	(206)
5.3 构造-岩浆演化与内生金属矿床成矿作用	(216)
第 6 章 典型矿床成矿模式与找矿模型	(225)
6.1 华夏陆块元古代浙闽裂谷块状硫化物矿床	(225)
6.2 新元古代火山岛弧型块状硫化物矿床	(238)
6.3 加里东裂陷沉积盆地热水沉积改造型硫化物矿床	(248)
6.4 加里东期区域动力变质(韧性剪切)型金矿床	(257)
6.5 印支拗陷沉积盆地热水沉积改造型硫化物矿床	(263)
6.6 燕山期岩浆(火山)热液矿床	(271)
第 7 章 找矿方向	(367)
7.1 具有找矿潜力的金属矿产和矿床类型	(367)
7.2 找矿类型与找矿方向	(369)
参考文献	(380)

第1章 地 层

1.1 地层层序

自元古宙至新生代,浙江省地层记录较为完整。以江绍拼接带为界,浙西北与浙东南由于大地构造单元属性不同,两侧前中生代地层发育迥异。

浙西北区隶属扬子地块,地层分区属扬子地层区,元古宙至新生代地层较为齐全。中-新元古代地层完整,古生界除上志留统和中上泥盆统缺失外,几乎呈连续堆积(图1-1)。浙东南属华夏地块,地层分区称浙东南地层区,除元古宙变质岩外,仅局部地区偶有古生代沉积,地层记录不完整,给江绍拼接带

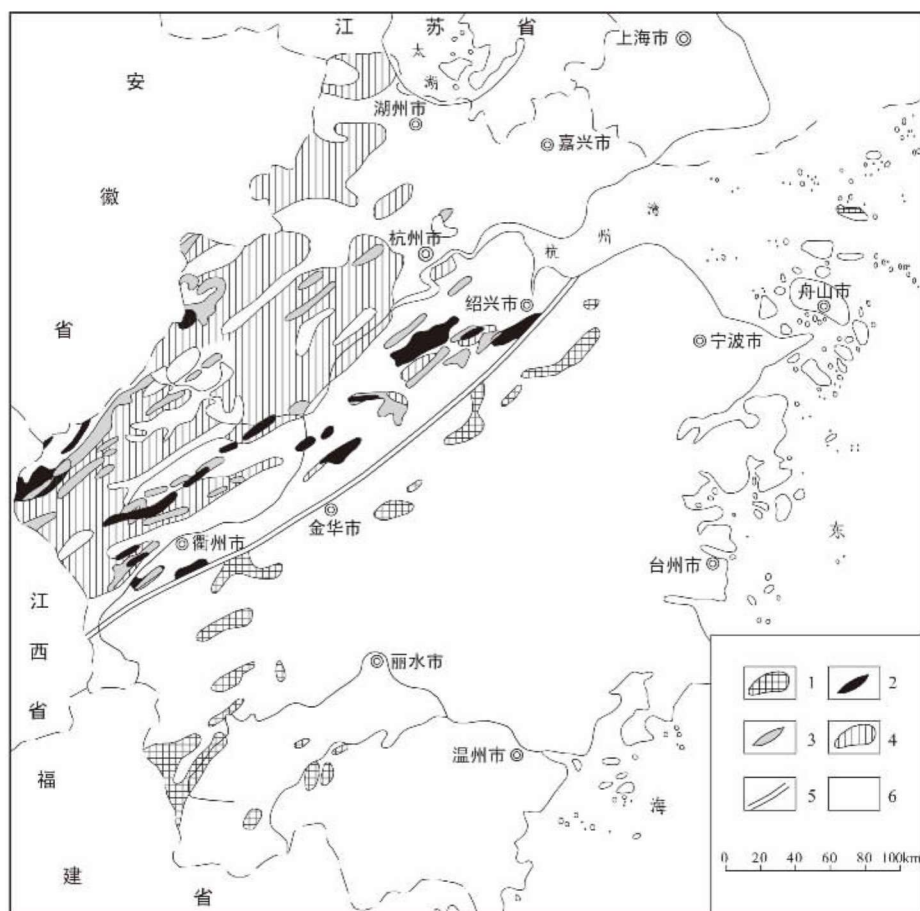


图1-1 浙江省元古代—早古生代地层分布示意图

1. 八都群; 2. 陈蔡群; 3. 双溪坞群; 4. 河上镇群; 5. 震旦系; 6. 下古生界

形成、发育、演化的研究工作带来了诸多困难。

中生代白垩纪开始,浙江处于陆缘活动阶段,火山活动强烈,断陷或断拗盆地形成,河湖相沉积发育。白垩系陆相火山-沉积岩的广泛堆积,构成了浙江地层分布的一大特色。

浙西北区,元古界为细碧-角斑岩建造、复理石与磨拉石建造以及陆相火山岩系。早震旦世开始,发生陆内拗陷,直至晚志留世。震旦系为类复理石、冰碛岩、镁质碳酸盐岩系;寒武系为含碳硅质岩和台地相碳酸盐岩系,奥陶系则为陆架含硅、钙质碎屑岩;志留系以碎屑岩为主。晚古生代至中生代早期持续着稳定陆壳基础上的陆表海沉积,泥盆系为滨海单陆屑岩系;石炭系和二叠系以碳酸盐沉积为主,上部含煤碎屑岩;中-下三叠统仍为碳酸盐岩相沉积,上三叠统和下-中侏罗统为湖河相碎屑岩。中生代晚期进入陆缘火山活动期,白垩系为巨厚的火山-沉积岩系;古近系隐伏于浙北平原区;中新世基性、超基性岩呈星点状散布各处。

浙东南区,元古宙变质地层多为角闪岩相变质岩,分成八都群和陈蔡群。八都群为具高角闪岩相变质的陆内硅铝盆地沉积岩系,陈蔡群则为经受高绿片岩相-角闪岩相变质的裂谷型沉积岩系。新元古代晚期(震旦纪)抬升为陆,直至古生代,一直处于陆蚀区,仅在局部如青田芝溪头等地出现一些低绿片岩变质的石炭系-二叠系(?)含灰岩、白云质灰岩的含煤碎屑岩建造,称为“芝溪头杂岩”。上三叠统至中侏罗统为零星分布的河湖相碎屑岩。中生代晚期进入陆缘火山活动期,白垩系为巨厚的火山-沉积岩系。第三纪局部玄武岩覆盖于白垩纪盆地。

1.2 浙西北地层

1.2.1 中元古界双溪坞群

双溪坞群主要分布在富阳-萧山、绍兴平水、浦江、金华洞井,以及浙赣、浙皖边界一带(图 1-1),包括平水组、北坞组、岩山组、章村组。平水组同位素年龄为 1012~904Ma,北坞组 926Ma,章村组 891Ma(表 1-1),它是华夏地块向扬子地块运动,洋壳沿江绍拼接带向扬子地块俯冲、消减形成的火山岛弧。早期以海底基性火山岩喷发及浅海陆棚相的硅泥质岩沉积为主,并逐渐过渡为中性及中酸性火山喷发,最后形成厚达 2900~3000m 的细碧-角斑岩建造;其后,受晋宁(神功)运动的影响,地壳逐渐抬升,海盆逐渐缩小,海水退却并逐渐过渡为陆相环境,在挤压应力作用下,开始双溪坞群的陆相火山岩喷发,堆积了厚达 1800m 的钙碱性系列火山岩(流纹岩)。岩石化学、微量元素、稀土元素和 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素资料等显示,双溪坞群火山岩形成于成熟的陆缘弧型构造环境,构成扬子南缘江南古岛弧。

1.2.2 新元古界青白口系河上镇群

河上镇群以萧山河上镇命名,主要分布在萧山、富阳等地(图 1-1)。该群包括骆家门组、虹赤村组和上墅组,总厚度达 3481m。

骆家门组下部为灰色、杂色砂砾岩和含砾长石砂岩,上部为青灰色长石岩屑砂岩、粉砂岩、泥岩,厚达 500m。该组分布局限,厚度不稳定,为成熟度很低的长石岩屑砂砾岩,马瑞士和张建康(1977)认为它是不整合于双溪坞群之上的底砾岩,根据骆家门组成熟度低、厚度剧变和分布局限,应该是华夏古陆与扬子陆块南缘江南古岛弧碰撞造山作用后期前陆盆地的山间磨拉石堆积(唐红峰等,1998)。

表 1-1 双溪坞群和河上镇群火山岩年龄统计表

序号	岩体及位置	岩性	测试方法	年龄 (Ma)	资料来源
1	道林山东北侧桃花坞	河上镇群上墅组流纹岩	SHRIMP 锆石 U - Pb	792±5	Li Xianhua et al. ,2008
2	萧山河上镇附近 凤凰坞和雪湾	河上镇群上墅组上段流纹质岩石	全岩 Sm - Nd 等时线法	806±59	徐步台,1994
3	开化十里坑	河上镇群上墅组流纹质凝灰岩	锆石 U - Pb	809	刘伯根等,1995
4	开化西源	河上镇群上墅组流纹岩	锆石 U - Pb	816±18	
5	江山茗川	河上镇群上墅组流纹质凝灰岩	锆石 U - Pb	813±35	
6	江山茗川	河上镇群上墅组流纹岩	锆石 U - Pb	828±74	
7	江山江家	河上镇群上墅组流纹质凝灰岩	锆石 ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁸ Pb	832±10	浙江省区域地质 调查大队,1991
8	江山江家	河上镇群上墅组流纹质凝灰岩	锆石 ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁸ Pb	830±23	
9	富阳骆家门	河上镇群骆家门组花岗岩砾石	锆石 U - Pb	879±4	浙江省区域地质 调查大队,1989
10	富阳章村双溪坞	双溪坞群章村组流纹岩	SHRIMP 锆石 U - Pb	891±12	Li Xianhua et al. ,2009
11	富阳章村双溪坞	双溪坞群北坞组流纹岩	SHRIMP 锆石 U - Pb	926±15	Li Xianhua et al. ,2009
12	绍兴西裘村西北侧	平水群中细碧角斑岩	LA - ICP MS	904±8	陈志洪等,2009
13		兵康剖面角斑岩	锆石 U - Pb	906±10	
14	绍兴西裘	细碧角斑岩	全岩 Sm - Nd 等时线法	978±44	章邦桐等,1990
15	淳安樟村	细碧角斑岩	锆石 U - Pb	950±25	浙江省区域地质 调查大队,1995
16	绍兴西裘	细碧角斑岩	全岩 Sm - Nd 等时线法	1012±28	沈渭洲,1993

虹赤村组以灰紫色粗粒—中粒岩屑砂岩为主。

上墅组是陆相基性和酸性火山岩组合,下部以玄武岩为主,上部为灰色、紫红色流纹岩,具双峰式特征。

如果把骆家门组中花岗岩砾石锆石 U - Pb 年龄 $879 \pm 4\text{Ma}$ ^① 作为下限,上墅组流纹岩和流纹质凝灰岩锆石 U - Pb 年龄 $830 \sim 809\text{Ma}$,全岩 Sm - Nd 等时线年龄 806Ma 和 SHRIMP 锆石 U - Pb 年龄 792Ma 作为上限(表 1-1),河上镇群的时代大致在青白口纪。

1.2.3 震旦系

晋宁运动是前震旦纪末一次强烈的陆内造山运动,晋宁运动后,扬子陆块发生陆内拗陷,沉积环境变化为陆相河流—三角洲—滨岸—潮坪—浅海台地。

震旦系下部为休宁组、南沱组,上部为蓝田组(陡山沱组、板桥山组、灯影组)、皮园村组。

① 浙江省区域地质调查大队,1989。

休宁组与下伏上墅组不整合接触,为凝灰质砂岩、粉砂岩、泥岩夹凝灰岩、沉凝灰岩等火山岩类;南沱组为冰成岩(施少峰和蒋传仁,1983),厚度变化大,从4m到550m不等;蓝田组底部为含锰白云岩,中部为黑色泥岩、泥质白云岩,上部黑色硅质页岩夹白云质灰岩;皮园村组为黑白条带相间的硅质岩,厚度变化大,从10m到176m不等。

1.2.4 下古生界

寒武系自下而上依次划分为荷塘组、大陈岭组、杨柳岗组、华严寺组和西阳山组。

荷塘组由黑色薄层含碳硅质页岩、石煤层夹灰岩透镜体及磷矿层组成,厚20~250m;大陈岭组、杨柳岗组、华严寺组均由灰岩组成;西阳山组为泥质灰岩、饼状灰岩、瘤状灰岩组成韵律层,厚40~145m不等。

奥陶系为海相碎屑岩和碳酸盐岩,最大厚度约4000m,从下至上依次划分为印诸坞组、宁国组、胡乐组、砚瓦山组、黄泥岗组、长坞组和文昌组,岩性自下而上为钙质泥岩、页岩、硅质页岩、瘤状灰岩、钙质泥岩夹瘤状灰岩和巨厚的黄绿色页岩,显示为深水台地—盆地相沉积。

志留系自下而上分为霞乡组、河沥溪组、康山组和唐家坞组,为浅海陆源碎屑沉积岩,下部为泥岩、粉砂岩,中部为细砂岩、粉砂岩、页岩组成的韵律层,上部为厚层状砂岩,志留纪沉积中心在安吉、长兴一带,最大厚度6000m,向东南岩性变粗,厚度减小,杭州、开化一线最大厚度2111m,至绍兴、江山一带最大厚度仅435m,显示出当时陆源碎屑物质主要来自浙东南,海陆界线可能位于江山、金华、绍兴一带,即江绍拼接带。

1.2.5 上古生界—三叠统

浙江省缺失中、下泥盆统。

上泥盆统分为西湖组和珠藏坞组,为滨海—陆相石英质单陆屑建造,西湖组为含砾石英砂岩、石英砂岩和泥质粉砂岩;珠藏坞组为砂岩、粉砂、泥岩互层。

早石炭世海水短暂退出成陆,局部低陷处为叶家塘组湖沼相沉积,形成含煤地层;中石炭世—中三叠世为滨海—浅海相碳酸盐和碎屑岩沉积。

石炭系划分为叶家塘组、老虎洞组、黄龙组和船山组。叶家塘组由灰黑色砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩夹煤层组成;老虎洞组为块状粉—细晶白云岩,中部含燧石结核;黄龙组与船山组均为生物屑灰岩、粉晶灰岩,船山组底部含燧石结核。

二叠系自下而上分为栖霞组、孤峰组、龙潭组、长兴组(或大隆组)。栖霞组为含燧石团块灰岩;孤峰组为薄层硅质岩、硅质页岩等;龙潭组为一套含煤地层;长兴组是二叠系最高一个层位,长兴煤山剖面是国际二叠系—三叠系界线层型剖面,该组由灰色微晶灰岩至粉晶灰岩、生物灰岩和白云质灰岩组成。

三叠系自下而上划分青龙组和周村组,青龙组灰岩与长兴组连续沉积,其上周村组为灰岩夹白云岩。

1.2.6 中侏罗统

浙西北地区缺失上三叠统、下侏罗统和上侏罗统。

中侏罗统分马涧组和渔尖山组,合称同山群。马涧组为灰绿色砾岩、砂岩、粉砂岩及粉砂质泥、泥质粉砂岩夹煤线;渔尖山组整合其上,岩性为绿色砂岩、粉砂质泥岩夹含砾砂岩、块状砾岩。

1.3 浙东南地层

浙东南区属华南地层区之沿海地层分区。基底为元古代变质岩,其上为早-中侏罗世河湖相沉积和白垩纪火山岩覆盖,震旦系及古生界偶可见及,与浙西北地层形成明显对比。整个浙东南地区,以广布白垩纪中酸性至酸性火山岩为其特色。

1.3.1 古元古界八都群

八都群是浙东南地区最古老的地层,为一套经历过角闪岩相变质和花岗质岩浆作用的区域变质岩。主要岩石类型有变粒岩和云母片岩(两者占全部岩类的95%),另有斜长角闪岩和少量长石石英岩类、浅砂岩和角闪岩,由于广泛的花岗质岩浆活动,致使八都群岩石发生很大的改观而呈花岗质片麻岩的外貌,主要分布于浙西南龙泉一带(图1-1)。八都群曾经历多期地壳运动,最主要的有距今1900Ma前后的浙闽运动、1000Ma时的晋宁运动和450Ma左右的加里东运动,构造变形极其复杂,显生宙的构造-岩浆活动对前期的构造变形又有深刻的改造,至少经历了4期褶皱变形(胡雄健等,1991),原始面理(S_0)均已遭彻底置换而成为透入性片理、片麻理(S_1 或/和 S_2)。根据变质岩组合特征,可以分为汤源组、堑头组、张岩组、泗源组和大岩山组5个岩组。

根据原岩恢复,八都群的斜长角闪岩主要是拉斑玄武岩;长英质粒岩类原岩应以陆源碎屑岩为主,即砂、泥岩类,砂质岩的成熟度较低,以长石砂岩、杂砂岩和岩屑砂岩为主,少数可能为中酸性岩浆岩或火山碎屑岩。结合地质背景分析,八都群长英质粒岩类的蚀源区应是以花岗岩类为主的原始陆壳;片麻岩类的原岩大部分属砂泥质沉积岩类;云母片岩类富含石墨和矽线石、铁铝榴石,原岩为黏土岩类,相当于富铝黏土岩和黏土-半黏土岩。

表1-2列出了近年来八都群岩石同位素测定年龄。龙泉市汤源组变质岩(原岩恢复为火山岩)全岩Sm-Nd等时线法测定的年龄为 $2014 \pm 43\text{Ma}$ (李曙光,1996)。泗源组含墨矽线石榴二云条带状混合岩(基质为二云斜长变粒岩)碎屑锆石U-Pb上交点年龄 $2032 \pm 16\text{Ma}$ (胡雄健等,1991)。汪新等(1988)在龙泉花桥八都群中采得一组副片麻岩类的Sm-Nd等时线年龄样品,由3个全岩和1个斜长石组成的等时年龄为 $2199 \pm 95\text{Ma}$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -0.89 \pm 0.29$, $\epsilon(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0.50976 \pm 0.00006$,相关系数 $r = 0.9928$ 。由汪新(1989)的4个样点和全岩中分离出来的石榴石样点,共同组成的Sm-Nd等时线年龄为 $2059 \pm 62\text{Ma}$ (王银喜和胡雄健,1992)。

龙泉花桥八都群副片麻岩类的Nd模式年龄(T_{DM})为 $2.60 \sim 2.75\text{Ga}$ (表1-3),其中斜长石和石榴石单矿物的 T_{DM} 值亦为 $2.6 \sim 2.7\text{Ga}$ (王银喜,1989)。对于晚太古宙岩石来说,Nd模式年龄并不代表初始结晶年龄,也非地壳结晶年龄(壳幔分离时间),而只是地壳滞留时间或混合源区的平均年龄,结合反映陆壳物源成因的 $\epsilon_{\text{Nd}}(O)$ 和 $f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$ 负数据,可以认为八都群的碎屑物源区应为太古宙花岗质陆壳(胡雄健等,1991)。根据同位素年龄,结合地壳演化历史分析,推测八都群形成于早元古代($2200 \sim 2000\text{Ma}$)。

侵位于八都群中的花岗质岩石,主要分布在浙西南的龙泉-遂昌-松阳-庆元-晋宁一带,包括淡竹、泉坑、下际、大柘、里庄、花桥、王淤、汤源、渤海和三枝树等地,岩性为二长花岗岩、花岗闪长岩和片麻状花岗岩或花岗质片麻岩。岩石地球化学和同位素研究表明,侵位于八都群中的花岗质岩石是地壳深熔作用形成的铝质A型花岗岩(刘锐,2009),花岗质岩石同位素年龄为 $1975 \sim 1743\text{Ma}$,说明八都群沉积不久,即受吕梁-中条运动影响,开始区域变质变形,伴随地壳深熔作用引起花岗岩化和花岗岩浆侵入。

表 1-2 八都群同位素年龄表

序号	采样地	岩性	测试方法	年龄(Ma)	资料来源
1	庆元下际岩体	二长花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1975±80	甘晓春等, 1995
2	松阳里庄岩体	二长花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1870±36	
3	遂昌田后岩体	花岗闪长岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1832±80	
4	景宁三枝树混合岩	片麻状花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1863±44	
5	龙泉泉坑	眼球状花岗岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1889±95	胡雄健和许金坤, 1993
6	龙泉竹口	变质期后伟晶岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1743±8	
7	龙泉淡竹	花岗闪长岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1878±27	
8	龙泉淡竹	黑云母钾长花岗岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	上交点: 1844±10	刘锐等, 2009
9	景宁三枝树 (可能为岭脚)	二长花岗岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	谐和 Pb-Pb: 1860±13	
10	遂昌大拓北西约 2km	含紫苏辉石花岗 质麻粒岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	上交点: 1851±11	
11	龙泉淡竹	花岗闪长岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1837±36	甘晓春等, 1993
12	龙泉淡竹	花岗闪长岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	1875 ±33	汪相等, 2008
13	龙泉淡竹	花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	1832±6	Li Z X et al., 2007
14	龙泉淡竹	花岗闪长岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	1855±5	于津海, 2007
15	龙泉朱黄	汤源变质火山岩	全岩 Sm-Nd 等时线法	2014±43	李曙光, 1996
16	龙游新槽	片麻状花岗闪长岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	1924±31	孔祥生等, 1993
17	庆元县三济乡	含墨矽线石榴二云 条带状混合岩	单颗粒锆石 U-Pb, 上交点	2032±16	胡雄健等, 1991

表 1-3 八都群副片麻岩类 Sm、Nd 测定结果及模式年龄表

序号	样号	Sm(10^{-6})	Nd(10^{-6})	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(\text{O})$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$T_{\text{DM}}(\text{Ga})$
1	S1	20.09	113.5	0.104 53	0.511 27	-26.63	-1.09	2.60
2	S2	16.92	90.30	0.113 33	0.511 32	-25.59	-0.42	2.75

引自《浙西南前寒武纪地质》, 胡雄健等, 1991。

1.3.2 中元古界陈蔡群

陈蔡群(Pt_2Ch)是一套经历多期次区域动力-热流变质的中高级变质岩系, 局部遭受了后期动力剪切, 形成糜棱岩系列的韧性剪切带。陈蔡群总体可划分为上、下两套岩石组合(翁世劫等, 1987): 上套(Pt_2^2Ch)由斜长角闪岩、大理岩、绿片岩、石英岩和长英质变粒岩、浅粒岩等组成; 下套(Pt_2^1Ch)由片麻岩、混合岩类组成。1987年浙江省区域地质调查大队在进行1:5万地质调查时, 测制了陈蔡群丁家坞地层剖面; 1988年水涛等对丁家坞剖面进行了详细研究, 本专著在这二者的基础上, 结合野外调查, 参考同位素定年数据, 重新修绘了丁家坞剖面(图1-2)。剖面底部(下套)岩石为矽线含榴黑云斜长片麻

岩、混合岩化黑云斜长片麻岩和斜长角闪片麻岩。剖面中上部(上套)岩石可以划分成上、中、下 3 个岩性段,下部为灰白色透闪石粗晶质白云质大理岩及灰白—浅绿色辉石橄榄白云质大理岩,间夹灰绿色斜长角闪岩、黑云变粒岩条带;中部为斜长角闪岩、辉石斜长角闪岩或角闪岩层;上部长英质浅粒岩、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。

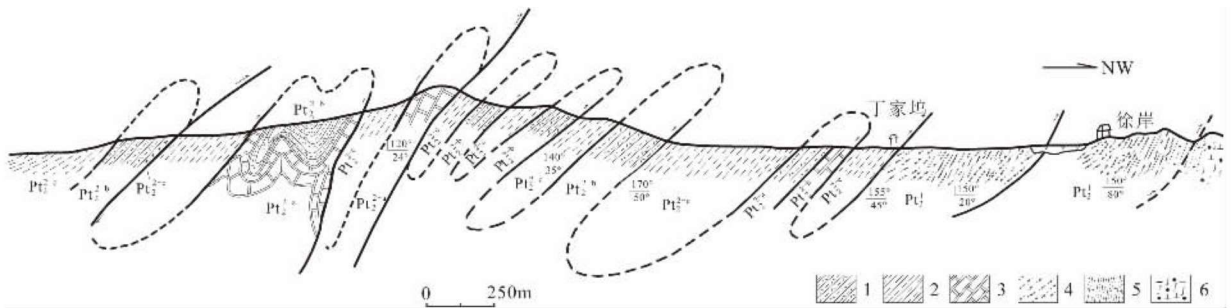


图 1-2 丁家坞陈蔡群剖面图
(据浙江省区域地质调查大队和水涛资料修改,1989)

1. 角闪岩类;2. 浅粒岩、片岩类;3. 大理岩;4. 片麻岩类;5. 糜棱岩、千糜岩;6. 片理化石英闪长岩

陈蔡群中零星出露有超镁铁质岩,主要分布诸暨市陈蔡镇北、龙游县上北山和龙泉市际下一狮子坑一带,岩体规模较小,多为无根饼状或透镜状产出,岩石均经受了不同程度的蚀变,岩体与围岩的接触关系显示了明显的构造就位特征。

出露于诸暨陈蔡镇北的陈蔡群辉石橄榄岩,面积约 0.07km²,呈北东向椭圆形分布,与围岩(斜长角闪岩)呈侵入接触,辉石 K-Ar 法同位素年龄为 892Ma(水涛,1988)。矿物成分以辉石和橄榄石为主,岩石化学成分见表 1-4,按 CIPW 法计算的标准矿物为紫苏辉石(顽火辉石 29.50%、斜铁辉石 6.24%)、橄榄石(镁橄榄石 28.48%、铁橄榄石 6.62%)、钙长石 15.50%。将 Fe₂O₃ 换算成 TFeO,其 MgO/MgO+TFeO 比值为 0.65~0.69。依据 Coleman(1977)的 Al₂O₃-CaO-MgO 三角图解判别,其为超镁铁堆晶岩(何圣策,1991)。

表 1-4 陈蔡群中超镁铁岩化学成分

岩体名称	样品数 (个)	氧化物(%)												资料来源
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	
陈蔡辉石 橄榄岩	2	45.04	0.66	6.12	4.77	8.05	0.17	27.59	4.58	0.14	0.06	0.06	1.30	孔祥生, 1994
龙游变质 橄榄岩	4	41.66	0.20	2.51	6.00	2.67	0.12	34.38	1.38	0.17	0.18	0.04		龙游 1:5 万 报告,1995
地幔岩		46.1	0.2	4.3		8.2		37.6	3.1	0.4	0.03			Ringwood, 1975

出露于龙游上北山、白石山头和六连坑等地的变质超镁铁质岩石,规模小,总面积不到 2km²,呈无根饼状、透镜状,主体岩性为橄榄岩,主要矿物有橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和角闪石等,依据斜方辉石、单斜辉石和角闪石相对含量,可以命名为辉石橄榄岩和角闪橄榄岩,其全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 1307Ma(孔祥生,1994)。

龙游变质超镁铁质岩与理想的“地幔岩”相比,具相对较低的 SiO₂、MgO、FeO、Na₂O、CaO,以及较高的 Fe₂O₃、K₂O(表 1-4)。上北山变质超镁铁质岩稀土元素含量低,ΣREE=8.65×10⁻⁶,LREE/HREE=14,