

钦杭成矿带的研究历史和现状

徐德明¹, 蔺志永², 龙文国¹, 张 颢¹, 王 磊¹, 周 岱¹, 黄 皓¹

(1. 武汉地质矿产研究所, 武汉 430205; 2. 中国地质调查局, 北京 100037)

摘要:介绍了钦杭结合带与成矿带的提出过程及其基本特征, 以及有关华南大地构造和华夏古陆问题的研究历史和现状。20 世纪 80 年代中期在重新认定华夏古陆的基础上建立扬子与华夏古陆碰撞拼接模式, 随之于 20 世纪 90 年代初提出钦杭结合带与成矿带, 这是华南大地构造研究的重要转折, 对华南大地构造和区域成矿的研究有着重要贡献。钦杭成矿带不仅在华南大地构造格局中占有十分重要的地位, 对探讨全球 Grenville 造山、Rodinia 超大陆裂解、新元古代成矿爆发等也有重要意义。目前已从岩石组合、构造特征、地球物理信息、成矿作用等方面对钦杭成矿带进行了论证。但毕竟钦杭成矿带的研究历史不长, 还有许多基础地质和区域成矿问题尚无定论, 为此提出了若干值得关注并可望在近期取得突破的问题。

关键词:钦杭结合带与成矿带; 华南大地构造; 华夏古陆; 研究历史; 进展

中图分类号:P56; P612

文献标识码:A

钦杭成矿带蜿蜒穿越于华南地区中南部, 在大地构造上属于扬子与华夏两个古陆块于新元古代碰撞拼接所形成的板块结合带。该成矿带南西起自广西钦洲湾, 经湘东和赣中, 往北东延伸至浙江杭州湾, 总体呈 NE 向反 S 状弧形展布, 全长约 2 000 km, 宽 100 ~ 300 km。以往通常将钦杭成矿带作为华南成矿区的组成部分, 但随着研究工作的不断深入, 人们逐渐认识到钦杭一线不仅是扬子与华夏陆块的碰撞拼接带, 而且也是华南地区一条重要且独具特色的铜金和钨锡多金属成矿带, 尤其是带内金铜铅锌铁等紧缺矿产资源找矿前景良好。鉴于找矿勘查的需要, 中国地质调查局于 2009 年底将该成矿带纳入全国重点成矿区带, 并于 2010 年全面启动了该区地质矿产调查评价工作, 掀起了新一轮有关华南大地构造、区域成矿特征研究的热潮。本文介绍了钦杭成矿带的认知过程和研究历史, 并对其研

究现状及进展进行了分析和评述, 以期对钦杭成矿带相关地质问题的研究及地质矿产调查提供借鉴和指导。

1 钦杭结合带与成矿带的提出

钦杭结合带的研究可以追溯到 20 世纪 80 年代初。当时, 在国家自然科学基金资助下, 水涛主持的科研团队在江山—绍兴断裂带及其两侧开展了长期的野外专题调研, 获得一批重要的基底年代学数据, 确认绍兴—江山断裂带原岩建造为晋宁早期大洋底超镁铁质—镁铁质火山及类复理式沉积, 断裂带两侧为晋宁早期的岛弧和古陆, 并发现断裂带两侧大陆壳对冲变形结构及断裂带内部高度压缩的紧闭扇形褶皱。据此, 水涛等认为江南古陆与华夏古陆之间曾为浩海分隔, 由于两大古陆的相向漂移运动和对撞碰撞导致大洋壳向北侧岛弧带消减, 同时也为南侧古陆壳超叠, 遂于 1984 ~ 1987 年间相继在《科学通报》及《中国科学》上发表了“绍兴—江山古陆对接带”、“中国东南大陆基底构造格局”、“中国东南边缘古基底构造演化”等系列论文^[1-3], 首次

收稿日期: 2012-8-20; 修回日期: 2012-9-11.

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价专项项目 (1212011085405, 1212011085416) 资助。

作者简介: 徐德明 (1964—), 研究员, 主要从事岩石地球化学研究及矿产资源调查评价工作, E-mail: yc502xdm@yahoo.com.cn.

提出江南古陆和华夏古陆碰撞对接的构想,从而奠定了华南扬子与华夏陆块碰撞拼接模式的基础。

随后,史明魁等^[4]在“湘桂粤赣地区有色金属隐伏矿床综合预测”研究中,注意到两侧基底结构、地质及地球物理、深部构造特征的差异,最先提出钦州—绍兴一线是分割扬子与华夏古板块的界线。继之,杨明桂等^[5-7]对该结合带地质构造演化、区域成矿特征进行了比较系统的研究,明确提出“钦州湾至杭州湾为扬子古板块与华夏古板块的结合带(简称钦杭结合带)”,同时指出它也是中国东南部一条最重要的构造岩浆成矿带,并正式命之为“钦杭成矿带”。历经 20 余年大量地质事实和地球物理资料的检验,钦杭结合带与成矿带的发现和论证已为国内外地质界所广泛认同和接受。

应当指出的是,在过去的 20 多年中,还有许多学者直接或间接对钦杭成矿带进行过研究和论证。如周新民等^[8-10]通过对皖南蛇绿岩和江绍断裂带两侧前寒武纪火成岩的研究,指出 900 Ma 左右是浙赣皖三省交界地区最重要的碰撞造山期,1100 Ma 前开始形成的江南古岛弧在这一时间与华夏古陆发生碰撞和拼接,并伴生广泛的基性和酸性岩浆活动以及岩浆混合作用;舒良树等^[11]在对江南中段板块—地体构造的研究中也提出怀玉地体在新元古代与华南古大洋在萍乡—江山一带对接缝合;Gilder 等^[12]通过对华南地区中生代花岗岩 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素的研究,首先发现一条由高 Sr、Nd 含量和高 ε_{Nd} 值花岗岩体构成的北东向的低 T_{DM} 带,并称之为“十一杭带”;洪大卫等^[13]认为该低 T_{DM} 带是扬子板块与华夏板块元古代碰撞对接带,后由于多次沿该带开合,新生地幔物质加入引起。

2 华南大地构造格局及其演化

钦杭成矿带的确定,建立在对华南古板块构造格局及其演化认识的基础上。许多学者从不同的大地构造学说观点出发,研究了华南的大地构造特征。如黄汲清等^[14]根据“多旋回说”,将华南划分为扬子准地台、华南地槽褶皱区、台湾褶皱系和南海地台;陈国达^[15]的“地洼学说”突出了我国中新世的活动特征,将华南划属华夏期地洼区的东南地洼区和云贵地洼区;张文佑^[16]根据“断块构造说”,将华南划属大陆型地壳构造域的华南断褶系和扬子断块区;以李四光为代表的地质力学工作者,认为华南

主要是南岭巨型纬向构造带与新华夏等构造体系的复合地区;王鸿祯^[17]则认为扬子地台东南直到浙闽沿海和雷州半岛,都属于不同阶段的大陆边缘区。

20 世纪 70 年代中期,随着板块构造学说的引入,国内学者亦开始运用板块构造理论来研究华南大地构造问题。李春昱^[18]最早勾画了中国板块构造的基本轮廓,将华南划属扬子地块,包括西部的扬子地台,中部的江南古陆和东南部的冒地槽。郭令智等^[19]则最先提出华南大地构造演化的“沟—弧—盆”模式,认为扬子地块东南缘为不同世代的岛弧褶皱系,华南东部陆壳是古华南洋向扬子地块的渐进式俯冲后退,不同世代的岛弧由北西向东南依次推演增生而成,尔后在此基础上又提出华南由不同性质和时代的地体拼贴增生而成^[20]。赵明德等^[21]认为中国东南部不同时期的造山带是太平洋板块多次俯冲的结果,板块俯冲带逐步向东南方向迁移,依次形成晋宁褶皱带、加里东褶皱带、海西—印支褶皱带和燕山褶皱带;李继亮等^[22]亦持多次碰撞造山观点,不过他们认为中国东南部属于特提斯构造域而非太平洋构造域。在上述模式中,扬子地块东南部为古大洋或大陆边缘,不存在古大陆。而水涛等^[1-3]认为华南存在江南古陆与华夏古陆,二者在晋宁早期(1 000 ~ 900 Ma)沿江山—绍兴一带碰撞缝合,但向西南方向开启形成赣湘粤桂残洋盆地。刘宝珺等^[23]进一步认为华夏古陆是在浙闽运动期间形成的原始陆块,西以华南洋与扬子陆块相隔,中元古代末(1 050 ~ 1 000 Ma)华南洋向扬子陆块的俯冲使扬子东南边缘形成增生的褶皱带,俯冲带不断后退,形成了华夏古陆边缘的沟—弧—盆系,晋宁运动(850 ~ 800 Ma)使扬子与华夏之间的华南洋在江山以东消失,形成江山—绍兴缝合带,其以西仍然存在一个华南残留盆地,该盆地一直延续到加里东期。但余达淦、汤加富等、王剑^[24-26]认为扬子和华夏地块在晋宁期已完全对接,华南地壳的演化实际上是扬子地块和华夏古地块多次闭合、张启的过程,此认识与杨巍然等^[27]的“断裂造山带”观点可谓不谋而合。程裕淇等^[28]将华南划分为扬子陆块、南华陆缘活动带、台湾活动带和琼南微陆块,并认为南华活动带可能含有华夏古陆的残片,实际上赞同华夏古陆的存在。以许靖华为代表的一些学者则提出华南是中生代碰撞造山带而不是加里东期后的准地台,分布于扬子东南缘的板溪群不是地层单位而是构造混杂体^[29-32]。但国内多数学者不同意华南

中生代阿尔卑斯型碰撞造山模式,因为大量的事实表明,板溪群是一套成层有序的正常海相地层而不是构造混杂岩^[25, 33-36],江南造山带不是中生代而是前南华纪的碰撞造山带^[1, 8, 37-39]。

20 世纪 90 年代,随着超大陆、地幔柱研究热潮的兴起,人们亦试图将华南大地构造演化纳入超大陆聚合与裂解这一全球构造系统中加以整体考虑。越来越多的学者相信,发生于 ~1 000 Ma 的格林威尔造山运动(华南称四堡运动)使扬子古陆与华夏古陆碰撞对接并与周边其它古陆聚合,华南成为 Rodinia 超大陆的组成部分^[26, 40-46]。而且有学者认为,扬子东南缘广泛发育的新元古代镁铁—超镁铁质岩和 S 型花岗岩是双模式岩浆岩,是地幔柱冲击华南岩石圈的体现,地幔柱导致岩石圈大范围的隆起、侵蚀和去顶作用,并伴随强烈的裂谷化,最终导致 Rodinia 超大陆的裂解^[47-51]。同一时期,随着东特提斯研究的不断深入^[52-53],有学者将华南也纳入特提斯范畴,认为华南是特提斯多岛洋体系^[54]或泛华夏大陆群东南缘多岛弧盆系统^[55]的组成部分,其古地理面貌颇像今日东南亚之景观。

进入 21 世纪,随着新理论新技术新方法的普及,尤其是精确定年技术的应用与推广,华南大地构造研究获得了许多新成果。最引人注目的是在华南不同地区的地壳岩石中发现了越来越多的太古代—古元古代的锆石年龄信息^[56-62],扬子和华夏地块内最老锆石年龄分别达到 3 800 Ma^[58]和 3 760 Ma^[59],这些新的年龄信息不仅揭示了华南古老地壳物质的存在,而且进一步证实华南东南部可能存在太古代陆壳基底^[63]。因而有学者认为^[64],华南最早的陆核可能自早太古代就已开始形成,并经过中晚太古代的生长和古元古代的再造而克拉通化,在新元古代时期伴随 Rodinia 超大陆的聚合与裂解,大量岩浆活动出现导致华南克拉通的初始破坏和再造。但与此同时,在江南造山带、武夷等地区,许多原定为中元古代甚至古元古代的地层(如浙江麻源群、江西双桥山群、湖南冷水溪群、广西四堡群等)被重新厘定为属新元古代^[65-69]。这些新的成果和认识对华南前寒武纪地壳的形成和演化以及地层年代格架的传统认识提出了挑战,也对当前盛行的地幔柱模式提出了质疑^[69-70]。此外,通过对中生代盆岭构造、花岗岩以及大规模成矿作用的地球动力学背景的研究,一些学者提出华南在早—中侏罗世经历了从特提斯构造域向太平洋构造域的体制转换^[71-75],认为

华南地区前侏罗纪的地质演化主要受特提斯构造体制的控制和印支期挤压造山事件的影响,晚侏罗世以来的构造格局则主要受太平洋构造体制以及陆内深部构造—岩石圈地幔作用的联合制约。

3 华夏古陆

讨论钦杭成矿带问题必然要涉及到华夏古陆。华夏古陆的概念是由美国地质学家 Grabau^[76]最先提出的,指的是中国东南沿海及其相邻广大地区早古生代时期存在的古陆地。在 Grabau 的论述中^[76-77],古陆与地槽相对应,华夏古陆位于华夏地槽的东南侧,其界线大致在现今的政和—大埔断裂带一线。由此可见,Grabau 的华夏古陆属于地槽理论框架内的构造单元,并具有时空的确定性。在往后的近 80 余年中,华夏古陆不断出现在中外地质文献中,国内学者如黄汲清^[78-79]、李四光^[80]、张文佑^[81]等也使用过这一概念,然而不同学者对于它的地质涵义以及存在的空间和时间多有不同见解。同时,我国学者也较少直接使用“华夏古陆”名称,而多使用“华夏地块”或“华夏陆块”,后者通常是指钦州湾—湘东—杭州湾一线东南的前南华纪变质基底出露区,包括部分沉入东海和南海的陆块。华夏一词的沿用,只是反映出人们对于代表了中华民族和中华大地的“华夏”一词的钟爱和对葛利普用语的尊重^[82]。

20 世纪 40 ~ 60 年代是以地槽理论作为地质学主导思想的时期,多数学者开始对华夏古陆持怀疑或否定意见^[78-79, 83-85],可视作华夏古陆沉沦的时代。黄汲清^[78-79]最先确定了华南东南部广大地域加里东褶皱带的存在,并称之为华夏加里东褶皱带,同时指出华夏加里东褶皱带就是华夏古陆,但其存在的时间显然是指加里东运动之后,而且在空间上大体与 Grabau 的华夏地槽位置相当,而与 Grabau 的华夏古陆位置完全不同,不过其后来提出的南海地台^[14]则与 Grabau 的华夏古陆范围大体一致。霍敏多夫斯基^[83]以广东海丰至浙江象山一线将华南东南部划分为两部分,西北属于华南加里东褶皱带,东南则称为闽浙太平洋褶皱带。张文佑^[81]是该时期少数支持存在华夏古陆的学者之一,并将其命之为华夏台背斜;马杏垣等^[86]持类似的意见,并以华夏地块称之。陈国达^[87]专门讨论过华夏古陆问题,他赞同中国东南沿海地区早古生代以前为古陆的认识,但认为单纯的“古陆”名称不能正确表达这一地

区构造发展过程,建议称之为“华夏活化区”。

20 世纪 80 年代以来,由于中国南方 1:20 万区调工作的全面完成及多轮国家科技攻关项目的实施,形成了丰富的基础地质资料,相继出版了各省区域地质志及中国南方岩相古地理丛书,发表了大量的多学科论著,在华南尤其是浙闽地区的变质岩系中获得了大批前南华纪的年代学数据^[1, 8, 37-39, 88-98],从而进一步证实华南东部存在古老的陆壳基底,“华夏古陆”又被重新提出^[1],并在板块构造理论框架下重新认识华南大地构造,逐渐引发了新一轮华夏古陆研究的热潮^[1-7, 14-26, 99-104],这是华夏古陆否定之否定的时代。

进入 21 世纪,随着“华夏地块”、“华夏陆块”等名词的广泛使用,相关的学术争议又趋于激烈,“华夏古陆”再次遭到部分学者的质疑。争论的焦点主要集中在华南是否存在早古生代时期的洋盆,亦即华南加里东褶皱带是地槽褶皱带或板块俯冲造山带^[105-106]还是板内褶皱带或陆内造山带^[71, 107-111]。从已有资料来看,区内至今没有发现确切的、能代表早古生代洋壳残块的蛇绿岩套,也未发现高压变质岩;加里东期花岗岩发育但没有与之相匹配的同期火山岩系,不具备洋壳俯冲活动大陆边缘的特征。但武夷、赣中南及云开地区被证实有前南华纪变质基底出露,古老碎屑锆石的分布则更为广泛。因而多数学者坚信^[112-114],在扬子陆块东南侧的元古代大洋对岸或大洋之中,曾经存在过一个规模较大的古陆块地体。否则,人们无法解释沿江山—绍兴断裂分布的新元古代蛇绿混杂岩带,以及延伸 1 500 km 的江南造山带及沿造山带分布的新元古代岩浆岩带的形成。但目前对华夏地块的形成和早期地壳演化历史仍很不明确,它是外来漂移块体^[115]还是早期华南大陆的裂解块体^[7, 116],还需要进一步研究。

4 钦杭成矿带地质构造特征

4.1 钦杭结合带的位置和边界

钦杭结合带的位置在北东段(浙赣段)比较清楚,其拼合的地质标志(蛇绿混杂岩、高压变质岩、岛弧岩浆岩、S 型花岗岩等)相对齐全^[71]。水涛等^[2]早先认为绍兴—江山—鹰潭—萍乡—郴州—连山—北海一线为其西北界线,浙江上虞—遂昌隆起、武夷—云开隆起之西缘为其南东界线。现在一般认为大致在浏阳—景德镇—歙县—苏州和萍乡—广

丰—江山—绍兴等超壳断裂带之间^[117-118]。

钦杭结合带南西段(湘桂段),基本上被南华纪以来的沉积盖层所覆盖,无典型蛇绿混杂岩等直接证据,加之后期区域构造变形复杂、基底岩石出露稀少而不完整,因而对其位置的认识分歧较大。主要有以下几种观点:(1)萍乡—茶陵—郴州—灵山—钦州一线^[4];(2)萍乡—茶陵—永州—桂林—南宁—柳州—梧州—临武—郴州—茶陵—萍乡等断裂组成;饶家荣等^[118]则认为北西边界在浏阳—浏山—城步—河池—柳州—梧州—临武—郴州—茶陵—萍乡等断裂组成;饶家荣等^[118]则认为北西边界在浏阳—浏山—城步—河池—柳州—梧州—临武—郴州—茶陵—萍乡等断裂组成;饶家荣等^[118]则认为北西边界在浏阳—浏山—城步—河池—柳州—梧州—临武—郴州—茶陵—萍乡等断裂组成;饶家荣等^[118]则认为北西边界在浏阳—浏山—城步—河池—柳州—梧州—临武—郴州—茶陵—萍乡等断裂组成。

最近,覃晓峰等^[119-120]于桂东陆川县石窝镇、米场镇至北流市清水口镇云开群变质岩系中发现一套 MORB 型火山岩,认为它们代表了中新元古代的古洋壳残片,而且其两侧存在一系列岛弧火山岩;彭松柏等^[121]则将广东信宜茶山、贵子等地出露的镁铁—超镁铁质岩厘定为新元古代蛇绿岩,并获得其 Sm-Nd 等时线年龄为 824 ± 77 Ma,与鹰扬关群浅变质基性火山岩的 TIMS 锆石 U-Pb 年龄 (819 ± 11 Ma)^[122]在误差范围内一致。上述成果为钦杭结合带南西段南东边界问题的解决提供了重要线索。

4.2 岩石组合特征

钦杭结合带北东段在皖南、赣东北早已发现蛇绿岩^[123],近年在湘东北也有蛇绿岩的报道^[124]。前人对皖南、赣东北蛇绿岩进行了大量的岩石学、地球化学和年代学研究^[8-10, 37-38, 125-126],获得蛇绿岩 Sm-Nd 等时线年龄为 $1\ 034 \sim 930$ Ma^[8, 37, 125],伏川辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 891 ± 13 Ma^[27],西湾斜长花岗岩岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 968 ± 23 Ma^[9]。在赣东北德兴西湾、饶二和茅桥蛇绿混杂岩中曾发现蓝闪石片岩、硬玉石英片岩^[128-129],其 K-Ar 年龄为 866 ± 14 Ma^[130]。

钦杭结合带南西段是否存在蛇绿岩曾颇受关注。20 世纪 90 年代以前,一般将分布于桂北、湘西及湘北四堡群和丹洲群(或相当地层)中的镁铁—超镁铁质岩定为蛇绿岩套,并视为江南古岛弧东南

缘大洋板块俯冲的标志^[19, 131-132]。后因在四堡群和丹洲群的镁铁—超镁铁质岩的围岩中发现了“热变质”现象, 人们开始对其蛇绿岩属性提出质疑^[133-134], 并提出了多种不同构造环境的解释, 如大陆边缘^[135]、板内裂谷^[136]、地幔柱^[47-48]等。近 10 多年来的研究表明, 该区镁铁—超镁铁质岩主要形成于 850 ~ 820 Ma 和 780 ~ 750 Ma 两个时段^[47-48, 137-139], 目前对其成因仍有明显分歧(详见下文)。此外, 也曾有在黔桂边境的四堡岩群中发现中高压变质矿物(多硅白云母)的报道^[140], 但并未发现典型的高压变质岩石组合, 仍需进一步调查证实。

钦杭结合带北东段广泛发育新元古代早期的岩浆岩^[46, 71], 以酸性火山岩和侵入岩为主, 基性岩类相对较少, 集中分布于皖南、赣东北和浙西等地区, 定年结果约为 980 ~ 900 Ma, 如浙西双溪群细碧—角斑岩的矿物—全岩 Sm—Nd 等时线年龄为 978 ± 44 Ma^[88], 双溪坞群中部白坞组和顶部章村组流纹岩的 SHRIMP 锆石 U—Pb 年龄分别为 926 ± 15 Ma、 891 ± 12 Ma^[141], 侵入于双溪坞群的桃红和西裘岩体 SHRIMP 锆石 U—Pb 年龄分别为 913 ± 15 Ma、 905 ± 14 Ma^[142]。一般认为他们是岛弧岩浆作用的产物^[46, 71]。江南造山带西段尚无 1 000 ~ 900 Ma 岩浆岩的确切报道。

钦杭结合带北东、南西段都发育新元古代中期(850 ~ 740 Ma)的岩浆岩^[46, 70], 目前学术界对这些岩浆岩的成因及形成的构造背景存在两种截然不同的观点。一种观点认为扬子和华夏陆块在约 900 Ma 前拼贴形成统一的华南大陆, 新元古代早期(>880 Ma)的岩浆岩形成于与 Rodinia 超大陆聚合有关的四堡造山运动, 而新元古代中期(850 ~ 740 Ma)的岩浆岩为板内非造山成因, 它们可能与引起 Rodinia 超大陆裂解的地幔柱活动有关^[46-51]。另一种观点则认为扬子与华夏地块之间的俯冲、碰撞造山运动可能持续到约 820 Ma 或更晚, 新元古代早期及 850 ~ 820 Ma 时期的岩浆岩是大陆边缘岛弧岩浆作用的产物, 而 780 ~ 740 Ma 时期的岩浆岩是造山后伸展阶段形成的^[70, 137]。考虑到江南造山带西段未见新元古代早期岩浆岩及四堡群的形成上限不早于 820 Ma^[69-70], 笔者推测在新元古代时期华南洋向扬子陆块俯冲的过程中, 可能由于板块运动的不均衡性, 华夏与扬子陆块在东段萍乡—江山—绍兴一带最先接触^[1, 23], 以致在常德—安仁一线产生 NW 向破裂而使其成为分割东、西不同构造块体的转换

断裂带^[118], 并导致钦杭结合带西段新元古代的岩浆活动可能滞后于东段 50 ~ 80 Ma 以及后期构造演化的差异。

4.3 构造特征

钦杭结合带被挟持于江南山链与武夷—罗霄山链之间, 构成一条规模巨大的古生代盖层拗褶带, 并分布着一系列中、新生代断陷盆地, 在其南缘则伴随有一条十分醒目的呈弧形隆起的构造—花岗岩带, 即加里东造山带前缘的罗霄—仙霞褶冲带^[7]。印支—燕山期发育强烈的褶断带, 东段北侧九岭山南麓沿宜丰—景德镇一线向南逆冲推覆; 南侧诸广山—武功山—玉华山—北武夷山向北推滑^[7]。西段北侧的雪峰山则由南东向北西逆冲推覆, 新元古代—早古生代地层逆冲覆盖于中生代地层之上^[143]; 南侧的十万大山盆地东南缘侏罗系逆掩于白垩系之上, 花岗岩体向西北推移^[144]。

结合带东段有基底残迹, 其结构构造十分复杂, 杨明桂等^[117]曾将其自北而南划分为浏阳—休宁构造岩片、万年推覆隆起、歙县—德兴蛇绿混杂岩带、怀玉古岛弧地体等 4 条构造带, 前两者分别是由溪口岩群组成的构造岩片和推覆体, 怀玉地体由中新元古界双溪坞群浅变质火山岛弧沉积组成。最近他们^[145]又将怀玉古岛弧地体单独列出划归华夏地块, 江南、怀玉两岛弧地体之间为一系列构造蛇绿混杂岩片, 包括张村、西村(伏川)、宜丰—南桥、苍溪岩片。在结合带西南段云开隆起北缘是否存在类似的构造蛇绿混杂岩片值得进一步调查研究。

深部地球物理资料表明, 钦杭古板块结合带岩石圈以低速、低(中)阻、低温为特点^[146-147], 上地幔软流圈顶面埋深达 200 ~ 320 km, 其北西侧扬子地块岩石圈厚 180 ~ 220 km, 南东侧华夏地块岩石圈厚度小于 150 km, 大致从江西南昌经湖南文家市—长沙—南宁为古岩石圈增厚区^[148], 与新元古代—古生代巨厚沉积增生楔的展布方向大体一致, 反映其为一条显著的岩石圈不连续带和上地幔凹陷带^[149-150], 同时也反映了岩石圈古俯冲带的存在^[118]。

大量资料显示, 钦杭结合带是一条构造—岩浆活动带。华南地区新元古代、早古生代及海西—印支期花岗岩主要产于该结合带及其旁侧^[151]。该带燕山期花岗岩类主要形成于早中侏罗世(188 ~ 151 Ma)^[152-156], 并具有迭次向北西、南东两侧扩展的趋势, 并以向东南沿海方向扩展为主^[6, 156], 故该结合带可能是燕山期华南岩浆活动的策源地^[6]。此外,

该带大量分布钾玄质岩石或碱性岩石^[157-159]和铝质 A 型花岗岩^[160],因而该带不仅是前述高 ε_{Nd} 、低 T_{DM} 花岗岩带^[12],也是一条富碱火山—侵入岩带。这些富碱质岩石显然与古板块结合带深部构造活动有关,形成于软流圈地幔上涌和岩石圈伸展减薄的构造背景^[156-157],这为钦杭结合带的厘定提供了又一佐证。

5 钦杭成矿带成矿特征

钦杭结合带不仅是一条巨型的构造—岩浆活动带,而且也是有利的成矿作用带^[4, 6, 161]。在这条长约 2 000 km 的古板块结合带上,已探明的大、中型矿床达 400 余处,其中包括德兴、银山、锡矿山、水口山、黄沙坪、东坡、佛子冲等大型—超大型有色、贵金属矿床(田),以及新余良山大型铁矿床和云浮大降坪超大型硫铁矿床等。近年来该成矿带找矿又取得一系列新的进展,先后发现和评价了留书塘铅锌矿、荷花坪锡矿、园珠顶铜钼矿、高枧铅锌银矿、社垌钨钼铜矿等一批大、中型矿床。毫无疑问,钦杭成矿带是一条巨型的多金属聚矿带。

钦杭成矿带的研究起步较晚,虽然史明魁等^[4]于 20 世纪 80 年代后期已开始注意到这条古板块结合带控矿的重要意义,并提出了“活动性边缘”成矿的认识,但实际上他们仍将该成矿带作为华南成矿区的组成部分。杨明桂等^[6-7]首先将钦杭成矿带作为独立的成矿单元来研究,认为该成矿带存在中—新元古代、海西—印支、燕山等 3 个金属矿产成矿期,形成 4 个成矿系列,其中中—新元古代古沟弧火山型铜金成矿系列为华南独有;海西—印支期层控型有色、贵金属成矿系列包括层控叠改型多金属矿和卡林型金矿;燕山期火山—斑岩成矿系列最重要,可与长江中下游成矿带相媲美;燕山期深成花岗岩成矿系列与相邻隆起区相比明显为一弱化带,但富于锡、贵金属和多金属。丁鹏飞^[161]在前人特别是史明魁等、杨明桂等^[4-7]研究的基础上,总结出钦杭成矿带深部构造控矿、复合构造控矿、构造形迹控矿及古板块或古地体边缘聚矿等构造控矿特点。

近 10 年来,随着国土资源大调查、地质矿产调查评价专项的实施,钦杭成矿带研究取得了一些实质性的进展。贺菊瑞等、付建明等^[162-163]分别对该成矿带北东段和南西段成矿作用特征进行了分析研究,认为该带总体上东、西段具有一致性,具

有矿床成群成带、板块边缘聚矿、隆—坳格局控矿、中生代集中成矿等矿床时空分布规律。水涛^[164]在进一步研究绍兴—江山对接带地质构造及其演化的基础上,探讨了对接缝合带及其两侧古陆边缘的成矿带及勘查区划,为该区找矿方向的确定提供了依据。毛景文等^[165]将钦杭成矿带及其旁侧矿床归纳为两个成矿系列,即新元古代海底喷流沉积型铜锌矿床成矿系列和燕山期与花岗岩有关的钨锡铜铅锌多金属矿床成矿系列,后者可进一步分为中晚侏罗世斑岩—矽卡岩—热液脉状铜多金属矿床、晚侏罗世与花岗岩有关的钨锡多金属矿床和白垩纪与次火山活动有关的浅成低温热液型金银铅锌钨锡矿床等 3 个成矿亚系列。同时认为新元古代的块状硫化物铜锌矿可能形成于弧前盆地;中晚侏罗世斑岩—矽卡岩—热液脉状铜多金属矿床的形成可归因于俯冲板片沿古结合部位发生局部重熔;而 165 ~ 150 Ma 的大规模钨锡多金属成矿作用可能与板片窗有关;135 Ma 之后俯冲板片运动方向发生调整,导致大陆大规模岩石圈伸展,相应绝大多数不同来源的矿产资源聚集在火山盆地和断陷盆地。但笔者等认为(另文发表),除上述^[165]两个矿床成矿系列外,新元古代大陆裂谷喷流沉积(—变质)型铁锰硫矿床、加里东期与花岗岩类有关的钨钼金银多金属矿床、与区域动热变质作用有关的韧性剪切带型和破碎蚀变岩型金(银)矿床等,在钦杭成矿带中也占有十分重要的地位。新元古代大陆裂谷喷流沉积(—变质)型铁锰矿床除前面提到的良山铁矿和大降坪硫铁矿外,还有湖南祁东、广西鹰扬关、广东铜锣塘、海南石碌等一系列大型矿床;加里东期与花岗岩类有关的矿床以往虽然报道的不多^[166-167],但近年来在大瑶山地区取得了重要突破^[168];而韧性剪切带型和破碎蚀变岩型金矿在钦杭成矿带内广泛分布,构成了赣东北、湘东北、粤西等重要的金成矿区。周永章等^[169]根据内部结构的不均一性,建议将钦杭结合带划分为北、中、南 3 段,各段不仅在沉积历史、构造特征和岩浆活动等方面存在差异,而且在优势矿种的区域分布上也有很好的体现。总体上,北段(绍兴—江山—萍乡段)优势矿种为铜、铁和贵金属;中段(南岭中段)是重要的钨锡多金属矿产地;南段(南岭以南)优势矿种为金、银、多金属,斑岩型矿床有很大的找矿潜力,其成因可能与古岛弧岩石重熔有关。

6 结语与展望

伴随着华南大地构造研究的发展和“华夏古陆”观点的兴衰,扬子与华夏陆块碰撞拼接模式在相关争议过程中孕育和渐趋明朗,并随之提出钦杭结合带与成矿带,这是华南大地构造研究的重要转折,也在某种程度上动摇了华南东南部以南岭为区域成矿中心的传统观念。当前围绕华南大地构造和古大陆问题的研究处于空前繁荣和诸子百家争鸣的时代,并趋向于与国际潮流相结合,追溯古地块的起源和漂移历程。钦杭成矿带的研究,不仅是华南大地构造和区域成矿学研究的重要课题,对探讨全球 Grenville 造山、Rodinia 超大陆聚合与裂解、新元古代成矿爆发等也有重要意义。

基于钦杭成矿带在华南乃至全球 Rodinia 超大陆中的特殊地位,以及其研究进展,我们认为如下问题值得关注,并可望在近期取得突破。

(1) 华南早期大陆地壳的形成和演化。扬子地块前寒武纪岩石分布较广泛,并存在以崆岭杂岩为代表的太古宙—古元古代结晶基底;而华夏地块前寒武纪岩石分布较零散,主要出露于武夷、赣中南、云开及琼南地区,目前发现的最古老岩石为浙闽地区的古元古界八都群,是否存在太古宙结晶基底尚不明确。扬子与华夏陆块早前寒武纪基底之异同及其与超级大陆的亲缘关系,有待进一步研究。

(2) 华南新元古代大地构造格局与超大陆重建。新元古代是全球地质演化历史上一个重要的转折和突变时期,发生了 Rodinia 超大陆聚合与裂解、全球性低纬度冰川、生物大分异等一系列重大事件。钦杭成矿带及其两侧广泛产出新元古代岩浆岩,也有较为完整的沉积记录,是研究这段地质历史的天然实验室。在已有的 Rodinia 超大陆重建模式中,华南(包括扬子和华夏)在其中的位置仍不十分清楚,需要有新的事实和依据对其进行检验或发展完善。

(3) 华南新元古代海底火山与喷流沉积成矿作用。已有的研究表明,华南中新元古代海底火山热液活动异常活跃,形成了与岛弧火山作用有关的西裘式和铁砂街式铜多金属矿床,以及与大陆裂谷作用有关的新余式铁矿、大降坪式硫铁矿等,而这些矿床都处于钦杭成矿带内,它们应作为今后找矿突破的重点方向之一。

(4) 华南加里东期构造—岩浆作用与成矿。华

南存在早古生代褶皱带以及广泛发育加里东期花岗岩是客观事实,但对其形成机制仍有很大分歧,是弧—陆碰撞,扬子与华夏碰撞拼贴,还是陆内造山,有待进一步研究。虽然有不少证据支持陆内造山带模式,但陆内造山的驱动力至今没有提出令人满意的解释。

(5) 华南中生代构造—岩浆作用与成矿。华南中生代构造—岩浆作用和大规模成矿的地球动力学背景是华南地质科学领域最具吸引力的课题之一,但在认识上仍有很大分歧,提出了活动大陆边缘构造—岩浆作用、大陆拉张—裂解、后造山、岩石圈减薄和拆沉、地幔柱等多种成因模式。目前大多数学者沿用活动大陆边缘构造—岩浆作用模式,并从不同视角予以改进。中生代时期沿钦杭结合带的构造活化也受到不少研究者的关注,但其动力学来源尚不清楚。还值得注意的是,近年来相继报道了一些与印支期花岗岩类有关的钨锡铋钽铀矿床,暗示中生代大规模成矿作用可能在印支晚期就已拉开了序幕。

(6) 粤西—桂东地区前寒武纪地层系列及含矿性。前人对该区前寒武纪地层的时代归属一直存在争议,而近年来不同研究者所发表的地层或岩石年龄数据及其解释,使该区地层的划分与对比更趋复杂。因此,在进行同位素地质年代学研究的同时,更应该加强基础地质尤其是不同地质体构造变形和构造关系的研究。目前,中国地质调查局在该区部署了一批 1:25 万和 1:5 万区调图幅及矿产远景调查项目,随着这些项目的相继完成,本区前寒武纪地层划分对比问题可望取得实质性进展,其蕴藏的丰富矿产将进一步被发现。

本文作者在参与编制“钦杭成矿带重要矿产勘查部署方案”及项目研究过程中,有幸多次聆听水涛先生、杨明桂先生的专题报告并得到当面指导;与中国地质调查局张生辉先生,南京大学陆建军教授、马东升教授,中山大学周永章教授,以及中南和华东地区各地调院众多专家共同讨论,深受启发,特此致谢。

参考文献:

- [1] 水涛,徐步台,梁如华,等.绍兴—江山古陆对接带[J].科学通报,1986,31(6):444-448.
- [2] 水涛.中国东南大陆基底构造格局[J].中国科学(B辑),1987,15(4):414-422.

- [3] 水涛. 中国东南边缘古基底构造演化[J]. 科学通报, 1987, 32(5): 32-34.
- [4] 史明魁, 熊成云, 贾德裕, 等. 湘桂粤赣地区有色金属隐伏矿床综合预测[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [5] 杨明桂, 王昆. 江西省地质构造格架及地质演化[J]. 江西地质, 1994, 8(4): 239-251.
- [6] 杨明桂, 梅勇文. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产, 1997, (3): 52-59.
- [7] 杨明桂, 梅勇文, 周子英, 等. 罗霄-武夷隆起及郴州-上饶拗陷成矿规律及预测[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [8] 周新民, 邹海波, 杨杰东, 等. 安徽歙县伏川蛇绿岩Sm-Nd等时线年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 1989, 34(16): 1243-1245.
- [9] 周新民, 朱云鹤. 江绍断裂带的岩浆混合作用及其两侧的前寒武纪地质[J]. 中国科学(B辑), 1992, 20(3): 296-303.
- [10] 周新民, 朱云鹤. 中国东南部晚元古代碰撞造山带与地缝合带的岩石学证据[M]//李继亮. 东南大陆岩石圈结构与地质演化. 北京: 冶金工业出版社, 1993: 87-97.
- [11] 舒良树, 施央申, 郭令智, 等. 江南中段板块-地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995.
- [12] Gilder S A, Gill J B, Coe R S, et al. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of South China[J]. J. Geophys. Res., 1996, 101(B7): 16137-16154.
- [13] 洪大卫, 谢锡林, 张季生. 试析杭州-诸广山-花山高 ε_{Nd} 值花岗岩带的地质意义[J]. 地质通报, 2002, 21(6): 348-354.
- [14] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓[M]. 地质学报, 1977, 51(2): 117-135.
- [15] 陈国达, 陈家超, 魏柏林, 等. 中国大地构造简述[J]. 地质科学, 1975, (3): 205-219.
- [16] 张文佑. 断块构造导论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [17] 王鸿祯. 中国华南地区地壳构造发展的轮廓[M]//华南地区古大陆边缘构造史. 武汉: 中国地质大学出版社, 1986: 1-15.
- [18] 李春昱. 中国板块构造的轮廓[J]. 中国地质科学院院报, 1980, 2(1): 11-20.
- [19] 郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大陆构造格架与地壳演化[C]//第26届国际地质大会国际交流学术论文集(一). 北京: 地质出版社, 1980: 109-116.
- [20] 郭令智, 施央申, 马瑞士, 等. 中国南部地体构造的研究[J]. 南京大学学报, 1984, 20(4): 732-739.
- [21] 赵明德, 张培鑫. 浙江板块构造初探[J]. 地质学报, 1983, 57(4): 369-377.
- [22] 李继亮. 中国东南地区大地构造基本问题[M]//中国东南海陆岩石圈结构与演化研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.
- [23] 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积、地壳演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [24] 余达淦. 华南(东)晋宁-加里东海盆地形成、演化及封闭. 华东地质学院学报, 1993, (4): 301-319.
- [25] 汤家富. 华南变质基底的组成、边界与构造演化[J]. 安徽地质, 1994, 4(1-2): 104-111.
- [26] 王剑. 华南新元古代裂谷盆地沉积演化—兼论与Rodinia解体的关系[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [27] 杨巍然. 断裂造山带[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1989, 14(1): 9-18.
- [28] 程裕淇, 沈永和, 张良臣, 等. 中国区域地质概论[J]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [29] 许靖华, 孙枢, 李继亮. 是华南造山带而不是华南地台[J]. 中国科学(B辑), 1987, 15(10): 117-135.
- [30] 李继亮, 孙枢, 许靖华, 等. 南华夏造山带构造演化的新证据[J]. 地质科学, 1989, (3): 217-225.
- [31] 赵崇贺, 何科昭, 周正国, 等. 关于华南大地构造问题的再认识. 现代地质, 1996, 10(4): 512-517.
- [32] 何科昭, 赵崇贺, 乐昌硕, 等. “板溪群”构造属性的再认识与思考[J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 353-362.
- [33] 刘鸿允, 李曰俊, 郝杰. 论华南的板溪群及其有关的大地构造问题[J]. 地球学报, 1994, (3-4): 88-96.
- [34] 唐晓珊, 黄建中, 何开善. 论湖南板溪群[J]. 中国区域地质, 1994, (4): 274-277.
- [35] 唐晓珊, 黄建中, 郭乐群. 再论湖南板溪群及其大地构造环境[J]. 湖南地质, 1997, 16(4): 219-226.
- [36] 胡宁, 谌建国. 雪峰山地区前震旦纪大地构造演化及沉积岩相特征[J]. 华南地质与矿产, 1999, (4): 10-15.
- [37] Chen J F, Foland K A, Xing F, et al. Magmatism along the Southeast margin of the Yangtze block: Precambrian collision of the Yangtze and Cathaysia block of China[J]. Geology, 1991, 19: 815-818.
- [38] 李献华, 周国庆, 赵建新. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石U-Pb年龄及其构造意义[J]. 地球化学, 1994, 23(2): 125-131.
- [39] 李献华. 华南晋宁期造山运动——地质年代学和地球化学制约[J]. 地球物理学报, 1998, 41: 184-194.
- [40] Li Z X, Zhang L, Powell C M. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antarctic and Laurentia? [J]. Geology, 1995, 23: 407-410.
- [41] Li Z X, Li X H, Zhou H W, et al. Grenvillian continental collision in South China: new SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. Geology, 2002, 30: 163-166.

- [42] 李江海,穆剑.我国境内格林威尔期造山带的存在及其对中元古代末期超大陆再造的制约[J].地质科学,34(3): 259 – 272.
- [43] 张业明,彭松柏.云开元古宙陆壳基底年代格架及华南前震旦纪构造演化初论[J].华南地质与矿产,2000,(1): 1 – 10.
- [44] 吴根耀.华南的格林威尔造山带及其坍塌:在罗迪尼亚超大陆演化中的意义[J].大地构造与成矿学,2000,24(2):112 – 123.
- [45] 陆松年,李怀坤,陈志宏.新元古时期中国古大陆与罗迪尼亚超大陆的关系[J].地学前缘,2004,11(2):515 – 523.
- [46] 李献华,王选策,李武显,等.华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义:从造山运动到陆内裂谷[J].地球化学,2008,37(4):382 – 398.
- [47] 郭文春,李献华,梁细荣,等.桂北元宝山宝坛地区约825 Ma镁铁—超镁铁质岩的地球化学及其地质意义[J].地球化学,2001,30(2):123 – 130.
- [48] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? [J]. Earth and Planet Science Letters, 1999, 173: 171 – 181.
- [49] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, south China and correlations with other continents: Evidence for a mantle super-plume that broke up Rodinia[J]. Precambrian Research, 2003, 122:85 – 109.
- [50] Li X H, Li Z X, Ge W C et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle at ca. 825Ma? [J]. Precambrian Research, 2003,122: 45 – 83.
- [51] Li W X, Li X H, Li Z X. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance[J]. Precambrian Research, 2005,136: 51 – 66.
- [52] 陈智梁. 特提斯地质一百周年[J].特提斯地质,1994,18: 1 – 7.
- [53] 潘桂棠,陈智梁,李兴振,等.东特提斯地质构造形成演化[M].北京:地质出版社,1997.
- [54] 殷鸿福,吴宝顺,杜远生,等.华南是特提斯多岛洋体系的一部分[J].地球科学,1999,24(1):1 – 12.
- [55] 尹福光,万方,陈明.泛华夏大陆群东南缘多岛弧盆系统[J].成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(2): 126 – 131.
- [56] 覃小锋,潘元明,李江,等.桂东南云开地区变质核杂岩锆石SHRIMP U-Pb年代学[J].地质通报,2006,25(5): 553 – 559.
- [57] 于津海,王丽娟,周新民,等.粤东北基底变质岩的组成和形成时代[J].地球科学,2006,31(1): 38 – 48.
- [58] 于津海, O'Reilly Y S, 王丽娟, 等.华夏地块古老物质的发现和前寒武纪地壳的形成[J].科学通报,2007,52(1): 11 – 18.
- [59] Zhang S B, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Zircon U-Pb age and Hf isotope evidence for 3.8 Ga crustal remnant and episodic reworking of Archean crust in South China [J]. Earth and Planet Science Letters, 2006, 252: 56 – 71.
- [60] Zheng J P, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. Widespread Archean basement beneath the Yangtze craton [J]. Geology, 2006, 34: 417 – 420.
- [61] Yao J L, Shu L S, Santosh M. Detrital zircon U-Pb geochronology, Hf-isotopes and geochemistry: New clues for the Precambrian crustal evolution of Cathaysia Block, South China[J]. Gondwana Research, 2011, 20: 553 – 567.
- [62] 向磊,舒良树.华南东段前泥盆纪构造演化:来自碎屑锆石的证据[J].中国科学:地球科学,2010,40(10):1377 – 1388.
- [63] 胡雄健.中国东南大陆边缘存在晚太古宙陆壳基底的同位素年代证据[J].中国地质,1991,(11): 16 – 17.
- [64] 郑永飞,张少兵.华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化[J].科学通报,2007,52(1): 1 – 10.
- [65] Wan Y S, Liu D Y, Xu M H, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia block, China: Tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic units [J]. Gondwana Research, 2007, 12(1-2): 166 – 183.
- [66] 孙海清,黄建中,郭乐群,等.湖南冷家溪群划分及同位素年龄约束[J].华南地质与矿产,2012,28(1):20 – 26.
- [67] 高林志,陈俊,丁孝忠,等.湘东北岳阳地区冷家溪群和板溪群凝灰岩SHRIMP锆石年龄——对武陵运动的制约[J].地质通报,2011,30(7):1001 – 1008.
- [68] 高林志,杨明桂,丁孝忠,等.华南双桥山群及河上镇群凝灰岩中的锆石SHRIMP U-Pb年龄——对江南新元古代造山带地质演化的制约[J].地质通报,2008,27(10): 1744 – 1758.
- [69] 高林志,戴传固,刘燕学,等.黔东南-桂北地区四堡群凝灰岩锆石SHRIMP U-Pb年龄及其地层学意义[J].地质通报,2010,29(9):1259 – 1267.
- [70] 周金城,王孝磊,邱检生.江南造山带是否格林威尔期造山带?[J].高校地质学报,2008,12(4):475 – 482.
- [71] 舒良树.华南构造演化的基本特征[J].地质通报,2012,31(7):1035 – 1053.
- [72] 舒良树,周新民,邓平,等.南岭构造带的基本地质特征[J].地质论评,2006,52(2):251 – 265.

- [73] 周新民,李武显.中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩形成的构造岩浆模式 [M]//中国东南部晚中生代花岗质火山-侵入杂岩成因与地壳演化.北京:科学出版社,2002:273-295.
- [74] 徐夕生,谢昕.中国东南部晚中生代-新生代玄武岩与壳幔作用[J].高校地质学报,2005,11(3):318-334.
- [75] Wang D Z, Shu L S. Late Mesozoic basin and range tectonics and related magmatism in Southeast China [J]. Geoscience Frontier, 2012, 3(2): 109-124.
- [76] Grabau A W. Stratigraphy of China, Part 1, Paleozoic and Older [M]. Published by the Geological Survey, Ministry of Agriculture and Commerce in Peking, 1923-1924.
- [77] Grabau A W. Migration of geosyncline [J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1924, 3(3-4): 207-349.
- [78] 黄汲清.中国主要地质构造单位[J].中央地质调查所地质专报,1945,20:1-165.
- [79] 黄汲清.中国地质构造基本特征的初步总结[J].地质学报,1960,40(1):1-37.
- [80] 李四光.受了歪曲的亚洲大陆[C]//李四光学术研究文集.北京:地质出版社,1984.
- [81] 张文佑.中国大地构造纲要及1:400万中国及邻区大地构造图[M].中国科学院地质研究所专刊第1号,北京:科学出版社,1959.
- [82] 卢华复.关于华夏古陆 [J]. 高校地质学报,2006,12(4):413-417.
- [83] 霍敏多夫斯基 A C.中国东部地质构造基本特征[J].地质学报,1952,32(4):243-297.
- [84] 杨鸿达.中国地质[M].南京大学地质学系,1953.
- [85] 郭令智,俞剑华,施央申.华南加里东地槽褶皱区大地构造发展的基本特征[M]//中国大地构造问题.北京:科学出版社,1965:165-183.
- [86] 马杏垣,游振东,谭应佳,等.中国大地构造的几个基本问题[J].地质学报,1961,41(1):30-44.
- [87] 陈国达.中国地台“活化区”的实例并着重讨论华夏古陆问题[J].地质学报,1956,36(3):239-271.
- [88] 章邦桐,凌洪飞,沈渭洲,等.浙江绍兴西裘双溪坞群细碧-角斑岩的Sm-Nd等时线年龄[J].南京大学学报(地球科学),1990,(2):9-14.
- [89] 袁忠信,吴良士,张宗清,等.闽北麻源群Sm-Nd、Rb-Sr同位素年龄研究 [J]. 岩石矿物学杂志,1991,19(3):127-133.
- [90] 胡雄健,许金坤,童朝旭,等.浙西南前寒武纪地质[M].北京:地质出版社,1991.
- [91] 胡雄健,许金坤,董朝旭,等.浙西南19亿年花岗闪长岩的地质特征及发现意义 [J]. 地质论评,1993,39(6):557-563.
- [92] 胡雄健.浙西南下元古界八都群的地质年代学[J].地球化学,1994,23(增刊):18-24.
- [93] 甘晓春,李惠民,孙大中,等.闽北前寒武纪基地的地质年代学研究[J].福建地质,1993,12(1):17-32.
- [94] 甘晓春,李惠民,孙大中,等.浙西南古元古代花岗质岩石的年代[J].岩石矿物学杂志,1995,14(1):1-8.
- [95] 甘晓春,赵凤清,金文山,等.华南火成岩中捕获锆石的早元古代-太古宙U-Pb年龄信息[J].地球化学,1996,25(2):112-119.
- [96] 孔祥生,李东正,冯长根,等.浙江省陈蔡地区前寒武纪地质[M].北京:地质出版社,1995.
- [97] 徐步台,邱郁双.章村-楼塔一带双溪坞群Sm-Nd和 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及地质年代意义 [J]. 浙江地质,1996,12(1):46-53.
- [98] 李曙光,陈移之,葛宁洁,等.浙西南八都群变火山岩系及变晶糜棱岩的同位素年龄及其构造意义 [J]. 岩石学报,1996,12(1):79-87.
- [99] 水涛,徐步台,梁如华,等.中国浙闽变质基底地质[M].北京:科学出版社,1988.
- [100] 王鹤年,张守韵,俞受盛,等.华夏地块韧性剪切带型金矿地质[M].北京:科学出版社,1992.
- [101] 沈渭洲,朱金初,刘昌实,等.华南基底变质岩的Sm-Nd同位素及其对花岗岩类物质来源的制约.岩石学报,1993,9(2):115-124.
- [102] 张理刚,王可法,陈振胜,等.论“华夏古大陆”——铅同位素研究证据.地质论评,1994,40(3):200-208.
- [103] 李献华,韦刚健,刘颖,等.华夏古陆古元古代高度亏损地幔的Nd同位素证据 [J]. 地球科学-中国地质大学学报,1999,24(2):197-201.
- [104] 李献华,李寄,刘颖,等.华夏古陆古元古代变质火山岩的地球化学特征及其构造意义[J].岩石学报,1999,15(1):364-370.
- [105] 胡受奚,叶瑛.对“华夏古陆”、“华夏地块”及“扬子-华夏古陆统一”等观点的质疑 [J]. 高校地质学报,2006,12(4):432-439.
- [106] 马瑞士.华南构造演化新思考兼论“华夏古陆”说中的几个问题[J].高校地质学报,2006,12(4):448-456.
- [107] 舒良树,于津海,贾东,等.华南东段早古生代造山带研究[J].地质通报,2008,27(10):1581-1593.
- [108] 戎嘉余,詹仁斌,许红根,等.华夏古陆于奥陶-志留纪之交的扩展证据和机制探索[J].中国科学:地球科学,2010,40(1):1-17.
- [109] Faure M, Shu L S, Wang B, et al. Intracontinental subduction: a possible mechanism for the Early Paleozoic orogen of

- SE Chian[J]. *Terre Nova*, 2009, 21: 360 – 368.
- [110] Charvet J, Shu L S, Faure M, et al. Structural development of the Lower Paleozoic belt of South China: Genesis of an intracontinental orogen [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 39: 309 – 330.
- [111] Li Z X, LI X H, Wartho J A, et al. Magmatic and metamorphic events during the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai, southeastern South China: New age constraints and P-T conditions[J]. *GSA Bulletin*, 2010, 122(5–6): 772 – 793.
- [112] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 418 – 431.
- [113] 沈渭洲. 2006. 华夏地块基底变质岩同位素年龄数据评述[J]. *高校地质学报*, 12(4): 475 – 482.
- [114] 王鹤年, 周丽娅. 华南地质构造的再认识[J]. *高校地质学报*, 2006, 12(4): 457 – 465.
- [115] 王志洪, 卢华复. 中国东南大陆岩石圈演化研究中的有关问题综述[J]. *高校地质学报*, 1997, 3(1): 118 – 126.
- [116] 杨森楠. 华南裂陷系的建造特征和构造演化[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(1): 29 – 36.
- [117] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. *中国地质*, 2009, 36(3): 528 – 543.
- [118] 饶家荣, 肖海云, 刘耀荣, 等. 扬子、华夏古板块会聚带在湖南的位置[J]. *地球物理学报*, 2012, 55(2): 484 – 502.
- [119] 覃小锋, 周府生, 胡贵昂, 等. 云开地块北缘MORB型火山岩的首次发现及其大地构造意义[J]. *地质科技情报*, 2005, 24(3): 20 – 24.
- [120] 覃小锋, 潘元明, 夏斌, 等. 云开地块北缘构造带中变质基性火山岩的地球化学特征及其大地构造意义[J]. *地球化学*, 2007, 36(3): 311 – 322.
- [121] 彭松柏, 金振民, 付建明, 等. 云开地区新元古代蛇绿岩的地球化学证据及其构造意义 [J]. *地质学报*, 2006, 80(6): 814 – 825.
- [122] 周汉文, 李献华, 王汉荣, 等. 广西鹰扬关群基性火山岩的锆石U-Pb年龄及其地质意义 [J]. *地质论评*, 2002, 48(增刊): 22 – 25.
- [123] 白文吉, 甘启高, 杨经绥, 等. 江南古陆东南缘蛇绿岩完整层序剖面的发现和基本特征 [J]. *岩石矿物学杂志*, 1986, 5(4): 289 – 299.
- [124] 贾宝华, 彭和求, 唐晓珊, 等. 湘东北文家市蛇绿混杂岩带的发现及意义[J]. *现代地质*, 2004, 18(2): 229 – 236.
- [125] 徐备, 乔广生. 赣东北晚元古代蛇绿岩套的Sm-Nd同位素年龄及原始构造环境[J]. *南京大学学报(地球科学版)*, 1989, (3): 108 – 114.
- [126] 赵建新, 李献华, McCulloch M T, 等. 皖南和赣东北蛇绿岩成因及其构造意义: 元素和Sm-Nd同位素制约[J]. *地球化学*, 1995, 24(4): 311 – 325.
- [127] 吴荣新, 郑永飞, 吴元保. 皖南蛇绿岩套辉长岩锆石U-Pb定年以及元素和氧同位素研究 [J]. *地球学报*, 2005, 26(增刊): 70 – 73.
- [128] 舒良树, 周国庆. 赣东北元古代地体拼贴带中高压变质矿物的发现及其构造意义[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 1988, 24(3): 421 – 429.
- [129] 周国庆, 舒良树, 吴洪亮. 与赣东北元古代蛇绿岩有关的高温高压变质岩和重变质作用机制的研究[J]. *矿物岩石学杂志*, 1989, 8(3): 220 – 231.
- [130] 舒良树, 周国庆, 施央申, 等. 1993. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究[J]. *科学通报*, 1993, 38(2): 1879 – 1882.
- [131] 夏斌. 广西龙胜元古代二种不同成因蛇绿岩岩石地球化学及侵位方式研究[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 1984, (3): 554 – 566.
- [132] 金鹤生, 傅良文. 湖南火山岩的时空演化及其板块构造意义[J]. *地质论评*, 1986, 32(3): 225 – 235.
- [133] 杨丽贞. 桂北九万大山地区元古代“蛇绿岩”之商榷[J]. *广西地质*, 1989, 2(1): 91 – 93.
- [134] 郭文春, 李献华, 李正祥, 等. 桂北“龙胜蛇绿岩”质疑[J]. *岩石学报*, 2000, 16(1): 111 – 118.
- [135] 金文山, 赵凤清, 王祖伟, 等. 湘东北—桂北中元古界岩石地球化学特征[J]. *广西地质*, 1998, 11(1): 60 – 64.
- [136] 郑基俭, 贾宝华, 刘耀荣, 等. 湘西安江地区镁铁质—超镁铁质岩形成时代、岩浆来源和形成环境[J]. *中国区域地质*, 2001, 20(2): 164 – 169.
- [137] Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, et al. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from northern Guangxi, South China: implications for tectonic evolution [J]. *Precambrian Research*, 2006, 145: 111–130.
- [138] Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, et al. Geochronology and geochemistry of the Neoproterozoic mafic rocks from Western Hunan, South China: implications for petrogenesis and post-orogenic extension[J]. *Geological Magazine*, 2008, 145(2): 215 – 233.
- [139] Zhou J B, Li X H, Ge W C, et al. Age and origin of middle Neoproterozoic mafic magmatism in southern Yangtze Block and relevance to the break-up of Rodinia [J]. *Gondwana Research*, 2007, 12: 184 – 197.
- [140] 曾昭光, 唐云辉, 彭慈刚, 等. 黔桂边境四堡岩群中高压变质矿物的发现及其意义 [J]. *贵州地质*, 2005, 22(1): 46 – 49.

- [141] Li X H, Li W X, Li Z X, et al. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks in South China: Constrains from SHRIMP U-Pb zircon ages, geochemistry and Nd-Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks [J]. Precambrian Research, 2009, 174: 117—128.
- [142] Ye M F, Li X H, Li W X, et al. SHRIMP zircon U-Pb geochronological and whole-rock geochemical evidence for an early Neoproterozoic Sibaoan magmatic arc along the southeastern margin of the Yangtze Block [J]. Gondwana Research, 2007, 12: 144—156.
- [143] 丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 雪峰山陆内造山带的构造特征与演化[J]. 高校地质学报, 1998, 4(4): 432—443.
- [144] 张岳桥. 广西十万大山前陆冲断推覆构造[J]. 现代地质, 1999, 13(2): 150—156.
- [145] 杨明桂, 刘亚光, 黄志忠, 等. 江西中新元古代地层的划分及其与邻区对比[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 43—53.
- [146] 王懋基. 黑水—泉州地学断面的重磁解释[J]. 地球物理学报, 1994, 37(3): 321—329.
- [147] 胡圣标, 汪集旸, 汪屹华. 黑水—泉州地学断面东段深部温度与岩石层厚度 [J]. 地球物理学报, 1994, 37(3): 330—337.
- [148] 刘建生, 李国华, 颜彬, 等. 中国大陆岩石圈厚度特征研究及其在金刚石原生矿预测中的作用[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 85—94.
- [149] 朱介寿, 蔡学林, 曹家敏, 等. 中国华南及东海地区岩石圈三维结构及演化[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [150] 袁学诚, 华九如. 华南岩石圈三维结构[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 1—19.
- [151] 孙涛. 新编华南花岗岩分布图及其说明[J]. 地质通报, 2006, 25(3): 332—335.
- [152] 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 等. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石U-Pb法定年及其成因指示. 中国科学(D辑), 2001, 31(9): 745—751.
- [153] 王强, 赵振华, 简平, 等. 德兴花岗闪长斑岩SRIMP锆石U-Pb年代学和Nd-Sr同位素地球化学. 岩石学报, 2004, 20(2): 315—324.
- [154] 丁兴, 陈培荣, 陈卫锋, 等. 湖南沅山花岗岩中锆石LA-ICP-MS U-Pb定年: 成岩启示及意义[J]. 中国科学(D辑), 2005, 37: 606—616.
- [155] 李晓峰, Watanabe Yasushi, 华仁民, 等. 华南地区中生代Cu-(Mo)-W-Sn矿床成矿作用与洋岭/转换断层俯冲[J]. 地质学报, 2008, 82(5): 625—640.
- [156] 付建明, 徐德明, 杨晓君, 等. 南岭锡矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2011.
- [157] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 桂东南钾玄质侵入岩带及其岩石学和地球化学特征[J]. 科学通报, 44(18): 192—198.
- [158] 赵振华, 包志伟, 张伯友. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊): 714.
- [159] 范蔚茗, 王岳军, 郭锋, 等. 湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 159—169.
- [160] 徐夕生. 华南花岗岩—火山岩成因研究的几个问题[J]. 高校地质学报, 2008, 14(3): 283—294.
- [161] 丁鹏飞. 钦州—钱塘结合带及其控矿作用[C]//应用物探资料研究重点成矿区带的区域构造和成矿构造文集. 北京: 地质出版社, 2001: 75—102.
- [162] 贺菊瑞, 王爱国, 丙行健. 钦—杭结合带东段成矿作用初探 [C]//地球科学与社会可持续发展年华东六省一市地学科技论坛论文集. 2005: 8—13.
- [163] 付建明, 徐德明, 陈希清, 等. 钦—杭成矿带(南西段)特征与成矿规律[J]. 矿物学报, 2009, (增刊): 423.
- [164] 水涛. 绍兴—江山古陆碰撞带研究及矿产资源勘查[J]. 浙江国土资源, 2007, (2): 41—44.
- [165] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律 [J]. 地质学报, 2011, 85(5): 636—658.
- [166] 陈毓川, 毛景文, 等. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1995.
- [167] 邵兆典, 王道利, 张妮. 广西岩浆与热液矿床成矿系列划分[J]. 广西地质, 1997, 10(4): 11—22.
- [168] 陈懋弘, 莫次生, 黄智忠, 等. 广西苍梧县社洞钨钼矿床花岗岩类锆石LA-ICP-MS和辉钼矿Re-Os年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(6): 963—978.
- [169] 周永章, 曾长育, 李红中, 等. 钦州湾—杭州湾构造结合带(南段)地质演化和找矿方向[J]. 地质通报, 2012, 31(2-3): 486—491.

Research History and Current Situation of Qinzhou–Hangzhou Metallogenic Belt, South China

XU De–Ming¹, LIN Zhi–Yong², LONG Wen–Guo¹, ZHANG Kun¹, WANG Lei¹, ZHOU Dai¹,
HUANG Hao¹

(1. Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430205, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: The Qinzhou–Hangzhou (Qi–Hang) joint belt is located along the Neoproterozoic suture zone in South China, which separates the Yangtze and Cathaysian Blocks. This paper summarizes the proposed process and geological characteristics of the Qin–Hang joint belt and Qing–Hang Metallogenic Belt, as well as the research history and present situation of tectonic evolution of South China block and Cathaysian block. In mid–1980s, the subduction/collision model between the Yangtze and Cathaysia Blocks was proposed based on the comprehensive understanding of the Cathaysia; followed in early–1990s, the Qin–Hang joint belt and Qin–Hang metallogenic belt were gradually proposed, which was an important turning point and contributed hugely in the tectonic and regional metallogenic studies of South China. This metallogenic belt play an important role in reconstructing the tectonic framework of South China, as well as in discussing the worldwide Grenvillian orogenesis, break–up history of the supercontinent Rodinia and the Neoproterozoic explosive mineralization. Previous studies of the Qin–Hang metallogenic belt have focused on the rock assemblages, tectonic features, geophysical information, metallogenesis, however, much of geological and regional metallogenic issues have no clear conclusion because of its not long research history, hence we proposed some problems worthy of studying and expected to make a breakthrough in the following years.

Key words: Qinzhou–Hangzhou joint zone and metallogenic belt; tectonics of South China; Cathaysian block; research history; progress

《华南地质与矿产》

2013 年 第 1 期 要目预告

南岭地区加里东期花岗岩地球化学特征、岩石成因和含矿性评价·····	程顺波等
广西栗木钨锡稀有金属矿床碱长花岗岩的厘定·····	王艳丽等
雅康高速公路二郎山隧道隧址区主要断裂活动性及其对工程的影响·····	周琳雄等
常规次生晕法在闽东南火山岩区找矿的成果及地质意义·····	朱启象等
湖南前寒武系金矿特征及成矿规律·····	刘升友等
大邑地区须二段物源及沉积相探讨·····	葛忠伟等
济阳拗陷不同区带构造样式发育与油气富集差异性分析·····	丁桔红