

区域成矿规律对华南大地构造属性的联系

胡受奚¹ 徐金芳²

(1. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 国土资源部矿产资源储量评审中心, 北京 100035)

摘要:关于华南大地构造属性, 长期存在古陆或克拉通与地槽褶皱带或造山带两种观点。根据华南很少出露早前寒武纪地质体, 广泛发育1.0 Ga以后的巨厚地槽相沉积物, 经历了1.0 Ga以后的多旋回构造运动, 发育多期次花岗岩类等事实, 笔者认为华南是造山带, 而非古陆。考虑到世界著名地台或古陆均不产钨矿, 而华南是世界最重要的钨矿省, 本文通过分析钨等元素成矿地球化学原理, 结合介绍华南含钨花岗岩类的地球化学特点及其形成构造背景, 从区域成矿规律角度论证了华南是造山带。

关键词: 华夏古陆; 加里东造山带; Rodinia大陆; 钨成矿规律; 花岗岩类; 华南

中图分类号: P618.67; P54

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2008)06-1045-09

关于中国华南大地构造的属性存在两种对立的观点, 一是主张华南是古陆或克拉通, 二是主张华南是地槽褶皱带或造山带(详见下述)。自20世纪上半叶以来, 这两种观点一直存在着时起时伏的争论, 近20年来这两种观点的争论又有加剧的趋向。笔者认为, 实践是检验真理的标准, 通过摆事实、讲道理的争论, 问题定可得到正确解决, 并促进华南地质勘查工作的开展。

针对“华夏古陆”问题, 南京大学地球科学系于2006年召开了专门的讨论会, 并于《高校地质学报》2006年第4期出版讨论专辑。显然, 这对于活跃学术思想, 推动华南地质问题的研究是十分有益的。笔者认为, 华南北部是雪峰造山带, 它主要由中元古代(2.0~1.0 Ga)沉积物组成; 东南部是加里东造山带, 主要由新元古代和早古生代(Pt₃-Pz₁, 即10~4 Ga)沉积物所组成^[1]。考虑到矿床是研究大陆动力学的探针^[2], 本文则从区域成矿规律的角度探讨华南大地构造的属性及其发展演化。

1 两种对立的大地构造观点

1.1 古陆或克拉通观点

美国地质学家葛利普^[3]首先提出了“华夏古陆”

(Cathaysian old land)构造单元的概念。李四光先生^[4]首先(1937)支持华夏古陆的观点, 并指出“华南台块受华夏系控制”; 然而, 在1952年李四光先生的中译本《中国地质学》出版时, 他在该书前言中特别说明: “近十年来中国地质调查工作, 已使该书在许多地方需要修正和补充”。此后, 陈国达^[5]根据“华夏古陆”中生代岩浆活动十分强烈的特点, 提出了“华夏古陆活化区”和“地台活化”的观点。马杏垣等^[6]在承认华南是地背斜(褶皱带)的同时, 将浙闽沿海及诸岛划归“华夏古陆活化区”。尽管1958年在赣南地区发现了加里东期花岗岩^[7], 一些持“华夏古陆”观点的学者依旧认为赣南加里东花岗岩是侵入到前震旦纪罗峰溪群内的前震旦纪岩体^[8]。最近, 一些学者对葛利普的“华夏古陆”的范围、大小及分布位置等做了各种修改, 包括沿用“华夏古陆”的概念^[9-12], 或提出“华夏地块”^[13]、“华夏古陆块”^[14]或“扬子—华夏古陆统一体”^[15]等概念(详见参考文献^[1]评述)。也有一些学者甚至讨论了Rodinia古大陆与扬子古陆、华夏古陆关系^[16-24]。

1.2 褶皱造山带观点

黄汲清先生^[25]最早确定华南广大地区是加里东褶皱带, 他与合作者^[26-29]多次论证华南是加里东造山带。霍敏多夫斯基^[30]也认为华南是褶皱带。以徐克

勤和郭令智为代表的南京大学地质系长期认为“华南褶皱区位于华北地台以南和西南地台以东的广阔区域”,并通过多旋回沉积作用、岩浆作用和造山运动逐渐向南海方向实现多旋回大陆增生,自西北向东南依次为中元古代雪峰期褶皱区(Pt_2)、震旦—加里东褶皱区(Pt_3+Pz_1)、海西—印支褶皱带、印支—燕山褶皱带和喜山褶皱带^[31-39]。谢家荣先生^[40]认为闽北、浙南、云开可能属加里东地槽,并指出葛利普所认为的平潭—南澳变质岩带不是华夏古陆的一部分,而是古生代地槽轴心部分^[41-42]。许靖华等^[43]明确指出“是华南造山带而不是华南地台”。周祖翼^[44]在分析华南构造问题时所得出的结论是:“作为一个地质概念‘华夏古陆’显然是僵化的”。

2 华南是地槽褶皱带——造山带,而非古陆

“地台”、“古陆”、“克拉通”等概念来源于普遍观察到的一个基本事实,即“强烈变质变形的早前寒武纪结晶基底+未变质变形(或者轻微变质变形)的晚前寒武纪及显生宙盖层”,如南非、西伯利亚、印度、西澳、加拿大、华北等地台或古陆;造山带则由初生地壳、来自古陆的沉积物以及一些小规模的古陆碎块(地体)组成,显生宙造山带的物质常常给出早前寒武纪甚至太古宙的同位素年龄,已知喜马拉雅、秦岭、天山、兴蒙造山带等均有太古宙的同位素年龄记录。以上应该是一种最基本的常识,也是讨论区域地质单元构造属性的根本性基础和逻辑。如果失去了这些基本常识、基础和逻辑,任何地质问题都会陷入无休止的低水平争论之中;如果取消了对古陆或地台之结晶基底或盖层的时代约束,几乎所有年轻造山带均可因其发育第四系“盖层”而被重新论证为“古陆”,这样的“古陆”厘定或讨论似乎没有科学价值,反而引导地质科学研究走向误区。

按照上述基本认识,我们再审视华南,认为华南是一地槽褶皱带或造山带,而远非地台或古陆,主要依据是:

2.1 “早前寒武纪基底”含有大量早古生代标准化石

在华南下古生代系中发现大量早古生代标准化石,有力地证明华南是造山带,而不是“华南地台”或“华夏古陆”。在华南地区,前泥盆纪浅变质岩系龙山群广泛分布早期,由于龙山群中极少发现化石,因此

曾被错误地划为早前寒武系,华南因广泛发育龙山群而被作为华南地台或华夏古陆。然而,1949年后,在华南地区的变质地层中陆续发现了多种属于显生宙的标准化石分子,尤其是1962年南京大学地质系组织了30多人的专门队伍对赣南前泥盆纪浅变质地层进行系统的剖面测量和古生物化石研究,在下寒武统荷塘组中找到丰富的原始海绵骨针*Protospongia* sp和三叶虫*Hunancephalus* sp.;在中—上寒武统八村群中找到原始海绵骨针和小型无铰纲腕足类化石;在下奥陶统宁国组中找到*Didymograptus*等10多种笔石化石;在中奥陶统胡乐组等相当地层内发现了包括*Dicellograptus*等10种笔石在内的化石层位;在上奥陶统的沙村群中找到*Micropania* sp等3种三叶虫以及笔石和介形类化石等^[45]。同时,许多地质队在早先被作为“华南地台”或“华夏古陆”基底的地层内也发现了早古生代标准化石,并测得大量可信的同位素测年资料(剔除不可信年龄,如碎屑锆石年龄、Nd模式年龄等),证实江南地背斜的下古生界与其以南震旦—加里东地槽褶皱带中的地层具有同时代性。对于有争议的云开地区,叶伯丹^[46]通过收集150个测年资料,揭示了加里东地槽褶皱作用客观存在以及印支运动的叠加。

2.2 显著变形变质的巨厚震旦—加里东期沉积物

国外学者^[47-50]等非常重视研究地壳演化发展过程中的格林威尔构造旋回,部分学者^[50]甚至将海西、中—新生代造山旋回也列入此旋回中。为表述方便,并结合华南地质实际,我们将该旋回限制在1.0~0.4 Ga内,即相当于新元古代—早古生代时期,称震旦—加里东旋回。震旦—加里东旋回在华南具有多幕性造山运动的特点,从老到新,包括武陵造山幕、澄江造山幕、铜湾造山幕、郁南造山幕、崇余造山幕、塔康造山幕、北流造山幕和使整个地槽褶皱回返的广西造山幕(图1)。其中,广西运动(狭义的加里东运动或加里东运动的最晚造山幕)使华南新元古代—早古生代地层(即震旦—加里东构造层)强烈褶皱变形,造成泥盆纪—三叠纪地层(即海西—印支构造层)普遍高角度不整合覆盖其上,使上下两套构造层在沉积相、岩性组合、构造变形等方面具有根本性差异。

在华南造山带中,新元古代—早古生代沉积物厚度经常超过10000 m,甚至达20000 m以上。例如,据黄汲清和任纪舜^[49]以及中南区域地层表编写组^[51],江西

加里东运动（极强）	Pz ₂	0.4Ga	震旦—加里东构造旋回	
北流运动（中等）	S ₂			
塔康运动（较强）	S ₁			
崇余运动（较强）	O ₃			
	O ₂			
	O ₁			
	Є ₃	1.0Ga		
郁南运动（较弱）	Є ₂			
铜湾运动（升降）	Є ₁			
澄江运动（中等）	Z ₂			
	Z ₁			
武陵运动（极强）	Pt ₂			

图1 震旦—加里东构造旋回的幕式造山事件
Fig. 1 Episodic orogenic events in the Sinian-Caledonian tectonic cycle

泰和地区的加里东期地层总厚度达21627 m，震旦纪—奥陶纪地层厚度在永新地区达15941 m，崇义地区超过8833 m，而龙南地区则为14371 m；福建建阳地区震旦纪—志留纪沉积地层厚达13753 m，长汀地区的测厚度>6928 m（震旦纪、志留纪部分出露），邵武—长汀和三明—龙岩地区寒武纪—奥陶纪地层厚达8170 m。另据李兼海和葛如庚(内部资料)，该区震旦系总厚度在11054 m以上，包括震旦系在内的加里东期构造层的总厚度在20000 m左右。湖南省的震旦纪地层普遍没有出露，其汝城地区寒武纪—奥陶纪地层厚度达10354 m，仅上寒武统上段地层厚度就达5943 m；道县地区震旦纪—志留纪地层厚度为10716 m。广西震旦系主要出露在北部，其最大厚度达9000 m以上；广西南部主要发育呈东西走向的下古生界，容县小区下古生界厚达12137 m；广西东部鹰阳关地区震旦纪—早志留世的复理石建造厚达29999 m。广东的震旦纪—早古生代地层出露不完整，但寒武系的八村群分布广泛，其厚度达6500 m^[51-55]。值得强调，如此厚度的复理石或浊积岩系“盖层”，是世界范围的地台或克拉通地区所未见到的。

还应指出，华南震旦—加里东期构造层内部各时代地层的发育情况不同。在崇余运动之后，晚奥陶世及志留纪地层分布范围明显缩小，岩性也有变化，

甚至志留纪地层经常缺失；在井冈山东部，中奥陶统顶部有石英质砾岩层发育，表明具有全球规模的塔康造山幕在华南地区也有响应，华南在震旦—加里东旋回(即新元古代—早古生代)中表现出多旋回构造运动的特征。

2.3 震旦—加里东期沉积物性质——地槽相沉积物

1958年，笔者与季寿元等在洛谢夫指导下对江西大余地区寒武纪地层进行综合地质剖面测量，发现该套地层具有十分明显的韵律性和序律层序（鲍马序列），确定其为一套地槽相沉积的复理石建造。我们的认识得到徐克勤教授的肯定，他多次强调加里东造山带中发育了这套地槽相的地层岩石组合^[34-36]。而且，R. G. Taylor和P.J. Pollard 等国外学者也充分肯定这套地层确属地槽相的浊积岩系，并认为与世界其他钨矿省的浊积岩建造相当（1992年西华山和漂塘钨矿地质联合考察过程的现场学术交流）。事实上，华南广泛分布的巨厚震旦—加里东期沉积物多属地槽相沉积物。

3 钨矿区域成矿特征

世界著名的地台、地盾或克拉通都几乎没有钨矿床。例如，属于劳亚古大陆体系的俄罗斯地台(包括波罗的地盾)、西伯利亚地台、北美地台和属于冈瓦纳体系古大陆体系的印度地台、巴西地台、澳洲中西部地台、非洲地台区内，都几乎不产重要的与花岗岩有关的钨矿床以及相关的Sn、Li、Be、Ta(Nb)、HREE、Mo、U等矿床。相反，这些矿床却产在显生宙造山带(或大陆增生带)内，例如，阿尔卑斯造山带的西班牙、葡萄牙等，古生代造山带的英国康瓦尔，中生代的贝加尔造山带，以及中南半岛显生宙造山带的缅甸、马来西亚、泰国等地区；澳大利亚东南部显生宙造山带、北美地台西部的科迪勒拉造山带、巴西地台西部的安第斯造山带等^[56-57]。而且，富钨的造山带往往发育大量高成熟度的显生宙地槽相沉积物区。

按照上述规律，华南是世界钨资源最丰富的地区，钨产量占世界总产量75%以上；如果认为华南是古陆、地台或克拉通，就完全违背了区域成矿理论。相反，如果钨矿床主要产于克拉通或古陆区，人们不禁要问，华北克拉通和扬子克拉通为什么不蕴涵大量钨矿床呢？同时，在华南北部的雪峰造山带或哈德逊旋回造山带中，钨等矿床却明显少于或贫于其东

南部的加里东造山带或格林威尔造山带 (1.0~0.4 Ga)呢? 要解决这些问题,不仅需要大地构造演化理论,还要求掌握地球化学知识和区域成矿理论。

3.1 钨成矿地球化学原理和规律

一般将元素分为亲氧、亲硫和亲铁元素,而钨是亲氧元素,因此认为与钨矿床有关花岗岩类属于陆壳改造型,因为这类花岗岩富含亲氧元素。事实上,要更好认识陆壳改造型花岗岩的成矿专属性^[58],还需要掌握现代化学领域的软硬酸碱(即SHAB)理论。在元素或离子中,F是最硬的碱,它可以打断Si-O-Si间的桥键;电价高、半径小的离子,如W⁶⁺、U⁶⁺、Mo⁶⁺、Ta⁵⁺、Nb⁵⁺、Sn⁴⁺、REE³⁺、Be²⁺等,极易与F络合而形成各种络阴离子,因此它们在地球化学上被称为亲氟元素;这些络阴离子在富K⁺溶液中稳定,易于形成成矿溶液而迁移富集,从而在一定的物理化学条件下集中成矿^[59]。

事实上,与钨矿床有关的改造型花岗岩的最佳源区物质是高成熟度的显生宙地槽沉积物,因为这类沉积物具有较高的K/Na和F/Cl比值。在初始地壳或有关的岩浆岩中,钾与钠,氟与氯的含量是接近的,但现代海水中K含量明显低于Na,F明显低于Cl(相差约30倍),原因是它们的地球化学特征决定其在风化-沉积过程中发生分离,即钾和氟被沉积物所吸附或化合,而钠和氯却留在海水中。所以,K/Na和F/Cl比值被作为沉积物成熟度的标志,也被作为区分陆壳改造型与同熔型花岗岩或S型与I型花岗岩类的地球化学标志。显然,高的K/Na和F/Cl比值是改造型或S型花岗岩的特征,也是与钨矿床有关的花岗岩的特征。

3.2 华南与钨矿床有关的花岗岩类的岩石化学特征

K/Na比值。大量研究表明,华南与钨等矿床有关的陆壳改造型花岗岩明显富钾而贫钠^[14,31,33,59]。需要指出,与钽(铌)等元素有关的交代蚀变花岗岩中,可见上部钠含量高于钾含量的异常情况,原因在于岩体下部普遍钾化,使钠逐步向上迁移,从而造成上部钠含量高于钾含量^[57]。

F/Cl比值。据徐金方^[60]研究,华南与钨等矿床有关的陆壳改造型花岗岩明显富氟而贫氯(图2),因此富含W⁶⁺、U⁶⁺、Mo⁶⁺、Ta⁵⁺、Nb⁵⁺、Sn⁴⁺、Mo⁴⁺、REE³⁺、Be²⁺等组分的矿床中经常发育含氟矿物,如萤石、氟磷酸铁锰矿和黄玉等。

富硅过铝。富硅、铝过饱和是共识的华南与钨有

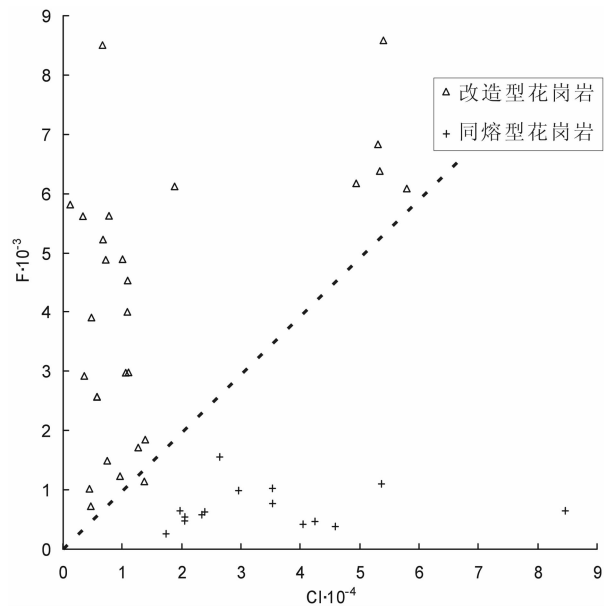


图2 华南改造型和同熔型花岗岩中氟-氯含量
Fig.2 Contrasting F and Cl contents between syntex and transformation granites in South China

关的陆壳改造型花岗岩的突出特征^[33,59],该特征表明源区地层中石英和硅质岩的含量高,粘土矿物含量高,但钙含量低,只是花岗岩岩浆起源于成熟度较高的碎屑沉积物。

3.3 华南与钨矿有关的花岗岩的稀土地球化学特征

就稀土元素配分曲线而言,与钨等矿床有关的花岗岩的特征明显不同于与地幔物质有关的或克拉通地区的花岗岩,具体差异及其地球化学原因是:

(1)与钨等矿床有关的花岗岩类的稀土配分曲线属于左倾型或平坦型,而与地幔物质有关的花岗岩或克拉通地区的早前寒武纪花岗岩多属陡倾斜的右倾型^[61],表明前者较后者而富集重稀土^[62]。其原因是镧系收缩导致稀土元素的离子半径随原子序数增大而减小,从La³⁺=1.22×10⁻¹⁰ m,缩小到Lu³⁺=0.99×10⁻¹⁰ m。因此重稀土和钨、钽、铀等小离子半径或高价离子被称为亲氟元素,与成熟度高的沉积物及其改造而成的花岗岩有成因关系,也即与显生宙造山带的改造型花岗岩有关。

(2)华南与钨等元素矿物有关的陆壳改造型花岗岩具有明显的Eu负异常或亏损(图3)。Eu为变价元素,在地壳深部还原条件下常呈Eu²⁺,使离子半径从Eu³⁺的1.13×10⁻¹⁰ m变大到1.24×10⁻¹⁰ m,与氟的亲

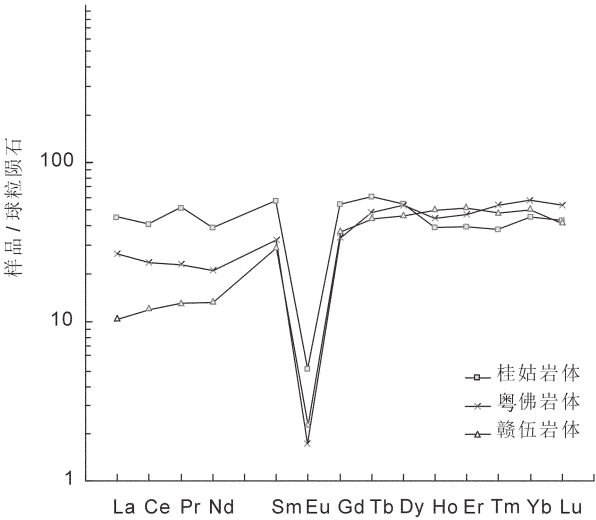


图3 稀土矿化花岗岩中的稀土元素分布模式^[62]
Fig.2 REE patterns for REE-mineralized granites
in South China^[62]

和力大大降低,易于与半径相近、电价相同 Ca^{2+} 的类质同象,富集于斜长石、辉石等含钙矿物中,造成下地壳铕正异常,而上地壳壳源改造型花岗岩类具有明显的铕负异常。

(3)与钨、稀土成矿有关的华南改造型花岗岩或矿床中,常见磷钇矿、氟碳钇矿、硅铍钇矿等标志性矿物。相同价态的离子半径越小而其作为酸的硬度越大,因此重稀土离子相对于轻稀土离子而表现为更强的硬酸^[63],与 F^- 、 PO_4^{3-} 、 SiO_4^{4-} 等硬碱的亲合力更大^[59],造成富氟、硅、钾和铝的改造型花岗岩易于富集重稀土。就钇元素而言,其地壳中的含量较高,离子半径居HREE之中间,常被作为重稀土元素的一员,重稀土元素也常被称为钇族稀土元素,因此,与钨、稀土成矿有关的华南改造型花岗岩或矿床中常见磷钇矿、氟碳钇矿、硅铍钇矿等矿物。

总之,稀土元素的地球化学性质决定与陆壳改造型花岗岩有关的钨、稀土等成矿系统富集重稀土和钇,而克拉通或裂谷环境的花岗岩类和稀土矿床往往富集轻稀土,后者如白云鄂博、牦牛坪等^[64]。

3.4 华南与钨矿有关的花岗岩类的同位素地球化学特征

据研究^[33,65-66],华南与钨矿床有关的花岗岩之初始锶同位素比值($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i明显大于0.705。例如,西

华山花岗岩($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i值为0.7178、0.7494,大吉山花岗岩为0.7189和0.7128,黄沙坪花岗岩为0.7294,邓埠仙花岗岩为0.7226,千里山花岗岩为0.7121,珊瑚花岗岩为0.7204,栗木花岗岩体为0.7332、0.7174,香花岭花岗岩为0.7464,等等。它们普遍大于0.710,原因是其源区物质以显生宙地槽沉积岩为主,而地槽沉积物富集大离子半径Rb元素的缘故。

研究表明^[33,65-66],华南与钨、锡等矿床有关的花岗岩具有较高的氧同位素组成,其 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 普遍大于10‰。主要原因是其源区物质富含具有较高 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值的碎屑石英或硅质沉积物,即花岗岩浆来自显生宙地槽沉积物。

3.5 华南多旋回构造-岩浆事件与钨矿化的关系

经过对华南花岗岩与钨矿化关系的长期研究,南京大学地质学系^[31-33]得出的重要结论是:华南多旋回性的构造运动和花岗岩演化是与花岗岩有关的钨等矿床成矿的重要条件。华南经历了中新元古代以来的多次构造运动(图1),伴随了多旋回的花岗岩浆活动,由早期陆壳改造型花岗岩向晚期陆壳改造型演化时,钾、氟及亲氟元素逐步富集,含量增高,导致晚期晚阶段花岗岩更有利于钨等亲氟元素矿化,使重要钨等矿床主要与燕山期花岗岩有关。与世界上其他显生宙造山带或大陆增生带相比,华南地区经历了更显著、更多次的构造运动和花岗岩浆活动,因此钨等矿床成矿条件优越,使华南成为世界最重要的钨等矿床成矿省。另一方面,多旋回的显生宙构造事件和花岗岩浆活动也证明华南是显生宙造山带或地槽褶皱带,而非古陆或地台。

总之,华南钨矿化及其相关花岗岩的特征证明华南是典型的显生宙造山带。

4 关于Rodinia古大陆及其与华南关系问题

近年一些学者^[16-24]发表多篇论文讨论“华夏古陆”及其与扬子古陆和Rodinia古陆的关系,引起不少学者关注。笔者认为,与冈瓦纳、劳伦和潘基纳古大陆假说相比,Rodinia古大陆是新提出的概念,研究工作尚处在一个初步阶段,相关假说有待于实际资料充实、修正和完善。

如果将Hoffman^[67]绘制的Rodinia古大陆图与李献华等^[16-19]、李正祥^[20-24]关于扬子古陆、“华夏古陆”进行对比,就发现二者之间存在显著不同。Hoffman

重视了格林威尔造山带(<1.0 Ga)在全球古陆演化发展过程中的重要性,并充分表示在图上,但忽视了哈德逊旋回造山带(即2.0~1.0 Ga时期的造山带,相当于华南的雪峰或江南造山带)在古大陆发展演化过程中的重更性。相反,李等重视了2.0~1.0 Ga期间构造运动在“华夏古陆”和扬子古陆的重要性,但忽视了格林威尔旋回造山带(即华南的震旦—加里东旋回造山带)的重要性。事实上,格林威尔旋回造山带在华南陆壳形成过程中的重要性是不容忽视的(前已论述),将地质证据确凿,如巨厚的浊积岩相沉积、强烈的褶皱、普遍的区域变质、与上覆地层普遍的不整合和各种地球化学特征等的范围广阔的震旦—加里东期造山带绘制成“华夏古陆”,不但与客观地质事实不符,而且致扬子古陆、“四堡期造山带”及其与“华夏古陆”之间的时空和成因关系很难合理阐明。更重要的是,格林威尔期造山带不仅在北美西部和东北部广泛发育,而且在欧洲大陆西部、中亚造山带、秦岭造山带、中南半岛、澳大利亚东部等地区也广泛发育,这是讨论和研究全球古大陆发展演化的最重要依据之一。

此外,李等还在扬子古陆南部绘出一条范围广泛的東西向的四堡期造山带(相当于哈德逊旋回造山带),在其北面绘制了范围广大的扬子古陆。此也与地质实际不符,其西面应是具有古老基底的西南地台或扬子地块,中间应是分割中国东部和西部的武陵山断裂带^[28]。

致谢: 北京大学地球与空间科学学院研究生汤好书同学帮助绘制图件,王运同学帮助查找和整理文献,陈衍景博士校对了文字表述,特此致谢!

参考文献(References):

[1] 胡受奚,叶瑛.对“华夏古陆”、“华夏地块”及“扬子—华夏古陆统一体”等观点的质疑[J].高校地质学报,2006,12(4):432-439.
Hu Shouxi, Ye Ying. Questions to “Cathaysia old Land”, “Cathaysia Block” and “United Yangtze—Cathaysia old Land” of South China [J]. Geological Journal of China Universities. 2006, 12 (4):432-439(in Chinese with English abstract).

[2] 陈衍景,赖勇,李文博.矿床是大陆动力学研究的理想探针[C]//陈骏(主编).地质与地球化学研究进展.南京:南京大学出版社,2006:279-284.
Chen Yanjing, Lai Yong, Li Wenbo. Ore deposits as the probe to continental geodynamics [C]// Chen Jun (ed.). Progresses in Geological and Geochemical Studies. Nanjing:Nanjing University Press, 2006:279-284(in Chinese).

[3] Grabau A W. Migration of Geosynclines. The National Geological Survey of China, 1924:208-237.

[4] 李四光.中国地质学[M].上海:正风出版社,1952:168.
Li Siguang. Chinese Geology [M]. Shanghai:Zhengfeng Publishing House, 1952:168(in Chinese).

[5] 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,(3):229-272.
Chen G D. Examples of activation area in China with emphasis on the problems of “Cathaysia old Land” [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1956, (3):229-272(in Chinese).

[6] 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,(1):30-44.
Ma Xingyuan, You Zhendong, Tan Yingjia, et al. Several essential questions about the tectonic structures of China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1961, (1):30-44.

[7] 徐克勤.江西省南部加里东花岗岩的发现[J].地质论评,1960,2:112-114.
Xu Keqin. Discovery of Caledonian granite in the South of Jiangxi Province[J]. Geological Review, 1960, 2:112-114(in Chinese with English abstract).

[8] 中国科学院地质研究所.中国大地构造纲要[M].北京:科学出版社,1959:320.
Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences. China Geotectonic Outlines[M]. Beijing:Science Press, 1959:320(in Chinese).

[9] 水涛,徐步台,梁如华,等.绍兴—江山古陆对接带[J].科学通报,1986,(6):487-489.
Shui Tao, Xu Butai, Liang Ruhua, et al. Shaoxing -Jiangshan amalgamated zone of old lands [J].Chinese Science Bulletin, 1986, (6):487-489(in Chinese).

[10] 水涛,徐步台,梁如华,等.中国东南大陆基底构造格局[J].中国科学(B辑),1986,(4):414-422.
Shui Tao, Xu Butai, Liang Ruhua, et al. Tectonic framework of the basement of South China continent [J].Science in China (Series B), 1986, (4):414-422(in Chinese).

[11] 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,1988:85.
Shui Tao, Xu Butai, Liang Ruhua, et al. Geological Basement of Zhejiang -Fujian Provinces:A Discussion on Precambrian Geochronology[M]. Beijing:Science Press, 1988:85(in Chinese).

[12] 王鸿祯,乔秀夫.中国元古代构造单元边界的性质[C]//中国地质科学院等编.国际晚前寒武纪地质讨论会,1983:40.
Wang Hongzhen, Qiao Xiufu. Proterozoic geotectonic units of China and the nature of their boundaries [C]//Academy of Geological Sciences (ed.). Proceedings of Symposium on Late Precambrian Geology, 1983:40(in Chinese).

[13] 王鹤年,张守韵.华夏地块韧性剪切带型金矿地质[M].北京:科学出版社,1992,180.
Wang Henian, Zhang Shouyun. Gold Deposits in Ductile Shear Zone of the Cathaysia Massif[M]. Beijing: Science Press, 1992:180 (in Chinese).

- [14] 王德滋, 周新民. 中国晚中生代花岗岩火山—侵入杂岩成因与地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 2002:295.
Wang Dezi, Zhou Xinmin. Granitic Volcanos in Late Mesozoic Era of China: Causes of Intrusive Complex and Crustal Evolution [M]. Beijing: Science Press, 2002:295(in Chinese).
- [15] 陈毓川, 毛景文. 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, 1995:433.
Chen Yuchuan, Mao Jingwen. Metallogenic Series of Ore Deposits and Metallogenic Evolution through Geologic History in Northern Guangxi [M]. Nanning: Guangxi Sci. & Tech. Press, 1995:433(in Chinese).
- [16] Li X H. Timing of the Cathaysia block formation: Constraints from SHRIMP U—Pb zircon geochronology [J]. Episodes, 1997, 20: 188–192.
- [17] Li X H. U—Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze block: Timing of the Neoproterozoic Jinning orogeny in SE China and implications for Rodinia [J]. Precambrian Research, 1999, 97:43–57.
- [18] Li X H, Li Z X, Zhou H W, et al. U—Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: Implications for the initial rifting of Rodinia [J]. Precambrian Research, 2002, 113:135–154.
- [19] Li X H, Li Z X, Ge W, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca 825Ma? [J]. Precambrian Research, 2003, 122:45–83.
- [20] Li Z X, Zhang L H, Powell C M A. South China in Rodinia: part of the missing between Australia—East Antarctica and Laurentia? [J]. Geology, 1995, 23:407–410.
- [21] Li Z X, Zhang L H, Powell C M A. Position of the East Asian cratons in Neoproterozoic supercontinent Rodinia [J]. Australian Journal of Earth Science, 1996, 43:593–604.
- [22] Li Z X, Li X H, Zhou H W, et al. Grenvillian continental collision in South China: new SHRIMP U—Pb zircon results and implication for the configuration of Rodinia [J]. Geology, 2002, 30: 163–166.
- [23] 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 superplume that broke up Rodinia [J]. Precambrian Research, 2003, 122:85–109.
- [24] 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, 36:51–66.
- [25] 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, 20:162.
Huang Jiqing. The Major Geotectonic Units in China [J]. Bulletin of China Geological Survey, 1945, 20:162(in Chinese).
- [26] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 对中国大地构造若干新特点的认识 [J]. 地质学报, 1974, 1:36–52.
Huang Jiqing, Ren Jishun, Jiang Chunfa, et al. Some new observations on the geotectonic characteristics of China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1974, 1:36–52(in Chinese).
- [27] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化 [M]. 北京: 科学出版社, 1980:124.
Ren Jishun, Jiang Chunfa, Zhang Zhengkun, et al. The Geotectonic Evolution of China [M]. Beijing: Science Press, 1980: 124(in Chinese).
- [28] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈构造演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1990:205.
Ren Jishun, Chen Tingyu, Niu Baogui, et al. Tectonic Evolution of the Continental Lithosphere and Metallogeny in Eastern China and Adjacent Areas [M]. Beijing: Science Press, 1990:205 (in Chinese with English abstract).
- [29] 任纪舜, 陈廷愚, 刘志刚, 等. 华南大地构造的几个问题 [J]. 科学通报, 1986, (1):45–51.
Ren Jishun, Chen Tingyu, Liu Zhigang, et al. Several issues to the tectonic structures of South China [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, (1):45–51(in Chinese).
- [30] 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, (4):243–297.
Хоментовский А С. Basic Characteristics of Geological Structure in East China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1952, 4:243–297.
- [31] 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系研究 (上、下册) [M]. 北京: 中华人民共和国科学技术委员会, 1966:364.
Department of Geology, Nanjing University. Research About the Granitoids of Different Geological Periods and Their Metallogenetic Relations, South China [M]. Beijing: National Committee on Science and Technology, 1966:364(in Chinese).
- [32] 南京大学地质系. 中国东南部不同时代花岗岩类及其与某些金属矿床的成矿关系 [J]. 地质学报, 1974, (1):53–62.
Department of Geology, Nanjing University. Granitoids of different geological times and their relation with some metallic deposits, Southeast China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1974, 1:53–62 (in Chinese).
- [33] 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系 [M]. 北京: 科学出版社, 1981:395.
Department of Geology, Nanjing University. Granitoids of Different Geological Periods and Their Metallogenetic Relations, South China [M]. Beijing: Science Press, 1981:395(in Chinese).
- [34] 徐克勤, 胡受奚, 俞受均, 等. 南岭及其邻区不同时代的花岗岩侵入体及其成矿专属性的探讨 [J]. 南京大学学报, 1962, (1):1–19.
Xu Keqin, Hu Shouxi, Yu Shoujun, et al. Study of the multi—stage granite intrusions and their metallogenetic exclusivity in South Range and its adjacent areas [J]. Journal of Nanjing University, 1962, (1):1–19(in Chinese).
- [35] 徐克勤, 孙乃, 王德滋, 等. 华南多旋回花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性 [J]. 地质学报, 1963, (1):1–26.
Xu Keqin, Sun Nai, Wang Dezi, et al. The emplacement time, petrological characteristics, spatial distribution and metallogenetic

- exclusivity of poly-cyclic granitoids in South China (I) [J]. Acta Geologica Sinica, 1963, (1): 1-26(in Chinese).
- [36] 徐克勤, 孙乃, 王德滋, 等. 华南多旋回花岗岩类的侵入时代、岩性特征、分布规律及其成矿专属性 (II) [J]. 地质学报, 1963, (2): 141-152.
- Xu Keqin, Sun Nai, Wang Dezi, et al. The emplacement time, petrological characteristics, spatial distribution and metallogenic exclusivity of poly-cyclic granitoids in South China (II) [J]. Acta Geologica Sinica, 1963, (2): 141-152(in Chinese).
- [37] 郭令智, 俞剑华, 施央申. 华南加里东地槽褶皱区大地构造的几个问题的探讨 [J]. 南京大学学报(地质版), 1963, 2: 1-12.
- Guo Lingzhi, Yu Jianhua, Shi Yangshen. The discussion of several issues to the Caledon folded region tectonic structures of South China [J]. Journal of Nanjing University (Geology Edition), 1963, 2: 1-12(in Chinese).
- [38] 郭令智, 俞剑华, 施央申, 等. 华南加里东地槽褶皱区构造发展的基本特征 [C]//陈国达(ed.). 中国大地构造问题. 北京: 科学出版社, 1965: 165-183.
- Guo Lingzhi, Yu Jianhua, Shi Yangshen, et al. The basic features of the Caledon folded region tectonic evolution of South China [C]//Chen Guoda (eds.). Tectonic Problems of China. Beijing: Science Press, 1965: 165-183(in Chinese).
- [39] 郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大地构造格架和地壳演化 [C]//国际交流学术论文集(1). 北京: 地质出版社, 1980: 109-116.
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi. Tectonic framework and crustal evolution of South China [C]//Contributions to 26th International Geological Congress, (1). Beijing: Geological Publishing House, 1980: 109-116(in Chinese).
- [40] 谢家荣. 中国东南地区大地构造主要特征 [M]. 北京: 科学出版社, 1965: 164.
- Xie Jiarong. The Characteristics of Tectonic Structures in Southeast China [M]. Beijing: Science Press, 1965: 164(in Chinese).
- [41] 谢谠克, 郭坤一, 赵连才, 等. 福建沿海长乐—南澳变质带的 O—Nd—Sm 同位素特征 [J]. 资源调查与环境, 1986, 4: 66-77.
- Xie Douke, Guo Kunyi, Zhao Liancai, et al. O—Nd—Sm isotopes of the Changle—Nanao metamorphic zone off the coast of Fujian [J]. Resources Survey & Environment, 1986, 4: 66-77 (in Chinese with English abstract).
- [42] 谢谠克, 商玉强, 张宗清, 等. 东南沿海基底杂岩的同位素年代学研究 [J]. 南京地质矿产研究所刊, 1989, (3): 24-34.
- Xie Douke, Shang Yuqiang, Zhang Zhongqing, et al. Isotope geochronology of Southeast China basement complex [J]. Bulletin of Nanjing Institute of Geology & Mineral Resources, 1989, (3): 24-34(in Chinese with English abstract).
- [43] 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, 10: 1107-1115.
- Xu Jinghua, Sunshu, Li Jiliang. South China orogenic belt, not South China platform [J]. Science in China (Series B), 1987, 10: 1107-1115(in Chinese).
- [44] 周祖翼. 东南沿海基底研究述评 [J]. 福建地质, 1989, 8(1): 46-53.
- Zhou Zhuoyi. The study on the basement of southeast China: A review [J]. Fujian Geology, 1989, 8(1): 46-53(in Chinese).
- [45] 张浅深, 俞受鋈, 黄建辉, 等. 江西南部前泥盆系的初步认识 [J]. 地质学报, 1964, 4: 388-404.
- Zhang Qianshen, Yu Shoujun, Huang Jianghui, et al. A preliminary study on Pre-Devonian strata in the southern Jiangxi Province [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1964, 4: 388-404(in Chinese).
- [46] 叶伯丹. 两广云开地区同位素地质年龄数据及其地质意义 [J]. 广东地质, 1989, 3: 39-55.
- Ye Bodan. Isotopic geochronological data of Yunkai Region in Guangdong—Guangxi Provinces and their geological significance [J]. Guangdong Geology, 1989, 3: 39-55(in Chinese).
- [47] Dearnley R. Orogenic fold-belts and a hypothesis of earth evolution [J]. Physics and Chemistry of the Earth, 1966, 7: 1-24.
- [48] Sutton J. Long-term cycles in the evolution of the continents [J]. Nature, 1963, 198: 731-735.
- [49] Stockwell C H. Geochronology of stratified rocks of the Canadian Shield [C]//Williams G E (ed.). Megacycles. Huchirson Ress Publishing Company, 1981: 49-54.
- [50] Gastile G. The distribution of mineral date in time and space [C]//Williams G E (ed.). Megacycles. Huchirson Ress Publishing Company, 1981: 19-40.
- [51] 中南地区区域地层表编写组. 中南地区区域地层表 [M]. 北京: 地质出版社, 1974: 534.
- Central-South China Regional Stratigraphic Time Scale Compilation Group. Regional Stratigraphic Time Scale of Central-South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1974: 534(in Chinese).
- [52] 浙江省区域地层表编写组. 华东地区区域地层表浙江省分册 [M]. 北京: 地质出版社, 1979: 161.
- Zhejiang Province Regional Stratigraphic Time Scale Compilation Group. Regional Stratigraphic Time Scale of East China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979: 161(in Chinese).
- [53] 广东省地质矿产局. 广东区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1988: 914.
- Guangdong Bureau of Geology and Mineral Resources. The Regional Geology of Guangdong Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 914(in Chinese with English abstract).
- [54] 江西省区域地层表编写组. 华东地区区域地层表江西省分册 [M]. 北京: 地质出版社, 1980: 205.
- Jiangxi Regional Stratigraphic Time Scale Compilation Group. Regional Stratigraphic Chart of Jiangxi [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 205(in Chinese).
- [55] 周国强. 广东地层研究现状及区域地层特征 [M]. 广东地质, 1995, 10(1): 1-6.
- Zhou Guoqiang. Present situation of stratigraphic research in Guangdong and regional stratigraphic features [M]. Guangdong Geology, 1995, 10(1): 1-6(in Chinese).
- [56] Seltman R, Kampf H, Moller P. Metallogeny of Collisional Orogens [J]. Prague: Czech Geological Survey, 1994, 448.
- [57] 胡受奚(主编). 矿床学(下册) [M]. 北京: 地质出版社, 1983: 248.

- Hu Shouxi(ed.). Mineral Deposits (Vol. 2)[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1983;248(in Chinese).
- [58] 胡受奚. 钠质和钾质系列火成岩和碱质交代作用的稀有元素的成矿专属性[C]//全国稀有元素论文集(第1集). 北京:科学出版社, 1972:91–94.
- Hu Shouxi. Alkaline alteration of sodic and potassic igneous rocks and its mineralization exclusivity of rare metals[C]//Contributions to Rare Metals of China (vol.1). Beijing:Science Press, 1972:91–94(in Chinese).
- [59] 胡受奚. 元素的地球化学分类及其在矿床学中的应用[M]. 矿床学参考书(上册). 北京:地质出版社, 1985:30–41.
- Hu Shouxi. The geochemical classification of elements and its application to studies of mineral deposits [M]. Reference Book of Mineral Deposits (Vol. 1). Beijing:Geological Publishing House, 1985:30–41(in Chinese).
- [60] 徐金芳. 脉状钨矿床成矿机制探讨[M]. 南京大学硕士论文, 1981.
- Xu Jinfang. On the metallogenic mechanism of vein-type tungsten deposits[M]. Msci Thesis of Nanjing University, 1981(in Chinese).
- [61] 徐兵, 胡受奚, 赵懿英, 等. 胶北地体早寒武纪地层的稀土演化特征[J]. 地球化学, 1995, 24 (增刊):105–114.
- Xu Bing, Hu Shouxi, Zao Yiyang, et al. The REE geochemical evolution of the early Precambrian stratigraphy in the Jiaobei terrane[J]. Geochemica, 1995, 24 (sup.):105–114(in Chinese).
- [62] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1989:535.
- Wang Zhongang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. Rare Earth Element Geochemistry [M]. Beijing:Science Press, 1989:535 (in Chinese).
- [63] Chen Y J, Zhao Y C. Geochemical characteristics and evolution of REE in the Early Precambrian sediments:evidences from the southern margin of the North China craton [J]. Episodes, 1997, 20 (2):109–116.
- [64] Xu C, Campbell I H, Kynicky J, et al. Comparison of the Daluxiang and Maoniuping carbonatitic REE deposits with Bayan Obo REE deposit, China[J]. Lithos, 2008, 106:12–24.
- [65] 张理刚. 东亚岩石圈块体地质[M]. 北京:科学出版社, 1995:252.
- Zhang Ligang. Geology of East Asia Lithosphere Block [M]. Beijing:Science Press, 1995:252(in Chinese with English abstract).
- [66] 于津生(主编). 中国同位素地球化学研究[M]. 北京:科学出版社, 1997:621.
- Yu Jinsheng (ed.). Isotope Geochemistry Research in China [M]. Beijing:Science Press, 1997:621.
- [67] Hoffman P F. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out?[J]. Science, 1991, 252:1409–1412.

The metallogeny of South China closely relationships to its geotectology

HU Shou–Xi¹, XU Jin–Fang²

(1.Department of Geosciences, Nanjing University, Nanjing 210093 Jiangsu, China;

2.Evaluation Center of Mineral Reserve, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035 China)

Abstract: The geotectonic nature of the South China has been debated for a long time between the Old Land or craton and the Folded Geosyncline or orogenic belt. The authors insist on that it is an orogenic rather than a cratonic area, because South China is rare of Early Precambrian terrains, widespread of huge volume of geosyncline–facies sediments with age of <1.0 Ga, significantly affected by multi–cyclic tectonic movements after 1.0 Ga, and developed with multistage Phanerozoic granitoids. Considering that famous platforms or Old Lands in the world do not contain tungsten deposit, and that South China is the most important tungsten metallogenic province in the world, in this paper the authors introduce the geochemical principles in W mineralizing processes, the geochemical characteristics and genetic tectonic setting of W–bearing granitoids in South China; and thereby, through study of regional mineralization, confirm that the South China is tectonically an orogenic belt.

Key words: Cathaysian Old Land; Caledonian orogenic belt; Rodinia Land; tungsten mineralization; granitoid; South China

About the first author: HU Shou–xi, male, born in 1929, Professor and director of ph.D students, engages in mineral deposit; E–mail: husx@retire.nju.edu.cn.