

全球前寒武纪基底构造格局与古大陆再造问题

王鸿祯, 张世红

(中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 全球前寒武纪基底构造格架与构造单元的划分是古大陆再造和泛大陆拼合的重要基础。本文整理了基底构造单元的级别体系, 以晋宁期和印支期为准, 提出了一级构造域、二级陆台及地区和三级陆核、地块等 3 级划分, 分出了 5 个一级、14 个二级和若干个三级单元, 并予以系统编号, 以便查询和增修。认为超大陆是泛大陆的组成部分, 现在重点研究的罗迪尼亚超大陆已经涉及全球, 进入了泛大陆 - 850 的研究范围。论证了中国 3 个陆台和华夏地区在新元古代晋宁期的位置关系, 认为它们相距不远, 并部分相互碰撞, 构成亚洲中轴(大华夏)构造域。讨论了罗迪尼亚的流行模式及 SWEAT 连接问题。指出新元古代 *Chuarina-Tawuia* 宏观藻组合在东亚和北美西部的分布, 认为大华夏构造域应作为一个松散的整体与劳伦古大陆相邻, 并概略讨论了泛大陆 - 850 的再造格局特征。提出了经过改进的泛大陆 - 250 在中二叠世(280257 Ma)的再造模式, 讨论了古植物和海生动物生物地理分区在古大陆再造中的意义。

关键词: 超大陆, 泛大陆, 古大陆再造, 构造域, 亚洲中轴, 大华夏, 生物古地理, 晋宁造山期。

中图分类号: P534.1; P53

文献标识码: A

文章编号: 1000-238X(2002)05-0467-15

作者简介: 王鸿祯(1916-), 男, 中国科学院院士, 教授, 博士生导师, 1939 年毕业于北京大学, 长期从事古生物学、地层学、古地理学、前寒武纪地质学、大地构造学和地质科学史的研究。E-mail: wwhongzhen@163.com

0 引言

古大陆再造是大地构造学和构造古地理学交叉研究形成的一个学科分支或研究手段。它以全球各大陆于地史时期在地球表面的相对位移为主要研究内容, 以古地磁学、生物古地理学及古气候学为主要依据, 以计算机自动成图为主要手段。由于全球构造单元的划分是以前寒武系基底构造格局及构造单元的划分和命名是古大陆再造的重要基础。

古大陆再造研究的一个重要方面是大陆拼合。拼合是指将原连为一体, 后经裂离的几个古陆块体按原方位重新拼接。例如, Bullard 等^[1]按现代地形海面下 500 英寻(1 英寻 = 1.828 8 m)等深线用计算机实现了大西洋两岸的拼合。对中生代以前的古

大陆拼合只能利用地质依据。例如近年对罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的再造, 主要依据之一是格林威尔(Grenville)期造山带的连接。由于泛大陆时期碰撞造山带、古气候和生物古地理等都有较明确的特征, 代表了地球史上的关键时期, 所以对泛大陆时期古大陆再造及拼合的研究在地球构造史上具有重要的意义。以下我们将分别讨论全球大陆基底构造格局、罗迪尼亚超大陆(即泛大陆 - 850 Ma, 简称 Pangea-850)的再造问题, 和泛大陆 - 250 Ma(简称 Pangea-250)的一些生物古地理特征。

1 全球陆壳基底构造格架及构造单元划分

自 20 世纪 70 年代中期以来, 先后出现的以显生宙为主, 也涉及元古宙的全球古大陆再造图所用的再造单元多是以现代海岸线为轮廓的地理单元^[410]显然不尽合理。1990 年以来, 围绕中、新元古代超大陆的大量文献和图件开始使用古构造单元

收稿日期: 2002-07-21

基金项目: 科技部“九五”期间攀登附加项目(95-专-04); 国土资源部“九五”基础研究项目(No. 9501105)。

轮廓^[117]. 我们在 20 世纪 80 年代开始研究古生代

表 1 全球前寒武系基底构造格局与构造单元划分命名

Table 1 World tectonic frame and coding of tectonic units in the Precambrian basement

构造域与构造单元		构造域与构造单元	
I .LRD	劳俄构造域 LAURUSSIAN TECTONIC DOMAIN		
I 1. NA	11000 北美陆台 North American Craton (Continental Platform)	II 2. KA	22000 科累马 - 阿拉斯加地区 Kolyma-Alaskan Region
CAS	11100 加拿大地盾 Canadian Shield	CM	22001 契尔斯基 - 阿莫隆地块 Cherski-Omolon Massif
Sl	11101 斯拉夫陆核 Slave Nucleus	OK	22002 鄂霍茨克地块 Okhotzk Massif
He	11102 希尔恩陆核 Heame Nucleus	CA	22003 楚科奇 - 阿拉斯加地块 Chukchi-Alaskan Massif
Ra	11103 雷伊陆核 Ray Nucleus	II 3. KZ	23000 哈萨克斯坦地区 Kazakhstani Region
Su	11104 苏必利尔陆核 Superior Nucleus	Kc	23101 科克契塔夫地块 Kokchetav Massif
Wy	11105 怀俄明陆核 Wyoming Nucleus	Ul	23102 乌鲁套地块 Ulutau Massif
Na	11106 奈恩陆核 Nain Nucleus	Yn	23103 伊宁地块 Yining Massif
Th	11107 塞龙带 Thelon Belt	Ct	23104 秦吉斯 - 塔尔巴哈台带 Chingis-Talbakatai Belt
Nq	11108 新魁北克带 New Quebec Belt	JG	23001 准葛尔地块 Junggar Massif
Wm	11109 沃普梅带 Wopmay Belt		
Tr	11110 横贯哈德孙带 Trans-Hudson Belt	III .AAD (CTD)	亚洲中轴 (大华夏) 构造域 AXIAL-ASIAN (CATHYSIANAN) TECTONIC DOMAIN
Kw	11111 基维诺 (裂陷槽) 带 Keewenaw (Aulacogen) Belt	III 1. SK	31000 中朝陆台 Sino-Korean Craton (Continental Platform)
MCP	11200 中大陆地台 Mid-continent Platform	Or	31101 鄂尔多斯陆核 Ordos Nucleus
Mo	11201 莫哈维带 Mojave Belt	Jl	31102 蓟辽陆核 Jiliao Nucleus
Gr	11202 格林威尔带 Grenville Belt	Hh	31103 河淮陆核 Hehuai Nucleus
GRS	11300 格陵兰地盾 Greenlandian Shield	Ax	31104 阿拉善陆核 Alxa Nucleus
KL	11001 克拉马茨地块 Klamath Massif	Nm	31105 内蒙古带 Neimongol Belt
AV	11002 阿瓦隆地块 Avalon Massif	III 2. TA	32000 塔里木陆台 Tarimian Craton (Continental Platform)
I 2. EU	12000 东欧陆台 East European Craton (Continental Platform)	Dh	32101 敦煌陆核 Dunhuang Nucleus
BTS	12100 波罗的地盾 Baltic Shield	Tz	32102 塔中陆核 Tazhong Nucleus
Be	12101 白海陆核 Belomoria Nucleus	Qu	32103 库鲁克塔格带 Qurughtag Belt
Fk	12102 芬诺卡瑞利陆核 Fennokarelia Nucleus	QD	32001 柴达木地块 Qaidam Massif
Sf	12103 瑞芬带 Svecofenia Belt	KK	32002 卡拉库木地块 Karakum Massif
Gt	12104 歌德带 Gothia Belt	III 3. YZ	33000 扬子陆台 Yangtzean Craton (Continental Platform)
RUP	12200 俄罗斯地台 Russian Platform	Kd	33101 康滇带 Kangdian Belt
Uk	12201 乌克兰陆核 Ukraine Nucleus	Hl	33102 黄陵陆核 Huangling Nucleus 353
Pt	12202 伯楚拉带 Petchora Belt	Sh	33103 苏北 - 黄海带 Subei-Huanghai Belt
BRT	12300 巴伦支地区 Barentzian Region	Jn	33104 江南带 Jiangnan Belt
SV	12301 斯瓦尔巴德地块 Svarbard Massif	NQ	33001 北羌塘地块 North Qiangtang Massif
FJ	12302 佛兰兹 - 约塞夫地块 Franz-Joseph Massif	CD	33002 昌都地块 Qamdo Massif
HI	12001 希伯来 - 爱尔兰地块 Hybride-Ireland Massif	III 4. CT	34000 华夏地区 Cathaysian Region
MD	12002 中区地块 Midland Massif	Ln	34001 岭南地块 Lingnan Massif
AD	12003 阿尔登地块 Ardenne Massif	Hs	34002 本洲地块 Honshu Massif
LM	12004 罗伏特 - 摩尔得带 Lofote-Molde Belt	Mz	34003 闽浙地块 Minzhe Massif
		Ss	34004 南海地块 South China Sea Massif
II .NAD	北亚构造域 NORTH ASIAN TECTONIC DOMAIN	IC	34005 印支地块 Indochina Massif
II 1. SB	21000 西伯利亚陆台 Siberian Craton (Continental Platform)	IV .EGD	40000 东冈瓦纳构造域 EAST GONDWANAN TECTONIC DOMAIN
SBP	21100 西伯利亚地台 Siberian Platform	IV 1. AU	41000 澳洲陆台 Australian Craton (Continental Platform)
Ad	21101 阿尔丹陆核 Aldan Nucleus	WAS	41100 西澳地盾 West Australian Shield
Ab	21102 安纳巴尔陆核 Anabar Nucleus	Yg	41101 伊尔冈陆核 Yilgam Nucleus
Tu	21103 通古斯陆核 Tunguss Nucleus	Pb	41102 皮尔巴拉陆核 Pilbara Nucleus
St	21104 斯塔诺夫带 Stanov Belt	Cp	41103 开普利康带 Capricorn Belt
Ag	21105 安加拉带 Angara Belt	Km	41104 金伯利陆核 Kimberley Nucleus
Yn	21106 叶尼塞带 Yenesei Belt	Gw	41105 高乐陆核 Gowler Nucleus
Ig	21107 伊嘎尔卡带 Igarka Belt	Am	41106 阿梅杰带 Amadeus Belt
Bc	21108 贝加尔带 Baical Belt	Fm	41107 佛拉斯 - 穆斯格累夫带 Fraser-Musgrave Belt
LPD	21200 拉普捷夫地区 Laptevian Region	RL	41001 劳雷地块 Rowley Massif
KR	21201 喀拉地块 Kara Massif	NG	41002 新几内亚地块 New Guinea Massif
WS (SD)	21202 西西伯利亚 (锡尔达林) 地块 West Siberian (Sirdarin) Massif	IV 2. AT	42000 东南极洲陆台 East Antarctic Craton (Continental Platform)
TM	21203 太梅尔地块 Taimyr Massif	Np	42101 纳皮尔陆核 Napier Nucleus
NL	21204 北地地块 Northland Massif	Vf	42102 威斯特佛尔德带 Vestfold Belt
NS	21205 新西伯利亚地台 New Siberian Massif	TR	42103 横贯东南极洲山系 Trans-Eastantartic Mountains Belt
TMG	21300 图瓦 - 蒙古地区 Tuva-Mongolian Region	IV 3. IN	43000 印度陆台 Indian Craton (Continental Platform)
YB	21301 雅布罗诺夫地块 Yablonov Massif	Pi	43101 印度半岛陆核 Peninsular India Nucleus
TU	21302 图瓦地块 Tuva Massif	Vd	43102 文地亚带 Vindhya Belt
UA	21303 乌兰巴托 - 额尔古纳地块 Ulanbator-Arguna Massif	As	43103 阿萨木陆核 Assam Nucleus
SN	21304 松嫩地块 Songnen Region		
TT	21305 托托山带 Tuotuoshein Belt		
BU	21306 布列亚地块 Bureya Massif		
JX	21307 佳木斯 - 兴凯地块 Jamusi-Xingkai Massif		

(续表 1)

构造域与构造单元		构造域与构造单元	
Bd	43104 班德康陆核 Bundelkhand Nucleus	PAR	51400 泛非地区 Pan-African Region
Sl	43105 斯里兰卡地块 Sri Lanka Massif	An	51401 阿拉伯-努比亚带 Arabia-Nubia Belt
Hm	43106 喜马拉雅带 Himalaya Belt	So	51402 索马里兰带 Somaliland Belt
PA	43001 帕米尔地块 Pamir Massif	Mz	51403 莫桑比克带 Mozambique Belt
LH	43002 卢特-赫尔曼地块 Lut-Helmand Massif	Tc	51404 乍得地块 Tchad Massif
GD	43003 冈底斯地块 Gangdise Massif	MA	51001 马达加斯加地块 Madagascar Massif
SQ	43004 南羌塘地块 South Qiangtang Massif	SC	51002 塞舌尔地块 Seychelles Massif
BM	43005 缅甸地块 Burma Massif	IB	51003 伊比利亚地块 Iberia Massif
ML	43006 马来亚地块 Malaya Massif	AP	51004 阿尔莫利卡-中央高原地块 Armorica-Central Plateau Massif
KL	43007 加里曼丹地块 Kalimandan Massif	BH	51005 波希米亚地块 Bohemia Massif
SL	45008 苏拉维西地块 Sulawesi Massif	PN	51006 潘农地块 Pannon Massif
V.WGD	西冈瓦纳构造域 WEST GONDWANAN TECTONIC DOMAIN	RA	51007 卢多普-安纳托利亚地块 Rhodope-Annatolia Massif
V.1.AF	51000 非洲陆台 African Craton (Continental Platform)	V2.SA	52000 南美陆台 South American Craton (Continental Platform)
WFS	51100 西非地盾 West African Shield	AMS	52100 亚马孙地盾 Amazonian Shield
Rb	51101 拉几布陆核 Raquib Nucleus	Gu	52101 圭亚那陆核 Guiana Nucleus
Le	51102 里欧陆核 Leo Nucleus	Cb	52102 中巴西陆核 Central Brazilia Nucleus
CGS	51200 刚果地盾 Congoan Shield	Bo	52103 伯托瑞马带 Bothorema Belt
Bn	51201 贝宁带 Benin Belt	Sf	52104 圣佛兰西斯科陆核 San Francisco Nucleus
Tn	51202 坦桑尼亚陆核 Tanzania Nucleus	Lp	52105 拉普拉塔陆核 La Plata Nucleus
Gb	51203 加蓬陆核 Gabon Nucleus	Pg	52106 巴拉圭带 Paraguay Belt
KHS	51300 卡拉哈里地盾 Kalaharian Shield	FL	52001 佛罗里达地块 Florida Massif
Ka	51301 卡普瓦尔陆核 Kaapvaal Nucleus	GM	52002 危地马拉地块 Guatemala Massif
Zb	51302 津巴布韦陆核 Zimbabwe Nucleus	PT	52003 巴达冈及亚地块 Patagonia Massif
Kr	51303 卡马拉带 Kamara Belt	FK	52004 福克兰地块 Falkland Massif
Nn	51304 那马克-那特尔特带 Namaqua-Natal Belt		

和元古代古大陆再造,一直使用陆壳基底的构造单元轮廓作为再造的依据.当时主要依据 Khair^[18]对全球的构造划分及 Khain 和 Leonov 等(1982)的全球性图件以及 Hoffmar^[19]和 Zonenshain 等^[20]关于北美及前苏联的构造划分.其后提出全球构造格局问题的还有 Doglion^[21]等.我们的研究以约 850 Ma 时期形成的泛大陆为准,按照我们使用的大地构造级别系统分出 5 个一级单元构造域和 13 个二级单元大陆地台(及地区)及其周缘所属的离散地块^[2,3],本文又分出了 1 个二级单元,位于东北亚与北美阿拉斯加交界,称为科累马-阿拉斯加地区(KA)(表 1).

从 1990 年以来,在南美^[22]、非洲^[25]、西伯利亚^[26,29,31]、澳大利亚^[32]、东南极^[35,37]以及特提斯区^[38,40]出现了一批新的资料.据此对有关地区做了构造单元性质和命名的一些调整.我们同时感到构造单元级别命名及原用中译名有不合理之处,也提出改进意见,并在这里稍作说明.

1993 年公布的“地质学名词”使用“地台”(platform)一词,并将 craton 音译为“克拉通”.西方学者使用克拉通,有时指大型稳定构造区,与习用的 platform 同义,但同时又用以指各级小型稳定块体,在图、文中混淆不清,Goodwin^[41]在其前寒武纪总结巨著中就是这样.西方学者对“北美”和“东欧”称为 platform 或 craton,但同时又将其内部分为地盾和地

台,例如“北美地台”分为加拿大地盾(shield)和中大陆地台(platform);“东欧地台”分为“波罗的地盾”和“俄罗斯地台”,形成 2 级同名的矛盾现象.在 20 世纪 50 年代,王鸿祯^[42]曾将包括地盾和地台在内的构造单元如东欧 platform 译为“陆台”(continental platform),直到现在仍有多人使用. Bubnoff(1949)曾一度用 shelf 代表狭义的地台,也未能推广使用.后来王鸿祯^[43,44]曾一度用“地台区”代表 platform 的整体,却无合适的英译名.现在初步建议:大陆地壳一级构造单元称为“构造域”(tectonic domain),二级单元称为“陆台”(continental platform 或 craton),陆台内部还可划分出“地盾”(shield)及“地台”(platform),但并非所有陆台都能分出地盾和地台,故称二级单元.三级单元称为“陆核”及“古褶皱带”等,离散于陆台之外的前寒武纪块体称为“地块”(massif),也属三级单元.我们认为大地构造名词应有较严格的级别体系.如现已广泛使用的陆块(block)、地体(terrane)等可作为一般的通用名词,不具级别的意义.

王鸿祯^[43,45]使用“构造域”作为一级构造单元,包含了陆台及其边缘褶皱区的中间地块及褶皱带,称为大陆型构造域.王鸿祯^[43]1985 年区别出以哈萨克斯坦为例的另一类型构造域,由地块群与隔离它们的活动带组成,作为一个整体,最后固结大致都早于 5×10^8 a,命名上暂称为“地区”(region),而不称“陆台”,属二级单元.哈萨克斯坦地区和中国的华夏

地区可以作为典型. 还有前节所述东北亚及与北美交境的鄂霍茨克地块、鄂莫隆地块和楚科奇地块等, 与西伯利亚陆台及劳伦陆台可能都缺乏联系, 暂时合称科累马-阿拉斯加地区. 环绕北冰洋盆地的巴伦支海域和西伯利亚北缘的卡拉-拉普捷夫海域以及蒙古地区和泛非构造区的一部分也可能接近于这种类型, 但它们又都与临近的陆台有密切关系, 所以仍按所述陆台的离散地块群处理. 各级构造单元的命名和代号: 对构造域用 3 个大写字母表示, 如劳俄构造域为 LRD; 对二级单元用 2 个大写字母表示, 如东欧陆台用 EU; 对陆台内可以分出的地盾和地台以及离散地块中密切有关的地块群也用 3 个大写字母表示, 如加拿大地盾为 CAS, 图瓦-蒙古地块群为 TMG. 三级单元处于陆台内部的用大小 2 个字母, 如鄂尔多斯陆核为 Or, 在陆核以外的离散地块用 2 个大写字母, 如柴达木地块 QD. 目的是明确表示所属级别和性质. 全球基底构造单元命名划分见图 1、2 和表 1.

2 罗迪尼亚超大陆与泛大陆-850 的构造格局及再造问题

2.1 罗迪尼亚超大陆和泛大陆-850 的关系

十余年来, 中、新元古代超大陆再造成为研究的重点. 但其范围已经从超大陆扩展为全球性泛大陆研究, 有的研究者^[3, 7, 46]已提出超大陆和泛大陆的命名和关系问题. 泛大陆(pangea)一词使用已久, 王鸿祯等曾经使用“联合古陆”, 近年还提出“泛大陆”在地史上曾大致按 $4.5 \times 10^6 \times 10^8$ a 的周期多次出现的认识^[3], 并认为应区别泛大陆(pangea)与超大陆(supercontinent), 后者是前者的组成部分. 例如“泛大陆-250”就是由劳亚和冈瓦纳 2 个超大陆构成的. 地表上陆壳块体的集中与分散是相对的, 任何时期都不可能完全集中. 相对集中的“泛大陆时期”, 以泛大陆-250 为例, 存在时限约为 100 Ma(290-190 Ma), 通常称为二叠—三叠纪泛大陆. 王鸿祯^[2]命名“泛大陆-250”是表示二叠—三叠纪之交, 代表其典型期或顶峰期. 当前研究的热点即中、新元古代陆壳块体的相对集中期目前还不能准确厘定, 最可能集中在 1 050850 Ma 时期, 现在命名为罗

迪尼亚超大陆, 从历史上说是完全合理的, 但后来大量的文献都涉及到全球陆块的集中, 其实已经就是泛大陆的问题, 而不仅仅是一个超大陆的问题. 从全球看, 中、新元古代之交的泛大陆顶峰期也极可能在新元古代的 850 Ma 左右, 因为在此之前还没有裂解方面的证据. 因此, 我们也一直使用“泛大陆-850 (Pangea-850)”一词表示新元古代的泛大陆.

2.2 中国中、新元古代的构造格局与亚洲中轴(Axial Asian)或大华夏(Cathaysian)构造域

迄今为止, 西方学者提出的罗迪尼亚拼接的不同模式^[11, 47]一般都未考虑中国各陆块及各个较大的离散地块的位置. 而近期提出的一些模式则将中朝、扬子、塔里木等陆台分散放置, 各不相连^[14, 34]. 中国学者早已设想晋宁造山期时, 中国各陆块可能曾接近形成一个整体. Wang 等^[48]和王鸿祯^[2]曾提出晋宁造山带连接各陆台的问题, 同时提出晋宁期末由中朝陆台、扬子陆台、华夏地区、塔里木陆台以及卡拉库木(Karakum)地块共同形成亚洲中轴构造域或大华夏构造域松散整体的认识^[3].

关于格林威尔造山带和晋宁造山带以及新元古代主动大陆边缘在中国的存在, 白瑾等^[49]曾有很好的综合论述. 近年又有不少相关文献发表. Sun 等^[50]对中国东部大陆地壳在前寒武纪的年龄格局和会聚进行了讨论. 关于中朝陆台北缘及界限, 黄汲清早年曾提出“内蒙地轴”的认识, 马杏垣^[51]曾认为白云鄂博群代表陆台的北部边缘裂陷槽, 聂凤军等^[52]认为白乃庙群是新元古代岛弧产物, 因而我们认为内蒙带可能是中朝北缘的格林威尔期造山带, 属中朝陆台的范围, 白瑾等^[49]也曾提出它可能是碰撞造山带. 中朝陆台与扬子陆台的交界西起秦岭, 经桐柏、大别, 过郟庐断裂, 直至苏鲁辽东, 最后拼合是在印支期. 但这一碰撞带屡经开合, 在晋宁造山期有明显的陆缘构造岩浆带和弧陆碰撞过程. Dong 等^[53]对扬子北缘的新元古代蓝片岩带做了全面的探讨. 杨巍然等^[54]也讨论了这个问题. 秦克令等^[55]指出了碧口群的新元古代岛弧机制. 张宏飞等^[56]描述了汉中地区晋宁期花岗岩的俯冲机制形成的不同类型. 陶洪祥等^[57]还概括地论述了扬子北缘的构造演化问题. 在北秦岭, 李曙光等^[58, 59]指出北秦岭松树沟可能存在约 10×10^8 a 的蛇绿岩套, 代表了新元古代的

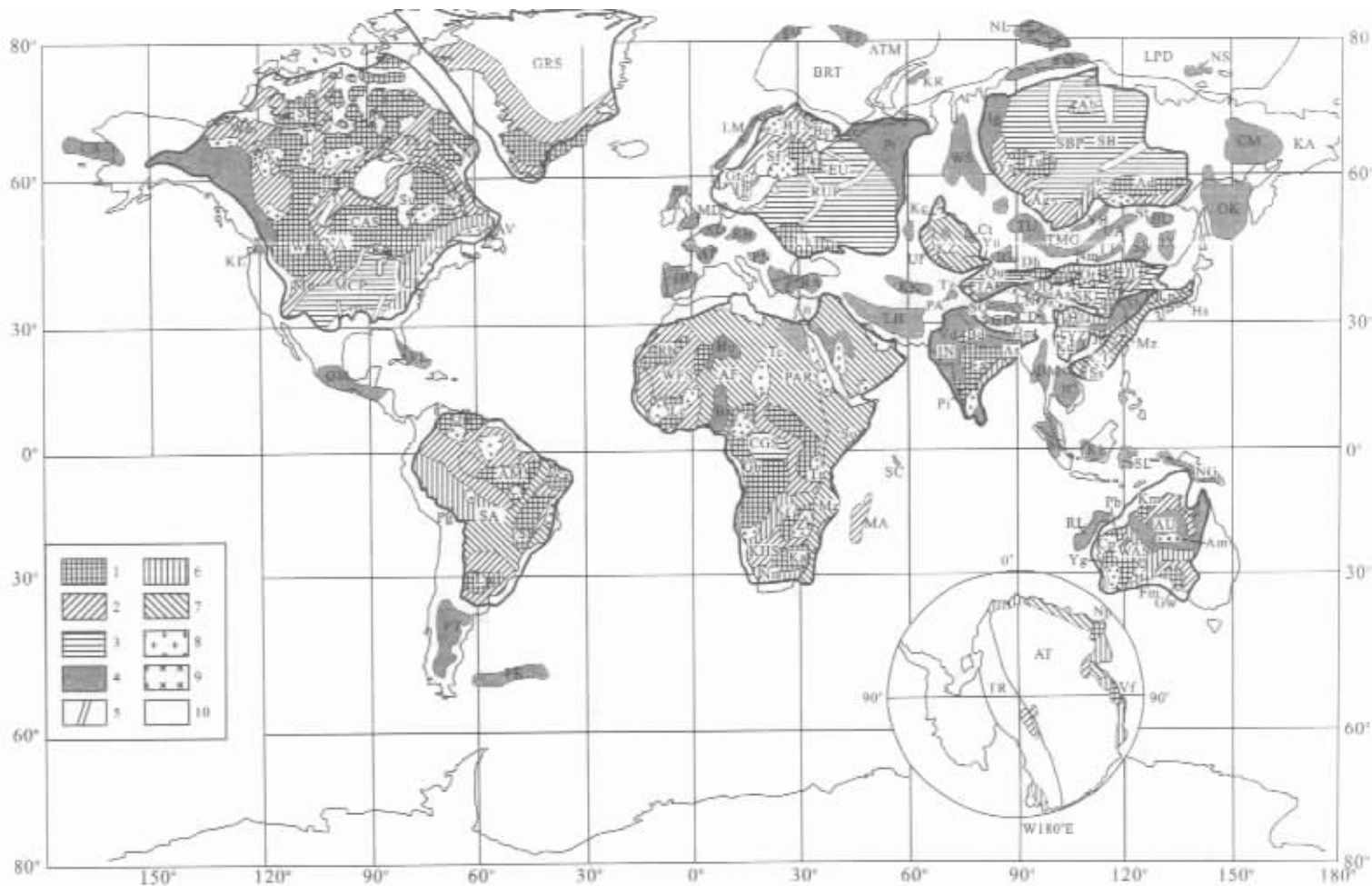


图1 全球前寒武系基底构造单元命名(名称见表1)

Fig.1 World tectonic units and nomenclature of the Precambrian basement

1. 陆核 (>2.8~2.5 Ga) 2. 古元古代造山带(2.5~1.8 Ga) 3. 原地台(1.6~1.8 Ga 前固结) 4. 地台及分离地块(0.8~0.6 Ga 前固结) 5. 中、新元古代裂陷槽;
6. 格林威尔及晋宁造山带(1.1~0.8 Ga) 7. 泛非构造活动区(0.8~0.5 Ga) 8. 太古宙及元古代花岗岩类 9. 中、新元古代花岗岩类 10. 显生宙造山区

1. continental nuclei (>2.8-2.5 Ga); 2. Paleoproterozoic (2.5-1.8 Ga) orogenic belts; 3. protoplatform (consolidated before 1.8-1.6 Ga); 4. platform and separated massifs (consolidated before 0.8 Ga); 5. mesoproterozoic and Neoproterozoic aulacogens; 6. Grenvillean and Jinningian (1.1-0.8 Ga) orogenic belts; 7. pan-African active regions (0.8-0.5 Ga); 8. Archean and Paleoproterozoic granitic rocks; 9. Mesoproterozoic and Neoproterozoic granitic rocks; 10. Phanerozoic orogenic belts

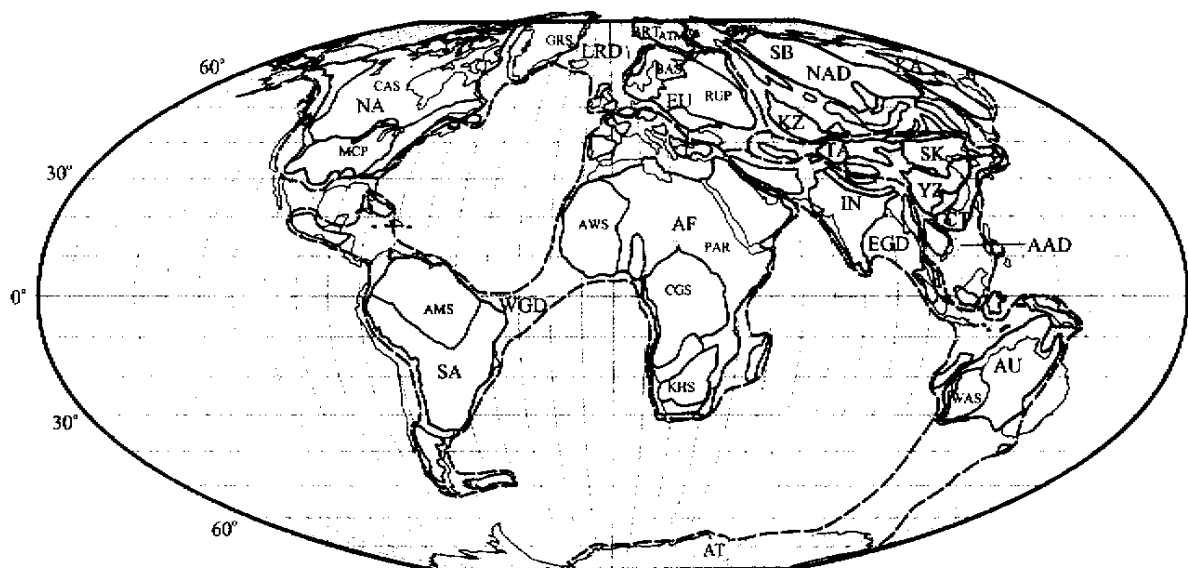


图 2 全球前寒武纪基底构造简图(构造域、陆台及地盾(各级单元中英文名称见表 1))

Fig. 2 World tectonic frame of the Precambrian basement showing tectonic domains, cratons and shields (the symbols of tectonic units are the same as in Table 1)

板块俯冲机制.曹国权等^[60]论述了郯庐断裂中段胶南地体的时代,近年辽东地区也有晋宁期花岗岩类的报道.苏鲁辽东应属于陆缘岩浆带或弧陆碰撞带.

关于赣东浙西扬子陆台与华夏地区边界的性质,程海^[61]指出有晋宁期碰撞造山带.徐备^[62]、邢凤鸣等^[63]、赵建新等^[64]都指出了新元古代蛇绿岩及弧盆体系的存在.上扬子陆台江南带的新元古代沟弧盆体系久为人知(郭令智等^[65]),说明当时还有残余洋区,并未完全碰撞闭合.陆台西缘自川中至滇中出现的花岗岩类成因却很复杂^[66],但在一些变形较强的花岗岩中最近获得了可靠的格林威尔期的年代学证据^[67],说明陆台西缘存在显著的主动边缘.塔里木陆台的北缘阿克苏群^[68]、柴达木南缘的万宝沟群^[69]都是面向洋区的活动大陆边缘含火山活动的沉积.近年在阿尔金山区和柴达木盆地北缘都发现中、新元古代造山带的迹象,说明塔里木陆台与中朝陆台的可能联系.总的看来,中国的几个陆台块体在格林威尔—晋宁期都相距不远,其间的洋壳消减,甚至部分发生相互碰撞是比较可信的.但迄今为止还未获得古地磁数据的支持.

2.3 关于 SWEAT 连接及泛大陆 - 850 的再造

到目前为止,并不是所有的地质学者都相信中、新元古宙确实存在过一个超大陆. Moores^[14]提出的 SWEAT 连接如能成立,则是一项有力的证据,因为东冈瓦纳古陆群和劳伦古大陆联合起来,按 Goodwin^[41]提供的面积估算,已经占据了全球新元古代之前固结的陆壳克拉通部分 60% 以上.再与劳伦古

陆东南侧(现代方位)格林威尔期造山带陆陆碰撞指示的对方古陆一并合计,将会占有更高的比例.所以 SWEAT 连接是罗迪尼亚构想和再造的核心问题.

Moores(1991)和 Hoffman(1991)构思的 SWEAT 连接主要依据有 3 个方面:第一,中、新元古代的地层对比;第二,大陆基底的同位素年龄;第三,格林威尔期造山带的延续连接.这三方面的研究都有了实质性的进展,而古地磁作为取证性研究更受到了应有的重视.

在地层对比方面,Jefferson^[70]、Bell 等^[71]较早就注意到了澳大利亚陆台东部边缘和北美西部中、新元古代地层成因方面的关联性.当时还明确提出澳大利亚和加拿大曾同属于一个称作 Hudsonia 的元古宙超大陆.澳大利亚的 Adelaide 超群和北美的 Belt-Purcell 超群及 Windermere 超群都是发育在超大陆陆表海上的裂陷槽沉积,这些裂陷槽进一步伸展导致了古太平洋的形成.后来 Young^[72]、Moores^[14]也曾认为横贯东南极洲山脉区也有与北美 Belt-Purcell 超群相当的地层,但由于 Ross 和 Beardmore 造山运动的影响,使对比存在困难.

北美西部跨越北美和加拿大的 Belt-Purcell 带沉积厚达 18 km,代表劳伦古大陆边缘裂陷槽.据 Blewett 等^[73]研究,认为形成于大约 1 500-1 000 Ma 时期.其西侧即含有大量增生块体的北美 Cordillera 造山带.早期的沉积物源研究认为大部分来自西侧古陆,后来应与劳伦古大陆相连.其后 Ross 等^[74]系统地研究了 Belt 超群中碎屑颗粒锆石等的

同位素年龄,推测可能大部分来自澳大利亚陆台的中、南部,从而提出另一对接方案,使东冈瓦纳相对劳伦古大陆左行错动约 2 000 km. Hoffmar^[11]还认为北美 Wopmay 带和澳大利亚北部 Mount Isa 等构造单元的岩浆活动同时也是支持 SWEAT 连接的一项证据.但这些依据都有一定的多解性.造山带的连续追索和古地磁极移曲线(APWP)的拟合往往是古大陆再造成图的更关键的资料.

关于东南极陆台,一向认为其东缘存在一个连续的格林威尔造山带.在 SWEAT 连接中, Dalziel 把格林威尔前缘的对接点(piercing point)确定在 Weddell 海附近.但后来 Gose 等^[75]的研究表明这个地区一部分是后期增生的地体.最近又发现沿原定的格林威尔带有几段是属泛非期的^[37],说明格林威尔造山带并不完全连续,当时东南极大陆也许还并不完整.

对罗迪尼亚超大陆的存在时限,特别是对其开始裂解的时间的见解,逐步集中到 750800 Ma 时期. Powell 等^[32]严格判别和挑选了劳伦和东冈瓦纳大陆的数据,第 1 次利用极移曲线拟合的方法证明 SWEAT 连接的可能性,并据此提出罗迪尼亚解体时间大约为 725 Ma. 后来, Wingate 等^[76]和 Li^[77]分别对西澳大利亚约 755 Ma 的 Mundine Well 岩墙群和 Walsh 冰积岩之上的“白云岩帽”进行了古地磁研究,进一步将罗迪尼亚超大陆解体时间限定在 770-755 Ma. 1996 年, Torsvik 等^[47]对劳伦和波罗的古大陆新元古代的数据也做了综合研究. 1998 年, Weil 等^[78]主要利用劳伦和波罗的古大陆 1 100800 Ma 期间的数据建立了极移曲线,与其他地块的数据拟合,基本上也支持这个连接模式.但总的说来,在许多古大陆上都缺乏符合现行质量评价标准^[79]的古地磁数据,不易做出确定的解释.后来做出的西伯利亚大陆极移曲线^[80]在 1 100800 Ma 时段就不能与劳伦和波罗的古大陆的极移曲线拟合.中国扬子陆台和中朝陆台的情况也有相似之处, Zhang 等^[81]和 Evans 等^[82]对莲沱期的研究结果表明,当时扬子地块已经脱离 SWEAT 连接.华南古陆在罗迪尼亚超大陆中的位置至今尚未得到古地磁证据.中朝陆台现有数据^[83]说明它在新元古代早期与西伯利亚关系密切,但在震旦纪晚期(约 650 Ma)与各大陆之间发生了较大规模的相对运移.

罗迪尼亚超大陆再造的另一个问题是如何处理非洲和南美的泛非带. 20 世纪 80 年代以来, Caby 等^[85]、Kroner^[86]、Al-Shanti 等^[87]和 Ajibade 等^[88]对非洲所谓“阿拉伯-努比亚(Arabia-Nubian)地盾”的

形成就有论述.近年对非洲“阿拉伯-努比亚地盾”的形成与其他地块的关系也有不少论述^[13 89],都认为西非地盾以东和刚果地盾以东的广大地区既有努比亚、阿拉伯、莫桑比克和马达加斯加等地块在泛非期的岩浆、变质构造重新活动,又有泛非期的岛弧、洋壳海域的板块机制.近年来的研究表明,西冈瓦纳构造域直到约 500 Ma 才完全聚合,但主要汇聚期则应在 750 Ma 左右.现有罗迪尼亚超大陆的再造模式对当时尚未完全聚合的西冈瓦纳构造域,除南非的 Kalahari 地盾有些古地磁资料,南美的 San Francisco 陆核与刚果地盾的连结较为肯定,其他陆块的连接关系都是按格林威尔造山带的连续推断做出的.

在罗迪尼亚超大陆再造研究中,各家迄今所用的除有限的古地磁数据外,重要根据是造山带连接.实际上利用生物群分布推定陆块之间的关系也是可行的方法,而且年代控制比较有效. Wang 等^[90]就曾指出中国东部及北美西部都产出 $8 \times 10^8 9 \times 10^8$ a 的 *Chuarina-Tawuia* 生物群的生物古地理特征.杜汝霖等^[91 92]对青白口纪和元古代的宏观藻群做了全面的记述,说明新元古代早期(900850 Ma) *Chuarina-Tawuia* 生物群在中朝陆台上的广泛分布.张仁杰等^[93]又记述了海南岛同期石禄群中的同一生物群.这个生物群与广布于北美西部同期的小达尔(Little Dal)生物群^[9496]完全相同,所以当时劳伦古大陆与中国东部几个主要古陆关系密切,是无可怀疑的.但应指出,不能将淮南地区 *Chuarina* 和 *Tawuia* 与后生动物共生的淮南生物群也当做同一层位.含有后生动物 *Sabellidites* 和 *Palaeolina* 等的淮南生物群显然是属震旦纪的.

经过多方面的努力,对罗迪尼亚超大陆,实际也是对泛大陆-850 的再造已经初具规模. Wang 等^[3]曾发表过一个泛大陆-850 再造图,指出了中国几大块体已接近聚合及其与北美西部生物古地理的密切关系,但还很不完善.近年来,我们继续谋求改进,但限于资料和技术方面的问题,图件仍未能发表.我们设想的模式是(1)以劳伦古大陆为准,根据生物古地理的特征,将亚洲中轴构造域作为松散的整体,置于劳伦古大陆的西北,相应地将东冈瓦纳构造域各块体都向南移.(2)考虑到亚洲中轴区和东冈瓦纳区在早古生代位置相近的地质依据,也考虑到古地磁资料指明的西伯利亚陆台南缘与中朝陆台的可能关系,调整了西伯利亚陆台的方位.(3)在劳伦古大陆之东和东南极古大陆之南是一系列西非、中南非和南美各古陆块,其西为泛非期造山带地区中的分

散地块和岛弧体系,它们与现在的方位基本倒置.在罗迪尼亚超大陆的解体过程中,伴随古太平洋和古大西洋(Iapetus)的打开,北美以及欧洲和西冈瓦纳的主要块体都发生了不同程度的大规模顺时针旋转.

3 中二叠世泛大陆 - 250 的再造与生物古地理分区简况

魏格纳(Wegener)1912年最早提出的泛大陆概念,是指晚古生代全球各大陆曾经相互连接的一种模式,称为大陆漂移假说,当时受到地质界的普遍反对.直到半个世纪以后的1960年,海底扩张得到证明,板块学说得以建立,泛大陆概念才为地质界接受.目前一般认为晚古生代泛大陆自早石炭世末(323 Ma)开始成形,到侏罗纪初(210 Ma)开始裂解,聚合的顶峰期约在250 Ma,与二叠—三叠纪之间,也是古生代—中生代之间这一重要界线相合,所以我们称之为泛大陆-250.

对于泛大陆-250的拼合再造曾有多种模式,讨论较多的有泛大陆A1、A2、B、C几种,都是基于古地磁资料提出的再造模式(McElhinny等^[97]).劳亚大陆和冈瓦纳大陆在200180 Ma时期的古地磁极拟合能够很好地支持Bullard等^[1]所提出的Pangea拼合模式,但却不符合320200 Ma时期(晚石炭世至三叠纪)的古地磁资料数据. Van der Voo和French(1974)在Bullard等^[1]模式的基础上将冈瓦纳古大陆围绕一个欧拉极做约20°的顺时针旋转,使南美大陆西北部紧靠北美西部加利福尼亚湾附近. Morel等^[5]则提出一种变动较大的模式,使南美大陆西北部紧靠北美大陆的东南海岸,非洲大陆的西北部靠近欧洲和亚洲的西南部. Morel等^[5]将Bullard等^[1]的模式称做泛大陆A1,代表大西洋即将裂开之前的一种模式;将Van der Voo和French(1974)的修改模式称做泛大陆A2,他们自己提出的模式称为泛大陆B.

A2模式使劳亚古大陆和冈瓦纳古大陆在晚石炭世至三叠纪时期极移曲线总体符合程度得到了改善,和环中大西洋地区古大陆再造的地质证据也比较相符. Pangea B强调了早二叠世的古地磁证据,与Pangea A1、A2比较,冈瓦纳大陆在Pangea中的位置更为靠北和靠东.为使Pangea B模式和环中大西洋裂解时期的地质证据相符,需要在特提斯造山带地区引入数千km的右行走滑系统以调整南北2个超大陆在二叠纪至中三叠纪裂解之前存在的位置差异.

目前还不能确认这一右行走滑系统的存在.

一般将Smith等^[4]基于320240 Ma时期古地磁资料解释的泛大陆模式称为Pangea C.它和Pangea B模式相似,但其冈瓦纳大陆的位置比Pangea B中的位置更为靠东,显然也和地质证据存在矛盾.直至最新的古地磁研究,Pangea A1、A2与Pangea B、C模式之间的讨论还在继续.我们采用比较接近A2的模式(图3),认为代表的时期是中二叠世,但我们这里使用的中二叠世始于280 Ma,相当于栖霞阶之底^[98]约相当于国际上空谷阶之底^[99],包括珊瑚Yatzengia带至Waagenophyllum-Wentzellites带,类Misellina带至Yabeina带^[100]. Ziegler等^[101]曾做出二叠纪从老至新6幅古大陆再造图. Mei等^[102]根据Ziegler的系列底图,做了6幅牙形刺不同类型的分布图.王鸿祯等^[103]曾做出早二叠世珊瑚及腕足类^[104]生物分区图,但当时仍使用二叠纪二分法,所指早二叠世的实际时限包括现在使用的中二叠世的大部分及早二叠世的一部分.

图3与Ziegler的图件相近.其特色,一是将古地台周缘的若干分散地块都予以固定位置,表明了它们与相邻主要古大陆的构造关系;二是根据构造古地理和生物古地理的观点,将古特提斯洋区以中部岛链带为界,分为南北2个洋区,分别称为北(东)古特提斯洋区和南(西)古特提斯洋区;三是根据新的古地磁资料,调整了西伯利亚和中朝地台之间海域的相对位置,缓解了过去再造中在这个地区遇到的困难;四是除深海和浅海外,还区分了山区、低地、陆相、蒸发海域和冰成沉积等.此外,还表现了北美和非洲之间的碰撞造山带、西伯利亚东侧及哈萨克斯坦西侧的边缘造山带,也表现了东亚和南亚当时处于拉伸的构造格局.图中区分了3个生物大区 and 6个生物区,在1989年的图上做了简化,每区只举了1个代表性珊瑚或腕足类组合,同时加入了4个著名的古植物大区的注记.应当指出:在再造图上对植物大区的分布和界线以及浅海动物区动物生态类型都可做出更好的解释.我们相信生物地理分区在古大陆再造中具有重要的意义.

致谢:本文是“九五”期间科技部攀登附加SSER项目和国土资源部“九五”基础研究Pangea项目的研究成果,特别是项目第四课题的未发表成果.图3的原图是梅仕龙教授完成的.图1是由研究生陈晓洁同志协助完成的.承地层古生物教研室提供多种方便,在此统表谢意.

参考文献:

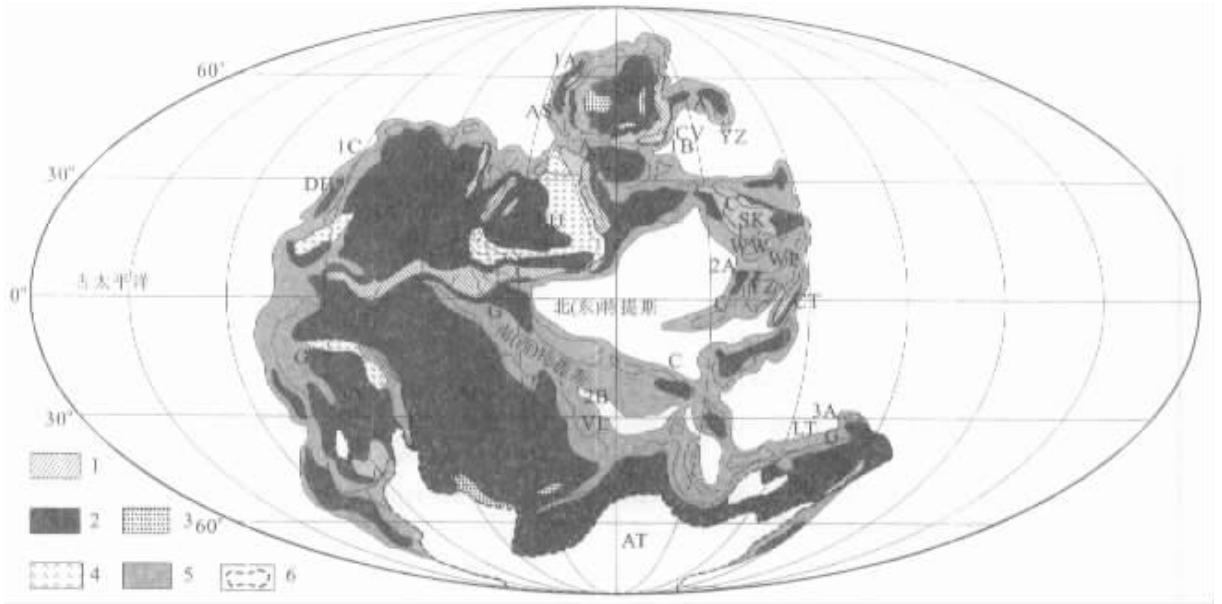


图 3 中二叠世(280257 Ma)全球古大陆再造及生物古地理

Fig. 3 World paleocontinent reconstruction and biogeography in the Middle Permian (280 – 257 Ma) Epoch

1. 山区与高地 2. 低地 3. 陆相沉积 4. 咸海相及蒸发岩相 5. 浅海沉积 6. 冰盖及冰成沉积. 古植物大区 :A. 安哥拉 ;C. 华夏 ;E. 欧美 ;G. 冈瓦纳. 海生古动物分区(珊瑚与腕足类为主) (1) 北方大区 ,1A. 西伯利亚区 :AS-*Arctophyllum-Svalbardophyllum* 组合 ;1B. 哈萨克斯坦—兴安岭区 :CV-*Calophyllum-Verbeekiella* 组合 ,YL-*Yakovlevia-Licharevia* 组合 ;1C. 北美区 :DH-*Durhamina-Heritschiodies* 组合 . (2) 特提斯区 2A. 北(东) 特提斯区 :WP-*Wentzellophyllum-Polythecalis* 组合 ,WW-*Waagenophyllum-Wentzellites* 组合 ;2B. 南(西) 特提斯区 :VL-*Verbeekiella-Lytvolasma* 组合 . (3) 冈瓦纳大区 3A. 印度—澳大利亚区 :LT-*Lophophyllidium-Timorphyllum* 组合 .

1. mountains and highlands ; 2. low lands ; 3. terrestrial deposits ; 4. saline seas and evaporites ; 5. shallow seas ; 6. ice caps and glaciogene deposits. Foral realms : A. Angaran ; C. Cathaysian ; E. Euramerican ; G. Gondwanan. Faunal realms (mainly corals and brachiopods) : (1) Boreal realm , 1A. Siberia province : AS-*Arctophyllum-Svalbardophyllum* ; 1B. Kazakhstan-Hingan province : CV-*Calophyllum-Verbeekiella* , YL-*Yakovlevia-Licharevia* ; 1C. North American province : DH-*Durhamina-Heritschioies* ; (2) Tethys realm , 2A. North(East) Tethys province : WP-*Wentzellophyllum-Polythecalis* , WW-*Waagenophyllum-Wentzellites* ; 2B. South(West) Tethys province : VL-*Verbeekiella-Lytvolasma* ; (3) Gondwana realm , 3A. India-Australia province : LT-*Lophophyllidium-Timorphyllum*

[1] Bullard B C , Everett J E , Smith A G . A symposium on continental drift—IV , The fit of the continents around the Atlantic [J] . Phil Trans Roy Soc , 1965 , 258 : 41 – 51 .

[2] 王鸿祯 . 地球的节律与大陆动力学的思考 [J] . 地学前缘 , 1997 , 4 (3 – 4) : 1 – 12 .

[3] Wang H Z . Pangea cycles , earth rhythms and possible earth expansion [A] . In : Wang H Z , Borming J , Mei S L , et al , eds . Proceedings of the 30th IGC [C] . The Netherlands : VSP Publishers , 1997 , 1 : 111 – 128 .

[4] Smith A G , Hurley A M , Briden J C . Phanerozoic palaeocontinental maps [M] . Cambridge : Cambridge University Press , 1981 .

[5] Morel P , Irving E . Palaeomagnetism and the evolution of Pangea [J] . Journ Geophys Res , 1981 , 86B : 1858 – 1872 .

[6] Piper J D A . The Precambrian palaeomagnetic record : the case for the Proterozoic supercontinent [J] . Earth Planet Sci Lett , 1982 , 59 : 61 – 89 .

[7] Piper J D A . The Neoproterozoic supercontinent : rodinia or paleopangea ? [J] Earth Planet Sci Lett , 2000 , 176 : 137 – 146 .

[8] Scotese C R , Bambach R K , Barton C , et al . Palaeozoic base maps [J] . Journ Geol , 1979 , 87 : 217 – 277 .

[9] Scotese C , McKerrow W S . Revised world maps and introduction to the memoir [A] . Palaeozoic palaeogeography and biogeography [C] . Bath : Geol Soc London Memoir , 1990 , 12 : 1 – 21 .

[10] Ziegler A M , Scotese C R , McKerrow M S , et al . Paleozoic paleogeography [J] . Ann Rev Earth Planet Sci , 1979 , 7 : 473 – 502 .

[11] Hoffman P F . Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out ? [J] Science , 1991 , 252 : 1409 – 1412 .

[12] Dalziel I W D . Pacific margins of Lawrentia and East Antarc-

- tica-Australia as a conjugate rift-pair : evidences and implications for an Eocambrian supercontinent [J]. *Geology* , 1991 , 19 : 598 - 601 .
- [13] Dalziel I W D . Overview : Neoproterozoic-Paleozoic geography and tectonics : review , hypothesis , environmental speculation [J]. *Geol Soc Amer Bull* , 1997 , 109 : 16 - 42 .
- [14] Moores E M . Southwest US-East Antarctic (SWEAT) connection : an hypothesis [J]. *Geology* , 1991 , 19 : 425 - 428 .
- [15] Park R G . Plate kinematic history of Baltica during the Middle to Late Proterozoic : a model [J]. *Geology* , 1992 , 20 : 725 - 728 .
- [16] Li Z X , Zhang L H , Powell C McA . South China in Rodinia : part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia ? [J]. *Geology* , 1995 , 23 (5) : 407 - 410 .
- [17] Li Z X , Zhang L , Powell C McA . Positions of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia [J]. *Australian Journal of Earth Sciences* , 1996 , 43 : 593 - 604 .
- [18] Khain V E . *Geology of the USSR (Betraege zur Regionalen Geologie der Erde)* [M]. Berlin : Gebrueder Borntraeger , 1985 . 272 .
- [19] Hoffman P F . United plates of America , the birth of a craton : American [J]. *Review of Earth and Planetary Science* , 1988 , 16 : 543 - 603 .
- [20] Zonenshain L P , Kuzmin M I , Natapov L M , et al . *Geology of the USSR : a plate-tectonic synthesis* [A]. *Geodynamics series* , Vol. 2 [C]. Washington D C : American Geophysical Union , 1990 . 231 .
- [21] Doglioni C . Geological evidence for a global tectonic pattern [J]. *J Geol Soc Lond* , 1993 , 150 : 991 - 1002 .
- [22] Sadowski G R , Bettencourt J S . Mesoproterozoic tectonic correlations between eastern Laurentia and the western border of the Amazon craton [J]. *Precambrian Research* , 1996 , 76 : 213 - 227 .
- [23] Cordani U G , Sato K . Crustal evolution of the South American platform , based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks [J]. *Episodes* , 1999 , 22 (3) : 167 - 173 .
- [24] Pedrosa-Soares A C , Noce C M , Wiedemann C M , et al . The Aracuai-Wes-Congo orogen in Brazil : an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly [J]. *Precambrian Research* , 2001 , 110 : 307 - 323 .
- [25] Neves B B B , Neto M C C , Fuck R A . From Rodinia to western Gondwana , an approach to Brazilliano-Pan African cycle and orogenic collage [J]. *Episodes* , 1999 , 22 (3) : 1155 - 1166 .
- [26] Shackleton R M . The final collision zone between East and West Gondwana : where is it ? [J]. *J Afr Earth Sci* , 1996 , 23 : 271 - 287 .
- [27] Kroner A . East Africa and Madagascar were not part of Rodinia , and East Gondwana was not a coherent block [J]. *Geological Society of Australia Abstracts* , 2001 , 65 : 71 - 73 .
- [28] Tack L , Wingate M T D , Liegeois J P , et al . Early Proterozoic magmatism (1 000 - 910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian Group (Bas-Congo) : onset of Rodinia rifting at the western edge of the Congo craton [J]. *Precambrian Research* , 2001 , 110 : 277 - 306 .
- [29] Condie K C , Rosen O M . Laurentia-Siberia connection revisited [J]. *Geology* , 1994 , 22 : 168 - 170 .
- [30] Khain V E , Gusev G S , Khain E V , et al . Circum-Siberian Neoproterozoic ophiolite belt [J]. *Ophiolity* , 1997 , 22 : 195 - 200 .
- [31] Frost B R , Avchenko O V , Chamberlain K R , et al . Evidence for extensive Proterozoic remobilization of the Aldan shield and implications for Proterozoic plate tectonic reconstructions of Siberia and Laurentia [J]. *Precambrian Research* , 1998 , 89 : 1 - 23 .
- [32] Powell C McA , Li Z X , McElhinny M W , et al . Palaeomagnetic constraints on timing of the Neoproterozoic breakup of Rodinia and the Cambrian formation of Gondwanaland [J]. *Geology* , 1993 , 21 : 889 - 892 .
- [33] Walter M R , Veevers J J . Australian Neoproterozoic paleogeography , tectonics , and supercontinental connections [J]. *AGSO J Austr Geol Geophys* , 1997 , 17 : 73 - 92 .
- [34] Li Z X , Powell C McA . An outline of the paleogeographic evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic [J]. *Earth Sci Rev* , 2001 , 53 : 237 - 277 .
- [35] Storey B C , Pankhurst R J , Johnson A C . The Grenville province within Antarctica : a test of the SWEAT hypothesis [J]. *Jour Soc London* , 1994 , 151 : 1 - 4 .
- [36] 陈廷愚 , 主编 . 南极洲地质图 (1 : 5 000 000) 说明书 [M]. 北京 : 地质出版社 , 1995 . 36 .
- CHEN T Y . *Geologic map of Antarctica (1 : 5 000 000) with explanatory notes* [M]. Beijing : Geological Publishing

- House, 1995. 36.
- [37] Fitzsimons I C W. Grenville-age basement provinces in East Antarctica: evidence for three separate collisional orogens [J]. *Geology*, 2000, 28(10): 879 – 882.
- [38] Metcalfe I. Gondwanaland dispersion, Asian accretion and evolution of eastern Tethys [J]. *Australia Journal of Earth Sciences*, 1996, 43 : 605 – 623.
- [39] Van der Voo R, Spakman W, Bijwaard M. Tethyan subducted slabs under India [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 171 : 7 – 20.
- [40] Yin A N, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 2000, 28 : 211 – 280.
- [41] Goodwin A M. Principles of Precambrian geology [M]. London: Harcourt Brace Jovanovich Publishers Academic Press, 1996. 327.
- [42] 王鸿祯. 从中国东部前寒武系发育论中国东部构造分区 [J]. *地质学报*, 1955, 35(4): 347 – 404.
WANG H Z. Geotectonic units of eastern China as viewed from the development of Precambrian systems in the same region [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1955, 35(4): 347 – 404.
- [43] 王鸿祯. 中国古地理图说明书 [M]. 北京: 地图出版社, 1985. 1 – 18.
WANG H Z. Explanation of the Atlas of the palaeogeography of China [M]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1985. 1 – 18.
- [44] 王鸿祯. 中国古大陆边缘与大地构造名词体系 [A]. 见: 王鸿祯, 等. 中国古大陆边缘中、新元古代及古生代构造演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1994. 1 – 14.
WANG H Z. Ancient continental margins of China and geotectonic terminology [A]. In: WANG H Z, et al, eds. Tectonic evolution of the Mesoproterozoic, Neoproterozoic and Palaeozoic continental margins of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 1 – 14.
- [45] 王鸿祯. 从活动论观点论中国大地构造分区 [J]. *地球科学——武汉地质学院学报*, 1981, 1 : 42 – 66.
WANG H Z. Geotectonic units of China with the viewpoint of mobilism [J]. *Earth Science — Journal of Wuhan College of Geology*, 1981, 1 : 42 – 66.
- [46] Piper J D A. Paleomagnetism and the continental crust [M]. New York: Open University Press, 1987. 1 – 434.
- [47] Torsvik T H, Smethurst M A, Meert J G, et al. Continental break-up in the Neoproterozoic and Paleozoic — a tale of Baltica and Laurentia [J]. *Earth Sci Rev*, 1996, 40 : 229 – 258.
- [48] Wang H Z, Mo X X. An outline of the tectonic evolution of China [J]. *Episodes*, 1995, 19(5): 6 – 16.
- [49] 白瑾, 黄学光, 王惠初, 等. 中国前寒武纪地壳演化(第二版) [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 259.
BAI J, HUANG X G, WANG H C, et al. The Precambrian crust evolution of China [M]. 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 259.
- [50] Sun D Z, Li X H, Qiu H N. Geochronology, accretion and tectonic framework of Precambrian continental crust of eastern China [A]. In: Wang H Z, Borming J, Mei S L, et al, eds. Proceedings of the 30th IGC [C]. The Netherlands: VSP Publishers, 1997, 1 : 97 – 110.
- [51] 马杏垣. 江苏响水至内蒙满都拉地学断面南北两段的地质观察 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1989, 14(1): 1 – 6.
MA X Y. Geological observations along the northern & southern parts of the geoscience transect from Xiangshui, Jiangsu to Mandala, Inner Mongolia [J]. *Earth Science — Journal of China University of Geosciences*, 1989, 14(1): 1 – 6.
- [52] 聂凤军, 裴荣富, 吴良士, 等. 内蒙古温都尔庙群变质火山沉积岩钐钕同位素研究 [J]. *科学通报*, 1994, 39(13): 1212 – 1214.
NIE F J, PEI R F, WU L S, et al. Sm-Nd isotopic studies of the Undurgum meta-volcano-sedimentary group, Neimongel [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1994, 39(13): 1212 – 1214 (in Chinese only).
- [53] Dong S B, Cui W Y, Zhang L F. The Proterozoic glaucophane-schist belt and some eclogites in the Yangtze craton, central China [M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [54] 杨巍然, 张旺生. 秦岭 – 大别造山带晋宁运动的厘定 [A]. 见: 任纪舜, 杨巍然. 中国东部岩石圈结构与构造岩浆演化 [C]. 北京: 原子能出版社, 1998. 54 – 60.
YANG W R, ZHANG W S. Definition of Jinning movement in Qinling-Dabie orogenic belt [A]. In: REN J S, YANG W R, eds. Lithospheric structure and tectonomagmatic evolution of eastern China [C]. Beijing: Atom Publishing House, 1998. 54 – 60.

- [55] 秦克令, 金浩甲, 赵东洪. 碧口古岛弧带构造演化及成矿[J]. 河南地质, 1994, 12(4): 312-316.
- QIN K L, JIN H J, ZHAO D H. Tectonic evolution and mineralization in Bikou ancient island arc belt [J]. Henan Geology, 1994, 12(4): 312-316.
- [56] 张宏飞, 骆廷川, 张本仁, 等. 扬子克拉通北缘新元古代岛弧花岗岩类成分极性及其成因的地球化学探讨[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(2): 219-225.
- ZHANG H F, LUO T C, ZHANG B R, et al. Geochemical study of compositional polarity and causes of Late Proterozoic island-arc granitoids from northern margin of Yangtze craton [J]. Earth Science — Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(2): 219-226.
- [57] 陶洪祥, 何恢亚, 王全庆, 等. 扬子板块北缘构造演化史[M]. 西安: 西北大学出版社, 1993.
- TAO H X, HE H Y, WANG Q Q, et al. Tectonic evolutionary history of the northern margin of the Yangtze plate [M]. Xi'an: Northwest University Press, 1993.
- [58] 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 中国华北—华南碰撞时代的钐—钕同位素年龄证据[J]. 中国科学(B辑), 1989, 3: 312-318.
- LI S G, Hart S R, ZHENG S G, et al. Timing of collision between the North and South China blocks — Sm-Nd isotopic age evidence [J]. Science in China (Series B), 1989, 32: 1391-1400.
- [59] 李曙光, 陈移之, 葛宁洁, 等. 青岛榴辉岩及胶南群片麻岩的锆石 U-Pb 年龄: 胶南群中晋宁期岩浆事件的证据[J]. 科学通报, 1993, 38(19): 1773-1777.
- LI S G, CHEN Y Z, GE N J, et al. Zircon U-Pb age of the eclogite at Qingdao and the Jiaonan gneiss Group: evidence for for Jinningian magmatic event [J]. Chinese Science Bulletin, 1993, 38(19): 1773-1777 (in Chinese only).
- [60] 曹国权, 王致本, 张成基. 山东胶南地体及其边界断裂五莲—荣城断裂的构造意义[J]. 山东地质, 1990, 6(1): 1-15.
- CAO G Q, WANG Z B, ZHANG C J. Jiaonan terrane in Shandong Province and the tectonic significance of the Wulian-Rongcheng fracture [J]. Geology of Shandong, 1990, 6(1): 1-15.
- [61] 程海. 浙西北晚元古代早期碰撞造山带的初步研究[J]. 地质论评, 1991, 37(3): 203-213.
- CHENG H. The Late Proterozoic collision orogen in northwestern Zhejiang Province [J]. Geological Review, 1991, 37(3): 203-213.
- [62] 徐宝. 论赣东北—皖南晚元古代沟弧盆体系[J]. 地质学报, 1990, 64(1): 33-42.
- XU B. The Late Proterozoic trench-basin-arc system in northeastern Jiangxi-southern Anhui provinces [J]. Acta Geologica Sinica, 1990, 64(1): 33-42.
- [63] 邢凤鸣, 徐祥, 陈江峰. 赣东北元古代蛇绿岩 Sm-Nd 同位素年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1992, 11(2): 120-124.
- XING F M, XU X, CHEN J F, et al. Sm-Nd isotopic age of Proterozoic ophiolites in northeastern Jiangxi and its geological significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1992, 11(2): 120-124.
- [64] 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: 311-326.
- ZHAO J X, LI X H, McCulloch M T, et al. Petrogenesis of ophiolites from South Anhui and Northeast Jiangxi, and their tectonic implications: chemical and Sm-Nd isotopic constraints [J]. Geochimica, 1995, 24: 311-326.
- [65] 郭令智, 卢华复, 施央申, 等. 江南中、元古代岛弧的运动学和动力学[J]. 高校地质学报, 1996, 2(1): 1-13.
- GUO L Z, LU H F, SHI Y S, et al. On the Meso-Neoproterozoic Jiangnan island arc: its kinematics and dynamics [J]. Geological Journal of China Universities, 1996, 2(1): 1-13.
- [66] 李建林. 晋宁—澄江期岩浆岩特征与板块构造活动的探讨[A]. 见: 刘鸿允. 中国震旦系[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 220-300.
- LI J L. Characteristics of Jinning-Chengjiang magmatic rocks and plate tectonic movements [A]. In: LIU H Y, ed. The Sinian system in China [C]. Beijing: Science Press, 1991. 220-300.
- [67] 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.
- [68] 肖序常, 格雷厄姆 S A. 中国西部元古代蓝片岩带: 世界

- 上保存最好的前寒武纪蓝片岩[J]. 新疆地质, 1990, 8(1): 12-15.
- XIAO X C, Graham S A. Proterozoic blueschist belt in western China: best-documented Precambrian blueschist in the world[J]. Xinjiang Geology, 1990, 8(1): 12-15.
- [69] 朱志直, 赵民, 郑健康. 东昆仑中段“纳赤台群”的解体与万宝沟群的建立[A]. 青藏高原地质论文集(16)[C]. 北京: 地质出版社, 1985. 1-14.
- ZHU Z Z, ZHAO M, ZHENG J K. The dismembering of the Naxitai Group and the establishment of the Wanbaogou Group in the middle of East-Kunlun Mountains[A]. In: Contribution to the geology of the Qinghai-Xizang(Tibet) plateau(16)[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1985. 1-14.
- [70] Jefferson C W. Correlation of middle and upper Proterozoic strata between northwestern Canada and south and central Australia(abst)[J]. Geol Assoc Canada, 1978, 13: 429.
- [71] Bell R T, Jefferson C W. A hypothesis for an Australian-Canadian connection in the Late Proterozoic and the birth of the Pacific Ocean[A]. In: Proceedings Pacific rim congress 87[C]. Parkville, Victoria: Australian Institute of Mining and Metallurgy, 1987. 39-50.
- [72] Young D N. Late Proterozoic stratigraphy and the Canada-Australia connection[J]. Geology, 1992, 20: 215-218.
- [73] Blewett R S, Black L P, Sun S S, et al. U-Pb zircon and Sm-Nd geochronology of the Mesoproterozoic of North Queensland: implications for a Rodinian connection with the belt supergroup of North America[J]. Precambrian Research, 1998, 89: 101-127.
- [74] Ross G M, Parrish R R, Winston D. Provenance and U-Pb geochronology of the Mesoproterozoic belt supergroup (northwestern Laurentia) and implications for a connection with the Pre-Panthalassa plate reconstructions[J]. Earth and Planetary Science Letter, 1992, 113: 57-76.
- [75] Gose W A, Helper M A, Connelly J N, et al. Paleomagnetic data and U-Pb isotopic age determinations from Coats Land, Antarctica: implications for Late Proterozoic plate reconstructions[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(B4): 7887-7902.
- [76] Wingate M T D, Giddings J W. Age and paleomagnetism of the Mundine Well dyke swarm, western Australia: implications for an Australia-Laurentia connection at 755 Ma[J]. Precambrian Research, 2000, 100: 335-357.
- [77] Li Z X. New paleomagnetic results from the "cap dolomite" of the Neoproterozoic Walsh Tillite, northwestern Australia[J]. Precambrian Research, 2000, 100: 359-370.
- [78] Weil A B, Van der Voo R, Niocail C M, et al. The Proterozoic supercontinent Rodinia: paleomagnetically derived reconstructions for 1000-800 Ma[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 154: 13-24.
- [79] Van der Voo R. The reliability of paleomagnetic data[J]. Tectonophysics, 1990, 184: 1-9.
- [80] Smethurst M A, Khramov A N, Torsvik T H. The Neoproterozoic and Paleozoic paleomagnetic data for the Siberia platform from Rodinia to Pangea[J]. Earth Sci Review, 1998, 43: 1-25.
- [81] Zhang Q R, Piper J D A. Palaeomagnetic study of Neoproterozoic glacial rocks of the Yangtze block: palaeolatitude and configuration of South China in the Proterozoic supercontinent[J]. Precambrian Research, 1997, 85: 173-199.
- [82] Evans D A D, Li Z X, Kirschvink J L, et al. A high-quality mid-Neoproterozoic paleomagnetic pole from South China, with implications for ice age and the breakup configuration of Rodinia[J]. Precambrian Research, 2000, 100: 313-334.
- [83] Zhang S H, Li Z X. New late Precambrian palaeomagnetic results from North China and their paleogeographic implications[A]. In: Bird R T, ed. The assembly and breakup of Rodinia[C]. Geological Society of Australia (Abstracts), 1998, 50: 72-74.
- [84] 张世红, 李正祥, 吴怀春, 等. 华北地台新元古代古地磁研究新成果及其古地理意义[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(增刊): 138-147.
- [85] Cabry R B, Bertrand J M L, Black R. Pan-African ocean closure and continental collision in the Hoggar Iforas segment, central Sahara[A]. In: Kroener A, ed. Precambrian plate tectonics[C]. Amsterdam: Elsevier, 1981. 407-434.
- [86] Kroner A. Ophiolites and the evolution of tectonic boundaries in the Late Proterozoic Arabian-Nubian shield of Northeast Africa and Arabia[J]. Precambrian Research, 1985, 77: 277-300.
- [87] Al-Shanti A M, Gass I G. The Upper Proterozoic ophiolite melange zones in the eastern Arabian shield[J]. J G S Lond,

- 1983, 140 : 867 – 876.
- [88] Ajibade A C , Wright J B. The Togo-Benin-Nigeria shield : evidence of crustal aggregation in the Pan-African belt [J]. *Tectonophysics*, 1989, 165 : 125 – 129.
- [89] Stern R J. Neoproterozoic (900 – 550) arc assembly and continental collision in the East African orogen : implication for the consolidation of Gondwanaland [J]. *Ann Rev Earth Plan Sci*, 1994, 22 : 319 – 351.
- [90] Wang H Z , Li X , Zhu H. Late Mesoproterozoic and Neoproterozoic world tectonic frame and reconstruction of the paleocontinents [A]. *Abstract of papers , 29th IGC [C]. [s.l.] : [s.n.]*, 1992. 256.
- [91] 杜汝霖 , 田立富. 燕山地区青白口纪宏观藻类 [M]. 石家庄 : 河北科技出版社 , 1986.
- DU R L , TIAN L F. Mega-algae of the Qingbaikouan Period in the Yanshan region [M]. *Shijiazhuang : Hebei Science and Technology Press*, 1986.
- [92] Du R L , Wang Q Z , Tian L F. Catalogue of algal megafossils from the Proterozoic of China [J]. *Precambrian Research*, 1995, 73 : 291 – 298.
- [93] 张仁杰 , 冯少南 , 徐光洪 , 等. *Chuaria-Tawuia* 生物群在海南岛石碌群的发现及意义 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 1989, 3 : 304 – 311.
- ZHANG R J , FENG S N , XU G H , et al. The discovery of the *Chuaria-Tawuia* biota in the Shilu Group , Hainan Island , and its significance [J]. *Science in China (Series D)*, 1989, 3 : 304 – 311 (in Chinese only).
- [94] Hofmann H J , Aitken J D. Precambrian biota from the Little Dal Group , Mackenzie Mountains , northwest Canada [J]. *Canad Journ Earth Sci*, 1979, 16(1) : 150 – 166.
- [95] Hofmann H J. The mid-Proterozoic Little Dal microbiota , Mackenzie Mountains , northwest Canada [J]. *Palaeontology*, 1985, 28 : 331 – 354.
- [96] Hofmann H J. Precambrian biostratigraphy [J]. *Geoscience Canada*, 1987, 14(3) : 134 – 154.
- [97] McElhinny M W , McFadden P L. Paleomagnetism : continents and oceans [M]. San Diego : Academic Press , 2000. 1 – 386.
- [98] Wang H Z. Problems of sequence stratigraphy in China [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 2000, 11(3) : 204 – 214.
- [99] Jin Y G , Wardlaw B R , Glenister B F , et al. Permian chronostratigraphical subdivision [J]. *Episodes*, 1997, 20(1) : 10 – 15.
- [100] 金玉干 , 尚庆华. 二叠系 , 中国地层研究二十年 (1979 – 1999) [M]. 合肥 : 中国科技大学出版社 , 2000. 189 – 212.
- JIN Y G , SHANG Q H. Permian , stratigraphical studies in China (1979 – 1999) [M]. Hefei : China University of Science and Technology Press , 2000. 189 – 212.
- [101] Ziegler A M , Hulver M L , Rowley D B. Permian world topography and climate [A]. In : *Martini I P , ed. Late glacial and postglacial environmental changes — quaternary , Carboniferous-Permian and Proterozoic [C]. New York : Oxford University Press*, 1997. 111 – 146.
- [102] Mei S L , Henderson Ch M. Evolution of Permian conodont provincialism and its significance in global correlation and paleoclimate implication [J]. *Palaeogeogr Palaeoclimat Palaeoecol*, 2001, 170 : 237 – 260.
- [103] 王鸿祯 , 何心一 , 陈建强 , 等. 中国古生代珊瑚分类演化及生物古地理 [M]. 北京 : 科学出版社 , 1989. 391.
- WANG H Z , HE X Y , CHEN J Q , et al. Classification , evolution and biogeography of the Palaeozoic corals of China [M]. Beijing : Science Press , 1989. 391.
- [104] Stehli F G. Permian brachiopods [A]. In : *Hallam A , ed. Atlas of palaeobiogeography [C]. [s.l.] : [s.n.]*, 1973. 143 – 149.

Tectonic Pattern of the World Precambrian Basement and Problems of Paleocontinent Reconstruction

(*Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources , China University of Geosciences ,
Beijing 100083 , China*)

Abstract : The tectonic frame and subdivision of tectonic units of the world Precambrian basement are essential for paleocontinent reconstruction. In this paper , a three-rank system of tectonic units , the first rank tectonic domain , the second rank craton (continental platform) or "Region" , and the third rank continental nucleus , massif and belt , is proposed , based mainly on situations in Neoproterozoic Jinning and the Early Mesozoic Indosinian epochs. Altogether 5 domains , 14 cratons or regions , and a number of nuclei , massifs and belts within and outside of the cratons that are related to or derived from the cratons , are distinguished and catalogued for further reference and improvement (Fig. 1 , Table 1). We deem that a supercontinent is a constituent part of its contemporary pangea , and the present research of supercontinent Rodinia has entered into the study of its contemporary pangea , the Pangea-850 in our former use. In the early Neoproterozoic , the three Chinese cratons , Sino-Korean , Yangtzean , Tarimian and the Cathaysian Region , were probably partly collided with each other through the Jinningian orogeny , and were not very far from each other. We have called the combined entirety , including the Central Asian Karakum Massif , the Axial Asian or Cathaysian Domain. The current models for Rodinia , especially the SWEAT connection , are discussed. As the characteristic Neoproterozoic (900 – 850 Ma) Qingbaikouan mega-algae Chuaria-Tawuia assemblage were amply found both in Sino-Korea and Cathaysian in eastern Asia and in the Little Dal Group in western North America , we suggest the Axial Asian or Cathaysian Domain may have been placed near the western margin of Laurentia , and the East Gondwanan cratons may on that account be shifted southwards (on map). Other problems including the orientation of the Siberian Craton and the Pan-African belts in the West Gondwanan Domain are also briefly noted. A refined reconstruction of the Middle Permian Epoch (280 – 257 Ma) for Pangea-250 , the only recognized Pangea up to now , is presented , in which three marine biogeographical realms and constituent provinces based mainly on corals and brachiopods are subdivided. The signals for the four well-known paleophytic realms , Angaran , Cathaysian , Euramerican and Gondwanan , and of some representative assemblages of the marine provinces are shown on Fig. 3 , and their significance in paleocontinent reconstruction are briefly discussed.

Key words : supercontinent ; pangea ; paleocontinent reconstruction ; tectonic domain ; axial Asian ; Cathaysian ; biogeography ; Jinningian orogenic epoch.