

新元古代重大地质事件及 其耦合关系

杜远生

中国地质大学（武汉）

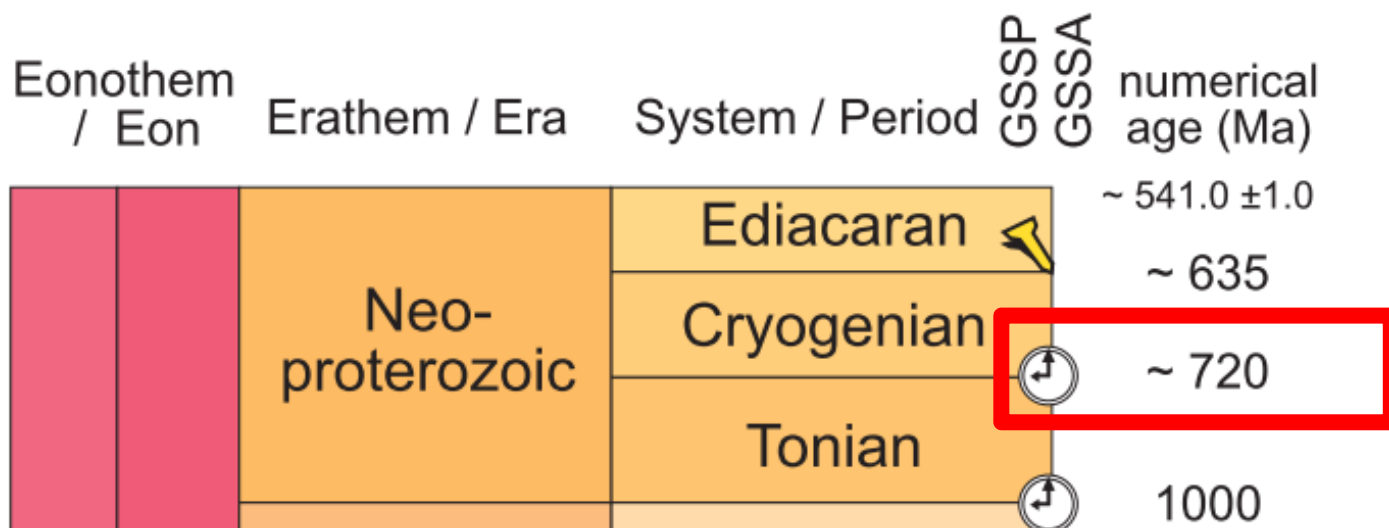
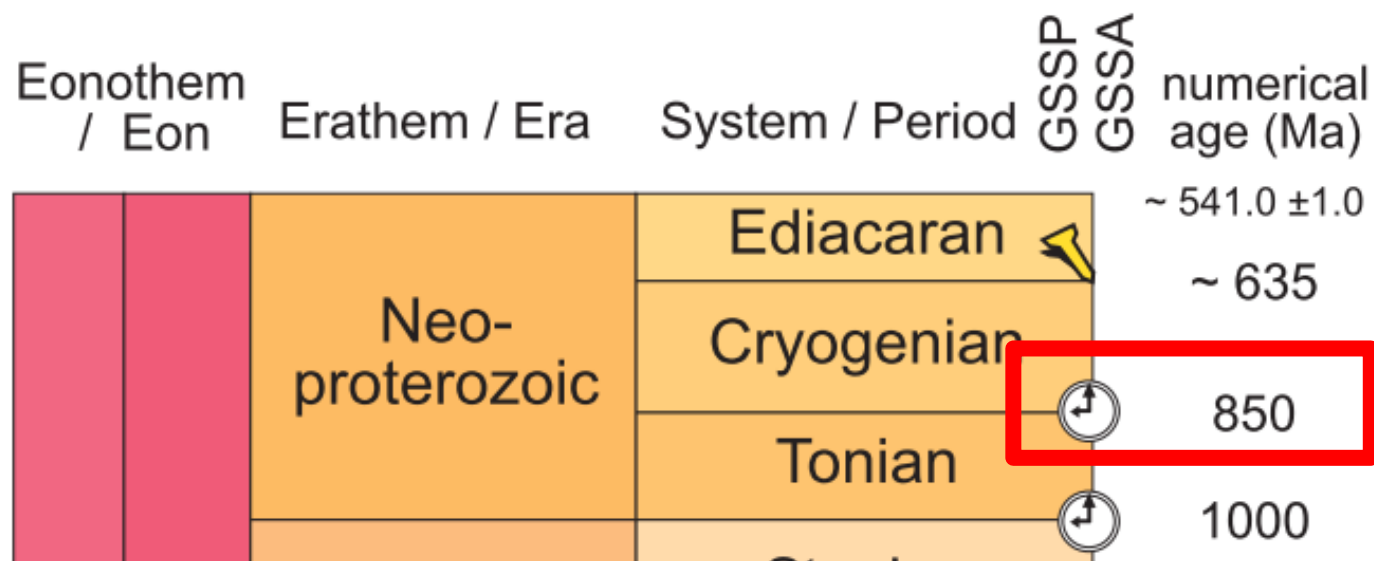
地球科学学院

新元古代重大地质事件

新元古代（1000—541Ma）是地质历史中一个重大的变革期。

- 1、Rodinia超大陆的裂解；
- 2、多次冰期—间冰期的古气候；
- 3、第二次大成氧事件；
- 4、实体动物的诞生；
- 5、大规模成锰、成磷作用。

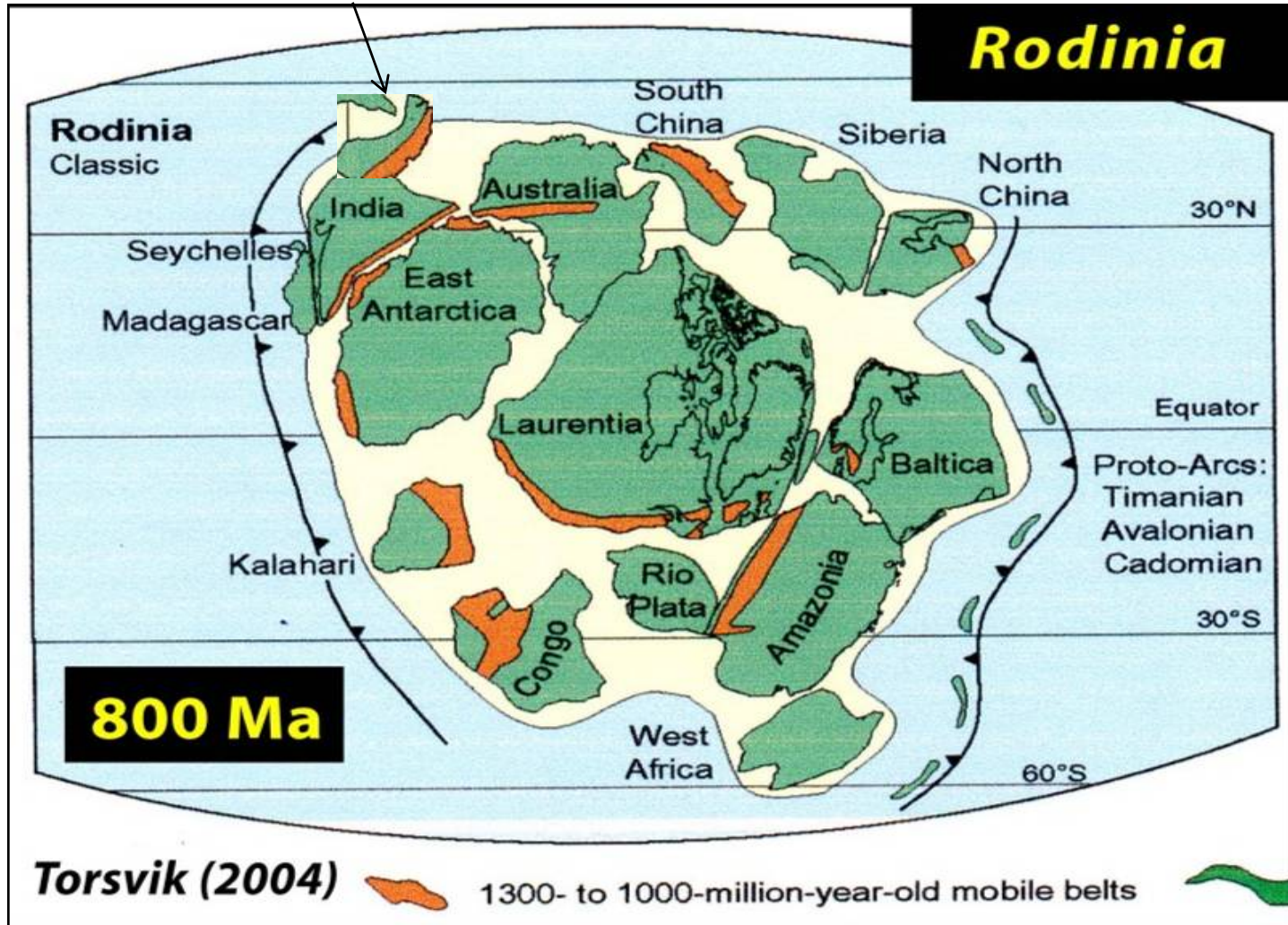
成冰纪的年限



Cryogenian
时间跨度已经
从850-
~635 Ma修
订为 ~720-
~635 Ma。
其中720 Ma
即为Sturtian
冰期底界年
龄。

新元古代Rodinia的裂解

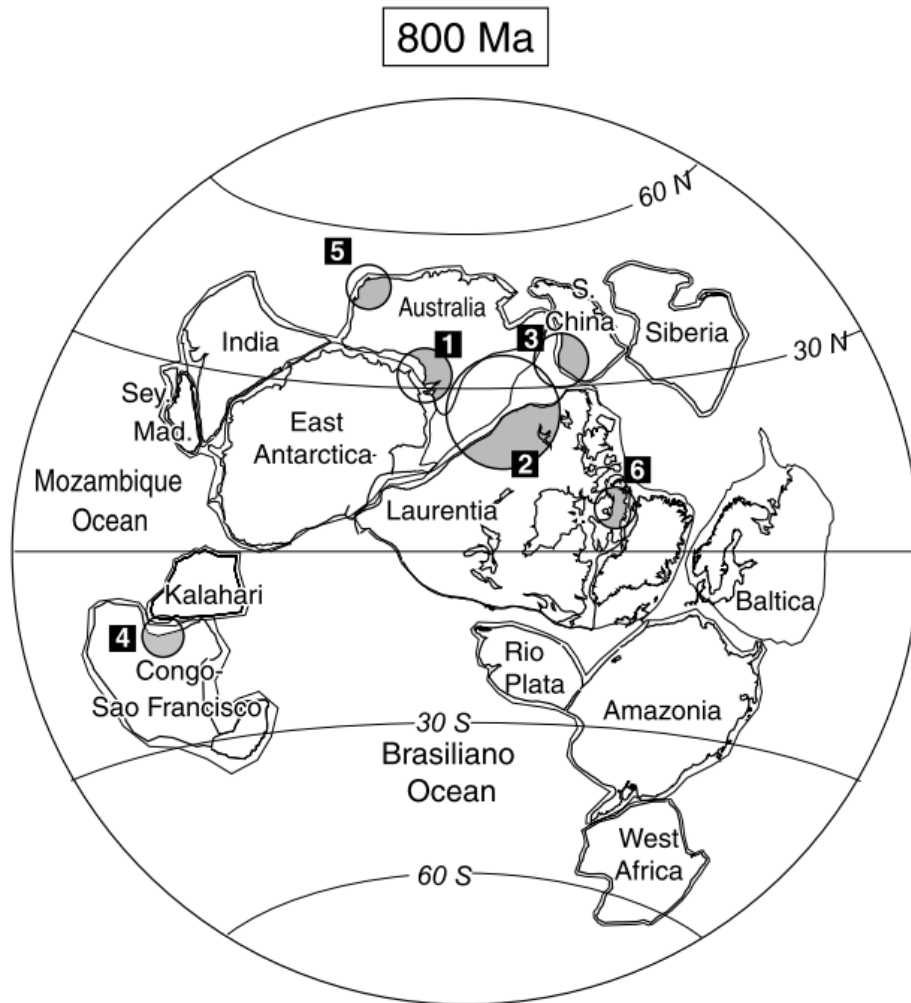
华南位置



阶段1：新元古代早期 (810-720 Ma): 板溪群

阶段2：新元古代晚期(720-540 Ma)南华纪~震旦纪

新元古代全球构造活动背景

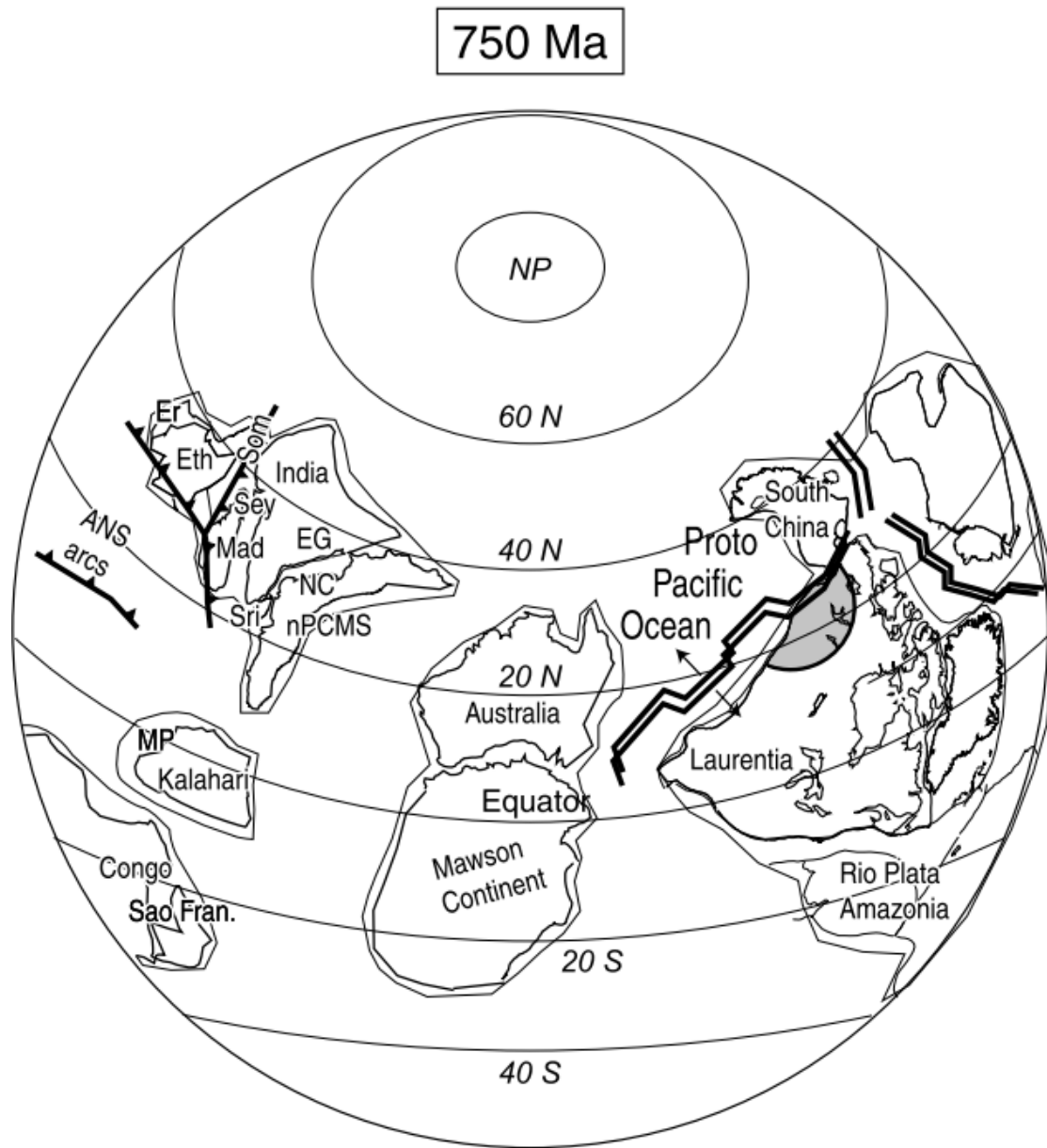


新元古代晚期 (~800 Ma)
全球古地理恢复及大规模岩
浆作用发生地点。

(Godderis , 2003)

- 1** Gairdner dyke swarm: 825 Ma [17]
Willouran volcanics: 787 Ma
- 2** giant dyke swarm: 780 Ma [19]
(Mackenzie Mountains, Wyoming)
- 3** South China dykes: 825 Ma [20]
- 4** Mwashia volcanics: 765 Ma [21]
- 5** Mundine Well dykes: 755 Ma [18]
- 6** Franklin dykes: 723 Ma [48]

伴随Rodinia超大陆裂解产生的剧烈全球裂解作用可能是导致全球冰川事件的主要原因

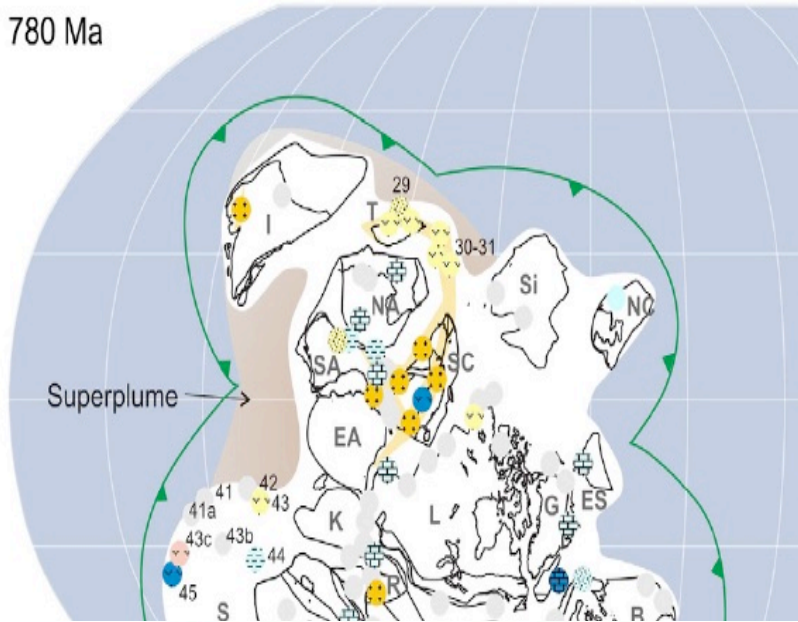


从全球沉积记录来看，加拿大境内科迪勒拉山系北段 Amundsen 盆地(Thomson et al., 2015)，美国北犹他州 Uinta Mountain 盆地(Dehler et al., 2010)，澳大利亚南部及西部新元古代沉积盆地 (Preiss, 2000, de Vries et al., 2008)，巴西 Urucum 盆地 (Urban et al., 1992) 及我国华南南华裂谷盆地的沉积记录显示，在 780-670 Ma 期间这些盆地均处于拉张沉降机制控制下的构造背景。

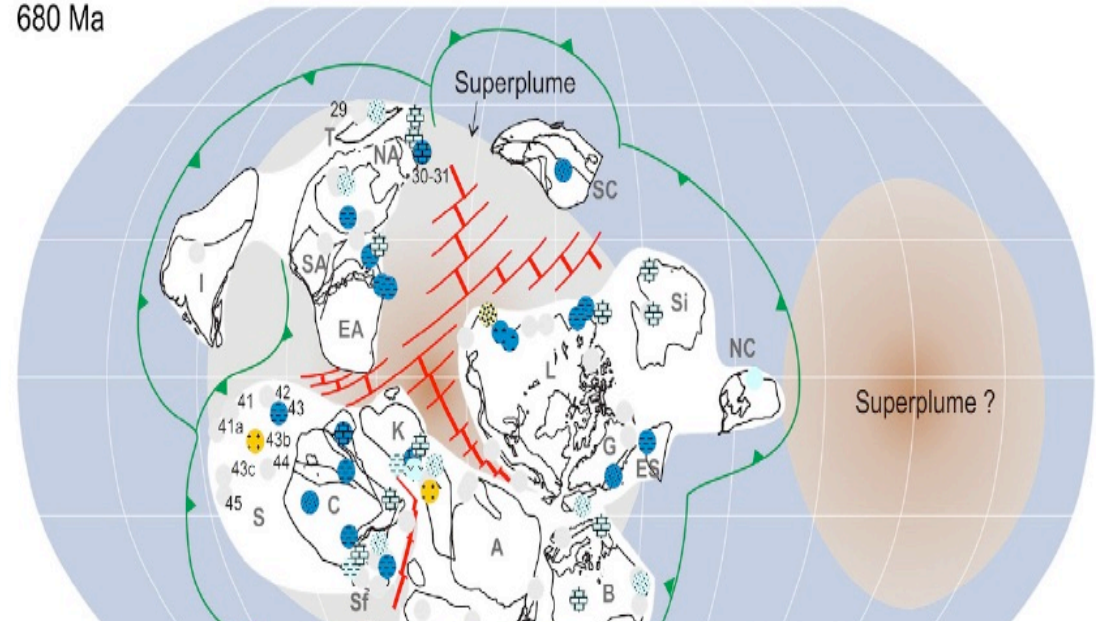
Sturtian 冰期前 (~750 Ma) 全球古地理恢复及裂谷发育 (Godderis, 2003)

华夏陆块（华南板块）在Rodinia、Gondwana超大陆中的位置

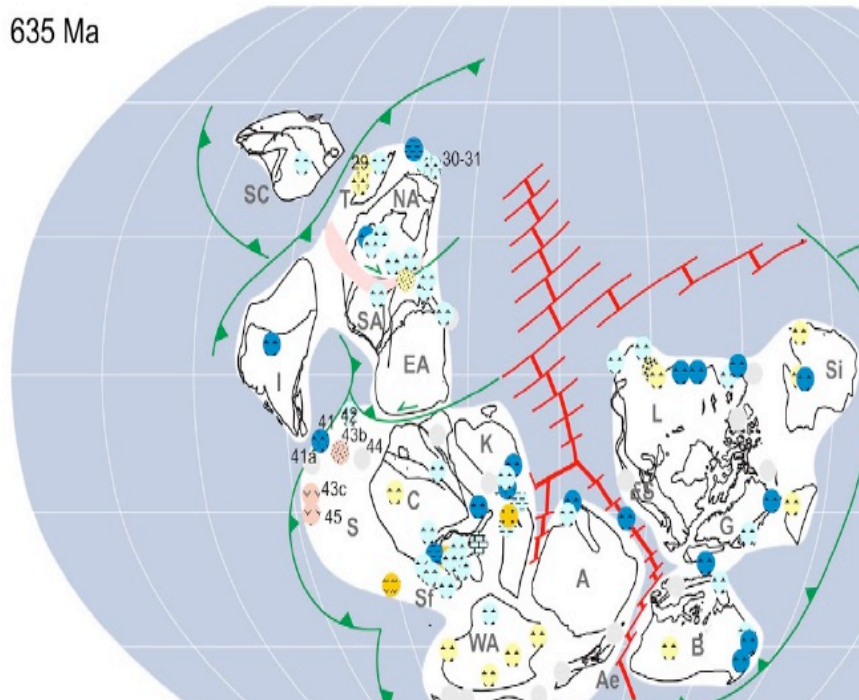
780 Ma



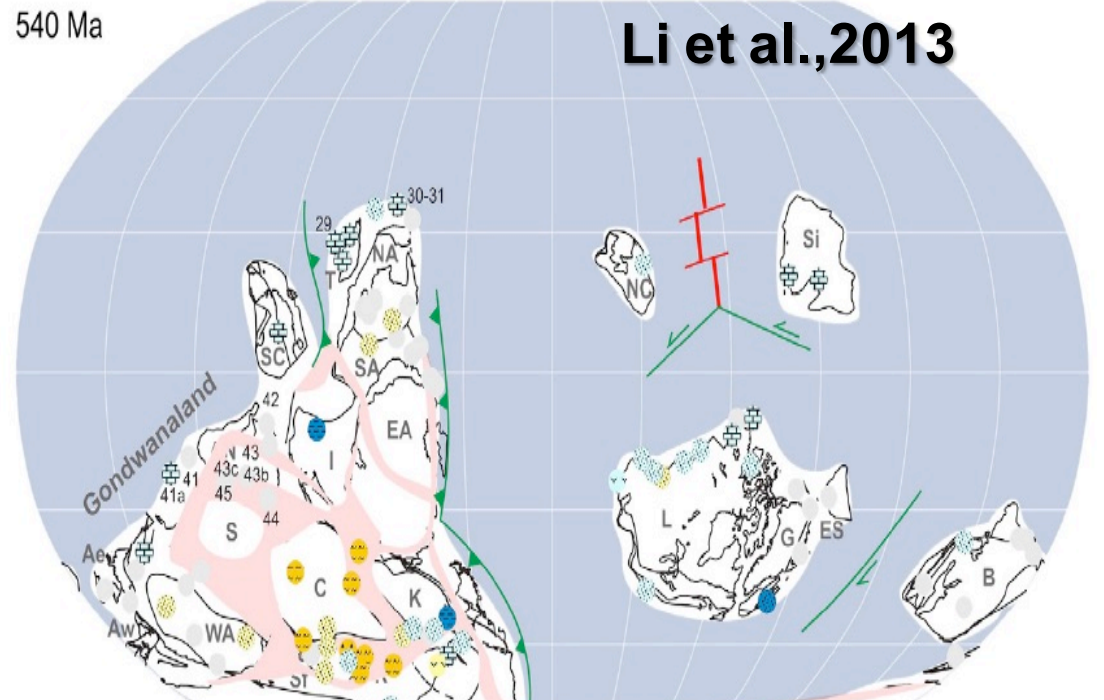
680 Ma



635 Ma



540 Ma

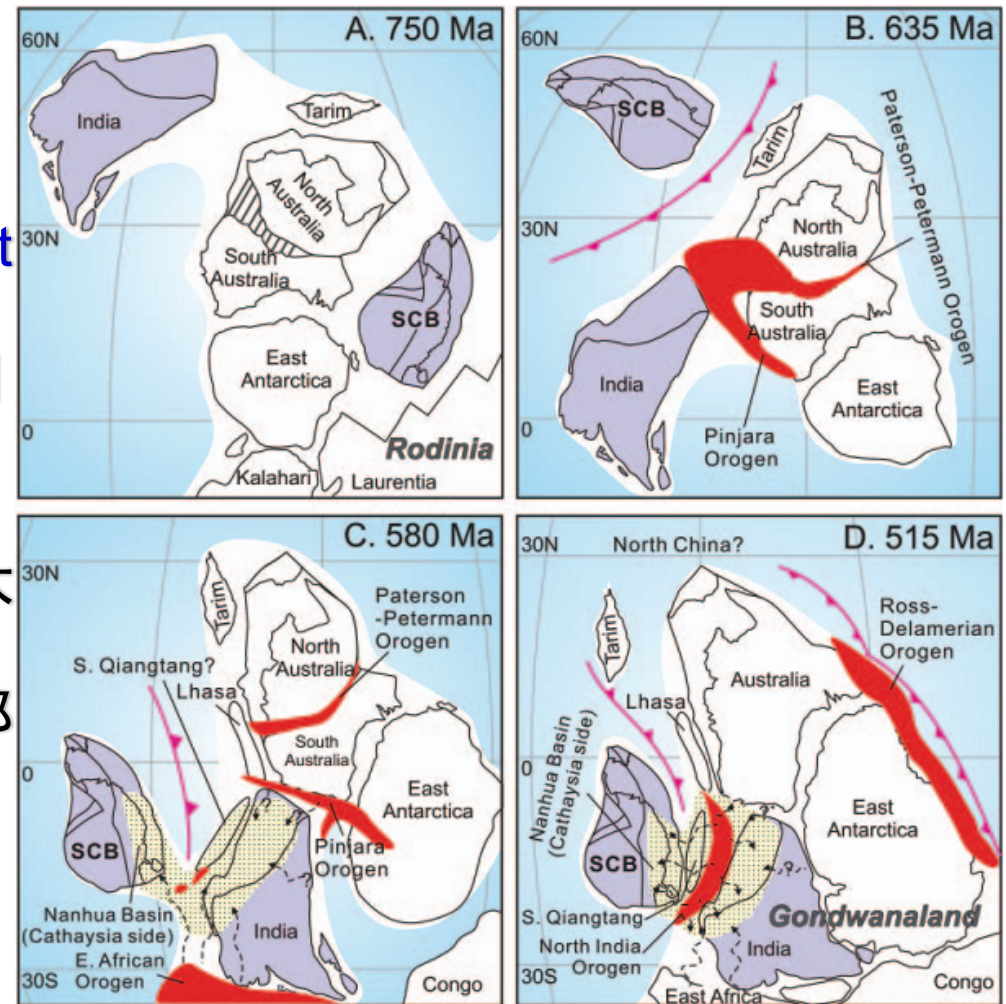


Li et al., 2013

华夏陆块（华南板块）在Rodinia、Gondwana超大陆中的位置

新元古代华南板块位于劳伦大陆、澳大利亚东南部和东南极之间；580Ma左右与印度北部碰撞，位于澳大利亚西部和印度北部 (Yao et al.,2014; Li et al.,1995,1996, 2001, 2008)。

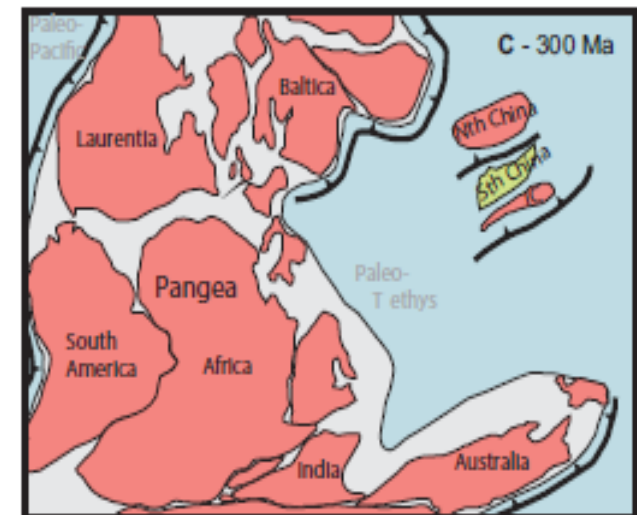
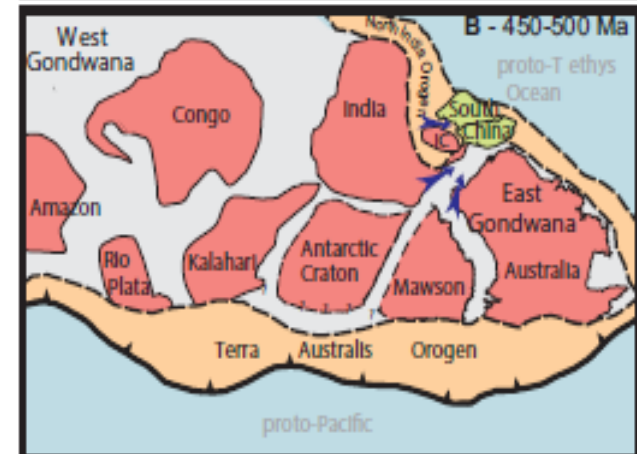
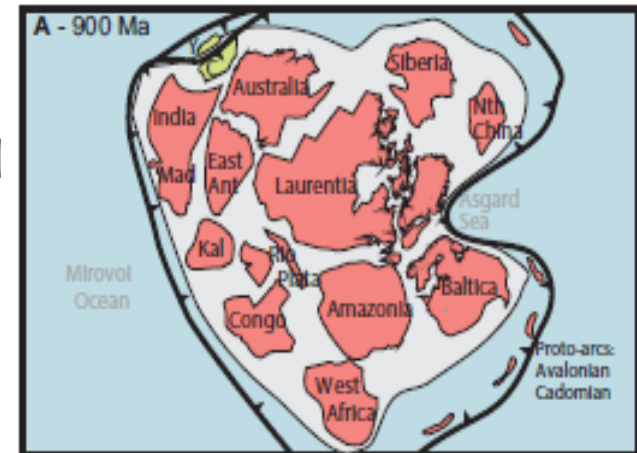
- 1) 华夏陆块在1100-900Ma与澳大利亚、劳伦、扬子板块聚合成罗迪尼亚大陆的中部；
- 2) 约750Ma，华南陆块从罗迪尼亚大陆中分离；
- 3) 晚震旦纪，华南板块与印度西北部发生碰撞；
- 4) 寒武纪-奥陶纪，沿着印度西北缘形成“泛非”造山带，华夏陆块内形成武夷-云开造山带。



华夏陆块（华南板块）在 Rodinia、Gondwana 超大陆中的位置

华南板块自新元古代至早古生代一直作为一个整体存在于 Rodinia、Gondwana 超大陆边缘，位于西澳大利亚与印度东北部之间 (Peter, 2013; Yu et al., 2008; Xu et al., 2013)。

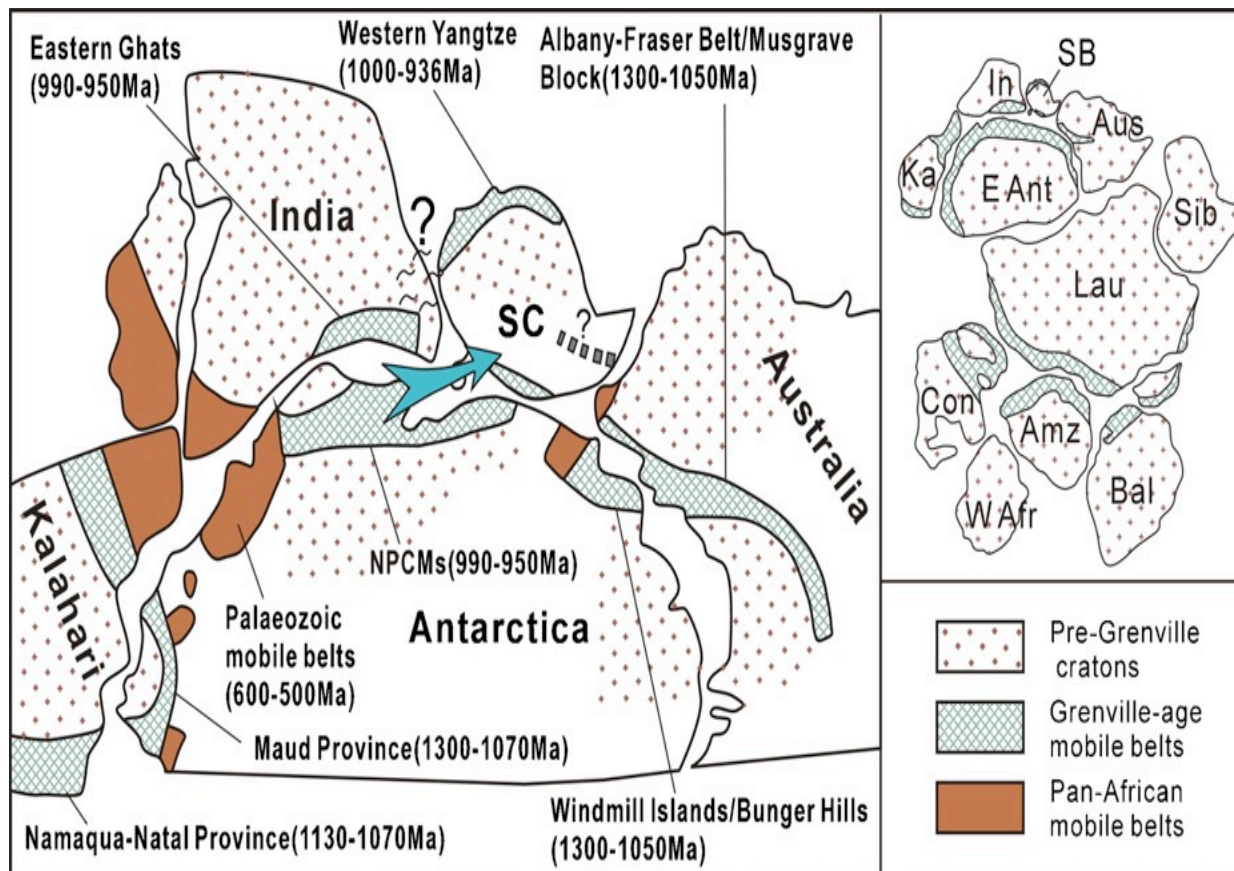
Peter, 2013



华夏陆块（华南板块）在Rodinia、Gondwana超大陆中的位置

Yu (2008) 认为华夏地块在新元古代很可能曾与东印度、东南极相邻，即位于东Gondwana大陆的北缘；

王丽娟（2008）对南岭中部不同地区沉积物的碎屑锆石形貌学和年代学的研究也指出，沉积物来源于华夏地块的南部或南方；

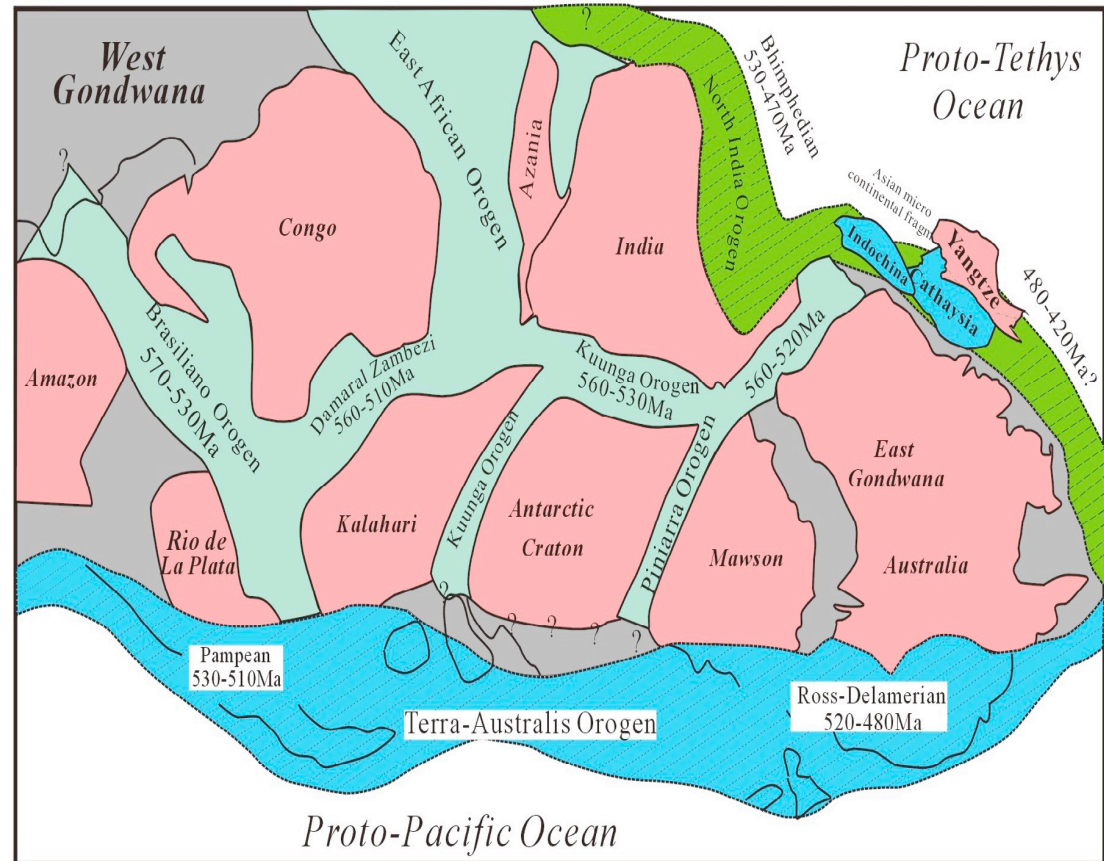


魏震洋（2009）等对南岭地区沉积物研究推断华夏陆块南岭地区新元古代沉积物很可能来源于与小喜马拉雅地区，即东冈瓦纳大陆的北缘。

Yu et al., 2008

华夏陆块（华南板块）在Rodinia、Gondwana超大陆中的位置

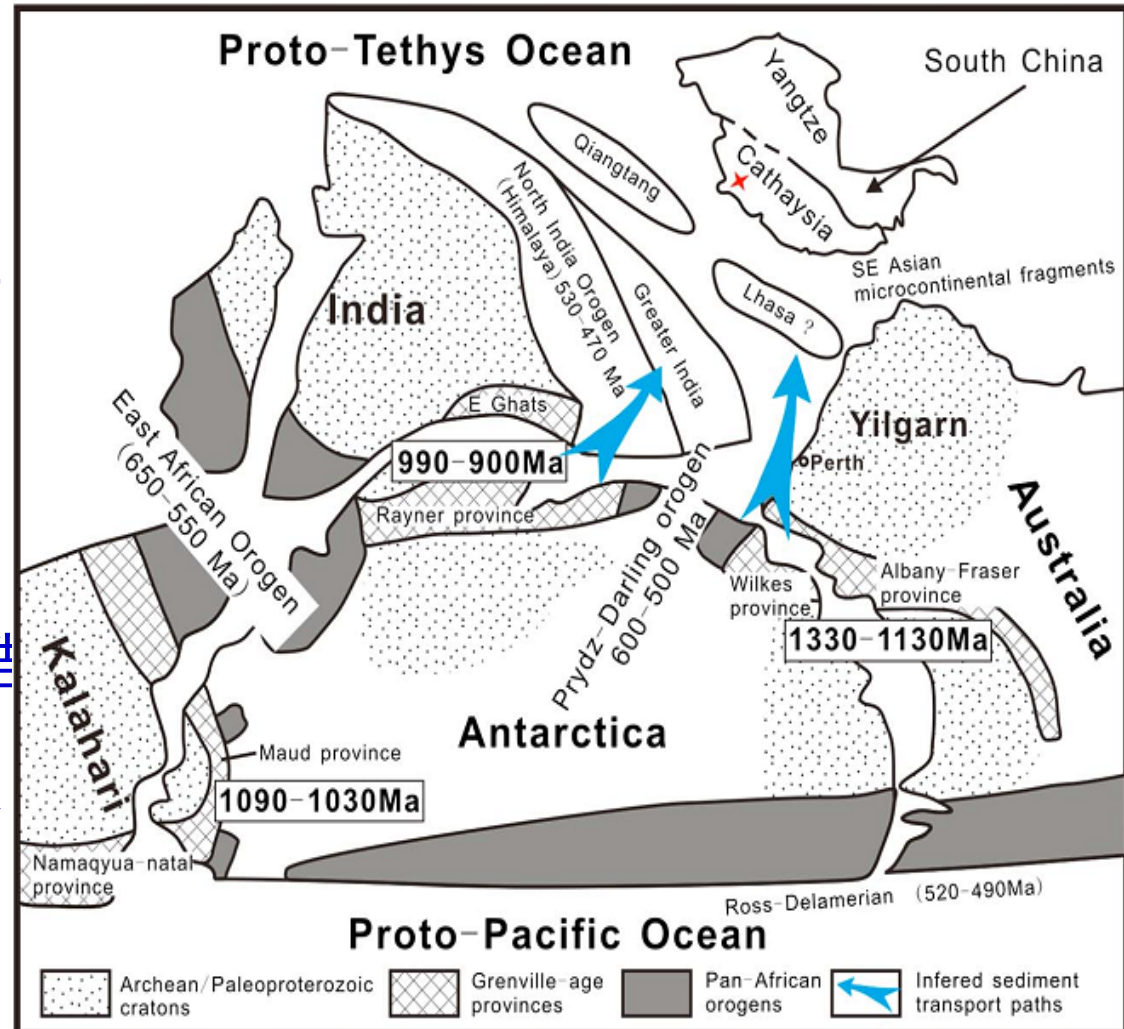
Wang (2010) 也提出华南板块在早古生代位于Gondwana北缘，澳大利亚板块与印度板块之间。



Wang et al., 2010

华夏陆块（华南板块）在Rodinia、Gondwana超大陆中的位置

Xu (2013) 提出华南板块早古生代1120Ma的碎屑锆石可能来自于南极和西澳大利亚块体之间的Wilkes-Albany-Fraser造山带；960Ma的碎屑锆石可能来源于南极和印度块体之间的Rayner-Eastern Ghats造山带。

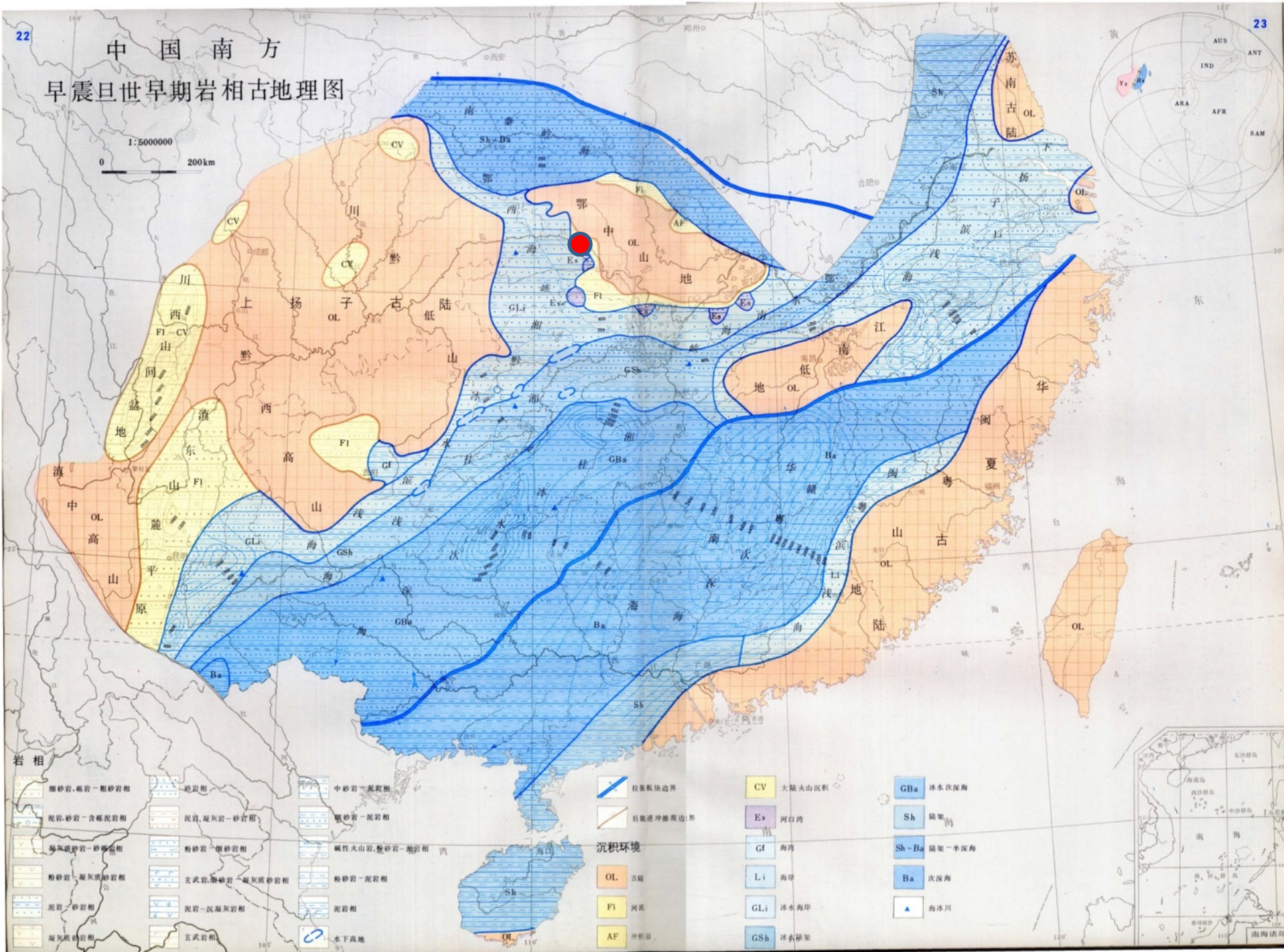


Xu et al, 2013

中国南方 早震旦世早期岩相古地理图

1:5000000

0 200km



岩相

- | | | |
|-------------|----------------|---------|
| 细砂岩-砾岩-粗砂岩相 | 砂岩相 | 中砂岩-泥岩相 |
| 泥岩-砂岩-含砾泥岩相 | 泥岩-砾岩-砂岩相 | 泥岩相 |
| 砾质砂岩-砂岩相 | 粉砂岩-细砂岩相 | 粉砂岩-泥岩相 |
| 粉砂岩-凝灰质砂岩相 | 玄武岩-凝灰岩-凝灰质砂岩相 | 粉砂岩-泥岩相 |
| 泥岩-砂岩相 | 泥岩-泥质凝灰岩相 | 泥岩相 |
| 凝灰质砂岩相 | 玄武岩相 | 水下高地 |

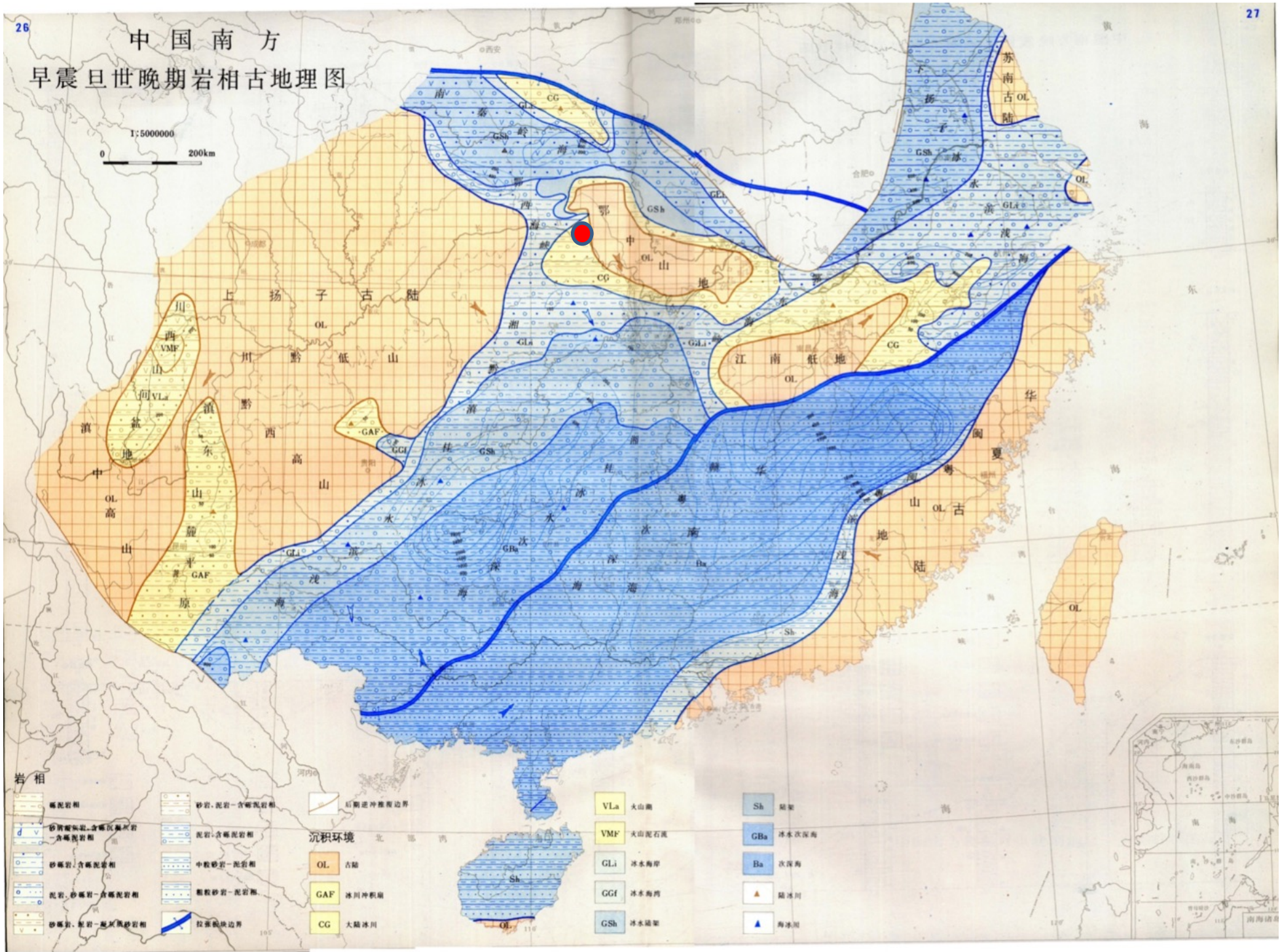
沉积环境

- | | | |
|----------|-----------|--------------|
| 拉裂板块边界 | CV 大陆火山沉积 | GBa 冰海次深海 |
| 后期造冲推覆边界 | Es 河口湾 | Sh 陆架 |
| OL 古陆 | Gf 海湾 | Sh-Ba 陆架-半深海 |
| Fi 河流 | GLi 海岸 | Ba 次深海 |
| AF 冲积扇 | GLi 冰海海岸 | GSh 冰海陆架 |
| | Sh 冰海 | Ba 冰海 |
| | GSh 冰海 | Li 冰海 |
| | GSh 冰海 | GSh 冰海 |



中国南方 早震旦世晚期岩相古地理图

1:5000000



岩相

- 砂页岩相
- 砂页岩-含砾砂页岩相
- 砂页岩-含砾泥岩相
- 泥岩-含砾泥岩相
- 泥岩-砂页岩-含砾泥岩相
- 砂页岩、页岩-粗砂页岩相
- 砂页岩-泥岩-含砾砂页岩相
- 砂岩、泥岩-含砾泥岩相
- 泥岩-含砾泥岩相
- 中粒砂岩-泥岩相
- 粗粒砂岩-泥岩相
- 后逆冲推覆带边界
- 拉张裂谷边界

沉积环境

- OL 古陆
- GAF 冰川冲积扇
- CG 大陆冰川
- VLa 火山湖
- VMF 火山泥石流
- GLi 冰海海岸
- GGf 冰海海湾
- GSh 冰海堤坝
- Sh 陆架
- GBa 冰海次深海
- Ba 冰海
- ▲ 陆冰川
- ▲ 海冰川



表 3-1 湖北秭归新元古界南华系、震旦系地层序列

时代		组名、代号			厚度(m)	岩性描述		
新元古界	震旦系	上统	龙灯溪组	白马沱段	$Z_2 dn^b$	17.50	灰白色厚—中层状白云岩、夹中层—薄层状细晶白云岩,局部层状硅质条带、结核发育	
			石板滩阶	石板滩段	$Z_2 dn^s$	36.0	深灰色、灰黑色薄层含硅质泥晶灰岩,偶夹燧石条带,极薄层泥晶白云岩条带发育	
			蛤蟆井阶	蛤蟆井段	$Z_2 dn^h$	134.4	灰色—浅灰色中层夹厚层内碎屑白云岩,细晶白云岩,含硅质细晶白云岩	
		下统	陡山沱组	庙河阶	四段	$Z_1 d^4$	44.1	黑色薄层硅质泥岩,炭质泥岩夹白云质灰岩
				三段	$Z_1 d^3$	60.9	上部灰白色厚层夹中层状白云岩、粉晶—细晶白云岩,燧石结核及条带发育。上部为薄层状粉晶白云岩	
				二段	$Z_1 d^2$	89.2	深灰色—黑色薄层泥质灰岩、白云岩夹薄层炭质泥岩,呈不等厚互层状叠置	
	翁安阶	一段		$Z_1 d^1$	5.5	灰、深灰黑色厚层含硅质白云岩,含燧石结核;薄—中层状白云岩、灰质白云岩		
	南华系	上统	南沱组		$Nh_2 n$	103.4	灰绿色夹紫红色块状冰碛砾岩,含冰石英砂砾泥岩,局部偶见薄层状粉砂质泥岩	
		下统	莲沱组	二段	$Nh_1 l^2$	30	紫红色薄层—中层中粒长石石英岩屑,砂岩夹粉砂质泥岩、粉砂岩,偶夹中层、厚层含砾砂岩	
				一段	$Nh_1 l^1$	63	紫红色、灰绿色厚层长石石英砂岩、含砾砂岩、砂岩间夹薄层状凝灰质石英砂岩及少量薄层粉砂质泥岩	
中元古界		庙河岩组		$Pt_2 m$	864	斜长角闪花岗岩		
古元古界		小以村组		$Pt_1 x$	645	黑云二长片麻岩、斜长片麻岩、石英黑云母片或二云片麻岩、斜长角闪岩		

莲沱组



莲沱组



莲沱组



NDE3

莲沱组



莲沱组





莲沱组



莲沱组



莲沱组



莲沱组



莲沱组



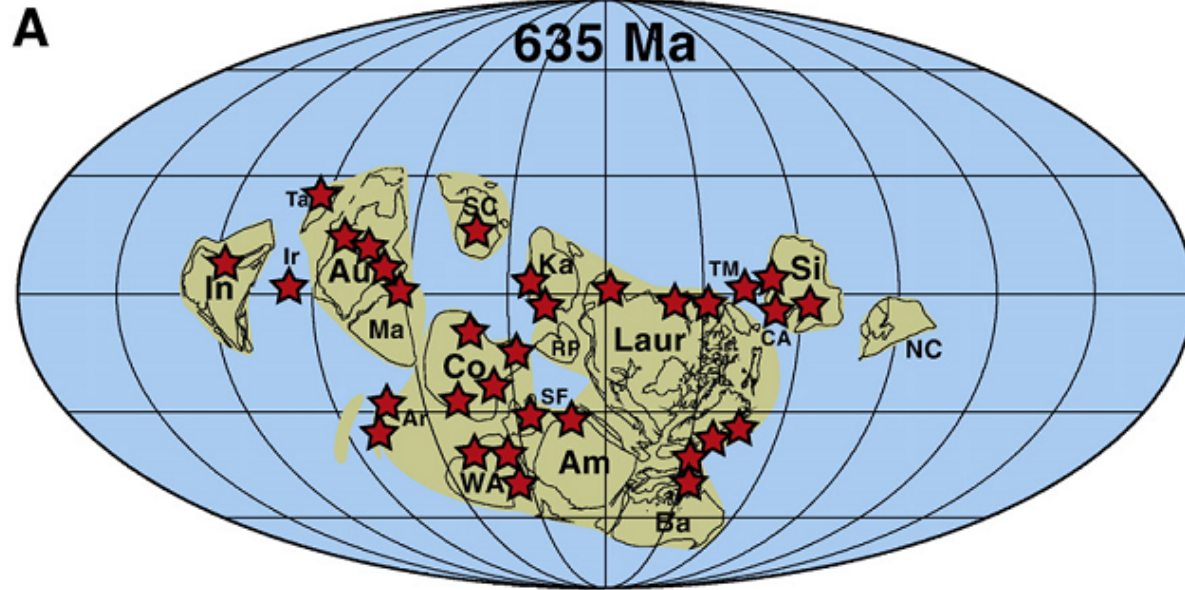
莲沱组



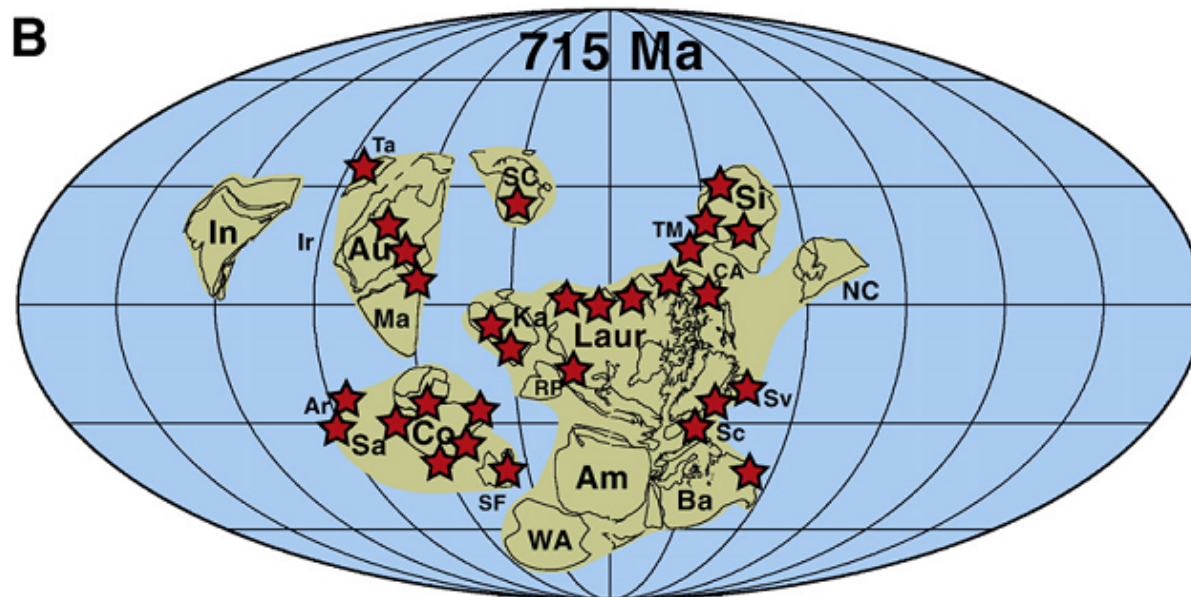
新元古代冰期是一个多期次的过程，目前在世界范围内可区分出至少四个主要期次。

期次	时限 (Ma)	冰川类型	影响范围	对华南的影响
Kaigas冰期	757-741	大陆 山岳型	局部	?
Sturtian冰期	718-660	大洋型	全球	Y
Marinoan冰期 (NSE)	651-635	大洋型	全球	Y
Gaskiers冰期	583.7-582.7	大陆 山岳型	局部	N

雪球地球



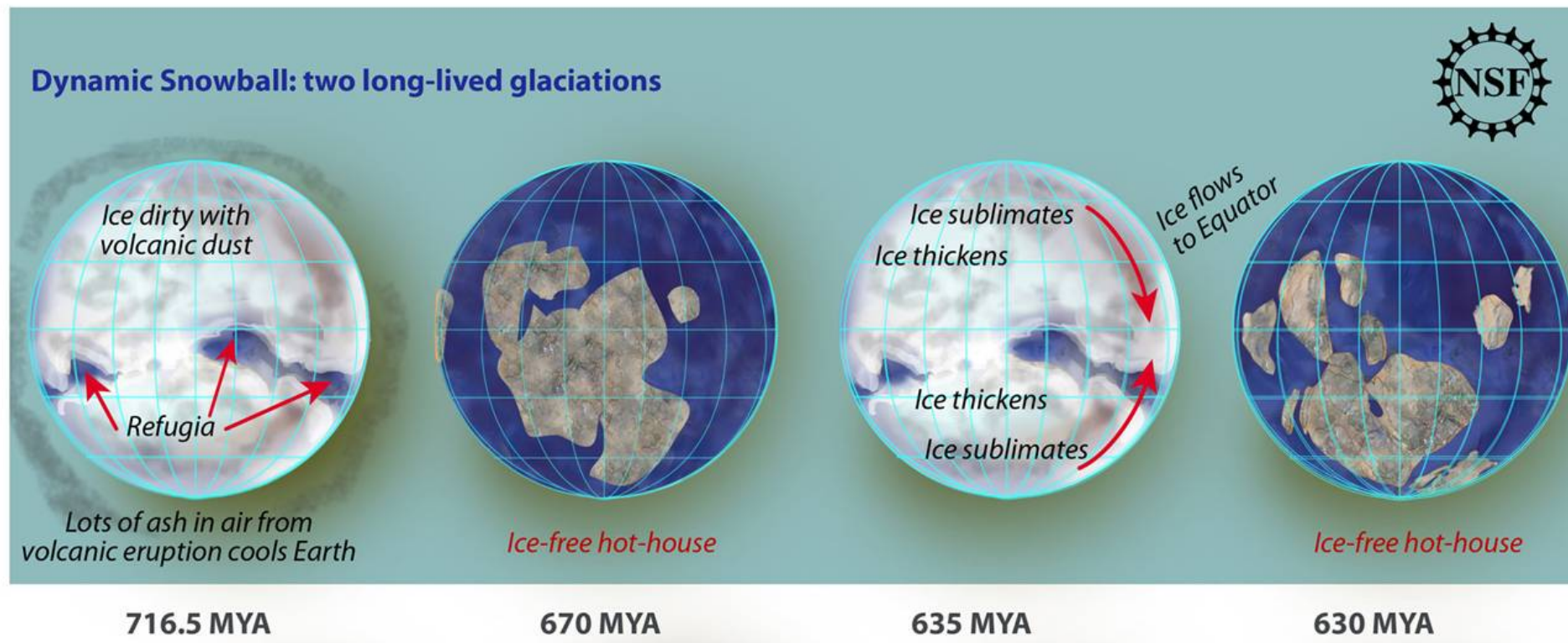
“Marinoan”冰期沉积物
在古大陆中分布



“Sturtian”冰期沉积物
在古大陆中分布

Hoffman and Li, 2009

雪球地球或冰水地球？



新元古代晚期全球冰期可能仍在地球表面留下未冻结的开阔海域的论断，这些开阔海域可能位于近赤道位置 (Hyde et al., 2000; Lewis et al., 2007; Allen and Etienne, 2008; Le Heron et al., 2011)，并将这种冰期模式成为“Slushball Earth”（冰水地球）。

古城组



古城组



古城组



大塘坡组





南沱组



南沱组



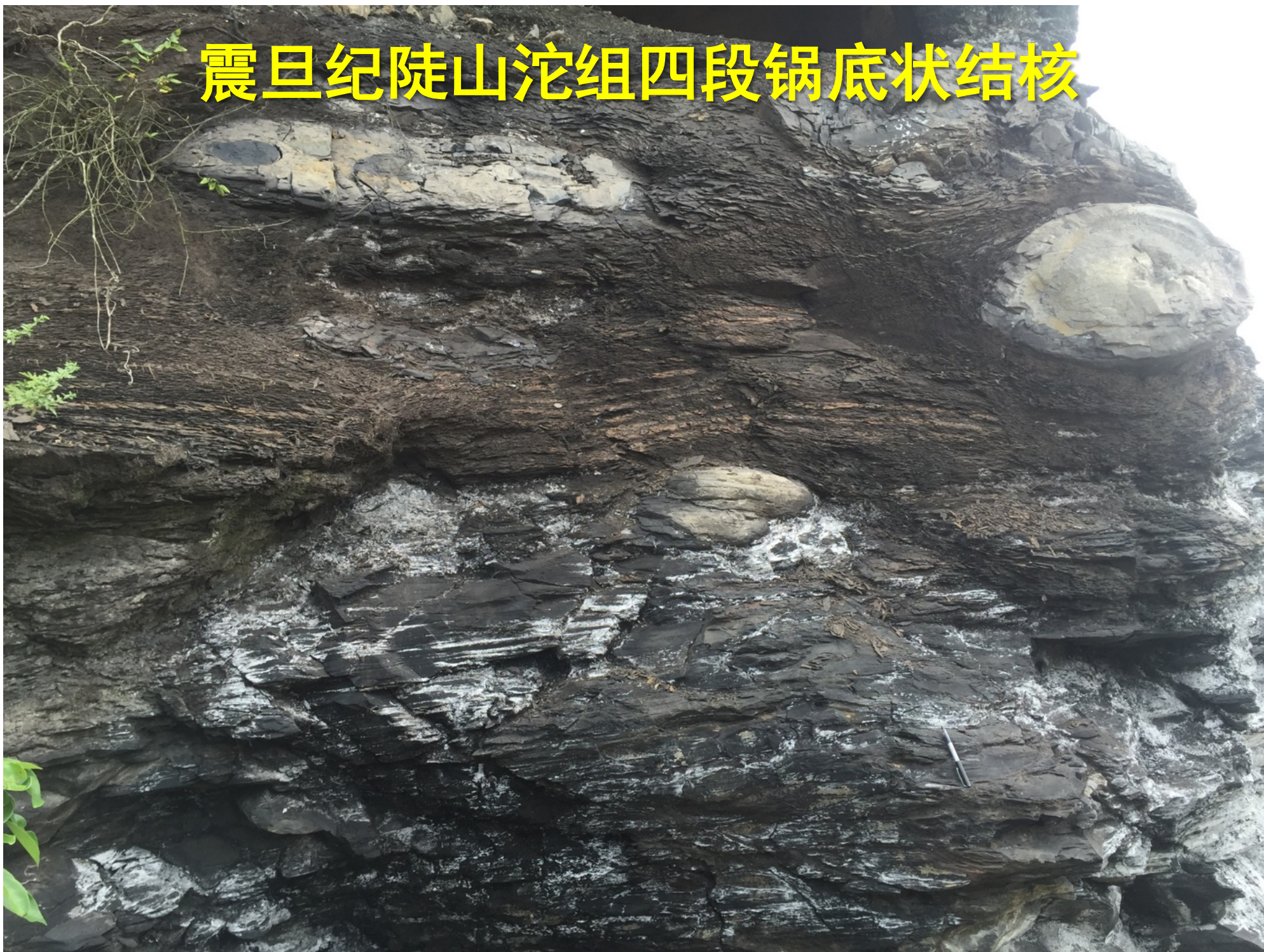
震旦纪陡山沱组盖帽白云岩



震旦纪陡山沱组盖帽白云岩



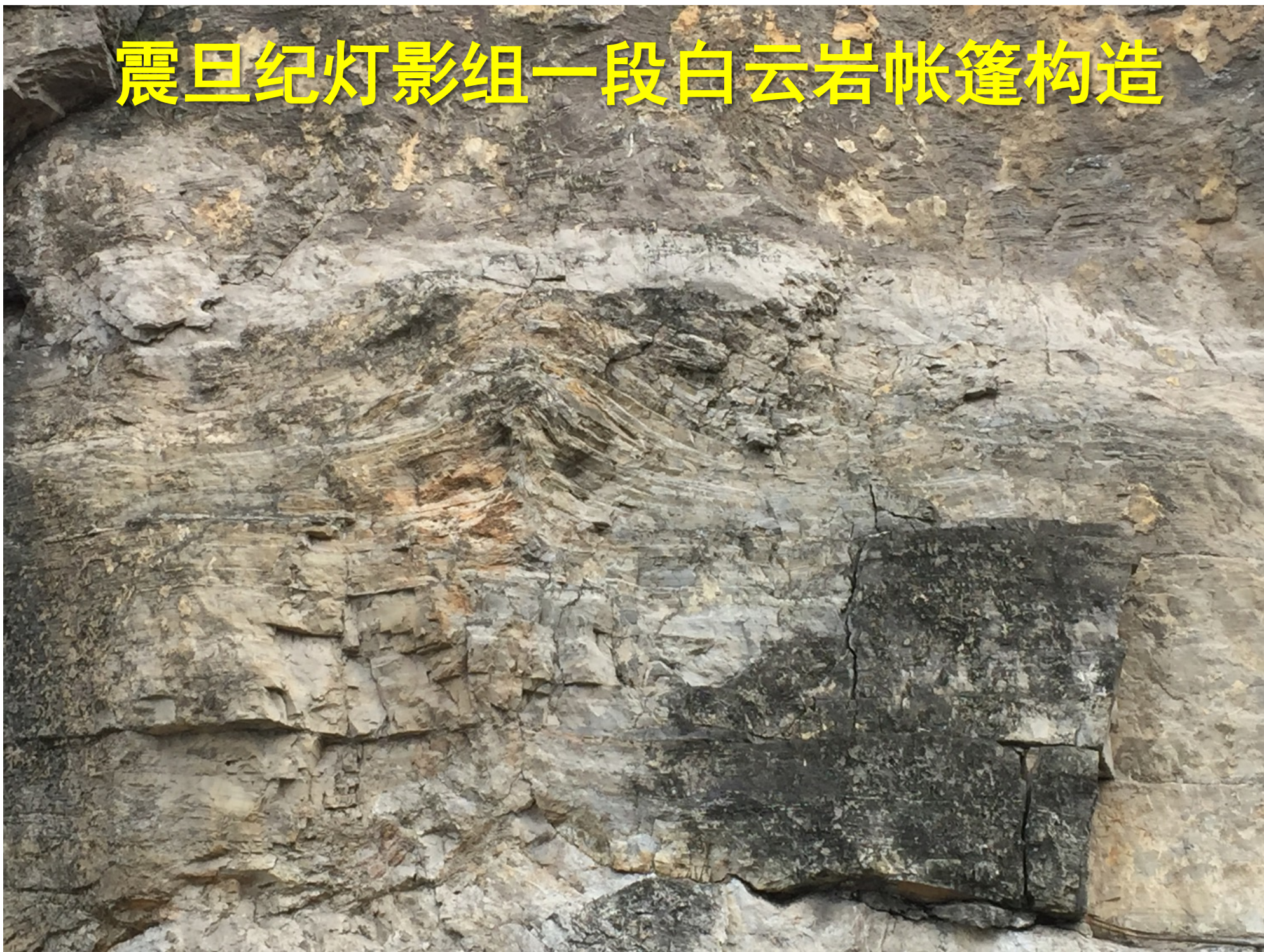
震旦纪陡山沱组四段锅底状结核

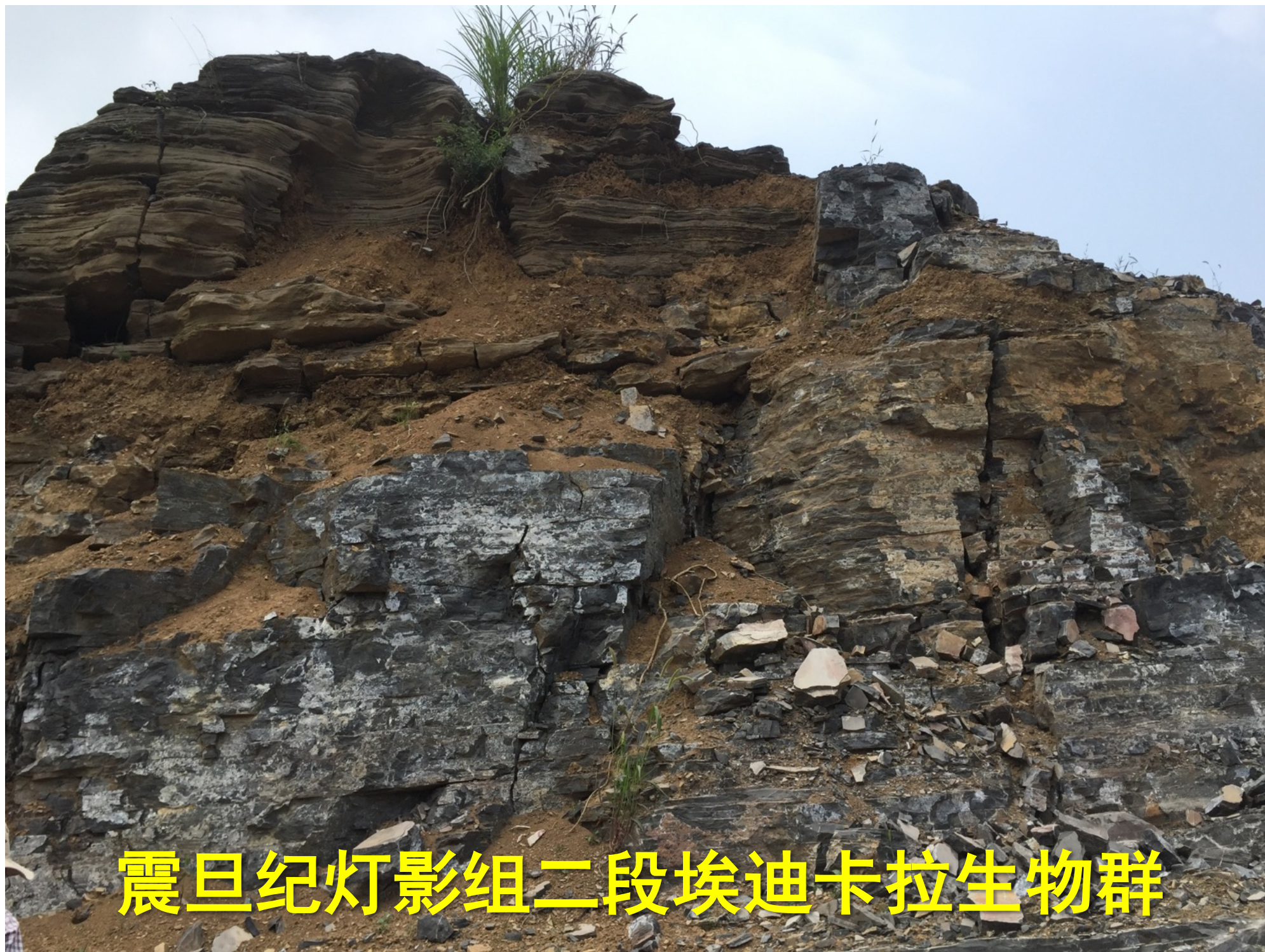


震旦纪灯影组一段白云岩



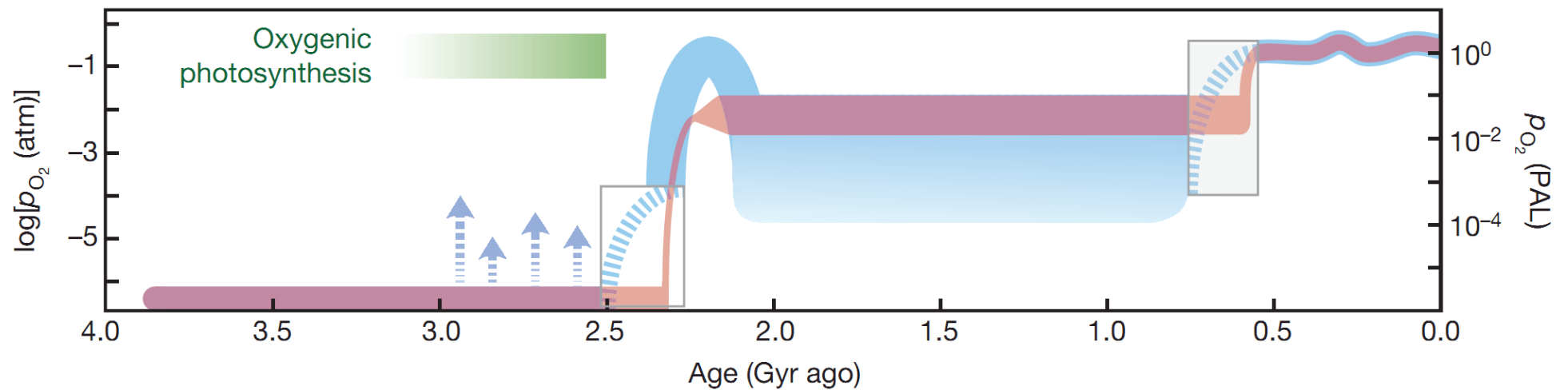
震旦纪灯影组一段白云岩帐篷构造





震旦纪灯影组二段埃迪卡拉生物群

地球早期大气氧化历史



Lyons et al., 2014, Nature

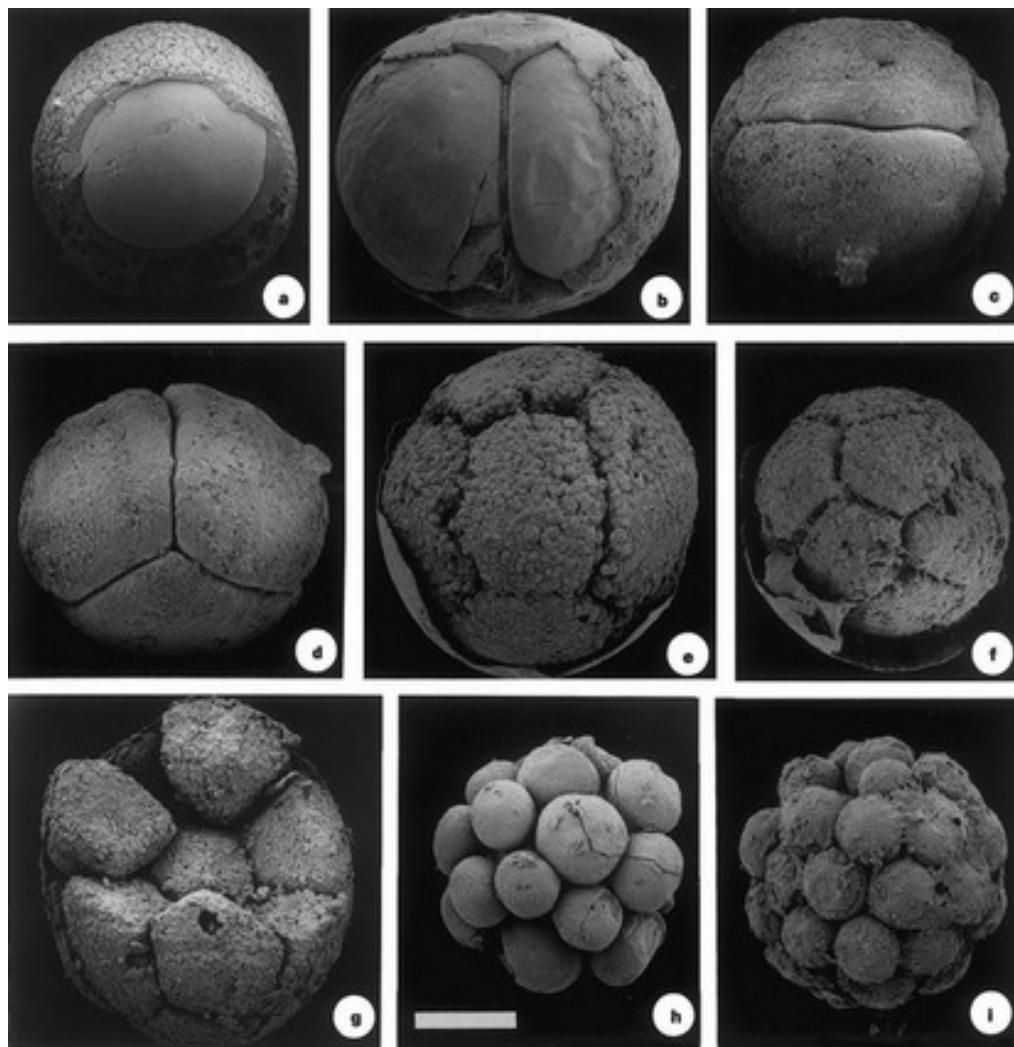
早期生物实体：瓮安生物群

瓮安生物群产自贵州瓮福磷矿采区埃迪卡拉纪陡山沱组上部，主要由立体保存的多细胞藻类、大型带刺疑源类和后生动物胚胎等多种化石组成。其中的动物胚胎化石作为迄今最古老的后生动物化石记录，为研究动物在寒武纪大爆发之前的起源和早期演化历程提供了独一无二的实证材料，受到全球科学界的极大关注。

瓮安生物群

经过近20年的研究，瓮安生物群所涉及的生物属种和内涵发生了很大变化。特别是20世纪90年代末期，后生动物休眠卵和胚胎化石在该生物群中被发现和确认，使瓮安生物群不仅包含具细胞组织结构和组织分化的多细胞藻类原叶体、多细胞藻类集合体、丝状藻类、球状藻类、疑源类等化石，还包括后生动物休眠卵和胚胎化石以及早期后生动物的遗体或遗迹等化石。据最新的研究资料，含瓮安生物群的地层年龄在6亿年左右。

动物胚胎化石



海绵化石

——“贵州始杯海绵”
(*Eocyathispongia qiania*)





图4:微管状刺胞动物实体化石 (据刘鹏举等, 2006)

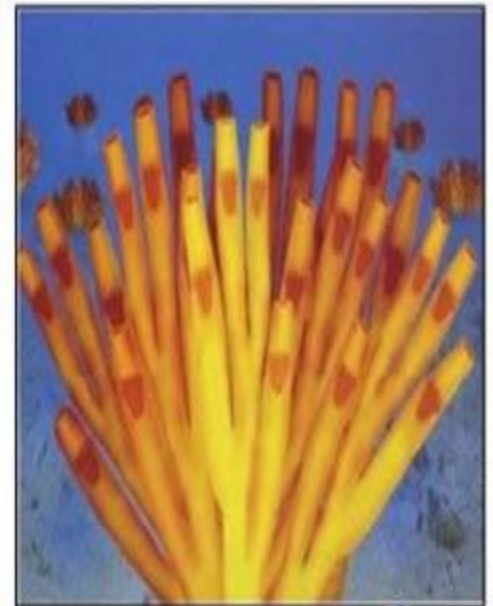


图5:刺胞动物复原原贵州圆径,可能为珊瑚虫 (据陈均远, 2004)

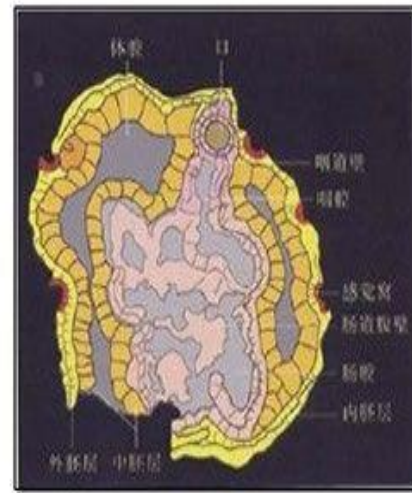


图2: 贵州小春虫正模标本解释图 (据陈均远, 2004)

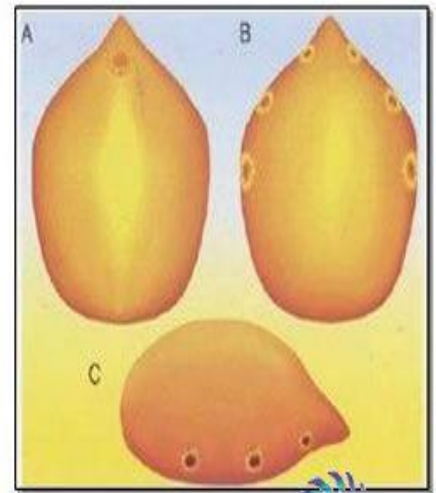
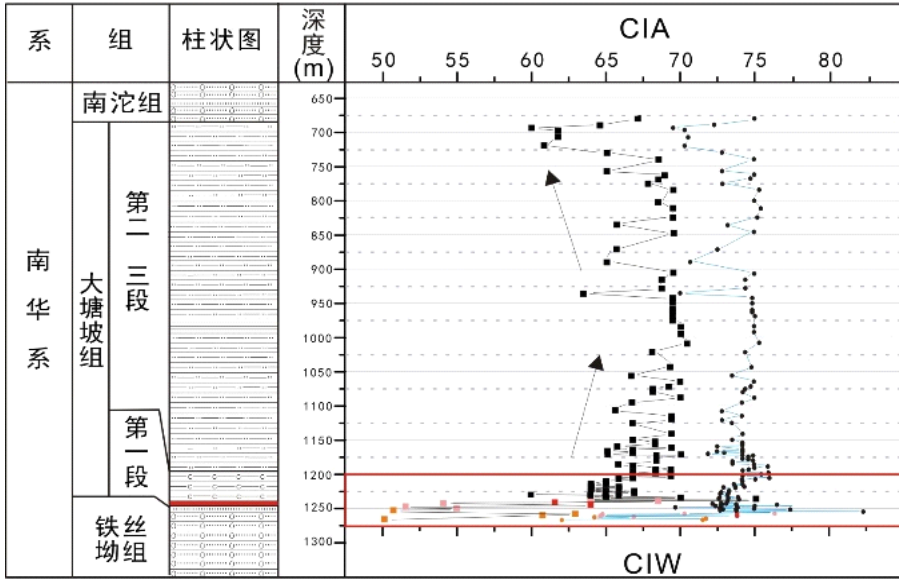


图3: 贵州小春虫复原 (据陈均远, 2004)

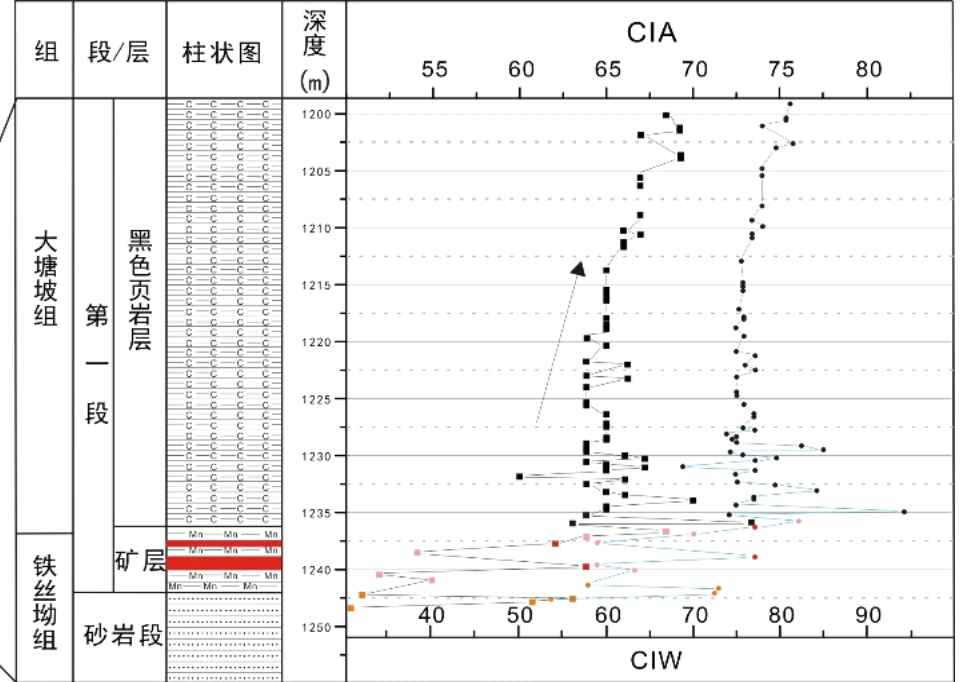
新元古代全球大规模成矿作用时限及特征

地点	地层时代	赋存层位	矿石矿物	Mn-Fe平均含量
纳米比亚 Otjozondu矿床	750-650 Ma	Damara群Chuosis组BIF与 Mn矿层相间	氧化锰	Mn 47.2%, Fe 13.9%
巴西Urucum矿床	755- 710Ma	Jacadiogo群Santa Cruz 组BIF与Mn矿层相间, 冰 期碎屑岩沉积	氧化锰	Mn ~40%, Fe 15%
印度Adilaba地区	720 \pm 30 Ma	Mn-燧石层赋存于硅质灰 岩-砾岩中	菱锰矿	Mn ~30%, Fe 1-2%
中国湘黔渝鄂地区	664-654 Ma	大塘坡组底部黑色页岩段, 覆盖下伏铁丝坳组(古城 组)冰碛岩	菱锰矿	甘棠山 Mn47%, Fe 5%
				湘锰 Mn34%, Fe 3.48%
				大塘坡 Mn25%, Fe 2-3%

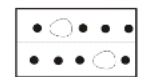
大塘坡组锰矿层位



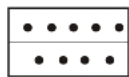
A



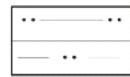
B



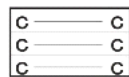
含砾砂岩



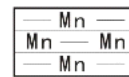
砂岩



粉砂岩



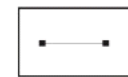
碳质页岩



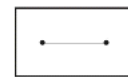
含锰页岩



锰矿石

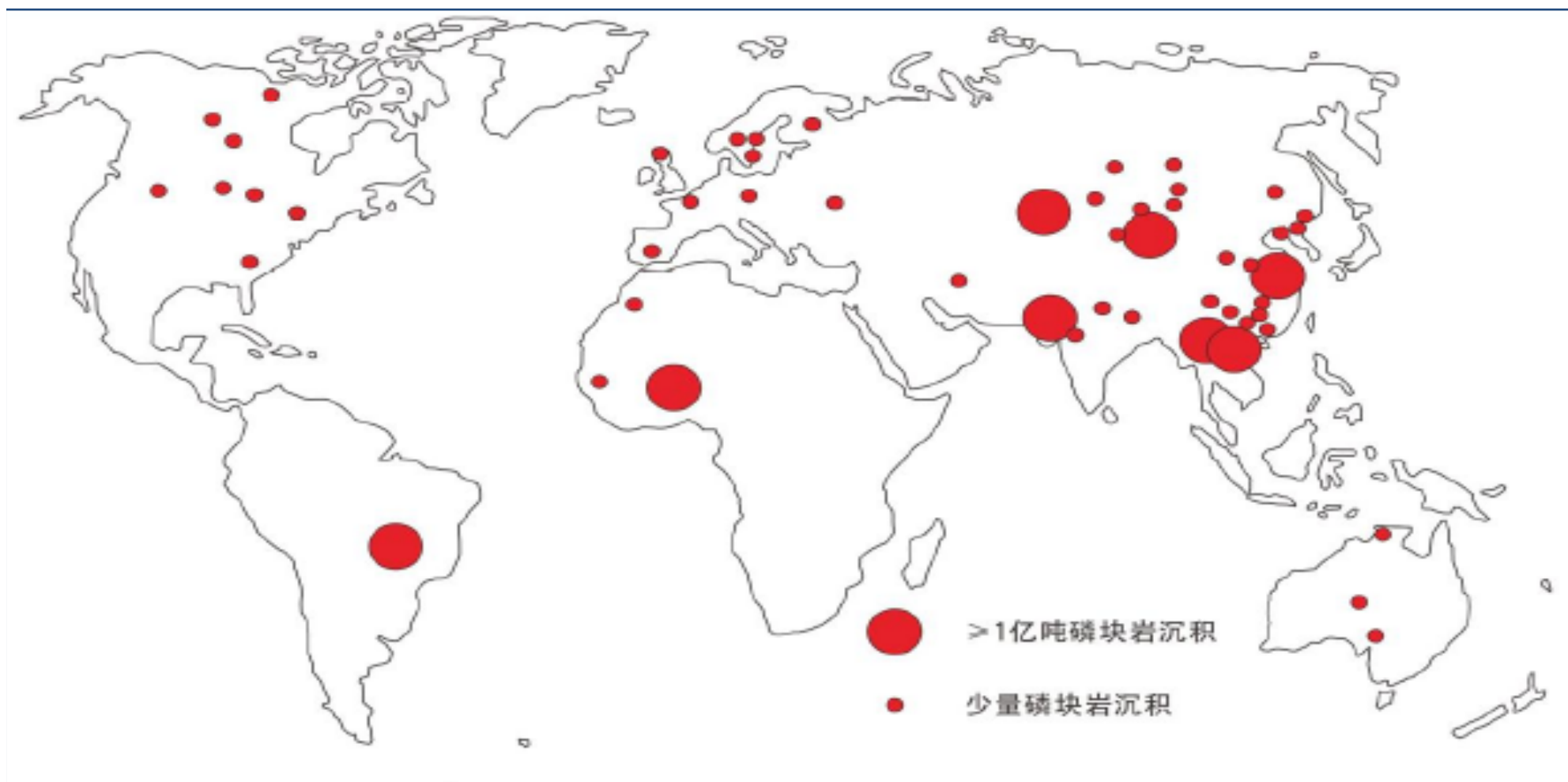


CIA



CIW

新元古代陡山沱期成磷背景



新元古代全球磷矿分布图（据Cook, 1992）

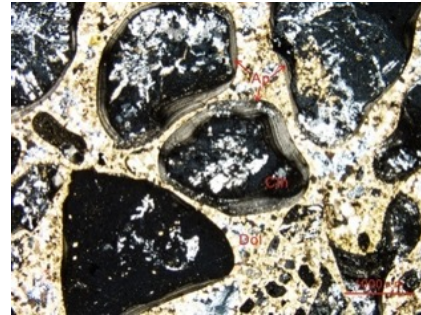
华南震旦纪陡山沱组对比

地区/地层		宜昌地区	永温勘查区	新寨勘查区	瓮福矿区
灯影组		白云岩	白云岩、硅质白云岩	白云岩、硅质白云岩	白云岩、硅质白云岩
陡山沱组	4段	黑色页岩	磷矿层	b矿层	b矿层
	3段	白云岩		硅质白云岩	硅质白云岩
	2段	黑色页岩		a矿层	a矿层
	1段	盖帽白云岩	含Mn白云岩	含Mn白云岩	盖帽白云岩
灰绿色砂岩			灰绿色砂岩		
南沱组		冰碛砾岩	冰碛砾岩	冰碛砾岩	冰碛砾岩

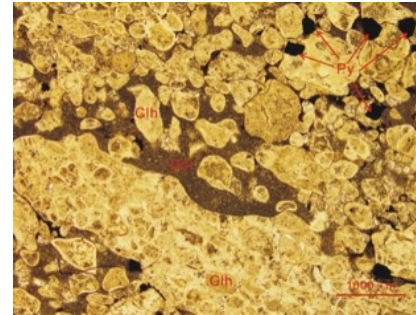
陡山沱组磷矿

颗粒结构磷块岩

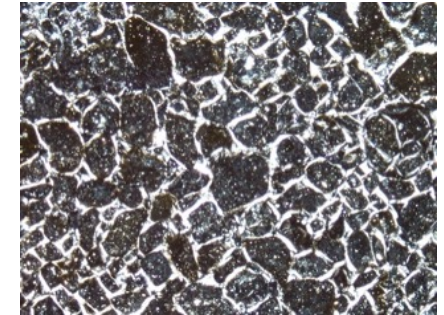
1. 团粒磷块岩
2. 鲕、豆粒磷块岩
3. 内碎屑磷块岩
 - ① 砾屑磷块岩
 - ② 砂屑磷块岩
 - ③ 粉屑磷块岩



鲕、豆粒磷块岩

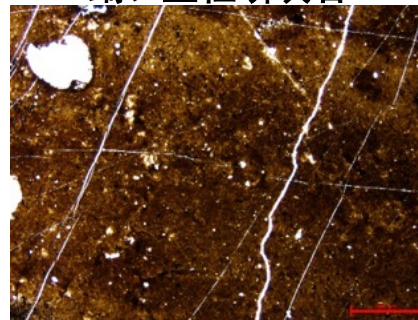


砾屑磷块岩

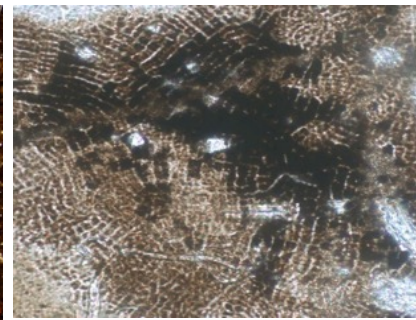


砂屑磷块岩

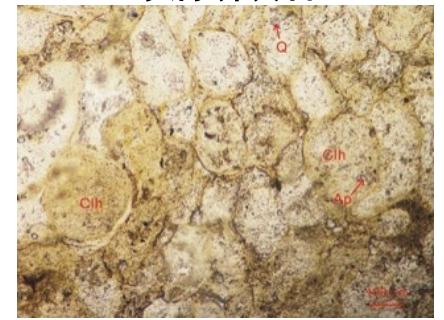
泥晶结构磷块岩



泥晶结构磷块岩



含藻类生物磷块岩



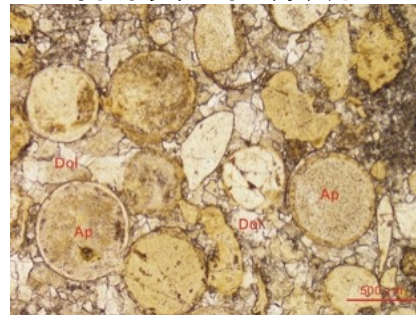
团粒磷块岩

生物结构磷块岩

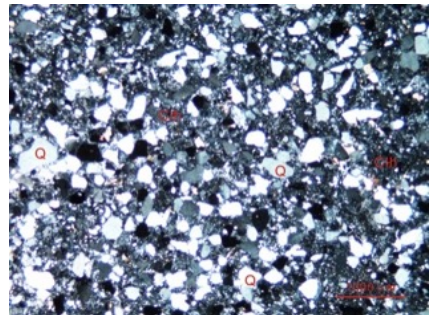
1. 藻叠层石磷块岩
2. 藻纹层磷块岩
3. 生物球粒磷块岩



藻叠层石磷块岩



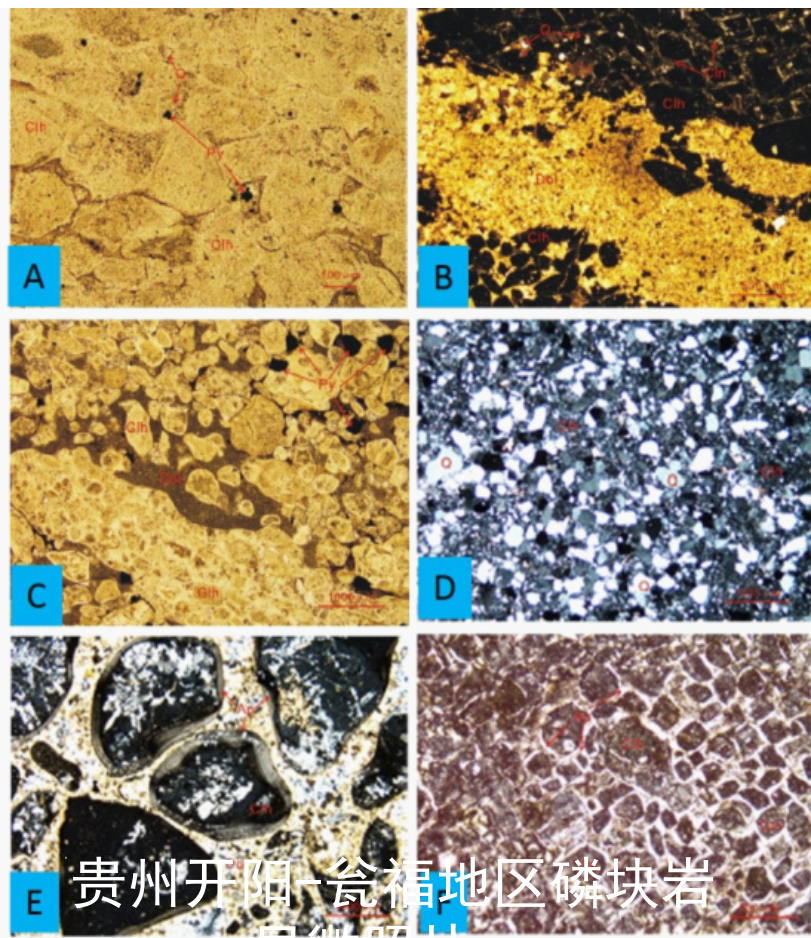
生物球粒磷块岩



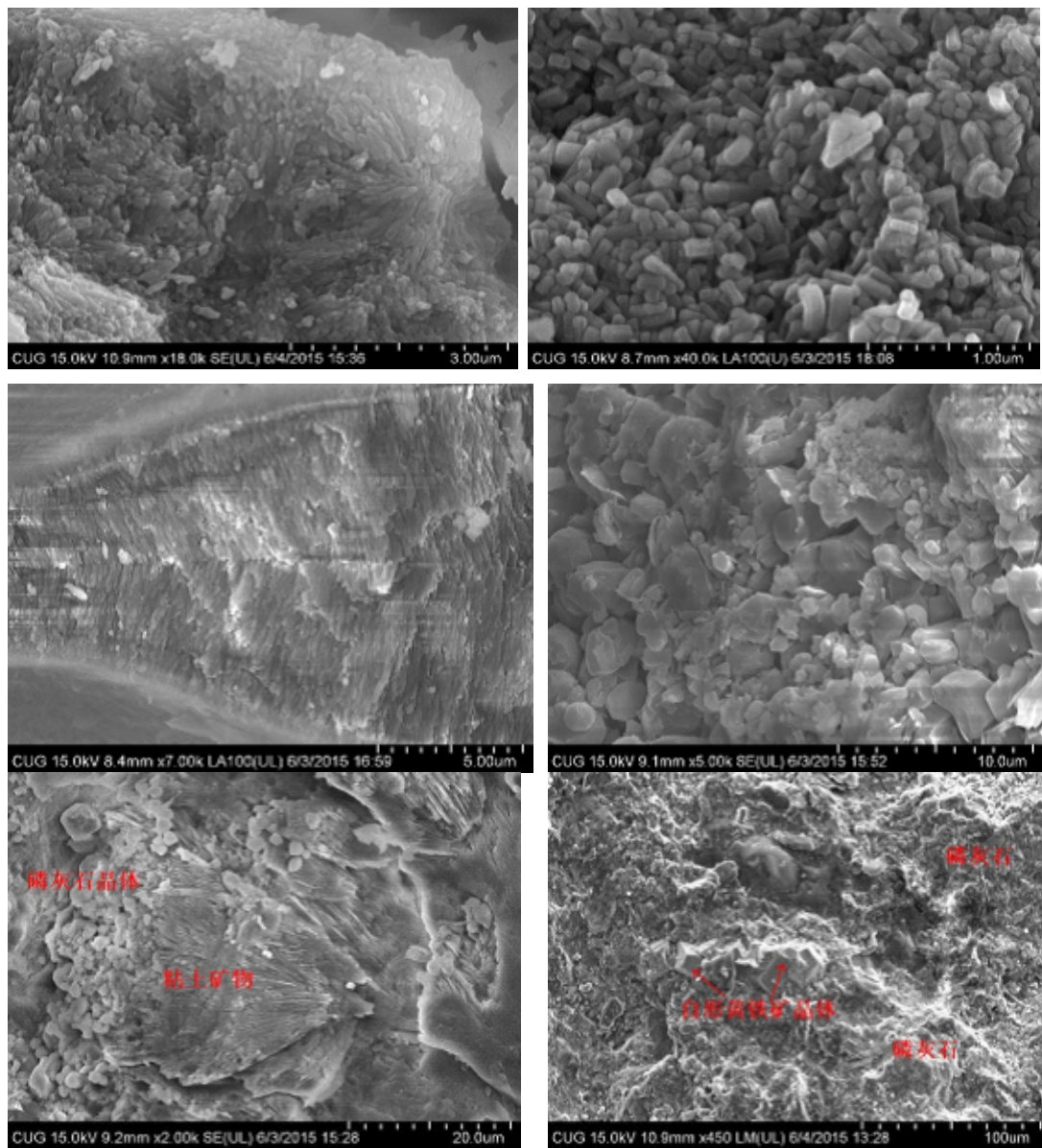
陆屑-胶结结构磷块岩

陆屑-胶结结构磷块岩

陡山沱组磷矿



贵州开阳-瓮福地区磷块岩



开阳地区磷块岩扫描电镜照片

耦合还是巧合？

这些重大地质事件之间，是耦合还是巧合？

- 1、Rodingnia超大陆的裂解；
- 2、冰期—间冰期的古气候；
- 3、第二次大成氧事件；
- 4、实体动物的诞生；
- 5、大规模成锰、成磷作用。

中上扬子地块东南缘南华纪锰矿 与重大地质事件

- 锰及锰资源概况
- 科学问题
- 研究进展
 - ✓ 新元古代裂谷构造与大规模锰矿成矿作用
 - ✓ Sr同位素指示的锰质来源
 - ✓ 新元古代深时古气候和大规模锰成矿作用
 - ✓ 盖帽白云岩
- 找矿模型
- 深部找矿重大突破

请指正，谢谢！

