

文章编号: 1000-0550(2010) 05-0849-12

活动古地理重建的实践与思考¹

——以青藏特提斯为例

王成善¹ 郑和荣² 冉波³ 刘本培¹ 李祥辉⁴ 李亚林¹ 孙红军² 陈建平¹ 胡修棉⁴

(1 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院和青藏高原地质研究中心 北京 100083;
2 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 北京 100083;
3 成都理工大学地球科学学院 成都 610059; 4 南京大学地球科学系 南京 210093)

摘要 由于石油工业的推动,特提斯构造域一直作为活动古地理重建的重点研究地区,并取得大量研究成果,直接推动了全球古地理研究工作的深入。近年来对位于该构造域东部的青藏高原地区进行了活动古地理重建的研究工作实践,其主要思路是:在古地理重建数据库和古地理重建模拟系统开发的基础上,依据古地磁学运动轨迹研究古大陆位置,结合古构造和古生物对青藏高原喜马拉雅(印度北缘)、拉萨、东和西羌塘地体的古大陆位置进行复位;利用深部地球物理、地表地质断裂证据,借助生物古地理资料,对古大陆和盆地的边界、规模予以限制;利用变形缩短率、构造平衡剖面恢复技术等对原型盆地进行复原;在沉积和生物环境识别划分基础上,编绘基于古大陆重建的岩相和生物古地理图;进一步通过沉积学、沉积地球化学、古生物有关方法和技术,对古海洋海水参数特征、海洋气候参数进行分析研究,探讨古地理和古构造格局控制下的古海洋、古气候条件与盆地、储集岩和烃源岩的形成环境。通过活动古地理重建的研究趋势分析和青藏特提斯的实践认为,古地理重建是现代地质科学的集成,是一项复杂的系统工程。它的研究不仅具有从过去走向未来,从固定走向活动,从古大陆再造到古地理重建,从示意性的小比例尺到大比例尺,以及模拟技术、信息技术、全球定位技术(GPS)等特点;而且具有从单一沉积学要素到古环境、古气候、古海洋等多种要素,可以表现地质历史中各种地质作用及其结果(如古构造和地貌、岩浆和变质作用与各种岩体的剥露)的优势。我们相信,活动古地理重建研究将会成为未来我国沉积地质学重点研究领域之一。

关键词 活动论 古大陆再造 古地理重建 板块构造 地体构造 青藏特提斯

第一作者简介 王成善 男 1951年出生 教授 沉积学 E-mail chshwang@cugb.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 前言

古地理(Paleogeography或 Palinspastic)这一概念最早来自 1872 年^[1],当时定义为利用古植物学和古动物学系统研究地质历史时期的地理学科;随后,Willis^[2]将两个重要研究分支合并为古生物地理学(Paleobiogeography)。Serry-Hunt^[1]和 Willis^[2]早期建立的古地理概念强调古环境,直到 Wegener^[3]提出著名的大陆漂移学说以后才使得古地理具有了真正的活动含义。由此,作为地质学重要学科分支,古地理学主要研究地质历史时期地球表面的自然地理,既对大陆轮廓、纬度、地形起伏、气候、生物等进行简单描述^[2],也对岩石圈、大气圈、生物圈和水圈历史面貌进行综合研究,相应的古地理图则是对某个地区或世界范围内过去某个地质时期各种地质地理现象特

征的具体体现^[4-6]。

为什么地质学家长期以来总是如此渴望了解漫长地质历史中大陆和板块的过去?首先,古地理重建可反演地球表面过去的状态,为地质学、地理学、海洋学和气候学等研究提供了一个理想的框架约束;其次,为更好地了解矿产的成因分布,特别是对潜在的烃源岩进行良好的评价^[7],工业界强烈关注地球表面全球规模的演化。一言之,破译了过去将有助于更好地了解现在,从而神奇地推动古地理学的发展。

在我国,在活动论思想指导下进行大地构造和古地理重建经由了几代地质学家的努力^[4-6],其中,刘宝珺先生^[4]领衔出版的“中国南方岩相古地理图集——中国南方震旦纪—三叠纪的古地理演化”就体现了活动论思想。值此刘宝珺先生从事地质工作 60 周年之际,鉴于古地理重建工作将对今后沉积学、

¹ 中国石油化工股份有限公司海相前瞻项目资助。

收稿日期:2010-05-20 收修改稿日期:2010-06-03

古气候学研究以及矿产资源应用的现实意义,作者这里就一些关键问题进行系统回顾,并以青藏特提斯古地理重建分析为例,对我国相关工作提出一些不成熟思考,供沉积学界同仁参考。

1 基本概念和发展回顾

1.1 前板块构造理论期——第一代活动古地理图 19世纪末期—20世纪初叶, Suess根据南半球古

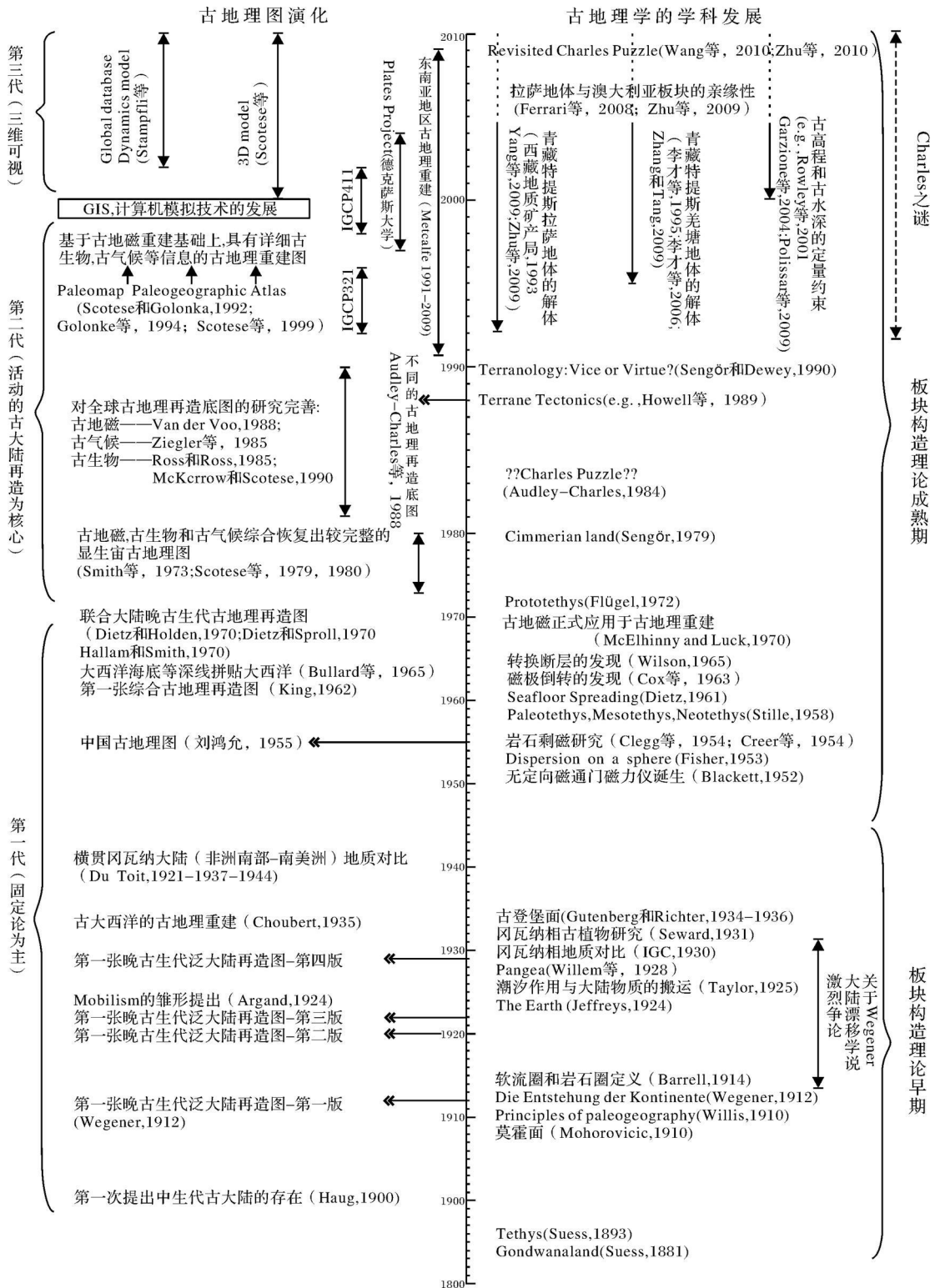


图1 古地理重建演化历程

Fig. 1 Procession of the palaeogeography reconstruction

生物亲缘性关系提出特提斯洋 (Tethys Ocean) 和冈瓦纳大陆 (Gondwana land) 两个基本概念^[8, 9], 激发了地质学家对已消失的“亚特兰提斯式”古大陆的探索。Haug (1900) 在研读大量文献基础上, 对已消失古大陆进行了研究, 编制了标有非洲—巴西古大陆、澳大利亚—印度—马达加斯加古大陆 (Continent Africano-Brasilien and Continent Austrab-Indo-Malagache) 的世界地图, 从此拉开了古地理重建的大幕。

其时, Willis^[2]正式提出的古地理学研究基本原则和莫霍面的发现^[10]为 Wegener^[3]的大陆漂移学说 (体现名著《Die Entstehung der Kontinente (The Origin of Continents)》) 提供了坚实的理论基础, 催化了全球第一张泛大陆古地理再造图的诞生。与 Wegener 同时代还有两位地质学家对古地理重建做出了卓越贡献, 就是对古大西洋进行重建的 Chouber^[11]和进行横贯冈瓦纳大陆 (非洲北部—南美洲) 地质对比的 Du Toit^[12-14]。这三位开创性的研究奠定了古地理重建的基础。

但是, 大陆漂移理论提出后也遭到了部分学者的反对, 他们连续在《Nature》和《Science》等国际顶级杂志上发文进行反驳^[15, 16], 更有甚者 Jeffreys^[17]在其著作《The Earth》中强烈反对大陆漂移理论。更多的学者则是通过不同学科研究积极支持^[18, 19], 如 Argand^[20]提出的“大陆漂移活动论 (Mobilism) 是古地理重建的核心和基础”则是积极倡导的标识。

自第一张古地理重建图面世的半个世纪后, King^[21]综合地层学、古生物学等多学科编制了更完善的全球古地理再造图, 加速了古地理重建的研究进程。在之后的近 10 年里, 他对大西洋两侧的板块和联合大陆 (Pangea) 晚古生代以来的古地理分别进行了重建^[22-25]。很明显, 这一时期所编制的古地图尚缺乏定量证据约束^[26]。

1.2 板块构造理论期——第二代活动古地理图

在古地理重建近一个世纪的发展过程中以定性约束为主。随着板块构造理论的提出和全面发展, 活动古地理重建进入了一个崭新的发展阶段。其中, 期转换断层的发现为板块构造和古地理重建提供了新的支撑点^[29]; 1952 年全球第一台无定向磁通门磁力仪的诞生^[27]从根本上改变了定性约束的状况, 因为球面板块位置的古地磁约束方法^[28]为古地理重建提供了定量约束的技术支持。这一时期地质学家利用古地磁学对岩石中的剩磁进行广泛研究^[30, 31], 并发现了磁极倒转现象^[32], 为古地磁学正式应用到古地

理重建奠定了坚实的基础^[33]。具有精确定位作用的古地磁学出现标志着古地理重建图进入精确定量约束的第二代^[34-36]。

这一阶段已对较大板块 (如非洲、澳大利亚等) 的定性和定量进行了深入研究^[37], 但面积较小、数量众多的特提斯区域重建仍是一大难点。由于后者的研究程度较差, 最早的古地理图中并没有给出详细的说明。Sengler^[38]阅读大量文献后将复杂的特提斯洋演化简化, 提出了经典的基末里大陆 (Cimmerian land), 认为它分隔了古特提斯和新特提斯洋, 为特提斯古地理重建提供了一个简单、可行的演化模型基础^[36]。青藏高原进行的中法联合考察^[39]和中英联合考察^[40]成果进一步验证了基末里大陆的存在, 其经典的羌塘地体、拉萨地体、印度板块依次排队向北漂移的过程对随后的古地理重建产生了极其深远的影响^[41, 42]。但 Audley-Charles^[43]却对拉萨地体的古地理位置提出质疑, 并根据冈瓦纳大陆北缘的裂谷型不整合面研究认为拉萨地体应靠近澳大利亚板块, 直到侏罗纪才分裂出去^[44]。由于这一认识仅是推测, 后来也没有得到进一步发展, 因此留下了一个不同于基末里大陆的查尔斯之谜 (Charles Puzzle)。20 世纪 90 年代实施的 IGCP 369 研究工作则较为全面地重建了特提斯的古地理, 大大改善了这一地区的重建状况。

20 世纪下半叶古地理重建的定量和定性方法得到了蓬勃的发展。如 20 世纪 80 年代提出的地体构造学增进了对造山带和大陆地壳生长的理解^[45], 进一步推动了古地理重建研究。在 IGCP321 计划的支持下, Scotese 和 Golonka^[46]领导的古地理图集计划整合了近一个世纪的重要研究成果, 利用多学科的定量和定性双重约束重建了系统的寒武纪以来的全球古地理图^[42, 47], 此时编制的才是真正意义的活动古地理图^[26]。

1.3 GIS 和计算机模拟技术的发展——第三代活动古地理图

第二代古地理图主要是二维平面上的重建, 虽然在图面表达上添加了古生物学、古气候学的因子, 但却没能展示出三维球面的立体特点。在古地理定量重建的过程中由于计算机模拟技术、GIS (如 ArcGIS 等)、古高程和古水深^[48]等方法的长足发展, 使得数字化的古地理重建在时间上扩展到古生界和上元古界^[49], 再现了 13 亿年之后的地球历史时期古陆和海洋的演化, 大陆和盆地的构造变迁; 与此同时, 在三

空间上图面上可以表达古代山岳、海岸线、活动板块边界、古气候带等信息, 并将古地理恢复为有一定分辨率的地貌彩色图; 另一方面, 全球尺度下古地理重建具有的球面三维可视性则是新一代古地理图的一个重要特点, 即第三代全球古地理重建图是在地球球体背景下、可从不同角度观察、具有古地形和古测深元素的活动三维图, 孙枢先生就此问题进行过精采的评述^[26]。

随着基础地质研究的深入, 对于特提斯演化中最关键的青藏特提斯演化却发现了越来越多的问题, 最关键的就是查尔斯之谜但没有得到较好地解释, 反而引出了更多的问题^[50], 主要涉及到东特提斯演化最关键的两个地体: 拉萨和羌塘地体。经典基末里大陆模式中, 两个地体先后、依次从印度大陆北缘裂解后, 增生到欧亚板块南缘^[40, 51]。这一最基础的问题现已受到强烈质疑, 特别是两个地体内部都报道存在缝合带的可能性, 如双湖—龙木错缝合带^[52, 53]和松多缝合带^[54, 55], 进一步增加了青藏特提斯的复杂性。随之对拉萨地体的亲缘性研究进一步表明与澳大利亚板块更密切^[55, 56]。古老的查尔斯之谜重新被激活, 一系列重要研究成果进一步诱发了地质学家的研究热情^[57, 58]。

从近一个多世纪的研究历程来看, 古地理重建经历了从第一代定性的古生物学、古气候学开始, 到第二代量化的古地磁学 (包括磁异常条带和古地磁极), 到现代的计算机模拟技术、GIS (如 ArcGIS 等) 和古高程、古水深定量约束的发展, 使得古地理重建从最初的几何形象拼贴^[3]发展到现今三维可视性极强、图面表达丰富的古地理图^[59], 其活动的、数字化的古地理重建在时间上扩展到古生界和上元古界 (表 1)。

1.4 国际青藏特提斯重建的研究现状

国际上与青藏特提斯活动古地理重建有关的研究主要可分为四个研究群体:

(1) Scotese 团队: 从 1979 年至今 30 年的时间

内, 基于古气候、古生物的定性和半定量资料库支持, 采用古地磁进行定量约束, 开发了最翔实的全球 750 ~ 0 Ma 古地理图, 这套古地理图的编制共经历了三个演化阶段, 静态断面^[61], 动态插值^[62]和三维球面^[59]。

(2) Stampfli 团队: 基于全球数据库 (Global database) 的建立, 和 Arc-GIS 的操作平台上 GIS 地质数据库的开发, 对球面上板块相对运动量和速率进行定量分析^[50, 63], 重建了 600 ~ 0 Ma 全球古地理图, 特别利用转换断层将传统的基末里大陆进行东—西分解, 其中拉萨地体与澳大利亚板块发生了亲缘性关系^[56]。

(3) Metcalfe 团队: 在 IGP 411 计划大力支持下对青藏地区—东南亚进行古生代以来系统地古地理重建, 对东南亚地区的几个复杂地体和缝合带进行深入研究, 初步理顺了该地区的演化^[64~69], 但青藏地区仍采用传统的基末里大陆演化模式^[40, 51]。

(4) Li ZX 团队: 主要利用古地磁约束板块的古地理位置, 并通过地质资料进行相关约束, 进行 1300 ~ 530 Ma 全球古地理重建, 主要是针对冈瓦纳大陆之前 Rodinia 大陆的裂解和聚合^[49, 70, 71, 72, 73]。

最新的全球古地理图对于油气资源的勘探提供了重要的指示意义。如 Klemme^[74]研究的油气资源与古地理的地质背景关系, Bois 等^[75]统计的特提斯构造域油气资源量, Parrish^[7]对全球烃源岩分布进行的统计分析, 以及 Huc^[76]主编的《古地理、古气候与烃源岩》中的大量成果, 揭示了古地理与油气资源的两个关联性: 一是古地理对烃源岩或富有机质沉积分布的影响和控制作用, 二是古地理与可能的储集岩层和盖层分布的关系^[77]。

2 青藏特提斯活动古地理重建实践

19 世纪, Suess 在其著名的论文《大海的深度是永恒的吗?》中首次定义了特提斯^[8]: 一个从印度尼西亚经过喜马拉雅到小亚细亚已消失的海道, 其沉积

表 1 古地理重建方法对比表 (引自 Hochard, 2008^[60], 有修改)

Table 1 Comparison among methods of palaeogeography reconstruction (After Hochard, 2008^[60])

方法	空间范围	精确度	时间范围 /Ma	板块约束	定量分析
磁条带	大陆和海洋	很好	< 180	YES	YES
古地磁极	大陆	一般	~ 1300	NO	YES
古生物	大陆	相对	~ 1300	NO	NO
古气候	大陆	一般	~ 1300	NO	NO
大区域地质调查	大陆和海洋	没有	> 1300	YES	NO

物经历了强烈的构造作用发生褶皱,形成现今青藏高原和阿尔卑斯地区高入云霄的山脉。这是第一次将特提斯与全球古地理重建联系在一起。在其随后的巨著《地球的面貌》中他根据世界海相分类(特别是远洋三叠系的对比),把特提斯的时代延伸到三叠纪^[8]。

位于特提斯构造域东段的青藏特提斯以其独特的魅力成为地质学研究的焦点,其主要地质科学问题集中在两个大的方面:1)冈瓦纳大陆的北部裂解事件与特提斯的关系,即主体属于冈瓦纳大陆北缘的拉萨地体和羌塘地体在向北漂过广阔的特提斯洋最终拼贴到欧亚大陆的南缘过程中,发生在冈瓦纳大陆北部的分裂事件分别对应于古特提斯(Paleotethys)、中特提斯(Mesotethys)、新特提斯(Neotethys)的形成^[68-78];2)青藏特提斯的油气背景与特提斯中段的可比性。与全球油气聚集带最富集的中东阿拉伯海湾地区同处特提斯构造域,位于中段,其丰富的油气前景更是巨大的诱惑,那么,青藏特提斯如何呢?鉴于种种客观原因,条块分割构造格局的青藏特提斯一直没有系统开展活动古地理的工作,这不但落后于整个特提斯研究的现状,也阻碍了我们对该区油气远景的认识和评价。虽然国内外几代地质学家都对青藏特提斯的古地理重建进行过尝试性研究,但至今仍存在巨大的疑问:1)拉萨和羌塘地体上虽然已进行过古地磁研究^[79-80],但仍无法为青藏高原构造演化提供重要的定量约束^[81];2)拉萨和羌塘地体内部可能的缝合带的发现^[52-53-54]更是冲击着传统的演化模式,特别是拉萨地体与冈瓦纳大陆的亲缘性关系^[55-58]的提出改变了过去的认识。

过去的古地理重建研究工作^[4, 6, 82-86]和古地磁资料的积累^[81, 81, 87]为我们开展青藏特提斯地区古地理重建奠定了基础,为本项实践的开展提供了保障。这些工作主要包括:生物古地理方面,如古生代冈瓦纳相^[88]、中生代菊石相和双壳生物相^[90-91];构造古地理方面,以王鸿祯^[6]的古地理图集、黄汲清和陈炳蔚^[92]的中国及邻区特提斯小比例尺古地理图为代表;岩相古地理方面,近几年对西藏地区的古生代和中生代的岩相古地理^[88, 93, 94, 95]、对羌塘地体中生代局部地段的岩相古地理^[96]的研究成果较为典型。

我们在进行青藏特提斯构造活动古地理重建的实践中将主体内容分为四个部分:基础地质内容、古大陆再造、单一的定性古地理约束、板块动力学(图

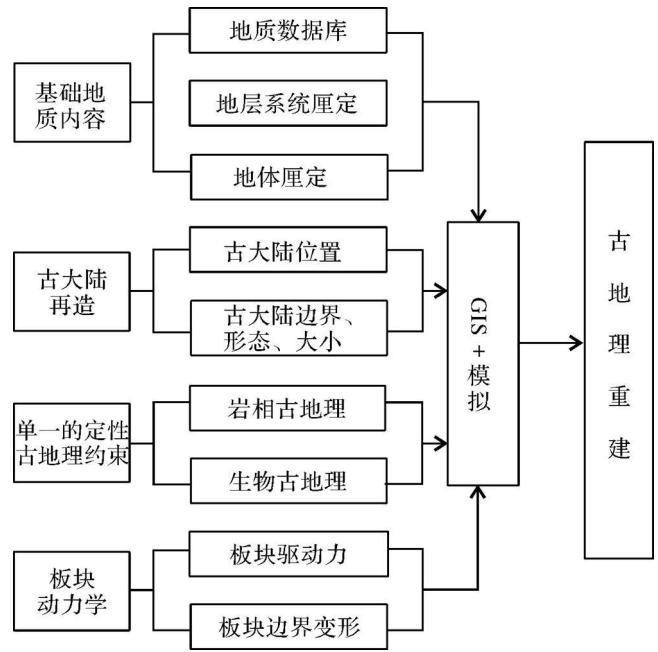


图 2 古地理重建流程图

Fig 2 Flow chart of the palaeogeography reconstruction

2.1 基础地质——数据库、地层系统与地体

古地理重建是一项工作量巨大、学科门类众多的系统工程。面对海量数据资料,必须借助计算机强大的存储能力优势才可能使得现在这些资料的存取便利。为了适应于不同研究者的需要,根据不同学科门类对所有资料进行系统分类,建立相应的地质数据库对于古地理重建则显得至关重要。我们在进行青藏特提斯古地理重建过程中以研究团队的成果为基本数据来源,同时包含了所收集到的前人研究成果,并根据属性内容将数据库分成四个相互关联的子数据库:1)空间数据库,包括基础地形、地质构造和各个地质对象的空间数据;2)原始资料数据库,包括剖面、观察点、样品分析等原始数据;3)元数据库,包括数据字典、数据关联信息、地层划分、专业术语等;4)综合成果库,包括资料、文档、图件、成果等。这个完整的数据库以原始数据和资料成果数据作为整个数据库核心,在数据库基础上建立“基础数据查询模块”、“图形索引模块”、“资料信息分类模块”和“古地理图数据展示模块”等,再采用统一的门户主界面来集成这些应用模块。

因研究群体的不同,即便对于同一研究区最基础的地层系统仍存在不同的方案。为有效利用前人资料,使不同研究者有共同的地层系统语言,以利于区域地层对比研究区地层系统进行厘定十分必要,这

是进行活动古地理重建工作中最为基础的内容和步骤。本次青藏特提斯古地理重建基于 1: 100 万、1: 25 万地质调查成果和大量公开发表的文献资料, 将特提斯喜马拉雅、拉萨、东羌塘和西羌塘地体的地层系统分别进行了厘定, 为各自地体上的地层对比打下了基础。

由于古大陆再造是根据现今地理坐标下的地体分布图进行的反演, 因此, 将现今地体进行厘定是古地理重建的另一项基础工作。其首要任务和主要研究内容是查明研究区地体的类型、地体数量和地体边界关系。本次实践基于青藏特提斯及其邻区最新构造地质研究成果, 充分考虑各地体的名称、代号、边界、地质特征及其独立性 (Dependence), 以及拼合 (Amalgamation)、增生 (Accretion)、离散 (Dispersion) 的板块演化过程, 对青藏特提斯及邻区划分的 33 个不同性质的地体进行了较为详细的研究, 进一步提出和修订了这些地体的划分方案, 重新编制了地体分布图 (详细的地体分布图和相关术语解释将在随后系列文章中刊出)。考虑到青藏特提斯板块构造演化的特点, 最初起源于北美西部单旋回造山带的地体术语^[45]不能完全满足本次重建的需要, 因此本次实践作了适当增补 (图 3), 主要是将拼贴后的阶段细分两个部分: 泊位增生 (Docking Accretion) 和终极增生 (Terminal Accretion)。

2.2 古大陆再造——古大陆位置、边界与形态

古大陆再造指对板块乃至全球古大陆在地史时期位置复原的研究, 从而根据定量的古地磁和其他半定量一定性依据将古大陆的位置和方位表示在地球

表层上^[83]。具有定量的古地磁约束的古地理重建图才具有活动本质特征^[26]。早期的古地理图没有古地磁数据, 只能依靠古大陆轮廓、生物区系和古气候大致拼放晚古生代泛大陆^[21, 23]。虽然, 过去青藏特提斯地区已经进行了几次系统的古地磁研究, 获得了一些的古地磁数据^[94, 79, 80], 但数据质量参差不齐, 导致其建立的青藏特提斯演化模型与地质证据存在较大的出入^[79]。这就需要首先利用国际通用的古地磁数据判别标准^[97]对研究区已经发表的数据成果进行初步判别, 筛选出有价值的古地磁数据。与此同时, 研究团队也开展了古地磁系统采样工作, 严格按照国际惯例进行样品采集、标注、包装、运输、储存, 并在国际上认可的古地磁实验室进行测量。由此, 我们获得了一批较为满意的数据结果, 将陆续整理发表。基于上述两方面的古地磁资料, 我们实践中对青藏特提斯主要地体的关键时代进行系统的古地磁研究, 对其晚古生代以来有关时期的古纬度进行了较为精确的约束。

另一方面, 由于现今的地体大多经历过多期强烈构造变形和叠加作用, 特别是青藏特提斯地区的众多地体因印度板块与欧亚板块碰撞, 其形态明显不同于原始古大陆^[39, 51]。如果按照现今的大陆形态去反演地质时期中的古大陆, 结果就会出现很大偏差, 现今的印度板块北缘形状和大印度形态差异之争议^[98]即是一例。考虑这因素, 我们对地体的短缩进行了系统研究^[99], 主要利用变形缩短率、位移、平衡剖面, 借助沉积模式等对盆地大小、方位和形状进行复原, 利用控盆—控相断裂分析来限定原型盆地边界, 从而为地体的形态恢复提供依据。

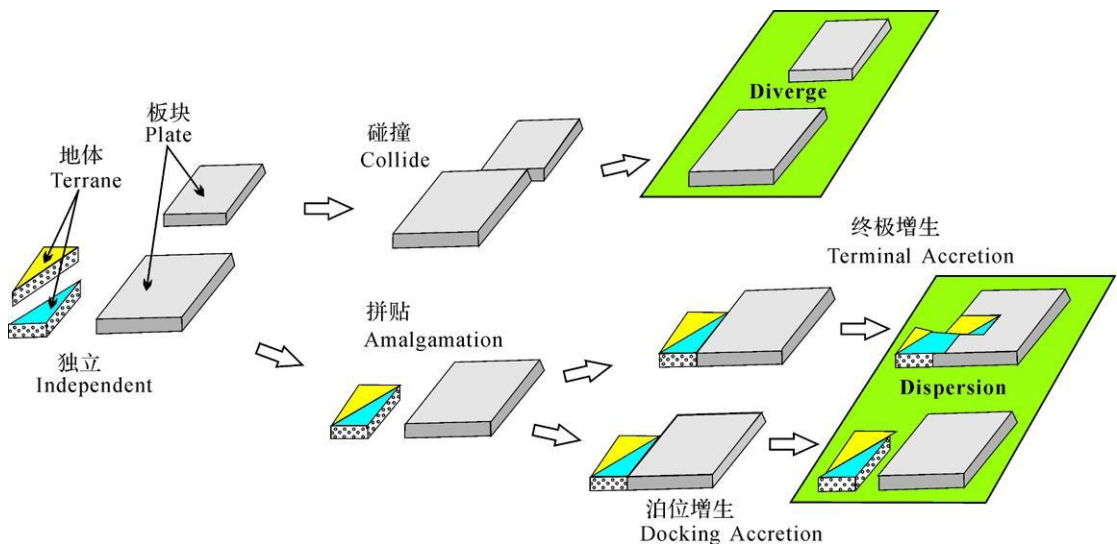


图 3 地体演化图 (引自 Howell 1989^[45], 有改动)

2.3 活动古地理定性约束——岩相与生物古地理

古地理重建早期,定性和半定量的岩相古地理和生物古地理发挥了巨大的作用。虽然定量的古地磁数据能够提供精确的古纬度参数,但考虑到造山带强烈构造作用和流体影响,所获得的古地磁数据往往具有多解性,此时则需利用岩相和生物古地理来约束古纬度,这种条件下约束的古纬度才更加可信。本次实践的岩相古地理重建主要是恢复各个地体上盆地的岩相时空分布,其具体做法是:在“时间压缩法”和“优势相法”原则上,通过对资料点上的岩相解释,将相同的岩相根据沉积环境模式进行归类封闭,划分出不同的岩相和亚相带。本次工作的一个重要特点是收集了目前已经完成的几乎全部 1:100万、1:25万和 1:5万的区域地质调查成果资料,以及公开发表的文献资料,可以反映当前的最新成果。

青藏特提斯中—新生代是生物地理区系发生重要变革的时期,通常也是大地构造格局剧烈改变的时期。因此生物古地理所依据的生态、环境来进行的生物地理区系划分可以反映其时的古地理和大地构造格局。实践中,我们收集到了古植物、双壳和有孔虫和 5 000 个属种点数据,按照“世”一级地质年代进行生物古地理区系编图。其方法是:根据分类单元分布规律的(广布种、土著种)统计,选择具有重要生物地理意义的分类单元(土著种,但具有区域性分布,并且与其它土著分类单元分布的规律类似或差别明显)作为动物群代表类群,分析各个动物群所代表的生态类型,通过对分异度在同一水平、同一生态类型的动物群的组成进行聚类分析,以划定各级古生物地理分区。这些成果为研究青藏特提斯中—新生代化石古生态组合序列、海水进退规程、东特提斯中—新生代动物群的扩散和海平面变化、生物地理区演化对大地构造格局的响应提供了重要依据,也为约束大地构造格局、地体运移速率和过程提供了参考。

2.4 板块动力学——板块驱动力与边界变形

板块运动的驱动力主要可分为两类:板块底部表面和板块边界。板块底部的驱动力只有洋底拖拽(Basal drag),板块边界的驱动力较为复杂,包括:洋中脊扩张(Ridge Push),板片下拉(Slab Pull)、板片吸力(Slab Suction)、海沟吸力(Trench suction)、板片回弹(Slab Roll-Back)^[60]。利用大洋的磁异常条带的分布可很好地约束板块动力学,但在现今大洋中只能发现最早 180 Ma 的大洋部分,故对于更老的板块驱动力则还需要多学科的综合研究才能获得较系统的

结论。利用现代板块的驱动力模式可以很好贯彻在古板块的运动重建中。本次实践的板块动力学主要是采用国际上 Stampfli 团队的相关研究成果,即板块构造运动最大速率的限定原则是:一个板块的绝对旋转最大值为 22 cm/a 板块之间的最大扩张速率为 20 cm/a ^[63]。而对于板块边界变形,主要涉及到印度与拉萨地体的边界^[98],其相关的研究内容已在古大陆边界部分讨论。

在上述工作基础之上,完成古地理重建的最后一步是集成上述成果,通过计算机技术来模拟实现板块运动的活动可视化,这一工作专门设一个课题完成。其工作通过五个系统来实施:1)基础地质处理子系统。实现系统和古地理数据库及其它基础数据库的接口,对原始古地理图进行各种操作;对古地磁等数据进行处理,并将板块的运动状态参数及换算到相同的坐标系统中。2)板块运动模拟子系统。根据基础地磁数据的处理结果,完成对各板块运动轨迹的计算并实现动态模拟。3)板块变形模拟子系统。通过有限元技术,实现板块在碰撞过程中的变形模拟,据此获得板块碰撞中变形的各种参数,从而动态调整板块的形状,并对板块运动模拟子系统中确定的轨迹进行调整,同时对板块碰撞中的应力场进行模拟。4)古地形地貌复原子系统。通过对岩相古地理图进行分析,结合陆源沉积物特征分析恢复古地貌,实现包含古地形地貌信息的 3D 晕渲古地理图。5)联合模拟子系统。实现古地理演化过程在标准地球体上的显示;集成 GIS 系统的基本功能,实现不同表现形式图件的输出。

通过本次青藏特提斯古地理重建工作几年的系统研究,我们初步获得以下两点主要成果:1)实现了二叠纪—古近纪青藏特提斯古大陆再造,认为拉萨与澳大利亚具亲缘性,原羌塘地体东、西两分较为合理,其中,西羌塘与印度具亲缘性,东羌塘与华南具亲缘性。2)恢复了青藏特提斯区域原型盆地,圈定了盆地范围,系统编制了二叠纪—古近纪主要地体的岩相和生物古地理。

3 活动古地理重建思考

通过国际活动古地理重建的研究趋势和青藏特提斯的实践可以发现,具有真正活动意义的第三代古地理重建相对前两代的重建工作具有时限长、图面丰富、三维可视和模拟性、连续时间断面(最小可达 1 Ma)的运动性、多学科交叉的协调性等众多优势特

点。某种意义上,古地理重建是现代地质科学的集大成者。换言之,它的研究不仅是从过去走向未来,从固定走向活动,从示意性的小比例尺到大比例尺,以及模拟技术、信息技术、全球定位技术(GPS)等技术在重建的广泛使用;而且是从单一沉积学要素到包括古环境、古气候、古海洋等多种要素,所编制的古地理图也可以把地质历史中各种地质作用及其结果(如古构造和地貌、岩浆和变质作用与各种岩体的剥露)表现出来。

同时,具有真正活动意义的古地理重建也是一项难度极高的系统工程。这项研究不是单一学科(或因素)的重建,而是多学科交叉、定性和定量约束双结合的协调重建;不是某一个时间段的重建工作,而是一个长时间不断充实、修改的自我完善过程;不是简单的固定拼合,而是具有高度动态化、协调化的三维球面重建;不是随意的摆放众多地体和板块的古地理位置,而是受到严格板块驱动力约束的重建。

在全球气候异常的当今,地质学家不仅要研究过去,更需要努力探索未来。古地理重建这项系统工程已再现了地质历史时期的海陆格局,说明古大陆位置与构造运动是全球气—水环流的基本边界条件,对于全球大气环流和大洋环流模式有重大影响,从而直接或间接地影响全球气候变化^[100],如雪球地球假说^[101]就说明了极端气候变迁(低纬度冰川发育)与全球板块构造演化(超大陆聚合和裂解)具有强烈的相关性。所以,活动古地理研究应该成为未来我国沉积地质学重点研究领域之一。

4 结语

很庆幸能师从于刘宝珺先生,特别是他在沉积地质学和古地理重建研究中独特的见解和深远的思想一直指引着笔者对青藏提斯地区的盆地分析和古地理重建研究,先生关于古地理重建的学术思想体系必将在今后我国沉积地质学研究中进一步发展,并发挥重要的指导作用。值先生从事地质工作60周年之际,特撰写此文以表敬意。

参考文献 (References)

- 1 Sterry-hunt T. The paleogeography of the North-American continent [J]. Journal of the American Geographical Society of New York, 1872, 4: 416-431
- 2 Willis B. Principles of paleogeography [J]. Science, 1910, 31: 241-260
- 3 Wegener A. Die entstehung der kontinente [J]. International Journal of Earth Sciences, 1912a, 3(4): 276-292
- 4 刘宝珺, 许效松. 中国南方岩相古地理图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1994, 1-188 [Liu Baojun, Xu Xiaosong. Atlas of the Lithology and Paleogeography of Southern China [M]. Beijing: Science Press, 1994, 1-188]
- 5 刘鸿允. 古地理的研究方法 [J]. 甘肃区域地质, 1979, (1): 28-36 [Liu Hongyun. Paleogeographical methods [J]. Regional Geology of Gansu, 1979, (1): 28-36]
- 6 王鸿祯. 中国古地理图集 [M]. 北京: 地图出版社, 1985: 143 [Wang Hongzhen. Atlas of the Paleogeography of China [M]. Beijing: Sinomaps Press, 1985: 143]
- 7 Parrish J.T. Uplifting and petroleum source beds with reference to the Paleozoic [J]. AAPG Bulletin, 1982, 66: 750-774
- 8 Suess E. Are great ocean depths permanent? [J]. National Science, 1893, 2: 180-187
- 9 Suess E. English editions of multivolume work titled "Das Antlitz der Erde" [M]. Oxford: Clarendon Press, 1904-1909
- 10 Mohorovicic Andrija. Das beben vom 8 x 1909 [M] // Jahrbuch des Meteorologischen Observatoriums in Zagreb (Agram) für das Jahr 1909, 1910, 9(4): 1-63
- 11 Choubert B. Recherches sur la genese des chaines Paleozoiques at Antecambriennes [J]. Rev. Geographie Phys. et Geologie Dynam., 1935, 8(1): 5-50
- 12 Du Toit A.L. Land connections between the other continents and South Africa in the past [J]. South African Jour. Sci., 1921, 18: 120-140
- 13 Du Toit A.L. Our Wandering Continents: an Hypothesis of Continental Drift [M]. New York: Hafner Pub. Co., 1937: 366
- 14 Du Toit A.L. Tertiary Mammals and Continental Drift: a rejoinder to George G. Simpson [M]. American Journal of Sciences, 1944, 242: 145-163
- 15 Cook G.A. Wegener's drifting continents [J]. Nature, 1922, 110: 798-801
- 16 Colman A.P. Permian-Carboniferous glaciation and the Wegener hypothesis [J]. Nature, 1925, 115: 602
- 17 Jeffreys H. The Earth [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1976: 288
- 18 Taylor F.B. Movement of Continental Masses under Action of Tidal Forces [J]. Pan Amer. Geologist, 1925, 43: 15-50
- 19 Seward A.C. Plant Life through the Ages [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1931: 601
- 20 Argand E. La tectonique de l'Asie. Comptes Rendus Cong. [J]. Geology International, 1924, 1: 171-372
- 21 King L.C. The Morphology of the Earth [M]. New York: Hafner Pub. Co., 1962: 699
- 22 Bullard E.C., Everett J.E., Smith A.G. The fit of the continents around the Atlantic [C] // Blackett P.M.S., eds. A Symposium on Continental Drift. The Royal Society, London, 1965: 41-51
- 23 Dietz R.S., Holden J.C. Reconstruction of Pangaea - break-up and dispersion of continents: Permian to present [J]. Journal of Geophysical Research, 1970, 75: 4939-4956

- 24 Dietz R S, Spill W P. Fit between Africa and Antarctica a continental drift reconstruction [J]. *Science* 1970, 167: 1612-1614
- 25 Hallam A, Smith A G. The fit of the southern continents [J]. *Nature* 1970, 225: 139-144
- 26 孙枢. 活动论古地理研究进展述评 [C]// 中国矿物岩石地球化学学会第十届学术年会论文集. 2005, 24(增刊): 355-356 [Sun Shu. Process review of Mobilism Palaeogeography Construction [C]// Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 2005, 24(Supplement): 355-356]
- 27 Blackett P M S. A negative experiment relating to magnetism and the earth's rotation [J]. *Phil. Trans. R. Soc., Lond.*, 1952, A245: 309-370
- 28 Fisher R A. Dispersion on a sphere [J]. *Royal Soc. London Proc.*, 1953, A217: 295-306
- 29 Wilson J T. A new class of faults and their bearing on continental drift [J]. *Nature*, 1965, 207: 343-347
- 30 Clegg J A, Inond M, Stubbs P H S. The remanent magnetization of some sedimentary rocks in Britain [J]. *Philos. Mag.*, 1954, 45: 583-598
- 31 Creer K M, Irving E, Runcorn S K. The direction of the geomagnetic field in remote epochs in Great Britain [J]. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 1954, 6: 163-168
- 32 Cox A, Doell R R, Dalrymple G B. Geomagnetic polarity epochs and Pleistocene geochronometry [J]. *Nature*, 1963, 198: 1049-1051
- 33 McElhinny M W, Luck G W. Paleomagnetism and Gondwanaland [J]. *Science*, 1970, 168: 830-832
- 34 Smith A G, Briden J C, Drewry G E. Phanerozoic world maps [J]. *Spe. Pap. Palaeont.* 1973, 12: 1-42
- 35 Scotese C R, Bambach R K, Barton C, *et al*. Paleozoic base maps [J]. *Journal of Geology*, 1979, 87: 217-277
- 36 Scotese C R, Bambach R K, Ziegler A M. Before Pangea: the Paleozoic world [J]. *American of Sciences* 1980, 68: 26-38
- 37 Van der Voo R. Phanerozoic paleomagnetic poles from Europe and North America and comparisons with continental reconstructions [J]. *Review Geophysics* 1990, 28: 167-206
- 38 Sengler A M C. Mid Mesozoic closure of Permian-Triassic Tethys and its implications [J]. *Nature* 1979, 279: 590-593
- 39 Allgre C J, Courtillot V, Tapponnier P, *et al*. Structure and evolution of the Himalayan-Tibet orogenic belt [J]. *Nature*, 1984, 307: 17-22
- 40 Dewey J F, Shackleton R M, Chang C F, *et al*. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London (Series A): Mathematical and Physical Sciences* 1988, 327: 379-413
- 41 Golonka J, Ross M I, Scotese C R. Phanerozoic paleogeographic and paleoclimatic modeling maps [M]// Embry A F, Beauchamp B G, Lass D J, eds. *Pangea: Global Environments and Resources*. Canadian Soc. Petrol. Geol., Mem., 1994, 17: 1-47
- 42 Scotese C R, Boucot A J, McKerrow W S. Gondwanan paleogeography and paleoclimatology [J]. *Journal of African Earth Sciences* 1999, 28(1): 99-114
- 43 Audley-Charles M G. Cold Gondwana, warm Tethys and the Tibetan Lhasa block [J]. *Nature* 1984, 310(12): 165
- 44 Audley-Charles M G, Ballantyne P, Hall R. Mesozoic-Cenozoic rift-drift sequence of Asian fragments from Gondwanaland [J]. *Tectonophysics* 1988, 155(1-4): 317-330
- 45 Howell D G. *Tectonics of Suspect Terranes* [M]. New York: Chapman & Hall, 1989: 232
- 46 Scotese C R, Golonka J. *Paleomaps Paleogeographic Atlas*. Paleomaps Progress Report No. 20 [M]. Department of Geology, University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, 1992: 34
- 47 Golonka J. *Cambrian-Neogene Plate Tectonic Maps* [M]. Krakow: Wydawnictwa Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2000
- 48 Rowley D B, Pierrehumbert R T, Currie B S. A new approach to stable isotope-based paleoaltimetry: implications for paleoaltimetry and paleohypsometry of the Himalaya since the Late Miocene [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 2001, 188: 253-268
- 49 Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, *et al*. Assembly, configuration and break-up history of Rodinia: a synthesis [J]. *Precambrian Research* 2008, 160: 179-210
- 50 Metcalfe I. Comment on "An alternative plate tectonic model for the Palaeozoic-Early Mesozoic Palaeotethyan evolution of Southeast Asia (Northern Thailand-Burma)" by O. M. Ferrari, C. Hoched & G. M. Stampfli *Tectonophysics* 451, 346-365 (doi:10.1016/j.tecto.2007.11.065) [J]. *Tectonophysics* 2009a, 471: 329-332
- 51 Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 2000, 28: 211-280
- 52 李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏龙木错—双湖古特提斯缝合带研究 [M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1-131 [Li Cai, Cheng Liren, Hu Ke, *et al*. Study on the Paleo-Tethys Suture Zone of Lungmu Co-Shuanghu Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 1-131]
- 53 Zhang K J, Tang X C. Eclogites in the interior of the Tibetan Plateau and their geodynamic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54: 2556-2567
- 54 Yang J S, Xu Z Q, Li Z L, *et al*. Discovery of an eclogite belt in the Lhasa block, Tibet: A new border for Paleo-Tethys [J]? *Journal of Asian Earth Sciences* 2009, 34(1-5): 76-89
- 55 Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, *et al*. Zircon U-Pb dating and in-situ Hf isotopic analysis of Permian peralkaline granites in the Lhasa terrane, southern Tibet: Implications for Permian collisional orogeny and paleogeography [J]. *Tectonophysics* 2009, 469: 48-60
- 56 Ferrari O M, Hoched C, Stampfli G M. An alternative plate tectonic model for the Palaeozoic-Early Mesozoic Palaeotethyan evolution of Southeast Asia (Northern Thailand-Burma) [J]. *Tectonophysics* 2008, 451: 346-365
- 57 Wang C S, Ran B, Zhao X X. Did the Lhasa Terrane RIFT from the Indian Subcontinent [C]? *India 25HKT*, 2010. In press
- 58 Zhu D C, Mo X X, Zhao Z D, *et al*. Presence of Permian extension- and arc-type magmatism in southern Tibet: Paleogeographic implications [J]. *GSA Bulletin* 2010, 122: 979-993

- 59 Scotese C R. Plate Tectonic and Paleogeography- Present-day to 540 million years ago[J/O L]. University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, 2007, VCD
- 60 Hochard C. GIS and Geodatabases Application to Global Scale Plate Tectonics Modelling[D]. Lausanne University of Lausanne, 2008, 164
- 61 Scotese C R. Phanerozoic Reconstructions: A New Look at the Assembly of Asia[C]. UTIG Tech Report 66, 1986, 54
- 62 Scotese C R, McKerrow S. Paleozoic Paleogeography and Biogeography[M]. Geol Soc London, 1990, Memoir 12, 435
- 63 Stampfli G M, Borel G D. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic: constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, 196: 17-33
- 64 Metcalfe I. Asia: South-East[M] // Selley R C, Cocks L R M, Plimer I R, eds. Encyclopedia of Geology, Vol. 1. Oxford: Elsevier, 2005, 169-198
- 65 Metcalfe I. Late Palaeozoic and Mesozoic palaeogeography of Southeast Asia[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1991, 87: 211-221
- 66 Metcalfe I. Late Palaeozoic and Mesozoic tectonic and palaeogeographical evolution of SE Asia[M] // Buffetaut E, Cuny G, Le Loeuff *et al.* eds. Late Palaeozoic and Mesozoic Ecosystems in SE Asia. London: The Geological Society, Special Publications, 2009b, 315: 7-23
- 67 Metcalfe I. Paleomagnetic research in Southeast Asia: progress, problems and prospects[J]. Exploration Geophysics, 1994, 24: 277-282
- 68 Metcalfe I. Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution and palaeogeography of East Asian crustal fragments: The Korean Peninsula in context[J]. Gondwana Research, 2006, 9: 24-46
- 69 Metcalfe I. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2002, 20: 551-566
- 70 Li Z X, Baillie P W, Powell C M. Relationship between northwestern Tianshan and east Gondwanaland in the late Cambrian/early Ordovician: Paleomagnetic evidence[J]. Tectonics, 1997, 16: 161-171
- 71 Li Z X, Cho M, Li X H. Precambrian tectonics of East Asia and relevance to supercontinent evolution[J]. Precambrian Research, 2003, 122: 1-6
- 72 Li Z X, Powell C M. An outline of the Palaeogeographic evolution of the Australasian region since the beginning of the Neoproterozoic[J]. Earth-Science Review, 2001, 53: 237-277
- 73 Li Z X, Zhang L, Powell C M. Positions of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia[J]. Australia Journal Earth Science, 1996, 43: 593-604
- 74 Klümme H D, Uhlirsek G F. Effect petroleum rocks of the world stratigraphic distribution and controlling depositional factors[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(12): 1-7
- 75 Bois C, Bouche P, Pekt R. Historie géologique et répartition des réserves d'hydrocarbures dans le monde, in 26^{me} Congr. S. Géologique International[J]. Revue Institut Français Pétrole, 1980, 35: 273-298
- 76 Huc A Y. Paleogeography, Paleoclimate and Source Rocks[C]. AAPG Studies in Geology, 1995, 40: 1-347
- 77 李思田. 活动论构造古地理与中国大型叠合盆地海相油气聚集研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(6): 22-29 [Li Sitian. Mobilistic tectono-paleogeography and marine hydrocarbon accumulation in superimposed basins in China[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(6): 22-29]
- 78 Stille H. ' Die assynische Tektonik im geologischen Erdbild' [J]. Beih. Geol. Jb., 1958, 22: 255
- 79 Lin J, Watts D R. Paleomagnetic results from Tibetan Plateau [J]. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 1988, 327: 239-262
- 80 董学斌, 王忠民, 谭承泽, 等. 青藏高原古地磁研究新结果[J]. 地质论评, 1991, 37(2): 160-164 [Dong Xuebin, Wang Zhongmin, Tan Chengze *et al.* New results of paleomagnetic studies of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Review, 1991, 37(2): 160-164]
- 81 黄宝春, 周姚秀, 朱日祥. 从古地磁研究看中国大陆形成与演化过程[J]. 地学前缘, 2008, 15(3): 348-359 [Huang Baochun, Zhou Yaoshu, Zhu Rixiang. Discussions on Phanerozoic evolution and formation of continental China based on paleomagnetic studies[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(3): 348-359]
- 82 刘鸿允. 中国古地理图[M]. 北京: 科学出版社, 1955, 50 [Liu Hongyun. Maps of the Palaeogeography of China[M]. Beijing: Science Press, 1955, 50]
- 83 张世红, 王鸿祯. 古大陆再造的回顾与展望[J]. 地质论评, 2002, 48(2): 198-213 [Zhang Shihong, Wang Hongzhen. A perspective of paleocontinental reconstruction[J]. Geological Review, 2002, 48(2): 198-213]
- 84 许效松, 牟传龙, 林明. 露头层序地层与华南泥盆纪古地理[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993, 90 [Xu Xiaosong, Mu Chuanlong, Lin Ming. Sequence Stratigraphy in Outcrop and Devonian Paleogeography of the Huanan Basin[M]. Chengde: Chengdu University of Science and Technology Press, 1993, 90]
- 85 陈洪德, 覃建雄, 王成善, 等. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 510-521 [Chen Hongde, Qin Jianxiong, Wang Chengshan *et al.* Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics and evolution of Permian in South China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 510-521]
- 86 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009, 603 [Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli *et al.* Atlas of Tectonics and Sequence Lithofacies Paleogeography in Southern China[M]. Beijing: Science Press, 2009, 603]
- 87 Tan X D, Gidler S, Kodama K P, *et al.* New paleomagnetic results from the Lhasa block: Revised estimation of latitudinal shortening across Tibet and implications for dating the India-Asia collision[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2010, doi: 10.1016/j.epsl.2010.03.013.
- 88 徐仁. 藏南舌羊齿植物群的发现和其在地质学及古地理学上的意义[J]. 地质科学, 1976, 4: 323-331 [Xu Ren. On the discovery of a Glossopteris flora in southern Xizang and its significance in geology and paleogeography[J]. Geological Science, 1976, 4: 323-331]

- gy and palaeogeography[J]. Chinese Journal of Geology, 1976, 4: 323-331]
- 89 王剑, 谭富文, 李亚龙, 等. 羌塘、措勤及岗巴一定日沉积盆地岩相古地理及油气资源预测 [M]. 北京: 地质出版社, 2005: 62 [Wang Jian, Tan Fuwen, Li Yalin, *et al.* The Lithology, Paleogeography, and Gas and Oil Resources Prospect on Chang Tang, Guoqin and Gamba-Tingri Sediment Basin [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 2005: 62]
- 90 文世宣. 青藏高原白垩纪双壳类生物地理 [J]. 古生物学报, 1999, 38(1): 1-23 [Wen Shixuan. Cretaceous bivalve biogeography in Qinghai-Xizang Plateau [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1999, 38(1): 1-23]
- 91 刘本培, 崔新省. 西藏阿里日土县宽铰蛤 (*Eurydesma*) 动物群的发现及其生物地理区系意义 [J]. 地球科学, 1983, 8: 79-92 [Liu Benpei, Cui Xincheng. Discovery of *Eurydesma*-fauna from Rutog north-west Xizang (Tibet), and its biogeographic significance [J]. Earth Science, 1983, 8: 79-92]
- 92 黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1987: 78 [Huang Jiqing, Chen Bingwei. The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 109]
- 93 李祥辉, 王成善, 伊海生, 等. 西藏中白垩世和始新世岩相古地理 [J]. 中国区域地质, 2001, 20(1): 82-89 [Li Xianghui, Wang Chengshan, Yi Haisheng, *et al.* Middle Cretaceous and Eocene lithofacies and paleogeography in Tibet [J]. Regional Geology of China, 2001, 20(1): 82-89]
- 94 朱利东, 刘登忠, 陶晓风, 等. 西藏措勤地区石炭纪-早二叠世古地理演化 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(增刊): 46-49 [Zhu Lidong, Liu Dengzhong, Tao Xiaofeng, *et al.* Evolution of the lithofacies and paleogeography in the Coqin area of Tibet during the Carboniferous to Early Permian [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(Suppl): 46-49]
- 95 赵政璋, 李永铁, 罗建宁, 等. 青藏高原地层 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 542 [Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Luo Jianning, *et al.* The strata in Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2001: 542]
- 96 蔚远江, 孙景民, 朱庆忠, 等. 羌塘盆地查郎拉地区中生代岩相古地理初探 [J]. 沉积学报, 2002, 20(2): 229-237 [Wei Yuanjiang, Sun Jingmin, Zhu Qingzhong, *et al.* Preliminary research on the Mesozoic lithofacies-paleogeography in the Chalangla area, Qingtang Basin, Northern Tibet [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 229-237]
- 97 Van der Voo R. Paleozoic paleogeography of the North America Gondwana and intervening displaced terranes: comparisons of paleomagnetism with paleoclimatology and biogeography patterns [J]. Geological Society of America Bulletin, 1988, 100: 311-324
- 98 Ali J R, Aitchison J C. Greater India [J]. Earth-Science Review, 2005, 72: 169-188
- 99 施美凤, 李亚林, 黄继钧. 青藏高原主要地体地壳短缩作用研究现状及存在的问题 [J]. 地质通报, 2010, 29(2/3): 286-296 [Shi Meifeng, Li Yalin, Huang Jijun. The research progress and problems of the crustal shortening effect of the main terranes in Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(2/3): 286-296]
- 100 孙枢, 王成善. “深时”(Deep Time)研究与沉积学 [J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 792-810 [Sun Shu, Wang Chengshan. Deep Time and Sedimentology [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 792-810]
- 101 Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, *et al.* A Neoproterozoic snowball earth [J]. Science, 1998, 281: 1342-1346

On Paleogeographic Reconstruction: An Example for Application in Tibetan Tethys

WANG Cheng-shan¹ ZHENG He-rong² RAN Bo³ LIU Ben-pei¹ LIX iang-hu¹
LI Y a-lin¹ SUN Hong-jun² CHEN Jian-ping¹ HU X iu-m ian⁴

(1. School of Earth Sciences and Resources and Research Center for Tibetan Plateau Geology, China University of Geosciences, Beijing 100083

2 Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083;

3. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059

4 School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract The Tethyan tectonic zone has been always the focus of paleogeographic reconstruction financially granted by lots of oil companies, which has been promoting the global paleogeographic reconstruction. Recently, the reconstruction of the eastern Tethys, i.e., Qinghai-Tibetan Plateau Tethys, has been practicing. The main itinerary is summarized as: firstly, recovering the original locations of terranes or plates in Qinghai-Tibetan Plateau by paleomagnetism with combination of the paleotectonic and paleontology; secondly, confining the border and scale of terranes and basins on deep geophysics, surface geology and biogeography; thirdly, restoring original basins by recovering techniques of deformed-shorten strata and balanced cross-section; fourthly, composing maps of biogeography and litho-

facies paleogeography on the basis of the identification and classification of sedimentary and biological facies and finally, exploring the prosperous hydrocarbons on paleoceanography, paleoclimate and paleogeography in Tibetan Tethys. In summary, the paleogeographic reconstruction is an integration of modern geological science. That is characterized by ways of past to future, inactive to movable, paleocontinental to paleogeographic, small to large in scale with help of 3S (simulation, information, global position) technology. It is also featured by multidisciplines of paleoenvironment, paleoclimate, paleoceanography and other geoscientific subjects, for which all kinds of geological elements, for instance, lithology, tectonics, topography, magmatism, metamorphism, can be shown in a modern paleogeographic map. Therefore, it is suggested that the paleogeographic reconstruction would follow the new contents and techniques for the future of sedimentary geology in China.

Key words mobilism, paleocontinental reconstruction, paleogeographic reconstruction, plate tectonic, terrane tectonic, Tibetan Tethys