古地理图计算机辅助成图技术

王 玥

（中国科学院南京地质古生物研究所）

[内容提要] 本文主要评述了古地理图计算机辅助成图的技术特色。这种方法把古地理图的绘制带到了半定量化的水平。各种区域性古地理要素的位势和变化可以通过大量地质数据的内插计算而予以确定。对已有的各种古地理图都可以统一编录在全球古板块图上进行比较分析，提取有价值的信息，并运用古生物地理、构造地理、古气候和盆地分析等方面的实际资料验证。全球古板块图则通过计算板块边缘各点移动的距离和旋转的角度而绘制，已经过反复推敲。笔者拟采用此方法试制成套的华南二叠纪古地形图，以说明其运作过程。

关键词：古地理图 内插 古地形线 古板块

近20年来，地质资料日益增多，地质学逐渐与数学相结合，通过计算机数据处理，建立模型，来分析纷繁复杂的资料。1972年IGCP将地质对比定量方法和数据处理确认为资助和推动的主要领域之一，定量分析从此渗入到地质学各个分支。在古地理研究中，定量分析方法发挥了巨大的作用，如根据多面体的曲面拟合、最小二乘法曲面拟合、均匀网格上的数值近似等绘制出的等值线图，根据每一岩性组分的量的信息绘制出反映物质分布实际面貌的D函数图，根据岩石类型的混合程度绘制出表示岩相变化的熵图等等[1]。通过计算机的快速、精确的计算，不但将人们从冗繁的手工计算、绘图中解脱出来，而且大大减少了人们评估古地理资料时主观因素带来的偏差。这些表明古地理图的研制已进入向定量化、自动化的新时代。

古地理图计算机成图，概言之就是将大量的地质资料转化为数值信息，进行定量分析，并将其结果用图形表示出来，这些过程都包括大量的信息转储和数值计算，因此必须通过计算机才能完成。有关这方面的软件在国外不断开发和更新，很多已商业化。美国芝加哥大学开发的古地理软件包是A. M. Ziegler教授领导下经过多年积累和改进的一个数据库管理系统，曾为再造全球古地理图和推广古地理图计算机成图系统作出杰出贡献。笔者收集并建立了中国二叠纪古地理资料库，运用ATLAS软件包，在Ziegler教授和D. Rowley博士等指导下试制了华南二叠纪各个阶的古地理图。以下将以此为例从成图的三大步骤对古地理图计算机成图方法进行探讨。

1 地质资料的收集

资料的定量化 古地理是一门综合性很强的学科，它要求对岩石、化石、地层年代、地球

化学、古地磁等方面的资料进行综合研究。然而，这些原始资料大部分都是定性的，必须先将这些地层资料进行数字化，利用数学代号或字母符号来表示不同时间、不同区域的岩石和化石等特征。而且，所用的代号最好能反映出数据之间的某种关系或者代表变化的趋势，如ATLAS项目中定义7个岩性数字代码：1—4代表碎屑岩序列，1是纯粗粒碎屑岩，4是纯细粒碎屑岩；4—7代表碎屑岩向碳酸岩过渡的序列，4是碎屑岩，不含碳酸岩，7是纯碳酸岩而不含碎屑岩。这种排列法有利于用内插法对没有数据地区的地质特征进行推算。

数据的大量性　图的基本单元是点，绘图就是将各个间断的点合理地、平滑地连接起来。当绘制古地理图时，需要知道各个点的信息。这就要求研究区域中的地质数据尽可能地多，数据点越是密集，所画的图的可靠性越大，越能详细、精确地反映古地理特征。在试绘华南二叠纪古地理图时，运用了648条剖面的1,988个记录。

数据的可靠性　如同过滤器一般，在收集每一个数据时，都应按一定的标准将其划为某个等级，以便为后来的数据处理打好基础，例如中国二叠纪古地理数据库中，按剖面的完整性以及化石保存状况划分为A、B、C、D四个等级：A为化石控制极好的标准剖面；B为化石控制好，区域对比较好的剖面；C为化石记录差，区域上可大致对比的剖面；D为化石记录差，区域对比未定的剖面。对于不同等级的数据，在使用时可根据需要加以权衡，如对于研究程度较高的区域，资料很丰富，图上的数据点很密集，选用可信度为A级或B级的数据；而对研究程度较低的地区，则不得不采用可信度不高的数据来作为参考。

关系型数据库的建立　面对大批量的数据信息，一个有效的处理办法是建立关系型数据库，这种数据库可以对数据进行快速查询和分选[2,3]。中国二叠纪古地理数据库设置了表1所列的31个填写项目，总的来说包括剖面地点、地层年代、剖面描述和相分析，以及资料来源和收集者。对其中任何一项或多项信息，用户可以进行查询、分选。

表1　华南二叠纪古地理数据库记录单元

Table 1　Record unit of the Permian palaeogeographic database for South China

Province	County	locality	Longitude	Latitude	Period	Epoch	Stage
GUANGXI	LAIBIN	LIANG-TANG	109.17	23.97	PER	1	1

Reliability of age	Fossil	Formation	Member	Bed	Lithology	Summary	Facies
B		CHUAN-SHAN		4-6	L,Q	6	4.33

Ecology	Sequence	Bound	Thickness	Card No.	Mineral	Section	Author
	T	A	999.00	8057		4-6.5-999	

Pub. Year	Journal	Volume	Page	Collector	data	Comment	
1972	REP REG GEOL. SU R	LAIBIN	23	WY	04/09 /94		

2　古地理数据定量处理

2.1　数据的内插及古地形线的绘制

古地理图并不是只是岩相分布图，而应当包括古地形轮廓线，如等厚线、等深线等，因此用计算机绘制古地理图的主要任务之一就是用内插法由已知数据点推算出未知点，再连接等值点，绘制等值线，勾勒出古地形轮廓。

data=0	data=7	data=7
data=0		data=6
data=5	data=0	data=0

图 1　ATLAS 项目采用的内插法

Fig. 1　Interpolation adopted in the ATLAS Project

我们在绘制华南二叠纪古地形图时采用线性内插的计算方法，如图 1，按经纬度 1°将研究地区划分成若干小块，未知块的值可通过周围数据的平均值求得。内插的级别有 0－8 级供选择，0 级表示不进行内插，1 级表示只要知道周围一个数据就可进行内插，8 级表示必须知道周围八个数据才能进行计算，依此类推[4]，比如，图上中间块的值未知，若选 8 级内插，则不进行计算，因为周围只有四个数据已知；若选择 4 级内插，则中间块的值为：(7＋7＋6＋5)/4，四舍五入得 6。级别越高，内插值越精确。计算简便、快捷。图 2 为采用此方法绘制的华南晚二叠世吴家坪期的岩性内插图，图 3 为该期的沉积深度分布图，图中的数字分别代表了不同的深度范围。将两者结合，可初步绘制出吴家坪期的古地形图。其中川滇古陆区数据点较密集，古地形线得以较好地确定。而有些地区数据点较少甚至没有，如东南沿海一带，则要依据已有的研究成果。因为华南二叠纪古地理的研究程度很高，仅最近几年，王立亭、陆彦邦、江纳言、冯增昭等分别出版了有关华南、华东、中下扬子、滇黔桂等地区古地理方面的专著。各省的地质志、煤田地质等期刊杂志也发表了许多有关的古地理图。我们把这些图件分别扫描，统一编录在一张图上进行比较分析，提取有价值的信息，就成为绘制古地形线的宝贵依据。图 4 为吴家坪期的古地形略图。每画一条古地形线都要反复比较，收集大量证据。

2.2　全球古板块位置的确定

古大陆的再造是以地球体积不变、地史中一直存在大洋的假设及轴向中心偶极子假说为前提的[5]。从几百万年前至现代的地磁场，在足够长的时间内(10^4-10^5a)，地磁轴与地理轴基本重合，即中心偶极子的磁轴与地球旋转轴基本上重合[6]。在这个模式下，应用视极移曲线来恢复古板块的位置，而最终的极位置和古纬度的确定则建立在大量的数据统计基础上[7]。但在实际计算中，从不同板块所算出的古地磁极并不重合，即使是在同一板块内，由不同地区的古地磁数据算出的古地磁极位置也不尽相同。有些控制好的数据，古地磁极位置分布在一小范围内，通过求取平均数而得到一个平均古地磁极。

古地磁极位置固然不易求得，各板块的位置则更难确定。由古地磁数据只能确定板块的纬度位置，而无法得出经度方向。海底扩张和磁异常现象提供了板块间的相对位置。通过实测的洋底磁力剖面与较新的极性年表进行对比，得到洋脊附近海底年龄，求出海底扩张速度。假定在更早的时间里，扩张速率一直不变，则由此可推算出海底年龄。研究这些磁力剖面，磁异常正负相间的形态在各大洋上很相似，将各大洋相对应的异常连接起来，代表一个绝对年龄，这种线即为洋底等时线，图 5 即为用 ATLAS 软件包绘制的洋底等时线图。根据地幔对流和海底扩张假说，离大陆最近的最古老的等时线，应当是大陆分裂的最晚时间。选定某一板块为参考(ATLAS 项目选择非洲板块)[8]，相邻板块以此确定相对位置，其它板块再以后者为参考，逐步类推，全球板块的相对位置就得以确定。这不失为一种好方法，但却受洋底的年龄限制。北大西洋所发现的最老的海底沉积年龄是 160Ma[9]。因此，古大陆的位置需从多方面加以验证，这反映在板块构造学、沉积学、古生物学等多门学科中。

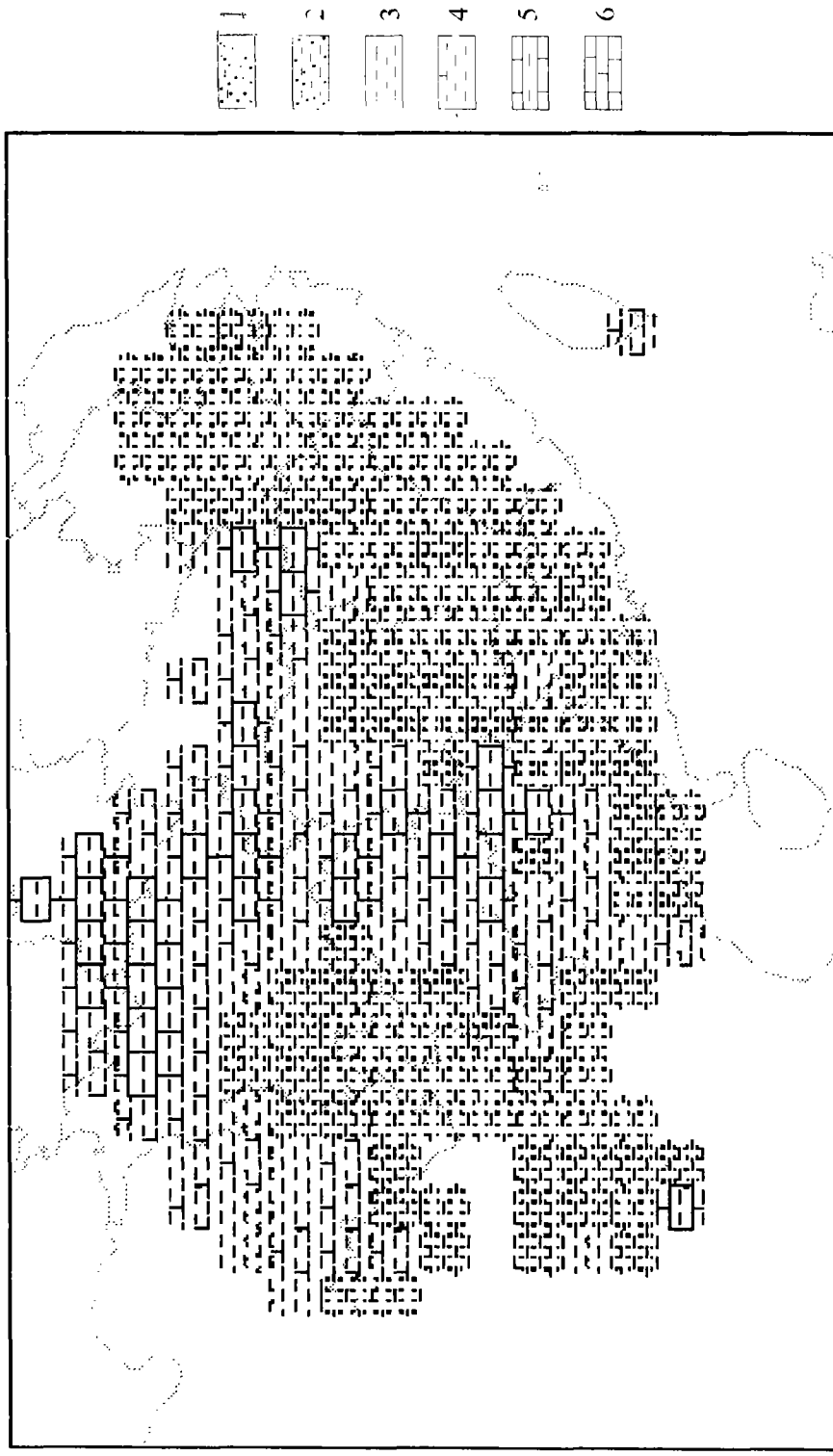

图 2 华南晚二叠世吴家坪期岩性内插图

1. 砂岩夹页岩；2. 页岩夹砂岩；3. 页岩；4. 碎屑岩夹一些碳酸岩；5. 碳酸岩夹一些碎屑岩；6. 纯碳酸岩

Fig. 2 Diagram showing the interpolated lithologic data of Wujiapingian (Late Permian) in South China

1=sandstone intercalated with shale；2=shale intercalated with sandstone；3=shale；4=clastic rock intercalated with carbonate rock；5=carbonate rock intercalated with clastic rock；6=carbonate rock

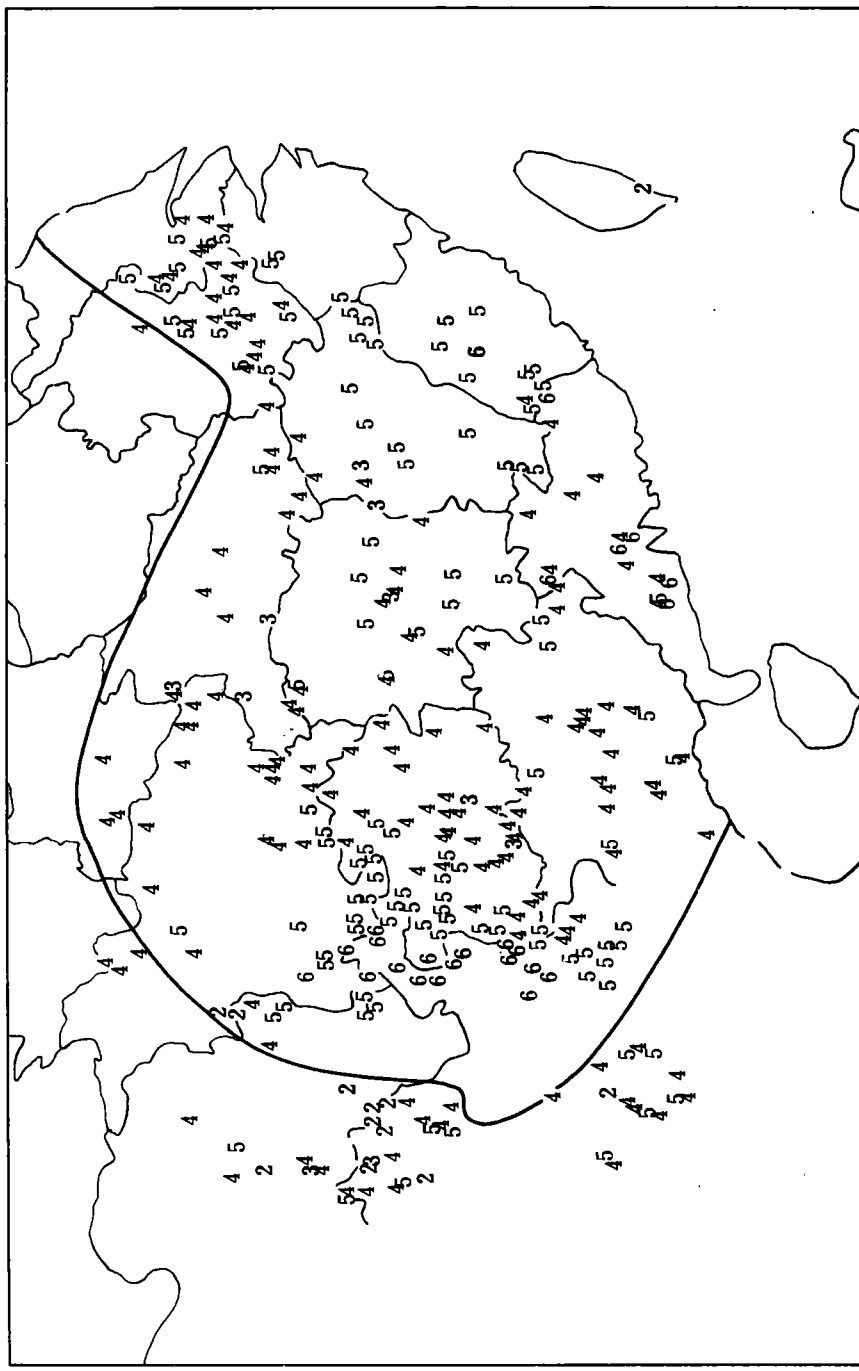

图 3　华南晚二叠世吴家坪期沉积深度分布图

1. <－4000m 洋盆；2. －200—－4000m 大陆架斜坡；3. －50—－200m 外陆架和前三角洲相；4. 0—－50m 内陆架和三角洲前缘相；5. 0—＋200m 海岸平原、滩相；6. ＋200—＋100m 内陆平原

Fig. 3　Diagram showing the Wujiapingian (Late Permian) depositional environments in South China

1＝oceanic basin；2＝continental shelf-slope；3＝outer shelf and prodelta facies；4＝inner shelf and delta-front facies；5＝coastal plain and beach facies；6＝inland plain

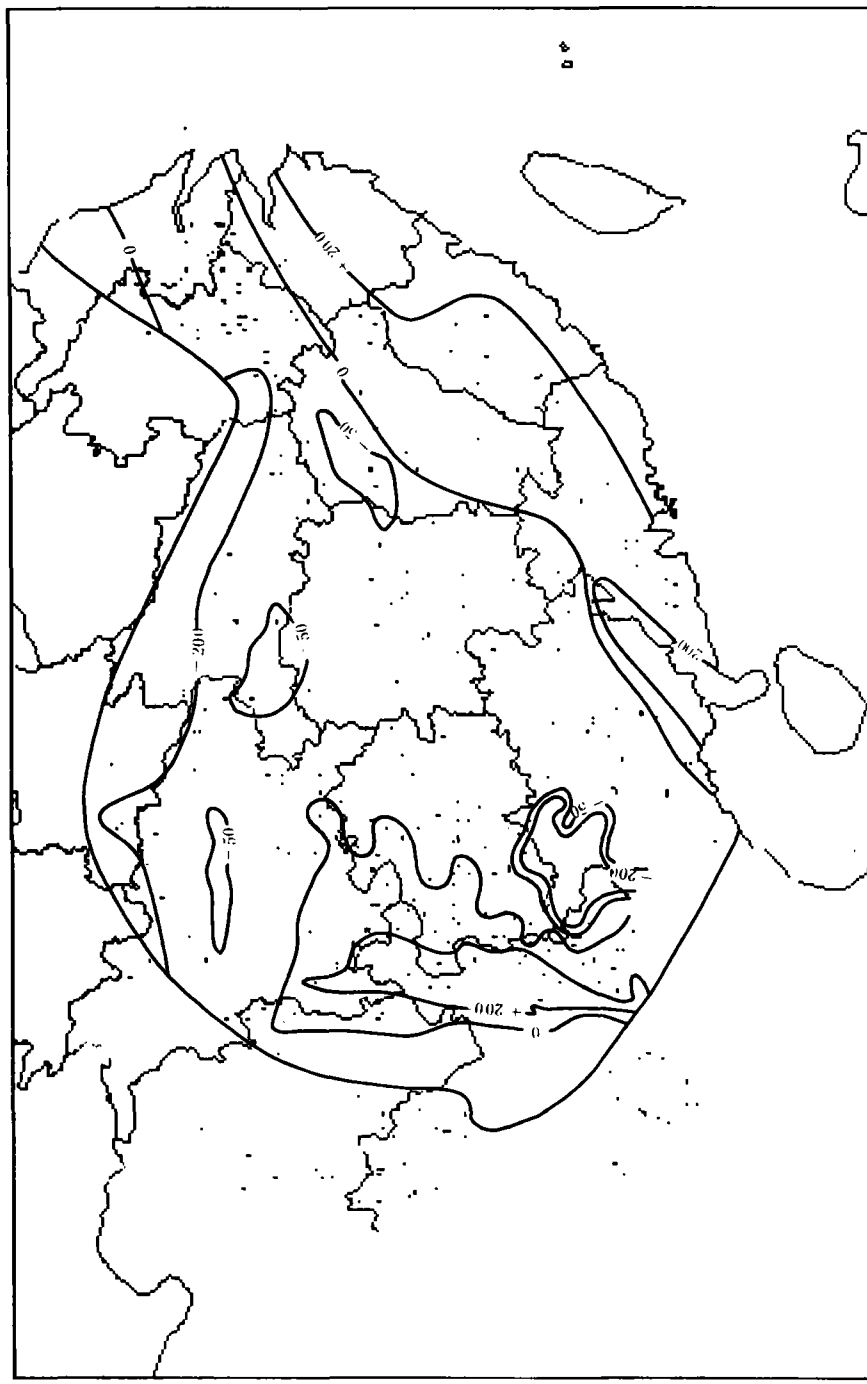

图 4 华南晚二叠世吴家坪期古地形略图

Fig. 4 Sketch map of the Wujiapingian (Late Permian) palaeotopography of South China

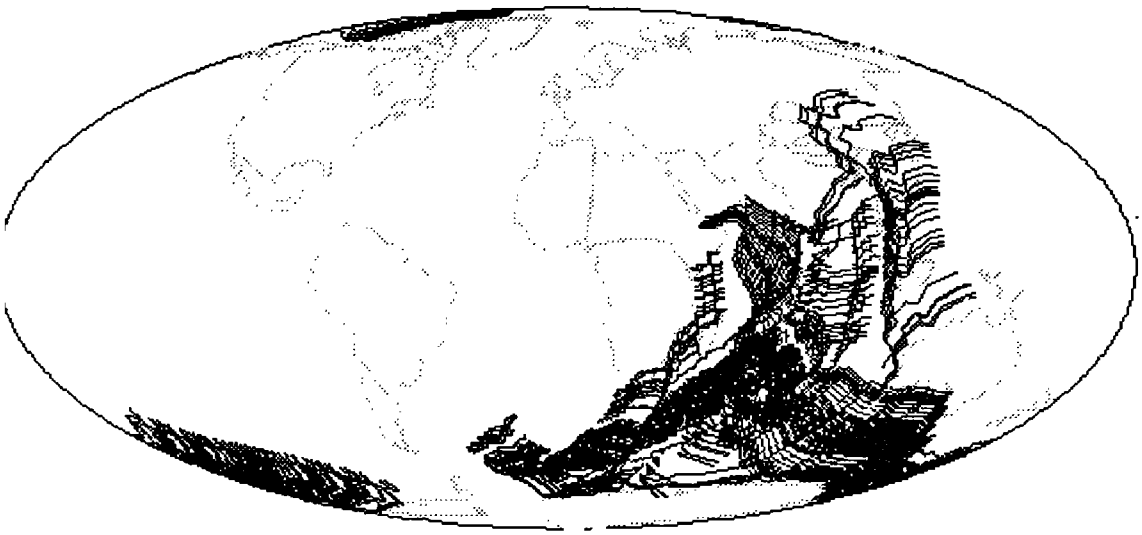

图 5　洋底等时线(据 ATLAS 项目)

Fig. 5　Isochron diagram of ocean floor (from ATLAS Project)

70 年代初,摩根和威尔逊提出热点和地幔柱假设,认为相背流动的地幔拖拉着其上的岩石圈,向两侧分裂。地幔下部的热地柱上升到岩石圈,生成一个火山岛,火山岛随着岩石圈的移动而移动。地幔中相对稳定的热点,基本上在原地又生成第二个火山岛,如此形成反映板块移动轨迹的火山岛链[10]。所以热点不仅可以测量板块在纬度上的移动,还可提供经度方面的信息。虽然人们尚在争论热点本身运动与否,是否能作为一个固定的参考坐标系来使用,但是,ATALS 项目通过选择一组热点(Walvis, Reunion, 90E. Ridge)进行分析[11],发现用热点预测的中非 100Ma 以来的古纬度与用古地磁预测的完全吻合。印度板块、南极板块和澳大利亚板块根据这些热点也可以得到重建。

同时兴起的古生物地理的研究在早期古大陆的再造方面占有有很重要的位置。因为古生物的生态分布和保存特征反映古环境,依靠它可获得古海陆分布资料[12]。从古生代至现代的植物区系生态图,双壳类、腕足动物的古生物地理分布图等等,为全球古板块的分布格局提供了参考。

沉积学家利用对气候敏感的沉积物来指示它们形成时所在的古气候带,以此作为板块运动轨迹的参考,弥补了中生代古地磁和热点资料的不足。Irving 最早提出将古地磁结果与地质证据相对比,来验证地史中轴向中心偶极子假说[13]。其中重要的一点是古地磁和古气候数据都能提供古纬度的证据,而气候的控制因素与地球磁场无关,比如,灰岩生长的控制因素是透光带光的穿透性,在纬度 60°以上或浑浊的水域中,包括赤道降雨带和高纬度降雨区,无法生成。现代珊瑚礁对称地生长于赤道两边,在 10°—20°纬度之间最多,通常在纬度 30°以内。据此,通过对灰岩、煤、蒸发岩等作定量分析,测出这些沉积距赤道的角度,乃至距离旋转轴的角度(假设旋转轴与赤道正交),得到从某地区测出的旋转轴的可能位置。这样,在全球范围内绘制出一系列不同区域所测到的旋转轴位置图,加以综合、修改,产生一个最有可能的旋转轴位置图。目前,中生代的全球地质数据库,包括这些气候控制的沉积物信息,被分为 16 个阶,应用于板块的定向[14]。值得一提的是,用气候因素决定板块的纬度,一个突

出的优越性在于综合不同类型沉积物的数据，如煤、蒸发岩，成为一个图，能够覆盖不同的气候带和完整的纬度范围。另一优越性是其客观性和重建性，从同样的岩性数据所计算出的古旋转轴的位置将完全一致。

尽管这些研究都具有独立性，各有其定性的或定量的方面，但它们彼此之间相辅相成，互相验证。图 6 为经过反复推敲而绘制的二叠纪全球板块分布图，而且随着研究的不断深入，还将不断修改。

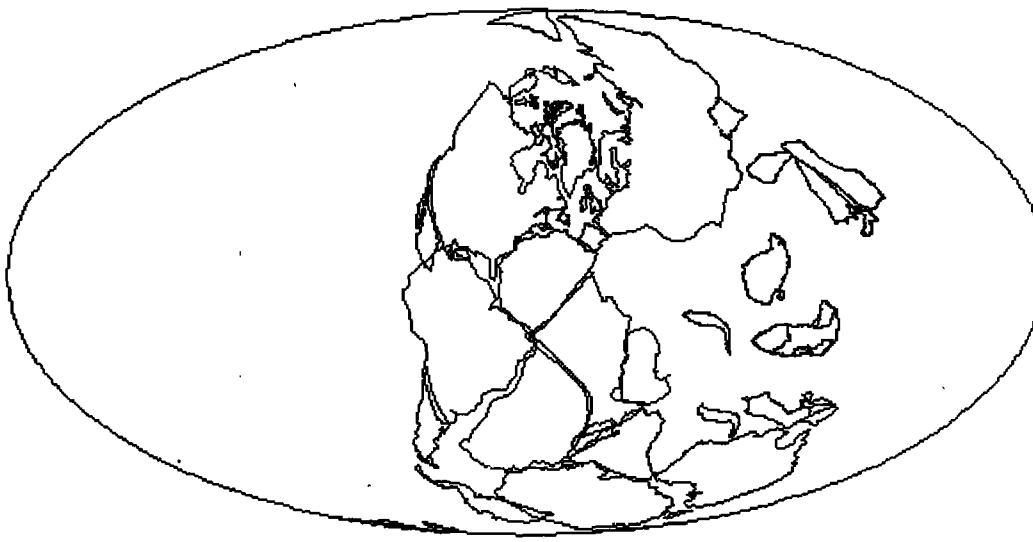

图 6 二叠纪古地理图(据 ATLAS 项目)

Fig. 6 Permian palaeogeographic map (from ATLAS Project)

4 图形处理

如果古板块的位置得以确定，上述的各种地质信息如何反映到图上呢？除一般的画点、画线、填写数据、特征符号之外，主要问题是怎样将现代板块位置旋转到百万年前，现代收集的数据点如何恢复到古板块上。在计算机处理时，这些问题简化为计算地球上某一点 P，绕旋转轴旋转一角度 A 后 P′ 的位置(见图 7)。假设旋转轴为地球自转轴，由矢量运算：

$$\vec{OO'}=(\vec{C}\cdot\vec{P})\vec{G}$$

$$\vec{O'P}=\vec{P}-(\vec{G}\cdot\vec{P})\vec{G}$$

$$\vec{O'Q}=\vec{G}\times\vec{P}$$

所求的 $\vec{P'}=\vec{O'P'}+\vec{OO'}$，那么 $\vec{O'P'}$ 可从小圆中求得(见图 8)：

$$\vec{O'P'}=\vec{O'M}+\vec{O'N}$$

$$\vec{O'M}=\vec{O'P}\cos A[(\vec{P}-\vec{G}\cdot\vec{P})\vec{G}]\cos A$$

$$\vec{O'N}=\vec{O'Q}\sin A=(\vec{G}\times\vec{P})\sin A$$

所以，

$$\vec{P'}=[\vec{P}-(\vec{G}\cdot\vec{P})\vec{G}]\cos A+(\vec{G}\times\vec{P})\sin A+(\vec{G}\cdot\vec{P})\vec{G}$$

$$\vec{P'}=\cos A\cdot\vec{P}+(1-\cos A)(\vec{G}\cdot\vec{P})\vec{G}+(\vec{G}\times\vec{P})\sin A$$

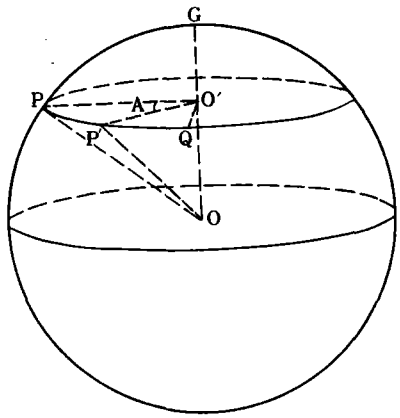

图 7　球面上一点绕地球自转轴旋转示意图

Fig. 7　Sketch to show the rotation of a certain point around the earth's pole

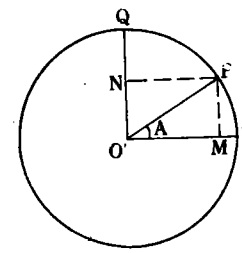

图 8　小圆面上的矢量计算

Fig. 8　Vectorial calculations on a spherical section

其中，$\vec{G}\times\vec{P}=\begin{vmatrix} i & j & k \\ Gx & Gy & Gz \\ Px & Py & Pz \end{vmatrix}$，$\vec{G}\cdot\vec{P}=Px\cdot Gx+Py\cdot Gy+Pz\cdot Gz$，

$VCT=\vec{G}\cdot\vec{P}$

Px, Py, Pz 为球面上一点的笛卡尔坐标，φ 为纬度，λ 为经度(见图 9)。

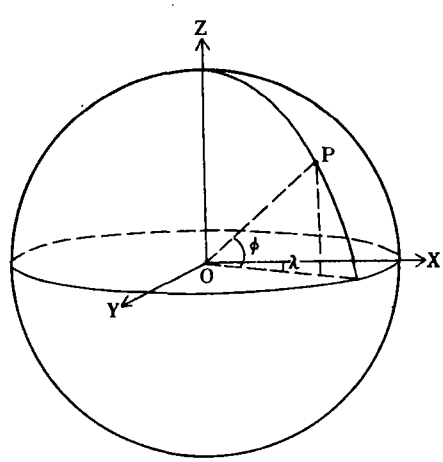

图 9　球面上一点在笛卡尔坐标上的投影

Fig. 9　Projection on the Cartesian coordinates of a point on the sphere

$Px=\gamma\sin(90°-\varphi)\cos\lambda$

$Py=\gamma\sin(90°-\varphi)\sin\lambda$

$Pz=\gamma\cos(90°-\varphi)$

那么，

$Px'=\cos APx+(1-\cos A)\cdot VCT\cdot Gx+\sin A(GyPz-GzPy)$

$Py' = \cos A Py + (1-\cos A) \cdot VCT \cdot Gy + \sin A(GxPz - GzPx)$

$Pz' = \cos A Pz + (1-\cos A) \cdot VCT \cdot Gz + \sin A(GxPy - GyPx)$

至此，球面上任意一点旋转某一角度后的坐标就计算出来了，再将其转化为经、纬度，则

$\varphi = \mathrm{arctg}(\frac{Pz'}{\sqrt{1-Pz'^2}})Pz'^2 = 1 \quad \varphi = 90°\lambda = \mathrm{arctg}\frac{Py'}{Px'}$

计算机在处理全球古地理恢复的过程中，首先要通过数字化仪输入各板块的位置，按一定步长取其边界坐标，步长越小，边界越清晰。其次再针对每一板块，各自旋转一定角度。每一板块中分别计算边界上各点旋转同一角度后的坐标，形成旋转后的板块。

然而，由古地磁数据所确定的板块的位置总是逐级相对的，如 A 板块的位置是相对于 B 板块的，B 又是相对 C 板块的，……如此递推。如果逐级计算，任务相当繁重，速度也随之降低。利用 Olinde Rodrigues 定理，可以直接计算 A 相对于 C 的位置，两次旋转化为一次，效率提高了一倍。

假设先绕 OA 轴旋转 α 角，再绕 OB 轴旋转 β 角，O 为球心。以 O 为圆心作圆 OAB，再过圆心作圆 OAX、OBY，使 OAX 与 OAB 的夹角为 $\alpha/2$，方向为 OA 轴的反方向，圆 OBY 与 OAB 相交 $\beta/2$，方向为 OB 轴的正方向（见图 10），C 为弧 AX 与 BY 的交点。同理作 C′。球面三角形 ABC 与 ABC′ 全等，当 C 点第一次绕 OA 轴旋转 α 角时，旋转到 C′，第二次绕 OB 轴旋转 β 角时，C′ 又回到 C 点。因此，OC 轴可以替代上两次旋转轴。而等价旋转角与旋转的顺序无关，只与等价的旋转轴的位置有关，即与 OC 轴有关。

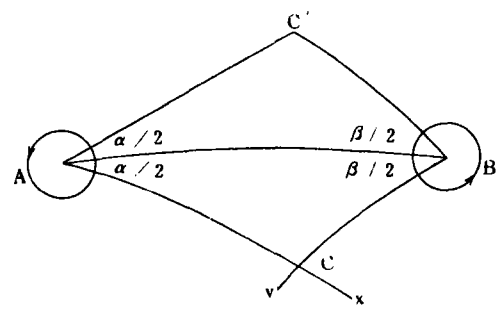

图 10 有限旋转的 Rodrigues 定理

Fig. 10 Rodrigues' theorem for composing finite rotations

在线性矢量空间表示法中，一次旋转的定义是一个三维欧氏矢量空间自身的正交线性交换。这种正交变换包括一组顺序旋转，并且存在不同的旋转组，因此，通过一个旋转角 θ 和旋转轴（方向余玄为 c1、c2、c3），能唯一地定义一次旋转。如果 X 旋转后的矢量为 X′，那么

$x' = Ax$

$$A = \cos\theta \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + (1-\cos\theta) \begin{bmatrix} c_1^2 & c_1c_2 & c_1c_3 \\ c_2c_1 & c_2^2 & c_2c_3 \\ c_3c_1 & c_3c_2 & c_2^3 \end{bmatrix} + \sin\theta \begin{bmatrix} 0 & -c_3 & c_2 \\ c_3 & 0 & -c_1 \\ -c_2 & c_1 & 0 \end{bmatrix}$$

同样，用四个 Caley-Klein 参数 λ、μ、ν、ρ 也能唯一地定义出旋转和旋转矩阵 A，

$\lambda = c_1\sin\theta/2, \mu = c_2\sin\theta/2, \nu = c_3\sin\theta/2, \rho = c_4\sin\theta/2, (\lambda^2+\mu^2+\nu^2+\rho=1)$

$$A=\begin{bmatrix}\lambda^2-\mu^2-\nu^2+\rho & 2(\lambda\mu-\nu\rho) & 2(\nu\lambda+\mu\rho)\\ 2(\lambda\mu+\nu\rho) & \mu^2-\nu^2-\lambda^2+\rho & 2(\mu\nu-\lambda\rho)\\ 2(\nu\lambda-\mu\rho) & 2(\mu\nu+\lambda\rho) & \nu^2-\lambda^2-\mu^2+\rho\end{bmatrix}$$

据此，假设旋转轴位于经、纬度 λ、φ 处，旋转角为 θ，四个参数设为

$\omega=\cos\theta/2,\xi=\sin\theta/2\sin\lambda_c\cos\varphi,\eta=\sin\theta/2sin\lambda_c\sin\varphi,\zeta=\sin\theta/2\cos\lambda_c$，

$(\lambda_c=\pi/2-\lambda,0\leqslant\lambda_c\leqslant\pi)$

这四个参数可视作四维空间中单位球面上的一点坐标，当满足下面条件时，

$i^2=j^2=k^2=-1$

$ij=-ji=k,jk=-kj=i,ki=-ik=j$

旋转可描述为方程：$q=\omega+\xi i+\eta j+\zeta k$. 若连续旋转两次 Q1、Q2，那每次等价的旋转为

$qT=(\omega_2+\xi_2 i+\eta_2 j+\zeta_2 k)(\omega_1+\xi_1 i+\eta_1 j+\zeta_1 k)=\omega_T+\xi_T i+\eta_T j+\zeta_T k$，

$\omega_T=\omega_1\omega_2-\xi_1\xi_2-\eta_1\eta_2-\zeta_1\zeta_2$

$\xi_T=\omega_1\omega_2+\xi_1\xi_2-\eta_1\eta_2+\zeta_1\zeta_2$

$\eta_T=\omega_1\omega_2+\xi_1\xi_2+\eta_1\eta_2-\zeta_1\zeta_2$

$\zeta_T=\omega_1\omega_2-\xi_1\xi_2+\eta_1\eta_2+\zeta_1\zeta_2$

最后求出相等价的旋转角 $\theta_T=2A\cos\omega_T;\omega_T>0,0\leq\theta_T\leq\pi$，

及旋转后的经、纬度

$\lambda_T=\pi/2-A\cos(\zeta_T/\sin(\theta/2));-\pi/2\leq\lambda_T\leq\pi/2$

$\varphi_T=A\tan(\eta_T/\xi_T);0\leq\varphi_T\leq2\pi$

总的来说，从收集地层资料、古地磁资料、古气候资料、古生物资料，到数据的内插、古地磁极与古板块位置的计算，以及最终反映到图上，形成了一个完整的系统。但是古地理成图是一个非常复杂的过程，很多方面需要不断添加、改进，如板块运动的影响、板块大小的变化、古地形线的自动绘制、二维图形向三维图形的转换等等。当然，机器绘制古地理图也有不足之处，它纯粹是一种数值计算，在判断某些特征时，不能利用丰富的地质经验，往往在地质数据控制很好的情况下，也未必能作出充分反映地质特征的图件，而盲目地用地质数据进行一系列计算，则会导致错误的地质模型。因此，地质解释在地质数据绘图中显得至关重要。地质学家应该在计算机辅助制图下进行多次迭代，修正缺陷，再重新画图，在最终成图之前注入足够的地质信息。本文涉及到计算机成图中的一些基本问题，从中也可看出，面对古地理研究中如此大量的信息，只有计算机才能快速有效地进行存储和综合处理，可以说，用计算机作古地理图将是一个很广阔的研究领域。

本文是在南京地质古生物研究所金玉玕研究员、美国芝加哥大学地球物理科学系 A. M. Ziegler 和 D. Rowley 教授、南京大学天文系狄晓华教授的指导和帮助下完成的。此项研究得到了中国科学院重大基础研究项目、国家自然科学基金项目(编号 49272081)，以及中国科学院南京地质古生物研究所现代古生物学和地层学开放研究实验室基金的资助，在此一并表示深深的感谢。

参 考 文 献

1 Harbaugh, J. W. and Merriam, D. F. Computer applications in stratigraphic analysis. John Wiley & Sons, Inc. 1978

2 Hulver, M. L., Gierlowski T. C. and Lottes, A. L. Paleogeographic Atlas Project referenec system. Palaeogeographic atlas project, 1990, 91—100

3 Hulver, M. L. Documentation of paleotopographic and paleobathmetric using a hyper card stalk. Paleogeographic Atlas Project, 1990, 101—102

4 Ziegler, A. M., Rowley, D. B., Lottes, A. L., Sahagian, D. L., Hulver, M. L. and Gierlowski, T. C. Paleogeographic interpretation, with an example from the Mid-Cretaceous. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1985, 13: 385—425

5 王鸿祯、刘本培、李思田. 中国及邻区大地构造划分和构造发展阶段: 中国及邻区构造古地理和生物古地理. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990

6 马醒华、张正坤. 古地磁学及其在板块构造研究中的应用: 板块构造基本问题. 北京: 地震出版社, 1986

7 Rob Van der Voo. Orienting the lithospheric shell: the paleomagnetic method. Paleogeographic Atlas Project; 1990

8 Rowley, D. B. Refitting the ocean basins. Paleogeographic Atlas Project; 1990, 1—6

9 袁学诚等. 古地磁学原理及其应用. 北京: 地质出版社, 1991

10 李春昱. 板块构造学中的几个基本问题: 板块构造基本问题. 北京: 地震出版社, 1986

11 Christopher R. Scotese, Hotspots and apparant polar wander: a comparison. Paleogeographic Atlas Project, 1990, 8—12

12 殷鸿福等. 中国古生物地理学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988

13 McElhinny, M. W. Palaeomagnetism and plate tectonics. Cambridge University Press, 1973

14 Lottes, Ann. L. Orienting the lithospheric shell; other methods. Paleogeographic Atlas Project, 1990, 10—15

THE COMPUTER-PLOTTED PALAEOGEOGRAPHIC MAPS OF SOUTH CHINA

Wang Yue

Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences

ABSTRACT

This paper gives a general review on the reconstruction of palaeogeographic continents with the aid of the computer-aid graphic method. This method may allow for the semi-quantitative retrodiction by means of the synthesis of data sets that provide valuable information about the "absolute" latitudinal positon of plates, in combination with the data on palaeobiogeography, tectonic geography, palaeoclimates and basin analysis. Taking the advantage of the technology, the author attempts to plot a series of the Permian palaeogeographic maps of South China, and a Late Permian topographic map of South China may serve as a good example for the explanation of the process described in this parper.

Key words: palaeogeographic map, interpolation, palaeotopographic line, tectonic plate