

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

第三名

040507

我把板塊拼起來了-板塊運動模擬

國立新竹女子高級中學

作者姓名：

高二 林怡廷

指導老師：

陳雅芳

壹、摘要

南美洲及非洲兩大陸塊的形狀非常契合，是因為中洋脊的擴張使它們分開。本研究以奧伊勒理論為基礎，利用大西洋中洋脊附近的許多轉型斷層及破裂帶，並以空間向量及解空間方程式的方法，來求奧伊勒極的位置，以進行南美洲和非洲之間板塊運動模擬。

先算出分別中垂於兩個不同轉型斷層的兩個平面方程式，再找出兩平面與地球球面的交點，即奧伊勒極的位置。奧伊勒極可以用來描述板塊相對運動，相對運動量則由中洋脊兩側的條帶磁力異常線換算求得。最後將所求得的奧伊勒極和現有的板塊資料與海岸線資料，輸入電腦進行板塊運動的模擬，並進一步算出兩板塊間的相對運動速率。

本研究所算出的奧伊勒極位於 63.8° N、 32.9° W；以奧伊勒極為基礎，算出兩億年來非洲和南美洲兩板塊間相對運動的平均角速率約為 0.305 度/百萬年；最後模擬出兩億年來南美洲相對於非洲的古位置。在一億九千五百萬年前的古位置圖中可發現，當兩陸塊北端密合時，南端有陸塊重疊的現象，可見南端實際相對運動的量比預估的還少，推測是因為板塊經過長時間的運動，受到擠壓而變形，而這些變形吸收了部分的相對運動量，而非洲西南外海的確有一 Wafisch Ridge 存在。

貳、研究動機

上地球科學課程時，每次談到板塊的運動，總會提到南美洲及非洲兩大陸塊的形狀非常契合，促使韋格納提出大陸漂移說，進而衍生出板塊構造學說。板塊構造學說認為剛性板塊在地球上進行相對運動，我覺得板塊在球面上運動，實在是個有趣的問題，因此很想了解它是如何運動的，並想用數學方法加以計算。

由於地球表面使用的是經緯座標，而球面上的運動也並非像平面上那麼容易描述與計算。因此，我想要利用高二數學所學過的空間向量及解空間方程式的方法，來找出板塊運動的規則，於是尋找網路上的數位化資料，先從板塊界線最單純的南美洲和非洲著手，試著模擬兩陸塊之間的相對運動，若能成功的話，也許可以應用到全世界其他板塊的相對運動上。

參、研究目的

- 一、利用南美洲及非洲兩大板塊留在地球上的運動軌跡—破裂帶及轉型斷層，找出這兩板塊相對運動的奧伊勒極（Euler Pole）。
- 二、根據所求出的奧伊勒極，利用大西洋中洋脊兩側的條帶磁力異常資料，計算出兩板塊各年代的相對運動量。

三、根據第一、二項之結果，繪出南美洲和非洲兩陸塊各年代之古位置圖。

四、預測南美洲和非洲兩陸塊未來的位置。

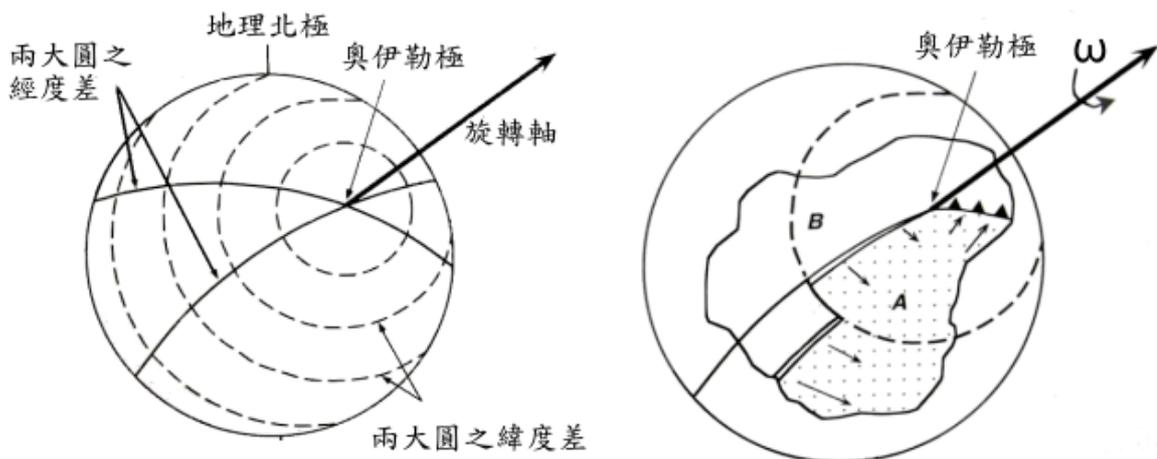
肆、研究設備及器材

個人電腦	一部
Fortran77 (For sun workstation)	一套
繪圖軟體 (Matlab)	一套
PhotoShop	一套
地球儀	一個
紅線	數條

伍、研究過程及方法

一、理論基礎：

板塊構造學說認為，剛性板塊在地球表面上進行相對運動。而地球是圓的，它的表面是一個球面。因此兩板塊之間的相對運動應該符合球面上運動的基本原則（何，1983），它們之間的相對運動的軌跡必是一段弧線，而弧線所在的小圓的圓心，稱為奧伊勒極（Euler Pole），可用來描述兩板塊間的相對運動（如圖一）（Fowler, 1990）



圖一、描述球面上兩剛性板塊間相對運動的奧伊勒理論示意圖

二、資料來源：

利用個人電腦網際網路進行相關資料搜尋，資料來源有：

（一）海岸線數位資料：國際地球物理數位資料中心

National Geophysical Data Center (NGDC)

<http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>

(二) 轉型斷層及破裂帶資料：美國德州大學地球物理學系

The University of Texas at Austin Institute for Geophysics

<http://www.ig.utexas.edu/>

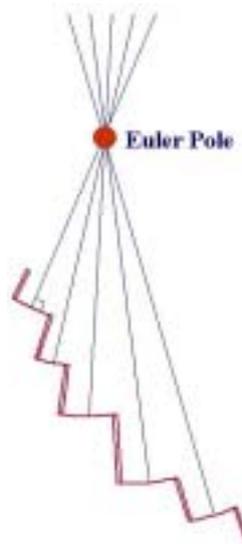
(三) 條帶磁力異常資料：美國德州大學地球物理學系

The University of Texas at Austin Institute for Geophysics

<http://www.ig.utexas.edu/>

三、本研究尋找奧伊勒極的方法：

在觀察世界海底地形圖時會發現，世界三大洋中都有許多連接中洋脊的轉型斷層及破裂帶，這些是板塊相對運動所留下來的錯動型界線，在地圖上看起來略成弧形。首先找出每一段軌跡的中垂線，此中垂線位於地球表面，所以它就是中垂於弧形軌跡的大圓；利用各轉型斷層及破裂帶找出的各大圓應交於一點，此點即為奧伊勒極（如圖二）。



圖二、各中垂於運動軌跡的大圓應交於一點

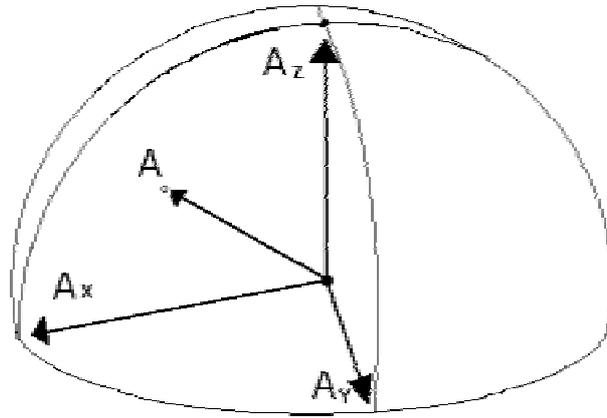
本研究要利用高中數學所學到的空間向量及解空間方程式的方法來計算出奧伊勒極的位置，步驟如下：

(一) 步驟一：將地球經緯座標轉換成笛卡兒空間向量座標（如圖三）

地球球面上的一點 A_0 ，經度為 θ ，緯度為 ϕ ，則在笛卡兒三度空間座標中，以地心為 $(0, 0, 0)$ ，地球球面方程式為 $x^2+y^2+z^2=1$ ，將 A_0 座標值轉換為 (x, y, z) ，則分別為：

$$x = \cos \theta \cdot \cos \phi \quad y = \cos \theta \cdot \sin \phi$$

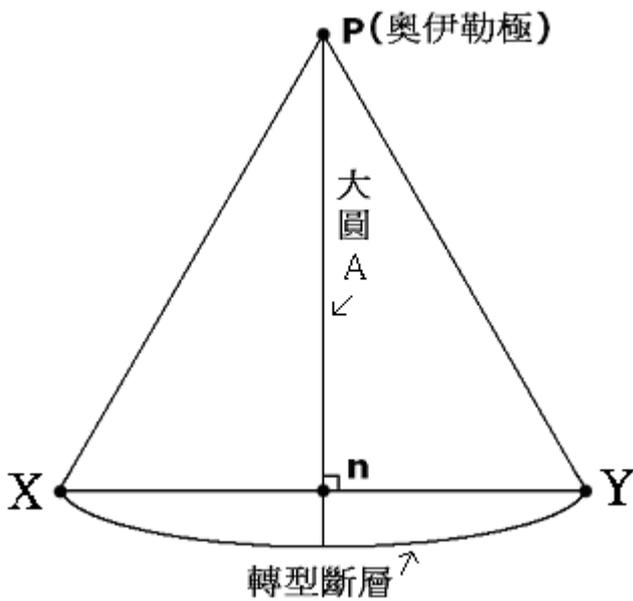
$$z = \sin \theta \quad (\theta : \text{緯度}; \phi : \text{經度})$$



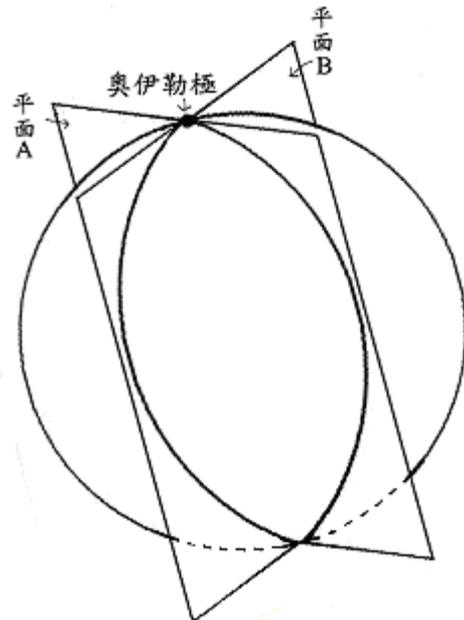
圖三、笛卡兒空間向量座標示意圖。

(二) 步驟二：找出中垂於軌跡的大圓的平面方程式

取一段數位化轉型斷層資料，轉換座標後，先連接兩端點 X、Y，取其中點 n，可利用數學方程式找出以 \overline{XY} 為法向量，並過 n 點的平面方程式 A (圖四) 再取另一段轉型斷層，重複上述步驟得到平面方程式 B。



圖四、球面上尋找大圓方法示意圖



圖五、平面 A、平面 B 和地球面交點示意圖

(三) 步驟三：求出奧伊勒極。

找出平面 A、平面 B、 $x^2+y^2+z^2 = 1$ (地球面) 的交點，此即為奧伊勒極的位置。(圖五)

(四) 步驟四：求大量奧伊勒極位置，減少誤差

取其他轉型斷層，重複步驟二、三，求得許多接近的奧伊勒極。

(五) 步驟五：利用最小平方法求出最具代表性的極

假設已求出 n 個極，分別為 (λ_1, ϕ_1) (λ_2, ϕ_2) ... (λ_n, ϕ_n)

分別求出經度及緯度的最小值 x 和 y 。

$$\begin{aligned} & (\lambda - \lambda_1)^2 + (\lambda - \lambda_2)^2 + \dots + (\lambda - \lambda_n)^2 \\ & = n(\lambda - \lambda_m)^2 + k \end{aligned}$$

當 k 最小時， λ_m 即為所求。

依上述方法，亦可求出 ϕ_m 。

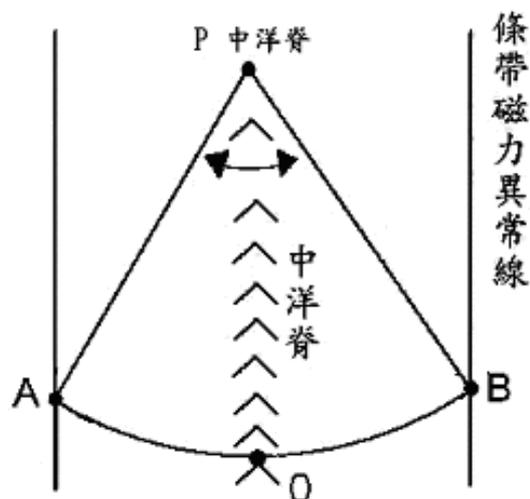
利用奧伊勒極為旋轉點，將兩板塊逆著現行運動方向加以旋轉，就可以重建兩板塊的古位置；將兩板塊順著現行運動方向加以旋轉，則可以預測兩板塊未來的位置。

四、以奧伊勒極為基礎，計算已往各年代板塊的旋轉角度

(一) 步驟一：利用條帶磁力異常線計算旋轉角度

中洋脊兩側有年代對稱的條帶磁力異常線，每一條帶磁力異常線有所代表的年代。取中洋脊左側某一條帶磁力異常線上的一點 A ，再取中洋脊上一點 O ，再取中洋脊右側同一年代的磁力異常線上的一點 B ，使 $\overline{AP} = \overline{OP} = \overline{BP}$ (圖六)。

從條帶磁力異常所代表的年代到現在的這段時間內，南美洲相對於中洋脊的相對運動的旋轉角度即為 $\angle APO$ ；非洲相對於中洋脊的相對運動的旋轉角度即為 $\angle BPO$ ；南美洲和非洲之間相對運動的旋轉角度即為 $\angle APB$ 。



圖六、旋轉角度算法示意圖

(二) 步驟二：球面上 APB 求法

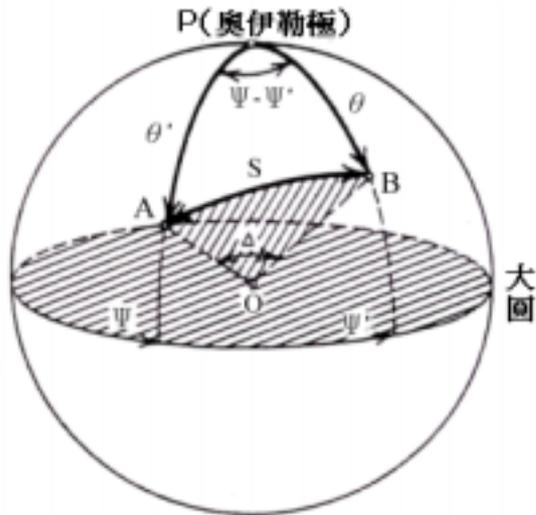
$$S = AB \text{ 弧度} \quad a = \text{地球半徑}$$

$$S = a \quad S \text{ 和 } a \text{ 為已知數}$$

$$\cos \theta = \cos \theta' \cos \psi + \sin \theta' \sin \psi \cos (\psi - \psi')$$

和 ψ' 為已知 (圖七) $(\psi - \psi')$ 即為 APB

同樣的方法可求步驟一中的 APO 及 BPO。



圖七、球面上 APB 的求法示意圖

(三) 步驟三：計算條帶磁力異常線所代表的年代間的旋轉量及方向

找其他組條帶磁力異常線，重複步驟一、二，得到各年代時間內，南美洲和非洲板塊間相對運動的旋轉角度。

五、將三、四所得之結果輸入 Fortran 程式中計算旋轉後，得到各年代的海岸線資料，再將這些資料輸入繪圖軟體，得到各年代的古地理圖。

六、利用所算出的平均旋轉角速率，預估出未來不同年代的旋轉角度，以第五項之方法，得到未來的地理圖。

七、模型實做

(一) 將數位化轉型斷層位置繪於地球儀上。

(二) 利用紅線，先量出該地球儀赤道之長度，即大圓之長度。

(三) 拿(二)所得之線段，使之中垂於某一轉型斷層，並位於大圓上，線段應恰好用盡。用膠帶將之固定。

(四) 取其他轉型斷層，重複(三)。

(五) 所有紅線應交於一點，此點即為奧伊勒極所在位置。

陸、研究結果

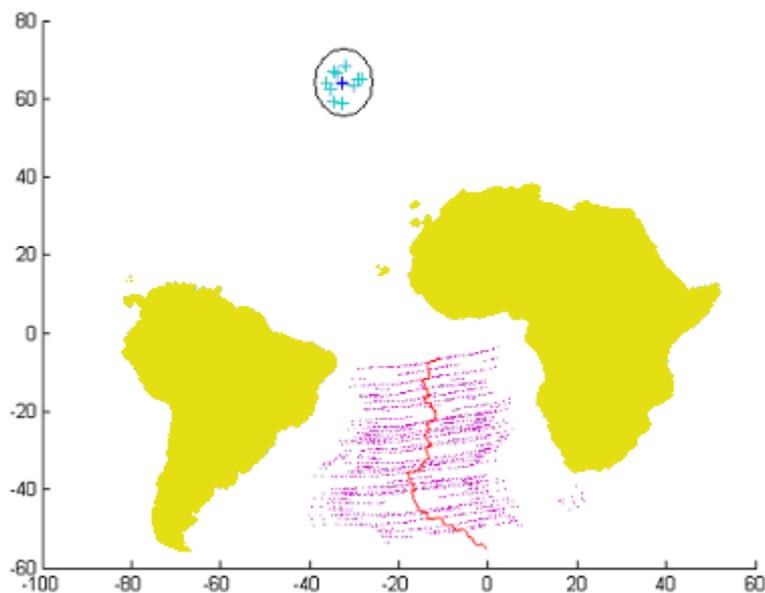
一、奧伊勒極

大西洋中洋脊有許多破裂帶，隨機取任兩條破裂帶為一組，計算出一組奧伊勒極，所得結果如下表一，奧伊勒極的位置分布如圖八。

表一、計算所得之各組奧伊勒極

經度	緯度
30.0°W	63.1°N
28.6°W	65.0°N
35.2°W	62.4°N
32.1°W	68.3°N
34.8°W	59.3°N
32.8°W	58.8°N
29.2°W	64.9°N
33.9°W	66.7°N
36.4°W	63.9°N
34.7°W	66.9°N

依據表一結果，利用最小平方法，算出奧伊勒極的位置為 32.8°W, 63.9°N (如圖八)。



圖八、奧伊勒極的位置圖(淺藍 - 計算所得之極，深藍 - 用最小平方法所求得之極，紫色 - 破裂帶，紅色 - 中洋脊及轉型斷層，深黃色 - 南美洲與非洲陸塊)

二、各年代間板塊旋轉角度

利用第一項所得之奧伊勒極及條帶磁力異常線，算出各年代間板塊旋轉角度，如下表二、表三。條帶磁力異常線（An）所對應的年代，參考 S.C.Cande（1995）。

表二、南美洲相對於中洋脊之各年代旋轉角度

An	年代	角度
3	418 萬年前到現在	0.5°
5	992 萬年前到現在	1.5°
6	1905 萬年前到現在	3.5°
7	2550 萬年前到現在	4.7°
9	2703 萬年前到現在	5.1°
11	2940 萬年前到現在	5.3°
13	3306 萬年前到現在	6.4°
16	3534 萬年前到現在	7.0°
18	3843 萬年前到現在	7.2°
20	4254 萬年前到現在	8.8°
21	4626 萬年前到現在	9.5°
24	5236 萬年前到現在	10.7°
25	5590 萬年前到現在	11.1°
27	6092 萬年前到現在	11.7°
30	6558 萬年前到現在	12.4°
32	7107 萬年前到現在	13.3°
33	7362 萬年前到現在	14.0°
34	8300 萬年前到現在	16.6°
陸塊邊緣	19500 萬年前到現在	32.5°

表三、非洲相對於中洋脊之各年代旋轉角度

An	年代	角度
3	418 萬年前到現在	0.5°
5	992 萬年前到現在	1.5°
6	1905 萬年前到現在	3.5°
7	2550 萬年前到現在	4.7°
9	2703 萬年前到現在	5.0°
11	2940 萬年前到現在	6.5°
13	3306 萬年前到現在	6.4°
16	3534 萬年前到現在	7.0°
18	3843 萬年前到現在	7.2°
20	4254 萬年前到現在	8.8°

21	4626 萬年前到現在	8.5°
24	5236 萬年前到現在	10.7°
25	5590 萬年前到現在	11.1°
27	6092 萬年前到現在	11.7°
30	6558 萬年前到現在	12.4°
32	7107 萬年前到現在	13.3°
33	7362 萬年前到現在	13.9°
34	8300 萬年前到現在	16.6°
陸塊邊緣	19500 萬年前到現在	32.4°

三、各年代板塊旋轉的角速率

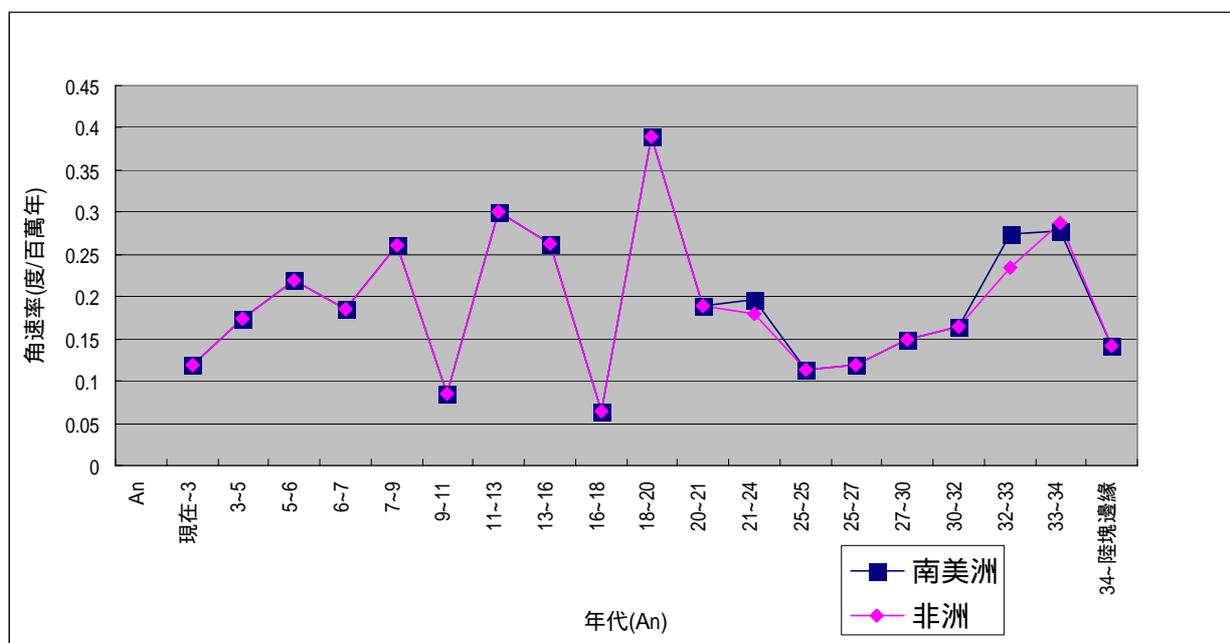
(一) 利用表二、表三的資料，換算成非洲相對於中洋脊及南美洲相對於中洋脊的相對運動量及角速度，如表四、表五，並將其繪成南美洲及非洲各年代間板塊旋轉角速率比較圖，如圖九。

表四、南美洲相對於中洋脊之各年代旋轉的角速率

An	年代	角度	角速率 (度/百萬年)
現在~3	418 萬年前到現在	0.5°	0.12
3~5	992 萬年前到 418 萬年前	1°	0.17
5~6	1905 萬年前到 992 萬年前	2°	0.22
6~7	2550 萬年前到 1905 萬年前	1.2°	0.19
7~9	2703 萬年前到 2550 萬年前	0.4°	0.26
9~11	2940 萬年前到 2703 萬年前	0.2°	0.08
11~13	3306 萬年前到 2940 萬年前	1.1°	0.30
13~16	3534 萬年前到 3306 萬年前	0.6°	0.26
16~18	3843 萬年前到 3534 萬年前	0.2°	0.06
18~20	4254 萬年前到 3843 萬年前	1.6°	0.39
20~21	4626 萬年前到 4254 萬年前	0.7°	0.19
21~24	5236 萬年前到 4626 萬年前	1.2°	0.20
25~25	5590 萬年前到 5236 萬年前	0.4°	0.11
25~27	6092 萬年前到 5590 萬年前	0.6°	0.12
27~30	6558 萬年前到 6092 萬年前	0.7°	0.15
30~32	7107 萬年前到 6558 萬年前	0.9°	0.16
32~33	7362 萬年前到 7107 萬年前	0.7°	0.27
33~34	8300 萬年前到 7362 萬年前	2.6°	0.28
34~陸塊邊緣	19500 萬年前到 8300 萬年前	15.9°	0.14

表五、非洲相對於中洋脊之各年代的旋轉角速率

An	年代	角度	角速率(度/百萬元)
現在~3	418 萬年前到現在	0.5°	0.12
3~5	992 萬年前到 418 萬年前	1°	0.17
5~6	1905 萬年前到 992 萬年前	2°	0.22
6~7	2550 萬年前到 1905 萬年前	1.2°	0.19
7~9	2703 萬年前到 2550 萬年前	0.4°	0.26
9~11	2940 萬年前到 2703 萬年前	0.2°	0.08
11~13	3306 萬年前到 2940 萬年前	1.1°	0.30
13~16	3534 萬年前到 3306 萬年前	0.6°	0.26
16~18	3843 萬年前到 3534 萬年前	0.2°	0.06
18~20	4254 萬年前到 3843 萬年前	1.6°	0.39
20~21	4626 萬年前到 4254 萬年前	0.3°	0.19
21~24	5236 萬年前到 4626 萬年前	2.2°	0.18
25~25	5590 萬年前到 5236 萬年前	0.4°	0.11
25~27	6092 萬年前到 5590 萬年前	0.6°	0.12
27~30	6558 萬年前到 6092 萬年前	0.7°	0.15
30~32	7107 萬年前到 6558 萬年前	0.9°	0.16
32~33	7362 萬年前到 7107 萬年前	0.6°	0.24
33~34	8300 萬年前到 7362 萬年前	2.7°	0.29
34~陸塊邊緣	19500 萬年前到 8300 萬年前	15.8°	0.14

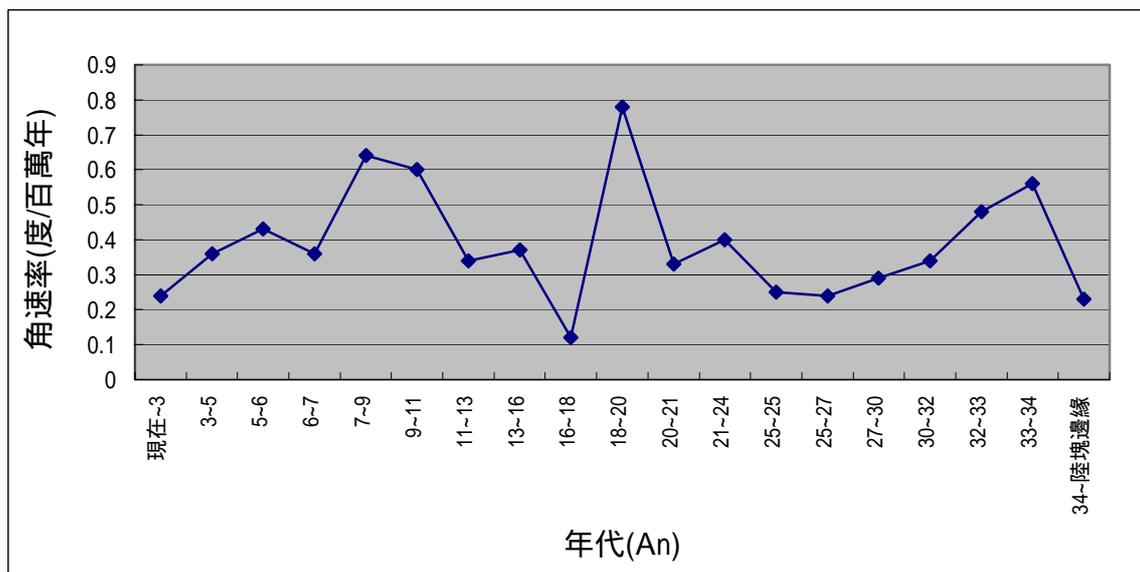


圖九、南美洲及非洲相對於中洋脊的各年代板塊旋轉角速率比較圖

(二) 將表四、表五的資料換算成南美洲相對於非洲的各年代間相對運動量及角速率，如表六，並繪出南美洲相對於非洲各年代板塊旋轉角速率圖，如圖十。

表六、南美洲相對於非洲各年代相對運動的角速率

An	年代	旋轉量	角速率 (度/百萬年)
現在~3	418 萬年前到現在	1.00°	0.24
3~5	992 萬年前到 418 萬年前	2.05°	0.36
5~6	1905 萬年前到 992 萬年前	3.95°	0.43
6~7	2550 萬年前到 1905 萬年前	2.32°	0.36
7~9	2703 萬年前到 2550 萬年前	0.98°	0.64
9~11	2940 萬年前到 2703 萬年前	1.42°	0.60
11~13	3306 萬年前到 2940 萬年前	1.03°	0.34
13~16	3534 萬年前到 3306 萬年前	1.34°	0.37
16~18	3843 萬年前到 3534 萬年前	0.36°	0.12
18~20	4254 萬年前到 3843 萬年前	3.19°	0.78
20~21	4626 萬年前到 4254 萬年前	1.36°	0.33
21~24	5236 萬年前到 4626 萬年前	2.31°	0.40
25~25	5590 萬年前到 5236 萬年前	0.38°	0.25
25~27	6092 萬年前到 5590 萬年前	1.20°	0.24
27~30	6558 萬年前到 6092 萬年前	1.37°	0.29
30~32	7107 萬年前到 6558 萬年前	1.88°	0.34
32~33	7362 萬年前到 7107 萬年前	1.23°	0.48
33~34	8300 萬年前到 7362 萬年前	5.27°	0.56
34~陸塊邊緣	19500 萬年前到 8300 萬年前	27.33°	0.23
平均角速率			0.305



圖十、非洲相對於南美洲各年代板塊旋轉角速率圖

四、各年代的古地理圖

依據表六結果，以非洲為不動陸塊，利用奧伊勒極及旋轉角度，進行南美洲及非洲古陸塊位置的重建。各年代南美洲及非洲古陸塊相對位置圖，如圖十一~圖三十。



圖十一、五百萬年前



圖十二、一千萬年前



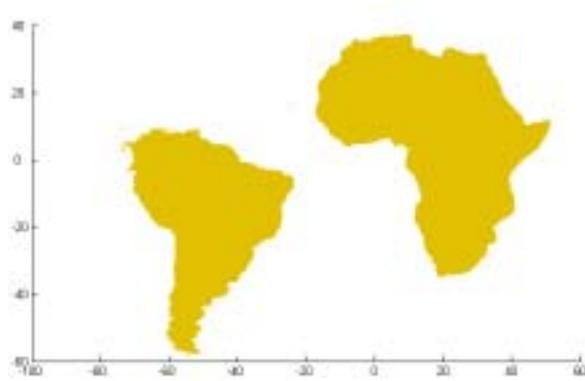
圖十三、兩千萬年前



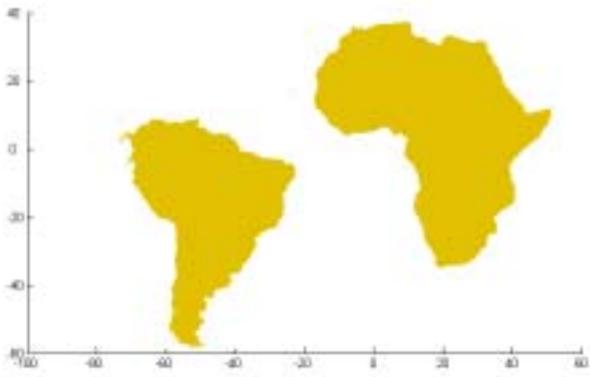
圖十四、兩千五百萬年前



圖十五、三千萬年前



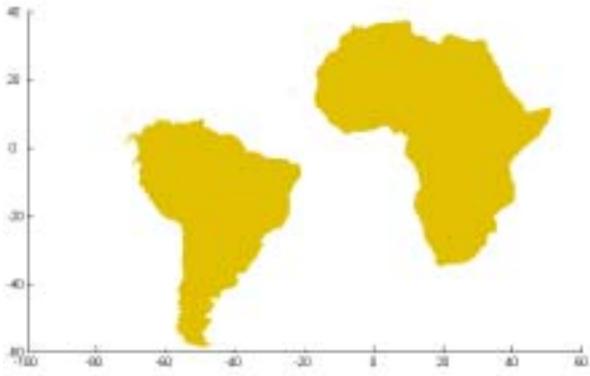
圖十六、三千五百萬年前



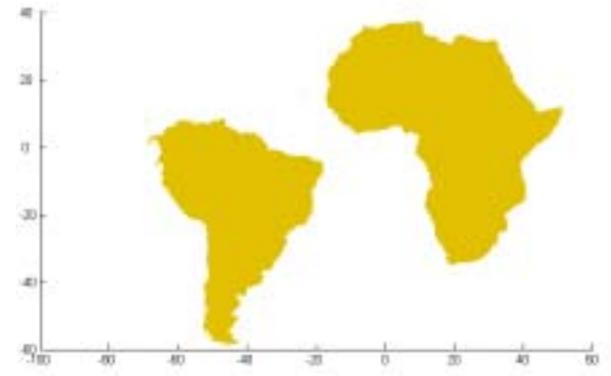
圖十七、四千萬年前



圖十八、四千五百萬年前



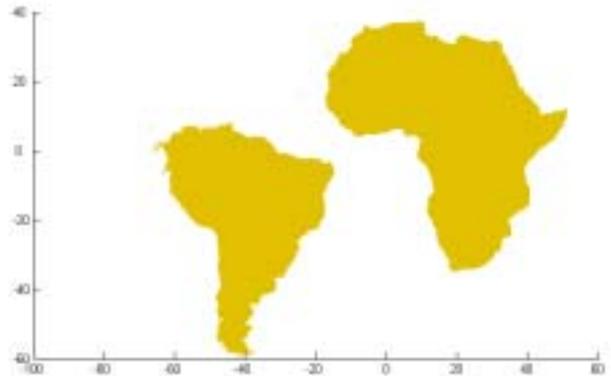
圖十九、五千萬年前



圖二十、五千五百萬年前



圖二十一、六千萬年前



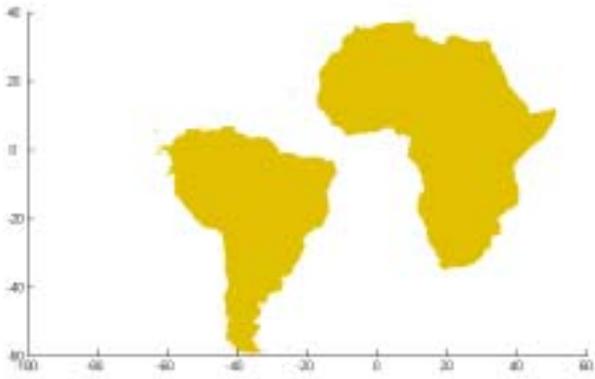
圖二十二、六千五百萬年前



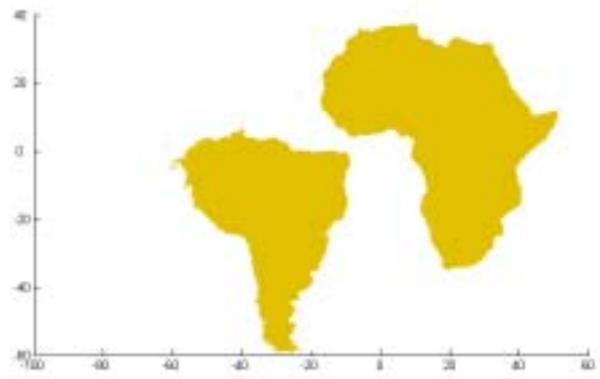
圖二十三、七千萬年前



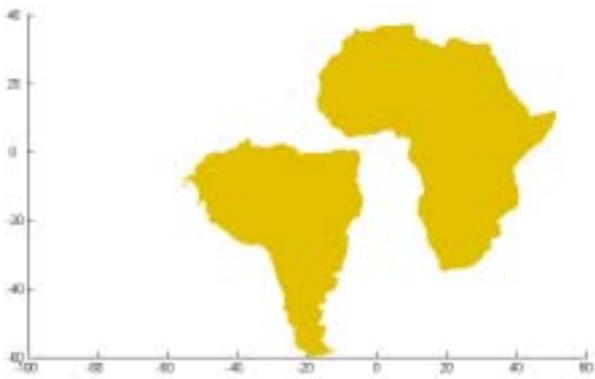
圖二十四、七千五百萬年前



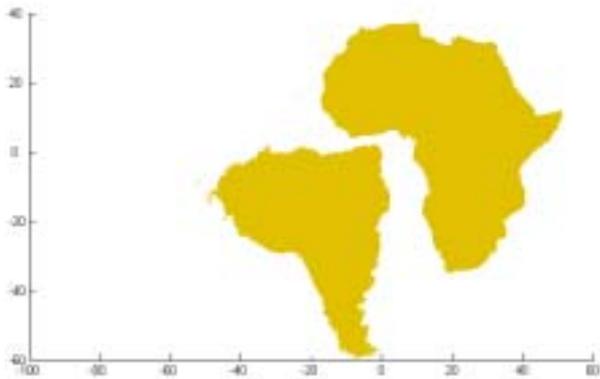
圖二十五、八千三百萬年前



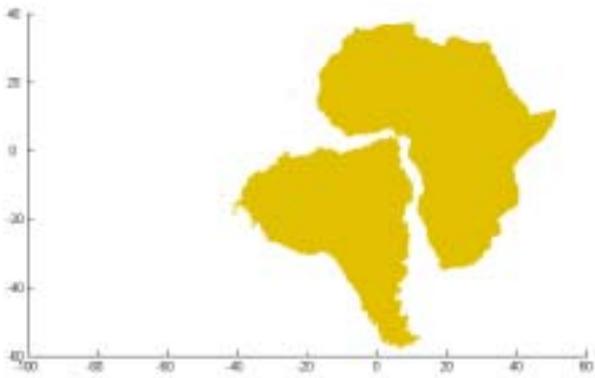
圖二十六、一億年前



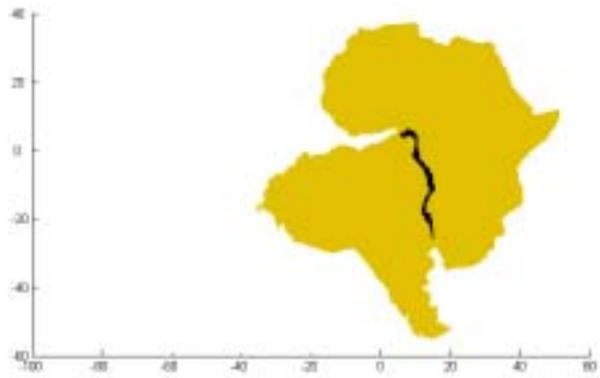
圖二十七、一億三兩千萬年前



圖二十八、一億五兩千萬年前



圖二十九、一億七千萬年前



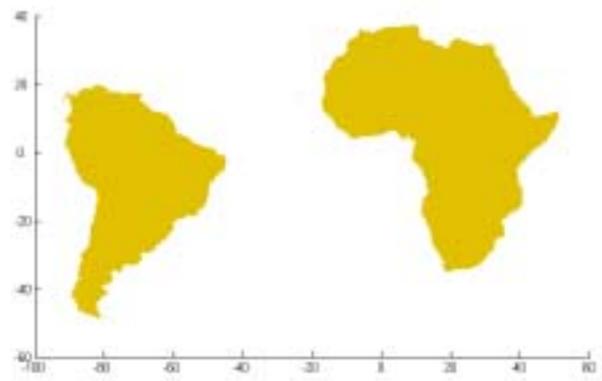
圖三十、一億九千五百萬年前

五、未來地理圖

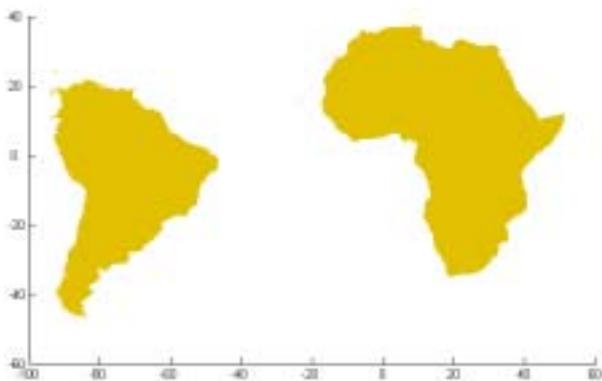
利用奧伊勒極推測未來南美洲與非洲陸塊未來的位置。依據表六所算出的平均角速度 0.305 度/百萬年，推測一千萬年、兩千萬年、三千萬年、四千萬年後的地理圖，如圖三十一~三十四。



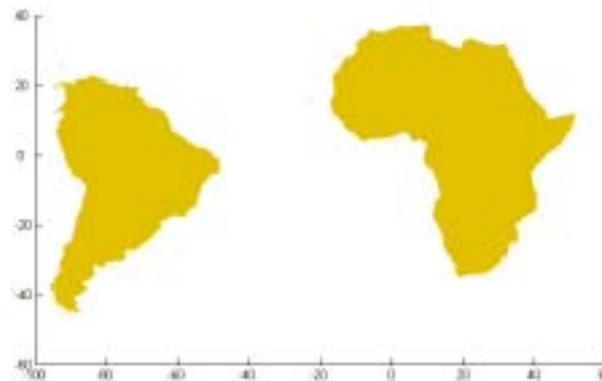
圖三十一、一千萬年後



圖三十二、兩千萬年後



圖三十三、三千萬年後



圖三十四、四千萬年後

柒、討論

- 一、因為可供本研究利用的轉型斷層的資料量較少，所以我們利用整段破裂帶的資料來進行模擬，以減少誤差。
- 二、由各年代古地理圖可發現，在同一年代間，南美洲各處相對於非洲的運動距離不同。這是因為 $\frac{\text{半徑 (某點與奧伊勒極的距離, 如圖五之 AP)}}{\text{角度 (如圖五之 APB)}} = \text{弧長 (相對運動量, 如圖五之 AB)}$ ，當角度相同時，半徑越大，弧則越長。所以在相同年代間，距離奧伊勒極較近之處，相對運動距離較小；距離奧伊勒極較遠處，相對運動距離較大。
- 三、計算各年代間平均角速率 (表四、表五、圖九)，發現都不大相同。4254 萬年前 (An20) 到 3843 萬年前 (An18) 間的平均角速率比其他年代間的角速率大很多，而 3843 萬年前 (An18) 到 3534 萬年前 (An16) 的平均角速率則很小。此運動速率象徵中洋脊的噴發擴張速率，可見中洋脊在各年代間的噴發速率是有差異的。

四、計算南美洲及非洲各年代間相對於中洋脊的平均角速率（表四、表五），發現它們在同年代間，相對於中洋脊的平均角速率相當接近，可見中洋脊向兩側是以等速率噴發擴張。

五、將陸塊進行重建時，發現將兩陸塊拼合時，並不能完全密合，有些許誤差，推測造成此現象的原因可能有：

（一）板塊是剛性的，但構成板塊的岩石是有塑性的，當板塊進行相對運動時，板塊受擠壓會變形，所以有些相對運動量可能會被板塊變形所吸收，導致將兩板塊北端拼起來時，南半部不密合，而有陸塊邊緣重疊的現象(如圖三十)，顯示南半部實際相對運動量比本研究利用奧伊勒極估計出來的相對運動量(表六)少。而在此位置附近，也就是非洲西南外海緯度 20°S 40°S 附近，的確有一 "Wafisch Ridge"，此隆起很可能吸收了南半部部分的相對運動量。

（二）海浪侵蝕海岸線、河流入海口的沉積作用，可能在兩億年以來對海岸線形狀也有影響。

（三）英國的布拉德(Edward Bullard)等人在 1965 年以大陸斜坡的中心(約 500 呎或九百公尺的深度)為基準，把大西洋東西兩側的陸地接合起來，非常吻合。但本研究利用現今的海岸線加以拼合，自然會有不密合之處。

六、本研究所蒐集的條帶磁力異常資料最老只到 An34，約為 8300 萬年前，但因為南美洲和非洲開始張裂的年代應比 8300 萬年更古老，所以從開始張裂到 8300 萬年前的運動速度，無法很精確地推算出來，只能依照研究方法第四點中步驟一(如圖六)的方法，在南美洲和非洲在大西洋的海岸線上各取一點 X 和 Y，使 $\overline{PX} = \overline{PY}$ ，如此算出這段年代間的旋轉量、平均旋轉角速率。

七、把本研究所求出的奧伊勒極和 C.DeMets (1989) 所做的結果做比較，發現他們找出的奧伊勒極 (62.5° N、39.4° W) 與本研究算出的平均旋轉極 (63.9° N、32.9° W) 有些許的差距，因為他所算出的是現在相對運動的瞬時極，而本研究算出的是兩億年來的平均旋轉極。

八、根據奧伊勒理論的說法，數百萬年間，旋轉極不會改變(林，1990)，所以兩億年以來，也許有幾個不同的 stage pole，而本研究所求出的是整個模擬年代間的平均旋轉極。

捌、結 論

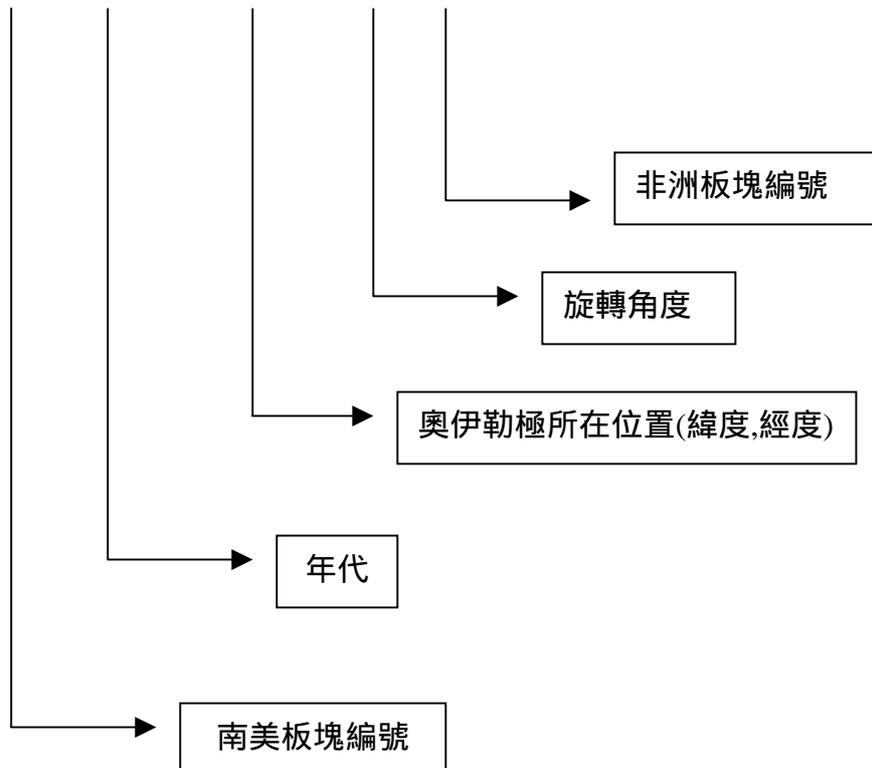
- 一、本研究用大西洋上的轉型斷層及破裂帶，算出兩億年來南美洲和非洲兩板塊間相對運動的平均奧伊勒極，約位於 63.8° N、 32.9° W。
- 二、以所求得的奧伊勒極為基礎，算出兩億年來非洲和南美洲兩板塊間相對運動的平均角速率約為 0.305 度/百萬年。
- 三、距離奧伊勒極較近之處，南美洲和非洲兩板塊間的相對運動量較小；距離奧伊勒極較遠處，相對運動量較大。
- 四、兩板塊運動速率都是在條帶磁力異常 4254 萬年前到 3843 萬年前之間較快，從 3843 萬年前到 3534 萬年前這段期間較慢，可見不同年代間的中洋脊擴張速率有明顯的不同。
- 五、南美洲及非洲兩板塊相對於中洋脊的運動速率，相當於中洋脊兩側擴張速率，從研究結果中可看出，同年代間，中洋脊兩側擴張速率幾乎相同。
- 六、以研究結果預估的相對運動量來做模擬，將兩陸塊北端拼合時，南半部無法拼合，有陸塊重疊的現象，可見南半部的相對運動量比以奧伊勒極算出的預估量小，其原因可能是板塊在運動時受壓擠變形，這些變形吸收了部分的相對運動量，從海底地形圖中可看出，在非洲西南外海的確有一 Wafisch Ridge(其與上述陸塊重疊處相近)，它吸收了兩陸塊南半部的部份相對運動量。

玖、參考資料及其他

- 一、何春蓀，普通地質學。五角圖書出版公司，656 頁，1987。
- 二、林明德，大地構造學。明文書局股份有限公司，432 頁，1990。
- 三、周端燉，海洋地質學。聯經出版事業公司，346 頁，1987。
- 四、Cande, S., LaBrecque, J.L., and Haxby, W.B., 1988, Plate kinematics of the South Atlantic: Chron 34 to present, J. Geophys. Res., 93(B11): 13479-13492.
- 五、C.DeMets, R.G.Gordon, D.F.Argus and S.Stein, 1989. Current plate motion. Geophy.J.Int. 101 : 425~478.
- 六、Fowler , C.M.R. , 1990. The solid earth : An introduction to global geophysics. Cambridge University Press , Oxford , P.427.
- 七、S.C.Caude., D.V.Kent., 1995. Revised calibration of the geomagnetic polarity timescale for the Late Cretaceous and Cenozoic. Journal of Geophysical Research, Vol.100, No.B4 : 6093~6095.

附件一 Rotation File 旋轉檔

999	0.0	0.0	0.0	0.0	999 ! South America-Africa Area Rotation file
999	0.0	0.0	0.0	0.0	999 !
291	0.0	0.0	0.0	0.0	701 !
291	4.180	63.957	-32.78	1	701 !
291	9.920	63.957	-32.78	3.05	701 !
291	19.048	63.957	-32.78	7	701 !
291	25.496	63.957	-32.78	9.32	701 !
291	27.027	63.957	-32.78	10.3	701 !
291	29.401	63.957	-32.78	11.72	701 !
291	33.058	63.957	-32.78	12.754	701 !
291	35.343	63.957	-32.78	14.09	701 !
291	38.426	63.957	-32.78	14.45	701 !
291	42.536	63.957	-32.78	17.64	701 !
291	46.264	63.957	-32.78	19	701 !
291	52.364	63.957	-32.78	21.31	701 !
291	55.904	63.957	-32.78	22.2	701 !
291	60.920	63.957	-32.78	23.4	701 !
291	65.578	63.957	-32.78	24.77	701 !
291	71.071	63.957	-32.78	26.65	701 !
291	73.619	63.957	-32.78	27.88	701 !
291	83.000	63.957	-32.78	33.15	701 !



附件二 與德州大學書信往來

Dear Lisa,

I am a student in Hsin-chu Girls' Senior High School in Taiwan. I am interested in plate tectonics, and study it. And the science fair will come up at my school. I found Texas University homepage and your E-mail address. My science project is about " Model the plate motion." Then I need plate ID, transform faults' data, magnetic anomalies' data, etc. Would you please tell me how could I find the information and get them. Thank you a lot.

Best Regard,
Pauline

Dear Pauline,

I'm not quite sure what you need. Do you want some maps or the actual data? The data is quite large. We have some maps at:

<http://www.ig.utexas.edu/research/projects/plates/pt.info.htm>

http://www.ig.utexas.edu/research/projects/plates/teaching_ideas.htm

If you could provide me with some more information, that would help.

Cheers,
Lisa

At 08:05 AM 11/24/2004, you wrote:

Lisa M. Gahagan
University of Texas Institute for Geophysics
4412 Spicewood Springs Road, Bldg. 600
Austin TX 78759
Phone: (512) 471-0488
FAX: (512) 471-8844
e-mail: lisa@ig.utexas.edu
<http://www.ig.utexas.edu>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 地球科學科

第三名

040507

我把板塊拼起來了-板塊運動模擬

國立新竹女子高級中學

評語：

1. 能利用資料以及邏輯推理。
2. 誤差等問題都能掌握。
3. 尤拉極之推論，應加以考量其合理性。