

文章编号: 1671-8860(2003)06-0688-04

文献标识码: A

大洋海岭相对运动的测定及其分析

金双根¹ 罗鸥舫¹

(1 中国科学院上海天文台, 上海市南丹路 80 号, 200030)

摘 要: 基于现今实测全球板块运动模型 ITRF2000VEL, 分别建立了相对东太平洋海岭和南北大西洋海岭的绝对板块运动模型 PRF-ITRF2000VEL、SRF-ITRF2000VEL 和 NRF-ITRF2000VEL, 由此分析了大洋海岭间的相对运动, 表明大西洋海岭与东太平洋海岭以平均 10.9mm/a 的速度在张开, 反映了大洋海岭并非固定, 由此得到的绝对板块运动模型均是“相对”的绝对板块运动模型。

关键词: 绝对板块运动模型; 大洋海岭; ITRF2000VEL

中图法分类号: P312

在地学研究中, 一般把板块相对于下地幔的运动认为是板块的绝对运动, 相对地幔的不动的参考架是板块的绝对参考架。因此, 相对深层地幔平均位置固定的参考架为平均中圈框架, 通常近似地认为是理想参考架——板块的绝对参考架。一般通过如下途径来实现: ① 热点(Hotspot)参考架; ② 岩石圈无整体旋转(No-Net-Rotation)参考架(或叫平均岩石圈参考架)。Minster 和 Jordan^[1] 利用精化的热点数据由 RM2 模型导出了相对热点的绝对板块运动模型 AM1-2; 随后, Gripp 和 Gordon^[2] 采用同样的精化热点数据由 NUVEL-1 导出了 HS2-NUVEL-1 模型。Molnar 等人^[3] 研究证明, 在最近 50~65 百万年, 夏威夷热点相对于 Iceland、Kerguelen 之下的热点存在着 10~20mm/a 的相对运动, 即热点不能完全定义为一个固定的参考架, 板块相对于热点的运动不能精确地代表板块的绝对运动。热点参考架存在以下不足: ① 热点数据不准确; ② 热点之间存在相对运动; ③ 热点假说本身尚需进一步验证。Argus 和 Gordon^[4] 根据岩石圈无整体旋转约束条件由 NUVEL-1 导出了 NNR-NUVEL-1 模型。修正后的 NUVEL-1A 出版后, NNR-NUVEL-1 也相应地修正为 NNR-NUVEL1A。1996 年, 国际地球自转服务(IERS)推荐 NNR-NUVEL1A 模型作为国际地球参考架标准。而无整体旋转参考架平衡条件是所有岩石圈

所受到的力矩总和为零, 其前提有 3 个假设: ① 岩石圈与软流圈的耦合是侧向一致; ② 所有板块边界对称的相互作用; ③ 岩石圈底部的拖曳力是均匀的。实际上这三个假设均不严格成立, 板块受到的各种力不可能是均匀的, 大陆受到的阻力明显比大洋板块受到的阻力大, 而且与下地幔无直接联系。因此, 推导出的无整体旋转模型 NNR 存在一定的误差。另外, 这些绝对板块运动模型都是由百万年地质资料估算得到的, 尚需空间大地测量实测资料检测。因此, 上述绝对板块运动模型并非严格的、真正的绝对板块运动模型^[5]。

1 PRF-ITRF2000VEL 模型

为了建立与全球板块运动模型 ITRF2000VEL^[6] 自恰的绝对板块运动模型, 笔者选取了 ITRF2000VEL 中太平洋相对于纳兹卡板块的运动方向作为太平洋板块的绝对运动方向^[7], 太平洋与纳兹卡板块相对运动速率的一半作为太平洋板块的绝对运动速率, 这样可求得太平洋板块的绝对运动欧拉矢量(87.8°E, -53.8°N, 0.677°/a)。基于 ITRF2000VEL 模型, 由板块相对欧拉运动定律, 可得到一个相对于东太平洋海岭固定(pacific ridge fixed)的绝对板块运动模型 PRF-ITRF2000VEL(表 1)。

收稿日期: 2003-09-10。

项目来源: 国家重点研究发展基金资助项目(G1998040703); 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室开放研究基金资助项目(030405)。

表 1 相对大洋海岭的绝对板块运动模型

Tab. 1 Absolute Plate Motion Models Relative to the Ocean Ridge

板块	模型	$\Omega_i / (m^{-1} \cdot a^{-1})$	$\lambda / (^\circ)$	$\phi / (^\circ)$	板块	模型	$\Omega_i / (m^{-1} \cdot a^{-1})$	$\lambda / (^\circ)$	$\phi / (^\circ)$
AFRC	PRF-ITRF2000	0.268	-35.6	67.5	INDI	PRF-ITRF2000	0.608	21.4	53.4
	NRF-ITRF2000	0.116	-8.9	74.7		NRF-ITRF2000	0.517	29.7	43.2
	SRF-ITRF2000	0.140	-43.4	60.5		SRF-ITRF2000	0.524	22.6	44.0
ANTA	PRF-ITRF2000	0.258	140.0	86.1	NAZC	PRF-ITRF2000	0.677	-92.2	53.8
	NRF-ITRF2000	0.156	135.3	51.3		NRF-ITRF2000	0.742	-101.2	61.8
	SRF-ITRF2000	0.143	152.5	67.0		SRF-ITRF2000	0.574	-97.2	47.2
AUST	PRF-ITRF2000	0.750	42.5	29.3	NOAM	PRF-ITRF2000	0.119	-49.6	11.1
	NRF-ITRF2000	0.809	49.2	35.8		NRF-ITRF2000	0.127	-51.3	-73.5
	SRF-ITRF2000	0.682	45.4	20.7		SRF-ITRF2000	0.138	-59.2	-53.5
CARB	PRF-ITRF2000	0.157	-49.1	39.6	PCFC	PRF-ITRF2000	0.667	87.8	-53.8
	NRF-ITRF2000	0.252	-140.1	89.9		NRF-ITRF2000	0.633	94.8	-44.0
	SRF-ITRF2000	0.037	-104.8	15.0		SRF-ITRF2000	0.789	92.6	-58.4
COCS	PRF-ITRF2000	1.445	-116.3	27.4	PHIL	PRF-ITRF2000	0.848	-34.8	-24.5
	NRF-ITRF2000	1.471	-118.8	31.7		NRF-ITRF2000	1.066	-21.9	-54.1
	SRF-ITRF2000	1.389	-117.2	22.9		SRF-ITRF2000	0.899	-24.7	-42.7
EURA	PRF-ITRF2000	0.261	-41.2	80.6	SOAM	PRF-ITRF2000	0.039	33.2	-47.4
	NRF-ITRF2000	0.127	-128.7	73.5		NRF-ITRF2000	0.174	127.8	-49.2
	SRF-ITRF2000	0.133	-102.7	82.0		SRF-ITRF2000	0.140	136.6	-60.5

2 岩石圈相对海岭固定的绝对运动

PRF-ITRF2000VEL 模型是相对于东太平洋中脊固定的绝对板块运动模型, 由此得到的岩石圈运动是相对于稳定的下地幔的绝对运动。通过欧拉运动定律: $V_i = \Omega_i \times r_i$, 这里的 r_i 代表岩石圈位置矢量, Ω_i 代表板块绝对运动欧拉矢量(表 1), V_i 代表岩石圈水平运动速度。这样可以求出岩石圈绝对运动速度, 与热点绝对运动模型 HS2-2000VEL^[8] 和无整体旋转模型 NNR-2000VEL^[9] 得到的岩石圈绝对运动速度相比(图 1), 澳大利亚、菲律宾、纳兹卡和太平洋等板块的绝对运动速度较接近, 而北美、南美、非洲和欧亚板块的绝对运动相差较大, 甚至方向发生变化。这 3 种绝对板块运动模型得到的岩石圈板块的绝对运动速度场图像存在明显的差异, 到底谁是最佳的绝对板块运动模型, 尚待借助于新资料和新手段进一步论证和分析。

总的来看, 岩石圈相对东太平洋海岭固定的绝对运动速度介于相对热点和岩石圈无整体旋转参考架的绝对运动速度; PRF-ITRF2000VEL 是由空间大地测量实测资料得到的, 其欧拉矢量精度较高, 而热点绝对板块运动模型由热点资料得到, 精度较低, 误差较大; 另外, 无整体旋转模型 NNR-ITRF2000VEL 完全依赖几何约束, 与地球下地幔无直接联系, 其基本假设也不严格成立等缺点。因此, 可推测相对东太平洋海岭固定的绝对板块运动模型 PRF-ITRF2000VEL 可能是一

个比较合适的基于空间数据的绝对板块运动模型, 相应的参考架为绝对参考架, 当然需要地质资料进一步验证。

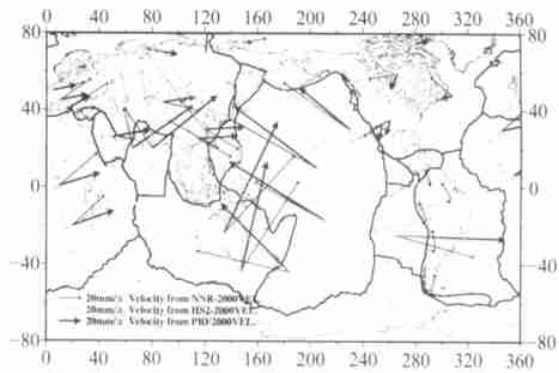


图 1 板块绝对运动速度比较

Fig. 1 Comparisons of Absolute Motion Velocities

3 结 语

为了验证东太平洋海岭相对下地幔是否固定, 笔者分别确定相对北大西洋海岭固定(North-Atlantic Ridge Fixed)和南大西洋海岭固定(South-Atlantic Ridge Fixed)的绝对板块运动模型, 即 NRF-ITRF2000VEL 和 SRF-ITRF2000VEL 模型(表 1)。由表 1 可看出, 相对于南北大西洋海岭固定的绝对板块运动模型的欧拉矢量基本一致, 相对东太平洋海岭与相对大西洋海岭的绝对板块运动模型的欧拉矢量相差较大, 如大西洋左侧相邻的北美和南美板块相对东太平洋海岭的绝对欧拉旋转速率小于相对南北大西洋海岭的, 而大西洋右侧的相邻板块

欧亚和非洲板块则恰相反。笔者分别基于 PRF-ITRF2000VEL、NRF-ITRF2000VEL 和 SRF-ITRF2000VEL 模型,估算相邻大西洋海岭和东太平洋海岭的岩石圈板块的绝对运动速度(表 2)。

表 2 岩石圈相对大洋海岭固定的绝对运动速度比较

Tab. 2 Comparison of Absolute Motion Rates of Lithosphere Relative to Ocean Ridges

板块	经度/(°)	纬度/(°)	PRF-ITRF2000VEL		SRF-ITRF2000VEL		NRF-ITRF2000VEL	
			$V_e/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	$V_n/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	$V_e/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	$V_n/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	$V_e/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$	$V_n/(\text{mm}\cdot\text{a}^{-1})$
南美	292.0	-54.0	-2.3	-2.8	-13.6	3.2	-18.5	3.4
	295.0	-31.5	-2.9	-2.8	-15.3	2.8	-18.9	2.8
	307.0	-5.5	-3.1	-2.9	-14.2	1.3	-15.8	0.2
	288.0	-16.5	-3.2	-2.8	-14.9	3.7	-17.4	4.3
北美	307.5	47.5	-8.1	-1.1	-15.0	1.1	-12.1	-0.1
	290.0	4.5	0.7	-4.8	-13.0	-1.7	-13.8	-1.3
	254.0	33.0	-2.2	-10.7	-13.8	-6.7	-12.6	-3.3
	270.0	36.0	-3.0	-9.9	-14.1	-6.0	-12.6	-3.0

注: V_e 表示东向速度, V_n 表示北向速度。

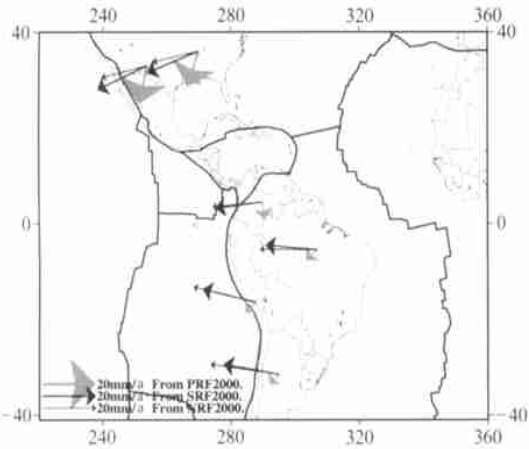


图 2 相对大洋海岭固定的绝对运动速度比较

Fig. 2 Comparison of Absolute Motion Rates Relative to Ocean Ridges

比较相对于东太平洋海岭和南北大西洋海岭固定的岩石圈运动速率可知(见图 2),南美和北美板块分别相对南大西洋海岭和北大西洋海岭固定的绝对运动速度基本一致,表明南北大西洋海岭间相对较稳定,但都大于相对于东太平洋海岭固定的运动速度,平均快 10.9mm/a,由此表明东太平洋海岭相对南北大西洋海岭以平均 10.9mm/a 的速度相对运动;另一方面也反映大洋海岭在运动,并非固定。可能存在以下可能:① 大西洋海岭固定,东太平洋海岭相对大西洋海岭在拉伸运动;② 东太平洋海岭固定,大西洋海岭相对东太平洋海岭在拉伸运动;③ 两者均在运动,且以 10.9mm/a 速度在拉伸运动。另外从全球整个板块漂移史来看,板块主要以大西洋扩张脊向两边分离,那么大西洋海岭是否固定,不敢定论。为此建立相对大洋海岭的绝对板块运动模型或者绝对参考框架是否是真正的绝对,尚需进一步论证。

通过上面的分析,分别相对东太平洋海岭、南北大西洋海岭的绝对板块运动模型,可能均是一个相对的绝对板块运动模型,并非真正的绝对板块运动模型。另外,东太平洋海岭与南北大西洋海岭以平均 10.9mm/a 的速度在张开。

参 考 文 献

1 Minster J B, Jordan T H. Present-day Plate Motion. J Geophys. Res., 1978, 83: 5 331~5 334

2 Gripp A E, Gordon R. G. Current Plate Velocities Relative to the Hotspots Incorporating the NUVEL-1 Global Plate Motion Model. Geophys. Res. Lett., 1990, 17: 1 109~1 112

3 Molnar P, Stock J. Relative Motions of Hotspots in the Pacific Atlantic and Indian Oceans Since Late Cretaceous Time. Nature, 1987, 327: 587~591

4 Argus D F, Gordon R G. No-Net-Rotation Model pf Current Plate Velocities Incorporating Plate Motion Model NUVEL1. Geophys. Res. Lett., 1991, 18(11): 2 039~2 042

5 金双根, 朱文耀. 国际地球参考架(ITRF): 现状与未来. 天文学进展, 2003, 21(3): 241~249

6 金双根, 朱文耀. ITRF2000 参考架的评价及其探讨. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(6): 598~603

7 DeMets C, Gordon R, Argus D. Current Plate Motions. Geophys. J. Int., 1990, 101: 425~478

8 金双根. GPS 监测全球板块构造运动的研究: [博士论文]. 上海: 中国科学院上海天文台, 2003

9 金双根, 朱文耀. 关于全球板块运动模型 ITRF2000VEL 若干问题探讨. 地球物理学进展, 2002, 17(3): 430~436

第一作者简介: 金双根, 博士。现主要从事 GPS 应用和地球动力学研究, 已发表论文 30 余篇。
E-mail: sgjin@center.shao.ac.cn

Measurements of Relative Motion Between Ocean Ridges and Its Analysis

JIN Shuanggen¹ LUO Oufang¹

(1 Shanghai Observatory, Chinese Academy of Sciences, 80 Nandan Road, Shanghai, China 200030)

Abstract: This paper develops new absolute models of plate motion relative to ocean ridges: PRF-2000VEL model with respect to the fixed Pacific Ridge, SRF-2000VEL model with respect to Southern mid-Atlantic ridge and NRF-I2000VEL model with respect to Northern mid-Atlantic ridge, analyze and compare the absolute motions of lithospheres relative to Pacific Ridge, Southern mid Atlantic and Northern mid-Atlantic Ridge, respectively, which shows the Eastern Pacific mid-ridge and the mid-Atlantic Ridge is extending at the even 10.9mm/a rate.

Key words: absolute plate motion model; ocean ridge; ITRF2000VEL

About the first author: JIN Shuanggen, Ph. D. His research interest is in GPS applications and Geodynamics. He has published more than 30 papers.
E mail: sgjin@center.shao.ac.cn

“滑坡预警系统集成与优化”国际会议召开

日前,由武汉大学和长江水利委员会联合主办的欧盟国际合作项目“滑坡预警系统集成与优化”国际学术会议顺利召开。该项目是我校第一个与欧盟的第六框架计划项目,在湖北省也是首个在省科技厅注册的项目。此次会议是该项目的第二次工作会议。30名会议代表主要来自我校测绘学院和欧盟五国(奥地利、德国、意大利、希腊、匈牙利),其中国外代表11人。

会议分两个时段举行。10月12日~16日在重庆、云阳县和三峡大坝召开。会议代表到长江三峡库区的典型滑坡(云阳县宝塔滑坡)进行实地考察研究,并制定总体多尺度、多传感器集成的新监测方案,研究该滑坡在地震、洪水、暴雨、库水位涨落以及人工因素的影响下,其变形模型和新方法的可靠性。17~19日在武汉大学召开。该项目负责人刘经南校长参加了武汉的会议并讲话。

会议代表围绕选择试验场地;硬件的研制;制定多尺度观测方案;数据库结构设计及数据管理;风险分析和预警系统;向公众发布信息等6个主要议题进行了探讨,内容涉及到遥感技术、干涉雷达(INSAR)在滑坡灾害监测中的应用研究;GPS网滑坡监测研究;基于知识的变形分析系统和滑坡描述系统;开发具有高稳定性和高精度的仪器和传感器;开发基于GIS的滑坡灾害风险评价数据库;研究多传感器监测技术和实时预警系统;滑坡灾害的地质和地球物理建模研究;GIS技术在滑坡灾害监测中的应用研究;滑坡灾害三维模型建立;灾害减轻与预防措施研究等多个方面。

据该项目负责人之一、测绘学院张正禄教授介绍,滑坡是全球最主要的自然灾害之一。据全球变化研究专家预测,未来作为滑坡主要触发因素的强降雨可能会增加,这表明迫切需要研究和开发实现高质量的可靠可行的滑坡灾害预警系统。中国是滑坡灾害非常严重的发展中国家之一。长江三峡工程库区潜在地质灾害十分严重,100万移民搬迁和库水位大幅度涨落将成为激活地质灾害的新诱因,滑坡灾害对人民的生命财产安全、三峡大坝的安全以及库区的航运和旅游等事业将造成严重的影响。滑坡预警是一项迫切而永久性的课题,具有重大的政治、社会和经济意义。整个项目旨在对滑坡预警系统进行集成优化研究,以研究开发高质量的、可靠的和可操作的滑坡灾害监测、建模、分析、管理和服务的综合系统,该系统能够应用于探测潜在滑坡,对危险区进行有效的和连续的监测,提供关于灾害发生的实时信息。