

# 国际地球参考框架：现状与未来

金 双 根      朱 文 耀

(中国科学院上海天文台 上海 200030)

## 摘 要

地球参考框架是研究地球整体和局部运动以及探讨地球各圈层运动机制的一个重要基准。简要回顾地球参考架的发展和现状,主要分析当前取得的成绩及其存在问题和局限性,着重提出未来地球参考架的目标和若干建议。

**关 键 词** 天体测量学 — 国际地球参考架 (ITRF) — 综述 — 空间大地测量

**分 类 号** P129

## 1 引 言

当今高精度长期稳定的地球参考架的建立和维持,不仅是为经济和国防建设中参考点的精确定位和定向服务,也是研究地球整体运动(岁差、章动、极移和自转速率的变化)和局部运动(板块运动、海平面变化、冰期后回弹和局部地壳形变),探讨地球各圈层运动机制及其精确确定和描述地球各种几何和动力学特征,以及满足高精度测量要求的一个重要参考基准。因此,高精度地球参考架的建立与维持一直是国内外有关学者所关心和研究的前沿课题。

由于地球是一个非刚体的形变体,建立一个固定于地球的参考系非常复杂,只能定义一个理想的地球参考系。理想参考系定义为:相对于它地球只存在形变,不存在整体性旋转和平移;相对惯性参考系地球只存在整体性运动,如地球自转等。在理论上,通常采用 Tisserand 条件来实现理想的地球参考系<sup>[1]</sup>。而实际上很难用物理和数学模型来精确描述地球各种形变,因此至今无法定义一个真正的理想参考系。实用的参考系仍是一种协议地球参考系 (Conventional Terrestrial Reference System, CTRS),即对所建立的参考系的各种方法、参数和模型做出一定的协议。由一组参考点的位置和坐标来具体实现某一协议参考系,这组参考点的位置和坐标构成了一个协议参考框架 (Conventional Terrestrial Reference Frame, CTRF)。1996 年,国际地球自转服务 (International Earth Rotation Service, IERS) 推荐 DeMets 等人<sup>[2]</sup>和 Argus 等

国家重大基础研究项目 (G1998040703) 资助课题 自然科学基金项目 (40174009) 资助课题 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室开放基金项目 (030405) 资助课题

2003-01-20 收到 2003-02-28 收到修订稿

人<sup>[3]</sup> 基于地磁观测资料重新估计得到的全球板块运动模型 NNR-NUVEL-1A 作为国际地球参考架标准。该模型基于数百万年地质和地球物理资料, 以地质世纪为时间尺度衡量, 是几百万年的平均模型, 它的准确性尚待实测资料检核。空间大地测量技术的迅猛发展使得毫米级地球参考框架的建立成为可能。目前国际上最完善的地球参考架是由国际地球自转服务基于空间大地测量技术建立和维持的国际地球参考架 (International Terrestrial Reference Frame, ITRF)。

下文将简要回顾地球参考架的发展和现状, 分析当前取得的成绩及其存在问题和局限性, 提出未来地球参考架的目标和若干建议。

## 2 ITRF 的发展

由于甚长基线干涉测量 (VLBI)、卫星激光测距 (SLR)、激光测月 (LLR)、全球定位系统 (GPS) 和多普勒定轨与无线电定位系统 (DORIS) 等空间技术各自性能、台站数量及分布的局限性, 各观测技术机构, 如 IGS、ILS 和 IVS 等都很难根据自己的观测资料建立一个最优的 CTRF, 各分析中心根据各自空间技术建立的 CTRF 势必会存在一定的偏差, 从而影响 CTRF 的精度和应用。为此, 有必要综合各种空间技术数据处理中心的分析解, 建立一个较理想的、高精度的、统一的 CTRF。1988 年之前, 由国际时间局 (BIH) 建立 CTRF, 即 BTS 序列 (BTS84~BTS87)。1988 年后, 由 IERS 机构负责综合全世界各观测技术数据处理中心的分析解, 并遵循以下 4 项原则来建立和维持最优的 CTRF<sup>[4]</sup>: (1) 原点是包括海洋和大气的整个地球的质量中心; (2) 尺度在广义相对论下是一个局部地球参考架的尺度; (3) 定向由 BIH 给出的在历元 1984.0 的地球自转参数确定; (4) 定向随时间变化相对地球岩石圈遵循无整体旋转。随着空间测量技术水平的提高、观测手段和测站数量的增加以及数据处理方法和采用模型的精化, ITRF 也在不断地改进和完善, IERS 共发布了 10 种 ITRF 序列, 分别为 ITRF88~ITRF94、ITRF96、ITRF97 和 ITRF2000, 其演变序列见表 1。

表 1 ITRF 序列的演变<sup>[5,6]</sup>

ITRF	速 度 场	约束定向时间演变的模型	台站数	历元
ITRF88	AM0-2/AM1-2	AM0-2/AM1-2	96	1988.0
ITRF89	AM0-2/AM1-2	AM0-2/AM1-2	105	1988.0
ITRF90	AM0-2/AM1-2	AM0-2/AM1-2	124	1988.0
ITRF91	AM0-2+NNR-NUVEL1+ 少量实测资料	NNR-NUVEL1	130	1988.0
ITRF92	NNR-NUVEL1+ 少量实测资料	NNR-NUVEL1A	152	1988.0
ITRF93	NNR-NUVEL1A+ 少量实测资料	EOP (IERS)	157	1993.0
ITRF94	NNR-NUVEL1A+ [(X <sub>93</sub> - X <sub>88</sub> )/5]	NNR-NUVEL1A	214	1993.0
ITRF96	实测	ITRF94	290	1997.0
ITRF97	实测	ITRF96	325	1997.0
ITRF2000	实测	NNR-NUVEL1A	500	1997.0

由于 ITRF88~ITRF94 具有以下不足：主要借助几百万年平均地质模型加以约束，反映数百万年内平均运动特征；测站位移速度场绝大部分由地质模型给出，仅有水平运动速度，无垂直方向运动速度；即使附加少量的实测资料，其精度也较低等，因此已不满足当今 6 维动态的高精度地球参考架的需要。目前最完善的国际地球参考架是由 IERS 根据现代空间大地测量手段，利用 GPS、SLR、VLBI、DORIS 等空间测量技术近 20 多年来的实测资料建立的 ITRF96 [7] 和 ITRF97 [8] 参考架。这两个参考架的建立方法、台站数量以及台站坐标和位移速度的精度较以往参考架有了较大的变化，而且完全基于现今实测资料建立的。然而 ITRF96 和 ITRF97 仍不满足协议地球参考架原则 [9]，即不满足 Tisserand 条件，存在整体性旋转，且台站坐标和速度精度低、台站数量少且分布不均等。

### 3 ITRF2000 参考架现状

IERS 发布的最新地球参考架 ITRF2000，是根据 VLBI、SLR、LLR、GPS、DORIS 等空间技术近 20 多年来的实测资料建立起来的，它的建立方法、台站数量以及台站坐标和位移速度的测定精度较 ITRF96 和 ITRF97 参考架有了质的变化，它包括全球 500 多个并置站上 800 多个测站的位置和速度矢量。ITRF2000 参考架参数定义 [10]：定向参数选择历元 1997.0 的 ITRF97 的地球自转参数，其时间变化由 54 个核心站并附加 NNR-NUVEL1A 模型的无整体旋转来约束；原点通过 SLR (包括 Center Geodesy Spatial, CGS; Communications Research Laboratory, CRL; Center for Space Research, CSR; Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut, DGFI; Joint Center for Earth System Technology, JCET) 数据处理中心的分析解加权平均得到；尺度因子和变化通过 VLBI (包括 Geodetic Institute of Bonn University, GUIB; Goddard Space might Center, GSFC; Shanghai Astronomical Observatory, SHA) 和 SLR (包括 CGS、

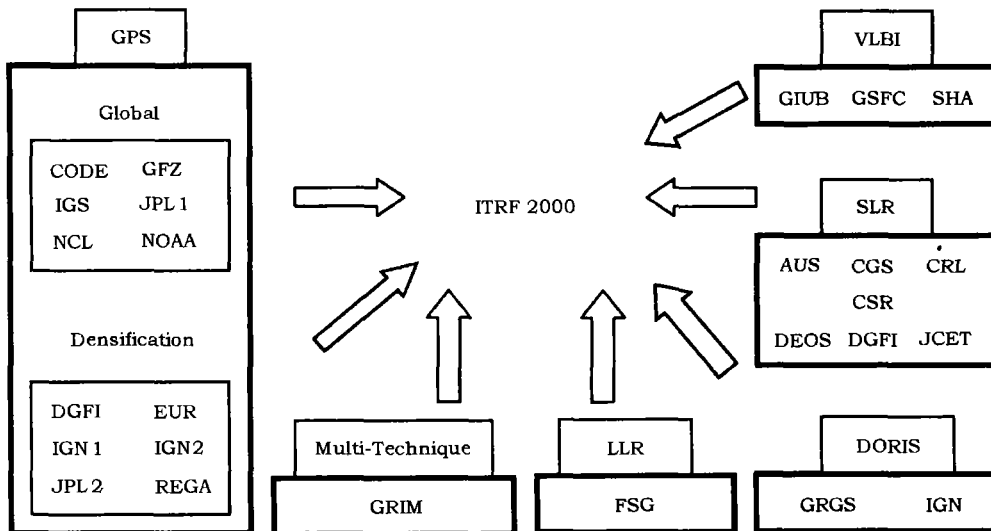


图 1 对 ITRF2000 参考架贡献的机构与技术 [10]

CRL、CSR、DGFI 和 JCET) 数据处理中心的分析解加权平均得到; 台站位置和速度场分别由 VLBI、SLR、GPS、DORIS、LLR 和 Multi-technique 技术观测得到 (见图 1)。

### 3.1 ITRF2000 优点

ITRF2000 速度场完全由空间技术实测资料给出, 定向时间变化附加百万年平均地质模型 NNR-NUVEL1A 的约束。相比以往参考架, ITRF2000 主要作了以下两个方面的改进:

(1) ITRF2000 参考架原点、尺度因子和变化的定义主要由 VLBI 和 SLR 综合解加权平均得到。相比 ITRF96 和 ITRF97, ITRF2000 去掉了 GPS 解, 这是一大改进。目前 GPS 时间序列具有明显的季节性变化, 大部分测站垂直方向季节性变化振幅大于长期项, 导致其垂直方向精度较差<sup>[11]</sup>, 且 GPS 对地心的敏感性较差等。目前全球 11 个 GPS 分析中心垂向位置残差最大偏差达 40 mm<sup>[12]</sup>, 直接影响了参考架原点、尺度因子和变化等定义的精度。

(2) ITRF2000 速度场相对于 ITRF96 和 ITRF97 在台站数目和精度上都有了较大的提高, 其水平运动速度的监测精度绝大多数优于 1 mm/yr, 而且台站分布更广, 台站数目从 500 增加到 850 个, 并置站从 325 增加到 500 多个。

### 3.2 ITRF2000 不足

#### (1) 数据定义缺陷

##### 1) 原点定义

ITRF2000 参考架的原点由 SLR 分析解综合得到。不同的 SLR 网、轨道和观测资料等直接影响 SLR 测定整个地球质量中心的精度, 而目前 SLR 分析中心并没有很好地处理这些因素。另外, 近年来, 空间技术已监测到地心存在 1~10 mm 的季节性运动<sup>[13]</sup>, 这对毫米级高精度地球参考架的建立不可忽略, 而 ITRF2000 参考架的原点定义并没有考虑这个因素。

##### 2) 尺度定义

ITRF2000 参考架的尺度由 VLBI 和 SLR 分析解综合得到。然而各分析解综合时并没有考虑测站垂直方向运动、大气模型和不同技术 (VLBI 和 SLR) 之间系统差的影响。3 个 VLBI 分析中心得到参考架尺度的偏差最大不超过 0.3 ppb, 而 5 个 SLR 分析中心得到参考架尺度的偏差最大则要超过 1 ppb; 另外 SLR 和 VLBI 并置站较少, 且没有真正实现联合等, 这些因素都影响了 ITRF2000 参考架尺度定义的精度。

##### 3) 定向时间变化的实现

ITRF2000 参考架的定向时间变化是通过无整体旋转模型 NNR-NUVEL1A 来约束的。而 NNR-NUVEL1A 模型是基于百万年平均地质资料得到的, 它反映的是数百万年内平均运动特征, 不能准确地描述现今运动特征, 其可靠性尚需实测资料进一步检验; 另外 NNR-NUVEL1A 模型也不是一严格的无整体旋转模型: 一方面建立 NUVEL1A 模型的资料较少且精度较差, 忽略了一些小的板块; 另一方面, NNR-NUVEL1A 模型未包括 15% 的板块边界稳定区域, 即不是一个严格的整个岩石圈无整体旋转的模型。由此约束的 ITRF2000 定向时间变化是不准确和不严格的。

##### 4) 核心台站的选择

ITRF2000 参考架是按照以下 4 项标准选择 54 个核心站来进行定向的<sup>[14]</sup>:

- 连续观测 3 yr 以上;
- 位于刚性板块并远离形变区域;

- 速度测定精度好于 3 mm/yr ;
- 至少 3 种不同分析解速度残差好于 3 mm/yr .

然而上述标准具有不确定性和随意性: 其一选择远离形变区域的距离具有不确定性。例如, Heki<sup>[15]</sup> 定义运动学参考架时选取远离形变区域 500 km 以上的台站, 而 Sella 等人<sup>[16]</sup> 选取远离形变区域 100 km 以上的台站。其二选择速度误差和残差界限具有随意性。一方面, 测站连续观测 3 yr 还是 4 yr 以上更好。不同的时间间隔得到台站的速度矢量差较大, 例如上海 GPS 站 5 yr (1995~2001) 连续观测资料垂向运动速度长期项是正值, 而 3 yr (1995~1998) 连续观测资料垂向运动速度长期项是负值。另一方面, 选择速度误差和残差好于 3 mm/yr 还是 5 mm/yr 的台站更好, 等等。地球参考架由空间大地测量台站位移矢量和速度场构成, 其台站的多少和好坏直接影响地球参考架的精度和可靠性。朱文耀等人建立 NNR-ITRF96<sup>[9]</sup> 和 NNR-ITRF2000<sup>[17]</sup> 参考架时, 选择台站的标准之一就是分别去掉位移速度精度低于 10 mm/yr 和 5 mm/yr 的测站, 以及板块边缘和地震活动区域的测站等。而 Sillard 等人<sup>[18]</sup> 仅仅通过刚性台站检验来选取台站。研究结果表明: 台站的选取不当, 有可能会得到错误的结果, 即使是刚性台站也不一定匹配于整个板块的整体运动<sup>[19]</sup>。由此可见 ITRF2000 参考架核心台站的选取还不够严格。

另外上述选择核心台站的标准中并没有考虑台站的非线性运动, 如由地震活动、线路中断、仪器损坏等引起的台站非线性运动。

#### (2) 数据联合解算方案不一致

不同分析中心分析解的联合主要通过七参数转换得到。目前联合方案主要有两种: 1) 各分析解在被选择的框架下先转换, 然后再进行联合。如法国国家测量局 (IGN) DORIS 处理中心就是采用该方案; 2) 各独立分析解转换参数与站坐标和速度的综合同时估算。

#### (3) 存在整体旋转

ITRF2000 参考架采用 54 个核心站来维持参考架的定向, 这 54 个核心站分别分布在全球 14 个大板块中的 9 个上, 其中有 3 个板块只有一个台站, 因此由这些分布不均且数量较少的核心站定向的 ITRF2000 参考架不能很好地实现 Tisserand 条件<sup>[20]</sup>, 即不能很好地实现 ITRF2000 参考架的无整体旋转约束。金双根等人<sup>[21,22]</sup> 完全利用 ITRF2000 速度场建立了现今板块运动模型, 求得全球地壳总角动量和不为零, 表明 ITRF2000 参考架相对于整个岩石圈存在整体旋转。

用 ITRF2000 参考架的核心台站, 我们计算出 6 大板块的运动欧拉参数, 并与 NNR-NUVEL1A 模型进行比较 (见表 2): 现今 6 大板块的运动欧拉矢量相比 NNR-NUVEL1A 模型存在一定的误差。这误差主要来源于 ITRF2000 参考架 54 个核心站的选取不当, 这 54 个核心站确定的 6 大板块总角动量轴的极 (111.2°E, 58.7°S) 以 0.87°/Myr 旋转速率旋转。而 NNR-NUVEL1A 模型同样 6 大板块总角动量轴的极 (109.1°E, 59.1°S) 以 0.85°/Myr 的速率旋转, 两者基本一致, 表明其中 49 个测站所在的 6 大板块基本上与 NNR-NUVEL1A 模型捆绑在一起。但这种一致是在板块欧拉旋转速率为 0.02°/Myr 或板块水平运动速率为 1 mm/yr 的精度下, 这 6 大板块实现了无整体旋转约束, 而其它 8 个板块由于没有测站或测站不足, 不受 NNR-NUVEL1A 模型的约束, 因此这 54 个测站不能很好地约束 ITRF2000 参考架的无整体旋转。

表 2 ITRF2000 54 个测站确定的板块运动欧拉矢量与 NNR-NUVEL1A 结果的比较<sup>[22]</sup>

板块	ITRF2000				NNR-NUVEL1A			$ \Omega(I) - \Omega(N) $ $\Omega/(\circ) \cdot \text{Myr}^{-1}$
	$\Omega/(\circ) \cdot \text{Myr}^{-1}$	$\lambda/(\circ)$	$\phi/(\circ)$	$N_i$	$\Omega/(\circ) \cdot \text{Myr}^{-1}$	$\lambda/(\circ)$	$\phi/(\circ)$	
PCFC	0.674±0.003	109.2±0.5	-65.1±0.3	4	0.641	107.3	-63.0	0.033
EURA	0.259±0.001	-100.1±0.6	57.1±0.4	20	0.234	-112.3	50.6	0.025
NOAM	0.197±0.002	-83.5±0.0	-3.1±0.4	15	0.207	-85.9	-2.4	0.010
AUST	0.621±0.004	38.7±0.5	32.5±0.4	4	0.646	33.2	33.9	0.025
ANTA	0.238±0.007	-125.0±2.1	62.3±1.0	4	0.238	-115.8	63.0	0.000
SOAM	0.116±0.006	-131.7±3.5	-19.4±1.9	4	0.116	-124.4	-25.3	0.000

注:  $\Omega$  为旋转速率,  $\lambda$  和  $\phi$  为旋转极经度和纬度,  $N_i$  为观测台站数。

#### (4) 并置站的分析解没有很好地联合

多种技术分析解综合定义参考架参数时, 并置站的分析解是关键。当前具有两种技术的并置站有 70 个, 3 种技术的并置站有 25 个, 4 种技术的并置站有 6 个。然而大部分并置站, 如 SLR 和 VLBI 观测站主要是流动站, 其仪器陈旧, 观测误差较大。另外, 并置站的各技术分析中心数据处理时采用的时间间隔(周或月)不一致, 各分析解所处的历元也可能不同等, 而实际各技术分析解综合定义 ITRF2000 参考架参数时并没有很好地考虑这些因素, 并置站的分析解并没有真正联合。

## 4 未来参考架

由此可知, ITRF2000 参考架虽然比以前参考架有了质的提高, 但它既不是无整体旋转参考架, 也不是完全独立于地质模型假设的参考架, 而是在板块欧拉旋转速率为  $0.02^\circ/\text{Myr}$  或板块水平运动速率为  $1 \text{ mm/yr}$  的精度下, 由 54 个核心站决定的参考架向 NNR-NUVEL1A 参考架转换得到的。其核心台站的选取, 参考架原点、尺度和定向的定义以及无整体旋转的实现等均存在缺陷和不足。下面将对未来参考架提出一些解决方案和建议。

(1) 对于参考架的原点, 有待 ILRS (International Laser Ranging Service) 分析中心提高 SLR 估算原点的精度。另外, IGS (International GPS Service) 应解决 GPS 天线相位中心、传播延迟等引起的误差, 同时将低轨卫星纳入全球解等, 以提高 IGS 估算原点的精度<sup>[23]</sup>。由于高分辨率的全球 GPS 测站的增多, GPS 在监测全球地表运动和地心运动中担当着重要角色, 因此未来参考架的原点定义还会由 SLR 和 GPS 技术各分析解综合得到, 并考虑地心的季节性运动。

(2) 对于参考架的尺度定义, 建议只采用 VLBI 观测资料, 同时应不断分析、研究降低大气和天线对 VLBI 技术的影响。随着 VLBI 观测资料的积累以及其垂直方向监测精度的提高, 应考虑测站垂直方向运动对参考架尺度定义的影响。另外随着 DORIS、SLR 和 VLBI 并置站数量的增加, 并置站真正实现联合将取得突破性进展, 综合此 3 种技术分析解能更好地定义参考架尺度。

(3) 对于参考架核心台站的选择标准, 建议: 1) 连续观测 2.5 yr 以上。Blewitt 等人<sup>[24]</sup>

通过分析连续 GPS 时间序列得出, 2.5 yr 是 GPS 速度场获得可靠标准的最小时间跨度; 2) 利用七参数转换, 剔除残差项  $v_{ij}^d$  绝对值大于 1 倍  $\sigma$  的测站<sup>[25]</sup>。

空间大地测量台站速度可表示为

$$v_{ij} = v_{ij}^r + v_{ij}^d + v_{ij}^i + \varepsilon_{ij}, \quad (1)$$

式中,  $v_{ij}$  表示第  $j$  板块上第  $i$  测站的空间大地测量观测速度,  $v_{ij}^r$  表示刚性板块运动速度,  $v_{ij}^d$  表示区域地壳形变引起的速度,  $v_{ij}^i$  表示冰期后地壳回弹引起的速度,  $\varepsilon_{ij}$  表示观测噪音引起的速度。而  $v_{ij}^r$  又可表示为

$$v_{ij}^r = v_{ij}^m + T + Qr_{ij}, \quad (2)$$

其中,  $v_{ij}^m$  为相对某参考架的绝对刚性运动速度, 由板块运动模型得到;  $T = [T_x, T_y, T_z]^T$ ;

$$Q = \begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix}. \text{ 这样 } v_{ij} \text{ 可表示为}$$

$$v_{ij} = v_{ij}^m + T + Qr_{ij} + v_{ij}^d + v_{ij}^i + \varepsilon_{ij}. \quad (3)$$

假如忽略区域性地壳形变和观测噪音影响,  $v_{ij} = v_{ij}^m + v_{ij}^i + A\theta$ , 利用最小二乘法可求出七参数。即

$$\theta = (A^T A)^{-1} A^T (v_{ij} - v_{ij}^m - v_{ij}^i), \quad (4)$$

$$\text{式中 } \theta = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ D \\ R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x & 0 & z & -y \\ 0 & 1 & 0 & y & -z & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 & z & y & -x & 0 \end{bmatrix}, v_{ij}^m \text{ 由现今无整体旋转模型 NNR-A}^{[26]}$$

获得 (NNR-A 模型基于 2933 个空间大地测量资料, 包括稳定板块和板块边界稳定区域的 20 个板块或块体),  $v_{ij}^i$  由最新冰期后地壳回弹 ICE-4G 模型估计得到。利用得到的七参数, 可反过来求出残差项  $v_{ij}^d$ , 并将它视为随机序列 (其随机序列方差为  $\sigma$ )。剔除测站残差项  $v_{ij}^d$  绝对值大于 1 倍  $\sigma$  的测站<sup>[25]</sup>, 剩下的测站再依此方法进行剔除, 直至没有测站被剔除为止。

参考架定向时间变化仍采用相对整个岩石圈无整体旋转约束。目前实现无整体旋转参考架约束的方案主要有 4 种<sup>[6]</sup>: 1) 采用绝对板块运动模型约束 (如地球物理模型 NNR-NUVEL1A) 来实现无整体旋转; 2) 通过最小二乘  $[\dot{R}_{\text{model}} - \dot{R}_{\text{ITRF}} = 0]$  校准已知模型; 3) 长期保持 ITRF、EOP (Earth Orientation Parameter) 和 ICRF (International Conventional Reference Frame) 两两一致性; 4) Tisserand 条件约束, 即满足  $\int_D V dm = 0$  和  $\int_D r \times V dm = 0$ , 其中  $D$  和  $dm$  分别是地壳的积分区域和地壳质量元;  $r$ 、 $V$  分别是  $dm$  所处的位置和速度。其中第一种方案可通过下列方程转换得到:  $\dot{X}_{\text{ITRF-NNR}} = \dot{X}_{\text{ITRF}} + \dot{T} + \dot{D}X_{\text{ITRF}} + \dot{R}X_{\text{ITRF}}$  (式中  $T$  是

转换矢量,  $D$  是尺度因子,  $R$  是尺度变化矩阵), 但满足该条件必须要有足够多的均匀分布测站, 而目前这一点很难做到, 因此该方案不是最佳。第四种方案的实现包括刚体板块和板块边界稳定区域的无整体旋转参考架, 但板块或块体必须是稳定的刚体。空间大地测量数据表明: 板块边界存在活动形变和运动<sup>[27~29]</sup>, 如南美板块的西边缘和欧亚板块的青藏高原区域, 由于碰撞挤压或俯冲, 板块边界区域运动速度随远离板块边界而逐渐减小<sup>[30]</sup>。因此未来无整体旋转参考架可能考虑与地壳硬度和粘弹性等相关的形变区域<sup>[31]</sup>, 即通过观测方程  $V_i = \Omega_p \times r_i + S^{-1} \times f + \Omega_D \times r_i$  获得, 式中  $V_i$  为测站速度,  $\Omega_p$  为板块运动欧拉矢量,  $S$  为地壳硬度,  $f$  为形变力,  $\Omega_D$  为观测资料得到的板块旋转欧拉矢量,  $r_i$  为测站位置矢量。其中无整体旋转的约束条件为:  $\sum V = 0$ ,  $\sum V^T P V = \min$ , 由此实现刚体板块和板块形变区域的无整体旋转参考架。

(4) 对于不同分析中心分析解的联合, 建议全球联合分析中心对两种联合方案进行评估, 以选择最佳方案。

(5) 对于各种空间技术并置站, 有待实现真正的联合, 如并置站的各观测技术数据处理时应采用相同的时间间隔(周或月); 各分析解的历元应统一; 流动 VLBI 和 SLR 测站应配置 GPS 站等。

理想的地球参考架的测站必须均匀分布于全球, 但 70% 的海洋区域无法设置空间技术监测站, 因此难以实现真正的理想地球参考架。目前 InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) 技术可以测定面的位置和形变率<sup>[32]</sup>, 将来可能会加入参考架的建立和维持。近年来空间技术观测值的时间序列存在明显的季节性变化, 对于毫米级的地壳形变和地球整体运动的监测与研究, 有待考虑更高分辨率的实时参考架。因此未来 IERS 发布 ITRF 成果时, 可能发布以周或月为时间间隔的多种技术测站位置的时间序列, 而参考架的原点、尺度和定向仍然由核心站来决定。

以上只是一些建议, 理想地球参考架的建立和维持还将要有相当一段时间的研究, 需要全世界大地测量机构的成员共同参与解决, 相信不久的将来会取得一些突破性的进展。

## 参 考 文 献

- 1 叶叔华, 黄斌. 天文地球动力学, 山东: 山东科技出版社, 2000: 167
- 2 DeMets C, Gordon R, Argus D et al. GRL, 1994, 21: 2191
- 3 Argus D F, Jordan T H. GRL, 1991, 18: 2039
- 4 张强, 朱文耀, 熊永清. 地球物理学报, 2000, 43(5): 598
- 5 符养. 博士学位论文, 上海: 中国科学院上海天文台, 2002: 14~15
- 6 Altimimi A, Sillard P, Boucher C. AGU fall meeting, San Francisco: AGU, 2001: 10~14
- 7 Boucher C. IERS Technical Note 24, Observatoire de Paris: Center Bureau of IERS, 1998
- 8 Boucher C. IERS Technical Note 27, Observatoire de Paris: Center Bureau of IERS, 1999
- 9 朱文耀, 韩继龙, 马文章. 天文学报, 2000, 41(3): 312
- 10 <http://large.ensg.ign.fr/ITRF>, 2001
- 11 金双根, 朱文耀. 地震学报, 2003, 26(1): 90
- 12 Ferland R, Kouba J, Hutchison D. Earth Planets Space, 2000, 52: 953
- 13 吴斌, 彭碧波, 高布锡. 科学通报, 1999, 41(10): 1106
- 14 IERS, ITRF2000 Datum Definition, <http://large.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000>, 2001
- 15 Heki K. JGR, 1996, 101: 3187



- 16 Sella G F, Dixon T H, Mao A. JGR, 2002, 107(B4): ETG11-1  
17 朱文耀, 符养, 吴显兵. 中国科学, 2003, 待发表  
18 Sillard P, Altamimi Z, Boucher C. GRL, 1998, 25(17): 3223  
19 Zhang Q, Zhu W Y, Xiong Y Q. GRL, 1999, 26(18): 2813  
20 Kovalevsky J. Reference Frames in Astronomy and Geophysics, Kluwer: Kluwer Academic Publishers, 1989: 12  
21 金双根, 朱文耀. 地球科学进展, 2002, 17(5): 782  
22 金双根, 朱文耀. 武汉大学学报 (信息科学版), 2002, 27(6): 598  
23 Altamimi Z, Boucher C, Drewes H et al. IERS workshop, France, 2001: 1~10  
24 Blewitt G, David L. JGR, 2002, 107(B7): ETG 9-1  
25 Li J L, Zhang B, Wang G L et al. Earth Planets Space, 2001, 53: 1111  
26 Kreemer C, Holt W E. GRL, 2001, 28(23): 4407  
27 金双根, 朱文耀. 武汉大学学报 (信息科学版), 2002, 27(4): 358  
28 Argus D F, Gordon R G. JGR, 1998, 101(B6): 13555  
29 金双根, 朱文耀. 大地构造与成矿学, 2002, 26(2): 138  
30 程宗颐, 朱文耀. 地震学报, 2001, 23(3): 268  
31 Drewes H. In: Forsberg R, Feissel M eds. IAG Symposia, 119, Berlin: Springer-Verlag, 1998: 377  
32 金双根, 朱文耀. 全球定位系统, 2002, 27(1): 42

## International Terrestrial Reference Frame: Current Status and its Future

Jin Shuanggen     Zhu Wen Yao

(Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030)

### Abstract

To research the holistic and regional motions of the Earth and to detect the motion mechanism of each Earth layer, the terrestrial reference frame with a high accuracy is needed. Hereby the developments and current status of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF) are briefly reviewed. Current achievements, unsolved questions and limitations are analyzed, and some goals and suggestions of the ITRF in the future are particularly proposed.

**Key words**     astrometry—International Terrestrial Reference Frame (ITRF)—review—space geodesy