维普资讯 http://www.cqvip.com

第30卷 第9期
2005年9月

武汉大学学报·信息科学版
Geomatics and Information Science of Wuhan University

Vol. 30 No. 9
Sept. 2005

文章编号:1671-8860(2005)09-0753-04

文献标志码:A

国际地球参考框架2000(ITRF2000)的定义及其参数

陈俊勇[1]

(1 国家测绘局办公室,北京市百万庄,100830)

摘 要:对国际地球参考框架2000(ITRF2000)的定义、主要参数及其应满足的条件进行了研究,重点指出了它和历史上的各个ITRFyy的不同,并阐述了各个ITRFyy的联系和区别,给出了它们之间相互转换的参数。

关键词:国际地球参考系统2000(ITRS2000);国际地球参考框架2000(ITRF2000);参数

中图法分类号:P223.0;P226.3

1 国际地球参考系统和框架

1.1 国际地球参考系统(ITRS)

按IUGG(维也纳,1991)第2号决议,IERS负责对ITRS进行定义、实现和改进。决议中建议ITRS的定义如下。

1)国际地球参考系统(ITRS)的定义:它是空间旋转的(从地球外部看),是地心非旋转系统(在地球上看),是一个似笛卡儿系统;

2)地心非旋转系统和IAU决议所定义的地心参考系(GRS)是等同的;

3)ITRS和GRS的坐标时是地心坐标时(TCG);

4)该坐标系统的原点是地球质量(包括陆地、海洋和空气)中心;

5)相对于地表的水平位移而言,该系统没有全球性的残余旋转。

1.2 ITRS的定义满足的条件

• 坐标原点是地心,它是整个地球(包含海洋和大气)的质量中心;

• 长度单位是m(SI),这一比例尺和地心局部框架的TCG时间坐标保持一致,符合IAU和IUGG的1991年决议,这是由相应的相对论模型得到的;

• 其方向初始值是由国际时间局(BIH)给出的1984.0的方向;

• 在采用相对于整个地球的水平板块运动没有净旋转条件下,确定方向的时变。

1.3 ITRS的实现

ITRS的实现是由IERS联合解算各个TRF的计算结果。这些结果是IERS分析中心利用各种空间大地测量技术,如VLBI、LLR、SLR、GPS和DORIS等的观测成果获得的。TRF解算包括站坐标及其移动速度以及相应的方差-协方差矩阵。这一联合解算TRF的方法主要利用一个观测点上具有两种以上的不同坐标系统的观测数据,如SLR、VLBI和GPS等技术获得这些测量数据。这些联系点是ITRF联合解算中的关键因素。

自20世纪80年代起,几乎每年公布一次ITRF的解算成果,具体可以参见ITRF技术报告。ITRFyy中的yy表示年份。其意义是ITRFyy采用了(yy-1)年的数值解算出这一特定年份的框架。如ITRF99表示已采用了所有截止于1998年底的IERS数据,由此解算出了构成1999年的测站位置及其移动速度的ITRF。

1.4 历史上不同ITRF的技术特点

ITRF的历史要追溯到1984年,当时第一次采用VLBI、LLR、SLR和Doppler/TRANSIT的观测值,建立了一个联合TRF(当时称BTS84)[4]。BTS84是在BIH所涉及的框架内实

收稿日期:2005-03-30。

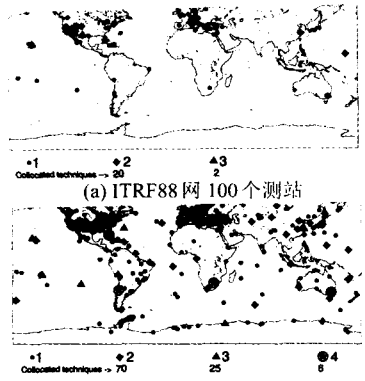
维普资讯 http://www.cqvip.com

现的。

1988年，IUGG和IAU创建了IERS。到2004年，IERS已发布了ITRF 10个版本，开始是ITRF88，一直到ITRF2000。下面对这10个版本的ITRF的技术特点作一介绍。

从ITRF88至ITRF93，ITRF基准定义可以归结为以下几条：① 原点和比例尺：由所选择的SLR站的平均值来定义；② 定向：定义于BTS87的定向，但ITRF93的定向及其变化速率和IERS的地球定向参数(EOP)保持一致；③ 定向的时变：ITRF88和ITRF89没有估算全球速度场，当时建议使用AMO-2模型[5]。从ITRF91至ITRF93，曾经考虑使用联合的速度场，ITRF91的定向速率和NNR-NUVEL-I模型保持一致，而ITRF92和NNR-NUVEL-IA模型[6]保持一致，ITRF93则和IERS的EOP系列保持一致。

自ITRF94以来的基准情况如下[7]：① 原点：采用某些SLR和GPS解算的权平均值来定义；② 比例尺：采用VLBI、SLR和GPS解算的权平均值来定义，解算中加了0.7 ppb的改正，以符合IUGG和IAU的要求，即以TCG(地心坐标时间)时间框架替代IERS研究中心使用的TT(地面时间)；③ 定向：和ITRF92保持一致；④ 定向的时变：速度场和NNR-NUVEL-IA模型保持一致，采用了多于7个的转换参数，这样，ITRF96就和ITRF94保持一致。采用了14个转换参数使ITRF97和ITRF96保持一致[8,9]。随着ITRF所采用测站数的增加和它们在全球分布的改善，ITRF也在不断地改进和提高。如ITRF88有100个测站(图1(a))，其中22个是公共站(即一个测站有两种以上测量技术，如VLBI、SLR、LLR等)。而ITRF2000就包括了500个测站、101个公共站(图1(b))。因此，ITRF的点位及其位移速度的精度也在不断地改进和提高。



(a) ITRF88网100个测站

(b) ITRF2000网500个测站

图1 测站数

Fig. 1 Number of Stations

2 国际地球参考框架2000 ITRF2000的定义、参数和条件

2.1 ITRF2000所采用的数字标准

IERS的参考系统和参考框架，如国际地球参考系统2000 (ITRS2000)[1]和国际地球参考框架2000 (ITRF2000)的确定都是基于国际科学组织的决议和决定。天体系统是基于IAU(国际天文联合会)的决议A4(1991)、B2(1997)、B1(2000)，地球系统是基于IUGG的决议2(1991)，天体和地球系统之间的转换是基于IAU的决议B1(2000)。时间坐标的定义、时间系统的转换、光传播模型和大规模物质运动都基于IAU的决议A4(1991)和B1(2000)。

在ITRS2000和ITRF2000中，所采用的长度、质量和时间单位按国际单位系统标准(SI，1998)，分别表示为米(m)、千克(kg)和秒(s)。时间的天文单位是天(d)，它包含86 400个SI的秒。在ITRS2000和ITRF2000中所采用的数字标准参见表1。

表1 ITRS2000和ITRF2000的数字标准

Tab. 1 Main Parameters Between ITRS2000 and ITRF2000

符号	数值	不确定性	名称
C	299 792 458 m·s^{-1}	定义的	光速[2]
G	6.673×10^{-11} m^3·kg^{-1}·s^{-2}	1×10^{-13}m^3·kg^{-1}·s^{-2}	引力常数[2]
$GM_\oplus$	3.986 004 418×10^{14}m^3·s^{-8}	8×10^5 m^3·s^{-8}	地心引力常数(EGM96)[3]
a_E	6 378 136.6 m	0.10 m	地球赤道半径[3]
$1/f$	298.256 42	0.000 01	地球扁率[3]
$J_{2\oplus}$	1.082 635 9×10^{-3}	1.0×10^{-10}	地球动力构形因子[3]
ω	7.292 115×10^{-5} rad s^{-2}	变动的	地球标称平均角速度[3]
g_E	9.780 327 8 m·s^{-8}	1×10^{-6} m·s^{-8}	地球平均赤道重力[3]
W_0	62 636 856.0 m^2·s^{-2}	0.5 m^2·s^{-2}	地球大地水准面的位[3]
R_0	6 363 672.6 m	0.1 m	地球大地位比例因子[3]

注：a_E、$1/f$和g_E的数值是相应于“零潮汐”的数值；$R_0=GM_\oplus/W_0$。

维普资讯 http://www.cqvip.com

第 24 次 IAU 在 2000 年举行的大会的有关决议,澄清和扩展了由 IERS 所采用的一些参考系的某些概念,还引入了应用于参考系之间转换程序的一些重要修订,也是 ITRS2000 和 ITRF2000 与 IERS 以前的地球系统和框架的主要差别。

2.2 ITRF2000 基准解算的特点

ITRF2000 是作为地球科学所涉及的标准地球参考系及其框架的。除了有 VLBI、LLR、SLR、GPS 和 DORIS 这些主要的地面站参与计算外,ITRF2000 还采用了地区性的 GPS 网进行加密和改善,如阿拉斯加、南极、亚洲、欧洲、南北美洲和太平洋地区的 GPS 网。

ITRF2000 的基准解算具有以下特点。

1) 比例尺:VLBI 和 SLR 两者比例尺解的权平均值与 ITRF2000 的比例尺之间,两者之间的比例尺和比例尺变化率均设为零。此外,ITRF97 的比例尺置于 TCG 框架内来表示,而 ITRF2000 的比例尺置于 TT 框架内表示。

2) 原点:SLR 原点解的权平均值与 ITRF2000 解之间,其平移分量及其变率均设为零。

3) 定向:ITRF2000 的定向和 ITRF97 在 1997.0 时刻的定向保持一致,定向的变率通常和地质模型 NNR-NUVEL-IA 保持一致[6, 10~11]。这就意味着采用了"无净转"这一条件。为了和 ITRS 的定义保持一致,在确定 ITRF2000 的定向及其变率的解算时,采用了精度和稳定性都比较好的测站,它们应满足如下一些标准,如这些测站必须已进行了不少于 3 a 的连续观测;测站点位要远离板块边界和形变带;测站的位移速度的精度在 ITRF2000 联合解算中要优于 3 mm/a;这些测站在 3 种不同的解算中,其位移速度的残差要小于 3 mm/a 等。

4) 大地位:截止于 2004 年,在国际激光测距服务(ILRS)中,应用于精密定轨分析的重力位模型一般采用 EGM96[13]、JGM-3[14] 和 GRIM5-C1[15]。对 ITRF 而言,这些重力位模型的精度都相差无几,但 IERS 目前还是建议采用 EGM96 为通用的重力位模型。因此,$GM_{\oplus}$ 和 a_E 还是采用 EGM96 给定的值,即 398 600.441 5 km^3/s^2 和 6 378 136.3 m 作为大地位系数的比例因子。这个 $GM_{\oplus}$ 值也应用于二体问题,如在使用地心坐标时间(TCG)的情况下,若采用地面时(TT),则 $GM_{\oplus}=398\ 600.441\ 5\ km^3/s^2$;若采用太阳动力时(TDB),$GM_{\oplus}=398\ 600.435\ 6\ km^3/s^2$。

5) IAG 第 18 次大会(1983 年)第 16 号决议:"认识到对不同大地测量数值,诸如重力值和点位坐标等,以统一标准进行潮汐改正的必要性",建议"将地球永久性潮汐所产生的间接影响予以移去",即在涉及测站坐标和大地位等大地测量时应采用"零潮汐"值。然而,大地测量界在分析空间大地测量数据时,一直都没有采用这一建议。因此,ITRF2000 在对其测站坐标及其有关分析中仍是采用相应的"无潮汐"值。

最后说明 ITRF2000 和 NNR-NUVEL-IA 之间的差异。ITRF2000 的成果表明,虽然 ITRF2000 的定向速率和 NNR-NUVEL-IA 的定向速率之间的差异确保在 1 mm/a 的水平,局部地区点位变动速度在 ITRF2000 和 NNR-NUVEL-IA 之间的差别不超过 3 mm/a,但 ITRF2000 和地质模型 NUVEL-IA 的相对板块运动[12]仍有很大的不一致。板块运动的角速度是用 ITRF2000 速度来估算的,和用 NNR-NUVEL-IA 模型预测的可能有很大的差异。

2.3 各 ITRFyy 之间的转换

由 ITRF2000 换算到以前各个 ITRFyy 的转换参数列于表 2,使用时,可以采用众所周知的布尔莎(Bursa)7 参数($T_1, T_2, T_3, D, R_1, R_2, R_3$)公式。

表 2 中的数值在以前的 IERS 技术报告上都曾发表过。这里要注意的是,这些转换参数是经过加权的平差值,它和当时推算这些框架时的公共测站的点的个数和位置严重相关,因此,采用不同的公共测站来推算转换参数时,其结果很可能会同表 2 中的值稍有不同。

ITRF 的解算结果一般以笛卡儿赤道坐标系(X, Y, Z)表示。如有需要,可转换至椭球地理坐标(λ, φ, h)。这时推荐采用 GRS80 椭球的相应常数($a=6\ 378\ 137.0$, $e^2=0.006\ 694\ 380\ 022\ 90$)。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表2 由ITRF2000转换其他ITRFyy的转换参数

Tab. 2 Transformation Parameters from ITRF2000 to IRTFyy

ITRFyy	T1/cm	T2/cm	T3/cm	D/ppb	R1/mas	R2/mas	R3/mas	历元
ITRF97	0.67	0.61	−1.85	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF96	0.67	0.61	−1.85	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF94	0.67	0.61	−1.85	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF93	1.27	0.65	−2.09	1.95	−0.39	0.80	−1.14	1988.0
变化速率	−0.29	−0.02	−0.06	0.01	−0.11	−0.19	0.07	
ITRF92	1.47	1.35	−1.39	0.75	0.00	0.00	−0.18	1988.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF91	2.67	2.75	−1.99	2.15	0.00	0.00	−0.18	1988.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF90	2.47	2.35	−3.59	2.45	0.00	0.00	−0.18	1988.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF89	2.97	4.75	−7.39	5.85	0.00	0.00	−0.18	1988.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF88	2.47	1.15	−9.79	8.95	0.10	0.00	−0.18	1988.0
变化速率	0.00	−0.06	−0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	

注：ppb表示10^{-9}，速度单位为每年(/a)。

参 考 文 献

1 McCarthy D D, Petit G. IERS Conventions (2003). IERS Conventions Centre, BKG, Frankfurt, Germany, 2004

2 Mohr P J, Taylor B N. Chem. Ref. Data. J. Phys., 1999, 28(6)

3 Groten E. Fundamental Constants. Report of the IAG Special Commission SC3, XXⅡ IAG General Assembly, Paris, 1999

4 Boucher C, Altamimi Z. Towards an Improved Realization of the BIH Terrestrial Frame. The MERITS/COTES Report on Earth Rotation and Reference Frames, OSU/DGS, Columbus, USA, 1985

5 Minster J B, Jordan T H. Present-day Plate Motions. JGR, 1978(83):5 331～5 354

6 Argus D F, Gordon R G. No-Net-Rotation Model of Current Plate Velocities Incorporating Plate Motion Model Nuvel-1. Geophys Res. Lett., 1991 (18): 2 038～2 042

7 Boucher C, Altamimi Z. International Terrestrial Reference Frame. GPS World, 1996 (7):71～74

8 Boucher C, Altamimi Z, Sillard P. Results and Analysis of the ITRF96. IERS Technical Note (24), Paris, 1998

9 Boucher C, Altamimi Z, Sillard P. The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97). IERS Technical Note (27), Paris, 1999

10 DeMets C, Gordon R G, Argus D F, et al. Current Plate Motions. JGR, 1990(101):425～478

11 DeMets C, Gordon R G, Argus D F, et al. Effect of Recent Revisions to the Geomagnetic Reversal Time Scale on Estimates of Current Plate Motions. Geophys Res. Lett., 1994(21):2 191～2194

12 Altamimi Z, Sillard P, Boucher C. ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Application. JGR, 2002, 107(B10)

13 Lemonine F G, Kenyon S C, Factor J K, et al. The Development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96. NASA/TP-1998-206861, Maryland, USA, 1998

14 Tapley B D, Watkins M M, Davis J C, et al. The Joint Gravity Model 3. JGR, 1996(101):28 029～28 049

15 Gruber T, Bode A, Reigber C H, et al. GRIM5-C1. Geophys Res. Lett., 2000(27):4 005～4 008

作者简介：陈俊勇，教授，博士生导师，中国科学院院士。主要从事大地测量研究，发表论文140余篇，出版专著9部。

E-mail:jychen@sun.ihep.ac.cn

(下转第761页)

维普资讯 http://www.cqvip.com

遥感学报，2005

14 李德仁. 从数字地图到空间信息网格——空间信息多级网格理论思考. 武汉大学学报·信息科学版，2003，28(6)：642～650

15 李德仁. 地球空间信息学的机遇. 武汉大学学报·信息科学版，2004，29(9)：753～756

第一作者简介：李德仁，教授，博士生导师，中国工程院院士，中国科学院院士，国际欧亚科学院院士。已发表地学相关技术论文400余篇，出版专著8部。

E-mail：drli@whu.edu.cn

Introduction and Analysis of Grid Technology

LI Deren[1]　*YI Huarong*[1]　*JIANG Zhijun*[1]

(1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: This paper outlines the definition of grid, key technologies and typical applications, and then presents a brief analysis of its origination, evolvement of the idea of "virtualization", its relationship with WWW technology, development of the grid architectures and the trend of this new technology. At last, also introduces the Integration of grid technology and spatial information grids simply.

Key words: grid; Web service; information integration; spatial information grid

About the first author: LI Deren, professor, Ph.D supervisor, academician of Chinese Academy of Sciences (CAS), academician of Chinese Academy of Engineering (CAE), academician of the Euro-Asia International Academy of Sciences, and has published more than 400 technical papers and 8 books.

E-mail: drli@whu.edu.cn

(上接第 756 页)

On the Definition and Adopted Parameters of International Terrestrial Reference Frame 2000

CHEN Junyong[1]

(1 State Bureau of Surveying & Mapping, Baiwanzhuang, Beijing 100830, China)

Abstract: Definition, main parameters, conditions and realization for the international terrestrial reference system 2000 (ITRS2000) and international terrestrial reference frame (ITRF2000) are studied. The differences and characteristics between ITRF2000 and the previous ITRFyy in the history are pointed out and emphasized. Besides, the relationships, including their transformation parameters among the previous ITRFyy are also given in the paper.

Key words: international terrestrial reference system 2000 (ITRS2000); international terrestrial reference frame (ITRF2000); parameter

About the author: CHEN Junyong, professor, Ph.D supervisor, academician of Chinese Academy of Science. His research field is geodesy. About 140 papers and 9 works have been published.

E-mail: jychen@sun.ihep.ac.cn