

关于中国采用地心 3 维坐标系统的探讨

陈俊勇

(国家测绘局, 北京 100830)

Necessity and Feasibility for a Geocentric 3D Coordinate System Employed in China

CHEN Jun-yong

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

Abstract: So far the Chinese modern geodetic datum as concerned, the focus is whether the geocentric three dimension (3D) coordinate system should be employed in China or not. As a matter of fact it is essentially a problem of necessity and feasibility for a geodetic coordinate system updating in a large developing country like China. The following topics in necessity are discussed: The situation and problems in Chinese existing geodetic coordinate system and its frame; The characteristics of a Chinese modern geocentric 3D coordinate frame; The advantages for a geocentric 3D coordinate system if it is employed in China. What kind of the Geodetic Fundamental Constants should be taken for a Chinese modern geocentric 3D coordinate system.

The feasibility is the key point for updating a Chinese coordinate system. Only two among the four issues concerning the feasibility are discussed. One is that a Chinese geocentric 3D coordinate frame with enough points, suitable density, high accuracy, and dynamic is the necessary condition to realize the Chinese geocentric 3D coordinate system; The other one is the influences on the current existing millions various Chinese maps, especially the topographic map, caused by the change of the coordinate systems. Such as the changes of latitude, longitude, and Gauss plane coordinates of the surface points and their projection on the map, as well as the variation of the orientation and the length of the lines between the points on the map (including map outlines).

Key words: geodetic datum; coordinate system; coordinate frame; replacement of coordinate system; geodetic fundamental constants; map

摘 要: 就中国建立现代大地测量平面基准而言, 目前主要焦点在于是否采用地心 3 维坐标系统, 也就是在中国这样一个大国进行这一坐标系更换的必要性和可行性的论证。

在必要性方面重点讨论下面几个方面的问题: 中国大地坐标系统和大地坐标框架的现状和问题; 中国地心 3 维坐标框架应具有的特点; 中国采用地心 3 维坐标系统的优点; 以及建议采用何种大地测量基本常数。

可行性是中国能否采用地心 3 维坐标系统的核心问题。只讨论了可行性可能涉及的 4 个问题中的 2 个: 一是必须具备有足够数量, 适宜密度, 动态的高精度坐标框架来实现地心 3 维坐标系统; 二是坐标系统更换对全国千万张现有各类地图, 特别是地形图的影响, 其中包括地面点经纬度和高斯平面坐标的变更幅度, 地图上两点间连线(包括图廓线)的方位和长度变化等。

关键词: 平面基准; 坐标系; 坐标框架; 坐标系更换; 大地测量基本常数; 地图

1 我国的大地坐标系统和大地坐标框架

上一世纪我国在平面基准^[1,2]方面主要完成了全国天文大地网的整体平差;建立了西安 1980 坐标系(或北京新 1954 坐标系);3 个全国性 GPS 网;60 余个 GPS 永久性追踪站,和近十个 SLR 和 VLBI 站。50 多年来,我国的平面基准^[2,3]为国民经济和社会的可持续发展提供了全国统一协调的、可靠的高程和 2 维坐标,这些都是在上一世纪我国的地理空间基础框架的重要组成部分。由于当时科学技术的制约和其他历史原因,世界各国在 20 世纪中的平面基准,基本上都和中国有类似的特点,即采用了 10^{-5} 量级精度、2 维、非地心的局域定位和以地面网络的点线方式传递坐标等技术,这是大地测量基准发展历史上不可避免的一个阶段。

1.1 大地坐标系统的现状和问题

目前使用的西安 1980 坐标系(以下简称西安 80 系),从技术和应用方面考虑,存在下面几个问题:① 2 维坐标系,即任何所考虑对象的 3 维坐标在西安 80 系中只表现为平面的 2 维坐标;② 椭球定位,西安 80 系是由(中国)大陆局域高程异常最佳符合(即 $[\zeta^2] = \min$)方法定位^[3],因此它不仅不是地心定位,而且当时确定定位时也没有顾及占中国全部国土面积近 1/3 的海域国土;③ 随着科学技术的发展,原来在 20 世纪 70 年代用于定义我国大地坐标系的物理和几何常数,已有了更新和改善,其中如椭球大小,西安 80 系采用的椭球是 IAG1975 椭球,它的椭球长半轴要比现在国际公认的^[4,5],或是卫星定位技术(GPS, GLONASS 等)中所采用的相应值大 3 m 左右;④ 椭球短轴的指向,西安 80 系采用指向 JYD1968.0 极原点,与国际上通用的地面坐标系如 ITRS^[6],或与 GPS 定位中采用的 WGS84 等椭球短轴的指向(BIH1984.0)不同。

1.2 大地坐标框架的现状和问题

大地坐标框架是大地坐标系统的实现,也是国家平面基准服务于用户最根本最实际的途径。目前提供全国使用的大地坐标框架是用经典大地测量技术所测定的全国天文大地网。它由 4.8 万余个大地控制点组成,这些点间的相对精度为

$3 \times 10^{-9} \sim 3$,在我国大陆的分布密度约为 1:(15 km \times 15 km)。但我国的这一大地坐标框架目前也存在 4 方面的问题:① 近 5 万个全国天文大地网点,历经几十年沧桑,已损毁了近 1/3,而在经济发展快的地区,这一现象更为严重;② 卫星定位技术得到了广泛应用,其点位平面位置的相对定位精度已可达 10^{-7} 量级以上,要比现行的全国大地坐标框架的精度高出一到两个量级;③ 卫星定位的测量成果是 3 维的、立体的,而现行的大地坐标框架是 2 维的,平面的,因此,高精度的卫星定位技术所确定的 3 维测量成果,与较低精度的国家 2 维大地坐标框架不能互相适配;④ 实时或准实时定位已不仅仅是导航部门的需求,在地震和地质灾害监测、天气预报等部门,都要求提供框架点的实时或准实时坐标,这种要求也是现行大地坐标框架点所难以满足的。

对我国国土范围内所考虑对象的空间位置(不论该对象是处于静态还是动态),都需要一个全国统一的、协调一致的大地坐标系统和大地坐标框架。面临空间和信息技术及其应用的迅猛发展和广泛普及,在创建数字中国的过程中,单纯采用目前的非地心、2 维、低精度、静态的大地坐标系统和大地坐标框架作为我国现代平面基准,它所带来的不协调会愈来愈多。

2 采用符合客观空间实际的 3 维地心大地坐标系统

过去由于科技水平的限制,大地坐标系统在实际使用中一般不采用 3 维坐标。此外,人类总是习惯对平面介质(例如纸或屏幕)上的目标进行观测,也就是说,人们常常将 3 维空间的目标以某种数学关系投影到 2 维的平面介质上进行考察研究。这种将 3 维空间目标转化为 2 维后,该目标第 3 维的高程信息往往只作为地理信息系统中的属性处理,这样在许多场合会导致空间目标在划分与表达方面的困难^[7]。随着空间技术和虚拟技术的发展,采用符合客观空间实际的 3 维坐标,将是一种必然的趋势。

3 维坐标系统的原点可以是参心的,也可以是地心的。若采用以地球质心为大地坐标系的原点,即采用地心坐标系的优点是明显的。因为这种坐标系统是阐明地球上各种地理和物理现象,

特别是空间物体运动的本始参照系,但长期以来由于人类不能精确确定地心的位置,因而较少使用。但目前利用空间技术等手段已可在厘米量级上确定它的位置。因此采用地心坐标系在当今既有它的必要性也有了可能性。现在利用空间技术所得到的定位和影像等成果,客观上都是以地心坐标系为参照系,因此采用这一坐标系作为我国平面基准,就能最有效地利用这一技术。

2.1 我国地心 3 维坐标系的定义

假如我国今后采用 3 维地心坐标系统,则我国地心坐标系的定义应和国际通用地面参考系(ITRS)的定义一致,因为它是迄今为止比较科学和比较符合客观实际的。现将它定义的四原则转引于下^[6,8]:① 坐标系原点为包括海洋和大气在内的整个地球质量的质心;② 坐标系的尺度为在引力相对论意义下的局部地球框架的尺度;③ Z 轴从原点指向 BIH1984.0 定义的协议地球极, X 轴从原点指向格林尼治平均子午面与赤道的交点, Y 轴与 X 轴和 Z 轴构成右手坐标系;④ 由于极移影响,在确定不同时期的实际地球旋转轴相对于 BIH1984.0 的指向时,要确保地壳不会产生残余的全球性旋转。

2.2 大地测量基本常数

与大地坐标系统和框架密切相关的大地测量基本常数是近几年来讨论的一个热点^[5,9~11]。它主要涉及两个方面。一是对现有全球通用的大地参考系统 1980(GRS80)^[12] 的大地测量基本常数的数值要不要改变? GRS80 是国际大地测量和地球物理联合会(IUGG)和国际大地测量协会(IAG)于 1979 年澳大利亚堪培拉大会上以通过

决议形式采用的。近 20 年来由于科技的发展和需要,一些学者要求改变 GRS80 中所定义的大地测量基本常数值,以便在更高精度上和客观实际保持一致^[5,9,10]。但反对者认为大地测量基本常数是一种参照基准。对大地测量基本常数的变化量研究正是在这一参照基准上进行的,研究的目的是为了不断变更这些参照基数。只要这一参照基准不影响科学和技术的发展,不影响实际使用,则不宜频繁更换,尽量避免对用户造成不便甚至损害^[11]。二是 GRS80 给定下列 4 个大地测量基本常数 $\{a, GM, J_2, \omega\}$ 来确定地球水准椭球,其他参数则由此推算。由于近年来对潮汐所导致的地球形变及其物质迁移方面研究的深入,认为地球参考椭球长半轴 a 的数值与潮汐关系密切,将它作为基本常数对高精度大地测量计算会带来不便。因此有的学者提出以满足 Somigliana-Pizzetti 水准椭球定义的大地测量基本常数为 $\{W_0, GM, J_2, \omega\}$ ^[5,9,10,13],即建议大地基本常数中采用原则上不受潮汐影响的地球大地位值 W_0 来替代目前采用的地球长半轴 a ,同时指出 WGS84 以 $\{a, GM, f, \omega\}$ 来定义参考椭球只能适用于卫星定位的实用目的,但这一定义不能确保满足 Somigliana-Pizzetti 水准椭球定义的条件^[3]。在 IUGG2003 日本札幌大会期间,与会的多数大地测量学者总的还是认为大地基本常数目前仍宜保持 GRS80 基本不变,这一意见也得到了 IAG 的支持。表 1 将近年来关于大地测量基本常数的主要研究成果^[5,9~12,14] 列出,以供今后重新确定我国大地测量基本常数值时参考。

表 1 大地测量基本常数
Tab. 1 Basic constants of geodetic survey

| | 西安 80 系 (IAG75) | 国测局初步 选择的方案 | GRS80 | WGS84 (1150) | Grafarend WGD2000*** | Groten 2000*** |
|---|--------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| $J_2/10^{-3}$ | 1.082 63 * | 1.082 63 * | 1.082 63 * | 1.082 624 704 | 1.082 636 023 * | 1.082 635 9 * |
| $GM/10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ | 3.986 005 * | 3.986 004 418 * | 3.986 005 * | 3.986 004 418 * | 3.986 004 418 * | 3.986 004 418 * |
| $\omega/10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ | 7.292 115 * | 7.292 115 * | 7.292 115 * | 7.292 115 * | 7.292 115 * | 7.292 115 * |
| $a/10^6 \text{ m}$ | 6.378 140 * | 6.378 137 * | 6.378 137 * | 6.378 137 * | 6.378 136 6 | 6.378 136 62 |
| $1/f/10^2$ | 2.982 57 | 2.982 572 | 2.982 572 | 2.982 572 * | 2.982 564 2 | 2.982 564 2 |
| $W_0/10^7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ | 6.263 683 | 6.263 685 17 | 6.263 686 085 0 * | 6.263 685 172 | 6.263 686 558 * | 6.263 685 60 * |
| γ_e/ms^{-2} | 9.780 32 | 9.780 325 338 | 9.780 326 771 5 | 9.780 325 339 | 9.780 32 | 9.780 327 |
| $\beta/10^{-3}$ | 5.302 | 5.302 441 13 | 5.302 4 | 5.302 441 13 | 5.302 4 | 5.302 4 |
| $\beta_f/10^{-6}$ | -5.8 | -5.8 | -5.8 | -5.8 | -5.8 | -5.8 |

*表示事先给定的地球水准椭球的参数, ** $W_0(10^7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2})$ (EGM96) = 62 636 858 697, *** 相应于零潮汐系统
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 我国采用地心 3 维坐标系的可行性

我国若用地心 3 维坐标系更换当前使用的非地心 2 维坐标系,它的优点上面已经提及了。但在实际运作时,有一个可行性问题。它涉及坐标系更换应具备什么条件,对这一坐标系更换的工作量和经济效益的评估,等等。像中国这样一个大国的坐标系更换,在世界上迄今还没有先例,它不仅仅关系到测绘部门,而是涉及到与地理位置有关的方方面面,工作量巨大,因此对坐标更换可能产生的困难和问题,得益和损失,尽可能事先估计和考虑到,并提供可行的解决方案。

坐标系更换涉及测绘部门主要有 4 个方面的实际问题。一是测绘部门必须及时提供与该 3 维地心坐标系相应的、实用的、方便用户使用的坐标框架,以在应用中实现这一坐标系。二是用户如何测定考虑对象的地心 3 维坐标,特别要注意的是,当我国一旦不能使用(外国)卫星定位系统时,用户如何应对,用户如何获得高精度的 3 维地心大地坐标。三是涉及所有与地理位置有关的图件资料,特别是地图,都会因为坐标系统的更换而要做相应的更改,这种更改工作量的大小繁简,和国家各相关部门关系极大,而这也正是与国家各相关部门对这一坐标系更换是否支持密切相关的。四是 3 维坐标中的 1 维往往用大地高表示。这种点位高程的表示形式和国家法定只采用正常高系统来表示高程有矛盾,存在双重性,这也需要在法规和技术层次予以合理解决。本文重点讨论上面提到的第一、三两个问题。

3.1 现代地心 3 维坐标框架的特点

为了在中国实现地心 3 维坐标系统,必须要有相应的地心 3 维坐标框架才能实现。它除了具有地心和 3 维的特点外还应着重考虑具备以下 4 个方面的特点。

1. 高精度。现有的非地心 2 维坐标框架主要是由中国天文大地网点构成,它的相对精度是 3×10^{-6} 。而现代地心 3 维坐标框架点间的相对精度应不低于 10^{-7} ,相对于地心的绝对精度也要不低于 10^{-7} 。这是现代大地测量技术可以做到的,也是现代定位技术对大地坐标框架在精度方面的最低要求。

2. 涵盖全部陆海国土。现行大地坐标系统和大地坐标框架的确定和服务,都主要限于中国

的大陆范围。目前中国经济、社会和国防的发展,海洋资源的利用和开发,航空航天和航海技术的进展,都要求中国现代大地坐标框架的确定和服务应是涵盖中国的全部陆海国土。

3. 动态。过去测定大地坐标框架时,由于精度较低,所以难以测定它自身所受到的各种影响所导致的位移和变化,因而认为它是静止的,绝对的。而现代坐标框架具有高精度的特点,因此它们只是相应于某一时刻(历元)的数值。为了真正保持它们的精确性,就必须保持它们的现势性,即不仅仅向用户提供涉及某一历元的框架点的坐标值,还必须提供它们相应的时间变率。因此现代大地坐标框架是动态的,或是准动态的。

4. 实用。2003 年国家测绘部门能向用户提供的地心 3 维坐标框架是 GPS2000 网,但该网点的数量和平均密度分别只有原来天文大地网的 1/20 和 1/5,平均 9 幅 5 万比例尺地形图中才能找到一个 GPS2000 网点。

总起来说,我国若要采用地心 3 维坐标系统,则实现它的地心 3 维坐标框架必须是具有足够数量和分布密度的,高精度的动态地心 3 维大地点。这样的坐标框架才是实用的,满足和方便用户的需求。

3.2 采用地心 3 维坐标系对现有地图的影响

这里以西安 80 坐标系更换为《大地参考系统 1980》(GRS80)为例,进行数字模拟,具体讨论这一更换时,将引起中国境内地面点原来的大地经纬度和高斯平面坐标值发生的变动,从而使中国境内原有地图(包括地形图)上点和线(包括图廓点和图廓线)的位移,以及它们的长度和方位改变的情况。

3.2.1 坐标系更换所引起的中国境内点大地经纬度和高斯平面坐标的变化^[15]

由西安 80 坐标系更换为 GRS80 地心 3 维坐标系后,在中国境内地面点坐标的变动区间参见表 2。由表中可见,这一坐标系更换时,所有 1:5 万地图(含)及更大比例尺的地图上的点,包括图廓点、方里网点等的点位变动值必须顾及。

3.2.2 由坐标更换所引起现有地形图内两点间的方位和长度变动

由于一幅地形图的 4 个图廓点的经纬度(高斯坐标)是各不相同的,因此由坐标系更换所引起的这 4 个图廓点的经纬度(高斯坐标)的变动值显

然是不同的。因此坐标系更换就会引起现有地形图图廓线的方位和长度变动, 下面以百万比例尺地形图为例, 由坐标更换所引起现有地形图内图廓线两端点间的方位和长度变动的数值^[5]可参见表 3。

表 2 西安 80 坐标系更换为 GRS80 系后, 在中国境内地面点坐标的变动

Tab. 2 Coordinate change of surface points in China territory caused by the replacement of Xi'an 80 Coordinate System by GRS80

| | 变动区间 | 绝对值 平均 | 1:5 万 地图 | 1:1 万 地图 |
|---------------|---|-------------------|-----------------------|------------------------|
| 大地纬度 | $-1.6'' \sim +0.7''$ | $0.57''$ | | |
| 大地经度 | $-6.4'' \sim -3.0''$ | $4.4''$ | | |
| 高斯平面 X 坐标值 | $-48.6 \text{ m} \sim +22.7 \text{ m}$ | 16.31 m | $\sim 0.3 \text{ mm}$ | $\sim 1.6 \text{ mm}$ |
| 高斯平面 Y 坐标值 | $-115.7 \text{ m} \sim -75.7 \text{ m}$ | 106.9 m | $\sim 2.1 \text{ mm}$ | $\sim 10.7 \text{ mm}$ |

表 3 西安 80 坐标系更换为 GRS80 系后, 中国境内百万图中国廓线的方位和长度变动

Tab. 3 Orientation and length change of Chinese 1:1M map outlines caused by the replacement of Xi'an 80 Coordinate System by GRS80

| | 图廓线的东点 相对于西点 | | 图廓线的北点 相对于南点 | |
|------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|
| | 变化幅度 | 平均值 | 变化幅度 | 平均值 |
| 方位变动 | $+2.5 \text{ m} \sim +10.2 \text{ m}$ | $+5.9 \text{ m}$ | 0.0 m | 0.0 m |
| 长度变动 | $-5.0 \text{ m} \sim +1.0 \text{ m}$ | -4.20 m | $-6.6 \text{ m} \sim +1.6 \text{ m}$ | -2.20 m |

由西安 80 坐标系更换为 GRS80 地心 3 维坐标系后, 百万图东西向图廓线的方向变化, 可以从该图廓线东端点相对于西端点的高斯纵坐标 Y 值的差异进行分析。在中国境内这一差值为 $+2.5 \text{ m} \sim +10.2 \text{ m}$, 其平均值为 $+5.9 \text{ m}$ 。可以看出, 坐标系更换后, 百万图的东西向图廓线都呈逆时针(向北)方向转动。

坐标系更换后, 在中国境内百万图图廓线的南北图廓点在高斯坐标 X 值的变化幅度基本保持同步, 也就是说在百万图中南北向图廓线在这一坐标系更换后基本上不显示方向变化。

由西安 80 系更换为 GRS80 地心 3 维坐标系后, 在中国境内百万图东西向图廓线长度的变化幅度在 $-5.0 \text{ m} \sim +1.0 \text{ m}$, 其平均值为 -4.20 m 。南北向图廓线长度的变化幅度在 $-6.6 \text{ m} \sim +1.6 \text{ m}$, 其平均值为 -2.20 m 。

综上所述, 由西安 80 系更换为 GRS80 地心 3 维坐标系时, 在中国境内的百万图(含各种比例尺的地图)中, 南北向或东西向图廓线的方位和长度变动值在图上都小于 0.1 mm 而不能分辨, 可以忽略不计。

4 结束语

1. 西安 80 坐标系的现状: ① 2 维坐标系; ② 椭球非地心定位, 确定定位时没有顾及占中国全部国土面积近 1/3 的海域国土; ③ 物理和几何常数需要更新和改善; ④ 椭球短轴指向与国际上公告的极原点不同。

2. 西安 80 坐标框架的现状。它是由 4.8 万余个全国天文大地网点组成, 相对精度为 3×10^{-6} , 在我国大陆的分布密度约为 $1: (15 \text{ km} \times 15 \text{ km})$ 。① 损毁已近 1/3; ② 卫星定位的相对定位精度要比现行的坐标框架的精度高出一到两个量级; ③ 卫星定位的测量成果是 3 维的, 而现行的大地坐标框架是 2 维的; ④ 不能提供框架点的实时或准实时坐标。

3. 我国地心 3 维坐标系的定义和大地基本常数。假如我国今后采用地心 3 维坐标系统, 则建议我国对该坐标系的定义应和国际通用地面参考系(ITRS)定义的四原则一致。建议该系统采用的大地基本常数和 GRS80 保持基本一致, 例如 $J_2 = 1.082\ 63 \times 10^{-3}$, $GM = 3.986\ 004\ 418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$, $\omega = 7.292\ 115 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$, $a = 6\ 378\ 137 \text{ m}$ 。

4. 我国地心 3 维坐标框架的特点: ① 高精度; ② 涵盖全部陆海国土; ③ 动态; ④ 足够的框架点数量和实用的分布密度。

5. 我国采用地心 3 维坐标系的可行性。坐标系更换涉及全国方方面面, 工作量大。坐标系更换应具备什么条件, 可能产生的困难和问题, 得益和损失, 经济效益的评估, 尽可能事先考虑到, 并提供切实可行的解决方案。

坐标系更换涉及测绘部门的主要有 4 个方面的实际问题: ① 及时提供与该 3 维地心坐标系相应的、实用的、方便用户使用的坐标框架; ② 如

何保障用户能方便获得考虑对象高精度的地心 3 维坐标(包括非常时期);③ 地图更改的工作量和完成日期;④ 大地高系统和正常高系统在法规和技术层次方面的协调。

6. 采用地心 3 维坐标系对中国境内现有地图的影响。中国若由西安 80 坐标系更换为 GRS80 地心 3 维坐标系,则:① 地面点大地纬度和大地经度的变动区间分别为 $-1.6'' \sim +0.7'''$ 和 $-6.4'' \sim -3.0'''$,二者平均绝对值分别为 $0.57''$ 和 $4.4''$;② 地面点高斯平面坐标 X 值和 Y 值的变动区间分别为 $-48.6\text{ m} \sim +22.7\text{ m}$ 和 $-115.7\text{ m} \sim -75.7\text{ m}$,二者平均绝对值分别为 16.31 m 和 106.9 m ,因此由于坐标系更换,在 1:5 万比例尺地图(含)及更大比例尺地图中点(含图廓点)的地理位置的改变值,已超过制图精度,必须重新给予标记;③ 在中国境内各种比例尺的地图中,由于坐标系更换所导致的两点连线(包括图廓线)的长度和方位变动在制图精度以内,因此可以忽略不计。

参考文献:

[1] Surveying and Mapping Law of PRC[M] . Beijing: Publishing House of Surveying and Mapping, 1993.

[2] Surveying and Mapping Cause of Modern China[M] . Beijing: China Social Science Press, 1987: 51-71.

[3] CHEN Jun-yong. Atlas of Geodetic Survey[M] . Beijing: State Bureau of Surveying and Mapping, 1986.

[4] GUAN Ze-lin, NING Jin-sheng. Earth Figure and Outer Gravity Field[M] . Beijing: Publishing House of Surveying and Mapping, 1981, 214-221.

[5] GROTEN E. Parameters of Common Relevance to Astronomy, Geodesy and Geodynamics[J] . J of Geodesy, 2000 (74): 134-140.

[6] BOUCHER C Z. Altamimi, ITRF 89 and Other Realizations of the IERS Terrestrial Reference Systems for 1989[J] . IERS Technical Note, 1991, (6).

[7] CHEN Jun. Establishment of Multi-dimensional Dynamic Geographic Space Frame Data[J] . Geo-information Science, 2002 (1): 7-13.

[8] MC CARTHY D. IERS Conventions (1996)[J] . IERS Technical Note, 1996 (21): 65-66.

[9] GRAFAREND E, ARDALAN A. World Geodetic Datum 2000[J] . J of Geodesy, 1999, (73): 611-623.

[10] GROTEN E. Do We Need a New Reference System? [A] . IAG Symposia[C] . Budapest: Springer Verlag, 2001.

[11] HIPKIN R G. Is there a Need for a Geodetic Datum 2000? Discussion of “Heiskanen & Moritz’ Proposition” [A] . IAG Symposia[C] . Budapest: Springer Verlag, 2001.

[12] MORITZ H. The Geodetic Reference System 1980 [J] . J of Geodesy, 2000 (74): 128-133.

[13] BURSA M, KOUBA J, MULLER A, *et al.* Determination of Geopotential Differences between Local Vertical Datums and Realization of a World Height System[J] . Studia Geophys et Geod. 2001, (45): 127-132.

[14] MERRIGAN M J, SWIFT E R, WONG R F, *et al.* A Refinement to the World Geodetic System 1984 Reference Frame[A] . Proceedings of ION GPS-2002, Portland:[s. n.], 2002.