

我国大地坐标系的换代问题

魏子卿¹

(1 西安测绘研究所, 西安市雁塔路中段 1 号, 710054)

摘要:首先指出了我国现有大地坐标系在先进性和实用性方面存在的问题, 提出了我们面临的选择与采用地心坐标系的建议, 然后就地心坐标系的定义和实现、参考椭球常数、正常重力公式等问题提出了初步意见, 并就坐标系改变对旧地形图的影响问题进行了研究。我国大地坐标系应由局部坐标系更新为地心坐标系。我国大地坐标系的定义应与 IERS(国际地球自转服务)协议相一致, 采用国际常用的参考椭球和正常重力公式。本文提出的参考椭球和正常重力公式符合这些原则, 提出的地形图坐标系变化改正方案应是基本可行的。

关键词:局部坐标系; 地心坐标系; 1954 年北京坐标系; 1980 年西安坐标系; 参考椭球; 正常重力公式; 地形图坐标系变化改正

中图法分类号: P226.3

大地坐标系又称大地基准, 是大地测量的基础。按其原点相对地球质心的位置, 大地坐标系分为局部坐标系和地心坐标系。局部坐标系的原点偏离地心可能达几十到几百米, 而地心坐标系的原点理论上与地心重合(实际上与地心难免有些偏离)。局部坐标系一般是以经典测量技术为基础建立的, 而地心坐标系则是以卫星大地测量为基础建立的。在卫星大地测量出现之前, 局部坐标系是国家(或地区)大地坐标系的惟一选择, 因而世界上当时出现了许多独立的局部坐标系。随着空间技术的兴起和发展, 地心坐标系应运而生, 并日益流行。现在采用地心坐标系的国家有美国、加拿大、墨西哥、澳大利亚、新西兰、日本、韩国、菲律宾、印尼以及欧洲和南美等。

自 20 世纪 70 年代以来, 我国对地心坐标系的研究已取得不少成果, 然而至今并未正式采用地心坐标系, 仍在使用局部坐标系。目前, 我国实际上在并用 1954 年北京坐标系和 1980 年西安坐标系两个大地坐标系。不可否认, 历史上它们都曾代表先进性的坐标系, 在经济建设、国防建设和社会发展中曾发挥了巨大的作用。在过去的半个世纪, 大地坐标系的理论和实践取得了重大进展, 经济建设和国防建设对大地坐标系的需求也发生了很大变化。现在有必要对我国大地坐标系的情况加以评估, 对我国是否采用地心坐标系以及相

关的问题加以探讨, 使我国大地坐标系能更好地适应新的情况和需求。

1 我国现有大地坐标系存在的问题

1.1 先进性

过去建立坐标系主要着眼于测图目的。对于测图目的, 局部坐标系是合适的, 因为参考椭球与地区大地水准面拟合最佳, 从而使地图变形最小。随着大地测量的发展, 大地坐标系应用的深度和广度已今非昔比, 建立坐标系已不再仅着眼于测图, 而更多地着眼于工程控制、地球物理勘探、地震形变监测、地学研究、对地观测、陆海空导航以及航天等多种应用。为了满足这些应用的不同要求, 作为国家大地坐标系, 人们宁愿选择地心坐标系, 而不选择局部坐标系, 因为地心坐标系用途更加广泛, 适用于上面提到的各种应用, 而局部坐标系的一些应用受到限制, 有些应用(如航天)则完全失去了意义。对精度(这里仅指点之间的相对精度)而言, 不论是在短距离, 还是在长距离上, 目前由地面网体现的局部坐标系的精度比由 GPS 网体现的地心坐标系大约低 3 个数量级。局部坐标系已难以满足许多科学问题和工程应用的精度要求。此外, 就坐标系的轴向、尺度与参考椭球形状大小而言, 相对现代大地基准, 1954 年北京坐标

系和1980年西安坐标系都存在一定偏差。

一个先进的大地坐标系至少应具有以下4个特点:①地心系;②三维性;③定义符合IERS协议;④高精度。此外,一个先进的大地坐标系还应当兼顾尽可能多的科学目的和实际应用的要求。显然,1954年北京坐标系与1980年西安坐标系已难以称得上现代大地基准了。

1.2 实用性

1954年北京坐标系和1980西安坐标系是由大批天文大地点的坐标具体体现的。天文大地网的完整性和完好性决定了大地坐标系的可用性。在过去的半个世纪中,由于自然和人为的原因,天文大地网遭到了严重破坏,其完整性仅表现在纸面上,在物理上已是支离破碎了。这样,国家大地坐标系的实际可用性已经大打折扣。在不少地区,近年不得不用GPS重新布设大地网,以满足工程建设的急需。

当今已进入空间大地测量时代,空间大地网正在成为大地网的主要形式,GPS已成为主要的定位和测量手段。布设空间大地网通常是以高等级GPS点(如IGS站)为基础,而不可能以原来的地面网为基础,因为GPS相对定位的起始点坐标必须是地心坐标,而不是局部坐标。这意味着,今后在局部坐标系内扩展大地控制网已经没有必要了。

随着空间技术的发展,当今基于GPS的车辆、舰船和飞机导航已广泛流行。显而易见,这些卫星导航系统的有效性在很大程度上取决于作为系统组成部分的地图或地形图(通常是电子地图形式)使用的坐标系。GPS使用地心坐标系,GPS导航理应使用地心坐标系的地图,如使用局部坐标系(如1954年北京坐标系或1980年西安坐标系)的地图则很可能引发一些问题,如汽车偏离街道、舰船偏离航道、飞机偏离航路或目的地。在卫星导航领域,使用局部坐标系是不合理的,甚至有危险。随着卫星导航的日益普及,坐标系问题将显得越来越突出,使用地心坐标系的要求必将越来越迫切。国际民航组织要求国际机场使用WGS84坐标系,国际海事组织也要求海图使用WGS84坐标系。而在航天领域,没有局部坐标系的位置。航天器(卫星、飞船、空间站)围绕地球质心在轨运行,航天器的发射、轨道计算和轨道测控等操作都需要在地心坐标系中进行。

我国现有的国家坐标系已经失去了先进性,并正在失去实用性。1954年北京坐标系和1980年西安坐标系,尽管在其定义和实现上有所区别,

但是它们均以同一个天文大地网为基础,存在局部坐标系共同的固有缺陷。这里所说的先进性和实用性问题,对两者都适用,只是在程度上有差异而已。

2 我们的选择

2.1 基本考虑

在我们面前摆着两种选择:①继续沿用局部坐标系;②启用地心坐标系。沿用局部坐标系的好处主要是现有地形图可以照常使用,地形图的变形较小,其代价是牺牲地心坐标系的诸多优势。采用地心坐标系的优势将在下面专门论述,其缺点与利用旧地形图有关。实际上,就我国的具体情况而言,相对使用局部坐标系,使用地心坐标系引起的地形图的附加变形很小,并不影响实际应用。研究还表明,旧地形图加以适当改正,并不妨碍其继续使用。

笔者认为,地形图因素不应当再成为当今考虑采用何种坐标系的主要因素;决定采用何种坐标系应依对于今后较长一段时期内的经济建设、国防建设、社会进步、科技发展是否更为有利而定。正是基于这种观点,笔者主张我国的国家坐标系应由局部坐标系改为地心坐标系。

除以上两种选择外,还存在第三种选择,那就是局部坐标系与地心坐标系并用。依笔者之见,这种选择只能看作是一种权宜之计,或者是一种过渡,这是因为考虑到完全执行一个新坐标系可能需要一个较长过程,在此过程中,不妨允许局部坐标系与地心坐标系并用。一旦规定的过渡期结束,应完全执行新的坐标系。一个国家应该统一使用一个坐标系,若同时使用两个或多个坐标系,难免造成意想不到的混乱和麻烦。

2.2 采用地心坐标系的优势

1) 在当今空间大地测量时代,空间技术的应用越来越广。空间技术通常使用地心坐标系,这有助于充分享用空间技术的成果。比如,进行卫星定位时,容易得到精确的起始坐标;而进行卫星导航时,会有地心坐标系的地形图与之匹配,避免因坐标系不一致而导致的问题。

2) 航天器的发射、轨道计算、轨道测控应在地心坐标系内进行。同样,远程武器发射、制导、弹道测量也要求在地心坐标系内操作。使用地心坐标系有助于航天技术与武器应用的发展。

3) 地心坐标系是大地测量发展的结果。大地坐标系是大地测量的基础,采用地心坐标系必

将反过来又推动大地测量乃至整个测绘科技的发展。

4) 高精度的地心坐标系是构建国家地理空间数据基础设施、在不同尺度监测地壳运动、监测海平面变化的参考框架。采用地心坐标系有利于地球空间信息产业及地球动力学、地球物理学和地震学的研究。

5) 地心坐标系是卫星导航的基本坐标系,使用地心坐标系将推动卫星导航产业,进而推动陆地、海洋和空中交通运输业的发展。

6) 使用地心坐标系有利于统一世界大地坐标系,有利于我国大地坐标系与国际接轨,进而有利于我国参与经济全球化及国际竞争。

2.3 采用地心坐标系的可行性

近 10 年来,在国家测绘局、总参测绘局、中国地震局与中国科学院等单位的共同努力下,我国建成了全国规模的 GPS A、B 级网、GPS 一、二级网以及中国地壳运动观测网络(一期工程)。这些网络包括各种类型的高精度 GPS 点 2 000 多个,它们构成了地心坐标系的基本框架,是建立地心坐标系的基础。近十年来,我国学者卓有成效地开展了利用空间数据建立大地坐标系的研究工作,已具有利用空间大地网与 ITRF 框架建立高精度地心坐标系的成功经验。例如,笔者利用 1990~1997 年的全国 GPS 一、二级网(553 点)数

据、1998~2000 年的中国地壳运动观测网络(1 099 点)数据,以及全球分布的 IGS 站(大约 110 个)的文件数据,得到了国内 1 681 个 GPS 站的 ITRF97 坐标(参考历元为 2000.0),其精度(1σ)优于 5mm。具体精度统计如表 1 所示。

3 建立地心坐标系的 3 个方面

3.1 地心坐标系的定义和实现

所谓建立大地坐标系,至少应包括定义坐标系和实现坐标系两层意思。定义坐标系是指定义坐标系的原点、坐标轴的指向和尺度,实现坐标系是指确定一组控制点的坐标(和速度)来体现所定义的坐标系。由这些控制点的坐标(和速度)所具体体现的坐标系,通常叫作参考框架。实际上,建立坐标系通常还包括第三层意思,即维持坐标系,它是指控制点的坐标(和速度)的不断精化或控制点加密。通过定期维持,使坐标系的性能得以不断改进和提升。

我国建立地心坐标系应遵从以上通用原则。我国地心坐标系的定义应与 ITRS 协议(地球参考系)的定义一致,即坐标系的原点为包括海洋和大气的整个地球的质心;尺度为在引力相对论意义下局部地球框架的尺度;定向的初始值由 1984.0 时 BIH(国际时间局)定向给定,而定向的时间演化应

表 1 平差坐标的精度统计

Tab. 1 Precision Statistics of Adjusted Coordinates

	x	y	z	纬度	经度	高度	位置
坐标平均误差/mm	1.8	3.6	2.5	0.8	1.3	4.5	4.8
坐标最大误差/mm	54.2	63.9	37.1	10.8	51.5	85.1	91.7

保证相对地壳不产生残余的全球旋转。

我国地心坐标系的实现可能有不同做法。笔者认为应按照以下两步进行:①将国内 GPS 网与国内外 IGS 站的数据在 ITRF 框架内一并进行联合平差,得到空间网的一致坐标,以此构成地心坐标系的骨架。②将天文大地网数据在所得到的地心坐标系骨架内再次进行整体平差,使数万个天文大地点纳入地心坐标系,以此使天文大地网继续发挥作用。如此实现的地心坐标系将包括所有的空间点和地面点,其任意地面点的地心坐标水平分量精度预计将优于 0.3m。

3.2 参考椭球

在现代大地测量中,椭球常数定义是以等位椭球理论为基础的。规定参考椭球是一个等位椭球或水准椭球,即参考椭球与正常椭球一致。

IUGG 推荐采用 4 个常数定义等位旋转椭球^[2],即赤道半径 a ,地心引力常数 GM ,动力形状因子 J_2 ,旋转速度 ω 。根据这 4 个常数,可以得到一系列导出常数,如椭球的扁率 f 、正常重力 γ 等。目前,国际上常用两个参考椭球:1980 参考椭球(GRS1980)和 GPS 参考椭球。GRS1980 椭球的定义常数采用 a 、 GM 、 J_2 、 ω ,而原来的 WGS84 椭球采用 a 、 GM 、 C_{20} 、 ω 。其中 C_{20} 为 J_2 被正则化的二阶带谐系数。当精化 WGS84 时,出于实际考虑,定义常数又改为 a 、 f 、 GM 、 ω ^[3]。两个椭球的 a 和 ω 值相同, GM 值不同,而 f 值略有差异。

对于我国的地心坐标系,建议参考椭球定义常数采用 a 、 f 、 GM 、 ω 。 $a = 6\,378\,137\text{m}$; $f = 1/298.257\,222\,101$; $GM = 3\,986\,004.418 \times$

$$10^8 \text{m}^3 \text{s}^{-2}; \omega = 7\,292\,115 \times 10^{-1} \text{rad}^\circ \text{s}^{-1}.$$

笔者建议的 a 、 f 、 ω 值与 GRS1980 一致, 而 GM 值则与 WGS84 值一致。忽略扁率的微小的差异, 可以认为参考椭球与精化的 WGS84 椭球是一致的。选择这样的常数值的理由有: ①它们比较精确, 其中 GM 值是近年 IERS 的推荐值; ②它们与国际上广为采用的 GRS1980 椭球比较接近, 有利于我国大地坐标系与国际接轨, 也便于利用 GPS。根据以上 4 个定义常数, 笔者得到参考椭球的导出常数, 如表 2 所示。

表 2 建议参考椭球的导出常数

Tab. 2 Derived Constants for the Proposed Reference Ellipsoid

几何常数		物理常数	
短半径 b	6 356 752.314 1m	椭球的正常位 U_0	62 636 851.714 9m ² s ⁻²
线偏心率 E	521 854.009 7m	球谐系数 J_2	0.108 262 983 226
极曲率半径 c	6 399 593.625 9m	球谐系数 J_4	-0.237 091 125 614
第一偏心率 e	0.081 819 191 042 82	球谐系数 J_6	0.608 346 525 889
第一偏心率平方 e^2	0.006 694 380 022 90	球谐系数 J_8	-0.142 681 100 980
第二偏心率 e'	0.082 094 438 151 92	球谐系数 J_{10}	0.121 439 338 334
第二偏心率平方 e'^2	0.006 739 496 775 48	赤道正常重力 γ_e	9.780 325 336 1m ² s ⁻²
1/4 子午圈的长度 Q	10 001 965.729 3m	极正常重力 γ_p	9.832 184 937 9m ² s ⁻²
椭球平均半径 $R_1 = (a+a+b)/3$	6 371 008.771 4m	平均正常重力 γ	9.797 643 222 4m ² s ⁻²
相同表面积的球的半径 R_2	6 371 007.180 9m	重力扁率 $f = (\gamma_p - \gamma_e) / \gamma_e$	0.005 302 441 382 59
相同体积的球的半径 R_3	6 371 000.790 0m	$m = \omega^2 a^2 b / GN$	0.003 449 786 506 78

对于笔者建议的椭球, 上式的级数展开形式为:

$$\begin{aligned} \gamma = & \gamma_e (1 + 0.005\,279\,042\,631 \sin^2 \varphi + \\ & 0.000\,023\,271\,799 \sin^4 \varphi + \\ & 0.000\,000\,126\,218 \sin^6 \varphi + \\ & 0.000\,000\,000\,730 \sin^8 \varphi + \\ & 0.000\,000\,000\,004 \sin^{10} \varphi) \end{aligned}$$

该式的相对误差为 $10^{-11} \text{m}^2 \text{s}^{-2} = 10^{-3} \mu\text{Gal}$ 。

精度为 $10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-2} = 0.1 \text{mGal}$ 。常用的正常重力公式是:

$$\gamma = 9.780\,325\,336\,1(1 + 0.005\,302\,44 \sin^2 \varphi - 0.000\,005\,82 \sin^4 \varphi) \text{m}^2 \text{s}^{-2}$$

从 1980 重力公式的重力异常改化为建议系统的公式是:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{建议系统}} - \gamma_{1980} = \\ (-0.143\,55 + 0.000\,48 \sin^2 \varphi) \text{mGal} \end{aligned}$$

4 大地坐标系更新对地形图的影响

大地坐标系是测制地形图的基础, 大地坐标系的改变必将引起地形图要素产生位置变化, 因此有必要研究大地坐标系的改变对地形图的影响。若图上的变化量大于人眼的分辨率, 则必须

3.3 正常重力公式

在现代大地测量中, 等位椭球不仅用作大地坐标的参考面, 而且用作地球正常重力的参考面。椭球面的正常重力用如下闭合公式计算^[2]:

$$\gamma = \gamma_e \frac{1 + k \sin^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

式中, γ_e 代表赤道重力; φ 代表大地纬度; e^2 代表第一偏心率平方; $k = b\gamma_p / a\gamma_e - 1$, a 、 b 代表椭球的长、短半轴, γ_p 代表极重力; 对于笔者建议的椭球, $k = 0.001\,931\,852\,619$ 。

考虑旧地形图的改正。一般来说, 由于局部坐标系的原点偏离地心较大(接近 200m), 无论是 1954 年北京坐标系, 还是 1980 年西安坐标系的地形图, 在采用地心坐标系后都需要进行适当改正。这里以 1954 年北京坐标系地形图为例, 研究采用地心坐标系对旧地形图的影响。

4.1 研究方法概要

首先, 假定已知一点的大地经纬度, 计算其在 1954 年北京坐标系内的高斯平面坐标; 其次, 借助地心坐标系与 1954 年北京坐标系之间的转换参数和椭球长半轴与扁率变化, 计算大地经纬度的变化与在地心坐标系内的大地经纬度; 然后, 根据得到的大地经纬度计算该点在地心坐标系内的高斯平面坐标。最后, 根据同一点在地心坐标系和 1954 年北京坐标系内高斯平面坐标的变化, 研究图上要素坐标、图廓角坐标、子午线收敛角、图廓线长、图廓对角线长、图幅面积的变化, 因此, 大地坐标系也会改变对地形图的影响。限于篇幅, 本文仅讨论地图要素坐标变化与图廓线的变化。

4.2 地图要素坐标的变化

计算结果表明, 由 1954 年北京坐标系改变为地心坐标系, 在 $56^\circ \text{N} \sim 16^\circ \text{N}$ 和 $72^\circ \text{E} \sim 135^\circ \text{E}$ 范围内, 将引起纬度变化为 $-1.5'' \sim 3.0''$, 其变化的绝对

值平均为 $1.3''$; 经度变化为 $-4.0'' \sim 6.0''$, 其变化的绝对值平均为 $2.1''$ 。相应地, 高斯平面 x 坐标的变化为 $-77\text{m} \sim -18\text{m}$, 平均变化为 -47.8m ; y 坐标变化为 $-63\text{m} \sim 111\text{m}$, 其变化的绝对值平均为 50.1m 。 x 、 y 坐标变化的绝对值平均及其在不同比例尺地形图上的大小列在表 3 和表 4。假定地

图的最小分辨率为 0.1mm , 根据表列数据可以得出, 在平均意义上, 在 $1:50$ 万甚至 $1:100$ 万比例尺的地形图上, x 和 y 坐标都有可能发生变化。这意味着, 对于所有系列比例尺的地形图, 由坐标系更新引起的图廓点、方里网以及图上要素的高斯坐标和经纬度的变化, 都需要加以考虑。

表 3 在 $56^\circ\text{N} \sim 16^\circ\text{N}$ 和 $72^\circ\text{E} \sim 135^\circ\text{E}$ 范围平行圈上 x 坐标差的绝对值均值及地形图上相应坐标差

Tab. 3 Average Absolute Differences in x -coordinate for Points on the Parallels and Corresponding Points on the Topographical Map for the Area Between $56^\circ\text{N} \sim 16^\circ\text{N}$ and $72^\circ\text{E} \sim 135^\circ\text{E}$

纬度/ $^\circ$	绝对值均值/m	1:100万/mm	1:50万/mm	1:25万/mm	1:10万/mm	1:5万/mm	1:2.5万/mm
56	25.8	0.03	0.05	0.10	0.26	0.52	1.03
52	29.6	0.03	0.06	0.12	0.30	0.59	1.18
48	33.8	0.03	0.07	0.14	0.34	0.68	1.35
44	38.2	0.04	0.08	0.15	0.38	0.76	1.53
40	42.8	0.04	0.09	0.17	0.43	0.86	1.71
36	47.5	0.05	0.10	0.19	0.48	0.95	1.90
32	52.2	0.05	0.10	0.21	0.52	1.04	2.09
28	57.0	0.06	0.11	0.23	0.57	1.14	2.28
24	61.8	0.06	0.12	0.25	0.62	1.24	2.47
20	66.4	0.07	0.13	0.27	0.66	1.33	2.66
16	70.8	0.07	0.14	0.28	0.71	1.42	2.83

表 4 在 $56^\circ\text{N} \sim 16^\circ\text{N}$ 和 $72^\circ\text{E} \sim 135^\circ\text{E}$ 范围平行圈上 y 坐标差的绝对值均值及地形图上相应坐标差

Tab. 4 Average Absolute Differences in y -coordinate for Points on the Parallels and Corresponding Points on the Topographical Map for the Area Between $56^\circ\text{N} \sim 16^\circ\text{N}$ and $72^\circ\text{E} \sim 135^\circ\text{E}$

纬度/ $^\circ$	绝对值均值/m	1:100万/mm	1:50万/mm	1:25万/mm	1:10万/mm	1:5万/mm	1:2.5万/mm
56	49.5	0.05	0.10	0.20	0.50	0.99	1.98
52	49.7	0.05	0.10	0.20	0.50	0.99	1.99
48	49.8	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	1.99
44	49.9	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00
40	50.0	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00
36	50.2	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	2.01
32	50.3	0.05	0.10	0.20	0.50	1.01	2.01
28	50.4	0.05	0.10	0.20	0.50	1.01	2.02
24	50.5	0.05	0.10	0.20	0.50	1.01	2.02
20	50.6	0.05	0.10	0.20	0.51	1.01	2.02
16	50.7	0.05	0.10	0.20	0.51	1.01	2.02

4.3 图廓线的变动

研究表明, 坐标系更新引起东西图廓的方位变化(绝对值)平均为 $0.4''$, 南北图廓线的变化(绝对值)平均为 $1.2''$ 。一般说来, 人眼对如此小的方位差是难以分辨的。因此, 在两种坐标系相应图廓线是平行的。研究还表明, 对于任何系列比例尺地形图, 图廓线长度变化都远小于人眼的长度分辨率, 可以不必顾及。因此可以认为, 坐标系改变对图廓线的影响, 仅表现在它们的平行位移: 南北图廓线南移, 南移量由南而北逐渐变小; 东西图廓线在我国西部地区西移, 西移量由西而东逐渐减小至 0, 而在东部地区东移, 东移量由西而东逐渐增大。东西部分界在 94°E 经线附近。

对于不同比例尺的地形图, 图廓线的平均位移量见表 5。

关于图廓线平移的陈述, 同样适用于方里网。这里顺便指出, 由于在可分辨的精度内, 图廓线的变动仅是位置平移, 而看不出方位变化, 因此相邻图幅接边问题也很容易解决。

4.4 旧图的改正方案

原则上说, 为了适应坐标系的更新, 现有的系列比例尺的纸质地形图都需加以适当改正。但是, 考虑到不同比例尺的地形图受坐标系改变的影响不同, 以及它们各自的特殊用途, 地图的改正可因比例尺而区别对待。不妨首先改正常用的 $1:5$ 万和 $1:10$ 万比例尺地形图, 中、小比例尺图

可暂不改正。具体改正方案如下。

坐标按图幅改正。依据地形图比例尺, 可采用下面两种改正方案。

1) 每一图幅的要素坐标, 统一施加一个经纬度改正常数 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\varphi$ 和平面坐标改正常数 Δx 、 Δy 。

表 5 不同比例尺地图的图廓线的平均平行位移量

Tab. 5 Average Translations of Limits of Sheet for Maps of Different Scales

比例尺	1:100 万	1:50 万	1:25 万	1:10 万	1:5 万	1:2.5 万
南北图廓位移量/mm	0.05	0.10	0.20	0.50	0.99	1.98
东西图廓位移量/mm	0.05	0.10	0.20	0.50	1.01	2.01

2) 每一图幅的要素坐标依位置加不同的改正数, 改正数用一次函数形式表示:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_0 + a(\varphi - \varphi_0) + b(\lambda - \lambda_0)$$

$$\Delta\lambda = \Delta\lambda_0 + c(\varphi - \varphi_0) + d(\lambda - \lambda_0)$$

或者

$$\Delta x = \Delta x_0 + a(x - x_0) + b(y - y_0)$$

$$\Delta y = \Delta y_0 + c(x - x_0) + d(y - y_0)$$

式中, $\Delta\varphi_0$ 、 $\Delta\lambda_0$ 和 Δx_0 、 Δy_0 分别为西南图廓点的纬度、经度和平面坐标改正数; φ_0 、 λ_0 和 x_0 、 y_0 为西南图廓点的坐标; φ 、 λ 和 x 、 y 为被考虑的流动点的坐标; a 、 b 、 c 、 d 和 a' 、 b' 、 c' 、 d' 为常数。

一般来说, 方案 1) 适用于大比例尺图, 方案 2) 适用于中、小比例尺图。纬度、经度和平面坐标改正数或改正公式及其系数可以注记形式印在南图廓下方, 以方便使用。

关于图廓线和方里网改正: 图廓线和方里线发生平行位移, 平移方向和距离亦可采用注记形式印于南图廓下方。

5 结 语

大地坐标系是大地测量乃至整个测绘工作的基础, 国家大地坐标系对测绘科学及相关学科至关重要。我国大地坐标系换代问题提出于 20 世纪 90 年代中期, 近年引起越来越广泛的关注^[4,5]。我国现有国家大地坐标系已经失去其先进性, 正在失去实用性, 已不能适应国民经济建

设、国防建设与空间技术发展的需要。地心坐标系可以满足大地测量、航天科技、地学研究、陆海空导航和武器应用等多种科学目的和实际应用的要求。因此, 我国大地坐标系应由局部坐标系更新为地心坐标系。

本文仅涉及大地坐标系的几个方面, 与坐标系有关的重力场、大地水准面等根本没有涉及, 行政和法规方面也没有涉及。这些方面的问题都应当专门研究。当然, 有些问题的研究只有在确定更新坐标系的大前提、大思路的指导下才好开展。

参 考 文 献

- 1 McCarthy D D. IERS Conventions. IERS Technical Notes 21, 1996
- 2 Moritz H. Geodetic Reference System 1980. Journal of Geodesy, 2000, 74(1): 128 ~ 133
- 3 Malys S, Slater JA, Smith RW, et al. Refinements to the World Geodetic System 1984. ION GPS-97, 1997
- 4 陈俊勇. 我国建立现代大地基准的思考. 武汉大学学报·信息科学版, 2002, 27(5): 441 ~ 444
- 5 宁津生. 现代大地测量参考系统. 测绘学报, 2002, 31(增刊): 7 ~ 11
- 6 魏子卿. 关于我国大地测量任务的几点思考. 见: 西部大开发与数字中国基础框架建设——2000 中国西部地区测绘学术与科技信息交流会议论文集. 西安: 西安地图出版社, 2000

第一作者简介: 魏子卿, 研究员, 博士生导师, 中国工程院院士。研究方向是 GPS 定位、大地坐标系、地球动力学。

National Geodetic Coordinate System: To Next Generation

WEI Ziqing¹

(1 Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Middle Yanta Road, Xi'an, China, 710054)

Abstract: In this paper the problems of the national geodetic coordinate system are pointed out in terms of advanced character and practicability, the choices of the coordinate systems are put forward and the adoption of a geocentric coordinate system are proposed. Then (下转第 148 页)

of indispensable observations and redundant observations. And the information of observations that is offered to estimate the parameters is measured and analyzed with Euclidean norm $\|\cdot\|_2$ and $\|\cdot\|_F$ Frobenius norm they are used as measure tools, studied the effectiveness of observations and the reliability of parameter estimation. The contributions are these: It studied the basic conceptions and corresponding analysis methods about indispensable observation and redundant observation. Offered the conceptions and corresponding measure methods about the information of observations and the effectiveness of observations. Analyzed the reliability of the system of parameter estimation on the space fabric of observations and expanded and enriched the theory of reliability from one side in surveying subject. And enriched analysis methods to study some basic problems in surveying and offered an analysis way for data digging problem in informatics.

Key words: parameter estimation; Hilbert space; norm; redundant observations; reliability; effectiveness; measure

About the first author: LU Xiushan, professor, Ph. D. He is concentrated on the research and education in the theory of data processing of surveying and mapping with its application the technology about the application of global positioning system (GPS). His published papers are more than 30 and books 2. The representative papers are these: Measure of space relationships among basic and additional parameters. Orthogonal resolution of value field space and method of parameter grouped estimate.

E-mail: xiushanl@vip.sina.com

(上接第 143 页)

the opinions are given on the definition and realization of geocentric coordinate system, the constants of reference ellipsoid and the normal gravity formulas. Finally the influence of the change of coordinate system upon the old topographic maps is studied. The main conclusions are drawn as follows: the existing national coordinate systems have failure of their advanced character; they have increasingly failed to fit in with the needs of national economic construction and national defence construction and with the development of space technology; the geocentric coordinate system can fulfill the scientific and practical demands of the geodesy, aerospace science and technology, geoscience study, navigation etc.; the national coordinate system should be updated to the geocentric from the local system; the definition of the national geodetic coordinate system should be consistent with IERS conventions; the adopted ellipsoid and normal gravity formulas should be in common use internationally. The proposed ellipsoid and the formulas conform to these principles. Furthermore the proposed scheme of the old topographical map correction for the change of coordinate system should be basically feasible and practical.

Key words: local geodetic coordinate system; geocentric geodetic coordinate system; Beijing coordinate system 1954; Xi'an coordinate system 1980; reference ellipsoid; normal gravity formulas; correction of topographical map for the change of coordinate system

About the first author: WEI Ziqing, researcher, Ph. D supervisor, member of Chinese Academy of Engineering. He is concentrated on the field of GPS positioning, geodetic coordinate system and geodynamics.