

国家测绘地理信息局办公室

测办函〔2013〕66号

关于印发《2000国家大地坐标系推广使用技术指南》和《大地测量控制点坐标转换技术规程》的函

公安部、民政部、国土资源部、环境保护部、住房城乡建设部、交通运输部、水利部、林业局、地震局、气象局、海洋局、铁路局、民航局、文物局、中国地质调查局办公厅（室），各省、自治区、直辖市测绘地理信息行政主管部门，新疆生产建设兵团测绘地理信息主管部门：

为切实贯彻落实国务院关于加强2000国家大地坐标系推广使用工作的要求，进一步指导各部门、各单位顺利完成原有坐标系成果向2000国家大地坐标系转换，确保转换技术方法正确，国家测绘地理信息局组织编制了《大地测量控制点转换技术规程》和《2000国家大地坐标系推广使用技术指南》，现予印发，请参照执行。



2013年6月25日

2000 国家大地坐标系推广使用 技术指南

国家测绘地理信息局

2013 年 6 月

目 录

§1.绪 论	6
§2.政 策	8
1. 2000 国家大地坐标系的启用	8
2. 加快 2000 国家大地坐标系推广使用	9
§3.基本概念	11
3. 坐标系与坐标框架	11
4. 总地球椭球和参考椭球	12
5. 参心坐标系	13
6. 参心坐标框架-国家天文大地网	16
7. 1954 年北京坐标系	17
8. 1980 西安坐标系	17
9. 新 1954 年北京坐标系	18
10. 相对独立的平面坐标系	18
11. 地心坐标系	18
12. 国际地球参考系(ITRS)	19
13. 国际地球参考框架	19
14. 历元	20
15. 2000 国家大地坐标系	20
16. 2000 国家大地坐标系坐标框架	21
17. WGS84 坐标系	22
18. 板块运动	23
19. 板块运动改正	23
20. “4D” 产品	24
§4. 2000 国家大地坐标系与现行坐标系关系	26
21. 采用 2000 国家大地坐标系对现有地图的影响	26

22.	WGS84 坐标系与 2000 国家大地坐标系的关系	27
23.	GNSS 后处理定位结果与 2000 国家大地坐标系关系	28
24.	坐标系变化对图幅点间距离的影响	28
25.	不同椭球变化对图幅表示的影响	28
26.	CGCS2000 图更新周期	29
§5.控制点坐标转换		30
27.	大地控制点分类	30
28.	控制点用途	31
29.	控制点坐标转换模型	31
30.	不同空间直角大地坐标系间的变换模型	32
31.	三维七参数坐标转换模型	33
32.	二维七参数转换模型	34
33.	三维四参数转换模型	34
34.	二维四参数转换模型	35
35.	多项式拟合模型	36
36.	坐标转换精度估计	36
37.	控制点坐标转换模型适用范围	37
38.	控制点坐标转换方法	37
39.	CORS 站点坐标归算方法	39
40.	其它点的转换	40
41.	国际地球参考框架之间的转换	40
§6.独立坐标系建立联系的方法		43
42.	独立坐标系建立的方法	43
43.	高斯投影于参考椭球面上任意带平面直角坐标系	43
44.	高斯投影于抵偿高程面的任意带平面直角坐标系	43
45.	独立坐标系与 2000 国家大地坐标系转换	46
§7.基础地理信息数据成果转换		49
46.	1: 25 万 DLG 数据库转换	49

47.	1:5 万 DLG 数据库转换	51
48.	1:5 万 DEM 数据库转换	52
49.	1:5 万 DOM 数据库转换	52
50.	1:1 万及 1:5 千 DLG 数据库转换	53
51.	1:1 万及 1:5 千 DRG 数据库转换	54
52.	1:1 万及 1:5 千 DEM 数据库转换	54
53.	1:1 万及 1:5 千 DOM 数据库转换	55
54.	行业专题地理信息数据(库)坐标转换.....	56
§8.	成果服务	56
55.	2000 国家大地坐标系现阶段成果	56
56.	2000 国家大地坐标系下的成果的使用和申领	57
57.	全国 1:1 万比例尺地形图图幅改正量使用方法.....	58
58.	控制点转换软件使用说明.....	58
59.	基础地理信息数据转换软件使用指南.....	60
60.	各类成果技术支持.....	63
附录	本书引用的索引词.....	64
附录 1	国家测绘局 2008 年第 2 号公告.....	65
附录 2	关于加快 2000 国家大地坐标系推广使用的通知.....	67

§ 1. 绪 论

建国以来，国家测绘地理信息局先后于上世纪 50 年代和 80 年代建设了基于参考椭球的国家大地坐标系（参心坐标系）——1954 年北京坐标系和 1980 西安坐标系，测制了各种比例尺地形图，并应用于国民经济和社会发展的各个领域，提供了基础的测绘保障服务。总参测绘导航局于上世纪 80 年代在 1954 年北京坐标系的基础上，建设了新 1954 年北京坐标系。

受当时科技水平的限制，我国参心坐标系所采用的坐标系原点、坐标轴的方向均与采用现代科技手段测定的结果存在较大差异，其原点与地球质量中心有较大的偏差，坐标系下的大地控制点的相对精度仅为 10^{-6} ，这导致先进的对地观测技术所获取的测绘成果在使用时的精度损失，无法全面满足现势性较高的城市建设、行业部门对高精度测绘地理信息服务的要求。而且我国参心坐标系只能提供二维的点位坐标。同时并行使用两个国家大地坐标系给实际应用带来很多问题。主要体现：在两个国家大地坐标系之间的转换造成测绘成果的精度损失；不同部门的测绘成果不一致不统一造成不同坐标系下相邻地形图的拼接误差较大；不同部门的测绘成果无法共享，造成重复建设、资源浪费。因此，现行的坐标系已不适应我国经济发展的需要。

上世纪八九十年代以来，以全球卫星导航定位系统为主的现代空间定位技术快速发展，导致国际大地测量技术和方法迅速变

革。全球卫星导航定位系统采用全球基本统一的地心坐标系，并日益流行。以地球质量中心为原点的坐标系（以下简称地心坐标系）可以大幅度提高测量精度（地心坐标系下的大地控制点的相对精度为 $10^{-7} - 10^{-8}$ ，比现行坐标系下的精度提高 10 倍左右），并且可以快速获取精确的三维地心坐标。采用地心坐标系，可以更好地阐明地球上各种地理和物理现象特别是空间物体的运动。空间技术的发展成熟与广泛应用迫切要求国家提供高精度、地心、动态、实用、统一的大地坐标系作为各项社会经济活动的基础性保障。采用地心坐标系可以充分利用现代最新科技成果，为国家信息现代化服务。基于国家统一的地心坐标系可以充分利用现代空间大地测量技术和手段搭建数据与成果共享平台，便于资源和成果的共建共享，避免基建及基础设施建设中由于各部门基准不统一造成重大的建设失误与经济损失。

我国在 90 年代以 GPS 空间大地测量手段分别建立了 GPSA、B 级网，GPS 一、二级网，中国地壳观测网络工程基准网、基本网、区域网，并依据此网于 2003 年完成了网平差构建了我国地心坐标系 2000 国家大地坐标系坐标框架。2008 年经国务院批准，国家测绘地理信息局向社会发公告，于 2008 年 7 月 1 日正式在全国启用 2000 国家大地坐标系。

本指南主要描述不同坐标系与 2000 国家大地坐标系之间的转换关系并为各种控制点成果及基础地理信息成果向 2000 国家大地坐标系转换提供转换方法。

§ 2. 政 策

1. 2000 国家大地坐标系的启用

2008 年国家测绘地理信息局发布第 2 号公告“根据《中华人民共和国测绘法》，经国务院批准，我国自 2008 年 7 月 1 日起，启用 2000 国家大地坐标系”

2000 国家大地坐标系英文名为：China Geodetic Coordinate System 2000 缩写为 CGCS2000

公告规定了 2000 国家大地坐标系与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8 年至 10 年。现有各类测绘成果，在过渡期内可沿用现行国家大地坐标系；2008 年 7 月 1 日后新生产的各类测绘成果应采用 2000 国家大地坐标系。同时现有地理信息系统，在过渡期内应逐步转换到 2000 国家大地坐标系；2008 年 7 月 1 日后新建设的地理信息系统应采用 2000 国家大地坐标系。

公告还规定了完成 2000 国家大地坐标系转换各部门的职责“国家测绘地理信息局负责启用 2000 国家大地坐标系工作的统一领导，制定 2000 国家大地坐标系转换实施方案，为各地方、各部门现有测绘成果坐标系转换提供技术支持和服务；负责完成国家级基础测绘成果向 2000 国家大地坐标系转换，并向社会提供使用。国务院有关部门按照国务院规定的职责分工，负责本部门启用 2000 国家大地坐标系工作的组织实施和本部门测绘成果的转换。县级以上地方人民政府测绘地理信息行政主管部门，负

责本地区启用 2000 国家大地坐标系工作的组织实施和监督管理，提供坐标系转换技术支持和服务，完成本级基础测绘成果向 2000 国家大地坐标系的转换，并向社会提供使用。

2. 加快 2000 国家大地坐标系推广使用

自启用 2000 国家大地坐标系，各地开展了省市级成果到 2000 国家大地坐标系的转换，根据各地转换工作进程和转换中存在的问题，2013 年 2 月 20 日国家测绘地理信息局印发《关于加快 2000 国家大地坐标系推广使用的通知》（国测国发〔2013〕11 号），重申 2000 国家大地坐标系转换的重要性，并公布了可用于转换工作的国家级成果，同时对地方测绘地理信息行政主管部门提出以下要求：

全面完成地理信息成果转换

（一）认真梳理地理信息成果资料。各级测绘地理信息主管部门要认真梳理拥有的 GNSS 连续运行基准站、GNSS 控制点、三角点、导线点、像控点等控制成果，基础地理信息数据（库），公共平台以及其它在用基础地理信息成果，确保应实施坐标转换的内容不遗漏。

（二）加快完成省级成果转换。省级测绘地理信息主管部门要对梳理结果认真分析，加快完成省级成果向 CGCS2000 转换，并做好国家级成果的申领替换工作。省级成果转换工作应在 2014 年底前完成。已经完成转换工作的，应尽快向国家测绘地理信息局申请质量监督检查。

省级 1:1 万基础地理信息数据库转换可与省级基础地理信息

数据库整合升级工作结合开展，在整合升级工作中使用CGCS2000。

（三）推动市、县完成成果转换。省级测绘地理信息主管部门要加强对市、县的技术支持与监督管理，帮助有困难的市、县完成成果的转换。市、县级测绘地理信息主管部门要结合数字城市地理空间框架建设，将相对独立的平面坐标系统转换为CGCS2000 椭球下的坐标系统，同时完成正在使用的地理信息成果的坐标转换。成果转换工作应在2014年底前完成。

做好成果检验与应用

（一）加强成果质量监管。为确保转换成果的质量，保证控制成果的一致性，地方各级测绘地理信息主管部门要加强对转换成果质量的监督检查，对本级提供的成果承担质量责任。下一级测绘地理信息主管部门完成转换工作后，应向上一级测绘地理信息主管部门报告，经上一级测绘地理信息主管部门质量监督检查合格后，方可向社会发布。

（二）强化新成果应用。地方各级测绘地理信息主管部门要及时向社会发布新成果，为其坐标转换提供数据支撑。同时，要强力推动新成果的使用，对测绘地理信息系统新开工项目，一律使用新坐标系统；对各部门涉及测绘地理信息活动的新开工项目，要推荐使用新坐标系统。

工作要求

（一）加强组织领导。省级测绘地理信息主管部门要加强本地区推广使用工作的组织实施和督促检查，制定详细的工作方

案，明确本地区下一阶段的目标任务、时间安排、工作措施、具体要求等，并于 2013 年 5 月前将工作方案报国家测绘地理信息局备案，国家测绘地理信息局将在 2013 年适时开展监督检查。

（二）加强人员培训。省级测绘地理信息主管部门要积极参加国家测绘地理信息局组织的技术培训，培养一支技术能力强、能承担此项工作的队伍。各地也要开展针对市县级测绘地理信息部门、行业部门以及测绘资质单位的技术培训，提高专业技术人员的技术水平，为 CGCS2000 推广使用提供人才支撑。

（三）广泛宣传引导。各级测绘地理信息主管部门要加大宣传力度，通过各种途径，大力宣传使用 CGCS2000 的先进性和必要性、国家政策和要求，及时通报工作进展，提高各方面认识。要重视对测绘资质单位的宣传，使其在测绘生产中自觉地使用新坐标系。

§ 3. 基本概念

3. 坐标系与坐标框架

坐标系是定义坐标如何实现的一套理论方法。包括定义原点、基本平面和坐标轴的指向，同时还包括基本的数学和物理模型。

坐标系根据原点位置的不同可分为参心坐标系、地心坐标系、站心（测站中心）坐标系。

坐标系从其表现形式上可以分为空间直角坐标系、空间大地

坐标系、站心直角坐标系、极坐标系和曲面坐标系等。从维数上可分为二维坐标系、三维坐标系等。

坐标框架是实现一个特定坐标系而设置的参考点及其坐标属性的集合。考虑坐标变化时，还需要一个时间历元，故时间尺度也是坐标参考框架的一部分。在参考框架下，其他点的坐标可以通过其相对于这些参考点位置的观测量来确定。

4. 总地球椭球和参考椭球

地球椭球：旋转椭球体与地球形体非常接近，旋转椭球面是一个形状规则的数学表面，在其上可以做严密的计算，而且所推算的元素（如长度、角度）同大地水准面上的相应元素非常接近。我们就把这种用来代表地球形状的椭球称为地球椭球。

总地球椭球：在全球范围内与大地体最为密合的椭球，简称总椭球。它应满足下面几个条件：

- （1）椭球质量等于地球质量，二者的旋转角速度相等；
- （2）椭球体积与大地体体积相等，它的表面与大地水准面之间的差距平方和为最小；
- （3）椭球中心与地心重合，椭球短轴与地球平自转轴重合，大地起始子午面与天文起始子午面平行。

要确定总椭球，必须在整个地球表面上布设联成一体的天文大地网和进行全球性的重力测量。

参考椭球：为了大地测量的实际需要，各个国家和地区只根据局部的天文、大地和重力测量资料，研究局部大地水准面的情况，确定一个与总椭球接近的椭球，以表示地球的大小，作为处

理大地测量成果的依据。这样的椭球只能较好地接近局部地区的大地水准面，不能反映大地体的情况，所以叫做参考椭球。它代表地球的数学表面。

5. 参心坐标系

参心坐标系是各个国家为了研究局部地球表面的形状，在使地面测量数据归算至椭球的各项改正数最小的原则下，选择和局部区域的大地水准面最为密合的椭球作为参考椭球建立的坐标系。“参心”意指参考椭球的中心。参考椭球的中心一般和地球质心不一致。

一个国家参心坐标系的建立到实现一般要经过 1) 定义椭球的大小；2) 进行椭球定位和定向，即确定椭球相对于地球的位置；3) 确定参心坐标系的大地原点；4) 进行地面观测建立各点与原点之间的相对关系；5) 观测值平差获得各点的坐标。

由于各个国家定义的参考椭球不同，或采用相同的参考椭球，但参考椭球的定位与定向不同，因而有不同的参心坐标系。我国的 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系以及新 1954 年北京坐标系，均是参心坐标系。

椭球定义

定义椭球的大小，主要是椭球的长半轴和椭球的偏率两个参数。

各基准基本参数表

坐标系统 地球椭球	1954 年 北京坐标系	1980 西安坐标系	WGS 84	2000 国家 大地坐标系
椭球名称	克拉索夫斯基	1980 大地坐标系	WGS-84	CGCS2000
建成年代	50 年代	1982	1984	2008
椭球类型	参考椭球	参考椭球	总地球椭球	总地球椭球
a (m)	6378245	6378140	6378137	6378137
f	1: 298.3	1: 298.257	1: 298.257223563	1: 298.257222101

椭球定位与定向

就是确定椭球中心的位置。分为两类：局部定位和地心定位。

(1) 局部定位：要求在一定范围内椭球面与大地水准面最佳符合，对椭球中心位置无特殊要求；

(2) 地心定位：要求在全球范围内椭球面和大地水准面最佳符合，同时要求椭球中心与地心重合或最为接近。

无论是局部还是地心定位，都必须满足两个平行条件：①椭球短半轴平行于地球自转轴；②大地起始子午面平行于天文起始子午面。定位又分为一点定位和多点定位。

一点定位是指在大地原点，椭球的法线方向和铅垂线方向重合，椭球面和大地水准面相切；

多点定位：利用许多拉普拉斯点（即测定了天文经度、天文纬度和天文方位角的大地点）的测量成果和已有的椭球参数，按照广义弧度测量方程按椭球面与大地水准面差距的平方和为最小这一条件，通过计算进行定位和定向。

一点定位的结果在较大范围内往往难以使椭球面与大地水

准面密合。所以在国家或地区的天文大地测量工作进行到一定的时候或基本完成后。如 1954 年北京坐标系是以这种方式建立的。

多点定位的结果使椭球面在大地原点不再同大地水准面相切，但在所使用的天文大地网资料的范围内，椭球面与大地水准面最佳密合。1980 西安坐标系是通过多点定位建立的。

椭球定向实质上是指椭球旋转轴的指向。

参考椭球定位定向的实现包括以下几个方面的内容：

- (1) 确定椭球的大小和形状及其物理特性，即四个基本参数；
- (2) 确定椭球的中心位置，即参考椭球的定位；
- (3) 确定以椭球中心为原点的空间直角坐标系坐标轴的指向，即参考椭球的定向；
- (4) 确定大地原点。

大地原点

大地原点亦称“大地基准点”。是国家平面控制网中推算大地坐标的起算点。通常在国家大地网中选一个比较适中的三角点作为原点，高精度测定它的天文经纬度和到另一个三角点的天文方位角，根据参考椭球定位的方法，求得该点的大地经纬度、大地高和到另一点的大地方位角。这些数据称为“大地基准数据”。以此推算其他三角点、导线点的大地坐标。我国 1980 西安坐标系是以西安大地原点为起算点，根据该原点推算其它点位在该坐标系下的坐标。

大地原点一般选在特定范围的中心位置，其坐标通过各种方

法综合确定。如 1980 西安坐标系以我国范围内高程异常平方和最小为条件,采用多点定位的结果确定椭球定位和定向。并由此推算大地原点在此坐标系的坐标作为起算数据,推算其他各点的坐标。1980 西安坐标系的大地原点设在我国中部地区,可使推算坐标的精度比较均匀。因此大地原点坐标决不是 $(0, 0, 0)$,而是与大地原点在椭球上所处具体位置密切相关的 (B_k, L_k, H_k) 。按多点定位解得的大地原点的垂线偏差和高程异常值分别为

$$\xi_0 = -1.9'', \eta_0 = -1.6'', \zeta_0 = -14.0\text{m}$$

6. 参心坐标框架-国家天文大地网

国家天文大地网是在全国领土范围内,由互相联系的大地测量点(简称大地点)构成,大地点上设有固定标志,以便于长期保存。

国家大地网采用逐级控制、分级布设的原则,分一、二、三、四等。主要由三角测量法布设,在西部困难地区采用导线测量法。一等三角锁沿经线和纬线布设成纵横交叉的三角锁系,锁长 $200 \sim 250\text{km}$,构成许多锁环。一等三角锁内由近于等边的三角形组成,边长为 $20 \sim 30\text{km}$ 。二等三角测量有两种布网形式,一种是由纵横交叉的两条二等基本锁将一等锁环划分成 4 个大致相等的部分,这 4 个空白部分用二等补充网填充,称纵横锁系布网方案。另一种是在一等锁环内布设全面二等三角网,称全面布网方案。二等基本锁的边长为 $20 \sim 25\text{km}$,二等网的平均边长为 13km 。一等锁的两端和二等网的中间,都要测定起算边长、天文经纬度和方位角。所以国家一、二等网合称为天文大地网。我

国天文大地网于 1951 年开始布设, 1961 年基本完成, 1975 年修补测工作全部结束, 全网约有 5 万个大地点。

中国国家天文大地网规模之大、网形之佳和质量之优, 在全世界居于前列; 布设速度之快也是空前的, 这是我国测绘界几代人艰苦奋斗的结果。

7. 1954 年北京坐标系

原苏联 1942 年普尔科沃坐标系的坐标为起算数据, 平差我国东北及东部区一等锁, 这样传算过来的坐标系就定名为 1954 年北京坐标系。因此, 1954 年北京坐标系可归结为:

- a. 属参心大地坐标系;
- b. 采用克拉索夫斯基椭球的两个几何参数;
- c. 大地原点在原苏联的普尔科沃;
- d. 采用多点定位法进行椭球定位;
- e. 高程基准为 1956 年青岛验潮站求出的黄海平均海水面;
- f. 高程异常以原苏联 1955 年似大地水准面重新平差结果为起算数据。按我国天文水准路线推算而得。

8. 1980 西安坐标系

1980 西安坐标系采用的是 IUGG1975 年推荐的椭球参数, 根据多点椭球定位方式进行定位, 并对全国天文大地网进行整体平差后建立的。1980 西安坐标系采用多点定位, 在我国按 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 间隔, 均匀选取 922 个点, 组成弧度测量方程, 按高程异常平方和最小原则确定大地原点的垂线偏差和高程异常。

椭球短轴平行于地球地轴(由地球质心指向 1968. 0JYD 地极

原点方向)；首子午面平行于格林尼治平均天文子午面；椭球面同似大地水准面在我国境内最密合；

正常高以 1956 年青岛验潮站求出的黄海平均水面为基准。

9. 新 1954 年北京坐标系

新 1954 年北京坐标系在 1980 西安坐标系的基础上，将基于 IUGG1975 年椭球参数的 1980 西安坐标系平差成果整体转换为基于克拉索夫斯基椭球参数的坐标值，并将 1980 西安坐标系坐标原点空间平移建立起来的。

10. 相对独立的平面坐标系

我国各大中城市和地区为当地规划和建设的需要，建立的城市坐标系和地区坐标系，这些坐标系的特点是相互独立、使用方便，但与地心坐标系不发生联系，与国家坐标系的关系也不精确。在常规测量中，这种相对独立的平面坐标系（又称地方独立坐标系）一般只是一种高斯平面坐标系，也可以说是一种不同于国家坐标系的参心坐标系。

11. 地心坐标系

地心坐标系是以地球质量中心为原点的坐标系统，其椭球中心与地球质心重合，且椭球定位与全球大地水准面最为密合。通常用两种表现形式，地心直角坐标系与地心大地坐标系。

地心空间直角坐标系的定义为：原点 O 与地球质心重合， Z 轴指向地球北极， X 轴指向格林尼治平子午面与地球赤道的交点 E ， Y 轴垂直于 XOZ 平面构成右手坐标系。

地心大地坐标系的定义为：地球椭球的中心与地球质心重

合，椭球的短轴与地球自转轴相合，大地纬度 B 为过地面点的椭球法线与椭球赤道面的夹角，大地经度 L 为过地面点的椭球子午面与格林尼治平大地子午面之间的夹角，大地高 H 为地面点沿椭球法线至椭球面的距离。

12. 国际地球参考系 (ITRS)

国际地球参考系 (International Terrestrial Reference System, ITRS) 是由国际地球自转服务局 (International Earth Rotation Service IERS) (Conventions, 1996) 定义的一种协议地球参考系统，它的定义为：

原点位于地球质心，地球质心是包括海洋和大气的整个地球的质量中心；

长度尺度为 m (SI)，是在广义相对论框架下的定义；

坐标轴的初始定向与国际时间局 BIH1984.0 历元的定义一致；

定向的时间演化相对于地壳不产生残余的全球性旋转，即要满足 NNR (No - Net - Rotation) 条件。

由 IERS 根据一定要求，在地球表面建立地面观测台站进行空间大地测量，并根据协议地球参考系的定义，采用一组国际推荐的模型和常数系统，对观测数据进行处理，解算出各观测台站在某一历元的台站坐标及速度场。由此建立的国际地球参考框架 (ITRF)，就是国际地球参考系的具体实现。

13. 国际地球参考框架

国际地球参考系 (ITRS) 的实现方式是国际地球参考框架

(International terrestrial Reference Frame ITRF), 即它是通过一组固定于地球表面而且只作线性运动的大地点的坐标及坐标变化速率组成, 这些站点装备有不同的空间大地测量系统, 并由 IERS 中心局的地球参考框架部负责建立和维护。

定义一个空间直角坐标系必须明确规定: 坐标原点的位置、坐标轴的指向、长度单位。框架原点、定向、尺度均隐含在 IERS 所确定的基本站的直角坐标与速度场中。框架原点位于地球质量中心, 其中心误差小于 10cm, Z 轴为北天极, 尺度为国际单位米, 需通过具有高精度且满足下列条件的站点来实现 ITRF 网的建立。连续观测至少 3 年; 远离板块边缘及变形区域; 速度精度优于 3mm/年; 至少 3 个不同解的速度残差小于 3mm/年。

14. 历元

(1) 星表(星图)历元: 由于岁差和章动以及自行的影响, 各种天体的天球坐标都随时变化。因此, 星表(星图)所列的各种天体的天球坐标, 都只能是对应于某一特定时刻的, 所以需要注明属于某一历元, 如 1950.0、1975.0 等, 这种历元称为星表(星图)历元。在使用星表(星图)时, 可以利用岁差、章动和自行的资料, 将各种天体对应于星表(星图)历元的天球坐标换算为使用时刻的天球坐标。

(2) 参考历元: 某组框架点坐标实际上都对应一个时间。

15. 2000 国家大地坐标系

2000 国家大地坐标系的原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心; 2000 国家大地坐标系的 Z 轴由原点指向历元 2000.0

的地球参考极的方向,该历元的指向由国际时间局给定的历元为 1984.0 作为初始指向来推算,定向的时间演化保证相对于地壳不产生残余的全球旋转;X 轴由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面(历元 2000.0)的交点;Y 轴与 Z 轴、X 轴构成右手正交坐标系。2000 国家大地坐标系的尺度为在引力相对论意义下的局部地球框架下的尺度。

2000 国家大地坐标系采用的地球椭球参数数值为:

长半轴 $a = 6378137\text{m}$

扁率 $f = 1/298.257222101$

地心引力常数 $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

自转角速度 $\omega = 7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

16. 2000 国家大地坐标系坐标框架

2000 国家大地坐标系的框架由 2000 国家大地控制网点组成。包括 2000 国家 GPS 大地控制网,2000 国家大地坐标系下的近 5 万个一、二等天文大地网点,近 10 万个三、四等天文大地网点。

按精度不同可划分为三个层次:

(1) 2000 国家 GPS 大地控制网中的连续运行观测站,其精度为毫米级。

(2) 国家测绘局 GPSA、B 级网、总参测绘局 GPS 一、二级网以及由中国地震局、总参测绘局、中国科学院、国家测绘局共建的中国地壳运动观测网,还有其他地壳形变 GPS 监测网等中除了 CORS 站以外的所有站。2000 国家 GPS 大地网提供的地

心坐标的精度平均优于 $\pm 3\text{cm}$ 。

(3) 2000 国家大地坐标系下的一、二、三、四等天文大地网点。一、二等 48919 个天文大地网点的高精度地心坐标，平均点位精度达到 $\pm 0.11\text{m}$ 。

2000 国家 GPS 大地控制网组成：由国家测绘部门布设的 A、B 级网；总参测绘局布设的 GPS 一、二级网；中国地震局、总参测绘局、中国科学院、国家测绘局共建的中国地壳运动观测网，还有其他地壳形变 GPS 监测网等。共有国内 2542 个 GPS 点（其中 CORS 站 25 个），经统一处理后网点相对精度 10^{-7} 以上，2000 国家 GPS 大地网提供的地心坐标的精度平均优于 $\pm 3\text{cm}$ 。

17. WGS84 坐标系

定义：WGS84 坐标系的原点为地球质心 M；Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议地极（Conventional Terrestrial Pole, CTP）；X 轴指向 BIH1984.0 定义的零子午面与 CTP 相应的赤道的交点；Y 轴垂直于 XMZ 平面，且与 Z 轴、X 轴构成右手坐标系。

截止 2004 年 8 月 WGS84 坐标系共进行了三次修订，第一次在 1994 年，称为“WGS (G730)”，第二次在 1996 年，称为“WGS (G873)”，第三次在 2001 年，称为“WGS84 (G1150)”。

WGS84 坐标系采用的椭球，称为 WGS84 椭球，4 个基本参数如下：

长半径 $a = 6378137 \pm 2\text{m}$;

地心(含大气层)引力常数

$$GM = (3986004.418 \pm 0.008) \times 10^8 \text{m}^3 \text{s}^{-2};$$

扁率

$$f = 1/298.257223563;$$

地球自转角速度

$$\omega = (7292115 \times 10^{-11} \pm 0.1500 \times 10^{-11}) \text{rad/s}。$$

18. 板块运动

1965 年加拿大学者 J.T.威尔逊建立转换断层概念并指出,连绵不绝的活动带网络将地球表层划分为若干刚性板块。1967 ~ 1968 年法国人 X. 勒皮雄、美国人 D.P.麦肯齐将转换断层概念外延到球面上,定量地论述了板块运动,确立了板块构造学的基本原理。1968 年,法国地质学家勒皮雄把地球的岩石层划分为六个大板块,ITRF 框架不同时期推荐使用不同时期采用不同的板块模型,目前推荐采用的 NNR NUVEL 板块模型是基于 14 个板块构建的。所有这些板块,都漂浮在具有流动性的地幔软流层之上。随着软流层的运动,各个板块也会发生相应的水平运动。板块相对运动一般是指地球表面一个板块对于另一个板块的相对运动。板块的绝对运动是指板块相对于深层地幔(地幔—热点)的运动。相对于深层地幔平均位置固定的框架,称为板块绝对运动参考架(参照系),这种参考架是通过热点和岩石圈的无整体旋转(No-net-rotation)或称为平均岩石圈参考架来实现的。各个台站均位于不同的板块并和板块一起运动,因此不同的时间台站的位置也不相同。

19. 板块运动改正

不同历元下的成果转换到 2000 国家大地坐标系所在的 2000.0 历元下需进行板块运动改正,方法如下:

根据观测台站速度值和观测历元 t_o 与需转换历元 t_i 的历元差,

求出框架所对应历元下的坐标由于板块运动引起的坐标变化值，将观测历元转换为转换公式为

$$\begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{t_c} \\ Y_{t_c} \\ Z_{t_c} \end{bmatrix} + (t - t_c) \begin{bmatrix} \dot{X}_s \\ \dot{Y}_s \\ \dot{Z}_s \end{bmatrix}$$

式中，

t_c ——观测历元

t ——需转换历元

X_t, Y_t, Z_t ——历元 t 时的坐标

$X_{t_c}, Y_{t_c}, Z_{t_c}$ ——观测历元 t_c 时的坐标

$\dot{X}_s, \dot{Y}_s, \dot{Z}_s$ ——观测台站速度值

20. “4D” 产品

随着测绘技术和计算机技术的结合与不断发展，地图不再局限于以往的模式。国家测绘地理信息局及地方测绘部门经过 20 多年来的空间信息化建设，目前可提供的主要数字地图产品包括：DOM（数字正射影像图）、DEM（数字高程模型）、DRG（数字栅格地图）、DLG（数字线划地图，即矢量地图），简称“4D”产品。

数字正射影像图（DOM）

数字正射影像图（Digital Orthophoto Map，简称 DOM）是将航空影像扫描数据或航天遥感数据，经过辐射校正、几何校正，并利用数字高程模型进行投影差改正，有时附之以主要居民地、地名、境界等矢量数据，按图幅范围裁切生成的影像数据集合。影像可以是全色、假彩色或真彩色，其信息丰富直观，具有良好

的可判读性和可量测性，从中可直接提取自然地理和社会经济信息。

数字高程模型（DEM）与数字地形模型（DTM）

数字高程模型（Digital Elevation Model，简称 DEM）。它是用一组有序数值阵列形式表示地面高程的一种实体地面模型，是数字地形模型（Digital Terrain Model，简称 DTM）的一个分支。一般认为，DTM 是描述包括高程在内的各种地貌因子，如坡度、坡向、坡度变化率等因子在内的线性和非线性组合的空间分布，其中 DEM 是零阶单纯的单项数字地貌模型，其他如坡度、坡向及坡度变化率等地貌特性可在 DEM 的基础上派生。DTM 的另外两个分支是各种非地貌特性的以矩阵形式表示的数字模型，包括自然地理要素以及与地面有关的社会经济及人文要素，如土壤类型、土地利用类型、岩层深度、地价、商业优势区等等。实际上 DTM 是栅格数据模型的一种。它与图像的栅格表示形式的区别主要是：图像是用一个点代表整个像元的属性，而在 DTM 中，格网的点只表示点的属性，点与点之间的属性可以通过内插计算获得。

数字高程模型可制作透视图、断面图，进行工程土石方计算、表面覆盖面积统计，用于与高程有关的地貌形态分析、通视条件分析、洪水淹没区分析。

数字栅格地图（DRG）

数字栅格地图（Digital Raster Graphic，简称 DRG）是纸制地形图的栅格形式的数字化产品。可作为背景与其他空间信息相

关，用于数据采集、评价与更新，与 DOM、DEM 集成可派生出新的可视信息。

数字栅格地图数据库是空间型数据库。它是将已经出版的地形图进行扫描，经过几何校正、色彩校正和编辑处理，建成的栅格数据库。

国家基础地理信息系统全国 1:5 万数字栅格地图数据库是现有 1:5 万模拟地形图的数字形式。

数字线划地图 (DLG)

数字线划地图 (Digital Line Graphic, 简称 DLG) 现有地形图上基础地理要素分层存储的矢量数据集。数字线划图既包括空间信息也包括属性信息，可用于建设规划、资源管理、投资环境分析等各个方面以及作为人口、资源、环境、交通、治安等各专业信息系统的空间定位基础。

§ 4. 2000 国家大地坐标系与现行坐标系关系

21. 采用 2000 国家大地坐标系对现有地图的影响

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。一般来说，局部坐标系的原点偏离地心较大（最大的接近 200m），无论是 1954 年北京坐标系，还是 1980 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。计算结果表明，1954 年北京坐标系改变为 2000 国家大地坐标系。在 $56^{\circ} \text{ N} \sim 16^{\circ} \text{ N}$ 和 $72^{\circ} \text{ E} \sim 135^{\circ} \text{ E}$ 范围内若不

考虑椭球的差异, 1954 年北京坐标系下的地图转换到 2000 系下图幅平移量为: X 平移量为 $-29 \sim -62\text{m}$, Y 方向的平移量为 $-56 \sim +84\text{m}$ 。1980 西安坐标系下的 X 平移量为 $-9 \sim +43\text{m}$, Y 方向的平移量为 $+76 \sim +119\text{m}$ 。因此, 坐标系的更换在 1:25 万以大比例尺地形图中点(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。对于 1:25 万以小地形图, 由坐标系更换引起图廓点坐标的变化以及图廓线长度和方位的变动在制图精度内, 可以忽略其影响, 对于 1:25 万比例尺地形图, 考虑到实际成图精度, 实际转换时也无需考虑转换。

根据实际计算表明, 由于坐标系的转换引起的各种比例尺地形图任意两点的长度(包括图廓线的长度)和方位变动在制图精度以内, 可以忽略不计。也就是说, 采用地心坐标系时, 只移动图幅的图廓点, 而图廓线与原来的图廓线平行即可, 且坐标系变更不改变图幅内任意两地物之间的位置关系。

22. WGS84 坐标系与 2000 国家大地坐标系的关系

在定义上, 2000 国家大地坐标系与 WGS84 是一致的, 即关于坐标系原点、尺度、定向及定向演变的定义都是相同的。两个坐标系使用的参考椭球也非常相近, 唯有扁率有微小差异。而在实际点位表示时, 仅考虑椭球的差异, 两者的结果是一致的, 但因 2000 国家大地坐标系的坐标定义在 2000 年那一时刻, 而大多数应用实际上是在不同时间进行定位, 因地球上的板体是在不断运动的, 不同时刻位于地球不同板块上站点的实际位置是在变化的, 已经偏离了 2000 年的位置。因此不同时间定位的得到的

WGS84 坐标不是严格意义下的 2000 国家大地坐标系。如基于当前框架当前历元（如 2009 年）坐标值与 2000 国家大地坐标系的相比，最大差 0.6m。但对于 1:1 万以小比例尺的应用，可简单近似地认为是同一坐标系。

23. GNSS 后处理定位结果与 2000 国家大地坐标系关系

用高精度 GNSS 定位软件处理后得到的各站点坐标是与观测时刻卫星星历定义的基准是一样的，卫星在不同时间段采用的是不同的 ITRF 框架，但不同框架最大的差异在 cm 量级，差异主要体现在板块运动引起的点位变化，站点位于不同的板块上，随板块一起运动，若按我国平均点运动速率为 2-3cm/年，以 10 年计，点位相距定义时点坐标已变化了 20-30cm。因此 GNSS 后处理得到的站点坐标需顾及点位移动速率才能得到 2000 国家大地坐标系的坐标。

24. 坐标系变化对图幅点间距离的影响

不同坐标系间椭球体的变更在不同区域、不同图幅、同一图幅的不同位置上其产生的点位坐标变化量是不均匀，但鉴于其不均衡性相差很小，故对于 1:5 万以至 1:1 万地形图数据精度而言，其图廓边长、图幅内不同点间的相对距离在数据转换后仍保持不变。

25. 不同椭球变化对图幅表示的影响

1954 年北京坐标系到 1980 西安坐标系或 2000 国家大地坐标系的数据转换在考虑坐标平移参数时，还必须进行椭球体间的变换；而 1980 西安坐标系到 2000 国家大地坐标系的转换，其椭

球体带来的坐标位移很小，考虑到空间数据库的实际精度、转换误差与数据后处理等因素，其椭球体变换过程可忽略；

空间上相同经纬度坐标点在 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系及 2000 国家大地坐标系下具有不同的大地平面坐标（统一采用高斯投影 6 度分带）。各坐标系下的地图分幅对于空间同一实体而言位置不同，因此原标准图廓分幅线不再具有原图廓线性质，如 1:5 万分幅数据转换后对于其 2000 国家大地坐标系下的标准分幅而言，其图幅四边会存在两测数据冗余、两测数据未到边的情况；

1954 年北京坐标系下的地图转换到 2000 系下图幅平移量为：X 平移量为 $-29 \sim -62\text{m}$ ，Y 方向的平移量为 $-56 \sim +84\text{m}$ 。对应 1:5 万图幅图廓平移量 X 方向约 1.2mm 、Y 方向约 1.7mm ，1980 西安坐标系下的 X 平移量为 $-9 \sim +43\text{m}$ ，Y 方向的平移量为 $+76 \sim +119\text{m}$ 。对应 1:5 万图幅图廓平移量 X 方向约 0.8mm 、Y 方向约 2.4mm 。可见不同坐标系下转换后数据接边与重合不容忽视；

26. CGCS2000 图更新周期

2000 国家大地坐标系基本比例尺地形图更新，主要考虑点位变化速率对点表示到图上的影响精度是否超出了允许范围。我国点位变化速率平均为 $3 - 4\text{cm}/\text{年}$ ，距离 2000.0 历元时间跨度不同时，对点位影响量级见下表：

年跨度	变化量
10	0.3 - 0.4 m
20	0.6 - 0.8m
30	0.9 - 1.2m
40	1.2 - 1.6m
50	1.5 - 2.0m
60	1.8 - 2.4m
70	2.1 - 2.8m
80	2.4 - 3.2m
90	2.7 - 3.6m

对于基本比例尺地形图图上的实际精度主要地物点为 0.4mm，次要地物点为 0.7mm，对应到相应的比例尺，其实际精度为：

比例尺	实地误差	
	主要地物	次要地物
1: 500	0.2	0.35
1: 1000	0.4	0.70
1: 5000	2.0	3.50
1: 10000	4.0	7.00

10 年后 1:500、1:1000 地图而言点位的变化已超过了制图精度，对于注重绝对位置变化需要更新，但 1:500 及 1:1000 工程与城市建设用图，只关心地物的相对位置而不是绝对位置，可以不更新。1:5000 比例尺 50 年后需要更新。1:10000 则 90 年后才需要更新。

§ 5. 控制点坐标转换

27. 大地控制点分类

大地控制点有：

- a) 国家级 CORS 站点
- b) 2000 国家 GPS 大地控制网点

- c) 国家一、二、三、四等天文大地点
- d) 省级 CORS 站点
- e) 省市级卫星大地控制网 C 级、D 级点
- f) 其他 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系及相对独立的平面坐标系下的控制点

28. 控制点用途

高等级控制点可用于低等级控制网的外部控制;可用于 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系坐标成果转换为 2000 国家大地坐标系坐标成果时计算坐标转换参数。

- a) 国家级 CORS 站点: 可作为省级 CORS 网建设的控制点。
- b) 省级 CORS 站点: 可作为省级、市、县城市基础建设控制网点。
- c) 2000 国家 GPS 大地控制网点: 可作为天文大地点控制点及相对独立坐标系建立控制点。
- d) 省市级卫星大地控制网 C 级、D 级点: 相对独立坐标系建立控制点。
- e) 国家一、二等天文大地点: 可作为三、四等天文大地点的控制点使用。
- f) 国家三、四等天文大地点: 可作为测图控制点使用; 三等及以上天文大地点坐标成果可作为像控点的起算点。

29. 控制点坐标转换模型

(1) 不同空间直角大地坐标系间的变换

不同地球椭球基准下的空间直角大地坐标系间点位坐标

转换,换算公式为布尔沙模型。涉及七个参数,即三个平移参数,三个旋转参数和一个尺度变化参数。

(2) 不同大地坐标系间变换

a) 三维七参数坐标转换模型: 用于不同地球椭球基准下的大地坐标系间点位坐标转换,涉及三个平移参数,三个旋转参数和一个尺度变化参数,同时需顾及两种大地坐标系所对应的两个地球椭球长半轴和扁率差。

b) 二维七参数转换模型: 用于不同地球椭球基准下的椭球面上的点位坐标转换,涉及三个平移参数,三个旋转参数和一个尺度变化参数。

c) 三维四参数转换模型: 用于局部坐标系间的坐标转换,涉及三个平移参数和一个旋转参数。

d) 二维四参数转换模型: 用于范围较小的不同高斯投影平面坐标转换,涉及两个平移参数,一个旋转参数和一个尺度参数。对于三维坐标,需将坐标通过高斯投影变换得到平面坐标,再计算转换参数。

e) 多项式拟合模型: 用于全国/全省或相对独立的平面坐标系转换。

30. 不同空间直角大地坐标系间的变换模型

适用于不同地球椭球基准下的空间直角大地坐标系间点位坐标转换。转换公式为:

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & R_z & -R_y \\ -R_z & D & R_x \\ R_y & -R_x & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

式中,

X_1, Y_1, Z_1 ——原坐标系坐标

X_2, Y_2, Z_2 ——目标坐标系坐标

$T_x, T_y, T_z, D, R_x, R_y, R_z$ ——七参数

31. 三维七参数坐标转换模型

不同地球椭球基准下的大地坐标系间点位坐标转换。转换

公式为:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Delta L \\ \Delta B \\ \Delta H \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{\sin L}{(N+H)\cos B}\rho'' & \frac{\cos L}{(N+H)\cos B}\rho'' & 0 \\ -\frac{\sin B\cos L}{(M+H)}\rho'' & -\frac{\sin B\sin L}{(M+H)}\rho'' & \frac{\cos B}{(M+H)}\rho'' \\ \cos B\cos L & \sin B\sin L & \sin B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} \frac{N(1-e^2)+H}{N+H}\operatorname{tg}B\cos L & \frac{N(1-e^2)+H}{N+H}\operatorname{tg}B\sin L & -1 \\ -\frac{(N+H)-Ne^2\sin^2 B}{M+H}\sin L & \frac{(N+H)-Ne^2\sin^2 B}{M+H}\cos L & 0 \\ -Ne^2\sin B\cos B\sin L/\rho'' & Ne^2\sin B\cos B\cos L/\rho'' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{N}{M}e^2\sin B\cos B\rho'' \\ (N+H)-Ne^2\sin^2 B \end{bmatrix} \cdot D + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{N}{Ma}e^2\sin B\cos B\rho'' & \frac{(2-e^2\sin^2 B)}{1-f}\sin B\cos B\rho'' \\ -\frac{N}{a}(1-e^2\sin^2 B) & \frac{M}{1-a}(1-e^2\sin^2 B)\sin^2 B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta f \end{bmatrix} \end{aligned}$$

式中,

$e^2 = 2f - f^2$, 第一偏心率的平方, 无量纲

$M = \frac{a(1-e^2)}{(\sqrt{1-e^2\sin^2 B})^3}$, 地球椭球子午圈曲率半径, 单位为米

$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B}}$, 地球椭球卯酉圈曲率半径, 单位为米

$B, L, H, \Delta B, \Delta L, \Delta H$ ——点位的纬度、经度、大地高, 及其在两个坐标系下纬度差、经度差、大地高差。经纬度单位为弧度, 其差值单位为弧度秒, 大地高及其差值单位为米。

$\rho = 180 \times 3600 / \pi$, 单位弧度秒

$a, \Delta a$ ——椭球长半轴和长半轴差, 单位为米

$f, \Delta f$ ——椭球扁率和扁率差, 无量纲

T_x, T_y, T_z ——平移参数, 单位为米

R_x, R_y, R_z ——旋转参数, 单位为弧度秒

D ——尺度参数, 无量纲

32. 二维七参数转换模型

不同地球椭球基准下的大地坐标系间点位坐标转换。对于 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系向 2000 国家大地坐标系的转换, 由于这两个参心系下的大地高的精度较低, 建议采用二维七参数转换。转换公式为:

$$\begin{bmatrix} \Delta L \\ \Delta B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sin L}{N \cos B} \rho'' & \frac{\cos L}{N \cos B} \rho'' & 0 \\ -\frac{\sin B \cos L}{M} \rho'' & -\frac{\sin B \sin L}{M} \rho'' & \frac{\cos B}{M} \rho'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \operatorname{tg} B \cos L & \operatorname{tg} B \sin L & -1 \\ -\sin L & \cos L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{N}{M} e^2 \sin B \cos B \rho'' \end{bmatrix} \cdot D + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{N}{Ma} e^2 \sin B \cos B \rho'' & \frac{(2 - e^2 \sin^2 B)}{1 - f} \sin B \cos B \rho'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta f \end{bmatrix}$$

式中,

e^2 ——第一偏心率平方, 无量纲

M, N ——地球椭球基本元素, 子午线曲率和卯酉圈曲率半径, 单位为米

$B, L, \Delta B, \Delta L$ ——点位纬度、经度, 及其在两个坐标系下的纬度差、经度差。

经纬度单位为弧度, 其差值单位为弧度秒。

$\rho = 180 \times 3600 / \pi$, 单位弧度秒

$a, \Delta a$ ——椭球长半轴和长半轴差, 单位为米

$f, \Delta f$ ——椭球扁率和扁率差, 无量纲

T_x, T_y, T_z ——平移参数, 单位为米

R_x, R_y, R_z ——旋转参数, 单位为弧度秒

D ——尺度参数, 无量纲

33. 三维四参数转换模型

用于局部 1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系向 2000 国

家大地坐标系间的点位坐标转换。采用 T_x , T_y , T_z 3 个坐标平移量和 1 个控制网水平定向旋转量 α 作为参数。 α 是以区域中心 P_0 点法线为旋转轴的控制网水平定向旋转量, 顾及 1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系平面坐标由于起始定向与 2000 国家大地坐标系的差异引起的坐标变化。

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_C \cos B_0 \sin L_0 - Y_C \sin B_0 \\ -Z_C \cos B_0 \cos L_0 + X_C \sin B_0 \\ Y_C \cos B_0 \cos L_0 - X_C \cos B_0 \sin L_0 \end{bmatrix} \cdot \alpha$$

B_0 , L_0 ——区域中心 P_0 点的大地经、纬度, 单位为弧度

X_G, Y_G, Z_G ——2000 国家大地坐标系下的坐标, 单位为米

X_C, Y_C, Z_C ——参心坐标系 (1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系) 坐标, 单位为米。

待定参数:

T_x , T_y , T_z ——坐标平移量, 单位为米

α ——为旋转参数, 单位为弧度

34. 二维四参数转换模型

用于范围较小的不同高斯投影平面坐标转换。转换公式为:

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}$$

式中:

x_1, y_1 ——原坐标系下平面直角坐标, 单位为米

x_2, y_2 ——2000 国家大地坐标系下的平面直角坐标, 单位为米

$\Delta x, \Delta y$ ——为平移参数, 单位为米

α ——为旋转参数, 单位为弧度

m ——尺度参数, 无量纲

35. 多项式拟合模型

不同范围的坐标转换均可用多项式拟合。但转换后的精度需进行检核。实用中有两种形式，椭球面上和平面表现形式。椭球面上适用于全国或大范围的拟合；平面拟合多用于相对独立的平面坐标系统转换。

椭球面上拟合公式：

$$dB = \alpha_0 + \alpha_1 B + \alpha_2 L + \alpha_3 BL + \alpha_4 B^2 + \alpha_5 L^2$$

$$dL = \beta_0 + \beta_1 L + \beta_2 B + \beta_3 BL + \beta_4 L^2 + \beta_5 B^2$$

式中：

B, L 为纬度和经度，以弧度为单位。 α, β 为多项式拟合系数，通过最小二乘求解。

平面拟合公式：

$$x_2 = x_1 + \Delta x$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y$$

式中：

x_1, y_1 ——原平面直角坐标

x_2, y_2 ——目标平面直角坐标

$\Delta x, \Delta y$ ——坐标转换改正量，用下式计算：

$$\Delta x \text{ 或 } \Delta y = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^3 + a_7 x^2 y + a_8 xy^2 + a_9 y^3 + \cdots \quad \text{其}$$

中 a_i 为系数，通过最小二乘求解。

36. 坐标转换精度估计

(1) 重合点残差 V

V = 重合点转换坐标值 - 重合点已知坐标值

(2) 点位中误差

$$\text{点位中误差 } M_p = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$$

式中，空间直角坐标 X 残差中误差 $M_x = \pm \sqrt{\frac{[vv]_x}{n-1}}$

$$\begin{aligned} \text{空间直角坐标 Y 残差中误差 } M_y &= \pm \sqrt{\frac{[vv]_y}{n-1}} \\ \text{空间直角坐标 Z 残差中误差 } M_z &= \pm \sqrt{\frac{[vv]_z}{n-1}} \end{aligned}$$

n 为点位个数

(3) 平面点位中误差

$$\begin{aligned} \text{平面点位中误差为 } M_p &= \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \\ \text{式中, 平面坐标 x 残差中误差 } M_x &= \pm \sqrt{\frac{[vv]_x}{n-1}} \\ \text{平面坐标 y 残差中误差 } M_y &= \pm \sqrt{\frac{[vv]_y}{n-1}} \end{aligned}$$

n 为点位个数

37. 控制点坐标转换模型适用范围

a) 三维七参数转换模型: 适用于全国及省级椭球面 3° 及以上不同地球椭球基准下的大地坐标系间控制点坐标转换。

b) 二维七参数转换模型: 适用于全国及省级适用于椭球面 3° 及以上不同地球椭球基准下的大地坐标系间控制点坐标转换。

c) 三维四参数转换模型: 适用于省级以下或局部 2° 以内局部范围控制点坐标转换。

d) 二维四参数转换模型: 适用于省级以下控制点平面坐标转换、相对独立的平面坐标系统与 2000 国家大地坐标系的联系。

e) 多项式拟合模型: 椭球面上适用于全国或大范围的拟合; 平面拟合多用于相对独立的平面坐标系统转换。

38. 控制点坐标转换方法

在控制点坐标转换过程中, 涉及到 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系、WGS84 坐标系、2000 国家大地坐标系间的参考椭

球基准及参数。

(1) 重合点选取原则

选用两个坐标系下均有坐标成果的控制点。选取的基本原则为等级高、精度高、局部变形小、分布均匀、覆盖整个转换区域。

(2) 转换参数计算

- a) 利用选取的重合点和转换模型计算转换参数;
- b) 用得到的转换参数计算重合点坐标残差;
- c) 剔除残差大于 3 倍点位中误差的重合点;
- d) 重新计算坐标转换参数 (重复上述 a)、b)、c) 计算过程), 直到满足精度要求为止;
- e) 最终用于计算转换参数的重合点数量与转换区域大小有关, 但不得少于 6 个;
- f) 根据最终确定的重合点, 按照转换区域范围, 选取适用的转换模型, 利用最小二乘法计算转换参数。

(3) 坐标转换

利用计算的转换参数, 进行坐标转换。

(4) 精度评价

坐标转换精度可采用内符合和外符合精度评价, 依据计算转换参数的重合点残差中误差评估坐标转换精度, 残差小于 3 倍点位中误差的点位精度满足要求。

内符合精度计算公式参见第 33 节; 外部符合精度检核方法如下:

- a) 利用未参与计算转换参数的重合点作为外部检核点, 其

点数不少于 6 个且均匀分布；

b) 选择由转换参数计算的点位坐标与其已知点位坐标进行比较与外部检核。

39. CORS 站点坐标归算方法

适用于 GNSS 点坐标归算到 2000 国家大地坐标系的计算方法。

(1) 基准控制点选取

选取周边稳定的 IGS 站、国内 IGS 站及国家级 CORS 作为省级 CORS 最高级基准控制站。选取原则有：

连续性：测站连续观测近 3 年(或以上)；

稳定性：站点坐标时序稳定性好，具有稳定、可知的点位速度；

高精度：速度场精度优于 3mm/y；

多种解：至少 3 个不同分析中心的速度场残差优于 3mm/y；

平衡性：站点尽量全球分布；

精度一致性：站点位置和速度的精度应当一致。

(2) 数据处理

采用国内外成熟的高精度数据处理软件对 CORS 站数据进行处理与平差，获得各站点在现 ITRF 框架、观测历元下的位置和基线向量。省级 CORS 站作为省级 2000 国家大地坐标系框架基准，需将相邻省的 CORS 站纳入本省 CORS 一同处理。

(3) 板块运动改正：

计算框架所对应历元下坐标从观测历元到需转换历元之间，

由于板块运动引起的坐标变化值。转换公式见 § 3 中的板块运动改正。转换时需要站点运动的速度场信息，可由格网速度场内插得到。

(4) 框架转换

历元归算：不同 ITRF 框架对应的历元不同，需将不同 ITRF 框架下各参数归算到同一历元下。框架间如无直接转换关系，可按间接方法转换。

框架点坐标计算：转换公式参见第 38 节。

(5) 精度评估

转换后的坐标精度在 3cm 以内。

40. 其它点的转换

水准点、像控点、重力点的坐标转换依据控制点转换方法进行转换，转换后精度应满足实际需求。

41. 国际地球参考框架之间的转换

目前的 ITRF 已有 ITRF88, ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008。常用的有 ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000, ITRF2005, ITRF2008。

ITRF 框架之间的转换采用公式：

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

式中，X, Y, Z 为需转换框架中的坐标；X_s, Y_s, Z_s 为要转入的框架的坐标。

转换参数计算时采用公式为：（以转换到 2000 历元为例）

$$T_x(t = 2000.0) = T_x(t_0) + \dot{T}_x \cdot (2000.0 - t_0)$$

$$T_y(t = 2000.0) = T_y(t_0) + \dot{T}_y \cdot (2000.0 - t_0)$$

$$T_z(t = 2000.0) = T_z(t_0) + \dot{T}_z \cdot (2000.0 - t_0)$$

$$R_x(t = 2000.0) = [R_x(t_0) + \dot{R}_x \cdot (2000.0 - t_0)] \cdot m_r$$

$$R_y(t = 2000.0) = [R_y(t_0) + \dot{R}_y \cdot (2000.0 - t_0)] \cdot m_r$$

$$R_z(t = 2000.0) = [R_z(t_0) + \dot{R}_z \cdot (2000.0 - t_0)] \cdot m_r$$

$$D(t = 2000.0) = D(t_0) + \dot{D} \cdot (2000.0 - t_0)$$

从 ITRF2000 转换到 ITRFyy 的转换参数与速率

转换 参数	T_x (cm)	T_y (cm)	T_z (cm)	D ppb	R_x .001"	R_y .001"	R_z .001"	历元 t_0
转换 参数 速率	$\dot{T}_x$ (cm/y)	$\dot{T}_y$ (cm/y)	$\dot{T}_z$ (cm/y)	$\dot{D}$ ppb/y	$\dot{R}_x$.001"/y	$\dot{R}_y$.001"/y	$\dot{R}_z$.001"/y	
ITRF97	0.67	0.61	-1.85	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
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
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
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
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
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
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
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
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
速率	0.00	-0.06	-0.14	0.01	0.00	0.00	0.02	

历元 2000.0 从 ITRF2005 到 ITRF2000 的转换参数及它们的速率

转换参数	T_x (cm)	T_y (cm)	T_z (cm)	D ppb	R_x .001"	R_y .001"	R_z .001"
转换参数速率	$\dot{T}_x$ (cm/y)	$\dot{T}_y$ (cm/y)	$\dot{T}_z$ (cm/y)	$\dot{D}$ ppb/y	$\dot{R}_x$.001"/y	$\dot{R}_y$.001"/y	$\dot{R}_z$.001"/y
	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
速率	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

从 ITRF2008 到 ITRFyy 框架转换参数及它们的速率

框架	转换参数	T_x (mm)	T_y (mm)	T_z (mm)	D ppb	R_x .001"	R_y .001"	R_z .001"	历元
	转换参数速率	$\dot{T}_x$ (mm/y)	$\dot{T}_y$ (mm/y)	$\dot{T}_z$ (mm/y)	$\dot{D}$ ppb/y	$\dot{R}_x$.001"/y	$\dot{R}_y$.001"/y	$\dot{R}_z$.001"/y	
ITRF2005		-2.0	-0.9	-4.7	0.94	0.00	0.00	0.00	2000.0
	速率	0.3	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	
ITRF2000		-1.9	-1.7	-10.5	1.34	0.00	0.00	0.00	2000.0
	速率	0.1	0.1	-1.8	0.08	0.00	0.00	0.00	
ITRF97		4.8	2.6	-33.2	2.92	0.00	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	
ITRF96		4.8	2.6	-33.2	2.92	0.00	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	
ITRF94		4.8	2.6	-33.2	2.92	0.00	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	
ITRF93		-24.0	2.4	-38.6	3.41	-1.71	-1.48	-0.30	2000.0
	速率	-2.8	-0.1	-2.4	0.09	-0.11	-0.19	0.07	
ITRF92		12.8	4.6	-41.2	2.21	0.00	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	
ITRF91		24.8	18.6	-47.2	3.61	0.00	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	
ITRF90		22.8	14.6	-63.2	3.91	0.00	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	
ITRF89		27.8	38.6	-101.2	7.31	0.00	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	
ITRF88		22.8	2.6	-125.2	10.41	0.10	0.00	0.06	2000.0
	速率	0.1	-0.5	-3.2	0.09	0.00	0.00	0.02	

§ 6. 独立坐标系建立联系的方法

42. 独立坐标系建立的方法

根据独立坐标系建立的特点，大致归纳为三种类型，第一种为高斯投影于参考椭球面上任意带平面直角坐标系；第二种为高斯投影于抵偿高程面的平面直角坐标系；第三种为以中心点坐标平移或者坐标加常数和旋转的平面直角坐标系。一般独立坐标系的建立为以上三种常用类型或其组合。

43. 高斯投影于参考椭球面上任意带平面直角坐标系

以城市或区域中心地理位置设定独立坐标系的高斯投影中央子午线，不抬高投影面，这种类型通常采用高斯投影计算方法来实现。

44. 高斯投影于抵偿高程面的任意带平面直角坐标系

通常采用椭球变换法或比例缩放法进行变换。椭球变换法包括椭球膨胀法、椭球平移法和椭球变形法。比例缩放法包括两种方法。

(1) 椭球变换法

1) 椭球膨胀法

在不改变扁率的前提下，改变国家坐标系椭球的长半轴，使改变后的椭球面与平均高程面重合，然后在改变参数后的椭球基础上进行投影。也就是说把中央子午线移到城市或工程建设地区中央，归化高程面提高到该地区的平均高程面。

由于归算面的抬高，相当于椭球扩大形成新椭球，由于只改变椭球半径，不改变椭球的扁率 α ，偏心率也不发生变化，即 $\Delta e^2 = 0$ 。

以独立坐标投影面的大地高 ΔH 作为椭球平均曲率半径的变动量，在独立坐标系中央地区基准点 P_0 上，新椭球（独立坐标系椭球）平均曲率半径：

$$R_{\text{新}} = R + \Delta H = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 B_0} + \Delta H$$

新椭球长半轴为 $a_{\text{新}} = a + \Delta a = a + \frac{1-e^2 \sin^2 B_0}{\sqrt{1-e^2}} \Delta H$

式中： a — 椭球长半轴， e^2 — 椭球第一偏心率的平方，

B_0 — 基准点纬度，即测区平均纬度， ΔH — 平均大地高。

椭球膨胀法近似算法：

以独立坐标投影面的大地高 ΔH 作为椭球长半径的变动量：

$$a_{\text{新}} = a + \Delta a, \quad \Delta a = \Delta H$$

新椭球大地坐标：

$$B_{\text{独}} = B + dB$$

$$L_{\text{独}} = L - 0$$

$$dB = \frac{1}{M + \Delta H} \left(\frac{e_2^2}{W} \Delta a \right) \sin B \cos B$$

式中： $W = \sqrt{(1-e_2^2 \sin^2 B)}$ $M = \frac{a_{\text{新}}(1-e_2^2)}{W^3}$

Δa 为两椭球的长半轴之差； 第二偏心率 e_2 。

2) 椭球平移法

将参考椭球沿基准点 P_0 的法线方向平移 ΔH ，使得基准点与边长归算高程面重合，维持基准点 P_0 的经纬度不变，不改变已知

椭球的定向及元素，仅改变已知椭球的中心位置。

$$\Delta a = 0, \quad \Delta e^2 = 0$$

3) 椭球变形法

将参考椭球沿基准点 P_0 的法线方向平移 ΔH ，使得基准点与边长归算高程面重合，基准点的经纬度不变，改变椭球长半径及第一偏心率 e ，不改变已知椭球的中心位置。

(2) 比例缩放法

1) 比例缩放法 1

由参心（或地心）坐标变换为独立坐标（抵偿坐标）公式

$$X_{\text{独}} = X_i + q \times (X_i - X_0)$$

$$Y_{\text{独}} = Y_i + q \times (Y_i - Y_0)$$

公式逆变换：

$$X_i = \frac{X_{\text{独}} + q \times X_0}{1 + q} \quad Y_i = \frac{Y_{\text{独}} + q \times Y_0}{1 + q}$$

式中， $q = H / R_m$ 为缩放系数； H ：为抬高投影面高度，起算面为原椭球面；

R_m ：测区中心的平均曲率半径； X_i, Y_i ：为参心（或地心）3度带坐标；

$X_{\text{独}}, Y_{\text{独}}$ ：为独立坐标系统坐标； X_0, Y_0 ：为测区中心点坐标。

2) 比例缩放法 2

由参心（或地心）变换为独立坐标公式

$$X_{\text{独}} = X_0 + (X_i - X_0) / K$$

$$Y_{\text{独}} = Y_0 + (Y_i - Y_0) / K$$

公式逆变换，由独立坐标变换为参心（或地心）坐标。

$$X_i = X_0 + (X_{\text{独}} - X_0) \times K$$

$$Y_i = Y_0 + (Y_{\text{独}} - Y_0) \times K$$

式中： $K = \left(1 - \frac{H_m}{R_m}\right) \left(1 + \frac{Y_m^2}{2R_m^2}\right)$ 为缩放系数；

X_0, Y_0 : 为测区中心点坐标; 为参心 (或地心) 3 度带坐标;

Hm 为该地区平均高程 (抬高投影面高度), 起算面为原椭球面;

Rm 为地球平均曲率半径; Y_m 为 P_i 与 P_0 两点横坐标的平均值。

(3) 以中心点坐标平移或者坐标加常数和旋转的平面直角坐标系

1) 以中心点进行平移

以城市或测区中央某个控制点为中心点, 将所有原控制点坐标以中心点进行平移, 从而获得独立坐标系坐标。

$$X_{\text{独}} = X_i + X_0$$

$$Y_{\text{独}} = Y_i + Y_0$$

式中, X_0, Y_0 为平移常数。

2) 以中心点基准进行平移, 再按某角度进行旋转

以城市或测区中央某个控制点为中心点, 先将所有原控制点坐标以中心点基准进行平移, 然后按某角度进行旋转, 最后形成独立坐标。

$$X_{\text{独}} = X_i \cos \theta - Y_i \sin \theta + X_0$$

$$Y_{\text{独}} = X_i \sin \theta + Y_i \cos \theta + Y_0$$

根据公式逆变换, 得到由独立坐标变换参心 (或地心) 坐标公式。

$$X_i = X_{\text{独}} \cos \theta + Y_{\text{独}} \sin \theta + (X_0 \cos \theta + Y_0 \sin \theta)$$

$$Y_i = -X_{\text{独}} \sin \theta + Y_{\text{独}} \cos \theta + (Y_0 \cos \theta - X_0 \sin \theta)$$

式中, θ 为旋转角度, X_0, Y_0 为平移常数。

45. 独立坐标系与 2000 国家大地坐标系转换

(1) 中央子午线选取

设立一条中央子午线的独立坐标系

当区域平均高程较低, 高程起伏不大, 如海滨城市, 东西最

大跨度在 110 公里左右或者小于, 在区域东西中心地带设置独立坐标系中央子午线, 投影面设置在 CGCS2000 椭球面上。

当区域平均高程较高, 可通过在区域东西中心处设置中央子午线和抬高投影面方法, 建立独立坐标系。

设立多条中央子午线的独立坐标系

随着国家城市化进程的加快, 城市区域不断扩大, 独立坐标系设置一条中央子午线已远远不能满足长度变形要求, 通过分带设置多个中央子午线是消除超长区域长度变形主要手段, 将整个城市区域划分成几个投影带, 每个投影带最大控制范围没变, 合理设置多条中央子午线来满足整个城市区域长度变形要求。

设置多条中央子午线引起两个投影带边缘处坐标不统一, 存在着接边问题, 通过设置重叠带, 计算两套坐标, 解决接边问题。根据独立坐标系图幅分幅情况, 在投影带接边处设置重叠带。城市一般使用的最小比例尺为 1: 1 万图, 分幅经差 $3.75'$; 而 GPS D 级网平均边长在平地为 4—7 公里, 设置 $4'$ 重叠带, 约 7.2 公里, 基本可以满足上述要求。

设置中央子午线和分带

2000 独立坐标系设置中央子午线和分带要考虑几方面因素:

- A. 在条件允许情况下, 要尽量与国家坐标系投影带的中央子午线保持一致;
- b. 新设置中央子午线与原城市独立坐标系要尽量一致;
- c. 尽量按照行政区域划分投影带;
- d. 考虑长度变形特点, 保证主要经济区域长度变形满足限

差要求，将长度变形较大区域设置在山区和农村区域；

e. 尽量将重叠带设置在长度变形较大和使用较少的区域。

(2) 重合点选取

1) 尽量选取独立坐标系基础控制网的起算点及高精度控制点作为重合点；

2) 在独立坐标系允许情况下，可选取城市周围国家高精度控制点作为重合点；

3) 一般情况，重合点要分布均匀，且包围城市区域；

4) 选定部分均匀分布的重合点作为外部检核点，对坐标转换精度进行检核。

一般情况，独立坐标系向 2000 系转换重合点的选取，不少于 5 个重合点，外部检核点不少于 5 个，点位都要均匀分布覆盖整个城市区域。考虑到可能存在粗差点，需要多准备几个重合点作为备用。总之，重合点应尽可能多选取。

(3) 转换数学模型确定

城市独立坐标系大多数控制点和数字地形图是平面坐标，选定模型为二维转换模型，转换采用的坐标格式均为平面坐标。

可采用二维四参数模型和二维多项式模型。相对独立的平面坐标系与 2000 国家选取坐标转换模型时要同时适用于地方控制点转换和城市数字地图的转换。一般采用平面四参数转换模型，重合点较多时可采用多元逐步回归模型。当相对独立的平面坐标系控制点和数字地图均为三维地心坐标时，采用 Bursa 七参数转换模型。坐标转换中误差应小于 0.05m。

(4) 转换参数计算及剔除粗差点

采用上述二维坐标转换模型(二维四参数模型或二维多项式模型)求解转换参数。如果有 n 个重合点, 写出误差方程:

$$V = AX - L$$

根据最小二乘原理可得转换参数向量:

$$X = (A^T PA)^{-1} PL$$

通过分析试算剔除粗差点, 利用最小二乘法找出最小坐标转换残差数据作为转换参数。精度评定同控制点转换。

(5) 外部检验

将部分重合点不参加转换, 作为检核点的外符合精度, 外部检核点误差 σ :

$$\sigma = \pm \sqrt{([\Delta\Delta]_x + [\Delta\Delta]_y)/m}$$

其中, m 为检核点个数, Δ 为检核点转换坐标与其已知值之差。

坐标转换精度要通过外部检核点误差与转换(残差)中误差全面来衡量, 当转换的检核点误差与转换(残差)中误差数值接近时, 可认为是坐标转换精度。

§ 7. 基础地理信息数据成果转换

46. 1:25 万 DLG 数据库转换

矢量数据的坐标转换, 利用分幅改正数, 将数据从 1980 西安坐标系转换到 2000 国家大地坐标系, 进行数据的拼接、接边

处数据处理、数据质量控制，并重新生成 2000 国家大地坐标系下的图廓和公里网数据层，建立 2000 国家大地坐标系的数据库。根据 2000 国家大地坐标系下标准分幅范围，对数据库各数据层进行标准分幅裁切，形成标准分幅的矢量数据，并进行元数据内容的修改。

转换步骤：

- (1) 读出数据层的控制点坐标；
- (2) 计算新图层的控制点坐标 (ΔX 、 ΔY 为 1980 西安坐标系到 2000 国家大地坐标系的改正数)

$$X_{2000} = X_{80} + \Delta X$$

$$Y_{2000} = Y_{80} + \Delta Y$$

- (3) 图层整体平移，得到 2000 国家大地坐标系下的数据(分幅范围没改变)；
- (4) 计算 2000 国家大地坐标系下图幅标准范围；
- (5) 得出 2000 国家大地坐标系下该图幅范围相邻的四幅图；
- (6) 同理将相邻图幅的数据转换到 2000 国家大地坐标系；
- (7) 合并需转换图幅与相邻图幅的数据，重建拓扑关系；
- (8) 利用 2000 国家大地坐标系下图幅标准范围进行裁切；
- (9) 编辑原分幅接边出的要素；
- (10) 重建拓扑关系；
- (11) 修改元数据相应条目，内容包括产品名称、四个图廓角点 X 坐标、Y 坐标、椭球长半径、椭球扁率、所采用的大地

基准、1980 西安坐标系 - 2000 国家大地坐标系坐标改正数 (X、Y) 等内容。

依据 2000 国家大地坐标系下的等高线、高程点、面状水域等要素重新内插生成 DEM 数据，并重新生成 DEM 元数据。

47. 1:5 万 DLG 数据库转换

1:5 万 DLG 数据库采用分幅组织，以 MDB 格式存储，采用 1980 西安坐标系，高斯 6 度分带投影。共包括 9 个数据集 34 个数据类。

对于 DLG 数据的转换生产：

- 1) 先将高斯投影数据投影转换为经纬度投影；
- 2) 进行数据的坐标转换处理；
- 3) 待分幅经纬度投影数据生产完毕后，经投影变换得到另一套高斯投影的 DLG 分幅数据。

对于 DLG 分幅组织数据：

- 1) 利用分幅改正数，将矢量数据从 1980 西安坐标系转换到 2000 国家大地坐标系；
- 2) 对数据进行拼接、数据建库，对数据接边处的要素进行物理接边处理；
- 3) 重新生成 2000 国家大地坐标系下公理网数据层；
- 4) 根据 2000 国家大地坐标系下标准分幅范围的图廓范围，进行数据的分幅裁切
- 5) 实施数据质量控制，同时完成相应元数据内容的修改。

1:5 万 DLG 数据 2000 国家大地坐标系转换首先将分幅数据

的 1980 西安坐标系大地坐标转换为经纬度坐标，然后根据 1980 西安坐标系 - 2000 国家大地坐标系坐标转换参数对图幅内所有要素坐标进行转换，最后对每一层的要素类添加投影信息。

48. 1:5 万 DEM 数据库转换

2000 国家大地坐标系的 DEM 数据，主要是利用坐标转换后的 1:5 万 DLG 数据中的等高线、高程点、面状水体信息、地形特征点、特征线等，经过数学内插生成 DEM 数据。并修改分幅元数据内容。

1:5 万 DEM 直接利用 2000 国家大地坐标系地形要素数据进行生产。

49. 1:5 万 DOM 数据库转换

1:5 万 DOM 数据库数据到 2000 国家大地坐标系转换是基于 1:5 万数据库更新工程上交的 1980 西安坐标系分幅正射影像成果数据，进行必要的整理和预处理后，根据计算生成的 1:5 万图幅影像从 1980 西安坐标系到 2000 国家大地坐标系的坐标改正数，用开发的 1980 西安坐标系到 2000 国家大地坐标系数据转换和重新分幅拼裁工具，采用多项式拟合、重采样纠正方法对影像数据进行批量转换处理后形成 2000 国家大地坐标系下 1:5 万分幅组织的新影像成果数据。

转换过程具体包括：

(1) 提取图幅四个内图廓点 1980 西安坐标系到 2000 国家大地坐标系转换的对应坐标改正数。

(2) 成果影像数据整理和预处理。

包括拼接成标准 5 万分幅影像数据、规范数据存储目录和数据文件命名、补充填写必要的元数据等。相邻图幅间影像色彩差异过大的需要进行匀色处理。

(3) 1980 西安坐标系到 2000 国家大地坐标系数据转换

转换后对生成 2000 国家大地坐标系的、原分幅范围的正射影像数据,运用多项式拟合的方法进行纠正、重采样,影像分辨率保持与原 DOM 数据一致。

(4) 图幅拼接

按照 2000 国家大地坐标系 5 万分幅进行统一拼接处理。将非 1:5 万原分幅影像数据进行拼接后形成 5 万分幅 2000 国家大地坐标系影像成果数据。

(5) 修改元数据文件

1:5 万建库生产的元数据与 1:5 万数据库更新工程生产的元数据项有所不同,分别进行处理。元数据按 1:5 万图幅填写,一幅 1:5 万图幅一个元数据文件。每个图幅的元数据按照 ACCESS 数据库的 MDB 表格式存放。

(6) 转换后数据质量检查

50. 1:1 万及 1:5 千 DLG 数据库转换

选用 1954 年北京坐标系(1980 西安坐标系)向 2000 国家大地坐标系转换的高分辨率格网坐标改正量 DB、DL,采用逐要素点转换方法,完成数据转换。

(1) 新建一个与原要素类结构相同的新要素类;

(2) 获取各要素 1954 年北京坐标系(1980 西安坐标系)

坐标，逐点计算 2000 国家大地坐标系下各要素的坐标；

(3) 将 2000 国家大地坐标系下要素写入新建要素类；

(4) 拓扑重建；

(5) 添加 2000 国家大地坐标系下新的方里格网层，删除原方里格网数据层；

(6) 更新相关字段属性值。

51. 1:1 万及 1:5 千 DRG 数据库转换

选用 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）向 2000 国家大地坐标系转换的高分辨率格网坐标改正量 DB、DL，采用纠正方法，完成数据转换。

(1) 获取 DRG 数据 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）下 4 个图廓角点坐标，计算其 2000 国家大地坐标系下的坐标；

(2) 根据 DRG 数据 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）4 个图廓点及其 2000 国家大地坐标系下的坐标纠正，即将 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）下 DRG 数据转换为 2000 国家大地坐标系；

(3) 在 DRG 数据上叠加 2000 国家大地坐标系下新方里格网层；

(4) 在图中添加 2000 国家大地坐标系下新的控制基准说明条款；

(5) 完成数据合层，并保持 DRG 数据原有分辨率。

52. 1:1 万及 1:5 千 DEM 数据库转换

原数据为 5 米及 6.25 米分辨率的栅格数据或文本数据。如

果生产 DEM 成果的过程数据（等高线、高程点）存在，则将 DEM 从 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）按 DLG 数据转换方法转换到 2000 国家大地坐标系，可按 CH/T1015.2-2007 基础地理信息数字产品 1:10000 1:50000 生产技术规范第 2 部分：数字高程模型（DEM）重新生成 DEM。如果生产的 DEM 原始数据不存在，只有 DEM 成果，转换到 2000 国家大地坐标系下方法，选用 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）向 2000 国家大地坐标系转换的高分辨率格网坐标改正量 DB、DL，采用点转换方法，完成数据转换。

- （1）将所有的 DEM 数据转换为文本格式；
- （2）获取 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）DEM 平面坐标，计算其 2000 国家大地坐标系下坐标；
- （3）将主块与周边相邻块 DEM 数据进行拼接；
- （4）计算起格网点坐标，参考像素分辨率，重新生成 DEM 数据；
- （5）有高程检测点的对高程检测点坐标进行转换。

53. 1:1 万及 1:5 千 DOM 数据库转换

原始数据为航空或航天遥感获取的黑白或彩色影像数据，是连续的灰度（全色）或 RGB（彩色）栅格数据，分辨率有多种方式。选用 1954 年北京坐标系（1980 西安坐标系）向 2000 国家大地坐标系转换的高分辨率格网坐标改正量 DB、DL，采用纠正或平移方法，完成数据转换。

分景 DOM 数据转换方法

(1) 获取 1954 年北京坐标系(1980 西安坐标系)分景 DOM 影像数据坐标范围,可依据区域大小、区域形状、精度要求高低等技术参数均匀内插部分控制点(5 公里),计算其 2000 国家大地坐标系下的坐标;

(2) 用 1954 年北京坐标系(1980 西安坐标系)及 2000 国家大地坐标系下坐标,通过纠正方法,完成数据转换;

(3) 更改数据头文件中定位坐标。

标准分幅 DOM 数据转换方法

对 1:1 万、1:5 千标准分幅 DOM 读取 1954 年北京坐标系(1980 西安坐标系)头文件中定位坐标,计算 DOM 中心点到 2000 国家大地坐标系坐标“改正量”,按照像素关系计算移动量(像素数),更改头文件定位坐标,避免图幅之间接边数据重新采样。

54. 行业专题地理信息数据(库)坐标转换

可参照 1:1 万及 1:5 千基础地理信息数据坐标转换方法,实现跨省、跨区域的无缝、连续、高精度的坐标转换。坐标转换技术方法参见 50-53 项。

§ 8. 成果服务

55. 2000 国家大地坐标系现阶段成果

CGCS2000 启用以来,国家测绘地理信息局先后发布了“启用 2000 国家大地坐标系实施方案”(http://chz.sbsm.gov.cn/article/zxgz/gjddzbxtggy/);《测

绘成果转换到 2000 国家大地坐标系的技术指南》;《1:5 万及以下小比例尺测绘成果转换到 2000 国家大地坐标系技术指南》。同时,配合 CGCS2000 推广使用工作,编制出版了《2000 国家大地坐标系实用宝典》。

为推动 CGCS2000 在全国的使用,国家测绘地理信息局组织开展了支撑 CGCS2000 使用的基础性工作,取得的成果包括:

(一)控制点成果。2000 国家 GPS 大地控制网坐标成果(2524 点),全国一、二等天文大地点在 CGCS2000 下的大地坐标成果和高斯平面坐标成果(48583 点),全国三、四等天文大地点在 CGCS2000 下的大地坐标成果和高斯平面坐标成果(74723 点)。

(二)速度场成果。CGCS2000 板块运动模型(China Plate Model - CGCS2000, CPM - CGCS2000)、CGCS2000 格网速度场。

(三)数据库成果。基于 CGCS2000 的国家 1:25 万、1:5 万基础地理信息数据库成果。

(四)图幅转换量成果。1:5 万、1:1 万地形图 1980 西安坐标系向 CGCS2000 转换的图幅转换量。

(五)转换软件。基础地理信息数据转换软件、控制点转换软件等。

56. 2000 国家大地坐标系下的成果的使用和申领

(1) 全国一、二、三、四等天文大地点成果(CGCS2000),高一等级控制点可作为低一等级控制网的外部控制使用;三、四等天文大地点成果(CGCS2000)可用于作为测图控制点使用;三等天文大地点坐标成果可作为像控点的起算点使用;一、二、三、

四等天文大地网成果均可用于 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系成果资料转换为 2000 国家大地坐标系时，计算坐标转换参数。

(2) 全国陆地范围内 1:5 万及 1:1 万比例尺地形图格网点改正量计算成果表（1980 西安坐标系转换为 CGCS2000）可用于地形图、专业地图由 1980 西安坐标系向 2000 国家大地坐标系转换。

(3) CGCS2000 速度场适用于基于 ITRF 框架非 2000 历元下各类 GNSS 定位成果到 CGCS2000 的转换。

上述成果由国家基础地理信息中心保管。成果的提供和使用依照测绘成果管理的有关规定办理。

57. 全国 1:1 万比例尺地形图图幅改正量使用方法

(1) 提取每幅 1:1 万比例尺地形图 4 个图廓点的 80 系大地坐标；

(2) 根据每幅 1:1 万比例尺地形图图幅号，提取该幅图 4 个图廓点的 80 系向 2000 系转换改正量 DB 西南、DL 西南，DB 西北、DL 西北，DB 东北、DL 东北，DB 东南、DL 东南；

(3) 用每幅 1:1 万比例尺地形图 4 个图廓点的 80 系大地坐标加上该幅图 4 个图廓点的 80 系向 2000 系转换改正量 DB 西南、DL 西南，DB 西北、DL 西北，DB 东北、DL 东北，DB 东南、DL 东南既得该幅图 4 个图廓点的 2000 系大地坐标；

(4) 用每幅 1:1 万比例尺地形图 4 个图廓点的 80 系及 2000 系下坐标，通过工具软件完成转换。

58. 控制点转换软件使用说明

控制点转换软件通过工程化的数据管理实现不同框架基准转

换, 主要应用于不同参心系、不同 ITRF 框架下的控制点坐标成果向 2000 国家大地坐标系的转换 (CGCS2000, ITRF97 框架 2000 历元), 转换方式包括单点转换和批量处理。

(1) 程序主要功能

通过工程化的数据管理实现不同框架之间转换, 其基准包括: 北京 54 系(克拉索夫斯基椭球)、西安 80 系(1975 国际协议椭球)、WGS84 系 (WGS84 椭球) 以及 CGCS2000 系 (CGCS2000 椭球) 之间的坐标转换

2) 不同框架基准与 CGCS2000 转换模型(包括三维空间、椭球面; 二维椭球面、平面转换)以及公共点的可视、选取, 转换参数内外符合精度的可视、图形输出

3) 国际 ITRF 框架与 CGCS2000 的转换 (ITRF91、93、2000、2005 到 CGCS2000)

4) 高斯正反算、换带 (3° 带、 6° 带、任意带)

5) 大地坐标与空间直角坐标转换

6) 坐标单位换算

(2) 软件开发环境

采用的操作系统为 WindowsXP 32Bit + sp2

Compaq Visual Fortran 6.5A

Visual C++ 6.0

Visual C# 2008

版本号 1.0

(3) 软件特点

1) 本软件实现涉及经典大地测量学、空间大地测量学、近代平差理论、地理信息系统、计算机图形学以及软件设计等多学科、是一项理论性、通用性强、技术复杂的工程。

2) 融合性好, 可以处理当前各基准和形式的测绘数据以及包含常用的四种椭球基准。

3) 转换模型多, 椭球体三维七参数、椭球三维四参数、椭球体三参数; 椭球面上二维七参数、平面四参数。

4) 转换参数的可重复计算, 由于公共点的精度或者转换区域不同以及转换精度要求差异需要剔除粗差点, 加入公共点的可视、选取、剔除以及转换参数内外符合精度的统计、可视以及图形输出。

5) 提出了椭球三维四参数直接求解图幅平移量, 避免了采用传统方法求解平移量时需依赖于转换区域整体改正数的问题, 完全可以替代以往地图分步骤计算地图平移量的转换方法, 以百万分幅为转换区域计算的转换参数能满足国家 1:5 万及更小基本比例尺地图转换的精度要求, 而 80 系转换精度可以满足 1:1 万比例尺地图转换的精度要求。

6) 高斯 3° 带、 6° 带以及任意带正反算以及换带, 椭球基准加入了 CGCS2000。

7) ITRF (ITRF91、93、2000、2005) 框架转换到 (CGCS2000)。

8) 实现了 Compaq Visual Fortran 6.5A, Visual C++ 6.0, Visual C# 2008 的联合开发。

59. 基础地理信息数据转换软件使用指南

基础地理信息数据转换软件可实现各种比例尺基础地理信息数据的不同坐标系之间、高精度无缝的相互转换。软件功能设计合理，操作简单，自动化程度高，适用性较强，能快速实现已有基础地理信息数据（库）向新坐标系统的转换。

1. 转换对象

能够解决地理信息文件数据和数据库实体数据的坐标转换需求，转换对象涵盖 4D 产品（DLG、DEM、DOM、DRG）及控制点数据。

2. 转换方法

对 DLG、DEM 数据采用逐点转换法进行坐标转换，DOM、DRG 数据采用平移或纠正方法进行坐标转换。

3. 数据基础

根据图幅比例尺与成果应用的需求，采用高分辨率格网（ $1' \times 1'$ 、 $3'' \times 3''$ ）坐标转换改正量 DB、DL，或 1:1 万图幅坐标改正量、或 1:5 万图幅坐标改正量，或二维四参数、或二维七参数、或二维多项式坐标转换参数。

4. 适用平台

支持 ArcGIS、AutoCAD、Geoway、MapGIS、Arc/Info、Bentley MicroStation V8i、SuperMap 等多个平台。

5. 主要功能：

（1）实现对 DLG、DOM、DRG 文件数据转换，可进行单个文件、单个或多个子目录批量文件的坐标转换，转换结果存储在指定文件目录，转换安全、快速、高效。

(2) 对于空间数据库的 DLG 数据, 以编目形式组织管理的 DRG (DOM) 数据, 实现整库转换, 无需数据库数据的格式转换。

(3) 对 DEM 数据:

实现了分幅 ArcGIS 文本格式、空间交换格式、JX4 格式无缝坐标转换;

实现了对检查 (保密) 点进行坐标转换, 用检查点检查转换后的 DEM 的高程精度是否满足要求;

实现了对相邻 DEM 重叠区同名格网点的高程差计算, 检查 DEM 接边精度;

实现了 *.TIF、*.IMG、*.BIL、GRID 等栅格格式 DEM 与文本格式相互转换; 栅格格式 DEM 的相互转换; 空间交换格式、JX4 格式 DEM 向 ArcGIS 格式文本格式转换。

(4) 坐标转换不受比例尺及范围限制, 分幅或区域 DLG 数据坐标转换为无缝转换, 不同比例尺同一要素点坐标转换结果一致。

(5) DLG 数据可以进行 3° 、 6° 、任意带转换, 高斯坐标与大地坐标互转;

(6) DOM 数据, 用纠正方法进行坐标转换可以进行 3° 、 6° 、任意带转换, 高斯坐标与大地坐标互转。

(7) 生成方里网, 可以生成 1:5 千、1:1 万、1:5 万标准图幅国家坐标系统、任意坐标范围的 SHP、AutoCAD 格式方里网。

(8) 软件可对 DEM、DOM 进行拼接, 按标准分幅在国家坐标系下进行裁切。

(9) 软件实现了 Coverage 与其交换格式 E00 相互转换。

(10) 大地测量坐标换算常用功能：高斯坐标正反算、全能高斯换带计算、大地坐标与空间坐标相互换算、图幅号与经纬度的相互换算。

60. 各类成果技术支持

中国测绘科学研究院负责 GNSS 连续运行基准站、控制点转换技术支持和服务，联系电话 010-63880709。陕西测绘地理信息局负责 1:1 万以大地地理信息数据库转换、相对独立的平面坐标系统转换技术支持和服务，帮助测量控制点转换有困难的地区完成转换，联系电话 029-87604125。各类控制点成果、图幅平移量成果、国家 1:25 万、1:5 万 4D 产品联系国家基础地理信息中心，联系电话 010-63880337。

附录

本书引用的索引词

BIH	Bureau International de l' Heure	国际时间局
CGCS2000	China Geodetic Coordinate System 2000	2000 国家大地坐标系
0		
CIO	Conventional International Origin	国际协议原点
CIS	Conventional Inertial System	协议惯性系统
CORS	Continuously Operating Reference Station	连续运行基准站
CTP	Conventional Terrestrial Pole	协议地极
DOM	Digital Orthophoto Map,	数字正射影像图
DLG	Digital Line Graphic	数字线划地图
DEM	Digital Elevation Model	数字高程模型
DTM	Digital Terrain Model,	数字地形模型
DRG	Digital Raster Graphic	数字栅格地图
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
GPS	Global Positioning System	全球定位卫星系统
IERS	International Earth Rotation Service	国际地球自转服务组织
IGS	International GNSS Service	国际 GNSS 服务中心
ITRF	International Terrestrial Reference Frame	国际地球参考框架
ITRS	International Terrestrial Reference System	国际地球参考系
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics	国际大地测量和地球物理联合会
NNR	No-Net-Rotation	无净旋转
WGS84	1984 World Geodetic System	1984 世界坐标系

附录 1

国家测绘局 2008 年第 2 号公告

根据《中华人民共和国测绘法》，经国务院批准，我国自 2008 年 7 月 1 日起，启用 2000 国家大地坐标系。现公告如下：

一、2000 国家大地坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现，其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。2000 国家大地坐标系采用的地球椭球参数如下：

长半轴 $a = 6378137\text{m}$

扁率 $f = 1/298.257222101$

地心引力常数 $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{m}^3 \text{s}^{-2}$

自转角速度 $\omega = 7.292115 \times 10^{-5} \text{rad s}^{-1}$

二、2000 国家大地坐标系与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8 年至 10 年。

现有各类测绘成果，在过渡期内可沿用现行国家大地坐标系；2008 年 7 月 1 日后新生产的各类测绘成果应采用 2000 国家大地坐标系。

现有地理信息系统，在过渡期内应逐步转换到 2000 国家大地坐标系；2008 年 7 月 1 日后新建设的地理信息系统应采用 2000 国家大地坐标系。

三、国家测绘局负责启用 2000 国家大地坐标系工作的统一领导，制定 2000 国家大地坐标系转换实施方案，为各地方、各

部门现有测绘成果坐标系转换提供技术支持和服务；负责完成国家级基础测绘成果向 2000 国家大地坐标系转换，并向社会提供使用。国务院有关部门按照国务院规定的职责分工，负责本部门启用 2000 国家大地坐标系工作的组织实施和本部门测绘成果的转换。

四、县级以上地方人民政府测绘行政主管部门，负责本地区启用 2000 国家大地坐标系工作的组织实施和监督管理，提供坐标系转换技术支持和服务，完成本级基础测绘成果向 2000 国家大地坐标系的转换，并向社会提供使用。

国家测绘局

二〇〇八年六月十八日

关于加快 2000 国家大地坐标系 推广使用的通知

国测国发〔2013〕11号

各省、自治区、直辖市测绘地理信息行政主管部门，新疆生产建设兵团测绘地理信息主管部门：

按照国务院要求，到2016年，我国将完成现行国家大地坐标系向2000国家大地坐标系（简称CGCS2000）的过渡。自2008年启用CGCS2000以来，推广使用工作取得了一定成效，但也存在一些亟待解决的问题。部分省级测绘地理信息主管部门对推广使用CGCS2000重视不够，未制定全面系统科学的工作方案；部分地区测绘地理信息成果坐标转换进展缓慢，对转换完的成果缺少质量监督检验；一些市县和有关行业部门对推广使用CGCS2000的政策和转换方法缺乏深入了解，尚未使用CGCS2000等。当前，转换工作时间过半，后续工作时间紧、任务重。为加快CGCS2000推广使用，现就有关事项通知如下：

一、充分认识推广使用CGCS2000的重要意义

CGCS2000是经国务院批准使用的新一代国家大地坐标系，推广使用新坐标系是各级测绘地理信息主管部门的共同责任。新坐标系具有三维、地心、高精度、动态等特点，更加适应当今对地观测技术的发展，是我国现代化测绘基准体系建设的重要组成

部分。加快推广使用新坐标系，对于经济建设、国防建设、社会发展和科学研究等具有十分重要的意义，能够更好地满足高精度、快速的空间定位技术在各领域的应用需求；有利于推进国产卫星导航系统的应用，提高国家空间基准的自主性和安全性；有利于保证地理信息资源的完整性和一致性，促进地理信息资源共享；有利于提高测绘地理信息保障能力和服务水平，推动测绘地理信息事业发展。

二、可用于转换工作的国家级成果

为推动CGCS2000在全国的使用，国家测绘地理信息局组织开展了支撑CGCS2000使用的基础性工作，取得的成果包括：

（一）控制点成果。2000国家GPS大地控制网坐标成果（2524点），全国一、二等天文大地点在CGCS2000下的大地坐标成果和高斯平面坐标成果（48583点），全国三、四等天文大地点在CGCS2000下的大地坐标成果和高斯平面坐标成果（74723点）。

（二）速度场成果。CGCS2000板块运动模型（China Plate Model - CGCS2000, CPM - CGCS2000）、CGCS2000格网速度场。

（三）数据库成果。基于CGCS2000的国家1:25万、1:5万基础地理信息数据库成果。

（四）图幅转换量成果。1:5万、1:1万地形图1980西安坐标系向CGCS2000转换的图幅转换量。

（五）转换软件。基础地理信息数据转换软件、控制点转换软件等。

三、全面完成地理信息成果转换

(一) 认真梳理地理信息成果资料。各级测绘地理信息主管部门要认真梳理拥有的GNSS连续运行基准站、GNSS控制点、三角点、导线点、像控点等控制成果，基础地理信息数据（库），公共平台以及其它在用基础地理信息成果，确保应实施坐标转换的内容不遗漏。

(二) 加快完成省级成果转换。省级测绘地理信息主管部门要对梳理结果认真分析，加快完成省级成果向CGCS2000转换，并做好国家级成果的申领替换工作。省级成果转换工作应在2014年底前完成。已经完成转换工作的，应尽快向国家测绘地理信息局申请质量监督检查。

省级1:1万基础地理信息数据库转换可与省级基础地理信息数据库整合升级工作结合开展，在整合升级工作中使用CGCS2000。

(三) 推动市、县完成成果转换。省级测绘地理信息主管部门要加强对市、县的技术支持与监督管理，帮助有困难的市、县完成成果的转换。市、县级测绘地理信息主管部门要结合数字城市地理空间框架建设，将相对独立的平面坐标系统转换为CGCS2000椭球下的坐标系统，同时完成正在使用的地理信息成果的坐标转换。成果转换工作应在2014年底前完成。

四、做好成果检验与应用

(一) 加强成果质量监管。为确保转换成果的质量，保证控制成果的一致性，地方各级测绘地理信息主管部门要加强对转换

成果质量的监督检查，对本级提供的成果承担质量责任。下一级测绘地理信息主管部门完成转换工作后，应向上一级测绘地理信息主管部门报告，经上一级测绘地理信息主管部门质量监督检查合格后，方可向社会发布。

（二）强化新成果应用。地方各级测绘地理信息主管部门要及时向社会发布新成果，为其坐标转换提供数据支撑。同时，要强力推动新成果的使用，对测绘地理信息系统新开工项目，一律使用新坐标系统；对各部门涉及测绘地理信息活动的新开工项目，要推荐使用新坐标系统。

五、工作要求

（一）加强组织领导。省级测绘地理信息主管部门要加强本地区推广使用工作的组织实施和督促检查，制定详细的工作方案，明确本地区下一阶段的目标任务、时间安排、工作措施、具体要求等，并于2013年5月前将工作方案报国家测绘地理信息局备案，国家测绘地理信息局将在2013年适时开展监督检查。

（二）加强人员培训。省级测绘地理信息主管部门要积极参加国家测绘地理信息局组织的技术培训，培养一支技术能力强、能承担此项工作的队伍。各地也要开展针对市县级测绘地理信息部门、行业部门以及测绘资质单位的技术培训，提高专业技术人员的技术水平，为CGCS2000推广使用提供人才支撑。

（三）广泛宣传引导。各级测绘地理信息主管部门要加大宣传力度，通过各种途径，大力宣传使用CGCS2000的先进性和必要性、国家政策和要求，及时通报工作进展，提高各方面认识。

要重视对测绘资质单位的宣传,使其在测绘生产中自觉地使用新坐标系。

(四)做好技术支撑。中国测绘科学研究院负责做好GNSS连续运行基准站、控制点转换技术支持和服务;陕西测绘地理信息局负责做好1:1万以小地理信息数据库转换、相对独立的平面坐标系统转换技术支持和服务,帮助测量控制点转换有困难的地区完成转换。

国家测绘地理信息局

2013年2月20日

2000 国家大地坐标系推广使用 技术指南

国家测绘地理信息局
2013 年 6 月

目 录

1 范围.....	75
2 规范性引用文件.....	75
3 术语和定义.....	75
4 控制点类型.....	79
4.1 控制点分类.....	79
4.2 控制点精度.....	80
4.3 控制点用途.....	80
5 控制点坐标转换模型及适用范围.....	81
5.1 总则.....	81
5.2 转换模型.....	81
5.3 适用范围.....	82
5.4 模型选取.....	83
6 控制点坐标转换.....	83
6.1 省级 GNSS 连续运行基准站点坐标归算.....	83
6.2 省市级卫星大地控制网点坐标转换.....	85
6.3 其他控制点坐标转换.....	85
7 精度评定.....	86
7.1 省级 GNSS 连续运行基准站点坐标归算精度评定.....	86
7.2 其他控制点坐标转换精度评定.....	86
附录 A.....	87
（资料性附录）	87
常用坐标系椭球基准及参数	87
附录 B	89
（规范性附录）	89
坐标转换模型	89

附录 C	95
（资料性附录）	95
ITRF 框架转换参数及其速率	95
附录 D	98
（规范性附录）	98
ITRF 框架与 2000 国家大地坐标系框架间转换	98
附录 E.....	100
（规范性附录）	100
精度评定公式	100

大地测量控制点坐标转换技术规程

1 范围

本规程规定了各种坐标系控制点坐标转换到 2000 国家大地坐标系时控制点选取、坐标转换模型、转换方法、精度评价等方面应遵循的原则、适用范围和精度要求。

本规程适用于大地测量控制点坐标转换过程中的重合点选取、模型选择和转换方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17159 – 2009 大地测量术语

GB/T 18314 – 2009 全球定位系统（GPS）测量规范

GB/T 19391 – 2003 全球定位系统（GPS）术语及定义

GB/T 22021 – 2008 国家大地测量基本技术规定

GB/T 28588 – 2012 全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范

CH/T 1004 – 2005 测绘技术设计规定

2010（第三版） 测绘学名词

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 控制点 control point

以一定精度测定其位置为其他测绘工作提供依据的固定点。

3.2 地球椭球 earth ellipsoid

近似表示地球的形状和大小,并且其表面为等位面的旋转地球。

3.3 参考椭球 reference ellipsoid

最符合一定区域的大地水准面,具有一定大小和定位参数的旋转地球椭球。

3.4 国际地球参考系统 International Terrestrial Reference System, ITRS

由国际地球自转服务(IERS)给出的地球坐标系统的定义和大地测量常数。

3.5 国际地球参考框架 International Terrestrial Reference Frame, ITRF

国际地球参考系统(ITRS)的实现。由国际地球自转服务局(IERS)根据空间大地测量技术,包括甚长基线干涉测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)、多里斯系统(DORIS)、全球定位系统(GPS)等,所确定的地面点的坐标所构成的集合。

3.6 大地坐标系 geodetic coordinate system

以地球椭球中心为原点、起始子午面和赤道面为基准面的地球坐标系。

3.7 1954年北京坐标系 Beijing Geodetic Coordinate System 1954

将我国大地控制网与苏联 1942 普尔科沃大地坐标系联结后建立的我国过渡性大地坐标系。

3.8 1980 西安坐标系 Xian Geodetic Coordinate System 1980

采用 IAG 1975 国际椭球，以 JYD1968.0 系统为椭球定向基准，大地原点设在陕西泾阳县永乐镇，采用多点定位所建立的大地坐标系。

3.9 地心坐标系 geocentric coordinate system

原点 O 与地球质心重合， Z 轴指向地球北极， X 轴指向格林尼治子午面与地球赤道的交点 E ， Y 轴垂直于 XOZ 的平面构成右手坐标系。

3.10 1984 世界大地坐标系 World Geodetic System 1984, WGS84

美国军用大地坐标系统，坐标系定义和国际地球参考系统 (ITRS) 一致。

3.11 2000 国家大地坐标系 China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000

原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。 Z 轴为国际地球自转局 (IERS) 定义的参考极方向， X 轴为参考子午面与垂直于 Z 轴的赤道面的交线， Y 轴与 Z 轴和 X 轴构成右手正交坐标系。

3.12 坐标转换 coordinate transformation

包含坐标系变换和椭球基准变换两层含义。在测量数据处理过程中，采用适用的转换模型和转换方法，空间点从某一参考椭

球基准下的坐标转换到另一坐标系下的坐标。坐标转换过程就是转换参数的求解过程。

3.13 坐标系变换 coordinate conversion

同一椭球基准下，空间点的不同坐标表示形式间进行变换。包括大地坐标系和空间直角坐标系的互相转换、空间直角坐标系与站心坐标系间的转换和高斯投影坐标正反算。

3.14 椭球变换 ellipsoid conversion

空间点在不同的参考椭球间的坐标变换。

3.15 重合点 superposition point

同时拥有不同坐标系坐标的控制点。

3.16 平移参数 translation parameters

两坐标系转换时，新坐标系原点在原坐标系中的坐标分量。

3.17 旋转参数 rotation parameters

两坐标系转换时，把原坐标系中的各坐标轴左旋转到与新坐标系相应的坐标轴重合或平行时坐标系各轴依次转过的角度。

3.18 尺度参数 scale parameter

两坐标系转换时引入的两坐标系中长度变化参数。

3.19 连续运行基准站 Continuously Operating Reference Station, CORS

连续接收和发送本站坐标及其变化，GNSS 星历，星钟差等信息的地面固定站。

3.20 国际 GNSS 服务 International GNSS Service, IGS

提供全球导航卫星系统，包括 GPS、GLONASS、GALILEO

等卫星星历, 卫星钟差以及相应卫星系统的地面基准站坐标等方面信息的国际组织。

3.21 参考历元 reference epoch

在天文学上, 历元是为指定天球坐标或轨道参数而规定的某一特定时刻。在天文学和卫星定位中, 所获数据对应的时刻也称为历元。

3.22 观测历元 observation epoch

为比较不同时刻的观测结果, 需要注明观测资料所对应的观测时刻, 称之为观测历元。

3.23 板块 tectonic plate

板块是指岩石圈板块, 即地壳和软流圈以上的地幔顶部。

3.24 2000 国家 GPS 大地控制网 National GPS Geodetic Control Network 2000

2000 国家 GPS 大地控制网由 A、B 级网、GPS 一、二级网以及中国地壳运动观测网联合平差后, 得到的以 CGCS2000 三维地心坐标为特征的高精度全国性大地控制网。

3.25 最小二乘法 least square method

在残差满足 $V^T P V$ 为最小的条件下解算测量估值或参数估值并进行精度估算的方法, 其中 V 为残差向量, P 为其权阵。

4 控制点类型

4.1 控制点分类

- a) 国家级 GNSS 连续运行基准站点。
- b) 2000 国家 GPS 大地控制网点。

c) 国家一、二、三、四等天文大地点。

d) 省级 GNSS 连续运行基准站点。

e) 省市卫星大地控制网 C 级点、D 级点。

f) 其他 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系及相对独立的平面坐标系下的控制点。

上述控制点中, a)、b)、c) 三类控制点已有 2000 国家大地坐标系坐标; d)、e) 两类控制点需要归算到 2000 国家大地坐标系; f) 类控制点需转换到 2000 国家大地坐标系。

4.2 控制点精度

表 1 控制点的 2000 国家大地坐标系坐标精度要求

点位类型		点位坐标精度
GNSS 连续运行基准站点	国家级 GNSS 连续运行基准站点	0.005m
	省级 GNSS 连续运行基准站点	0.01m
2000 国家 GPS 大地控制网点		0.03m
国家天文大地点	一、二等点	0.11m
	三、四等点	0.20m
省市级卫星大地控制网点	C 级点内符精度	0.01m
	D 级点内符精度	0.02m

4.3 控制点用途

高等级控制点可用于低等级控制网的外部控制;可用于 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系坐标成果转换为 2000 国家大地坐标系坐标成果时计算坐标转换参数。

a) 国家级 GNSS 连续运行基准站点: 可作为省级连续运行基准站网建设的控制点。

b) 2000 国家 GPS 大地控制网点: 可作为天文大地点控制点及相对独立的平面坐标系建立控制点。

c) 国家一、二等天文大地点: 可作为三、四等天文大地点

的控制点使用。

d) 国家三、四等天文大地点：可作为测图控制点使用；三等及以上天文大地点坐标成果可作为像控点的起算点。

e) 省级 GNSS 连续运行基准站点：点位坐标归算到 2000 国家大地坐标系后，可作为省级、市、县城市基础设施建设控制网点。

f) 省市卫星大地控制网 C 级点、D 级点：点位坐标归算到 2000 国家大地坐标系后，可作为建立相对独立的平面坐标系的控制点。

g) 其他大地测量控制点：点位坐标转换到 2000 国家大地坐标系后，可作为建立相对独立的平面坐标系的控制点。

5 控制点坐标转换模型及适用范围

5.1 总则

在控制点坐标转换过程中，控制点所在坐标系涉及到 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系、2000 国家大地坐标系，上述坐标系的参考椭球基准及参数参见附录 A。

5.2 转换模型

a) 布尔沙模型：用于不同地球椭球基准下的空间直角坐标系间的点位坐标转换。涉及七个参数，即三个平移参数，三个旋转参数和一个尺度变化参数。

b) 三维七参数转换模型：用于不同地球椭球基准下的大地坐标系间的点位坐标转换，涉及三个平移参数，三个旋转参数和一个尺度变化参数，同时需顾及两种大地坐标系所对应的两个地球椭球长半轴和扁率差。

c) 二维七参数转换模型：用于不同地球椭球基准下的地心坐标系向大地坐标系的点位坐标转换，涉及三个平移参数，三个旋转参数和一个尺度变化参数。

d) 三维四参数转换模型：用于局部区域内、不同地球椭球基准下的地心坐标系向大地坐标系间的坐标转换，涉及三个平移参数和一个旋转参数。

e) 二维四参数转换模型：用于局部区域内、不同高斯投影平面坐标转换，涉及两个平移参数，一个旋转参数和一个尺度参数。对于三维坐标，需将坐标通过高斯投影变换得到平面坐标，再计算转换参数。

f) 多项式拟合模型：不同范围的坐标转换均可用多项式拟合。有椭球面和平面两种形式。椭球面上多项式拟合模型适用于全国或大范围的拟合；平面拟合多用于相对独立的平面坐标系统转换。

上述转换模型参见附录 B。

5.3 适用范围

a) 布尔沙模型：适用于省级及全国范围的控制点空间直角坐标转换。

b) 三维七参数转换模型：适用于椭球面 3° 及以上的省级及全国范围的控制点坐标转换。

c) 二维七参数转换模型：适用于椭球面 3° 及以上的省级及全国范围控制点坐标转换。

d) 三维四参数转换模型：适用于 2° 以内局部范围的控制点

坐标转换。

e) 二维四参数转换模型：适用于小范围的控制点平面坐标转换、相对独立的平面坐标系统与 2000 国家大地坐标系的联系。

f) 多项式拟合模型：椭球面多项式拟合适用于全国或大范围的大地坐标拟合；平面拟合多用于相对独立的平面坐标系统转换。

5.4 模型选取

表 2 控制点转换到 2000 国家大地坐标系的坐标转换模型选取

控制点		转换模型	适用区域范围
所属坐标系	坐标类型		
1980 西安坐标系	大地坐标	三维七参数	椭球面 3°及以上的省级及全国范围
		二维七参数	
		椭球面多项式拟合	
	空间直角坐标	布尔沙	全国及省级范围
		三维四参数	2°以内局部区域
	平面坐标	二维四参数	局部区域
1954 年北京坐标系	大地坐标	三维七参数	椭球面 3°及以上的省级及全国范围
		二维七参数	
		椭球面多项式拟合	
	空间直角坐标	布尔沙	全国及省级范围
		三维四参数	2°以内局部区域
	平面坐标	二维四参数	局部区域
相对独立的平面坐标系	平面坐标	二维四参数	局部区域
		平面多项式拟合	局部区域

6 控制点坐标转换

6.1 省级 GNSS 连续运行基准站点坐标归算

本方法适用于非 2000 国家大地坐标系下的省级 GNSS 连续运行基准站点坐标向 2000 国家大地坐标系的归算。

6.1.1 基准控制点选取

选取我国周边稳定的 IGS 站、国内 IGS 站及国家级 GNSS 连续运行基准站至少 10 个作为省级 GNSS 连续运行基准站的最高级基准控制站。选取原则有：

- a) 连续性：测站连续观测近 3 年(或以上)；
- b) 稳定性：站点坐标时序稳定性好，具有稳定、可知的点位速度；
- c) 高精度：速度场精度优于 3mm/y；
- d) 多种解：至少 3 个不同分析中心的速度场残差优于 3mm/y；
- e) 平衡性：站点尽量全球分布；
- f) 精度一致性：站点位置和速度的精度应当一致。

6.1.2 数据处理

采用国内外成熟的高精度数据处理软件对 GNSS 连续运行基准站观测数据进行处理与平差，获得各站点在现 ITRF 框架、观测历元下的位置和基线向量。省级 GNSS 连续运行基准站作为省级 2000 国家大地坐标系框架基准，需将相邻省份的相邻 GNSS 连续运行基准站纳入本省 GNSS 连续运行基准站一同处理。

6.1.3 框架转换

GNSS 连续运行基准站点获得的观测历元的坐标转换为 2000 国家大地坐标系的坐标成果，需经历元归算、板块运动改正、框架转换三个步骤。

- a) 历元归算。不同 ITRF 框架对应的历元不同，需将不同 ITRF 框架下各参数（参见附录 C）归算到同一历元下。框架间

如无直接转换关系，可按间接方法转换；

b) 板块运动改正。计算框架点坐标从观测历元到需转换历元期间，由于板块运动引起的坐标变化值；

c) 框架转换。利用框架转换公式进行基准站坐标计算。

框架转换公式参见附录 D。

6.2 省市级卫星大地控制网点坐标转换

省市级卫星大地控制网 C 级点坐标、D 级点坐标转换到 2000 国家大地坐标系的方法参见 6.1。

6.3 其他控制点坐标转换

本方法适用于除上述控制点类型外的、其他 1954 年北京坐标系、1980 西安坐标系及相对独立的平面坐标系下的大地测量控制点坐标向 2000 国家大地坐标系的转换。

6.3.1 重合点选取原则

选用具有原坐标系坐标和 2000 国家大地坐标系坐标的控制点作为重合点。重合点选取的基本原则为：等级高、精度高、分布均匀、覆盖整个转换区域、局部变形小。

6.3.2 转换参数计算

转换参数计算按以下步骤进行：

- a) 按转换区域选取适当的转换模型；
- b) 按重合点选取原则选择重合点；
- c) 将重合点代入转换模型，利用最小二乘法计算转换参数；
- d) 用得到的转换参数计算重合点坐标残差；
- e) 剔除残差大于 3 倍点位中误差的重合点；

f) 重复上述 b) 到 e) 的计算过程, 直至重合点坐标残差均小于 3 倍点位中误差;

g) 最终用于计算转换参数的重合点数量与转换区域大小有关, 但不得少于 6 个;

h) 根据最终确定的重合点, 利用最小二乘法计算转换参数。

6.3.3 坐标转换

利用计算得到的转换参数, 进行坐标转换, 求得各控制点在 2000 国家大地坐标系下的坐标。

6.3.4 外部检核点数量要求

利用未参与计算转换参数的重合点作为外部检核点, 其点数不少于 6 个且均匀分布;

7 精度评定

7.1 省级 GNSS 连续运行基准站点坐标归算精度评定

省级 GNSS 连续运行基准站点坐标归算后坐标精度在平面 3cm 以内。

7.2 其他控制点坐标转换精度评定

采用内符合精度和外符合精度评定, 依据计算转换参数的重合点残差中误差评估坐标转换精度, 残差小于 3 倍点位中误差的点位精度满足要求。

内符合精度计算公式参见附录 E。

附录 A

(资料性附录)

常用坐标系椭球基准及参数

A1 WGS 84 大地坐标系的地球椭球基本参数

A1.1 地球椭球基本参数

长半径 $a=6\,378\,137\text{m}$

扁率 $f=1/298.257223563$

地球引力常数 (含大气层) $GM=3\,986\,005 \times 10^{14} \text{m}^3 \text{s}^{-2}$

正常化二阶带谐系数 $C2.0=-484.166\,85 \times 10^{-6}$

地球自转角速度 $\omega=7\,292\,115 \times 10^{-5} \text{rad.s}^{-1}$

A1.2 WGS84 (G730) 大地坐标系, 其他地球椭球基本参数 A1.1 同规定。

A2 2000 国家大地坐标系的地球椭球基本参数

长半径 $a=6378137\text{m}$

扁率 $f=1/298.257222101$

地球引力常数 (含大气层) $GM=3.986\,004418 \times 10^{14} \text{m}^3 \text{s}^{-2}$

正常化二阶带谐系数 $J2=1.082629832258 \times 10^{-3}$

地球自转角速度 $\omega=7.292\,115 \times 10^{-5} \text{rad/s}$

A3 1980 西安坐标系的参考椭球基本参数

长半径 $a=6378140\text{m}$

扁率 $f=1/298.257$

地球引力常数（含大气层） $GM=3.986005 \times 10^{14} \text{m}^3 \text{s}^{-2}$

二阶带谐系数 $J_2=1.08263 \times 10^{-3}$

地球自转角速度 $\omega=7.292115 \times 10^{-5} \text{rad/s}$

A4 1954 年北京坐标系参考椭球基本参数

长半径 $a=6378245\text{m}$

扁率 $f=1/298.3$

附录 B

(规范性附录) 坐标转换模型

B1 布尔沙模型

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & R_z & -R_y \\ -R_z & D & R_x \\ R_y & -R_x & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

X_1, Y_1, Z_1 ——原坐标系坐标

X_2, Y_2, Z_2 ——目标坐标系坐标

$T_x, T_y, T_z, D, R_x, R_y, R_z$ ——七参数

B2 三维七参数转换模型

$$\begin{bmatrix} \Delta L \\ \Delta B \\ \Delta H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sin L}{(N+H)\cos B}\rho'' & \frac{\cos L}{(N+H)\cos B}\rho'' & 0 \\ -\frac{\sin B \cos L}{(M+H)}\rho'' & -\frac{\sin B \sin L}{(M+H)}\rho'' & \frac{\cos B}{(M+H)}\rho'' \\ \cos B \cos L & \sin B \sin L & \sin B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} \frac{N(1-e^2)+H}{N+H}tgB\cos L & \frac{N(1-e^2)+H}{N+H}tgB\sin L & -1 \\ -\frac{(N+H)-Ne^2\sin^2 B}{M+H}\sin L & \frac{(N+H)-Ne^2\sin^2 B}{M+H}\cos L & 0 \\ -Ne^2\sin B\cos B\sin L/\rho'' & Ne^2\sin B\cos B\cos L/\rho'' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{N}{M}e^2\sin B\cos B\rho'' \\ (N+H)-Ne^2\sin^2 B \end{bmatrix} \cdot D +$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{N}{Ma}e^2\sin B\cos B\rho'' & \frac{(2-e^2\sin^2 B)}{1-f}\sin B\cos B\rho'' \\ -\frac{N}{a}(1-e^2\sin^2 B) & \frac{M}{1-a}(1-e^2\sin^2 B)\sin^2 B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta f \end{bmatrix} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

e^2 ——第一偏心率的平方, 无量纲 $e^2 = 2f - f^2$

M ——地球椭球子午圈曲率半径, 单位为米, $M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 B)^{3/2}$

N ——地球椭球卯酉圈曲率半径, 单位为米 $N = a / (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$,

B, L, H ——点位纬度、经度、大地高, 经纬度单位为弧度, 大地高单位为米
 $\Delta B, \Delta L, \Delta H$ ——点位在两个坐标系下纬度差、经度差、大地高差。经纬度差值单位为弧度秒, 大地高差值单位为米

ρ ——角度与弧度间转换量, 单位弧度秒, $\rho = 180 \times 3600 / \pi$

$a, \Delta a$ ——椭球长半轴和长半轴差, 单位为米

$f, \Delta f$ ——椭球扁率和扁率差, 无量纲

T_x, T_y, T_z ——平移参数, 单位为米

R_x, R_y, R_z ——旋转参数, 单位为弧度秒

D ——尺度参数, 无量纲

B3 二维七参数转换模型

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Delta L \\ \Delta B \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{\sin L}{N \cos B} \rho'' & -\frac{\cos L}{N \cos B} \rho'' & 0 \\ -\frac{\sin B \cos L}{M} \rho'' & -\frac{\sin B \sin L}{M} \rho'' & \frac{\cos B}{M} \rho'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \\ &\begin{bmatrix} \operatorname{tg} B \cos L & \operatorname{tg} B \sin L & -1 \\ -\sin L & \cos L & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{N}{M} e^2 \sin B \cos B \rho'' \end{bmatrix} \cdot D + \cdots \quad (\text{B.3}) \\ &\begin{bmatrix} 0 \\ \frac{N}{Ma} e^2 \sin B \cos B \rho'' & \frac{(2 - e^2 \sin^2 B)}{1 - f} \sin B \cos B \rho'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta a \\ \Delta f \end{bmatrix} \end{aligned}$$

式中:

e^2 ——第一偏心率的平方, 无量纲

M, N ——子午圈和卯酉圈的曲率半径, 单位为米

$B, L, \Delta B, \Delta L$ ——点位纬度、经度, 及其在两个坐标系下的纬度差、经度差。
 经纬度单位为弧度, 其差值单位为弧度秒

ρ ——角度与弧度间转换量, 单位弧度秒, $\rho = 180 \times 3600 / \pi$

$a, \Delta a$ ——椭球长半轴和长半轴差, 单位为米

$f, \Delta f$ ——椭球扁率和扁率差, 无量纲

T_x, T_y, T_z ——平移参数, 单位为米

R_x, R_y, R_z ——旋转参数, 单位为弧度秒

D ——尺度参数, 无量纲

B4 三维四参数转换模型

坐标转换模型实质上是采用 T_x, T_y, T_z 3 个坐标平移量和 1 个控制网水平定向旋转量 α 作为参数。 α 是以区域中心 P_0 点法线为旋转轴的控制网水平定向旋转量, 顾及 1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系平面坐标由于起始定向与 2000 国家大地坐标系的差异引起的坐标变化。

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_C \cos B_0 \sin L_0 - Y_C \sin B_0 \\ -Z_C \cos B_0 \cos L_0 + X_C \sin B_0 \\ Y_C \cos B_0 \cos L_0 - X_C \cos B_0 \sin L_0 \end{bmatrix} \cdot \alpha \cdots \cdots (B. 4)$$

式中:

X_G, Y_G, Z_G ——2000 国家大地坐标系下的坐标, 单位为米

B_0, L_0 ——区域中心 P_0 点的大地经、纬度, 单位为弧度

X_C, Y_C, Z_C ——大地坐标系 (1954 年北京坐标系或 1980 西安坐标系) 坐标, 单位为米

T_x, T_y, T_z ——坐标平移量, 单位为米

α ——为旋转参数, 单位为弧度

B5 二维四参数转换模型

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \cdots \cdots (B. 5)$$

式中:

x_1, y_1 ——原坐标系下平面直角坐标, 单位为米

x_2, y_2 ——2000 国家大地坐标系下的平面直角坐标, 单位为米

$\Delta x, \Delta y$ ——为平移参数, 单位为米

α ——为旋转参数, 单位为弧度

m ——尺度参数, 无量纲

B6 多项式拟合模型

椭球面上拟合公式:

$$\begin{aligned} dB &= a_0 + a_1 B + a_2 L + a_3 BL + a_4 B^2 + a_5 L^2 \dots\dots\dots (B.6) \\ dL &= b_0 + b_1 L + b_2 B + b_3 BL + b_4 L^2 + b_5 B^2 \end{aligned}$$

式中:

B, L ——纬度、经度, 单位为弧度

a_i, b_i ——多项式拟合系数, 通过最小二乘求解。

平面拟合公式

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + \Delta x \dots\dots\dots (B.7) \\ y_2 &= y_1 + \Delta y \end{aligned}$$

式中:

x_1, y_1 —— 原平面直角坐标

x_2, y_2 ——目标平面直角坐标

$\Delta x, \Delta y$ ——坐标转换改正量, 用下式计算;

$$\begin{aligned} \Delta x \text{ 或 } \Delta y &= a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^3 + a_7 x^2 y + \\ &\quad a_8 xy^2 + a_9 y^3 + \dots \end{aligned}$$

其中 a_i 为系数, 通过最小二乘求解。

B7 高斯投影正算公式

$$\begin{aligned} x &= X + N t \cos^2 B \frac{l^2}{\rho^2} \left[0.5 + \frac{1}{24} (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) \cos^2 B \frac{l^2}{\rho^2} + \frac{1}{720} (61 - 58t^2 + t^4) \cos^4 B \frac{l^4}{\rho^4} \right] \\ y &= N \cos B \frac{l}{\rho} \left[1 + \frac{1}{6} (1 - t^2 + \eta^2) \cos^2 B \frac{l^2}{\rho^2} + \frac{1}{120} (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) N \cos^4 B \frac{l^4}{\rho^4} \right] \end{aligned} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中符号含义及计算方法参见 B8 高斯投影反算公式。

B8 高斯投影反算公式

$$B = B_f - \frac{\rho t_f}{2M_f} \gamma \left(\frac{y}{N_f} \right) \left[1 - \frac{1}{12} (5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2) \left(\frac{y}{N_f} \right)^2 + \frac{1}{360} (61 + 90t_f^2 + 45t_f^4) \left(\frac{y}{N_f} \right)^4 \right]$$

$$l = \frac{\rho}{\cos B_f} \left(\frac{y}{N_f} \right) \left[1 - \frac{1}{6} (1 + 2t_f^2 + \eta_f^2) \left(\frac{y}{N_f} \right)^2 + \frac{1}{120} (5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2 t_f^2) \left(\frac{y}{N_f} \right)^4 \right]$$

..... (B.9)

式中:

e^2 ——第一偏心率的平方, $e^2 = 2f - f^2$, $f = \frac{a-b}{a}$, $b = a\sqrt{1-e^2}$, $c = \frac{a^2}{b}$

e' ——第二偏心率, $e' = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{b}$, $\eta^2 = e'^2 \cos^2 B$, $t = \operatorname{tg} B$

W ——计算中间过程变量, $W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$,

V ——计算中间过程变量, $V = \sqrt{1 + e'^2 \cos^2 B}$

M ——子午圈曲率半径, $M = \frac{a(1-e^2)}{W^3} = \frac{c}{V^3}$

N ——卯酉圈曲率半径, $N = \frac{a}{W} = \frac{c}{V}$

X ——子午线弧长。设有子午线上两点 p1 和 p2, p1 在赤道上, p2 纬度为 B, p1、p2 间的子午线弧长 X 计算公式

$$X = a(1-e^2)(A' \operatorname{arc} B - B' \sin 2B + C' \sin 4B - D' \sin 6B + E' \sin 8B - F' \sin 10B + G' \sin 12B)$$

式中:

$$A' = 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 + \frac{43659}{65536}e^{10} + \frac{693693}{1048576}e^{12}$$

$$B' = \frac{3}{8}e^2 + \frac{15}{32}e^4 + \frac{525}{1024}e^6 + \frac{2205}{4096}e^8 + \frac{72765}{131072}e^{10} + \frac{297297}{524288}e^{12}$$

$$C' = \frac{15}{256}e^4 + \frac{105}{1024}e^6 + \frac{2205}{16384}e^8 + \frac{10395}{65536}e^{10} + \frac{1486485}{8388608}e^{12}$$

$$D' = \frac{35}{3072}e^6 + \frac{105}{4096}e^8 + \frac{10395}{262144}e^{10} + \frac{55055}{1048576}e^{12}$$

$$E' = \frac{315}{131072}e^8 + \frac{3465}{524288}e^{10} + \frac{99099}{8388608}e^{12}$$

$$F' = \frac{693}{1310720}e^{10} + \frac{9009}{5242880}e^{12}$$

$$G' = \frac{1001}{8388608}e^{12}$$

底点纬度 B_f 迭代公式:

$$B_0 = \frac{X}{a(1-e^2)A}, \quad B_{i+1} = B_i + \frac{X - F(B_i)}{F'(B_i)}$$

直到 $B_{i+1} - B_i$ 小于某一指定数值, 即可停止迭代。式中

$$F(B) = a(1-e^2)[A' \arcsin B - B' \sin 2B + C' \sin 4B - D' \sin 6B \\ + E' \sin 8B - F' \sin 10B + G' \sin 12B]$$

$$F'(B) = a(1-e^2)[A' - 2B' \cos 2B + 4C' \cos 4B - 6D' \cos 6B \\ + 8E' \cos 8B - 10F' \cos 10B + 12G' \cos 12B]$$

附录 C

(资料性附录)

ITRF 框架转换参数及其速率

C1 转换参数符号表示及单位

表 C. 1 转换参数符号表示及单位

转换参数	平移参数			尺度参数	旋转参数			参考历元
符号表示	T_x	T_y	T_z	D	R_x	R_y	R_z	t_0
计量单位	毫米（mm）			10^{-9} (ppb)	毫角秒（mas， 0.001″）			
速率符号	$\dot{T}_x$	$\dot{T}_y$	$\dot{T}_z$	$\dot{D}$	$\dot{R}_x$	$\dot{R}_y$	$\dot{R}_z$	
计量单位	毫米/年 （mm/y）			10^{-9} /年 （ppb/y）	毫角秒/年 （0.001″/y）			

C2 从 ITRF2000 转换到 ITRFyy 的转换参数与速率

表 C. 2 从 ITRF2000 转换到 ITRFyy 的转换参数与速率

ITRFyy	T_x	T_y	T_z	D	R_x	R_y	R_z	t_0
速率 (rates)	$\dot{T}_x$	$\dot{T}_y$	$\dot{T}_z$	$\dot{D}$	$\dot{R}_x$	$\dot{R}_y$	$\dot{R}_z$	
ITRF97 rates	6.7	6.1	-18.5	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
	0.0	-0.6	-1.4	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF96 rates	6.7	6.1	-18.5	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
	0.0	-0.6	-1.4	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF94 rates	6.7	6.1	-18.5	1.55	0.00	0.00	0.00	1997.0
	0.0	-0.6	-1.4	0.01	0.00	0.00	0.02	
ITRF93 rates	12.7	6.5	-20.9	1.95	-0.39	0.80	-1.14	1988.0
	-2.9	-0.2	-0.6	0.01	-0.11	-0.19	0.07	

ITRF92 rates	14.7 0.0	13.5 -0.6	-13.9 -1.4	0.75 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF91 rates	26.7 0.0	27.5 -0.6	-19.9 -1.4	2.15 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF90 rates	24.7 0.0	23.5 -0.6	-35.9 -1.4	2.45 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF89 rates	29.7 0.0	47.5 -0.6	-73.9 -1.4	5.85 0.01	0.00 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0
ITRF88 rates	24.7 0.0	11.5 -0.6	-97.9 -1.4	8.95 0.01	0.10 0.00	0.00 0.00	-0.18 0.02	1988.0

C3 ITRF2005 到 ITRF2000 的转换参数及其速率

表 C.3 ITRF2005 到 ITRF2000 的转换参数及其速率

转换参数	T_x	T_y	T_z	D	R_x	R_y	R_z	t_0
速率 (rates)	$\dot{T}_x$	$\dot{T}_y$	$\dot{T}_z$	$\dot{D}$	$\dot{R}_x$	$\dot{R}_y$	$\dot{R}_z$	
+/-	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000	2000.0
	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012	
rates	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000	
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012	

C4 ITRF2008 到 ITRFyy 的转换参数及其速率

表 C.4 ITRF2008 到 ITRFyy 的转换参数及其速率

ITRFyy	T_x	T_y	T_z	D	R_x	R_y	R_z	t_0
速率 (rates)	$\dot{T}_x$	$\dot{T}_y$	$\dot{T}_z$	$\dot{D}$	$\dot{R}_x$	$\dot{R}_y$	$\dot{R}_z$	
ITRF2005 rates	-2.0 0.3	-0.9 0.0	-4.7 0.0	0.94 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	2000.0
ITRF2000 rates	-1.9 0.1	-1.7 0.1	-10.5 -1.8	1.34 0.08	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	2000.0
ITRF97 rates	4.8 0.1	2.6 -0.5	-33.2 -3.2	2.92 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0
ITRF96 rates	4.8 0.1	2.6 -0.5	-33.2 -3.2	2.92 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0

ITRF94 rates	4.8 0.1	2.6 -0.5	-33.2 -3.2	2.92 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0
ITRF93 rates	-24.0 -2.8	2.4 -0.1	-38.6 -2.4	3.41 0.09	-1.71 -0.11	-1.48 -0.19	-0.30 0.07	2000.0
ITRF92 rates	12.8 0.1	4.6 -0.5	-41.2 -3.2	2.21 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0
ITRF91 rates	24.8 0.1	18.6 -0.5	-47.2 -3.2	3.61 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0
ITRF90 rates	22.8 0.1	14.6 -0.5	-63.2 -3.2	3.91 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0
ITRF89 rates	27.8 0.1	38.6 -0.5	-101.2 -3.2	7.31 0.09	0.00 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0
ITRF88 rates	22.8 0.1	2.6 -0.5	-125.2 -3.2	10.41 0.09	0.10 0.00	0.00 0.00	0.06 0.02	2000.0

附录 D

(规范性附录)

ITRF 框架与 2000 国家大地坐标系 框架间转换

D1 历元归算

ITRF 框架对应的转换关系是定义在具体历元基础上, 参见附录 C。ITRF2000 与之前框架的转换关系为历元 1997.0 或 1988.0, 将附录 C 中参数转换归算到同一历元 (2000.0)。

首先将框架的参考历元 t_0 (1997.0 或 1988.0) 历元转换为 t (2000.0) 历元。转换公式:

$$\begin{aligned}T_x(t=2000.0) &= T_x(t_0) + \dot{T}_x \cdot (2000.0 - t_0) \\T_y(t=2000.0) &= T_y(t_0) + \dot{T}_y \cdot (2000.0 - t_0) \\T_z(t=2000.0) &= T_z(t_0) + \dot{T}_z \cdot (2000.0 - t_0) \\R_x(t=2000.0) &= [R_x(t_0) + \dot{R}_x \cdot (2000.0 - t_0)] \cdot m_r \\R_y(t=2000.0) &= [R_y(t_0) + \dot{R}_y \cdot (2000.0 - t_0)] \cdot m_r \\R_z(t=2000.0) &= [R_z(t_0) + \dot{R}_z \cdot (2000.0 - t_0)] \cdot m_r \\D(t=2000.0) &= D(t_0) + \dot{D} \cdot (2000.0 - t_0)\end{aligned}\quad (\text{D.1})$$

式中:

$m_r = 4.84813681 \times 10^{-9}$ 由毫弧秒(mas)到弧度的转换因子。

D2 框架间转换的间接方法

如果框架间没有直接关系, 可采用间接方法进行转换。

例如将基于 ITRF2005 框架、当前历元的坐标成果转换到 2000 国家大地坐标系 (ITRF97 框架、2000.0 历元) 下坐标时, 框架间的转换可采用如下方法:

$$\text{ITRF2005} \rightarrow \text{ITRF97} = \text{ITRF2005} \rightarrow \text{ITRF2000} +$$

ITRF2000→ITRF97

即：分两步进行转换，首先从 ITRF2005 框架、当前历元转换到 ITRF2000 框架、2000.0 历元；然后再从 ITRF2000 框架、2000.0 历元转换到 ITRF97 框架、2000.0 历元。

D3 板块运动改正

不同框架、不同历元下的成果转换到 2000 国家大地坐标系所在的 ITRF97 框架和 2000.0 历元下，方法如下：

根据 IGS 站速度值和观测历元 t_c 与需转换历元 t 的历元差，求出框架所对应历元下的坐标由于板块运动引起的坐标变化值，将观测历元转换为转换公式为

$$\begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{t_c} \\ Y_{t_c} \\ Z_{t_c} \end{bmatrix} + (t - t_c) \begin{bmatrix} \dot{X}_s \\ \dot{Y}_s \\ \dot{Z}_s \end{bmatrix} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

t_c ——观测历元

t ——需转换历元

X_t, Y_t, Z_t ——历元 t 时的坐标

$X_{t_c}, Y_{t_c}, Z_{t_c}$ ——观测历元 t_c 时的坐标

$\dot{X}_s, \dot{Y}_s, \dot{Z}_s$ ——IGS 站速度值

D4 框架点坐标计算

根据框架间转换关系进行转换

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF97} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRFyy} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R_z & R_y \\ R_z & D & -R_x \\ -R_y & R_x & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRFyy} \dots (D.3)$$

式中：

$[X, Y, Z]_{ITRFyy}^T$ ——ITRFyy 框架下坐标

$[X, Y, Z]_{ITRF97}^T$ ——2000 国家大地坐标系下坐标

$T_x, T_y, T_z, D, R_x, R_y, R_z$ ——七参数

附录 E

(规范性附录)
精度评定公式

E1 重合点残差 V

$V = \text{重合点转换坐标值} - \text{重合点已知坐标值} \dots\dots\dots (E.1)$

E2 点位中误差

$M_p = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \dots\dots\dots (E.2)$

式中:

M_x ——空间直角坐标 X 残差中误差, $M_x = \pm \sqrt{\frac{[vv]_x}{n-1}}$
 M_y ——空间直角坐标 Y 残差中误差, $M_y = \pm \sqrt{\frac{[vv]_y}{n-1}}$
 M_z ——空间直角坐标 Z 残差中误差, $M_z = \pm \sqrt{\frac{[vv]_z}{n-1}}$

n 为点位个数

E3 平面点位中误差

$M_p = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \dots\dots\dots (E.3)$

式中:

M_x ——平面坐标 x 残差中误差 $M_x = \pm \sqrt{\frac{[vv]_x}{n-1}}$
 M_y ——平面坐标 y 残差中误差 $M_y = \pm \sqrt{\frac{[vv]_y}{n-1}}$

n 为点位个数

公开方式: 主动公开

抄送: 中国测绘科学研究院, 国家基础地理信息中心, 国家测绘产品质量检验测试中心。