



多种坐标系向CGCS2000转换

-----大地测量控制点坐标转换技术规范

国家测绘地理信息局大地测量数据处理中心

李东

2017年12月

主要内容

1

2000国家大地坐标系组织实施及概述

2

大地测量控制点坐标转换技术规范

3

2000国家大地坐标系阶段成果、推广应用

主要内容

1

2000国家大地坐标系组织实施及概述

2

大地测量控制点坐标转换技术规范

3

2000国家大地坐标系阶段成果、推广应用

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

2008. 6 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”。

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

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8~10年**，到 **2018年7月1日**为止。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

组织管理

国家测绘地理信息局 国土测绘司

中国测绘科学
研究院

国家测绘地理信息局大地测
量数据处理中心

国家基础地理信息
中心

国家级CGCS2000转换成果

省级测绘地理信息测绘主管部门

省级CGCS2000转换成果

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

(3) 技术支持

为作好启用2000国家大地坐标系的技术支持和服务，国家测绘局组建“技术协调组”、“小比例尺测绘成果转换服务组”、“大中比例尺测绘成果转换服务组”等三个小组。具体分工为：

“技术协调组”（依托中国测绘科学研究院）主要负责：启用2000国家大地坐标系技术协调；研制1:5万多种坐标系地形图与2000国家大地坐标系对照模片电子版；研制2000国家大地坐标系下三、四等天文大地网平差软件。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

(3) 技术支持（续）

“小比例尺测绘成果转换服务组”（依托**国家基础地理信息中心**）主要负责：1:5万及以小比例尺基础地理信息数据库转换、相应技术支持和成果提供；2000国家大地坐标系下1:5万地形图编制印刷；2000国家大地坐标系下国家大地控制点坐标成果提供。

“大中比例尺测绘成果转换服务组”（依托**国家测绘地理信息局大地测量数据处理中心**）主要负责：2000国家大地坐标系下三、四等天文大地网的平差；1:5万、1:1万地形图图幅坐标平移量计算；1:1万和1:5千地理信息数据库转换、独立坐标系与2000国家大地坐标系建立联系方面的技术支持与服务。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

国家测绘地理信息局大地测量数据处理中心主要任务

实际工作内容：

- (1) 80、54向CGCS2000转换，1:5万、1:1万图幅改正量、3"格网改正量；目的基础地理信息数据转换；
- (2) 相对独立坐标系与CGCS2000建立联系。
- (3) 为多个省、市控制点及基础地理信息坐标转换软件，应用到14个省、30多个市；中国土地勘测规划院、中国地质局、中石油、长江航道局、林业部等行业。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

采用2000国家大地坐标系的必要性

建国以来，国家测绘局先后于上世纪50年代和80年代建设了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。

但这两个坐标系都是参心、二维、低精度、静态的大地坐系统，无法满足当前与今后空间技术发展的要求。迫切需要国家建立一个以全球参考基准框架为背景的、高精度、地心、动态、实用、统一的大地坐系统一地心坐标系。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

半个多世纪以来，我国一直使用的1954年北京坐标系和1980西安坐标系，是局部坐标系，原点偏离地球质心上百米；



1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

■ 采用2000国家大地坐标系的必要性

➤ 现行参心大地坐标系不足

- § 坐标系不唯一，原点不统一；
- § 控制点精度低（相对精度仅为 10^{-6} ）；
- § 现势性不够；
- § 仅能提供二维坐标。

➤ 空间科技发展提供了技术保障

- § 地心系可更好描述空间物体的运动；
- § 利用空间技术得到的定位和影像等成果，都以地心坐标系为参照系；
- § 快速、地心、动态、精确（相对精度 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ ）；
- § 提供三维坐标。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

■ 采用2000国家大地坐标系的意义

■ CGCS2000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。

◆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。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

■ 2000国家大地坐标系定义

- 原点：包括海洋和大气的整个地球的质量中心；
- Z轴：由原点指向历元2000.0的地球参考极的方向；
- X轴：由原点指向格林尼治参考子午线与赤道面(历元2000.0)的交点；
- Y轴：与Z轴、X轴构成右手正交坐标系；
- 2000国家大地坐标系采用椭球简称CGCS2000椭球。

CGCS2000椭球参数

长半轴

$$a = 6378137m$$

扁率

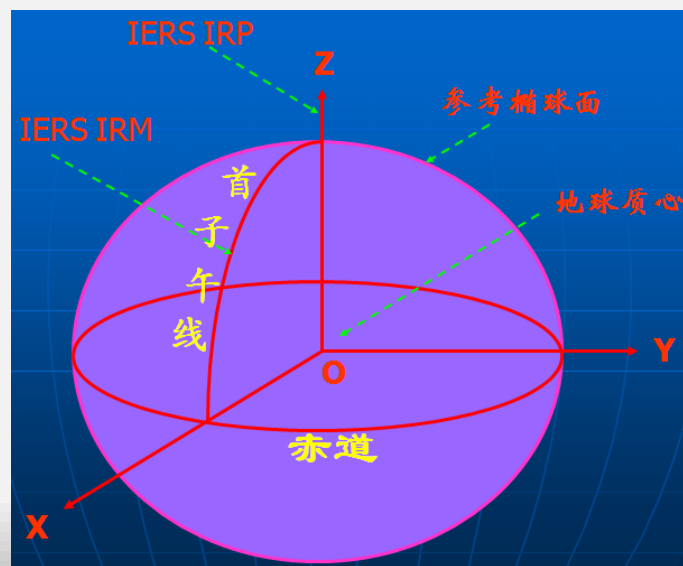
$$f = 1/298.257222101$$

地心引力常数

$$GM = 3.986004418 \times 10^{14} m^3 s^{-2}$$

地球自转角速度

$$\omega = 7.292115 \times 10^{-5} rad s^{-1}$$



1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

CGCS2000参考椭球

- a) CGCS2000参考椭球是一旋转椭球，其几何中心与CGCS2000的原点重合，旋转轴与CGCS2000的Z轴一致，其表面代表地球的数学表面。
- b) CGCS2000参考椭球又是其表面为正常重力场的等位面的正常椭球。
- c) CGCS2000参考椭球由四个常数（ a , GM , J_2 , ω ）定义。

1、2000国家大地坐标系组织实施及概述

一般规定

- a) “2000中国大地坐标系”，又称“2000 国家大地坐标系”；英译为 China Geodetic Coordinate System 2000，缩写为 CGCS2000；
- b) CGCS2000由原点、尺度、坐标轴的定向及其时间演变定义，由地面点集合的坐标和速度实现；
- c) 采用CGCS2000参考椭球参数进行三维坐标变换；
- d) 大地经纬度变换为地图平面坐标，采用高斯—克吕格投影或墨卡托投影。

主要内容

1

2000国家大地坐标系组织实施及概述

2

大地测量控制点坐标转换技术规范

3

2000国家大地坐标系阶段成果、推广应用

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

范围

本标准规定了**大地测量控制点**坐标转换到2000国家大地坐标系的技术要求，包括重合点选取、坐标转换模型、转换方法、精度评价等。

本标准适用于地方独立坐标系、1954年北京坐标系、1980西安坐标系、WGS-84坐标系以及ITRF框架下的大地测量控制点向2000国家大地坐标系的坐标转换。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.1 控制点精度

2000国家大地坐标系控制点实现精度及省、市级卫星大地控制网C级点、D级点转换后的精度要求见表1。

表1 2000国家大地坐标系控制点点位中误差

点位类型		点位坐标中误差	备注
卫星导航定位基准站	国家级卫星导航定位基准站	0.005m	为2000国家大地坐标系控制点实现精度
	省级卫星导航定位基准站	0.01m	
2000国家GPS大地控制网		0.03m	
国家天文大地点	一、二等点	0.11m	
	三、四等点	0.20m	为内符合精度
省、市级卫星大地控制网	C级点	0.01m	
	D级点	0.02m	

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 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, 其参考框架是ITRF97, 参考历元为2000.0。

(1) 2000国家大地控制网构成

- ① 2000国家GPS大地控制网, 及其控制下完成的省(市) GPS 基础控制网;
- ② 在2000系下完成天文大地网联合平差获得的近5万个一、二等天文大地网点;
- ③ 在2000系下平差后获得的近8万个三、四等天文大地网点。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 2000国家大地坐标系坐标框架

(2) 2000国家大地控制网按精度不同可划分为三个层次网

第一层次为CGCS2000连续运行GPS网（国家CORS系统）。CGCS2000的维持主要依靠连续运行GPS观测站，它们是CGCS2000的骨架，其坐标精度为mm级，速度精度为1mm/a。

第二层次为2000国家GPS大地控制网。由全国GPS一、二级网、国家GPS A、B级网，地壳运动监测网和地壳运动观测网络工程网组成，共计2600多点，其三维地心坐标精度约为3cm。在2000国家GPS大地控制网下建立的省（市）GPS基础控制网。

第三层次为2000系下获得的全国天文大地控制网（约有5万点）与全国三、四等三角网（约有8万点）。它是CGCS2000的加密框架。全国天文大地网平均点位精度达到 $\pm 0.11\text{m}$ （整体平差结果），大地高误差不超过0.5m，全国三、四等三角网平均点位精度为 $\pm 0.07\text{m}$ （相对国家一二等三角点分区平差结果）。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 2000国家大地坐标系坐标框架特点

时间长

空间大地网——2000国家GPS大地控制网（20年）
地面大地网——国家天文大地控制网（70多年）

数据量大

2000GPS网2500多点、4600多条基线；当前4508点。
天文大地网近5万点、未知参数20多万个；30多万条观测信息。

覆盖广

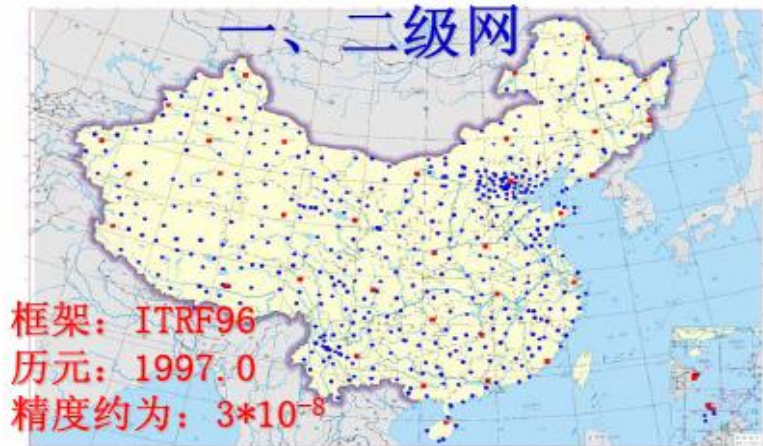
天文大地网覆盖全国内陆地区；
2000GPS控制网覆盖全国内陆和部分沿海岛屿。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

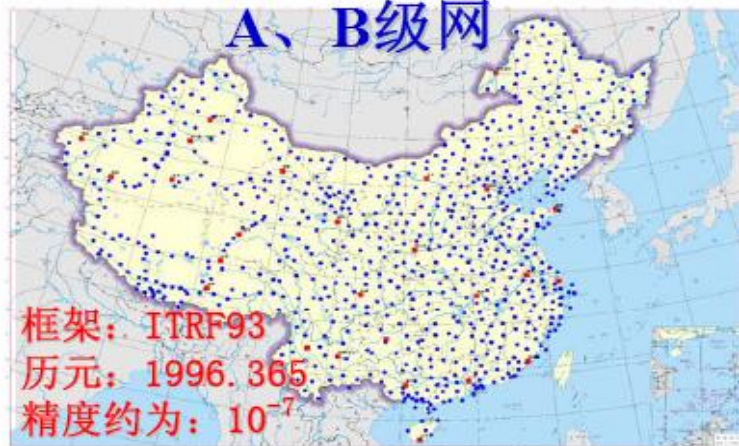
■ GPS大地控制网概况

➤ 我国先后建成四个较大规模的GPS大地网

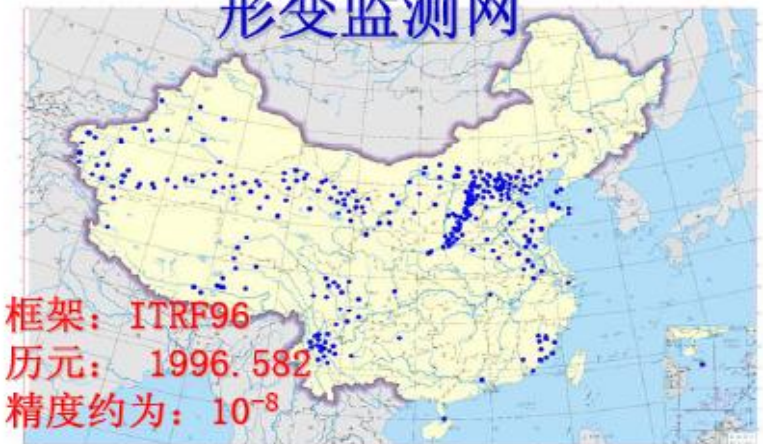
一、二级网



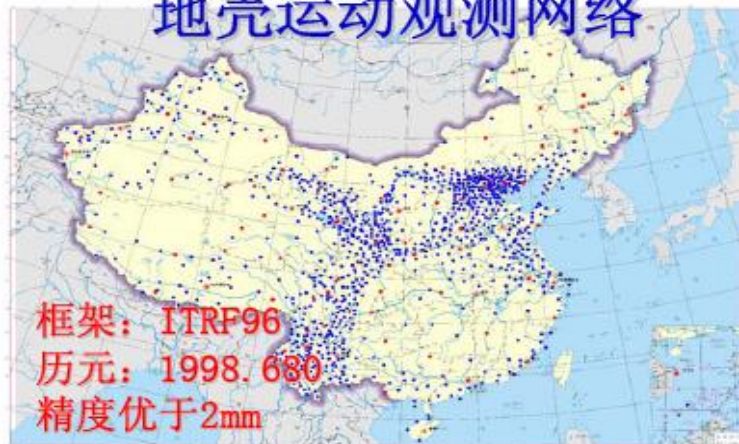
A、B级网



形变监测网

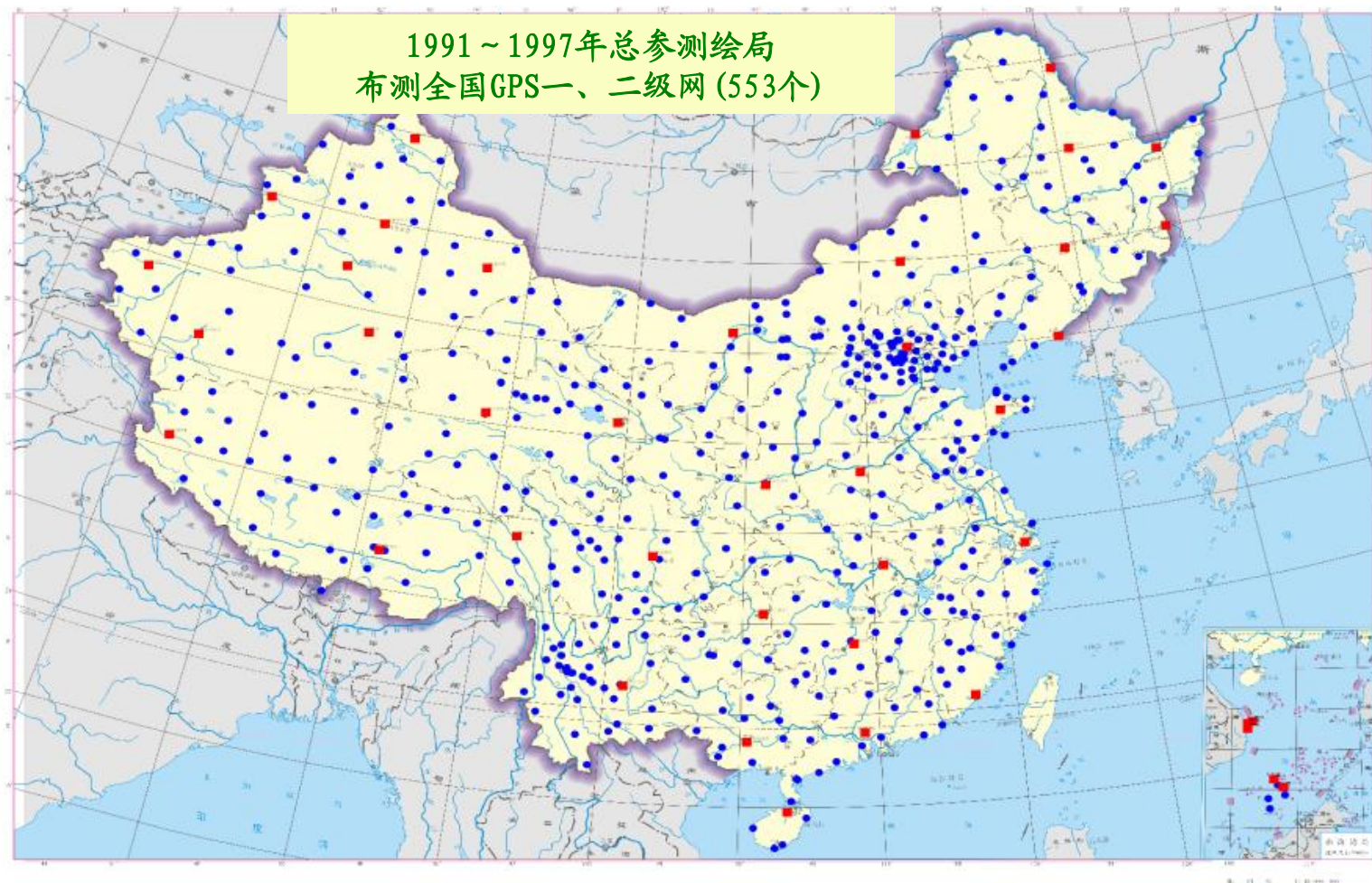


地壳运动观测网络



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 国家GPS大地网现状



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 国家GPS大地网现状



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 国家GPS大地网现状



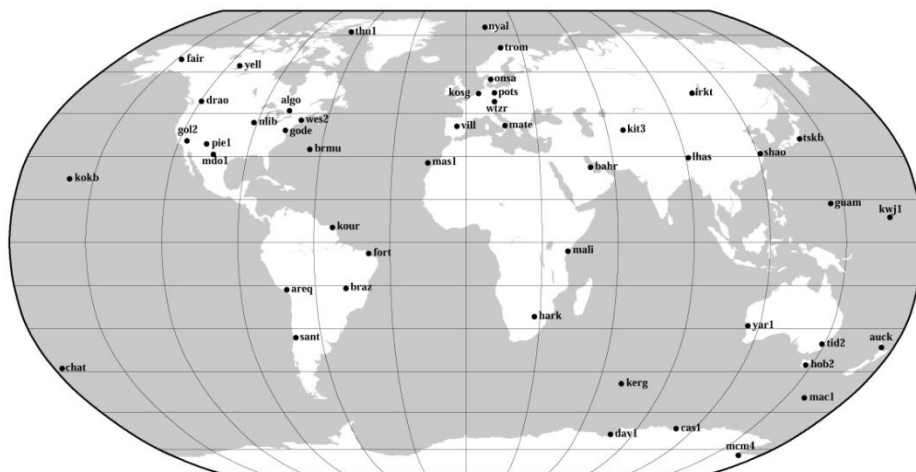
2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 2000国家GPS控制网工程



2000国家GPS大地控制网点分布图

确定参考框架的IGS核心站分布



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国天文大地网与GPS2000网联合平差工程

目的

- (1) 利用现代大地测量技术建立、改善和维护国家高精度大地测量基准；
- (2) 与世界大地基准建立精确的联系；
- (3) 使我国大地坐标系在过渡时期，既保持了相对稳定，又以其高精度满足空间技术应用的需要。

目标

- (1) 建立我国新的统一的国家地心大地坐标系；
- (2) 获得我国近5万天文大地网点高精度的地心坐标；
- (3) 获得高精度的地心坐标系与参心坐标系转换参数。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国天文大地网与GPS2000网联合平差工程

平差数据情况

联合平差全网共

分16个分区，平差数据共计三角（导线）

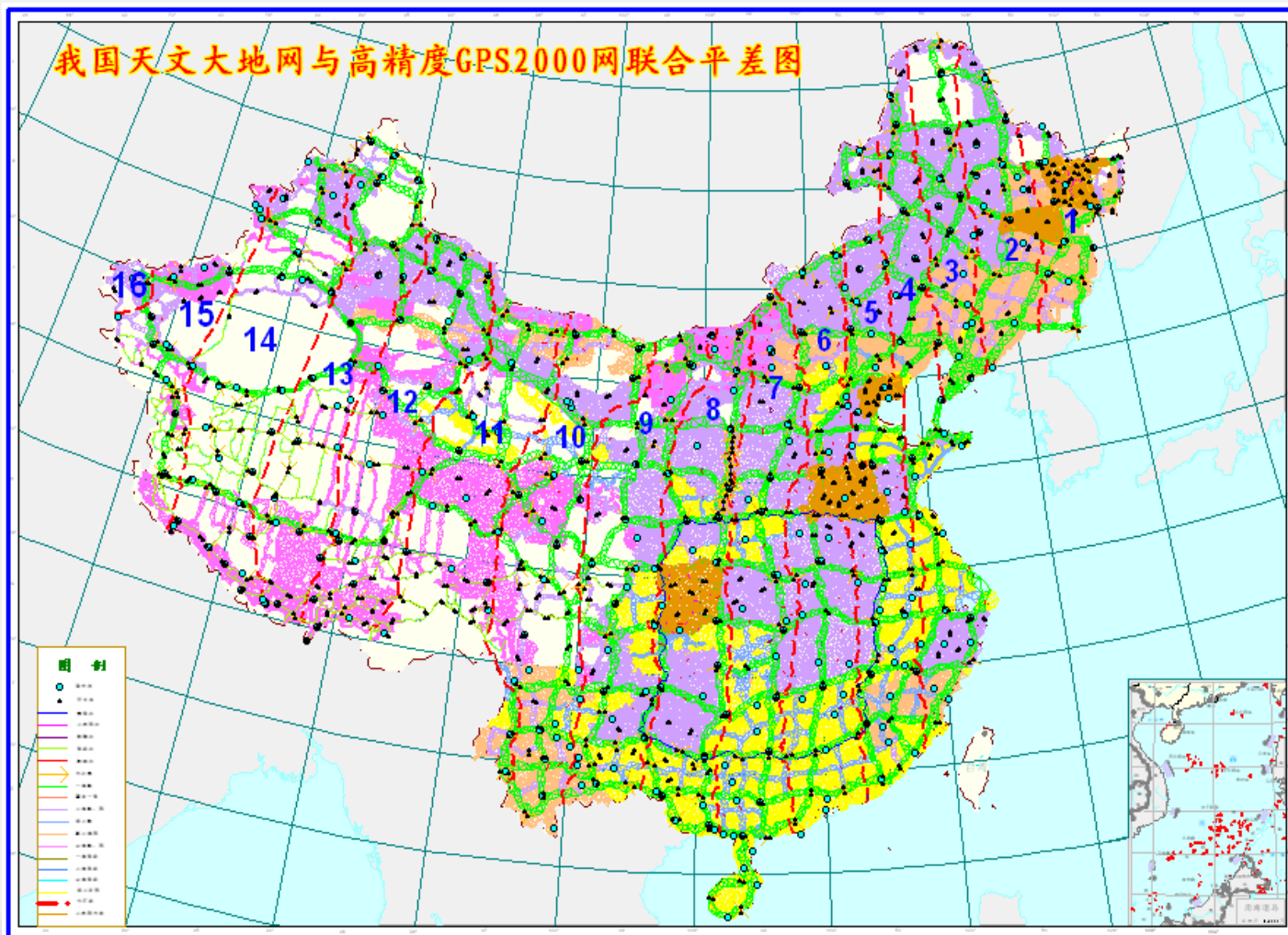
点48919个（其中联系

点1822个，地面网与空间网重合点336个）；

水平方向观测值14976

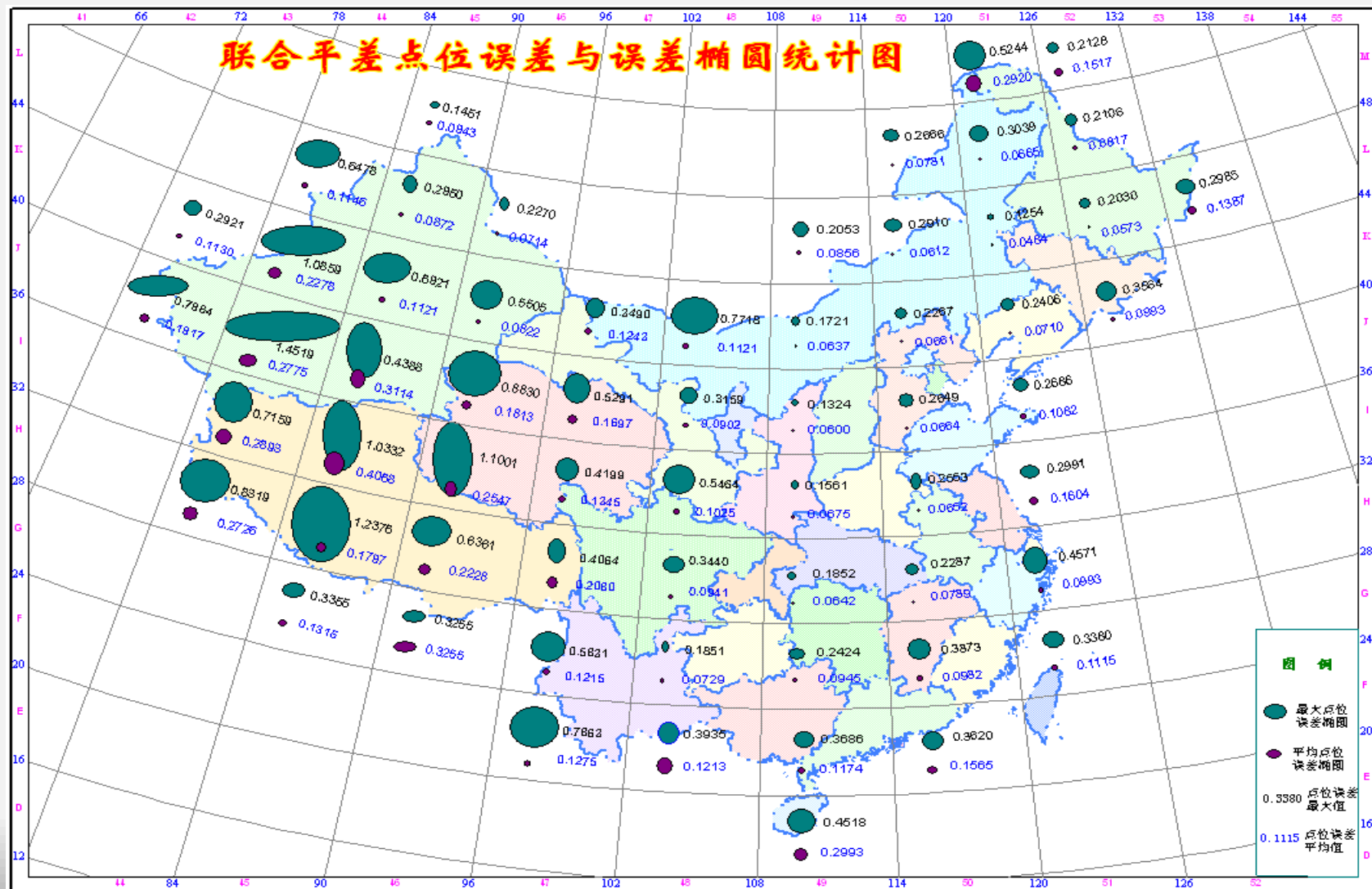
个；测距边2146条；

天文方位角1064个。



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国天文大地网与GPS2000网联合平差工程



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国天文大地网与GPS2000网联合平差工程

● 联合平差工程的主要成果

- 统一了我国大地测量工作者70多年的观测成果，提高了天文大地网的现势性；
- 统一了平差基准，削弱了地壳形变等系统误差；
- 加密了一个以ITRF地心坐标为基准的地心坐标框架(2000中国地心大地坐标框架)；
- 获得了全国约5万的地心坐标，平面精度约为0.11米；三维点位精度优于3分米；
- 使我国成为继北美、西欧之后又一个完成超大规模大地控制网平差的国家。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国三、四等三角网地心坐标平差工程

目标：利用已有的GPS/三角点及两网平差成果做控制，对全国三、四等三角点数据进行整理，采用平差方法将全国三、四等三角点纳入到2000系中。

主要工作内容

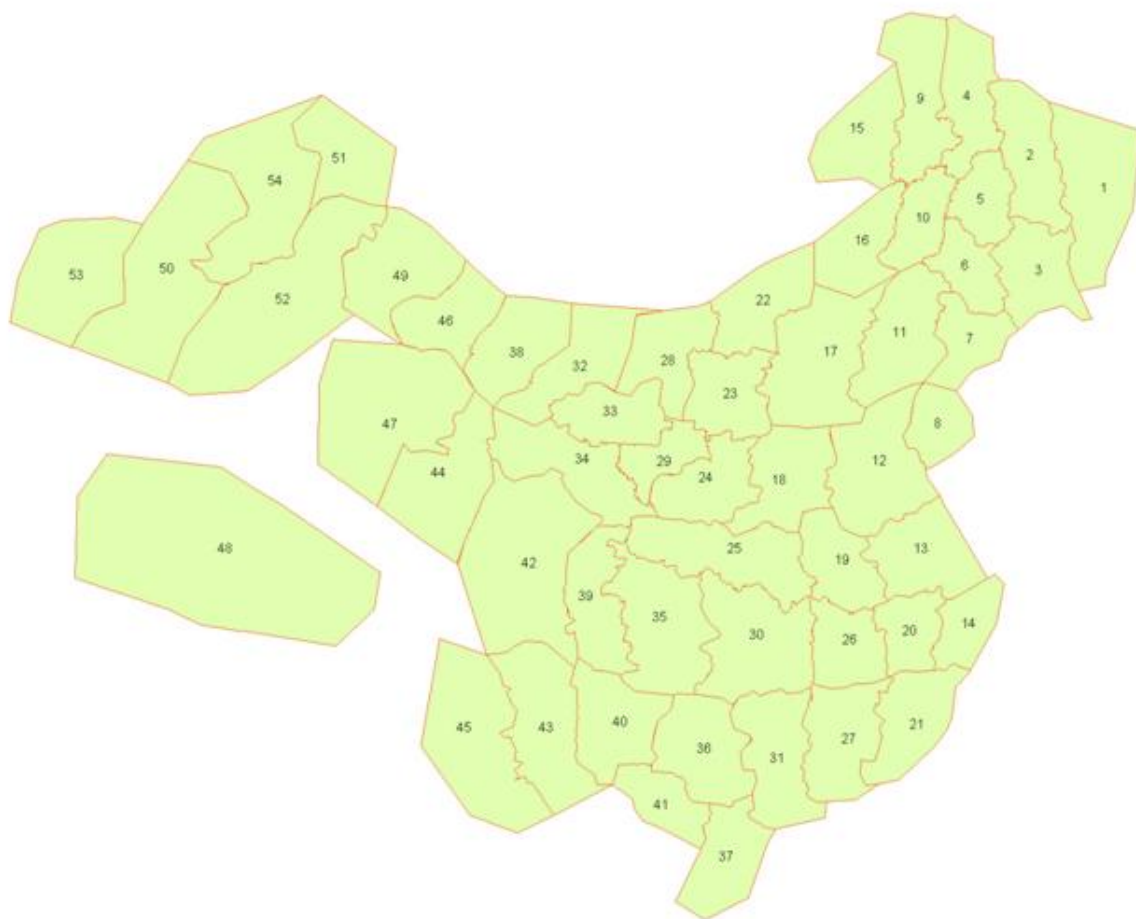
- ⊕ 对国家测绘局大地档案分馆馆藏的全国三、四等三角网平差项目（80系）以及未参加“两网平差”的一、二等三角测量观测数据进行录入、分析、整理；
- ⊕ 分析我国已有2000系成果，确定适宜的起算点；
- ⊕ 采用正确的数学模型，将所有观测数据归算至2000系；
- ⊕ 对归算到椭球面上的全部方向、边长与方位角进行近似误差方程自由项检核；逐区进行三角形闭合差大地四边形和中点多边形极条件的检验；
- ⊕ 形成分区平差数据文件，进行平差试算；
- ⊕ 平差计算、成果输出及精度评定。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国三、四等三角网地心坐标平差工程

参加平差计算的数据为分布在29个省市的653个原三四等平差区，共计117605点、600429条方向、482条起始边、1721条测边网及导线边、27个起始方位角及242个基线网平差资料。
平差分了54个平差区

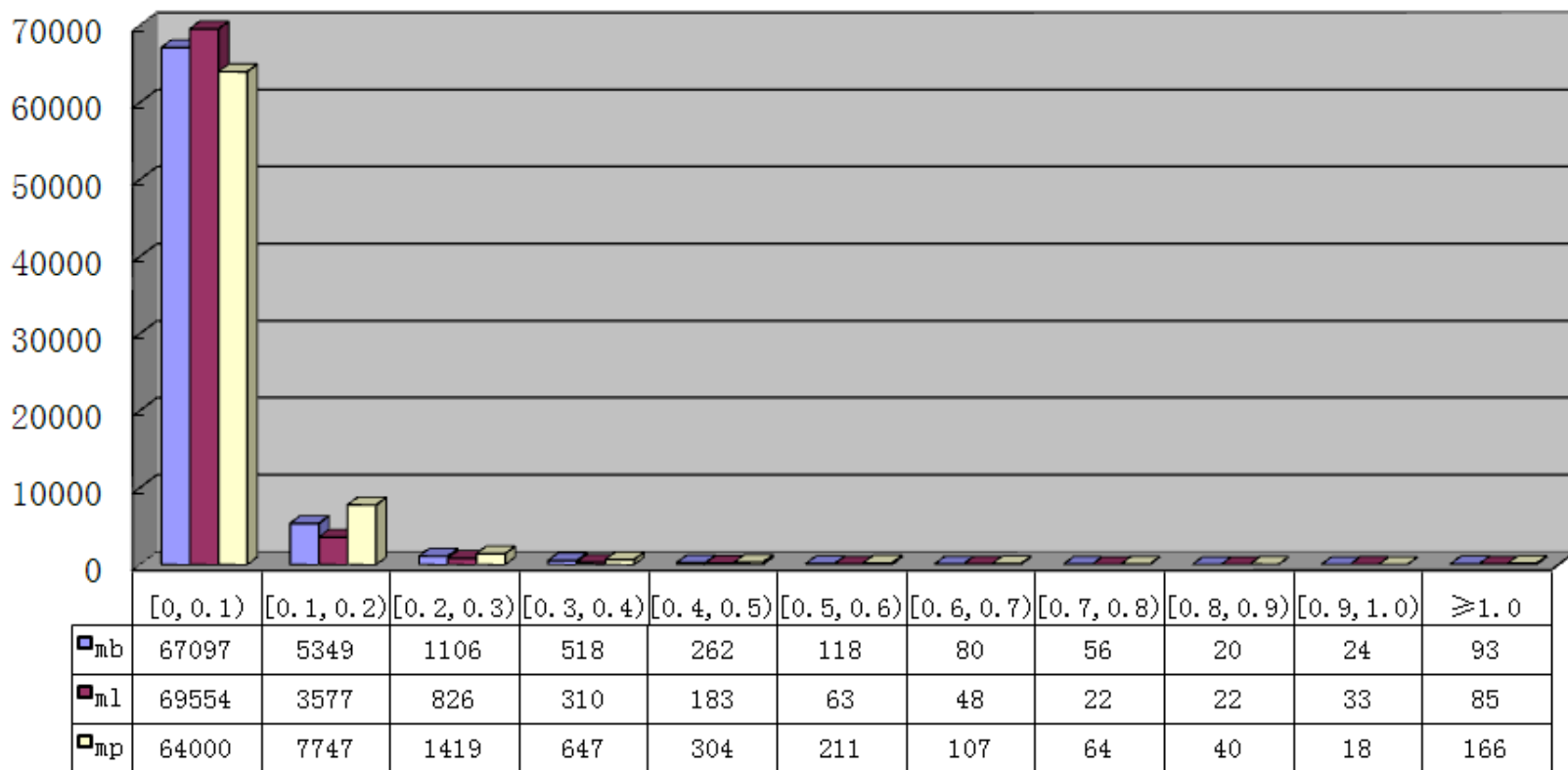
全国三四等三角网地心坐标平差分区示意图



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国三、四等三角网地心坐标平差工程

平差后点位中误差统计分布图



平差获得了全国**74723**点高精度（**点位平均精度0.07m**）的地心坐标成果。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国三、四等三角网地心坐标平差工程

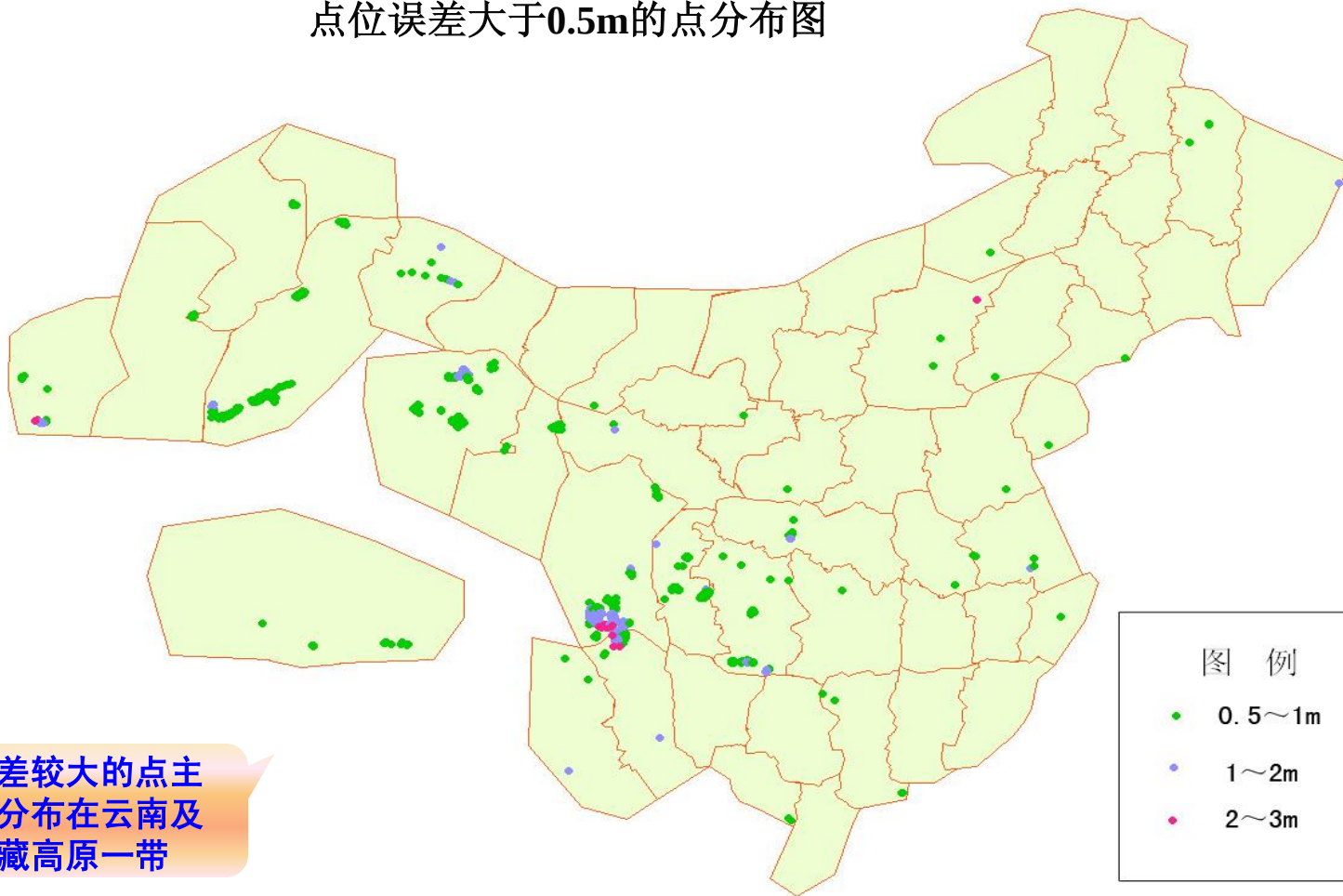
分区平均点位误差分布图



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ 全国三、四等三角网地心坐标平差工程

点位误差大于0.5m的点分布图



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

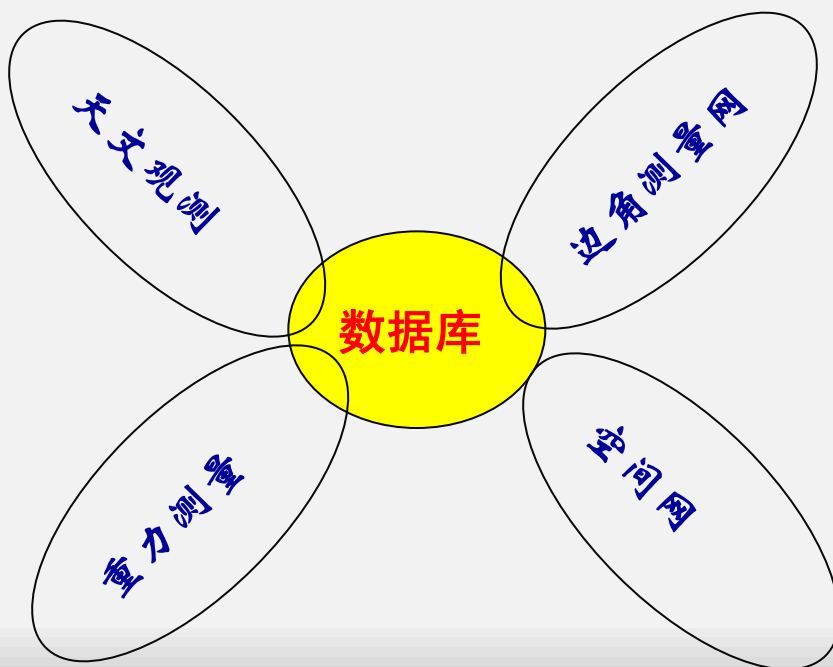
■ CGCS2000建设的主要成果

3、加强了地面天文大地网的现势性。

4、控制了地面网的系统误差和异常误差的影响。

5、系统建立了大地测量数据库，构建了一整套大地测量生产软件。

- 挖掘了天文大地网潜能；
- 节省了大量人力物力。



- 为后续的大地测量建设提供了基础。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.3 控制点使用原则

高精度控制点可用于低精度控制网的外部控制。控制点使用原则为：

- a) 国家级卫星导航定位基准站点：可作为省级及以下卫星导航定位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) 省级卫星导航定位基准站点：点位坐标归算到2000国家大地坐标系后，可作为C、D控制点及相对独立的平面坐标系建立控制点。
- d) 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。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.4模型选用和适用范围

控制点转换到2000国家大地坐标系的转换模型及适用范围

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 1954年北京坐标系	大地坐标	三维七参数	全国和省级范围 椭球面经纬差 $\geq 3^\circ$ 区域
		二维七参数	
		椭球面多项式拟合	
	空间直角坐标	布尔莎模型	全国及省级范围
		莫洛金斯基模型	省级以下范围
		三维四参数	$< 2^\circ \times 2^\circ$ 局部区域
	平面坐标	二维四参数	局部小区域
相对独立的平面坐标系	平面坐标	二维四参数	局部小区域
		平面多项式拟合	局部小区域

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.4模型选用

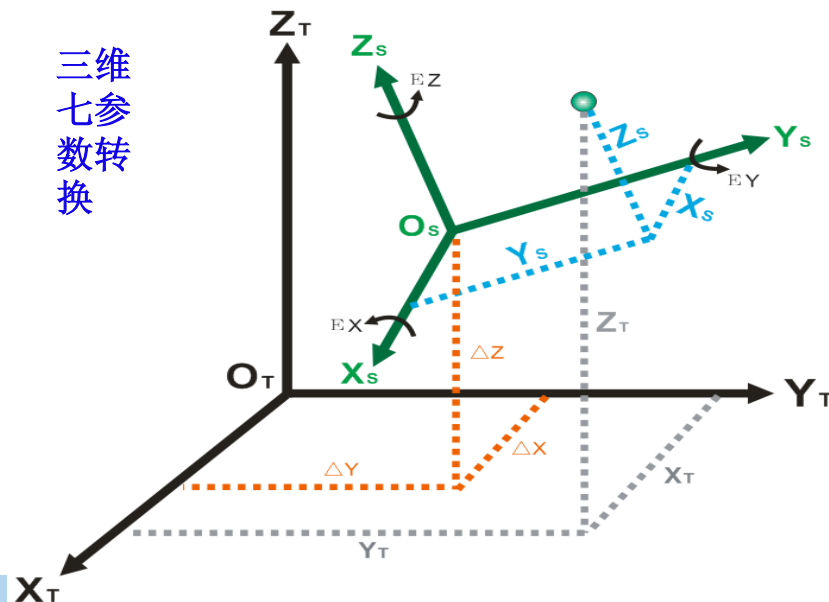
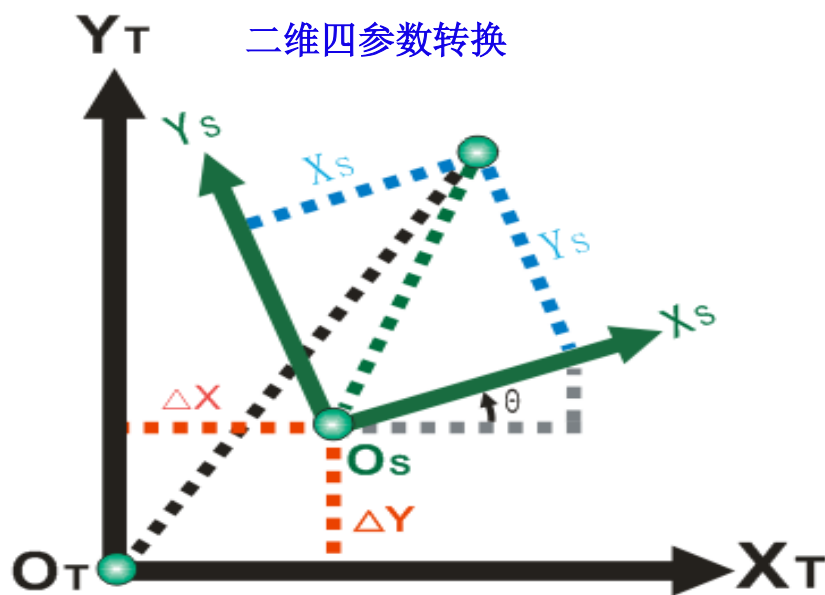
转换模型包括以下6种形式：

- a) 空间直角坐标转换模型：包括布尔莎模型和莫洛金斯基模型，用于不同参考椭球间空间直角坐标转换，重合点坐标为 X 、 Y 和 Z ；
- b) 三维七参数大地坐标转换模型：用于不同参考椭球间的大地坐标转换，重合点坐标为 B 、 L 和 H ；
- c) 二维七参数大地坐标转换模型：用于不同参考椭球间的椭球面上大地坐标转换，重合点坐标为 B 和 L ；
- d) 三维四参数空间直角坐标转换模型：用于不同参考椭球间的空间直角坐标系间的坐标转换，重合点坐标为 X 、 Y 和 Z ；
- e) 二维四参数平面坐标转换模型：用于不同高斯投影平面坐标转换，重合点坐标为 x 和 y ；
- f) 多项式拟合模型：有椭球面和平面两种形式。

2.4.1 不同坐标系之间的坐标转换模式

不同坐标系之间的坐标转换通常有两类转换模式：二维转换模式、三维转换模式。

各种转换模型各有其特点和适用性，因此，在坐标转换时，对各种坐标转换模型的适用特点、影响因素及转换精度进行分析，为不同区域坐标系之间的坐标转换选择合适的坐标转换模型提供依据是十分必要的。



2.4.2 几种常用坐标转换模型

(1) 布尔莎 Bursa 七参数坐标转换模型

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -Z_S & Y_S \\ Z_S & 0 & -X_S \\ -Y_S & X_S & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix}$$

式中： X_T, Y_T, Z_T 为目标坐标系空间直角坐标； X_S, Y_S, Z_S 为源坐标系空间直角坐标；

3 个平移参数 $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$, 3 个旋转参数 $[\varepsilon_X \ \varepsilon_Y \ \varepsilon_Z]^T$ 和 1 个尺度参数 m 。

(2) 三维多项式转换模型

$$B_T = B_S + \Delta B$$

$$L_T = L_S + \Delta L$$

$$H_T = H_S + \Delta H$$

式中： B_T, L_T, H_T 分别为目标坐标系大地坐标； B_S, L_S, H_S 分别为源坐标系大地坐标；

$\Delta B, \Delta L, \Delta H$ 分别为坐标转换改正量，用下式计算；

即： ΔB 或 ΔL 或 $\Delta H = a_1 + a_2 B_S + a_3 L_S + a_4 B_S^2 + a_5 B_S L_S + a_6 L_S^2 + \dots$

其中： $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ 为系数，通过最小二乘求解。

2.4.2 几种常用坐标转换模型

(3) 二维四参数转换模型

$$\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_S \\ y_S \end{bmatrix}$$

式中： x_T, y_T 为目标坐标系高斯平面坐标； x_S, y_S 为源坐标系高斯平面坐标；

$\Delta x, \Delta y$ 为平移参数， θ 为旋转参数， m 为尺度参数。

(4) 二维多项转换模型

$$B_T = B_S + \Delta B$$

$$L_T = L_S + \Delta L$$

式中： B_T, L_T 分别为目标坐标系大地坐标； B_S, L_S 分别为源坐标系大地坐标；

$\Delta B, \Delta L$ 分别为坐标转换改正量，用下式计算；

$$\text{即： } \Delta B \text{ 或 } \Delta L \text{ 或 } \Delta H = a_1 + a_2 B_S + a_3 L_S + a_4 B_S^2 + a_5 B_S L_S + a_6 L_S^2 + \dots$$

其中： $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ 为系数，通过最小二乘求解。

2.4.2 几种常用坐标转换模型

(5) 二维七参数转换模型

$$\begin{bmatrix} B_r \\ L_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_s \\ L_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dB \\ dL \end{bmatrix}$$

式中： B_r 、 L_r 分别为目标坐标系大地坐标； B_s 、 L_s 分别为源坐标系大地坐标；
 dB 、 dL 分别为坐标改正量，用下式计算；

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} dB \\ dL \end{bmatrix} = & \begin{bmatrix} -\frac{\sin B_s \cos L_s}{M} & -\frac{\sin B_s \sin L_s}{M} & \frac{\cos B_s}{M} \\ -\frac{\sin L_s}{N \cos B_s} & \frac{\cos L_s}{N \cos B_s} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} -\sin L_s & \cos L_s & 0 \\ \operatorname{tg} B_s \cos L_s & \operatorname{tg} B_s \sin L_s & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} -\frac{N}{M} e^2 \sin B_s \cos B_s \\ 0 \end{bmatrix} m \\ & + \begin{bmatrix} \frac{N}{Ma_s} e^2 \sin B_s \cos B_s & \frac{(2 - e^2 \sin^2 B_s)}{1 - f_s} \sin B_s \cos B_s \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} da \\ df \end{bmatrix} \end{aligned}$$

其中： e^2, M, N 为源坐标系椭球第一偏心率, 子午圈曲率半径, 卯酉圈曲率半径；

da, df 为源坐标系椭球与目标坐标系椭球长半径差，扁率差；

3 个平移参数 $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$, 3 个旋转参数 $[\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z]^T$ 和 1 个尺度参数 m 。

2.4.3 各坐标转换模型的特点

- ① 布尔莎Bursa七参数为三维空间直角坐标转换模型，不存在模型误差和投影变形误差，可适用于任何区域的高精度坐标转换。
- ② 二维四参数为高斯平面坐标转换模型，由于受投影变形误差的影响，离中央子午线越远其转换精度越差，因此，它一般适用于较小区域的转换。
- ③ 二维七参数为椭球面上的二维转换模型，不存在投影变形误差，因此基本不受范围的限制，且转换精度较高。但是它计算复杂。
- ④ 三维多项式与二维多项式均是一种多项式逼近（拟合）的转换模型。当重合点分布均匀、数量足够，且目标坐标系的精度比源坐标系的精度高时，可以得到较高的转换精度。但当重合点数量较少且分布不均匀时，转换精度降低，尤其不适用于转换外推。



2.4.4 大地高误差对Bursa七参数平面转换精度的影响

三维坐标转换，需要知道重合点在两个坐标系中的大地高，以便计算空间直角坐标，但是准确知道一个点的大地高是有困难的，原因在于难以精确求得该点的高程异常。

例：80系大地高 = 85高程 + 80系高程异常

研究表明：

- (1) 大地高误差对Bursa七参数转换模型中三个平移参数和尺度参数都有显著影响，尤其对三个平移参数影响更显著。
- (2) 大地高误差在Bursa七参数坐标转换中主要表现为对高程的影响，对平面坐标的影响则较小。



2.4.4. 大地高误差对Bursa七参数平面转换精度的影响

重合点大地高误差对平面转换结果的影响

80 坐标系向 2000 坐标系转换平面结果差值最大值统计表

大地高误差 (m)	$ \Delta X_{\text{最大值}} $ (m)	$ \Delta Y_{\text{最大值}} $ (m)	$\Delta P_{\text{最大值}}$ (m)
1	0.002	0.001	0.002
10	0.012	0.006	0.013
50	0.063	0.029	0.069
100	0.126	0.058	0.139
500	0.630	0.292	0.694
1000	1.262	0.583	1.390

重合点大地高误差 $\leq 10\text{m}$ ，转换平面结果影响 $\leq 0.013\text{m}$ 。也就是说，当参与计算转换参数的重合点的大地高误差在10m以内时，基本不影响转换的平面结果。

2.4.4 大地高误差对Bursa七参数平面转换精度的影响

(待) 转换点大地高误差对平面转换结果的影响

80 坐标系向 2000 坐标系转换平面结果差值最大值统计表

大地高误差(m)	$ \Delta X_{\text{最大值}} $ (m)	$ \Delta Y_{\text{最大值}} $ (m)	$\Delta P_{\text{最大值}}$ (m)
1	0.001	0.001	0.001
10	0.001	0.001	0.001
50	0.001	0.001	0.001
100	0.001	0.002	0.002
500	0.003	0.009	0.009
1000	0.007	0.018	0.019

转换点的大地高误差对Bursa七参数模型转换的平面结果影响非常小（转换点大地高误差 $\leq 100\text{m}$ ，转换平面结果影响 $\leq 0.002\text{m}$ ），因此，当转换参数已知时，若转换点可用正常高代替大地高进行转换，且转换结果不受影响。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

■ CGCS2000与WGS-84比较

➤ 坐标系原点、尺度、定向及定向演变的定义都是相同的，椭球常数唯有扁率

f 有微小差异 $df = f_{CGCS2000} - f_{WGS84} = 1.643484 \times 10^{-11}$

➤ 同历元同框架下扁率差异对大地纬度 B 、大地经度 L 、大地高 H 的影响

$$dL = 0$$

$$dB = \frac{M[2 - (2f - f^2)\sin^2 B]}{(1 - f)} \sin B \cos B df$$

$$dH = \frac{M}{1 - f} [1 - (2f - f^2)\sin^2 B] \sin^2 B df$$

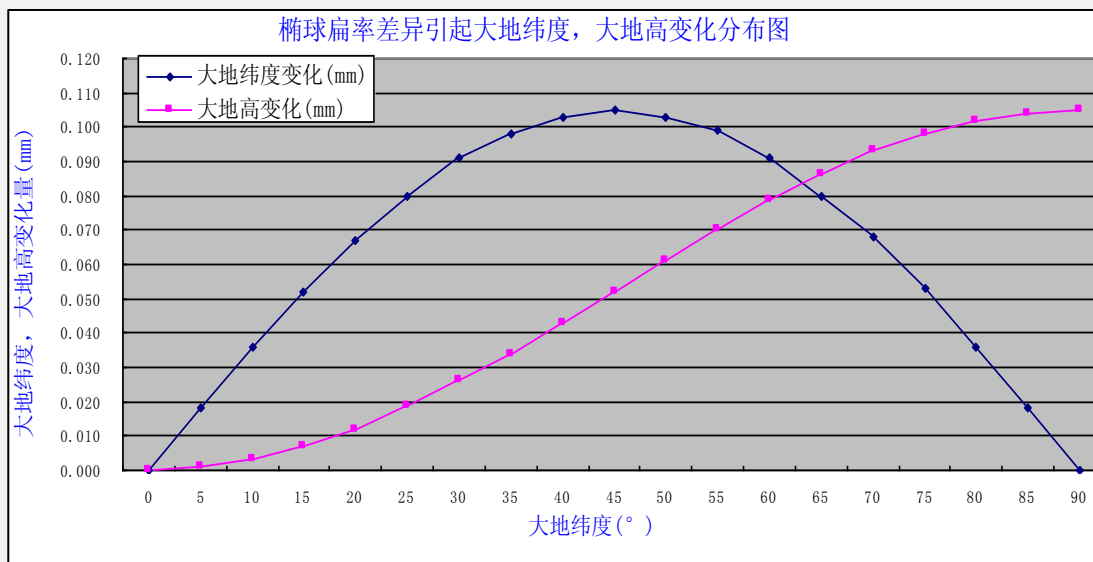
结论

对大地经度没影响；

对大地纬度的影响为0~0.105mm；

对大地高的影响为0~0.105mm；

在当前的测量精度水平，即坐标测量精度1mm，由两个坐标系的参考椭球的扁率差异引起同一点在 WGS 84和CGCS2000坐标系内的坐标变化可忽略。



2、大地测量控制点坐标转换技术规范

例： 四参数与七参数模型比较。

2000系转80系重合点残差统计表

单位： m

序号	点号	点位残差 四参数	点位残差 七参数
1	B001	0.048	0.050
2	B003	0.024	0.023
3	B007	0.030	0.027
4	B011	0.016	0.017
5	C021	0.010	0.011
6	C030	0.005	0.007
7	C065	0.050	0.051
8	C097	0.045	0.045
9	C110	0.041	0.042
10	C118	0.009	0.009
11	C132	0.024	0.025
12	C112	0.002	0.003
13	C134	0.024	0.024
残差中误差		0.031	0.031

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5 控制点坐标转换

2.5.1 省、市级卫星导航定位基准站坐标归算

省、市级卫星导航定位基准站坐标向2000国家大地坐标系的归算，每年应定期归算一次，使用连续观测时间不少于1个月的观测数据。

2.5.2 数据处理

对卫星导航定位基准站观测数据进行处理与平差，获得各站点在现ITRF框架、观测历元下的坐标。省、市级卫星导航定位基准站作为该区域2000国家大地坐标系框架基准，需将相邻省、市的邻近卫星导航定位基准站纳入该区域一同处理。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5 控制点坐标转换

2.5.3 框架转换

卫星导航定位基准站坐标转换为2000国家大地坐标系成果，需经不同ITRF转换参数历元归算、板块运动改正、坐标转换三个步骤。

a) 不同ITRF间转换参数的历元归算。依据ITRF框架间各转换参数的变化率（见附录C），将各参数从对应的参考历元，归算到转换历元。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。使用CPM- CGCS2000速度场模型（见附录D）计算卫星导航定位基准站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；

c) 坐标转换。利用布尔莎模型及a)确定的转换参数进行不同ITRF框架间坐标计算。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5.3.1 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：

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

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

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

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

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

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

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

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

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5.3.2 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GNSS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

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

历元 t 时的坐标

观测历元 t_c 时的坐标

GNSS站速度值

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5.3 框架转换

框架点坐标计算

根据框架间转换关系进行转换

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

$[X, Y, Z]^T_{ITRFyy}$ —— ITRFyy 框架下坐标

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

$T_x \quad T_y \quad T_z \quad D \quad R_x \quad R_y \quad R_z$ —— 7 个转换参数：3 个平移参数、1 个尺度参数、3 个旋转参数。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5.4 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，可用如下方法：

ITRF2005→ITRF97=

ITRF2005→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。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5.6 ITRF 框架转换参数及其速率符号表示及单位

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 ($0.001''/y$)			

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5.7. 通过平差的方法将C级网纳入到2000国家大地坐标系

- 选择C级网基于的B级网点, 获得这些B级网点在2000国家大地坐标系下的坐标;
- 固定B级网点的坐标或进行强约束, 对C级网点原始观测数据用高精度数据处理软件 (如GAMIT或Bernese软件) 进行重新处理;
- 对C级网点的基线向量用网平差软件进行处理, 得到C级网点在2000国家大地坐标系下的坐标;
- 如果有原始观测数据, 建议采用这种方法。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.5.8 CORS系统2000系成果计算

- (1) 收集一个时间段的CORS观测数据。
- (2) 收集周边地区国家连续运行站同步观测数据。
- (3) 进行整体基线解算，并在2000系下完成整体平差。
- (4) 获得各CORS站点2000系成果。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.6其他控制点坐标转换

适用于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坐标采用转换模型转换到2000国家大地坐标系。

2.6.1 重合点选取原则

重合点的选取一般遵循高等级、高精度、分布均匀、覆盖整个转换区域等原则，并尽量避免选取变形或沉降较大区域的点。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.6其他控制点坐标转换

2.6.2 转换参数计算步骤:

- a) 按转换区域选取适当的转换模型;
- b) 选取重合点, 计算转换参数;
- c) 计算重合点坐标残差, 剔除残差大于3倍单位权中误差的重合点;
- d) 重复上述b) 和c), 直至重合点坐标残差均小于3倍单位权中误差, 且计算转换参数的重合点数量根据转换模型确定。采用七参数转换模型时、重合点不少于6个, 采用四参数转换模型时、重合点不少于4个;
- e) 由确定的重合点计算转换参数。

2.6.3 坐标转换

用转换参数进行坐标转换, 求得各控制点在2000国家大地坐标系坐标。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.6 精度要求

2.6.1 省级卫星导航定位基准站点坐标归算精度要求

省级卫星导航定位基准站点坐标归算误差不大于3cm。

2.6.2 省、市级卫星大地控制网点坐标转换精度要求

省、市卫星大地控制网C级点坐标转换精度不大于3cm；

D级点坐标转换精度不大于5cm。

2.6.3 坐标转换精度评定方法

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倍单位权中误差的点位精度满足要求。

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.6 精度要求

2.6.3 坐标转换精度评定方法

内符合精度计算公式：

v (转换残差) = 已知点平面坐标 — 转换平面坐标

X坐标转换中误差：

$$M_X = \pm \sqrt{\frac{[vv]_x}{n-1}}$$

Y标转换中误差：

$$M_Y = \pm \sqrt{\frac{[vv]_y}{n-1}}$$

转换中误差：

$$M = \pm \sqrt{M_X^2 + M_Y^2}$$

2、大地测量控制点坐标转换技术规范

2.6 精度要求

2.6.3 坐标转换精度评定方法

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，其点数一般不少于6个且均匀分布；
- b) 利用转换参数计算外部检核点的坐标，与该外部检核点的已知坐标进行比较。检核公式同内符合精度计算公式相同。

主要内容

1

2000国家大地坐标系组织实施及概述

2

大地测量控制点坐标转换技术规范

3

2000国家大地坐标系阶段成果、推广应用

3、2000国家大地坐标系阶段性成果

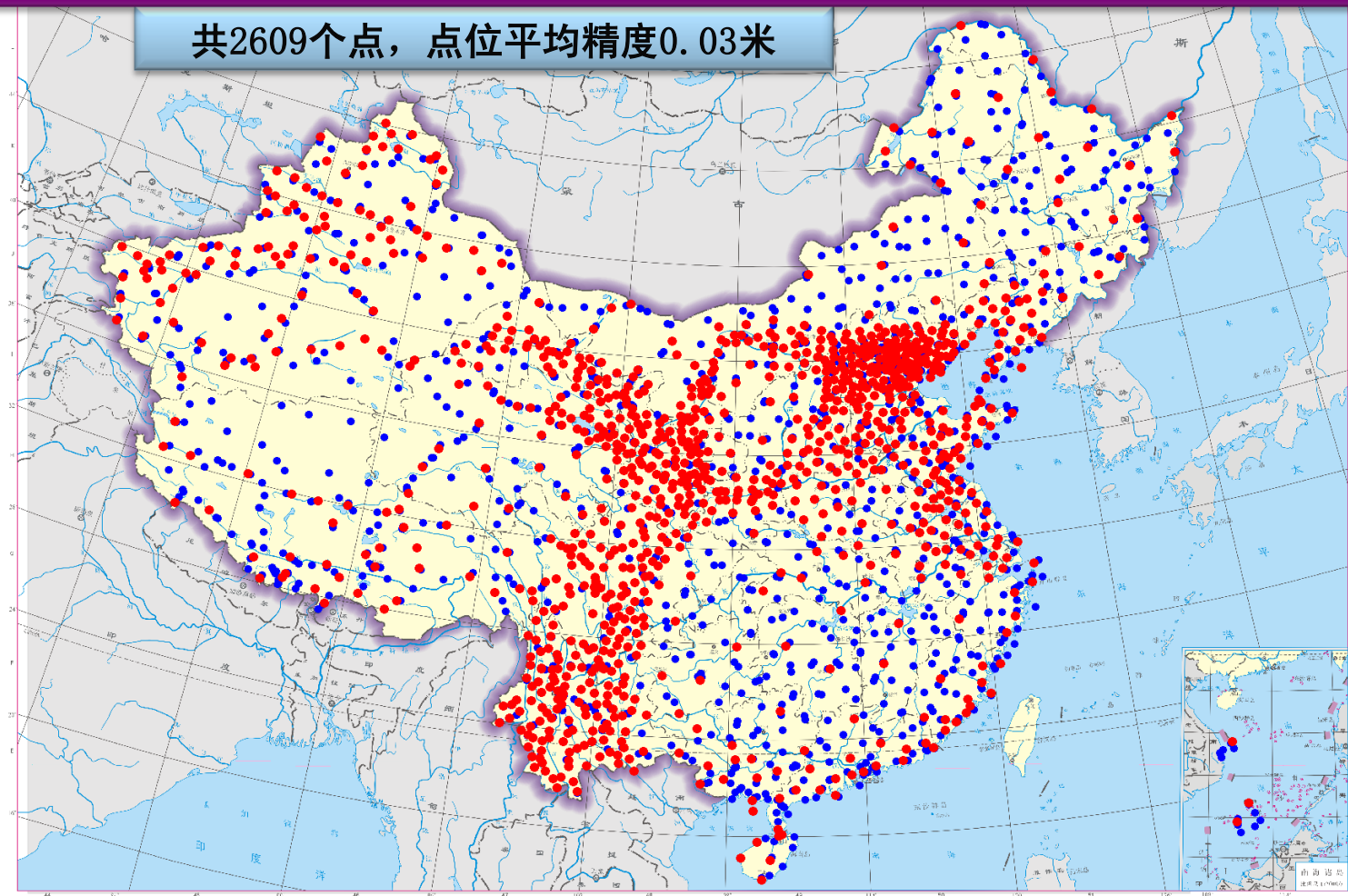
控制成果

- 2000国家大地控制网成果，即2000国家GPS控制网坐标成果（2609点）；
- 2000国家大地坐标系下一、二等天文大地网坐标成果（48919点）；
- 2000国家大地坐标系下三、四等天文大地网坐标成果（74723点）。

3、2000国家大地坐标系阶段性成果

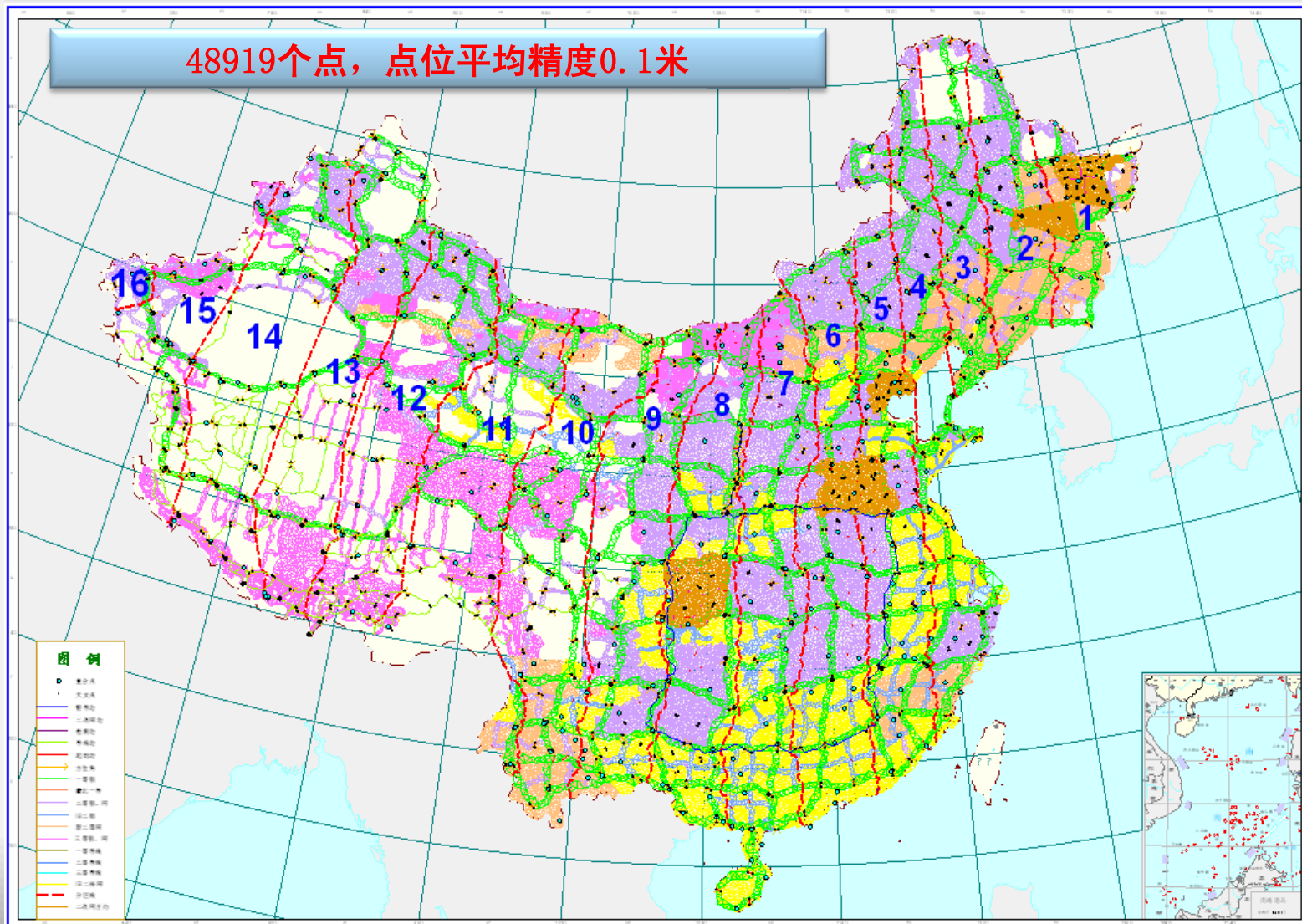
2000国家GPS大地控制网成果（三网平差）

共2609个点，点位平均精度0.03米



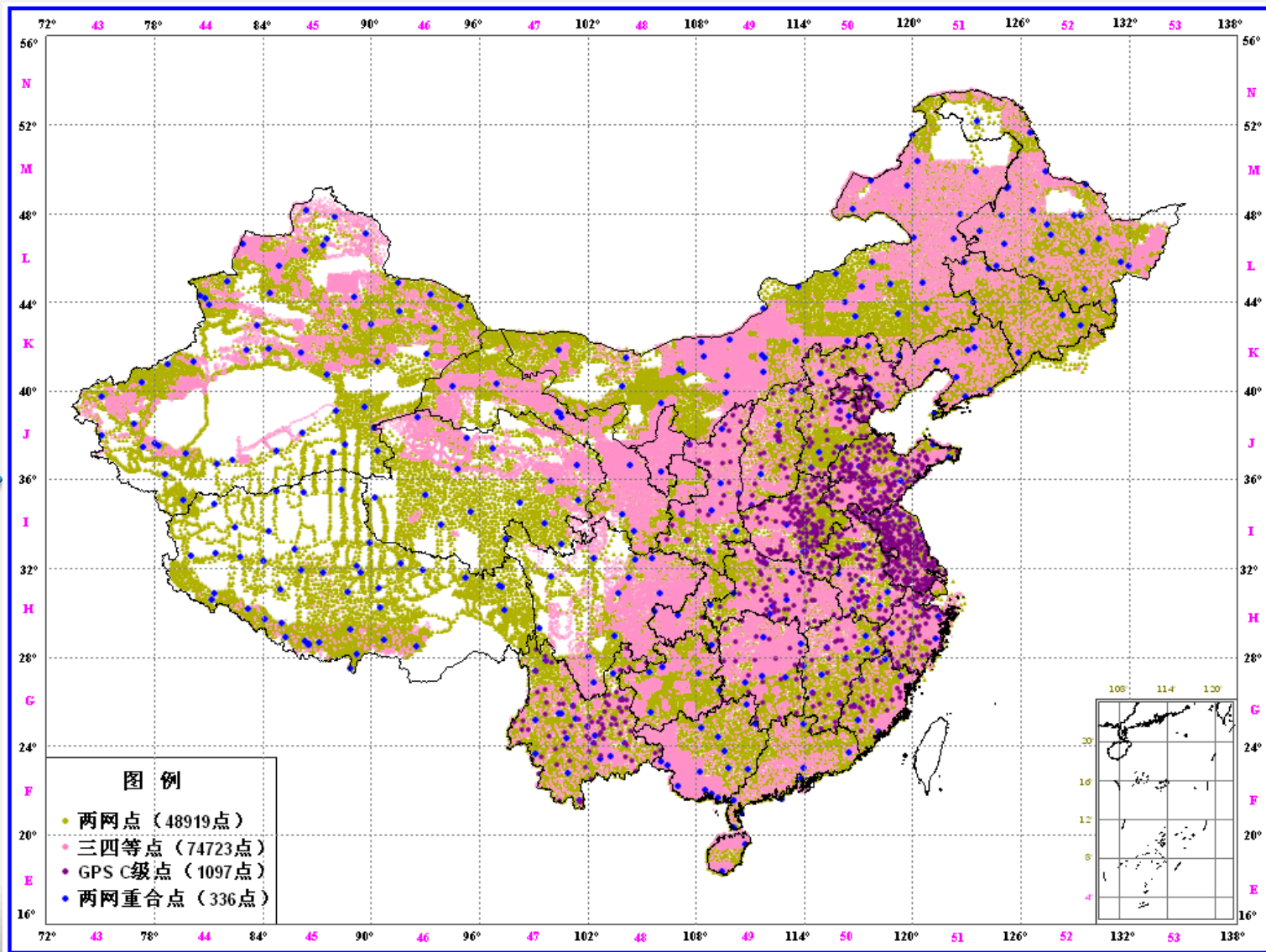
3、2000国家大地坐标系阶段性成果

我国天文大地网与高精度GPS2000网联合平差成果（两网平差）



3、2000国家大地坐标系阶段性成果

全国已有控制成果



3、2000国家大地坐标系阶段性成果

图幅改正量成果

- 全国1:5万图幅1980西安坐标系向2000国家大地坐标系转换改正量成果（25801幅）；
- 全国1:1万图幅1980西安坐标系向2000国家大地坐标系转换改正量成果（413288幅）。

提供改正量有如下两种形式

序号	旧图幅号	新图幅号	省市名称	Db_西南	Dl_西南	Db_西北	Dl_西北	Db_东北	Dl_东北	Db_东南	Dl_东南	Db_中心	Dl_中心
序号	旧图幅号	新图幅号	省市名称	Dx_西南	Dy_西南	Dx_西北	Dy_西北	Dx_东北	Dy_东北	Dx_东南	Dy_东南	Dx_中心	Dy_中心

3、2000国家大地坐标系阶段性成果

格网54系向2000系转换改正量计算方法

① 计算格网54系向80系转换改正量

DB5480 、 DL5480;

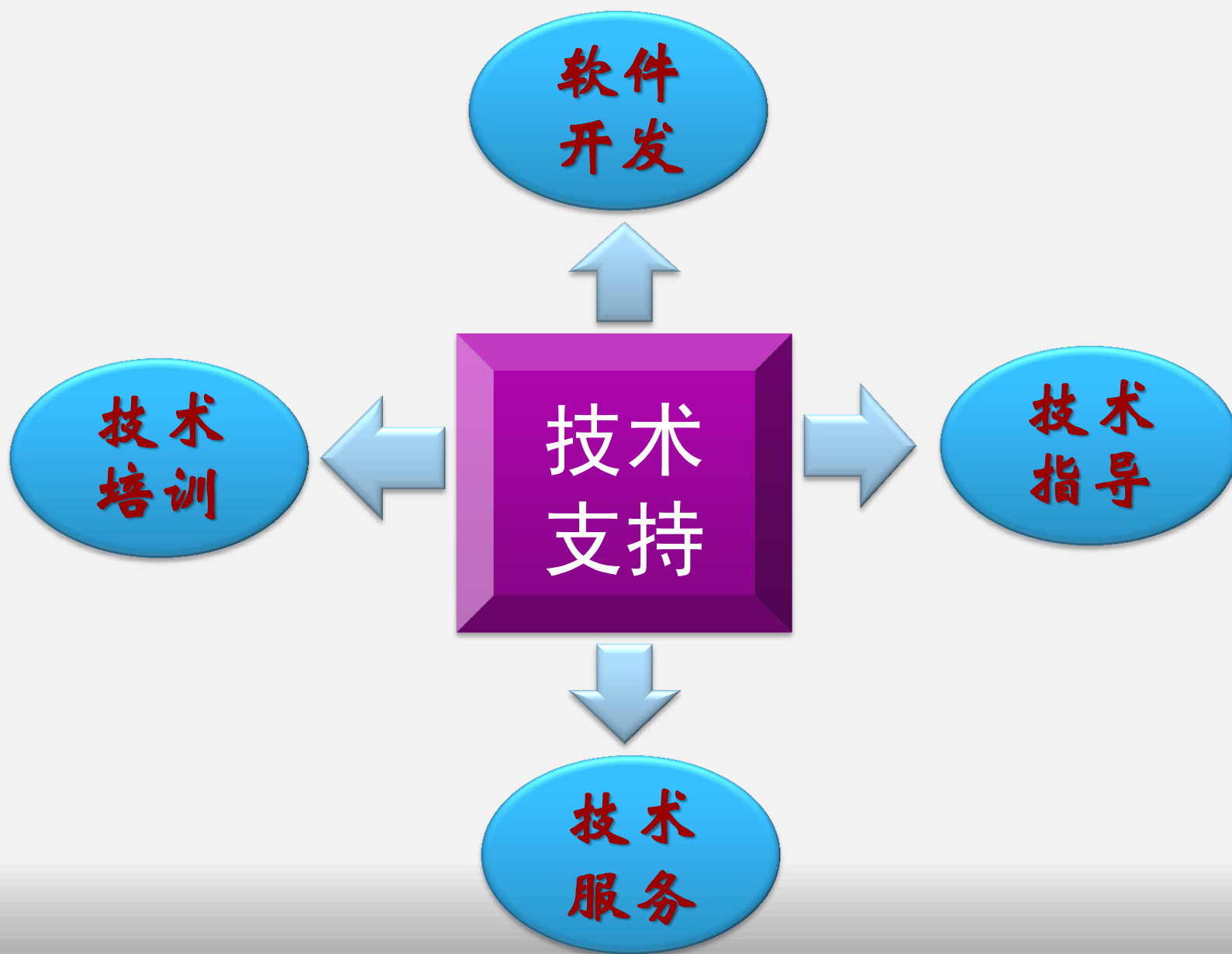
② 计算格网80系向2000系转换改正量

DB802000 、 DL802000;

③ 将格网54系向80系转换改正量与格网80系向2000系转换改正量叠加，得到格网54系向2000系转换改正量DB542000、DL542000。

即： $DB542000 = DB5480 + DB802000$

五、2000系推广应用技术支持



五、2000系推广应用技术支持

技术支持模式

合作模式： 中心与省合作完成各项准备工作、计算工作、开发工作和服务工作。

支持模式： 即坐标转换软件开发和数据转换工作由本省相关部门完成，中心提供技术指导与技术服务，并对转换成果进行检核。

五、2000系推广应用技术支持

1. 在全国31个省市基础地理信息数据转换中应用。

（提供软件31套、技术培训20余次、指导31个省市完成转换）

2. 在全国第二次土地调查项目得到广泛应用

（提供全国及分省共32套转换软件、完成全国数字高程模型转换）

3. 在西气东输项目得到广泛应用

（完成14187千米3797幅DEM、DLG、DOM地理信息数据坐标转换）

（完成15432个控制点坐标转换）

五、2000系推广应用技术支持

4. 在矿山遥感监测项目得到广泛应用

(完成全国3/4国土面积DLG、DOM数据转换)

5. 中国地质调查地理信息数据转换得到广泛应用

6. 在城市地理信息数据坐标转换中应用

(为30个城市建立基于2000系的独立坐标系、指导完成转换)

7. 全国及省市2000系推广应用技术培训

(技术培训约20余次、2000余人)



联系方式

李 东: 029-87604125 (办), 136—69298983

地 址: 西安市友谊东路334号陕西测绘局数据处理中心