

## 四参数高精度坐标系转换

张知昌

中交综合规划设计院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i10.1990

**[摘要]** 现代工程建设中,多种坐标系并存,测量精度需求更高,多数据融合应用更加深入,对工程质量和提高质效有了更高的要求,工程独立坐标系与国家2000坐标系的高精度转换特别是毫米级转换对工程建设显得至关重要,传统四参数坐标系转换方法是比较常用、简单的数学模型,不仅可以转换数据,还可以转换线画图,但其坐标系转换对参与求参的点分布、点数量、点精度有强相关性,且因工程地形影响较大,实际操作过程复杂,精度不稳定;经过理论的研究,在应用四参数过程中增加换带步骤消除不均匀变形,可以实现毫米级高精度的坐标系转换。

**[关键词]** 坐标系; 转换; 高精度; 工程独立坐标系; 投影高; 换带

中图分类号: O185.1 文献标识码: A

### Four Parameter High-precision Coordinate System Conversion

Zhichang Zhang

CCCC COMPREHENSIVE PLANNING AND DESIGN INSTITUTE CO.,LTD.

**[Abstract]** In modern engineering construction, multiple coordinate systems coexist, and the demand for measurement accuracy is higher. The application of multi data fusion is more in-depth, which has higher requirements for engineering quality and improving quality and efficiency. The high-precision conversion between the independent coordinate system of the project and the national 2000 coordinate system, especially the millimeter level conversion, is crucial for engineering construction. The traditional four parameter coordinate system conversion method is a commonly used and simple mathematical model, which can not only convert data but also convert line drawings. However, its coordinate system conversion has a strong correlation with the distribution, number, and accuracy of the points involved in parameter calculation. Due to the significant influence of engineering terrain, the actual operation process is complex and the accuracy is unstable; After theoretical research, adding a strip changing step to eliminate uneven deformation in the application of four parameters can achieve millimeter level high-precision coordinate system conversion.

**[Key words]** coordinate system; transformation; high precision; engineering independent coordinate system; high projection; strip changing

### 引言

在线状工程建设中,因为地理位置、走向、地形情况等因素,国家2000坐标系投影长度变形值往往不能满足规范2.5cm/km要求,为精确施工,控制投影长度变形,线状工程的建设需要调整高斯克吕格投影的中央子午线或投影高度,建立工程独立坐标系;工程建设各项数据需要与国家地理信息数据库进行对接,国家地理信息数据库采用国家2000坐标系,这涉及到坐标系的转换。随着现代工程建设向数字化和智能化发展,工程项目往往并存多种坐标系,对测量精度需求也更高,多源数据融合应用更加深入,高精度的坐标系转换对工程建设至关重要。传统的四参数法坐标系转换,直接使用不同坐标系下的同名点坐标建立

点对关系,根据四参数模型求取四参数,应用于坐标系的转换,转换精度不稳定,特别是长、大项目内符合精度达到分米级,高精度稳定的坐标系转换方法成为工程建设领域亟待解决的问题。本文将详细介绍利用改良的四参数法通过南方CASS实现毫米级高精度坐标系转换。

### 1 坐标系概况

#### 1.1 CGCS2000坐标系

CGCS2000坐标系由四个基本参数,分别是坐标系原点、尺度、三个坐标轴的指向以及地球椭球。它的坐标原点是包括大气和海洋的整个地球的质量中心;坐标系的Z轴是由原点指向历元2000.0的地球参考极的方向,该历元的指向是由国际时间

局给定的历元1984.0的初始指向推算,定向的时间演化保证相对于地壳不产生残余的全球旋转,坐标系的X轴是由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面(历元2000.0)的交点方向,Y轴与X轴、Z轴构成右手正交直角坐标系。采用广义相对论意义下的尺度。2000国家大地坐标系采用的地球椭球参数为:

长半轴	$a=6378137\text{m}$
扁率	$f=1/298.257222101$
地心引力常数	$GM=3.986004418\times 10^{14}\text{m}^3\cdot\text{s}^{-2}$
自转角速度	$\omega=7.292115\times 10^{-5}\text{rad/s}$

目前国家法定坐标系为CGCS2000坐标系,属于地心大地坐标系,它的平面坐标系采用高斯克吕格投影,分带按3度或6度划分。

### 1.2 工程独立坐标系

CGCS2000国家标准分带高斯克吕格投影平面坐标系在投影过程中存在投影长度变形,距中央子午线越远变形值越大,平均高度越高变形值越大;在线状工程中,投影变形值往往会超出规范的2.5cm/km的要求,为控制投影长度变形值,方便设计和施工,工程建设项目需要建立工程独立坐标系。建立工程独立坐标系的常用方法是以某个椭球为基础,目前普遍以CGCS2000椭球为基础,采用以下三种方法:

(1)采用自定义中央子午线的高斯克吕格投影平面坐标系。(2)采用设定高程抵偿面的国家3度带高斯克吕格投影平面坐标系,使其中央子午线与国家标准分带3度带中央子午线保持一致。(3)采用设定高程抵偿面同时自定义中央子午线的高斯克吕格投影平面坐标系。

### 2 CGCS2000坐标系与工程独立坐标系的转换模型

国内大部分工程建设项目都是通过平面四参数模型进行坐标系的转换,采用至少2个已知点对,计算 $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 两个坐标增量参数、1个缩放因子参数以及1个旋转角度参数。它的基本数学模型为:

$$x_2 = x_1 \times a \times \sin \theta + y_1 \times a \times \cos \theta + \Delta x$$

$$y_2 = y_1 \times a \times \cos \theta + x_1 \times a \times \sin \theta + \Delta y$$

式中, $x_1$ 和 $y_1$ 是源坐标值; $x_2$ 和 $y_2$ 是转换后的目标坐标值; $\Delta x$ 和 $\Delta y$ 是坐标增量; $\theta$ 是旋转角度; $a$ 是缩放因子系数。

### 3 传统四参数法精度不稳定的原因分析

传统四参数法在实际应用中精度不稳定,其主要与以下因素密切相关。其一,公共点的测量误差传播。在获取公共点坐标时,若测量仪器存在系统误差或观测过程受环境干扰(如大气折射、地形遮挡导致卫星信号不稳定等),这些误差会在四参数计算过程中被放大或相互叠加,从而降低转换精度。其二,地形起伏对投影变形的复杂影响。在山区等地形起伏较大的区域,投影变形不仅与距离中央子午线的远近有关,还与高程变化产生的投影变形相互交织。传统四参数法难以准确地对这种复杂的地形相关变形进行补偿,导致在不同地形条件下转换精度波动较大。其三,四参数模型本身的局限性。该模型假设两个坐标系之间的转换关系是简单的线性变换,但实际上在大区域或特殊

地形区域,这种线性假设可能偏离实际情况,使得转换结果产生偏差。

传统四参数法要求在测区内选取均匀分布的若干点位,点数量依据实际地形情况选择不少于3点,点原坐标精度必须满足一定条件,通过四参数计算软件求取四参数,此条件下求取四参数的残差较大,需要反复选择点进行一定的测试,最终确定较好的测试数据作为求参依据,在大型项目中,传统四参数法无法满足整个项目做一个四参数,往往还要分区段求取,依然存在操作难、精度不稳定的问题,甚至因为存在多区段,每个区段间引进了接边问题。

通过对传统四参数法坐标系转换的数学推导与模型分析,传统四参数法存在通用性差、转换精度低、稳定性差、操作复杂,主因是存在不均匀变形,且两套坐标系的不均匀变形有较大差异。

### 4 四参数高精度坐标系转换原理与实现方式

换带操作主要基于高斯-克吕格投影的数学原理。在不同的投影带中,相同的地理坐标会被投影到不同的平面直角坐标上,引入投影变形值。通过换带计算,可以将一个投影带的坐标转换到另一个投影带,从而消除因投影带差异导致的不均匀变形。

在控制网成果精度可靠的情况下,采用换带方法消除坐标系间不均匀变形差异较大部分,保持尺度的统一,建立中间坐标系成果,后采用四参数模型,依据最小二乘法求取中间坐标系成果与目标坐标系之间的四参数。

通过消除坐标系间不均匀变形较大差异部分,建立中间过渡坐标系,实现高精度坐标系转换,其转换精度有大幅的提升。在实践应用中,先通过换带对度带进行统一,再利用四参数法进行坐标系转换,或者先进行四参数法坐标系转换至中间坐标系,统一抵偿面,后进行换带的方法均能够实现高精度坐标系的转换。

### 5 案例分析

某项目位于广西山区,全长87.167公里,其中容县段24.38公里,双向四车道高速公路标准建设,设计速度120km/h,路基宽度26.5m。

全线采用基于CGCS2000坐标系的工程独立坐标系,中央子午线为110度30分,投影高为80米,国家标准CGCS2000坐标系中央子午线为111度,为实现CGCS2000坐标系与工程独立坐标系的相互转换,选取了两套坐标系的9个公共点,如下表:

点名	工程独立坐标系 (110°30', 投影高80米)			CGCS2000坐标系 (中央子午线111°, 投影高0米)		
	y (m)	x (m)	h (m)	y (m)	x (m)	h (m)
KZD01	***075.478	***8133.912	86.126	***033.128	***8158.486	86.126
KZD02	***751.539	***4665.918	37.789	***697.072	***4705.557	37.789
KZD03	***398.500	***3218.967	28.992	***304.124	***3284.045	28.992
KZD04	***862.138	***4264.263	110.487	***702.196	***4327.420	110.487
KZD05	***888.238	***2175.918	107.345	***686.699	***2242.218	107.345
KZD06	***554.177	***1763.775	141.043	***316.962	***1831.031	141.043
KZD07	***542.346	***8557.798	98.465	***294.137	***8631.866	98.465
KZD08	***925.525	***0904.147	126.936	***651.311	***0959.723	126.936
KZD09	***140.853	***9575.789	104.987	***828.172	***9623.692	104.987

利用南方CASS的坐标转换功能直接求取CGCS2000坐标系到

工程独立坐标系的转换参数结果如下图:

四参数残差为0.265113793449332  
东坐标最大误差0.651240644918289  
北坐标最大误差0.273389535024762

转换内符合精度较低,最大误差东方向65cm,北方向27cm,四参数残差26.5cm。

采用本文方法首先对CGCS2000坐标系成果进行坐标系换带,换带到工程独立坐标系2(中央子午线110度30分,投影高0米),消除度带不统一带来的不均匀变形误差,形成新的点对,如下表所示:

点名	工程独立坐标系 (110°30', 投影高80米)			工程独立坐标系2 (中央子午线110°30', 投影高0米)		
	y (m)	x (m)	h (m)	y (m)	x (m)	h (m)
KZD01	***075.478	***8133.912	86.126	***075.364	***8101.089	86.126
KZD02	***751.539	***4665.918	37.789	***751.479	***4633.138	37.789
KZD03	***398.500	***3218.967	28.992	***398.533	***3186.332	28.992
KZD04	***862.138	***4264.263	110.487	***862.164	***4231.866	110.487
KZD05	***888.238	***2175.918	107.345	***888.278	***2143.673	107.345
KZD06	***554.177	***1763.775	141.043	***554.220	***1731.661	141.043
KZD07	***542.346	***8557.798	98.465	***542.415	***8525.725	98.465
KZD08	***925.525	***0904.147	126.936	***925.526	***0872.170	126.936
KZD09	***140.853	***9575.789	104.987	***140.826	***9543.955	104.987

利用南方CASS的坐标转换功能直接求取工程独立坐标系2到工程独立坐标系转换参数结果如下图:

四参数残差为0.000394192502588  
东坐标最大误差0.000929520872887  
北坐标最大误差0.000490302219987

转换内符合精度较高,最大东方向误差0.9mm,北方向0.49mm,四参数残差0.39mm。

CGCS2000坐标系到工程独立坐标系2的换带计算是一个数学映射,其换带过程本身并不存在误差,这样通过增加一个换带计算即可消除其度带不统一引起的不均匀变形误差,本文也同时进行了逆向应用,先进行四参数转换,后进行换带运算,其结果一致,内符合精度较高,达到毫米级。

## 6 改良四参数法在不同数据类型转换中的优势体现

**矢量图形转换:**对于DLG图等矢量图形,改良四参数法能够精确地将图形中的各个要素(如点、线、面)从一个坐标系转换到另一个坐标系。在转换过程中,由于先进行了换带或统一抵偿面操作,图形的几何形状和相对位置关系能够得到更好的保持。例如,在道路、管线等线性矢量要素的转换中,不会出现因坐标转换精度不足而导致的图形扭曲或错位现象,保证了矢量图形在不同坐标系下的一致性和准确性,满足了地理信息系统中矢量数据处理与分析的高精度要求。

**坐标点转换:**在大量坐标点的转换中,改良四参数法的高精

度优势尤为明显。无论是离散的控制点坐标,还是工程测量中的特征点坐标,经过改良方法转换后,坐标点的精度能够控制在毫米级。这对于需要高精度定位的工程应用(如精密工程施工、变形监测基准点转换等)至关重要。例如,在大型桥梁的施工测量中,通过改良四参数法将设计坐标从工程独立坐标系转换到CGCS2000坐标系,能够确保桥墩、桥台等关键部位的定位精度,提高桥梁的施工质量和安全性。

**正射影像和模型数据转换:**在正射影像和实景三维模型等数据的坐标系转换中,改良四参数法能够使影像和模型在新坐标系下准确地与地理空间位置匹配。对于正射影像,转换后影像的像素位置与实际地理坐标的对应关系更加精确,避免了因坐标转换误差导致的影像拼接错位或地理定位偏差。对于实景三维模型,模型中的各个顶点坐标经过高精度转换后,模型在地理空间中的展示更加准确,能够更好地与周边地理环境融合,为城市规划、虚拟现实等应用提供更可靠的数据支持。

## 7 结论

通过验证,先通过换带对度带进行统一,再利用四参数法进行坐标系转换,或者先进行四参数法坐标系转换,统一抵偿面,后进行换带计算,两种操作方法均可在一定范围内实现毫米级的高精度坐标系转换。在实际操作中,这种改良的四参数法适用于矢量图形、坐标点、正射影像和坐标文件的高精度坐标系转换,满足实际应用需求,多源数据融合更精确,保证各数据源能够充分发挥其优势,提高地理信息综合分析能力和可靠性。

## 【参考文献】

- [1]王羽尘,于斌,陈晓阳.基于激光雷达点云的道路几何信息提取与数字化建模研究[J].中国公路学报,2023,36(3):45-60.
- [2]孙崇海.CORS系统在内河航道测量中的有效运用分析[J].港口航道与近海工程,2024,61(03):91-94.
- [3]刘晓金,官帅良.无人机测绘技术在海岸带矿产地质沉降监测中的应用与展望[J].中国矿业,2024,33(S1):215-218.
- [4]杨蕴杰,方宇,杨皓,等.基于三维点云的栅极间距测量方法[J].推进技术,2022,43(11):399-405.
- [5]孟德周,关增然,赵坤.测绘新技术在建筑工程规划竣工测量中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(12):172-174.

## 作者简介:

张知昌(1989--),男,满族,河南洛阳人,工程师,注册测绘师,研究方向:工程测量、变形测量、无人机应用。