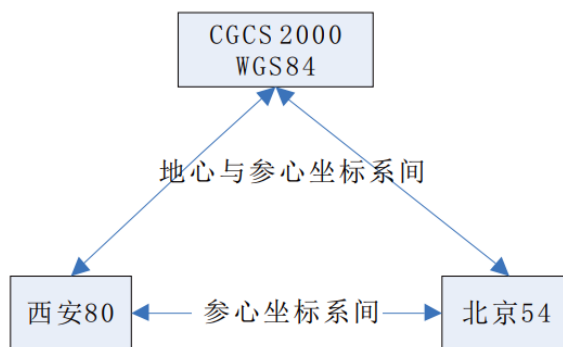


# 一、背景知识

- 1、中国现在目前用的导航系统还是美国的
- 2、在 CGCS2000 出现后的十年，BJ54 和 xian80 将会被取代
- 3、现在用的是 GPS 需要转北斗导航系统 不能直接使用基于 WGS84 坐标系的成果，必须将现有 GPS 测绘成果转换到 CGCS2000 坐标系下。
- 4、现在能转换的是从 WGS84-WEB 转成 WGS-UTM。
- 5、大地经度  $L$  为 大地起始子午面与该点所在的子午面所构成的二面角，由起始子午面起算，向东为正，称为东经（ $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ），向西为负，称为西经（ $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ）；大地纬度  $B$  是经过该点作椭球面的法线与赤道面的夹角，由赤道面起算，向北为正，称为北纬（ $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ），向南为负，称为南纬（ $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ）；大地高  $H$  是地面点沿椭球的法线到椭球面的距离。

6、



7、利用 GPS 定位所获得的点位属于 WGS84 坐标系，可是由于各国所采用的参考椭球及其定位不同，参考椭球中心也不和地球质心重合，所以世界上存在着各不相同的空间大地直角坐标系。

## 二、我国常用坐标系统

对于我国常用的坐标系又主要可分为三类：

### （1）、大地坐标系

大地坐标系用大地经度  $L$ 、大地纬度  $B$  和大地高  $H$  表示地面点位置。以参考椭球几何中心为原点的坐标系称为参心坐标系。北京 54 坐标系、西安 80 坐标系都是参心坐标系。以地球质心或几何中心为原点的坐标系称为地心坐标系。国家 2000 坐标系就是地心坐标系。

### （2）、空间直角坐标系

以地心或参考椭球中心为直角坐标系原点，椭球旋转轴为  $Z$  轴， $X$  轴位于起始子午面与赤道的交线上，赤道面上与  $X$  轴正交的方向为  $Y$  轴，指向符合右手规则，便

构成了空间直角坐标系。

### (3)、高斯平面坐标系

采用横切圆柱投影（高斯－克吕格投影）方法建立的平面直角坐标系统，称为高斯－克吕格平面直角坐标系，简称为高斯直角坐标系。高斯直角坐标系以中央子午线为纵轴，以赤道投影为横轴构成。

下面对涉及的坐标种类进行介绍

#### 1)、BJ54

BJ54 是新中国成立以后建立的全国统一的参心坐标系，采用了前苏联的克拉索夫斯基椭球，并与前苏联 1942 年坐标系进行联测。本质上说，1954 年北京坐标系是前苏联 1942 年坐标系的延伸，它的大地原点位于俄罗斯圣彼得堡往南的普尔科沃。BJ54 在我国经济建设中发挥了巨大的作用，以此参考基准，我国完成了 1:5 万、1:10 万地形图、区域地质调查等任务，大部分 1:1 万及更大比例尺的地形图、区域地质调查等成果也在此基础上完成。

缺点：北京 54 坐标系在建国初期的经济建设中发挥重要作用，但是北京 54 坐标系本身存在缺陷。首先因为其采用的克拉索夫斯基椭球体主要是基于苏联境内大地水准面数据建立的，而苏联地处靠近极地的高纬度地区。没有采用中国的数据，该坐标系在中国范围内拟合得不好，误差较大，在中国部分地区的高程异常误差达到 60 米以上。还有就是该大地坐标系的坐标原点不在国内，北京大地原点是由苏联境内的坐标原点推算得到的。另外就是克拉索夫斯基椭球体由于建立时间早，精度低，越来越不能满足社会主义建设的需求。

#### 2)、Xi'An80

Xi'An80 综合利用了我国建国 30 年来的天文、重力、三角测量资料，建立的参心坐标系，采用更合理的参考椭球参数，参考椭球面与我国似大地水准面贴合更好，在我国东西部各有一条 0m 高程异常等值线穿过，坐标原点位于我国山西省泾阳县永乐镇。Xi'An80 广泛应用于我国经济建设中，以此参考基准，我国完成了大部分 1:1 万及更小比例尺地形图更新、部分区域地质调查等成果资料的生产、更新任务。

随着中国与西方国家关系改善，1978 年 4 月在西安召开全国天文大地网平差会议，确定重新定位，建立我国新的坐标系，即 1980 年国家大地坐标系。该大地坐标系采用地球椭球基本参数为 1975 年国际大地测量与地球物理联合会（IUGG）第十六届大会推荐国际椭球体的数据，即 IAG 75 地球椭球体。坐标原点为中国在泾阳县永乐镇建立的大地原点，因为距离西安市不远，因此该坐标系又称为西安 80 坐标系，简称西安 80。

基准面采用青岛大港验潮站 1952—1979 年确定的黄海平均海水面（即 1985 国家高程基准）。

#### 3)、CGCS2000

CGCS2000 利用截止 2001 年底的我国 GPS 一、二、A、B 级网，地壳形变观测网、地壳运动观测网等累计 2518 个点经联合平差得到。CGCS2000 是符合国际地球参考框架（ITRF）要求，椭球几何中心、坐标系原点、地球质心统一的右手地固正交坐标系。CGCS2000 符合国际地球自转服务

（International Earth Rotation Service IERS）标准要求，与现有世界大地坐标系统相容的，满足全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System GNSS）要求，满足我国经济建设、安全需求、社会发展对新型坐标系统的要求。考虑到精度和坐标一致性的要求，传统天文大地测量网没有参与 CGCS2000 的计算，二者的联

合平差通常作为参心坐标系与地心坐标系转换参数计算的一种途径[1]。

随着卫星导航技术的广泛使用，地心坐标系成为趋势，生产生活中也对地心坐标系提出迫切需求。而西安 80 坐标系由于建立的时间较早，没有采用地心坐标系，原点在地表，越来越不能满足要求

2008 年 7 月 1 日中国开始启用 2000 国家大地坐标系（China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000），该坐标系是我国自主建立、结合中国实际国情的地心坐标系。实现了由地表原点到地心原点、由二维到三维、由低精度到高精度的转变，适应现代空间技术发展趋势，满足我国北斗全球定位系统、全球航天遥感、海洋监测及地方性测绘服务等对确定一个与国际衔接的全球性三维大地坐标参考基准的迫切需求。

由于 Z 轴由原点指向历元 2000.0 的地球极（CTP）方向，X 轴由原点指向历元（Terrestrial Time）2000.0 的零子午面与地球赤道的交点，X 轴、Y 轴与 Z 轴相互垂直构成右手正交坐标系。该坐标系称为 2000 国家大地坐标系。

2000 国家大地坐标系启用的过渡期为 10 年，过渡期结束后，西安 80 和北京 54 坐标系正式退出历史舞台。

新时代，CGCS2000 坐标系支撑了国家北斗卫星导航系统的建设与应用，成为了国家经济和社会发展的重要基石。

#### 4)、WGS84 系列

WGS84 系列的坐标系是美国国防制图局建立并维护的 GPS 内部专用的坐标系，属于地形坐标系，是世界大地坐标系的一种。WGS84 坐标的精密星历通过 GPS 地面监测站计算得到。为了维护 WGS84 坐标框架的准确性，WGS84 坐标系经过了 3 次更新，3 次得到的框架分别成为 1994 年的 WGS84（G730）、1996 年的 WGS84（G873）、2001 年的 WGS84（G1150）。其中，“G”代表 GPS 测量得到，“G”后面的数值代表 GPS 时间周数。

20 世纪 80 年代初，大地测量学界和美国国防部等机构基于卫星雷达测高等数据、结合地球重力异常、偏转、多普勒效应等影响因素建立一套新的坐标系，该坐标系属于地心坐标系，坐标原点位于地心，不在地表。其地心空间直角坐标系的 Z 轴指向国际时间服务机构（BIH）1984.0 定义的协议地球极（CTP）方向，X 轴指向 BIH 1984.0 的零子午面和 CTP 赤道的交点，X 轴、Y 轴与 Z 轴相互垂直构成右手正交坐标系。该坐标系统称为 1984 年世界大地坐标系（World Geodetic System — 1984 Coordinate System），简称 WGS-84 坐标系。WGS-84 坐标系最初椭球体参数采用 1980 国际椭球体，后来进行了一些细微改进。

GPS 采用的是 WGS-84 坐标系，因此将 GPS 坐标数据导入到地质图等国内图件，需要进行坐标系转换，从 WGS-84 坐标系转换到 1980 西安等其他国内使用的坐标系中。

### 三、坐标转换

#### (一)、高斯投影坐标正算公式

$$\left. \begin{aligned} x &= X + a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 \\ y &= a_1 l + a_3 l^3 + a_5 l^5 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式子中  $X$  是中央子午线弧长,  $a_i$  ( $i=1,2,3,\dots,6$ ) 是纬度的函数, 计算公式为

$$X = A_0 B - \left\{ B_0 - \left[ C_0 - (D_0 - E_0 \sin^2 B) \sin^2 B \right] \sin^2 B \right\} \sin B \cos B \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= N \cos B \\ a_2 &= N \sin B \cos (B/2) \\ a_3 &= N \cos^3 B (1 - \tan^2 B + e'^2 \cos^2 B) / 6 \\ a_4 &= N \sin B \cos^3 B (5 - \tan^2 B + 9e'^2 \cos^2 B + 4e'^4 \cos^4 B) / 24 \\ a_5 &= N \cos^5 B (5 - 18 \tan^2 B + \tan^4 B + 14e'^2 \cos^2 B - 58e'^2 \sin^2 B) / 120 \\ a_6 &= N \sin B \cos^5 B (61 - 58 \tan^2 B + \tan^4 B) / 720 \\ N &= a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= a (1 - e^2) \left( 1 + \frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 + \frac{175}{256} e^6 + \frac{11025}{16384} e^8 + \dots \right) \\ B_0 &= a (1 - e^2) \left( \frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 + \frac{175}{256} e^6 + \frac{11025}{16384} e^8 + \dots \right) \\ C_0 &= a (1 - e^2) \left( \frac{15}{32} e^4 + \frac{175}{384} e^6 + \frac{3675}{8192} e^8 + \dots \right) \\ D_0 &= a (1 - e^2) \left( \frac{35}{96} e^6 + \frac{735}{2048} e^8 + \dots \right) \\ E_0 &= a (1 - e^2) \left( \frac{315}{1024} e^8 + \dots \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中 (一般取到  $e^8$ ),  $a, e, e'$  分别是椭球长半径, 第一偏心率和第二偏心率,  $B, l$  分别

为大地纬度和经度差,  $l = L - L_0$ , 以弧度为单位。  $L_0$  为中央子午线经度。

常见椭球的参数见表一

表 1 椭球体参数表

椭球体名称	克拉索夫斯基 (北京 54)	1975 国际 (1980 西安)	WGS84
长半轴 $a$	6 378 245	6 378 140	6 378 137
短半轴 $b$	6 356 863.019	6356 755.288	6356 752.314

椭球的第一偏心率

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

椭球的第二偏心率

$$e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$$

将 (2) 代入 (1), 并设

$$F_X(B) = \{ B_0 - [ C_0 - (D_0 - E_0 \sin^2 B) \sin^2 B ] \sin^2 B \} \sin B \cos B \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} F_x(B, l) &= a_2 l^2 + a_4 l^4 + a_6 l^6 \\ F_y(B, l) &= a_3 l^3 + a_5 l^5 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

则高斯投影正算公式为

$$\left. \begin{aligned} x &= A_0 B + F_X(B) + F_x(B, l) \\ y &= a_1 l + F_y(B, l) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

## (二)、高斯投影坐标反算迭代算法

高斯投影坐标反算是已知投影带中央子午线经度  $L_0$  和高斯平面坐标  $(x, y)$  反解大地经纬度

$(B, l)$ 。高斯投影坐标反算公式推导和使用比较繁琐, 而且不容易理解。因此采用迭代法求解。

采用迭代法求解时, 采用以下步骤

1、迭代初值

$$\left. \begin{aligned} B^0 &= x / A_0 \\ a_1 &= \frac{a \cos B^0}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B^0}} \\ l^0 &= y / a_1 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

2、各次迭代

$$\left. \begin{aligned} B^i &= [x - F_x(B^{i-1}) - F_x(B^{i-1}, l^{i-1})] / A_0 \\ a_1 &= \frac{a \cos B^i}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B^i}} \\ l^i &= [y - F_y(B^i, l^{i-1})] / a_1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3、迭代终止

当同时满足

$$\left. \begin{aligned} B^i - B^{i-1} &\leq \epsilon \\ l^i - l^{i-1} &\leq \epsilon \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

时终止迭代。 $\epsilon$ 一般以取  $4.8 \times 10^{-10}$  弧度 (即 0.0001s) 为宜。

(三)、算例

已知某点在椭球面上的大地坐标为

$$\left. \begin{aligned} B &= 32^\circ 24' 57.652 \, 2'' \\ L &= 118^\circ 54' 15.220 \, 6'' \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

首先将该点归算到高斯投影平面上，求算出他在中央子午线经度  $L_0 = 117^\circ$  的

$6^\circ$  带内的平面直角坐标为

$$\left. \begin{aligned} x &= 3589644.286 \\ y &= 179136.438 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

再用迭代法反求该点的大地坐标，迭代过程为

$$\left. \begin{aligned} B^0 &= 32^\circ 24' 56.972 \, 88'', L^0 = 118^\circ 54' 06.462 \, 25'' \\ B^1 &= 32^\circ 24' 57.783 \, 26'', L^1 = 118^\circ 54' 15.208 \, 38'' \\ B^2 &= 32^\circ 24' 57.652 \, 63'', L^2 = 118^\circ 54' 15.223 \, 35'' \\ B^3 &= 32^\circ 24' 57.652 \, 15'', L^3 = 118^\circ 54' 15.220 \, 60'' \\ B^4 &= 32^\circ 24' 57.652 \, 19'', L^4 = 118^\circ 54' 15.220 \, 59'' \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

### (三)、WGS 1984 地理坐标系的墨卡托投影分度带 (UTM ZONE) 选择方法

UTM 投影是一种等角横轴割圆柱投影，圆柱割地球于南纬 80 度、北纬 84 度两条等高圈，被许多国家用作地形图的数学基础，中国采用的高斯-克吕格投影就是 UTM 投影的一种变形。

UTM 投影将北纬 84 度和南纬 80 度之间的地球表面积按经度 6 度划分为南北纵带(投影带)。从 180 度经线开始向东将这些投影带编号，从 1 编至 60(北京处于第 50 带)，因此 1 带的中央经线为-177 ( $-180 - (-6)$ )，而 0 度经线为 30 带和 31 带的分界，这两带的分界分别是-3 和 3 度。

每个带再划分为纬差 8 度的四边形，从 80S 到 84N 共 20 个纬度带(X 带多 4 度)，分别用 C 到 X 的字母来表示。为了避免和数字混淆，I 和 O 没有采用。两条标准纬线距中央经线为 180KM 左右,中央经线比例系数为 0.9996。UTM 北半球投影北伪偏移为零，南半球则为 10000 公里。

中国 UTM 投影带号中国国境所跨 UTM 带号为 43-53。UTM 投影带号计算

如 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_49N, 这个 49 的计算方法:49: 从 180 度经度向东, 每 6 度为一投影带, 第 49 个投影带  $49 = (114 + 180) / 6$ , 这个 114 为 49 投影带的最大经线。如图所示:

经度范围 (东经)	中央经线经度	分度带
72° — 78°	75°	43 N
78° — 84°	81°	44 N
84° — 90°	87°	45 N
90° — 96°	93°	46 N
96° — 102°	99°	47 N
102° — 108°	105°	48 N
108° — 114°	111°	49 N
114° — 120°	117°	50 N
120° — 126°	123°	51 N
126° — 132°	129°	52 N
132° — 138°	135°	53 N

北半球地区，选择最后字母为“N”的带，

带数=(经度整数位/6)的整数部分+31

如：广州市经度范围 112.95-113.98，带数= $113 / 6 + 31 = 49$ ，选 49N，即 WGS 1984 UTM ZONE 49N

江西省南昌新建县某调查单元经度范围  $115^{\circ} 35' 20''$  —  $115^{\circ} 36' 00''$  ,  
带数= $115/6+31=50$ , 选 50N, 即 WGS 1984 UTM ZONE 50N  
中国 utm 投影带号

中国国境所跨 UTM 带号为 43-53 我国的疆域范围: 最西端 北纬 39 度 15 分、  
东经 73 度 33 分 最北端 北纬 53 度 33.5 分 东经 124 度 27 分 最南点, 处北纬  
 $3^{\circ} 51'$  , 东经  $112^{\circ} 16'$  最东端 北纬 47 度 27.5 分 东经 134 度 46.5 分

## 四、转换软件

目前可使用七参数进行坐标转换的常用软件有 TGO /TBC、LGO、中海达软件等厂商的 GPS 软件和南方 GPS、COORD(笑脸) 等工具软件。

(TGO) <https://wenku.baidu.com/view/45936ab765ce0508763213ef.html>