

文章编号: 0451- 0712(2008)03- 0022- 05

中图分类号: U 412. 24

文献标识码: A

公路平面测量坐标系的选择方法

许娅娅¹, 黄文元²

(1. 长安大学公路学院 西安市 710064; 2. 中交第一公路勘察设计研究院 西安市 710075)

摘 要: 分析了影响平面测量坐标系选择的所有要素, 介绍了目前世界上常用的地图投影方式, 结合公路的特点, 建议公路平面测量坐标系的选择应根据测量区域地理位置、海拔高度以及公路工程的要求, 选择合适的参考椭球、抵偿高程面和投影方式。

关键词: 公路; 平面测量坐标系; 选择

于 2007 年 7 月 1 日施行的中华人民共和国行业标准《公路勘测规范》(JTG C10- 2007)、《公路勘测细则》(JTG/T C10- 2007) 中规定: 选择路线平面控制测量坐标系时, 应使测区内投影长度变形值小于 2.5 cm/km ; 大型构造物平面控制测量坐标系, 其投影长度变形值应小于 1 cm/km 。应根据上述要求并结合测区所处地理位置、平均高程等因素按下列方法选择坐标系。

(1) 当投影长度变形值满足要求时, 应采用高斯正形投影 3 带平面直角坐标系。

(2) 当投影长度变形值不能满足要求时, 可采用: 投影于抵偿高程面上的高斯正形投影 3 带平面直角坐标系; 投影于 1954 年北京坐标系或者 1980 西安坐标系椭球面上的高斯正形投影任意带平面直角坐标系; 抵偿高程面上的高斯正形投影任意带平面直角坐标系; 当采用一个投影带不能满足要求时, 可分为几个投影带, 但投影分带位置不应选择在大型构造物处; 假定坐标系。

规定“路线平面控制测量坐标系, 应使测区内投影长度变形值小于 2.5 cm/km ; 大型构造物平面控制测量坐标系, 其投影长度变形值应小于 1 cm/km ”, 是为了满足公路设计和施工的需要, 长度变形值过大, 将会对公路施工产生一定的影响。进一步规定的坐标系的选择方法是基于我国的国家坐标系采用的投影方式为高斯正形投影方式, 有利于公路设计中采用的坐标系与国家坐标系的转换。

实际上, 公路测量中最核心的问题是有效地减

小投影长度的变形值, 在此基础上, 可以与国家坐标系实行转换。那么有没有其他的方法可以实现上述目的呢?

1 平面测量坐标系的决定因素

平面测量坐标系的决定因素有: 采用的椭球、采用的投影基准面和投影方式。

1.1 采用的椭球

自从 1830 年埃弗瑞斯推算出在印度坐标系中首先获得实际应用的椭球元素以后, 150 多年来人们在反复的科学实践中, 对地球形状大小的认识不断提高, 特别是卫星大地测量学的迅速发展, 为人们在整体上更正确认识地球的真实形状, 提供了现实的可能性。

但是, 在与大地体密合最好的椭球——称为总地球椭球被测算出来之前, 各国为了国内需要, 常常选择一个与本国领土密合较好的椭球面作为测量计算的基准面。这样的椭球统称为参考椭球, 常见参考椭球参数见表 1。我国在解放前曾采用海福特椭球, 1953 年起改用克拉索夫斯基椭球, 采用克拉索夫斯基 (Krassovsky) 1940 椭球所形成的坐标系称为 1954 年北京坐标系。1980 年我国大地控制网整体平差中, 采用了 1975 年在法国召开的第十六届国际大地测量与地球物理联合会会议推荐的一组椭球元素 (GRS 1975), 形成的坐标系称为 1980 西安坐标系。

1.2 采用的投影基准面

基准面是利用特定椭球体对特定地区地球表面

表 1 常见参考椭球参数

椭球名称	长半径 a/m	扁率 α
Airy 1830	6 377 563.396	1/299.324 964 6
白塞尔(Bessel) 1841	6 378 397.155	1/299.152 812 8
克拉克(Clarke) 1866	6 378 206.4	1/294.978 698 2
克拉克(Clarke) 1880	6 378 249.145	1/293.465
埃弗瑞斯(Everest) 1830	6 377 276.345	1/300.801 7
Fischer 1960(Mercury)	6 378 166.0	1/298.3
Fischer 1968	6 378 150.0	1/298.3
GRS 1967	6 378 160.0	1/298.247 167 427
GRS 1975	6 378 140.0	1/298.257
GRS 1980	6 378 137.0	1/298.257 222 101
Hough 1960	6 378 270.0	1/297.0
国际通用(International)	6 378 388.0	1/297.0
克拉索夫斯基(Krasovsky) 1940	6 378 245.0	1/298.3
南美(South American) 1969	6 378 160.0	1/298.25
WGS60	6 378 165.0	1/298.3
WGS66	6 378 145.0	1/298.25
WGS72	6 378 135.0	1/298.26
WGS 84	6 378 137.0	1/298.257 223 563
海福特(Hayford) 1910	6 378 388.0	1/297.0

的逼近, 因此每个国家或地区均有各自的基准面。我们通常称谓的北京 54 坐标系、西安 80 坐标系, 实际上指的是我国的两个大地基准面。我国参照前苏联从 1953 年起采用克拉索夫斯基(Krasovsky) 椭球体建立了我国的北京 54 坐标系, 1978 年采用国际大地测量协会推荐的 1975 地球椭球体建立了我国新的大地坐标系——西安 80 坐标系。WGS1984 基准面采用 WGS84 椭球体, 它是一地心坐标系, 即以地心作为椭球体中心。目前 GPS 测量数据多以 WGS1984 为基准。

椭球体与基准面之间的关系是一对多的关系, 也就是基准面是在椭球体基础上建立的, 但椭球体不能代表基准面。同样的椭球体能定义不同的基准面, 如前苏联的 Pulkovo 1942、非洲索马里的 Afgooye 基准面都采用了 Krasovsky 椭球体, 但它们的基准面显然是不同的。

1.3 投影方式

投影方式是将测量数据从球面转换到平面的数学变换, 通常投影方式分为平面投影、圆柱投影和圆锥投影。圆柱投影可分为正圆柱投影和横圆柱投影。投影方式又可分为相切和相割的投影方式, 如图 1~

图 6 所示。



图 1 切平面投影

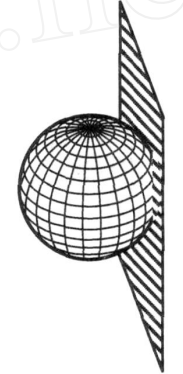


图 2 割平面投影

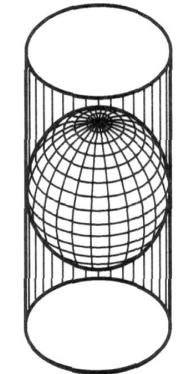


图 3 正切圆柱投影

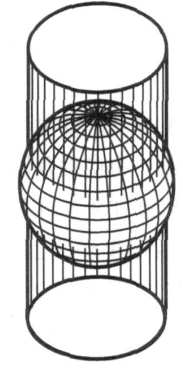


图 4 割圆柱投影

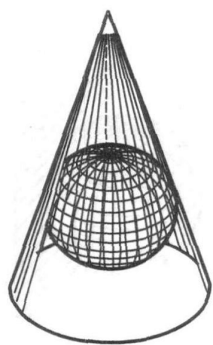


图5 切圆锥投影

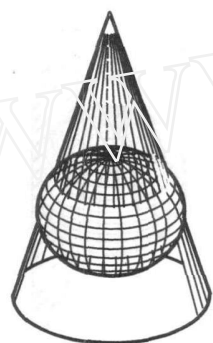


图6 割圆锥投影

当测区范围较小时,可以把地球表面当作平面看待,以水平面代替水准面,即采用平面投影方式。如果测区范围较大,如国家控制测量、国家基本图测绘等,就不能再将球面看成平面,必须把球面上的图形采用适当的方法投影到平面上。世界各国常见投影方式有高斯投影、通用横轴墨卡托投影和兰勃特投影。

高斯正形投影为等角横轴切椭圆柱投影,这个方法的理论由德国数学家、物理学家、天文学家高斯(Carl Friedrich Gauss, 1777~ 1855)于19世纪20年代建立,后经德国大地测量学家克吕格(Johannes Kruger, 1857~ 1928)于1912年对投影公式加以补充,称为高斯—克吕格投影。大家都非常熟知,这里不再赘述。

通用横轴墨卡托投影 UTM (Universal Transverse Mercator) 为横轴割圆柱投影,是一种等角横轴割圆柱投影,圆柱割地球于南纬 80° 、北纬 84° 两条等高圈,投影后中央经线上长度比为0.999 6,距离中央经线左右约180 km处两条相割的经线上没有变形,称为标准经线,如图7所示。中央子午线与标准线之间,投影长度小于实际长度;标准线外,投影长度大于实际长度。与高斯—克吕格投影相似,

该投影角度没有变形,中央经线为直线,且为投影的对称轴。

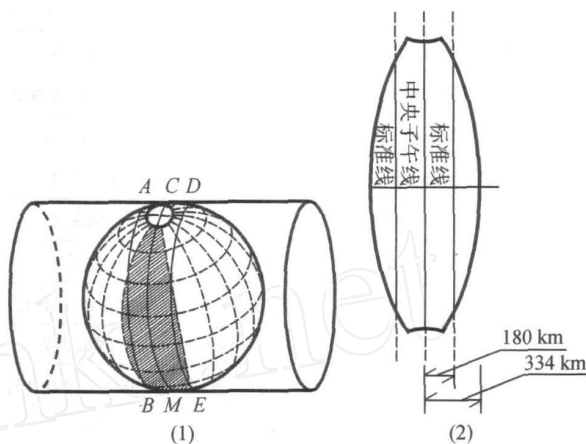


图7 通用横轴墨卡托投影

兰勃特投影(Lambert Conformal Conic)是等角正轴圆锥投影,由德国数学家兰勃特(J. H. Lambert)在1772年建立。基本原理是用一个正圆锥割于球面两标准纬线,如图8所示,应用等角条件将地球面投影到圆锥面上,然后沿一母线展开,即为兰勃特投影平面。兰勃特等角投影后纬线为同心圆弧,经线为同心圆半径,如图9所示,当两标准线重合时,即为正轴切圆锥投影。兰勃托投影的变形具有下列特点:(1)角度没有变形;(2)变形比较均匀,变形绝对值也比较小;(3)等变形线和纬线一致,即同一条纬线上的变形处处相等;(4)在同一经线上,两标准纬线外侧为正变形,投影长度大于实际长度,而两标准纬线之间为负变形,投影长度小于实际长度;(5)两条标准纬线上没有任何变形;(6)同一纬线上等经差的线段长度相等,两条纬线间的经纬线长度处处相等。

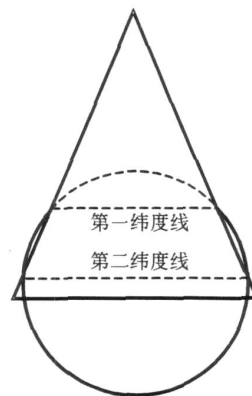


图8 兰勃特正轴圆锥投影

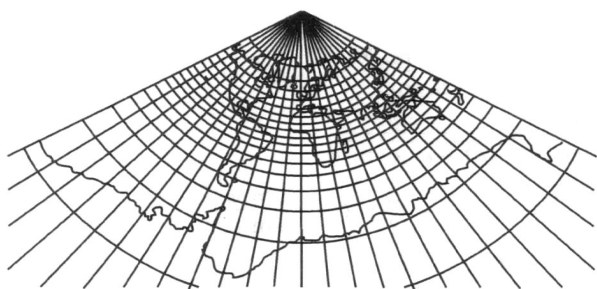


图9 兰勃特投影平面

2 公路平面测量坐标系的选择

从上述的介绍可以看出, 决定长度变形值大小的因素有选择的参考椭球、基准面和投影方式。选择合适的参考椭球对于国家大地网是很重要的, 但对于公路平面控制网, 选择与测量工作面密合程度较好的基准面以及合适的投影方式显得更为重要。

实际工作中, 我们可以通过选择合适的抵偿高程面, 以提高测量工作面与所选择基准面的密合程度。对此, 公路勘测规范和公路勘测细则中有这方面的规定。

我国中、大比例尺地形图都是采用高斯正形投影方式, 但对于具体的公路工程, 可以根据不同的情况, 选择合适的投影方式, 最大限度地减小投影变形, 以满足公路工程建设需要。可以看出, 对于南北走向的公路工程, 选择高斯正形投影和通用横轴墨卡托投影比较合适, 这样可以通过选择合适的中央子午线, 使得路线所经过地区最大限度地靠近中央子午线或标准线, 使长度变形值尽量小。对于东西走向的公路工程, 如选择高斯正形投影和通用横轴墨卡托投影, 在中、高纬度地区时, 长度投影变形值将随着纬度的逐渐增加而增加。但选择兰勃特投影方式将是比较适宜的, 我们可以通过选择合适的圆锥底半径, 使路线所经过的地区最大限度地接近圆锥与地球的切线或割线, 尽量减小长度投影变形值。

总之, 公路平面测量坐标系选择的核心问题是减小投影变形, 以满足公路工程建设需要为目的。为此, 应根据测量区域地理位置、海拔高度以及公路工程的要求, 选择合适的参考椭球、抵偿高程面和投影方式。当然, 在选择合适的坐标系的程序上应当符合我国的有关法律、法规的要求。

3 有关投影方式的计算公式

在我国的有关书籍中, 详细讲述了高斯正形投

影的计算公式, 其他投影方式的理论很少提及。在此, 特将其他有关投影方式的计算公式列出, 供使用时参考。

3.1 UTM 投影正反算公式

(1) UTM 投影正解公式: $(\varphi, \lambda) \rightarrow (X, Y)$ 。

坐标系原点纬度为 0° ; 原点经度为 λ_0 , 则直角坐标为:

$$\begin{aligned}
 X_N &= FN + k_0 \left\{ M + N \tan \varphi \left[\frac{A^2}{2} + (5 - T + 9C + 4C^2) \frac{A^4}{24} + (61 - 58T + T^2 + 600C - 330e^2) \frac{A^6}{720} \right] \right\} \\
 Y_E &= FE + k_0 N \left[A + (1 - T + C) \frac{A^3}{6} + (5 - 18T + T^2 + 72C - 58e^2) \frac{A^5}{120} \right] \\
 M &= a \left[\left(1 - \frac{e^2}{4} - \frac{3e^4}{64} - \frac{5e^6}{256} \right) \sin \varphi \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{3e^2}{8} + \frac{3e^4}{32} + \frac{45e^6}{1024} \right) \sin 2\varphi \right. \\
 &\quad \left. \left(\frac{15e^4}{256} + \frac{45e^6}{1024} \right) \sin 4\varphi - \frac{35e^6}{3072} \sin 6\varphi \right] \\
 N &= \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} = \frac{a^2/b}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \varphi}} \\
 T &= \tan^2 \varphi \\
 C &= e^2 \cos^2 \varphi
 \end{aligned}$$

式中: X_N 为纵直角坐标, m; Y_E 为横直角坐标, m; FN 为北偏移值, 北半球取值为 0 m, 南半球取值为 10 000 000 m; FE 为东偏移值, 取值为 500 000 m; k_0 为 UTM 投影比例因子, 取值为 0.999 6; φ 为纬度; λ 为经度; e 为第二偏心率, $e = \sqrt{(a/b)^2 - 1}$; e 为第一偏心率, $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$, 其中 a 为椭球体长半轴, b 为椭球体短半轴。

(2) UTM 投影反解公式: $(X, Y) \rightarrow (\varphi, \lambda)$ 。

坐标系原点纬度为 0° ; 原点经度为 λ_0 , 则大地坐标为:

$$\begin{aligned}
 \varphi &= \varphi_f - \frac{N_f \tan \varphi_f}{R_f} \left[\frac{D^2}{2} - (5 + 3T_f + 10C_f - 4C_f^2 - 9e^2) \frac{D^4}{24} + (61 + 90T_f + 298C_f + 45T_f^2 - 252e^2 - 3C_f^2) \frac{D^6}{720} \right] \\
 \lambda &= \lambda_0 + \frac{1}{\cos \varphi_f} \left[D - (1 + 2T_f + C_f) \frac{D^3}{6} + (5 - 2C_f + 28T_f - 3C_f^2 + 8e^2 + 24T_f^2) \frac{D^5}{120} \right]
 \end{aligned}$$

$$N_f = \frac{a^2/b}{\sqrt{1+e^2 \times \cos^2 \varphi}} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \times \sin^2 \varphi}}$$

$$R_f = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \times \sin^2 \varphi)^{3/2}}$$

$$\varphi = \varphi_0 + (3e_1/2 - 27e_1^3/32) \sin 2\varphi_0 + (21e_1^2/16 - 55e_1^4/32) \sin 4\varphi_0 + (151e_1^3/96) \sin 6\varphi_0$$

$$e_1 = \frac{1-b/a}{1+b/a}$$

$$\varphi = \frac{M_f}{a(1-e^2/4 - 3e^3/64 - 5e^5/256)}$$

$$M_f = (X_N - FN)/k_0$$

$$T_f = \tan^2 \varphi$$

$$C_f = e^2 \cos^2 \varphi$$

$$D = \frac{Y_E - FE}{k_0 N_f}$$

参数的意义与 UTM 投影正解公式相同。

3.2 兰勃特等角 (Lambert Conformal Conic) 投影正反算公式

(1) 兰勃特等角投影正解公式: $(\varphi, \lambda) \rightarrow (X, Y)$ 。

坐标系原点纬度为 φ_0 , 原点经度为 λ_0 , 第一标准纬线纬度为 φ_1 , 第二标准纬线纬度为 φ_2 , 则直角坐标为:

$$X_N = Y_0 - Y \cos \theta$$

$$Y_E = Y \sin \theta$$

$$Y = a F t^n$$

$$\theta = n(\lambda - \lambda_0)$$

$$n = \frac{\ln(m_{\varphi_1}/m_{\varphi_2})}{\ln(t_{\varphi_1}/t_{\varphi_2})}$$

$$m = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1-e^2 \times \sin^2 \varphi}}$$

$$t = \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) / \left(\frac{1-e \sin \varphi}{1+e \sin \varphi}\right)^{\frac{n}{2}}$$

$$F = m_{\varphi_1} / (n t_{\varphi_1})$$

式中: Y_0 为原点纬度处的 Y 值; m_{φ_1} 、 m_{φ_2} 为标准纬线 φ_1 、 φ_2 处的 m 值; t_{φ_1} 、 t_{φ_2} 为标准纬线 φ_1 、 φ_2 处的 t 值; 其他参数的意义与 UTM 投影公式相同。

(2) 兰勃特等角投影反解公式: $(X, Y) \rightarrow (\varphi, \lambda)$ 。

坐标系原点纬度为 φ_0 , 原点经度为 λ_0 , 第一标准纬线纬度为 φ_1 , 第二标准纬线纬度为 φ_2 , 则大地坐标为:

$$B = \pi/2 - 2 \arctan \left[t \left(\frac{1-e \sin \varphi_2}{1+e \sin \varphi_2} \right)^{\frac{n}{2}} \right]$$

$$L = \theta/n + \lambda_0, t = (Y/(aF))^{\frac{1}{n}}$$

$$Y = \pm \sqrt{Y_E^2 + (Y_0 - X_N)^2}$$

$$t = (Y/(aF))^{\frac{1}{n}}$$

$$\theta = \arctan \frac{Y_E}{Y_0 - X_N}$$

参数的意义与兰勃特等角投影正解公式相同, φ 通过迭代获取。

Selecting Methods of Plane Coordinate Systems in Highway Survey

XU Ya-ya¹, HUANG Wen-yuan²

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;

2. CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an 710075, China)

Abstract: All elements of determining plane coordinate system are analyzed, the projection modes in common in the world are introduced, and it is proposed that the plane coordinate system is selected by selecting appropriate reference ellipsoid, surface of highness, projection mode based on geography position of survey area, highness, demands in highway survey.

Key words: highway; plane coordinate systems; selecting method