

国外某桥梁工程坐标系建立的过程分析

陈 军

(天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津市 300201)

摘 要:以国外某大型桥梁的建设为案例,通过地图投影的变形值计算,分析了使用 UTM 投影坐标系带来的精度误差,由此阐述了 UTM 投影和横轴墨卡托投影在工程中的适用性,重点说明了建立工程坐标系的步骤、方法以及精度验证过程,同时给出了工程坐标系与 UTM 坐标系的坐标转换方法,供国外类似的工程项目参考。

关键词:工程坐标系;UTM 投影;横轴墨卡托投影;投影变形;精度要求;坐标转换

中图分类号: P22

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)01-0242-03

0 引 言

随着“一带一路”相关工程项目的迅猛推进,沿线许多大型基建项目已开工建设,特别是南亚地区的基建项目已遍地开花,给当地人民带来福祉。在许多这些项目所处的国家都使用了 UTM 投影作为本国基础地形图的投影方式,但对于建设精度要求较高、线路较长的大型工程,若后续所有建设的坐标基准仍采用 UTM 投影方式建立,则能否满足我国《公路勘测规范》(以下简称《规范》)中对坐标系投影长度变形的要求,从而影响到整个工程的建设精度,是测量任务实施前必须要考虑的问题。因此,按照工程所处的地理位置,选取合理的地图投影方式建立工程坐标系统,已成为此类工程建设的关键一环。

1 国外某桥梁工程介绍

南亚某国新建大型高架公路工程,全线均采用高架桥设计,路线全长约 35 km,东西方向长约 23 km,工程所处区域中部经度为 $90^{\circ}17'$,平均海拔约 8 m,属冲积平原。工程可行性研究阶段的地形图资料显示,其使用的是 WGS84 椭球下的 UTM46N 投影坐标系,中央子午线为 93° 。本工程属于大型连续多跨桥梁,按照《规范》要求,工程所采用的平面控制测量坐标系投影长度变形值不应大于 10 mm/km,因此,必须根据工程的实际情况分析原有坐标系的适用性。

收稿日期: 2021-09-23

作者简介: 陈军(1979—),男,学士,高级工程师,从事工程测量工作。

2 UTM 投影变形分析

UTM (Universal Transverse Mercator) 投影由美国军事测绘局于 20 世纪 40 年代提出,是等角横轴割圆柱投影,椭圆柱分别割地球于南纬 80° 和北纬 84° ,投影后两条割线不产生变形,它们距离 6° 带的中央子午线约 180 km;投影后两条割线以内长度缩小,以外长度变大,中央子午线的投影长度比为 0.999 6。

根据投影变形值计算公式:

$$\Delta_s = S \left(m + \frac{y_U^2}{2mR^2} - 1 \right) \quad (1)$$

式中: S 为椭球上大地线长度; m 为长度比; y_U 为大地线两端点横坐标平均值; R 为大地线所处位置的平均曲率半径。

式(1)中设定 S 为 1 000 m, m 为 0.999 6,即可计算 UTM 投影的变形曲线,见图 1。

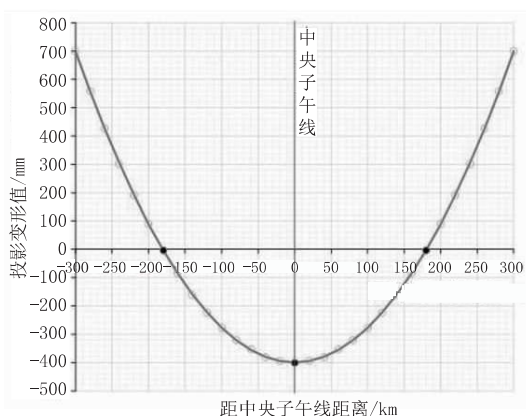


图1 UTM 投影变形曲线图

由图1可以看出,采用 UTM 投影,椭球面上距中央子午线 180 km 范围内投影后长度缩短,180 km 以外投影后长度增大,且增大的速率逐渐加快。

本工程所在区域中部距 UTM46N 投影带中央子午线约 275 km,结合图 1 的 UTM 投影变形曲线图可以看出,若工程采用 UTM46N 投影,则其产生的投影变形值将达到 520 mm/km,这已远远超过了《规范》的允许值。因此,为保证此工程在测量、设计和施工期间所采用的坐标系投影变形值最小,满足工程建设的精度要求,必须建立适合工程需求的工程坐标系。

3 工程坐标系的建立

横轴墨卡托(Transverse Mercator)投影是等角横轴切圆柱投影,圆柱面与经线相切,其投影后中央子午线不产生变形,投影长度比为 1,距中央子午线越远投影变形越大,是我国工程中普遍采用的投影方式。将式(1)中的 m 设定为 1,则得到横轴墨卡托投影变形值计算公式(2)。

$$\Delta s=S\frac{y_T^2}{2R^2}$$
(2)

式中: S 为椭球上大地线长度; y_T 为大地线两端点横坐标平均值; R 为大地线所处位置的平均曲率半径。同样,设定 S 为 1 000 m,则可以得到横轴墨卡托投影的变形值,见图 2。

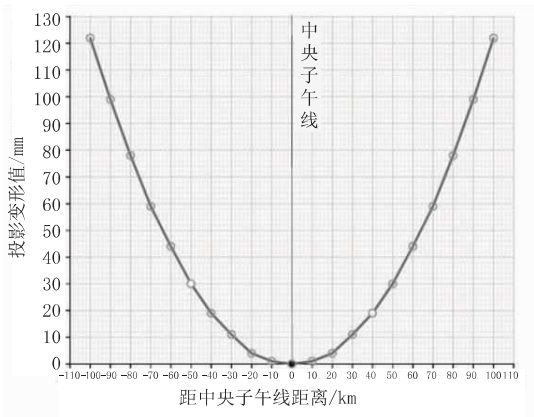


图 2 横轴墨卡托投影变形曲线图

从图 2 可以看出,距横轴墨卡托投影中央子午线东西方向共 57 km 范围内,其投影变形值小于 10 mm/km,在 90 km 范围内,其投影变形值小于 25 mm/km。本工程东西方向长 23 km,若采用横轴墨卡托投影,将工程中部位置经线设定为中央子午线,则在工程范围内的横轴墨卡托投影变形值在《规范》的允许值内。

此外,还要考虑地面水平距离投影到椭球面的

长度变形,此变形值可根据式(3)进行计算。

$$\Delta S=-\frac{H_m-h_m}{R_m} S_0$$
(3)

式中: S_0 为地面水平距离; H_m 为地面边长两端的平均高程; h_m 为投影面高程; R_m 为大地线所处位置的平均曲率半径。

综合考虑上述两种投影变形的影响,设定工程坐标系的中央子午线为工程中部的 $90^{\circ}17'$,投影面高程为零,工程沿线高程值在 6~11 m 之间,则经过计算后,在工程区域内的综合投影长度变形值完全小于 10 mm/km(见表 3),满足《规范》中对大型构造物平面控制测量坐标系投影长度变形值的限差要求。

4 坐标系间的转换

建立工程坐标系后,还应考虑与 UTM 投影坐标系的坐标转换,以便将工程相关图纸转换到 UTM 坐标系后,移交当地土地管理或规划部门使用。因为两种坐标系的参考椭球都为 WGS84 椭球,所以坐标转换的实质为坐标系 A 到 WGS84 椭球下的大地坐标,再由 WGS84 椭球下的大地坐标到坐标系 B 的转换,即等角横轴圆柱投影的坐标正反算,其公式分别为正算公式(4)和反算公式(5):

$$x=mF_1(B,L)$$
(4)

$$y=mF_2(B,L)$$

$$B=F_3(x/m,y/m)$$
(5)

$$y=F_4(x/m,y/m)$$

式(4)和式(5)中: (x,y) 为投影后的平面坐标; (B,L) 为 WGS84 椭球下的大地坐标; m 为长度比;函数 F_1 和 F_2 为坐标正算的投影函数;函数 F_3 和 F_4 为坐标反算的投影函数。

由工程坐标转换为 UTM 投影坐标时,先利用式(5),将 m 设定为 1,将横轴墨卡托投影下的平面坐标 (x_T,y_T) 转换为大地坐标 (B,L) ;然后再利用式(4),将 m 设定为 0.999 6,将大地坐标 (B,L) 转换为 UTM 投影坐标 (x_U,y_U) 。同理,如果由 UTM 坐标转换为工程坐标,则式(5)中的 m 设定为 0.999 6,式(4)中的 m 设定为 1,投影函数不变。

表 3 综合投影长度变形值计算表

高程值 /m	11	11	11	11	10	10	11	10	9	9	7	7	6
距中央子午线距离 /km	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
地面水平距离投影到椭球面的长度变形 /mm	-1.7	-1.7	-1.7	-1.7	-1.6	-1.6	-1.7	-1.6	-1.4	-1.4	-1.1	-1.1	-0.9
椭球面距离投影到平面的长度变形 /mm	1.8	1.2	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.2	1.8
综合投影长度变形 /mm	0.0	-0.5	-0.9	-1.3	-1.4	-1.5	-1.7	-1.5	-1.2	-1.0	-0.3	0.1	0.8

上述转换过程可以利用专业的坐标转换软件进行,但是每次转换时都需要输入相应的转换参数,且转换时需要过渡到大地坐标才能进行,操作极为不便。因此,可以根据上述转换公式和过程,把两种坐标相互转换的参数固定,利用 C# 等编程语言将转换过程程序化,生成方便实用的坐标转换界面(见图 3),提高转换效率。



图 3 坐标转换软件界面

5 结 语

根据国外工程建设情况和工程所处的地理位置,考虑所在地区基础测绘所采用的坐标系统,因地制宜,建立满足工程精度要求的坐标系统,是工程测量实施前必须考虑的重要内容。只有综合考虑工程所处区域情况以及所采用坐标系统的投影长度变形值大小,选择最优的参考椭球和投影方式,建立满足规范要求的工程坐标系统,才能保证工程在测绘、设计和施工等各个阶段的工作顺利开展,为工程的高质量建设打下良好基础。

参考文献:

- [1] 吴迪军.UTM 投影地区工程独立坐标系的建立方法[J].测绘工程,2020,29(4):7-10,14.
- [2] 李国义,姚楚光.UTM 投影及其变形分析[J].地理空间信息,2013,11(6):80-83.
- [3] JTG C10—2007,公路勘测规范[S].

(上接第 224 页)

- 究[J].地下空间与工程学报,2017,13(S2):613-622.
- [8] 钟宇,陈健,陈国良,等.基于建筑信息模型技术的盾构隧道结构信息模型建模方法[J].岩土力学,2018,39(5):1867-1876.
- [9] DAVIES A, MACAULAY S, DABARRO T, et al. Making innovation happen in a megaproject: London's crossrail suburban railway sys-

- tem[J]. Project Management Journal, 2014, 45(6): 25-37.
- [10] 孙建诚,朱双哈,蒋浩鹏.BIM 技术在公路边坡的应用探究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(9):63-67.
- [11] 冯瑾,王继野,顾威,等.基于 BIM 技术的桥梁工程全生命周期一体化应用研究[J].四川建材,2021,47(4):149-150.