

工程坐标系设计及软件开发研究

郭德普

(测绘信息工程院)

〔摘要〕 在工程建设项目的测量工作中,为了使边长投影长度变形量不超过规范规定的限值,必须进行坐标系统设计。本文分析了影响工程坐标系统设计的有关因素,在总结传统坐标系设计方法的基础上,提出了一种全新的坐标系设计的软件实现方法,通过软件的开发及应用,实现了坐标系设计过程及设计结果的直观显现。

〔关键词〕 工程坐标系 坐标系设计方法 软件开发

1 引言

《工程测量规范》及《城市测量规范》及其他一些测量规范规定,当边长长度投影变形值大于2.5 cm/km时,应建立工程坐标系统。进行坐标系设计,需要根据测区高程、高差、位置与范围来进行分析与计算,通过确定高程参考面、移动中央子午线或者二者联合运用等方式,可以设计出与工程区自然地理特点相适应的工程坐标系。通过软件方法进行坐标系的分析设计,实现了人机交互式分析设计,设计结果在电脑屏幕上直观显示出来;分析过程及结果可以用文件形式保存起来,也可通过打印机输出。

2 工程坐标系及影响因素

2.1 常用工程坐标系

(1)标准3°分带坐标系。平面控制网的坐标系最理想的是和国家网的坐标系取得一致。

(2)任意带坐标系。依据补偿高程面归算长度变形而选择的某一条子午线作为中央子午线,用高斯投影来抵偿高程投影变形的影响。

(3)抵偿投影面坐标系。投影高程面不是参考椭球面,而是依据补偿高斯投影长度变形而选择的高程参考面,用高程投影来抵偿高斯投影变形的影响。

(4)抵偿投影面任意带坐标系。这种坐标系同时移动中央子午线并选择高程参考面,将任意带坐标系和抵偿投影面坐标系的优点结合起来,以期获

得在较大区域内长度投影变形仍能满足设计要求。

2.2 影响坐标系设计的因素

(1)投影长度变形允许值

投影变形量计算公式如下:

$$\Delta S_1 = -\frac{H}{R} \cdot S \quad (1)$$

$$\Delta S_2 = \frac{\gamma^2}{2R^2} \cdot S \quad (2)$$

$$\Delta = \Delta S_1 + \Delta S_2 \quad (3)$$

式中:

ΔS_1 为高程投影变形量, m; ΔS_2 为高斯投影变形量, m; Δ 为投影总变形量, m; γ 为距中央子午线的距离, m; R 为平均曲率半径, m; S 为边长, m; H 为大地高, m。

(2)区域高程。高程投影变形量与高程呈线性变化。

(3)区域高差。当高差超出一定限度时,投影长度变形量会超出规定的限值。

(4)区域位置。高斯投影变形量不是线性变化,而是随距中央子午线的距离呈二次方变化。

(5)区域范围。如果区域超出特定范围,便需要采取分带投影方式建立两个甚至多个工程坐标系。

3 坐标系设计方法

3.1 传统坐标系设计方法

传统坐标系设计方法及步骤如下:

(1)选取区域特征点,得到各点的坐标及高程。

选取的特征点要具有代表性,能够反映出区域的范围大小、地形起伏等特征,而且必须将区域内最高点、最低点、西侧边缘点及东侧边缘点等特征点包含在内。

(2)按公式(1)(2)计算或查表得到高程投影及高斯投影变形量,并计算各点的投影总变形量。

(3)比较所有特征点的投影总变形量是否符合要求,全部符合时说明所设计的坐标系是适宜的。

(4)当有特征点投影总变形量超限时,通过移动中央子午线、改变高程投影参考面等方式,建立新的工程坐标系,在新坐标系下重新计算投影总变形量,直到得到适宜的坐标系为止。

3.2 坐标系软件设计方法

通过对坐标系设计过程的流程化设计,可采用软件方法进行坐标系设计的分析与计算,软件方法具有以下优点:

(1)特征点数据获取方法多样化。传统设计方法由于受计算效率的限制,一般仅选取少量有代表性的特征点,采用软件计算时,不再受特征点数量限

制,因此,特征点数据文件可由区域内已有控制点坐标文件或地形点数据文件等来生成。

(2)坐标系设计及分析计算过程快捷。通过更改参考椭球、修改高程投影参考面及中央子午线等参数,便建立了新的工程坐标系。利用同一组特征点数据,可以实现多种工程坐标系的分析计算,迅速而方便。

(3)坐标系分析设计过程及结果直观可见。采用人机对话方式进行分析设计,分析结果动态显示;特征点的位置在电脑屏幕上直观显示,对投影总变形量超过变形允许值的点进行预警显示。

(4)分析设计结果保存与输出方便。

4 坐标系设计的软件开发

4.1 编程语言

采用 Visual Basic 面向对象语言进行程序开发,结合运用 MapX 地图控件,实现人机交互式分析计算及动态显示。软件的主界面见图1。

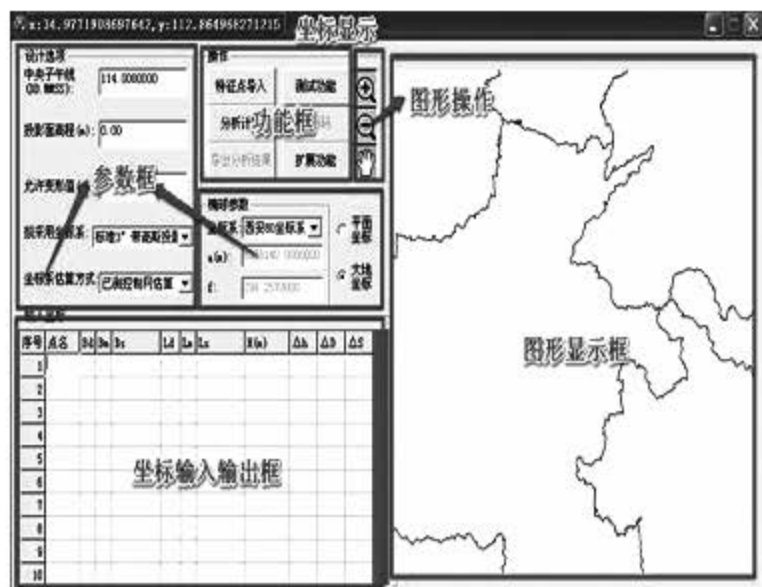


图1 工程坐标系设计主界面

4.2 精度指标

- (1)投影变形计算误差不超过 1 mm/cm;
- (2)坐标转换误差达到毫米级。

4.3 流程设计及数学模型建立

对四种工程坐标系分别编制流程图,确定数据从入口到出口的分析计算过程,建立各流程相应的数学模型。

根据设计精度指标的要求,分析确定有关变量或常量应达到的精度,将复杂数学公式分解展开,确

定公式展开的项数,编写适用于计算机计算的数学公式。

4.4 界面及功能设计

软件主界面主要分为参数设置、数据显示和超限预警显示三个功能区。

(1)参数设置

选择参考椭球及拟采用的工程坐标系,输入高程参考面、中央子午线及投影变形允许值,便确定了坐标系分析设计的相关参数。

(2) 数据显示

特征点的坐标、高程及投影变形量在数据显示区显示。特征点数据可以手工逐点输入,也可以导入数据文件,导入数据为 .txt 的文本格式,可为 (X、Y、h) 的平面坐标及高程格式,也可为 (B、L、h) 的地理坐标及高程格式。

(3) 超限预警

特征点按坐标展绘在图形显示区域,当特征点的投影总变形量超过允许变形值时,点位用红色预警显示。

随着“拟采用坐标系”或其他参数的改变,预警显示的特征点也会动态改变,可以直观地显示出分析设计效果。

(4) 设计结果输出

当设计的工程坐标系符合要求时,便可将有关设计参数及设计结果用数据文件予以保存,或直接打印输出。

5 坐标系设计实例

河南省豫北地区包含县(市、区)27个。豫北地区具有平原、丘陵及山区三种地貌特征,高程变化从几十米到1000多米,地理位置跨越三个3°投影带,

在河南省具有一定代表性,下面以豫北地区为例进行坐标系分析设计。

5.1 特征点数据来源

河南省国土资源厅组织开展了“河南省农村集体土地登记发证省级专项工作‘控制测量’项目”,该项目共施测 D、E 级 GPS 控制点 20140 个,其中 D 级 GPS 点 3393 个, E 级 GPS 点 16759 个,控制点平均间距 3 km。控制点遍布全省 159 个县(市、区),利用这些控制点成果,可以进行全省各县(市、区)工程坐标系设计。

5.2 豫北地区坐标系设计

在软件“设计选项”中,输入中央子午线等基本参数,允许变形值按 2.5 cm/km 输入,选择“拟采用坐标系”,分别导入各县(市、区)的特征点数据,通过交互式分析计算,便可完成工程坐标系的设计工作。

设计结果显示:豫北地区原阳等 5 个县(市、区)适宜采用“标准 3°分带坐标系”,滑县等 19 个县(市、区)适宜采用“任意带坐标系”,吉利区等 4 个县(市、区)可以采用“抵偿投影面坐标系”,剩余其他 9 个县(市、区)采用“抵偿投影面任意带坐标系”。豫北地区工程坐标系设计结果统计情况见表 1。

表 1 河南省豫北地区各县(市、区)工程坐标系设计结果统计表

标准 3°分带坐标系		任意带坐标系		抵偿投影面坐标系		抵偿投影面任意带坐标系	
地名	中央子午线	地名	中央子午线范围	地名	投影面高程范围	地名	子午线/投影面/变形超限区
新乡市区	114°	滑县	114°24′ - 114°59′	濮阳县	114°49′ - 115°28′	吉利区	-1250 - -1110
原阳县	114°	封丘县	114°10′ - 114°50′	清丰县	114°49′ - 115°31′	浚县	东部稍超限
获嘉县	114°	浚县	114°10′ - 114°51′	南乐县	114°54′ - 115°35′	淇县	西部稍超限
新乡县	114°	淇县	114°43′ - 114°44′	范县	115°08′ - 115°54′	安阳市区	局部稍超限
延津县	114°	安阳市区	114°32′ - 114°48′	台前县	115°30′ - 116°15′		
		安阳县	114°42′ - 114°46′	温县	112°35′ - 113°30′		
		汤阴县	114°22′ - 114°54′	武陟县	113°01′ - 113°48′		
		内黄县	114°24′ - 115°10′	孟州市	113°04′ - 113°17′		
		长垣县	114°24′ - 115°05′		111°59′ - 112°12′或		
		濮阳市区	114°40′ - 115°28′	吉利区	112°53′ - 113°12′		
						济源市	112°25′/+210m/ 高程>370 m
						辉县市	114°40′/+220 m/ 高程>380 m
						鹤壁市区	114°10′/+200 m/ 高程>360 m
						林州市	113°50′/+360 m/ 高程>520 m
						焦作市区	113°15′/+230 m/ 高程>390 m
						修武县	113°20′/+210 m/ 高程>370 m
						博爱县	113°05′/+250 m/ 高程>410 m
						沁阳市	112°55′/+250 m/ 高程>410 m
						卫辉市	114°05′/+170 m/ 高程>330 m

5.3 设计实例分析

利用软件进行坐标系设计时,首先分析能否采用国家标准坐标系,工程坐标应尽量采用国家统一的坐标系。河南省豫北地区适宜采用国家标准3度分带坐标系的5个县(市、区),其距离标准3度分带中央子午线的距离在50 km以内,区域高程在100 m以下,高斯投影变形量及高程投影变形量都不大,而且二者可以相互抵消一部分。

豫北适宜采用任意带坐标系的19个县(市、区)域,距标准3度分带中央子午线的距离超过50 km,其中18个县(市、区)地势较为平坦且高程较低,通过移动中央子午线减小高斯投影变形值的方法便可建立工程坐标系。

淇县按任意带坐标系设计的中央子午线,比其所在的标准3度分带坐标系的 114° 中央子午线更加远离县域,而且中央子午线从县域西侧移到了东侧,这是因为淇县距离 114° 的距离在30 km以内,高斯投影变形量较小,而县域范围的地形是西高东低,西部高程投影变形量较大,通过向东移动中央子午线,增大了高斯投影变形量,从而抵消了西部区域较大高程投影变形的影响。

吉利区地面高程在120 m以上,但高低起伏变化不大,可以通过移动中央子午线方法来抵消高程投影变形的影响。按任意带坐标系设计时,计算的中央子午线有两个范围,分别位于区域的東西两侧;按抵偿投影面坐标系设计时,计算的投影面高程为负值,是由于吉利区面积较小,且距离国家标准3度分带中央子午线的距离较远,通过降低投影参考面

增加高程投影变形量的方法,来抵消高斯投影变形的影响。

按抵偿投影面坐标系设计时,浚县等3个县(市、区)局部区域投影总变形量超限。如果通过分析计算可以将超限区域限制在非重点区域内,如山顶或滩地等非工程建设区域,所设计的坐标系即便是局部区域投影总变形量超限仍是可以采用的。

进行工程坐标系设计,如果通过移动中央子午线或改变投影参考面达不到设计要求时,便需要建立抵偿投影面任意带坐标系;如果建立一个抵偿投影面任意带坐标系仍不能满足工程建设项目需要,便需要分区建立两个或多个工程坐标系。济源市等9个县(市、区),即便采用抵偿投影面任意带方法建立坐标系,只能使重点区域的投影总变形量符合要求,表1中所列这9个县(市、区)的中央子午线及投影面,是在平坦地区投影总变形量不超限的前提下得到的分析计算结果。

6 结论

传统的工程坐标系设计方法,计算效率低、精度差。工程坐标系设计软件方法的实现,采用流程化的分析计算模式,操作非常方便。

利用一组特征点数据便可完成多种坐标系的分析计算,不但效率高,而且准确可靠。

通过交互式的分析计算及超限预警显示,实现了坐标系分析设计过程及结果的直观显现,克服了传统坐标系设计方法不够直观的弊端。