

公路勘察测绘中高程抵偿面的选择及任意带高斯投影坐标系建立的研究

崔高为

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司 新疆乌鲁木齐

【摘要】在公路勘察测绘中，科学的选择高程抵偿面及任意带的高斯投影坐标系系统很重要，其结果将直接影响勘察测绘的效果，进而影响整个公路测绘工程的质量。本文章以 S 工程为例，对如何在公路工程勘察测绘中建立合理的高程抵偿面及任意带的高斯投影坐标系进行研究，结合公路勘察测绘项目的特点及投影变形规范的要求，对高程抵偿面的选择和高斯投影变形进行分析，通过合理选择投影带和投影面，并结合具体公式，对投影参数、抵偿面的选择等进行计算，最后对高程抵偿中的线性相结问题及投影变形问题进行论述，旨在为相关内容研究提供有价值参考。

【关键词】公路勘察测绘；抵偿面；任意带；高斯投影坐标系建立

【收稿日期】2023 年 1 月 5 日 **【出刊日期】**2023 年 2 月 20 日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20230002

Study on the selection of elevation compensating surface and establishment of arbitrary Gaussian projection coordinate system in highway survey and mapping

Gaowei Cui

Xinjiang Transportation Planning Survey Design Institute Co., LTD. Urumqi, Xinjiang

【Abstract】In highway surveying and mapping, scientific selection of elevation compensation surface and arbitrary belt Gaussian projection coordinate system is very important, the results will directly affect the survey and mapping effect, and then affect the quality of the whole highway surveying and mapping project. Taking S project as an example, this paper studies how to establish reasonable elevation compensation surface and Gaussian projection coordinate system of arbitrary belt in highway engineering survey and mapping. Combined with the characteristics of highway survey and mapping projects and the requirements of projection deformation specifications, the selection of elevation compensation surface and Gaussian projection deformation are analyzed. Through reasonable selection of projection belt and projection surface, combined with specific formulas, The projection parameters and the selection of offset surface are calculated. Finally, the linear phase junction and projection deformation in elevation offset are discussed, in order to provide valuable reference for related research.

【Keywords】highway survey and mapping; Surface of compensation; Arbitrary tape; Gaussian projection coordinate system is established

引言

公路勘察测绘项目多属于线性工程，需要测量几十公里，甚至上百公里的路程，测区范围大小依据工程建设要求而定，多需跨越高斯投影 3° 投影带。线性工程的特点在于：里程数长（跨投影带）、高差变化明显高程精度要求高、无法保证“中央子午线”正好落在项目中央处。标准 3° 带高斯投影坐标系的高程归化面以“椭球面”为参考设定，不

同地区存在明显差异。高斯投影过程中，GNSS 静态平面数据会因投影变形问题而发生变化。控制测量的作用和价值在于，为带状地形图测绘提供相对可靠的数据结果，同时也为工程线路定测与放样提供控制依据。按照公路勘测规范规定，平面控制网的坐标系统，应满足测区内投影长度变形不大于 2.5cm / km 的要求，高程方面也有相应要求。由此，勘察测绘中所获取的观测数据需要进行高程归化及

高斯投影改化。

1 必要性分析

公路工程建设中，测绘人员拟定的测绘线路是很重要的一个环节，其质量好坏将直接影响最终测量结果。通常而言，公路工程不止跨越单个投影带，一般为多个。显然，距离过长必将影响线路勘测控制效果，变形问题的发生在所难免。对此，需要针对具体情况制定合理科学的变形控制措施，最大限度地控制公路工程的投影变形问题，将变形量控制在可接受范围内，确保满足公路施测精度要求。公路工程勘察测绘中，坐标系统是重要的基础，为获取理想测绘成果提供了支持。现实公路工程测量采用统一坐标系统的原因在于：能有效降低误差产生概率，减少误差，提高精度，确保变形可控。

2 高斯投影变形分析

高斯投影属于“正形投影”，为保证长度变形问题得到有效解决，需要科学选择投影带与投影面。结合实际经验来看，长度变形产生原因一般与以下两项因素有关：

(1) 由实量边长“归属”问题所产生的变形影响。此问题形成与实量边长被归算到参考椭球面上有关，数值记作 Δs_1 ，公式如下：

$$\Delta s_1 = \frac{s \cdot H_m}{R} \tag{1}$$

式中，s 表示归算边长度，Hm 表示归算边平均高程（以椭球面为参考），R 为归算边方向参考椭球法截弧的曲率半径。值得注意，因为将“实量长度”归算到参考椭球面上，所以数值 Δs_1 为负数，且总处于缩短状态； Δs_1 的绝对值记作 $|\Delta s_1|$ ，与 Hm

成正比，当 Hm 增大时， $|\Delta s_1|$ 随之增大，当 Hm 减小时， $|\Delta s_1|$ 随之减小。

以千米为单位，计算单位长度下的归化高程值，能够掌握变形值及相对变形值情况。结合表 1 所提供数据，按照公式（1）进行计算，当 Hm=209.25m 时， $\Delta s_1=2.5\text{cm}$ 。进一步得知实际允许高程最大值和最小值，即 $H_{\max}=H_m+209$ ， $H_{\min}=H_m-209$

通过上述论述可知，在中央子午线不发生变换情况下，仅依靠选择抵偿投影面，可被使用的抵偿范围是比较有限的，如果公路勘察测量遇到高差变化较大情况，则必须建立多个高程抵偿面。

(2) 由参考椭球面边长“归属”问题所产生的变形影响，既把参考椭球面上的边长归算到高斯投影面上。数值值为 Δs_2 ，公式如下：

$$\Delta s_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{y_m}{R_m} \right)^2 \cdot s_0 \tag{2}$$

式中，s0 表示投影归算边长，其由归算边长度与 Δs_1 之和构成，记作 $s_0=s+\Delta s_1$ ；ym 表示归算边两端点横坐标平均值，Rm 表示“椭球面”平均曲率半径。与 Δs_1 不同， Δs_2 总为正数，这表明，参考椭球面上的长度被投影到高斯面上， Δs_2 与 ym 平方成正比。变形程度大小与距离中央子午线远近有直接关系，距离越近，变形愈小；反之则越大。

对利用公式（2）对 ym 值进行计算后可知，当椭球面与中央子午线距离为 35km 时， Δs_2 值最接近 2.5cm，为 2.49cm。虽然数值很接近，但若仅仅依靠变换中央子午线，而不选择抵偿投影面，范围依然十分有限。

表 1 高程归化变形值及相对变形值（每千米）

高程归化值 Hm (m)	Δs_1 (cm)	$\Delta s_1/S$
-400	-6.24	1 / 45600
-300	-4.78	1 / 57300
-200	-3.23	1 / 78400
-100	-1.56	1 / 156800
0	0	0
100	1.56	1 / 156800
200	3.23	1 / 78400
300	4.78	1 / 57300
400	6.24	1 / 45600

表 2 与中央子午线距离的长度变形及相对变形

距中央子午线距离 ym (km)	Δs_2 (cm)	$\Delta s_2/S$
0	0	0
10	1.4	1 / 7850000
20	5.3	1 / 30000
30	13.2	1 / 80000
40	21.4	1 / 60000
50	32.6	1 / 31600
60	43.8	1 / 21500
70	58.2	1 / 15200

3 抵偿面的任意带高斯正形投影坐标系建立——以 XXX 工程为例

3.1 工程概况

S 公路勘测工程中，线路全长为 140 公里，为双向四车道；主线时速设计为 80km，路基宽度达到 24.5m；公路连接线设计时速与主线设计时速相同，但路基宽度远少于主线路基宽度，为 12m，属于二级公路标准。公路建设前期，结合产业结构、经济、资源分布情况等信息，对交通量和建设前景进行预测。为提高公路测量精度，拟通过建立直角坐标系对公路进行勘察测绘分析。

3.2 公路勘察测绘原理及方法

此公路工程，依据公路勘测规范要求，测绘测区内投影长度变形值不得超过 2.5cm/km，拟选择高斯正形投影任意带平面直角坐标系进行平面控制测量，以满足既定精度控制要求。

此次测量中，测区平均高程为 630m，地面高程为 500m，椭球半径为 6376.734km。计算后，投影长度变形系数确定为 0.0433m。显然，这一数值不符合精度控制标准。故而改变高程参考面，同时，为了抵消“改正”（归算基准面与高斯投影长度），建立抵偿任意带高斯正形投影直角坐标系。

3.3 变形参数计算

采用公式（3）对投影变形长度参数进行计算，公式内各项参数含义如下：

$$\Delta S = S \times \{-(Hm+hm)/Rn + Ym^2/2 \times Rn^2\} \quad (3)$$

- “ ΔS ”表示为公路投影变形长度；
- “ Hm ”表示为测距边高出水准面的平均高程；
- “ hm ”表示为测距边所在地区水准面相对高度（参考椭球面）；

“ Rn ”表示为测距边方向参考椭球面法截弧的曲率半径；

“ S ”表示为投影距离。

结合 3.2 节部分参数，测区平均高程 H 取 630m，椭球半径取 6376734m，投影距离取 1000m。代入公式（3）后，公路投影变形长度为：

$$\begin{aligned} \Delta S &= S \times \{-(Hm+hm)/Rn + Ym^2/2 \cdot Rn^2\} \\ &= 1000m \cdot \{-(Hm+hm)/Rn + Ym^2/2 \cdot Rn^2\} \\ &= 0.0433m \\ &= 4.33cm \end{aligned}$$

由结果可知，公路投影变形长度大于精度控制所要求的 2.5cm/km。

根据公式（3）中各参数间关系，决定将测区平均高程降低至 500m，原因在于，测区平均高程与公路投影变形长度呈正比，在其它参数保持不变情况下，降低测区平均高程，将使公路投影变形长度更接近 2.5cm/km，直至低于该数值。H 取 500m 后再次代入公式（3），公路投影变形长度表示为：

$$\begin{aligned} \Delta S &= S \times \{-(Hm+hm)/Rn + Ym^2/2 \times Rn^2\} \\ &= 1000m \times \{-(Hm+hm)/Rn + Ym^2/2 \times Rn^2\} \\ &= -0.02398m \\ &= 2.398cm \end{aligned}$$

结果与控制测量技术实施要求相符。

3.4 抵偿面计算

采用公式（4）对此次工程抵偿面进行计算，公式内各项参数含义如下：

$$Hc = Ym^2 / (2 \times Rn) \times 1000 \quad (4)$$

$$Ho = H - Hc$$

“ H ”表示公路测区平均高程；

“ Ho ”表示与“ Hc ”分别指抵偿高程归化面相

对于参考椭球面及测区中心相对于抵偿高程归化面的高程。

代入数值后可得：

$$\begin{aligned} H_0 &= H - H_c \\ &= 500\text{m} - Y_m^2 / (2 \times R_n) \times 1000 \\ &= 499.42\text{m} \end{aligned}$$

3.5 选取抵偿面

为提高计算结果精确度，将测区抵偿面高程设定为 500m，同时改变坐标原点和分带中央经线。抵偿面选取按照如下公式计算：

$$Y_m = 1.853 \times \Delta \lambda \times \cos \phi \quad (5)$$

测区抵偿面横坐标计算公式为：

$$X' = X + q \times (X - X_0) \quad (6)$$

测区抵偿面纵坐标计算公式为：

$$Y' = Y + q \times (Y - Y_0) \quad (7)$$

将测区抵偿面横、纵坐标分别向国家抵偿任意带坐标系转化后，可用如下公式表示：

$$X = X' - (X' - X_0) \times q \quad (8)$$

$$Y = Y' - (Y' - Y_0) \times q \quad (9)$$

上述公式中各项参数含义如下：

X_0 为直角坐标系原点的纵坐标；

Y_0 为直角坐标系原点的横坐标；

ϕ 表示测区中心附近起算点纬度；

$\Delta \lambda$ 表示距中央子午线的经差；

$\cos \phi$ 表示中央子午线距离测区中心附近起算大地点的横坐标；

q 为缩放系数。

最终计算结果为： $Y_m = 2.71\text{km}$ ； $q = 0.000079323$ 。

3.6 高程抵偿中的线性相结

公路勘察测绘中高程抵偿面的选择及任意带高斯投影坐标系的建立，其主要目的就是尽可能减少公路工程测区投影变形与高程归化过程中对测量精度产生的影响，将测量精度控制在合理范围内。经过高程抵偿得到的实际长度变形量在实际利用时不需要进行调整。本公路工程具有高程起伏大、跨度大及勘察线路长等特点。因此，在高程抵偿过程中要控制变形，充分合理选取投影带和投影面，构建适合本公路工程抵偿面的任意带高斯正形投影坐标系，从而使最终的数据测量结果能够在本公路工程项目实际设计和施工中得到合理应用。

在上述横、纵坐标抵偿过程中，通常需要结合

施测区范围，结合公路工程测区实际高程变化情况，对测区高程投影面进行合理划分，以此将其划分为几个能够相互抵偿的独立直角坐标系。本公路工程在勘察、测量中，为了保证抵偿后的独立坐标系能够满足国家相关设计测量规范，一方面改变测区高程投影面，另一方面又对 129° 中央子午线进行移动，使其接近公路工程测区中央，由此实现了本公路工程线路高程归化变形及长度归化变形改正的有效补偿。但是将本公路工程测区划分为几个不同的高程抵偿面和不同带高斯投影坐标系后，就会出现线路分段设计及线性相接问题。

故为了解决这一问题，本工程在勘察测绘过程中，在带与带分界范围内，提供了两个相邻投影带中的两套坐标成果，实现两个带的相互衔接，一方面，尽可能满足坐标转换的要求，合理划分几个抵偿坐标系，减少投影带数量，在满足经度要求的情况下，尽量扩大抵偿坐标系范围；另一方面，为了满足相邻抵偿坐标系之间实现线性相接，于两个相邻投影面之间留有一定数量的公共点，公共点数据也能实现与国家统一空间直角坐标系的转换。

4 结束语

以具体工程为例，公路工程项目具有里程跨度长，高差变化大，精度要求高，无法保证“中央子午线”正好落在项目中央处等特点。为确保测绘精度满足标准要求，S 工程基于任意分带原理构建了合理的高程抵偿面及任意带高斯投影的坐标系统，有效控制了投影变形，使投影变形控制在公路勘测规范规定的范围内。通过实际测量获得准确勘察数据，最终也有效实现了施测坐标系与国家空间直角坐标系的相互转化。文章以 S 工程为例，对如何构建公路勘察测绘中抵偿面及任意带高斯投影坐标系的方法，以及该坐标系的功能和作用进行论述。实践结果表明，公路工程勘察测绘中高程抵偿面的选择及任意带高斯投影坐标系的建立，可有效提高满足公路勘测规范要求的测绘精度。

参考文献

- [1] 卢立.基于 CGCS2000 的宜昌 2000 坐标系建立方法[J].地理空间信息,2022,20(09):148-151.
- [2] 王建辉,史纲,杨胜万,程宝银.苏州 2000 坐标系建立方案比选与研究[J].城市勘测,2020(04):5-11.

- [3] 龙驰.关于公路勘察测绘中抵偿面任意带高斯投影坐标系的构建探究[J].中国标准化,2017(18):232-233.
- [4] 唐升峰,杨国创,陈安平.任意带高斯投影平面直角坐标系的建立[J].地矿测绘,2017,33(01):35-36+39.
- [5] 曾宝庆,王灵峰,岳建平.具有抵偿面任意带高斯投影独立坐标系的建立研究[J].勘察科学技术,2016(05):22-24.
- [6] 刘志成.公路勘察测绘中抵偿面任意带高斯投影坐标系的建立[J].北京测绘,2016(03):50-52.
- [7] 景俊红,郭鹏飞.数字城市地方坐标系建立方法探讨[J].北京测绘,2015(05):57-60.
- [8] 王芳,王建.具有抵偿面任意带高斯投影平面直角坐标系的优劣探讨[J].内江师范学院学报,2013,28(06):13-16.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

