引文格式：池海旭,吕成亮,廉光伟 ,等. 存量地方高程系等高线向1985国家高程基准转换的方法[J]. 地理空间信息, 2026, 24(5): 132-134. doi: 10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.05.026

存量地方高程系等高线向1985国家高程基准转换的方法

池海旭，吕成亮*，廉光伟，倪文礼
（天津市测绘院有限公司，天津 300381）

摘　要：针对大沽高程系等高线向1985国家高程基准转换中数学精度、拓扑结构和地形表达等方面的问题，提出了先对大沽高程系等高线离散化并进行克里金插值处理，再进行高程基准转换生成1985国家高程基准等高线的方法。与大沽高程系等高线叠加比对分析发现，新生成的1985国家高程基准等高线图面美观、表示合理。利用在非悬崖、陡坎处DEM中提取的高程点和1∶2 000地形图中的高程点数值获得的高程中误差为0.84 m。该方法勾绘的等高线能反映区域地形地貌特点，保证了地理空间结构的准确性，为地形图等高线缩编和其他地区实景三维建设与应用提供了科学参考。

关键词：等高线；离散化；克里金插值；1985国家高程基准；大沽高程系
中图分类号：P224　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）05-0132-03

Conversion Method from Stock Local Elevation Systems to 1985 National Elevation Benchmarks

CHI Haixu, LYU Chengliang, LIAN Guangwei, NI Wenli
(Tianjin Institute of Surveying and Mapping Co., Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: In response to the problems existing in the conversion of Dagu elevation system contour line to 1985 national elevation benchmarks in terms of mathematical accuracy, topological structure and topographic expression, we proposed a method that discretizing the contour lines of Dagu elevation system, performing Kriging interpolation processing, and then converting the elevation reference to generate 1985 national elevation benchmarks contour lines. According to the superposition comparison and analysis with Dagu elevation system contour lines, the newly generated 1985 national elevation benchmark contour lines are beautiful and reasonable. The elevation error obtained by using the elevation points extracted in the DEM at non-cliffs and steep ridges and the elevation point values in the 1∶2 000 topographic map is 0.84 m. The contour lines drawn by this method can reflect the characteristics of regional topography, ensure the accuracy of geographical spatial structure, providing scientific reference for the reduction of contour lines of topography maps and the construction and application of 3D real scenes in other regions.

Key words: contour line, discretization, Kriging interpolation, 1985 national elevation benchmarks, Dagu elevation system

等高线是地形图上高程相等的点连成的闭合曲线[1]，是以二维形式对覆盖区域三维地形的模拟表达。作为实景三维数据中二维地理实体的制图要素，等高线数据具有直观、数据量小等优点，能反映地貌形态、量化地面高度和辅助工程规划设计[2-3]。局部乃至全球统一高程系统的等高线数据对灾害预防与治理以及地理空间体系建设具有重要作用[4-5]。按照《实景三维中国建设总体实施方案（2023—2025）》的相关安排，存量地方等高线数据的高程基准需向1985国家高程基准转换，因此探究如何准确、快速实现不同高程系统下的等高线转换，以避免重复测绘尤为重要。随着测绘装备技术的进步，地形图中等高线的生成方法愈加丰富，但对存量等高线数据高程基准转换的研究尚少。地形图中高程基准转换的对象通常是点数据，多采用多项式拟合方法[6]，但受地形起伏较大的影响，拟合变换方法在面积过大的区域损失精度的可能性较高[7]。等高线一般通过数字高程模型（DEM）和不规则三角网（TIN）获得，但等高线数据具有复杂、密集、多样的特点，部分学者仅对生成等高线的基础数据进行处理实现高程基准的转换[8-9]，即将采集的WGS84坐标系、大地高特征点或DEM数据的像元转换为1985国家高程基准，再通过构建TIN或从DEM生成等高线数据[10]。由于陡坎、悬崖等地貌特征易被连续、光滑的曲面代替，失真的DEM将导致等高线数据的结构形态出现偏差，为等高线的修饰整理带来巨大的工作量。针对该问题，部分学者[11-12]研究了等高线数据的拟合插值、缩编化简方法，但如何保证原有地形特征不变和确保等高线不会出现相交、自相交等

第一作者简介：池海旭（1994—），硕士，工程师，主要从事摄影测量与遥感等工作，E-mail：13516171970@163.com。
通信作者：吕成亮（1986—），硕士，高级工程师，主要从事工程测量、GPS数据处理等技术工作，E-mail：xiaoliang002@126.com。

拓扑问题成为亟需解决的关键性难题[13]。综上，对于制作大范围且复杂区域的等高线产品来说，这些转换方法具有经济成本高、数据生产周期长和精度损失较大的缺点。鉴于此，本文以实景三维天津建设项目中等高线数据转换生产为例，提出了一种将等高线数据由1972大沽高程系（2015年高程）转换为1985国家高程基准的方法，并进行了数学精度验证，为简便、高效地实现不同高程基准下的等高线转换绘制和保证等高线空间关系与结构形态的准确描述提供了有益参考。

1　研究区概况与技术方法

1.1　研究区概况

天津市位于华北平原东北部，北部为低山、丘陵，面积约为800 km^2，平原约占全市土地面积的94%；地势西北高、东南低。在天津市1∶2 000地形图中，等高线数据的高程基准为1972大沽高程系（2015年高程），基本等高距为1 m，蓟州区京哈公路以北部分山区的等高距为2 m。本文选取的研究区位于天津市蓟州区北部山区，地理范围为40°12′55″~40°13′45″N、117°23′~117°25′E。

1.2　技术方法

1）等高线离散化。等高线离散化处理即提取等高线上的节点数据[14]。实验表明，能否提取到足够多的高程点数据，直接关系到等高线数据能否准确由大沽高程系转换到1985国家高程基准。图1a为利用大沽高程系等高线生成DEM后进行基准转换再反演得到的等高线，可以清晰看出，等高线表达的地貌形态与实际不符，这是由DEM在山脊、悬崖和陡坎等处出现失真造成的；图1b、1c的1985国家高程基准等高线的数据源分别为天津市1∶2 000地形图中的高程点和直接提取大沽高程系等高线的节点数据，这些节点数据经过基准转换构建TIN后生成等高线，不难看出，新生成的等高线数据仍存在与实际不符的情况。因此，对等高线进行合理的离散化，以提取充足的节点数据是保证地貌描述准确的前提。离散化处理时应根据实际需求设置合适的离散距离，相邻节点距离较长的等高线应增加节点。

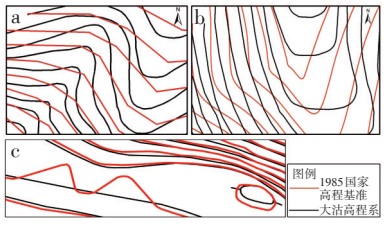


图1　不同基准等高线对比图

2）高程点稀疏处加密。由于山脊区域的等高线较稀疏，因此在该区域提取的高程点数量较少，导致山脊处的1985国家高程基准等高线数据与实际情况差别较大。本文利用克里金插值结合方格网的方法在等高线稀疏处适当加密高程点，并利用加密的高程点约束TIN来保证山脊地形的结构形态不发生较大变化。克里金插值结合方格网的方法是根据全图内的最大、最小坐标，按照一定距离生成若干个方格网，判断方格网内是否含有一定数量的高程点，若数量不满足，则采用克里金插值生成高程点。克里金插值是利用高程点基于协方差函数实现空间随机建模和预测回归的算法[15]。假设待插值区域周围共有 n 个高程点，即 x_1，x_2，…，x_n，$Z(x_i)$ 为高程点 i 的高程值，则待插点的高程值 $Z(\tilde{x}_0)$ 为待插区域周边高程点的加权求和[16]，即

$$Z(\tilde{x}_0)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i Z(x_i) \tag{1}$$

式中，λ_i 为高程点 i 的权重系数。

为保证 $Z(\tilde{x}_0)$ 和 $Z(x_0)$ 之间的方差 Var 最小，期望 E 为0，利用拉格朗日乘数法求解，可得：

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j \operatorname{Cov}(x_i,x_j)-\phi=\operatorname{Cov}(x_i,x_0) \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1 \tag{3}$$

式中，φ 为拉格朗日乘数；$\operatorname{Cov}(x_i,x_j)$ 为协方差函数，可变换为变差函数 $\gamma(x_i,x_j)$，其矩阵形式为：

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} & 1 \\ r_{21} & r_{22} & & r_{2n} & 1 \\ \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & & r_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdots \\ \lambda_n \\ -\phi \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} r_{10} \\ r_{20} \\ \cdots \\ r_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

3）等高线高程基准转换方案。本文采用的等高线高程基准转换方案为：①对等高线离散化处理，对相邻节点距离过大的等高线进行节点增密，提取大沽高程系下等高线的所有节点信息作为高程点数据；②利用克里金插值结合方格网的方法在等高线稀疏的区域适当加密高程点；③将整理得到的高程点数据转换为1985国家高程基准，构建TIN并生成新的等高线数据；④将1∶2 000地形图中大沽高程系下的高程点数据转换到1985国家高程基准，并对新生成的等高线数据进行数学精度验证。

2　实验与结果分析

2.1　等高线离散化结果

1）离散距离的选取。按照不同距离对1∶2 000

地形图中的大沽高程系等高线数据进行离散化处理，提取所有节点数据进行高程基准转换，对生成的1985国家高程基准等高线进行比较，选取合适的增密距离。通过分析等高线节点的距离，将等高线的增密距离分别设置为5、10、15 m，等高距为2 m，大沽高程系和新生成的1985国家高程基准下的等高线对比见图2，不难看出，利用15 m间隔进行增密处理的节点数据生成的等高线不能较好地表达地貌形态；在10 m间隔距离取点生成的等高线中，图2a2显示的等高线数据在表达地形结构形态方面也存在缺陷；而在5 m间隔距离取点生成的等高线表达的地貌情况与大沽高程系一致。因此，本文选取5 m间隔对等高线进行离散增密处理。

2）克里金插值分析。为使山脊坡度较缓区域内的高程点得到有效加密，经过大量试验，设置方格网的距离为10 m，方格网内高程点的数量阈值为3。在等高线稀疏区域，若10 m距离的方格网内高程点数量少于3个，则利用克里金插值生成高程点。克里金插值结果见图3，可以看出，大沽高程系等高线离散化处理且进行基准转换后生成的1985国家高程基准等高线，由于参与构建TIN的高程点不充足，地形特征与实际相差较大；而涵盖克里金插值的高程点形成的等高线呈现的山脊特征与大沽高程系等高线一致，且线条自然流畅。

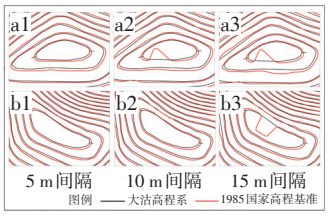


图2 增密距离选取分析

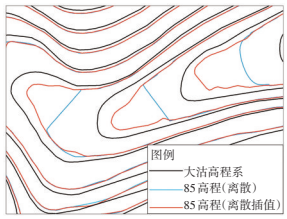


图3 克里金插值结果分析

2.2 等高线生成

按照5 m间隔对1∶2 000地形图中的等高线数据进行离散化处理，利用克里金插值方法在等高线稀疏区域对节点数据加密，提取所有节点数据转换为1985国家高程基准，设置等高距为2 m，构建TIN后得到的等高线数据见图4。将大沽高程系和1985国家高程基准下的等高线数据进行叠加分析，结果表明两种高程系统下的等高线数据在山脊、山谷和鞍部等地势变化处表达的地貌空间结构形态完全一致，新生成的等高线不仅反映了地貌宏观的变化趋势，还反映了地貌的局部细节特征。将1∶2 000地形图中高程点数据转换为1985国家高程基准后加载到等高线中，对比分析高程点和等高线的位置关系发现，二者不存在矛盾关系，逻辑关系合理。

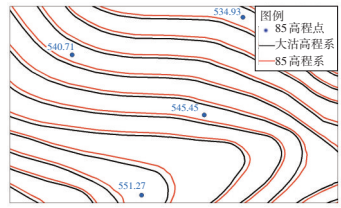


图4 等高线对比

3 数学精度检测

不同高程系统下等高线转换绘制数学精度主要体现在等高线的高程中误差，可通过比较DEM和1∶2 000地形图中高程点数据的差异来获得[17]。本文根据天津市1∶2 000地形图中1985国家高程基准的高程点，在新生成的1985国家高程基准等高线反演得到的DEM上提取各高程点对应的高程信息，计算两个高程值的中误差。由于等高线生成的DEM在悬崖、陡坎等处的地形特征易被连续光滑的曲面替代，因此提取该处高程点进行数学精度验证的做法尚不具备科学性。本文对比了1 163个在非悬崖、陡坎处DEM中提取的高程点和1∶2 000地形图中的高程点数值，结果表明，639个高程点的差值小于0.5 m，占比为54.9%，377个高程点的差值在0.5~1 m，147个高程点的差值在1~1.5 m，高差中误差为0.84 m，满足项目要求的小于1.5 m高程中误差的规定，说明本文方法可应用于实景三维项目的实际生产。

4 结 语

不同高程系统下等高线数据的自由转换是实现地理信息数据统一表达的基础。针对实景三维项目建设中等高线数据高程基准转换的问题，本文提出了存量等高线数据由1972大沽高程系转换到1985国家高程基准的方法，得到以下结论：

1）通过实验分析发现，不同离散距离生成的1985国家高程基准等高线数据表达的地貌空间结构形态与大沽高程系下的等高线存在一定差距。进一步研究发现，选取的离散距离过大将导致无法提取到足够的节点，从而使该处周围其他节点被动参与生成TIN，造成等高线数据出现偏差。

2）克里金插值结合方格网的方法弥补了等高线离散化处理提取节点不够充足的缺陷，本文提出的对等高线进行离散化处理并增密提取节点数据进行高程转换生成新的等高线的方法，保证了地貌空间关系和结构形态的准确描述，满足项目要求的小于1.5 m高程中误差的规定。

（下转第138页）