

文章编号: 1674—8247(2024)03—0008—05

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2024. 03. 002

# 基于 ArcEngine 的等高线质量检查方法研究

王 义

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:** 等高线的精准描绘是地图绘制的关键问题。本文针对地图生产中等高线与高程注记点, 研究可能出现的矛盾类型, 引入基于等高线和高程注记点的不规则三角网检查方法与放射检查方法, 以为生产实践提供参考。基于 ArcEngine 组件库和 C# 语言, 开发了等高线质量检查程序, 并用实例数据对其检查结果的准确度进行了验证。研究表明: 等高线节点构建不规则三角网进行点线矛盾的检查方法具有较高的精度, 可满足项目生产需求。

**关键词:** 等高线; 高程注记点; 不规则三角网; ArcEngine; 质量检查

中图分类号: U212. 4 ; P217 文献标志码: A

## Study on Inspection Methods for Contour Quality Based on ArcEngine

WANG Yi

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Accurate and vivid depiction of contour lines is a key issue in map drawing. This paper focused on potential types of inconsistencies that may arise between contour lines and elevation annotation points during map production, and introduced an irregular triangulation network inspection method and a radiating inspection method based on both contour lines and elevation annotation points, in order to provide practical guidance for production workflows. Leveraging the ArcEngine component library and the C# programming language, a contour quality inspection software was developed, with its accuracy validated using real sample data. The findings indicate that the construction of an irregular triangulation network using contour line nodes effectively detects point-line inconsistencies with a high degree of precision, meeting the requirements of project production.

**Key words:** contour line; elevation annotation point; irregular triangulation network; ArcEngine; quality inspection

等高线是将地面上相同高程的相邻各点所连接形成的闭合曲线。高程注记点是指标有高程数值的信息点, 与等高线配合表达地貌特征<sup>[1]</sup>。等高线和高程注记点是地形图上的重要内容。地形图成图存在人工干预环节, 不可避免出现点线矛盾, 故需进行等高线质量检查以保证地形图数据的可用性。在进行等高线质量检查的过程中, 需对等高线完整性与正确性、逻辑闭合、数据精度、属性精度 4 个方面进行阐述。

实际生产、验收、入库工作中, 等高线和高程注记点质量检查采用传统人工检查方法, 该方法会造成检查效率较低、检查精度不足等问题<sup>[2-4]</sup>。因此, 需要研发出易于使用的质量检查软件来解决该问题, 提高检查效率。

本文基于等高线和高程注记点自身特性和内在关系, 设计了等高线质量检查方法, 重点关注等高线和高程注记点矛盾, 并基于 ArcEngine 组件库开发了

收稿日期: 2023-08-09

作者简介: 王义(1975-), 男, 教授级高级工程师。

引文格式: 王义. 基于 ArcEngine 的等高线质量检查方法研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(3): 8-12.

WANG Yi. Study on Inspection Methods for Contour Quality Based on ArcEngine[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(3): 8-12.

等高线质量检查系统模块,实现了等高线和高程注记点质量问题的自动化检查,提高了地形图作业效率。

## 1 等高线错误与检查方法

### 1.1 常见等高线错误类型

根据等高线的等值性、局部闭合性、连通性、高程渐变性的特征,以及等高线与高程注记点之间的关系,将等高线点线矛盾归纳为3类<sup>[5-7]</sup>:

#### (1) 等高线类型与等高距矛盾

等高线的类型分为首曲线和计曲线,首曲线的高程值为等高距的整数倍,计曲线的高程值为等高距的5倍。

#### (2) 等高线空间拓扑错误

拓扑错误包括:等高线相交、重合、伪节点、非法悬挂等与拓扑有关的错误。

#### (3) 等高线与高程注记点矛盾

通常相邻的2条等高线之间高程注记点的高程值应在2条线表示的高程值之间,如高程注记点的高程值不是在该区间内,则该高程注记点和2条等高线之间的高程矛盾被称为点线矛盾。点线矛盾包括3种情况:点线高程值矛盾、等高距矛盾、等高线高程值错误。点线高程值矛盾如图1所示,图1中等高距为2 m,高程注记点391.7在392 m和394 m两条首曲线中,该注记点高程值应大于392 m,小于394 m,该样列为点线高程值矛盾问题。

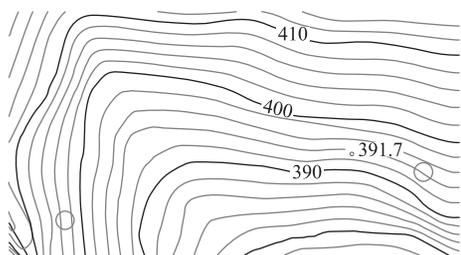


图1 点线高程值矛盾图(m)

等高距矛盾如图2所示,图中基本等高距为1 m,计曲线380 m和385 m之间出现了5条首曲线,实际应为4条,该样例为等高距矛盾问题。

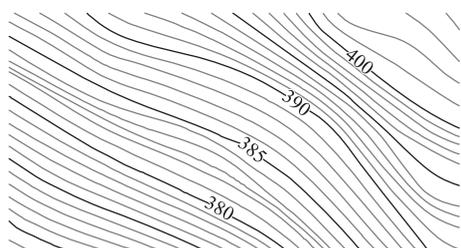


图2 等高距矛盾图(m)

等高线高程值错误如图3所示,图3中基本等高距为2 m,但有1条等高线的值为363.6 m。经分析该等高线的值为364 m,出现了等高线高程值错误。



图3 等高线高程值错误图(m)

### 1.2 点线矛盾的检查方法

一般在进行点线矛盾检查时,会假定等高线的高程值正确。

#### 1.2.1 不规则三角网检查法

(1) 运用等高线的每个节点建立 TIN,在图中找出三角网内含高程信息的所有注记点,或分析三角网,遍历每个三角形,比较所选高程点与所在三角形顶点的高程值,如高程注记点的高程大于所在三角网的3个顶点的最大高程,或小于3个顶点的最小高程,则可认定该高程注记点和所在三角形所形成的等高线存在点线矛盾,如图4所示。

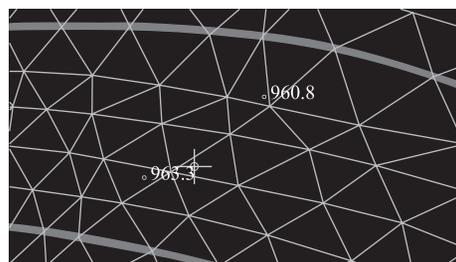


图4 等高线节点建立 TIN 图

(2) 在高程注记点数据的基础上建立 TIN,找出与 TIN 边线相交的等高线,分析等高线的高程、数量与类型,如图5所示。

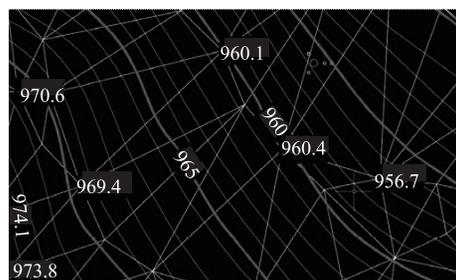


图5 以高程注记点建立 TIN 图

### 1.2.2 放射检查法

放射检查法思路更直观,该方法通过对比高程注记点周围的等高线与注记点值,找出矛盾值进行纠正,如图6所示。查找等高线的过程可以分为两种方式,固定搜索半径与固定搜索方向。若设置搜索半径,在半径内找不到符合条件的等高线,则搜索结束;或不设置搜索半径,则会以某一方向为固定方向,进行持续探索,直到探寻到符合条件的等高线为止<sup>[8-9]</sup>。然而,该方法需要设置返回参数,否则如果高程注记点在图边等特殊位置,会出现循环无法结束等情况,如图7所示。

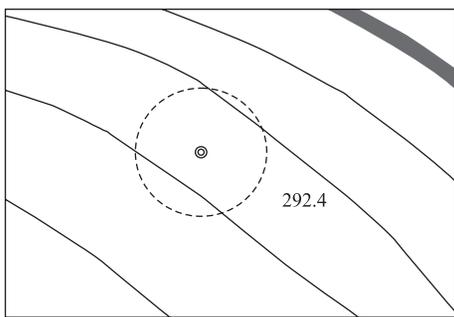


图6 放射法检查示意图

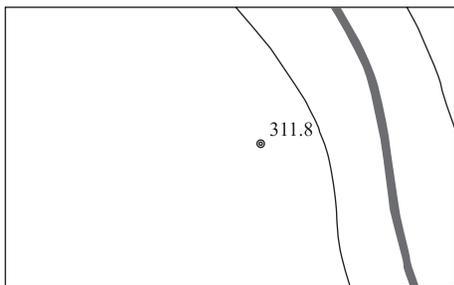


图7 放射法检查图幅边缘图

### 1.2.3 闭合多边形检查法

闭合多边形的检查方法原理是:利用相邻2条等高线来组成1个闭合多边形,然后判断所有高程注记点,找出落在该闭合线里的高程注记点集合,再判断落在闭合线里高程注记点的高程值是否在之前2条等高线高程之间。如果不在之间,那么该高程注记点的高程值则有误,然后分析错因。

### 1.2.4 等高线高程和高程注记点的三维检查方法

该方法的原理是:利用等高线数据和高程注记点数据生成 DEM 数据,然后将 DEM 数据生成三维地形分层设色图和单色灰度图。分层设色图绘制中,将高程值高的数据以暖色调表示,高程值低的值以冷色调表示,绘制颜色设置图例。

检查方法为:当在分层设色图中,颜色不是渐变,

而是跨颜色突变时,有可能是等高线高程值有误;当在1个小范围内的圆状有多颜色时,可能是高程注记点的高程值有误。在单色灰度图中,灰度图由深变浅时,或由浅变深时,且灰度图不是渐变,而是跨灰度突变时,就有可能是等高线高程值有误。同样,在1个圆状的小范围里灰度值剧烈变化时,有可能是高程注记点的高程值有误。在三维场景中,每一个像素都可以获取实际三维坐标,这个功能特性结合上面的方法,可快速肉眼发现等高线和高程注记点的错误。

此外,还可将等高线和高程注记点与分层设色图和单色灰度图套合处理,较容易发现错误。

## 2 等高线质量检查系统设计和实现

等高线质量检查模块设计以满足数据精度和可靠性为目标,严格按照数据质检技术规范和软件工程设计规范,提供有针对性的、内容全面可靠的等高线数据质量检查方法和高效、稳定、自动化的等高线数据质量检查手段。

### 2.1 等高线质量检查流程设计

等高线质量检查以 Delaunay 三角网为基础,主要针对点线之间的问题。同时,处理等高线转折点处的 TIN 时,应考虑转折点处的凸度问题,并将其处理为折线进行运算。为保证原始记录的图形数据质量,需提供坐标的加密点,不规则三角网法流程如图8所示。

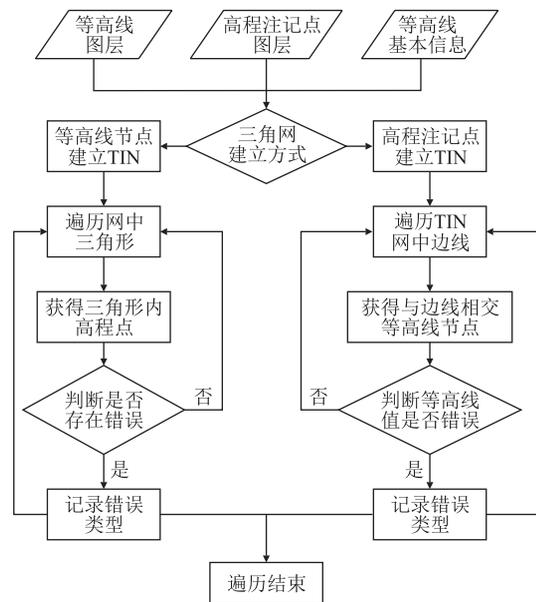


图8 不规则三角网法检查等高线流程图

在等高线图层、高程注记点图层和等高线基本信息的基础上,分别建立等高线节点 TIN 和等高线高程注记点 TIN。等高线节点建立 TIN 时需遍历网中三角

形, 获得三角形内高程点, 并判断是否存在错误; 若存在则记录错误类型并继续遍历, 不存在错误则继续遍历直到遍历结束<sup>[10]</sup>。高程注记点建立 TIN 同理, 遍历 TIN 网中边线, 获得与边线相交的等高线节点, 判断等高线值是否错误, 错误则记录错误类型并在 TIN 网中继续遍历, 不存在错误则继续遍历直到遍历结束<sup>[11]</sup>。

利用放射线检查法对高程值检测时, 可采用无限探测算法。以高程注记点密度为输入值, 计算之间的平均值, 通过值域设置搜索半径<sup>[12]</sup>。放射法检查流程如图 9 所示:

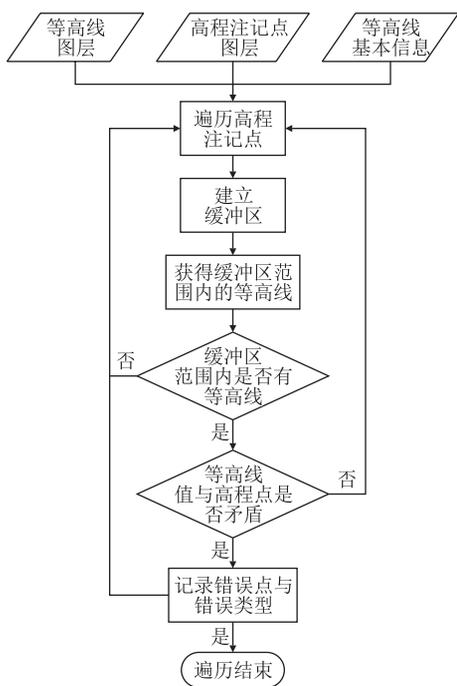


图 9 放射法检查等高线流程图

根据等高线图层、高程注记点图层、等高线基本信息遍历高程注记点, 建立缓冲区, 判断获得缓冲区范围内的等高线是否有等高线, 有则判断等高线值与高程点的值是否矛盾, 存在矛盾则记录错误点与错误类型, 若没有矛盾则继续遍历, 直至遍历结束<sup>[13]</sup>。

### 2.2 系统开发平台及开发环境

ArcGIS Engine 是 ESRI 公司开发的针对地理信息系统的开发引擎, ArcGIS Engine 拥有完整的 GIS 开发生态系统和功能强大的工具库。可支持多语言开发, 可运行在 Windows、Linux 和 Solaris 等平台上。使用 ArcGIS 开发完成的 GIS 应用程序可以不依赖于 ArcGIS 平台独立运行。

基于 ArcEngine 组件库和 C# 进行二次开发, 可运行在 Windows7 及以上平台。运行环境包括 DevExpress 11.1, ArcGIS 10.2.2, NETFramework 4.5。

### 2.3 系统实现

模块在实现点线矛盾检查时用到 ArcEngine 中的 TIN 组件。具体对应 ITinEdit、IEnvelope 接口。流程包括 4 个步骤:

- (1) 建立 IEnvelope 对象。
- (2) 建立空间参考 ISpatialReference 对象, 将空间参考赋值给该接口, 模块实现的函数为 `iGeoData->get_Extent(&iEnvelope)`。
- (3) 通过 `putref_SpatialReference` 将 ISpatialReference 对象的参考值赋值给 IEnvelope 对象, `iGeoData->get_SpatialReference(&iSpatRefe)`, `iEnvelope->putref_SpatialReference(iSpatRefe)`。
- (4) 通过 `InitNew` 函数生成 TIN, 模块实现的函数为 `iTinEdit->InitNew(iEnvelope)`, `iTinEdit->AddFromFeatureCursor(pfeaturecursor, iField, NULL, esriTinHardLine)`<sup>[14]</sup>。

## 3 应用实例与结果分析

为验证不同算法的精度, 选取某项目中平原地区 1:200 0 等高线图进行测试, 其中等高线 355 条, 只有计曲线和首曲线, 高程注记点 600 个, 人为设置点线矛盾共 75 处。运行结果如图 10、表 1 所示。选取高山地区等高线 375 条, 点线矛盾 80 处, 结果如图 11、表 2 所示。

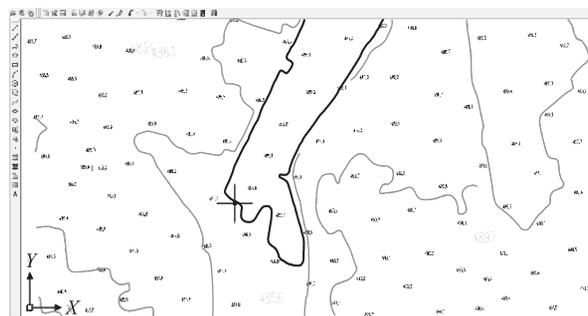


图 10 平原地区点线矛盾检查结果图

表 1 平原地区点线矛盾检查结果统计表

检查方法	检查结果		
	错误个数/个	准确率/%	耗时/min
等高线节点构 TIN	71	95	1.3
高程注记点构 TIN	69	92	0.4
放射法	45	60	0.2

### 3.1 3 种处理方法的比较

由表 1、表 2 可知, 采用等高线节点构 TIN 方法可检查 71 处, 准确率最高, 为 95%, 耗时 1.2 min; 放射

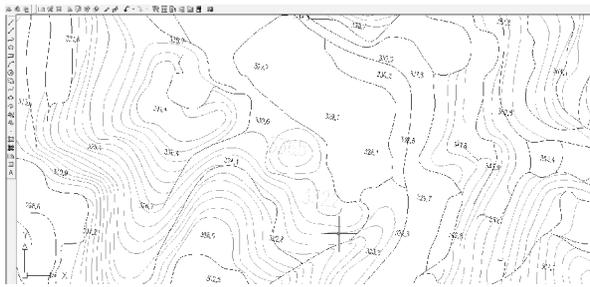


图 11 高山地区点线矛盾检查结果图

表 2 高山地区点线矛盾检查结果统计表

检查方法	检查结果		
	错误个数/个	准确率/%	耗时/min
等高线节点构 TIN	74	92.5	1.5
高程注记点构 TIN	72	90	0.5
放射法	45	56.25	0.3

法检查错误个数最少,为 45 处,准确率最低,为 60%,耗时最短,为 0.2 min;高程注记点构 TIN 方法检查错误数为 45 处,准确率为 92%,耗时最长,为 1.9 min。

### 3.2 结果分析

相比放射法,构建不规则三角网法一次即可完成点线矛盾的检查,简洁易判定,无需在过程中插入多次循环;不足之处为内插过程繁琐,在地形图边缘区域、地形复杂区域很难判定。放射检查算法相对容易实现,另一方面检测的类型单一,误判比例较高。

等高线节点与高程点构建三角网过程比较:

(1) 利用等高线节点构造不规则三角网的方法速度较缓慢,但具有较高的精度。由于三角网的构建,山顶的高程注记点等区域将生成生命三角形和特殊三角形,如图 12 所示。

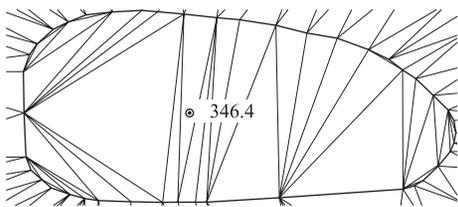


图 12 不规则三角网法检查点线矛盾图

(2) 利用高程注记点构造 TIN 时,为提高 TIN 的准确率,可加入地形线作为参考,但无法避免由地形特殊导致的错误。放射法检查点线矛盾如图 13 所示。高程注记点 456.5 和 458.7 之间的等高线不符合等高线距离的变化规律。

本文研究区主要为平原地区,地形起伏不大,等高线节点构 TIN 方法较高程点构 TIN 方法和放射检

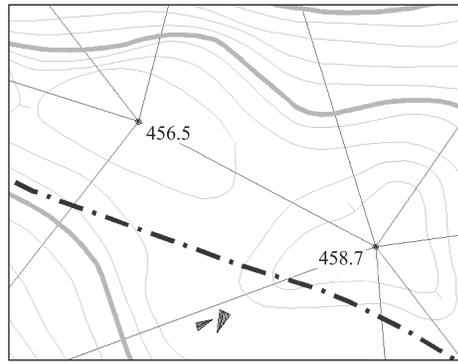


图 13 放射法检查点线矛盾图

查法虽然耗时相差 1 min 左右,但准确率高,能满足生产需求,高山地区同理。因此,最终选定等高线节点构 TIN 方法进行等高线和高程注记点矛盾的检查。

## 4 结论

在数字地形图的绘制过程中,地形数据的精度直接关系到地形图的质量,高程数据的质量问题检测,对于提高数字化生产的效率和可靠性具有重要意义。采用软件自动检测点线矛盾,显著提高了地形图质量检测的效率和精度。

本文所述开发的等高线点线矛盾检测软件模块,运行速度较快、使用方便,对于地形坡度大、等高线密集的山区地形效果更加明显。该程序解决了数字地形图在生产中难以检测的问题,有效减少了检测工作量,提高了生产效率和产品质量。

## 参考文献:

- [1] 刘建军,王东华,商瑶玲. 数字化等高线质量的软件自动检查方法[J]. 测绘科学, 2001, 26(4): 36-38, 1.  
LIU Jianjun, WANG Donghua, SHANG Yaoling. The Software Automatic Checking Methods for the Quality of Contour Digitizing[J]. Developments in Surveying and Mapping, 2001, 26(4): 36-38, 1.
- [2] 马智民,罗斌. Delaunay 三角网构建 DEM 整体优化算法[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2008, 28(3): 44-48.  
MA Zhimin, LUO Bin. Entire Optimized Triangulation Algorithm of Delaunay Triangle Network for DEM Construction [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2008, 28(3): 44-48.
- [3] 武晓波,王世新,肖春生. Delaunay 三角网的生成算法研究[J]. 测绘学报, 1999, 28(1): 28-35.  
WU Xiaobo, WANG Shixin, XIAO Chunsheng. Research on Generation Algorithm of Delaunay Triangulation [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1999, 28(1): 28-35.
- [4] 任治军,任亚群,葛海明,等. 岩土工程勘察信息化处理的架构与

(下转第 61 页)

- Intelligence, 2020, 91 : 103617.
- [19] MNICH K, RUDNICKI W R. All-relevant Feature Selection Using Multidimensional Filters with Exhaustive Search [J]. Information Sciences, 2020, 524 : 277 - 297.
- [20] 徐苗,王慧玲,梁义,等. 基于 K2 算法的因果结构学习研究综述 [J]. 伊犁师范学院学报(自然科学版), 2021, 15(1) : 51 - 57.
- XU Miao, WANG Huiling, LIANG Yi, et al. A Survey of Causal Structure Learning Based on K2 Algorithm [J]. Journal of Yili Normal University ( Natural Science Edition ), 2021, 15(1) : 51 - 57.
- 
- (上接第 12 页)
- 实施[J]. 电力勘测设计, 2011(1) : 23 - 27.
- REN Zhijun, REN Yaqun, GE Haiming, et al. Implement & Frame Construction of Informationization Treatment of Geotechnical Engineering Reconnaissance [J]. Electric Power Survey & Design, 2011(1) : 23 - 27.
- [5] 夏菁,白志强,王宝鹏,等. 地质资料信息化综合管理平台的设计及实现[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(2) : 295 - 300.
- XIA Jing, BAI Zhiqiang, WANG Baopeng, et al. Design and Implementation of Comprehensive Management Platform for Geological Data Informatization [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2014, 50(2) : 295 - 300.
- [6] 邹权,方宗德,庞辉. 基于 .NET 三层架构的汽车仿真数据管理系统设计研究[J]. 机械制造, 2010, 48(8) : 80 - 83.
- ZOU Quan, FANG Zongde, PANG Hui. Design and Research of Automobile Simulation Data Management System Based On .NET Three-tier Architecture [J]. Machinery, 2010, 48(8) : 80 - 83.
- [7] 孙训海,雷晓雨,佟建兴,等. 土层压缩模量的选取对地基变形计算的影响[J]. 建筑科学, 2010, 26(9) : 40 - 43.
- SUN Xunhai, LEI Xiaoyu, TONG Jianxing, et al. Effect of Modulus Selection on the Deformation of Foundation Soil [J]. Building Science, 2010, 26(9) : 40 - 43.
- [8] 高晓军,顾宝和,毛尚之,等. 压缩模量的问题及解决途径[J]. 工程勘察, 2007, 35(2) : 32 - 34, 40.
- GAO Xiaojun, GU Baohe, MAO Shangzhi, et al. The Issues about Compression Modulus and theirs Solutions [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2007, 35(2) : 32 - 34, 40.
- [9] 刘之葵. 基坑支护设计中土的粘聚力和内摩擦角的取值方法分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, 28(1) : 15 - 16.
- LIU Zhikui. Analysis on the Method of Selecting Cohesion and Internal Friction Angle of Soil in Foundation Pit Support Design [J]. Exploration Engineering ( Drilling & Tunneling ), 2001, 28(1) : 15 - 16.
- [10] 刘洪,黄军胜. 利用 AutoCAD 二次开发实现地形图高程点与等高线错误自动查找[J]. 测绘通报, 2017(5) : 100 - 104.
- LIU Hong, HUANG Junsheng. Using Secondary Development of AutoCAD to Automatically Find Errors of Elevation Points and Contour Lines in Digital Topographic Map [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2017(5) : 100 - 104.
- [11] 应申,郭仁忠,闫浩文,等. 制图综合中等高线相交的判断和消除[J]. 测绘科学, 2001, 26(4) : 39 - 41, 1 - 0.
- YING Shen, GUO Renzhong, YAN Haowen, et al. An Algorithm for Detecting and Eliminating Intersection of Polylines in Cartographic Generalization [J]. Developments in Surveying and Mapping, 2001, 26(4) : 39 - 41, 1 - 0.
- [12] 胡现辉,胡茂林,王三军,等. 地形图点线矛盾检查软件开发[J]. 电力勘测设计, 2018(8) : 14 - 17.
- HU Xianhui, HU Maolin, WANG Sanjun, et al. Development of Check Software for Contradiction of Elevation Points and Contour Lines in Topographic Map [J]. Electric Power Survey & Design, 2018(8) : 14 - 17.
- [13] 李振豪,魏斌,周校东,等. 等高线与单线河空间冲突的高效检测方法研究[J]. 测绘科学, 2018, 43(11) : 137 - 141, 164.
- LI Zhenhao, WEI Bin, ZHOU Xiaodong, et al. Research on Efficient Detection Method of Spatial Conflicts between Contours and Single-line Rivers [J]. Science of Surveying and Mapping, 2018, 43(11) : 137 - 141, 164.
- [14] 汤曦,王义. 基于统一坐标系的多源数据入库方法设计[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(6) : 52 - 56.
- TANG Xi, WANG Yi. Design of a Method for Multi-source Data Warehousing Based on the Unified Coordinate System [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(6) : 52 - 56.