

基于无人机倾斜摄影三维建模的数字露头及其在剖面实测和研究中的应用 ——以宁夏中卫下河沿剖面为例

魏文强¹, 陈建华¹, 王峰², 李晶¹, 王集², 周文峰¹, 吴静仪², 肖云霄²

(1. 成都理工大学地球物理学院, 成都 610059;

2. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059)

摘要: 传统野外剖面实测无法从整体和全局角度对剖面进行研究, 实测工作受地形起伏影响较大, 难以测量高危险区露头, 地质学家根据实测数据所建二维露头地质模型难以在空间位置上与剖面紧密关联。论文分析了实测剖面所面临的问题, 通过无人机倾斜摄影技术采集不同航高的带有坐标信息和纹理特征的露头倾斜影像, 使用处理软件构建露头三维模型, 具备覆盖范围广、剖面重点岩层精度高等优势, 能弥补传统野外剖面实测的不足。笔者将剖面实测与无人机倾斜摄影三维建模技术相结合, 利用露头三维模型辅助剖面实测和研究工作。研究表明: ①露头三维模型具备真实三维场景和坐标信息等优势, 能从任意位置和角度进行剖面研究, 尤其是高坡、悬崖等危险露头区; ②露头三维模型能从整体和全局角度进行剖面实测路线规划、标定地层界限、记录实测轨迹及重要地质观察点等信息; ③利用露头模型重点岩层区具备毫米级分辨率图像, 能清晰、直观地进行剖面岩层分层、岩性识别、厚度量算及沉积旋回分析; ④能轻易地解决剖面实测中对高陡长剖面的岩层层面追踪的问题; ⑤对地层重点分界线, 可进行剖面发育情况, 组间接触情况和剖面岩层层序的划分。因此, 将露头三维模型应用在剖面实测和研究中, 对剖面实测工作的开展及露头地质知识库的建立大有裨益。

关键词: 无人机; 倾斜摄影; 露头三维建模; 剖面实测; 下河沿

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1001-1749.2024.04.14

0 引言

当前油气勘探趋向量化和精细化, 而地质露头与地下岩层岩性特征相同, 能直观、精确和完整地揭露地下储集层结构及其成因, 对于油气勘探具有重要意义^[1-3]。传统野外地质露头研究手段多采用野外测量、人工拍照、描述、取样分析及绘制手工剖面等方式, 其优点在于能准确、直观地

获取剖面数据。随着新技术的出现, 传统地质剖面研究的弊端日益凸显, 根据剖面实测数据所建地质模型为二维剖面, 存在数据采集不全面, 精度低且受地形起伏影响较大等问题, 无法对高危险剖面进行数据采集。全站仪、伽马谱仪^[4]和探地雷达等虽然能很好地揭露剖面基本信息、岩层岩性及地下岩体分布特征^[5], 然而其数据采集方式缺乏整体性和全面性, 对于陡坡、悬崖等露头区仍然无法进行实测。

收稿日期: 2023-03-20

基金项目: 国家科技重大专项项目课题(2016ZX05050005)

第一作者: 魏文强(1996—), 男, 硕士, 主要从事数字露头实景三维建模与应用研究, E-mail: 893609677@qq.com。

倾斜摄影测量技术的出现为剖面研究增添活力,所建露头三维模型具备真实三维场景和高精度坐标信息,可直接进行剖面岩层岩性、走向和叠覆等分析^[6],广泛应用于野外露头地质知识库的建立。通过数字露头构建露头内部三维地质模型指导油气田勘探^[7]、利用数字露头进行储层结构分析来辅助野外地质考察等^[8-9]。然而上述研究存在没有将露头模型与剖面实测工作相结合的情况,或所建露头模型范围小、剖面重点岩层分辨率低,难以满足大范围、精细化剖面实测工作的需求。

基于此,论文采用无人机倾斜摄影与三维建模技术构建宁夏中卫下河沿剖面数字露头三维模型,模型覆盖范围广、重点岩层精度高。结合剖面实测

工作特点,从剖面实测的“痛点”入手,将数字露头多方面应用在剖面实测工作中,为传统剖面实测和研究提供新的手段。

1 研究区数据采集

1.1 研究区概况

论文选取鄂尔多斯盆地西缘宁夏回族自治区中卫市下河沿剖面作为研究对象(图 1)。中卫地处宁夏中部,卫宁平原西侧。研究区地层所在剖面下河沿位于中卫市西南约 20 km 处,北邻黄河与腾格里沙漠,南依香山,地理坐标为东经 105°02′,北纬 37°26′,行政区隶属中卫市沙坡头区常乐镇。

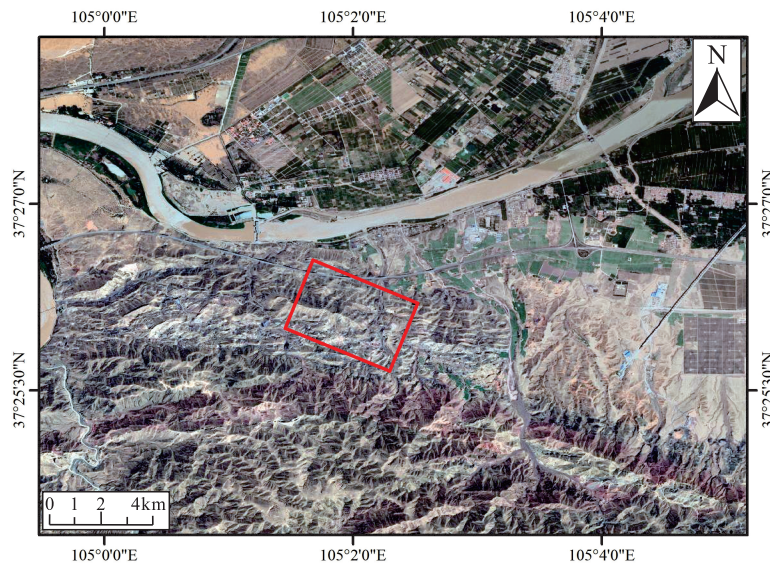


图 1 下河沿露头地理位置

Fig. 1 Geographic location of Xiaheyan outcrop

鄂尔多斯盆地西缘上古生界油气资源丰富,是重要的油气储集地层,包括靖远组、羊虎沟组和太原组等。下河沿剖面整体地层出露良好,向上依次发育靖远组、羊虎沟组、太原组和山西组等^[10]。岩性以泥岩、砂岩为主,局部夹粉砂质泥岩与生物碎屑灰岩等,剖面整体地质条件有利于油气地质勘探。

下河沿露头数据采集工作沿靖远组、羊虎沟组和太原组依次进行,沿皮尺所拉导线共计 20 条完成剖面实测工作,岩层实际取样点位 46 个,剖面长度约 560 m。实验中使用大疆精灵 4 Pro 四旋翼无人机,所携机载相机为 2 000 万像素,由于下河沿露头研究区域过大,无人机倾斜摄影工作分为两次航线飞行和多次手动飞行,共拍得照片 4 353 张。

1.2 无人机倾斜摄影数据采集

无人机倾斜摄影测量是近年来迅速发展起来的一门高新技术,广泛应用于国土资源勘察^[11]、智慧城市建设^[12-13]、电力巡检^[14]等领域,具有大范围、高清晰度、高精度等优势。所测数据能真实地反映地物外观、高度、空间位置信息等属性。通过所搭载的机载相机从一个垂直、四个倾斜共五个角度对地物进行影像采集,同时获取到地物顶部和侧部纹理特征^[15]。

无人机对野外地质露头进行倾斜摄影首先需要对露头进行踏勘,了解露头地理环境和剖面展布情况,根据所记录的露头坐标信息进行航线规划。前人对大面积露头的研究中,多是将露头划分为多个重点研究区域分别进行倾斜摄影和三维建模^[16-17],

这无疑会丢失剖面在周围环境的展布信息及多个露头模型间的空间位置信息。在剖面实测中,常出现岩层地势过陡或出露差等情况,需利用层面追踪法平移岩层,使剖面实测能够在空间上接续,而多个露头模型间在三维空间上不连续,进行岩层层面追踪难度较大。综上所述,对露头进行大面积、整体性建模有利于剖面实测工作的开展。

对地质露头大区域倾斜摄影可采用航高较高的航线飞行模式,拍摄露头及周围环境全貌,而对重点剖面研究区域采用航高较低的手动飞行模式,拍摄露头精细照片,为剖面分析提供高分辨率影像数据。工作流程如图 2 所示,首先通过踏勘了解剖面地理位置与岩层展布情况,留意对无人机飞行有安全隐患之处,如高山、大树及高压线等;其次通过踏勘轨迹 KML 文件结合剖面研究所需的区域进行航线规划;然后可先手动飞行以了解航飞区域地形地势;设置航飞相关参数,如返航点、航高、航速和重叠率等;执行航飞任务,监测图传信号与飞机飞行情况,获得带有位置信息的倾斜摄影影像数据;返航、更换电池、继续执行航线任务直到任务结束;最后对剖面重点岩层区域或数据覆盖缺失区域进行手动飞行拍摄。

为满足剖面实测对露头模型重点岩层区高分辨率及剖面大区域整体建模的需求,无人机倾斜摄影采用航线飞行、手动飞行的组合数据采集方式,无人机拍照点位图如图 3 所示。图中 A 表示航线飞行

拍照点轨迹,拍照点处于同一高度且排列整齐,保证了照片之间的重叠率;B 表示对重点剖面区手动飞行拍照点轨迹,沿剖面实测轨迹分布,拍摄高度较低且不统一,呈杂乱分布,此拍摄方式对无人机操控者技术要求较高,照片之间的重叠率须满足建模要求;C 表示从航线飞行到手动飞行之间的拍照航迹连接线,保证了两种飞行模式下不同照片之间的重叠率。若无此操作,后续倾斜影像三维建模将由于两批照片重叠率不够而导致密集点匹配失败。航线飞行和手动飞行倾斜摄影照片如图 4 所示,分别在 200 m(相对起飞点)和 10 m(相对水平面)的航高拍摄所得。

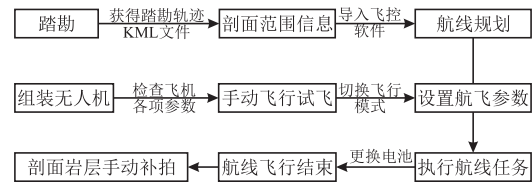


图 2 无人机倾斜摄影工作流程
Fig. 2 UAV tilt photography work flow

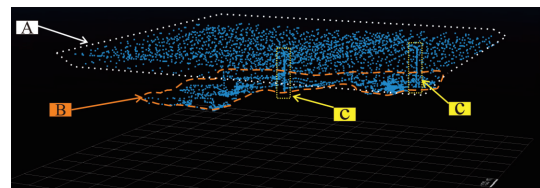


图 3 下河沿剖面倾斜摄影航迹
Fig. 3 Tilt photographic track of Xiaheyan outcrop

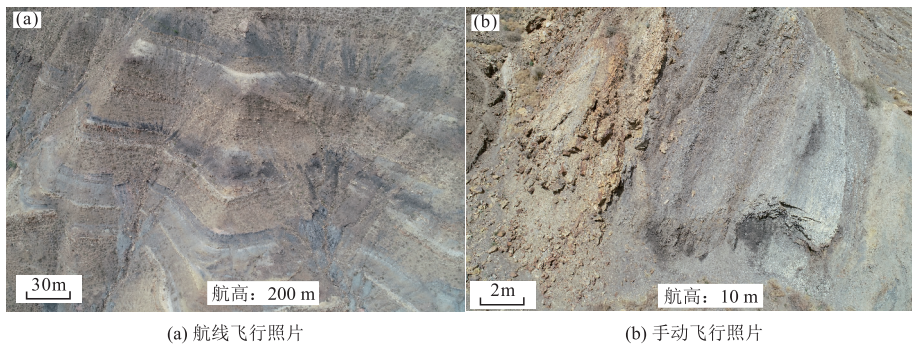


图 4 不同航高拍摄照片对比
Fig. 4 Compare of photos taken at different altitudes

2 露头三维模型构建

2.1 模型构建流程

使用后处理软件 ContextCapture 对下河沿露头拍得的倾斜摄影影像进行三维模型构建,其流程

如图 5 所示。首先筛选不合格的照片,如对焦失败、曝光严重及拍摄到大量天空区域的照片;通过空中三角测量(空三加密)解算结果,可大致了解露头模型整体轮廓和完整度;最后通过多视影像联合平差、多视影像密集匹配、三维不规则三角格网(Triangulated Irregular Network, TIN)构建、三维白体模型

构建和自动纹理映射建得下河沿露头三维模型。建模各阶段结果展示如图 6 所示,导入倾斜摄影影像数据后首先得到空三加密解算结果(图 6 (a));通过多视角影像密集匹配和 TIN 格网构建后获得 TIN 格网模型(图 6 (b));通过 TIN 格网进行三维白体模型构建(图 6 (c));最后将倾斜摄影影像中的照片进行配准和纹理贴附,即可获得露头三维模型(图 6 (d))。

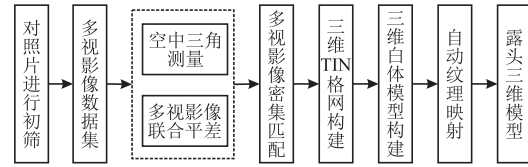


图 5 倾斜摄影影像三维建模流程

Fig. 5 3D modeling process of oblique photographic image

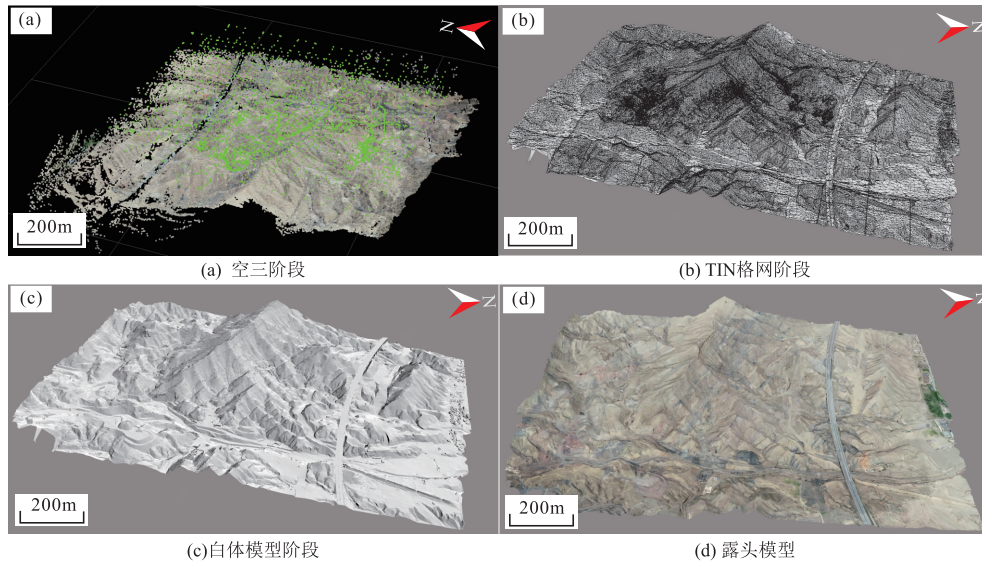


图 6 露头模型构建各阶段图

Fig. 6 Diagram of each stage of outcrop model construction

2.2 露头模型展示

下河沿露头三维模型(图 7)覆盖区面积约 1.6 km^2 , 总体面积大, 覆盖广, 露头模型中部剖面隆起且展布上千米, 实测难度和危险性急剧增加, 因此通过露头三维模型辅助剖面实测十分必要。使用

上述露头区域无人机影像采集方式, 所建露头模型重点剖面出露区分辨率为 1 cm 左右, 非重点露头区分辨率为 10 cm 左右(图 8、图 9)。既能满足露头区域的完整性, 又能对重点剖面岩层进行精细化、量化研究。

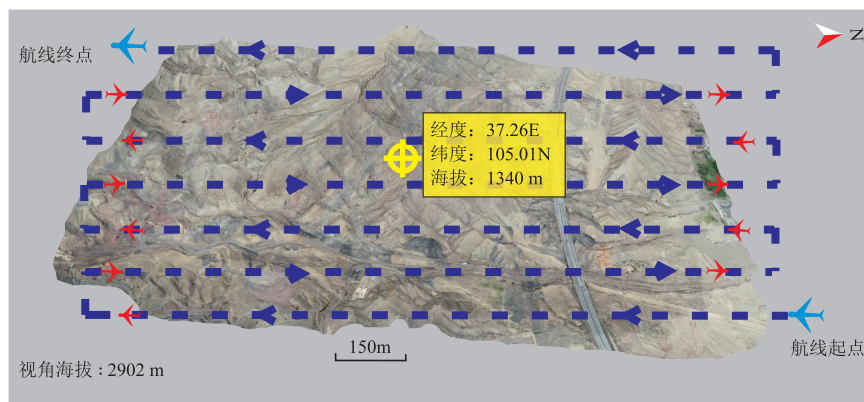


图 7 下河沿露头模型概览

Fig. 7 Overview of Xiaheyan outcrop model

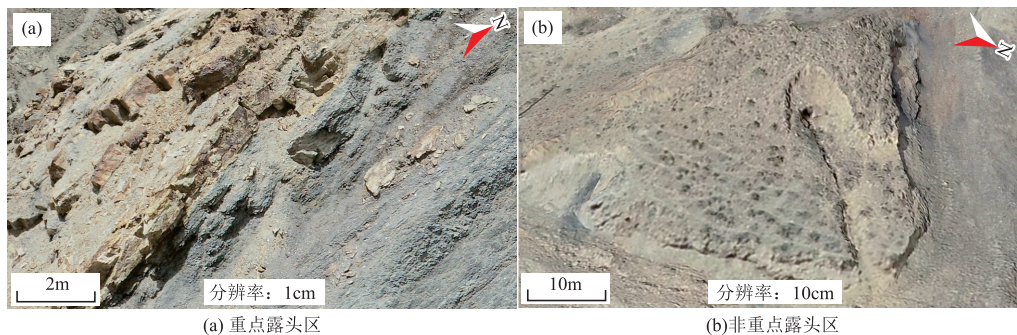


图8 重点露头区与非重点露头区模型细节展示
Fig. 8 Overview of Xiaheyan outcrop model

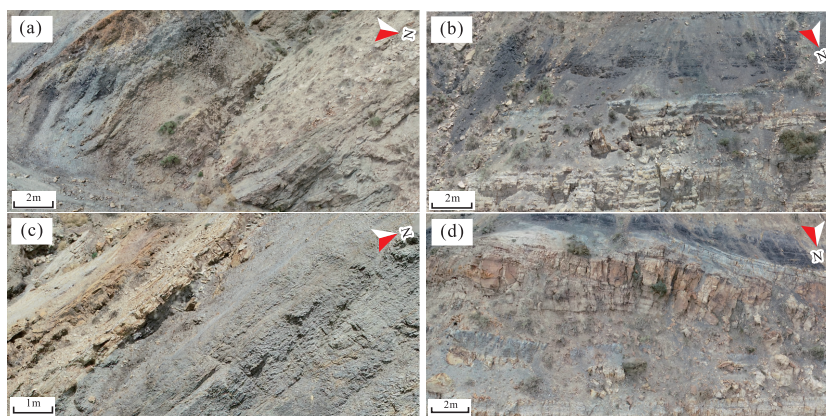


图9 露头模型重点剖面区建模细节展示
Fig. 9 Detail display of key section area modeling of outcrop model

3 露头模型应用分析

3.1 实测路线及地质观察点

野外剖面实测由于地形地势起伏大、视角受限等情况,研究者对剖面进行定层往往较困难,利用露头模型具有大范围真实三维场景的优势,可直接进行剖面地层划分(图10)。下河沿剖面依次划分为靖远组、羊虎沟组、太原组等,其中羊虎沟组可细分为羊一段、羊二段和羊三段。通过露头三维模型进行场景漫游,根据剖面出露情况和地形地势,可预先规划剖面实测轨迹,避免由于踏勘不充分而带来的实测路线规划错误,从而节省时间和人力成本,保障踏勘人员的人身安全。

剖面实测需沿剖面拉导线,导线可以划分地层和测量岩层厚度,可见导线对于剖面实测尤为重要。在实测过程中,研究者会对部分岩层进行取样分析及使用伽马谱仪和元素仪进行测量,以获得岩层中岩石的结构特征以及地球化学特征等,研究者野外剖面实测记录的导线及取样点位置信息不如直接在

露头模型上标记直观和准确。通过露头模型进行实测路线标绘、取样点标注及地质热点标注能很好地帮助剖面实测者记录关键信息,后续剖面数据解译时实测位置与剖面能在真实三维场景中一一对应。

剖面实测是对剖面进行逐层勘测,部分岩层无法抵达进行实测或者被覆盖,常通过平移剖面接续测量。对于图10中实测路线2末尾段高陡剖面,人力难以攀及,又因岩层延伸上千米,依靠人力无法进行岩层层面追踪。露头三维模型具有分辨率高、真实三维场景的优势,研究者通过露头场景漫游能方便地获取岩层的展布信息,进行岩层层面追踪,能帮助剖面实测者接续剖面测量工作。

地质研究者除针对整个剖面进行研究外,也会对剖面上某个重要观察点进行研究。观察点常选在地质界线、矿体、蚀变岩石露头、断层、褶皱、水文地质、地貌等重要地质现象的地点。

观察点类型和布点方式多种多样,通过露头三维模型记录地质观察点,观察点与露头三维模型之间、观察点间的空间关联性、整体性得以体现,真实三维场景的优势使得研究者无须在二维图纸上找寻

空间位置关系对露头进行研究。

实验选取下河沿剖面靖远组第一导线(图 10 路线 1)某处地质研究热点进行实例分析,其微观照片和模型地质点标注如图 11 所示。图中石块上存在

众多凸起的小石块,存在争议性的观点是小石块为古生物遗迹,不同的研究者持不同的意见,正确地记录争议地质点的位置对于该点古地理环境变化的研究有重要意义。



图 10 剖面实测路线及取样点示意

Fig. 10 Schematic diagram of measured route and sampling point of profile

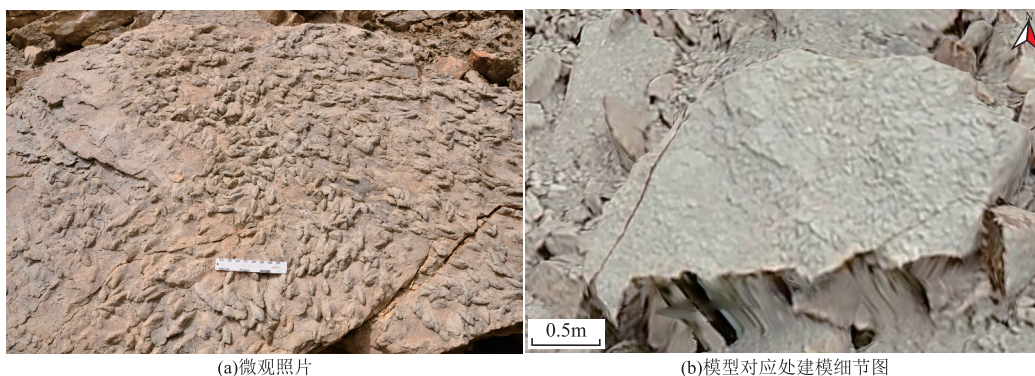


图 11 地质热点微观照片及模型对应点位

Fig. 11 Microscopic photos of geological hot spots and corresponding points of models

3.2 剖面岩层、岩性分析

无人机倾斜摄影三维建模目的是辅助地质研究工作,而露头模型能展示给用户地层界限、岩层分布及岩性信息、地质体形态、规模和方向等信息,精细化、量化的地质露头对于地质知识库的精准建立有重要意义。

笔者选择了一个典型露头区域,位于下河沿剖面石炭系下统羊虎沟组,为泥岩、页岩和砂岩组合形成的陡峭平面,依靠人力难以进行实测,而露头三维模型在此重点岩层区有 1 cm 左右的分辨率,能直接对剖面进行分析,实验根据露头三维模型进行了岩性分析、岩层分层分析及厚度量算(图 12)。该剖面

出露良好,岩性自下而上依次为泥岩、粉砂岩、页岩、泥岩夹薄层粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩、砂岩。通过三维模型进行沉积旋回标定,反映其古地理环境水体深度的变化情况。由于露头模型具备高精度三维坐标,因此能在模型上直接进行岩层厚度量算,如:第二层量算厚度为 5.2 m,第九层厚度量算为 12.1 m,并以沉积体单元线和地层界线对地层进行划分。除薄层粉砂岩外,其余砂体在视域范围内均展布明显,左右延伸数百米。

3.3 露头走向、叠覆分析

露头模型同时具备整体和微观视角,从模型上

能方便地进行剖面岩层走向和叠覆情况分析,如露头模型羊虎沟组与太原组分界线(图 13),分界明显,岩层走向呈北东—南西向,太原组为上覆地层,羊虎沟组为下伏地层。交界地层从下向上发育依次为灰黑色泥岩(顶部含煤线)、厚层砂岩、薄层砂岩、灰黑色泥岩、碳质页岩夹煤、夹砂泥岩等。通过对露头模型量算,测得最厚层砂岩 13.5 m,最薄处岩层为 1.6 m。

4 讨论

笔者将传统野外剖面实测与露头三维模型相结合进行剖面研究,实际分析剖面实测所需露头模型的覆盖范围和精度要求,通过无人机倾斜摄影三维建模构建露头三维模型,辅助地质剖面实测和研究工作,解决了传统野外剖面实测中存在的数据采集不全面、对剖面研究缺乏整体性、无法实测高危险剖

面等问题。相较于传统野外剖面研究工作,它具有以下优势:

1)本实验露头三维模型以其高精度三维坐标、高分辨率重点剖面岩层及大范围真实三维场景的优势,克服了多年来困扰地质工作者的“只缘身在此山中”的困境,即难以从整体、全局的角度对剖面进行研究。研究者能很方便地进行剖面整体层序、组序的划分;能根据剖面整体地形起伏和岩层展布信息规划剖面实测轨迹,降低人工踏勘成本和危险性;利用露头三维场景漫游能对高危险剖面岩层进行层面追踪。

2)利用无人机近距离手动飞行采集剖面重点岩层高精度影像建模的优势,模型分辨率能达毫米级,在露头模型上能清晰、直观地进行岩层分层、岩性识别及岩性组合关系判断;获取剖面整体发育情况、剖面岩层厚度、面积及垂向叠置关系等;通过岩性组合关系,获得沉积旋回信息等。

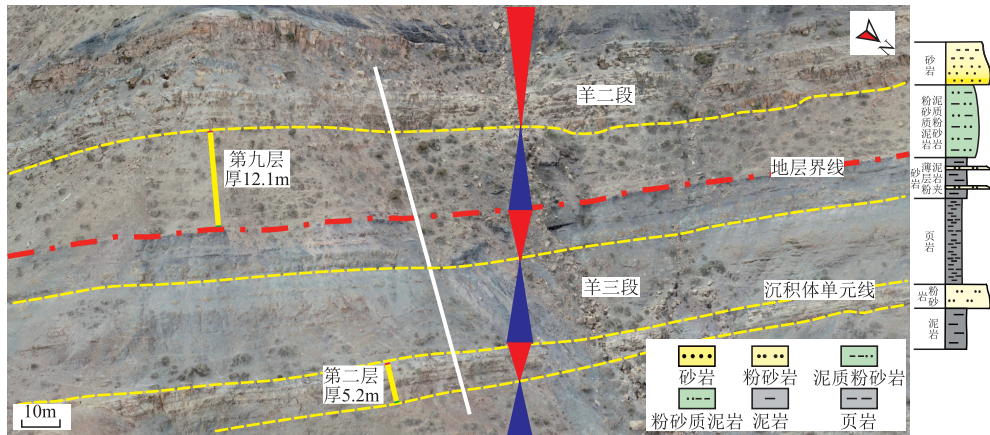


图 12 露头模型岩层岩性分析
Fig. 12 Lithology analysis of outcrop model

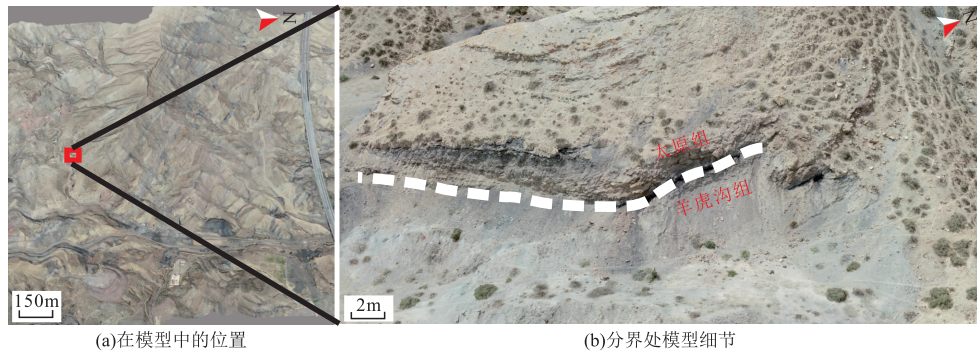


图 13 太原组与羊虎沟组分界处
Fig. 13 Boundary between Taiyuan group and Yanghugou group

3)通过露头三维模型标注导线及地质观察点,使得对剖面实测数据的记录和研究不再是依靠传统二维地质模型,数据之间的真实三维空间关系能与露头剖面紧密相关,进一步提高研究者对剖面的认识。

数字露头也存在一定的局限性,主要体现在以下方面:

1)野外剖面实测数据相较于露头三维模型更加直观,实地测量能获得更多其他辅助信息。

2)无人机飞行作业对区域地理环境有一定要求,如遇上树木多、高压线密集、地势起伏大等区域操控无人机飞行有一定难度,采集的照片质量好坏将影响露头模型的质量。

3)剖面研究应以实测剖面为主,露头三维模型为辅,不能过度依赖露头三维模型。

5 结论

笔者以宁夏中卫下河沿剖面实测及无人机数据采集工作为例,基于倾斜摄影三维建模技术所建露头模型开展了辅助剖面实测与地层研究工作。综合分析剖面实测所需露头模型精度和覆盖范围,以航线飞行拍摄大面积露头区域影像、手动飞行采集重点剖面岩层高分辨率影像,所建三维模型范围广、重点剖面岩层区精度高,满足了剖面实测和研究要求。露头模型具有真实三维场景及高精度坐标信息,解决了传统野外剖面实测中不能从整体视角对剖面进行研究、不能对高危剖面进行勘测及剖面实测数据不能与真实三维空间场景相对应等问题。露头三维模型与剖面实测工作相结合,利用露头模型的优势辅助剖面研究工作,弥补了传统野外剖面实测中的不足之处,为剖面地质知识库的建立奠定了基础。因此,无人机倾斜摄影三维建模在多个方面能很好地辅助剖面实测与地层研究工作的开展,是剖面研究的一种新思路。

参考文献:

- [1] 朱达. 鄂尔多斯盆地盒8段野外地质建模:以府谷天生桥剖面为例[D]. 成都:成都理工大学, 2018.
ZHU D. Outcrop field geological modeling in the 8 member of Shihezi Formation of the Ordos Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2018. (In Chinese)
- [2] JIAO Y Q, YAN J X, LI S T, et al. Architectural units and heterogeneity of channel reservoirs in the Karamay Formation, outcrop area of Karamay oil

field, Junggar Basin, Northwest China[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(4): 529-545.

- [3] 田景春,梁庆韶,王峰,等. 陆相湖盆致密油储集砂体成因及发育模式:以鄂尔多斯盆地上三叠统长6油层组为例[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 877-888.
TIAN J C, LIANG Q S, WANG F, et al. Genesis and development model of tight oil reservoir sand body in continental lacustrine basin: A case study on the Upper Triassic Chang 6 pay zone, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 877-888. (In Chinese)
- [4] 王胜军,唐永亮,朱松柏,等. 塔里木盆地库车坳陷北部典型露头剖面白垩系巴什基奇克组三段高分辨率层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 804-822.
WANG S J, TANG Y L, ZHU S B, et al. High-resolution sequence stratigraphy of the third member of Cretaceous Bashijiqike Formation in a typical outcrop section, northern Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(4): 804-822. (In Chinese)
- [5] 曹淞,冯晖,鹿琪,等. 探地雷达在古河道砂岩体沉积储层刻画中的应用[J]. 世界地质, 2016, 35(1): 223-234.
CAO S, FENG X, LU Q, et al. Application of GPR in depicting sedimentary reservoir of paleochannel sandstone bodies[J]. Global Geology, 2016, 35(1): 223-234. (In Chinese)
- [6] 刘帅,陈建华,王峰,等. 基于无人机倾斜摄影的数字露头实景三维模型构建[J]. 地质科学, 2022, 57(3): 945-957.
LIU S, CHEN J H, WANG F, et al. Construction of a 3D model of digital outcrop real scene based on UAV oblique photography[J]. Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica), 2022, 57(3): 945-957. (In Chinese)
- [7] 印森林,陈恭洋,刘兆良,等. 基于无人机倾斜摄影的三维数字露头表征技术[J]. 沉积学报, 2018, 36(1): 72-80.
YIN S L, CHEN G Y, LIU Z L, et al. 3D digital outcrop characterization technology based on unmanned aerial vehicle oblique photography[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(1): 72-80. (In Chinese)
- [8] 印森林,谭媛元,张磊,等. 基于无人机倾斜摄影的三维露头地质建模:以山西吕梁市坪头乡剖面为例[J]. 古地理学报, 2018, 20(5): 909-924.
YIN S L, TAN Y Y, ZHANG L, et al. 3D outcrop geological modeling based on UAV oblique photography data: A case study of Pingtouxian section in Lüliang City, Shanxi Province[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2018, 20(5): 909-924. (In Chinese)
- [9] 贾爱林,郭智,郭建林,等. 中国储层地质模型30年[J]. 石油学报, 2021, 42(11): 1506-1515.
JIA A L, GUO Z, GUO J L, et al. Research achievements on reservoir geological modeling of China in the past three decades[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(11): 1506-1515. (In Chinese)

- [10] 冯卓. 中卫下河沿纳缪尔中晚期植物群研究[D]. 西安: 西北大学, 2005.
FENG Z. Study of the middle-late namurian flora in xiaheyan, Zhongwei (Northwest China)[D]. Xi'an: Northwest University, 2005. (In Chinese)
- [11] 陆方蓉. 无人机航测技术在国土资源勘测中的应用[J]. 冶金与材料, 2020, 40(2): 97.
LU F R. Application of UAV aerial survey technology in land and resources survey[J]. Metallurgy and Materials, 2020, 40(2): 97. (In Chinese)
- [12] 孙长奎, 刘善磊, 王圣尧, 等. 浅谈无人机遥感技术在智慧城市建设中的应用[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(4): 8-12.
SUN C K, LIU S L, WANG S Y, et al. Application of UAV in construction of smart city[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2018, 30(4): 8-12. (In Chinese)
- [13] ZHOU T, LV L, LIU J, et al. Application of uav oblique photography in real scene 3d modeling[J]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-413-2021.
- [14] 吕吉祥. 无人机路径规划在电力巡检中的应用研究[D]. 福州: 福建工程学院, 2022.
LV J X. Research on the application of UAV path planning in power inspection[D]. Fuzhou: Fujian University of Technology, 2022. (In Chinese)
- [15] ZHOU X M, ZHANG X L. Individual tree parameters estimation for plantation forests based on UAV oblique photography[J]. IEEE Access, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2994911.
- [16] 张颖旭. 基于无人机倾斜摄影的见天坝露头区三维地质建模[D]. 荆州: 长江大学, 2019.
ZHANG Y X. Three-dimensional geological modeling of Jiantianba outcrop area based on UAV tilt photography[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2019. (In Chinese)
- [17] 印森林, 陈强路, 袁坤, 等. 基于无人机倾斜摄影的碳酸盐岩生物礁露头多尺度非均质性表征: 以鄂西利川见天村露头为例[J]. 天然气地球科学, 2022, 33(9): 1518-1531.
YIN S L, CHEN Q L, YUAN K, et al. Characterization of multi-scale heterogeneity of carbonate reef outcrop by UAV oblique photography: Case study of Jiantian Village, Lichuan, western Hubei[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(9): 1518-1531. (In Chinese)

Digital outcrop based on 3D modeling of UAV oblique photography and its application in profile measurement and research: A case study of Xiaheyan profile in Zhongwei, Ningxia

WEI Wenqiang¹, CHEN Jianhua¹, WANG Feng², LI Jing¹,
WANG Ji², ZHOU Wenfeng¹, WU Jingyi², XIAO Yunxiao²

(1. College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Traditional field surveys cannot study the profile from an overall and global perspective; field surveys are greatly affected by terrain fluctuations, making it challenging to measure outcrops in high-risk areas. The two-dimensional outcrop geological model built by geologists based on the measured data is challenging to relate closely to the profile in terms of spatial position. This paper analyzes the problems faced by the profile measurement, collects oblique images of outcrops with coordinate information and texture features at different altitudes through UAV oblique photography technology, using post-processing software to build a 3D model of the outcrop, which has the advantages of comprehensive coverage and high precision of key rock formations in the profile, it can make up for the shortcomings of traditional field profile measurements. In this paper, the profile measurement is combined with the UAV oblique photography 3D modeling technology, and the 3D model of the outcrop is used to assist the profile measurement and research work. The research shows that: ① The 3D model of the outcrop has the advantages of real 3D scenes and coordinate information, and can be obtained from any location and angle of the profile research, especially in dangerous outcropping areas such as high slopes and cliffs; ② The 3D model of the outcrop can plan the actual measurement route of the profile from an overall and global perspective, calibrate the stratigraphic boundaries, record the measured trajectory and important geological observation points and other information ③ Using the outcrop model to have millimeter-level resolution images in the critical rock formation areas, it is possible to clearly and intuitively perform profile stratification, lithology qualitative, thickness measurement and sedimentary cycle analysis; ④ It can quickly solve the problem of tracking the strata of high and steep long profiles in the actual measurement of the profile; ⑤ For the key boundary line of the stratum, the development of the profile, the contact between groups and the division of the stratum sequence of the profile can be carried out. In summary, applying the 3D model of the outcrop to the actual measurement and research of the profile is of great benefit to the development of profile survey work and the establishment of an outcrop geological knowledge base.

Keywords: UAV; oblique photography; outcrop 3D modeling; profile measurement; Xiaheyan