

基于空三模型实现非接触式实测地质剖面解决方案研究

王康年, 吴文刚, 王 云, 黄 焯, 杨秋平

(贵州省地质矿产勘查开发局 101 地质大队, 贵州 凯里 556000)

[摘 要] 本文提出的“基于空三模型实现非接触式实测地质剖面解决方案”, 是通过导出空间三维模型剖面多段线三维坐标, 使用自主开发的辅助软件, 在 AutoCAD 中快捷生成剖面图。通过实践, 该方案能快速完成无需人工到实地进行实测的实测剖面工作, 尤其危岩体勘查中能精确反映高陡崖区微地貌起伏形态和结构面特征, 解决了人工实测无法完成的工作。

[关键词] 空间三维模型; 实现; 非接触式; 实测剖面; 解决方案

[中图分类号] TP311 [文献标识码] A [文章编号] 1000-5943(2021)-01-0092-07

1 前言

实测地质剖面图 (surveyed geological cross-section), 简称实测剖面, 是用仪器 (经纬仪、平板仪) 或精密度较高的仪器和工具 (软盘、测斜仪、GPS 定位仪、视距望远镜、气压计、测绳、皮尺等) 通过实地测绘而制成的地质剖面图 (黄宗理等, 2014)。简而言之, 传统的实测剖面图, 是使用量测仪器到实地进行现场测量, 再通过手工、半手工或计算机自动化绘制成图, 工作手段显然落后跟不上时代的步伐。

随着计算机技术的发展, 地质行业专家学者对实测地质剖面的自动化成图都有不同程度研究 (杨光忠等, 2002; 杨利容等, 2011; 姚高峰等, 2012; 孙羽等, 2012; 王兆国等, 2015; 罗华彪, 2015; 屈海浪等, 2018)。2006 年笔者“地质测量计算机数据处理及辅助成图系统” (以下简称“地质测量”) 的“实测剖面”模块, 也解决了通过地质罗盘、经纬仪野外采集数据的自动化处理, 并在 AutoCAD 中自动生成实测导线图、实测剖面图。

至 21 世纪, 无人机航空摄影测量技术迅速普

及, 打破了传统的测量方式, 经纬仪、平板仪退出测量业的历史舞台, 全站仪逐渐被淘汰。随即以低空消费级小型无人机为航测工具渐渐突显其独特优越性, 通过野外快速获取小范围高分辨率影像, 内业用 Pix4D mapper、Context capture、PhotoScan、PhotoMetric 等软件一站式影像处理, 快速生成高精度空间三维模型, 在各行业中迅速推广和普及应用。

相应, 利用空间三维模型进行二次开发利用, 快捷提取三维模型中地质体表面要素点的三维坐标, 实现非接触式 (遥感) 精确测量地质体几何尺寸、体量、结构面产状等逐渐成为当今地质工作新方法新手段研究的热门课题 (韩东亮, 2014; 杨力龙, 2017; 刘海洋等, 2017; 张骞棋, 2018; 王栋, 2018)。然而, 以此技术实现非接触式 (遥感) 高精度实测剖面方面的研究甚少, 很难搜索到这方面的研究成果和成图软件。

2 解决方案和思路

笔者等通过一些危岩体、滑坡勘查项目实践和研究, 前述航测影像内业处理软件和国产 EPS

[收稿日期] 2020-02-28 [修回日期] 2020-08-12

[基金项目] 贵州省地矿局科研项目《凯里香炉山高位危岩带变形破坏特征及防治工程研究》(黔地矿科合[2018]9号) 资助。

[作者简介] 王康年 (1972—), 男, 侗族, 贵州从江人, 地质高级工程师, 长期从事地质灾害防治工作, 业余致力于地质工作手段方面的小软件开发并免费提供使用, 如实测剖面、图切剖面、矿权工具、滑坡稳定性计算、危岩体稳定性计算等。

三维测图等都能实现从三维模型中快捷提取剖面线上若干测点的三维坐标。对于植被不发育的地质体裸露地区,提取三维模型剖面线上若干测点(如地形点、地质要素点)的三维坐标,利用第三方剖面图成图软件或自主开发辅助软件,快捷实现非接触式(遥感)高精度实测剖面,尤其是危岩体勘查,精确反映凹凸不平的陡壁峭崖微地貌形态和结构面特征,建立精准的危岩体稳定性计算模型,能实现人工实测无法完成的工作,不失为一种可行的创新工作方法。

本解决方案工作思路如图 1。

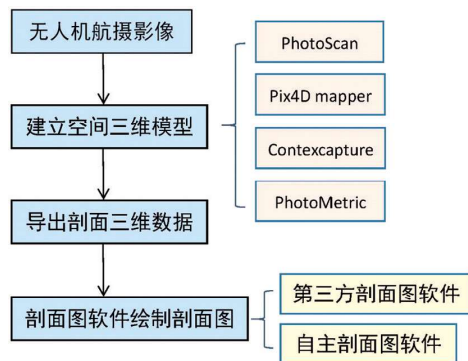


图 1 解决方案思路图
Fig.1 Idea map of solution

3 辅助软件设计

基于上述思路,笔者“地质测量”软件中“图切剖面”模块具有较完整的剖面成图功能,提供多种样式的剖面图(图 2),在此基础上笔者增加设计“空三工具”模块,其中包括“导出图切剖面数据”(图 3)。

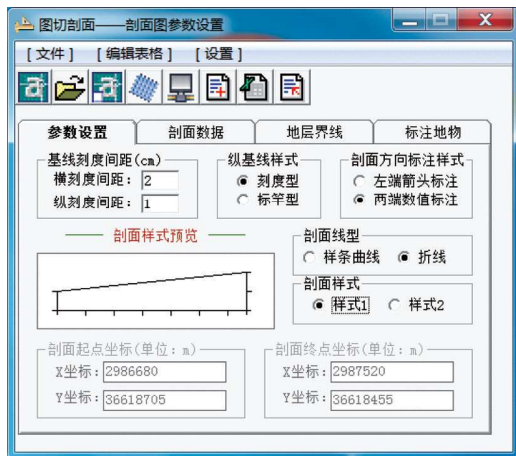


图 2 “图切剖面”剖面样式设置
Fig.2 Styles of ‘slice section’



图 3 “导出图切剖面数据”窗体设计

Fig.3 Form design of ‘export slice section data’

模块基于 Windows 系统开发,采用 Visual Basic 6.0 语言编程,“导出图切剖面数据”主要解决经纬度坐标转换为 3 度带直角坐标、3 度带直角坐标换算为图切剖面需要的坐标数据两种算法问题。软件窗体设计思路如下:

- 1) 测点数据显示采用 MSFlexGrid 表格控件。如图 3 界面,左侧表格用于显示三维模型提取剖面线测点的三维坐标及偏移剖面直线距离等,通过打开文本文件输入数据,目前支持 WGS 84、国家 2000 坐标系统的经纬度坐标和 3 度带坐标;右侧表格用于显示换算出的比例尺为 1:1 的绘制图切剖面的平距、高程数据。
- 2) 左侧表格下方,原始数据坐标系统及格式通过 ComboBox 控件下拉选择。
- 3) 如存在三维模型坐标系统与成果地形图坐标系统不一致的情况,或剖面图、地形图两图剖面起点、终点坐标值存在偏移时,目前提供 X、Y、H 坐标增量平均值三参数法换算处理。

4 应用实例

以某地崩塌和某地滑坡为例,笔者自主编程辅助成图软件,简单介绍本方案实现非接触式实测剖面的成图过程。

4.1 崩塌勘查应用

如图 4 以 PhotoScan 软件处理好的三维模型为例:

- 1) 绘制剖面线、测点并导出剖面线测点三维坐标数据,保存为文本文件。操作步骤简述如下:
(1) 在 PhotoScan 界面中绘制一条剖面直线,

退出绘制模式转至导航模式。

(2)单击鼠标左键选择直线,在直线上需要加测点的位置单击鼠标右键弹出快捷菜单,Insert Vertex 为线上加点,如此周而复始,直线成为多段线。线上测点越多,越能接近真实地形起伏形态。

(3)选择剖面多段线,单击鼠标右键进入快捷菜单,单击 Measure 弹出多段线各拐点坐标窗口如图4, Ctrl+A 全选表格数据, Ctrl+C 复制表格坐标数据至系统粘贴板。

(4)数据粘贴至新建的文本文件中。

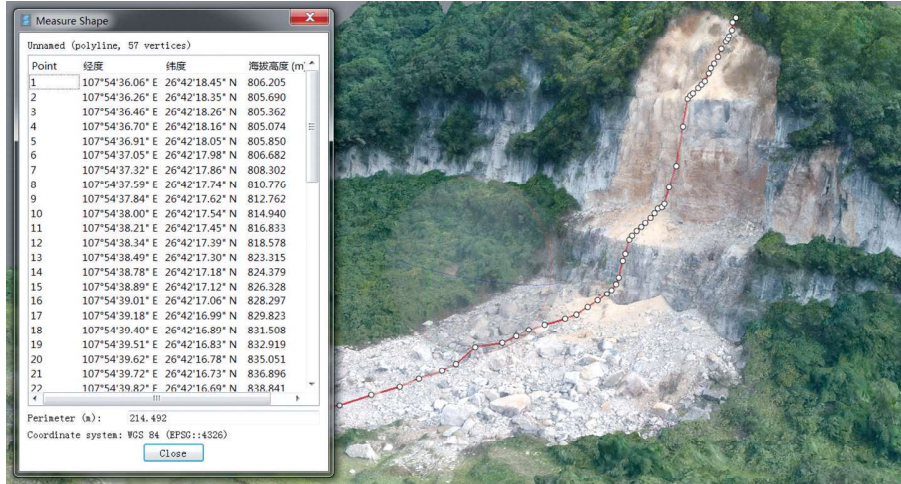


图4 某崩塌三维模型(侧视)提取剖面线三维数据示意图

Fig. 4 Diagram of section line three dimensional data exportion of some collapse three-dimensional model (side looking)

2)在前图3界面打开文本文件后,单击的“计算并保存数据”按键,计算出的绘制剖面图数据在右侧表格中显示。

3)单击图3窗体右下角“数据导入图切剖面模块”,软件切换至“图切剖面”模块如图5,输入

作图比例尺,设置好剖面图参数后“确定”,在 AutoCAD 中生成的实测剖面图主框架如图5。

4)利用 AutoCAD 强大编辑功能或笔者“地质测量”软件的图例、图签等模块,完善实测地质剖面图内容。

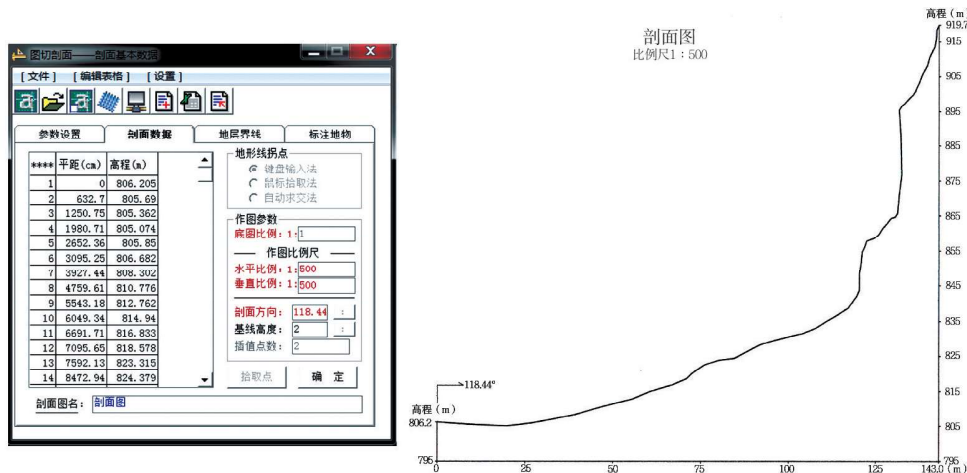


图5 某崩塌提取三维模型数据生成的实测剖面图主框架

Fig. 5 The main frame of measured section by export three-dimensional data of some collapse

4.2 滑坡勘查应用

如某地滑坡植被不发育(图6),同样适合此方案,快速生成的实测剖面图如图7。

当然,本方案实测剖面的精度取决于空间三维模型的精度。空间三维模型精度越高,提取的

剖面线地形点三维坐标精度越高,生成的实测剖面地形起伏形态精度也越高。

4.3 与其它剖面图软件比较

国内免费或低消费级的剖面图软件不多,笔



图 6 某滑坡三维模型(正射视角)

Fig. 6 Three-dimensional model (normal view) of some landslide

者“空三工具”模块目前数据导出支持低消费级福建林枢“筋斗切割面”数据格式。数据导出为“筋斗切割面”数据后,在该工具的界面中导入已保存的数据,设置好作图比例等参数即可作图。笔者“图切割面”模块与林枢“筋斗切割面”工具相比较,各有特点:

1)“筋斗切割面”支持单一直线、拆线(多方位剖面线段)型剖面成图;“图切割面”目前仅支持单一直线型剖面成图。

2)“筋斗切割面”偏重于岩土行业剖面样式;“图切割面”偏重于地质勘查行业,提供的剖面样式相对要多,结合“图例图签”模块使用,能快速绘制一张完整的地质剖面图。

用户根据不同行业习惯选择不同的剖面图工具。

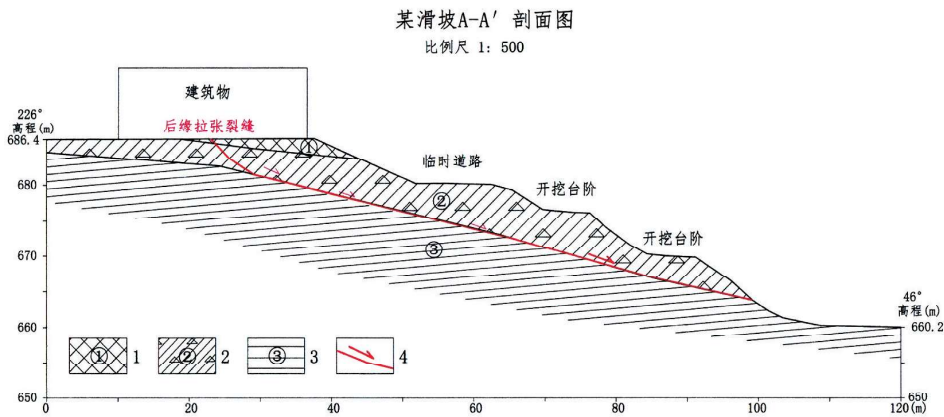


图 7 三维模型数据生成的实测剖面图

Fig. 7 The measured section created of three-dimensional model data

1—人工填土;2—残坡积粉质粘土;3—页岩;4—滑面及滑向

4.4 方案可行性分析

上述某崩塌点通过空间三维模型实现的非接触式(遥感)实测剖面,导出原始数据为经纬度坐标,通过转换为直角坐标后计算结果如表 1。

由表 1 不难得出:

1)20 至 22 号测点,坡度开始变陡大于 30°,人工实测困难;22 至 23 号测点,坡度开始剧陡,倾角 53.78°,传统方法人工根本无法到达现场实测。若模拟人工实测,22 至 55 号测点只能是一条直线,反映不出陡壁的实际微起伏形态。

2)55 个测点中,偏移于起止点直线的距离最大值 1.78 m、最小值 0.00 m、平均值 0.83 m。偏移距离取决于手动或软件自动在三维模型中选点

的精度,尤其手动选点偏移距离可能偏大,但能重复调整减小偏移距离,最终达到要求的精度。

3)点的密度:按拆线长度计算为 0.26 点/m,按起止点平距计算为 0.38 点/m,满足 1:100 比例尺的测量精度或更高。还可根据需要在三维模型人为增减测点数量,如 EPS 等软件可等间距设置提取测点数量,增加测点无需成本。

综上所述,此方案通过非接触式(遥感)测量完成的实测剖面,突破了人工实测无法完成的高陡崖地区的实测剖面测量工作,测量精度取决于空间三维模型的精度,完全可以根据需要无限制增加剖面线测点,以真实反映剖面线的微地貌起伏形态,特别是在危岩体调查、勘查中,是一种可行的、值得推广应用的新技术方法手段。

表 1 某崩塌三维模型非接触式实测剖面数据计算结果表

Table 1 Calculated results of non-contact measured section data of some collapse three-dimensional model

点号	X 坐标(m)	Y 坐标(m)	高程(m)	偏移起止点 直线距离(m)	斜距(m)	平距(m)	高差(m)	倾角(°)
1	295 496 0.95	491 045.53	806.205	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	295 495 7.87	491 051.06	805.690	0.08	6.35	6.33	0.51	4.61
3	295 495 5.09	491 056.59	805.362	0.12	6.20	6.19	0.33	3.05
4	295 495 2.01	491 063.22	805.074	0.56	7.32	7.31	0.29	2.27
5	295 494 8.62	491 069.02	805.850	0.35	6.77	6.72	0.78	6.62
6	295 494 6.46	491 072.89	806.682	0.29	4.51	4.43	0.83	10.61
7	295 494 2.77	491 080.35	808.302	0.59	8.48	8.32	1.62	11.02
8	295 493 9.07	491 087.81	810.776	0.90	8.69	8.33	2.47	16.52
9	295 493 5.37	491 094.72	812.762	0.93	8.09	7.84	1.99	14.24
10	295 493 2.9	491 099.14	814.940	0.87	5.51	5.06	2.18	23.31
11	295 493 0.13	491 104.94	816.833	1.19	6.70	6.43	1.89	16.38
12	295 492 8.28	491 108.54	818.578	1.28	4.41	4.05	1.75	23.37
13	295 492 5.51	491 112.68	823.315	0.81	6.88	4.98	4.74	43.59
14	295 492 1.81	491 120.69	824.379	1.38	8.88	8.82	1.06	6.85
15	295 491 9.96	491 123.73	826.328	1.20	4.06	3.56	1.95	28.71
16	295 491 8.11	491 127.05	828.297	1.16	4.28	3.80	1.97	27.40
17	295 491 5.95	491 131.75	829.823	1.49	5.39	5.17	1.53	16.49
18	295 491 2.87	491 137.83	831.508	1.67	7.03	6.82	1.69	13.92
19	295 491 1.02	491 140.87	832.919	1.50	3.83	3.56	1.41	21.61
20	295 490 9.48	491 143.91	835.051	1.59	4.02	3.41	2.13	31.99
21	295 490 7.94	491 146.67	836.896	1.55	3.66	3.16	1.84	30.21
22	295 490 6.71	491 149.43	838.841	1.78	3.59	3.02	1.95	32.85
23	295 490 6.09	491 150.26	840.258	1.63	1.76	1.04	1.42	53.78
24	295 490 5.48	491 151.37	841.913	1.63	2.08	1.27	1.65	52.41
25	295 490 5.17	491 152.2	843.817	1.74	2.10	0.89	1.90	64.90
26	295 490 4.86	491 152.47	850.788	1.60	6.98	0.41	6.97	86.63
27	295 490 4.55	491 152.75	854.683	1.46	3.91	0.42	3.89	83.84
28	295 490 4.24	491 153.30	855.953	1.47	1.42	0.63	1.27	63.62
29	295 490 2.7	491 155.79	858.603	1.28	3.95	2.93	2.65	42.13
30	295 490 2.09	491 156.89	859.846	1.28	1.77	1.26	1.24	44.54
31	295 490 1.47	491 157.72	861.457	1.13	1.92	1.04	1.61	57.14
32	295 490 0.85	491 158.83	862.827	1.12	1.87	1.27	1.37	47.17
33	295 490 0.54	491 159.93	864.206	1.38	1.79	1.14	1.38	50.44
34	295 489 9.93	491 161.04	864.688	1.35	1.36	1.27	0.48	20.70
35	295 489 9.62	491 161.59	865.628	1.35	1.13	0.63	0.94	56.17
36	295 489 9.31	491 161.87	870.528	1.19	4.92	0.42	4.90	85.10
37	295 489 8.7	491 162.42	876.541	0.92	6.07	0.82	6.01	82.23
38	295 489 8.70	491 162.14	887.673	0.78	11.13	0.28	11.13	88.56
39	295 489 8.70	491 161.59	895.437	0.53	7.78	0.55	7.76	85.95
40	295 489 8.39	491 162.14	896.487	0.53	1.22	0.63	1.05	59.04
41	295 489 7.77	491 162.69	897.153	0.26	1.07	0.83	0.67	38.91
42	295 489 6.85	491 163.80	898.705	0.05	2.12	1.44	1.55	47.11
43	295 489 6.54	491 164.90	899.796	0.21	1.58	1.14	1.09	43.72

续表

点号	X 坐标(m)	Y 坐标(m)	高程(m)	偏移起止点 直线距离(m)	斜距(m)	平距(m)	高差(m)	倾角(°)
44	295 489 6.23	491 165.46	900.807	0.21	1.20	0.64	1.01	57.64
45	295 489 5.62	491 166.29	903.189	0.05	2.59	1.03	2.38	66.60
46	295 489 5.31	491 166.84	904.721	0.05	1.65	0.63	1.53	67.62
47	295 489 5.00	491 167.39	906.171	0.05	1.58	0.63	1.45	66.52
48	295 489 4.69	491 168.50	908.214	0.29	2.34	1.15	2.04	60.59
49	295 489 4.38	491 169.05	910.493	0.29	2.37	0.63	2.28	74.55
50	295 489 3.77	491 169.88	912.534	0.15	2.29	1.03	2.04	63.21
51	295 489 3.46	491 170.15	913.334	0.00	0.90	0.41	0.80	62.86
52	295 489 3.46	491 170.43	914.469	0.12	1.17	0.28	1.14	76.20
53	295 489 2.84	491 170.98	916.136	0.15	1.86	0.83	1.67	63.57
54	295 489 3.15	491 170.71	918.251	0.00	2.16	0.41	2.12	79.05
55	295 489 2.84	491 171.26	919.687	0.00	1.57	0.63	1.44	66.37
		合计			214.26	145.92	115.74	

5 探讨

基于空间三维模型实现非接触式高精度实测剖面解决方案,是通过提取空间三维模型剖面上若干测点三维坐标数据,利用剖面图成图软件,在 AutoCAD 快速生成高精度实测剖面图。空间三维模型精度越高,生成的实测剖面图地形形态精度越高,同时解决了高陡崖地区人工实地测量无法完成的工作,适用于植被不发育地区的非接触式(遥感)实测剖面测量与成图,既能提高工作效率,又能提高测量精度,最主要是突破了人工实测无法完成的工作。

当然,此方案肯定还不是最佳的解决方案,存在诸多缺陷和需要完善之处:

1) 提取空间三维模型剖面线测点三维坐标数据,目前只能一次性解决地形点数据,对于地质体要素点、工程点等,需要多次提取或人工修测完成。

2) 局部地段如遇到建筑物、植被覆盖区需要实地修测和人工调整。

3) PhotoScan 等无人机影像内业处理软件提取三维模型剖面测点数据方便程度还有待完善,尚未提供二次开发 API 接口;除 EPS 外,三维模型 Obj 等格式文件浏览器如 Acute3D Viewer、Rocky Viewer 等尚无完整的提取剖面线测点三维数据功能。因此,能否提取三维模型中剖面线测点的三维坐标,受应用软件限制。

4) 剖面图的精度,取决于空间三维模型的精

度。而空间三维模型的精度,又受前期无人机本身系统误差、无人机 GPS 定位高程误差、航拍条件选择造成的误差、内业处理软件空三解算误差等影响。

5) 该方案适合于地质情况不太复杂地区,能快速完成实测剖面工作,无需人工到实地进行实测。但对于地质情况比较复杂区域的地质剖面实测,尤其是解决众多地质要素点如何进行智能识别、如何智能化标注在地质剖面中,还有待深入研究和完善。

因此,笔者仅以此阶段研究作抛砖引玉,希望更多专家学者从事到非接触式(遥感)实测剖面方面的研究和软件开发中来,提高地质工作实测剖面的效率和精度,尤其是当今三维激光扫描技术在地表植被处理方面的应用,其三维模型或点云数据快速实现非接触式高精度实测剖面的优越性,将会更上一层楼。

[参考文献]

- 黄宗理,张良弼,李鄂荣,等. 2014. 地球科学大辞典(应用科学卷)[M]. 中国地质出版社,585.
- 韩东亮. 2014. 数字近景摄影测量获取岩体结构面结核信息的方法研究[D]. 吉林大学硕士学位论文.
- 刘海洋,王学良,李丽慧,等. 2017. 无人机航空摄影测量技术在崩塌灾害调查中的应用[J]. 工程地质学报,25(1):82-87.
- 屈海浪,张永哲,崔艳飞. 2018. RTK 全站仪法在实测地质剖面中的应用[J]. 世界有色金属,(3):292-294.
- 孙羽,李永军. 2012. 浅谈数字化实测地质剖面操作方法与技巧[J]. 新疆地质,30(4):487-492.
- 王兆国,鲁如魁. 2015. 基于 Fortran 语言和 GMT 软件的实测地质剖面的迅速实现[J]. 计算机应用,35(S2):301-304.

- 王栋,邹杨,张广泽,等. 2018. 无人机技术在超高位危岩勘查中的应用 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 45(6): 754-759.
- 杨光忠,胡永虹. 2002. 试论实测地质剖面的电算化处理 [J]. 贵州地质, 19(1): 67-70.
- 杨利容,赖得军,罗娟. 2011. 基于 AutoCAD 实测地质剖面数字成图关键技术 [J]. 物探与化探, 35(2): 17-20.
- 杨力龙. 2017. 基于小型无人机的航空摄影测量技术在高陡边坡几何信息勘察中的应用研究 [D]. 西南交通大学硕士学位论文.
- 姚高峰,郭元世,黄小华. 2012. 地质三维模型快速生成标准地质剖面图方法初探 [J]. 广西水利水电, (5): 17-20.
- 张骞棋. 2018. 轻型无人机在危岩体结构面信息解译中的应用 [J]. 中国锰业, 36(5): 14-19.

Study of Realize Non-contact Measured Geological Section Solution Based on Three-dimensional Space Model

WANG Kang-nian, WU Wen-gang, WANG Yun, HUANG Ye, YANG Qiu-ping

(102 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zunyi 563003, Guizhou, China)

[**Abstract**] In this paper, the ‘non-contact high precision measured section solution based on three-dimensional space model’ was carried out, with self-developed assistant software, it can create a section quickly by export polyline three dimensional coordinate of hree-dimensional space model section. By practice, this method can finish the field section measurement quickly but not need the human field measurement, especially in the dangerous rocks exploration, this method can reflect the morphologic prominence and structural plane features of high klint accurately, the work which can’t be finished by human is solved.

[**Key Words**] Three-dimensional space model; Realization; Non-contact; High precision; Measured section; Solution

(上接第 108 页)

Methods and Practice of Investigation and Evaluation of Geological Resources in Villages and Towns: Take The 20 Poverty-alleviation Towns of Guizhou Province as an Example

GONG He-qiang¹, XIAN Shao-jun^{2*}, ZENG Dao-guo², SHEN Qi-jun¹, ZHOU Wen-long²

(1. Land and Mineral Resources Reserve Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550004, Guizhou, China; 2. Institute of Geology and Mineral Resources Exploration, Non-Ferrous Metals and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau of Guizhou, Guiyang, 550005, Guizhou, China)

[**Abstract**] The implementation background, objectives and main technical requirements of the geological resources survey project in the 20 extremely poor towns in Guizhou Province been introduced at length in this paper. At the same time, it also introduces the specific working procedures of data collection, programming, investigation and evaluation, special research, the report preparation and so on in detailed. Finally, the main achievements of geological resources survey and evaluation in the 20 extremely poor towns in Guizhou Province are introduced.

[**Key Words**] Geological resources; Investigation and evaluation; Method practice; Town