第 37 卷 第 4 期
2022 年 12 月:484 - 489

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 37 No. 4
Dec. 2022:484 - 489

doi:10.6053/j.issn.1001 - 1412. 2022. 04. 010

个旧高松矿田线性构造对比分析研究

范建伟,倪春中,韩晓东,杨荣森
(昆明理工大学国土资源工程学院,昆明 650093)

摘要: 在遥感影像中,一些断层和断裂受侵蚀作用会显现出线形特征,即线性构造。本文对个旧矿区高松矿田区域遥感影像经降噪处理后采用线段追踪法(STA:Segment Tracing Algorithm)提取线性构造并进行线素连接,连接后的影像进行解译并做数据提取,最终将提取出的对比数据与实测断裂数据进行再对比和相关性分析,分析结果表明:断裂长度和走向的 Pearson 相关系数分别为 0.67 和 0.987,双尾显著性值分别为 0.048 和 0,说明线段追踪法提取的断层长度和走向与实测数据相关性较高,可以较好地解译出个旧矿区断裂的分布情况;同时,还可以看出部分大断裂交汇处的小断裂发育良好,可为圈定预测成矿靶区提供参考。但是,矿区影像东北区的线性构造分布较少,个松断裂的长度连贯性和芦塘坝断裂的走向都没有得到很好的解译,这可能与图像降噪不完善和线性构造提取中的程序参数设定不准确以及线素连接过程中线素之间的联系和转折过大有关,这些问题有待于在下一步的工作中逐步完善。

关键词: 高松矿田;线性构造;遥感解译;相关分析;云南省
中图分类号: P627;P613 **文献标识码:** A

0 引言

遥感作为一项新兴技术,已经广泛地应用于生活、生产中,在地质学中的应用也日趋广泛,作为一种实时有效的对地观测技术,遥感已经广泛的应用于地球科学、生态环境和地质探测中。对于野外地质工作来说,人工的观测技术和视野是有限的,因此对于传统的断裂和构造的认识是不够全面的,而遥感影像则由于其观测区域广阔,能客观、真实、全面记录总体和个体断裂(层)形迹的地表几何形态及其物理特征,信息量大且连续性好,为研究断裂总体的空间分布、甚至地下隐伏构造提供了充分的信息[1]。

遥感技术在线性构造的分析研究中[2-4]应用广泛。在地质图像中,断裂、断层等在风力、水流或者其它外力作用下很容易被侵蚀从而形成一些线状地貌,这些地貌在遥感影像中会被很好地记录下来,一般称为线性构造(lineament),线性构造是指在各种遥感图像上,被认为与地质作用有关的直线、弧线、折线性(状)影像特征[5-6],强调其成因与地质作用之间的关系。

线性构造研究包括:①各种直线状或微弯的弧线状的地质界线;②断裂构造成因的线性构造;③线状应变带;④有地形、影纹结构或色调的线状变化反映出来的线性形迹,经解译认为它的存在与地质作用有关时,被称为线性构造。遥感影像反映出的不同类型线性构造具有不同的结构特点,呈现出不同的构造活动性。从遥感影像提取线性构造常借助于计算机程序完成,很重要的内容是提取出线性构造,确定线性构造的起点和终点坐标、分析研究线性构造的方向和长度等。本文对个旧矿区高松矿田遥感

收稿日期: 2022 - 02 - 28; **责任编辑:** 王传泰
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号:40902058)资助。
作者简介: 范建伟(1996—),男,硕士研究生,地质工程专业,主要从事构造地质学研究。通信地址:云南省昆明市昆明理工大学莲华校区;邮政编码:650031;E-mail:1035056518@qq.com
通信作者: 倪春中(1979—),男,博士,副教授,研究方向为构造地质学、数学地质。通信地址:云南省昆明市昆明理工大学莲华校区;邮政编码:650031;E-mail:1424179827@qq.com

影像进行了线性构造提取[7-12]和研究，编写程序进行矿田范围内线性构造长度等密度分析[13]，着重开展断裂构造的线素连接，并与实测断层属性进行对比分析，这不但有利于检验线段追踪法提取线性构造的精度，而且对矿区地质工程稳定性评价和地质找矿预测都有重要意义。

1　个旧矿区高松矿田地质概况

个旧矿区是世界上稀有的多金属矿床，位于滨太平洋构造域边缘与特提斯构造域相接的部位[14]。高松矿田地处个旧锡矿东区，北接马格拉、松树脚矿田，南邻老厂矿田。矿区内主要出露二叠系和三叠系，基岩以白云岩、白云质灰岩为主[15]。区内地质条件复杂，各种地质作用导致多条断裂发育，SN 向的断裂有个旧断裂、甲介山断裂，EW 向的断裂有个松断裂、背阴山断裂，在这 4 条断裂之间夹着五子山复背斜北段。断裂构造可细分为 4 组，按方向具体可分为 EW 向、NW 向、SN 向、NE 向断裂。其中，以近 EW 向和 NE 向为主；NE 向的自西向东主要有莲花山断裂、芦塘坝断裂、麒阿西断裂；NW 向的主要为大箐东断裂、黑码石断裂、驼峰山断裂、阿西寨断裂、麒阿断裂；EW 向的自北而南有个松断裂、麒麟山断裂、马吃水断裂、高阿断裂、背阴山断裂，呈近等距离分布，以个松断裂和背阴山断裂规模较大；SN 向断裂组不发育。整个矿区位于五子山背斜的中北部，其控矿因素也主要是由于上述一级构造（如甲介山断裂、个旧断裂）和二级构造（如背阴山断裂和个松断裂）以及一些主构造衍生发育出来的次级构造所控制（图 1）。本文主要讨论高松矿田（区）在遥感影像解译过程中将这些可以在解译过程中反映出来的线性构造进行解译[16-18]处理并进行线素连接，连接后将其与真实数据进行比对，观察处理后的结果与真实数据的线性相关性并进行分析。

2　线性构造提取及影像处理

在线性构造提取前需要对图像进行预处理，即对图像进行中值滤波处理，消除图像中的大部分噪声，从而避免在后续图像处理过程中噪声对结果的影响。本次对高峰山—松脚地区约 11×8 km 范围内影像进行构造解译、降噪处理，得到处理后的 DEM 影像如图 2 所示。

接下来使用 MATLAB 软件编写程序，将遥感影像的起始坐标和终点坐标输入计算机，并进行线性构造提取，得到线性构造的分布图。对图像中的线性构造进行提取，线性构造的提取采用线段追踪法（STA：Segment Tracing Algorithm）[19]，通过搜索卫星影像值（DN 值）是否连续及连续的方向判定像素的脊谷。线素追踪法包括搜索像素的连续方向，线素判别以及线素的连接工作，通过对研究区域内的每个像素进行搜索、判定，然后进行连接，就可以得到遥感影像线性构造（图 3）；同时我们将所得线性构造的极少数单个线素元进行删除，并将其它

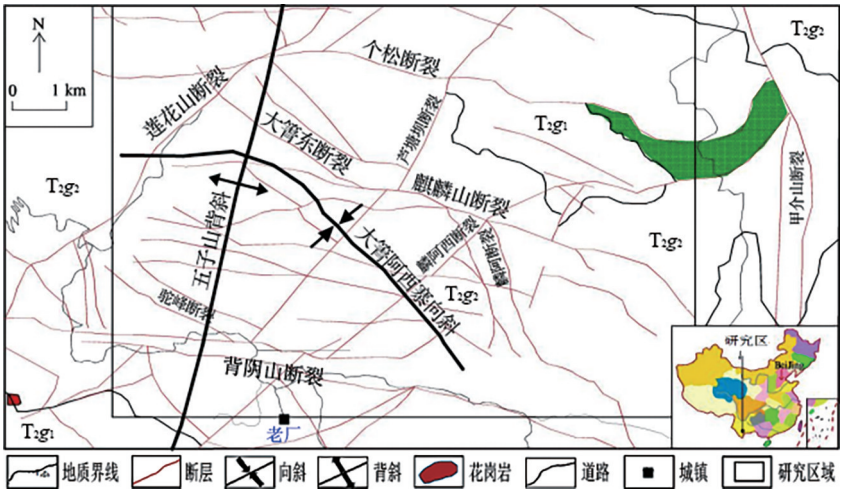

图 1　个旧矿区地质略图

Fig. 1　Geological sketch of Gejiu mining district

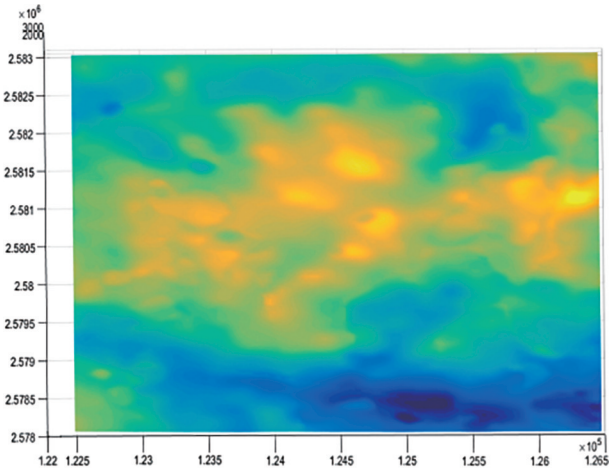

图 2 降噪处理后 DEM 影像图

Fig. 2 The denoising-processed DEM image

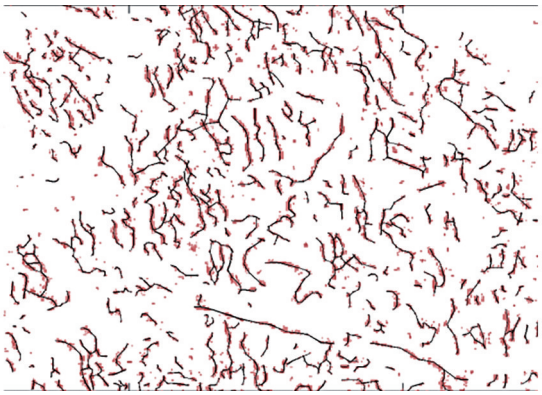

图 3 线性构造提取及连接结果

Fig. 3 Map showing extraction and connection of linear structures

线素按照将线素之间距离小于 0.8 km、角度小于 20°的线素进行连接的标准对所得的线性构造进行连接处理，得到的解译结果如图 4 所示。由图 4 可以看出，线性构造的主要部分分布在矿区中部，但仅凭肉眼只可见得这些线素排列较为混乱，同时其数据的真实和准确性我们也无从得知，为了验证线性构造结果对于个旧矿区断裂解译的准确性，我们将连接后的结果进行提取，得到处理后的线素计算解译结果，如图 5 所示。

经过对线性构造线素的连接，可以清楚地看到每条裂隙的伸展和发育情况，为了验证经过连接后的裂隙长度真实性，我们使用软件对于图中的每条小的裂隙进行一系列的坐标数据提取，从而得出每条裂隙的长度，再对其进行汇总。所得到的裂隙长度分布数据直方图情况如图 6 所示。

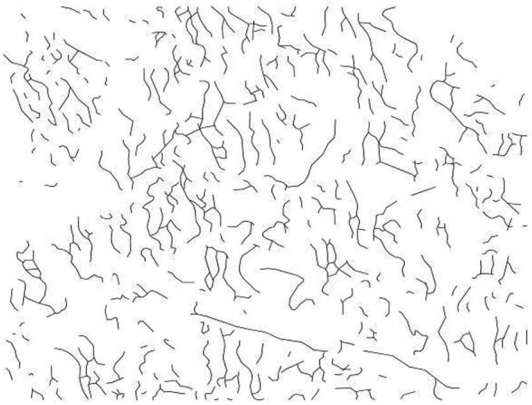

图 4 线性构造连接结果提取

Fig. 4 Extraction of linear structure connection

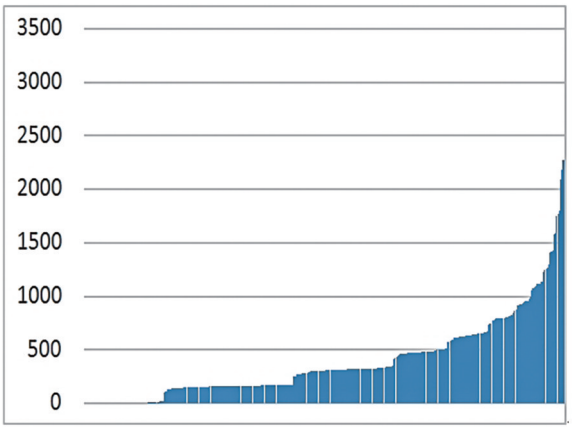

图 5 线素计算解译结果

Fig. 5 Interpretation result of line element calculation

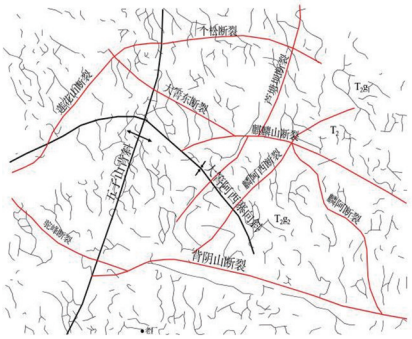

图 6 数据提取后长度分布直方图

Fig. 6 Histogram of the extracted length distribution

3 讨论

由图 6 中大致可以看出连接后的裂隙长度大部

分位于 500 m 以下，这与真实情况较为吻合，这与我们所预测的情况也较为接近。为了进一步验证这一结论，将解译后的线性构造与实测断层[20]进行比较和分析，经过结合实际情况的计算解译，可以看到一些实测断层，包括驼峰断裂、麒麟山断裂、麟阿断裂、个松断裂、莲花山断裂、背阴山断裂和大箐东断裂等都得到了很好的解译。线性构造的线素连接结果往往分布在这些实测断裂的两边，可以从图中清楚地看到各个裂隙的走向和长度，尤其是近 EW 向的断裂，如背阴山断裂，长度大，连续性较好，很好地解译出了此断裂的存在，同时矿区内的 NE 向和 NW 向的线性构造延伸较好，相对而言比较集中。本次较好地解译了芦塘坝断裂、麒麟山断裂、背阴山断裂和大箐东断裂的分布情况，这几条断裂交汇处周围的裂隙都很发育。众所周知，矿脉和矿带一般都产生在裂隙发育的地质体中及其附近，所以线性构造的解译结果越好，对于成矿靶区的预测效果越好。

为了判断解译结果的真实性和准确性，本次将矿区内几处断层解译结果的数据与实测断层的数据进行对比分析。表 1 为矿区内各主要断裂的名称、实测长度、实测走向、提取的断裂长度和断裂走向等数据，将表中实测长度数据和提取长度数据进行汇总对比，得到对比长度与实测长度对比直方图（图 7）；将表中实测走向和提取走向进行玫瑰花图绘制，得到对比走向和实测走向对比玫瑰花图（图 8）。

从图 7、图 8 不难看出，提取的数据与实测数据还是有所差距，有必要对提取数据和实测断层数据进行相关性分析，计算两者之间的相关系数，这里采用 Pearson 简单相关系数来表示。Pearson 相关相关系数的绝对值越大，两者之间的相关性越强，相关系数越接近于 1 和－1，其正相关和负相关性越强，相关系数越接近于 0，相关度越弱。对提取的数据与实测数据进行 Pearson 相关系数计算，得到的结果如表 2 和表 3 所述，两者的相关系数分别为 0.670、0.987，接近于 1；双尾显著性值分别为 0.048 和 0，小于显著水平 0.05 和 0.01。以上表明，两者相关性较强，为强相关性；解译得到的线性构造连接结果与实测数据接近。同时，从表 1 中的走向和长度的提取数据和实测数据也可以看出，除麟阿断裂的走向和个松断裂长度与实测数据有少许出入外，大部分断裂的解译数据都与实测数据相近，这也说明所提取的线性构造对于真实断裂的解译结果完成度较高。

表 1　个旧矿区高松矿田主要断裂产状规模统计结果

Table 1　Result of calculation of occurrence and size of major faults in Gaosong ore field of Gejiu mining district

组	断裂名称	实测走向	实测长度/km	对比走向	对比长度/m
EW 向	个松	N80°E－N80°W	12±	N82°E－N86°W	4520.272654
	麒麟山	N70°－80°W	8	N63°－78°W	6557.172602
	背阴山	N70°－80°W	12	N78°－80°W	11316.84383
NE 向	莲花山	N30°－50°E	8	N22°－44°E	7445.222566
	芦塘坝	N35°－45°E	8	N3°－20°E	7387.625177
	麒阿西	N40°－50°E	5.5	N33°－45°E	5768.734101
NW 向	大箐东	N55°W	3	N52°W	4071.984841
	驼峰山	N55°－60°W	2.5	N50°－61°W	2750.076937
	麒阿	N15°－20°W	3	N23°－31°W	5087.702745

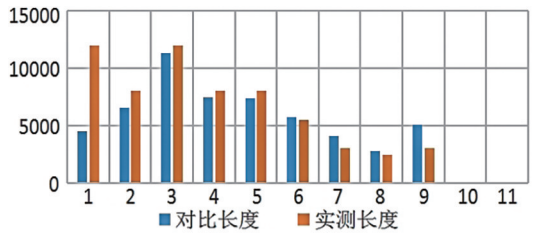

图 7　对比长度与实测长度对比

Fig. 7　Comparison of comparative length and the measured length

表 2　长度 Pearson 相关系数

Table 2　Pearson correlation coefficient of length

		V1	V2
V1	皮尔逊相关性	1	0.670*
	显著性（双尾）		0.048
	个案数	9	9
V2	皮尔逊相关性	0.670*	1
	显著性（双尾）	0.048	
	个案数	9	9

注："*"在 0.05 级别（双尾），相关性显著。

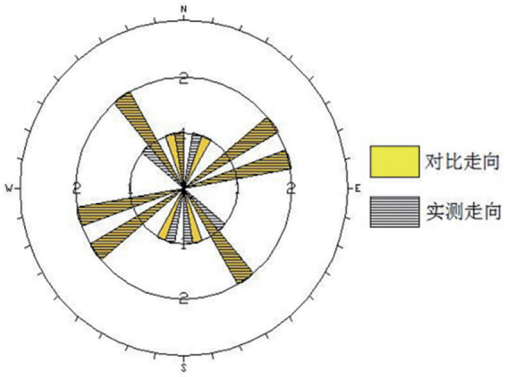

图 8 对比走向和实测走向对比玫瑰花图

Fig. 8 Rose diagram of comparative strike and the measured strike

表 3 走向 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficient of strike

		V1	V2
V1	皮尔逊相关性	1	0.987**
	显著性(双尾)		0
	个案数	9	9
V2	皮尔逊相关性	0.987**	1
	显著性(双尾)	0	
	个案数	9	9

注：** 在 0.01 级别(双尾)，相关性显著。

4 结论

通过个旧高松矿田遥感影像线性构造解译结果和实测断层数据对比，可以得出如下结论：

(1)STA 线段追踪法可以很好地识别出遥感影像上的线性构造，解译结果与实测断层间的吻合程度较高，可以提取出大部分高松矿田主要的线性构造并且从中可看出实测构造的真实情况，其中麒麟山断裂、背阴山断裂、莲花山断裂的长度都比较长，延伸也较好，这与解译得到的结果基本相似。

(2)研究区的东北区影像解译的连接结果并不是很好，个松断裂的部分线性构造并没有被提取出来，部分在进行线素连接时被直接忽略；有些线素连接的结果无法有效地表现出裂隙和断裂之间的联系，一些连接结果还需要人工的修订和改正。同时部分断裂的走向在解译过程中也出现偏差。

(3)遥感影像处理工作中的图像降噪不完善和线性构造提取中的程序参数设定不准确，对于线性构造提取的影响不容小觑。对线素连接之间的连接和联系进行优化，使其可以提高对于裂隙的解译程度；对线性构造提取的程序进一步细化，使其可以提取更多能表达实测断裂的线性构造，这些问题有待于在下一步的工作中逐步完善。

参考文献：

[1] 刘春学，倪春中，燕永峰，等. 基于遥感影像的线性构造自动提取[J]. 遥感技术与应用，2014，29(2)：273－277.

[2] 温兴平. 遥感技术及其地学应用[M]. 北京：科学出版社，2017.

[3] 赵银兵，何政伟，倪忠云，等. 云南省新平县地质灾害与线性构造的相关性研究[J]. 中国地质灾害与防治学报，2009，20(1)：70－73.

[4] 李琳. 福建紫金山 TM 遥感影像线性构造定量分析[J]. 长沙大学学报，2013，27(2)：10－13.

[5] 李攀峰，赵铁虎，齐君，等. 利用遥感数据解译蓬莱地区的主要线性构造[J]. 海洋地质前沿，2014，30(12)：36－40.

[6] 伍楚君. 佛子冲铅锌矿田线性构造的分形特征[J]. 中国矿业，2017，26(S1)：233－236.

[7] 贾三石，王恩德，付建飞，等. 辽西钼多金属矿床遥感影像线性体自动提取及成矿有利度分析[J]. 遥感技术与应用，2009，24(3)：320－324＋253.

[8] 李社，管太阳，曹双林，等. 基于 RS 与分形的下庄矿田线性构造空间特征分析[J]. 遥感学报，2007(4)：493－499.

[9] 赵少杰，钱建平，陈宏毅. 遥感线性构造分形统计和蚀变信息提取在桂东地区金铅锌锡多金属成矿预测中的应用[J]. 大地构造与成矿学，2011，35(3)：364－371.

[10] 雷天赐，崔放，余凤鸣，等. 基于遥感技术的断裂构造分形特征及其地质意义研究：以湘南九嶷山地区为例[J]. 地质论评，2012，58(3)：594－600.

[11] 余勇，钱建平，袁爱平. 高龙金矿区高分辨率遥感线性构造分形特征及综合成矿预测[J]. 矿产与地质，2005(2)：209－213.

[12] 冯佐海，梁金城，张桂林，等. 平桂地区遥感线性构造的分形特征及其地质意义[J]. 地球学报，2002(6)：563－566.

[13] Antonio M C，Angel L C，Adolfo M，et al. LINDENS：A program for lineament length and density analysis [J]. Computers & Geosciences，2000，26(2000)：1011－1022.

[14] 庄永秋，王任重，郑树培，等. 云南个旧锡铜多金属矿床[M]. 北京：地震出版社，1996.

[15] 倪春中，刘春学，张世涛. 从岩石露头裂隙迹线估算裂隙三维空间方向[J]. 石油与天然气地质，2013，34(1)：102－106.

[16] 郭建华，崔金栋，邓吉秋，等. 基于遥感解译的比如盆地油气潜力分析与有利区预测[J]. 遥感技术与应用，2012，27(1)：111－120.

[17] 王今飞. 遥感卫星图像中线性地质特征的自动提取[J]. 第四纪研究，2000，20(3)：252－258.

[18] 魏永明，蔺启忠，王学潮，等. 南水北调西线工程区活动断裂构造遥感研究[J]. 遥感学报，2005，9(5)：616－622.

[19] Koike K，Nagano S，Ohmi M. Lineament Analysis Of Satellite Images Using a Segment Tracing Algorithm(STA) [J]. Computers & Geosciences，1995，21(9)：1091－1104.

[20] 孙绍有. 个旧锡矿高松矿田断裂构造多期活动特征研究[J]. 矿物学报，2004，24(2)：124－128.

Correlation analysis of lineaments of remote sensing images and the measured fractures and faults in Gaosong ore field, Gejiu city, Yunnan province

FAN Jianwei, NI Chunzhong, HAN Xiaodong, YANG Rongshen

(*School of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650093, *China*)

Abstract: Faults and fractures in remote sensing image take form of lineaments due to erosion. Denoising procession is made for remote sensing images of Gaosong ore field. STA(Segment Tracing Algorithm) is adopted to extract linear structure and is connected the line elements then the image interpreted and data extracted. Data extracted are compared with those of the measured faults and fractures and their correlation analyzed. Pearson correlation coefficient of length and strike of fault is 0.67 and 0.987, double tail significance value 0.048 and 0 respectively. The fault length and strike extracted by STA are highly correlated with those of the measured fault. The remote sensing image interpretation reflects real distribution of faults and fractures in the Gejiu mining district. In addition small faults or fracturs at cross point of big faults are interpreted supplying reference for locating further prospecting target. However in image of the Northeast mining district less lineaments occur and length and continuation of Gaosong fault and strike of Lutangba fault are not well interpreted, maybe due to imperfect denoising of the image, inaccurate program parameter set for linear structure extraction and exssesive connection and transition between line elements. In future our work should be focused on solving the problem.

Key Words: Gaosong ore field; linear structure; interpretation of remote sensing image; correlation analysis; Yunnan province