doi: 10.11720/wtyht.2026.1185
宋福生, 马昌威, 王永飞. 土壤地球化学测量在川西南纳尔地区找金效果研究[J]. 物探与化探, 2026, 50(1): 1-11. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1185
Song F S, Ma C W, Wang Y F. Effectiveness of soil geochemical survey for gold prospecting in the Na'er area, south of the Western Sichuan Plateau[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(1): 1-11. https://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1185

土壤地球化学测量在川西南纳尔地区找金效果研究

宋福生, 马昌威, 王永飞
(四川省核地质调查研究所, 四川 成都 610061)

摘 要: 研究区位于川西高原南部, 属半湿润高寒山地浅覆盖区, 地表基岩露头稀少, 水系发育极差。在该类特殊景观区, 土壤地球化学测量方法对隐伏有色金属矿产的勘查具有显著优势。本次研究采用 1∶1 万土壤地球化学测量, 系统划分出 Au-As-Sb、Pb-Zn 及 Bi-Sn 3 类特征元素组合; 通过异常查证, 在研究区内圈定出 1 处具找矿潜力的综合异常区; 结合元素地球化学特征、组合规律及区域成矿背景, 进一步明确了找矿有利靶区。经钻探验证, 共揭露隐伏金矿化体 5 条, 取得显著找矿突破, 充分证明该方法在川西高原浅覆盖区金矿勘查中具有重要应用价值。

关键词: 土壤地球化学测量; 综合异常; 金矿; 纳尔地区; 川西高原
中图分类号: P632;P31 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2026)01-0001-11

0 引言

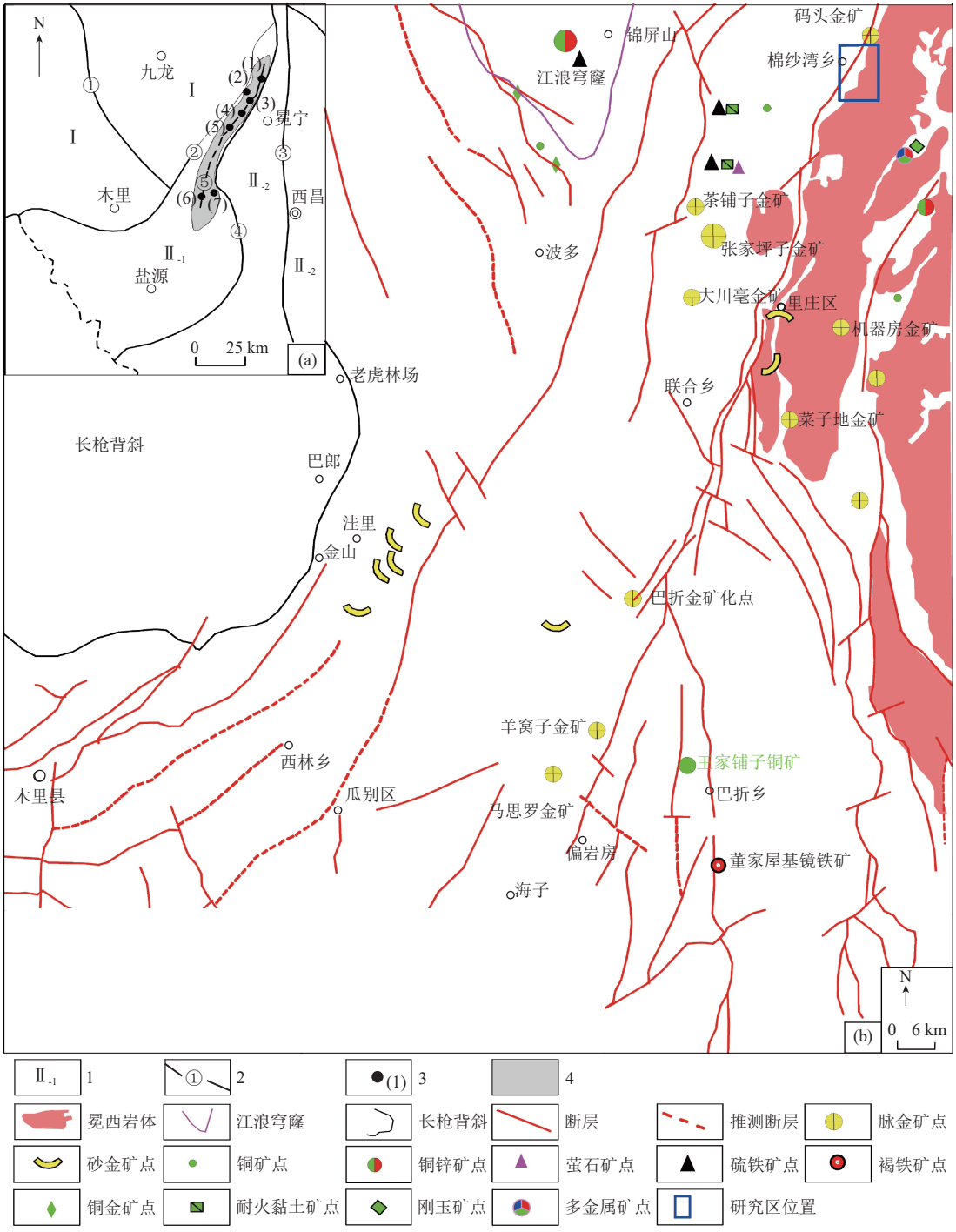
川西南纳尔地区位于扬子板块西南缘龙门山—锦屏山造山带中段, 属锦屏山金矿集区南部[1-5]。该区黄金资源丰富, 自 20 世纪 90 年代以来已发现大量金矿床及矿(化)点, 其空间分布具丛集性特征, 常以 1~2 个大型矿床(点)为核心呈群带状展布[6-13]。典型矿床包括张家坪子金矿、茶铺子金矿及马思罗金矿等, 这些矿床的发现对锦屏山金矿集区金矿勘查具有重要指导意义。前人研究表明, 土壤地球化学测量是矿产勘查的有效技术手段[14-18], 通过表生地球化学方法分析元素次生分散信息, 可间接指示原生矿床[19-23]。2016~2018 年, 四川省地质调查院在纳尔地区开展 1∶5 万水系沉积物测量, 圈定 2 处金异常, 为找矿提供了初步线索, 但由于工作比例尺较小、采样密度不足及测试技术限制, 地球化学数据未能充分揭示深部矿化信息。本次研究在川西南纳尔地区实施 1∶1 万土壤地球化学测量, 通过异常查证确定了找矿有利靶区, 并利用钻探工程揭露 5 条金矿化体, 取得显著找矿成果, 为川西高原浅覆盖区金矿勘查提供了可靠依据。

1 地质背景

川西南纳尔地区位于扬子陆块上扬子古陆块, 横跨盐源—丽江逆冲带与康滇前陆逆冲带, 处于小金河—丽江断裂与金河—程海断裂的夹持区, 属槽—台过渡带(图 1a)[24-25]。受上扬子古陆块与松潘—甘孜地槽两大构造单元相互作用影响, 小金河断裂以东、金河—程海深断裂以西的盐源—丽江逆冲带内, 二叠系中统普遍变质为低绿片岩相—绿片岩相, 且褶皱、断层及节理发育, 岩浆活动强烈。这一复杂的大地构造背景为深部成矿作用提供了有利条件(图 1b)。

区内主要出露地层包括南华系下统苏雄组、泥盆系下统坡脚组、泥盆系中统曲靖组及二叠系上统峨眉山组玄武岩[26](图 2)。其中苏雄组为一套蚀变中酸性火山岩, 形成于南华纪上扬子台地初始裂陷阶段的陆相火山喷发环境; 坡脚组可分为上下两段, 下段以片岩、硅质岩为主, 上段以板岩为主; 曲靖组下段以白云岩和灰岩为主, 上段以板岩为主, 夹少量

收稿日期: 2025-05-25; **修回日期**: 2025-10-31
基金项目: 四川省自然资源厅 2023 年省政府性投资地质勘查采购项目(N5100012023003866); 四川省地质调查研究院 2024 年度科研重大专项项目"四川盐源海子地区金铅锌多金属矿成矿规律及成矿预测"(SCIGS-CZDZX-2024003)
第一作者: 宋福生(1982-), 男, 高级工程师, 毕业于成都理工大学, 主要从事矿产勘查、地球化学勘查及科研工作。Email: 491437298@qq.com



1—构造单元及编号(Ⅰ—松潘-甘孜构造带;Ⅱ—扬子板块;Ⅱ$_{-1}$—盐源-丽江拗陷;Ⅱ$_{-2}$—康滇古陆);2—断裂构造及编号(①—甘孜-理塘断裂;②—小金河断裂;③—金河-菁河断裂;④—安宁河断裂;⑤—茶铺子-巴折脆-韧性断裂);3—金矿及编号((1)—马头金矿;(2)—茶铺子金矿;(3)—张家坪子金矿;(4)—小宝顶金矿;(5)—大川毫金矿;(6)—马思罗金矿;(7)—羊窝子金矿);4—锦屏山金成矿带

1—tectonic units and their numbers(Ⅰ—Songpan-Garzê tectonic belt; Ⅱ—Yangtze plate; Ⅱ$_{-1}$—Yanyuan-Lijiang depression; Ⅱ$_{-2}$—Kangdian old land); 2— fault structures and their numbers(①—Garzê-Litang fault; ②—Xiaojinhe fault; ③—Jinhe-Qinghe fault; ④—Anninghe fault; ⑤—Chapuzi-Bazhe brittle-ductile fault; 3—gold deposits and their numbers((1)—Matou gold deposit; (2)—Chapuzi gold deposit; (3)—Zhangjiapingzi gold deposit; (4)—Xiaobaoding gold deposit; (5)—Dachuanhao gold deposit; (6)—Masiluo gold deposit; (7)—Yangwozi gold deposit); 4—Jinpingshan gold metallogenic belt

图 1　区域大地构造位 (a, 底图据张志斌等[4] 修编**) 及矿产分布(b)**

Fig. 1　Regional tectonic location (a, base map modified from Zhang Zhibin, et al.[4]**) and schematic mineral distribution(b)**

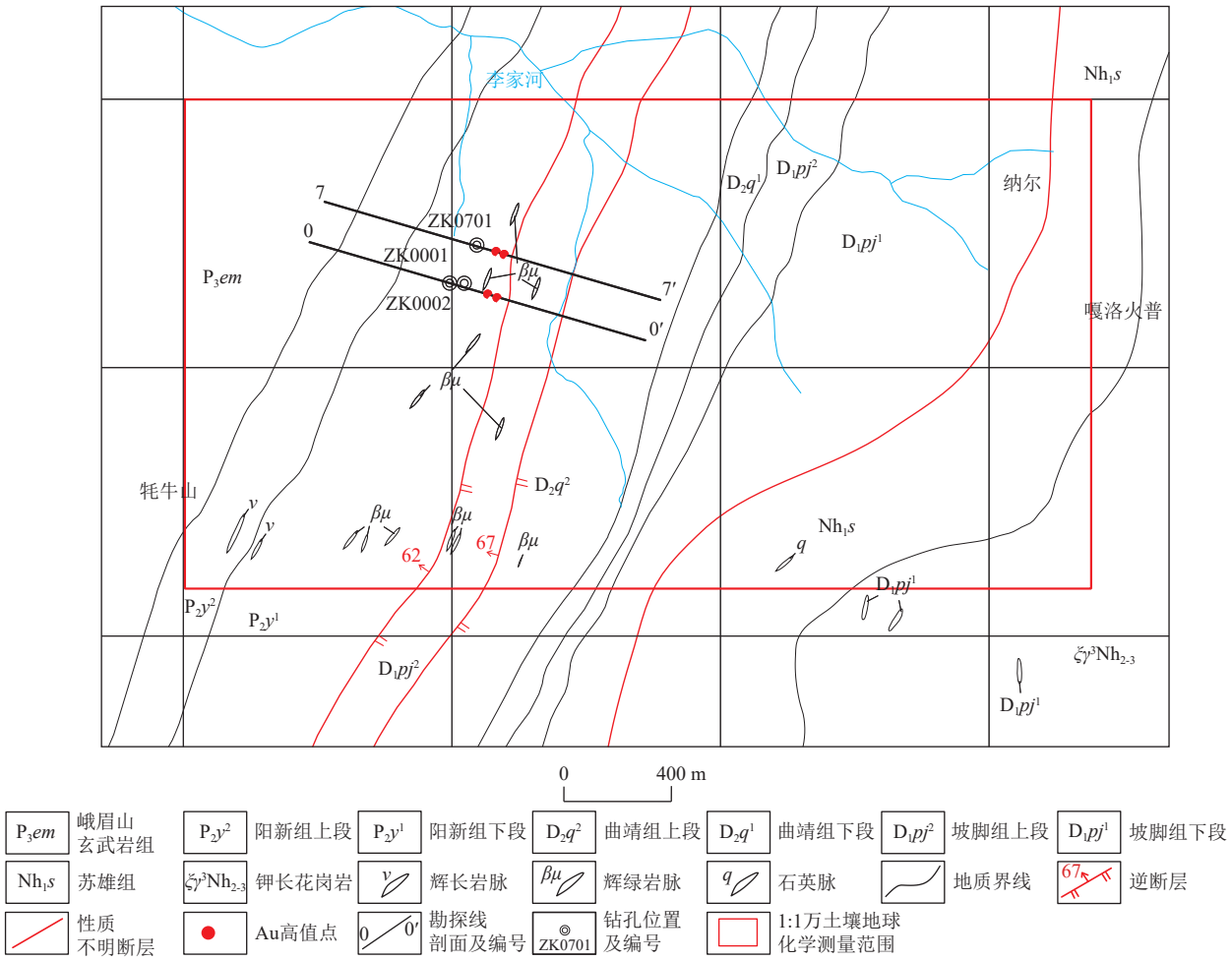


图 2　研究区地质简图

Fig. 2　Simplified geological map of the study area

白云岩, 属浅海台坪相碳酸盐岩沉积环境; 阳新组下段以灰岩为主, 为台地边缘浅滩—台地前缘斜坡相沉积, 上段以板岩为主。

纳尔地区在构造演化上主要受印支期、燕山早期和燕山晚期 3 期构造活动影响[26]。区内断裂以 NE 向为主, EW 向次之; 褶皱构造形态多样, 表现为不同时期、不同动力学环境下形成的背斜和向斜, 其类型复杂且各具特征, 并明显受断裂构造控制。区内岩浆活动频繁, 侵入岩以二长花岗岩为主, 形成于造山期走滑环境; 火山岩以二叠纪玄武岩最为发育, 形成于海陆交互相环境; 岩脉主要为基性辉绿岩和辉长岩, 与区内金矿成矿作用关系密切[3,8]。

2　野外工作方法

2.1　工作方法选择

纳尔地区位于川西高原扬子地台西缘攀西裂谷带北侧, 平均海拔 2 330~3 800 m, 地形高差显著, 地貌类型属龙门山—攀西深切割山区, 气候为半湿润型, 植被发育, 属浅覆盖区域。根据《土壤地球化学测量规范》(DZ/T 0145—2017)技术要求, 参考邻区马头金矿 1∶1 万土壤地球化学测量工作经验, 本次工作采用点距 40 m×线距 100 m 的测网开展土壤地球化学测量。通过土壤样品采集可有效获取地球化学信息, 进而圈定元素次生晕浓集区。为兼顾异常识别效果与样品均匀性(降低金粒效应影响), 采样粒级统一选用-40 目。

2.2　样品采集

本次工作采用 GPS 校正定位, 样品编号采用“剖面编号+点号”格式(如 DH01-01)。根据普查区微地貌特征, 土壤样品主要采集 B 层下部, 局部基岩出露区增采 C 层(基岩上部风化碎石), 采样深度 30~50 cm, 以最大限度保留矿化信息。采样点距在一般区为 40 m, 在矿化蚀变带地段加密至 20 m(图 3), 每个样品由采样点周边 3~5 个子样均匀混合组成组合样, 原始样品质量≥400 g, 确保加工后送测样品质量大于 150 g。采样点采用筷子绑红布条或油漆标记, 便于后期异常查证。研究区共采集土壤样品 405 件

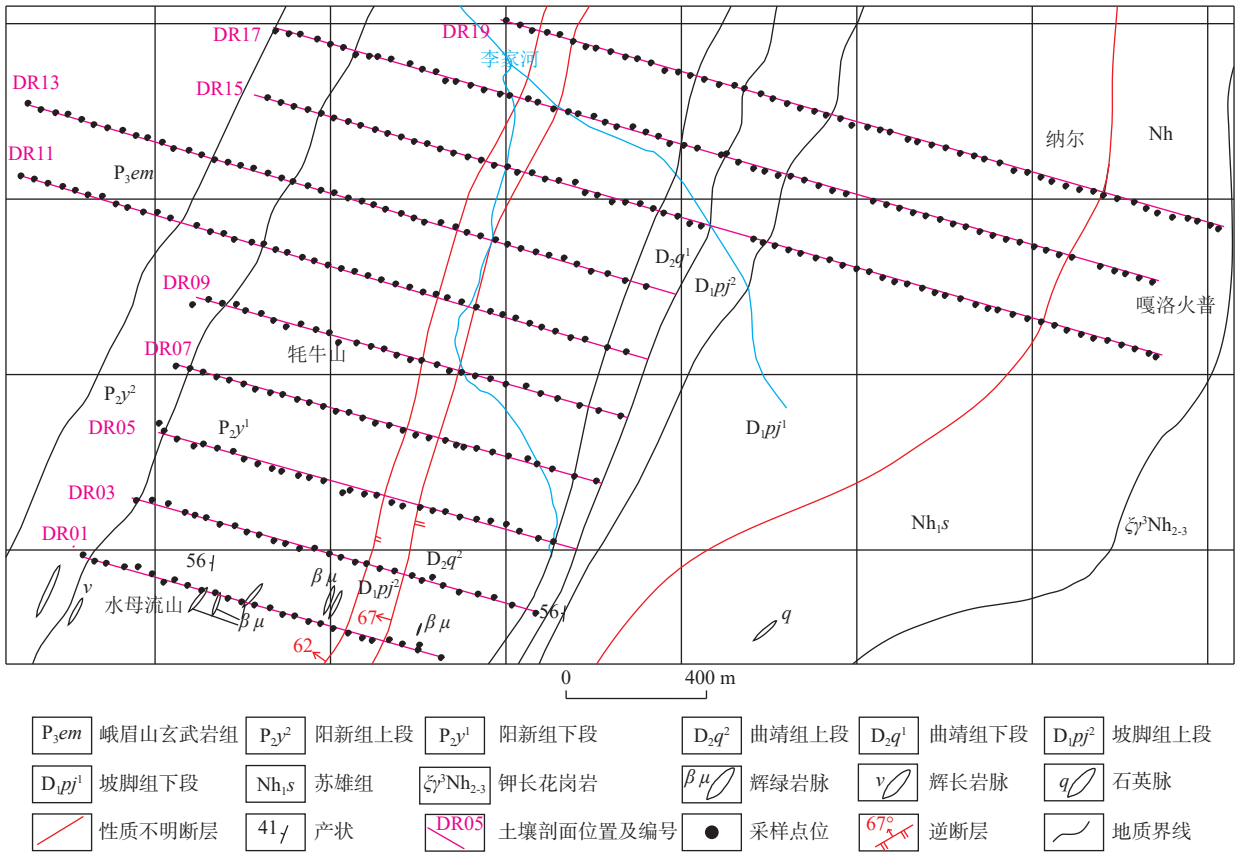


图 3　研究区土壤剖面采样点位图

Fig. 3　Sampling point map of soil profiles in the study area

(含重复样 23 件)。

2.3　样品加工

样品加工由专人负责,采用自然晾晒方式干燥。干燥过程中定期揉搓样品以防止结块,对结块土壤使用木棒轻敲或手工揉碎。样品干燥后,严格核对样品编号、布袋编号及样品数量,确认无误后使用不锈钢筛进行过筛处理,截取-40 目粒级样品。加工过程中保留全部多余样品,统一装入样品袋保存。采用四分法将样品缩分至规定质量后装入纸袋,确保正、副样质量均大于 150 g。为杜绝交叉污染,每完成一个样品的加工后,均彻底清洁加工工具后再处理下一个样品。过筛后检查筛上残留物,确认其质量均小于 1 g。样品加工完成后,分别装入袋中,样品均按分区、格子编号顺序排好,清点无误后顺序装箱,装满后放入送样清单再加盖订牢,并在箱面用毛笔注明样品种类、采样研究区、样品起止编号、箱内样品总数、分箱号、总箱号及送样单位,等待下一步送实验室测试。

2.4　样品测试

样品测试由四川省自然资源实验测试研究中心完成。样品经混合研磨至-200 目(0.074 mm)后,采用等离子体质谱法(ICP-MS)、发射光谱法(ES)、原子荧光光谱法(AFS)等多元素分析方法,分析 Au、Ag、As、Sn、Sb、Hg、Bi、Cu、Pb、Zn 10 种元素。每 50 件样品中密码插入 4 件同类别国家一级标准物质进行随同分析,按 5% 比例抽取样品进行密码内部检查(由不同人员在不同时间完成)。结果显示各元素准确度合格率 100%,精密度合格率 100%,报出率>95.31%,重复分析合格率>95.45%,测试结果满足《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T 0130—2006)要求,分析方法选择合理,数据准确、可靠。

3　地球化学特征

3.1　元素含量统计特征

研究区元素地球化学参数统计结果见表 1。变异系数(C_V)可有效反映元素含量分布的离散程度,其数值大小可作为评价元素成矿潜力的重要指标。统计显示:Au 变异系数达 1.18,表明其在研究区内呈强烈非均匀分布,具有显著成矿潜力;其他元素变异系数介于 0.29~0.85 之间,属弱分异型,显示较低成矿潜力。上述特征表明,研究区 Au 存在明显的局部富集现象,构成有利的地球化学找矿标志,显示该区具有较好的金矿找矿前景。

表 1　研究区各元素参数统计

Table 1　Parameter statistics of each element in study area

元素	平均值($\overline{X}$)	标准离差(S)	变化系数(C_V)	最大值	最小值	浓集克拉克值(C)	异常下限计算值
Ag	0.30	0.26	0.85	2.37	0.01	6.06	0.82
As	9.68	8.12	0.84	317.00	0.10	5.09	25.91
Au	3.53	4.17	1.18	4 236.00	0.10	3.50	11.88
Bi	0.46	0.26	0.57	3.97	0.02	0	0.99
Cu	34.53	24.08	0.70	388.00	1.02	0.91	82.69
Hg	0.15	0.09	0.58	3.67	0	1.90	0.33
Pb	29.74	15.83	0.53	463.00	2.01	1.98	61.40
Sb	1.24	0.95	0.77	38.90	0.18	8.26	3.15
Sn	2.74	0.81	0.29	7.18	0.20	0.67	4.35
Zn	69.84	38.39	0.55	634.00	6.16	0.81	146.63

注: Au含量单位为10^{-9}, 其余为10^{-6}。

3.2　单元素异常特征

3.2.1　元素异常确定

根据 1∶1 万土壤地球化学测量数据, 将全域内各单元素分析数据转换为对数值, 计算其对数平均值和对数标准离差, 剔除离群数据($\overline{X}$±3S 范围外的数据), 再以$\overline{X}$±2S 计算各元素的异常下限, 并转换为真值。研究区内各元素的背景值普遍偏低(见表 2), 仅 Ag、Sn 高于区域背景值。为对比不同地质背景下的元素地球化学特征, 本次参考马头金矿对部分元素异常下限进行了适应性调整, 以便更准确地提取矿化蚀变信息。异常分级依据为异常下限的 1 倍、2 倍和 4 倍值, 分别对应异常的外、中、内 3 级浓度分带, 据此研究区共圈定单元素异常 12 个(异常下限具体取值见表 3)。

3.2.2　单元素异常特征

Au、As、Sb、Pb、Zn、Ag 的高值区主要富集于牦牛山一带, 整体呈 NE—SW 向展布, 与区域构造线及辉绿岩脉走向基本一致, 其空间分布与辉绿岩、大理岩化灰岩、黄铁绢英岩、铅锌矿化白云岩及黄铁矿化白云岩的露头位置高度吻合(图 4、图 5)。Cu 的高值区主要分布于西部玄武岩区(图 4、图 5)。Sn、Bi 异常则主要富集于东部石英片岩区(图 5), 整体分布相对分散, 但仍与石英片岩、火山岩的展布及区域构造线延伸方向一致, 高值点与石英片岩及火山岩露头的吻合度较高。

综上, 高值点分布特征显示: Au、As、Sb 高值区与地层、构造及辉绿岩脉密切相关; Pb、Zn、Ag 高值区主要受地层和构造控制; Cu、Sn、Bi 高值区则与火山岩及构造关系显著; 这一分布规律客观反映了研究区地球化学场的特征。

表 2　研究区元素背景值统计

Table 2　Statistics of element background values in the study area

元素	地壳丰度[27]	川西地区背景值[25]	邻区背景值(马头金矿)[28]	研究区背景值($\overline{X}$)	K_1	K_2	K_3
Ag	0.88	0.24	0.662	0.30	3.75	1.25	0.45
As	2.2	21.23	29.2	9.68	4.40	0.46	0.33
Au	3.5	6.55	7.6	3.53	1.01	0.54	0.46
Bi	0.17	0.66	0.49	0.46	2.71	0.70	0.94
Cu	63	136.55	70	34.53	0.55	0.25	0.49
Hg	0.089	0.19	0.179	0.15	1.69	0.79	0.84
Pb	12	97.75	34.7	29.74	2.48	0.30	0.86
Sb	0.6	1.86	3.8	1.24	2.07	0.67	0.33
Sn	1.3	1.6	2.6	2.74	2.11	1.71	1.05
Zn	95	158.62	115.4	69.84	0.74	0.44	0.61

注: Au含量单位为10^{-9}, 其余为10^{-6}; K_1为研究区背景值/地壳丰度, K_2为研究区背景值/川西地区背景值, K_3为研究区背景值/邻区背景值。

表 3　单元素异常特征统计

Table 3　Statistics of single-element anomaly characteristics

元素	异常下限计算值	异常下限使用值	异常数量	异常浓度带		
				外带	中带	内带
Ag	0.82	0.56	1	0.56	1.12	2.24
As	25.91	25.5	1	25.5	51	102
Au	11.88	32	2	32	64	128
Bi	0.99	1.3	2	1.3	2.6	5.2
Cu	82.69	60	1	60	120	240
Hg	0.33	0.26	1	0.26	0.52	1.04
Pb	61.40	52	1	52	104	208
Sb	3.15	4	1	4	8	16
Sn	4.35	3.5	1	3.5	7	14
Zn	146.63	104	1	104	208	416

注: Au含量单位为10^{-9}, 其余为10^{-6}。

3.3　元素组合特征

元素组合特征对确定地球化学找矿指示元素具有十分重要的意义[29-30]。基于研究区 10 种元素的测试数据, 采用 R 型聚类分析方法(图 6)进行元素组合划分。当相似性阈值取 0.2 时, 成矿元素可划分为 3 个特征簇群: 高温元素组合(Bi-Sn), 组内相关系数为 0.23, 代表热液成矿系统的尾晕元素; 中温元素组合(Pb-Zn), 组内相关系数为 0.76, 反映热液作用

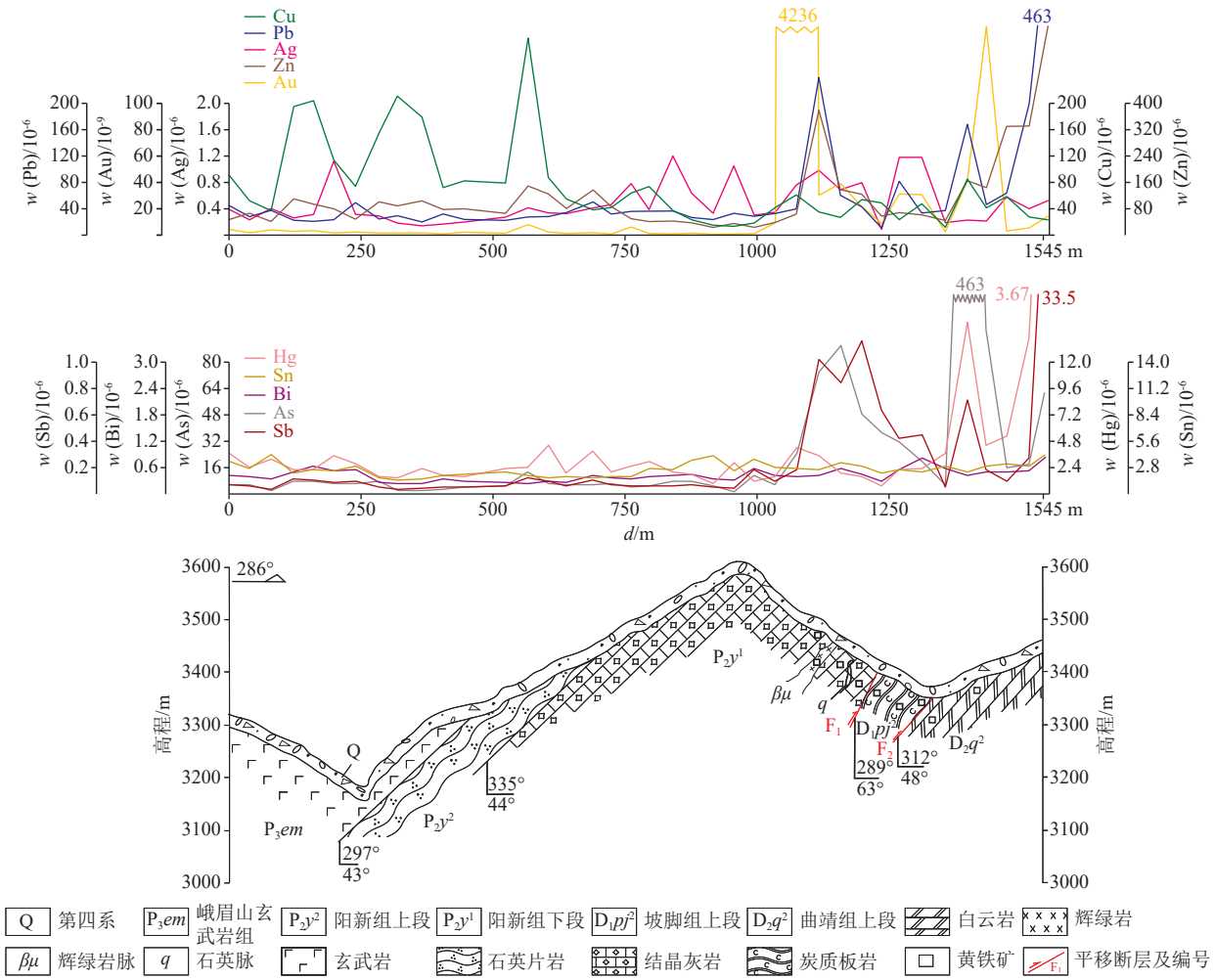


图 4　DR11 实测地球化学综合剖面

Fig. 4　Comprehensive geochemical profile of DR11 measured section

的近矿晕，与 Bi-Sn 组合相关性为 0.23（相关性弱）；低温元素组合（As-Sb），组内相关系数为 0.62，指示热液体系的前缘晕，与 Pb-Zn 组合相关性为 0.51（中等相关性）。

3.4　综合异常特征

3.4.1　综合异常圈定

根据主成矿元素异常特征、地质成矿条件、地球化学图及元素相关性分析，结合元素组合规律和元素间共生关系，圈定综合异常。具体方法为：在组合异常图上采用透绘法，依据各元素异常的空间叠置关系及单元素分带特征，确定综合异常范围。全区共圈定 1 个综合异常，编号为 AP-1（图 5）。

3.4.2　异常评述

AP-1 异常呈南北向椭圆状展布，面积较大，异常强度较高，具有套合好、浓集中心明显等特征。该异常由 Au、As、Ag、Sb、Pb、Zn 等单元素异常组成，各元素异常套合良好，Au 浓集中心明显，浓度分带特征较好（图 7）。主成矿元素中，Au 峰值为 160.37×10^{-9}，平均值 49.59×10^{-9}，衬值 1.55，异常规模 17.83，具 3 级浓度分带；As 峰值为 42.51×10^{-6}，衬值 1.19，具 1 级浓度分带；Sb 峰值为 7.89×10^{-6}，衬值 1.24，具 1 级浓度分带；Ag 峰值为 0.79×10^{-6}，衬值 1.12，具 1 级浓度分带；Pb 峰值为 83×10^{-6}，衬值 1.17，具 1 级浓度分带；Zn 峰值为 158.17×10^{-6}，衬值 1.14，具 1 级浓度分带（表 4）。

该异常区主要出露地层包括二叠系中统阳新组（P_2y）、泥盆系中统曲靖组（D_2q）、泥盆系下统坡脚组（D_1pj），外围出露南华系下统苏雄组（Nh_1s）。阳新组上段（P_2y^2）岩性以灰绿色绢云绿泥石英片岩、褐色云母石英片岩为主，阳新组下段（P_2y^1）以浅灰绿色薄层状结晶灰岩、浅灰色中—厚层状白云质灰岩、灰黑色厚—中层状含燧石细晶灰岩、灰色中—薄层状细晶生物碎屑灰岩为主；曲靖组上段（D_2q^2）岩性以灰岩夹炭质板岩、硅质板岩、钙质绢云板岩、灰质白云岩为主，曲靖组下段（D_2q^1）岩性以灰白色薄—中层状泥晶白云岩、灰色中—厚层状灰质白云岩、灰色中层

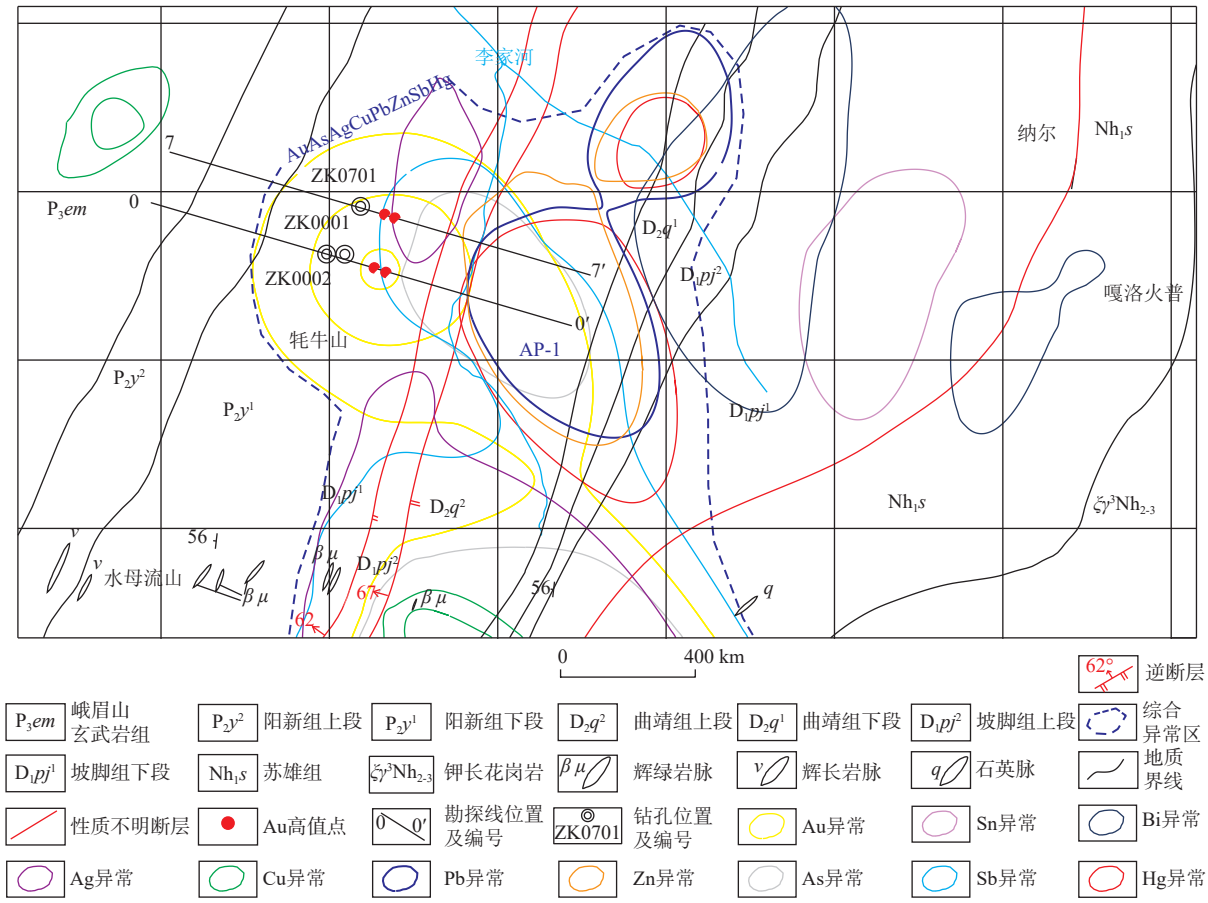


图 5　研究区综合异常分布

Fig. 5　Comprehensive anomaly map of the study area

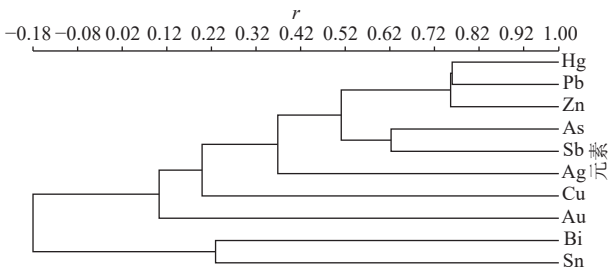


图 6　研究区各元素 R 型聚类分析

Fig. 6　R-type cluster analysis of each element in study area

状条带状灰岩为主; 坡脚组上段(D_1pj^2)岩性以灰黑色薄层状炭质板岩, 灰色薄层状硅质板岩为主, 坡脚组下段(D_1pj^1)岩性以灰色薄层状黑云石英片岩、灰白色硅质岩为主。Au 主成矿元素异常主要分布于阳新组上段(P_2y^2)和坡脚组上段(D_1pj^2)地层中, 蚀变灰岩中可见黄铁矿化, 并发育较强的硅化、绢云母化及次生褐铁矿化、孔雀石化。该异常展布方向与构造破碎带及辉绿岩脉的空间分布基本一致。

4　找矿效果

通过对 AP-1 异常高值区开展钻探工程验证(图 5), 在研究区内共圈定金矿化体 5 条(图 8), 其特征分述如下。

Ⅰ号矿化体: 产于中二叠统阳新组下段(P_2y^1)黄铁矿化蚀变灰岩中, 呈似层状产出。控制走向长 240 m, 倾向延伸 80 m, 厚度 0.65～0.85 m, 平均厚 0.75 m; 金品位 0.58～0.77 g/t, 平均品位 0.69 g/t。矿石为黄铁矿化蚀变灰岩, 可见浸染状、星点状黄铁矿, 局部见石英脉、方解石脉沿节理或裂隙穿插, 矿石碳酸盐化、硅化强烈。顶板为灰岩, 底板为辉绿岩。

Ⅱ号矿化体: 产于中二叠统阳新组下段(P_2y^1)黄铁矿化蚀变灰岩中, 呈似层状产出。控制走向长 240 m, 倾向延伸 80 m, 厚度 0.71～1.90 m, 平均厚 1.31 m; 金品位 0.62～2.69 g/t, 平均品位 2.13 g/t。矿石特征与Ⅰ号矿化体相似, 黄铁矿呈浸染状、星点状分布, 局部见石英脉、方解石脉穿插, 矿石碳酸盐化、硅化、绢云母化强烈。顶板为辉绿岩, 底板为灰岩。

Ⅲ号矿化体: 产于中二叠统阳新组下段(P_2y^1)黄铁矿化蚀变灰岩中, 呈透镜状产出。控制走向长 80 m, 倾向延伸 80 m, 厚度 1.35 m, 金品位 0.76 g/t。矿石中见星点状黄铁矿, 碳酸盐化、硅化发育。顶底板均为辉绿岩。

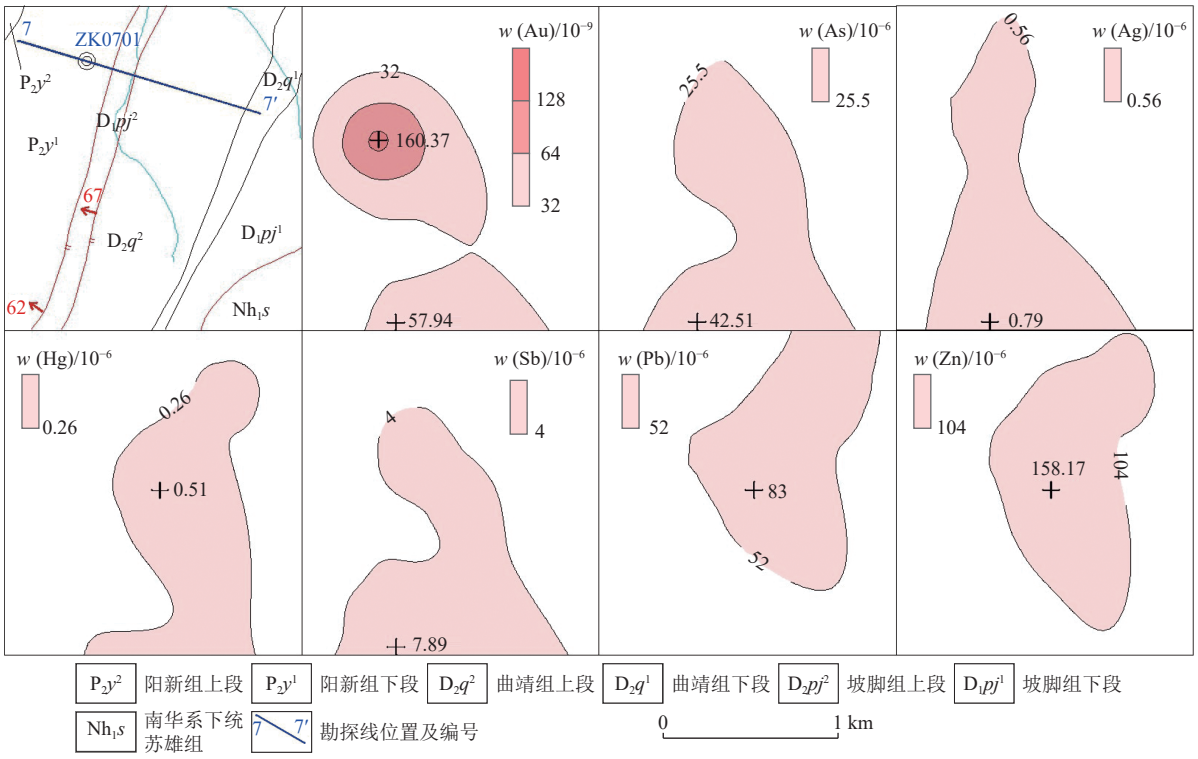


图 7　AP-1 综合异常剖析

Fig. 7　Comprehensive anomaly analysis of AP-1

表 4　AP-1 综合异常特征参数统计

Table 4　Statistic of AP-1 comprehensive abnormal characteristic parameters

元素	异常点数	异常下限	面积/km²	平均值	峰值	衬度	异常规模	异常NAP	浓度分带
Ag	41	0.56	1.019	0.63	0.79	1.12	0.07	1.14	外
As	50	25.5	1.002	30.23	42.51	1.19	4.74	1.19	外
Au	42	32	1.014	49.59	160.37	1.55	17.83	1.57	外、中、内
Hg	30	0.26	1.047	0.31	0.51	1.19	0.05	1.25	外
Pb	38	52	0.975	60.78	83.00	1.17	8.56	1.14	外
Sb	59	4	0.981	4.97	7.89	1.24	0.95	1.22	外
Zn	33	104	0.998	118.51	158.17	1.14	14.49	1.14	外

注: Au含量单位为10^{-9}, 其余元素为10^{-6}。

Ⅳ号矿化体: 产于中二叠统阳新组下段(P_2y^1)黄铁矿化蚀变灰岩中, 呈透镜状产出。控制走向长 80 m, 倾向延伸 80 m, 厚度 0.48 m, 金品位 0.57 g/t。矿石中见星点状黄铁矿化及网状交叉石英脉, 碳酸盐化、硅化强烈。顶底板均为辉绿岩。

Ⅴ号矿化体: 产于中二叠统阳新组下段(P_2y^1)黄铁矿化蚀变灰岩中, 呈透镜状产出。控制走向长 80 m, 倾向延伸 80 m, 厚度 0.45 m, 金品位 0.80 g/t。矿石中见星点状黄铁矿, 碳酸盐化、硅化较强烈。顶板为辉绿岩, 底板为灰岩。

综述, 研究区化探异常规模较大, 浓集中心明显, 浓度分带清晰, 主成矿元素高值区与矿化体空间位置吻合。通过钻探验证, 共圈定金矿化体 5 条, 显示该区具有较好的金矿找矿潜力。

5　结论

1)研究区 Au 的变异系数为 1.18, 表明 Au 分布不均匀, 呈极强分异特征, 存在局部富集成矿的可能性, 显示该区具有较好的找金矿潜力。

2)在研究区圈定化探异常 1 处, 发现金矿化体 5 条, 取得了良好的找矿效果。

3)在川西高原浅覆盖区开展 1∶1 万土壤地球化学测量, 能够有效反映 Au 的地球化学背景与成矿特征, 为找矿工作提供重要标志, 表明该方法在川西高原浅覆盖区是一种有效的勘查技术手段。

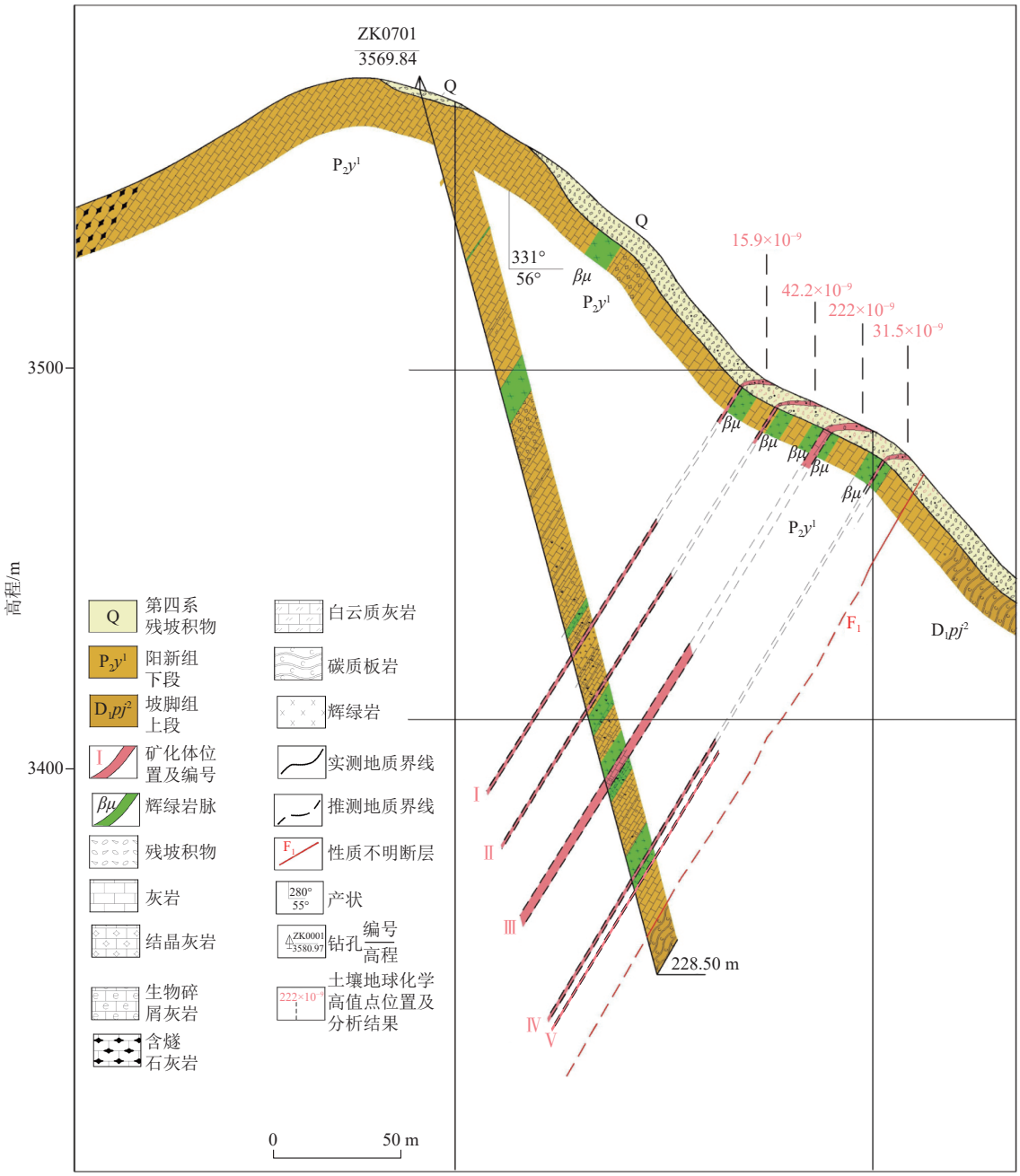


图 8　7 号勘探线上金矿化体空间位置关系示意

Fig. 8　Schematic diagram of the spatial positional relationships of gold mineralization bodies along exploration line 7

参考文献(References):

[1] 李晓峰. 扬子地台西缘金矿成矿流体地球化学 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2003.
Li X F. Geochemistry of ore-forming fluids in gold deposits on the western margin of the Yangtze Platform [D]. Beijing:Chinese Academy of Geological Sciences, 2003.

[2] 王小春. 川西地区金矿的类型与分布规律 [J]. 地质与勘探, 2000, 36(1): 20−22, 25.
Wang X C. Types and distribution patterns of gold deposits in western Sichuan region[J]. Geology and Exploration, 2000, 36(1): 20−22, 25.

[3] 骆耀南, 俞如龙, 侯立玮, 等. 龙门山—锦屏山陆内造山带 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998.
Luo Y N, Yu R L, Hou L W, et al. Longmenshan-Jinpingshan intracontinental orogenic belt [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1998.

[4] 张志斌, 程万华, 康亚龙, 等. 四川锦屏山地区金矿床的成矿机理和成因探讨 [J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(3): 94−100.
Zhang Z B, Chen W H, Kang Y L, et al. Metallogenic mechanism and genesis of gold deposits in the Jinpingshan area, Sichuan Province[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2013, 33(3): 94−100.

[5] 邱正杰, 范宏瑞, 丛培章, 等. 造山型金矿床成矿过程研究进展 [J]. 矿床地质, 2015, 34(1): 21−38.
Qiu Z J, Fan H R, Cong P Z, et al. Research progress on metallogenic processes of orogenic gold deposits[J]. Mineral Deposits,

2015, 34(1): 21−38.

[6] 包小强. 张家坪子金矿床成矿机制及矿化富集特征 [D]. 成都: 成都理工大学, 2016.
Bao X Q. Metallogenic mechanism and mineralization enrichment characteristics of the Zhangjiapingzi gold deposit[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2016.

[7] 龚彬. 四川马思罗金矿地质特征及找矿方向 [J]. 现代矿业, 2011(11): 53−55, 67.
Gong B. Geological characteristics and prospecting direction of the Masiluo gold deposit in Sichuan[J]. Modern Mining, 2011(11): 53−55, 67.

[8] 魏宇, 李俊俊, 柳维, 等. 四川冕宁县马头金矿成矿特征与找矿潜力分析 [J]. 地质找矿论丛, 2021, 36(4): 406−415.
Wei Y, Li J J, Liu W, et al. Metallogenic characteristics and prospecting potential analysis of Matou gold deposit in Mianning County, Sichuan Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2021, 36(4): 406−415.

[9] 王高明. 四川茶铺子金矿床成因探讨及冕宁西部岩金矿床统计预测 [D]. 成都: 成都理工大学, 1989.
Wang G M. Genetic study of the Chapuzi gold deposit in Sichuan and statistical prediction for lode gold deposits in western Mianning [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 1989.

[10] 李生. 四川锦屏山地区金矿矿源层及成矿模式 [J]. 沉积与特提斯地质, 2001, 21(3): 48−59.
Li S. Source beds and metallogenic model of gold deposits in Jinpingshan area, Sichuan Province[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2001, 21(3): 48−59.

[11] 罗光兴, 谭显强. 张家坪子金矿成矿物质来源及找矿方向探讨 [J]. 四川地质学报, 2013, 33(S1): 7−12.
Luo G X, Tan X Q. Discussion on the material source and prospecting direction of the Zhangjiapingzi gold deposit[J]. Acta Geologica Sichuan, 2013, 33(S1): 7−12.

[12] 傅小方, 侯立玮. 扬子地台西缘韧性剪切带金矿床的分类和控矿因素 [G]//骆耀南.扬子地台西南缘陆内造山带地质与矿产论文集. 成都: 四川科学技术出版社, 1996: 138-147.
Fu X F, Hou L W . Classification and ore-controlling factors of gold deposits in ductile shear zones at the western margin of Yangtze Platform[G]//Luo Y N. Proceedings on Geology and Mineral Resources of Intracontinental Orogenic Belt at the Southwestern Margin of Yangtze Platform. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1996: 138-147.

[13] 刘昭惠. 四川平武、茶铺子地区含金铁质碳酸盐岩体地质特征 [J]. 矿物岩石, 1989, 9(3): 81−86.
Liu Z H. Geological characteristics of gold-bearing ferruginous carbonate rock bodies in Pingwu and Chapuzi areas, Sichuan Province [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1989, 9(3): 81−86.

[14] 龙天祥, 李文辉, 杨爱平, 等. 土壤地球化学测量发展历程与进展 [J]. 云南地质, 2021, 40(1): 104−110.
Long T X, Li W H, Yang A P, et al. Development history and progress of soil geochemical survey[J]. Yunnan Geology, 2021, 40(1): 104−110.

[15] 杨少平, 弓秋丽, 文志刚, 等. 地球化学勘查新技术应用研究 [J]. 地质学报, 2011, 85(11): 1844−1877.
Yang S P, Gong Q L, Wen Z G, et al. Application research of new geochemical exploration technologies[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1844−1877.

[16] 王学求. 勘查地球化学 80 年来重大事件回顾 [J]. 中国地质, 2013, 40(1): 322−330.
Wang X Q. Review of major events in exploration geochemistry over the past 80 years[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 322−330.

[17] 张必敏, 王学求, 贺灵, 等. 内蒙古半干旱草原区隐伏矿地球化学勘查方法试验 [J]. 物探与化探, 2013, 37(5): 804−810.
Zhang B M, Wang X Q, He L, et al. Geochemical exploration methods test for concealed deposits in semi-arid grassland area of Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2013, 37(5): 804−810.

[18] 李腾飞, 李进, 刘永红, 等. 土壤地球化学测量在陕西石泉县迎丰地区金矿勘查中的应用 [J]. 黄金, 2024, 45(9): 81−86.
Li T F, Li J, Liu Y H, et al. Application of soil geochemical survey in gold exploration in Yingfeng area, Shiquan County, Shaanxi Province[J]. Gold, 2024, 45(9): 81−86.

[19] 王秋印, 程华生, 朱梅花, 等. 土壤地球化学测量在内蒙古东乌旗查干楚鲁银铅锌多金属矿区的找矿效果 [J]. 物探与化探, 2009, 33(6): 652−656.
Wang Q Y, Cheng H S, Zhu M H, et al. Prospecting effectiveness of soil geochemical survey in the Chaganchulu silver-lead-zinc polymetallic mining district, Dongwu Banner, Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2009, 33(6): 652−656.

[20] 刘述敏, 王帅, 纪仁忠, 等. 内蒙古东乌旗霍布仁布敦银矿区土壤地球化学特征及异常评价 [J]. 物探与化探, 2015, 39(2): 222−227.
Liu S M, Wang S, Ji R Z, et al. Soil geochemical characteristics and anomaly evaluation in the Huoburenbudun silver mining district, Dongwu Banner, Inner Mongolia[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(2): 222−227.

[21] 王戈, 孙忠军, 吴荣高, 等. 得耳布尔铅锌矿土壤表生地球化学特征 [J]. 物探与化探, 2010, 34(2): 30−33.
Wang G, Sun Z J, Wu R G, et al. Supergene geochemical characteristics of soils in the Derbur lead-zinc deposit[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(2): 30−33.

[22] 宋福生, 邓伟. 青海省西确涌地区地球化学特征 [J]. 四川地质学报, 2022, 42(2): 288−295.
Song F S, Deng W. Geochemical characteristics of the Xiqueyong area, Qinghai Province[J]. Acta Geologica Sichuan, 2022, 42(2): 288−295.

[23] 吕军, 王建民, 王洪波, 等. 土壤地球化学测量在三道湾子金矿床的应用 [J]. 物探与化探, 2005, 29(6): 515−518.
Lyu J, Wang J M, Wang H B, et al. Application of soil geochemical survey in the Sandaowanzi gold deposit[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 29(6): 515−518.

[24] 骆耀南, 俞如龙, 候立玮, 等. 龙门山-锦屏山陆内造山带 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998.
Luo Y N, Yu R L, Hou L W, et al. Longmenshan-Jinpingshan intracontinental orogenic belt[M]. Sichuan Science and Technology Press, 1998.

[25] 程建康, 李红兵, 唐中兵, 等. 四川省 1∶5 万 H47E021024、锦屏乡(H47E022024) 区域地质调查 [R]. 成都: 四川省地质矿产勘查开发局四〇五地质队,2019.
Cheng J K, Li H B, Tang Z B, et al. 1∶50, 000 regional geological

survey of H47E021024 and Jinpingxiang（H47E022024）in Sichuan Province [R]. Chengdu: 405 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development,2019.

[26] 邓伟, 宋福生, 马昌威, 等. 四川省冕宁县纳尔稀土 Y 多金属矿普查报告 [R]. 成都: 四川省核地质调查研究所,2024.
Deng W, Song F S, Ma C W, et al. Prospecting report on the Na'erxi rare earth Y polymetallic ore deposit in Mianning County, Sichuan Province [R]. Chengdu: Sichuan Institute of Nuclear Geology Survey, 2024.

[27] 黎彤. 大洋地壳和大陆地壳的元素丰度 [J]. 大地构造与成矿学, 1984(1): 23−31.
Li T. Element abundances in oceanic and continental crusts[J]. Geotectonica et Metallogenia, 1984(1): 23−31.

[28] 李俊俊, 魏宇, 张庆松, 等. 四川马头金矿区土壤地球化学测量异常特征及找矿模型 [J]. 物探与化探, 2023, 47(2): 309−320.
Li J J, Wei Y, Zhang Q S, et al. Anomaly characteristics and prospecting model of soil geochemical survey in the Matou gold deposit area, Sichuan Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(2): 309−320.

[29] 庞贵熙. 四川几类金矿的元素组合、异常特征及化探找金工作方法试验与讨论 [J]. 黄金地质参考资料, 1984(S1): 162−171.
Pang G X. Experiment and discussion on element combination, anomaly characteristics and geochemical prospecting method of several gold deposits in Sichuan[J].Gold Geological Reference, 1984(S1): 162−171.

[30] 晁会霞, 杨兴科, 姚卫华, 等. 新疆梧南金矿元素组合特征及地质意义 [J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(4): 20−24.
Chao H X, Yang X K, Yao W H, et al. Element assemblages of Wunan gold deposit in Xinjiang and their geological significance[J]. Journal of Earth Science and Environment, 2008, 30(4): 20−24.

Effectiveness of soil geochemical survey for gold prospecting in the Na'er area, south of the Western Sichuan Plateau

SONG Fu-Sheng, MA Chang-Wei, WANG Yong-Fei
（*Sichuan Institute of Nuclear Geological Survey*, *Chengdu* 610061, *China*）

Abstract: The study area, a semi-humid alpine mountainous area, is located in the south of the Western Sichuan Plateau. It is characterized by shallow overburden, sparse bedrock outcrops on the surface, and undeveloped drainage systems. Under such a unique landscape, the soil geochemical survey demonstrates significant advantages for the exploration of concealed non-ferrous metal minerals. This study, through 1∶10,000 soil geochemical surveys, systematically identified three element assemblages: gold-arsenic-antimony (Au-As-Sb), lead-zinc (Pb-Zn), and bismuth-tin (Bi-Sn). Through follow-up geochemical surveys, it delineated a composite anomaly zone with high prospecting potential within the study area. A prospecting target was further identified in combination with the geochemical characteristics of elements, element assemblage patterns, and regional metallogenic background. This study revealed a total of five concealed gold orebodies, which were verified by drilling engineering, marking a significant breakthrough in mineral exploration. This fully demonstrates the application potential of this method for gold exploration in shallow overburden areas within the Western Sichuan Plateau.

Key words: soil geochemical survey; integrated geochemical anomaly; gold ore; Na'er region; Western Sichuan Plateau

（本文编辑: 蒋实）