

# 卡鲁安伟晶岩锂矿的地气场特征及找矿意义

杨吉成, 周四春, 刘晓辉, 胡波

(成都理工大学核技术与自动化工程学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 在伟晶岩锂矿勘查中,为了解决常规物探方法由于矿体与围岩差异不显著、应用效果不佳、化探法对隐伏锂矿效果不明显的问题,以新疆卡鲁安伟晶岩锂矿为研究区,布置了两条总长6 605 m的地气研究剖面,完成了191个测点的国内外首例地气测量勘查伟晶岩锂矿研究工作,每个测点获得Li、Rb、Be、Cs、Nb、Y等39种元素的含量,据此研究了卡鲁安研究区伟晶岩锂矿的地气异常特征。结果表明,在伟晶岩锂矿脉的倾斜方向一侧,均能捕获包含Li、Rb、Be、Cs、Nb、Y等多种元素的显著地气异常;在无矿(化)伟晶岩上方,Rb元素的地气异常幅度会增大,其它元素异常幅度则明显变小,Be不出现地气异常;其它岩性上方,没有地气异常出现。研究证实了地气法对寻找伟晶岩锂矿是准确、有效的,对在伟晶岩锂矿勘查中应用地气法找矿提供了理论参考和技术支持。

**关键词:** 地气测量;伟晶岩锂矿;异常特征;卡鲁安;新疆

中图分类号: P618.71; P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2019)04-0570-09

## Geogas field characteristics of the Kalu'an pegmatite lithium deposit and its prospecting significance

YANG Ji-cheng, ZHOU Si-chun, LIU Xiao-hui and HU Bo

(College of Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** In conventional geophysical exploration method for pegmatite lithium mineral exploration, there exist the problems that the difference between the orebody and the surrounding rock is not significant, the application effect is poor, and the geochemical exploration method has no obvious effect on the concealed lithium deposit. In view of such a situation, the authors investigated the technical problems related to the application of geogas method in the exploration of pegmatite lithium deposits. With Kalu'an in Xinjiang as the study area, the authors deployed two geogas research sections with a total length of 6 605 m, and completed the case study of pegmatite lithium deposits with 191 measuring points, which was performed for the first time both in China and abroad. The values of 39 elements such as Li, Rb, Be, Cs, Nb, and Y were determined. On such a basis, the characteristics of geogas anomalies in the Kaluan pegmatite lithium deposit were studied. The results show that significant gas anomalies containing Li, Rb, Be, Cs, Nb, Y, and other elements can be captured on the tilted side of the pegmatite lithium veins, that, above the barren pegmatite, the abnormal amplitude of geogas in Rb element will increase, and the anomaly amplitude of other elements will obviously decrease, with no gas anomaly, and that, in other lithologies, there is no abnormal geogas. It is confirmed that the geogas method is accurate and effective in the search for pegmatite lithium deposits.

**Key words:** geogas prospecting; pegmatite lithium mine; abnormal characteristics; Kalu'an; Xinjiang

收稿日期: 2018-09-03; 接受日期: 2019-04-19; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0602700); 国家自然科学基金项目(41074094)

作者简介: 杨吉成(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事核勘查仪器与探测技术研究; 通讯作者: 周四春(1954-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事核勘查仪器与探测技术研究, E-mail: zsc@cdut.edu.cn。

**Fund support:** National Key Reseach and Development Program of China(2017YFC0602700); National Natural Science Foundation of China(41074094)

随着经济的快速发展,电子产业、新能源汽车、化学工业、核聚变研究等对锂的需求与日剧增(游清治, 2016),促使人们加大对锂矿资源的勘查和研究(胡波, 2012; Li *et al.*, 2015; 陈阳等, 2016)。对于我国的主要锂矿类型——伟晶岩锂矿,由于其母岩伟晶岩的物性特征与花岗岩、片岩及片麻岩差异不明显(王登红等, 2017),而且成矿规模一般都比较小,因此开展如重力、磁法、电法等常规物探方法一般不能达到理想效果。地球化学方法对勘查伟晶岩型锂矿也有一定的局限性。探寻一种既能快速圈定异常又能直接获取深部锂矿信息,且快速、准确、有效的方法是十分有意义的。地气测量技术在寻找隐伏矿床的应用中有很多成功的例子(周四春等, 2014; Yuan *et al.*, 2014; Cao *et al.*, 2015),如广东仁化某隐伏铀矿、广西大厂某隐伏锌铜矿等。虽然应用地气测量技术目前还不能准确获得隐伏矿体的品位,但在寻找隐伏矿床的找矿应用中依然有着重要意义。将地气法(Malmqvist and Kristansson, 1984; 唐桢等, 2011)引入伟晶岩型锂矿勘查,有可能达到这一目的。为此,笔者在国家重点研发计划与国家自然科学基金项目的支持下,以新疆卡鲁安伟晶岩锂矿勘查区为研究区,开展了国内外首例地气测量探测隐伏伟晶岩锂矿研究工作。

## 1 研究区地质概况

研究区位于新疆维吾尔自治区阿勒泰地区中部,属中温带大陆性气候,地形、地貌复杂多样,地形总趋势北高南低,由北而南依次分布有山地、丘陵、戈壁等多种地貌。

该区域岩浆活动强烈,主要由火山岩、沉积岩和花岗岩等组成。哈龙-阿祖拜伟晶岩矿田包围在中阿尔泰哈龙-青河早古生代生成的岩浆弧之中(图1),地处哈龙河与阿祖拜河两侧。在哈龙背斜的倾没端、东西向断裂和南西向断裂的复合地带等构造中,都分布着大量的伟晶岩脉。花岗伟晶岩脉赋存于中上志留统库鲁木提群变质的片岩系中,矿区范围内地层主要为中上志留统变质的片岩系,褶皱构造不明显,但次一级构造裂隙十分发育,对区内伟晶岩的形成创造了很好的条件。研究区内先后发现

了805、806、650、807等多条伟晶岩锂矿脉,目前,仍有很好的找矿前景。

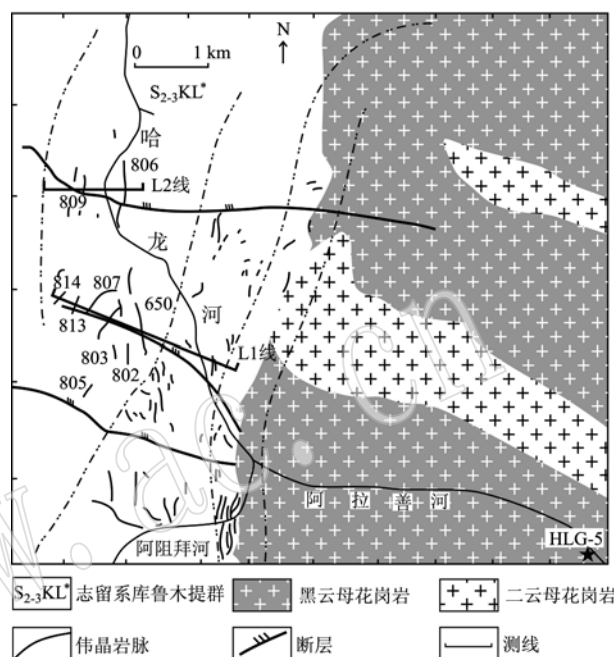


图1 卡鲁安研究区地质简图(附地气测量工程布置图)  
(据郭旭吉等, 2015)

Fig. 1 Geological sketch map of Kaluan study area (with the arrangement of geogas survey) (after Guo Xuji *et al.*, 2015)

## 2 地气测量原理与基本工作方法

### 2.1 地气测量原理

20世纪80年代末,童纯菡教授将地气测量技术引入国内。地球物理学家们早就注意到,地球内部在温度差和压力差作用下,普遍存在着一种垂直上升的气流(童纯菡等, 1997)。童纯菡等人通过实验与找矿实践证实了这种上升气流作为载体,可以将成矿物质的纳米微粒垂直携带到地表(汪明启等, 2006)。地球内部垂直上升的气流与气流携带的成矿物质纳米微粒宏观上统称为地气场,采集并分析这些通过地气流由地下深部迁移到地表的纳米微粒,可以获得来自地下深部地质体的元素含量信息,这就是地气测量。不同测点地气测量值都存在差异,这就是地气测量异常;而地气场异常是相对不同区域而言的,指的是研究区与附近区域或其它地方地气测量整体出现差异。在分析地气数据时常常会

用到地气异常,地气异常是指某测点与其它测点地气测量值不同,也指研究区与其它地方地气测量整体值出现差异。由于地气流是垂直向上迁移的,因此,当地下深部赋存有某种矿体时,进行地气测量就可以在矿体的上方捕获到成矿元素、伴(共)生元素的地气异常。隐伏矿体地气测量原理可参见图2所示。

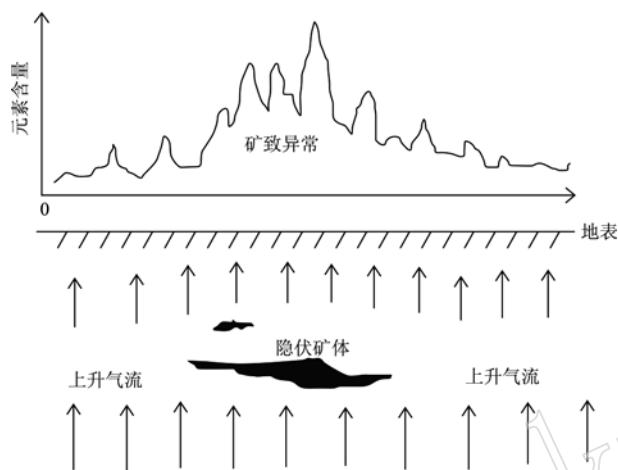


图2 隐伏矿体地气测量原理图

Fig. 2 Geogas measurement principle map of concealed orebody

## 2.2 地气基本工作方法

地气测量基本工作由两方面构成:采样和样品处理与分析。

本研究工作采用动态式地气装置采样,其装置见图3所示。其中,捕集剂由BV-Ⅲ级的纯硝酸和纯净水配置的5%稀硝酸组成(柯丹等,2016),用量

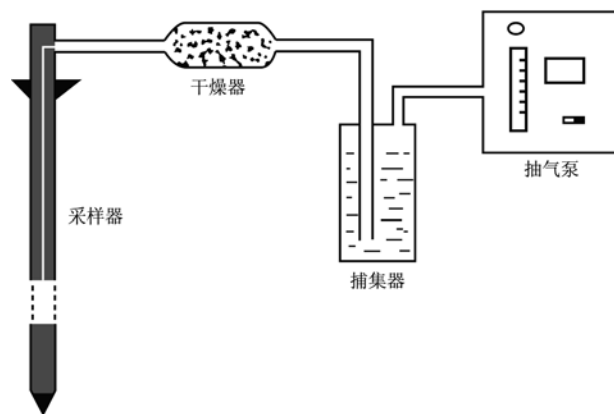


图3 动态式地气装置简图(据刘斌等,2011)

Fig. 3 Simplified diagram of dynamic geogas device  
(after Liu Bin *et al.*, 2011)

20 mL。采用动态地气采样装置采集样品时,先用钢钎在测点周围沿竖直方向打一个约70 cm的孔;拔出钢钎后,迅速将采样器插入孔中至采样器圆锥处,并将与采样器圆锥附近的土壤踩实;再连接好干燥器、捕集器及抽气泵;最后打开抽气泵进行抽气。每个测点的抽气时间定为30 min。

地气样品采集完成后将样品送专业实验室分析,从而提取出深部矿体信息。研究区采集的各测点的地气样品统一浓缩至5 mL,送至核工业北京地质研究院,采用电感耦合等离子体质谱仪,依据《水检测方法——等离子体质谱法测定锂等39个元素》标准,分析得出Y、Rb、Be、Cs、Nb、Li等39种元素的含量信息。

## 3 野外工作部署

根据研究区的具体概况,依据新疆七〇六大队在该地区所取得的物探、化探成果,按测线基本垂直伟晶岩锂矿脉走向和构造线走向为原则,布设了两条测线,分别记为L1线和L2线(图1)。两条测线总共长6 605 m,其中L1测线长度为4 606 m,测点124个,方向为ES111°,横穿已知813、814、807、650号等伟晶岩锂矿脉。L2测线长度为1 999 m,测点67个,方向为E90°,横穿已知806、809号伟晶岩锂矿脉。野外采用罗盘定向、GPS加测绳定距。

为保证覆盖范围和工作效率,在背景区域测点距为40 m或80 m,在已知矿体周边区域测点点距为20 m,在矿体上方及相邻区域测点点距为10 m(在矿体平面投影位置两边100 m范围内)。在样品采集和运输过程中,有部分样品发生撒漏、污染等,对这种样品事后通过检查、去除,加之由于地形条件的复杂有不能获取的地气样,最终获取有效样品177个。

## 4 可靠性检验

为了检验地气测量工作的质量及自身的可靠性,对L2线12个测点进行了重复测量,即在基本测点周围1 m的位置进行重复采样,并对重复样做同条件处理、分析,通过重复测量来考查地气测量数据的可靠性。

以12个具有重复测量数据测点的Li、Cs为代表元素,逐一计算了重复测量含量相对于基本测量含量的相对偏差 $\Delta S$ ,具体结果详见表1。

表1 12个测点Li、Cs重复测量与基本测量相对偏差统计表

ng/L

Table 1 12-point Li, Cs statistics of relative deviations between repeated measurement and basic measurement

样品号	Li			Cs		
	基本测量	重复测量	相对偏差	基本测量	重复测量	相对偏差
L2-1260	1 275	1 321	1.77%	95	85	5.56%
L2-1270	1 032	1 202	7.61%	61	55	5.17%
L2-1280	1 584	1 432	5.05%	99	77	12.50%
L2-1290	1 422	1 245	6.64%	134	93	18.06%
L2-1300	1 284	1 103	7.58%	81	60	14.89%
L2-1310	1 165	1 185	0.85%	116	84	16.00%
L2-1320	1 305	1 241	2.51%	136	99	15.74%
L2-1330	947	1 116	8.19%	80	72	5.26%
L2-1340	1 880	1 582	8.61%	97	88	4.87%
L2-1350	1 274	1 412	5.14%	151	97	21.77%
L2-1360	1 211	1 099	4.85%	179	150	8.81%
L2-1380	1 075	1 075	0.00%	66	101	20.96%
平均相对偏差			4.90%			12.47%

从表1可见,对于Li元素,12个对比数据间的 $\Delta S$ 都小于10%,平均相对偏差为4.90%;而Cs元素, $\Delta S_{\max} < 22\%$ ,平均相对偏差为12.47%。其它元素也有相似的测试结果,这表明,本文研究工作获取的地气数据是可靠的。

## 5 地气测量异常特征研究及找矿意义

L1、L2两条剖面共计177个有效测点,每个测点获取了包括Y、Rb、Be、Cs、Nb、Li等39种元素的含量。经过分析筛选,选出了基本可以反映伟晶岩锂矿地气异常特征的6种元素(Y、Rb、Be、Cs、Nb、Li),L1、L2两条剖面各测点的元素含量分别见表2、表3,两条剖面的地气测量综合剖面图分别见图4和图5。

根据所得地气测量综合剖面图对异常区域进行了进一步的划分和分析。根据图4和图5,可以分别划分出L1-I、L1-II、L1-III和L2-I、L2-II、L2-III共6个异常区。其中L1-I、L1-II、L2-I、L2-III为矿致异常区,L1-III、L2-II为未知异常区。由地气测量技术原理可知,它是通过分析地下气流所携带的致矿元素纳米微粒,从而判断地表下矿体的大致空间方位和规模。随着矿体向地下延伸,地气异常向着矿体延伸的方向越来越明显,且矿体越深,地气异常幅度越大;而在矿体延伸方向的反方向和矿体露头区域无异常表现。下面就L1、L2测线的异常特征做一简单分析和解释。

对两条测线L1-I、L1-II、L2-I、L2-III这4个矿

致异常区,在伟晶岩锂矿脉的倾斜方向一侧,均能捕获包含Li、Rb、Be、Cs、Nb、Y等多种元素的显著地气异常;对L1-III而言,在无矿(化)伟晶岩上方,只有Rb元素的地气异常显著,Be不出现地气异常;其它岩性上方,没有显著地气异常表现。对未知异常区L2-II(910~1 110 m),地气异常显著,与矿致异常区地气异常表现相似。由此,可推测该地区可能存在一条新的伟晶岩锂矿脉,也可能是已知806号伟晶岩锂矿脉延伸至该区域的结果。

卡鲁安两条研究剖面的地气异常区与已知伟晶岩锂矿脉都有很好的空间对应关系,表明地气法对卡鲁安伟晶岩锂矿的寻找是有效的。通过对卡鲁安含矿伟晶岩矿脉的地气研究,再由未知地气异常区寻找新的锂矿脉,为寻找卡鲁安伟晶岩锂矿提供了理论参考和技术支持,也为寻找其它地区的伟晶岩锂矿找到了新的思路。本次只研究了卡鲁安地区伟晶岩锂矿脉的地气特征,下一步将研究其它地区的伟晶岩锂矿脉的地气异常特征,从而得出一套寻找伟晶岩锂矿的完整方法。

虽然地气法解决了常规物、化探方法对寻找隐伏锂矿效果不佳的问题,但是,它自身也有局限性:第一,由于布设测线要基本垂直伟晶岩锂矿脉走向和构造线,遇到崎岖的地方不能采集到地气,会造成数据缺失;第二,会受到环境和天气的影响,风沙环境容易造成对样品的污染;第三,部分地区有些采样点很难打孔或是孔深不够,会造成数据的缺失和不准确。

表2 L1线地气测试分析部分元素含量  
Table 2 Analyses of some elements in L1 line geogas test

ng/L

样品号	Li	Nb	Cs	Be	Rb	Y	样品号	Li	Nb	Cs	Be	Rb	Y
L1-1600	1 348	19.9	159	0.00	973	135	L1-1720	1 336	7.0	173	1.98	1 254	137
L1-1840	1 324	14.1	187	3.96	1 535	139	L1-1960	1 677	18.3	183	19.40	1 440	310
L1-2040	1 422	15.9	200	1.78	1 095	231	L1-2080	1 711	34.8	239	19.90	1 529	181
L1-2120	1 747	47.2	282	20.80	1 391	434	L1-2140	1 584	41.9	163	13.20	1 271	522
L1-2160	1 104	12.9	123	5.59	617	89	L1-2180	969	9.4	49	1.94	391	100
L1-2200	1 993	27.3	151	2.59	988	141	L1-2220	2 705	39.2	338	14.10	1 710	170
L1-2240	1 421	15.0	190	16.80	1 214	282	L1-2260	1 146	12.1	89	3.28	664	206
L1-2280	1 854	27.1	295	41.00	2 421	365	L1-2300	1 399	17.9	177	6.51	1 190	87
L1-2320	1 201	13.3	114	9.96	795	81	L1-2330	1 118	9.5	69	4.16	694	67
L1-2340	1 462	29.4	262	16.30	1 183	128	L1-2350	1 831	22.2	344	17.10	1 702	103
L1-2360	2 442	41.0	345	35.90	2 428	702	L1-2370	1 143	10.6	86	7.75	520	248
L1-2380	1 176	6.9	140	5.56	670	110	L1-2390	2 103	30.7	172	21.40	1 139	147
L1-2400	1 377	16.9	118	8.38	732	134	L1-2410	1 318	16.8	123	10.70	788	396
L1-2420	1 405	24.8	138	13.90	968	516	L1-2430	1 159	9.4	77	7.22	1 234	100
L1-2440	1 576	18.1	174	6.68	1 203	172	L1-2450	1 610	17.9	103	12.10	798	118
L1-2460	1 143	13.0	146	7.14	735	112	L1-2470	1 283	16.8	198	4.49	1 100	115
L1-2480	1 296	18.3	118	7.34	730	198	L1-2490	1 193	16.7	102	9.37	650	537
L1-2500	1 856	19.1	177	18.30	1 261	567	L1-2510	2 995	36.2	240	15.50	2 008	109
L1-2520	1 340	21.2	106	4.23	878	82	L1-2530	1 381	31.2	135	9.57	850	91
L1-2540	1 421	41.1	163	14.90	822	101	L1-2560	1 919	33.8	257	26.10	1 245	120
L1-2580	1 623	27.6	173	17.40	956	898	L1-2600	1 327	21.3	89	8.60	667	1 675
L1-2620	1 538	11.2	135	15.90	832	813	L1-2640	1 424	14.3	136	15.00	805	125
L1-2660	1 053	14.5	75	5.34	802	116	L1-2680	1 661	22.0	214	8.40	1 167	908
L1-2700	1 020	10.0	67	7.42	521	103	L1-2720	2 103	25.4	97	6.96	945	162
L1-2740	1 156	14.4	84	9.80	554	458	L1-2760	2 477	24.7	359	19.80	2 939	285
L1-2780	2 122	37.9	143	26.50	1 493	2 429	L1-2800	1 400	24.8	73	5.90	606	437
L1-2820	1 407	39.0	101	8.60	693	300	L1-2840	1 414	53.1	128	11.30	780	163
L1-2860	1 656	35.1	99	14.70	757	132	L1-2880	1 897	17.1	71	18.10	733	101
L1-2900	1 389	27.5	87	16.40	1 548	1 433	L1-2920	1 349	21.4	99	8.37	1 023	192
L1-2940	1 630	19.4	69	13.10	700	136	L1-2960	1 234	11.9	68	12.90	738	130
L1-2980	2 317	21.8	101	10.50	874	129	L1-3000	1 804	19.7	171	11.80	2 297	203
L1-3020	1 656	15.5	56	10.60	1 224	122	L1-3040	1 113	10.4	123	13.60	1 150	145
L1-3060	1 560	14.7	80	17.70	562	230	L1-3080	3 028	28.3	275	41.40	2 250	518
L1-3100	2 327	25.8	223	31.10	1 798	338	L1-3180	1 625	23.2	171	20.80	1 346	158
L1-3200	1 612	33.0	226	23.50	1 139	457	L1-3220	1 098	19.4	101	14.50	590	115
L1-3240	953	8.4	66	9.73	354	45	L1-3250	1 162	16.8	155	7.14	1 817	147
L1-3260	1 363	13.5	83	5.30	967	119	L1-3270	1 371	20.3	95	9.85	571	87
L1-3280	1 569	12.6	64	10.70	645	319	L1-3300	1 511	16.4	86	13.90	809	389
L1-3320	1 611	20.4	76	9.15	926	91	L1-3340	1 461	16.9	69	5.85	677	81
L1-3360	1 320	13.3	62	2.54	428	71	L1-3400	1 631	15.7	95	13.00	891	125
L1-3440	1 251	9.9	102	12.90	551	72	L1-3480	1 119	11.4	72	10.40	535	155
L1-3520	1 469	8.0	85	5.28	896	143	L1-3560	1 890	22.4	99	6.69	827	396
L1-3640	2 317	22.0	93	12.20	958	220	L1-3720	1 414	16.7	108	7.27	633	110
L1-3800	2 028	27.1	101	12.20	848	74	L1-3920	1 720	10.5	76	11.10	781	975
L1-4040	1 566	32.9	102	13.90	907	205	L1-4200	1 412	10.7	90	21.40	762	239
L1-4360	1 383	9.7	121	15.00	928	110	L1-4480	1 172	14.7	73	12.70	707	79
L1-4600	1 664	23.0	131	10.90	1 519	1 591	L1-4760	1 610	22.5	122	15.40	1 130	910
L1-4920	1 556	22.0	112	19.80	741	229	L1-5080	1 341	19.5	171	20.80	1 034	1 500
L1-5240	1 233	13.0	117	10.30	1 005	142	L1-5400	1 180	14.5	126	16.10	986	156
L1-5560	1 153	14.5	173	14.00	1 201	642	L1-5720	1 126	17.6	80	16.30	605	121
L1-5760	735	8.5	41	17.70	335	73	L1-5800	1 790	16.4	118	9.20	907	1 571
L1-5840	1 740	24.0	168	16.30	1 171	3 566	L1-5880	1 472	15.5	100	1.10	834	135
L1-5920	1 778	20.1	138	15.70	829	2 285	L1-6000	1 896	26.1	235	15.10	1 323	266
L1-6080	1 422	13.3	108	13.30	691	111	L1-6200	1 366	14.2	106	7.34	711	833
L1-6320	919	9.0	65	11.50	551	359	L1-6440	1 521	23.0	162	17.30	1 341	366
L1-6500	1 220	24.4	116	18.00	1 552	1 761							

表3 L2线地气测试部分元素含量  
Table 3 Analyses of some elements in L2 line geogas test

ng/L

样品号	Li	Nb	Cs	Be	Rb	Y	样品号	Li	Nb	Cs	Be	Rb	Y
L2-0000	2 297	34.2	125	30.90	158	269	L2-0080	2 670	20.1	82	18.10	651	148
L2-0160	1 923	12.0	43	15.70	725	218	L2-0240	2 213	13.6	57	6.56	637	232
L2-0260	2 137	14.5	78	1.29	666	108	L2-0280	2 030	12.7	61	10.70	491	301
L2-0300	2 502	24.3	101	<0.01	1 506	200	L2-0320	2 217	21.6	58	17.60	1 172	984
L2-0340	2 018	11.8	50	5.81	360	69	L2-0360	1 848	10.1	39	10.26	329	60
L2-0380	1 677	8.4	28	14.70	297	51	L2-0400	2 018	14.8	80	25.90	575	144
L2-0520	2 157	4.5	70	2.07	510	118	L2-0600	2 477	16.9	67	9.46	654	122
L2-0680	2 277	15.7	117	20.30	995	204	L2-0760	2 253	18.1	111	14.92	864	600
L2-0800	2 229	20.4	105	9.54	733	415	L2-0840	1 635	15.4	61	3.60	505	118
L2-0880	1 280	4.9	42	1.24	365	86	L2-0900	1 575	11.9	76	11.30	793	204
L2-0920	1 600	15.3	67	25.30	633	318	L2-0940	2 422	13.5	94	12.40	664	142
L2-0960	1275	12.3	88	18.00	483	99	L2-0980	1 473	15.7	124	9.83	1 909	120
L2-1000	1 670	19.1	159	1.65	3 335	140	L2-1020	5 699	16.2	302	33.30	807	371
L2-1040	2 808	18.4	591	19.80	3 016	2315	L2-1060	2 283	15.9	293	14.30	2 242	344
L2-1080	6 634	35.7	464	35.90	3 059	464	L2-1100	1 510	17.2	350	13.80	914	93
L2-1120	7 794	21.8	194	7.71	2 020	2 353	L2-1140	2 030	18.3	95	16.40	855	105
L2-1160	1 111	11.0	83	11.20	622	73	L2-1180	1 698	17.3	82	24.20	600	118
L2-1190	1 740	12.2	151	9.60	852	146	L2-1200	1 013	12.0	98	3.21	661	79
L2-1210	2 341	18.6	107	33.60	838	929	L2-1220	1 297	13.3	124	35.30	2 935	187
L2-1230	1 340	14.1	119	23.90	815	84	L2-1240	1 222	11.0	130	28.10	576	68
L2-1250	1 377	13.6	102	16.90	752	136	L2-1260	1 275	15.0	95	12.50	1 186	145
L2-1270	1 032	17.0	61	30.20	1 048	57	L2-1280	1 584	17.7	99	27.90	576	83
L2-1290	1 422	21.6	134	18.50	1 741	151	L2-1300	1 284	18.7	81	7.40	751	152
L2-1310	1 165	7.7	116	11.90	888	125	L2-1320	1 305	12.2	136	20.70	1 228	2 353
L2-1330	947	16.0	80	18.60	529	117	L2-1340	1 880	12.6	97	35.90	1 580	106
L2-1350	1 274	13.7	151	18.40	2 802	108	L2-1360	1 211	10.8	179	13.90	2 750	75
L2-1380	1 075	9.0	66	8.08	407	73	L2-1400	1 106	15.6	73	10.60	490	271
L2-1440	1 312	38.6	162	10.80	799	539	L2-1480	1 425	24.3	226	24.00	2 665	109
L2-1500	1 212	8.1	92	6.94	501	2 260	L2-1520	1 156	8.2	30	7.38	274	42
L2-1540	2 009	19.3	51	27.30	661	60	L2-1560	869	8.8	67	28.20	631	68
L2-1600	1 048	22.6	59	24.30	466	397	L2-1640	1 445	14.8	74	29.50	559	63
L2-1680	1 210	12.3	46	21.30	518	455	L2-1760	1 098	11.2	103	14.50	384	97
L2-1880	1 083	11.1	80	11.10	434	251	L2-2000	1 068	10.9	57	7.49	484	206

## 6 结论

通过对新疆卡鲁安伟晶岩锂矿地气的研究,得出以下几点结论:

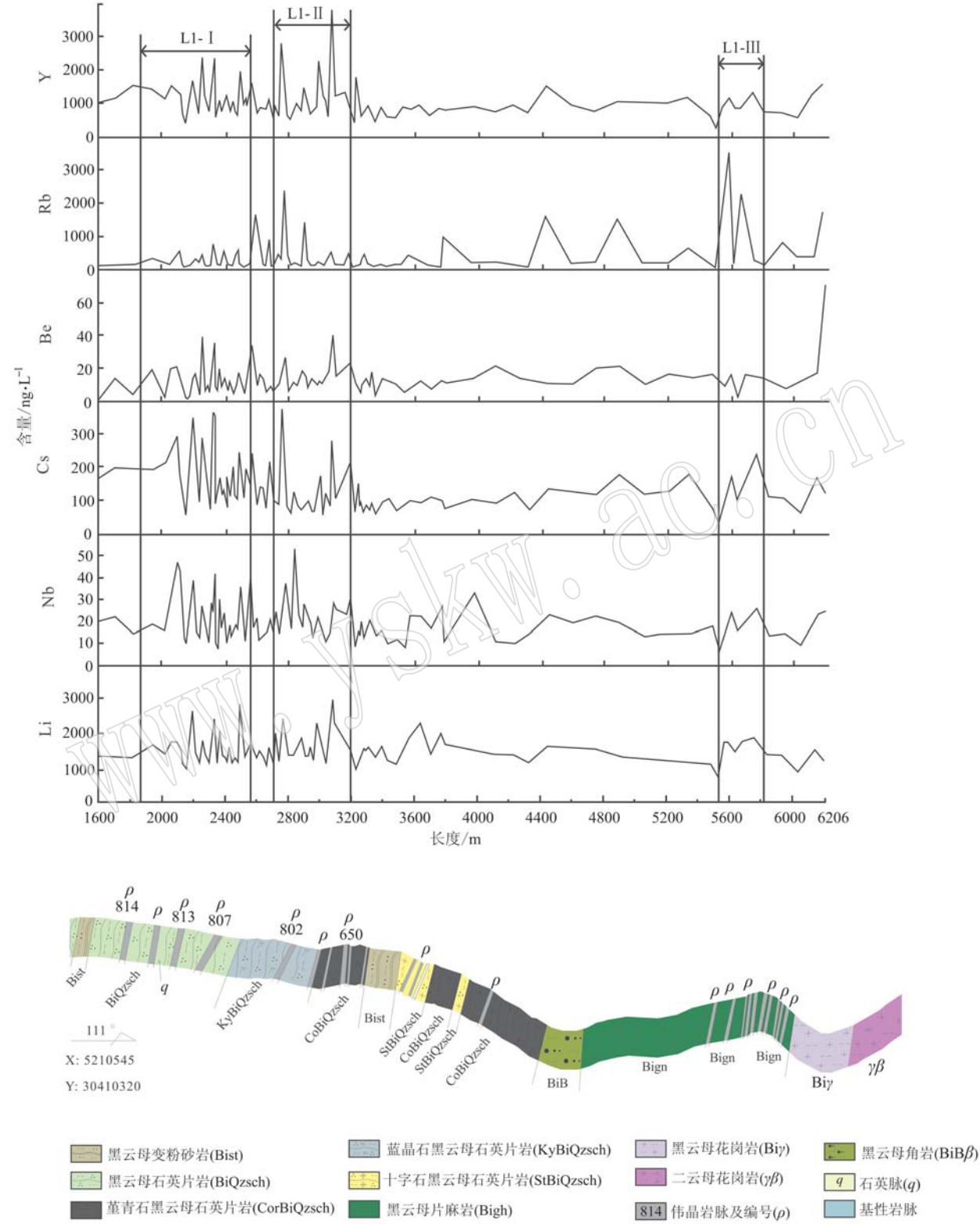
(1) 在矿致异常区上方都有较高的 Li 地气异常表现,并伴生一批与 Li 相关性好的异常地气元素,说明地气测量对研究新疆卡鲁安伟晶岩锂矿是有效的。

(2) 由地气测量数据发现, Y、Rb、Be、Cs、Nb、Li 这 6 种元素的含量与矿体之间有很好的空间关联,地气异常区往往出现在伟晶岩矿脉倾斜方向。在无矿(化)伟晶岩上方,只有 Rb 元素的地气异常幅度

显著, Be 不出现地气异常; 其它岩性上方, 没有显著地气异常。因此, 可将 Y、Rb、Be、Cs、Nb、Li 这 6 种元素作为寻找伟晶岩锂矿的指示元素。

(3) 根据伟晶岩锂矿脉区、无矿(化)伟晶岩脉区和其它岩性区不同的地气异常特点, 推断 L2 测线的未知异常区 L2-II (910 ~ 1 110 m) 具有很好的找矿前景。

(4) 卡鲁安伟晶岩矿脉的地气研究为寻找卡鲁安伟晶岩锂矿提供了理论参考和技术支持, 具有重要的现实意义, 同时也为寻找其它地区的伟晶岩锂矿找到了新的思路。



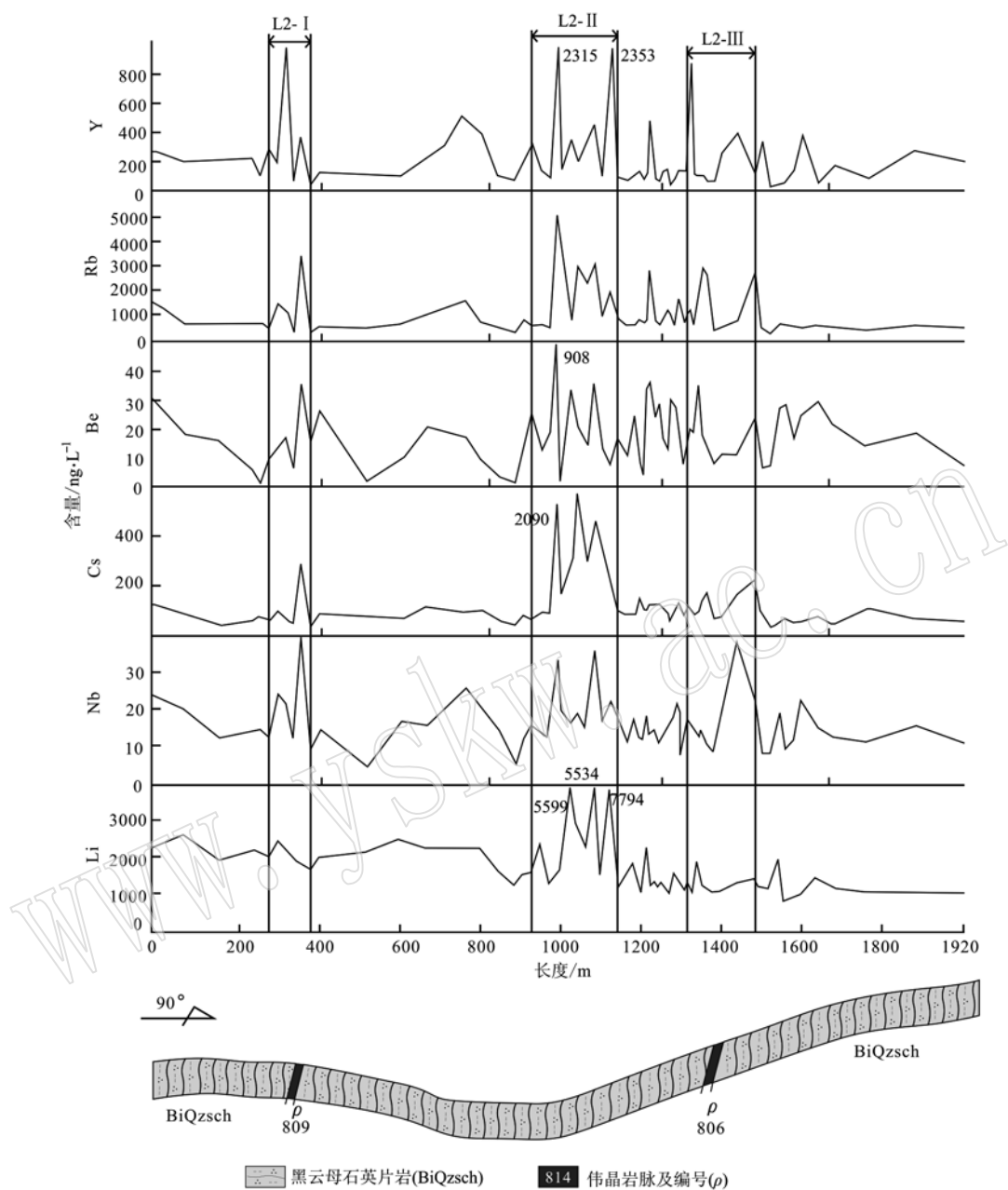


图5 新疆卡鲁安锂矿 L2 线地气测量 Y、Rb、Be、Cs、Nb、Li 综合剖面

Fig. 5 Y, Rb, Be, Cs, Nb, Li composite profile of geogas survey along L2 line in Kalu'an, Xinjiang

## References

- Cao J J, Li Y K, Jiang T, *et al.* 2015. Sulfur-containing particles emitted by concealed sulfide ore deposits: An unknown source of sulfur-containing particles in the atmosphere[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15( 1): 6 959 ~ 6 969.
- Chen Yang, Zhang Hui and Zhao Jingyu. 2016. The metallogenic element diffusion model and its influencing factors in the alteration of pegmatite near vein surrounding rocks in No. 807, Karuan mining area, Xinjiang[J]. *Geochemistry*, 45 ( 3): 268 ~ 280 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xuji and Ma Zhanlong. 2015. Analysis on geological characteristics and genesis of Halong rare metal deposit in Fuhai County, Xinjiang [J]. *Geology of Northwest China*, 48 ( 3): 355 ~ 361 (in Chinese with English abstract).
- Hu Bo, Zhou Sichun, Liu Xiaohui, *et al.* 2012. Geogas survey experi-



- ment for exploration of concealed polymetallic deposit at great depth [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 36(6): 1 068 ~ 1 072(in Chinese with English abstract).
- Li J K, Zou T R, Liu X F, et al. 2015. The metallogenetic regularities of lithium deposit in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 89(2): 652 ~ 670.
- Ke Dan, Wu Guodong, Liu Hongjun, et al. 2016. Methods of deep penetration geochemistry for uranium exploration and its research progress [J]. *World Nuclear Geoscience*, 33(3): 160 ~ 166(in Chinese with English abstract).
- Liu Bin, Zhou Sichun, Ge Liangquan, et al. 2011. Geoelectric anomaly characteristics and prospecting significance of the Huangshaping type lead-zinc deposit in Qianlishan-Qitianling ore district, southern Hunan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 32(4): 413 ~ 418(in Chinese with English abstract).
- Malmqvist L and Kristansson K. 1984. Experiment evidence for an ascending micro-flow of geogas in the ground[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 70: 407 ~ 416.
- Tang Zhen, Zhou Sichun, Liu Xiaohui, et al. 2011. Application of gas measurement in the search for deep buried ore [J]. *Metal Mine*, (1): 120 ~ 122(in Chinese with English abstract).
- Tong Chunhan, Li Juchu, Ge Liangquan, et al. 1997. Migration of matter by upwelling air in the earth's crust and principle of geogas measurement [J]. *Mineral Rocks*, 17(3): 83 ~ 88(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Liu Lijun, Dai Hongzhang, et al. 2017. On the particularity and prospecting direction of large and super large lithium gabbro deposits at home and abroad[J]. *Earth science*, 42(12): 2 243 ~ 2 257(in Chinese with English abstract).
- Wang Mingqi, Gao Yuyan, Zhang Deen, et al. 2006. Exploration breakthrough and significance of geogas survey in north Qilian Basin area [J]. *Geophysical Exploration and Geochemical Exploration*, 30(1): 7 ~ 12(in Chinese with English abstract).
- You Qingzhi, 2016. Lithium—The most important element for future needs[J]. *Xinjiang Nonferrous Metals*, 39(B07): 88 ~ 91(in Chinese with English abstract).
- Yuan Lulu, Wang Mingqi and Hu Jiale. 2014. Study of Au prospecting by geogas in Sunite gold deposit[J]. *Advanced Materials Research*, 962/965: 646 ~ 649.
- Zhou Sichun, Liu Xiaohui, Tong Chunhan, et al. 2014. Geogas measurement technology and its application in prospecting for hidden mines [J]. *Acta Geologica Sinica*, (4): 736 ~ 754 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈 阳, 张 辉, 赵景宇. 2016. 新疆卡鲁安矿区 807 号伟晶岩脉近脉围岩蚀变中成矿元素扩散模型及其影响因素[J]. *地球化学*, 45(3): 268 ~ 280.
- 郭旭吉, 马占龙. 2015. 新疆福海县哈龙稀有金属矿床地质特征及成因浅析[J]. *西北地质*, 48(3): 355 ~ 361.
- 胡 波, 周四春, 刘晓辉, 等. 2012. 大深度隐伏多金属矿地气探测试验[J]. *物探与化探*, 36(6): 1 068 ~ 1 072.
- 柯 丹, 吴国东, 刘洪军, 等. 2016. 铀矿勘查深穿透地球化学方法及其研究进展[J]. *世界核地质科学*, 33(3): 160 ~ 166.
- 刘 斌, 周四春, 葛良全, 等. 2011. 湘南千里山-骑田岭矿集区黄沙坪型铅锌矿地气异常特征及找矿意义[J]. *地球学报*, 32(4): 413 ~ 418.
- 唐 桢, 周四春, 刘晓辉, 等. 2011. 地气测量在寻找深部隐伏矿中的应用[J]. *金属矿山*, 7(1): 120 ~ 122.
- 童纯菡, 李巨初, 葛良全, 等. 1997. 上升气流对物质的迁移及地气测量原理[J]. *矿物岩石*, 17(3): 83 ~ 88.
- 王登红, 刘丽君, 代鸿章, 等. 2017. 试论国内外大型超大型锂辉石矿床的特殊性与找矿方向[J]. *地球科学*, 42(12): 2 243 ~ 2 257.
- 汪明启, 高玉岩, 张得恩, 等. 2006. 地气测量在北祁连盆地区找矿突破及其意义[J]. *物探与化探*, 30(1): 7 ~ 12.
- 游清治, 2016. 锂——未来需求的最重要元素[J]. *新疆有色金属*, 39(B07): 88 ~ 91.
- 周四春, 刘晓辉, 童纯菡, 等. 2014. 地气测量技术及在隐伏矿找矿中的应用研究[J]. *地质学报*, (4): 736 ~ 754.