

DOI: 10.12401/j.nwg.2022008

# 物探测量在老挝万象市塞塔尼县 钾盐矿床中的应用

刘卫国, 姬海军, 韩登宇, 宋宪生, 李卫

(核工业二〇三研究所, 陕西 咸阳 712000)

**摘要:** 通过老挝万象市塞塔尼县钾盐矿床详查工作, 物探测量选择重力测量、综合测井、采样分析等方法取得了良好的效果。重力测量圈定 2 类 18 块成矿有利靶区; 综合测井确定矿体准确位置和厚度; 采样计算矿体密度; 实验室分析计算矿体品位。展现了此方法在该区找矿上的应用成果及钾盐矿床的矿体特征, 为钾盐矿体资源(储)量的估算提供了重要的基本参数和依据。

**关键词:** 钾盐; 重力测量; 综合测井; 矿体规律

中图分类号: P619.21+1

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)01-0166-08

## Application of Geophysical Survey in Potash Deposit in Setani County, Vientiane City, Laos.

LIU Weiguo, JI Haijun, HAN Dengyu, SONG Xiansheng, LI Wei

(Research Institute No. 203, CNNC, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

**Abstract:** Through the detailed investigation of the potash deposit in Seitani county, Vientiane city, Laos, the methods of gravity survey, integrated logging, sampling and analysis have been selected for geophysical survey, and good results have been obtained. Gravity survey delineated 2 types of 18 favorable target areas for mineralization, comprehensive logging was used to determine the exact location and thickness of orebody, sampling was used to calculate the density of orebody, and laboratory analysis was used to calculate the grade of orebody. The application results of this method in prospecting in this area and the characteristics of potash ore body are presented, which provides important basic parameters and basis for the estimation of potash ore body resources (storage).

**Keywords:** potassium salt; gravity survey; integrated logging; ore body rule

钾盐作为钾肥的主要原料一直是中国最为紧缺的战略性矿产资源之一(李文光, 1998; 张宇轩等, 2022), 其广泛应用于农肥、化工、医药、纺织、印染、制革、玻璃、陶瓷、炸药等领域, 特别是大量被用于制造复合肥。中国钾资源占世界总储量的 2.6%, 2008~2016 年中国钾盐自给率维持在 50% 左右, 耗量

巨大。作为世界人口最多的农业大国, 钾盐对中国至关重要, 积极开拓国外钾盐市场十分必要。

## 1 区域地质

万象平原位于中国南方-东印支板块之东印板块

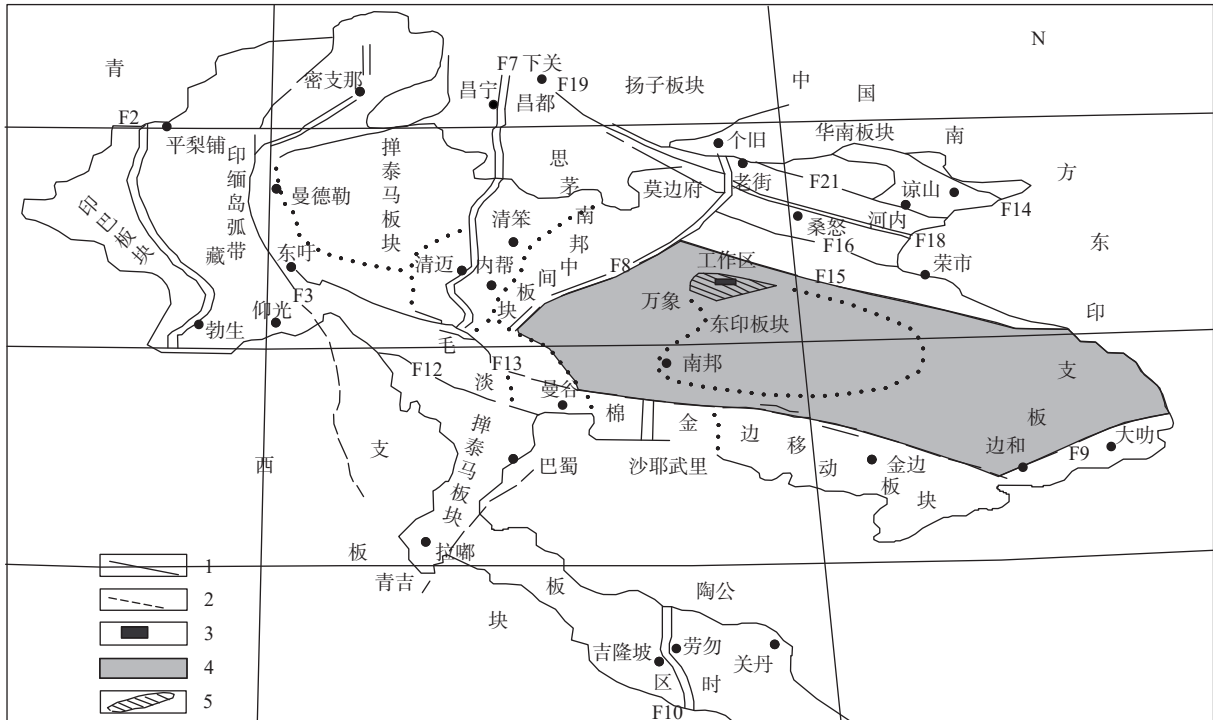
收稿日期: 2021-02-13; 修回日期: 2022-07-29; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 北京普悦矿业(老挝)有限公司资助“2018 年老挝万象市塞塔尼县普悦区钾盐矿详查”(201801)资助成果。

作者简介: 刘卫国(1970-), 男, 工程师, 现从事砂岩型铀矿地质勘查工作。E-mail: LWG203203@163.com。

内,属呵叻盆地的一部分。呵叻盆地是世界上重要的钾盐矿分布区之一,呵叻盆地位于泰国东北部和老挝中部,盆地四周被深大断裂控制,北为湄公河断裂

(F15)、西为南乌江断裂(F8)、南为北柬埔寨断裂(F13)、东为边和断裂(F9),盆地总面积约 17 万 km<sup>2</sup> (图 1)。



1.已知断层; 2.推断断层; 3.工作区; 4.呵叻盆地; 5.万象盆地

图 1 老挝万象平原钾镁盐矿大地构造位置图

Fig. 1 Tectonic location map of potassium and magnesium salt deposit in Vientiane Plain, Laos

呵叻盆地由普潘(Phu Phan)隆起将呵叻盆地分成 2 个次一级盆地,即北部的沙空那空(Sakon Nakhon)盆地和南部的呵叻(Khorat)盆地,盆地矿产以钾镁盐矿为主。万象平原具体位于沙空那空盆地西北三角形地带,西起班农阿布,东至班南罗,北自班当坎,南到湄公河,面积约 5 452 km<sup>2</sup>; 出露二叠系—第四系,受近东西向的挤压或引张;区内构造较发育,以北北西向纵断层、褶皱及近北东向横断层为主。其中,塔贡背斜为控矿构造;岩浆活动不发育。

## 2 矿区地质特征

矿区位于万象盆地东北部,地表大面积被第四系所覆盖,除了河流切割外,未见典型的地形、地貌构造特征,构造不发育;矿区无岩浆岩出露。万象盆地基底为下白垩统班塔拉组(K<sub>1</sub>bt<sup>2</sup>)砂岩,盖层为古近系古新统塔贡组(E<sub>1</sub>tg)。矿区大面积被第四系沉积物覆盖;

古近系班塔博组(E<sub>1-2</sub>bt)粉砂质泥岩、砂岩局部出露,但钻孔中未见到该层;下白垩统班塔拉组(K<sub>1</sub>bt)在详查区地表未见出露,只在钻孔中见到。

古近系古新统塔贡组(E<sub>1</sub>tg)为矿区含盐地层(冯明刚等, 2005),主要由膏盐岩和碎屑岩组成,发育 3 个成盐旋回(严城民等, 2006),可划分为 3 个岩性段, 6 个亚段, 15 个岩性层。钾镁盐矿层(E<sub>1</sub>tg<sup>1-1-3</sup>):岩性主要为桔红色、桔黄色、白色半透明—透明中厚层状光卤石岩,灰白色、白色半透明—透明中厚层状钾石盐岩次之;由下向上依次为:钾石盐矿层、光卤石矿层和钾石盐矿层。光卤石中见多层石盐夹石,钾石盐中少见夹石,个别钻孔见钾石盐中夹有薄层光卤石(王少华, 2012)。光卤石矿石 KCl 品位大于 8% 的厚度为 2.00~176.00 m, 矿石 KCl 品位大于 15% 的厚度为 0.65~165.00 m。钾镁盐矿层(E<sub>1</sub>tg<sup>2-1-2</sup>)岩性主要为淡紫色、浅红色、白色、灰白色半透明—透明状中厚层状钾石盐岩,白色半透明—透明中厚层状光卤石岩次之。

### 3 物探测量方法

#### 3.1 重力异常

依据前期吉林大学通过1:5万重力测量(宋小超等, 2015), 在矿区内圈定剩余负异常约101 km<sup>2</sup> (图2)。以等值线 $-1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 圈闭的低值区域, 可作为寻找钾盐矿有利部位; 共圈定7个寻找钾盐矿的I类找矿靶区(图3)和11个寻找钾盐矿的II类找矿靶区(图4)。各个靶区分述如下。

##### 3.1.1 I类找矿靶区

A1靶区呈北西向展布, 异常面积约3 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为50~400 m; A2异常面积约5 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为50~600 m; A3呈东西转南北的马鞍形, 异常面积约2 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~300 m; A4呈穹窿状, 异常面积约呈1 km<sup>2</sup>, 深部向北延伸出勘查区, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m; A5呈穹窿状, 异常面积约2 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~400 m; A6面积约1 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为50~400 m; A7面积约1 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~300 m。

##### 3.1.2 II类找矿靶区

B1呈北西向串珠状展布, 异常面积约5 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为50~400 m; B2异常面积约1 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m; B3异常面积约1 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~400 m; B4异常面积约1 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为50~300 m; B5呈北西转向串呈北西转向串珠状展布, 异常面积约1.5 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为50~400 m; B6异常面积约0.5 km<sup>2</sup>, 深部向北移动超出勘查区范围, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m; B7异常面积约0.5 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m; B8异常面积约0.5 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m; B9异常面积约0.5 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m; B10异常面积约0.5 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m; B11异常面积约0.7 km<sup>2</sup>, 预测有利成矿目标延深范围为100~200 m。

#### 3.2 钻探工程综合测井部署

根据重力测量推断, 在I类找矿靶区A3、A4及II类找矿靶区B6、B7、B9地区开展II号区详查工作, 共设计施工18个钻孔; II号区及外围钾盐矿部署详查钻探工程综合测井(图5)。

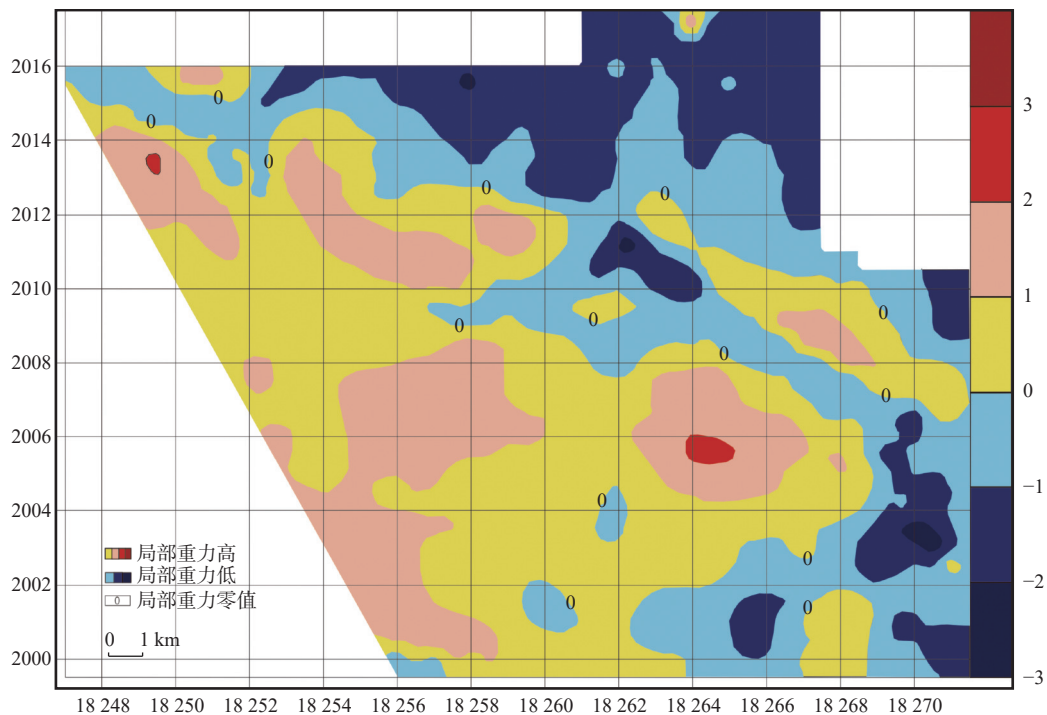


图2 矿区剩余重力异常图

Fig. 2 Residual gravity anomaly in the mining area

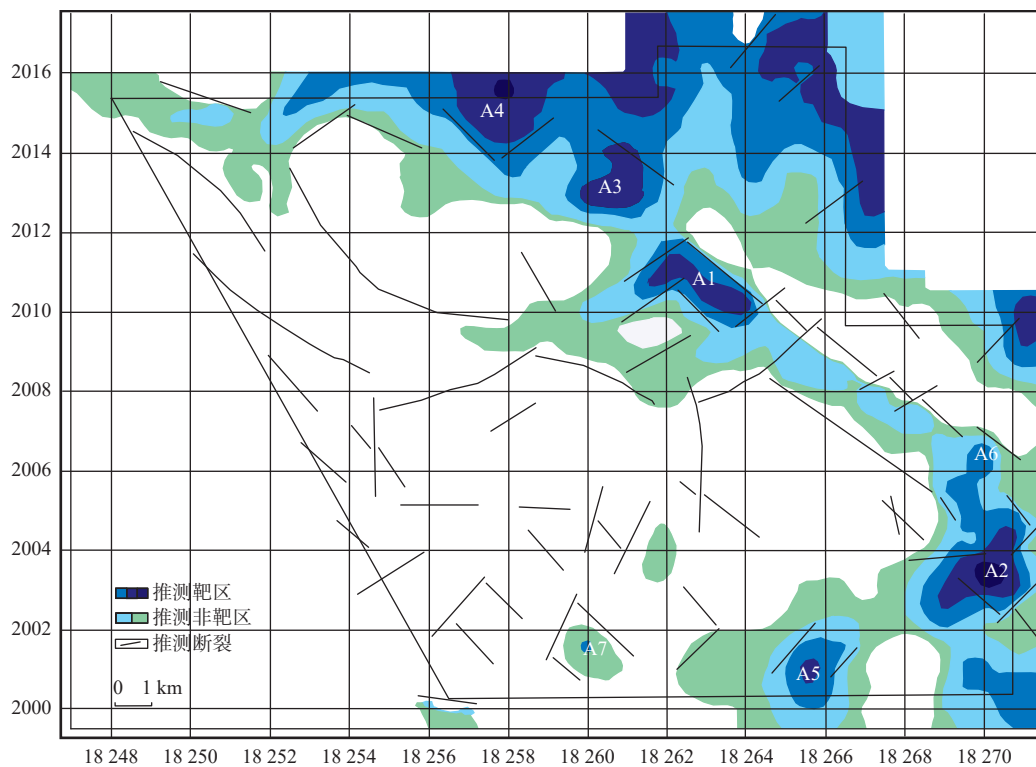


图 3 重力测量推断的 I 类找矿靶区图

Fig. 3 Gravity measurement and inference I prospecting target areas

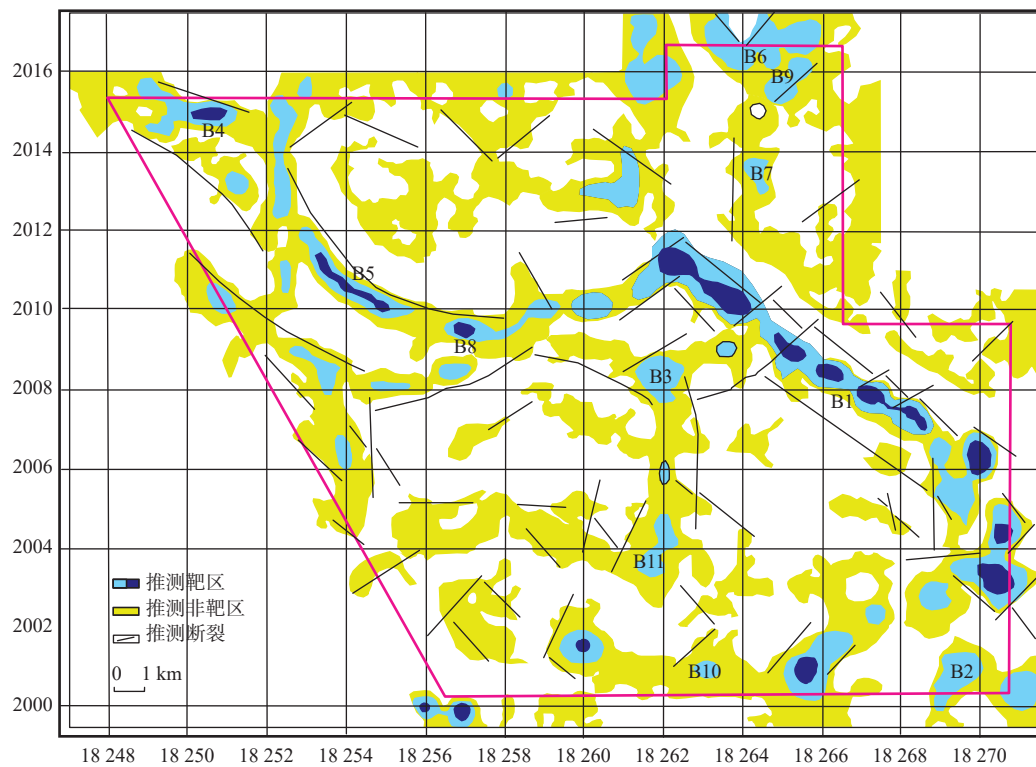


图 4 重力测量推断的 II 类找矿靶区图

Fig. 4 Gravity measurement and inference II prospecting target areas

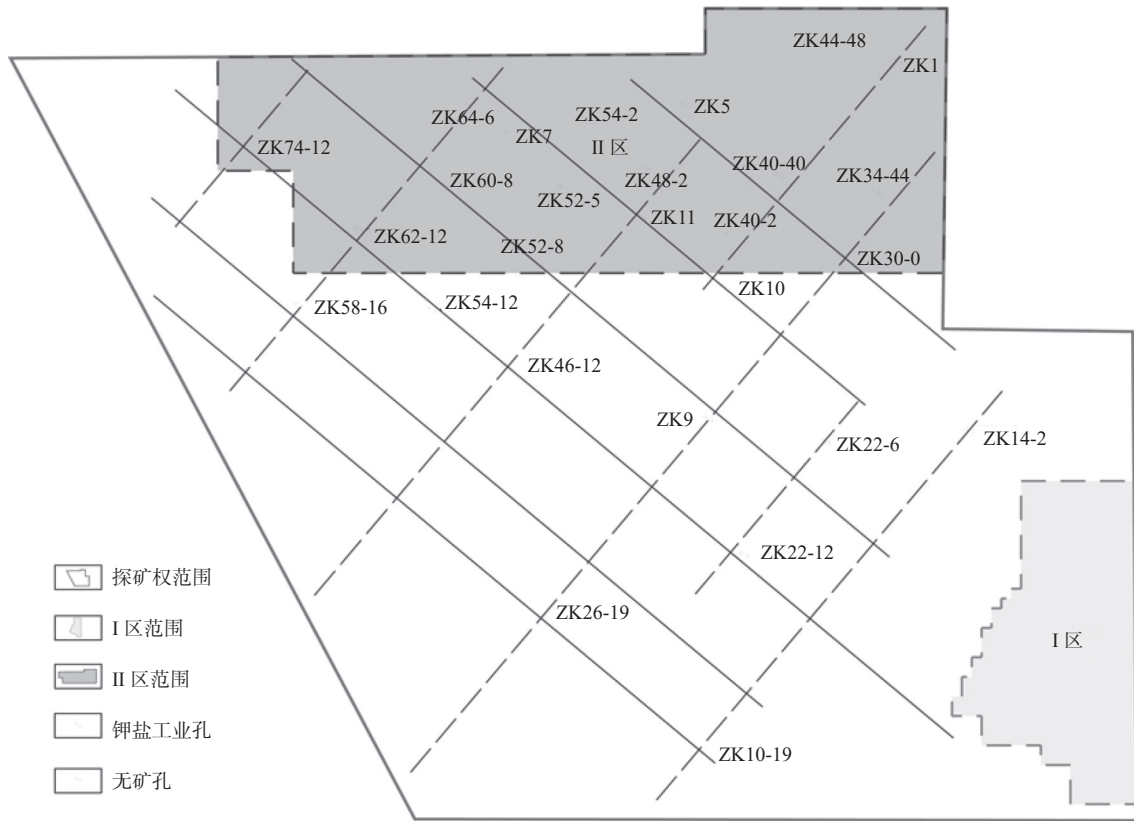


图5 II号区及外围钾盐矿详查钻探工程综合测井部署图

Fig. 5 II number area and peripheral potash detailed investigation drilling engineering comprehensive logging deployment diagram

### 3.3 综合测井

#### 3.3.1 综合测井

综合测井采集选取伽玛、视电阻率、井径参数曲线,对钾盐矿和围岩的特征反映幅值差异大,测井曲线随不同岩层而呈现显著的起伏变化(尉中良, 2005);测井曲线能准确定位钾盐矿的位置和厚度,从伽玛曲线的起伏变化可以进一步区分矿层品级的相对差异。测井曲线对地层的细小变化也有反映,综合实测的几个测井参数,总结、归纳出适合本地区岩性特征,依据多个测井曲线为判别岩性的基本准则,提升测井曲线的应用效果(表1)。

表1 主要岩性的物性特征表

Tab. 1 Physical properties of main lithologies

参数 岩性	伽玛 (PA/kg)	视电阻 ( $\Omega \cdot m$ )	井径 (mm)
泥岩	140~180	5~10	150~180
石盐岩	5~15	300~550	120~130
光卤石	170~230	200~300	140~180
钾石盐	300~650	260~500	120~140

#### 3.3.2 综合测井成果

图6是ZK62-12钻孔综合测井成果图。通过综合测井曲线可见,伽玛、视电阻率、井径参数曲线对钾盐矿和围岩的特征反映幅值差异大,测井曲线随不同岩层而呈现显著的起伏变化。测井曲线能准确定位钾盐矿的位置和厚度;光卤石矿体为411.60~492.10 m,矿体厚度为80.50 m。

由图6可看出,钻孔揭露的岩性为泥岩、含盐泥岩、石盐、光卤石。泥岩具有较高放射性,低电阻率,井径变化平缓;含盐泥岩具有略低放射性,较低电阻率,井径变化大;石盐具有低放射性,较高电阻率,井径变化趋于直线;光卤石具有较高放射性,较高电阻率,井径变化大。

#### 3.4 矿石密度

测量采用蜡封样品的体积。测量综合化学分析结果,光卤石平均密度为 $1.73 \text{ g/cm}^3$ ,钾石岩平均密度为 $2.04 \text{ g/cm}^3$ 。

#### 3.5 矿石品位

矿体平均品位由该工程中各矿层内的所有单个样品的KCl测试值用厚度加权平均法求得,矿体KCL品位见表2。

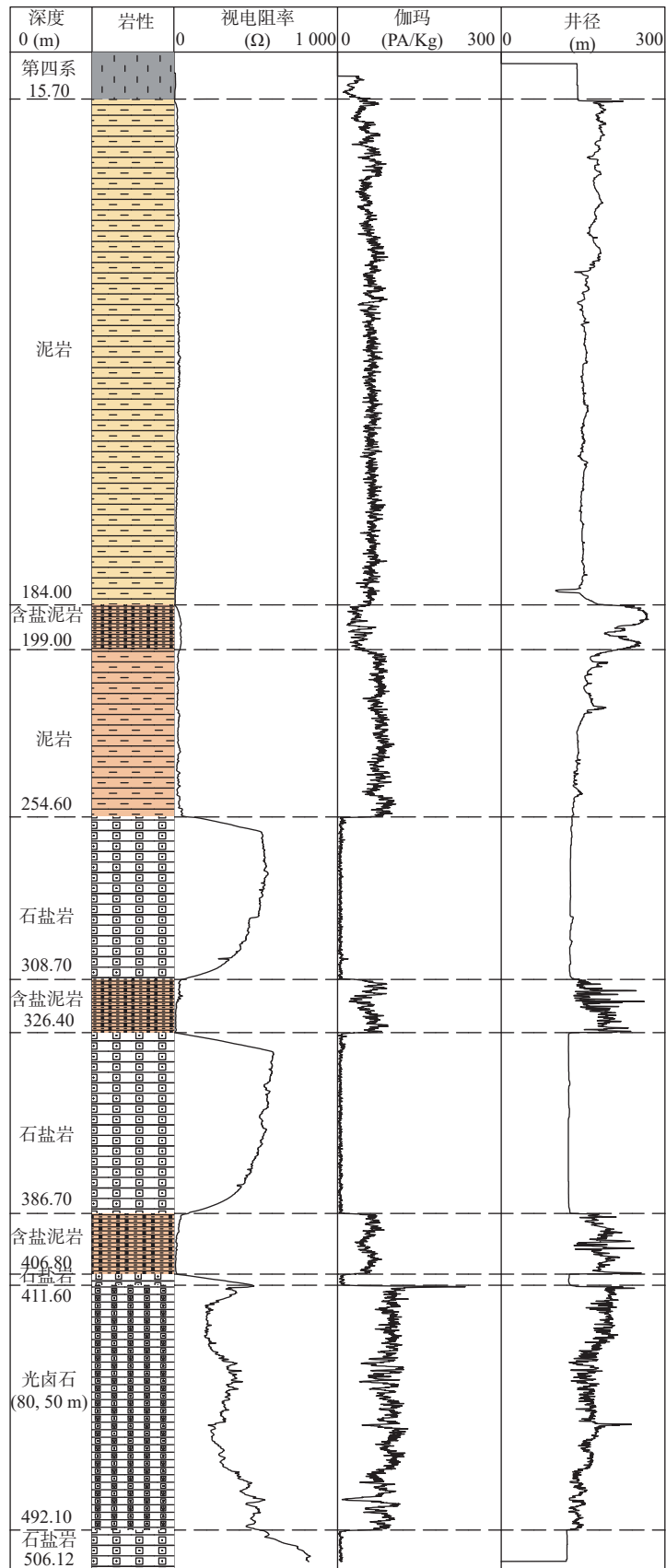


图 6 ZK62-12 钻孔综合测井成果图

Fig. 6 Comprehensive logging results of ZK62-12 borehole

表2 II区钻孔见矿表

Tab. 2 List of ore occurrences in area II

孔号	矿层编号	位置(m)		矿层视厚度(m)	KCl品位(%)	矿石类型	含矿层位	备注
		起	止					
ZK30-0	VI	247.46	249.78	2.32	16.61	光卤石	$E_1tg^{3-1}$	
	V	306.80	308.94	2.14	14.89	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
	II	385.37	485.06	79.21	17.97	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
ZK34-44	V	418.39	419.40	0.50	20.46	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
	II	489.40	534.56	27.39	16.27	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	I	534.56	535.50	0.94	17.18	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	
ZK40-40	VII	267.09	267.53	0.44	33.46	钾石盐	$E_1tg^{3-1}$	
	VI	267.53	273.33	3.21	16.00	光卤石	$E_1tg^{3-1}$	
	V	362.91	365.04	0.54	28.60	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
ZK40-2	II	439.37	466.83	13.60	15.59	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	
	I	466.83	471.18	1.09	22.15	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	
	V	312.79	313.86	0.54	21.71	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
ZK44-48	II	390.80	459.10	53.55	17.27	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	V	326.40	328.44	2.05	20.66	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
	IV	328.44	331.20	2.76	18.63	光卤石	$E_1tg^{2-1}$	
ZK48-2	II	356.39	432.70	37.93	15.26	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	II	294.51	333.12	35.75	18.36	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	
	I	333.70	349.00	4.51	17.32	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
ZK52-5	III	237.74	240.19	2.45	36.95	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	
	II	240.19	296.30	10.13	18.26	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	I	296.30	298.43	1.12	19.60	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	
ZK52-8	II	445.80	465.41	9.81	19.08	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	V	171.07	172.67	1.60	24.12	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
	II	269.19	287.86	1.16	17.74	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	
ZK54-2	I	298.54	311.53	6.25	16.74	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	
	II	250.59	321.30	38.03	17.81	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	I	323.52	326.00	1.80	21.62	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
ZK60-8	III	410.60	411.30	0.70	15.50	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	
	II	411.30	492.00	65.70	18.29	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	II	330.51	351.34	3.47	14.58	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	
ZK62-12	V	170.52	172.32	1.80	22.05	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
	III	293.35	299.72	4.20	24.88	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
	II	328.00	385.91	28.34	16.58	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
ZK64-6	VII	287.57	289.37	0.74	29.97	钾石盐	$E_1tg^{3-1}$	
	III	545.70	546.70	1.00	20.25	钾石盐	$E_1tg^{1-1}$	
	II	546.70	553.70	2.00	16.82	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	
ZK66-12	V	351.38	353.28	1.90	23.06	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
	IV	354.14	357.02	1.79	15.79	光卤石	$E_1tg^{2-1}$	
	II	425.92	484.54	38.22	17.67	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	含夹石
ZK7	V	97.17	101.17	2.00	15.66	钾石盐	$E_1tg^{2-1}$	
	IV	105.74	127.06	19.32	21.34	光卤石	$E_1tg^{2-1}$	
	II	156.25	157.55	0.65	15.46	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	
ZK10	II	126.57	303.57	165.00	20.04	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	
ZK11	II	195.51	306.51	103.00	20.38	光卤石	$E_1tg^{1-1}$	

## 4 矿体特征

Ⅱ区钾盐矿详查共施工18个钻孔,经综合测井及取样分析验证均为见矿孔。按照矿层产出的层位及矿石类型,可划分为7个矿(层)体,由下至上依次划分为:Ⅰ号钾石盐矿体、Ⅱ号光卤石矿体、Ⅲ号钾石盐矿体、Ⅳ号光卤石矿体、Ⅴ号钾石盐矿体、Ⅵ号光卤石矿体、Ⅶ号钾石盐矿体。其中,Ⅶ是本次工作新发现矿体(李占游等,2018)。各钻孔均见到多层矿体,矿体指标采用12%~15%指标(表2)。

(1)Ⅰ号钾石盐矿层:产于塔贡组下岩段盐岩层( $E_1tg^{1-1}$ ),为本区产出的第一层钾盐矿体,矿石矿物主要为钾石盐、石盐、光卤石,矿体呈透镜状产出,局部分布,厚度较小,无夹石;本次工作只在ZK60-8中见到该层。

(2)Ⅱ号光卤石矿层:产于塔贡组下岩段( $E_1tg^{1-1}$ ),Ⅰ号钾石盐矿体或盐岩层上部,为本区产出的第二层钾盐矿体,层状产出,矿体连续性好,厚度大,普遍存在夹石,夹石为石盐岩;矿石矿物组成为光卤石、溢晶石、水氯镁石、石盐;此矿体是本区的主要矿体,为工作区的重点目的矿层。

(3)Ⅲ号钾石盐矿层:产于塔贡组下岩段( $E_1tg^{1-1}$ ),为本区产出的第三层钾盐矿体,与Ⅱ号光卤石矿体连续沉积,矿体呈透镜状产出,局部分布,矿体连续性差,矿层厚度较小,无夹石;矿石矿物组成为钾石盐、石盐、光卤石。

(4)Ⅳ号光卤石矿层:产于塔贡组中岩段盐岩层( $E_1tg^{2-1}$ )上部,矿体连续性差,局部分布,矿层厚度较小,大多无夹石;矿石矿物组成为光卤石、石盐。

(5)Ⅴ号钾石盐矿层:产于塔贡组中岩段盐岩层( $E_1tg^{2-1}$ )上部,矿体连续性差,局部分布,矿层厚度较小,大多无夹石;矿石矿物组成为钾石盐、石盐。

(6)Ⅵ号光卤石矿层:产于塔贡组上岩段盐岩层( $E_1tg^{3-1}$ )上部,矿体连续性极差,分布范围很有限,矿层厚度较小;矿石矿物组成为光卤石、石盐。

(7)Ⅶ号钾石盐矿层:产于塔贡组上岩段盐岩层( $E_1tg^{3-1}$ )上部,为本次工作新发现矿体;矿体连续性极差,分布范围很有限,矿层厚度较小;矿石矿物组成为钾石盐、石盐。

## 5 结论

(1)通过重力测量的晕圈和数据资料,圈定了Ⅰ

类7个、Ⅱ类11个的钾盐找矿靶区。

(2)物探综合测井准确定位钾盐矿体位置和厚度,取样分析计算矿层品位、密度等参数。

(3)为钾盐矿体的圈定和资源(储)量的估算,提供了重要的基本参数和依据。

## 参考文献(References):

- 冯明刚,吴军,韩润生,等.老挝万象地区含盐系地层[J].云南地质,2005,24(4):407-413.
- FENG Minggang, WU Jun, HAN Runsheng, et al. Geochronology and Geochemistry of the Longmaxi Gold Deposit, Shandong Province[J]. Geology of Yunnan, 2005, 24(4): 407-413.
- 李文光.开发泰国、老挝钾盐矿产资源[J].中国地质,1998,(9):47-48.
- LI Wenguang. Study on the Metallogenic Regularity and Metallogenetic Regularity of Linglong Gold Deposit in Shandong Province[J]. Geology in China, 1998, (9): 47-48.
- 李占游,惠争卜,宋宪生等.老挝万象市塞塔尼县(普悦Ⅱ区)钾盐矿详查报告[R],2018.
- 宋小超,李代荣,谭云基,等.重力方法在库车坳陷钾盐远景调查评价中的应用效果分析[J].西北地质,2015,48(3):377-383.
- SONG Xiaochao, LI Dairong, TAN Yunji, et al. Analysis of the application effect of gravity method in the prospective investigation and evaluation of potash in Kuqa depression[J]. Northwest Geology, 2015, 48(3): 377-383.
- 王少华.老挝万象平原塔贡矿区钾石盐矿层特征及其勘探开发意义[J].化工矿产地质,2012,34(4):226-230.
- WANG Shaohua. Primary Geochemical Characteristics and Prospecting Significance of Xilaokou Gold Deposit in Shandong Province[J]. Geology of Chemical Minerals, 2012, 34(4): 226-230.
- 尉中良.地球物理测井[M].北京:地质出版社,2005.
- WEI Zhongliang. Geophysical well logging [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- 严城民,朱延浙,吴军,等.老挝万象地区基础地质调研的主要进展[J].地球学报,2006,27(1):81-84.
- YAN Chengmin, ZHU, Yanzhe, WU Jun, et al. Research Progress of Basic Geological Survey in Vientiane Area, Laos[J]. Journal of Earth Sciences, 2006, 27(1): 81-84.
- 张宇轩,李旭拓,刘明义,等.2022.白俄罗斯钾盐资源禀赋与投资环境分析[J].西北地质,55(3):306-317.
- ZHANG Yuxuan, LI Xutuo, LIU Mingyi, et al. 2022. Endowment of Potash Resources and Analysis of Investment Environment in Belarus[J]. Northwestern Geology, 55(3): 306-317.