

云南澜沧坝老铅多金属矿综合信息成矿预测

于瑞奇 高建国 赵晓琳

(昆明理工大学国土资源工程学院地球科学系, 云南 昆明 650093)

摘要:本文基于矿床地质特征研究的基础上,采用“MORPAS”软件平台,对矿区地质、化探、遥感等地质学多元信息进行综合分析,厘定了找矿模型,开展了研究区的综合信息成矿预测,圈定了 4 个找矿靶区,并根据矿床值随各控矿因素及其组合的变化规律,选取一定的模型单元,建立控矿因素及找矿标志的综合值——信息量与资源量之间的函数关系,并对圈定的 4 个靶区的资源量进行定量估算,对研究区进行资源潜力评价,对该区下一步的找矿工作具有重要的指导意义。

关键词:成矿地质条件;找矿模型;靶区圈定;资源量估算

中图分类号:P618.42;P612 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)03-0967-08

1 前言

随着国家对矿产业发展的高度重视,矿区的深边部找矿工作日益紧迫。但找矿难度日益加大,找矿对象已从露头矿、浅部矿和易识别矿转变为隐伏矿、深部矿及难识别矿。随着找矿难度加大,应用新理论、新技术、新方法提高成矿预测水平和找矿效果势在必行。应运而生的矿产资源定量评价方法 20 世纪 90 年代在国内有了突破性进展。王世称教授从地、物、化、遥、矿产资料信息综合出发,强调矿产定量预测与其他预测相结合,独创了综合信息矿产资源评价方法。能充分利用地、物、化、遥、矿等资料的综合信息成矿预测方法显得日益重要^[1-2]。找矿信息量法就是一种直观简便,以系统分析典型矿床(体)控矿地质因素,总结成矿规律,提取各种有效的地质、物化探、遥感综合找矿信息,在合理量化、评价优选的基础上,以地质找矿模型为先验,建立找矿标志信息量模型^[3],在矿区外围进行预测的一种行之有效的方法。

2 矿田地质概况

矿区位于澜沧县富邦乡坝老西部。澜沧坝老铅

多金属勘查区地处冈底斯—念青唐古拉褶皱系南延部分之昌宁—勐海褶皱带,区域构造主干断裂均呈南北向展布,与地层展布方向一致。可分为基底断裂和坳垒构造系、逆冲推覆(滑覆)、共轭断裂与弧形构造三种构造的形式。在研究区内主要有走向北西和北东两组断裂。北西向 F₁ 断裂为区域性的压性断裂,研究区出露近 1000 m,为一逆断层,断裂上盘为澜沧群惠民组(P_{th})变质岩,下盘为中侏罗统花开左组(J₂h³⁻⁵)沉积岩。F₂ 断裂与 F₁ 断裂平行,走向北西 30~35°,倾向南西,倾角 80~90°。断裂上盘为中侏罗统花开左组杂色层第 5 层(J₂h³⁻⁵),下盘为杂色层第 3 层(J₂h³⁻³),逆断层。F₃ 断裂、F₄ 断裂为推测断裂,规模较小,走向北西,大部分在沉积地层中穿过。F₅ 断裂走向北东 60°,倾向南东,倾角 65°,为后期横断裂,其错断北西组断裂,为张性正断层具(图 1)。区内出露地层主要为第四纪河流冲积层,主要为由砂、砾石组成的松散堆积;中侏罗统花开左组上段,主要岩性为紫色—浅色的粉砂—砂岩;中元古界澜沧群惠民组,主要岩性为变质岩—片岩。在研究区分布北部印支期黑云母二长花岗岩,并有铅锌矿化;在研究区西部有黑云母花岗岩分布。据花岗岩产状特征及矿区广泛分布的热液蚀变推断,矿区深部可能有花岗

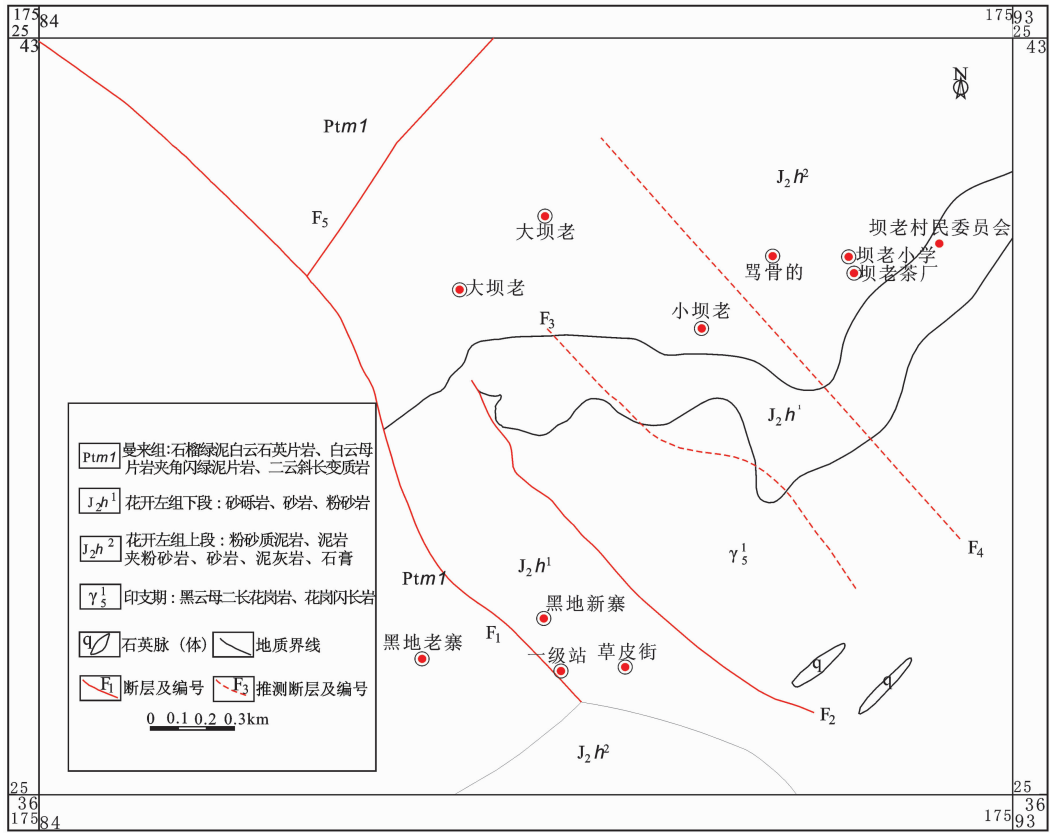


图 1 坝老铅多金属矿区构造地质图

Fig.1 Structural-geological map of the Balao polymetallic lead-zinc ore district

岩体存在。

3 找矿模型建立

3.1 单元划分

常见的统计单元划分方法有两种，一种是网格单元，一种是地质体单元(也称为自然单元法)^[4]。本文中采用网格化单元法中的经验方法，用于信息量计算的图形原始比例尺为 1:10000，用 200 m×200 m 面积作为基本单元的大小进行统计，将研究区分为 1575 个单元格。

3.2 找矿标志信息

通过对区域、矿带、矿区以及矿体的控矿因素和各种找矿标志的分析，其主要的控矿因素及标志组合为：

(1)NW 向断裂：研究区内北西向 F₁、F₂、F₃、F₄ 断裂(线性构造)控制了铅铋多金属矿床分布。F₁ 断裂构造控制了铋矿体，矿体赋存于断裂构造下盘；与 F₂ 平行的次级断裂构造控制了铅多金属矿，成矿作用早期为铜、黄铁矿等矿物，后期为铅矿物。

(2)有利赋矿地层：矿床主要赋存在侏罗系中统花开左组下段(J₂h¹)，这是找矿重要层位。

(3)岩性：根据岩性特征，从上至下可分 J₂h³ 杂色层 J₂h² 紫色层 J₂h¹ 浅色层三个岩性段。杂色层岩性为杂色(灰白色、灰绿色、紫红色、黑色)泥岩、粉砂岩、砂岩夹少量白云岩、灰岩、泥灰岩、硅质岩薄层及透镜体。该层顶部岩石热液蚀变强烈，多具片理化，为铅铋矿赋存部位。

(4)花岗岩：研究区南东部分布印支期酸性岩浆岩，由黑云二长花岗岩、似斑状黑云母二长花岗岩组成。按粒度可分为中粗粒相及边缘细粒相。边缘相带内见少量黑云母花岗闪长岩、斜长花岗岩不均匀分布。

(5)围岩蚀变：研究区热液蚀变普遍，主要有碳酸盐化、硅化、次生石英岩化等。区内与铋矿化有关的近矿围岩蚀变主要为硅化、次生石英岩化，可作为铋矿主要的找矿标志。

(6)线环构造：线环构造和北西向的线性构造是成矿的有利地段。

(7)化探原生晕异常：化探原生晕异常的高值区

为找矿的有利区域。

根据研究区的地质特征及成矿规律共选取作为铅锑矿统计分析变量的地质、化探及遥感信息标志 20 个,并约定标志在单元中存在取值为 1,不存在赋 0,统计各找矿标志在各单元中的分布,计算各找矿标志的找矿信息量,结果列于表 1。

找矿信息量模型不需要做多边形的叠加分析,只需要统计地质标志在网格单元里存在与否。其计算公式为:

$$I_{A,B} = \lg \frac{P(B|A_j)}{P(B)} \quad (1)$$

式中: $I_{A,B}$ 表示 A 标志 j 状态提供给事件 B 发生的信息量; $P(B|A_j)$ 为 A 标志 j 状态存在的条件下,事件 B 存在的概率; $P(B)$ 为 B 事件发生的概率。

实际应用时,因 $P(B)$ 在工作初期不易估计,根据概率乘法原理,公式(1)可变为:

$$I_{A,B} = \lg \frac{P(A_j|B)}{P(A_j)} \quad (2)$$

式中: $P(A_j|B)$ 为已知事件 B 发生的条件下出现的 A_j 概率; $P(A_j)$ 为研究区中标志值 A_j 出现的概率。

具体运算时,总体概率用样本频率来估计:

$$I_{A,B} = \lg \frac{P^*(A_j|B)}{P^*(A_j)} = \lg \frac{N_j/N}{S_j/S} \quad (3)$$

式中: N_j 为研究区中有 A_j 状态的含矿单元数; N 为研究区中含矿单元总数 ($N=13$); S_j 为研究区中有 A_j 状态的单元数; S 为研究区中单元总数 ($S=1575$)。

运算结果 $I_{A,B} > 0$ 表示 A_j 标志状态是较为有利的找矿标志, $I_{A,B} < 0$ 表示 A_j 标志状态是较不利的找矿标志。

3.3 有利找矿标志的优选

由于各标志对找矿指导作用的形式及程度不同,有必要进行评价优选。根据表 1 计算结果,将所

表 1 找矿标志信息量(铅多金属矿)计算

Table 1 Calculation table of information for prospecting criteria (polymetallic lead-zinc deposits)

变量类型	找矿标志	N_i	S_i	N_i/N	S_i/S	$\lg[(N_i/N)/(S_i/S)]$
地质 变量	矿体信息	13	13	1	0.0102	1.9914
	断裂构造	7	868	0.4375	0.5511	-0.1003
	地层信息	13	980	1	0.6222	0.2061
	花岗岩信息	8	333	0.6154	0.2114	0.4641
遥感 变量	线性构造等密度	7	868	0.5385	0.5511	-0.01
	线性构造条数	7	868	0.5385	0.5511	-0.01
	线性构造平均方位	4	419	0.3077	0.266	0.0632
	线性构造优益度	7	868	0.5385	0.5511	-0.01
	线性构造中心对称度	7	361	0.5385	0.0387	1.1435
化探 变量	Pb 原生晕异常	3	96	0.2308	0.61	-0.4221
	Zn 原生晕异常	2	57	0.1538	0.0362	0.6282
	Cu 原生晕异常	5	111	0.3846	0.0705	0.7368
	Ag 原生晕异常	5	79	0.3846	0.0502	0.8843
	Sb 原生晕异常	9	176	0.6923	0.1117	0.7922
	Sn 原生晕异常	11	202	0.8462	0.1283	0.8192
	Bi 原生晕异常	12	275	0.9231	0.1746	0.7232
	Mo 原生晕异常	13	288	1	0.1829	0.7378
	As 原生晕异常	10	295	0.7692	0.1873	0.6135
	复合 变量	地层组合熵	4	163	0.3077	0.1035
	构造复杂度	7	555	0.5385	0.3524	0.1842

有标志按信息量大小排序,按 $\Delta I^* = K \sum_{j=1}^n I_j$ 计算有用信息的累积临界值 ΔI^* , 选取有利找矿标志。其中, K 为给定的有用信息水平, 经验取值为 0.75; $\sum_{j=1}^n I_j$ 为正信息量的总和; ΔI^* 为选取有利找矿标志的界限。经计算后选取有利找矿标志 8 个^①(表 2)。

4 找矿信息量

4.1 计算各单元的信息量总和

利用有利找矿标志所提供的信息量分别计算各单元铅多金属矿的找矿信息量。具体过程分两步: 首先, 确定单元所具有的有利找矿标志; 其次, 用各有利找矿标志所提供的信息量求和得到单元信息量总和, 即: $TI_i = \sum_n I_j$ 。式中: TI_i 为 i 单元找矿信息量总和; I_j 为有利找矿标志所提供的信息量; n 为单元所具有的有利找矿标志个数。

4.2 预测单元信息量临界值的确定

综合统计分析单元内找矿信息量, 获得单元信息量-单元频数曲线图(图 2)可以看出, 曲线在横坐标 2.10 处出现拐点, 以此为临界值划分预测评价靶区。矿区中共有 13 个矿化单元, 综合信息量大于 2.10 的单元共有 88 个, 其中全部矿化单元落入单元信息量大于 2.10 的单元内, 说明单元中有 $13/88 \times 100\% = 14.8\%$ 的单元与有矿单元重合, 即在信息量大于 2.10 的单元内找矿成功率为 14.8%, 具有较高的找矿成功概率, 因此认为使用该方法即以信息量值 2.10 为临界值来划分成矿靶区是合理的。

4.3 靶区圈定及地质论证

根据单元找矿信息量大小及其空间分布形态, 考虑到成矿地质体的连续性和整体性, 圈定预测靶区 4 个, 其中 A 类靶区 1 个, B 类靶区 1 个, C 类靶区 2 个(图 3)。为了检验利用找矿信息量所预测靶区的合理性和可靠性, 笔者对各靶区的成矿地质条件进行了综合分析(表 3)。从表中可看出, 找矿信息量的大小与对应区段的成矿地质条件所反映的找矿前景大小相一致, 找矿信息量越大的区段其地质成矿条件越有利, 证实了该方法的合理性和有效性。

5 资源量估算

5.1 理论基础

在资源评价过程中, 定量评价的关键是查明矿床值如何随各种控矿因素及其组合的变化规律, 建立控矿因素与矿床值之间的函数关系, 以此预测矿床值。本文中对资源量的估算是根据研究区内控矿因素和找矿标志之间在某种程度上与资源量之间存在一定的内在的统计关系, 选取一定的模型单元, 运用回归分析方法进行统计分析, 建立控矿因素及找矿标志的综合值-信息量与资源量之间的函数关系, 进而达到对坝老铅锑矿集区资源量进行定量估算的目的^②。

5.2 回归模型的选择与建立

为了选择合适的数学模型, 将模型单元中已知资源量和信息量投点作图(图 4), 从中可以看出曲线符合非线性回归方程:

$$y = a \cdot X^b \quad (1)$$

并用 r 检验法检验:

表 2 有利找矿标志(铅多金属矿)优选结果

Table 2 Favorable ore-prospecting criteria optimization result (polymetallic lead-zinc deposits)

编号	找矿标志	N_i	S_i	N_i/N	S_i/S	$\lg[(N_i/N)/(S_i/S)]$
1	矿体信息	13	13	1	0.0102	1.9914
2	线性构造中心对称度	7	361	0.5385	0.0387	1.1435
3	Ag 原生晕异常	5	79	0.3846	0.0502	0.8843
4	Sn 原生晕异常	11	202	0.8462	0.1283	0.8192
5	Sb 原生晕异常	9	176	0.6923	0.1117	0.7922
6	Mo 原生晕异常	13	288	1	0.1829	0.7378
7	Cu 原生晕异常	5	111	0.3846	0.0705	0.7368
8	Bi 原生晕异常	12	275	0.9231	0.1746	0.7232

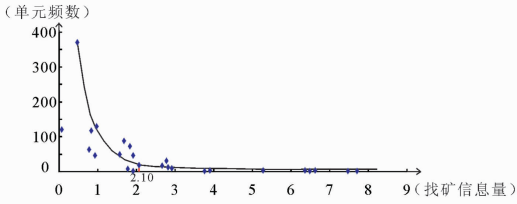


图 2 单元信息量-单元频数曲线图
Fig.2 Unit curve information-frequency

$$R = \sqrt{\frac{U}{S_{\text{总}}}} = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x \cdot \sum y}{\sqrt{\left[n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2 \right] \cdot \left[n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2 \right]}} \quad (2)$$

当 $R > r_{\alpha}(n-2)$ 时就认为信息量和资源量之间的线性关系显著。

5.3 靶区资源量估算

5.3.1 参数的确定

由已知的资源量 (y) 和信息量 (x) 求得: $b_1 = 2.2998, a_1 = 0.1505, R_1 = 0.6385 > r_{0.05}(13-2) = 0.553$

$$\text{得: } y_1 = a_1 \cdot X_1^{b_1} \quad (3)$$

由原数据中剔除离散较强的数据得: $b_2 = 2.6071, a_2 = 0.1233, R_2 = 0.6476 > r_{0.05}(11-2) = 0.602$

$$\text{得: } y_2 = a_2 \cdot X_2^{b_2} \quad (4)$$

5.3.2 靶区资源量估算

$$y = \frac{1}{2}(y_1 + y_2) \quad (5)$$

$$y = R_1 \cdot y_1 + R_2 \cdot y_2 \quad (6)$$

选用回归方程(5)的预测值作为预测单元的下限预测资源量,采用回归方程(6)的预测值作为预测单元的上限预测资源量。靶区资源量估算如表 4。

6 结语

(1)印支期、燕山期、喜山期的花岗岩、侏罗系中统花开左组下段的杂色层以及北西向断裂是主要的控矿因素。

(2)根据研究区的综合信息圈定靶区 4 个,并对 4 个靶区进行了资源量估算,从估算表中可以看出,探明资源量远小于估算资源量,研究区的找矿前景

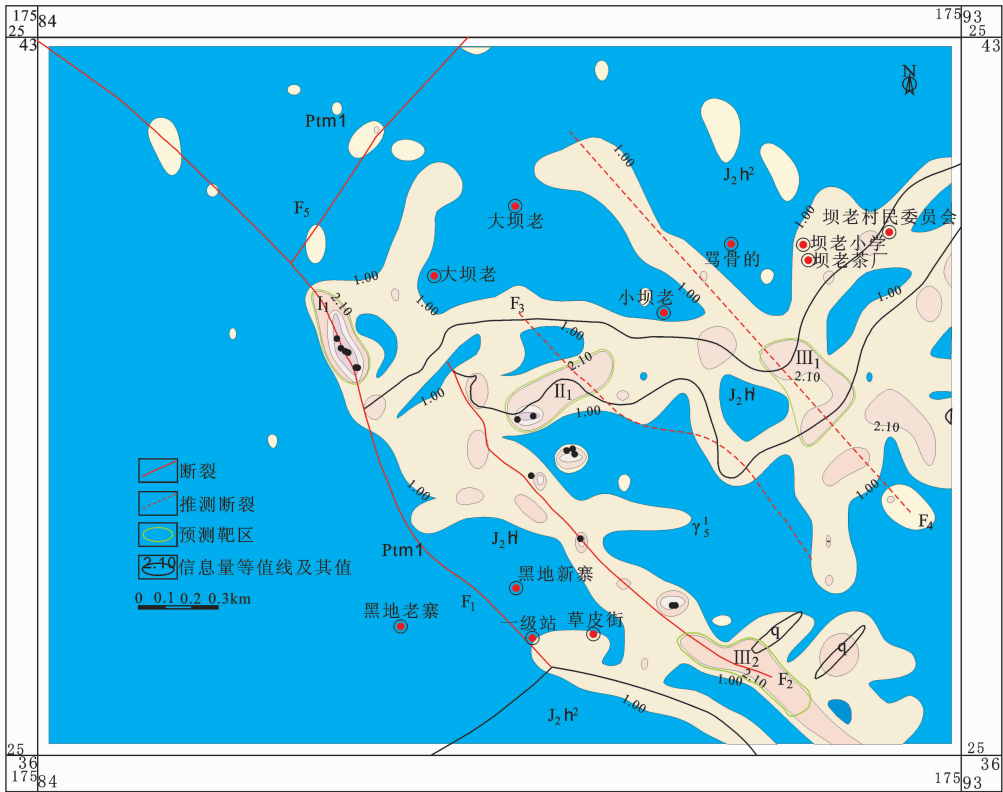


图 3 坝老铅多金属矿综合信息成矿预测图

Fig.3 Metallogenic prediction for the Balao polymetallic lead-zinc ore district based on comprehensive ore-forming information

表 3 坝老铅多金属矿有望预测靶区地质论证

Table 3 Geological demonstration table for expected prognostic target areas in the Balao lead-zinc polymetallic ore district

靶区代号	找矿信息量	成矿地质条件分析
I ₁	6.89	位于变质岩与花开左组沉积岩的杂色层接触断裂 F ₁ 中部, 花岗岩伏于沉积岩之下, 已有工程验证, 具有良好的热动力和物质来源, 地表岩石蚀变强烈, 沿 F ₁ 有铋矿化蚀变, F ₁ 为区内主要的铋矿控制构造, Cu、Sb、Ag 具有较高的丰度值, 已利用槽探、坑探等工程验证, 在该靶区范围内已大体控制 2 条矿脉形态。从该靶区的成矿条件和预测资源量方面看, 找矿的前景和潜力是最大的
II ₁	5.67	位于老矿山边部, 花岗岩与花开左组沉积岩接触的薄弱地带, 推测断层 F ₃ 的北部, 在老矿山矿脉形态上观察, 有往此方向 延续的趋势。在花岗岩岩体中岩石蚀变明显, 为热液交代型矿化, 主要为地层控矿, Pb、Sb 具有较高的丰度值。已利用槽探、坑探等工程验证
III ₁	2.1	位于推测断层 F ₄ 中部及花岗岩和围岩接触的薄弱地带, 异常区主要分布在侏罗纪花开左组下段的沉积岩地层中, 有硅质条带, 矿化体主要为地层和构造控制
III ₂	2.1	位于花岗岩与花开左组沉积岩的杂色层接触断裂 F ₂ 南部, 异常区大体以断裂 F ₂ 为轴对称分布岩体中蚀变明显, 有硅质条带, 矿化体主要受构造的控制

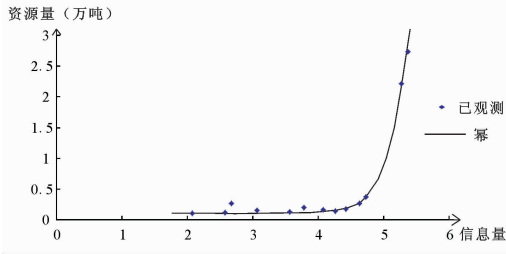


图 4 综合信息量-资源量曲线图

Fig.4 Curve of comprehensive information- resource

良好。

(3)对 4 个靶区, 已有部分工程验证的 I₁ 靶区进行深部工程验证, 老矿山旁的 II₁ 靶区进行深部找矿工程, 未有工程验证的 III₁、III₂ 靶区利用槽探、探坑等工程进行验证。

参考文献 (References):

[1] 王世称, 王於天. 综合信息解译原理与矿产预测图编制方法[M]. 长春: 吉林大学出版社, 1989:1-26.
Wang Shicheng, Wang Yutian. Principle of Integrated Information Interpretation and Mineral Prediction Map preparation [M]. Changchun: Jilin University Press, 1989:1-26 (in Chinese with English abstract).

[2] 赵鹏大, 陈永清, 刘吉平, 等. 地质异常成矿预测理论与实践[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999:101-109.
Zhao Pengda, Chen Yongqing, Liu Jiping, et al. Theory and Practice of Application of Geanomaly to Ore-forming Prediction [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999:101-109 (in Chinese with English abstract).

[3] Bliss J D. Developments in mineral deposit modeling [J]. U.S.

表 4 坝老铅多金属矿资源量估算
Table 4 Resource estimation table for the Balao lead-zinc polymetallic ore district

靶区编号	面积 /km ²	资源量 下限/万 t	资源量上 限/万 t	平均值/ 万 t	探明资源 量/万 t
I ₁	0.30	14.39	18.52	16.45	5.71
II ₁	0.42	14.65	18.86	16.76	8.24
III ₁	0.53	3.41	4.39	3.90	0.48
III ₂	0.41	4.33	6.40	5.36	0.62

Geological Survey Bulletin, 2004:168

[4] 王世称, 陈永良, 夏立显. 综合信息矿产预测理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Wang Shicheng, Chen Yongliang, Xia Lixian. Theory and Methods of Metallogenic Prediction Based on Comprehensive Ore-forming Information [M]. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese with English abstract).

[5] 李长庆. 找矿信息量在铜山矿田成矿预测中的应用[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(8):288-292.
Li Changqing. Application of prospecting-information contents to metallogenic prognosis in the tongshan ore field [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1999, 23(8):288-292 (in Chinese with English abstract).

[6] 王学仁. 地质数据的多变量统计分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1982:45-88.
Wang Xuereng. Multivariate statistical analysis of geological data[M]. Beijing: Science Press, 1982:45-88 (in Chinese with English abstract).

[7] 肖克炎, 张晓华, 王四龙, 等. 矿产资源 GIS 评价系统 [M]. 北京: 地质出版社, 2000:87-108.

- Xiao Keyan, Zhang Xiaohua, Wang Silong, et al. GIS Assessment System of Mineral Resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 87-108 (in Chinese with English abstract).
- [8] 池顺都, 周顺平, 吴新林. GIS支持下的地质异常分析及金属矿产经验预测[J]. 地球科学, 1997, 22(1): 99-103.
- Chi Shundu, Zhou Shunping, Wu Xinling. Geological anomaly analysis and experience prognosis of metallic mineral under GIS[J]. Earth Sciences, 1997, 22 (1): 99-103 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨学善. 易门铜矿区综合信息成矿预测[D]. 昆明: 昆明理工大学, 1999: 26-45.
- Yang Xueshan. Metallogenic prediction for polymetallic copper deposits in Yimen Area, based on comprehensive ore-forming information [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 1999: 26-45 (in Chinese with English abstract).
- [10] 燕长海, 宋锋, 刘国印, 等. 河南马超营—独树一带银铅锌成矿地质条件及找矿前景[J]. 中国地质, 2002, 30(3): 305-310.
- Yan Changhai, Song Feng, Liu Guoyin, et al. Ore-forming geological conditions and ore prospects of silver-lead-zinc-gold deposits in the Maochaoying-Dushu area, Henani [J]. Geology in China, 2002, 30(3): 305-310 (in Chinese with English abstract).
- [11] 廖崇高, 杨武年, 徐凌, 等. 成矿预测中遥感与地质异常的综合分析——以兰坪盆地为例[J]. 中国地质, 2002, 29(4): 416-420.
- Liao Chonggao, Yang Wunian, Xu Lin, et al. Integrated analysis of remote sensing and geological anomalies in ore deposit prediction: A case study of the Lanping basin [J]. Geology in China, 2002, 29 (4): 416-420 (in Chinese with English abstract).
- [12] 师淑娟, 王学求, 宫进忠. 金的地球化学异常与金矿床规模之间关系的统计学特征——以河北省为例 [J]. 中国地质, 2011, 38 (6): 1562-1567.
- Shi Shujuan, Wang Xueqiu, Gong Jinzhong. Statistic relationship between geochemical anomalous areas and gold reserves: a case study of Hebei Province [J]. Geology in China, 2011, 38(6): 1562-1567 (in Chinese with English abstract).
- [13] 牛翠祎, 王科强, 李绍儒. 滇黔桂成矿区金矿资源预测评价[J]. 中国地质, 2011, 38(6): 1576-1583.
- Niu Cuiyi, Wang Keqiang, Li Shaoru. Prediction and evaluation of gold resources in the Yunnan-Guizhou-Guangxi metallogenic area [J]. Geology in China, 2011, 38 (6): 1576-1583 (in Chinese with English abstract).
- [14] 矫东凤, 郭忠, 吕新彪, 等. Morpas支持下的甘肃临潭—宕昌地区铅锌矿床多源信息预测[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 185-192.
- Jiao Dongfeng, Guo Zhong, Lv Xinbiao, et al. Morpas-based multi-information prognosis of lead-zinc deposits in Lintan-Dangchang area, Gansu Province [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(2): 185-192 (in Chinese with English abstract).
- [15] 李塍, 胡光道, 段其发. 基于Morpas平台特征分析法的成矿远景区预测——以个旧西区锡多金属矿为例 [J]. 地质科技情报, 2009, 28(4): 65-70.
- Li Kun, Hu Guangdao, Duan Qifa. Application of characteristic analysis in metallogenic prediction based on Morpas: A case study of western Gejiu tin-polymetallic deposit, Yunnan Province [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(4): 65-70 (in Chinese with English abstract).

Metallogenic prognosis of polymetallic lead-zinc deposits in Balao area of Lancang, Yunnan Province, based on comprehensive ore-forming information

YU Rui-qi, GAO Jian-guo, ZHAO Xiao-lin

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract: Based on researches on geological features of the ore deposit, the authors carried out a systematic study of the Balao ore district to obtain useful metallogenic information. The software platform "MORPAS" was used to analyze comprehensively large amounts of geosciences multi-information in the aspects of geology, geochemistry and remote sensing. A prospecting model was set up to perform the metallogenic prediction on comprehensive information of the study area and, as a result, four prospecting targets were delineated. Certain model units were selected according to the variation regularity of the deposit value with the ore-controlling factors and their combinations so as to establish the comprehensive value of ore-controlling factors and prospecting criteria, i.e., the functional relationship between the information and the resources, and the resources of four prospecting target areas were estimated quantitatively. The evaluation of the resource potential is of important guiding significance for the next step prospecting work in the study area.

Key words: ore-forming geological conditions; prospecting model; delineating the target area, estimation of resources

About the first author: YU Rui-qi, male, born in 1985, master candidate, majors in geological resources and geological engineering; E-mail: www_1937@126.com.

重庆主城区浅层地温能资源量评价研究

张甫仁¹ 彭清元² 朱方圆¹ 张华民¹ 杨新杰² 陶嘉祥²

(1.重庆交通大学 机电与汽车工程学院,重庆 400074;2.重庆市地勘局 南江水文地质工程地质队,重庆 401147)

摘要:基于重庆地区浅层地温能的调查和主城区浅层地温能适宜性分区评价结果,结合校正后的岩土热物性数值,进行了重庆主城区浅层地温能资源量评价,包括适宜区浅层地温能热容量和可利用资源量统计,并得到了重庆市主城区九区浅层地温能的资源量分布情况,从而有效评价了重庆主城区地下浅部空间热能的调蓄能力,为开发与保护浅层地温能资源提供了可靠依据。

关键词:浅层地温能;热容量;埋管换热功率;资源量;

中图分类号:TK521 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)03-0974-07

当今社会,面对能源消耗强度越来越大的现实,开发新能源问题迫在眉睫。而浅层地温能资源作为一种可再生的洁净能源^[1],其开发利用不仅能节约大量高品位能,并且环境效益显著、应用面广。若在建筑物中大力利用则能够在很大程度上缓解能源的供应压力。目前,北京约有 2000 万 m²、辽宁已有超过 4300 万 m² 的建筑利用浅层地温能供暖制冷^[2]。尽管采用土壤热泵系统基本上都能达到一定的节能效果,但是受当地地质、水文地质条件中多种因素的影响,蕴藏于地下岩土体内的浅层地温能资源的可开发性和分布存在极大差异,并不是所有的城市采用该项技术都能达到较高的收益。为了避免开发的盲目性,造成人力物力的浪费,因此针对具体地区开展浅层地温能资源量评价研究必将成为人们进一步的工作重点,并且为资源的可持续发展提供良好的指导作用。

1 研究对象

重庆地区地质以导热率为 2.5W/(m·k)以上的基岩为主(基岩包括砂岩、泥岩、灰岩等沉积岩)。

由于基岩的导热率相对较高(埋管换热器的

换热效率比北京、上海高 15%~20%),因此重庆市浅层地源热泵在重庆的发展潜力巨大。由于相关资料及地温能的开发与利用提供了很好的地质基础。以砂岩、泥岩为典型地质条件的重庆地域广阔,但因工作量的限制,本文仅针对重庆市主城区九区城市建设的主要区域(总面积约 1670 km²,其中重点调查区 580 km²,一般调查区 1090 km²)进行浅层地温能资源量评价研究。

2 重庆市具体情况

2.1 气象条件

重庆气候属典型的亚热带湿润性季风气候,具年平均气温高,空气湿度大,降雨量充沛,少冰雪严寒,夏秋多雨,春冬多雾的特点。奉节以东峡谷地段,以及大巴山、云贵高原北延部分,气候要素随时空变化明显,显示出一定的垂直分带性。

全境多年平均气温 17.5~18.5℃,冬季极端最低气温-3.7℃,夏季极端气温达 42.2℃。区内多年平均降水量为 1160 mm,最大年降水量 1 544.8 mm,最小年降水量 740.11 mm。年降水的 70%主要集中在 5~9 月,为丰水期,12 月至次年的 3 月降水量小于

收稿日期:2012-07-20;改回日期:2013-04-01

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(1212011120055)及重庆市地质矿产勘查项目(D4-5)共同资助。

作者简介:张甫仁,男,1975 年生,博士,教授,主要从事燃气、暖通与热能领域方面的研究;E-mail:zh_feixue@163.com。