第25卷 第9期
1989年9月

地質与勘探
GEOLOGY AND PROSPECTING

Vol. 25, No. 9
September, 1989

凤太矿田铅硐山-谭家沟一带找矿远景统计预测

张振飞 隗合明

（西安地质学院）

在矿床地质、成矿规律研究的基础上，综合应用信息量计算法、特征分析法和逻辑信息法，在凤太矿田铅硐山-谭家沟矿区范围内进行了1/50000矿床统计预测，圈出若干远景地段并估计其成矿概率和找矿潜力。

关键词：谭家沟矿区；层控铅锌矿床；大比例尺统计预测

工作方法

凤太矿田位于秦岭泥盆纪多金属成矿带中段。矿田中产有多处层控铅锌矿床，在铅硐山—谭家沟一带已探明铅硐山、峰崖两个矿床，手搬崖—银硐梁矿床正进行找矿评价和初勘。上述矿床地质条件相似，均为弱改造的海底喷溢—共生沉积型层控矿床①。矿体主要呈层状或似层状，含铁白云石硅质沉积岩为赋矿岩石。矿体受中泥盆统古道岭组上段(D_2g_2)灰岩和上泥盆统星红铺组下段(D_3x_1)铁白云质千枚岩夹灰岩地层控制，矿化与岩相变化关系密切，与层间断层有特定关系（图1）。根据生产要求，笔者在研究该区地质背景和矿床特征的基础上，引用西北有色地质勘探公司的有关实际资料，应用数学地质方法对某些地段的找矿远景进行了初步预测，并取得了较好的预测效果。

统计分析方法

本次预测仅限于铅硐山—谭家沟矿区，其目的是要查明区内研究程度较低地段隐伏矿体存在的可能性。采用的比例尺为1/50000，但变量取值多利用1/10000及1/2000的地质、物化探资料，这有利于提高预测的可靠程度。

应用的3种统计分析方法是：①信息量计算法，即通过计算地质、物化探标志的找矿信息量，查明这些标志对于找矿的有用程度及其有利找矿的数值范围，并根据不同地段的找矿信息总量来评价找矿潜力；②特征分析法，通过对所有标志进行综合分析，定量地比较未知地段与已知有矿地段的地质相似程度，从而评价未知地段的找矿远景；③逻辑信息法：即通过建立已知有矿地段矿床值的变异序列，筛选信息标志，对未知地段的找矿潜力作出比较定量的评价。

基本单元划分和控制区的确定

该区除第四系外，所有地层（矿体）均

①祁思敬、隗合明，秦岭泥盆纪层控Pb、Zn典型矿床研究报告，1988年。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

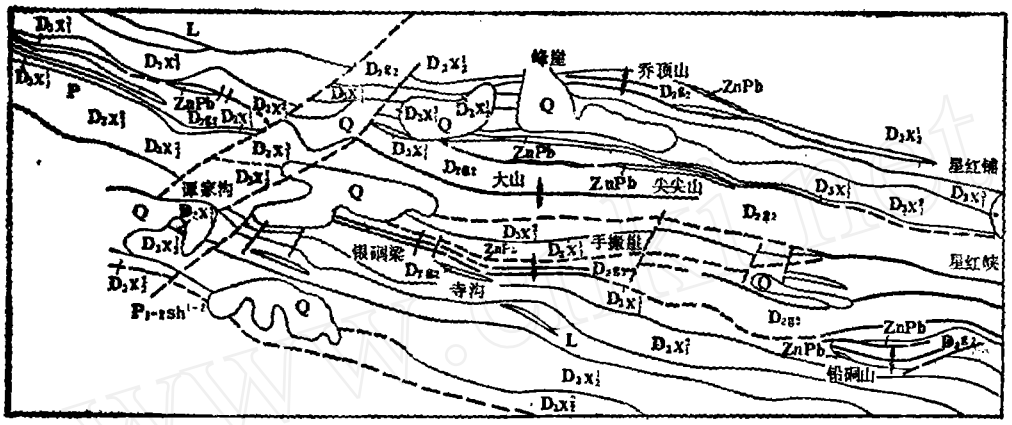

图 1 铅硐山—谭家沟矿区地质简图

（据西北有色金属地勘公司717队）

Q—第四系浮土；$P_{1-2}sh^{1-2}$—二叠系十里墩组粉砂质碳质板岩；$D_3x_2^2$—上泥盆统星红铺组上段上层，铁白云质千枚岩；$D_3x_2^1$—星红铺组上段下层，绿泥石千枚岩，$D_3x_1^2$星红铺组下段上层，铁白云质千枚岩、灰岩；$D_3x_1^2$—星红铺组下段中层，绿泥石千枚层；$D_3x_1^1$—星红铺组下段下层，铁白云质千枚岩；D_2g_2—中泥盆统古道岭组上段，灰岩；L—灰岩夹层；P—千枚层；Pb、Zn—铅锌矿化露头

受轴向北西西的紧闭褶皱控制，构造线整齐划一。沿构造线方向，地段含矿性变异明显，因此，该区适于划分与构造线方向垂直的穿透单元[1]。但考虑该区南北方向跨越距离较远（2～4km），有必要在此方向进行比较，故将每个穿透单元又划分2～3个半穿透单元，其长度为1200m。又据矿体厚度变化及矿化露头、物化探异常的一般规模，定单元宽度为300m。这样取得面积为1200×300m²的单元共75个（图2）。

图2中还表示出已知有矿和已知无矿的两类控制区，前者31个单元，后者13个单元。这些控制单元多数有地表及深部工程控制，地质、矿产情况基本清楚。其中有部分已知无矿单元缺乏深部资料，但都具有下列5项地表标志：①远离有利成矿的层位和岩性；②硅化、褐铁矿化不发育；③少见石英—方解石脉；④岩石含碳量低；⑤没有物化探异常。生产实践表明，依据上述5项准则可确定一个地段为无矿。

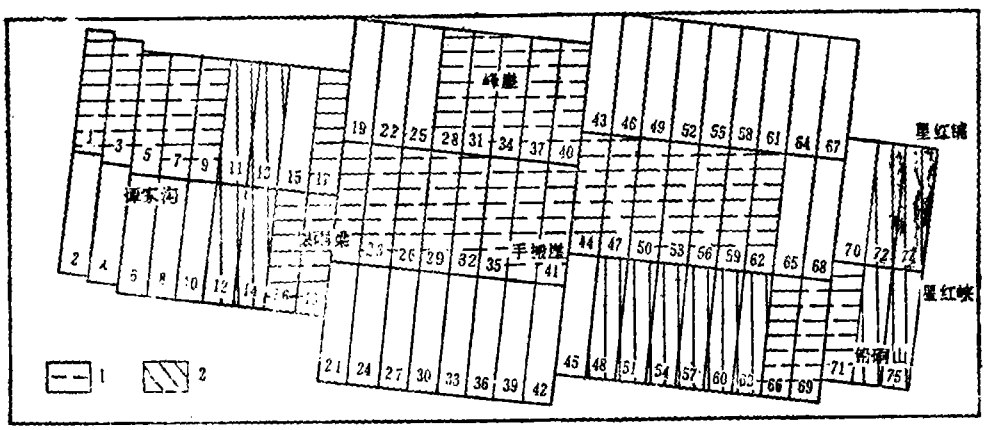

图 2 铅硐山—谭家沟一带找矿预测单元划分图

1—已知有矿单元；2—已知无矿单元

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

自变量及其取值

根据该区控矿地质条件和找矿标志的研究及在各单元都能取得可比性定量数据的原则，选取了8个自变量参加统计分析。

x_1：Pb、Zn累加原生晕（>200ppm）在单元中所占面积。

x_2：Ag原生晕（>0.2ppm）在单元中所占面积。

x_1、x_2值均在化探图上用方格法测得。该区异常的展布规模一般与其浓度呈正相关，因此x_1和x_2值可表征化探异常的显著程度。

x_3：自然电位0值线数。取值方法是在物探图上于单元内计数。

x_4：自然电位梯度的综合指标。取值方法是在物探图上计算单元内高梯度的0值点与低梯度0值点数之比，分母为0时记为1。

该区铅锌矿化和富含碳质地层均能引起自然电位异常，尤其是自然电位0值线集中地带与矿化及含碳地层关系更为密切。据矿床成因研究可知，地层中有机碳的富集有利于铅锌矿化，因此x_3、x_4具有找矿意义。

x_5：生物碎屑灰岩与千枚岩接触带的条数。取值方法是在单元内计数。

这种接触带反映了岩相的突变，是该区主要控矿条件之一。它表征局部地壳升降运动，可为该区含矿流体的海底喷溢作用提供动力。但在接触带上并非都成矿，这仅是一个必要条件。可以认为，接触带上是否成矿是一个随机事件，出现条数越多，则单元成矿概率越大。

x_6：富含绿泥石的千枚岩地层出露面积比。取值方法是测量单元内$D_3x_1^3$、$D_3x_2^1$两层的出露面积，并与其单元面积比。

x_7：碳酸盐岩地层出露面积比。取值方法与x_6类似。

矿床地质研究表明，富含绿泥石的千枚岩地层不利于成矿，灰岩地层则利于成矿。x_6、x_7可反映出成矿的围岩条件。

x_8：走向断层发育程度指标。按发育部位可分为3类：①在灰岩与千枚岩接触带上；②在灰岩中；③在千枚岩中。第1类与矿化关系密切，赋主观权1；第2类矿化较差，赋主观权0.5；第3类与矿化无关，赋主观权0。x_8的取值方法是在单元中用加权法计算走向断层总条数。

第1、2两类走向断层与矿化有关，是因为矿化及相伴的硅化增大了岩层的强度，产生局部岩层间的强度差异，在构造活动中易于发生断裂。实际上，走向断层是一个间接找矿标志。其次是通过矿体的断层为后期热液改造提供了条件，对再次矿化富集是有益的，其意义不大。

用上述8个变量，在75个单元中取得了原始数据矩阵（略）。应指出，这些变量的选择完全是以矿床研究为基础的，对其地质和找矿意义在统计分析前即有了定性的了解。下一步的统计分析将可获得这些变量的综合性定量。这种根据地质研究选择变量可节省计算过程，也是数学地质与传统地质预测相结合的一种尝试。

找矿信息量计算及远景地段预测

找矿信息量，即为某一标志存在时，对于找到矿的不确定性的减少量。在矿床统计预测中，可用下列公式[2]计算：

$$I=\log(N_i/N)/(S_i/S)$$

式中 I——标志A_i的找矿信息量；

N_i——具有标志A_i的有矿单元数；

N——研究区内有矿单元总数；

S_i——研究区内具有标志A_i的单元数；

S——研究区单元总数。

在应用中，将各变量的值域分为若干区间，称为标志的不同状态。计算各标志不同

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

状态的找矿信息量，则可确定各自变量最有利于成矿的数值范围。通过计算未知单元中各自变量提供信息量总和并与控制单元比较，可预测找矿远景地段。

标志状态的划分对计算结果影响很大，笔者结合多方案试验，选择一种较佳状态（不同状态信息量差别最大）划分方法。各标志不同状态信息量计算结果列于表1。

从表1可看出，计算结果与前述变量的地质意义是一致的。各变量均有提供正信息量的状态，因此其找矿意义在此都得到定量化的验证。应指出，提供负信息量的标志状态可增加找矿的不确定性，但并不表明这些状态与矿化在成因上相排斥。

各变量不同状态信息量计算表　　表 1

变量（A）	状态（A_i）	N_i	N_i/N	S_i	S_i/S	$\frac{N_i/N}{S_i/S}$	I
x_1	>5	27	0.8710	33	0.44	1.9795	0.2966
	<5	4	0.1290	42	0.56	0.2304	−0.6375
x_2	>3	14	0.4516	14	0.1867	2.4189	0.3836
	$\leqslant 3$	17	0.5484	61	0.8133	0.6743	−0.1712
x_3	>2	15	0.4839	15	0.2	2.4195	0.3837
	$\leqslant 2$	16	0.5161	60	0.8	0.6451	−0.1904
x_4	>1	14	0.4516	23	0.3067	1.4724	0.1680
	$\leqslant 1$	17	0.5484	52	0.6933	0.7910	−0.1018
x_5	$\geqslant 3$	12	0.3871	15	0.2	1.9355	0.2868
	$\leqslant 2$	19	0.6129	60	0.3333	0.0969	−0.2664
x_6	>0.17	20	0.6451	59	0.7867	0.8200	−0.0862
	$\leqslant 0.17$	11	0.3548	16	0.2133	1.6634	0.2210
x_7	>0.5	19	0.6129	26	0.3467	1.7678	0.2474
	$\leqslant 0.5$	12	0.3871	49	0.6533	0.5925	−0.2273
x_8	$\geqslant 2$	18	0.5806	19	0.2533	2.2921	0.3602
	<2	13	0.4194	56	0.7467	0.5617	−0.2505

据表1可计算出每个单元的信息量总和。结果表明，已知无矿和有矿两类控制单元的信息总量有显著差别。由44个控制单元统计得出，当取临界值$I_0=-1$时，有矿概率较大（近于1），无矿概率小(0.13)，因此取信息总量等于−1为预测临界值。由此得到10、15、25、46、58、61、75等7个单元为预测有矿地段。

特征分析法预测

在特征分析中，采用各变量信息量计算结果对原始数据进行布尔转换。方法是，找矿信息量大于0时观测值令其为1，信息量小于0时令其为0。

在31个有矿控制单元中，用主分量分析法可得出下列模型特征方程：

$$y=x_1+0.7040x_2+0.6889x_3+0.5960x_4+0.3118x_5+0.5672x_6+0.8673x_7+0.8332x_8$$

在上述方程中，各变量系数的相对大小可反映该变量对于模型的重要性。各系数差别不大（同一数量级），这表明各变量具有相近的找矿意义。在判别变量的重要性上，特征分析比信息量计算法更能表明问题，特征分析考虑了变量间的联系，具有综合性。

用特征方程算出75个单元的所有关联系数y值；用下述计算概率的方法确定了y的预测临界值（设B为有矿，Y为y的一个区间）：

因为　$P(B)P(Y/B)=P(Y)P(B/Y)$

所以　$P(B/Y)=P(B)P(Y/B)/P(Y)$

式中，$P(B)$表示该区任一单元的有矿概率。假设有矿概率小于0.5，则可定为无矿单元，并用频率来估计概率，可得出：

$$31/75\leqslant P(B)\leqslant 40/75$$

同时，可得出预测单元号及各单元有矿概率（表2）。

逻辑信息法预测

上述两种方法均可预测若干远景单元，特征分析法还能估出这些单元产出的矿体概率，但评价结果皆为定性的。最后，笔者又应用了逻辑信息法，这既可对前两种方法预

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

特征分析法远景区预测结果表

表 2

关联系数	有矿概率	预测单元号
$2\leqslant y$	0.9129～0.9939	15
$1.5\leqslant y<2$	0.5998～0.9938	46、61、75
$1\leqslant y<1.5$	0.5001～0.8945	10、25、45、58、68

测的结果进行验证，又能进一步作出定量的预测。

以单元内矿体累计厚度为指标，选择下列12个控制单元（标准对象）建立3个变异序列：

（1）11、12、48单元，无矿；

（2）3、9、18单元，有矿，矿体累计厚度<5m；

（3）20、37、50单元，矿体累计厚度为5～15m；

（4）29、56、69单元，矿体累计厚度>15m。

这些标准对象的选择考虑了相同级别的准标对象尽量分布在矿区的不同地段，以便具代表性。

以特征分析中所使用的二态数据为输入数据，计算各变量在3个变异序列中的标志数，并据此筛选出x_1、x_2、x_3、x_7、x_8等5个信息标志。x_4、x_5和x_6不是信息标志，表明其对矿体无指示意义，对矿体规模也无区分能力。

从5个信息标志和3个变异序列构成的数据表中，求最小区分标志组合，仅取得1个$x_1-x_2-x_7$三标志组合。这表明Pb、Zn和Ag的原生晕(x_1、x_2)是该区最有效的找矿标志，灰岩地层(x_7)是这类矿床的主要控矿条件。这些都已在生产和地质实践中得到证实。

用上述最小区分标志组合计算出标准对象权如表3。

由表3可看出，随矿床值级别增高，标准对象权单调地增大，因此$x_1-x_2-x_7$组合可用于预测。在变异序列中，计算这些标志的分权和31个未知单元的对象权。对象权为1的单元有：10、15、25、45、46、58、61、65、68、70、75，其余未知单元的对象权均为0。这表明在未知单元中，仅11个单元可找到厚度小于5m的新矿体，其余单元则无找矿潜力。

标准对象权 表 3

矿体累计厚度(m)	>15	15～5	5～0	0
标准对象号	69、56、29	50、37、20	18、9、3	48、12、11
对象权	3、3、3	2、2、2	1、1、1	0、0、0

预测结果

1．从表4和图3中可看出，用3种方法预测该区找矿远景结果基本一致。但后两种方法取得的远景单元略多，是因为利用了较多的信息及对变量分析具有综合性。虽然，后两种方法都利用了信息量计算法的结果，但在一定程度上是相互独立的，能够互相验证。可见，后两种方法预测结果是可靠的。表2列出的9个预测有矿单元及其有矿概率可作为该区成矿预测最终结果。65、70两单元的结论不一致，可作为次一级远景地段。

2．用逻辑信息法预测的各远景单元，可寻找厚度小于5m的中小型矿体。

3．所选控制单元深部工程一般不超过400m，因此，预测深度仅限地下400m。

4．在峰崖矿床西部（图1），用两单元面积进行了特征分析和逻辑信息法数学模型计算，效果较佳；在峰崖东部和谭家沟附近的远景地段内，已发现了小矿体。总之，预测的实际效果尚待今后生产实践检验。

5．从图2与图3对比可看出，远景单元多位于已知有矿单元的周围，应符合该区铅锌矿体的分布规律及找矿方向。

在野外工作中，西北有色地勘公司717

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3种方法预测结果对比　　表4

预测有矿单元	10	15	25	45	46	58	61	65	68	70	75
信息量计算法	+	+	+		+	+	+				+
特征分析法	+	+	+	+	+	+	+		+		+
逻辑信息法	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

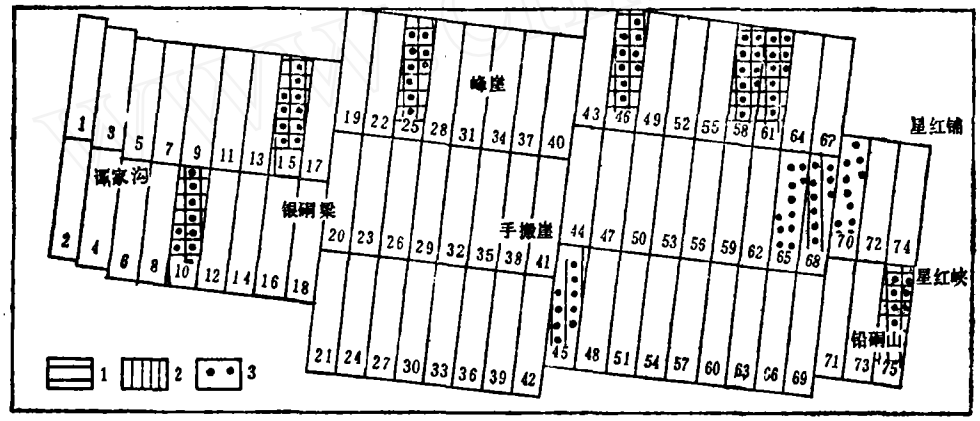

图3　铅硐山—谭家沟一带找矿远景地段预测图

1—信息量计算法测得远景单元，2—特征分析法测得远景单元，3—逻辑信息法测得远景单元

队予以协助并提供部分资料，谨致谢意。

参考文献

[1] 赵鹏大等，《矿床统计预测》，地质出版社，1982年.

[2] 朱裕生，《矿产资源评价方法学概论》，地质出版社，1980年.

A Statistical Prediction of the Exploration Prospect of the Qiandongshan-Tanjiagou Pb-Zn Mining District, Shaanxi

Zhang Zhenfei　Kui Heming

On the basis of ore geology and metallogenic regularities, and by using information content calculation method in combination with characteristics analysis and logical information methods a statistical prediction of the ore deposit at a scale of 1: 50000 in the Qiandongshan-Tanjiagou mining area of the Fengtai ore field in Shaanxi Province was made. Several prospective targets have been outlined and their probability of success and ore potentiality were estimated respectively.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net