

甘肃玛曲大水金矿矿体地质数据中蕴涵的成矿信息

何进忠^{1,2)}, 姚书振¹⁾, 龚全胜³⁾, 陈耀宇³⁾

1) 中国地质大学, 武汉, 430074;

2) 甘肃省地质调查院, 兰州, 730000; 3) 甘肃地勘局第三地质矿产勘查院, 兰州, 730000

内容提要: 大水金矿是著名的超大型矿床, 对于其地质地球化学特征已有许多较深入的研究, 本文通过单因素直方图统计、关联分析、分形统计、曲线拟合等方法研究了矿体地质数据之间的关系。规模最大的主矿体与其他矿体相比, 在顶板围岩、底板围岩、品位、矿体倾向、长度、延深等 6 个要素上均体现出奇异性, 可见主矿体是在十分特殊的地质环境中形成的。控矿变量中, 矿体长度、厚度、延深和倾向等变量之间具有相关性, 倾向在 $20^{\circ} \sim 320^{\circ}$ 内变化, 倾角、品位与其他变量之间的相关性不显著; 由此推测, 成矿作用的发生并不直接受控于浅层的构造因素, 而与岩浆侵入及热液活动诱发的似环状、似锥状局部构造裂隙有关。矿体资源量具有明显的多重分形分布特征, 而矿体的长度总体上呈简单分形分布, 与前人的研究结果联系起来看, 大吨位矿体的围岩以构造角砾岩或蚀变角砾岩为特征, 属于充填成因; 而中等规模的矿体则属于热液交代成因, 一些小规模矿体可能与沉积作用有关; 在成矿空间上, 不同期次的成矿作用遵循了同位成矿规律。矿床的吨-品位关系对幂律分布并不能很好地拟合, 而是服从指数分布。

关键词: 矿体地质数据; 控矿变量; 矿体资源量; 成矿作用; 吨-品位关系; 大水金矿; 甘肃省

大水金矿床已发现矿体 82 个, 探明金储量 46 t, 金平均品位为 11.70×10^{-6} , 远景储量可达超大型规模, 具有规模大、品位高、矿石成分简单、氧化程度高、易选冶等诸多优点。迄今为止, 对于其矿床地质及地球化学特征已有多项研究成果问世(王安建等, 1998; 高兰 et al., 1998; 闫升好等, 2000a, 2000b; Mao et al., 2002; 刘晓春等, 2003; 陈衍景等, 2004; 毛景文等, 2005), 在进一步地质找矿中发挥了作用。本文将对找矿勘探过程中获取的矿体地质数据与资源量的数量关系运用单因素直方图统计、相关分析、分形统计学、曲线拟合等方法进行研究, 以从中获取一些有关成矿规律信息。

1 原始矿体地质数据及其数据类型

1.1 原始数据内容

数据源自甘肃地勘局第三地质勘查院编写的大水金矿详查报告(表 1)^①, 共计 82 条记录, 记录了矿体编号、矿体位置(分布范围)、长度、厚度、延深、倾向、倾角、品位、形态、围岩等 9 项内容。

1.2 数据的地质信息数据类型

根据吴冲龙(2003)提出的地质矿产勘查数据分类方案, 这些数据分别属于以下几类:

名义型数据——矿体编号、矿体形态、矿体顶板围岩、矿体底板围岩, 间隔型数据——矿体分布位置、矿体倾向、矿体倾角, 比例型数据——矿体的长度、厚度、延深、品位。

1.3 按数据的区间属性划分数据类型

在所有数据中, 矿体的位置、厚度由一个数据区间来表示, 其他数据均用一个数值来表示, 这种数据在地质文献中经常见到, 在此将前者称为区间数, 后者称为定值数。与前述吴冲龙(2003)的数据分类结合起来, 可以将矿体位置、矿体厚度的数据类型分别称作间隔型区间数和比例型区间数, 其余所有数据均为定值数。

1.4 按矿体数据描述的矿体的主题划分数据类型

根据矿体地质数据所描述的矿体的主题, 还可以将其划分为: 成矿环境数据——顶底板围岩岩性、矿体与围岩的接触关系, 产状数据——矿体的倾向、

注: 本文为中国地质调查局资源评价部项目“秦岭地区重大找矿疑难问题研究”(编号 200310200040)资助成果。

收稿日期: 2007-08-30; 改回日期: 2008-05-07; 责任编辑: 周健。

作者简介: 何进忠, 男, 1963 年生。1984 年毕业于西安地质学院地质矿产调查专业, 2004 年获中国地质大学矿产普查与勘探专业工学硕士学位, 在读博士, 现在甘肃省地质调查院工作, 长期从事矿产地质与矿床地球化学预测模式研究。电话: 0931-8702981 或 13609386850; Email: viewsino@163.com。

表 1 大水金矿矿体地质特征表

Table 1 Geological characteristics of Dashui gold ore bodies

编号	分布范围(线)	长度(m)	厚度(m)	延深(m)	倾向(°)	倾角(°)	品位(g/t)	形态	围岩
Au1	69~70	65	0.71~12.84	20	200	65	5.86	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au2	68~72	210	3.67~12.69	130	200	65	10.24	长条状	顶为方解石,底为碎裂岩
Au3	70	50	3.62	40	200	65	25.15	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au4	72	25	1.29	15			1.16	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au5	80	40	1.81	20			10.5	长条状	顶底板为白云质灰岩
Au6-1	80	40	3.63	20	200	65	12.12	长条状	顶底板为白云质灰岩
Au6-2	TC-5	40	6.11	20			9.13	长条状	顶底板为白云质灰岩
Au7	81~85	200	2.1~17.95	165	30	70	21.07	长条状	顶底板为构造角砾岩
Au8	83~85	110	2.42~12.53	85	220	65	9.49	长条状	顶板为蚀变碎裂灰岩,底板为构造角砾岩
Au9	83~84	80	7.62~17.25	20	235	65	19.49	楔状	顶底板均为构造角砾岩
Au10-1	TC-5	40	2.1	20			4.21	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au10-2	TC-861	20	3.62	20			3.01	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au11	85	50	5.64	20			1.28	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au12	89~92	160	5.9~16.32	20			6.24	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au13	90	40	2.25	20			7.72	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au14	92	30	1.88	20			15.67	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au15	92	30	0.88				14.82	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au16	92	40	3.66	20			13.49	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au17	80	40	3.5	40			17.86	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au18	98	40	2.88	40	237	70	10.87	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au19	101	40	1.85	40	232	45	23.79	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au20-1	99~102	162	0.61~9.34	58	250	53	10.55	透镜状	顶底板均为花岗闪长岩
Au20-2	99~101	100	0.8~6.47	47	270	55	7.46	透镜状	顶底板均为花岗闪长岩
Au20-3	100~102	110	1.57~8.93	25	250	55	27.72	长条状	顶底板为细晶灰岩,底板为花岗闪长岩
Au21	103~104	60	0.99~1.18	20	232	70	24.77	长条状	顶底板为细晶灰岩,底板为花岗闪长岩
Au22	102	40	1.88	15	237	60	3.58	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au23	99~100	70	1.68~7.46	20	248	70	6.7	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au24	102	40	1.88	40	232	70	1.62	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au25	102	40	1	20	232	64	173	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au26	102	50	2.54	20	232	60	1.15	长条状	顶板为花岗闪长岩,底板为细晶灰岩
Au27	106	40	0.8	35	197	70	1.41	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au28	106	30	0.66	20	197	60	1.65	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au29	100	10	0.87	10	237	70	2.82	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au30	102	40	3.14~4.7	70	237	70	3.46	长条状	顶板为花岗闪长岩,底板为细晶灰岩
Au31	106~107	60	0.88~2.3	20	217	60	1.46	长条状	顶板为花岗闪长岩,底板为细晶灰岩
Au32	106~107	80	5.82~11.47	20	227	80	4.53	长条状	顶板为细晶灰岩、底板为花岗闪长岩
Au33	106~107	80	5.82~11.47	20	227	70	6.36	长条状	顶板为花岗闪长岩、底板为细晶灰岩
Au34	106	40	1.93	20	237	75	6.41	长条状	顶板为细晶灰岩、底板为花岗闪长岩
Au35	109~110	110	2.86~29.36	95	247	65	10.59	梨状	顶板为细晶灰岩、底板为花岗闪长岩
Au36	102	40	0.81~4.28	110			12.6	长条状	顶板为细晶灰岩,底板为花岗闪长岩
Au37	107~110	170	1.7~17.88	80	252	65	12.2	长条状	顶板为灰岩、底板为花岗闪长岩
Au38	99	40	3.77	40	287	80	4.77	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au39	110	40	3.22	40			14.22	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au40	100	40	0.96	40			4.88	长条状	顶板为花岗闪长岩、底板为细晶灰岩
Au41	101	40	1.76	15	232	45	5.46	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au42	100	40	1.97	25	237	80	1.56	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au43	93	40	5.63	20			1.56	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au44	95	40	1.83	20			5.2	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au45	93	40	3.66	20			8.54	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au46	92	40	6.47	20			13.49	透镜状	顶底板为细晶灰岩
Au47	102	25	0.56~1.01	60	272	55	1.8	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au48	102	70	1.05	3.19	220	287	55	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au49	105	45	14.15	80	232	75	18.6	长条状	顶底板为细晶灰岩

续表 1

编号	分布范围(线)	长度(m)	厚度(m)	延深(m)	倾向(°)	倾角(°)	品位(g/t)	形态	围岩
Au50	102	40	0.66	20	185	55	11.55	长条状	顶板为破碎带,底板为方解石脉
Au51	106	40	1.93	20	237	75	6.89	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au52	107~108	45	3.08	20	270	75	3.47	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au53	110	40	7.45	40			1.19	长条状	顶底板为细晶灰岩,底板为花岗闪长岩
Au54	99	40	3.55	30			9.89	长条状	顶板为花岗闪长岩,底板为细晶灰岩
Au55	68	20	0.91	20			1.3	长条状	顶底板为方解石脉
Au56	70	20	1.92	20			1.66	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au57	71	25	1.67	40	225	65	17.08	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au58	76~78	116	1.45~11.85	140	225	65	3.54	枝叉状	顶板为灰岩、花岗闪长岩,底板为细晶灰岩
Au59	76	51	0.94~8.37	94	220	65	1.67	透镜状	顶板为灰岩、花岗闪长岩,底板为细晶灰岩
Au60	76~77	80	1.29~7.18	40	210	50	6.26	透镜状	顶板为灰岩、花岗闪长岩,底板为花岗闪长岩
Au61	77~79	97	1.7~16.06	117	200	70	2.84	脉状	顶底板为细晶灰岩
Au62	78~79	65	4.63	30	210	72	17.56	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au63	79	15			210	65	10.22	脉状	顶底板为细晶灰岩
Au64	77	28	0.94	40	210	65	1.3	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au65	79	30	0.94	40			1.66	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au66	84	40	0.88	40			14.02	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au67	86	20	0.94	20			1.57	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au68	86	20	0.94	20			1.07	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au69	86	20	0.94	20			1.16	长条状	顶底板为花岗闪长岩
Au70	100	20	3.6	20			1.37	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au71	95	20	3.47	20			7.71	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au72	xj821	40	10	20			6.24	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au73	pd704	20	2.26	20			2.91	长条状	顶底板为细晶灰岩
Au1	174~176	90	2.95~9.62	110	185	55	11.03	长条状	顶底板为灰质砾岩
Au2	180~190	140	1.9~5.98	75	237	75	4.43	长条状	顶底板为灰质砾岩
Au3	192~200	150	1~7.25	30	237	70	2.76	长条状	顶底板为灰质砾岩
Au4	200	20	0.98	20			2.48	透镜状	顶底板为灰质砾岩
Au5	pd190	30	1.88	20	340	70	8.84	透镜状	顶底板为灰质砾岩

走向和倾角,形状数据——矿体形态,质量数据——矿体平均品位、有害元素含量,规模数据——矿体长度、厚度、延深、储量或资源量。

2 数据预处理方法及其适用性

在正式处理前,先将原始数据转化为利用常规数据处理方法可以处理的数据,这些数据预处理过程包括比例型区间数的定值化或离散化、名义型数据的代码化。

2.1 比例型区间数的定值化

方法是将区间数按区间的两个端员值和两个端员值的平均值将区间数离散化,如一个矿体的厚度区间数为 1~10 m,则离散化后的数据有 1 m、10 m 和 5.5 m 3 个值组成,这样与所有矿体对应的矿体厚度最小值、最大值和平均值均可同其他定值型数据一样参与数学处理。该方法适用于所有数值型区间数(即间隔型区间数和比例型区间数)。

如果知道数据的统计分布形式,还可以按分布形式将区间数进行离散化处理,如矿体区间数 1~10

m 的分布频率为正态分布,且端员值 1、10 对应的概率值均为 5%,则其平均值的概率为 50%,以此方式处理后的模拟频率数据可以进行区间数理想频率分布形式模拟。

2.2 名义型数据的代码化及组合特征码的生成

给名义型数据矿体形态、顶板围岩、底板围岩等按已有的属性描述词分别赋予相应的代码。矿体形态中的长条状、楔状、透镜状、梨状、枝叉状、脉状等分别用 1、2、3、4、5、6 等 6 个数字表示,顶底板围岩中细晶灰岩、方解石脉、白云质灰岩、构造角砾岩、蚀变碎裂岩、花岗闪长岩、灰岩与花岗闪长岩、灰质砾岩分别用 1、2、3、4、5、6、7、8 等 8 个数字表示。

代码化后的名义型数据可以用连接运算进行特征码的组合,如矿体顶、底板围岩与矿体形态的组合,如果某矿体的底板围岩是花岗闪长岩(6)、顶板围岩是结晶灰岩(1)、形态为长条状(1),则其组合的运算过程为:

6&1&1=611,其中“&.”为连接运算符,或 CONCATENATE(6,1,1)=611。

即该矿体的组合特征码是611,这样我们便可以以组合特征码为对象来考察名义型变量的组合特征与矿体资源量之间的关系。

这种运算可以在计算机中用编程语言实现,或在Microsoft Excel软件中用联结函数来完成。该数据预处理方法仅适用于名义型变量。

3 矿体地质的数量关系

3.1 单因素直方图分布特征

用直方图的众数、频数等特征参数了解各矿体地质特征值的分布规律,并通过考查单因素区间值与资源量之间的数量关系来了解矿体控制因素的有利数值区间(图1)。参与统计的有底板围岩、顶板围岩、矿体形态、品位、倾向、倾角、长度、平均厚度、延深等9个矿体地质要素,下面根据地质要素属性对应的资源量和地质要素属性出现频数的比较分析,来阐述有利于成矿的地质要素属性值。为了表达图形中的数量关系,在此引入两个名词:奇异性和间断性。奇异性是指具有某种属性的矿体出现的频率高低与其对应的金资源量的大小相差很大;间断性是指相对连续的金矿体资源量变化曲线中存在明显的高低落差或间断。

底板围岩:对应资源量最大的底板围岩是构造角砾岩,其次是花岗闪长岩和结晶灰岩,对资源量的贡献率分别是40.9%、25.3%和17.0%。其中结晶灰岩出现的频率最高(59.8%),其次为花岗闪长岩(23.2%),最有利于成矿的构造角砾岩所对应的矿体数却很小,仅占3.65%,即以3.65%的矿体数贡献了40.9%的资源量,具有奇异性(图1a)。

顶板围岩:对应资源量较大的顶板围岩是结晶灰岩和构造角砾岩,即构造角砾岩无论作为底板或顶板均有利于成矿;结晶灰岩为矿体顶板时,较之其作为底板更有利于成矿。花岗闪长岩作为顶板时对资源量的贡献(4.6%),较之其作为底板时明显降低(图1b)。

矿体形态:对应资源量最大的矿体形态是长条状(77.6%),其他形态的资源量优势均不明显。其中透镜状矿体出现的频率相对较高(25.6%),但资源量贡献较低(7.2%),具有奇异性(图1c)。

矿体品位:对应资源量最大的矿体品位区间是20~30 g/t,其次是10~20 g/t和1~10 g/t,但各品位段矿体的出现频数顺序依次是1~10 g/t(67.1%)、10~20 g/t(24.4%)和20~30 g/t(6.1%),即矿床的金资源量主要(74.0%)由品位为

10~30 g/t的高品位矿体提供,矿体出现频率较高的低品位(1~10 g/t)矿体只提供了约1/4,具有奇异性。表明该矿床是一个难得的大而富的金矿床(图1d)。

矿体倾向:倾向在20°~320°内变化(图1e),平面图的东段显示为环状,中西段显示为向上(向西海拔增加)撒开并矿体宽度变大的扇状(图2),具有似环状或似锥状裂隙控矿特征。对应资源量最大的矿体倾向是20°~40°,其次依此是180°~200°、220°~240°和240°~260°;但倾向是20°~40°的矿体只有一个,明显与众不同;倾向为220°~240°的矿体出现频率虽然最高(42.8%),但赋存资源量居于次要地位,具有奇异性。

矿体倾角:资源量曲线与对应的直方图频数正相关,表明资源量的变化主要由倾角的频数高低引起,与成矿时某种倾角的裂隙的发育程度有关;倾角为20°~40°之间的裂隙不发育,倾角为60°~70°的裂隙发育程度较高(图1f)。

矿体长度:对应资源量最大的矿体长度是190~200 m(35.7%),其次为100~110 m(14.8%)、160~170 m(10.9%)和200~210 m(11.5%);出现频数最高的矿体长度是30~40 m(37.8%),但其资源量贡献仅为5.5%;具有奇异性(图1g)。

平均厚度:可以将资源量曲线按其变化趋势分为两段:1~11 m和12~17 m,两段之间形成一个大的资源量落差或间断,但在每段的内部均显示出资源量与厚度频数之间的负相关关系,即厚度愈大,矿体出现的频数愈低,但提供的资源量愈大。从成矿作用的阶段性来考虑,矿体厚度变化曲线呈现出的阶段性可能与两期不同规模的构造拉张成矿作用有关。资源量最大的矿体厚度是10~11 m(35.7%),其次为8~9 m和16~17 m(图1h)。

延深:延深最大的矿体(160~170 m)和延深较小的矿体(10~20 m)提供了绝大部分资源量;但延深160~170 m的矿体只有1处,在延深较小的矿体中,80%的矿体延深小于40 m,延深10~20 m的矿体占52.5%。资源量的分布与矿体延深相比较,具有明显的奇异性(图1i)。

从以上对矿体地质单因素的统计结果看,资源量的分布与矿体地质因素属性的频数之间的关系明显具有3种特征:相关性、奇异性、间断性。相关性在矿体形状、倾角的分布上体现明显,奇异性在顶底板围岩、倾向、长度、延深等要素中均有体现,间断性主要体现在矿体厚度的分布上。规模最大的主矿体

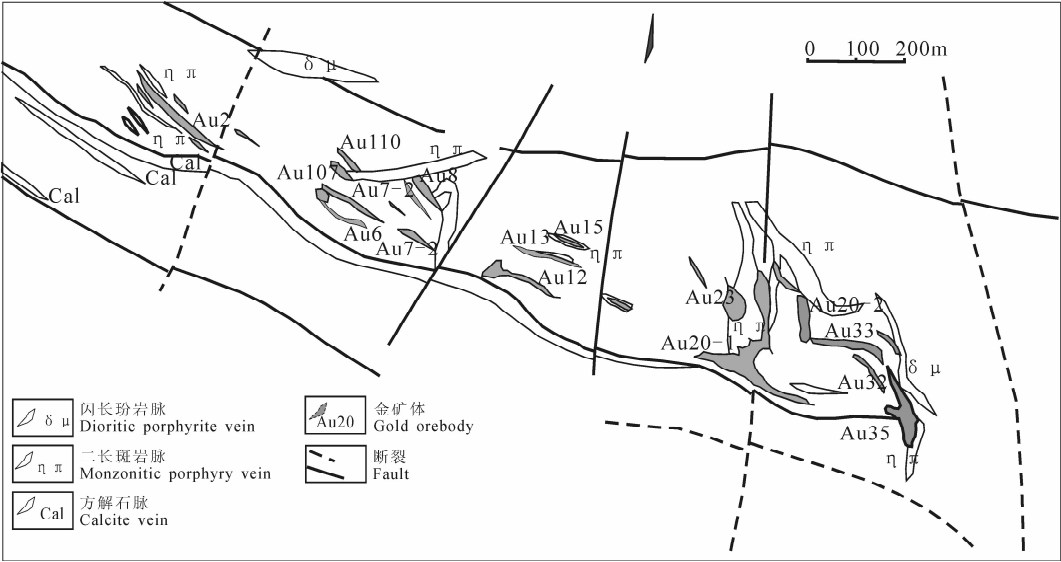


图 2 甘肃省玛曲县大水金矿矿体分布平面图
Fig. 2 Sketch map for showing the orebodies of Dashui gold deposit of Maqu County, Gansu Province

的资源量与其他矿体相比,在顶板围岩、底板围岩、品位、矿体倾向、长度、延深等 6 个要素上均体现出奇异性,可见主矿体是在十分特殊的地质环境中形成的,而大量小矿体的形成条件具有较高的相似程度。

3.2 成矿要素相关分析

3.2.1 成矿要素特征码组合与矿体品位和资源量的相关分析

成矿要素特征码组合与矿体品位和资源量的相关分析是在名义型数据的代码化和组合特征码生成的基础上进行的,选用的地质要素为顶底板围岩和矿体的形态,围岩反映的是圈闭矿体的物理化学环境,矿体的形态反映的是断裂或结构面的力学性质。由于组合特征码不属于标量,这种关联分析只能以时间序列方式示于图 3。

从矿体品位随成矿要素特征码组合变化的关系看,113、331、441、451、611 等组合的品位高且变化稳定,即顶底板围岩均为结晶灰岩的透镜状矿体、顶底板围岩均为白云质灰岩的长条状矿体、顶底板围岩均为构造角砾岩的长条状矿体、底板为构造角砾岩而顶板为蚀变碎裂岩的长条状矿体、底板为花岗闪长岩而顶板为细晶灰岩的长条状矿体的品位高且变化稳定。顶底板均为结晶灰岩的长条状矿体、顶底板均为花岗闪长岩的长条状矿体中有特高品位出现,但同时存在低品位矿体,品位变化较大。

从矿体资源量随成矿要素特征码组合变化的关系看,最有利的成矿要素组合是 331、441、451、663、

673,分别对应顶底板围岩为白云质灰岩的长条状矿体、顶底板均为构造角砾岩的长条状矿体、底板为构造角砾岩而顶板为蚀变碎裂岩的长条状矿体、顶底板均为花岗闪长岩的透镜状矿体、底板为花岗闪长岩而顶板为灰岩与花岗岩的透镜状矿体,其他成矿要素组合中也有资源量较大的矿体存在,但相应的不同矿体的资源量变化较大。结晶灰岩虽然在矿床中普遍作为围岩存在,但并非最有利的成矿要素。

3.2.2 矿体规模变量之间的关系

矿体规模变量指直接与矿体规模计算有关的变量,如矿体长度、厚度、延深、品位等,由分析结果(表 2)可见,矿体长度与平均厚度正相关,与倾向有较小的负相关;平均厚度与延深正相关,延深与倾向负相关。相关性主要体现在矿体长度、厚度、延深和倾向等变量之间。

倾角、品位与其他变量均无显著的相关性。结合前面对于倾角的论述认为,不同倾角的矿体具有同等的成矿机会,不同倾角矿体的总几何规模与相应的裂隙发育程度有关;矿体的品位受控于矿体几何规模之外的因素;矿体的几何规模与倾角和品位无关。结合前面关于倾向显示的似环状、似锥状特征认为,尽管岩体的入侵可能与 WNW 向区域构造线和 SN 向构造(闫升好等,2000a)交汇部位有关(Bierlein et al., 2006),但成矿作用发生并不直接受控于浅层的构造因素,而与岩浆侵入及热液活动(Sun et al., 2004)诱发的似环状、锥状等局部构造裂隙(Silva et al., 2001)有关;当然,不能排除似环

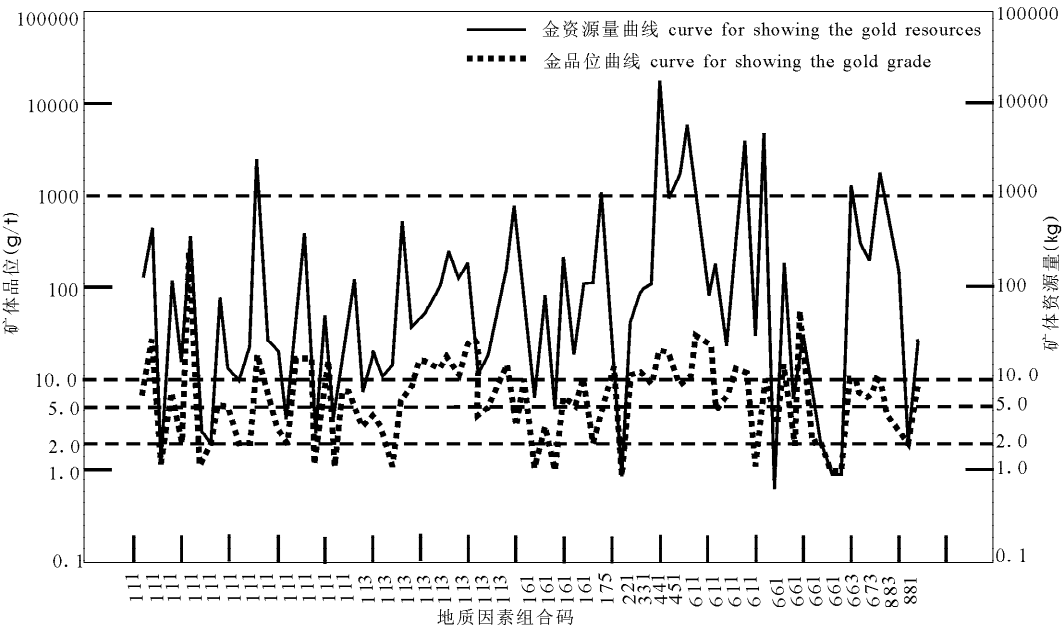


图 3 大水金矿成矿地质因素组合与矿体规模和品位的关系

Fig. 3 The relation of the association of metallogenic factors in Dashui gold deposit with sizes and grades of gold orebodies

横坐标特征码对应属性:第一、二位特征码分别表示底板、顶板围岩:1—结晶灰岩;2—方解石脉;3—白云质灰岩;4—构造角砾岩;5—蚀变碎裂岩;6—花岗闪长岩;7—灰岩与花岗岩;8—灰质砾岩;第三位特征码表示矿体形态:1—长条状;2—楔状;3—透镜状;4—梨状;5—枝叉状;6—脉状

In attributes corresponding to geological codes along abscissa, first and second codes denote bottom host rock, and top host rock, respectively; 1—crystal limestone; 2—calcite vein; 3—dolomitic limestone; 4—fault breccia; 5—altered cataclastite; 6—granodiorite; 7—limestone and granite; 8—calcareous conglomerate; Third code denotes orebody shapes: 1—strip; 2—sphenoid; 3—lentoid; 4—pear-like; 5—branches-like; 6—vein-like

表 2 矿体规模控制变量之间的相关分析结果

Table 2 Correlation among variables of orebody size-controlling

变量	长度(m)	平均厚度(m)	延深(m)	倾向(°)	倾角(°)	品位(g/t)
长度(m)	1	0.559668	0.635423	-0.33014	-0.04251	-0.03592
平均厚度(m)		1	0.551919	-0.18334	0.108807	-0.08437
延深(m)			1	-0.4334	-0.05784	-0.11538
倾向(°)				1	0.050818	-0.04692
倾角(°)					1	0.01443
品位(g/t)						1

状、似锥状构造裂隙对早期浅层构造裂隙的利用。

3.3 矿体资源量的多重分形分布特征

矿体资源量具有明显的多重分形分布特征,在矿体资源量双对数坐标图上(图 4),可以将双对数曲线以 100 kg、800 kg 和 3100 kg 3 个临界值分为 4 段,对应的维数分别为 0.0031、0.06318、0.2229 和 0.9837。该现象暗示,不同规模的矿体可能是由不同的成矿作用或过程形成的,大吨位矿体对应较高的分维值,或者说大吨位矿体对应更为复杂的成矿环境和过程,该过程在小规模矿体所在环境中是难以实现的。

闫升好等(2000a)认为,矿石组构和矿物组成等

反映出的成矿作用方式主要为热液渗滤交代、构造裂隙和角砾岩孔隙等有限空间的充填沉淀作用以及古构造岩溶内相对开放空间中的沉积或堆积作用,构成比较完整的热液交代—充填—沉积成矿体系。将该认识与对顶底板围岩成矿特征的直方图统计结果联系起来看,大吨位矿体的围岩以构造角砾岩或蚀变角砾岩为特征,属于充填成因,而中等规模的矿体则属于热液交代成因,一些小规模矿体可能与沉积作用有关。

与矿体资源量呈多重分形分布不同,矿体的长度总体上呈简单分形分布(图 5),矿体资源量的频率服从对数正态分布(图 6),表明,尽管成矿过程是多

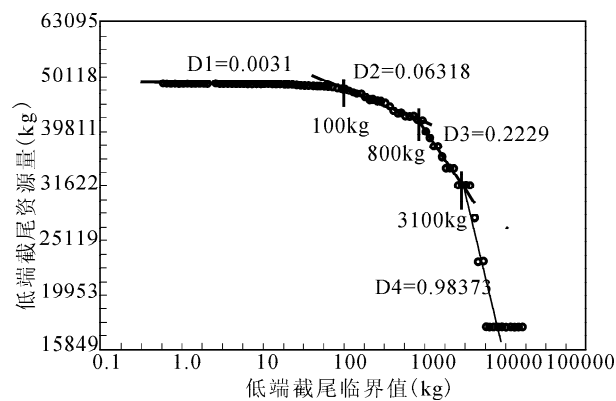


图 4 大水金矿体资源量与低端截尾资源量双对数图
Fig. 4 Double-logarithmic plot of orebody resources to resources under lower truncation in Dashui gold deposit

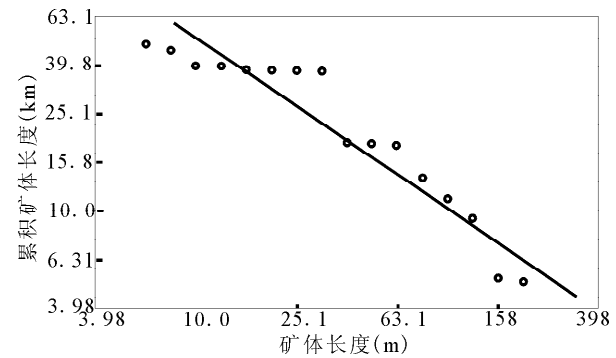


图 5 大水金矿矿体长度双对数坐标图
Fig. 5 Double-logarithmic plot of orebody length in Dashui gold deposit

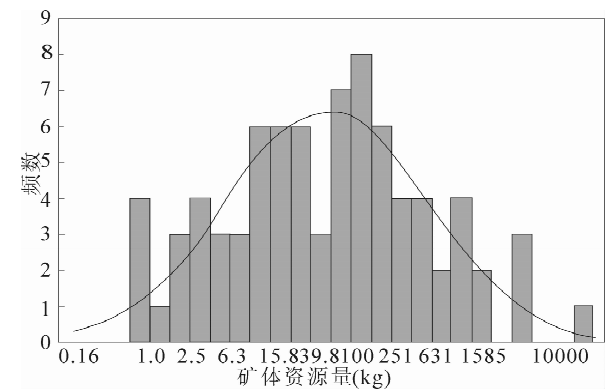


图 6 大水金矿矿体资源量对数直方图
Fig. 6 Logarithmic histogram of orebody resources in Dashui gold deposit

种多样的,但矿体就位空间没有太大的变化,从而使矿体长度的分形特征继承了成矿前裂隙系统的分形分布形式,并在之后的多期成矿过程中,基本上是同

位成矿(梅友松等,1995)。

3.4 矿床的吨-品位关系

在图 1d 所示的矿体品位分布直方图中,已明确显示矿床中矿体的品位可以分为 3 段:1~30 g/t、50~60 g/t 和 170~180 g/t。其中 1~30 g/t 段提供了 99.2%的资源量,故可以以 1~30 g/t 段的品位吨位关系来代表整个矿床的品位-吨位关系。

与依据区域众多矿床的矿产资源量建立的吨-品位模型(罗建民等,2006)不同,该矿床中矿体的低端截尾累积资源量与品位的双对数图(图 7)显示的吨-品位关系总体上并不完全服从帕累托分布或齐波夫定律(赵鹏大等,1999)。依据幂函数拟合得到的吨-品位关系为:

$$y=29610.6x^{-0.132111}$$

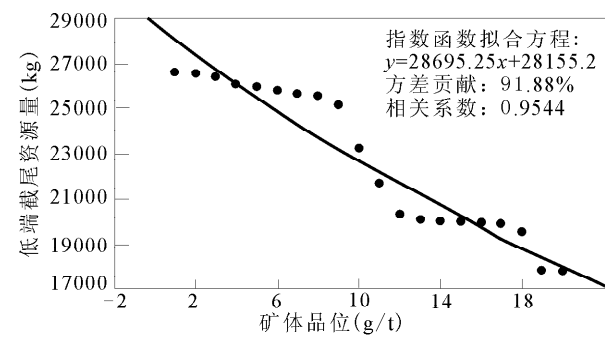


图 7 大水金矿低端截尾资源量与矿体品位双对数图
Fig. 7 Double-logarithmic plot of resources of lower truncation to orebody grades in Dashui gold deposit

对原始低端截尾资源量或吨位的方差贡献率(拟合度)为 68.53%,拟合值与原始值的相关系数为 0.8278;而依据指数函数拟合得到的吨-品位关系为:

$$y=28695.25\exp(-0.023x)$$

对原始低端截尾资源量或吨位的方差贡献率(拟合度)为 91.88%,拟合值与原始值的相关系数为 0.9544。显然指数函数较幂函数更好地描绘了该矿床的吨-品位关系(图 7)。

4 结论

通过对大水金矿矿体地质特征数据的处理、分析,获得了以下认识:

本文提出的区间数离散化及名义型数据代码的组合码生成等数据预处理方法在本文数据关系的研究过程中发挥了作用,在地质数据处理中具有一定的应用前景。

规模最大的主矿体的资源量与其他矿体相比,在顶板围岩、底板围岩、品位、矿体倾向、长度、延深等 6 个要素上均体现出奇异性,可见主矿体是在十分特殊的地质环境中形成的,而大量小矿体的形成条件具有较高的相似性。最有利的成矿要素组合是顶底板围岩为白云质灰岩的长条状矿体、顶底板均为构造角砾岩的长条状矿体、底板为构造角砾岩而顶板为蚀变碎裂岩的长条状矿体、顶底板均为花岗闪长岩的透镜状矿体、底板为花岗闪长岩而顶板为灰岩与花岗岩的透镜状矿体。

控矿变量中,矿体长度、厚度、延深和倾向等变量之间具有相关性,倾向在 20°~320°内变化,倾角、品位与其他变量之间的相关性不显著,同样的倾向可以有不同的倾角;由此推测,成矿作用的发生并不直接受控于浅层的构造因素,而与岩浆侵入及热液活动诱发的似环状、似锥状局部构造裂隙有关。

矿体资源量具有明显的多重分形分布特征,而矿体的长度总体上呈简单分形分布,与前人的研究结果联系起来看,大吨位矿体的围岩以构造角砾岩或蚀变角砾岩为特征,属于充填成因,而中等规模的矿体则属于热液交代成因,一些小规模矿体可能与沉积作用有关。在成矿空间上,基本上是同位成矿。矿床的品位—吨位关系对幂律关系并不能很好地拟合,而是服从指数关系。

注 释

① 李真善. 2003. 甘肃省玛曲大水金矿详查报告.

参 考 文 献

陈衍景,张静,张复新,等. 2004. 西秦岭地区卡林一类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式. 地质论评, 50(2): 134~153.

高兰. 1998. 大水式金矿床——我国新发现的一种金矿成因类型. 矿床地质, 17 (Sup.): 389~392.

刘晓春,王平安,董法宪,等. 2003. 甘肃大水二长岩类特征、结晶条件与侵位深度. 地质力学学报, 9(1): 62~69.

罗建民,侯云生,张新虎,等. 2006. 甘肃省金矿资源预测模型及潜力评价. 矿床地质, 25(1): 53~58.

毛景文,李晓峰,李厚民,等. 2005. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨. 地质学报, 79(3): 342~372.

梅友松,汪东坡,黄浩,等. 1995. 同位成矿概论. 地质与勘探, 31(5): 3~14.

王安建,高兰,闫升好,等. 1998. 大水式金矿床成因和分布规律探讨. 矿床地质, 17 (Sup.): 267~270.

吴冲龙. 2003. 资源信息系统教程. 北京:地质出版社, 46~51.

闫升好,王安建,高兰,等. 2000a. 大水式金矿床地质特征及成因探讨. 矿床地质, 19(2): 126~137.

闫升好,王安建,高兰,等. 2000b. 大水式金矿床稳定同位素、稀土元

素地球化学研究. 矿床地质, 19(1): 37~45.

赵鹏大,陈永清,刘吉平,等. 1999. 地质异常成矿预测理论与实践. 武汉:中国地质大学出版社, 60~75.

Bierlein F P, Murphy F C, Weinberg R F, et al. 2006. Distribution of orogenic gold deposits in relation to fault zones and gravity gradients: targeting tools applied to the Eastern Goldfields, Yilgarn Craton, Western Australia. Miner Deposita, DOI 10. 1007/s00126-005-0044-4.

Cheng Yanjing, Zhang Jing, Zhang Fuxin, et al. 2004. Carlin and calin-like gold deposits in west Qinling Mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model. Geological Review, 50(2): 134~153 (in Chinese with English abstract).

Gao Lan. 1998. Dashui type gold deposit——A new kind of gold deposit in China. Mineral Deposits, 17 (Sup.): 389~392 (in Chinese with English abstract).

Liu Xiaochun, Wang Ping'an, Dong Faxian, et al. 2003. Characteristics, crystallization conditions and emplacement depths of quartz monzonites from Dashui area, Gansu Province. Journal of Geomechanics, 9(1): 62~69 (in Chinese with English abstract).

Luo Jianmin, Hou Yunsheng, Zhang Xinghu, et al. 2006. Reserve productive model and resource potential appraisal of gold deposits in Gansu Province, China. Mineral Deposits, 25(1): 53~58 (in Chinese with English abstract).

Mao Jingwen, Qiu Yumin, Goldfarb R J, et al. 2002. Geology, distribution, and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China. Mineralium Deposita, 37: 352~357.

Mao Jinwen, Li Xiaofeng, Li Houmin, et al. 2005. Types and characteristics of endogenetic metallic deposits in orogenic belts in China and their metallogenic processes. Acta Geologica Sinica, 79(3): 342~372 (in Chinese with English abstract).

Mei Yousong, Wang Dongpo, Huang Hao, et al. 1995. An introduction to the isospatial metallogenesis. Geology and Prospecting, 31(5): 3~14 (in Chinese with English abstract).

Silva M G, Coelho C E, Teixeira J B, et al. 2001. The Rio Itapicuru greenstone belt, Bahia Brazil: geological revolution and review of gold mineralization. Mineralium Deposita, 36: 345~357.

Sun Weidong, Arculus R J, Kamenetsky V S, et al. 2004. Release of gold-bearing fluids in convergent margin magmas prompted by magnetite crystallization. Nature, 431(21): 975~978.

Wang Anjiang, Gao Lan, Yan Shenghao, et al. 1998. Genesis of Dashui type gold deposits and discussion of their distribution law. Mineral Deposits, 17 (Sup.): 267~270 (in Chinese with English abstract).

Wu Chonglong. 2003. Tutorial for Resources Information System. Beijing: Geological Publishing House, 46~51 (in Chinese).

Yan Shenghao, Wang Anjian, Gao Lan, et al. 2000a. Geological characteristics and genesis of the Dashui type gold deposits. Mineral Deposits, 19(2): 126~137 (in Chinese with English abstract).

Yan Shenghao, Wang Anjian, Gao Lan, et al. 2000b. REE geochemistry and implications of stable isotopes in Dashui type

gold deposits. *Mineral Deposits*, 19(1):37~45 (in Chinese with English abstract).

Practice of Geoanomaly in Mineral Exploration. Wuhan:Press of China University of China,60~75.

Zhao Pengda, Chen Yongqing, Liu Jiping, et al. 1999. Theory and

**Genesis of the Dashui Gold Deposit in Maqu, Gansu Province:
Evidence from Geochemical Analysis**

HE Jinzhong^{1,2)}, YAO Shuzhen¹⁾, GONG Quansheng³⁾, CHEN Yaoyu³⁾

1) *China University of Geosciences, Wuhan, 430074;*

2) *Gansu Institute of Geological Surveying, Lanzhou, 730000;*

3) *No.3 Geology and Exploration Team, Gansu Provincial Bureau of Geology
and Mineral Exploration and Development, Lanzhou,730000*

Abstract

Dashui gold deposit is one of the renowned superlarge gold deposits, numerous research has been done on its geochemical characteristics. The study focuses on correlation between all the data from all geological bodies using various geochemical means. Comparison of the largest orebody to other orebodies shows that they all show great differences in six geological factors such as country rock in the topwall and footwall, grade, dipping, length and depth, suggesting that main orebodies formed in a special environment. Ore-controlling variables such as length, thickness,depth and dipping are interrelated with dips ranging from 20 to 320. There is no distinct correlation among dipping angle, grade and other variables, suggesting that the deposit is not undirectly controlled by epizonal ore-controlling factors but related to local ring-like or taper-like structures resulted from magmtic intrusion and hydrothermal activities. Compared to previous results, country rocks around large-tonnage orebodies are characterized by structural breccia or altered breccia, which indicates filling genesis. Medium-scale orebodies resulted from hydrothermal metasomatism. Small-sized orebodies are probably related to sedimentation. Spatically, various mineralizations are subject to the law of isospatial metallogenesis. The relation of tonnage to grade in the deposit is subject to exponential function, rather than power function.

Key words: data of orebody geology; ore-controlling variables; orebody resources; mineralization; relation of tonnages to grades; Dashui gold deposit; Gansu province

