

文章编号:1004-4116(2023)03-0027-09

玛曲大水金矿原生晕地球化学特征 及深部找矿预测

王 滔^{1,2},毛艳丽^{1,2},黄从俊³,孟广安⁴

(1. 甘肃省地矿局第三地勘院,甘肃 兰州 730050;

2. 甘肃省金属贵金属矿产资源勘查与综合利用工程技术研究中心,甘肃 兰州 730050;

3. 中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610081;4. 河北省地质矿产研究中心,河北 石家庄 050051)

摘 要:为延长大水金矿的服务年限,解决资源危机,通过对矿区构造叠加晕研究,对其深部找矿潜力和找矿方向进行预测和评价。系统采集矿区69个中段、120个钻孔的岩石、矿石样品进行测试分析,利用多元统计方法,对矿区成矿成晕元素的组合特征和空间分布特征进行分析,并以找矿前景较好的87(B)勘查线为主要研究对象。研究表明:①大水金矿主成矿元素Au与伴生元素As、Sb、Hg表现出较好的正相关关系,可作为后期找矿勘查的重要指数元素;②原生晕元素具有“前、尾晕共存”和“反分带”现象,且地球化学参数在轴向上呈波动变化的特点,表明大水金矿成矿过程具有多期多阶段叠加的特征,预示深部有盲矿体存在;③通过预测,在87(B)勘探线深部得到验证,发现了新的矿体。结果证明原生晕对预测深部隐伏矿体具有重要指导意义。

关键词:地球化学特征;原生晕;深部找矿预测;大水金矿;玛曲县

中图分类号:P618.51;P632

文献标志码:A

大水金矿床位于白龙江复背斜西段,属西秦岭造山带南缘,与松潘—甘孜褶皱带接壤,邻近勉略断裂带。以玛曲—略阳断裂为界,其北为西倾山隆起带,其南为巴西复向斜。区域上有大水、贡北、格尔托、忠曲、辛曲等金矿床分布,大水金矿床就位于西倾山隆起带西南缘,玛曲—略阳断裂带和大水—忠曲断裂之间。

经过30多年的开采利用,已被列入危机矿山行列,为解矿山燃眉之急,必须应用新方法、新技术寻找新的矿体,特别是深部隐伏矿体。岩石测量(原生晕)方法,是一种被国内外勘查地球化学家公认的寻找隐伏矿的有效方法^[1-4],经过多年的发展,取得了丰硕成果^[5-9]。原生晕找矿方法不仅在金矿床的深部预测取得成果^[10-12],在铜、铅、锌、银、钨等矿床的深部找矿方面也取得显著的效果^[13-16]。前人对大水金矿的矿床成因^[17-19]、沉淀机制^[20-22]、围岩蚀变特征^[23]、元素地球化学特征^[24-26]、岩浆岩年代学^[27]等进行了较为系统的研究,而对矿床原生晕的研究相对较

少^[28]。

本文基于对大水金矿已有中段和钻孔岩心样品的原生晕地球化学特征进行研究,建立矿床原生晕地球化学叠加模型,并通过对87(B)勘探线成矿成晕元素的分析,预测深部盲矿体的位置,以实际工程验证,为后期矿区寻找深部隐伏矿体提供勘查方向。

1 矿床地质特征

秦岭造山带横亘于中国大陆腹地,是秦—祁—昆造山系的重要组成部分,是典型的复合型大陆造山带^[29-31]。西秦岭是东西向秦岭构造带的向西自然延伸,位于我国中央造山带中部,是中央造山带的重要组成部分之一^[32-33],是我国重要的金多金属成矿区。大水金矿床大地构造属西秦岭造山带南缘,与松潘—甘孜褶皱带接壤,邻近勉略断裂带。以玛曲—略阳断裂为界,其北为西倾山隆起带,其南为巴西复向

收稿日期:2023-07-27

基金项目:中国地质调查局发展研究中心老矿山深部和外围找矿项目“甘肃省玛曲县大水金矿接替资源勘查”(1212011220727)

作者简介:王滔(1984~),男,化探工程师,主要从事矿产勘查、生态环境调查与治理工作。E-mail:wangtao6677@126.com

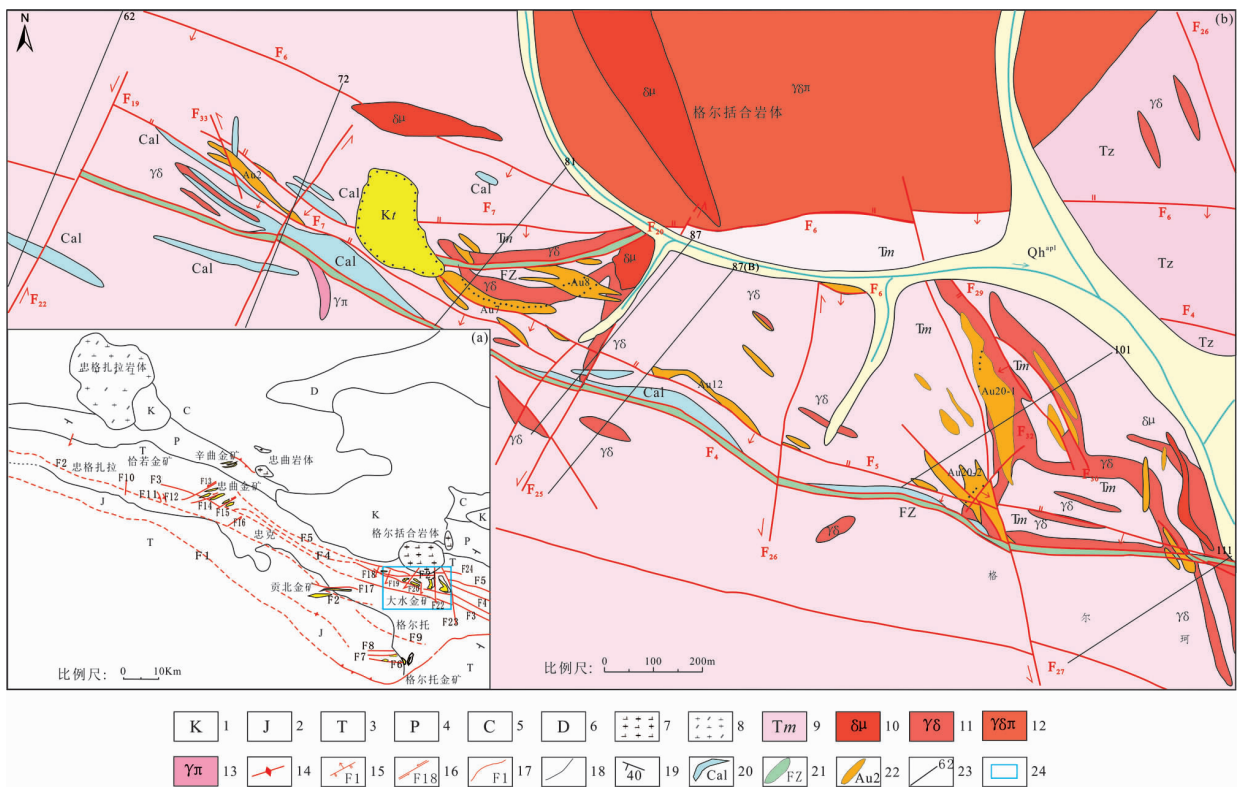


图 1 大水金矿床地质简图

Fig. 1 Geological sketch of Dashui gold deposit

- 1—白垩系;2—侏罗系;3—三叠系;4—二叠系;5—石炭系;6—泥盆系;7—花岗闪长斑岩;8—二长斑岩;9—三叠系马热松多组;
10—闪长玢岩;11—花岗闪长岩;12—花岗闪长斑岩;13—花岗斑岩;14—向斜;15—实测、推测逆断层及编号;
16—实测、推测平推断层及编号;17—实测性质不明断层及编号;18—实测地质界线;19—地层产状;20—方解石脉;
21—破碎带;22—金矿体及编号;23—勘查线及编号;24—矿区;

斜。大水金矿床位于西倾山隆起带西南缘的玛曲—略阳断裂带和大水—忠曲断裂之间^[34]。

成矿作用受到 NWW 向和近 SN 向容矿断裂构造的控制,围岩蚀变较强烈,具有多阶段性,以裂隙充填为主,多呈线状或带状蚀变。蚀变带严格受断裂破碎带控制,呈线性展布,从断裂—岩脉中心向两侧围岩,具由强到弱的分带现象。矿体主要赋存于中三叠系马热松多组(T_m)灰岩、白云质灰岩,二叠系灰岩,侏罗系砾岩与花岗闪长岩脉中,其次产于格尔括合花岗闪长岩体与灰岩的接触带内。矿体形态复杂,多为脉状、次为漏斗状、囊状、不规则状等。矿石类型较多,主要有赤铁矿化硅化碳酸盐岩型、交代似碧玉岩型和赤铁矿化硅化花岗闪长(斑)岩型、角砾岩型、脉状—网脉状硅化花岗闪长岩型。

矿体严格受断裂构造控制,目前已圈出金矿体 262 条,矿带自 58 线至 112 线呈北西向和近南北向展布,出露标高 3 840 ~ 3 600 m,西高东低。其中北西向分布的主要矿体有 Au₂、Au₇、Au₈ 等,近南北向

分布的主要矿体有 Au₂₀₋₁、Au₂₀₋₂ 等(图 1)。

根据热液脉体宏观与微观穿切关系及其共生矿物组合,将大水金矿床成矿作用过程划分为热液期和次生风化期;热液期又划分为微晶石英—赤铁矿阶段 I、微晶石英—赤铁矿—方解石阶段 II、石英—方解石阶段 III、粗晶方解石阶段 IV 和条带状—梳状硫化物阶段 V,其中阶段 I 为 Au 的重要成矿阶段,阶段 II 为 Au 的主要成矿阶段,阶段 III 为 Au 的次要成矿阶段。

2 样品采集与数据分析

大水金矿原生晕样品在构造或蚀变带内选择有强蚀变或强矿化部位的一定范围内多点采集样品,在走向上采样点距 5 ~ 10 m。若构造蚀变带厚度较大时,在构造蚀变带厚度方向上按 3 ~ 4 m 或者更短距离采样,采集方法为连续拣块法,中段平硐样品重 500 g,钻孔样品重 250 g。全区共采集 9 936 件样

品,涉及 46 条勘探线、69 个中段、120 个钻孔,不同标高平硐累计取样长度约 17.6 km。其中勘查线 87 (B)采集样品 105 件,涉及钻孔 4 个、中段一个。根据矿物组合特征^[35-36],选取 Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、W 共 10 种元素进行分析,其中 Au 采用泡沫吸附-ICP-MS 法,Ag 采用发射光谱法(ES),W、Mo 采用等离子质谱 ICP-MS 法,As、Hg、Sb 采用原子荧光法(AFS),Pb、Zn、Cu 采用粉末压片-XRF 法。样品测试由国土资源部兰州矿产资源监督检测中心(甘肃省中心实验室)完成,仪器检出限、样品测试报出率、分析方法的准确度和精密度等各项指标均符合相关技术规范要求。

(1)相关分析

相关分析是研究变量之间相关关系的数理统计方法,当事物之间存在相关关系时,不一定是因果关系,也有可能是伴随关系。该方法广泛运用到地球化学研究领域,用于研究主成矿元素与伴生元素之间的相关性^[37-40]。本文采用 Pearson 相关系数法对 Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、W 进行相关性分析,从元素相关系数矩阵(表 1)中可以看出: Au 与 As、Sb、Hg、As 与 Sb、Mo、Zn、Pb、W,表现出较好的正相关关系,相关系数分别介于 0.146 ~ 0.180 和 0.302 ~ 0.595 之间; Au 与 Cu、Pb、Zn、Ag 相关系数均小于 0.1。

(2)聚类分析

表 1 大水金矿原生晕元素相关系数矩阵

Table 1 Correlation matrix of elements of primary halos in Dashui gold mine

元素	Au	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	Ag	Mo	W
Au	1.000									
As	0.146	1.000								
Sb	0.180	0.375	1.000							
Hg	0.159	0.137	0.187	1.000						
Cu	0.032	0.139	0.094	0.065	1.000					
Pb	0.029	0.302	0.077	0.013	0.093	1.000				
Zn	0.052	0.487	0.170	0.030	0.203	0.487	1.000			
Ag	0.086	0.037	0.435	0.060	0.227	-0.006	0.014	1.000		
Mo	0.118	0.595	0.269	0.065	0.123	0.334	0.527	0.015	1.000	
W	0.115	0.322	0.128	0.019	0.632	0.155	0.294	0.020	0.284	1.000

为进一步验证元素之间相似性和疏远程度,对 10 种剔除异常值后的元素做 R 型聚类分析,聚类方法选择组间连接,度量标准为 Pearson 相关,得到 10 种原生晕元素的分类谱系图(图 2),当距离系数取 25 时,元素分为两大类: As、Cu、Pb、Zn、Mo、W 为一类,Au、Sb、Hg、Ag 为一类,这与相关性分析结果基本一致;当距离系数取 20 时,元素分为 4 大类: Cu、W 为一类,As、Mo、Zn、Pb 为一类,Ag、Sb 为一类,Au、Hg 为单独的一类,这些特征反映了矿区多期多阶段成矿的特点。

(3)因子分析

因子分析是用少数几个因子去描述多个变量之间的关系,把联系比较紧密的变量归为同一个类别,是一种多变量降维统计方法,在地质上可用来解释元素共生组合和成因联系。本文运用 SPSS 软件对大

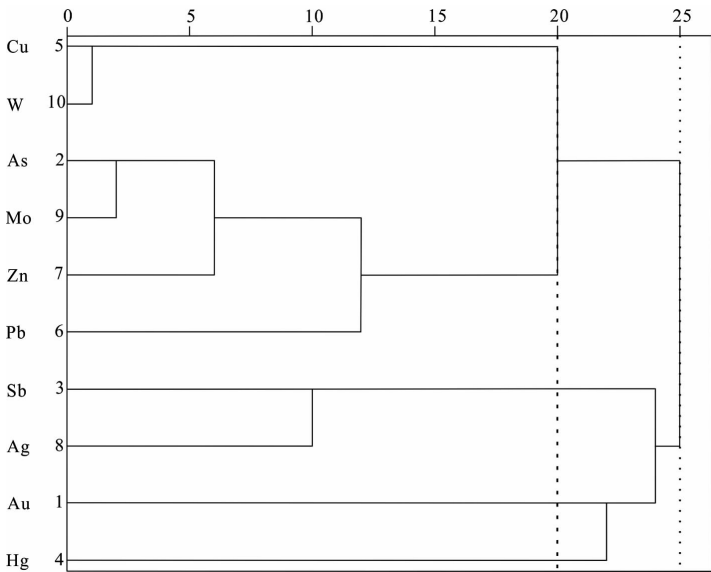


图 2 大水金矿原生晕元素R型聚类分析谱系图

Fig. 2 R-type hierarchical clustering dendrogram of elements of primary halos in Dashui gold mine

表 2 大水金矿原生晕元素因子分析旋转成分矩阵表
Table 2 Rotating component matrix of elements of primary
halos in Dashui gold mine

元素	成分			
	F1	F2	F3	F4
Zn	0. 803	0. 173	0. 013	-0. 049
Mo	0. 789	0. 084	0. 081	0. 137
As	0. 747	0. 110	0. 160	0. 251
Pb	0. 684	0. 023	-0. 044	-0. 137
Cu	0. 040	0. 910	0. 150	-0. 012
W	0. 261	0. 860	-0. 034	0. 096
Ag	-0. 089	0. 124	0. 888	-0. 056
Sb	0. 271	-0. 015	0. 772	0. 262
Hg	0. 004	0. 002	0. 063	0. 735
Au	0. 049	0. 058	0. 050	0. 724

大水金矿原生晕样品进行因子分析后,提取4个主因子(表2),累计方差贡献率为67.79%,包含元素变量的大部分信息。当正交因子载荷大于0.5时,F1主要载荷因子As、Mo、Zn、Pb,代表与主成矿作用有关的中低温元素组合,反映了早期成矿阶段与硫化物有关的中低温热液矿化作用;F2、F3主要载荷因子分别为Cu、W和Ag、Sb,这些元素可能与岩浆作用有关,同时也反映出矿区多期多阶段成矿的特点,F4主要载荷因子Au、Hg,这是大水金矿特有的元素组合形式,说明在整个成矿过程中,Au的富集受构造控制明显。

(4)背景值及异常分带

岩石测量异常分级,一般按三级含量来划分和圈定。其中内带异常是指异常中含量比较高的地段,矿体一般出现在内带异常内,发现了内带异常,就能

表 3 大水金矿原生晕元素异常分带界限表(单位 10^{-6})
Table 3 Elemental abnormal zoning boundary table of
primary halos in Dashui gold mine($w_B/10^{-6}$)

元素	背景值	异常下限	外带	中/	内带
Au	0. 01	0. 075	0. 075	0. 15	0. 3
As	18. 41	117. 82	117. 82	235. 64	471. 28
Sb	5. 41	28. 115	28. 115	56. 23	112. 46
Hg	0. 16	0. 765	0. 765	1. 53	3. 06
Cu	7. 6	16. 15	16. 15	32. 3	64. 6
Pb	12. 7	26. 6	26. 6	53. 2	106. 4
Zn	12. 03	37. 5	37. 5	75	150
Ag	0. 06	0. 15	0. 15	0. 3	0. 6
Mo	0. 28	1. 195	1. 195	2. 39	4. 78
W	0. 97	5. 47	5. 47	10. 94	21. 88

较容易地找到矿体^[1]。一般情况下,以研究区域的背景含量为基础,确定异常下限,以异常下限的1、2、4倍作为划分外、中、内带异常^[5]。

由于本次所取样品位置处于矿体附近,属异常地段,因此数据本身不符合正态分布,采用传统方法确定其背景值和异常下限并不适用,因此利用多元统计软件SPSS对全区化探数据进行处理,剔除特高值和特低值,使之符合正态分布,将其对数均值的真数作为背景值,对数均值加2倍标准偏差的真数作为异常下限,计算出的结果见表3。

3 原生晕轴向分带与地球化学参数

3.1 轴向分带特征

原生晕分带是指热液矿床周围不同元素的地球化学性质不同,在运移过程中赋存形式和运移方式的差异,造成了流体中的成矿元素和伴生元素的沉淀有先后,在空间上呈现分带现象。由于大水金矿具有多期多阶段的成矿特征,建立其原生晕分带序列,对深部隐伏矿的预测、找矿勘查和矿床剥蚀程度的研究具有重要意义。本文基于矿区Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、W等10种元素的多元统计分析,应用改良的格里戈良指数法^[41],根据计算出的线金属量、正规化数据、分带指数及计算变异性指数和变异性指数梯度,得到87(B)勘探线上(13)ZK87B4、(13)ZK87B5、(14)ZK87B1、(14)ZK87B2等钻孔的原生晕轴向分带序列:

(13)ZK87B4:Zn—Cu—As—Pb—Ag—Au—Mo—Sb—Hg—W

(13)ZK87B5:W—Hg—Sb—Ag—Pb—Zn—Mo—Cu—As—Au

(14)ZK87B1:Sb—Au—Pb—Cu—Ag—Zn—W—As—Hg—Mo

(14)ZK87B2:Sb—Au—W—Pb—Hg—Cu—Zn—Mo—Ag—As

将上述分带序列与我国典型金矿床指示元素分带序列:B—As—Hg—F—Sb—Ba(矿体前缘及上部)→Pb—Ag—Au—Zn—Cu(矿体中部)→W—Bi—Mo—Mn—Ni—Cd—Co—T(矿体下部及尾晕)进行对比,根据原生晕轴向分带准则^[42]和构造叠加晕前、尾晕共存准则^[43],可以得到:(13)ZK87B4钻孔中近矿晕元素Zn、Cu分布在序列的上部,前缘晕元素则分布在序列的中下部,在钻孔的尾部,前缘晕元素Sb、Hg与尾晕元素Mo、W共存;(13)ZK87B5钻孔

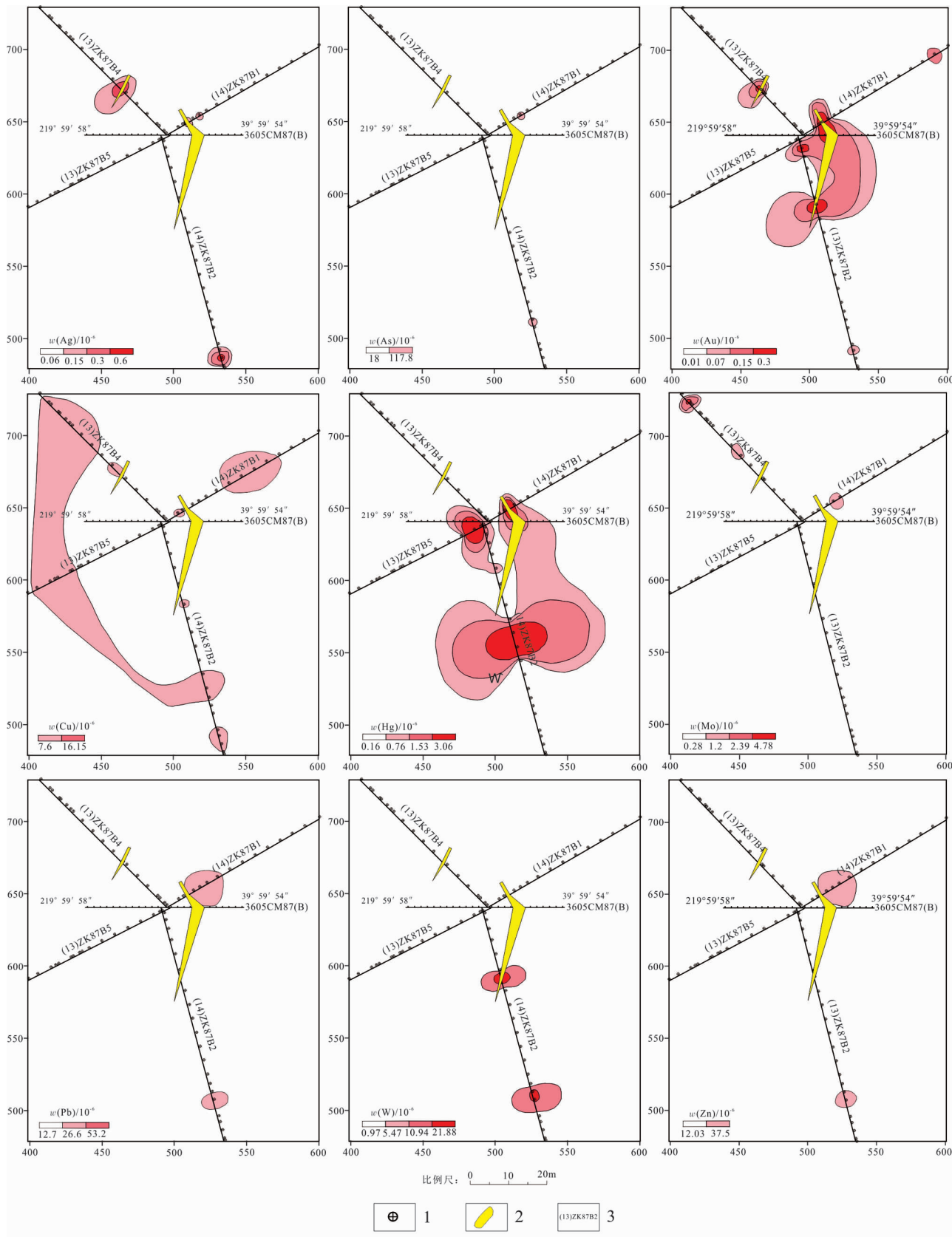


图 3 大水金矿87(B)勘探线成矿晕元素原生晕分带特征

Fig. 3 Zonation features of ore-forming elements of primary halos of 87th(B) exploration line in Dashui gold mine

1—取样位置; 2—金矿体; 3—钻孔编号

中尾晕元素 W 分布在序列的前部,与前缘晕元素 Hg、Sb 相互交替,主成矿元素 Au 则落在分带序列的尾部,前缘晕元素 As 的下部;(14)ZK87B1 钻孔中主成矿元素 Au 和其余近矿晕元素集中分布在序列的中部,前缘晕元素 Sb 则符合正常的分带特征,As、Hg 则分布在序列的尾部,与尾晕元素 W、Mo 共存;(14)ZK87B2 钻孔中主成矿元素 Au 分布在序列的前部,与前缘晕元素 Sb 共存,近矿晕元素和尾晕元素则无规律的分布在序列的中下部,在序列的尾部出现前缘晕元素 As。该剖面上 4 个钻孔的分带序列均形成明显的“前尾晕共存”现象,根据李惠教授盲矿预测准则,指示在深部有盲矿体存在的可能。

3.2 浓度分带特征

根据表 3 确定的大水金矿原生晕元素异常分带界限值,绘制出 87(B)勘探线 9 种元素(Sb 未显示异常)的剖面异常图(图 3)。由图可知,在剖面上元素的异常形态呈面状、星点状、串珠状分布,分带特征相对较明显。对于前缘晕元素,As 仅在个别取样点存在外带异常,Hg 的异常范围相对较大,且异常的强度较强,出现大范围的内带异常,但强异常主要集中在矿体的下部和上部,且与已知金矿体相吻合,说明矿体的形成与 Hg 的富集呈正相关的关

系;近矿晕元素 Pb、Zn 的异常形态基本一致,表现为矿体上部和下部的的外带异常,Ag 虽具有三级分带特征,但异常浓度、范围均较小,但与已知矿体的套合较好,说明 Ag 与矿体的形成也具有良好的正相关性;Cu 具有较大范围的外带异常,在矿体的上部较发育;尾晕元素 Mo 异常强度较弱,主要分布在矿体的上部,说明在成矿过程中,Mo 至少经历过两期的叠加运移;W 的异常分布在矿体的下部,且与矿体有较好的套合性。

综上所述,该剖面上前缘晕元素、近矿晕元素和尾晕元素存在一定的共存现象,显示出多期多阶段成矿作用叠加的特点,且前缘晕元素在矿体下部出现较大范围的内带异常,指示在深部可能存在隐伏矿体,具有良好的找矿前景。

3.3 地球化学参数特征

原生晕地球化学参数可以用来判断矿体发育程度、剥蚀程度、成矿元素的变化规律等特征,当矿体中地球化学参数在不同标高出现转折,特别是在尾部转折较大时,说明在深部可能具有一定潜力,同时参数波动的剧烈程度,可以作为判断矿体发育程度的指标之一^[42]。根据已计算出的原生晕轴向分带序列,选取 $(Pb \cdot Zn)/(Bi \cdot Mo)$ 、 $(Pb \cdot Zn)/(Au \cdot Ag)$ 、 $(As + Sb)/Mo$ 、 $100 \cdot Sb/Bi \cdot Mo$ 、 Pb/Mo 等作为地球化学参

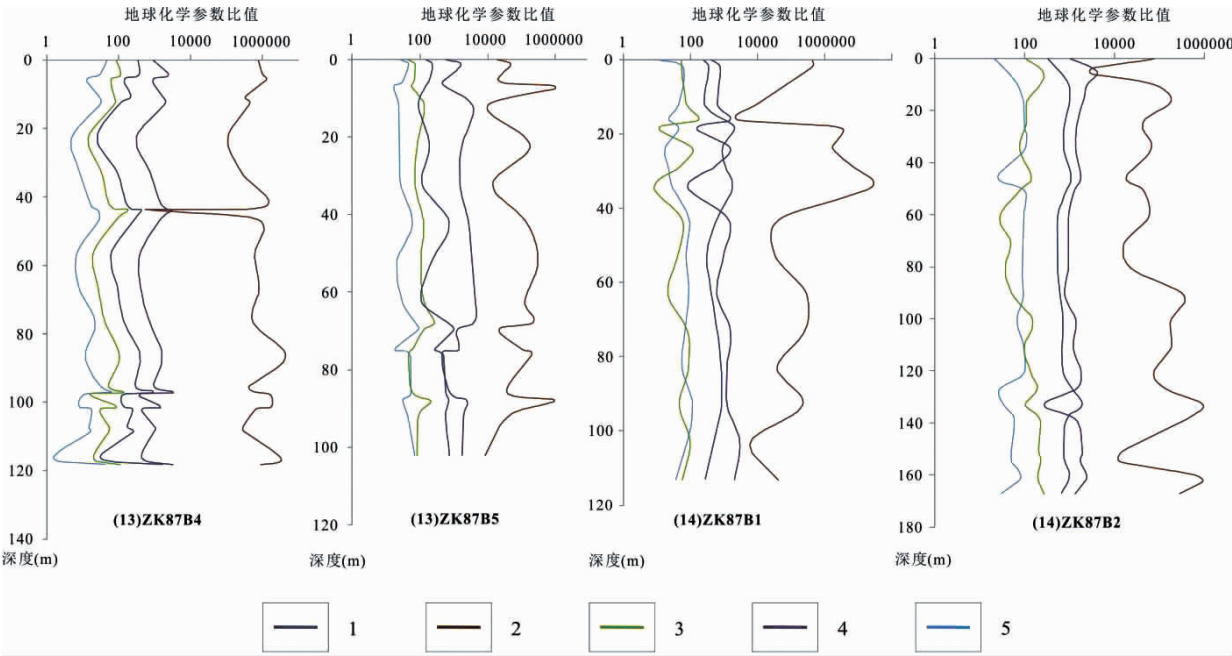


图 4 大水金矿 87(B) 勘探线钻孔垂向地球化学参数变化图

Fig. 4 Variation of vertical geochemical parameters of boreholes of 87th(B) exploration line in Dashui gold mine
1— $Pb \cdot Zn/Mo$; 2— $Pb \cdot Zn/Au \cdot Ag$; 3— $(As + Sb)/Mo$; 4— $100 \cdot Sb/Bi \cdot Mo$; 5— Pb/Mo

数^[1,5]。绘制 87(B)勘探线 4 个钻孔的地球化学参数垂向变化图(图 4)。从图中可以看出,各参数均呈现不同程度的振荡,反映该矿床具有多期多阶段的成矿特征。(14)ZK87B1 钻孔除 Pb*Zn/Au*Ag 在 0~40 m 有较大的起伏外,其余各参数比值曲线则相对较平缓,指示在钻孔的上部有较强的矿化作用,随着深度的增加,矿化作用逐渐减弱。(14)ZK87B2 钻孔从头部到尾部,各参数比值发生过多期波动起伏,变化比较明显的位置集中在 40~60 m,120 m 附近和 160 m 以下,说明在以上区域有较强的矿化作用,同时反映整个剖面上矿体的多期叠加作用,而深部的微弱起伏则说明深部可能有新的矿体存在。(13)ZK87B4 钻孔在 40~50 m 和 100~120 m 区间,有微弱的起伏,在钻孔的尾部各参数比值有升高的趋势,指示在深部具有一定的找矿前景。(13)ZK87B5 钻孔在 0~20 m 和 70~90 m 各参数比值曲线有微弱的起伏,说明在上述区域有较强的矿化蚀变作用,预示深部具有良好的找矿前景。

4 成矿预测与验证

根据李惠教授盲矿预测的原生晕轴(垂)向分带“反分带”准则、地球化学参数“反转”准则、“前、尾晕共存”准则和“前缘晕轴向下部强度增强趋势准则”,对大水金矿 87(B)勘探线原生晕特征进行分析并建立原生晕异常分带模式。

从上述分析可以看出:(1)整个剖面各元素的分带较为复杂,出现了尾晕元素分布在序列的前部和中部,近矿晕元素分布在序列的前部和尾部,前缘晕元素分布在序列的中部和尾部的情况,指示成矿的多期性;(2)前缘晕元素出现在序列的尾部,具有明显的“反分带”特征;钻孔地球化学参数比值具有较为明显的振荡波动的变化特征,其中较为强烈的区域主要出现在剖面的中部,标高 3 490~3 450 m 和 3 700~3 600 m 之间,反映在该标高有较强的矿化作用;(3)在钻孔的深部地球化学参数比值有升高的趋势,具有“反转”趋势;在标高 3 600 m 附近,显示出“前、尾晕共存”的现象,反映了该剖面

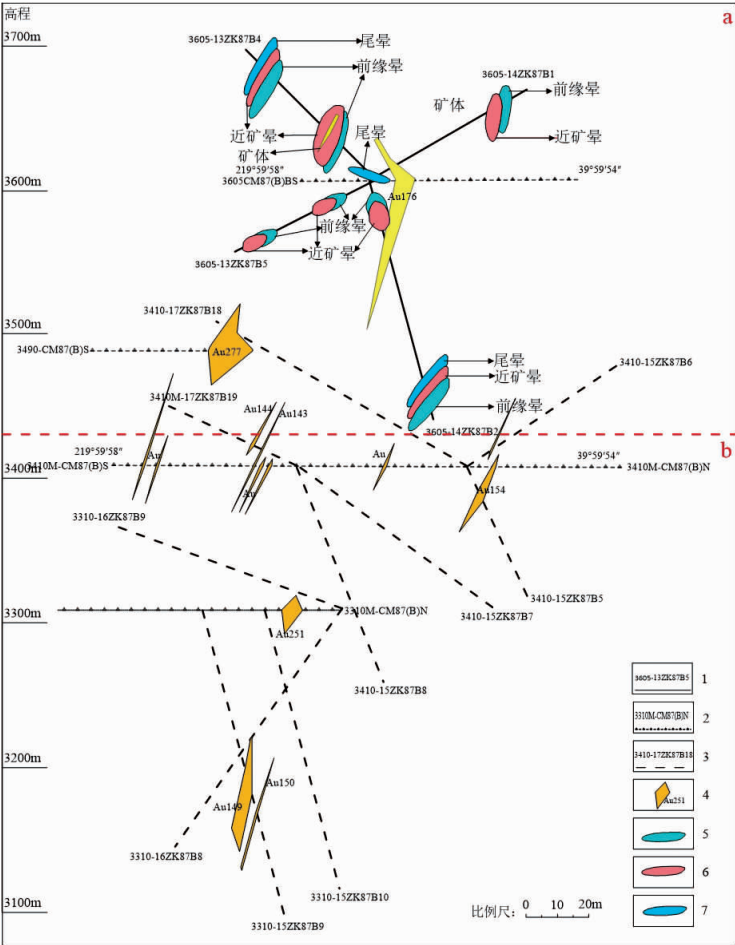


图 5 大水金矿 87(B)勘探线原生晕模式及验证效果

Fig. 5 Model of primary halos and effect by tests on 87th(B) exploration line in Dashui gold mine

1—原生晕钻孔及编号;2—坑探工程及编号;3—验证钻孔及编号;
4—新发现金矿体及编号;5—前原晕;6—近矿晕;7—尾晕。

的成矿特征在时间上具有多期多阶段性,在空间上具有叠加构造的特点;(4)前缘晕元素在整个剖面上现出多期升降转折的特征,在钻孔尾部,部分参数发生转折,呈上升趋势。以上特征均预示深部可能有盲矿体存在。根据以上预测,建立 87(B)线原生晕轴向分带异常模式(图 5 a)。

在预测的基础上,根据建立的分带模式,2015—2017 年分别在 3 410 m 和 3 310 m 中段布设钻孔进行验证,发现多处金矿体和矿化体(图 5 b)。3 410—(15)ZK87B5 钻孔发现 Au154,平均品位 1.69×10^{-6} 、视厚度 8.31 m;3 310—(15)ZK87B9 钻孔发现 Au149,平均品位 25.06×10^{-6} 、视厚度 17.45 m;3 410—(17)ZK87B18 钻孔发现 Au277,平均品位 5.68×10^{-6} 、视厚度 3.40 m。钻孔验证结果与原生晕预测基本一致,进一步证实了原生晕在预测深部矿

体的可靠性和准确性。

5 结 论

(1)通过对大水金矿 9 936 件样品进行多元统计分析发现,Au 与 As、Sb、Hg 元素表现出较好的正相关关系,可作为后期找矿勘查的重要指示元素。

(2)应用改良的格里戈良指数法,对矿区 Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Ag、Mo、W 等 10 种元素进行原生晕轴向分带序列进行计算,发现矿区原生晕元素具有“前、尾晕共存”和“反分带”现象,进一步表明大水金矿成矿过程具有多期多阶段叠加的特征。

(3)根据矿区地质特征和元素的分布规律,结合元素的轴向分带序列、地球化学参数特征,建立原生晕异常分带模式,预测 87(B)勘探线深部可能有盲矿体存在,通过钻孔对预测结果验证表明,原生晕对预测深部隐伏矿体具有重要指导意义。

参 考 文 献

- [1] 邵跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京:地质出版社,1997:1-127
- [2] Levinson A. A. Introduction to exploration geoc-hemistry [M]. Wilmette, IL:Applied Publishing House, 1980:1-624
- [3] Beus A. A. ,Grigorian S. V. Geochemical expl-oration methods for mineral deposits [M]. Wilmette,IL: Applied Publishing House, 1977:1-277
- [4] 吴承烈,徐外生,刘崇民. 中国主要类型铜矿勘查地球化学模型[M]. 北京:地质出版社,1998:1-225
- [5] 李惠,张国义,禹斌. 金矿区深部盲矿体预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 北京:地质出版社,2006:1-146
- [6] 李惠,张国义,禹斌,等. 构造叠加晕找盲矿法及其在矿山深部找矿效果[J]. 地学前缘,2010,17(1):287-293
- [7] 章永梅,顾雪祥,程文斌,等. 内蒙古柳坝沟金矿床原生晕地球化学特征及深部成矿远景评价[J]. 地学前缘, 2010,17(2): 209-221
- [8] 叶红刚,张德会,余君鹏,等. 北祁连鹰嘴山金矿床原生晕地球化学特征及深部矿体预测[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2018,37(6):1163-1172
- [9] Sajjad Talesh Hosseini, Omid Asghari, Hooshang Asadi Haroni. Multivariate anomaly modeling of primary geochemical halos by U-spatial statistic algorithm development: A case study from the Sari Gunay epithermal gold deposit, Iran [J]. Ore Geology Reviews,2020,127:1-25
- [10] 代西武,杨建民,张成玉,等. 利用矿床原生晕进行深部隐伏矿体预测[J]. 矿床地质,2000,19(3):245-256
- [11] 李惠,张国义,王支农,等. 构造叠加晕法在预测金矿区深部盲矿中的应用效果[J]. 物探与化探,2003,27(6):438-440
- [12] 王亮,熊韬,罗涛,等. 甘肃文县阳山金矿床葛条湾—安坝矿段原生晕地球化学特征及深部找矿远景评价[J]. 矿床地质, 2021,40(1):143-155
- [13] 任良良,王润涛,张承玉,等. 构造叠加晕找矿法在云南省杨梅田铜矿床深部盲矿预测中的应用[J]. 地质找矿论丛,2019,34(2):315-320
- [14] 宋延斌,汪慧军,庞丽丽,等. 河南老代仗沟铅锌矿床原生晕异常的赋存规律及找矿意义[J]. 地质找矿论丛,2017,32(2): 190-196
- [15] 庞绪成,董文超,倪开放,等. 河南洛宁县范庄银矿原生晕地球化学特征及深部成矿预测[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2018,37(3):495-501
- [16] 文雄亮,胡斌,柳智. 湖南临湘虎形山钨矿原生晕地球化学特征与深部找矿预测[J]. 矿物岩石地球化学通报,2020,39(4): 754-767
- [17] 闫升好. 甘肃大水特大型富赤铁矿硅质岩型金矿床成因研究[D]. 北京:中国地质科学院,1998:1-80
- [18] 闫升好,王安建,高兰,等. 大水式金矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿床地质, 2000,19(2):126-137
- [19] 李向东, 王晓伟. 大水金矿成矿地质特征及控矿因素分析[J]. 甘肃科技,2006,22(8):64-67
- [20] 韩春明,袁万明,于福生,等. 甘肃省玛曲大水金矿床地球化学特征[J]. 地球学报, 2004,25(2):127-132
- [21] 彭秀红,张江苏. 甘肃大水金矿床成矿规律与成矿模式[M]. 北京:科学出版社, 2012:1-102
- [22] 朱光儒,王志虎,芝世玉,等. 大水金矿床金的迁移形式和沉淀机制探讨[J]. 甘肃地质, 2014, 23(2):41-45
- [23] 胡媛,彭秀红,张江苏,等. 甘肃大水金矿围岩蚀变带元素迁移特征与金成矿关系[J]. 中国西部科技,2013,12(1):24-25
- [24] 闫升好,王安建,高兰,等. 大水式金矿床稳定同位素、稀土元素地球化学研究[J]. 矿床地质,2000,19(1):37-45
- [25] 李红阳,李英杰,袁万明,等. 甘肃大水闪长岩型金矿床的矿物地球化学特征[J]. 地质与勘探,2007,43(4): 41-45
- [26] 代文军,陈耀宇,马小云,等. 甘肃大水金矿床方解石的稀土元素地球化学特征[J]. 黄金, 2011, 32(2):24-29
- [27] 闫海卿,贺宝林,刘巧峰,等. 西秦岭大水金矿岩浆岩年代学、地球化学特征[J]. 地球科学与环境学报,2014,36(1):98-110
- [28] 张江苏,彭秀红,宋昊,等. 甘肃玛曲大水金矿床原生晕特征[J]. 黄金,2010,8(31):12-16
- [29] 张国伟,郭安林,刘福田,等. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析[J]. 中国科学(D 辑),1996,26(增刊):1-6
- [30] 陈毓川,王平安,秦克令,等. 秦岭地区主要金属矿床成矿系列的划分及区域成矿规律探讨[J]. 矿床地质,1994,13(4):189-298
- [31] 李永琴,赵建群,赵彦庆. 西秦岭金成矿系统分析[J]. 甘肃地质,2006,15(1):47-52
- [32] 姜春发,王宗起,李锦铎. 中央造山带的开合构造[M]. 北京:地质出版社,2000:1-107
- [33] 王东生,王瑞廷,代军治,等. 秦岭造山带金属矿床的“二元控矿”特征[J]. 地质学报,2009,83(11):1719-1729
- [34] 卢纪英,李作华,张复新. 秦岭板块金矿床[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2000:306-313
- [35] 代文军,雒晓刚,史文全,等. 甘肃大水金矿床金的赋存状态和金矿物特征[J]. 黄金,2011,32(8):16-21

- [36] 刘英俊,马东升. 金的地球化学[M]. 北京:科学出版社,1991:1-400
- [37] 胡以铿. 地球化学中的多元分析[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1991:1-234
- [38] 黄宏业,肖建军,欧阳平宁,等. 基于多元统计的微量元素地球化学特征分析[J]. 地质找矿论丛,2009,24(3):211-216
- [39] 章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,等. 应用数理统计与蛛网图相结合的方法研究成矿物质来源[J]. 铀矿地质,2008,24(4):214-220
- [40] 刘国奇,夏菲,潘家永,等. 基于多元统计的相山铀矿田微量元素地球化学特征分析 [J]. 矿物岩石地球化学通报,2011,30(4):423-432
- [41] 王建新,臧兴运,郭秀峰,等. 格里戈良分带指数法的改良[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2007,37(5):884-888
- [42] 李惠,张文华,常凤池,等. 金矿盲矿预测的原生晕轴向“反(向)分带”和地化参数轴向“转折”准则[J]. 桂林工学院学报,1999,19(2):114-117
- [43] 李惠,王支农,上官义宁,等. 金矿床(体)深部盲矿预测的构造叠加晕前、尾晕共存准则 [J]. 地质找矿论丛,2002,(17)3:195-199

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF PRIMARY HALOS AND DEEP PROSPECTING PREDICTION OF DASHUI GOLD MINE, MAQU, CHINA

WANG Tao^{1,2}, MAO Yan-li^{1,2}, HUANG Cong-jun³, MENG Guang-an⁴

(1. The Third Institute of Geology and Minerals Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Minerals
Exploration and Development, Lanzhou 730050, China;

2. Engineering Technology Research Center for Exploration and Comprehensive Utilization of Metal and Precious
Metal Mineral Resources of Gansu Province, Lanzhou 730050, China;

3. Chengdu Center of China Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu 610081, China;

4. Geological and Mineral Research Center of Hebei Province, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: In order to prolong production period and solve resource crisis in Dashui gold mine, deep prospecting potential and goals have been predicted and evaluated by studying the structural superimposed halos in the mining area. The rock and ore samples from 69 middle sections and 120 boreholes in the mine have been collected and analyzed systematically. The assemblage and spatial distribution characteristics of ore-forming halo elements in this area have been analyzed by means of multivariate statistical method. Consequently, the 87th(B) exploration line with a good prospecting potential can be accepted as the major research object. The results show that: Au, the crucial ore-forming element in Dashui gold mine has a great positive correlation with accompanying elements As, Sb and Hg, which can be taken as important index indicators for subsequent prospecting; The elements of primary halos are characterized by the coexistence of the front and rear halos and the reverse zonation, and fluctuations of geochemical parameters in the axial direction, indicating that the ore-forming process of Dashui gold mine features multi-stage and multi-stage superimpositions, and foretelling the existence of blind orebodies at depth. With these efforts, we can confirm that the primary halos in the mine are of guiding significance for predicting deep buried gold ore bodies.

Key words: geochemical characteristics; primary halos; deep prospecting prediction; Dashui gold mine; Maqu County