



蒙古国那仁陶勒盖金矿床原生晕特征及深部预测

吴涛涛, 金鑫, 王庆双, 姚远, 鲍庆中, 周永恒, 柴璐

中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 为预测和评价那仁陶勒盖金矿的成矿潜力, 运用多元统计方法, 结合地球化学各参数信息, 对那仁陶勒盖金矿原生晕进行系统研究。结果显示: 那仁陶勒盖金矿赋矿花岗闪长岩中 Au、Ag、Bi 等元素浓集克拉克值明显偏高, 与那仁陶勒盖金矿成矿作用关系密切; 矿石中 Au 与 Sb、Cu、Pb、Ag、Hg、Zn、As、Bi 等关系最为密切; 矿体原生晕轴向分带序列出现尾晕元素 W、Sn 等与前缘晕元素 As 叠加的现象, 同时 $(As+Sb)/(Bi+Mo)$ 、 $100Sb/(Bi \cdot Mo)$ 等分带性指数出现转折, 指示深部存在盲矿体。依据上述矿体原生晕特征, 建立矿体叠加晕预测模型, 预测盲矿体赋存位置在海拔 710 m 以下的岩体与地层接触带附近。

关键词: 原生晕; 轴向分带; 隐伏矿体; 那仁陶勒盖金矿; 蒙古国

PRIMARY HALO CHARACTERISTICS AND DEEP PROSPECTING PREDICTION OF NARAN TOLGOI GOLD DEPOSIT IN MONGOLIA

WU Tao-tao, JIN Xin, WANG Qing-shuang, YAO Yuan, BAO Qing-Zhong, ZHOU Yong-heng, CHAI Lu

Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: To predict and evaluate the metallogenic potential, the primary halo of Naran Tolgoi gold deposit is systematically studied by using multivariate statistical method combined with geochemical parameter information. The results show that the Clarke values of Au, Ag and Bi in the host rock granodiorite of the deposit are obviously high, which is closely related to the gold mineralization. Au is most closely correlated to Sb, Cu, Pb, Ag, Hg, Zn, As and Bi in the ores. There exists the superposition of rear halo elements (W and Sn) with front halo element (As) in the axial zoning sequence of primary halo. Besides, the turning of zonation indexes such as $(As+Sb)/(Bi+Mo)$ and $100Sb/(Bi \cdot Mo)$ indicates the existence of blind orebody in the deep. Based on the characteristics of primary halo, the prediction model of superimposed halo is established that the blind orebody is probably located near the contact zone between rock mass and strata below 710 m altitude.

Key words: primary halo; axial zoning; concealed orebody; Naran Tolgoi gold deposit; Mongolia

0 引言

热液矿床原生晕具有明显的组分分带特征, 利用

原生晕分带研究能够对隐伏矿体进行预测, 这种预测

方法在危机矿山和小型矿山深部矿体预测方面已得到

收稿日期: 2022-03-17; 修回日期: 2022-05-06. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“中蒙俄毗邻区大型铀、铜资源基地评价”(编号 DD20190438)、“东北亚欧洲国际合作地质调查”(编号 DD20221806).

作者简介: 吴涛涛(1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事境外矿产调查与综合研究. 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail/553583730@qq.com

通信作者: 金鑫(1982—), 女, 朝鲜族, 硕士, 工程师, 主要从事境外地质矿产综合研究与管理, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail/211477446@qq.com

广泛应用,并取得了较好的找矿效果^[1-7]。

那仁陶勒盖金矿床位于蒙古国中央省境内,该矿自 20 世纪 60 年代发现以来,累计探明黄金储量超过 8 t,达到中型规模。该矿床的研究程度十分薄弱,苏联时期民主德国地质队在勘探过程中对该矿床的地质特征进行了较为系统的总结,近年来也有部分学者通过野外地质调查,对矿床地质特征及成因进行了探讨^[8]。然而到目前为止,尚未有学者对那仁陶勒盖金矿床的元素地球化学特征及原生晕分带进行研究。随着近年来对该矿床的不断开发,矿区探明的资源量已基本开采完毕,查明矿床深部状况和寻找新的隐伏矿体成为矿山工作的重点。为此,笔者选择那仁陶勒盖金矿床最具代表性的①号主矿体作为研究对象,对其原生晕特征进行研究,计算原生晕轴向分带规律,建立矿体叠加晕理想模型,并在此基础上开展深部找矿预测,以期指导矿山勘查工作,同时弥补该矿床在原生晕分带研究方面的空白。

1 矿床地质概况

那仁陶勒盖金矿床位于蒙古国最重要的北肯特金成矿带^[9-11],区内分布有博洛、盖特苏尔特、苏尔特等大型金矿床和大量中小型金矿床和矿点。该区大地构造位置处在蒙古-鄂霍次克缝合带内,蒙古外贝加尔褶皱系之哈拉盆地地体中^[8,12](图 1a)。

那仁陶勒盖金矿矿区地层出露简单(图 1b),主要为下寒武统一上奥陶统哈拉群上段希尔古组($\text{C}_3\text{—O}_1h^2$),岩性主要为变质砂岩、类复理石变质杂砂岩,局部为粉砂质片岩、石英岩、泥质片岩等。矿区岩浆活动强烈,主要出露晚三叠世一早侏罗世哈拉花崗杂岩,岩性主要为花岗闪长岩,岩体侵入到希尔古组粉砂质片岩中,并在接触带附近发生强烈的接触交代变质作用。此外,矿区还零星出露闪长岩、石英斑岩等脉岩,脉岩走向大多以北东向和南东向为主、矿区构造较为简单,主要有北东向、北北东向、北东东向及北西向断裂构造,以北东向断裂构造及与其平行的断裂构造为主,该断裂构造控制矿区①号主矿体的走向。

矿区内共发现 6 条含金矿体,走向均呈北东向(图 1b)。其中①号矿体为矿区规模最大的一条矿体,为石英脉型,赋存于花岗闪长岩体和变质砂岩的接触带附近。矿体在地表断续出露,长度大于 1 500 m,厚 0.2~

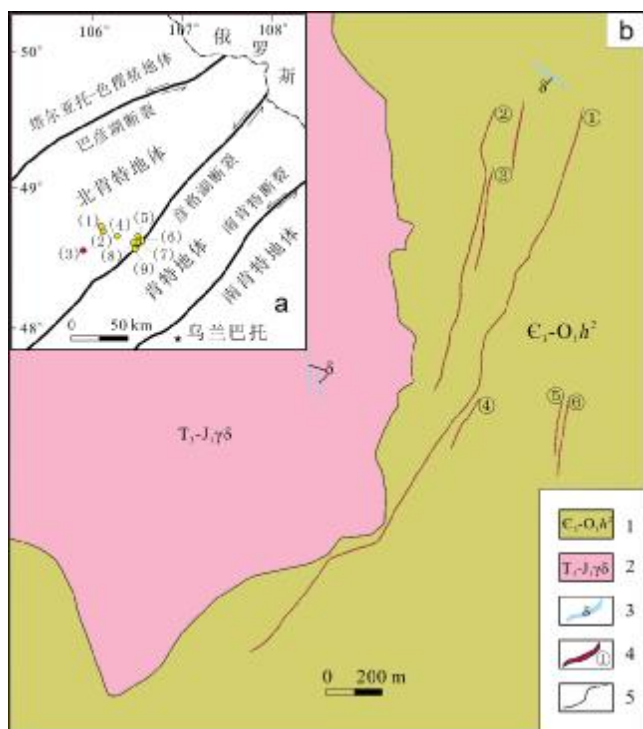


图 1 那仁陶勒盖金矿大地构造位置及矿区地质图

(据文献[8])

Fig. 1 Tectonic location and geological sketch map of Naran Tolgoi gold deposit
(From Reference [8])

(1)博洛金矿(Boroo gold deposit); (2)查干楚伦特金矿(Tsagaanchuluut gold deposit); (3)那仁陶勒盖金矿(Naran Tolgoi gold deposit); (4)乌兰布拉格金矿(Ulan Bragg gold deposit); (5)额特金矿(Ete gold deposit); (6)额仁金矿(Ereen gold deposit); (7)盖特苏尔特金矿(Gatsuert gold deposit); (8)巴维金矿(Baavgait gold deposit); (9)苏尔特金矿(Sujigtei gold deposit); 1—粉砂质片岩(silty schist); 2—花岗闪长岩(granodiorite); 3—闪长岩脉(diorite dike); 4—矿体及编号(ore body and number); 5—地质界限(geological boundary)

3.0 m, 总体产状 $305^\circ \angle 65^\circ$, 倾角具有北陡南缓的特点;矿体沿走向和倾向均具舒缓波状,呈脉状、似脉状、透镜状、囊状产出,并具有向南西侧伏的趋势;矿体平均厚度 0.95 m,平均品位 8.92×10^{-6} ,局部品位和厚度变化较大。其余矿体均位于①号矿体两侧,均为石英脉型,走向与①号矿体近于平行,但成矿规模均较小。

通过野外地质调查,并结合前人研究成果^[8],将该矿床划分为 3 个成矿阶段:石英-毒砂-黄铁矿阶段(I),主要形成石英脉主体,在其内分布少量毒砂、黄铁矿等金属矿物;石英-多金属硫化物阶段(II),主要形成含金的石英多金属矿物,包括硫砷铜矿、闪锌矿、

砷黝铜矿、黄铜矿、方铅矿、自然金等脉石矿物和矿石矿物;碳酸盐阶段(Ⅲ),主要形成石英、绢云母、碳酸盐矿物。

2 样品采集与分析

选择那仁陶勒盖矿区 11 和 33 号勘探线控制的①号矿体 1064、1010、964 和 910 m 4 个中段及 ZK11-1、ZK11-3 等钻孔的 39 件矿石及近矿围岩进行系统采样,坑道和钻孔中采样以矿体为中心外延 3~5 m 捡块取样(其中 11 号勘探线采样位置见图 2 所示)。样品经整理后送 SGS-IMME Mongolia LLC 分析测试,分析的主要元素为 Cu、Zn、Pb、W、Mo、Ag、Sn、Bi、Sb、Hg、As、Au、Co、Ni、Nb、Ta、Li、Cs、Mn 共 19 种。元素分析参

照中国采矿行业标准 DZ/T0130: 2006 执行,其中 As、Hg 元素分析先将样品溶于王水中,然后采用原子荧光光谱法分析;Cu、Zn、Pb、W、Mo、Ag、Sn、Bi、Sb、Co、Ni、Nb、Ta、Li、Cs、Mn 元素分析先采用 4 酸消解法(HF + HNO₃ + HClO₄ + HCl)将样品进行溶解,然后使用 ICP-MS 分析;Au 元素分析先将样品溶于王水中,然后使用 ICP-MS 分析。

3 矿床原生地球化学异常特征

3.1 矿区围岩微量元素含量特征

那仁陶勒盖金矿床赋矿围岩主要为变质沉积岩(粉砂质片岩、板岩等)和花岗闪长岩,其微量元素含量特征如表 1 所示。其特征如下:所有样品中浓集克拉

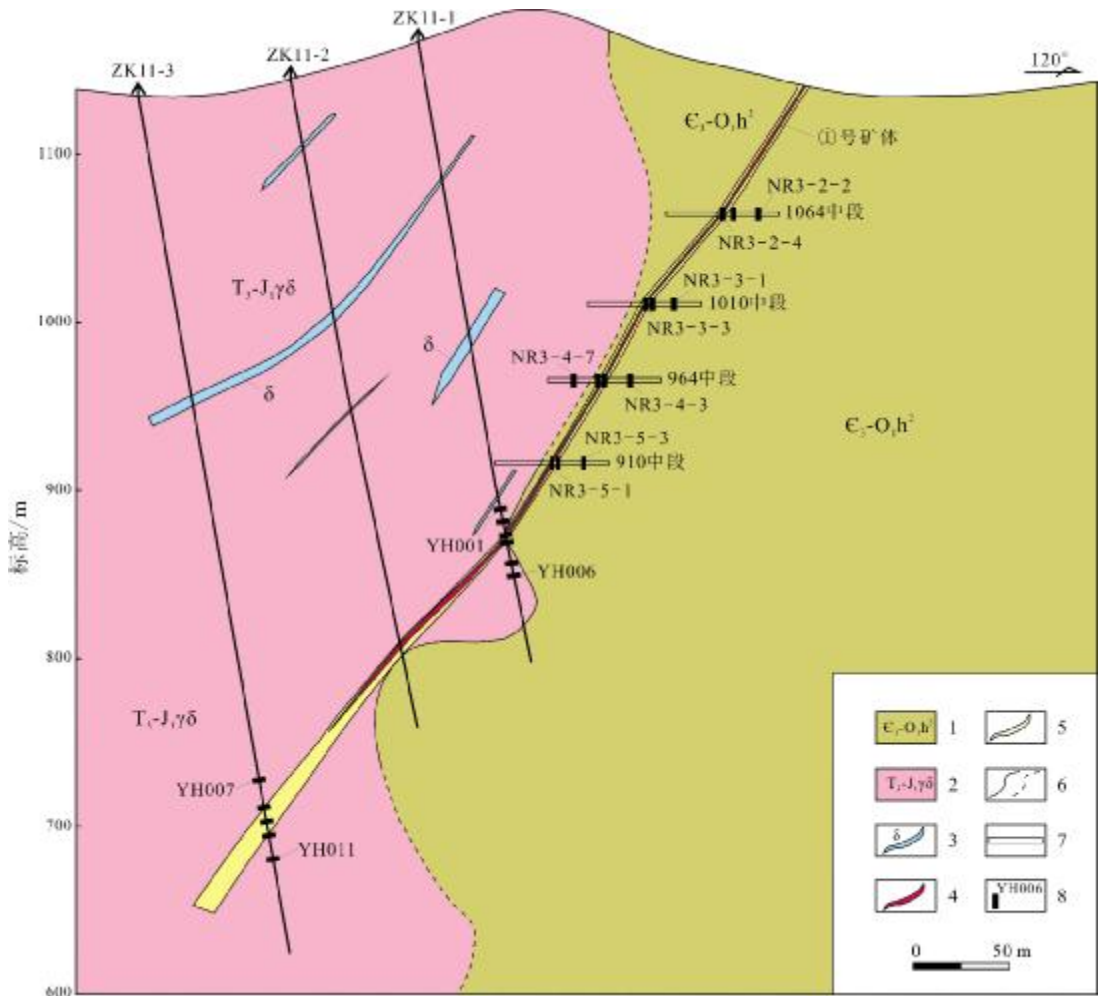


图 2 那仁陶勒盖金矿 11 号勘探线剖面图及原生晕采样位置示意图

Fig. 2 Profile of Naran Tolgoi gold deposit along No. 11exploratory line with sampling location of primary halo
1—粉砂质片岩(silty schist); 2—花岗闪长岩(granodiorite); 3—闪长岩脉(diorite dike); 4—矿体(ore body); 5—蚀变破碎带(altered fracture zone);
6—实测/推测地质界限(measured/inferred geological boundary); 7—坑道位置(tunnel); 8—采样位置及编号(sampling location and number)

克值大于 1 的元素从大到小依次为 Bi (47.29)→Au (9.67)→W(4.83)→Ag(4.18)→Cs(3.54)→Pb(2.12)→As(1.72)→Mo(1.38)→Li(1.14)→Sn(1.11);两套围岩的 Au、Ag、Bi 等元素浓集克拉克值均大于 1,但在花岗闪长岩中 Au、Ag 等主成矿元素浓集克拉克值明显高于变质沉积岩中的值。

表 1 那仁陶勒盖金矿围岩中指示元素含量特征

Table 1 Contents of indicator elements in the wall rock of Naran Tolgoi gold deposit

元素	花岗闪长岩 (4 件)		变质沉积岩 (8 件)		全部样品 (12 件)		地壳克拉克值
	几何 平均值	浓集克拉克值	几何 平均值	浓集克拉克值	几何 平均值	浓集克拉克值	
Au	55.70	13.93	30.18	7.54	38.68	9.67	4
Ag	0.56	6.97	0.22	2.78	0.33	4.18	0.08
Bi	0.05	11.88	0.26	65.00	0.19	47.29	0.004
Cu	67.13	1.07	38.19	0.61	47.83	0.76	63
Zn	56.45	0.60	106.36	1.13	89.73	0.95	94
Pb	22.18	1.85	27.01	2.25	25.40	2.12	12
W	5.88	5.35	5.03	4.57	5.31	4.83	1.1
Mo	0.57	0.43	2.40	1.85	1.79	1.38	1.3
Sn	1.10	0.65	2.27	1.34	1.88	1.11	1.7
Sb	0.38	0.63	0.44	0.73	0.42	0.69	0.6
Hg	15.38	0.19	10.41	0.13	12.07	0.15	80
As	3.98	1.81	3.68	1.67	3.78	1.72	2.2
Co	6.70	0.27	20.41	0.82	15.84	0.63	25
Ni	17.85	0.20	53.21	0.60	41.43	0.47	89
Nb	3.85	0.20	10.64	0.56	8.38	0.44	19
Ta	0.35	0.22	0.72	0.45	0.60	0.37	1.6
Li	10.50	0.50	30.64	1.46	23.93	1.14	21
Cs	3.80	2.71	5.53	3.95	4.95	3.54	1.4
Mn	463.25	0.36	870.00	0.67	734.42	0.56	1300

①含量单位: Au、Hg 为 10^{-9} , 其余元素均为 10^{-6} ; ②浓集克拉克值=几何平均值/地壳克拉克值, 其中克拉克值引自文献[13]。

3.2 原生晕元素组合特征

为研究那仁陶勒盖金矿床中微量元素的相关性, 笔者将 39 件样品分为 3 类: 1) 含石英脉样品; 2) 近矿(蚀变)花岗闪长岩样品; 3) 近矿(蚀变)砂岩、板岩等地层样品。在此基础上分别对这 3 类样品进行聚类分析, 聚类分析谱系图见图 3。

由图 3 可以看出, 在矿体中, 与 Au 关系密切的元

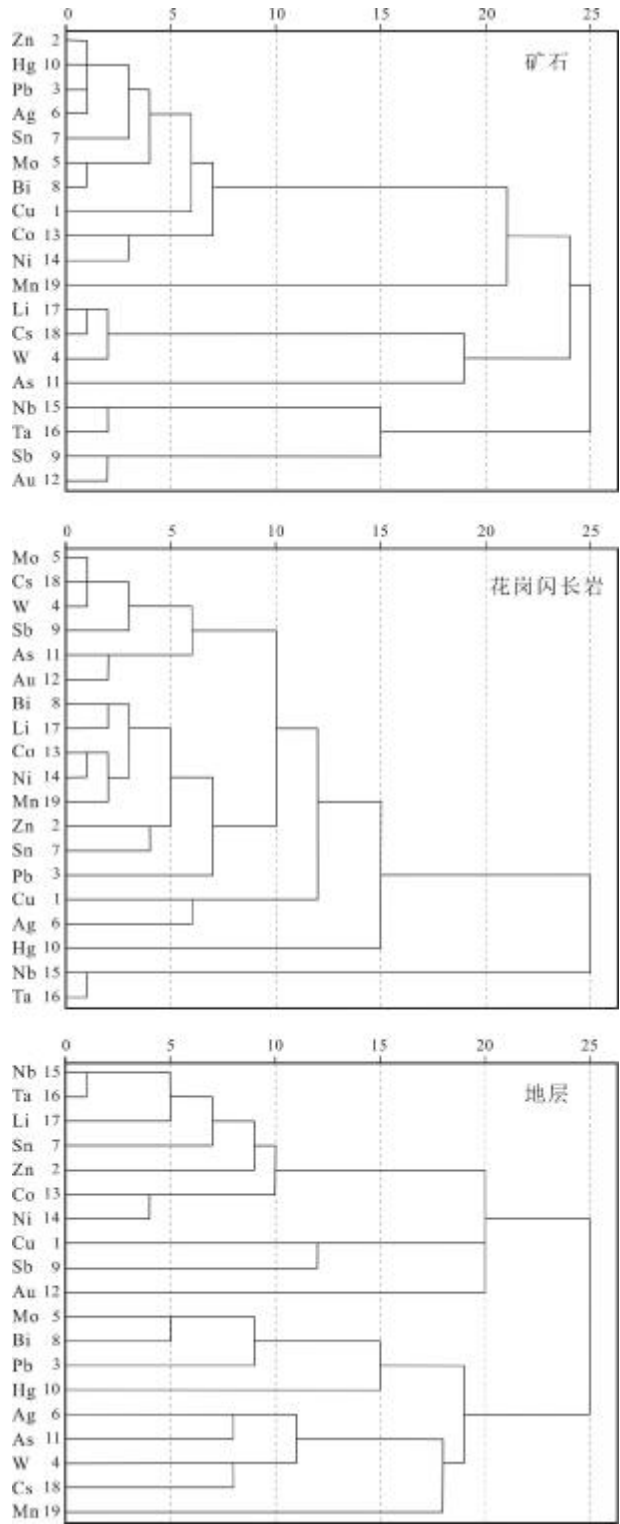


图 3 那仁陶勒盖金矿样品聚类分析谱系图

Fig. 3 Cluster analysis pedigree of Naran Tolgoi gold deposit samples

素主要为 Sb、Nb、Ta、As、W、Cs、Li 等; 在花岗闪长岩中, 与 Au 关系较为密切的元素主要为 As、Sb、W、Cs、

Mo; 在地层中,Au 显示出相对独立的地球化学行为,仅与 Sb、Cu、Ni、Co 等元素有一定的相关性. 将 3 类样品元素的谱系图进一步对比可以看出,矿体和花岗闪长岩中的 Au 与其他微量元素相关性有一定的相似性,而与地层中的差别较大,反映了该矿床的金成矿与岩体关系更密切的特点.

3.3 原生晕元素空间分布特征

那仁陶勒盖金矿床矿体组成较为简单,①号矿体为矿区规模最大的一条矿体,矿区 11 号勘探线为矿山主要开采区域,钻孔控制矿体深度最深,且该矿体受构造控制明显,矿体与围岩界限清晰,为开展原生晕分带研究提供了良好的条件. 为此,选择①号矿体 11 号勘探线附近不同中段的 5 件样品(表 2)作为研究对象,对其垂向变化规律及轴向分带特征进行研究.

3.3.1 原生晕地球化学参数垂向变化规律

从①号矿体 11 号勘探线中与 Au 成矿密切相关的 Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Ag、W、Sn、Bi、Mo 等 12 种

微量元素在不同中段的含量变化图(图 4)中可以看出,从标高 1064 m 到 873 m,随着 Au 含量的逐渐降低,Sb、Hg 在 1010 m 中段出现峰值后呈明显减小的趋势,而 As 则呈先增加后减小的趋势; Cu、Pb、Zn、Ag 在 1010 m 中段出现峰值后呈迅速下降的趋势; W、Bi 在 1010 m 中段出现峰值先下降后逐渐增加, Sn、Mo 与 Cu、Pb、Zn、Ag 具有相似的变化规律.

3.3.2 原生晕轴向分带特征

元素轴向分带计算的方法众多^[14-15],不同学者依据不同原理对元素轴向分带规律进行了研究. 本研究采用苏联学者 C.B.格里戈良等人提出的分带指数法对研究区元素轴向分带进行计算^[14]. 其计算步骤为:首先整理各中段各元素含量及样品长度数据(表 2),并计算线金属量,然后将线金属量标准化,使各元素的线金属量的最大值统一到同一个数量级,再计算分带指数,初步排出元素分带序列为(Au、Co、Ni、Nb)-(Cu、Zn、Pb、Mo、Ag、Bi、Sb、Hg)-(Sn、Ta、Mn)-As (W、Li、Cs),

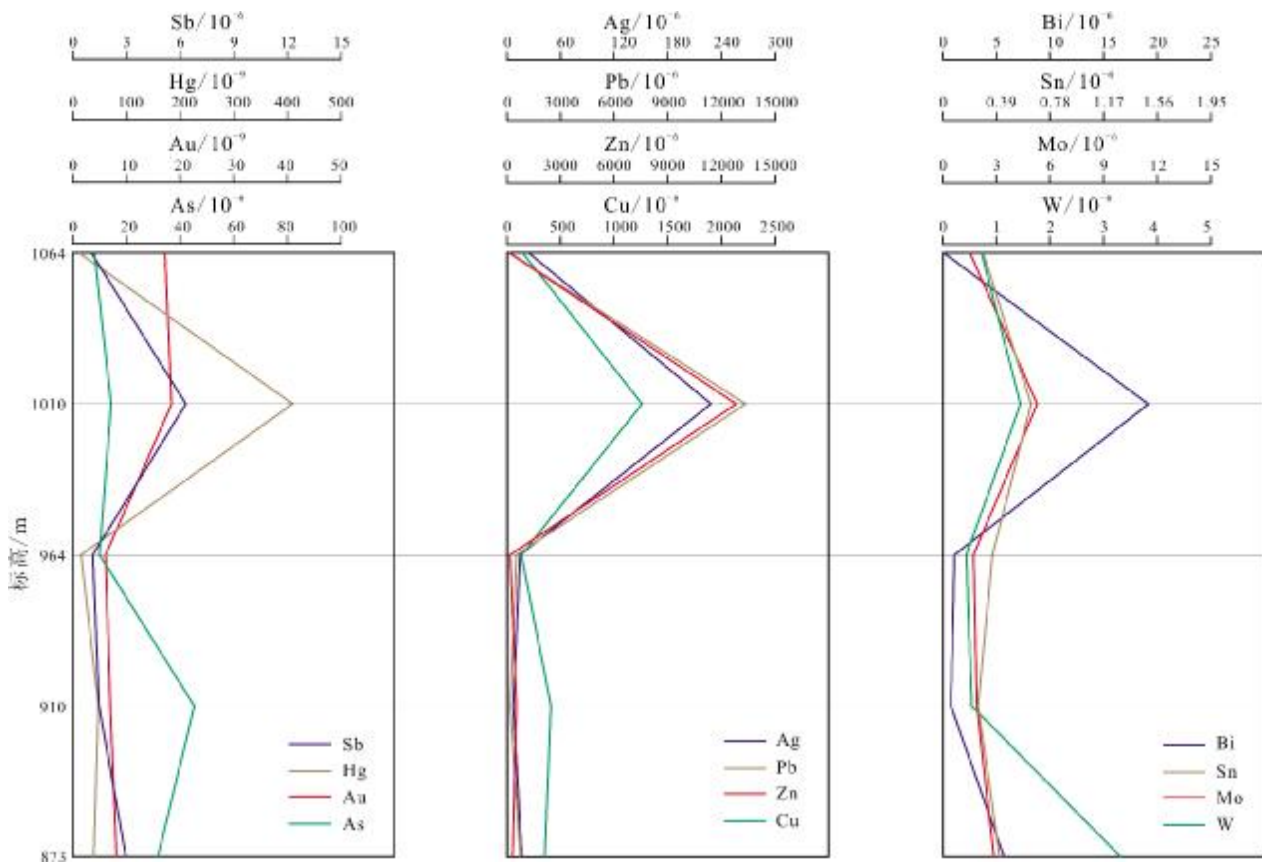


图 4 那仁陶勒盖金矿①号矿体 11 号勘探线微量元素轴向变化曲线图

Fig. 4 Axial variation curves of trace elements in No.1 orebody of Naran Tolgoi gold deposit along No. 11 exploratory line

最后再计算同一个序列中各元素的变异性指数,最终得出分带序列(由浅至深): Au-Nb-Co-Ni-Bi-Pb-Mo-Sb-Cu-Hg-Ag-Zn-Ta-Sn-As-W-Li-Cs.

表 2 那仁陶勒盖金矿不同中段微量元素含量

Table 2 Contents of trace elements in Naran Tolgoi gold deposit at different elevations

样品编号	NR3-2-4	NR3-3-3	NR3-4-4	NR3-5-1	YH003
标高/m	1064	1010	964	910	873
样品长度/m	1	0.95	0.95	0.4	0.7
Cu	137.6	1254.1	124.9	401.1	344.6
Zn	83.3	12800	137.1	486.1	289.9
Pb	63.2	13300	480.5	147.8	708.4
W	0.72	1.44	0.43	0.53	3.32
Mo	1.5	5.26	1.69	1.87	2.85
Ag	23.396	227.776	13.528	6.553	16.206
Sn	0.29	0.64	0.36	0.25	0.41
Bi	0.02	19.15	1.04	0.71	5.66
Sb	1.05	6.33	1.11	1.48	3
Hg	12.2	411.5	15.6	49	39.6
As	8.1	14.3	10	45.4	31.8
Au	17260	18490	6060	7020	8160
Co	1.6	3.9	1.4	1.4	3.2
Ni	8	20.7	7.7	9.2	19.4
Nb	0.3	0.3	0.4	0.2	0.3
Ta	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Li	3.2	2.6	4.8	2.6	26.6
Cs	0.5	1.9	0.9	1	14.2
Mn	113	200	263	121	200

含量单位:10⁻⁶.

3.4 原生晕地球化学参数特征

根据原生晕轴向分带序列,选择前缘晕、近矿晕和尾晕特征元素以及由此建立的累加、累乘以及比值等,可作为参数反推金矿床轴(垂)向地球化学参数叠加结构的理想模型,从而评价矿体的深部含矿性,并进行矿体深部预测^[1,16-18].通常 $(Pb \cdot Zn)/(Bi \cdot Mo)$ 和 $(Pb \cdot Zn)/(Au \cdot Ag)$ 值可以作为判别矿体发育程度的指标,矿体附近比值通常会出现较大的波动和峰值;而 $(As+Sb)/(Bi+Mo)$ 、 $100Sb/(Bi \cdot Mo)$ 从矿体头部到尾部一般呈现逐渐减小的规律,高比值区通常为矿体的上部^[17].为此,

选择以上 4 个指标作为分带性指数来指示矿体的剥蚀程度,进而对矿体深部远景进行地球化学评价(图 5).

由图 5 可以看出,主矿体在地表至海拔 873 m 附近,各曲线升降特点与李惠等总结的金矿床轴向地球化学参数叠加结构理想模型的同位叠加模型相似^[1].以海拔 873 m 为转折点,近矿指标 $(Pb \cdot Zn)/(Bi \cdot Mo)$ 和 $(Pb \cdot Zn)/(Au \cdot Ag)$ 随着海拔高度的降低而降低,而 $(As+Sb)/(Bi+Mo)$ 指标由海拔 873 m 的 4.09 上升至 710 m 的 15.23, $100Sb/(Bi \cdot Mo)$ 由海拔 873 m 的 18.60 上升至 710 m 的 112.33,指标值均发生了反转,与李惠等总结的理想模型 B 相似^[1],为深部盲矿前缘晕叠加所致.

4 深部矿体预测

前人通过对中国 58 处金矿床原生晕轴向分带序列的概率统计,得出了中国金矿床原生晕综合轴向(垂直)分带序列从上到下为: B-I-As-Hg-F-Sb-Ba→Pb-Ag-Au-Zn-Cu→W-Bi-Mo-Mn-Ni-Cd-Co-V-Ti^[1,16].将那仁陶勒盖金矿①号矿体的元素分带特征与理论轴向分带序列对比发现,该序列显示出至少存在 2 期叠加金成矿成晕的特点(图 5):一期为现在正在开采的金矿体,具体表现在 Au 位于序列的头部,且 Co、Bi、Ni 等尾部晕位于序列的中部,说明正在开采的①号金矿体近地表位置即为矿体的中部,这与矿区地表即出露厚大矿体的事实相吻合,矿体至海拔 873 m 矿体可能开始尖灭,这也可能是 ZK11-2 钻孔在 340 m 附近(海拔约 810 m 处)的断层破碎带附近虽然广泛发育硅化、绢云母化、黄铁矿化等矿化蚀变现象,但金品位不高的原因.另一期金矿化处在①号金矿体的正下方,具体表现在 As 显示反向分带的特征,出现在序列的尾部,且与 W、Sn 等尾晕元素共同构成本次元素分带序列的尾部晕,显示出深部具有盲矿体或深部还存在第二个 Au 富集地段的可能性,且该盲矿体的头部晕与①号矿体的尾部晕产生了叠加.

从分带指数法计算所得的轴向分带序列图(图 5)可看出,主矿体在地表至海拔 873 m 附近,各曲线升降特点与前人总结规律十分相似,较好的代表了矿体头晕、近矿晕和尾晕的特点.以海拔 873 m 为转折点, $(As+Sb)/(Bi+Mo)$ 、 $100Sb/(Bi \cdot Mo)$ 这 2 项指标发生反转,说明在 710 m 以下可能构成 1 个矿体前缘晕的特点,指示深部可能存在盲矿体.

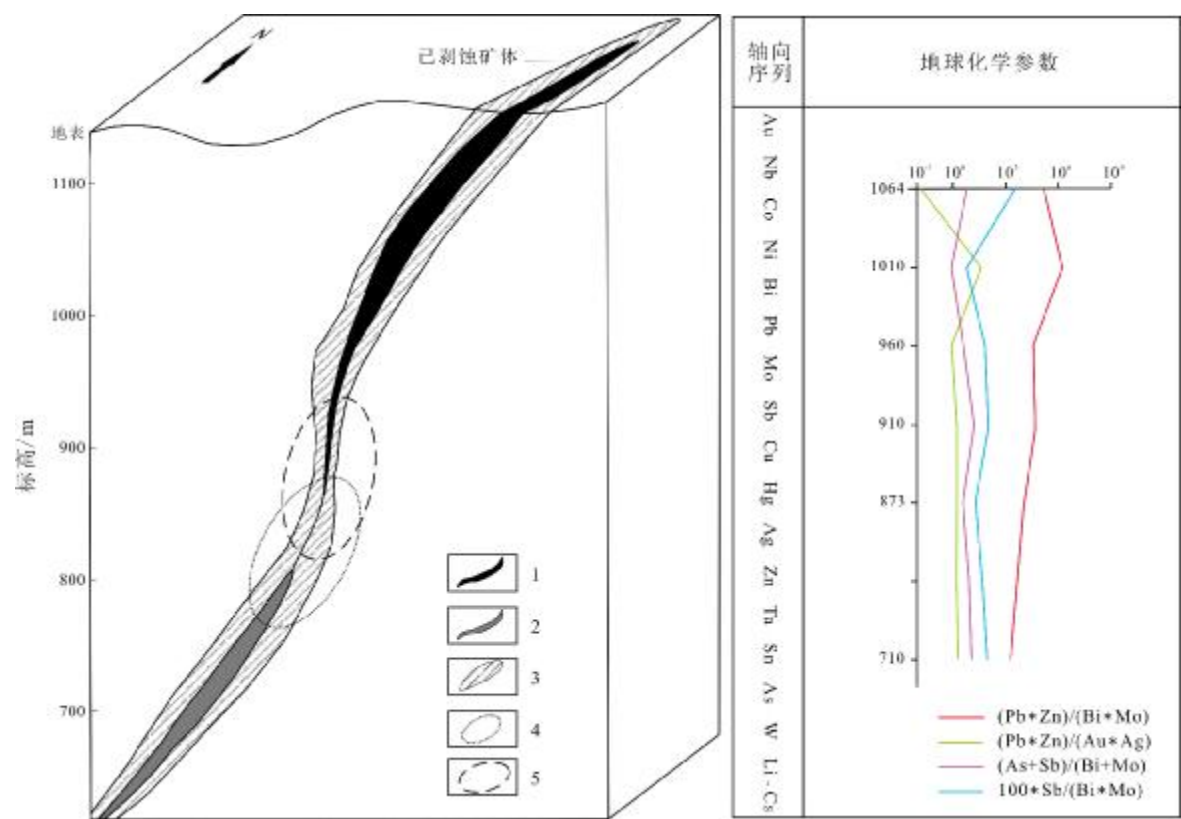


图 5 那仁陶勒盖金矿①号矿体叠加晕预测模型

Fig. 5 Prediction model for superposed halo of No.1 orebody in Naran Tolgoi gold deposit

1—矿体(orebody); 2—推测矿体(inferred orebody); 3—近矿晕(near-ore halo); 4—前缘晕(front halo); 5—尾晕(rear halo)

在成矿地质条件方面, 前人对同属北肯特金成矿带的苏尔特金矿床(图 1a 中 9 号矿床)测得蚀变矿物 Ar-Ar 年龄为 178 Ma, 形成于早侏罗世, 说明该地区金矿化时期主要为早侏罗世^[19-20], 与那仁陶勒盖金矿床的赋矿岩体花岗闪长岩形成时代相近. 本研究对矿区 4 件远离矿体的花岗闪长岩样品测定 Au 含量平均值为 55.70×10^{-9} , 明显高于 6 件地层样品中 Au 含量平均值 26.53×10^{-9} (表 1), 远高于地壳平均丰度 4.1×10^{-9} ^[13]; 花岗闪长岩中与金伴生的 Ag 平均含量为 0.56×10^{-6} , 也明显高于地层中 Ag 含量平均值 0.11×10^{-6} (表 1)和地壳平均丰度 0.05×10^{-6} ^[13]. 在原生晕元素组合特征方面, 矿体和花岗闪长岩中的 Au 与其他微量元素相关性有一定的相似性, 而与地层中的差别较大, 反映了该矿床的金成矿与岩体关系更密切的特点. 从以上分析可以看出, 矿区晚三叠—早侏罗世花岗闪长岩不仅作为金矿体的赋矿围岩, 它还可能为金成矿提供了物质来源.

此外, 参考矿区施工的瞬变电磁剖面工作成果, 在

11 号勘探线西南方向 900 m 处 6 号勘探线和东北方向 600 m 处 23 号等勘探线 PROTEM 反演模型断面推测矿体下部有断裂构造带向下延伸至海拔高度 600 m 以下, 这与 ZK11-1 和 ZK11-3 钻孔在海拔约 711 m 处发现的断裂构造带相吻合.

基于上述研究, 笔者认为在①号矿体下部还具有成矿潜力, 推测盲矿体赋存位置在海拔 710 m 以下的岩体与地层接触带附近.

5 结论

- 1) 那仁陶勒盖金矿床中 Au 与 Sb、Nb、Ta、As、W、Cs、Li 等元素关系密切, 与赋矿花岗闪长岩相似, 结合区域上金矿床成矿时代多集中在早侏罗世以及岩体含 Au 背景值较高的特点, 认为该矿床金矿化与晚三叠—早侏罗世花岗闪长岩有关.
- 2) 运用格里戈良分带指数法确定那仁陶勒盖金矿床元素轴向分带序列为: Au-Nb-Co-Ni-Bi-Pb-Mo-Sb-Cu-Hg-Ag-Zn-Ta-Sn-As-W-Li-Cs. 与正常的原

生晕序列对比,其前缘晕元素 As 与尾晕元素 W、Sn 在尾部叠加,显示出深部可能有盲矿体存在,且该盲矿体的头部晕与①号矿体的尾部晕产生了叠加。

3)综合元素轴向分带序列特征及原生晕地球化学参数特征,建立了那仁陶勒盖金矿①号矿体叠加晕理想模型,预测①号矿体深部存在盲矿体,为矿区深部矿体评价预测提供了依据。

参考文献(References):

- [1]李惠,张国义,禹斌.金矿区深部盲矿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.
Li H, Zhang G Y, Yu B. The structural superimposed halo model for the prediction of deep blind deposits in gold mining areas and its prospecting effect[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-146. (in Chinese)
- [2]李惠,禹斌,魏江,等.热液型矿床深部盲矿预测的构造叠加晕理想模型及其意义[J].地质与勘探,2020,56(5):889-897.
Li H, Yu B, Wei J, et al. A new practical ideal model of structural superimposed halos for prediction of deep blind hydrothermal deposits and its significance[J]. Geology and Exploration, 2020, 56(5): 889-897.
- [3]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.
Li H, Zhang G Y, Yu B, et al. Structural superimposed halos method for prospecting blind ore-body in the deep of ore-districts[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(1): 287-293.
- [4]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.
Zhang Y M, Gu X X, Cheng W B, et al. The geochemical features of primary halo and the evaluation of deep mineralization prospect of Liubagou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(2): 209-221.
- [5]曹强,刘家军,吴杰,等.秦岭西部铀厂沟金矿床主矿带原生晕分带特征及深部预测[J].地质与资源,2021,30(1):27-36,98.
Cao Q, Liu J J, Wu J, et al. Primary halo zoning and deep prediction of the main ore belt in Huachanggou gold deposit, western Qinling Mountains[J]. Geology and Resources, 2021, 30(1): 27-36, 98.
- [6]梁科伟,赵忠海,郭艳.原生晕在深部成矿预测中的应用——以黑河地区永新金矿为例[J].地质与资源,2019,28(6):512-518.
Liang K W, Zhao Z H, Guo Y. Application of primary halo in deep metallogenic prediction: A case study of Yongxin gold deposit in Heihe area[J]. Geology and Resources, 2019, 28(6): 512-518.
- [7]俞炳,曾庆栋,夏凡,等.辽宁五龙金矿构造叠加晕研究[J].地质与勘探,2020,56(5):898-914.
Yu B, Zeng Q D, Xia F, et al. Structural superimposed halo of the Wulong gold deposit in Liaoning Province[J]. Geology and Exploration, 2020, 56(5): 898-914.
- [8]张帅,张义波,石传军.蒙古国北部那仁陶勒盖金矿床地质特征及成因探讨[J].黄金,2019,40(8):29-32.
Zhang S, Zhang Y B, Shi C J. Geological characteristics and genesis of Naran Tolgoi gold deposit in northern Mongolia[J]. Gold, 2019, 40(8): 29-32.
- [9]王鸿祯,何国琦,张世红.中国与蒙古之地质[J].地学前缘,2006,13(6):1-13.
Wang H Z, He G Q, Zhang S H. The geology of China and Mongolia [J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(6): 1-13.
- [10]聂凤军,江思宏,白大明,等.蒙古矿产勘查与开发现状评述[J].地质论评,2010,56(1):105-113.
Nie F J, Jiang S H, Bai D M, et al. An overview of present exploration and exploitation on mineral resources of Mongolia [J]. Geological Review, 2010, 56(1): 105-113.
- [11]李俊建.蒙古地质矿产概况[M].天津:天津科学技术出版社,2013:1-273.
Li J J. General situation of Mongolian geology and mineral resources [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 2013: 1-273. (in Chinese)
- [12]吴涛涛,周永恒,陈聪,等.蒙古国铀矿地质特征及资源潜力[J].地质与勘探,2018,54(6):1247-1255.
Wu T T, Zhou Y H, Chen C, et al. Geological features and resource potential of uranium deposits in Mongolia[J]. Geology and Exploration, 2018, 54(6): 1247-1255.
- [13]黎彤.化学元素的地球丰度[J].地球化学,1976(3):167-174.
Li T. Chemical element abundances in the earth and it's major shells [J]. Geochimica, 1976(3): 167-174.
- [14]朴寿成,杨永强,连长云.原生晕分带序列研究方法综述[J].世界地质,1996,15(1):44-48,53.
Piao S C, Yang Y Q, Lian C Y. A summary of studying methods in primary halo zoning sequence [J]. Global Geology, 1996, 15(1): 44-48, 53.
- [15]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.
Wang J X, Zang X Y, Guo X F, et al. The improved Gregorian's zoning index calculating method[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(5): 884-888.
- [16]李惠,张文华,常凤池,等.大型?特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型[M].北京:冶金工业出版社,1998:1-125.
Li H, Zhang W H, Chang F C, et al. Primary halo superposition model for blind ore prediction of large and super-large gold deposits [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1998: 1-125. (in Chinese)

- [58] Markevich V S, Bugdaeva E V, Ashraf A R, et al. Boundary of Cretaceous and Paleogene continental deposits in Zeya-Bureya Basin, Amur (Heilongjiang) River region[J]. *Global Geology*, 2011, 14 (3): 144–159.
- [59] Suzuki S, Sun G, Knittel U, et al. Radiometric zircon ages of a tuff sample from the Baishantou Member of Wuyun Formation, Jiayin: A contribution to the search for the K-T Boundary in Heilongjian River area, China[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2011, 85 (6): 1351–1358.
- [60] Stockey R A, Rothwell G W, Johnson K R. *Cobbania corrugata* gen. et comb. nov. (Araceae): A floating aquatic monocot from the Upper Cretaceous of western North America[J]. *American Journal of Botany*, 2007, 94(4): 609–624.
- [61] 徐小慧, 杨柳荫, 孙柏年, 等. 早白垩世红豆杉属化石表皮构造的探索性研究[J]. *安徽理工大学学报(自然科学版)*, 2017, 37(2): 1–5.
- Xu X H, Yang L Y, Sun B N, et al. Exploratory study of the epidermal structure of the Early Cretaceous *Taxus* fossils[J]. *Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science)*, 2017, 37(2): 1–5.
- [62] 伊万·包罗斯基. 黑龙江(阿穆尔)地区晚白垩世暴龙类恐龙(虚骨龙类)[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- Bolotsky I. Tyrannosaurid dinosaurs (Coelurosauria) from Upper Cretaceous of Amur/Heilongjiang area[D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [63] Mikhailov V A, Reibalko V I. Stratigraphy of eastern Shikhot-Alin volcanical region[C]//Volcanogenic Cretaceous of the Far East. IUC-UNESCO Project 245. Vladivostok. 1989: 14–35.

(上接第 358 页/Continued from Page 358)

- [17] 朴寿成, 李绪俊, 师磊, 等. 赤峰-朝阳金矿化集中区元素分带特征及其应用[J]. *地质与勘探*, 2006, 42(1): 17–20.
- Piao S C, Li X J, Shi L, et al. Element zoning and its application in the Chifeng-Chaoyang auriferous province[J]. *Geology and Exploration*, 2006, 42(1): 17–20.
- [18] 吴松洋, 侯林, 丁俊, 等. 贵州泥堡金矿床原生晕特征及深部找矿预测——以Ⅲ-1号矿体为例[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2018, 37(4): 674–686.
- Wu S Y, Hou L, Ding J, et al. Primary halo characteristics and deep ore body prospecting of the Nibao gold deposit, Guizhou Province: Illustrated with the example of III-1 orebody[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2018, 37(4): 674–686.
- [19] Clure J K, Kotlyar B, Gantsetseg O, et al. Geology of the Boroo gold deposit, Northern Mongolia [J]. *Seg-Iagod Guidbook Series 11: Cercams/Nhm Longon*, 2005, 105–117.
- [20] 侯万荣, 聂凤军, 江思宏, 等. 蒙古国博洛大型金矿区花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年及地质意义[J]. *地球学报*, 2010, 31(3): 331–342.
- Hou W R, Nie F J, Jiang S H, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of ore-bearing granite in the Boroo large-size gold deposit, Mongolia and its geological significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31 (3): 331–342.