

文章编号: 0258-7106(2009)04-0390-13

内蒙古毕力赫大型金矿勘查突破过程及启示意义*

葛良胜 卿敏 袁士松 唐明国 邢俊兵

(中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要 内蒙古毕力赫金矿原为一资源严重危机的小矿山。为缓解资源危机, 维持矿山可持续发展, 笔者等应邀对该矿床进行了资源潜力评价, 并开展接替资源勘查工作。在对该矿床进行详实的野外地质调查和资源潜力分析的基础上, 确定了针对矿山地质工作程度并结合矿床具体特点、采用以现有资料综合分析为基础、以针对性的地质科研引路、以有效的勘查方法技术组合配套使用为手段、适时设计验证工程、分期分阶段有重点地加以实施的找矿勘查思路。通过3年多的研究与勘查, 实现了找矿的重大突破, 在原矿区外围新发现了Ⅱ号金矿带。通过系统勘探, 发现大型高品位隐伏斑岩型金矿体, 提交新增金资源/储量 21.916 t, 使一个名不见经传的小矿一跃而成为大型金矿床。经验表明, 要实现危机矿山的找矿突破, 扎实的基础地质工作、科学的资源潜力评价和有针对性的找矿勘查思路是成功的关键。

关键词 地质学; 金矿床; 大型; 勘查过程; 毕力赫; 内蒙古

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

Prospecting process of Bilihei large-sized gold deposit in Inner Mongolia and its revelatory significance

GE LiangSheng, QING Min, YUAN ShiSong, TANG MingGuo and XING JunBing
(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstracts

The Bilihei gold deposit in Inner Mongolia is a very small gold deposit whose resource was previously in a state of fearful crisis. In order to get rid of such a situation, the authors were invited to evaluate the resource potential and conduct resource prospecting. The early geological survey shows that the deposit is located in an important ore-forming belt in the north margin of the North China plate. The ore bodies are controlled by structures of volcanic craters and different trends of faults, and the country rocks are mainly of the intermediate-acid volcanic series. Mineralization was related to the concealed granodiorite porphyry. Detailed observations of the exploratory and mining tunnels revealed that mineralization at surface and shallow places is of the epithermal type, which may convert into the porphyry type in depth. Nevertheless, no typical porphyry type ore bodies were discovered before this prospecting. On the basis of geological investigation of the exhaustive field and comprehensive analysis of the resource potential, a scientific resource prospecting plan was put forward and performed, with the porphyry type ore body in depth being the main exploratory target. Through more than three years' research and prospecting work, a new survey area named No. 2 mineralization zone was detected on the periphery of the formerly-discovered ore district. It was in the No. 2 mineralization zone that a large-sized con-

* 本文得到全国危机矿山接替资源勘查项目(编号: 200715011)和第二批全国危机矿山典型矿床及成矿规律总结研究项目(编号: 20089925)的资助

第一作者简介 葛良胜, 男, 1966年生, 在站博士后, 高级工程师, 主要从事矿床学研究。Email: geliangsheng@yahoo.com.cn

收稿日期 2009-03-20; 改回日期 2009-05-15。许德焕编辑。

cealed high-grade gold ore body was found, with more than 21000 kg gold resource being so far proved. It is the first large porphyry Au deposit ever discovered in middle-east Inner Mongolia. The authors have come to the conclusion from their experience that the key factors to successful prospecting are detailed basic geological work, scientific resource potential evaluation and pertinent prospecting thinking.

Key Words: geology, gold deposit, large-sized deposit, prospecting process, Bilihei, Inner Mongolia

中国经济的快速发展造成对矿产资源的需求与日俱增,但矿产资源的供给形势却十分严峻:已探明的矿产资源的保有储量在不断下降,很多矿山处于资源短缺或危机状态。面对日益严峻的矿产资源形势,加强空白区基础地质研究、深化危机矿山成矿规律的认识、发现新的矿产资源基地或实现危机矿山勘查突破,是走出资源困境的当务之急。近年来,笔者在河北省峪耳崖,河南省东湾(原店房)前河、祁雨沟,陕西省东桐峪、秦岭、铎厂沟,山东省黄阜岭、大尹格庄、夏甸,甘肃李子园,云南老王寨、金厂,内蒙古毕力赫等资源危机矿山开展了接替资源找矿工作,取得了一些成效,同时也发现了制约危机矿山勘查突破的诸多问题。本文以最近取得勘查突破的内蒙古毕力赫金矿为例,对其近 3 年半的勘查过程作一回顾,并对找矿思路及技术方法进行简要梳理,以期对其他地区的找矿突破有所启迪。

1 毕力赫矿床勘查历史

毕力赫金矿位于内蒙古自治区锡林郭勒盟苏尼特右旗境内,现为中国黄金集团控股的国营矿山。其前身为一县办小矿山,始建于 1992 年,当时所依托的资源量仅为内蒙古黄金公司对该矿区 I 号矿带 I-I 和 I-II 号 2 个矿体提交的 0.902 吨 C+D 级储量^①。1995 至 1998 年,内蒙古第四地质矿产勘查开发院应邀对毕力赫矿区进行探矿增储工作,经过 4 年的努力,将原 I-II 号矿体分解为 I-II 和 I-III 号 2 个矿体,并新圈定出 I-IV 号矿体及另外 20 个小矿体,新增 C+D 级矿石量 14.2 万吨,金的金属量 0.89 吨^②。1999 年,该矿山重新组建为股份公司,归属中国黄金集团。由于矿山资源日益紧张,2003~2005 年,该矿山相继邀请一些科研和勘查单位对其开展进一步的研究和勘查,但均未取得进展。至 2006 年,在开展资源保证程度评估时发现,该矿山的

保有储量(包括矿柱回采)可供服务年限已不足 1 年,进入资源严重危机矿山的行列,急需开展危机矿山接替资源勘查和增储工作。笔者于 2005 年 7 月应邀对毕力赫金矿区的资源潜力进行科学评价,并在此基础上,进一步开展接替资源勘查工作。

2 矿床基本地质特征

2.1 区域成矿背景

毕力赫矿区位于华北板块北缘白乃庙-镶黄旗成矿带内中生代火山盆地的东南部(图 1)。从区域大地构造演化和发展史(朱永峰等,2004;Zhu et al., 2001;孟庆任等,2002)看,华北板块北缘经早古生代末向北增生后,进入造山后伸展阶段;中生代期间,在滨太平洋板块向西北俯冲的综合影响下,在华北板块北缘形成了一系列受 NE 向断裂控制的隆起和拗陷(李思田等,1987;郭锋等,2001)。

区域内出露的地层主要是:上石炭统阿木山组、下二叠统额里图组和于家北沟组沉积碎屑岩系,分布于西部白乃庙地区;上侏罗统玛尼吐组(J_{3mn})和白音高老组(J_{3b})为两套火山-沉积岩系,广泛出露于中、东部,是该矿区内的主要地层和赋矿围岩。

区域岩浆活动强烈,具多期次、多旋回活动的特点。海西期侵入岩主要为石英角闪辉长岩、辉绿岩、闪长斑岩、花岗闪长斑岩等;印支期主要为黑云石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩,多受近 EW 向构造的控制;燕山期主要为花岗斑岩、石英闪长岩、黑云钾长花岗岩等,与区域成矿关系密切。此外,区内脉岩也较发育,种类繁多。

区域构造以断裂为主,褶皱次之。北部的武艺台-德音旗庙断裂带是区域内早古生代缝合线的重要组成部分,规模大、发育时间长、深度大;南部的川井-化德深断裂带,是华北板块北缘元古代裂谷带的北部边界断裂,也具有多期活动、性质复杂的特征。

① 内蒙古黄金公司, 1992. 内蒙古自治区苏尼特右旗毕力赫金矿勘探地质报告. 内部资料.

② 内蒙古第四地质矿产勘查开发院, 1998. 内蒙古自治区苏尼特右旗毕力赫金矿增储(详查)地质报告. 内部资料.

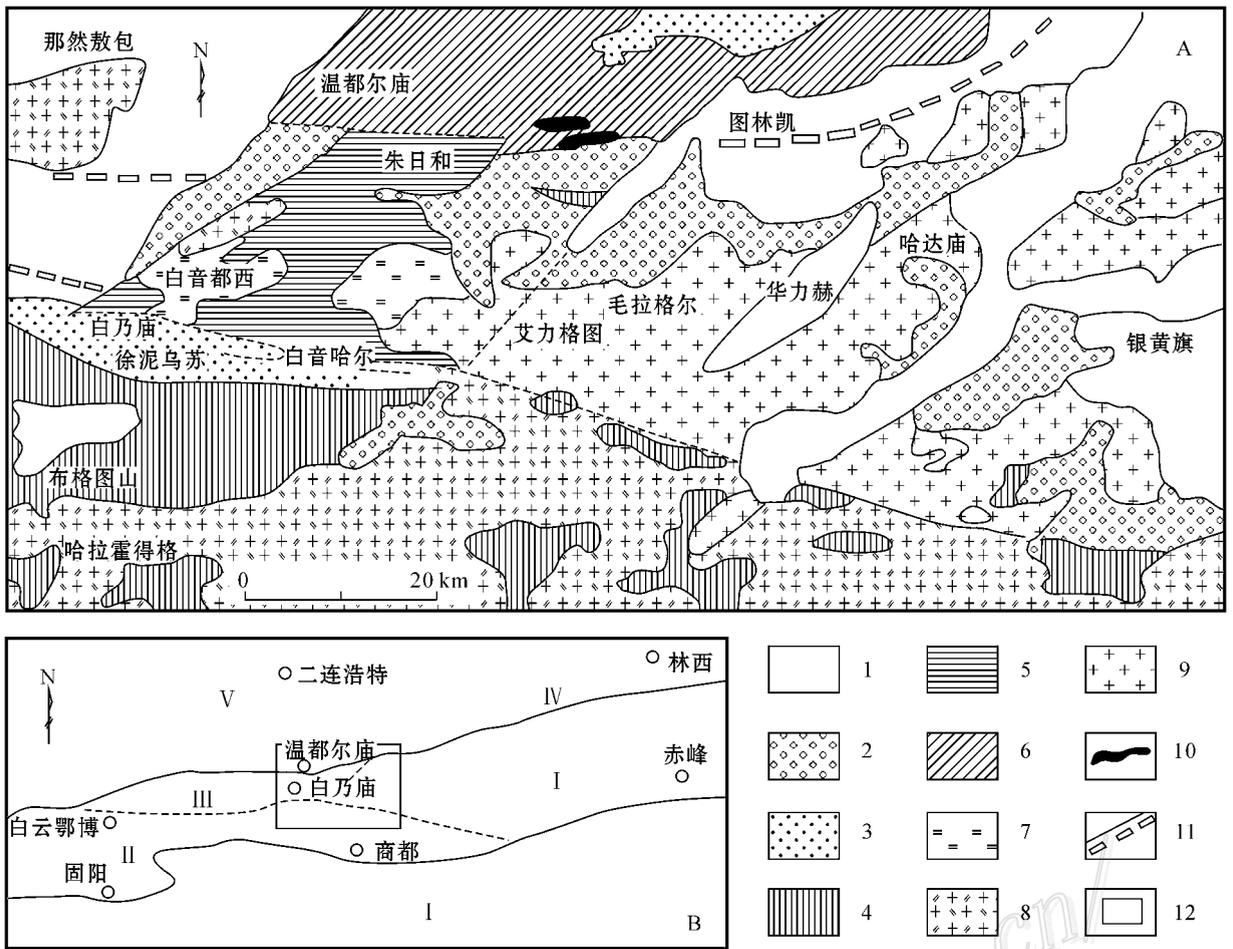


图1 毕力赫矿区区域地质构造略图(A,据1:20万区域地质图修改)及周边构造单元位置图(B)

1—中-新生界;2—石炭系—二叠系;3—中志留统徐尼乌苏组;4—中元古界白云鄂博群;5—中元古界白音都西群;6—中元古界温都尔庙群;7—晚元古代石英闪长岩;8—海西期花岗岩类;9—燕山期花岗岩类;10—蛇绿岩体(基性-超基性岩体);11—推测或隐伏断裂;12—研究区位置;I—华北板块;II—中元古代大陆边缘裂谷;III—岛弧(早古生代增生带);IV—早古生代俯冲带;V—晚古生代增生带

Fig. 1 Regional geological sketch map(A) of Bilihei gold deposit(modified after 1:200 000 Regional Geological Map) and location of surrounding tectonic units(B)

1—Mesozoic-Cenozoic;2—Carboniferous-Permian;3—Middle Silurian Xuniwusu Formation;4—Middle Proterozoic Bayan Obo Group;5—Middle Proterozoic Baiyindexi Group;6—Middle Proterozoic Ondor Sum Group;7—Late Proterozoic quartz diorite;8—Hercynian granite;9—Yanshanian granite;10—Ophiolite(basic-ultrabasic body);11—Measured and inferred fault;12—Study area;I—North China plate;II—Middle Proterozoic continental margin rift;III—Island arc(Early Paleozoic accretion zone);IV—Early Paleozoic subduction zone;V—Late Paleozoic accretion zone

早古生代以后,受多种区域构造动力体制的制约,区域构造线由以近EW向为主转为以NE向为主。古老的EW向构造和较晚的NE向构造及其交汇部位控制了区域金多金属成矿带和矿床集中区的展布。

2.2 矿区地质特征

根据区域地质调查资料,毕力赫区内出露的地层主要为上侏罗统玛尼吐组中性火山岩及白音高老组酸性火山岩。玛尼吐组火山岩主要分布于矿区的东部和西南部,与下伏的上二叠统额里图组砂岩呈不整合接触,其顶部与白音高老组为整合接触,岩性主要为安山岩、红色晶屑凝灰岩和薄层状沉凝

灰岩等(图2),是主要赋矿地层之一。白音高老组呈NE向带状展布,以中酸性火山岩及火山碎屑岩为主,岩性主要为灰白色流纹岩、灰红色晶屑岩屑凝灰岩、灰白色熔结凝灰岩、青灰色流纹质凝灰岩和含砾凝灰质砂岩等,也是重要的赋矿围岩。高晓峰等(2005)的研究表明,玛尼吐组火山岩含有较高的Al₂O₃、Na₂O、Sr,较低的Y和重稀土元素(HREE),认为其是造山带下地壳镁铁质岩石部分熔融的产物。

矿区内断裂构造发育,以NW向为主,NE向次之。NW向断裂是区域构造的次级构造,走向295~

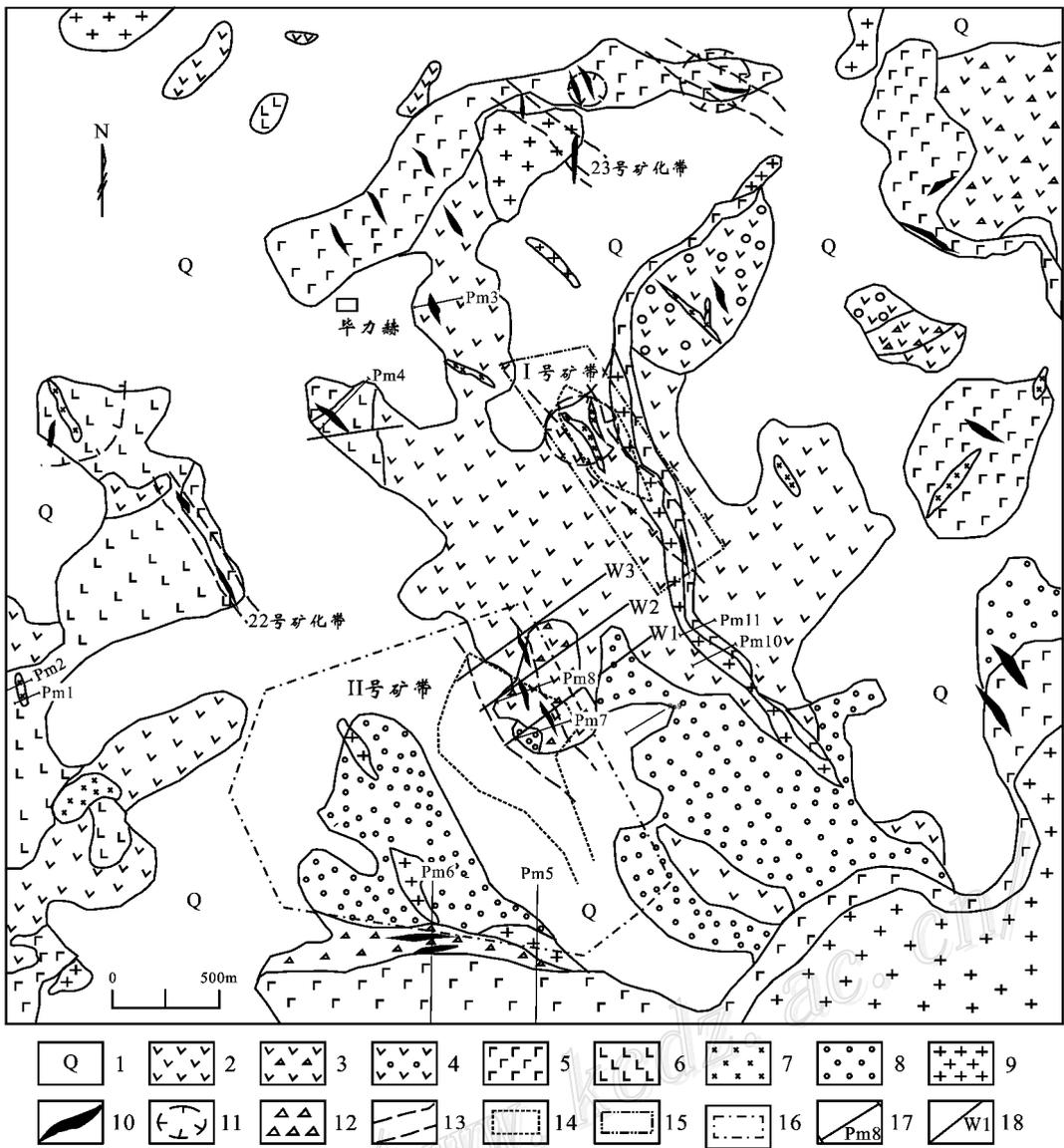


图 2 毕力赫金矿区地质略图

1—第四系；2—玛尼吐组安山岩；3—玛尼吐组安山质角砾岩；4—玛尼吐组安山质角砾岩；5—玛尼吐组玄武岩；6—白音高老组流纹（斑）岩；7—细晶岩；8—侏罗系砂岩；9—花岗岩；10—石英脉或硅质岩；11—小型环形构造；12—构造角砾岩；13—矿化带地表范围；14—隐伏矿体在地表的投影范围；15—I号矿带勘查范围；16—II号矿带勘查范围；17—化探剖面；18—物探剖面

Fig. 2 Geological sketch map of Bilihe gold deposit

1—Quaternary ; 2—Andesite of Manitu Formation ; 3—Andesitic breccia of Manitu Formation ; 4—Andesitic brecciated lava of Manitu Formation ; 5—Basalt of Manitu Formation ; 6—Rhyolite (prophyry) of Baiyingaolao Formation ; 7—Spilite ; 8—Jurassic sandstone ; 9—Granite prophyry ; 10—Quartz vein or silicalite ; 11—Circular structure ; 12—Structural breccia ; 13—Surface limits of mineralization aera ; 14—Surface projection of concealed ore body ; 15—Exploration limits of No 1 mineralization belt ; 16—Exploration limits of No 2 mineralization belt ; 17—Profile of geochemical exploration ; 18—Profile of IP dipole array

350°，倾向北东，倾角 70~86°，断裂破碎带长度大于 2 000 m，带内岩石破碎，具有张性断裂特征。NE 向断裂规模相对较小，多为受强烈挤压的片理化带。根据对矿区北部 26 号矿化带露采部分的观察，NE

向断裂对矿体具有不同程度的破坏作用，表明其成矿后活动明显。

矿区内的侵入岩明显受 NW 向构造的控制，主要为燕山晚期^①的肉红色花岗斑岩及中性基次火山

① 内蒙古第四地质矿产勘查开发院。1998. 内蒙古自治区苏尼特右旗毕力赫金矿增储(详查)地质报告. 内部资料.

岩和爆发相火山角砾岩,其中,中基性次火山岩和火山碎屑岩与金矿化关系密切。

2.3 矿床地质特征

2.3.1 矿(化)带(体)地质特征

本次工作之前,该矿区内已发现的矿带和矿化蚀变带主要有4条,即I号矿带及22号、23号和26号矿化带(图2)。除I号矿带开展过勘探,以及对22号和26号矿化带作过少量调查工作外,对其他矿化目标体则未做过地质工作。

I号矿带全长约400m,走向NW,倾向NE。富矿地段明显受NE向和NW向构造交汇部位(火山机构)的控制,总体呈扁豆状(图3)。根据采矿和坑道调查资料,发现其深部有蚀变和矿化的闪长斑岩体。已控制的矿化范围长150m,宽100m。后期活动的次火山岩墙(脉)和构造将其切割成多个部分,共圈定出21个矿体,主要为I、II、III和V号4个。矿体形态多呈透镜状、脉状或囊状,走向NNW,一般倾向NEE,倾角中等,矿体在空间上有向SE侧

伏的趋势。V号矿体位于地表I、II、III号矿体(现已全部采空)的深部,是该矿带内规模最大的矿体,已控制的长度为140m,最大厚度23m,平均厚度7.78m,延深65m,平均品位4.4g/t。

26号矿化带位于I号矿带的东北方向(图2),为一构造破碎角砾岩带,总体呈NWW向,倾向NE,倾角50~60°,控制长度100余m,其南东端的控制宽度为20~50m。经地表揭露,矿化最好的部位在该带的中部。其南侧以断层与蚀变流纹斑岩和凝灰质砂岩接触,界面清晰,其北侧则尚未完全控制。赋矿围岩主要为玛尼吐组火山岩,岩石破碎,角砾发育,角砾成分多为石英,其次为凝灰岩、凝灰质砂岩和流纹斑岩等,大小混杂分布,无定向性,普遍有不同程度的磨圆或蚀圆现象。胶结物主要为与角砾同成分的细碎屑,多遭受强烈的高岭石化,胶结松散。破碎角砾岩带内可见有石英细网脉贯入。前期勘查表明,局部有特高品位的矿石,尤其是石英细脉分布的部位。

22号矿化带位于I号矿带的西侧(图2),走向NW,倾向NE,倾角近直立,长度大于300m。其围岩主要为玄武角砾岩。矿化较好的部位为充填于破碎带中的石英脉,地表呈现强烈的褐铁矿化,石英脉在平面上呈波状弯曲,厚度变化较大。工程揭露显示,石英脉厚0.6~1.2m,金品位1~10g/t,其两侧的碎裂蚀变角砾状玄武岩也具有不同程度的矿化,含量一般为0.6g/t左右。矿化的蚀变角砾状玄武岩的表面呈褐黑色,角砾均为玄武岩,大多具有一定的磨圆,边界清晰,胶结物则多为硅铁质,部分为细的玄武岩碎屑,胶结紧密。玄武岩中多孔洞,其间被粉末状黄铁矿充填。此前的地质勘查单位认为该带不具工业意义,找矿前景不大。

2.3.2 矿石特征

根据含矿岩性的不同,可将矿石分为石英脉型和蚀变岩型2类。前一类主要产于I号矿带浅部;后一类主要见于I号矿带深部,为主要矿石类型,占该矿床总储量的90%以上。在石英脉型矿石中,石英脉多以板状形式产出,有时为网脉状;自然金多呈包体直接产于石英中,少量沿裂隙产出;脉体中还可见黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿等金属矿物,但含量较低,一般在1%以下。对于蚀变岩型矿石,金也主要以包体金的形式产于蚀变所形成的团块状石英中,仅见少量裂隙金;尽管蚀变岩石中含有一定量的黄铁矿、黄铜矿等金属矿物,但选矿试验表明,当硫

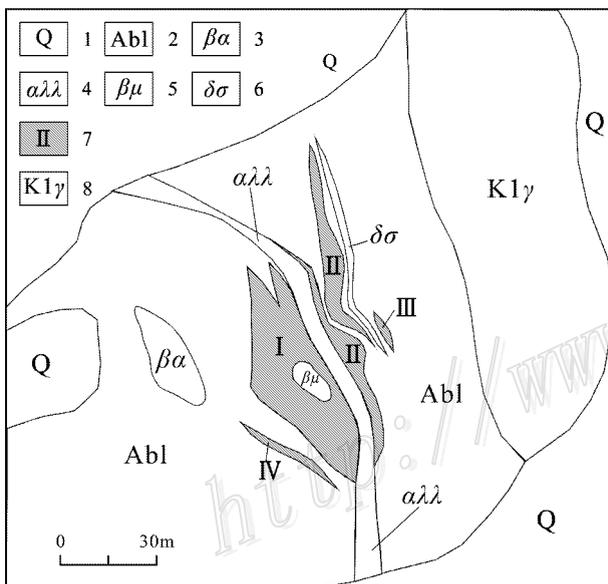


图3 毕力赫金矿区I号矿带地质略图

- 1—第四系;2—玛尼吐组安山岩;3—玛尼吐组玄武安山岩;
4—安山玢岩脉;5—辉绿岩;6—闪长斑岩;7—矿体及编号;
8—花岗斑岩

Fig. 3 Geological sketch map of No. I mineralization zone in Bilihe gold district

- 1—Quaternary; 2—Andesite of Manitu Formation; 3—Basaltic andesite of Manitu Formation; 4—Andesitic porphyry dike; 5—Diabase;
6—Diorite porphyry; 7—Ore body and its serial number;
8—Granite porphyry

化物含量增高时,金品位则降低,反映出硫化物与金矿化间的关系不很密切,这与显微镜下的观察结果相一致。

2.3.3 围岩蚀变特征

该区内,围岩蚀变广泛发育,主要有钾长石化、硅化、绢云母化、泥化及青磐岩化等。因产出位置不同,蚀变类型及蚀变分带情况明显不同。在 I 号矿带,蚀变以面状为主,且具有明显的环形分带:在地表,从矿体中心向外依次为:钾长石化+硅化、硅化、绢云母化、泥化及青磐岩化;在垂向上,近地表部位为泥化+硅化,在中部,钾化程度增高,同时见有绢云母化、绿泥石化、绿帘石化,向深部钾化更强,硅化则相对减弱。而在 22 号及 26 号矿化带,蚀变以线状为主,沿构造破碎带发育,主要有硅化、褐铁矿化、方解石化+绢云母化、青磐岩化、电气石化,有时可见钾长石化,主要产于围岩中。野外调查发现,硅化和钾长石化是毕力赫金矿区的直接找矿标志,硅化所形成的石英呈团块、细脉及硅质体,与钾长石共生,油脂光泽强,是主要的载金矿物,凡是含石英-钾长石团块的矿石,其金就能达到工业品位,金含量与硅化(石英团块)强弱成正比。

3 资源潜力分析及勘查思路的建立

3.1 资源潜力分析

毕力赫金矿区所在的华北板块北缘地区是兴安-蒙古古生代-中生代复合造山带的重要组成部分,是华北地区较有前景但有待突破的金多金属成矿带之一。区域上与金矿关系密切的地层包括西部地区的元古界中-浅变质岩系(温都尔庙群、白音都西群等)、古生界徐尼乌苏组、西别河组,以及东部地区的中生代火山岩等。加里东期-海西期中,酸性侵入岩与金矿的关系也很密切。金矿床的空间分布严格受控于川井-镶黄旗深大断裂,其旁侧的次级构造以及与其形成“入”字型的构造进一步控制着金矿体(脉)的产出;在 NS 向挤压应力作用下形成的共轭断裂往往为容矿构造,以 NE 向、NEE 向为主, NW 向次之。该区分布有白乃庙、毕力赫、白音哈尔、巴彦查干、哈达庙等多处金矿床(点),显示出较大的找矿潜力。金矿床类型以中低温热液石英脉型为主(白乃庙和白音哈尔),近年来,又发现了构造破碎蚀变岩型、火山岩型、斑岩型和矽卡岩型金矿床,从侧面反映出该地区具有较大的找矿潜力。

以往的勘查研究表明,在毕力赫地区,容矿火山岩系(层)出露良好,导矿、配矿和容矿构造发育齐全,热液活动发育,蚀变强烈,矿化类型多。该矿区的野外地质调查表明,除 I 号矿带 V 号矿体的深部及周边外,26 号矿化带也有一定的找矿潜力。特别是,该矿区的外围广泛发育以硅化为主的热液蚀变,构造活动强烈,许多地段都具有与 I 号带相似的构造和蚀变特征,预示着该矿区的外围还有很大的找矿空间。

3.2 矿床类型

笔者对已采出的矿石进行了仔细研究,认为毕力赫金矿区 I 号矿带的地表和浅部矿体(I-III 号中段,地表向下 150 m 范围内)是受火山机构及相关构造控制的(次)火山热液型金矿化,但向下至 IV、V 中段,则具有向斑岩型金矿化过渡的特征,其主要表现为:① 该矿带内的富矿体与闪长斑岩具有密切的空间分布关系;② 具有与典型富金斑岩铜矿床(Sillitoe, 2000)类似的环形蚀变分带以及钾长石化、硅化等高温蚀变组合;③ 在该矿带深部的含矿斑岩中,发现了大量单向固结结构(图 4),表明其明显经历了岩浆-热液过渡过程(杨志明等, 2008)。但地质勘查工作(最大深度达 300 m)表明,在该矿带 I 号矿体的深部并未形成典型的斑岩型金矿体。

经综合分析,并结合国内外陆相火山岩区相关金矿床的矿化特征,笔者认为,毕力赫金矿床可能具有斑岩型-浅成低温热液型金矿化的套合现象,但斑岩型矿体不一定产在现存矿体的深部,而可能产在其他地段。因此,寻找斑岩型矿化是下一步地质勘查应该考虑的重要方向。

3.3 勘查思路的确立

富金斑岩铜矿描述性及成因模型的应用

迄今,在世界范围内,斑岩金矿少见,仅在智利的 Maricunga 斑岩铜矿带出现(Vila et al., 1991b);在中国,虽有一些关于斑岩型金矿床(如团结沟、小西南岔、峪耳崖等)的报道,但其特征与该类矿床相比,有明显差异。因此,目前还缺少可资勘查借鉴对比的典型实例。但是,对斑岩型铜矿床或富金斑岩铜矿床则有较长的研究历史(Sillitoe, 1979; 1997; 2000; Vila et al., 1991a),并建立了较为可靠的描述性模型及成因模型(Sillitoe, 2000)。依据与斑岩型矿床相同或相似的特征,笔者认为,富金斑岩型铜矿床的成因模型对于指导斑岩型金矿床的勘查具有实际意义。斑岩型矿床的产出具有如下特点:① 矿床

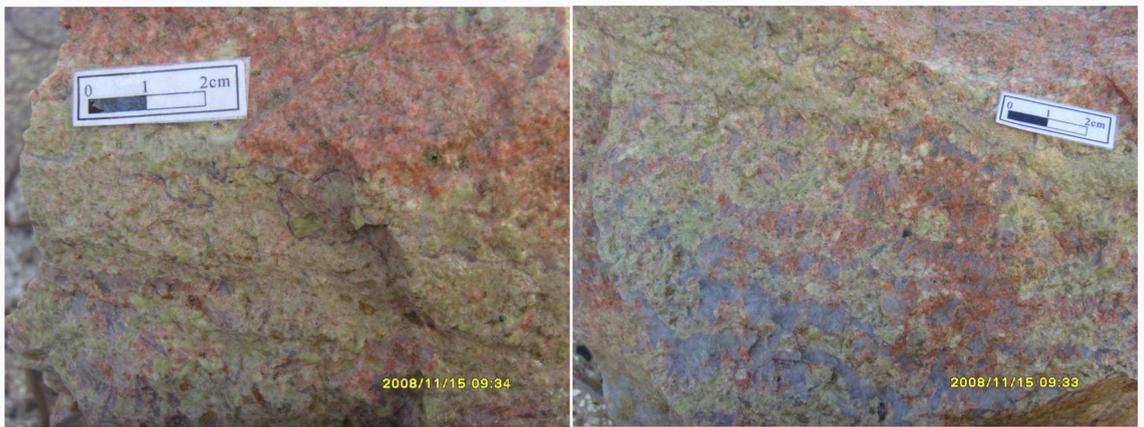


图 4 毕力赫金矿床 1 号矿带深部斑岩型矿石中单向固结结构

Fig. 4 Unidirectional solidification textures in ore from No 1 mineralization zone of Bilihe gold deposit

既可产于挤压环境,亦可产于伸展环境,一些超大型矿床主要产于挤压环境,而在伸展环境则常出现多个矿化中心;②与成矿有关的岩浆为磁铁矿系列(Ishihara, 1981),具有较高的氧逸度,致使矿床常含有较多的磁铁矿,很适合电磁法勘探;③围岩蚀变特征与普通斑岩铜矿类似,但高级粘土化更为发育,一般产于矿床顶部(Sillitoe, 2000),但有时也可沿裂隙发育(Hedenquist et al., 1998);④金矿化主要产于钾硅酸盐化阶段所形成的石英 A 脉中(Gustafson et al., 1975),在斑岩矿化上部及周围产出的浅成低温热液矿化中,也有金的产出(图 5)。

根据上述特征,并结合毕力赫金矿床产出的大地构造背景及其特点,笔者认为毕力赫金矿区具有较大的找矿潜力。在勘查过程中,应特别注意寻找与含矿斑岩侵位有关的其他矿化中心。

找矿勘查模型

根据斑岩型铜矿床成因模型的启示,结合毕力赫金矿区 1 号矿带具有与陆相中酸性火山次火山岩有关的低温热液斑岩型金矿套合存在的现象和其他矿床特征,以及国内外火山岩区金矿勘查的成功案例,笔者把应用于毕力赫矿区勘查的概念模型综合如下:

(1) 两组构造交汇部位,有利于火山机构的产出或斑岩体的侵入;

(2) 地表具有高于 20×10^{-9} 左右并呈完整形状的土壤地球化学异常,直接指示有矿化存在;

(3) 低温热液蚀变矿物组合和硅化带,反映出热液活动强烈;

(4) 次火山岩脉或斑(玢)岩体(包括可能隐伏的岩体)发育地段,表明岩浆活动强烈;

(5) 相对正地形——硅化,一般抗风化能力强,会形成正地形;

(6) 地表向下至 300~500 m 左右的勘查空间。

明确如下找矿标志:①斑岩体明显受 NW 向张性断层和 NE 向压性断层的联合控制,断层的交汇部位可能是斑岩体产出的有利部位;②钾硅酸盐化及石英 A 脉与斑岩体密切相关,前两者的出现,常预示含矿斑岩距此不远;③如果矿区内存在多个矿化中心,那么,在地表可能存在多个土壤地球化学异常中心,而异常中心的下部,则可能存在斑岩型矿化。

勘查思路的制定

基于上述找矿勘查模型,确定了以现有资料的综合分析为基础,以富金斑岩铜矿成矿模型为指导、以有效的勘查方法技术组合配套使用为手段、适时分阶段进行工程验证的指导思想。具体思路如下:

①对毕力赫矿区 16 km^2 范围开展详细的大比例尺地质图修测,进一步搞清矿区地质,特别是地表构造、岩浆岩、蚀变和脉体特征及分布规律;②开展高精度遥感测量,解译区内出露及隐伏构造的发育情况,结合矿区地质填图结果进行校正,尽可能找出构造交汇部位,同时查清矿区内的蚀变分带情况;③对 $1:5$ 万土壤化探异常进行综合分析,优选重点区段系统开展大比例尺岩屑地球化学剖面测量,进一步验证异常的真实性,查明可能的异常中心;④综合对比上述研究结果,进一步聚焦可能具有较大成矿潜力的重点区段,系统开展高密度物探测量工作,

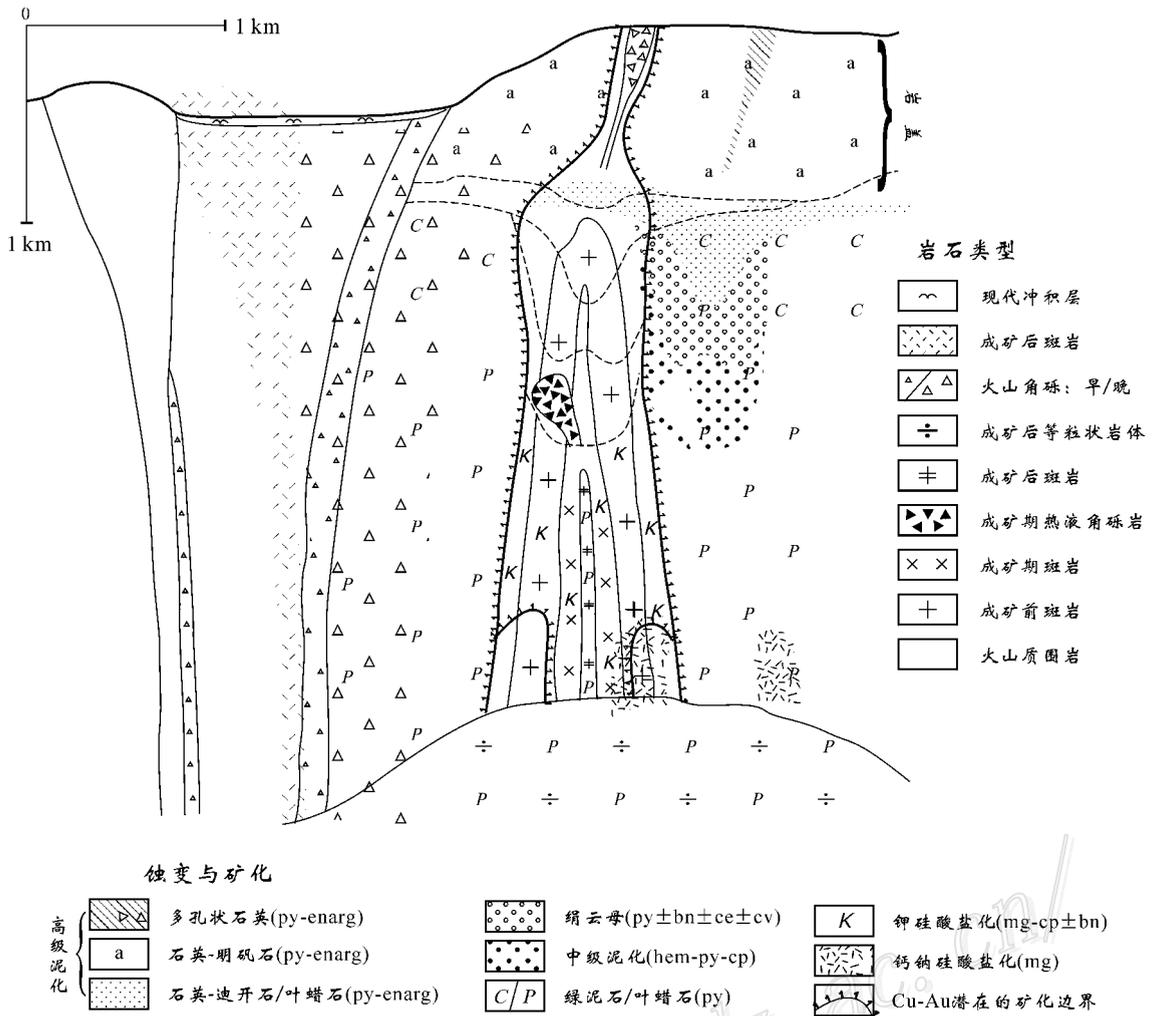


图 5 典型富金斑岩铜矿的描述性模型(Sillitoe, 1997; 2000)

bn—斑铜矿；cc—辉铜矿；cp—黄铜矿；cv—铜蓝；enarg—硫砷铜矿；hem—赤铁矿；mg—磁铁矿；py—黄铁矿

Fig. 5 Descriptive model of a typical porphyry type Cu-Au deposit (Sillitoe, 1997; 2000)

bn—Bornite；cc—Chalcocite；cp—Chalcopyrite；cv—Covellite；enarg—Enargite；hem—Hematite；mg—Magnetite；py—Pyrite

以寻找隐伏斑岩体或矿化中心；⑤ 对经地质研究预测和(或)物化探测量发现异常的区段，开展工程验证、检验、修正勘查模型。

4 工程验证前的矿化信息提取

在确定勘查思路之后，于 2005 年 8 月开始了工程验证前的各项工作。

4.1 地质填图

通过大比例尺地质填图，进一步查清了区内构造、岩浆岩、蚀变和脉体的特征及空间分布规律，并对不同的岩性进行了镜下鉴定，对岩石重新命名，绘制了矿区第一张大比例尺地质图(图 2)。同时认为，不同构造的交汇部位可能是火山-次火山岩浆活动

中心，应为找矿的重要目标区。在此基础上，圈定了一系列受 NE 向和 NW 向构造控制并呈近等间距分布的重点找矿预测区。

4.2 遥感地质

通过对高精度遥感图像的详细解译，发现该矿区内主要发育 3 组构造：① NE 向构造，为一组由多条线性构造组成的线性构造带，贯穿整个矿区；② NW 向构造，一条主要的 NW 向构造在该矿区东侧通过，区内也发育 NW 向构造，贯穿矿区，但多为单条线性构造，似为后期脉岩(或石英脉)所充填；③ 近 EW 向构造，在矿区范围内呈近等间距发育。此外，通过遥感解译，还在矿区及其外围圈出了几个环形构造。该矿区即是一明显的环形构造体，其内部发育多个规模较小的环形构造，有一个与 I 号矿带

表1 毕力赫矿区Ⅱ号蚀变带 Pm7 和 Pm8 地化剖面的金含量

Table 1 Au content of geochemical profile Pm7 and Pm8 in No 2 mineralization belt from Bilihei deposit

	Pm8-0	Pm8-1	Pm8-2	Pm8-3	Pm8-4	Pm8-5	Pm8-6	Pm8-7	Pm8-8	Pm8-9	Pm8-10	Pm8-11
$\alpha(\text{Au}) \times 10^{-9}$	261.0	167.0	63.0	630.0	90.0	12.7	4.3	422.0	11.5	3.0	10.1	1.9
	Pm7-0	Pm7-1	Pm7-2	Pm7-3	Pm7-4	Pm7-5	Pm7-6	Pm7-7	Pm7-8	Pm7-9		
$\alpha(\text{Au}) \times 10^{-9}$	13.1	5.2	26.8	23.2	1.8	1.5	6.9	2.3	4.0	1.2		

吻合较好。

经对比还发现,地表矿化蚀变较强烈的部位,在遥感图像上呈现出较明显的浅白色至淡粉红色的过渡色调,这对于确定找矿有利地段也具有重要的指导意义。通过遥感解译结合地质填图成果,并参考1:5万土壤地球化学异常,在上述找矿预测区内,又进一步圈定了若干个找矿靶区,并确定其中的26号矿化带和Ⅱ号蚀变带为重点工作区(图2)。由于26号带已有一定的工作基础,因此,将找矿勘查重点放在Ⅱ号带。

4.3 地球化学测量

根据收集到的该矿区1:5万土壤地球化学测量资料,发现Ⅱ号带所在的区域存在着与该矿区Ⅰ号带在规模、形状和强度上均相似的土壤地球化学异常,此外,在该矿区的其他部位也有异常存在,前人对这些异常进行了地表探槽控制,但均未发现矿(化)体。因此,需要进一步验证这些异常的真实性,并评价其价值。

笔者采用岩屑地球化学剖面法对这些异常,特别是对Ⅱ号带所在的异常,进行了地表查证。全区共测制此类地球化学剖面25条,总长20 km。表1列出了通过Ⅱ号蚀变带的2条地化剖面(Pm7和Pm8,参见图2)的金测量结果,均显示强烈的金异常,并具有良好的对应性,在剖面Pm8的西段,连续7~8个样出现高异常,并与原土壤地球化学异常区基本吻合。由于验证取样为岩屑,因此,更反映出该区存在强矿化作用,表明其深部具有较好的找矿潜力,故而,确定Ⅱ号带为首先开展探矿验证工作的重点靶区之一。

4.4 地球物理测量

对Ⅱ号及26号带开展了系统地球物理测量工作。共测制10条剖面,其中Ⅱ号带6条,26号带4条。图6即是Ⅱ号蚀变带上的一条高密度电法测量的剖面图(W1,参见图2)。该图内靠近中部的低阻高充电率异常通常被认为是矿化较好的部位,也正是笔者建议进行首次钻孔验证的地段。进一步将Ⅱ号带的EH4和高密度电法测量结果与Ⅰ号带的典

型剖面相对比,认为W1剖面左段所显示的高阻高极化区可能是隐伏岩浆岩分布区,其埋深为40 m左右,深部(65~120 m)显示出高极化特征,可能具有较好的矿化潜力,由此,进一步肯定了Ⅱ号带的找矿前景。

5 工程验证结果

依据所提取到的不同矿化信息,分3个阶段提出设计,进行工程验证。

第一阶段(2006年下半年)以地表详细观察研究资料为基础,结合岩矿测试、镜下鉴定和分析,对26号带提出了工程验证意见。主要利用槽探对地表矿化构造带进行系统控制,而不是仅针对其中规模较小的石英细脉开展工作。

通过系统取样,认为控制26号带的构造具有多期活动特征,其内穿插的石英细脉是造成矿化的主要原因,石英细脉的密度决定了矿化带含矿性的高低,矿化石英细脉局部含Au量可达300 g/t以上。根据矿化石英细脉的发育程度,圈出了若干个小的呈透镜状的矿体,它们在构造蚀变带内呈斜列式展布,构成相对高品位区,而在这些矿体之间,则是石英脉稀疏分布的低品位区。高品位区与低品位区不仅难以分割,更难以分别开采。为此,向矿山建议进行混合露采,可形成宽约16 m,长约60 m的可采地段。此建议为该矿山增加了近6万吨矿石,平均品位可达2.0 g/t左右,与Ⅰ号带的较富矿石配矿,有效地维持了该矿山2006年度的生产。

第二阶段(2007年上半年)主要以物、化探剖面资料为基础,对Ⅱ号蚀变带地表强硅化区(对应于W1物探剖面中部的低阻高充电率区)提出了工程验证方案。依据化探剖面测量结果及地表地质调查,发现其异常地段具有较明显的硅化蚀变,但硅化蚀变所形成的强烈硅化带(位于剖面的东段)与高异常值并不对应,即剖面西部的高值区的硅化反而相对较弱。基于勘查模型中硅化地段一般矿化相对较好的认识,以及物探剖面的特征,于2007年初,针对地

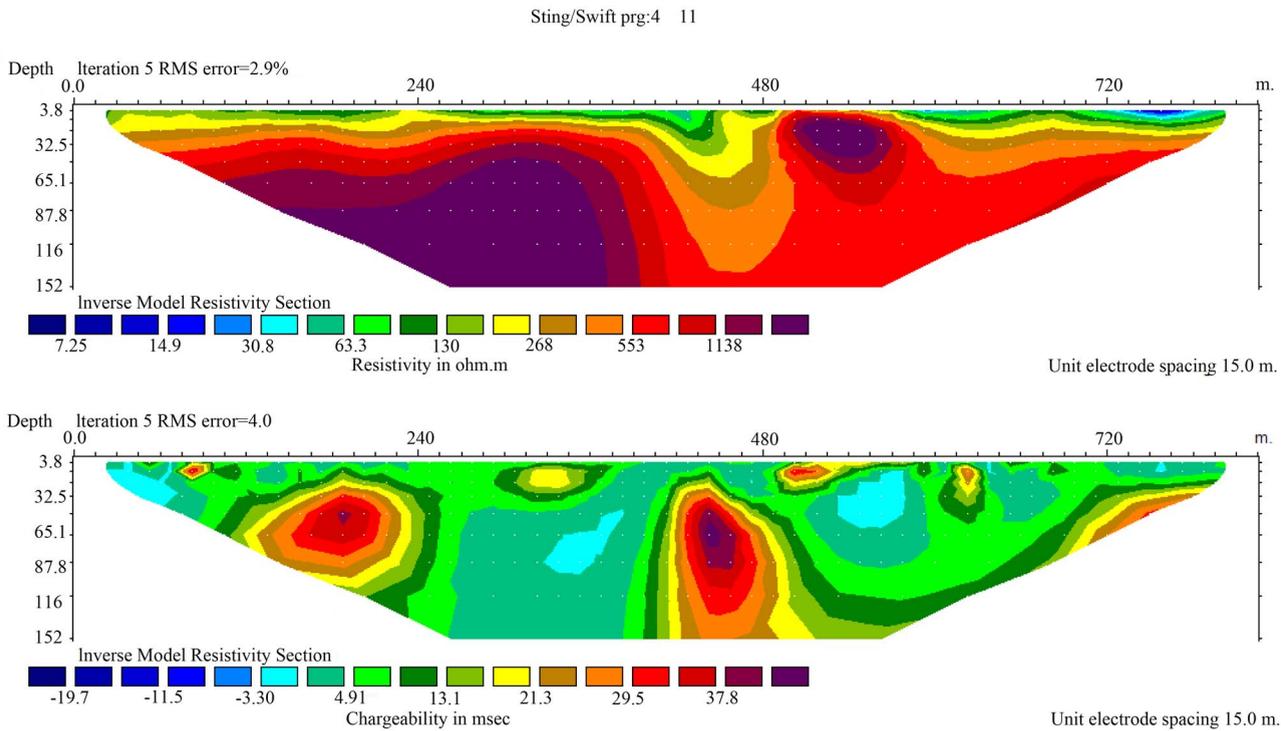


图 6 毕力赫矿区 II 号矿化蚀变带 W1 号高密度电法测量剖面图
(上图为电阻率剖面; 下图为充电率剖面)

Fig. 6 W1 profile map of IP dipole array of No 2 mineralization belt in Bilihe deposit
(upper: electric resistivity; lower: chargeability)

表强硅化带(化探剖面东段,物探剖面中部)部署了探槽和 3 个钻孔,对其进行验证。验证表明,地表无强烈矿化区,钻孔也未揭露达工业品位的矿化体,但全孔均具 $0.3 \text{ g/t} \sim 0.4 \text{ g/t}$ 的矿化显示。工程验证未达预期效果。

第三阶段(2007 年下半年至 2008 年)以物、化探资料为基础,结合野外对蚀变带内岩性、蚀变矿物组合、蚀变分布特征等的综合对比分析,发现化探剖面中异常值较高的位置的岩性主要为安山岩夹安山玢岩质角砾熔岩和凝灰质砂岩,但由于地表氧化发育,其内部又穿插有较多的石英细脉,且局部形成脉带,因此,不仔细观察,很难辨认,它们不像硅化较强地区的安山岩那样,硅化带虽然明显,但并未形成完整的脉体,且岩性单调。经综合分析,认为化探剖面西段(向西进入被第四系风成沙覆盖的冲沟)高异常值对应区的深部是勘查的重点对象,物探剖面亦暗示深部岩体是工程揭露的主要目标。结合原先设计钻孔的验证结果,对 II 号蚀变带布置了新的深部验证工程,即将重点放在物、化探剖面的西段,同时,对 26 号带的深部也设计了钻孔验证工程。

至 2008 年 10 月底,验证工程取得了极佳的找矿效果,特别是在 II 号带取得重大突破。

① 26 号带共施工钻孔 8 个,有 4 个钻孔见矿,其中 8 线的 2 个钻孔见矿 2 层,厚度分别为 6 m 和 1.2 m,最高金品位为 6.2 g/t 。此外, $0. \text{n g/t}$ 的品位则较为多见,构成较厚大的低品位矿化带,与地表所见相似,提交金资源量(334) 2.6 t 。但不理想的是,与相邻勘探线的矿体无法连接(勘探线间距仅为 40 m)。通过分析,再次证明了蚀变带内矿体规模小且分散的特点。目前,该带西部的勘查工作正在进行。

② 在 II 号带,以 $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$ 间距共设计钻孔 86 个;至 2008 年 10 月底已完成 70 个,进尺 21 442.05 m,有 45 个钻孔见矿孔,见矿率为 64 %。2008 年 10 月,武警黄金地质研究所提交了毕力赫矿区 II 号带第 1 期(15 线至 40 线)详查报告,在该区深部(埋深 40 m 左右)发现隐伏花岗闪长斑岩体,同时,圈定出隐伏的巨大斑岩型矿体。由 45 个钻孔在该花岗闪长斑岩体内外接触带控制矿体 1 个(南东端没有封边),估算并经内蒙古资源/储量评审中心评审通过,共提交控制的经济基础储量(122b)类型

矿石量 600 多万吨,平均品位 3.31×10^{-6} ,金金属量 19.9 t,其中包括控制的经济基础储量(122b)(富)类型富矿体一个(图 7),矿石量 53.2 万 t,平均品位 15.03 g/t,金金属量 8 t。估算推断的内蕴经济资源储量(333)类型金金属资源量 1 152 kg,矿石量 510 216 t,平均品位 2.26×10^{-6} 。其中,控制的经济基础储量(122b)+(122b)(富)占探明总资源储量的 94.5%。估算推断的内蕴经济资源量(333)(低品位)类型金金属资源量 903 kg,矿石量 152 万 t,平均品位 0.6×10^{-6} 。

在整个矿区,本次查明矿产资源矿石量 803 万 t,金属量 21.9 t,平均品位 2.73×10^{-6} ^①。这些发现基本验证了此前所建立的勘查思路的正确性和工作方法的有效性,但所发现的是隐伏矿体,而其地表呈

负地形,则是未估计到的。

6 对危机矿山找矿突破的启示

据初步研究,毕力赫矿床是华北板块北缘地区首例高品位独立斑岩型大型金矿床,它的突破对华北板块北缘地区具有重要的理论意义和找矿实践意义。据统计,中国约有一半以上的黄金矿山已进入资源紧缺的危机矿山行列。理论分析表明,绝大部分危机黄金矿山的接替资源找矿工作大有可为;但如何针对具体矿山的实际情况,制定出合理且有效的找矿勘查思路和技术方法组合,对于危机矿山加快接替资源找矿突破具有重要意义。归结起来,主要有以下几条:

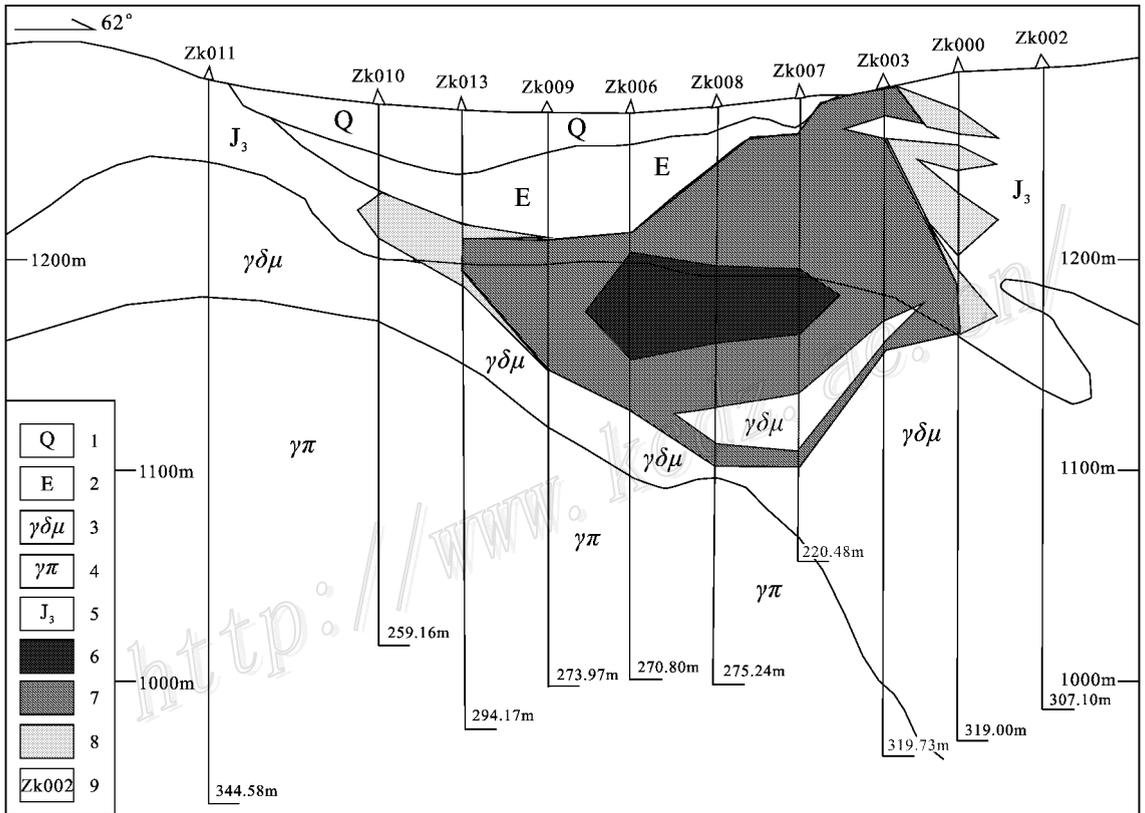


图 7 毕力赫金矿区 II 号矿带 0 勘探线剖面图

1—第四系;2—第三系红色泥岩;3—花岗闪长玢岩;4—花岗岩斑岩;5—上侏罗统火山碎屑岩;6—控制的内蕴经济资源量(332 富);7—控制的内蕴经济资源量(332b);8—推断的内蕴经济资源量(333);9—钻孔及编号

Fig. 7 Geological section along No O exploration line of No 2 mineralization zone in Bilihe gold deposit

1—Quaternary;2—Tertiary red mudstone;3—Granodioritic porphyrite;4—Granite porphyry;5—Upper Jurassic volcanoclastic rock;6—Controlled intrinsic economic resource quantity(332 rich);7—Controlled intrinsic economic resource quantity(332b);8—Inferred intrinsic economic resource quantity(333);9—Drill hole and its serial number

① 武警黄金地质研究所. 2008. 内蒙古苏尼特右旗毕力赫矿区 II 号带 17—40 线详查地质报告. 内部资料.

(1) 危机矿山接替资源找矿工作是一项成矿理论和找矿实践密切联系的综合性研究工作,既要求对典型矿床成矿模型有透彻的理解,对矿床地质特征、控矿关键因素有清晰的认识,又要求对矿山深部及外围找矿有清晰的思路 and 创新的思维。因此,理论研究需与找矿实践密切结合。例如,笔者在毕力赫矿床制定找矿勘查计划之前,对原 I 号矿带的矿床地质特征进行了详细的地表和坑道观察及研究,形成了矿区存在浅成低温热液型矿化和斑岩型矿化套合现象的初步认识,这一认识为我们借用富金斑岩模型指导勘查实践奠定了理论基础,并制定出相关的技术方案。

(2) 资源潜力分析是实现找矿勘查突破的前提。在对危机矿山进行接替资源勘查前,应对其开展符合实际的资源潜力分析,包括矿山所处位置、成矿地质条件、矿山发现与开采历史、资源类型及工作程度、有无潜力及多大潜力等,都要搞清楚。只有具找矿潜力的矿区才有实现找矿增储的空间。要搞清楚一个地区的资源潜力,不仅要对该区的区域构造演化和成矿地质环境有较明确的分析,同时,还要对区域金属矿床的成矿规律有清醒的认识。详细的基础地质调查工作是矿区资源潜力分析不可缺少的方法手段。

(3) 在具有找矿潜力的前提下,找准制约矿山勘查突破的关键问题,是实现增储的出发点。只有关键问题搞清楚了,建立了符合矿山实际的找矿勘查模型,才能对症下药,制定出切合实际的技术方法。毕力赫矿床的找矿突破,就是抓住了浅成低温热液型和斑岩型矿化套合成矿这一关键问题,并以此来部署工作。

(4) 以现有资料的综合分析为基础,以针对性的地质科研引路,以有效的勘查方法技术组合配套使用为手段,适时设计验证工程,分期、分阶段有重点地加以实施,是危机矿山找矿勘查增储的基本思路。

迄今,II 号矿带的勘查工作仍在进行。值得指出的是,根据 II 号带的找矿成果,目前又对 I 号矿带的深部和边部以及 26 号带提出了新的勘查方案,现已取得明显效果。这将在以后的有关文章中予以介绍。

志 谢 野外工作期间,得到了毕力赫金矿董事长段希刚、原总经理马满福、现总经理庞继尧以及

矿区负责人冯建兵等同志的大力支持,在论文写作过程中,得到中国地质科学院地质研究所侯增谦、杨志明等同志的指导,在此深表感谢!

References

- Gao X F, Guo F, Fan W M, Li C W and Li X Y. 2005. Origin of Late Mesozoic intermediate-felsic volcanic rocks from the northern Da Hinggan Mountain, NE China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21: 737-748 (in Chinese with English abstract).
- Guo F, Fan W M, Wang Y J and Lin G. 2001. Petrogenesis of the Late Mesozoic bimodal volcanic rocks in the southern Da Hinggan Mts, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17: 161-168 (in Chinese with English abstract).
- Gustafson L B and Hunt J P. 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile[J]. *Econ. Geol.*, 70: 857-912.
- Hedenquist J W, Arriba A J and Reynolds T J. 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines[J]. *Econ. Geol.*, 93: 373-404.
- Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization[J]. *Econ. Geol.*, 75: 458-484.
- Li S T and Yang S G. 1987. The Late Mesozoic rifting in the northeastern China and the fault-rifting basins in East Asia[J]. *Science in China (Series B)*, 21: 185-195 (in Chinese).
- Meng Q R, Hu J M, Yuan X J and Jin J Q. 2002. Structure, evolution and origin of Late Mesozoic extensional basins in the China-Mongolia border region[J]. *Geological Bulletin of China*, 21: 224-231 (in Chinese with English abstract).
- Sillitoe R H. 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits [J]. *Mineralium Deposita*, 14: 161-174.
- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 44: 373-388.
- Sillitoe R H. 2000. Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery[J]. *Reviews in Econ. Geol.*, 13: 315-345.
- Vila T and Sillitoe R H. 1991a. Gold-rich porphyry systems in the Mari-cunga belt, northern Chile[J]. *Econ. Geol.*, 86: 1238-1260.
- Vila T, Sillitoe R H, Betzhold J and Viteri E. 1991b. The porphyry gold deposits at Marte, northern Chile[J]. *Econ. Geol.*, 86: 1271-1286.
- Yang Z M, Hou Z Q, Li Z Q, Song Y C and Xie Y L. 2008. Direct record of the primary fluid exsolving from magma: Evidence from the unidirectional solidification texture (UST) finding at Qulong porphyry copper deposit GPCH[J]. *Mineral Deposits*, 27: 188-199 (in Chinese with English abstract).

- Zhu Y F, Sun S H, Gu L B, Ogasawara Y, Jiang N and Honma H. 2001. Permian volcanism in the Mongolian orogenic zone, northeast China: Geochemistry, magma sources and petrogenesis[J]. Geological Magazine, 138: 101-115.
- Zhu Y F, Sun S H, Mao Q and Zhao G. 2004. Geochemistry of the Xilingele complex, Inner Mongolia: A historic record from Rodinia accretion to continental collision after closure of the Paleo-Asian Ocean[J]. Geological Journal of China Universities, 10: 343-355 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 高晓峰, 郭峰, 范蔚茗, 李超文, 李晓勇. 2005. 南兴安岭晚中生代中酸性火山岩的岩石成因[J]. 岩石学报, 21: 737-748.
- 郭峰, 范蔚茗, 王岳军, 林舸. 2001. 大兴安岭南段晚中生代双峰式火山作用[J]. 岩石学报, 17: 161-168.
- 李思田, 杨世恭. 1987. 中国东北部中生代裂陷作用和东北亚断陷盆地[J]. 中国科学(B辑), 21: 185-195.
- 孟庆任, 胡健民, 袁选俊, 靳久强. 2002. 中蒙边界地区晚中生代伸展盆地的结构、演化和成因[J]. 地质通报, 21: 224-231.
- 杨志明, 侯增谦, 李振清, 宋玉财, 谢玉玲. 2008. 西藏驱龙斑岩铜钼矿床中 UST 石英的发现: 初始岩浆流体的直接记录[J]. 矿床地质, 27: 188-199.
- 朱永锋, 孙世华, 毛骞, 赵光. 2004. 内蒙古锡林格勒杂岩的地球化学研究: 从 Rodinia 聚合到古亚洲洋闭合后碰撞造山的历史记录[J]. 高校地质学报, 10: 343-355.

<http://www.kcdz.ac.cn/>