金属矿产

滇西惠民式铁矿找矿模型及预测

许 东, 尹光候
(云南省地质调查局,昆明 650051)

[摘 要]惠民铁矿产于双江陆缘弧带中元古代惠民岩组中部多旋回含铜铁火山-沉积建造中。每个小旋回底部由火山岩始,顶部至铁矿层终,构成明显的火山喷发-沉积韵律,铁矿层的大小、分叉、尖灭等,与火山岩的多寡、厚薄直接有关,受控于火山岩活动及其中心。将其厘定为云南省云县-澜沧一带区域性的中元古代海相火山-沉积型铁矿典型矿床-惠民式铁矿,并将与之成矿条件类似的双江-澜沧地区中元古代火山岩盆地作为惠民式铁矿的预测工作区,以MRAS定位定量方法,基于GIS矿产资源评价系统进行矿产预测,优选最小预测靶区13个,估算铁矿石资源量75亿吨,做为今后寻找与勘查该类型矿床的依据。

[关键词]惠民式铁矿 海相火山-沉积型 典型矿床 找矿模型 最小预测区 云南惠民
[中图分类号]P618.31 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2010)05-0765-14

Xu Dong, Yin Guang-hou. A prospecting model and prediction for iron-ore deposits of the Huimin-type in western Yunnan Province[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(5): 0765-0778.

澜沧县惠民铁矿,为受中元古界澜沧岩群惠民岩组变质中基性火山岩建造控制的海相火山-沉积型前寒武纪铁矿。矿区经详细普查,已探明铁矿石量21.89亿吨,平均品位30%左右,达超大型铁矿床规模,其潜在的资源潜力及找矿勘查前景,曾引起国内外众多学者的关注。矿床的基本特征和成因、成矿时代与控矿因素等,前人作了较多的研究讨论与报道(冯本智等,1982;范承均,1982;曾群望,1984;赵准,1993;罗君烈,1995等)。但以往工作及研究尚欠深入和系统,尤其矿床产出构造环境与属性、含矿建造对比划分及其时代依据较模糊,精细含矿岩性和控矿因素的解析、成矿系列与特征不明,矿床(体)深部及外围区带找矿潜力研究较缺乏等,成为区域找矿勘查的瓶颈。

在前人成果基础上,通过"云南省铁矿单矿种资源潜力评价",结合有关勘查技术科技支撑课题的系统梳理与研究,进一步明确了惠民铁矿含矿建造的构造属性、矿床特征与成因机理,厘定为云南省铁矿资源潜力评价中的典型矿床和矿产预测类型-惠民式火山-沉积型铁矿,并将云县-双江-澜沧-勐海一带近南北向澜沧岩群惠民岩组分布范围,确定为惠民式铁矿的预测研究区(图1a),优选和提供找矿勘查靶区。

1 区域地质概况

惠民铁矿位于云南澜沧江结合带西侧临沧-双江陆缘弧带西南缘,东邻印支-燕山期临沧花岗岩基,西接澜沧俯冲增生杂岩带。属惠民-大勐龙铁矿成矿带①,带内有元古代澜沧岩群、大勐龙(崇山)岩群及上三叠统3个含铁火山岩建造。其中,惠民-西定地区铁矿,含铁建造属澜沧岩群;景洪大勐龙地区铁矿,有两个含矿层位:一是产于大勐龙(崇山)岩群,如大勐龙、国防、疆锋,及崇山岩群中的贺别列铁矿床等;二是产于上三叠统中,如曼养、曼南坎等铁矿床。因此,进一步划分为:云县-澜沧中元古代火山-沉积型铁矿成矿(西)带和崇山-景洪古元古代、晚三叠世火山岩型铁矿成矿(东)带②③(图1b)。本文仅讨论与惠民式铁矿相关的西成矿带重要地段及其矿产预测。

[收稿日期]2010-04-06;[修订日期]2010-08-12;[责任编辑]郑 杰。
[基金项目]"云南省矿产资源潜力评价"(编号:1212010813024),国家科技支撑课题"三江"中南段铜、铅锌、金、多金属矿床综合勘查评价技术研究(编号:2006BAB01A07)资助。
[第一作者简介]许东(1968年-),男,硕士,高级工程师,长期从事区域成矿研究与地质矿产勘查,E-mail:ddy_xd@163.com。

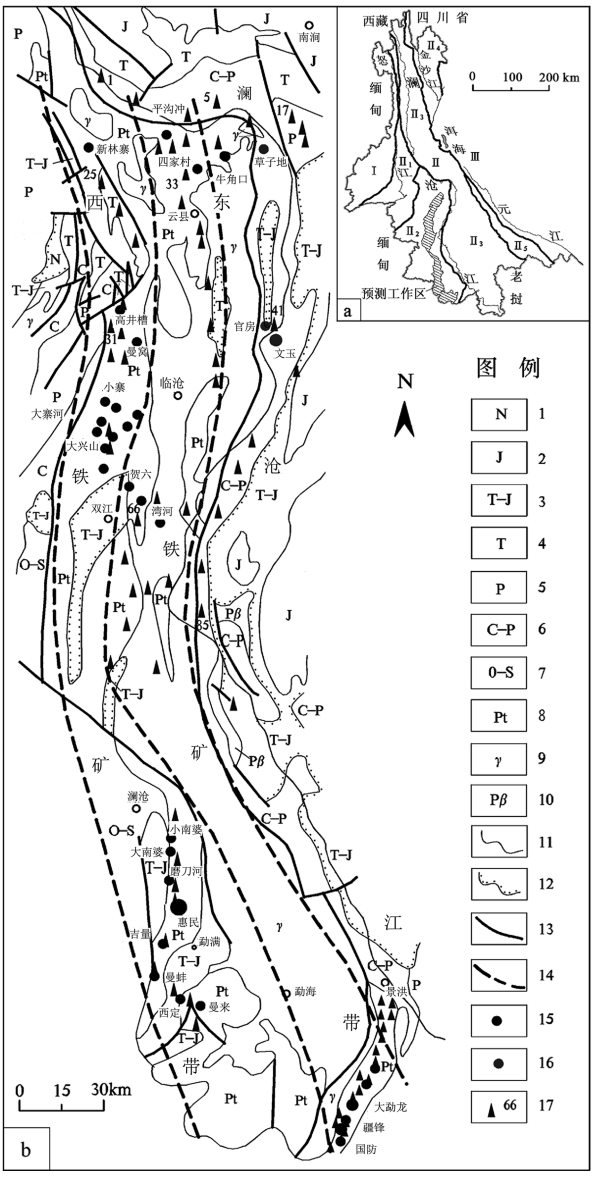

图 1 惠民–大勐龙铁矿带综合地质矿产简图(a–预测研究区位置)

Fig. 1 Sketch map showing geology and mineral resources in the Huimin–Damenglong iron–ore zone(a, prediction location)

Ⅰ–腾冲成矿带;Ⅱ–三江成矿带;Ⅲ–扬子成矿区;$Ⅱ_1$–福贡–镇康成矿带;$Ⅱ_2$–昌宁–澜沧成矿带;$Ⅱ_3$–兰坪–思茅成矿带;$Ⅱ_4$–中甸成矿带;$Ⅱ_5$–墨江–绿春成矿带

1–新近系砂泥岩;2–侏罗系红层;3–三叠–侏罗系砂页岩;4–三叠系砂岩;5–二叠系砂岩、砂页岩;6–石炭–二叠系火山杂岩;7–奥陶–志留系砂页岩;8–元古界变质岩;9–花岗岩;10–二叠纪基性杂岩;11–地质界线;12–不整合界线;13–断层;14–铁矿带界线;15–铁矿床(点);16–铜矿床(点);17–航磁异常及编号

Ⅰ–Tengchong metallogenic belt; Ⅱ–Sanjiang metallogenic belt; Ⅲ–Yangtze metallogenic province; $Ⅱ_1$–Fugong–Zhenkang metallogenic belt; $Ⅱ_2$–Changning–Lancang metallogenic belt; $Ⅱ_3$–Lanping–Simao metallogenic belt; $Ⅱ_4$–Zhongdian metallogenicbelt; $Ⅱ_5$–Mojiang–Lvchun metallogenic belt

1–Neogene shale; 2–Jurassic red beds; 3–Triassic–Jurassic sandstone–shale; 4–Triassic sandstone; 5–Permian sandstone, sandstone–shale; 6–Carboniferous–Permian volcanic complex; 7–Ordovician–Silurian sandstone–shale; 8–Proterozoic metamorphic rock; 9–granite; 10–Permian basic complex; 11–geologic boundary; 12–unconformity boundary; 13–fault; 14–iron ore boundary; 15–Fe ore deposit(spot); 16–Cu ore deposit(spot); 17–air magnetic anomaly and number

西成矿带除澜沧岩群外,还出露古生界、晚三叠世–侏罗纪和第三纪红层,岩石类型包括碎屑岩、火山岩、化学沉积岩等。其中,澜沧岩群是带内铁矿的赋矿层位与含矿建造[②③]。

澜沧岩群沿临沧–勐海花岗岩基西侧出露分布,北起凤庆、云县,经双江、澜沧、勐海,向南延入缅甸境内。南北长约 370km,宽 10km。主要由片岩夹变质中–基性火山岩组成。对其划分,目前尚未统一(云南省区域地质志,1993;云南省岩石地层,1996)。本次采用第五地质大队(1985)方案[③]:自上而下划分为西定岩组、惠民岩组及勐满岩组,总厚 >2500m。

1. 西定岩组(Pt_2x):主要分布在西定地区,惠民矿区仅小范围出露。为石英片岩、千枚岩及少量沉凝灰岩,夹 4 ~ 5 层透镜状绿泥磁铁褐铁矿。厚 470m。

2. 惠民岩组(Pt_2h):以惠民地区最发育,大南婆、南甸、吉量、西定等地也有分布,但规模、厚度、含矿性均不如惠民地区。主要由中–基性火山岩、铁矿层及少量含铁硅质岩、千枚岩、片岩、大理岩等组成。总厚 600 ~ 800m。划分为三个火山–沉积旋回,即惠民岩组上、中、下三段(见后述)。其绿片岩 Sm–Nd 等时线与模式年龄的一致性,表明原岩形成于 2000 ~ 1700Ma;还得到 1064Ma、533Ma、300 ~ 200Ma 以及小于 180Ma 和小于 50Ma 的 Rb–Sr、K–Ar、$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄,应视为重要的构造变质事件。变质中、基性火山岩–沉积岩石组合,系硅铁岩石建造,产出惠民铁矿。

3. 勐满岩组(Pt_2m):广泛出露于勐海花岗岩体西侧,以勐满地区出露较全。主要由石英片岩、云母片岩、片麻岩等组成,夹 1 ~ 2 层厚 1 ~ 2m 的透镜状菱铁矿(褐铁矿)。原岩为泥质岩、粉砂岩,含少量火山物质,是活动带初期形成的一套海相复理石建造。厚>1582m。

带内还见零星小规模超基性–基性杂岩出露。构造活动历经加里东期、华力西期、印支期、燕山期等多期次叠加,褶皱和断裂均十分发育,对地层和沉积建造及矿床的完整性,有强烈的破坏作用。

2 典型矿床研究

如前述,惠民铁矿产于三江造山系东南缘临沧–双江陆缘弧带之惠民岩组(Pt_2h)变质中、基性火山岩–沉积岩石组合中。与世界前寒武纪含铁建造–硅铁岩石建造(Cloud, 1973; Kirkham *et al.*, 1993),

并沿古大陆边缘成带分布的特征相似,且惠民铁矿(图 2)兼具含条带状含铁建造(Banded Iron Formation,简称 BIF)和粒状含铁建造(Granular Iron Formation,简称 GIF)的特点,可与印度苏必利尔湖型巨型铁矿对比,说明属于具有规模相对比较大的特点的铁矿床。世界 90% 的铁矿石即产于此含铁建造、类型及构造环境。

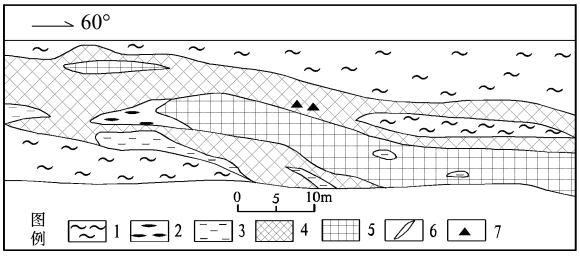

图 2　澜沧县西丁公路边惠民岩组中铁矿露头素描图

Fig. 2　Sketch of cropping iron-ore deposit in Huimin Formation beside Xiding highway in Lancang county

1-绿泥石绢云片岩;2-条带状磁铁矿;3-绿泥片岩;4-磁铁绿泥片岩;5-致密块状磁铁矿;6-石英脉;7-磁铁矿晶体

1-chlorite sericite schist; 2-banded magnetite; 3-chlorite schist; 4-magnetitechlorite schist; 5-dense massive magnetite; 6-quartz vein; 7-magnetite crystal

2.1　含矿火山-沉积旋回特征

惠民岩组(Pt_2h)含矿建造,总体由 3 个火山-沉积旋回构成(图 3)。

第三旋回:由 Ⅴ 矿层顶至Ⅶ矿层顶,平均厚 108.65m,变化较大,矿区南部发育较好。

Ⅵ矿层以下,一般为中性火山岩类岩石(凝灰岩、沉凝灰岩),常含有斑点状磁铁矿或钛氧化物的矿屑(0.1 ~ 0.5mm),岩层显示由方解石、石英、火山物质等相间组成的揉皱状层理,为本旋回的特征标志。Ⅵ矿层至Ⅶ矿层间,为不甚稳定的含碳石英片岩(上含碳层),含古藻类化石,是本旋回标志之一。本旋回含Ⅵ、Ⅶ两层不稳定铁矿层。

第二旋回:从 I 矿层下部含碳层的底界至 Ⅴ 矿层顶界,平均厚 376.73m。

本旋回地层在惠民矿区最发育,主要集中于矿区中部,表现为中厚(约 500m)边薄(125 ~ 131m)的变化规律。火山岩大多为结晶较细的基性熔岩、凝灰岩,Ⅱ号主矿层之下有结晶较粗的蚀变辉绿岩,肉眼能见到 125mm 大小的辉石斑晶,特征明显。旋回底部的 I 矿层之下,为一层不稳定的含碳石英片岩,厚约 10m。

本旋回是矿区最强烈的一个旋回,细分为 9 个

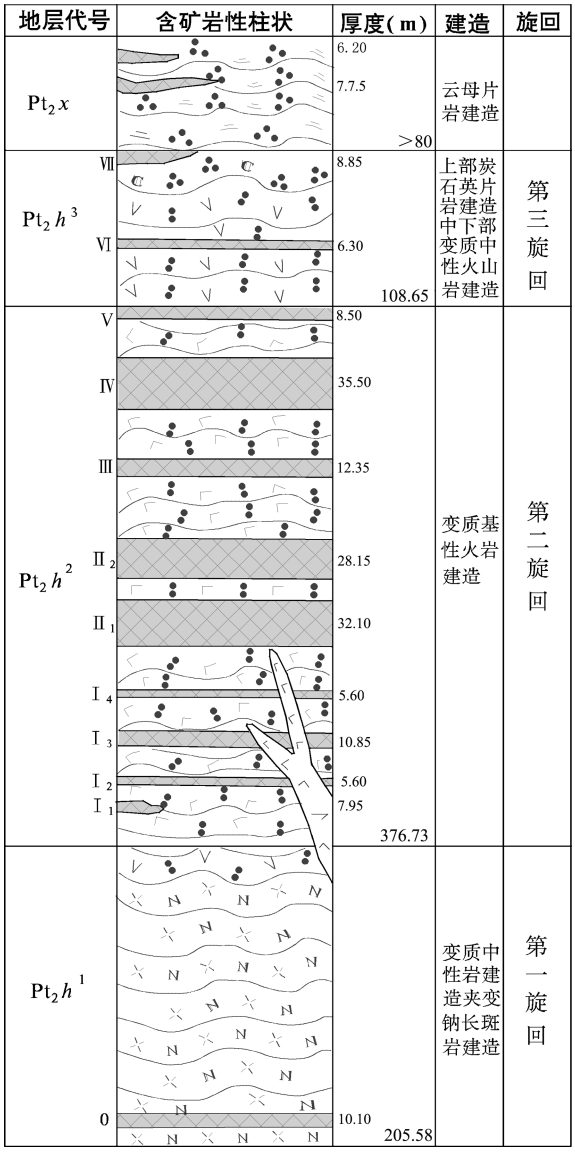

图 3　惠民含矿建造及火山-沉积旋回柱状图

Fig. 3　Column of ore-bearing formation and volcanic eruption-sedimentation cycle of Huimin iron deposit

由基性熔岩-基性凝灰岩-鳞绿泥千枚岩-铁矿层(主要为菱铁矿石和菱铁磁铁矿石)组成的火山-沉积韵律。在每个韵律的顶部或直接于火山岩之上,分别形成了 I_1、I_2、I_3、I_4、$Ⅱ_1$、$Ⅱ_2$、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ 九层铁矿,其中以 $Ⅱ_1$、Ⅱ 和Ⅳ矿层为主要矿层。旋回内火山岩占 60%,铁矿层占 33.5%,其它仅 6.5%。火山岩层厚度越大则成矿越好,是主要成矿期。

第一旋回:从勐满组含碳石英片岩顶界至 I 矿层以下,平均厚 205.58m。分布于矿区四周,几乎全由富钠质的中性火山岩组成,往往由熔岩(钠长斑岩)-凝灰岩-沉凝灰岩构成十余个韵律,底部常有一层呈透镜状不稳定的 0 号矿层。

上述惠民岩组 3 个旋回中,火山岩岩石特征、化学成分及含矿性有显著差异。第一、三旋回属富含钠质的中性岩类,基本不含矿或少量含矿。第二旋回火山岩属于基性火山岩,熔岩往往与凝灰岩、沉凝灰岩相伴出现,呈过渡关系,变质后为绿片岩类,含大量主矿层。

火山岩化学全分析成果,从 $FeO+Fe_2O_3-Na_2O+K_2O-MgO$ 图解及 $CaO-Na_2O-K_2O$ 图解得出,第一、三旋回火山岩大多投在细碧岩区域内,属正常系列中性岩与碱性系列过渡的火山岩;第二旋回的火山岩大多投在拉斑玄武岩或碱性橄榄玄武岩区域内,基性火山岩大多属正常系列的基性岩(刘增池,1985)。

第一旋回与第二旋回火山岩基性程度的差别,与原始岩浆分异、演化有关,推测分异作用在深部岩浆源进行,形成上部偏酸性,下部偏基性的岩浆。火山活动先喷出上部岩浆,形成第一旋回火山岩,后随着断裂的加深,喷发出下部偏基性的岩浆,形成第二旋回火山岩,继后喷发强度降低,岩浆继续演化、分异而形成第三旋回中性火山岩(冯本智等,1982)。

惠民矿区火山岩为海底喷发、溢流而成。熔岩中未见枕状及气孔状构造,亦未发现火山弹及火山角砾岩,从熔岩的厚度变化和火山岩在水平方向上的分带性确定火山通道(口)。第一旋回火山岩在矿区西北部发育较好,熔岩多、厚度亦大,到矿区南部变为以凝灰岩和沉凝灰岩为主,因而推测其喷发中心位于矿区西北部。第二旋回火山岩的喷发、溢流,则沿两条古断裂带(F_5、F_2)进行,断裂带熔岩最厚,如 F_5 断裂带,最厚达 98m;F_2 断裂带,最厚达 142m。据此,推测火山喷发中心,一在矿区西北部,另一在矿区南东部。

火山岩具一定水平分带,火山中心为熔岩,向外依次为凝灰岩、沉凝灰岩,也是一定的佐证。

2.2 矿床特征

2.2.1 矿体特征

矿床成 NW ~ SE 向展布,长 11km,宽 3 ~ 5km,面积约 40km^2。共有 14 层铁矿,其中可采矿层 10 层(图 4、图 5)。主要产于惠民岩组中段(Pt_2h^2),呈火山岩-铁硅质岩-铁矿层互层组合。以 $Ⅰ_3$、$Ⅱ_1$、$Ⅱ_2$、Ⅳ矿层规模最大,长度 4 ~ 7km,平均厚度 10 ~ 36m,Ⅳ号矿层最厚可达 127.32m,为矿区主矿层,资源储量占 85.12%。0、$Ⅰ_2$、$Ⅰ_4$、Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ矿层规模较小,长 1150 ~ 6500m,平均厚 3.51 ~ 12.62m。$Ⅰ_1$、Ⅲ、Ⅶ、Ⅷ矿层不可采。矿体形态呈似层状、透镜状,结构复杂,产于宽缓背、向斜内,产状与顶、底板围岩产状一致,走向 NW ~ SW,倾角 10° ~ 30°。埋藏深度一般在 500m 以内,$F_{13}-F_{16}$ 之间 0、$Ⅰ_3$、$Ⅰ_4$、$Ⅱ_1$、$Ⅱ_2$、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ等矿层裸露地表,可露天开采[②③]。

$Ⅰ_3$ 矿层呈层状-似层状,顶底板岩性多为变基性火山岩。长 6500m,宽 1350m,平均厚 27.41m。平均含夹石率 14.76%。

$Ⅱ_1$ 矿层呈层状产出,顶板岩性为绢云千枚岩、变基性火山岩,底板岩性为变基性火山岩、石英绢云千枚岩。长 6000m,宽 2000m,平均厚 28.99m。平均含夹石率 23.26%。

$Ⅱ_2$ 矿层位于 $Ⅱ_1$ 矿层之上数米,呈层状,顶板岩性为变基性火山岩,底板岩性为千枚岩。长 4000m,宽 1900m,平均厚 28.7m。平均含夹石率 16.51%。

Ⅳ矿层呈似层状,顶、底板岩性均为结晶较粗的变辉绿岩。长 7000m,宽 1100m,平均厚 29.74m。平均含夹石率 13.94%。

围岩蚀变有钠长石化、绿泥石化。钠长石化为海相喷发火山岩自变质作用形成,主要发育在惠民岩组下段,其析出的铁质为矿床下部矿层形成提供了部分铁质;绿泥石呈脉状产出或交代铁蛇纹石,主要出现于矿层及顶底板局部地段。

2.2.2 矿石特征

惠民铁矿矿石类型较复杂,以菱铁矿石、菱铁磁铁矿石、硅质菱铁矿石、绿泥菱铁矿石、铁蛇纹菱铁矿石为常见,原生矿石占 84%,具有硅高、硫高、磷高、品位低、粒度细等特点,属难选用矿石。

矿石自然类型主要有菱铁磁铁矿石、菱铁矿石,其次为硅质菱铁矿石、绿泥菱铁矿石、铁蛇纹菱铁矿石,分别占总储量的 24.4%、40%、15%、15% 和 4%。

菱铁磁铁矿石是矿区质量最好的矿石,Ⅲ、Ⅳ矿层中分布最多分别为 48%、52%,其它矿层为 17% ~25%。上述各矿石类型除铁蛇纹菱铁矿石只出现在Ⅱ、Ⅳ等厚大矿层中一定部位外,其它各类型在每层矿中都或多或少存在,但无论在走向上还是在倾向上变化都很大,在较近范围内,一种矿石类型即被另一种矿石类型所取代。

矿石矿物组分复杂,以菱铁矿、磁铁矿为主,其次有鳞绿泥石、黑硬绿泥石、铁蛇纹石、透闪石,少量石英、玉髓,微量胶磷矿、磷灰石、黄铁矿。矿床氧化带还有大量水针铁矿、针铁矿及少量硬锰矿、软锰矿、假

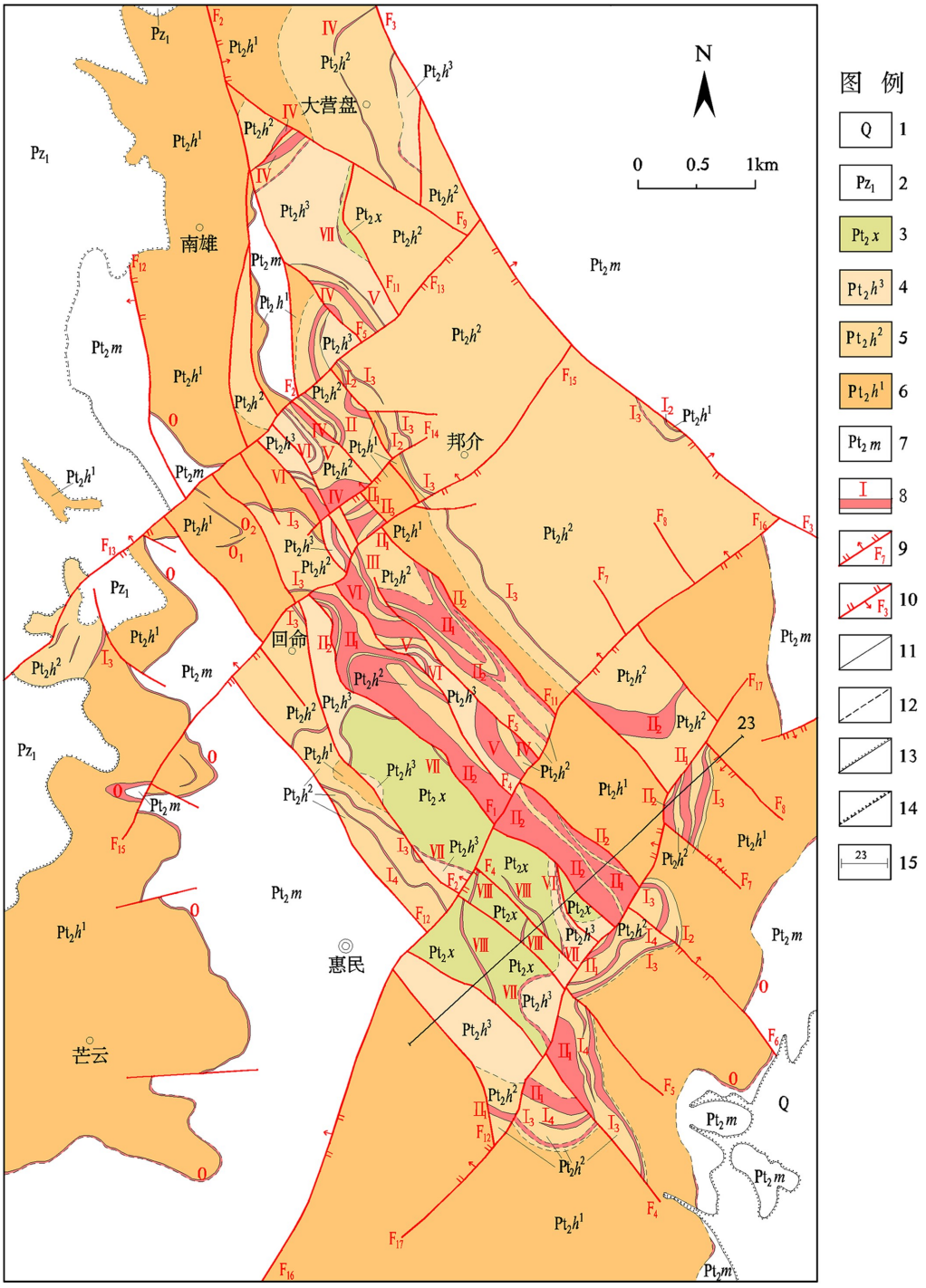

图 4　惠民矿区地质与含矿建造图

Fig. 4　Map showing geology and ore-bearing formation of the Huimin mine area

1-第四系;2-下古生界变质石英砂岩;3-西定组石英片岩;4-惠民组上段变质中性火山岩;5-惠民组中段变质基性火山岩;6-惠民组下段变质中性火山岩;7-勐满组石英云母片岩;8-矿体及编号;9-正断层及编号;10-逆断层及编号;11-实测地质界;12-推测地质界线;13-实测角度不整合界线;14-推测角度不整合界线;15-剖面线及编号

1-Quaternary;2-Lower Palaeozoic Erathem quartz sandstone;3-Xiding Formation quartz-schist;4-upper member of Huimin Formation metamorphic intermediate volcanic rock;5-middle member of Huimin Formation metamorphic basic volcanic rock;6-lower member of Huimin Formation metamorphic intermediate volcanic rock;7-Mengman Formation quartz-mica-schist;8-orebody and number;9-normal fault and number;10-thrust fault and number; 11-observed geologic boundary;12-inferred geologic boundary;13-observed angular unconformity boundary; 14-inferred angular unconformity boundary;15-profile and number

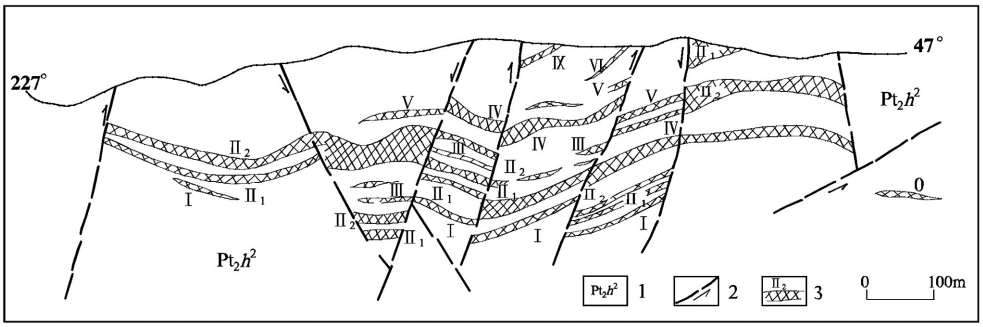

图 5 惠民矿区 23 号勘探线剖面图

Fig. 5 Cross section of exploration line 23 in Huimin mine area

1-中元古代惠民岩组二段;2-断裂;3-矿体及编号

1-Middle Proterozoic Huimin rock assemblage member 2;2-fault;3-orebody and number

象赤铁矿、绢云母、高岭石等。

铁矿石品位(TFe)以菱铁磁铁矿石最高,平均 36.30%;铁蛇纹菱铁矿石次之,平均 31.07%;菱铁矿石平均 28.21%;硅质菱铁矿最低,平均 22.75%。矿层全铁品位与所含矿石类型有关,Ⅵ矿层最高,平均为 33.26%,I_2 矿层最低,平均为 26.12%。I_3、II_1、II_2、Ⅳ四个主要矿层分别为 27.41%、28.99%、28.70%、29.74%。原生带矿石平均含全铁29.15%,氧化带矿石平均含全铁 35.41%,其中含全铁>45%的富矿仅占本类矿石的 15%,且分布零星。

矿石有益组分除铁外,还有少量锰,锰在氧化带中平均含量为 1.79%,以软锰矿、硬锰矿形式存在;原生带中平均含量为 2.44%,以类质同象进入菱铁矿晶格中。矿层中锰的含量以 II_1 矿层最高,为 2.71%;Ⅵ矿层最低,为 1.32%。

矿石结构有变胶状结构、显微粒状结构、粒状结构、鳞片状结构、齿状镶嵌结构、变凝灰结构、显微鳞片针柱状结构、隐晶质结构。后两者为氧化带褐铁矿石所特有。

矿石常见构造有条纹条带状构造、块状构造、角砾状构造、浸染状构造、流纹状构造。矿床氧化带还有多孔状构造、土状构造、皮壳状构造。

2.3 矿区物化遥特征概述

2.3.1 磁场特征

惠民矿区矿石以菱铁矿为主,虽不具磁性,但"惠民式"铁矿特有的菱铁矿与磁性铁矿呈互层产出的规律性弥补了它的不足,菱铁矿往往与磁铁矿共生在一起,两者占比为 1:1.64,这样在用物探磁法寻找磁铁矿时亦可间接确定菱铁矿存在与否。

矿区物性特征研究和磁法勘探表明,垂直磁测对寻找含磁性铁矿最为有利,效果较好,但要区分矿异常与干扰异常尚需使用综合方法。岩、矿石磁测分析结果,磁异常具有强度变化大、梯度大、正负交替等特征,在惠民矿区及外围包括 C11-C24 共 14 个 1:5 万地磁异常(图 6)。其中,惠民磁异常(C19)以强度大、范围大、正负伴生为特点,外围异常则围绕惠民异常呈零星分布之孤立异常,仅惠民东出现一范围较大的低缓异常。

惠民磁异常(C19,包括大营盘 C14)为北北西向展布之不规则长条状,长约 8km,宽约 1.5km。正、负异常强度均可达数千纳特,个别上万纳特,一般为 200 纳特以上。异常南段梯度较小,较宽缓,东侧出现负异常;北段梯度大,正负交替,峰值尖锐。

惠民磁异常分布区出露澜沧岩群惠民岩组的三个火山-沉积旋回,结合地层岩性建造及其含矿性与矿石磁参数特征分析可知,磁铁矿具有较强磁性,是区内主要磁性地质体,而磁铁矿又往往与菱铁矿共生,故菱铁磁铁矿、磁铁矿是区内引起磁异常的主要场源体。

2.3.2 地球化学特征

研究表明,惠民铁矿区相对富集元素 As、Sb、B、Pb、Zr、Sn、W、Al、Ag、K、La(富集系数大于 1.2),接近克拉克值者 Li、U、Ba、Zn、Th、Mn、Fe、Nb、Y(富集系数为 0.8~1.2),其余呈现显著亏损(富集系数小于 0.8)。Fe 元素在区内总体不富集,在克拉克值附近,其它铁族元素 Co、Cr、Ni、Ti、V 出现显著亏损,且后期沉积、变质等地质作用对它们改变不大,说明研究区内铁及铁族元素不属于高背景场,而是来自深源岩浆作用,铁的富集作用是与深源基性岩的侵入-喷出等系列活动有关。从衬值异常特征参数及异常剖析图(图 7),可识别出惠民铁矿区有 Fe、V、Co、Ti、Cr、Ni、Cu、P、Mn、Mo、Al 等元素异常,除 Al

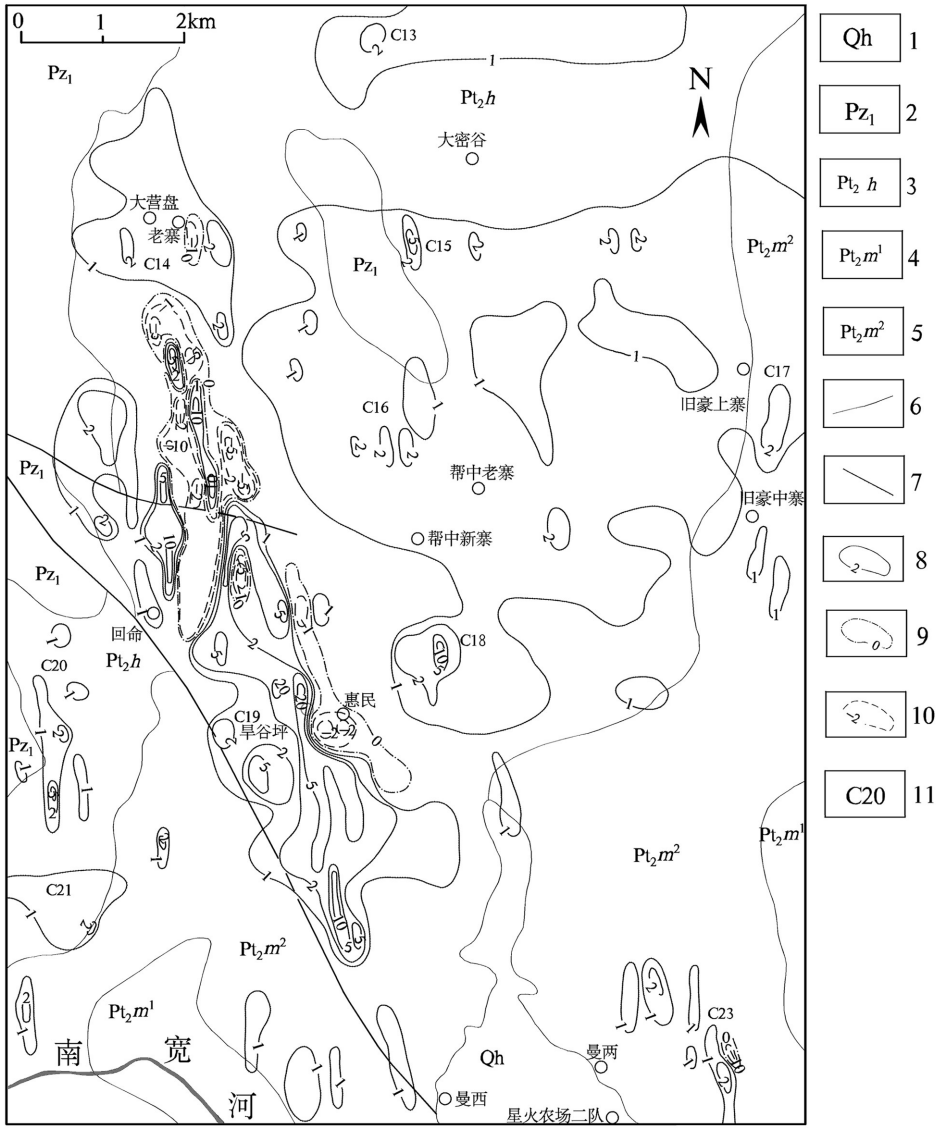

图 6　惠民地区 1∶5 万磁测 Δz 等值线平面图

Fig. 6　Contours of magnetic anomalies Δz in the Huimin area (map scale:1∶50000)

1-第四系全新统;2-下古生界;3-中元古代惠民岩组;4-中元古代勐满岩组一段;5-中元古代勐满岩组二段;6-地质界线;7-断层;8-Δz 正等值线;9-Δz 零值线;10-Δz 负等值线;11-Δz 异常编号

1-Quaternary Holocene;2-Lower Paleozoic;3-Middle Proterozoic Huimin rock assemblage;4-Middle ProterozoicMengman rock assemblage member 1;5-Middle Proterozoic Mengman rock assemblage member 2;6-geologic boundary;7-fault;8-Δz isoline;9-Δz zero line;10-Δz negative contour;11-number of Δz anomaly

外其它元素衬值异常与惠民铁矿位置套合比较好,其中 Fe、V、Cr、Mn、Mo 五个元素的异常强度较高。

惠民地区 39 个元素 R 型聚类分析,在相关系数 0.28 的水平,元素分为三个大族群。

Ⅰ族群:Cr、Ni、Co、Fe、V、Ti、Cu、Mg、Mn、P、Sr、Nb、Mo、Ca 等元素,Li 与其关系密切,为区内基性、超基性岩元素组合。

Ⅱ族群:Be、U、Y、Al、K、Sn、F、La、Zr、Ba 等元素,Na 与其关系密切,为区内酸性岩元素组合。

Ⅲ族群:Pb、Ag、Zn、Bi、Cd、Th、Sb、Au、W、Hg 等元素,As 与其关系密切,为区内含酸性物质成分的中低温热液元素组合。

对矿区数据进行聚类分析结果:Cr、V、Fe、Cu、Co、Ni、Mn、P、As、Ti、Ba、Th、Al、Pb 为一大族,关系相对亲密,应为区内基性火山岩活动及一定铁成矿作用指示;Cr、V、Fe、Cu 又更亲密一些,显示 Cr、V、Cu 为铁矿的共伴生元素,但成矿环境为弱氧化-还原环境,形成菱铁矿、磁铁矿,而 Cr、V 成矿要求更

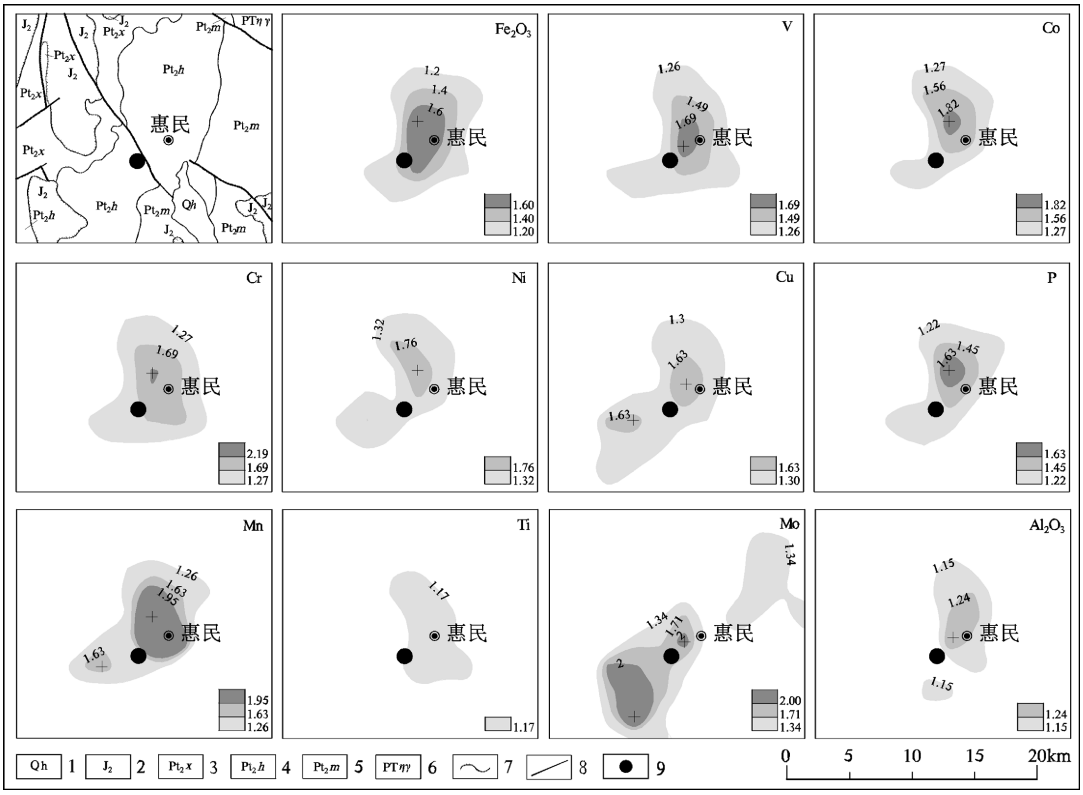

图 7　惠民铁矿区衬值异常剖析图

Fig. 7　Map showing highlighted anomalies in the Huimin iron-ore deposit area

1-第四系全新统;2-中侏罗统;3-中元古代西定岩组;4-中元古代惠民岩组;5-中元古代勘满岩组;6-二叠-三叠纪二长花岗岩;7-地质界线 8-断裂;9-惠民矿床

1-Quaternary Holocene;2-Jurassic Middle;3-Middle Proterozoic Xiding rock assemblage;4-Middle Proterozoic Huimin rock assemblage;5-Middle Proterozoic Mengman rock assemblage;6-Permian-Triassic adamellite;7-geologic boundary;8-fault;9-Huimin ore deposit

高的氧化环境、Cu 要求更低的还原环境,所以 Cr、V、Cu 未见成矿,与矿区地质情况相符。

2.3.3　遥感异常

据美国陆地卫星 TM/ETM 数据,空间分辨率为 30m/15m,格式为 FST。影像显示惠民地区线性构造发育,区域上呈网格状分布样式,局部呈沿铁矿矿带的密集束状分布样式(线性带),相互交织,且分布密度比较均匀,单条线性构造一般大于 3km,最长者约达 13km;环形构造层次比较清楚,主要有 2 组,一组沿惠民以北呈串珠状展布,另一组在惠民北西呈套环式影像构造。每个小环均具有多层性质,环结构造的成因很可能与多期次的岩浆活动有关,相互切割的 NW 向和 NE 向线性构造也为岩浆的运移提供了通道,对矿床形成起到了一定的控制作用(略)。

2.4　矿床成矿物理化学条件

1. 矿床形成的总体环境是较还原条件下的中-碱性介质环境,海盆相对封闭,磁铁矿、菱铁矿、绿泥石、铁蛇纹石成为矿石主要共生矿物;

2. 盆地还原环境从相对强还原-还原-弱还原、PH 值在中性-碱性间、高 CO_2 浓度与高 O_2 浓度呈韵律性变化,硅质、磁铁矿、菱铁矿、黑硬绿泥石、铁蛇纹石韵律频繁交替,形成矿石的条带构造;

3. 火山喷气与海水的反复作用,形成了矿石中胶磷矿、石髓的普遍共生;

4. 盆地属于水体不大,深度小于 200m 的潮下低能环境,因此在惠民岩组第二火山喷发旋回顶部含碳石英片岩中普遍含有古藻类化石;

5. 矿石中黄铁矿、磁黄铁矿硫同位素:$\delta S^{34}‰$ 值,介于-19.0 ~ +1.4‰之间,与喷出岩和变质岩的变化范围近似。

2.5　成矿控制因素分析

惠民铁矿为产于中元古界澜沧岩群惠民岩组中,受变质中基性火山岩建造控制的海相火山-沉积型铁矿床。成矿物质主要来自海底火山喷发,矿化与火山活动直接相关。矿床形成于中元古代岛弧发展阶段,在原岩沉积过程中,沿古断裂带伴随有火

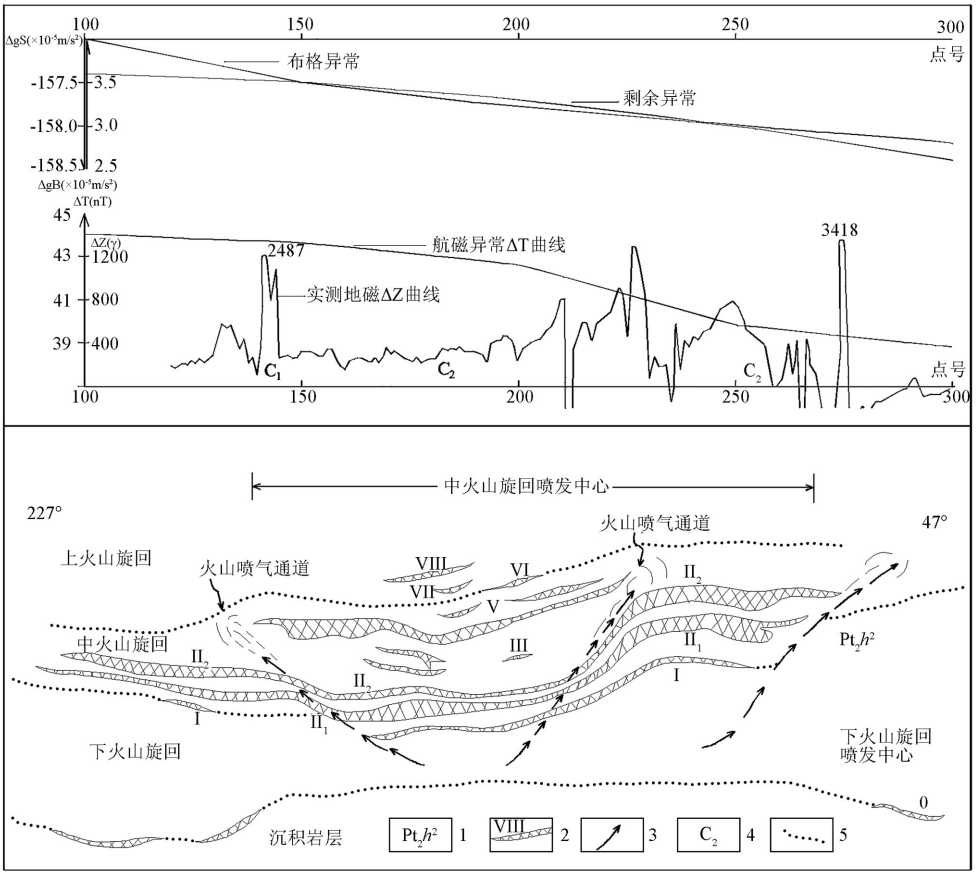

图 8　惠民式火山-沉积型铁矿综合预测找矿模型

Fig. 8　Comprehensive prediction model for iron-ore deposits of Huimin-type in volcanic-sedimentary setting

1-中元古代惠民岩组二段;2-矿体及编号;3-火山喷气(溢)方向;4-Δz 异常编号;5-火山旋回界线

1-Middle Proterozoic Huimin rock assemblage member 2;2-orebody and number;3-volcano jet (overflow) direction;4-number of Δz anomaly;5-volcano cycle boundary

山喷发、岩浆流溢,局部形成火山脊而围限成半封闭的火山盆地。在火山喷发的间隙期,与基性火山活动有成因联系的铁矿,于盆地内沉积形成。因火山多期次、多旋回喷发而形成多层铁矿。

可以初步归纳总结出铁矿体的形成和分布,明显受地层层位、岩性建造、火山-沉积旋回等因素综合控制。

地层层位控矿:惠民铁矿主要产于澜沧岩群惠民岩组中部(中段),具有一定的层位。因此,地层层位是区域控矿重要因素之一。

岩性建造控矿:惠民岩组上、中、下三段中的火山岩,岩石特征及化学成份有明显的差别。上、下段的火山岩为中性的富钠质的安山岩类;中段的火山岩属基性火山岩。上段含少量矿,规模小,不稳定,以菱铁矿为主;下段基本不含矿,只底部有一层透镜状不稳定矿层,为硅质菱铁矿、绿泥菱铁矿;中段为主要含矿层,主要矿层规模巨大,呈层状、似层状稳定产出,主要矿石类型为菱铁磁铁矿。

火山-沉积旋回控矿:惠民岩组划分为三个火山-沉积旋回,铁矿主体赋存于第二火山-沉积旋回内,可细分为九个由基性熔岩-基性凝灰岩-鳞绿泥千枚岩-铁矿层组成的次级旋回,在每个次级旋回的顶部或直接于火山岩之上,分别形成 9 层铁矿。

3　成矿模式

由惠民铁矿矿床特征与成矿时代、地质构造环境、含矿建造、火山活动等,及其综合研究可知,该矿床是一类比较典型的前寒武纪含铁建造中的火山-沉积型铁矿床,可建立区域性的典型矿床成因类型-惠民式铁矿。

矿床成因机制为中元古代扬子地块西缘南北向岛弧带地壳拉张,中-基性火山岩喷发形成火山盆

表 1 惠民式火山-沉积型铁矿综合预测找矿模型表

Table 1 Comprehensive prediction model for iron-ore deposits of Huimin-type in volcanic-sedimentary setting

分类		区域成矿要素及其特征	要素分类
区域成矿地质作用	成矿时代	中元古代(Pt_2)	必要
	大地构造演化环境(位置)	中元古代环扬子地块西缘南北向岛弧带,即西藏-三江造山系东南缘之四级构造单元--双江陆缘弧带。	必要
	成矿构造环境	中元古代海相古火山喷发-沉积盆地,火山喷发-沉积活动中心地带。	重要
	赋矿地层	中元古代澜沧岩群惠民岩组(Pt_2h)	必要
	岩石组合	变质中、基性火山-沉积岩组合,主要为变基性熔岩、变凝灰岩、变钠长斑岩、细碧岩、绿片岩、石英片岩、千枚岩及铁矿层等。	重要
	火山-沉积建造/作用	铁矿赋存在特定海底火山喷发-沉积旋回,惠民岩组中部变基性熔岩-凝灰岩-鳞绿泥千枚岩-铁矿建造组成九个完整喷发旋回,产出主矿层。	必要
	控矿条件	中元古代扬子地块西缘岛弧环境,惠民岩组中-基性火山岩活动中心,熔岩为底铁矿层为顶的火山喷发-沉积旋回或韵律,(复式)背向斜。	必要
	地质找矿标志	①中元古代环扬子地块西缘南北向岛弧带是惠民式铁矿形成的有利地质构造环境;②中元古界澜沧岩群惠民岩组中-基性火山岩建造是找矿的地层岩石标志;③基性熔岩的发育程度与矿层规模呈正相关,矿体常赋存在厚大火山岩或变辉绿岩前缘;④矿床常出现在航磁异常和铁锰化探异常套合部位。	必要
地球物理特征	重力找矿标志	南北向临沧-勐海区域性巨大重力低异常带西侧,重力高与重力低过渡带近重力高一侧,局部剩余重力正异常,重力高与澜沧岩群含矿地质体对应,与其它地质体存在一定密度差,铁矿床无明显的重力异常。	次要
	磁法找矿标志	航磁 ΔT 异常表现正背景上之局部正异常,强度达 40nT 以上。1:5 万 Δz 磁异常,正、负值均达数千纳特,一般为 200nT 以上。Δz 异常可分三类:一类为强度大,梯度陡,正负交替变化频繁,形态复杂,沿走向连续性差,个数多,范围小,成群成带分布;另一类为规模大,形态规则,有一定延伸,场值 500~1000nT,局部叠加较高次级异常;再一类为低缓异常。	必要
地球化学	组合与衬值异常特征	主要 Fe、V、Cr、Mn、Mo 等组合异常,为火山岩活动及一定铁矿成矿作用指示。Fe、V、Co、Ti、Cr、Ni、Cu、P、Mn、Mo 等衬值异常与铁矿套合较好,其中 Fe、V、Cr、Mn、Mo 五个元素的异常强度较高	次要
遥感	影像解译特征	线环构造发育,密集交织,束状、网格状分布,线环构造密度、交点密度高值区,是找矿有利区和找矿标志	重要

地,盆地内自下而上发育中性-基性-中性三个火山喷发-沉积旋回,富含铁质的基性火山岩,携带大量尘点状磁铁矿随火山物质一起进入盆地,为铁矿层形成提供了物质来源。在火山活动间歇期,由火山活动带来的 Fe、Si、S、P、CO_2 等以喷气、热泉的形式进入海盆,为沉积菱铁矿、磁铁矿矿层也提供了丰富的物质基础。矿床多数矿层都在基性喷发旋回的喷发间歇期形成。在火山活动中后期即基性喷发旋回后期,火山活动达到高峰,大量基性熔岩喷溢,铁矿熔浆也随之溢出,在基性熔岩或辉绿岩前缘形成了部分矿层的富厚中心。

因此,根据矿床成因机制,综合各成矿地质作用因素(陈毓川等,1993),建立惠民式铁矿的区域成矿模式。

4 区域成矿与矿产预测找矿模型

惠民铁矿处于临沧-双江陆缘弧带,中元古代澜沧岩群变质基底是区内的赋矿层位与含矿建造的承载变质地体,下部为硅质、泥质建造;中部以多旋回含铜铁火山-沉积建造为主,每个小的旋回底部都由火山岩开始,至铁矿层告终,构成明显的火山-沉积韵律,火山岩多寡、厚薄,与铁矿层的厚薄、大小直接有关,较多厚大铁矿层都是处在火山岩最厚处的前缘,在火山岩变薄或消失处,铁矿层也随之分叉、尖灭与消失;上部为泥砂质类复理石建造,目前区域内除澜沧惠民特大型铁矿和勐海西定。小型铁矿早期开展过地质普查外,其余尚有云县头道水、高井槽、曼窝、耿马县大寨河、火山、大窝铺、大兴山、力

表 2　云南惠民式铁矿矿产资源定量预测成果表

Table 2　Quantitative prediction of iron-ore resources of Huimin-type in Yunnan province

预测区名称及编号	靶区类别	面积(km^2)	成矿概率	预测资源量(万吨)	探明资源量(万吨)	地质综合评述及建议
高井槽预测区(Fe-B-1)	B	85.53	0.57	41787.45		含矿建造呈北东向展布,Fe 化探异常,已知铁矿点 1 个,铁矿产出在惠民岩组石英片岩及绿片岩中,有 3 个含矿层,厚达 10 余米,品位 27.74~37.6%。建议与曼窝预测区整体开展地质勘查,快速转化开发。
曼窝预测区(Fe-A-1)	A	10.62	0.81	13219.63		Fe 化探异常,已知铁矿点 1 个,产于惠民岩组绿片岩中,矿体为透镜状,厚可达 10 余米,品位 25~30%,围岩蚀变强。成矿条件有利,成矿匹配程度高,可安排工作。
大兴预测区(Fe-A-2)	A	42.72	0.82	121001.34		惠民岩组含矿建造发育,紧邻临沧花岗岩基西侧分布,为石英片岩、绿泥片岩、变基性岩、含铁石英岩等,Fe 化探异常,已知大兴山等矿点 6 处,工作程度低。部分矿点可见多层铁矿,厚度可达 20~30m,断续延伸 1~2.5km,品位在 30% 左右,少数接近 40%。成矿条件十分有利,预测依据充分,成矿匹配度高,资源潜力大,建议优先重点部署工作。
力所预测区(Fe-A-3)	A	54.22	0.82	140427.49		成矿地质特征与大兴预测区相同,已知坝去山等铁矿点 5 个,建议与大兴预测区整体开展地质勘查。
湖广寨预测区(Fe-B-2)	B	88.31	0.58	189244.77		为惠民矿区含矿建造的北延地段,有下谷地、湖广寨、磨刀河等 9 处铁矿产地,并有航磁和化探 Fe、V、Mn 异常。各矿点多见有上、下 2 个铁矿层,走向延伸上基本稳定,特征明显,厚一般 2~5m,部分厚度可达 20m 至 50m,延长大于 2000m,品位一般 20~35%,部分可达 55%,前景好潜力大,优先重点部署工作。
惠民预测区(Fe-A-4)	A	100.54	1		218934.60	为研究的模型单元区。直接或间接找矿线索非常丰富,成矿地质要素和预测标志因素十分齐全的。建议重点对惠民矿区本部及外围含矿建造和矿体外延地段开展勘查工作,提高资源量类别和探增新的资源量,进行矿石选冶攻关,为规模化开发利用提供基础。
班佑预测区(Fe-C-1)	C	8.97	0.24	4992.04		惠民矿区外围区块,含矿建造四周均为断裂与其它地质体接触,有磁异常。已知的班佑铁矿点,踏勘具有一定规模,矿石品级接近高炉富矿工业指标。矿体赋存于石英片岩中,含矿两层,矿体为层状、似层状,建议适当安排地质勘查探索工作。
吉量预测区(Fe-B-3)	B	20.98	0.53	11633.00		为惠民矿区含矿建造的西延地段,有较强的相似性。已知吉量、曼蚌铁矿点 2 处。发现铁矿露头 20 余处,已知矿体可见厚度 20~100m,分布范围最宽 250m,长 500 余米,品位 35~55%,品位较富,成矿匹配程度较高,建议近期开展工作,可获得经济效益。
西定预测区(Fe-A-5)	A	9.45	0.81	6412.00	200.00	含矿建造组成宽缓向斜,断裂发育。已知西定铁矿为小型铁矿床,但矿体规模小,分布分散,矿区及周边约 30 平方千米范围,查明原生及坡残积铁矿体上百个,探明资源量仅不到 200 万吨,探索性强,建议以矿区为基础,适当安排工作。
南龙河预测区(Fe-B-4)	B	32.32	0.57	74399.15		变基性火山岩建造发育,以背斜轴部形式延伸,Fe 化探异常,已知铁矿点 1 个,产于惠民岩组石英片岩顶部,绿泥片岩底部。矿体层状、似层状,厚 1.3~8m,延伸规模不详,全铁平均品位 30%。可安排工作。
南木岭预测区(Fe-B-5)	B	23.26	0.53	23316.34		含矿建造及构造发育,已知曼杏、贺养等 7 个矿点、矿化点,多沿断裂构造带出现。铁矿多见褐铁矿、磁铁矿露头或转块,已知矿体多层状、似层状,规模不大,全铁品位 30~50%,一般在 50% 左右,少数达 60%,多属小而富矿体。可获经济效益,适量安排工作。
巴夜预测区(Fe-B-6)	B	19.41	0.53	28220.87		基本情况与南木岭预测区条件相似,已知巴夜 1 个铁矿点,并伴有锰矿,可考虑安排适当工作。
班章预测区(Fe-B-7)	B	74.67	0.57	99869.55		含矿建造厚度较大,已知班章铁矿点,检查褐铁矿呈褐黑色疏松块状、蜂窝状,夹于惠民岩组下段的绢云母片岩、石英片岩中。矿体顺层产出,呈透镜状,断续延长大于 600m,厚数米,品位 27.48~38.74%。工作基础差,可做为可考虑安排工作的地区。
	合计			754523.63	219134.60	

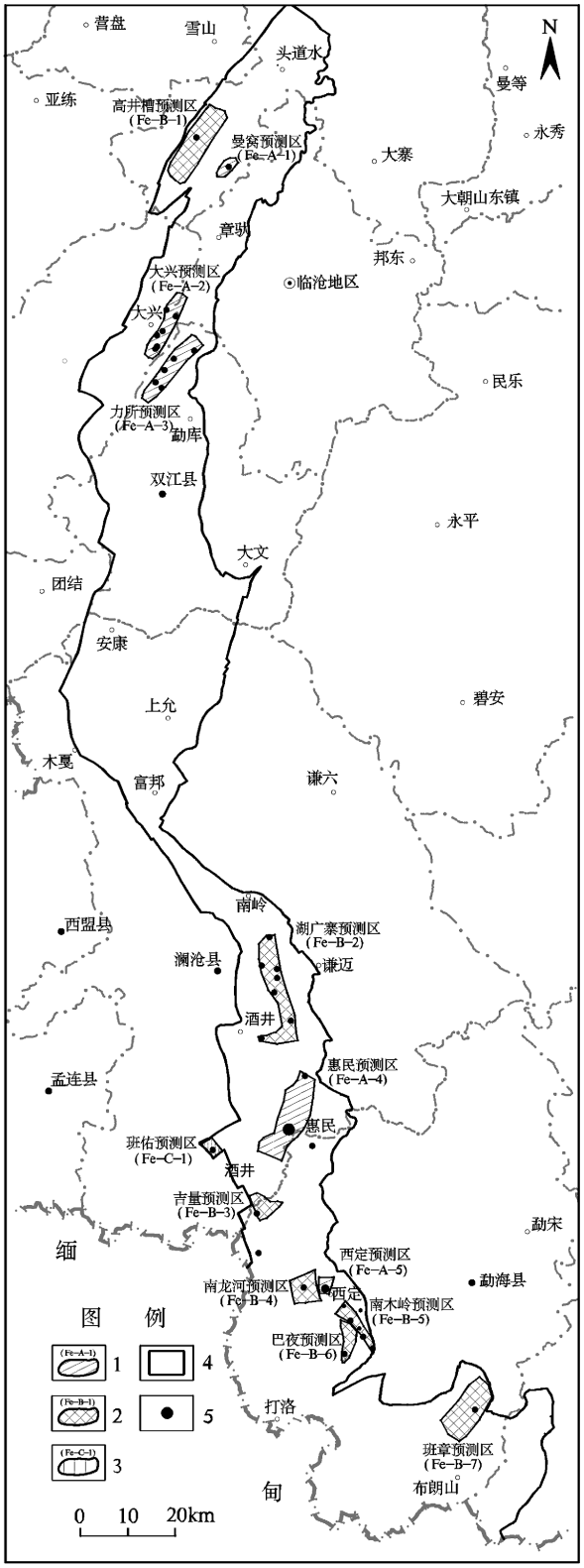

图 9 云南惠民式铁矿预测成果图

Fig. 9 Map showing prediction to iron-ore deposits of Huimin-type in Yunnan province

1-A 类预测区及编号;2-B 类预测区及编号;3-C 类预测区及编号;4-预测工作区范围;5-铁矿床

1-A class prognosis area and number;2-B class prognosis area and number;3-C class prognosis area and number;4-range of prognosis working area;5-Fe ore deposit

所、澜沧县仓房、湖广寨、下谷地、大小南婆、磨刀河、班佑、勐海县南龙河、吉量、曼蚌、巴夜、南勒等 38 处,地质找矿勘查及研究工作均极低。且区域上云县-双江-澜沧-勐海等地近南北向地段均有分布的澜沧岩群惠民岩组含矿建造,其中的部分铁矿点矿化蚀变线索和信息较好,成矿地质背景和找矿条件、矿化特征等与惠民矿区相同,有较强可比性,因而铁矿找矿勘查前景和资源潜力还十分巨大,为矿产预测提供了前题条件。

根据惠民式铁矿的区域成矿模式和控矿要素,以及地质和物化探、遥感找矿标志等,结合区域成矿作用属性,建立惠民式铁矿综合预测找矿模型列于表 1(图 8)。

5 矿产预测方法概述

在上述典型矿床和区域成矿规律认识依据基础上,选取了产出有惠民式铁矿的临沧-双江陆缘弧带中成矿条件与惠民铁矿区类似的双江-澜沧地区(段)开展矿产预测工作,称为云南省双江-澜沧惠民式火山-沉积型铁矿预测工作区(叶天竺等,2008),位于云南省西南部云县-双江县-澜沧县-勐海县一带,近南北向条带状展布(参见图 1)。其范围南北长约 350km,东西宽约 20km,地理坐标极值:东经 99°36′43″ ~ 100°36′46″,北纬 21°27′57″ ~ 24°25′07″,面积约 7600km^2。

本次矿产预测采用比较成熟的 MRAS 定位定量方法(肖克炎等,2000;薛顺荣等,2008;朱裕生等,1997;王世称等,2000),并借鉴一些预测实例(丁建华等,2009;冯京等,2009;马曙光,2009)。软件为基于 GIS 的矿产资源评价系统,矿产预测工程空间评价中的综合信息特征分析法模块。依据建立的矿产预测模型及研究确定的矿产预测流程和方法,经过矿产资源评价系统计算机 MRAS 软件运行(李光明等,2009),由专家优选后,在矿产预测工作区圈定、优选和确定预测靶区数(最小预测区),确定成矿概率,并用地质体积法为主、物探磁性矿产定量解释法、类比法补充对比,进行资源量定量估算(鉴于篇幅有限,仅简单提及预测方法,其流程和步骤等从略)。

6 结论

(1) 典型矿床-惠民式铁矿

产出惠民式海相火山-沉积型铁矿的澜沧岩群惠民岩组,成岩成矿时代为中元古代,其铁矿容矿岩

石具有细条带状的 BIF 结构和粗条带状的 GIF 结构,表明惠民铁矿属规模相对较大的苏必利尔湖型铁矿。

惠民铁矿产于元古代含铁(硅铁)建造,环扬子陆块西缘临沧陆缘弧带前寒武纪成矿,为海底火山喷发沉积成因,规模巨大,地质工作控制研究程度较高,探明资源量 21.89 亿吨,全铁平均品位 30% 左右,达超大型铁矿床规模。矿床满足了控矿因素和成矿区带划分,以及代表性、完整性、特殊性和习惯性等的原则,将其厘定为中元古代(海相)火山-沉积型铁矿的典型矿床-惠民式铁矿。

(2) 矿产预测最小预测区圈定、优选结果

惠民式铁矿预测工作区,共圈出最小预测单元 14 个,最终优选确定预测靶区 13 个,按 A、B、C 三类综合评估,其中 A 类区 5 个,找矿概率大于 0.8;B 类区 7 个,找矿概率多在 0.5 ~ 0.6 间;C 类区 1 个,找矿概率小于 0.3。分别以不同花纹区分表示(图 9)。

(3) 资源量估算成果

应用地质体积法辅以物探方法校验,对 13 个最小预测区进行资源量估算,深度在 400 ~ 500m 内,合计估算铁矿石资源量 982337 万吨,剔除惠民和西定两矿区已探明资源量 219134 万吨,本次在惠民式铁矿预测工作区内实际估算尚有 754523 万吨铁矿石的新增资源潜力,并进行了地质综合评述及安排工作建议(图 9、表 2)。

[注释]

① 高相平,徐德才. 1977. 西双版纳铁矿特征,云南省地质局第十七地质队资料

② 云南省地质矿产局第五地质大队. 1982. 云南省澜沧县惠民矿区铁矿详查地质报告

③ 云南省地质矿产局第五地质大队. 1985. 云南省澜沧县惠民铁矿矿床地质特征

[References]

Chen Yun-chuang, Zhu Yu-sheng. 1993. China metallogenic model [M]. Beijing: Geology Pubulishing House: 1-32 (in Chinese with English abstract)

Cloud P. 1973. Paleoecological significance of the banded iron-formation [J]. Econ. Geol., 68: 1135-1143

Clout JMF and Simonson BM. 2005. Precambrian iron formations and iron formation-hosted iron ore deposits [J]. Econ. Geol., 100: 643-679

Ding Jian-hua, Xiao Ke-yan, Lou De-bo, Li Nan. 2009. Large scale mineral assessment in three dimensions [J]. Geology and Exploration, 45(6): 729-734 (in Chinese with English abstract)

Fan Chen-jun. 1982. The regional geology in western Yunnan [J]. Yunnan Geology, 1(4): 323-336 (in Chinese with English abstract)

Feng Ben-zhu, Lu Ming-jie. 1982. Original condition in forming the Huimin Precambrian iron deposits in the Lancang river metamorphic zone in western Yunnan [J]. Changchun College of Geology Reported, 02: 11-30 (in Chinese with English abstract)

Feng Jing, Xu Shi-qu, Tian Jiang-tao, Yang Zai-feng, Gao Yong-feng. 2009. Study on metallonenic elements analongy and convergence method in applicationg of quantitative prediction of iron ore a case of eastern Tianshan, Xinjiang [J]. Geology and Exploration, 45(6): 722-728 (in Chinese with English abstract)

Kirkham RV and Roscoe SM. 1993. Atmospheric evolution and ore deposit formation [J]. Resource Geology Special Issue, (15): 1-17

Lei Zuo-qi. 1982. Discovery of ancient micro-flora and its significance basalt the Lancang Group of Yunnan [J]. Journal of Stratigraphy, (4): 281-285 (in Chinese with English abstract)

Liu Zeng-chi. 1985. Diagnosis of the characteristics of the volcanic rocks of Lancang Group and their tectonic setting [J]. Yunnan Geology, 4(4): 373-387 (in Chinese with English abstract)

Luo Jun-lie. 1995. The Proterozoic volcanic activity related to iron and copper deposit model in Yunnan [J]. Yunnan Geology, 14(4): 281-290 (in Chinese with English abstract)

LI Guang-ming, She Hong-quan, Zhang Li, Liu Bo, Dong Yin-jun. 2009. Based on mineral resource assessmente system (MRAS) for the metallogeenic prognosis in Gangdese methallogenic belt Tibet [J]. Geology and Exploration, 45(6): 645-652 (in Chinese with English abstract)

Ma Shu-guang, Li Ji-hong, Zheng Zong-lai, Li Ling-yun. 2009. Applicationg of GIS metallongenic prognosis in Shilu iron ore deposit Hainan [J]. Geology and Exploration, 45(6): 716-721 (in Chinese with English abstract)

Wang Shi-cheng, Wang Yu-tian. 2000. Integrated information theory and method of evaluation of mineral resources [M]. Beijing: Science Press: 1-343 (in Chinese with English abstract)

Xiao Ke-yan, Zhang Xiao-hua, Wang Shi-long. 2000. GIS assessment system for mineral resource [M]. Beijing: Geology Pubulishing House: 1-213 (in Chinese with English abstract)

Xiao Ke-yan, Zhu Yu-sheng, Song Guo-yao. 2000. GIS quantieative evalution for mineral resource [J]. Chinese Geology, 278(7): 29-32 (in Chinese with English abstract)

Xue Shun-rong, Xiao Ke-yan, Ding Jian-hua. 2008. Multi-source information metallogenic prognosis with weighting of evidence based on MRAS in Shangri-la [J]. Journal of Jilin University (Earth science edition), 38(5): 738-744 (in Chinese with English abstract)

Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1990. Regional geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Geology Pubulishing House: 5-22 (in Chinese with English abstract)

Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1996. Stratigaphy (Lithostratic) of Yunnan Province [M]. Wuhan: China University of Geologices Press: 24-31 (in Chinese with English abstract)

Ye Tian-zhu, Zhu Yu-sheng, Xia Qing-lin. 2004. The methods and techniques for evalution of solid mineral resource [M]. Beijing: China University of Geologices Press: 1-351 (in Chinese with English abstract)

Zeng Qun-wang. 1984. Type of Precambrian iron-siliceous build the Lan-

cang Huimin type[J]. Yunnan Geology,3(3):205-218(in Chinese with English abstract)

Zhao Zhun. 1993. Minerogenetic series in the area of Nuriver-Langcang river-Jinsha river[J]. Yunnan Geology,12(3):248-266(in Chinese with English abstract)

Zhu Yu-sheng,Xiao Ke-yan. 1997. Metallogenic prediction method[M]. Beijing:Geology Pubulishing House:15-117 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

陈毓川,朱裕生. 1993. 中国矿床成矿模式[M]. 北京. 地质出版社:1-32

丁建华,肖克炎,娄德波,李 楠. 2009. 大比例尺三维矿产预测[J]. 地质与勘探,45(6):729-734

范承均. 1982. 滇西区域地质特征[J]. 云南地质,1(4):323-336

冯本智,卢明杰. 1982. 滇西惠民前寒武纪铁矿床的形成条件[J]. 长春地质学院学报,(2):11-30

冯 京,徐仕琪,田江涛,杨在峰,高永峰. 2009. 要素类比趋同法在新疆东天山铁矿定量预测中的应用研究[J]. 地质与勘探,45(6):722-728

雷作淇. 1982. 云南澜沧群微古植物群的发现及其意义[J]. 地层学杂志,(4):281-285

刘增池. 1985. 澜沧群火山岩特征及其构造背景的判别[J]. 云南地质,4(4):373-387

罗君烈. 1995. 云南元古代与火山活动有关铁铜矿床成矿模式[J]. 云南地质,14(4):281-290

李光明,佘宏全,张 丽,刘 波,董英君. 2009. 西藏冈底斯铜多金属成矿带基于 MRAS 资源评价系统的成矿预测[J]. 地质与勘探,45(6):645-652

马曙光,李继宏,郑宗莱,李凌云. 2009. GIS 系统在海南石禄铁矿成矿预测中的应用[J]. 地质与勘探,45 (6):716-721

叶天竺,朱裕生,夏庆霖. 2004. 固体矿产预测评价方法技术[M]. 北京:中国大地出版社:1-351

云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社:5-22

云南省地质矿产局. 1996. 云南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社:24-31

王世称,王於天. 2000. 综合信息矿产资源评价理论与方法[M]. 北京:科学出版社:1-343

肖克炎,张晓华,王四龙. 2000. 矿产资源 GIS 评价系统[M]. 北京:地质出版社:1-213

肖克炎,朱裕生,宋国耀. 2000. 矿产资源 GIS 定量评价[J]. 中国地质,278(7):29-32

薛顺荣,肖克炎,丁建华. 2008. 基于 MRAS 的证据权重法在香格里拉地区的综合信息成矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版),38(5):738-744

曾群望. 1984. 澜沧惠民式前寒武纪条带状铁硅建造的类型[J]. 云南地质,3(3):205-218

赵 准. 1993. 怒江-澜沧江-金沙江区域矿床成矿系列[J]. 云南地质,12(3):248-266

朱裕生,肖克炎. 1997. 成矿预测方法[M]. 北京:地质出版社:15-117

A Prospecting Model and Prediction for Iron-Ore Deposits of the Huimin-Type in Western Yunnan Province

XU Dong, YIN Guang-hou

(*Yunnan Institute of Geologica Survey*, *Kunming* 650051)

Abstract: The Huimin iron-ore deposit lies in the multi-cycle Cu-Fe bearing volcanic-sedimentary formation which is located in the the middle Huimin rock assemblage of Middle Proterozoic, in the Shuangjiang epicontinental arc zone. Every minor cycle started from the bottom volcanic rock, and ended at top with iron-ore beds, forming the evident volcanic eruption-sedimentation cyclothem. The size, branching off and thinning out, etc of iron-ore beds are directly related with the amount and thickness of volcanic rock, which are controlled by the volcanic activity and its center. We consider it as the typical ore deposit of Middle Proterozoic regional marine volcanic eruption-sedimentation type iron deposit in theYunxian-Lancang area of Yunnan Province, the Huimin type iron-ore deposit. And we regard the Middle Proterozoic volcanic rock basin of the Suangjiang-Lancang area with the similar metallogenesis conditions as the prediction work area for the Huimin-type iron-ore deposits. We have carried out the prediction of mineral resources based on the GIS mineral resources evaluation system according to the MRAS location and quantitative method. We have determined the 13 optimum smallest predictoin targets, with estimated iron-ore resources of 7.5 milliard tons, which can be considered as the evidenc in the future ore prospecting and exploration of ore deposits of this type.

Key words: Huimin-type iron-ore deposit, marine volcanic-sedimentation type, typical ore deposit, ore prospecting model, smallest predictions area; Huimin, Yunnan