

巴基斯坦贾盖火山岩浆岩带斑岩型铜-金矿床 地质特征、成矿作用及找矿潜力

吕鹏瑞,姚文光,张海迪,杨博,洪俊,曹凯

中国地质调查局西安地质调查中心,西安,710054

内容提要: 贾盖火山岩浆岩带是巴基斯坦境内西部第二大岩浆弧,属于特提斯成矿域的重要组成部分之一。晚渐新世—中新世,随着新特提斯洋的闭合,阿拉伯板块、印度板块与欧亚板块不断碰撞。在持续的挤压条件下,巴基斯坦西部发育了一系列逆冲褶皱系统,并且先后经历了中—晚始新世(43~37 Ma)、早中新世(24~22 Ma 和 18~16 Ma)、中中新世(13~10 Ma)和晚中新世—早上新世(6~4 Ma)4次大规模的岩浆作用,形成了贾盖火山岩浆岩带,赋存有 48 个斑岩型铜金矿床(点)、远景区。根据区域地质及矿化情况,可将贾盖火山岩浆岩带内的斑岩型铜-金矿床分为东、西两部分。前者主要分布在贾盖侵入体的边缘或与围岩接触带中,矿体产于晚白垩世辛贾拉尼群碎屑岩和始新世贾盖侵入体中;后者则分布在索尔科侵入体的岩株中,矿体产于古新世和更年轻的碎屑岩和火山岩中。矿体主要与磁铁矿系列的石英闪长斑岩和花岗闪长斑岩相关,具有钙碱性系列的特征,围岩热液蚀变分带明显,自岩体中心向外依次为钾硅酸化(钾化)、泥化、石英绢云母化、青磐岩化。境内外斑岩铜矿产出特征显示,索尔科侵入岩可能符合“小岩体成大矿”的现实情况,贾盖侵入岩的大型复合岩基中也可能存在斑岩铜矿床,具有很好的找矿潜力。最新勘查资料显示,贾盖火山岩浆岩带已发现的 48 个矿床(点)、远景区可能都具有很好的找矿前景和巨大的资源潜力,如萨因达克、雷克迪克、塔拉鲁格、科·伊·达利尔等矿床(点)、远景区,以及 Western War Chah 斑岩体,尤其是贾盖火山岩浆岩带西部和 Koh Dahl(Kackodiq)矿点。

关键词: 贾盖火山岩浆岩带;斑岩型铜-金矿床;找矿潜力;巴基斯坦

巴基斯坦贾盖(Chagai)火山岩浆岩带又称贾盖岩浆弧(Hunting Survey Corp., 1960)或莫克兰(Makran)岩浆弧(Doebrich et al., 2007),属于特提斯成矿域的重要组成部分之一(Richards et al., 2012)。贾盖火山岩浆岩带是伊朗萨汉德-巴兹曼(Sahand-Bazman)铜矿带在巴基斯坦境内的延伸,二者向西与土耳其旁地德斯(Pontides)铜矿带相连,向东与中国班公湖铜矿带、冈底斯铜矿带、玉龙铜矿带相接,一起构成了特提斯成矿域的主要斑岩铜矿带(图 1;张洪瑞等, 2009, 2010;姬永祥, 2013)。贾盖火山岩浆岩带是巴基斯坦境内西部第二大岩浆弧,仅次于拉斯科(Ras Koh)岩浆弧(Richards et al., 2012),同时也是巴基斯坦最重要的铜矿储备基地。本文在前人研究的基础上,对贾盖火山岩浆岩带及典型斑岩型铜矿床的地质特征和成矿作用进行总结,并在此基础上探讨该岩浆岩带斑岩铜矿的找矿潜力,以期为国家“两种资源,两个市场”和资源

“走出去”战略服务。

1 区域地质背景

贾盖火山岩浆岩带主要位于巴基斯坦俾路支省西部萨因达克与达斯特·伊·凯恩地区之间,向西延伸到伊朗,向北延伸到阿富汗,延伸长度约 50 km,最大宽度约 140 km,总面积约 75000 km²,是一个由钙碱性深成岩、火山岩组成的东西向岩浆岩带(Siddiqui et al., 2007; Perelló et al., 2008)。在中伊朗微陆块与阿富汗微陆块拼合期间及之后,贾盖火山岩浆岩带被解释为欧亚大陆的南缘组成部分之一(Sillitoe et al., 1977; Sillitoe, 1978; Lawrence et al., 1981)。在区域地质构造格架中,贾盖火山岩浆岩带(Ⅲ)是莫克兰-扎格罗斯(Zagros)岩浆带的组成部分之一(Farhoudi et al., 1977; Razique, 2013),位于中特提斯构造域(Ⅰ)土耳其-中伊朗-冈底斯中间板块(Ⅱ)中部(李春昱, 1982),夹于欧亚板块南部

注:本文为中国地质调查局项目“中亚南亚资源潜力综合分析与成果应用”(编号 12120115066601)、“苏莱曼山-喀喇昆仑山成矿地质背景和成矿规律对比研究”(编号 1212011120336)和“东特提斯碰撞造山成矿作用”项目(编号 ICGP/SIDA-600)联合资助成果。

收稿日期:2015-05-09;改回日期:2015-07-24;责任编辑:周健。

作者简介:吕鹏瑞,男,1984 年生。硕士,矿床学专业,助理工程师,目前主要从事境外地质矿产调查研究。Email:lvpengrui0910@163.com。

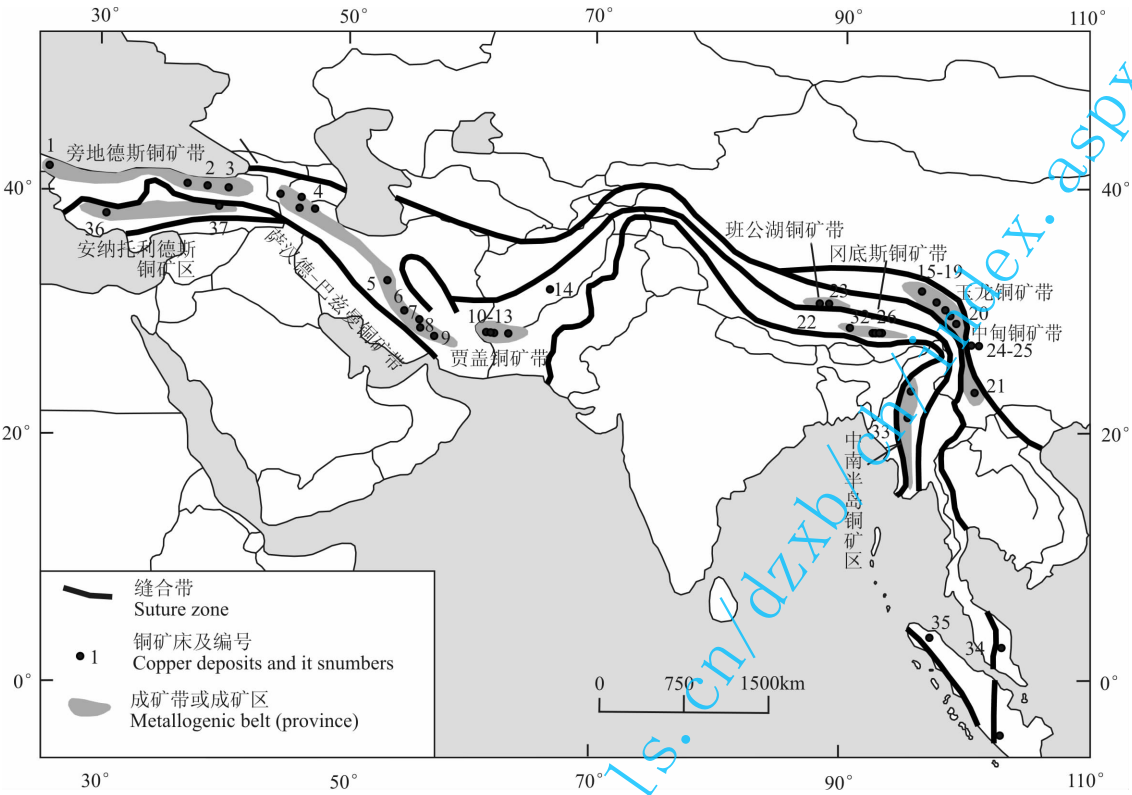


图 1 特提斯成矿域斑岩铜矿分布图(据张洪瑞等,2009,2010)

Fig. 1 Spatial distribution of porphyry copper deposits in Tethyan metallogenetic domain (after Zhang et al. , 2009, 2010)

土耳其旁地德斯铜矿带:1—德列科;2—古则尔亚伊拉;3—苏里文;伊朗萨汉德-巴兹曼铜矿带:4—松贡;5—卡莱·卡菲;6—阿里·阿巴德;7—达雷查尔;8—梅杜克;9—萨尔切什梅;巴基斯坦贾盖铜矿带:10—萨因达克;11—雷克迪克;12—科·伊·达利尔;13—达斯特·伊·凯恩;14—昆达尔延(阿富汗);中国玉龙铜矿带:15—纳日贡玛;16—玉龙;17—扎那杂;18—莽宗;19—多霞松多;20—马拉松多;21—马厂箐;中国班公湖铜矿带:22—多不杂;23—尕尔穷;中国中甸铜矿带:24—雪鸡坪;25—普郎;中国冈底斯铜矿带:26—甲玛;27—驱龙;28—拉抗俄;29—南木;30—厅宫;31—冲江;32—白容;中南半岛铜矿带:33—蒙育瓦(缅甸);34—门格普尔(马来西亚);35—唐塞(印度尼西亚);土耳其安纳托利德斯铜矿带:36—基斯拉达格;37—科普利尔

Pontides Cooper Belt in Turkey: 1—Derekoy; 2—G. zelyayla; 3—Salikvan; Sahand-Bazman Cooper Belt in Iran: 4—Sungun; 5—Kale Kafi; 6—Ali-Abad; 7—Darrehzar; 8—Meiduk; 9—Sar Cheshmeh; Chagai Cooper Belt in Pakistan: 10—Saindak; 11—Reko Diq; 12—Koh-i-Dalil; 13—Dasht-e-Kain; 14—Kundalyan (Afghanistan); Yulong Cooper Belt in China: 15—Narigongma; 16—Yulong; 17—Zhanaga; 18—Mangzong; 19—Duoxiasongduo; 20—Malasongduo; 21—Machangqing; Bangong Lake Cooper Belt in China: 22—Duobuza; 23—Gaerqiong; Zhongdian Cooper Belt in China: 24—Xueji ping; 25—Pulang; Gangdese Cooper Belt in China: 26—Jiama; 27—Qulong; 28—Lakange; 29—Nanmu; 30—Tinggong; 31—Chongjiang; 32—Bairong; Copper Mine Area in Indo-China Peninsula: 33—Monywa (Myanmar); 34—Mempur (Malaysia); 35—Tangse (Indonesia); Anatolides Cooper Mine Area in Turkey: 36—Kisladag; 37—Coplir

阿富汗地块和莫克兰复理石盆地之间,由北向南包括贾盖岩浆弧(Ⅲ-1)、萨因达克-达尔本丁(Dalbandin)凹陷(Ⅲ-2)、拉斯科抬升地块(Ⅲ-3)、马斯科赫(Mashkhel)凹陷(Ⅲ-4)等4个次级构造单元(图2;Kazmi et al. ,1982)。

1.1 区域地层

贾盖火山岩岩浆岩带出露一套火山岩、火山沉积岩、沉积岩系列,其厚度超过 10000 m(Siddiqui, 1996,2004;Perelló et al. ,2008)。该区出露的地层主要有早白垩世辛贾拉尼(Sinjrani)群、早白垩世胡迈(Humai)组、古新世朱扎克/拉克萨尼(Juzzak/

Rakhshani)组、始新世萨因达克组、渐新世阿玛拉夫(Amalaf)组、晚渐新世达尔本丁组和晚渐新世—早中新世雷克迪克组(图3;Siddiqui,2004;Siddiqui et al. ,2007;Perelló et al. ,2008)。

其中,辛贾拉尼群是该区出露最老的岩石单元(Hunting Survey Corp. ,1960;Ahmed et al. ,1972; Sillitoe et al. ,1977; Arthurton et al. ,1979,1982; Siddiqui,1996,2004;Siddiqui et al. ,2007),厚度大于 2500 m,岩性主要为块状熔岩流、火山砾岩、凝灰岩、碎屑火山岩,其次为硅质页岩、泥质灰岩、微红色页岩和砂岩,局部含少量的长英质火山岩层

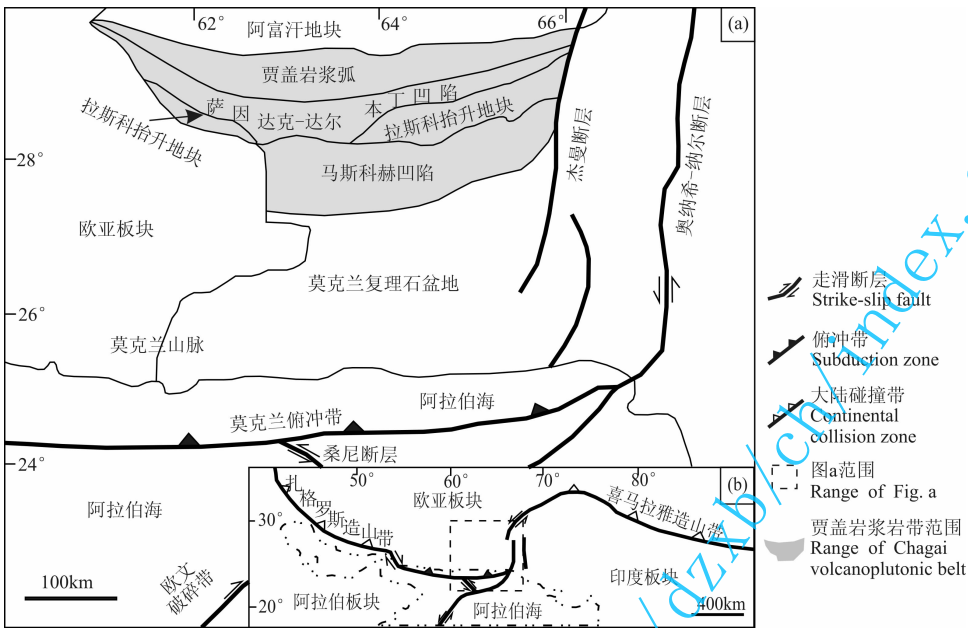


图 2 贾盖火山岩浆岩带构造格架简图(据 Kazmi et al.,1982,Perelló et al.,2008 修改)

Fig. 2 Geotectonic setting of the Chagai volcanoplutonic belt (modified from Kazmi et al.,1982,Perelló et al.,2008)

(Arthurton et al.,1979;Malkani,2011)。辛贾拉尼群在该区没有基底出露,其顶部为块状至半块状灰岩,横向渐变为浊流层、钙质砾岩层和红层。

胡迈组地层岩性主要为灰岩和碎屑岩,该组地层含 300 m 厚的块状生物礁灰岩,及大量的晚白垩世生物化石(Arthurton et al.,1979,1982)。胡迈组与上覆辛贾拉尼群呈不整合接触关系,该组地层下部为砾岩,中间夹页岩、砂岩、粉砂岩和灰岩,上部为厚至巨厚层灰岩(Malkani,2011)。

朱扎克组、萨因达克组和阿玛拉夫组为胡迈组的上覆地层,是一套厚约 4000 m 的浅海相至河流相地层(Hunting Survey Corp.,1960;Ahmed et al.,1972;Arthurton et al.,1979,1982;Siddiqui,1996,2004)。朱扎克组岩性主要为页岩、砂岩、砾岩和泥质灰岩;萨因达克组岩性为页岩、粉砂岩、礁灰岩、安山质熔岩和凝灰岩,与上覆朱扎克组地层整合接触(Malkani,2011;Richards et al.,2012);阿玛拉夫组岩性为页岩、砂岩、灰岩和安山质熔岩,整合上覆萨因达克组地层(Richards et al.,2012)。朱扎克组、萨因达克组的下部和阿玛拉夫组的上部发育碎屑火山岩和熔岩,碎屑火山岩和熔岩呈互层产出。

达尔本丁组是一套河流相、湖泊相红色页岩、泥岩、砂岩和砾岩,夹白色、绿色、赭色或棕色粘土,不整合覆盖晚白垩世—古近纪地层(Perelló et al.,2008;Malkani,2011)。

雷克迪克组红层包含萨因达克组的剥蚀产物,

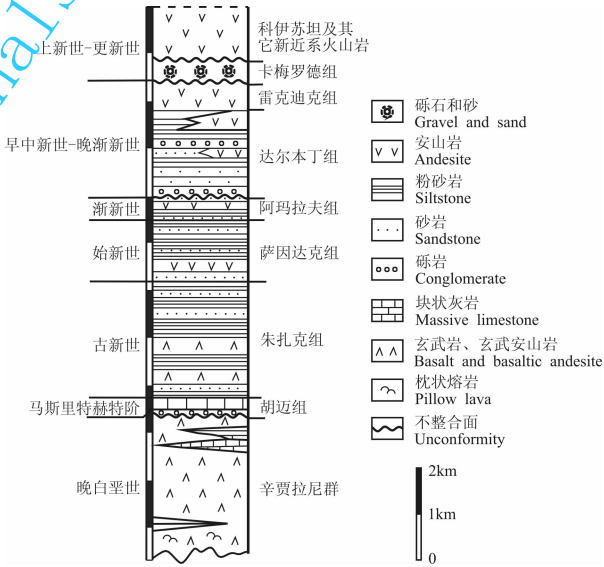


图 3 贾盖火山岩浆岩带地层柱状图

(据 Perelló et al.,2008 修改)

Fig. 3 Stratigraphic columns for Chagai volcanoplutonic belt (modified from Perelló et al.,2008)

包括碎屑岩和有孔虫目的灰岩碎片,以及早始新世的动物群化石(Arthurton et al.,1982;Perelló et al.,2008)。

1.2 构造

贾盖火山岩浆岩带经历了多期构造改造,区域不整合记录了各期构造活动的位置,区域上与成矿有关的构造主要为断层和背斜。

区内出露的断层包括托兹吉科(Tozgi Koh)、大恰帕尔(Great Chappar)、拉吉科(Laki Koh)、德拉纳科(Drana Koh)断层(Arthurton et al., 1982),以及俾路支省东部的 NNE 向杰曼(Chaman)断层系统等分支断层(图 4; Perelló et al., 2008)。断层的延伸限定了区内的主要地貌及构造地块(Perelló et al., 2008; 姬永祥, 2013),每个断层都有其独特的内部结构特征。其中,托兹吉科、大恰帕尔、拉吉科和德拉纳科断层呈弧形向南凸出,沿 EW 向、NNE 向、NS 向、NW 向、NE 向延续出露 100 km 以上(Perelló et al., 2008),断层主要为逆断层,改造原始沉积盆地的边缘和形态。研究区在渐新世构造活动最为强烈,晚中新世以来,该区域沿着主要断层发生逆冲运动,同时伴随着地块收缩(Arthurton et al., 1982; Perelló et al., 2008)。

此外,区内还发育一大型的背斜构造,主要发育在辛贾拉尼群和更年轻的地层中,其核部出露贾盖侵入岩的主要岩基,而具有褶皱、逆冲变形特征的强烈褶皱复理石序列则控制了弥尔加瓦(Mirjawa)山脉、拉斯科山脉,以及达尔本丁槽谷的出露部分(Arthurton et al., 1982; Perelló et al., 2008)。

1.3 侵入岩

阿拉伯板块向北俯冲到伊朗东南部和巴基斯坦西部的过程中,导致了新近纪俾路支火山弧的形成(Farhoudi et al., 1977; Jacob et al., 1979; Perelló et al., 2008),形成了一系列钙碱性组分的火山中心(如科伊苏坦(Koh-i-Sultan)、丹姆科(Dam Koh)、格里姆科(Grim Koh)、科伊达利尔(Koh-e-Dalil)、斯派格拉科(Speggar Koh)等),并产生了以这些火山中心为主的浅成—超浅成侵入体(斑岩或相关的岩墙)(Dykstra et al., 1979; Perelló et al., 2008; Razique, 2013)。

贾盖火山岩浆岩带的侵入岩可统称为贾盖侵入岩和索尔科(Sor Koh)侵入岩(图 4; Hunting Survey Corp., 1960; Nagell, 1975; Breitzman, 1979; Breitzman et al., 1983)。贾盖侵入岩是指在贾盖山脉中心地区侵入到辛贾拉尼群地层中的大型复合岩基,主要沿着贾盖山脉中心地区断续出露,其长达约 150 km(图 4);索尔科侵入岩是指贾盖山脉西部地区孤立的小型侵入岩和岩株,其延伸长度达 150 km(Perelló et al., 2008)。

贾盖侵入岩主要分为两期(Hunting Survey Corp., 1960; Nagell, 1975; Dykstra, 1978;

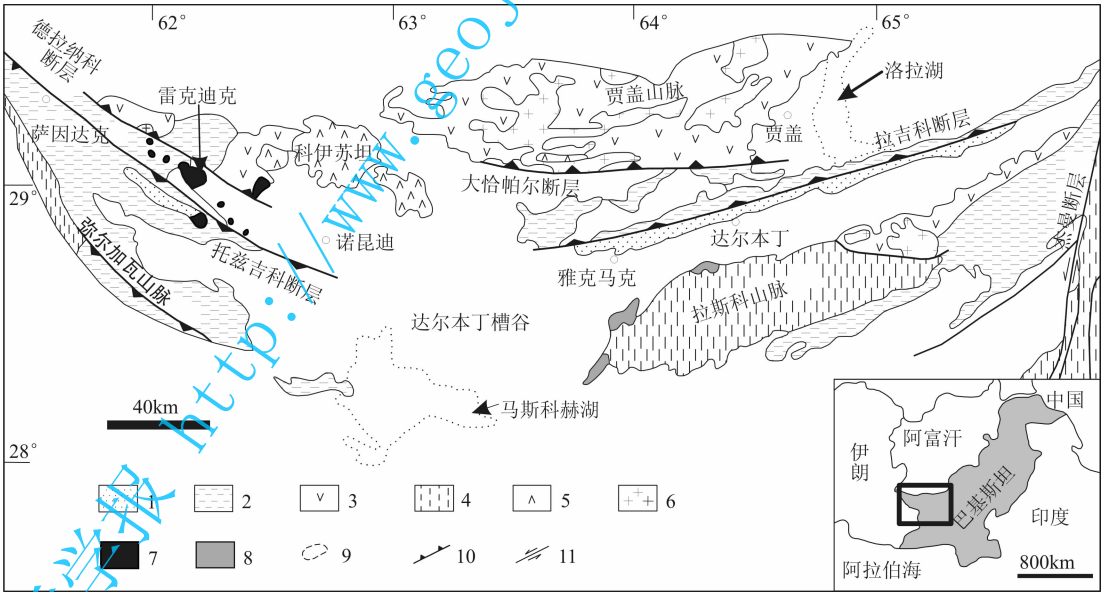


图 4 贾盖火山岩浆带地质简图(据 Perelló et al., 2008 修改)

Fig. 4 Geological sketch of Chagai volcanoplutonic belt (modified from Perelló et al., 2008)

1—渐新世—中新世沉积序列;2—古新世—始新世沉积序列;3—晚白垩世—古新世复理石序列;4—晚白垩世火山岩、沉积岩;5—新近世火山弧;6—始新世—渐新世贾盖侵入体;7—中新世岩株(索尔科侵入岩);8—古近纪蛇绿岩;9—干盐湖;10—逆冲断层;11—走滑断层
1—Oligocene-Miocene sedimentary sequences;2—Paleocene-Eocene sedimentary sequences;3—Late Cretaceous-Paleocene flysch sequences;4—Late Cretaceous volcanic and sedimentary rocks;5—Neogene volcanic arc;6—Eocene-Oligocene Chagai Intrusions;7—Miocene stocks (Sor Koh Intrusions);8—Paleogene ophiolites;9—Dry salt lake;10—Reverse fault;11—Strike-slip fault

Breitzman,1979;Breitzman et al. ,1983),早期侵入岩以闪长岩、花岗闪长岩为主,晚期的为花岗闪长岩、石英二长岩和花岗岩(Perelló et al. ,2008)。贾盖侵入岩具有中—粗粒、等粒结构。

索尔科侵入岩主要由岩株、岩床、岩墙、岩穹和岩盆组成,出露大小不一,小则几百米,大至 1 km (图 4;Hunting Survey Corp. ,1960)。岩性主要为英安岩,及少量玄武安山岩和流纹英安岩,具有典型的中粗粒、不等粒斑状结构(Perelló et al. ,2008)。

2 贾盖火山岩浆岩带斑岩型铜矿地质特征

2.1 贾盖火山岩浆岩带地质特征

贾盖火山岩浆岩带主要为晚白垩世—更新世钙

碱性火山岩,先后经历了中—晚始新世(43~37 Ma)、早中新世(24~22 Ma 和 18~16 Ma)、中中新世(13~10 Ma)和晚中新世—早上新世(6~4 Ma)4 次主要的斑岩蚀变作用和成矿作用(图 5、表 1~2;Perelló et al. ,2008)。斑岩铜矿化受控于后碰撞区域性事件,可能是在印度板块与欧亚板块首次接触之后开始的(Perelló et al. ,2008;Hou et al. ,2011),其中,大多数斑岩型铜矿床形成于早中新世(24~22 Ma 和 18~16 Ma)和中中新世(13~10 Ma)。

贾盖火山岩浆岩带是巴基斯坦最重要的成矿带之一,主要沿贾盖山脉呈 EW 走向展布,延伸长达 300 km,分布着 48 个斑岩型矿床(点)及远景区(表 3),包括雷克迪克铜金矿集区(855 Mt,铜品位 0.65%,金品位 0.33 g/t;Cooke et al. ,2005;

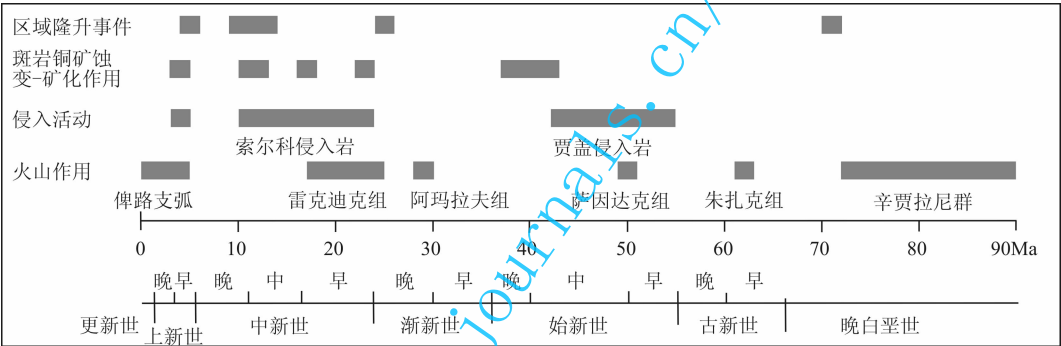


图 5 贾盖火山岩浆岩带主要岩浆事件及斑岩铜矿蚀变-矿化时间分布图(据 Perelló et al. ,2008 修改)

Fig. 5 Summary chart highlighting the distribution of the main magmatic and uplift events along Chagai volcanoplutonic belt and the timing of porphyry copper alteration-mineralization (modified from Perelló et al. ,2008)

表 1 贾盖火山岩浆岩带侵入岩、蚀变矿物地质年代学数据

Table 1 Geochronologic data of intrusive rocks and alternation minerals from Chagai volcanoplutonic belt

矿床(点)	测试矿物	矿物类型	测试方法	年龄(Ma±2σ)	数据来源
萨因达克	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	22.4±0.4	Perelló et al. ,2008
	锆石	侵入岩	U-Pb	22.18±0.2	
Sor Baroot	绢云母(安山质围岩)	蚀变矿物	K-Ar	16.9±0.9	Perelló et al. ,2008
	角闪石+黑云母(辉长岩岩株)	侵入岩	K-Ar	54.8±1.9	
Alam Reg	角闪石(斑状-隐晶质玄武岩熔岩流)	侵入岩	K-Ar	2.0±0.8	
Washaab	深成明矾石	蚀变矿物	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	5.9±3.8	
Kirtaka	黑云母	蚀变矿物	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	18.06±0.38	
Ting-Dargun	黑云母	侵入岩	K-Ar	48.9±1.2	
	黑云母	侵入岩	K-Ar	48.9±0.8	
	角闪石	侵入岩	K-Ar	18.8±1.5	
	黑云母	蚀变矿物	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	23.4±0.6	
Mach	绢云母(安山质围岩)	蚀变矿物	K-Ar	24.3±1.0	
Ziarate	黑云母	蚀变矿物	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	37.0±0.8	
	白云母	蚀变矿物	K-Ar	43.1±1.1	
Basilani	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	44.2±0.8	Breitzman,1979; Breitzman et al. ,1983
Talaran	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	44.8±0.8	
Durban Chah	锆石	侵入岩	裂变年龄	10.9±0.7	
Ganshero	锆石	侵入岩	裂变年龄	36.1±1.1	
Ziarat-Pir-Sultan	锆石	侵入岩	裂变年龄	21.0±0.7	

表 2 贾盖火山岩浆岩带雷克迪克斑岩型 Cu-Au 矿集区侵入岩、蚀变矿物地质年代学数据

Table 2 Geochronologic data of intrusive rocks and alternation minerals from Reko Diq porphyry Cu-Au ore-concentrated area in Chagai volcanoplutonic belt

矿床(点)	测试矿物	矿物类型	测试方法	年龄(Ma±2σ)	数据来源
Buklt Pasir	黑云母(矿化斑岩)	蚀变矿物	K-Ar	11.0±1.1	Perelló et al. ,2008
H79	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	13.0±0.2	
H15	辉钼矿		Re-Os	11.73±0.04	
H13	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	12.0±0.2	
H8	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	10.8±0.2	
	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	11.4±0.2	
H7	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	10.8±0.2	
H35	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	13.8±0.2	
H9	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	10.5±0.2	
H36	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	11.3±0.2	
科·伊·达利尔(W)	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	10.1±0.2	
科·伊·达利尔(NE)	黑云母(矿化斑岩)	蚀变矿物	K-Ar	18.4±2.5	
科·伊·达利尔(Vent)	角闪石(斑状岩株)	蚀变矿物	K-Ar	2.0±0.8	
H14	辉钼矿		Re-Os	11.82±0.04	Perelló et al. ,2008
	黑云母	蚀变矿物	K-Ar	12.0±0.2	
	锆石	侵入岩	U-Pb	11.22±0.50	Fu et al. ,2006
H27		蚀变矿物	K-Ar	13.8±0.3	Oczlon,1996
Tanjeel	表生明矾石	蚀变矿物	K-Ar	3.8±1.6	Perelló et al. ,2008
	绢云母	蚀变矿物	K-Ar	22.4±0.4	
	辉钼矿		Re-Os	22.41±0.07	
	锆石	侵入岩	U-Pb	23.29±0.24	Fu et al. ,2006
	锆石	侵入岩	U-Pb	23.75±0.19	
Parrah Koh	锆石	侵入岩	U-Pb	23.29±0.24	Fu et al. ,2006

Perelló et al. ,2008)、萨因达克铜-金矿床(440 Mt,铜品位 0.41%,金品位 0.5 g/t;Sillitoe et al. ,1977;Sillitoe,1978,1979;Ahmad,1992)、达斯特·伊·凯恩铜矿床(350 Mt,铜品位 0.3%;Ahmad,1992;Singer et al. ,2005)等大型、超大型斑岩型铜矿床。此外,该岩浆岩带也发现了与岩浆岩紧密相关的席状交代型、岩脉型 Cu 矿床、层状和矽卡岩型铁矿床、岩浆型 Au-Ag 和 Au 矿床、黑矿型 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床(Siddiqui,1996;Perelló et al. ,2008)。

根据区域地质及矿化情况,可将贾盖火山岩浆岩带内的斑岩系统分为东、西两部分。东部的斑岩型铜-金矿床主要分布在贾盖侵入体的边缘或与围岩接触带的几千米范围内,矿体主要产于晚白垩世辛贾拉尼群碎屑岩和始新世贾盖侵入体中,与晚白垩世—始新世期间的多期火山作用、矿化蚀变作用密切相关(图 5;Perelló et al. ,2008)。西部的斑岩型铜-金矿床主要分布在索尔科侵入体的岩株中,矿体主要产于古新世和更年轻的碎屑岩和火山岩中,与渐新世—更新世期间的多期火山作用、侵入活动、区域隆升事件、矿化-蚀变作用等密切相关(图 5;Perelló et al. ,2008)。

贾盖火山岩浆岩带主要的成矿类型为斑岩型

铜-金矿床,矿体赋存于磁铁矿系列的石英闪长斑岩和花岗闪长斑岩中,具有钙碱性系列的特征(Sillitoe et al. ,1977;Breitzman et al. ,1983),含矿围岩为复杂的杂岩体,主要产于陡倾的多相斑状侵入体中,蚀变分带明显,自岩体中心向外分为钾硅酸岩化、石英-绢云母化、泥化和青磐岩化,其中高级泥化发育(Perelló et al. ,2008;Hou et al. ,2011)。

2.2 典型矿床地质特征

2.2.1 雷克迪克斑岩型 Cu-Au 矿集区

雷克迪克斑岩型 Cu-Au 矿集区,位于巴基斯坦奎达(Quetta)市西 500 km,诺昆迪(Nok Kundi)市西北 70 km 处(Bhutta,2004),靠近阿富汗、伊朗与巴基斯坦的边界(Perelló et al. ,2008)。该区域的斑岩铜矿化是在巴基斯坦地质调查局实施 1:5 万地质填图时发现的(Khan et al. ,1981),随后巴基斯坦地质调查局对其进行详细研究(Bhutta,2004),目前特提斯铜业有限公司(Tethyan Copper Company Ltd)和巴利克黄金公司(Barrick Gold Corp.)对其进行联合勘探(Perelló et al. ,2008;Richards et al. ,2012)。

雷克迪克斑岩型 Cu-Au 矿集区位于贾盖火山

岩浆岩带西部,其南、北两侧分别被 NW 向托兹吉科断层和德拉纳科断层截断,发育 20 个斑岩型铜-金矿床(点)(图 6、表 3),目前有 6 个达到矿床规模,其中包括世界级的 H14、H15 矿床(Perelló et al., 2008)。

2.2.2 萨因达克斑岩型 Cu-Au 矿床

萨因达克斑岩型 Cu-Au 矿床位于靠近伊朗和阿富汗国境的俾努支省“硫化物山谷”内,距离萨因达克堡(Fort Saindak)东南 9.4 km,是巴基斯坦最大的斑岩矿床之一(Malkani, 2011)。早在二战期间(1941~1944),印度地质调查局就在萨因达克地区的含方铅矿岩脉中勘查铅矿(Muslim, 1971; Ahmed et al., 1972)。萨因达克铜矿化岩株是巴基斯坦地质调查局在 1961 年首次发现的(Schmidt, 1968; Ahmed et al., 1972; Sillitoe et al., 1977)。目前,中国冶金科工集团有限公司(MCC)正在开采萨因达克矿床(Richards et al., 2012)。

萨因达克斑岩型 Cu-Au 矿床位于贾盖火山岩浆岩带西部,与中新世英云闪长斑岩岩株有关,包括南、北、东 3 个矿体。其中,南部和东部矿体赋存于

渐新世阿玛拉夫组粉砂岩、砂岩、凝灰岩中,北部矿体赋存于始新世火山集块岩、凝灰岩中(表 4; Sillitoe et al., 1977; Sillitoe, 1979; Ahmad, 1992; Malkani, 2011)。矿石经热液蚀变,形成 1 个矿化蚀变带,即著名的萨因达克蚀变带(Sillitoe et al., 1977)。从矿体到围岩,围岩蚀变主要为钾化、绢云母化、青磐岩化(表 4; Sillitoe et al., 1977; Sillitoe, 1979)。

萨因达克斑岩型 Cu-Au 矿床矿化作用主要与 3 个中新世斑岩岩株有关,从而形成了 3 个主要的矿体:北矿体、南矿体、东矿体(Malkani, 2011)。北矿体位于萨因达克斑岩型 Cu-Au 矿床最北端,主要沿着穿过氧化物矿化带的岩脉产出;南矿体位于北矿体南 2 km 处,矿体埋藏较浅,伴生有工业意义的金和钼;东矿体位于南矿体东南 1 km 处,该矿体上部发育一个倾斜的、不规则的铜氧化物带(Malkani, 2011)。

萨因达克斑岩型 Cu-Au 矿床的成矿作用伴随着蚀变作用产生,在英云闪长斑岩体的中心形成细脉状浸染矿石组成的管状、透镜状矿体,而在其边缘形成脉状矿体,这就是所谓的萨因达克模式(Sillitoe, 1975; Schmidt, 1976, 1980; Jian et al., 2014)。

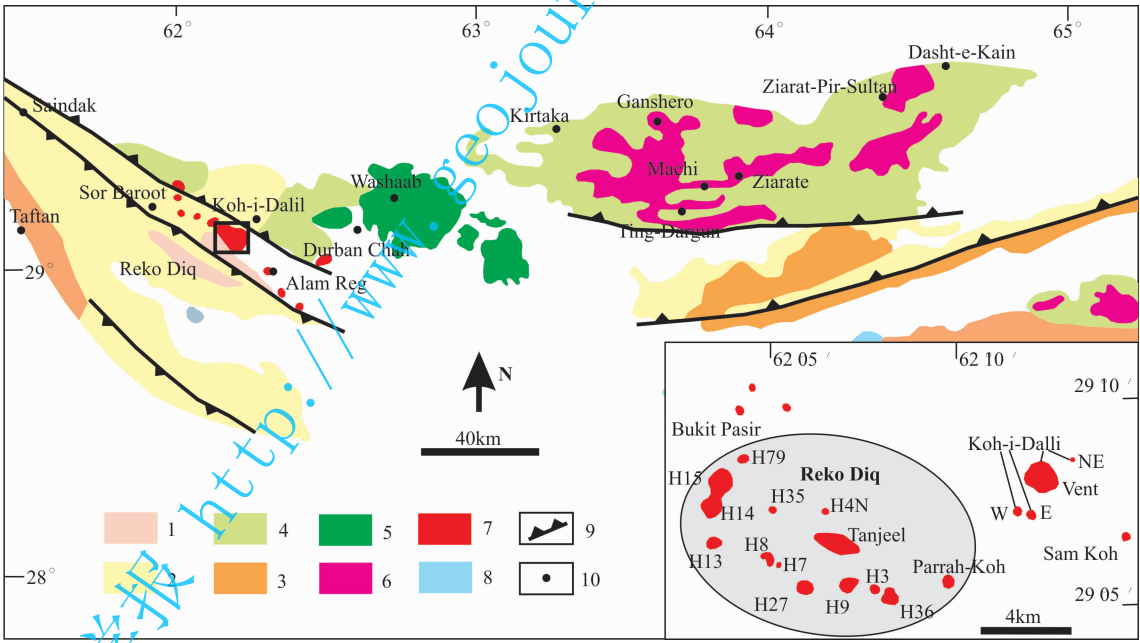


图 6 贾盖火山岩浆岩带主要斑岩矿床(点)分布图(据 Perelló et al., 2008; Razique, 2013 修改)

Fig. 6 Spatial distribution of main porphyry copper deposits (occurrences) in Chagai volcanoplutonic belt (modified from Perelló et al., 2008; Razique, 2013)

1—渐新世—中新世沉积序列;2—古新世—始新世沉积序列;3—晚白垩世—古新世复理石序列;4—晚白垩世火山岩、沉积岩;5—新近世火山弧;6—始新世—渐新世贾盖侵入体;7—中新世岩株(索尔科侵入岩);8—古近纪蛇绿岩;9—逆冲断层;10—铜矿床(点)
1—Oligocene-Miocene sedimentary sequences; 2—Paleocene-Eocene sedimentary sequences; 3—Late Cretaceous-Paleocene flysch sequences; 4—Late Cretaceous volcanic and sedimentary rocks; 5—Neogene volcanic arc; 6—Eocene-Oligocene Chagai Intrusions; 7—Miocene stocks (Sor Koh Intrusions); 8—Paleogene ophiolites; 9—reverse fault; 10—copper deposits (occurrences)

表 3 贾盖火山岩浆岩带斑岩矿床(点)地质特征对比表(据 Perelló et al. ,2008 修改)

Table 3 Geological features of porphyry deposits (occurrences) in Chagai volcanoplutonic belt (modified from Perelló et al., 2008)					
矿床(点)	母岩	围岩	蚀变	构造	
萨因达克	石英闪长岩	碎屑沉积岩	从内向外: 钾化、绢云母化、青磐岩化	N 向基底构造	
H9 (雷克迪克)	石英闪长岩、花岗闪长岩	安山质火山岩	从内向外: 绢云母-粘土-绿泥石话、钾化、绢云母化、青磐岩化	EW 向构造带内	
H8 (雷克迪克)		安山质火山岩	从内向外: 钾化、绢云母-粘土-绿泥石话、绢云母化、青磐岩化	EW 向构造线	
H13 (雷克迪克)		安山质火山岩、碎屑沉积岩		NNE 向断层	
H14、H15 (雷克迪克)		安山质火山岩、微闪长岩		NNE 向构造线及断层带	
H27 (雷克迪克)				EW 向构造带内	
H35 (雷克迪克)				NS 向断层	
H79 (雷克迪克)	闪长岩、石英闪长岩	安山质火山岩	从内向外: 绢云母化、青磐岩化	NE 向构造线	
Tanjeel (雷克迪克)	斑岩、石英斑岩	从内向外: 绢云母化、青磐岩化		EW、NE 向断层及岩脉群	
Parrah Koh (雷克迪克)	闪长岩、花岗闪长岩	安山质火山岩、碎屑沉积岩		从内向外: 钾化、绢云母-粘土-绿泥石话、绢云母化、青磐岩化	EW 向构造带
Sor Baroot	石英闪长岩、花岗闪长岩				WNW 向构造带
Bukit Pasir					NW、NE 向构造线
科·伊·达利尔					安山质火山岩
Machi	闪长岩、石英闪长岩	安山质火山岩	从内向外: 钾化、绢云母化、青磐岩化	不明显	
Kirtaka	石英闪长岩	安山质火山岩		不明显	
Sam Koh	石英闪长岩、花岗闪长岩	安山质火山岩、碎屑沉积岩		从内向外: 钾化、绢云母化、青磐岩化	NE 向岩脉群、矿脉群
Ting-Dargun	闪长岩、石英闪长岩	安山质火山岩、深成岩		从内向外: 钾化、绢云母-粘土-绿泥石话、青磐岩化	NS、NE 向构造线, EW 向区域断层
Ziarat Pir Sultan	石英闪长岩				不明显
Durban Chah	闪长岩				不明显
Ganshero	石英闪长岩、花岗闪长岩	安山质火山岩、深成岩	从内向外: 绢云母化、青磐岩化	不明显	
达斯特·伊·凯恩	石英闪长岩		从内向外: 钾化、绢云母化、青磐岩化	EW、NN 向断层	
Ziarate	花岗闪长岩、二长岩		构造控制绢云母带	EW 向断层	

3 成矿作用与找矿潜力

3.1 成矿作用

贾盖火山岩浆岩带东部的斑岩型铜矿床主要分布在贾盖侵入体的边缘或与围岩接触带中,西部的铜矿床主要分布在索尔科侵入体的岩株中。前者产于晚白垩世辛贾拉尼群碎屑岩和始新世贾盖侵入体控制中,后者产于古新世和更年轻的碎屑岩和火山岩控制中。该岩浆岩带主要的成矿类型为斑岩型铜-金矿床,矿体赋存于磁铁矿系列的石英闪长斑岩和花岗闪长斑岩中(Perelló et al. , 2008; Hou et al. , 2011)。围岩热液蚀变分带明显,具有典型的“二长岩”蚀变分带模式,呈环带状分布,自岩体中心向外依次为钾硅酸演化(钾化)、泥化、石英绢云母化、青磐岩化(Siddiqui et al. , 2007)。

前人研究发现,贾盖火山岩浆岩带中岩浆弧形成的早期阶段早于印度大陆与欧亚大陆南缘的碰撞,在海底岩石中形成了小型层状含铜、含铜-锌火

山成因块状硫化物矿化(Sillitoe, 1978)。尽管该岩浆弧在阿富汗的延伸被认为具有斑岩型铜矿床的潜力(Doebrich et al. , 1978),并且中国藏南外喜马拉雅深成岩带与之基本相似的侏罗纪岛弧组合中也发育斑岩型铜-金矿化,但该岩浆弧在前碰撞事件早期并未产生明显的斑岩型铜矿化(Sillitoe, 1978)。Perelló 等(2008)研究发现,贾盖火山岩浆岩带最早的深成岩在早始新世以辉长岩和闪长岩岩株的形式侵位的,仅在主要的火山成因序列中的灰岩与小型辉长岩-闪长岩岩株的接触带形成轻微的磁铁矿-黄铁矿矿化。

贾盖火山岩浆岩带中的斑岩型铜矿化主要受区域性后碰撞事件控制,可能是在印度板块与欧亚板块最初碰撞发生之后迅速开始的(Perelló et al. , 2008; Hou et al. , 2011),是在岩基大小的岩浆房中形成,并在地壳收缩条件下演化。大多数贾盖侵入岩是在这一时期侵位的,它们的演化促进了中一晚始新世(43~37 Ma)斑岩型铜矿床的产生和侵位,

表 4 特提斯成矿域萨汉德-巴兹曼、贾盖、冈底斯铜矿带中新世斑岩型铜矿床地质特征对比表

Table 4 Geological features of porphyry copper deposits in Sahand-Bazman, Chagai and Gangdese belts

矿床名称	金属组合	构造背景	母岩	围岩	蚀变	年龄 (Ma)	参考文献
萨尔切什梅	Cu-Mo-Au-Ag	萨汉德-巴兹曼火山岩浆岩带	闪长岩至花岗闪长岩, 英安岩及相关斑岩, 安山岩及相关岩墙	早第三纪火山沉积岩	早期为中心钾化, 外围青磐岩化, 后期叠加绢云母化	12.2	Waterman et al., 1975; Samani, 1998; Cooke et al., 2005
梅杜克	Cu					12~11	Singer et al., 2005
卡莱·卡菲	Cu-Mo						
松贡	Cu-Mo		早期的二长岩、石英二长岩和晚期的闪长岩、花岗闪长岩	白垩纪石灰岩、始新世安山质凝灰岩、集块岩	早期主要为钾化和青磐岩化, 晚期为绢云母化、硅化和泥化	20	Mutschler, 1999; Cooke et al., 2005
雷克迪克	Cu-Au	贾盖钙碱性火山岩岩浆岩带	石英闪长岩和花岗闪长岩	安山质火山岩、微闪长岩和碎屑沉积岩	从内向外: 钾化、绢云母化-粘土化-绿泥石化、绢云母化、青磐岩化	中新世	Perelló et al., 2008; 姬永祥, 2013
萨因达克	Cu-Au		英云闪长斑岩	南部为渐新世粉砂岩、砂岩、凝灰岩, 北部为始新世火山集块岩、凝灰岩	从内向外: 钾化、绢云母化、青磐岩化	21	Sillitoe et al., 1977; Sillitoe, 1979; Ahmad, 1992; Malkani, 2011
科·伊·达利尔	Cu-Au		石英闪长岩、二长岩、花岗闪长岩、英安斑岩	中新世火山集块岩、熔岩	从内向外: 钾化、绢云母化、青磐岩化		Ahmad, 1992
达斯特·伊·凯恩	Cu-Au		渐新世闪长岩体	晚白垩世辛贾拉尼群火山集块岩、凝灰岩	从内向外: 钾化、绢云母化、泥化、青磐岩化	21	Ahmad, 1992; Singer et al., 2005
驱龙	Cu-Mo	冈底斯火山岩浆弧	二长花岗岩、花岗岩	中侏罗世火山凝灰岩、流纹岩、灰岩、板岩	钾化、石英绢云母化、青磐岩化	15.99	Hou et al., 2009a; 杨志明等, 2008
厅宫	Cu-Mo		石英二长花岗岩、花岗岩	古新世碰撞花岗岩	钾化、石英绢云母化、青磐岩化、泥化	15.49	Hou et al., 2009a
冲江	Cu-Mo		二长花岗岩	古新世碰撞花岗岩	钾化、石英绢云母化、青磐岩化、泥化	14	
甲马	Zn-Pb-Cu±Au		二长花岗岩	早白垩世-中侏罗世砂岩、板岩、灰岩	钾化、石英绢云母化、青磐岩化、矽卡岩化	15.18	

如 Ziarate 铜矿床(Perelló et al., 2008)。斑岩型铜矿化受控于后碰撞区域性事件, 先后经历了中一晚始新世(43~37 Ma)、早中新世(24~22 Ma 和 18~16 Ma)、中中新世(13~10 Ma)和晚中新世一早上新世(6~4 Ma)4 次斑岩蚀变作用和成矿作用(图 5、表 1~2; Perelló et al., 2008), 其中, 大多数的斑岩型铜矿化、铜-金矿化是在中新世的几个连续岩浆事件(24~22 Ma、18~16 Ma、13~10 Ma 和 6~4 Ma)中产生的, 也有一些成层火山之下的铜矿化是在中新世一早上新世(6~4 Ma)形成的(图 5、表 1~2)。

Perelló 等(2008)认为雷克迪克和萨因达克斑岩型铜矿床是在低度一中度区域隆起条件下形成的, 他结合长期的冷却历史、蚀顶历史、快速的区域隆起及剥露、火山活动静止期, 推测该矿床中的典型铜-金矿化是在 10~13 Ma 产生的。前人地质年代学数据也显示雷克迪克矿集区 H14 矿床的岩株是在 12.22±0.15 Ma 侵入的, H15 矿床的绢云母-粘

土-绿泥石蚀变是在 11.73±0.04 Ma 产生的(Fu et al., 2006; Perelló et al., 2008)。Sillitoe (1998)、Sillitoe 等(2005)研究发现, 收缩构造环境中的迅速隆升和火山活动静止期是安第斯型岩浆弧中主要斑岩型铜矿带的标志特征。Perelló 等(2008)认为迅速的构造隆升和剥露是 H14、H15 矿床的快速冷却历史的结果, 同时也是蚀变-矿化事件叠加的结果。贾盖岩浆岩带构造诱发的区域性隆升和剥露与伊朗东南部萨尔切什梅矿床(13.6~11.5 Ma)和梅杜克矿床(12.5~10.8 Ma)的侵位是同时的(McInnes et al., 2003, 2005), 它们是阿拉伯板块与中伊朗板块碰撞的结果, 也是新特提斯洋最终闭合的结果(Stoneley, 1974; Förster, 1978; Sengör et al., 1979)。

晚渐新世—中新世, 随着新特提斯洋的闭合, 阿拉伯板块、印度板块与欧亚板块的不断碰撞, 在持续的挤压条件下, 贾盖火山岩浆岩带发生了一系列的构造形变, 发育了大量的逆冲断裂系统和背斜(如

EW 向、NW 向、NE 向呈拱形向南凸起托兹吉科、大恰帕尔、拉吉科和德拉纳科断层;图 4),控制含矿斑岩的侵位,提供了有利的导矿、容矿场所。贾盖火山岩浆岩带在始新世至上新世期间先后经历了 4 次大规模的岩浆作用、多期次的矿化-蚀变作用,以及多期次的区域隆起事件,尤其是早中新世和中中新世的岩浆活动最为强烈(图 5、表 1~2),贾盖侵入岩和索尔科侵入岩在该火山岩浆岩带普遍发育,提供了成矿所需的物质来源和热源。

3.2 找矿潜力

区域资料显示,贾盖火山岩浆岩带是伊朗萨汉德-巴兹曼铜矿带在巴基斯坦境内的延伸,它们与土耳其旁地德斯铜矿带,中国班公湖铜矿带、冈底斯铜矿带、玉龙铜矿带一起构成了特提斯成矿域的主要斑岩铜矿带(张洪瑞等,2010)。在伊朗萨汉德-巴兹曼铜矿带和中国冈底斯铜矿带的钙碱性岩浆岩中均发现中新世的大型、超大型斑岩型铜矿床(表 4),如伊朗的萨尔切什梅、梅杜克、卡莱·卡菲、松贡斑岩型铜矿床(Mutschler et al., 1999; Cook et al., 2005; Shafiei et al., 2008; Singer et al., 2005; Taghipour et al., 2008),中国的驱龙、厅宫、冲江、甲马、朱诺、吉如、得明顶斑岩型铜矿床等(侯增谦等, 2001, 2004; Qu et al., 2004; 郑有业等, 2007; Hou et al., 2009b)。Burnham 等(1980)认为钙碱性系列岩浆-热液与斑岩型铜矿床具有密切关系。贾盖火山岩浆岩带具有与萨汉德-巴兹曼铜矿带和中国冈底斯铜矿带类似的钙碱性岩浆,同样在中新世发育强烈的岩浆活动和围岩蚀变,且具有良好的导矿、容矿构造,具有形成斑岩铜矿的良好条件。

毛景文等(2012)对世界斑岩铜矿特征进行总结发现,斑岩铜矿一般位于侵入体内或其附近,侵入体多呈岩株、岩颈、岩墙、岩席,面积一般小于 1~10 km²,规模较小,属于“小岩体成大矿”,也有少数斑岩铜矿产于大岩基中。贾盖火山岩浆岩带已知的斑

岩铜矿主要产于侵入岩中或其边缘,含矿斑岩的出露面积小于 0.75 km²,尤其是索尔科侵入岩,主要呈岩株、岩床、岩墙、岩穹和岩盆产出(Perelló et al., 2008)。因此,贾盖火山岩浆岩带具有很好的斑岩铜矿找矿前景和巨大的资源潜力,索尔科侵入岩可能符合“小岩体成大矿”的现实情况,贾盖侵入岩的大型复合岩基中也可能存在斑岩铜矿床。

贾盖地区历史上曾经开采过少量的石灰华、大理石(缟玛瑙)、自然硫、铁、铬铁矿、铅(Ahmad, 1969; Nagell, 1975)。虽然早在 1897 年 McMahon 等(1897)就在该区域开展过找矿工作,随后该地区也陆续开展过一些其他地质工作(Hunting Survey Corp., 1960; Ahmed et al., 1972; Sillitoe et al., 1977, 2005; Siddiqui et al., 1986, 2007; Ahmad, 1993; Bhutta, 2004; Siddiqui, 2004; Perelló et al., 2008; Richards et al., 2012),但目前仅有雷克迪克矿集区正在进行勘探工作,萨因达克矿床正在进行开采工作(Perelló et al., 2008)。由于地质工作程度的限制,该地区目前发现的 48 个斑岩铜矿床(点)及远景区,仅有 5 个矿床比较知名,其他大多不被知晓(图 6、表 5; Siddiqui et al., 2007)。目前研究数据显示,雷克迪克铜金矿集区矿石储量为 855 Mt,铜品位 0.65%,金品位 0.33 g/t(Cooke et al., 2005; Perelló et al., 2008);萨因达克铜金矿床矿石储量为 440 Mt,铜品位 0.41%,金品位 0.5 g/t(Sillitoe et al., 1977; Sillitoe, 1978, 1979; Ahmad, 1992);达斯特·伊·凯恩铜矿床矿石储量 350 Mt,铜品位 0.3%(Ahmad, 1992; Singer et al., 2005)。特提斯铜业有限公司在 2006~2008 年加快在雷克迪克矿集区的勘探和钻探工作,推测该矿集区的矿石储量为 6706 Mt,铜品位 0.41%,金品位 0.36 g/t,钼品位 0.01%(Tethyan Copper Company, 2008, 2013; Raziq, 2013; 表 5),其中, H14、H15 矿床的推测矿石储量为 5900 Mt,铜品位 0.41%,金品位 0.22 g/

表 5 贾盖火山岩浆岩带雷克迪克斑岩 Cu-Au 矿集区主要矿床资源量统计表

Table 5 Mineral reserves for main copper deposits of Reko Diq porphyry Cu-Au ore-concentrated area in Chagai volcanoplutonic belt

矿床名称	资源类型	资源量(Mt)	Cu(%)	Au(g/t)	Mo(%)	数据来源
H14、H15	探明储量+控制储量+推测储量	5900	0.41	0.22	~0.01	Tethyan Copper Company, 2013
Tanjee	控制储量+推测储量	214	0.60	—	—	Tethyan Copper Company, 2008
H8	控制储量+推测储量	335	0.38	0.19	<0.01	
H13	推测储量	212	0.37	0.40	<0.01	
H35	推测储量	45	0.29	0.61	<0.01	
总资源量		6706	0.41	0.36	0.01	

t, 铜品位约 0.01%, 可采矿石量为 2200 Mt, 铜品位 0.53%, 金品位 0.30 g/t (Tethyan Copper Company, 2013; Razique, 2013)。

必和必拓公司(BHP)对贾盖火山岩浆岩带的其他斑岩铜矿进行了勘探和评价, 认为该岩浆岩带西部具有巨大的资源潜力, 估计该区域的铜矿石储量为 550 Mt, 平均铜品位 0.4%~0.6%, 金品位 0.2~0.5 g/t。必和必拓公司认为, 除了雷克迪克、Buzzi Mashi、Western War Chah 等已知铜矿床以外, Parrah Koh、Borghar Koh、科·伊·达利尔、科伊苏坦、Ting Daragaun 等矿床(点)、远景区都具有很好的找矿潜力(Malkani, 2011)。特提斯铜业有限公司最近在科·伊·达利尔(Rackodiq)矿点发现了一个辉铜矿矿层及深成带, 估计该深成带的矿石储量为 80 Mt, 铜品位为 0.85%。因此认为, 贾盖火山岩浆岩带中萨因达克、雷克迪克、塔拉鲁格(Talaruk)、Max. G. White、科·伊·达利尔(Sam Koh)、Mashki Chah、Darband Chah、Amuri、Yakmach、Kangord、Galtori、Omi、Ziarat Pir Sultan、Kabul Koh、Missi、胡迈、Dasht Kain、Koh-i-Marani、Pakus Nala、Nok Chah、达尔本丁、Amir Chah、Ziarat Malik Karkam、Bazgawanan、Kundi Balochap、Bandegan、Robat、Buzzi Mashi、Parrah Koh、Bor Ghar Koh、Malaik Koh、Ting Daragun、Machi、Kirtaka 等矿床(点)、远景区, 以及 Western War Chah 斑岩体均具有很大的找矿潜力(Hunting Survey Corp., 1960; Kazmi et al., 2001)。

4 结论

(1) 贾盖火山岩浆岩带东部的斑岩铜-金矿床主要分布在贾盖侵入体的边缘或与围岩接触带中, 西部的铜矿床主要分布在索尔科侵入体的岩株中。前者产于晚白垩世辛贾拉尼群碎屑岩和始新世贾盖侵入体中, 后者产于古新世和更年轻的碎屑岩和火山岩中。该岩浆岩带主要的成矿类型为斑岩型铜-金矿床, 矿体赋存于磁铁矿系列的石英闪长斑岩和花岗闪长斑岩中。围岩热液蚀变分带明显, 呈环带状分布, 自岩体中心向外依次为钾硅酸化(钾化)、泥化、石英绢云母化、青磐岩化。

(2) 晚渐新世—中新世, 随着新特提斯洋的闭合, 阿拉伯板块、印度板块与欧亚板块的不断碰撞, 在持续的挤压条件下, 贾盖火山岩浆岩带发育了一系列的逆冲断裂系统和背斜, 并在始新世—上新世期间经历了 4 次大规模的岩浆作用, 为斑岩型铜矿

床的形成提供所需的构造条件、物质来源和热源。贾盖火山岩浆岩带中的斑岩型铜矿化主要受区域性后碰撞事件控制, 先后经历了中—晚始新世(43~37 Ma)、早中新世(24~22 Ma 和 18~16 Ma)、中中新世(13~10 Ma)和晚中新世—早上新世(6~4 Ma) 4 次斑岩蚀变作用和成矿作用, 其中, 大多数的斑岩型铜矿化、铜金矿化是在中新世的几个连续岩浆事件(24~22 Ma、18~16 Ma、13~10 Ma 和 6~4 Ma)中产生的, 也有一些成层火山之下的铜矿化是在中新世—早上新世(6~4 Ma)形成的。

(3) 境内外斑岩铜矿带延伸对比显示, 贾盖侵入岩的大型复合岩基中也可能存在斑岩铜矿床, 具有很好的找矿潜力。最新勘查资料显示, 除雷克迪克铜金矿集区、萨因达克铜-金矿床、达斯特·伊·凯恩铜矿床等大型、超大型斑岩型铜矿床以外, 贾盖火山岩浆岩带西部仍具有巨大的资源潜力, 估计铜矿石储量为 550 Mt, 平均铜品位 0.4%~0.6%, 金品位 0.2~0.5 g/t。此外, 科·伊·达利尔(Rackodiq)矿点新发现了一个辉铜矿矿层及深成带, 矿石储量估计为 80 Mt, 铜品位为 0.85%。因此认为, 贾盖火山岩浆岩带已发现的 48 个矿床(点)、远景区可能都具有很好的找矿前景和巨大的资源潜力, 如萨因达克、雷克迪克、塔拉鲁格、科·伊·达利尔、Mashki Chah、Malaik Koh、Ting Daragun、Machi、Kirtaka 等矿床(点)、远景区, 以及 Western War Chah 斑岩体。

参 考 文 献

- 侯增谦, 曲晓明, 黄卫, 高永丰. 2001. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”铜矿带. 中国地质, 28(10): 27~29.
- 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 曲晓明, 黄卫. 2004. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制. 岩石学报, 20(2): 239~248.
- 姬祥永. 2013. 伊朗-巴基斯坦斑岩铜矿带的地质特征及成矿规律. 长沙: 中南大学硕士学位论文, 36.
- 李春昱. 1982. 1:800 万亚洲大地构造图及说明书. 北京: 地质出版社.
- 毛景文, 张作衡, 王义天, 李晓峰, 谢桂青, 杨富全, 余金杰, 代军治, 张长青, 柴凤梅, 程彦博, 吕林素, 袁顺达, 刘敏, 杨宗喜, 向君峰, 周珂. 2012. 国外主要矿床类型、特点及找矿勘查. 北京: 地质出版社, 192.
- 杨志明, 侯增谦, 宋玉财, 李振清, 夏代详, 潘凤雏. 2008. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床: 地质、蚀变与成矿. 矿床地质, 27(3): 279~318.
- 张洪瑞, 侯增谦, 宋玉财, 李政, 杨志明, 王召林, 王晓虎, 王淑贤. 2009. 斑岩铜矿床在东特提斯成矿域中的时空分布特征. 地质学报, 83(12): 1818~1837.

- 张洪瑞, 侯增谦, 杨志明. 2010. 特提斯成矿域主要金属矿床类型与成矿过程. 矿床地质, 29(1): 113~133.
- 郑有业, 多吉, 王瑞江, 程顺波, 张刚阳, 樊子琿, 高顺宝, 代芳华. 2007. 西藏冈底斯巨型斑岩铜矿带勘查研究最新进展. 中国地质, 34(2): 324~334.
- Ahmad M U. 1992. Porphyry copper in Pakistan. Geological Survey of Pakistan, 21.
- Ahmad M U. 1993. Dashe-e-Kain porphyry copper prospect in context of the metallogeny of Chagai cala-alkaline volcano-intrusive complex, Chagai District, Balochistan, Pakistan. Geological Survey of Pakistan Records, 90: 115.
- Ahmad Z. 1969. Directory of mineral deposits of Pakistan. Geological Survey of Pakistan Records, 15-3: 220.
- Ahmed W, Khan S N, Schmidt R G. 1972. Geology and copper mineralization of the Saindak Quadrangle, Chagai District, West Pakistan U. S. Geological Survey Professional Paper 716-A: 21.
- Arthurton R S, Alam G S, Anisuddin-Ahmad S, Iqbal S. 1979. Geological history of the Alamreg-Mashki Chah area, Chagai district, Baluchistan. In Farah A, De Jong K A. eds., Geodynamics of Pakistan. Quetta, Geological Survey of Pakistan, 325~331.
- Arthurton R S, Farah A, Ahmed W. 1982. The Late Cretaceous-Cenozoic history of western Baluchistan Pakistan-the northern margin of the Makran subduction complex. Geological Society of London Special Publication, 10: 373~386.
- Bhutta A M. 2004. Porphyry type systems-configuration and distribution in the Chagai metallogenic belt with a reference to the Koh-i-Dalil copper deposit, Balochistan, Pakistan. Geological Bulletin University of Peshawar, 37: 179~189.
- Breitzman L L, Birnie R W, Johnson G D. 1983. Fission-track ages of the Chagai intrusives, Baluchistan, Pakistan. Geological Society of America Bulletin, 94: 253~258.
- Breitzman L L. 1979. Fission-track ages of intrusives of the Chagai district, Baluchistan, Pakistan. MA thesis, Hanover, New Hampshire, Dartmouth College, 69.
- Burnham C W, Ohmoto H. 1980. Late-stage processes of felsic magmatism. Mining Geology, 8: 1~11.
- Cooke D R, Hollings P, Walshe J L. 2005. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls. Economic Geology, 100: 801~818.
- Doeblich J L, Ludington S, Peters S G, Finn C A, Mars J C, Rowan L C, Stroeser D B, King T M, Eppinger R G, Wasy A, Younsu M O. 2007. Porphyry copper potential of Tethyan magmatic arcs of Afghanistan. Irish Association for Economic Geology, 1: 129~132.
- Dykstra J D. 1978. A geologic study of the Chagai Hills, Baluchistan, Pakistan, using LANDSAT digital data. Unpublished Ph. D. thesis, Hanover, New Hampshire, Dartmouth College, 147.
- Dykstra J D, Birnie R W. 1979. Segmentation of the Quaternary subduction zone under the Baluchistan region of Pakistan and Iran. In: Farah A, De Jong K A, eds. Geodynamics of Pakistan. Quetta, Geological Survey of Pakistan, 319~323.
- Farhoudi G, Karig D E. 1977. Makran of Iran and Pakistan as an active arc system. Geology, 5: 664~668.
- Förster H. 1978. Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran. Journal of the Geological Society (London), 135: 443~455.
- Fu F Q, McInnes B I A, Evans N J, Davies P J, Schloderer J, Griffin W, Saeed A. 2006. Thermal and exhumation history of the Parra Koh porphyry Cu-Au deposit, Pakistan: Thermochronology and inverse numerical modeling. Geological Society of America-Society of Economic Geologists Joint Annual Meeting (Salt Lake City, 2005), CD-ROM, 1.
- Hou Z Q, Qu X M, Rui Z Y, Meng X J, Gao Y F. 2009a. The Gangdese Miocene porphyry copper belt generated during post-collisional extension in the Tibetan orogeny. Ore Geology Reviews, 36: 25~31.
- Hou Z Q, Cook N J. 2009b. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue. Ore Geology Reviews, 36(1~3): 2~24.
- Hou Z Q, Zhang H R, Pan X F, Yang Z M. 2011. Porphyry Cu (-Mo-Au) deposits related to melting of thickened mafic lower crust: examples from the eastern Tethyan metallogenic domain. Ore Geology Reviews, 38: 21~45.
- Hunting Survey Corporation Ltd. 1960. Reconnaissance geology of part of West Pakistan: A Colombo Plan Cooperative Project; Toronto. Report published by Government of Canada for Government of Pakistan; 550. (Report available from the Geological Survey of Pakistan, Quetta, Pakistan).
- Jacob K H, Quittmeyer R L. 1979. The Makran region of Pakistan and Iran: Trench-arc system with active plate subduction. In: Farah A, De Jong K A, eds. Geodynamics of Pakistan. Quetta, Geological Survey of Pakistan, 305~317.
- Jian R T, Xu D R, Ling H, Wang Y M, Yu B, Chai W. 2014. Geology, alteration and mineralization of Saindak porphyry copper gold deposit, Chagai Hills Pakistan. Acta Geologica Sinica (English Edition), 88(supp. 2): 538~540.
- Kazmi A H, Rana R A. 1982. Tectonic map of Pakistan. Geological Survey of Pakistan.
- Kazmi A H, Abbas S G. 2001. Metallogeny and Mineral Deposits of Pakistan. Published by Orient Petroleum Incorporation, Islamabad, Graphic Publishers, Karachi, Pakistan, 264.
- Lawrence R D, Khan S H, DeJong K A, Farah A, Yeats R S. 1981. Thrust and strike-slip fault interaction along the Chaman transform zone, Pakistan. Geological Society of London Special Publication, 9: 363~370.
- Malkani M S. 2011. Stratigraphy, mineral potential, geological history and paleobiogeography of Balochistan Province, Pakistan. Sindh University Research Journal (Science Series), 43(2): 269~290.
- McInnes B I A, Evans N J, Belousova E, Griffin W T, Andrew R L. 2003. Timing of mineralization and exhumation processes at the Sar Cheshmeh and Meiduk porphyry Cu deposits, Kerman

- belt, Iran. Biennial SGA Meeting, 7th, Athens 2003, Proceedings, 1197~1200.
- McInnes B I A, Evans N J, Fu F Q, Garwin S, Belousova E, Griffin W T, Bertens A, Sukarna D, Permanadewi S, Andrew R L, Deckart K. 2005. Thermal history analysis of selected Chilean, Indonesian and Iranian porphyry Cu-Mo-Au deposits. In: Porter T M, ed. Superporphyry Copper and Gold Deposits, a Global Perspective. Adelaide, Porter Geoconsultancy Publishing, 1:27~42.
- McMahon C A, McMahon A H. 1897. Notes on some volcanic and other rocks, which occur near the Baluchistan-Afghan frontier, between Chaman and Persia. Journal of the Geological Society of London, 211: 289~309.
- Muslim M. 1971. Evaluation of sulphur deposits Koh-i-Sultan (district Chagai), Baluchistan, Pakistan. Geological Survey of Pakistan Records, 21-2, report 5:8.
- Mutschler F E, Ludington S, Bookstrom A A. 1999. Giant porphyry-related metal camps of the world-A database. U. S. Geological Survey Open-File Report 99-0566.
- Nagell R H. 1975. Reconnaissance of the geology and ore mineralization in part of the Chagai district, Pakistan. U. S. Geological Survey Open File Report 75-550; 73.
- Oczlon M. 1996. Unpub. report to Broken Hill Proprietary Billiton Ltd (BHP), 75.
- Perelló J, Raziq A, Schloderer J, Asadur R. 2008. The Chagai porphyry copper belt, Baluchistan Province, Pakistan. Economic Geology, 103:1583~1612.
- Qu X M, Hou Z Q, Li Y G. 2004. Melt components derived from a subducted slab in late orogenic ore-bearing porphyries in the Gangdese copper belt, southern Tibetan plateau. Lithos, 74: 131148.
- Raziq A. 2013. Magmatic evolution and genesis of the RekoDiq H14-H15 porphyry copper-gold deposit, district Chagai, Baluchistan-Pakistan. Ph. D. thesis, The Faculty of Graduate Studies and The University of British Columbia, 27~30.
- Richards J P, Spell T, Rameh E, Raziq A, Fletcher T. 2012. High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu-Mo-Au potential: examples from the Tethyan arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. Economic Geology, 107:295~332.
- Samani B. 1998. Distribution, setting and metallogenesis of copper deposits in Iran. In: Porter TM ed. . Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: A global perspective. Adelaide, Australian Mineral Foundation, 135~158.
- Schmidt R G. 1968. Exploration possibilities in the western Chagai district, West Pakistan. Economic Geology, 63:51~60.
- Schmidt R G. 1976. Exploration for porphyry copper deposits in Pakistan using digital processing of Landsat-1 data. Journal of Research of the U. S. Geological Survey, 4:27~34.
- Schmidt R G. 1980. Mineral reconnaissance in the Chagai District, Pakistan, using a four-dimensional vector method of digital classification of Landsat-1 data. U. S. Geological Survey Open File Report 80-72:36.
- Sengör A M C, Kidd W S F. 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. Tectonophysics, 55:361~376.
- Shafiei B, Shahabpour J. 2008. Gold distribution in porphyry copper deposits of Kerman region, southeastern Iran. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, 19: 247~260.
- Siddiqui R H, Khan M A, Jan M Q. 2007. Geochemistry and petrogenesis of the Miocene alkaline and sub-alkaline volcanic rocks from the Chagai arc, Baluchistan, Pakistan; implications for porphyry Cu-Mo-Au deposits. Journal of Himalayan Earth Sciences, 40:1~23.
- Siddiqui R H, Khan W. 1986. A comparison of hydrothermal alteration in porphyry copper mineralization of Chagai cal-alkaline magmatic belt, Baluchistan, Pakistan. Acta Mineralogica Pakistanica, 2:100~106.
- Siddiqui R H. 1996. Magmatic evolution of Chagai-Raskoh arc terrane and its implications for porphyry copper mineralization. Geologica (Islamabad, Pakistan), 2: 87~120.
- Siddiqui R H. 2004. Crustal evolution of Chagai-Raskoh arc terrane, Balochistan, Pakistan. Ph. D. thesis, Peshawar, Pakistan, University of Peshawar, 353.
- Sillitoe R H, Khan S N. 1977. Geology of Saindak porphyry copper deposit, Pakistan. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, 86: 27~42.
- Sillitoe R H, Perell J. 2005. Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. Economic Geology 100th Anniversary Volume, 845~890.
- Sillitoe R H. 1975. Unpub. Report for the United Nation, 35.
- Sillitoe R H. 1978. Metallogenic evolution of a collisional mountain belt in Pakistan: A preliminary analysis. Journal of the Geological Society of London, 135:377~387.
- Sillitoe R H. 1979. Some thoughts on gold-rich porphyry copper deposits. Miner Deposita, 14: 161~174.
- Sillitoe R H. 1998. Major regional factors favouring large size, high hypogene grade, elevated gold content and supergene oxidation and enrichment of porphyry copper deposits. Australian Mineral Foundation Conference, Perth, Western Australia, Proceedings, 21~34.
- Singer D A, Berger V I, Moring B C. 2005. Porphyry copper deposits of the world; database, map, and grade and tonnage models. U. S. Geological Survey Open-File Report 2005-1060. <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1060/>.
- Stoneley R. 1974. Evolution of the continental margins bounding a former southern Tethys. In: Burk C A, Drake C L., eds. The Geology of Continental Margins. New York; Springer-Verlag, 889~903.
- Taghipour N, Aftabi A, Mathur R. 2008. Geology and Re-Os geochronology of mineralization of the Miduk porphyry copper deposit. Resource Geology, 2: 143~160.
- Tethyan Copper Company. 2008. Presentation at 76th Annual

Convention of Prospector and Developers Association of
Canada, Toronto, March 3~5, 2008.

Tethyan Copper Company . 2013. The Reko Dip Project—Reko Diq
Resources. <http://www.thethyan.com/TheRekoDipProject/>

RekoDipResource.aspx.

Waterman G C, Hamilton R L. 1975. The Sar Cheshmeh porphyry
copper deposit. *Economic Geology*, 70:568~576.

Geological Features, Mineralization and Ore-Prospecting Potential of Porphyry Cu-Au Deposits in the Chagai Volcanoplutonic Belt, Pakistan

LÜ Pengrui, YAO Wenguang, ZHANG Haidi, YANG Bo, HONG Jun, CAO Kai

Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an, 710054

Abstract

The Chagai Volcanoplutonic Belt (CVB), served as the second largest magmatic arc in western Pakistan, belongs to an essential part of the Tethyan Metallogenic Domain. With the closure of the Neo Tethys Ocean, the Arabian and Indian plates collided with Eurasian plate from Late Oligocene to Miocene. Under the condition of continuous extrusion, series of thrust-folding system were formed in western Pakistan, and Pakistan experienced 4 large-scale magmatic activities: Middle-Late Eocene (43~37 Ma), Early Miocene (24~22 Ma and 18~16 Ma), Middle Miocene (13~10 Ma) and Late Miocene-Early Pliocene (6~4 Ma). And then, the CVB was formed, which developed 48 porphyry Cu-Au deposits (occurrences) or prospected area. Based on the information of regional geology and mineralization, the porphyry Cu-Au deposits in the CVB can be divided into two parts: the eastern one and western one. The former occurred in the margin of Chagai intrusion or the contact zone between Chagai intrusion and its wall rocks, and the ore-bodies developed into clastic rocks in Late Cretaceous Sinjrani Group strata and Eocene Chagai intrusion. The latter occurs within the stocks of Sor Koh intrusive rocks, which were developed in Paleocene or youngest clastic and volcanic rocks. For these porphyry deposits, the ore-bodies are associated with magnetite-series quartz diorite porphyry and granodiorite porphyry, with typically calc-alkaline in composition. Hydrothermal alteration has a clear zoning, including potassium silicate (potassic), clay, silicate sericitic, and propylitic alterations. The output characteristics of porphyry copper deposits inside and outside China show that, Sor Koh intrusion may be conform to the current situation of "little intrusion forming large deposit", and some porphyry copper deposits may be occurred within large composite batholith of Chagai intrusive rocks, so both of these intrusions have good ore-prospecting potential. The latest exploration data suggest that 48 porphyry deposits (occurrences) or prospected area maybe have very good prospecting perspective and great resource potentiality, such as Saindak, Reko Diq, Talaruk, Koh-e-Dalil and Western War Chah porphyries, especially Koh Dalil (Rackodiq) and the porphyry deposits (occurrences) or prospected area in western part of the CVB.

Key words: Chagai volcanoplutonic belt; porphyry Cu-Au deposit; ore-prospecting potential; Pakistan