

# 西藏冈底斯东段成矿系列区域地球化学预测

孙忠军<sup>1,2</sup> 任天祥<sup>2</sup> 向运川<sup>3</sup>

(1.中国地质大学,北京 100083;2.中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,河北 廊坊 065000;  
3.中国地质调查局发展研究中心,北京 100083)

**摘要:**西藏冈底斯东段优势矿床成矿系列预测是当前需要解决的重要问题。文中研究了成矿系列矿源场特征,以及地球化学靶区与矿床成矿系列的联系,揭示了矿化规模的地球化学控制因素,计算了因素耦合系数。预测冈底斯构造带是 4 种类型矿床成矿系列的密集区。

**关键词:**成矿系列预测;控制因素;因素耦合系数;冈底斯

**中图分类号:**P596 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2003)01-0105-08

在全国 1:500 万地球化学图上,发现冈底斯构造带是 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au、U、Sn、W、Cr、Ni 等多金属的地球化学异常区<sup>①</sup>。该区勘查程度较低,面临找矿重点方向的选择——优势矿床成矿系列的预测<sup>②</sup>。根据区域成矿学的研究成果<sup>③</sup>,矿床成矿系列是矿源场成矿物质经过地质地球化学作用逐步浓集形成的,地球化学区与地质环境关系密切,地球化学靶区与矿床成矿系列伴生。文中通过地球化学区的研究揭示矿床成矿系列的矿源场特征,通过地球化学靶区的研究,揭示靶区与矿床成矿系列堆积区的关系,研究元素从地球化学区浓集成靶区的控制因素,用因素耦合系数预测冈底斯构造带的优势矿床成矿系列及资源潜力。

## 1 区域地质概况

冈底斯东段多金属成矿带是全国矿产勘查的重点片区之一。区域地质背景由雅鲁藏布缝合带、拉萨地块和改则—那曲造山带构造单元组成<sup>④</sup>(图 1)。该区区域地质环境的形成与新特提斯洋壳俯冲→弧—陆碰撞→伸展走滑作用密切相关<sup>⑤</sup>。中生代晚期,发生了新特提斯洋壳向北俯冲作用,形成雅鲁藏布江蛇绿岩带、冈底斯陆缘火山弧和弧间盆地。晚白垩

世—古新世,发生弧陆碰撞,形成大规模的壳熔花岗岩和中基性—中酸性火山岩。中新世,冈底斯进入后造山伸展阶段,形成一系列斑岩和火山岩。

雅鲁藏布江蛇绿岩带夹持于两条逆冲大断裂之间,带内基性岩、超镁铁岩有几十个岩体,与基性火山岩和深海硅质岩紧密共生,组成“三位一体”的蛇绿岩组合。火山岩形成时代主要为燕山期和喜马拉雅期,由火山熔岩、碎屑熔岩和火山碎屑岩组成,岩石化学具钙碱性系列特征。冈底斯花岗岩带形成于燕山期—喜马拉雅期,燕山期岩石类型为中酸性的闪长岩和花岗闪长岩等,喜山区则以酸性岩为主,岩性为石英二长岩、花岗岩和花岗斑岩。该区含矿花岗岩属钾玄武岩系列或高钾钙碱性系列。弧间盆地主要地层有中酸性火山岩、碳酸盐岩及碎屑岩,盆地呈近东西向展布,受到近 EW 向深断裂的控制。

成矿环境与地质作用紧密联系。形成与板块俯冲作用有关的多类型成矿环境。超基性岩的侵入,形成岩浆分离型铬铁矿矿床。弧间盆地是火山—沉积作用和热水沉积作用发育的成矿环境。碰撞早期的花岗岩侵入,形成花岗岩成矿环境。弧陆碰撞发生浅成低温热液活动,形成浅成低温热液型金矿。伸展走滑作用形成斑岩型和夕卡岩铜矿。

收稿日期:2002-03-11;改回日期:2002-12-04

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目(DK9902001)资助。

作者简介:孙忠军,男,1961 年生,高级工程师,博士生,主要从事勘查地球化学方法技术方面的研究;E-mail:kongmu@heanfo.net。

① 谢学锦,任天祥,等.中国地球化学图(1:500 万)(未出版).地球物理地球化学勘查研究所,1996.

### 2 区域地球化学异常结构特征

研究区面积约 20 万 km<sup>2</sup>。地球化学数据来自全国 1:500 万地球化学编图数据,用 2 586 个 1:20 万水系沉积物组合数据绘制了冈底斯东段 Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、Au、U、Sn、W、Cr、Ni 等元素的区域地球化学异常图,异常分级采用 0.1 logX(X 为元素含量,单位 10<sup>-6</sup> 或 10<sup>-9</sup>)。研究发现,区域地球化学异常具有模式谱系结构、分带结构和组合结构。

模式谱系结构。从图 2 中可以看出,每个成矿元素以第三根等量线可以将异常分为两个层次,一个是地球化学异常区,另外一个为局部地球化学异常。前者成片、成带分布,元素含量变化幅度较小,异常面积较大;后者位于地球化学区内,沿带成串或局域集中分布,具有浓集梯度大、异常面积相对较小的特点。模式谱系结构是区域成矿物质浓集特征的反映。异常分带结构。1)元素组合分带:在研究区南部雅鲁藏布缝合带上主要为 Cr、Cu、Ni、Co、Au;向北进入陆缘活动带南缘主要为 Cu、Au、U;陆缘活动带主要为 Pb、Ag、Zn、U、W、Mo、Au;在北部改则—那曲造山带主要为 Sn、W、Cr。2)单元素异常分带:最引人注目的是 Cu 异常的分带现象,Cu 的区域异常是由 NEE 向的串珠状异常和近 EW 向的带状异常组成,

前者主要与斑岩的空间分布关系密切,后者与超基性岩的侵入有关。研究 NEE 向的串珠状异常的空间分布特征,可以发现,从仁布—冲江—驱龙—吹败子 400 km 的范围内,4 个局部浓集异常呈等间距的分布,间隔距离约 40~50 km,这种 Cu 异常等间距分带现象,与玉龙斑岩铜矿田的异常分带现象基本一致,反映了斑岩铜矿田矿床等间距分布特征。上述元素除具有区域分带现象外,其异常分布还明显受构造控制,测区的西部(东经 91°以西)主要受 NW 向构造控制;测区东部(91°以东)则受 NW 向和 NE 向双重控制,其中 NE 向构造控制更为显著。

异常组合结构。据元素组合和空间分布特征,研究区分 5 种元素组合(图 3):Cr、Ni 异常组合,Au、As 异常组合,Cu、Mo 异常组合,Pb、Zn、Ag 异常组合,W、Sn、U 异常组合。这些元素组合在空间上同样具有分带特征,与该区地质环境的空间分布有关。

### 3 地球化学区与矿源场

从研究地球化学区特征值(表 1)可以发现,元素较中国水系沉积物背景值明显偏高,衬值变化范围为 2.38~5.59,衬值较大的元素是 Cr、Mo、Au、U,其次为 W、Cu、Sn,较小的是 As、Ag、Pb。根据 Shcherbakov(1974)的元素分类,冈底斯东段既富集

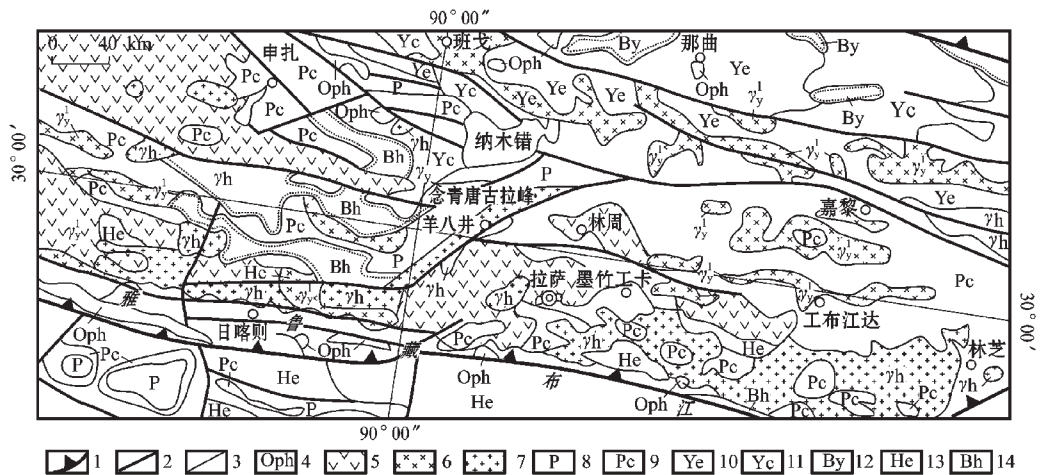


图 1 西藏冈底斯东段区域构造图<sup>[3]</sup>

- 1—板块缝合带;2—深断裂;3—断裂;4—蛇绿岩;5—陆缘火山岩;6—燕山早期花岗岩;7—喜马拉雅期花岗岩;8—晚泛非旋回陆壳;
- 9—后泛非旋回陆壳;10—早燕山旋回盖层;11—后燕山盖层;12—燕山旋回以来盆地;13—早喜马拉雅旋回盖层;14—喜马拉雅旋回以来盆地

Fig. 1 Simplified tectonic map of the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet<sup>[3]</sup>

- 1- Plate suture zone; 2- Deep fault; 3- Fault; 4- Ophiolite; 5- Continental-margin volcanic rocks; 6- Early Yanshanian granite;
- 7- Himalayan granite; 8- Continental crust of the late pan-African cycle; 9- Continental crust of the post-pan-African cycle;
- 10- Cover of the early Yanshanian cycle; 11- cover of the post-Yanshanian; 12- Basins since the Yanshanian cycle;
- 13- cover of the early Hinalayan cycle; 14- Basins since the Himalayan cycle

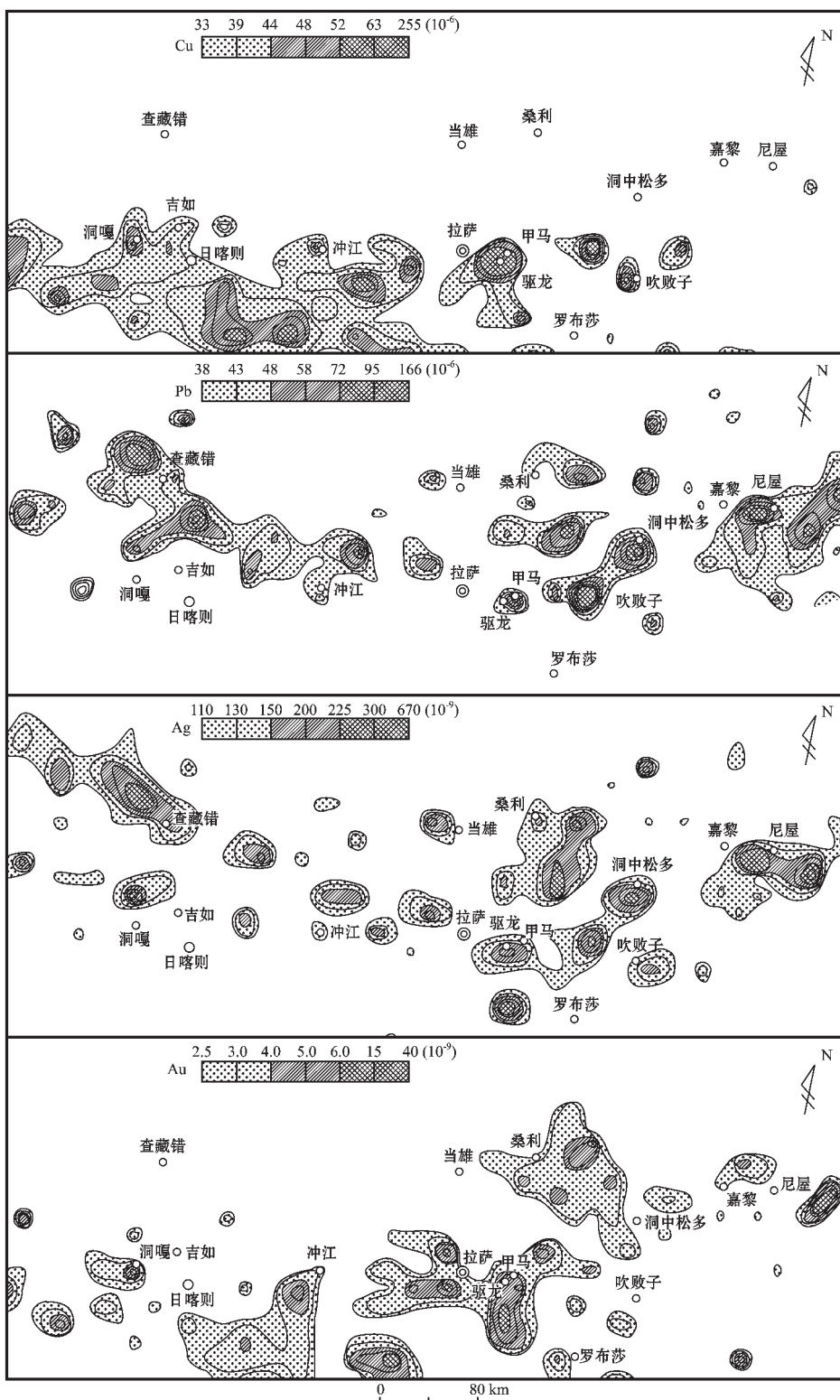


图 2 西藏冈底斯东段地球化学异常图

Fig. 2. Distribution of regional geochemical anomalies in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet

向心元素 Cr、Ni、Cu、Au，又富集离心元素 U、Pb、Zn 和弱离心元素 As、Sn、Mo 等，但是以向心元素富集程度较高。研究元素的 NAP 值发现，冈底斯

成矿元素的富集规模非常大，达  $n \times 10^4 \sim n \times 10^5$ ，富集规模最大的是 Cr，较大的为 Cu、As、Au、Mo、U，相对较小的是 Sn、Pb、Ag、W。NAP 值揭示冈底斯不同类型的成矿元素具有非常大的成矿供应量。总之，冈底斯东段是一种壳幔矿质分异、富集程度较高的综合地球化学区。

图 3 是西藏冈底斯东段地球化学异常区。研究各种地球化学区分布与区域地质环境关系，总结出以下特征。Cr、Ni 地球化学区呈近 EW 向的两个带分布，分别对应于雅鲁藏布缝合带和班公错-怒江缝合带，对比超基性岩带的分布，发现 Cr、Ni 地球化学区与超基性岩带的分布非常吻合。Sn、W、U 地球化学区在东西方向上存在分带现象，西部主要是 Sn、W 的异常组合，中部是 U、W 的异常组合，东部是 Sn、W、U 的异常组合。研究发现，Sn、W、U 的地球化学分带现象主要与燕山早、中期壳熔花岗岩和花岗闪长岩的侵入有关。与以上两个地球化学区不同的是，Pb、Zn、Ag 地球化学区分布范围更宽广一些，西部异常组合呈 NWW 向分布，位于九子拉弧碰撞结合带西部带的南侧火山盆地中，拉萨东部的异常组合，成 4 片分布，Pb、Zn、Ag 的浓集中心比较明显，主要与弧间盆地中的火山作用有关。总之，Pb、Zn、Ag 地球化学区主要与中生代晚期大规模火山岩的喷发有密切联系。Au、As 地球化学区分为东西两个带，西部带异常面积相对较小，主要沿雅鲁藏布缝合带的两侧分布；东部带 Au、As 异常吻合程度较高，异常规模很大，约 1.5 万 km<sup>2</sup>，由两个近 EW 向的带状异常组成。研究发现，这是九子拉弧碰撞结合带和羊八井-墨竹工卡的深断裂控制的异常。Cu、Mo 地球化学区是一种叠合程度较低的异常区，Cu 分布于异常区的南部，Mo 异常位于异常区北部。很明显，Cu 异常面积大，连续性好；Mo 异常呈孤岛状分布。研究表明，Cu、Mo 异常叠合区是中新世后造山

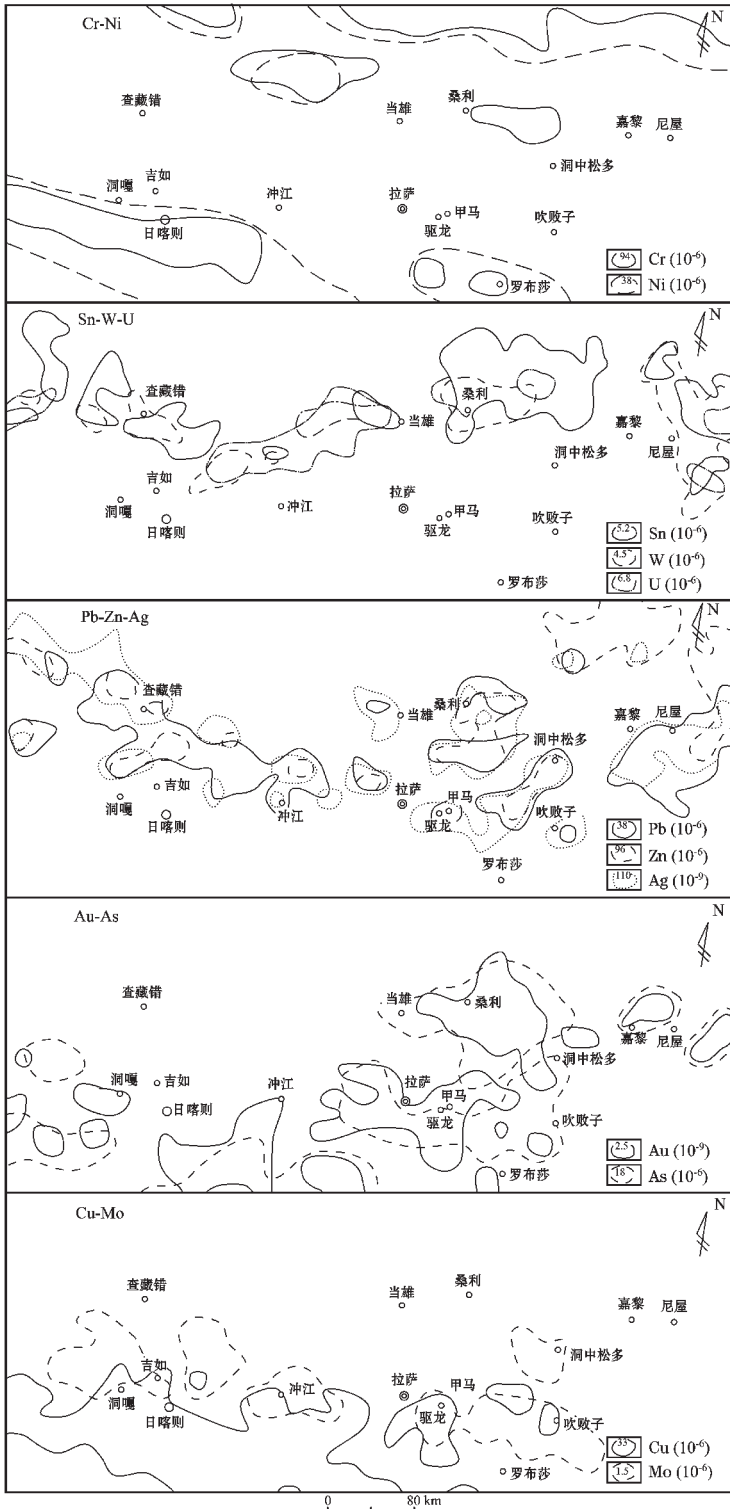


图 3 西藏冈底斯东段地球化学异常区

Fig. 3. Geochemical anomaly regions in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet

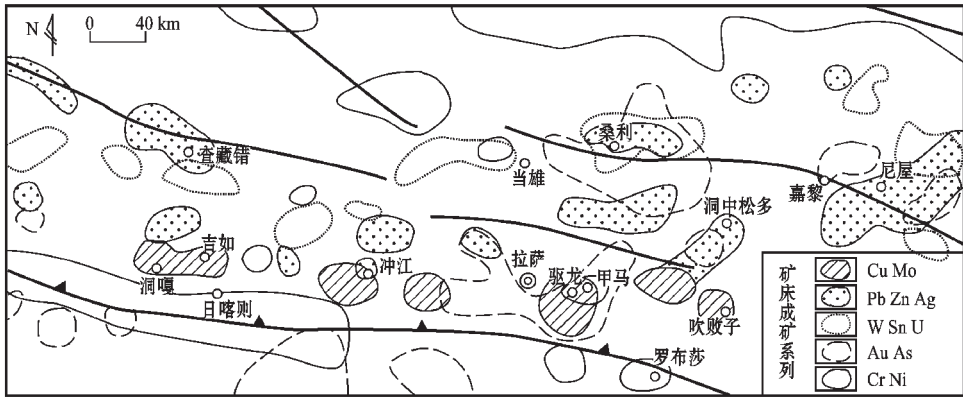


图 4 西藏冈底斯东段矿床成矿系列预测图

Fig. 4 Prediction map of minerogenic series in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet

伸展阶段花岗斑岩侵入作用的产物,而南侧的 Cu 异常区主要与超基性岩的分布有关。

综上所述,冈底斯东段综合地球化学区反映了成矿物质通过壳幔交换作用形成的矿床系列矿源场。

#### 4 靶区与矿床成矿系列

将各种地球化学区组合元素进行叠加,圈出各种成矿系列预测靶区(图 4)。计算了靶区特征参数(表 2),元素浓集系数为靶区内元素平均值除以相应地球化学区元素平均值,浓集规模等于元素浓集系数乘以相应的靶区面积。

西藏冈底斯东段圈出 5 种类型的靶区,总计 44 个。Cu、Mo 靶区 6 个,Pb、Zn、Ag 靶区 14 个,W、Sn、U 靶区 10 个,Cr、Ni 靶区 6 个,Au、As 靶区 8 个。靶区面积以 Cr、Ni 最大,Au、As 和 Pb、Zn、Ag 次之,W、Sn、U 较小,Cu、Mo 最小。元素浓集系数在 1.14~1.39 之间,浓集系数较大的为 Cr、U、Au、Sn,其次为 Pb、Ag、As、W、Mo、Cu 浓集系数较小。靶区元素浓集规模介于  $n \times 10^3 \sim n \times 10^4$ ,其中 Cr、Au 规模较大,As、Ag、Pb 次之,U、Sn、W 较小,Mo、Cu 最小。元素靶区的特征参数说明,冈底斯东段多金属靶区是矿源场成矿元素进一步浓集的结果。

靶区的空间分布规律非常明显。Cr、Ni 靶区主要分布于研究区南北缝合带上,呈长条状展布,指示超基性岩带空间分布。Cu、Mo 靶区位于雅鲁藏布缝合带北部约 68 km 的范围内,沿缝合带成带分布,带上吉如、冲江、驱龙和吹败子 4 个靶区呈等间距分布,构成吉如-吹败子 Cu、Mo 靶区带。Pb、Zn、Ag 靶区呈现 3 个带分布,南部带位于 Cu、Mo 靶区

的北侧,与 Cu、Mo 靶区一起构成吉如-冲江-驱龙-洞中松多铜多金属靶区带,这个带的 Pb、Zn、Ag 靶区主要受到弧间盆地的控制;中部带沿米拉山-松多碰撞带分布,主要与火山喷发有关;北部带分布于桑利-尼屋一带,受到九子拉弧碰撞结合带的控制。总之,Pb、Zn、Ag 靶区与研究区不同时代的火山活动关系密切。W、Sn、U 靶区分为东西两个带,西部带分布于米拉山-松多碰撞带南部,与构造带展布方向一致;东部带受控于九子拉弧碰撞结合带,显然,W、Sn、U 靶区主要受构造岩浆带的控

表 1 西藏冈底斯东段水系沉积物元素地球化学异常区特征值

Table 1 Characteristic parameters of stream sediment geochemical anomaly regions in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet

地球化学异常区	元素	样品数	平均值	标准差	衬值	异常面积 (km <sup>2</sup> )	NAP值 (10 <sup>4</sup> )	全国水系沉积物背景值 <sup>①</sup>
Cu、Mo	Cu	347	47.8	27.76	2.99	27232	8.14	21.83
	Mo	221	2.70	2.25	4.21	18624	7.86	0.84
Pb、Zn、Ag	Pb	284	56.0	29.4	2.38	22720	5.40	23.53
	Ag	383	175	106	2.70	19440	5.25	77.00
W、Sn、U	W	336	7.35	5.70	3.16	11040	3.49	1.83
	Sn	318	8.66	8.15	2.81	22810	6.41	3.02
	U	294	8.92	4.37	3.77	20320	7.66	2.45
Cr、Ni	Cr	416	259	286	5.59	32000	1.79	59.38
Au、As	Au	337	4.5	3.23	3.81	20800	7.92	1.32
	As	946	30.9	19.35	2.72	29568	8.04	10.02

注:元素质量分数:Ag、Au 为 10<sup>-9</sup>,其他元素为 10<sup>-6</sup>;衬值等于元素平均值除以全国水系沉积物背景值;NAP 值指元素衬值乘以地球化学区的积。

制。Au、As 靶区也分为南北两个带,南部带主要位于雅鲁藏布缝合带的两侧,北部带分布九子拉弧弧碰撞结合带的桑利-尼屋一带,反映低温热液沿深断裂成矿特征。总之,靶区空间上具分带特征,自南向北为: Au、As—Cr、Ni—Cu、Mo(Au、As)—Pb、Zn、Ag—W、Sn、U(Pb、Zn、Ag、Au、As)—Cr、Ni。因壳幔成矿物质分异、富集的阶段性,使得一些地质环境中不同类型的靶区空间上具有重叠特征。靶区空间分布的规律性说明该区壳幔成矿物质交换作用的时空富集成矿特征。

剖析靶区与成矿环境的关系可以发现,靶区指示成矿系列堆积成矿的场所。迄今为止,已在驱龙、吉如、冲江 3 个 Cu、Mo 靶区内找到 Cu、Mo 矿带。在罗布莎 Cr、Ni 靶区内发现我国规模最大的铬铁矿床。在 Au、As 靶区内找到浅成低温热液型矿床(克鲁)。在洞中松多 Pb、Zn、Ag 靶区内,发现 5 个多金属矿体,最长的一条达 4 000 m。近两年最大的找矿成果是在甲马 CuMo、Pb—Zn—Ag 和 Au—As 综合靶区内,找到大型 Cu 矿、大型 Pb 矿、大型 Au 矿和中型 Zn、Ag 矿床。以上找矿成果有力地说明,成矿系列预测靶区可以作为勘查工作的部署重点。

根据靶区空间分布规律及对成矿系列堆积区的指示作用,预测冈底斯东段有 5 个矿床成矿系列:与中生代晚期超基性岩有关的铬、镍矿床成矿系列;与中生代晚期火山岩有关的 Pb、Zn、Ag 矿床成矿系列;与燕山期花岗岩有关的 U、Sn、W 矿床成矿系列;与晚白垩世—古新世浅成低温热液有关的 Au、As 矿床成矿系列;与中新世斑岩有关的斑岩 Cu、Mo 矿床成矿系列。迄今为止,除燕山期花岗岩有关的 U、Sn、W 矿床成矿系列未找到矿床外,其他矿床成矿系列均已发现大型、中型和小型矿床(矿化点)。

## 5 矿床成矿系列资源潜力预测方法

根据浓集系数得出,靶区元素含量较地球化学区明显增高,说明靶区是地球化学源区成矿元素进一步浓集形成的。从浓集系数分析,Cu 的浓集系数最小,Cr、Au 的浓集系数较大,Pb、Ag 的浓集系数中等,已在靶区内找到以上元素的大、中型矿床。由于浓集系数反映元素富集成矿效率特征<sup>[6]</sup>,因而是矿化规模的重要控制因素之一。

特大数量成矿元素的供应是形成巨型矿床的基本要求,已经得到许多专家的认可<sup>[7~11]</sup>。浓集规模

是描述成矿系列形成过程中成矿物质浓集量特征,数值越大,成矿元素浓集量越大。从表 2 中可以看出,Cu、Mo 浓集规模相对较小,Cr、Au 的浓集规模最大,Pb、Ag 和 W、Sn、U 中等,对比已知矿床规模发现,浓集规模最小的 Cu 已经找到大型铜矿,其他的如 Pb、Au 也找到大型矿床,说明靶区中成矿物质浓集规模是形成大型矿床的物质基础。进一步分析靶区的浓集规模和地球化学区的 NAP 值发现,矿源场元素的 NAP 值与靶区的浓集规模存在不确定

表 2 西藏冈底斯东段元素综合靶区特征参数

Table 2 Characteristic parameters of geochemical anomaly targets in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet

靶区类型	元素	样品数	平均值	浓集系数	面积 (km <sup>2</sup> )	浓集规模 (10 <sup>4</sup> )	靶区数
Cu、Mo	Cu	225	54	1.14	5088	0.580	6
	Mo	155	3.14	11.5		0.585	
Pb、Zn、Ag	Pb	181	65.7	1.18	12416	1.37	14
	Ag	243	208	1.18		1.47	
W、Sn、U	W	228	8.55	1.15	9136	1.05	10
	Sn	197	10.53	1.22		1.11	
	U	162	11.37	1.28		1.17	
Cr、Ni	Cr	251	369	1.39	32000	4.48	6
Au、As	Au	228	5.5	1.22	15072	3.78	8
	As	629	36.5	1.18		1.79	

注:元素质量分数:Ag、Au 为 10<sup>-9</sup>,其他元素为 10<sup>-6</sup>。

表 3 西藏冈底斯东段成矿系列资源潜力预测

Table 3 Resource potential prediction of minerogenic series in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet

成矿系列	元素	浓集系数	元素成矿度	因素耦合系数	已发现矿床
Cu、Mo	Cu	0.34	1.80	1.24	大型铜矿 <sup>[4]</sup>
	Mo	0.23	1.00	1.03	
Pb、Zn、Ag	Pb	0.42	2.20	1.44	大型铅矿、中型银矿 <sup>[4]</sup>
	Ag	0.37	0.42	1.23	
W、Sn、U	W	0.32	0.85	1.00	
	Sn	0.36	1.10	1.14	
	U	0.27	3.80	1.50	
Cr、Ni	Cr	0.18	0.75	1.10	中型铬铁矿 <sup>[12]</sup>
Au、As	Au	0.25	2.28	1.21	大型伴生金矿 <sup>[4]</sup>
	As	0.24	0.12	1.02	

性的关系,但是如果用浓集规模系数(靶区元素浓集规模、地球化学区元素 NAP 值)表示成矿过程中的物质浓集量效率则可以发现,浓集规模系数与已知矿床的规模显示较好的相关性(表3),如 Pb、Cu、Au 和 Ag 等。因而,浓集规模系数是矿化规模另外的重要控制因素。

为了表征靶区内成矿元素富集成矿的程度,计算了元素成矿度 $\Phi$ (靶区内元素的平均值除以元素工业品位再乘以100),从表3中可以看出,成矿度数值较大的 U、Au、Pb、Cu、Sn 5 个元素中有 3 个元素形成大型矿床,元素成矿度数值较小的 Ag 和 Cr 也已找到中型矿床,说明元素成矿度是矿化规模的第 3 种重要控制因素。

从地球化学角度研究矿化规模的控制因素,浓集系数反映成矿过程元素浓集效率控制因素,浓集规模系数反映成矿过程物质浓集量效率控制因素,元素成矿度反映成矿过程元素浓集程度控制因素。以上研究可以得出,成矿过程是一种矿源场元素逐步浓集的地球化学过程,矿床成矿系列是这种过程的最终产物,可以用地球化学控制因素预测矿化规模。为此,拟用控制因素构造一个因素向量,用因素向量的模公式计算因素耦合系数,以表征矿化规模地球化学控制因素的耦合程度。计算中将每种因素系数进行标准化(因素系数/因素系数最大值)。矿床成矿系列资源潜力预测的因素耦合系数用下式计算:

$$\|a\| = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2}{a_1 + a_2 + a_3}}$$

其中  $a_1$  是元素浓集系数标准化值,  $a_2$  为浓集规模系数标准化值,  $a_3$  是元素成矿度标准化值。这就是矿床成矿系列资源潜力的因素耦合预测方法。

依据矿床成矿系列预测(表3)的因素耦合系数和已发现矿化规模的相关性,可以用因素耦合系数的大小预测该区潜在资源量。潜力系数大于 1.2 的有 U、Pb、Cu、Ag 和 Au, 其中 Pb、Cu、Au 均已发现大型矿床, Ag 找到中型矿床。对比 Cu 和 Mo 以及 Pb 和 Ag, 潜力系数与发现的矿床储量成正比。初步认为,因素耦合预测方法在构造带预勘查阶段可以作为成矿系列资源潜力预测的方法。

根据因素耦合系数预测结果,冈底斯东段优势

成矿系列为:1)与中生代晚期火山岩有关的 Pb、Zn、Ag 矿床成矿系列;2)与燕山期花岗岩有关的 U、Sn、W 矿床成矿系列;3)与中新世斑岩有关的斑岩 Cu、Mo 矿床成矿系列;4)与晚白垩世—古新世浅成低温热液有关的 Au、As 矿床成矿系列。进一步预测冈底斯东段寻找大型、特大型 U、Pb、Cu、Ag、Au 等矿床的潜力巨大。

结论:1)矿床成矿系列资源潜力的因素耦合方法可以在重点片区的预勘查阶段预测优势成矿系列资源潜力,为进一步的找矿勘探指出方向。2)冈底斯东段是一个矿床成矿系列密集分布的地区,可以预测出 4 个优势矿床成矿系列。3)预测西藏冈底斯东段寻找 U、Pb、Cu、Ag、Au 等大型、特大型矿床的潜力巨大。4)建议在圈出的靶区内投入足够的勘探工作量,以便迅速扩大资源储量。

#### 参考文献(References):

- [1] 陈毓川. 矿床成矿系列与成矿预测[A]. 见:陈毓川主编. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法[C]. 北京:地震出版社,1999. 19~25. Chen Yuchuan. Minerogenic series and minerogenic prognosis [A]. In: Chen Yuchuan ed., Theory and Methodology of Current Mineral Resource Exploration and Evaluation [C]. Beijing: Seismological Publishing House, 1999, 19~25 (in Chinese).
- [2] 翟裕生, 邓军, 李晓波. 区域成矿学[M]. 北京:地质出版社, 1999. Zai Yusheng, Deng Jun, Li Xiaobo. Metallogeny [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999 (in Chinese).
- [3] 任纪舜. 中国及邻区大地构造图(1:500万)及简要说明[M], 北京:地质出版社, 1997. Ren Jishun. Tectonic Map of China and Adjacent Regions (1:5 million) and A Guide of the Tectonic Map of China and Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997 (in Chinese).
- [4] 郑有业, 王宝生, 樊子璋, 等. 西藏冈底斯东段构造演化及铜金多金属成矿潜力分析[J]. 地质科技情报, 2002, 21(2):55~59. Zheng Youye, Wang Baosheng, Fan Zihui, et al. Tectonic evolution and potential of copper-gold-polymetallic mineralization [J]. Information of Geology and Science and Technology, 2002, 21(2):55~59 (in Chinese).
- [5] 任天祥, 伍宗华, 羌荣生. 区域化探异常筛选与查证的方法技术[M]. 北京:地质出版社, 1998.16~17. Ren Tianxiang, Wu Zonghua, Qiang Rongsheng. Methods and Techniques of Screening and Checking and Proving Regional Geochemical Anomalies[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988, 16~17 (in Chinese).
- [6] 张本仁. 地壳演化与成矿——以秦岭为例[A]. 见:陈毓川主编.

- 当代矿产资源勘查评价的理论与方法 [C]. 北京: 地震出版社, 1999.64-73.
- Zhang Benren. Crustal evolution and metallogeny: A case study of the Qinling Mountains. In: Chen Yuchuan ed., Theory and Methodology of Current Mineral Resource Exploration and Evaluation [C]. Beijing: Seismological Publishing House. 1999, 64~73 (in Chinese).
- [7] Sillitoe R. H. Giant and bonaza gold deposits in the epithermal environment: Assessment of potential genetic factors [A]. In: Whiting B H, Hodgson C J and Mason R eds., Giant Ore Deposits, SEG Spec. Pub [C]. Kingston: Queen's University, 1993, 125~126.
- [8] Xie Xuejin. The surficial geochemical expressions of giant ore deposits [A]. In: Whiting B H, Hodgson C J and Mason R eds., Giant Ore Deposits II[C]. Kingston: Queen's University, 1995, 479~492.
- [9] 谢学锦. 用新观念与新技术寻找巨型矿床[J]. 科学中国人, 1995, (5):14~16.
- Xie Xuejin. Using new concepts and new technique to look for giant mineral deposits [J]. Science Chinese, 1995, (5):14~16 (in Chinese).
- [10] 谢学锦, 向运川. 巨型矿床的地球化学预测方法[A]. 见: 谢学锦, 等主编. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1999.61~91.
- Xie Xuejin, Xiang Yunchuan. Geochemical prediction method of giant mineral deposits[A]. In: Xie Xuejin et al. eds., Towards 21st Century's Mineral Exploration Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999, 61~91 (in Chinese).
- [11] 谢学锦, 刘大文, 严光生. 地球化学块体——概念及方法学的发展[J], 中国地质, 2002, 29(3):225~233
- Xie Xuejin, Liu Dawen, Yan Guangsheng, et al. Geochemical blocks——Development of concept and methodology [J]. Geology in China, 2002, 29(3):225~233.
- [12] 宋叔和. 中国金属矿产资源图(1:5 000 000).北京: 地质出版社., 1992.
- Song Shuhe. Map of Metallic Mineral Resources in China (1:5000000). Beijing: Geological Publishing House, 1992 (in Chinese).

## Regional geochemical prediction of the minerogenic series in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet

SUN Zhong-jun<sup>1,2</sup>, REN Tian-xiang<sup>2</sup>, XIANG Yun-chuan<sup>3</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China

3. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The prediction of preponderant minerogenic series in the eastern section of the Gangdise Mountains, Tibet, is a key problem that needs to be solved currently. The authors studied the provenance characteristics and relations between geochemical targets and minerogenic series, revealed the geochemical constraints of mineralization scale and calculated factors coupling coefficients for predicting potential resources. It can be concluded that four different minerogenic series are concentrated in the eastern section of the Gangdise Mountains.

**Key words:** minerogenic series prediction; constraint; factors coupling coefficient; Gangdise Mountains