

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2014.03.024

# 岩屑测量在智利 Henan D 矿区地质 勘查中的应用

王明国<sup>1,2</sup>, 杨秀俊<sup>3</sup>

(1. 河南有色金属地质勘查总院, 郑州 450052;

2. 河南省有色金属深部找矿勘查技术研究重点实验室, 郑州 450052;

3. 华北地质勘查局地质研究所, 天津 300170)

**摘要:** 在智利北部地区的地质找矿工作中, 对安托法加斯塔 Henan D 矿区开展了岩屑粒度试验和1:10 000岩屑地球化学测量。粒度试验表明, 采集 B+C 层或 C 层-5~+40 目岩屑样品能较好的反映地质特征; 岩屑测量圈定了6处 Cu-Au-Ag 综合异常, 通过槽探和钻探异常查证, 发现了良好的找矿线索, 该区具有找到铁氧铜金型铜矿的潜力。工作表明, 在智利安托法加斯塔大区荒漠化景观区实施岩屑测量能够达到明确找矿目标、缩小找矿范围、确定找矿靶区的目的。

**关键词:** Henan D 矿区; 岩屑地球化学测量; 异常查证; 干旱荒漠区; 智利

**中图分类号:** P632.2 **文献标识码:** A

## 0 引言

智利地处东太平洋成矿带, 铜储量和年产量均居世界第一位。典型斑岩矿床如厄尔印第奥(El Indio)金银铜矿, 洛斯佩拉姆布雷斯(Los Pelambres)、厄尔佩尼翁(El Penon)金银矿, 帕斯卡(Pascua)金银矿等的地质勘查中, 岩屑测量对找矿靶区圈定发挥了重要作用<sup>[1-2]</sup>。2012年, 河南省有色金属地质勘查总院选择智利第二大区首府安托法加斯塔(Antofagasta)市东南约280 km, 距塔尔塔尔(Taltal)市东南约60 km 的 Henan D 矿区及其周围地区进行了岩屑加工粒度试验和1:10 000岩屑测量, 侧重对该区岩屑加工粒度分析和岩屑测量应用效果评价, 以期有助于智利北部的矿业勘查。

## 1 成矿地质背景

### 1.1 区域地质背景

矿区所处的智利海岸山脉成矿带由褶皱强烈的侏罗系和白垩系组成, 主要矿产有铜、钼、铅、锌、锰、金、铯、硒、碲等, 也是举世闻名的秘鲁—智利北部铁氧铜金型(IOCG)成矿带<sup>[3-4]</sup>。依据矿床形态、岩性和构造等特点, IOCG 型矿床分为脉状、热液角砾岩型、夕卡岩型、沿层交代层状和前几种类型的复合型<sup>[5]</sup>。矿区以脉型和沿层交代层状矿床为主。

### 1.2 矿区地质概述

矿区地处海岸山脉成矿带。区内岩浆活动频繁, 侏罗系—白垩系喷出岩—侵入岩发育, 以喷出岩为主。喷出岩主要为安山岩, 伴有绿泥石化、绿帘石化及碳酸盐化等蚀变; 侵入岩为花岗岩, 以不规则状分布于矿区东侧。第四系分布于沟谷低缓处, 为碎屑岩、蒸发岩等。

区内构造活动较强, 有1条SN向断裂, 破碎带宽700~1 800 m, 为阿塔卡玛断裂(Atacama Fault Zone, 简称AFZ)带的组成部分, 直接影响了矿区的岩浆活动和成矿。

矿区附近成型铜矿床(点)多处, 距离最近为

收稿日期: 2013-09-03; 改回日期: 2013-12-17; 责任编辑: 赵庆

基金项目: 基金项目: 中央地质风险勘查基金(编号: W-2012-21, W-2012-22)资助。

作者简介: 王明国(1983-), 男, 博士, 2010年毕业于中国科学院地球化学研究所, 主要从事勘查地球化学以及综合研究工作。通信地址: 河南省郑州市中原东路107号, 河南有色金属地质勘查总院; 邮政编码: 450052; E-mail: mingguowang@126.com

Tai 铜矿。Tai 铜矿自 2009 年初开始开采,月采矿石约 1 000 t。Tai 铜矿产于安山岩内 SN 向韧性剪切带内,构造控矿特点明显,矿体呈脉状,近直立,矿脉厚 2~12 m, $w(\text{Cu})=1.0\%\sim 5.5\%$ ,矿体延伸及品位稳定。采坑自 Henan D 矿区南 800 m 处向南延伸 $>2$  km,采深 30~80 m,目前开采的均为矿体的氧化带矿石。铜矿化主要为孔雀石化,呈浸染状分布,局部沿裂隙面展布。Tai 矿区周围地势平坦,仅地势低洼处被第四系覆盖,中部及东部为安山岩,西侧有花岗岩出露。

1.3 景观地球化学特征

矿区属智利海岸山脉系,山势平缓,海拔 735~895 m,一般相对高差 50 m。气候极度干旱,是世界上最干旱的地区之一。1 月平均气温为 20℃,7 月约 10℃,全年降雨量 $<10$  mm,为荒漠景观,无植物,无地表水。土壤不发育,A 层缺失,局部 B 层也缺失;B 层主要为风成砂和粉砂土,厚 0~30 cm,颜色以灰白和黄褐色为主;C 层为风化岩屑层,比较发育。矿区盛风向为西北风和北风,风蚀和风力搬运作用强烈,地表松散堆积物中风成砂普遍,不宜开展土壤地球化学测量,而进行岩屑地球化学测量可以避免风成砂的干扰。

2 样品粒度试验

选择矿区南约 1.2 km 的 Tai 铜矿进行岩屑加工粒度试验。该矿区土壤剖面分为 B、C 两层。B 层土壤以砂土、砂黏土为主,呈灰黄色、黄褐色,厚 5~25 cm;C 层为土壤的母质层,颜色为褐色、灰色等,由风化的岩石组成。区内采集土壤样重量折合 1 kg 后, $>-4$  目的占 7~125 g, $-4$  目 $\sim +20$  目占 18~139 g, $-20\sim +40$  目占 47~160 g, $<-40$  目占 591~850 g。

按 40 m 点距,采集 B 层或 B+C 层土壤或岩屑样品,样品干燥后截取 $-5\sim +20$  目、 $-20\sim +40$  目、 $-40$  目等 3 种粒级段样品共 13 组,各样过筛后重约 100 g。矿体在点 D7—D8 之间。3 种粒级样品的分析结果表明(表 1,图 1),各粒级中铜含量的变化与地质情况吻合较好,异常清晰明显。但粒度越大,Cu 的标准偏差和变化系数越大,而 $-5\sim +20$  目、 $-20\sim +40$  目间变化相对较小。为避免风成砂干扰,突出找矿成效,确定地球化学测量采集 B+C 层或 C 层 $-5\sim +40$  目岩屑样品。

表 1 Tai 铜矿不同粒级岩屑中 Cu 元素参数

Table 1 Copper parameters for various debris sizes in Tai mine

| 粒级/目            | 最小值  | 最大值  | 平均值 | 偏差   |
|-----------------|------|------|-----|------|
| $-5\sim +20$ 目  | 30   | 4737 | 514 | 1324 |
| $-20\sim +40$ 目 | 42   | 3137 | 432 | 946  |
| $-40$ 目         | 43.6 | 1784 | 320 | 609  |

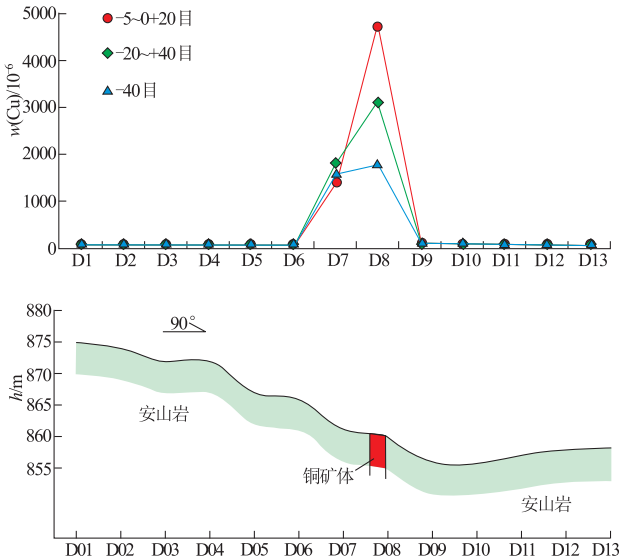


图 1 Tai 铜矿不同粒级岩屑中的铜含量

Fig. 1 Copper content of various debris sizes in Tai mine

3 岩屑地球化学测量结果与分析

3.1 岩屑地球化学测量方法

矿区矿化、蚀变和构造呈南北向,确定测线方向为 90°,网度为 100 m $\times$ 40 m。采集 $-5\sim +40$  目岩屑样品,在点位 10 m 范围内采集 3~5 处滞留或残破在基岩表面的岩屑组合成样,分析测试 Cu, Au, Ag, Mo, Pb, Zn, As, Sb, W, Co, Ni, Mn 等元素。

3.2 矿区主要元素地球化学特征

矿区主要元素地球化学参数特征见表 2。各元素的变化系数  $C_v$  均 $<0.5$ ,表明这些元素在测区内分布较均匀,但 Cu 元素含量明显高于地壳中元素丰度,具有成矿的前提。

通过矿区各元素数据 R 型聚类分析(图 2),依据不同元素间的距离,可将元素分为 3 类。第一类,以 Ni, Co, Mn, Zn 为代表的中温热液元素;第二类,以 Cu, Ag, Mo 为代表的中高温热液元素;第三类,

表 2 矿区主元素主要地球化学参数特征

Table 2 Characteristics of major elements geochemical parameters of the mine area

| 元素 | 最高值   | 平均值<br>$\bar{x}$ | 标准离差<br>$s$ | 变化系数<br>$C_v$ | 地壳元素<br>丰度 |
|----|-------|------------------|-------------|---------------|------------|
| Cu | 479.4 | 40.7             | 9.7         | 0.24          | 25         |
| Au | 22.41 | 0.8              | 0.33        | 0.41          | 1.8        |
| Ag | 0.42  | 0.042            | 0.0087      | 0.21          | 0.05       |
| Mo | 6.53  | 1.01             | 0.23        | 0.23          | 1.5        |

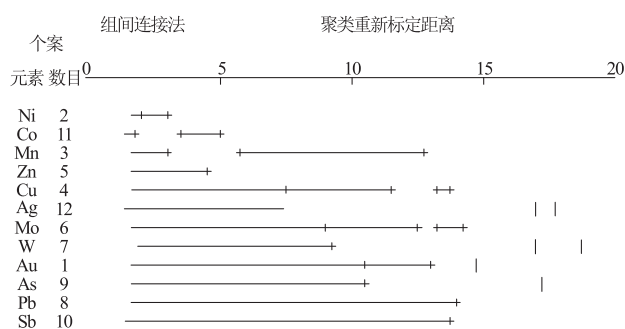


图 2 R 型聚类分析谱系图

Fig. 2 The tree plot of R-cluster analysis

以 Au, As, Sb 为代表的低温元素组合,而 Pb 为中温元素, W 为高温元素, R 型聚类分析结果却将二者归为第三类,推测为该区热液活动的多期性造成性质差异较大的元素叠加。

### 3.3 岩屑地球化学测量应用效果

通过对矿区土壤地球化学测量,发现综合异常 6 处(图 3,表 3)。以 Cu 为主的异常有 4 处,分别为 TD-3, TD-4, TD-5, TD-6;以 Au 为主的异常有 1 处,为 TD-2;以 Pb 为主的异常 1 处,为 TD-1。

矿区 Cu-Au 异常规模大。Ag, Pb, Zn 等中低温元素异常分布于 Cu(Au, Mo)异常外围,局部具有水平分带特征: Cu-Au(Mo)处于内带, Zn-Pb-Ag 处于外带。异常分布特征较好的为 TD-2 和 TD-3 异常, Cu-Au 异常外围呈卫星状分布着 Ag, Mo, Pb, Zn 等异常。

综合异常评序依据异常规模、元素组合、成矿元素背景、岩浆岩、矿化及构造等反映地球化学信息和成矿地质的指标,赋权求和排序(表 3)。岩屑测量前仅 TD-4 异常区内发现孔雀石化, TD-2, TD-3, TD-5 经异常查证新发现铜矿化。TD-2 和 TD-3 为铜矿化引起的异常, TD-4 和 TD-5 区内矿化微弱,异常主要为绿泥石化绿帘石化蚀变引起, TD-1 异常由花岗岩体引起, TD-6 异常原因不明。结合岩屑地球化学测量成果及 Tai 铜矿特征,对 TD-2 和 TD-3 异常进行

表 3 矿区综合异常评序

Table 3 Sorting of the integrated anomalies in census district

| 异常号  | 元素组合-规模表达式                                                                                                                | 评序值   | 评序 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|
| TD-1 | $Pb^{0.129}-W^{0.116}-Ni^{0.057}-Mo^{0.056}-Cu^{0.048}-Ag^{0.034}-Co^{0.029}-Sb^{0.018}$                                  | 32.44 | 4  |
| TD-2 | $Au^{1.319}-Cu^{0.757}-As^{0.355}-Co^{0.255}-Sb^{0.253}-Ni^{0.130}-Mo^{0.077}-Ag^{0.068}-Mn^{0.062}-W^{0.047}-Pb^{0.017}$ | 54.33 | 1  |
| TD-3 | $Cu^{0.313}-Ag^{0.180}-Au^{0.174}-Co^{0.158}-Sb^{0.087}-As^{0.03}-Ni^{0.027}-Pb^{0.023}-Mn^{0.018}$                       | 45.09 | 2  |
| TD-4 | $Cu^{0.111}-Ag^{0.091}-Au^{0.039}-Pb^{0.010}-W^{0.009}$                                                                   | 29.74 | 5  |
| TD-5 | $Cu^{0.404}-Mo^{0.111}-Ag^{0.081}-Ni^{0.081}-Au^{0.046}-Pb^{0.030}-Sb^{0.021}-Co^{0.021}$                                 | 35.70 | 3  |
| TD-6 | $Cu^{0.457}-Mo^{0.149}-W^{0.103}-Au^{0.070}-Co^{0.065}-Sb^{0.035}$                                                        | 27.96 | 6  |

重点查证和评价。

#### 3.3.1 TD-2 异常

TD-2 异常元素组合以 Au, Cu 为主,伴生 As, Co, Sb, Ni, Mo, Pb, Ag, Mn, W 等。Cu 异常面状展布,浓度中心和分带明显,面积  $0.56 \text{ km}^2$ ,异常最高值  $w(\text{Cu}) = 379.4 \times 10^{-6}$ ,均值  $64.9 \times 10^{-6}$ 。伴生 Au 异常强度高,异常最高值  $w(\text{Au}) = 22.4 \times 10^{-9}$ ,均值  $3.55 \times 10^{-9}$ ,出露面积  $0.56 \text{ km}^2$ 。异常显示出 Mo, W 处于内带, Cu, Au 处于中带, Ag, Pb, Co, Ni 等处于外带的斑岩铜矿水平分带特征<sup>[1-2,6]</sup>,存在深部为斑岩型铜矿的可能。Cu-Au 异常主要出露于岩性以绿泥石化安山岩为主的侏罗系中,异常由该地层或者赋存于其中的铜矿体引起。

经槽探和钻探工程揭露,发现宽  $2 \sim 13 \text{ m}$  的孔雀石化蚀变带,蚀变带长  $> 650 \text{ m}$ ,走向 NNE,矿体近直立,控制深度  $70 \text{ m}$ 。矿化带围岩为绿泥石化安山岩。铜矿化主要为孔雀石化,沿裂隙面展布,局部呈星点状,受多组 SN 向节理控制,伴生有绿帘石化、褐铁矿化、硅化和碳酸盐化。矿石  $w(\text{Cu}) = 0.08\% \sim 2.36\%$ ,局部伴生  $w(\text{Ag}) = 2.0 \times 10^{-6} \sim 9.0 \times 10^{-6}$ 。铜矿体及周围伴有强烈的绿泥石化、绿帘石化等。矿体位于异常区的中东部,地势稍高,由重力作用向西搬运,促进异常形成。结合钻孔见矿情况和矿区南侧 Tai 铜矿的矿体特征,该矿体为脉状。矿液沿断裂上侵,向两侧充填,并形成矿体。

该异常中有与控制 Tai 铜矿相同的断裂通过,断裂两侧有较好的 Cu-Au 异常显示。结合异常查证成果,该区域的勘查重点区域为绿泥石化安山岩为主的断裂带中存在较好的主成矿元素异常的区域。

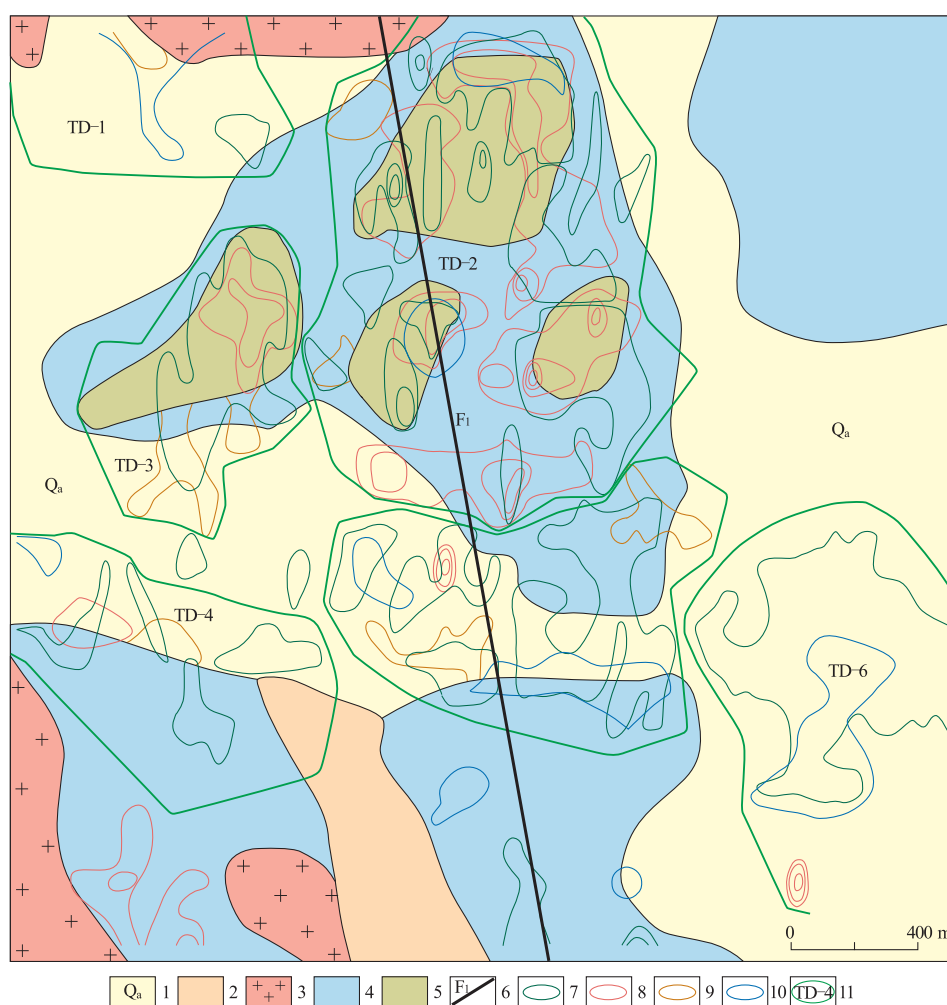


图 3 矿区 Cu, Au, Ag, Mo 综合异常分布

Fig. 3 Integrated (Cu, Au, Ag, Mo) anomaly distribution map of the mine area

1. 砂砾、泥砂; 2. 砾岩、砂岩和粉砂岩; 3. 花岗岩; 4. 安山岩; 5. 绿泥石化安山岩;  
6. 断裂及编号; 7. Cu 异常; 8. Au 异常; 9. Ag 异常; 10. Mo 异常; 11. 异常区及编号

### 3.3.2 TD-3 异常

TD-3 异常元素组合以 Cu-Ag 为主, 伴生 Au, Co, Sb, As, Ni, Pb, Mn 等。Cu 异常面积大, 浓度中心明显, 分带不明显, 面积  $0.187 \text{ km}^2$ , 异常最高  $w(\text{Cu}) = 348 \times 10^{-6}$ , 均值  $80.1 \times 10^{-6}$ 。该异常区伴生 Ag 异常强度高, Ag 异常最高值  $w(\text{Ag}) = 0.22 \times 10^{-6}$ , 均值  $0.077 \times 10^{-6}$ , 面积  $0.18 \text{ km}^2$ 。该异常具有 Cu, Au 处于中带, Ag, Pb, Co, Ni 处于外带的特征。Cu 异常主要出现在以绿泥石化安山岩为主体的侏罗系中。

经槽探和钻探工程揭露, 发现宽  $1.2 \sim 6.5 \text{ m}$  的铜矿脉, 矿脉长  $>180 \text{ m}$ , 走向 NNE, 近直立, 控制深度  $80 \text{ m}$ 。蚀变带宽  $150 \sim 450 \text{ m}$ , 围岩为安山岩。铜矿化以孔雀石化为主, 沿裂隙面或浸染状分布。蚀

变带内多组节理发育, 岩石较破碎。矿化主要沿近 SN 向节理充填, 伴有强烈绿泥石化、绿帘石化和局部弱硅化。矿石中  $w(\text{Cu}) = 0.20\% \sim 1.66\%$ , 局部伴生  $w(\text{Ag}) = 1.2 \times 10^{-6}$ 。铜矿脉周围伴有强烈的绿泥石化和绿帘石化。矿体位于综合异常的中部, 为山脊位置, 向坡底形成异常, 矿体构造控制作用明显。

与 TD-2 相似, 矿体伴生银, 须重视银矿的勘查。根据周围矿区尤其是 Tai 铜矿的特征, 矿区矿床类型应为铁氧铜金型 (IOCG) 矿床<sup>[5,7]</sup>。

## 4 结论

(1) 依据岩屑加工粒度结果, 智利安托法加斯塔大区东南部采集 B+C 层或 C 层-5~+40 目岩屑样品能够较好地反映地质特征。

地反映地质特征。

(2) 通过岩屑地球化学测量, 矿区存在较好的 Cu-Au-Ag 异常, 且局部地段异常水平分带特征明显。通过异常查证, 已发现良好的找矿线索。

(3) 该区域的勘查重点为绿泥石化安山岩中的断裂带附近主成矿元素异常较好的区域。

(4) 岩屑地球化学测量结果表明, 在智利北部荒漠化景观中进行岩屑地球化学测量能够达到明确找矿目标、缩小找矿范围、确定找矿靶区的目的。

## 参考文献:

- [1] 施俊法, 姚华军, 李友枝, 等. 信息找矿战略与勘查百例[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [2] 胡树起, 马生明, 刘崇民. 斑岩型铜矿勘查地球化学研究现状

- 及进展[J]. 物探与化探, 2011, 35(4): 431-437.
- [3] Camus F. Geología de los sistemas porfiricos en los Andes de Chile[M]. Corporacion Nacional de Cobre de Chile, Servicio-Nacional de Geología Y Mineria, Sociedad geología de Chile. 2003.
- [4] Tornos F, Velasco F, Barra F, et al. The Tropezón Cu - Mo - (Au) deposit, Northern Chile: the missing link between IOCG and porphyry copper systems[J]. Mineralium Deposita, 2010, 45(4): 313-321.
- [5] 毛景文, 余金杰, 袁顺达, 等. 铁氧化物-铜-金 (IOCG) 型矿床: 基本特征、研究现状与找矿勘查[J]. 矿床地质, 2008, 27(3): 267-278.
- [6] 施俊法, 唐金荣, 周平, 等. 世界找矿模型与矿产勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
- [7] 聂凤军, 江思宏, 路彦明. 氧化铁型铜-金 (IOCG) 矿床的地质特征、成因机理与找矿模型[J]. 中国地质, 2008, 35(6): 1074-1087.

## The application of debris geochemical survey in Henan D ore district, Chile

WANG Mingguo<sup>1,2</sup>, YANG Xiujun<sup>3</sup>

(1. Henan Nonferrous Metal Geological Exploration Institute, Zhengzhou 450052, China;

2. Key Laboratory of Deep Ore-prospecting Technology Research for Non-ferrous Metal  
of Henan Province, Zhengzhou 450052, China;

3. Geological Institute of Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin, 300170, China)

**Abstract:** During prospecting in north Chile debris size fraction sampling and geochemical survey at scale 1:10000 were conducted in Henan D mine area. Result of debris size fraction shows that debris samples (-5~+40 mesh) from layer B+C or C can better reflect geological feature of the working area. According result of the debris sampling 6 anomalies (Cu-Au-Ag) were delineated and drilling and trenching at the anomalies show good clues for prospecting potential Fe oxide-Cu-Au type ore deposit. Debris size fraction sampling can clarify goals and reduce prospecting extent and delineate targets fast at Antofagasta desert landscape of northern Chile.

**Key Words:** Henan D area; debris geochemical survey; anomaly check; dry desert; Chile