

刘洪, 黄瀚霄, 李光明, 等. 因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1126–1136.

Liu Hong, Huang Hanxiao, Li Guangming, et al. Factor analysis in geochemical survey of the Shangxu gold deposit, northern Tibet[J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 1126–1136(in Chinese with English abstract).

因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用

刘 洪¹ 黄瀚霄¹ 李光明¹ 肖万峰² 张智林³ 刘 波¹ 马东方¹ 董 磊¹ 马 东¹

(1. 中国地质调查局 成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450007; 3. 西藏自治区地质矿产勘查开发局 第五地质大队, 青海 格尔木 816000)

摘要: 西藏双湖县商旭金矿床位于班公湖—怒江成矿带中部, 矿体受 NWW 向断裂构造控制, 呈脉状、透镜状产出, 赋矿围岩为木噶岗日群炭质板岩及变质砂岩, 矿石矿物为自然金, 矿石类型主要为石英脉型与绢英岩型, 为一典型的造山型金矿床。在对矿床地质特征、成矿条件分析的基础上, 利用矿区岩屑地球化学数据, 运用因子分析等多元统计方法, 研究矿区地球化学元素组合, 共划分出 Cu–Pb–Zn 元素组合分区、Au–Ag 元素组合分区、As–Sb 元素组合分区以及 W–Mo–Bi 元素组合分区等 4 个地球化学分区, 绘制了因子得分等值线图, 并在此基础上探讨找矿方向。结合矿区地质特征认为, Au、Ag 元素组合和 As、Sb 组合为商旭金矿床的最佳地球化学标志元素, 下一步地质工作重点应放在 II₁ 号、III₁ 号矿体深部及周围, 同时可布置适当的工程在 III 号矿段西部 A 预测区, 以追索 III₁ 系列矿体向西的延伸。

关 键 词: 西藏; 班公湖—怒江; 商旭; 因子分析; 找矿方向

中图分类号: P624; P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–3657(2015)04–1126–11

Factor analysis in geochemical survey of the Shangxu gold deposit, northern Tibet

LIU Hong¹, HUANG Han-xiao¹, LI Guang-ming¹, XIAO Wan-feng²,
ZHANG Zhi-lin³, LIU Bo¹, MA Dong-fang¹, DONG Lei¹, MA Dong¹

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450007, Henan, China; 3. No. 5 Geological Party of Tibet Geological Exploration Bureau, Golmud 816000, Qinghai, China)

Abstract: The Shangxu gold deposit, an orogenic gold deposit in the middle part of Bangong Co–Nujiang metallogenic polymetallic belt, is located in Shuanghu County of Tibet. Orebodies occur as veins and lens controlled by the NEE fractures, and the host rocks are carbonaceous slate and metasandstone belonging to the Mugangangri Group; quartz vein type ore and altered rock type ore coexist, with distinctive alteration. Based on an analysis of previous research results of geological features and metallogenic conditions, the authors analyzed the debris samples in the Shangxu gold ore district by using factor analysis method, and drew a

收稿日期: 2014–07–24; 改回日期: 2014–11–08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 项目)(2011CB403100)、中国地质调查局地质大调查项目(12120114041501、1212011086074)和中国地质调查局成都地质调查中心青年学科基金([所控基]2014–03)联合资助。

作者简介: 刘洪, 男, 1987 年生, 硕士, 助理工程师, 主要从事矿床学、矿产勘查研究; E-mail: cugliu@foxmail.com。

通讯作者: 李光明, 男, 1965 年生, 研究员, 主要从事矿床学、矿产勘查研究; E-mail: cdguangming@cgs.gov.cn。

geochemical subdivision map and a factor score map. Four geochemical subdivisions were recognized, i.e., Cu-Pb-Zn subdivision, Au-Ag subdivision, As-Sb subdivision, and W-Mo-Bi subdivision. Combined with field geological work, the authors hold that Au-Ag, and As-Sb are the optimum element combinations for prospecting prediction. In future work, orebody II₁ and orebody III₁, as well as their surroundings should be regarded as the preferred exploration areas. Meanwhile, predicting area A located in the north of No. III ore section is also recommended with the purpose of finding III₁ type orebodies which extend westward.

Key words: Tibet; Bangong Co-Nujiang; Shangxu; factor analysis; prospecting potential

About the first author: LIU Hong, male, born in 1987, assistant engineer, majors in mineral deposits and mineral exploration, E-mail: cugliu@foxmail.com.

About the corresponding author: LI Guang-ming, male, born in 1965, senior researcher, engages in the study of mineral deposits and mineral exploration; E-mail: cdguangming@cgs.gov.cn.

1 引言

班公湖—怒江成矿带为一条呈近EW向展布于青藏高原中部的多金属成矿带,为青藏高原地质研究的热点地区(图1-a)^[1-7],在该成矿带中已发现有多不杂^[8-10]、波龙^[11-12]、那若^[13]、铁格隆南^[14]、达查^[15]、尕尔穷^[16]、嘎拉勒^[17]、天宫尼勒^[18]、商旭^[19]、拉嘎、赤勒等一系列(铜)金矿床(点)(图1)。然而,以往的地质工作主要集中在班公湖—怒江成矿带西段^[20,21],由于交通、气候等原因,独立岩金矿的评价工作在班公湖—怒江成矿带中段进展较为滞后,呈满天星星(砂金),不见月亮(成规模的独立岩金)的现状。因此商旭金矿床的研究和勘查,对班公湖—怒江成矿带中段金矿的研究和调查评价具有重要的意义。

商旭金矿床位于西藏自治区那曲地区双湖县措折罗玛镇境内,达则错湖东北侧,西距尼玛县城50 km,北距双湖县城180 km(图1)。近几年中国地质调查局成都地质调查中心对该矿床开展综合研究和资源评价,取得了重要的进展。前人^[19,22]通过地质勘查、矿床学及成矿流体^①的研究发现,商旭金矿床在矿物共生组合、蚀变类型、构造类型等方面与典型的造山型金矿床相似,并认为该矿床成因类型为造山型金矿床^[19]。本文利用矿区地表4 724件1:1万岩屑地球化学测量数据,运用因子分析等多元统计方法,研究矿区地球化学元素组合及地球化学分区,探讨找矿潜力和方向,为班公湖—怒江成矿带中段的岩金勘查及研究工作添砖添瓦。

2 原理与方法

运用因子分析等多元统计方法处理化探数据,

可以将纷繁复杂的各种化探元素合理的压缩为几个主要“因子”(元素组合)^[23],为地质找矿提供有用的信息。化探数据的因子分析有两个核心问题:一是构造因子变量,即确定地球化学元素组合;二是计算样品对每个因子变量的得分,并划分样品类型,确定子区位置和边界,实现地球化学分区,并给以合理的地质解释^[24]。合理的构造因子变量并确定元素组合类型是获得可靠地质地球化学信息的必然条件^[25],本文采用主成分分析法确定因子变量:通过计算因子载荷矩阵,得到若干个原有变量的主成分,然后选取前面几个方差贡献率最大的主成分(以累计方差贡献率大于80%的原则确定)构造因子变量,之后,为使提取的公共因子更具代表性和可解释性,需要再对初始因子载荷矩阵进行方差最大化法旋转,并结合工作区实际地质特征,合理地划分出元素组合类型。传统的化探工作多以找矿为目的,更多的强调异常划分、解释与评价,而对背景的讨论较少,甚至对背景样品弃之不用,导致地球化学背景信息丢失,致使地球化学资料得不到充分利用。而利用因子分析计算出来的每个样品的因子得分,可以研究某种地质作用(元素组合类型)的空间分布特征^[26],并实现地球化学分区,从而在整体上寻求其地质地球化学特征和规律^[25]。

3 地球化学分析

3.1 地质概况

班公湖—怒江缝合带中段及周缘地区历过多期次的构造运动,形成了一系列不同尺度且大致平行的近EW向(NWW向)构造(图1-b, c),控制了该地区铜、金等多矿床(点)的分布。区域性断裂带由

①中国地质调查局成都地质调查中心. 西藏尼玛县商旭—达查地区金矿调查评价报告. 2014.

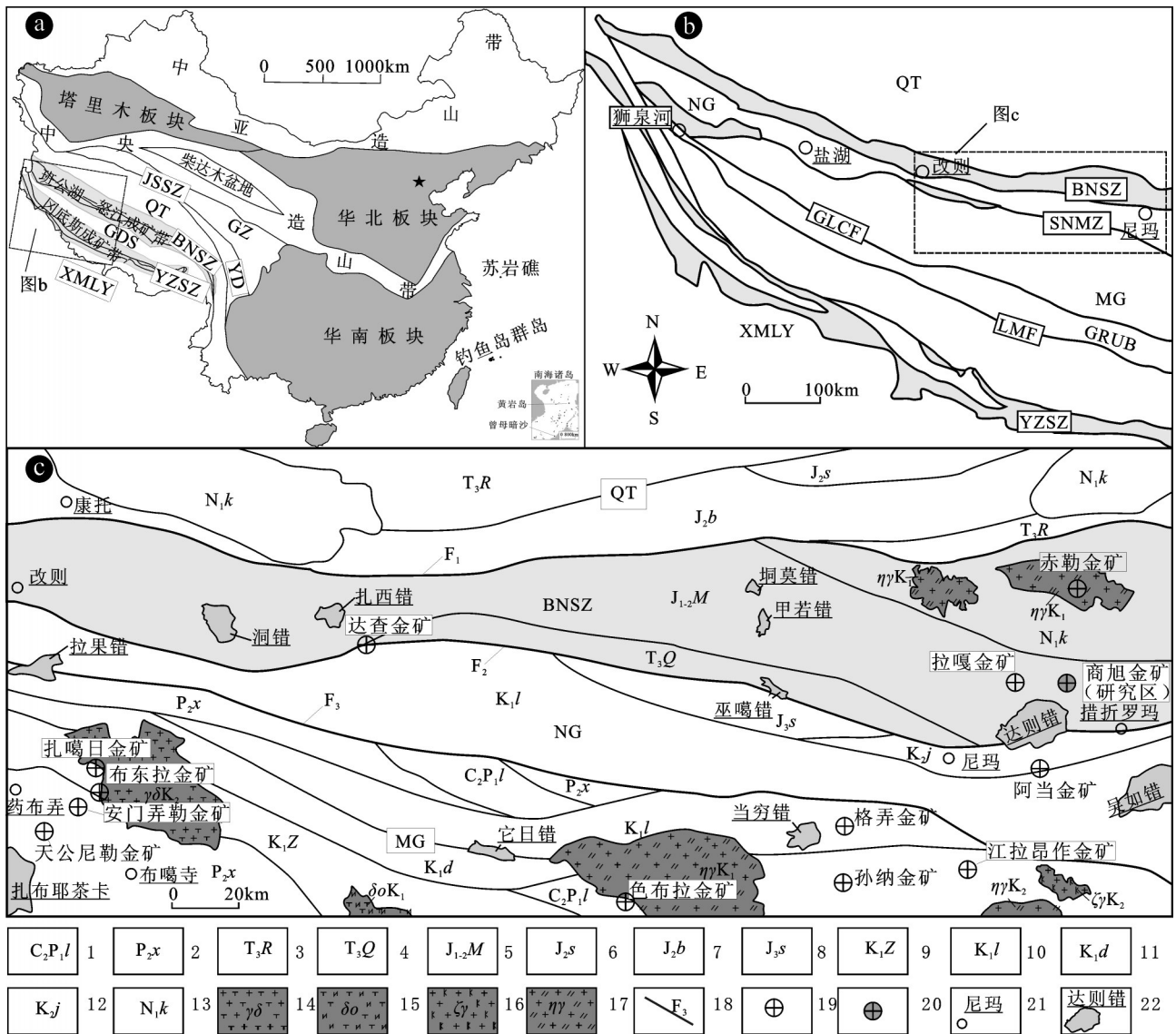


图1 班公湖—怒江成矿带中段地质简图

1—康托组; 2—竟柱山组; 3—多尼组; 4—郎山组; 5—则弄群; 6—沙木罗组; 7—布曲组; 8—色哇组; 9—木噶岗日群; 10—确哈拉群; 11—日干配错群; 12—下拉组; 13—拉嘎组; 14—花岗闪长岩; 15—石英闪长岩; 16—正长花岗岩; 17—二长花岗岩; 18—主断裂; 19—金矿床(点); 20—商旭金矿位置; 21—地名; 22—湖泊; F₁—班公湖—康托—安多断裂; F₂—改则—尼玛—丁青断裂; F₃—申扎—嘉黎断裂; JSSZ—金沙江缝合带; BNSZ—班公湖—怒江缝合带; YZSZ—雅鲁藏布缝合带; GZ—甘孜—松潘地块; YD—义敦岛弧; QT—羌塘—三江地块; GDS—冈底斯地块; XMLY—喜马拉雅地块; SNMZ—狮泉河—纳木错蛇绿混杂岩带; GLCF—噶尔—隆格尔—措麦断裂带; LMF—洛巴堆—米拉山断裂带; NG—北冈底斯; MG—中冈底斯; GRUB—冈底斯弧背断隆带; SG—南冈底斯

Fig.1 Geological sketch map of the middle part in the Bangong Co-Nujiang metallogenic belt

1 - Cantor Formation; 2 - Jingzhushan Formation 3 - Duoni Formation; 4 - Langshan Formation; 5 - Zenong Group; 6 - Shamuluo Formation; 7 - Buqu Formation; 8 - Sewa Formation; 9 - Mugangangri Group; 10 - Quehala Group; 11 - Riganpeico Group; 12 - Xiala Formation; 13 - Laga Formation; 14 - Granodiorite; 15 - Quartz diorite; 16 - Syenogranite; 17 - Monzonitic granite; 18 - Main faults; 19 - Gold deposit; 20 - Shangxu gold deposit; 21 - Community; 22 - Lake; F₁ - Bangong Co - Cantor - Amdo fracture zone; F₂ - Gerze - Nyima - Dingqing fracture zone; F₃ - Xainza - Jiali fracture zone; JSSZ - Jinsha River suture zone; BNSZ - Bangong Co - Nujiang River suture zone; YZSZ - Yarlung Zangbo River suture zone; GZ - Garze - suture zone; YD - Yidun arc; QT - Qiangtang blok; GDS - Gangdise block; XMLY - Himalaya blok; SNMZ - Shiquan River - Nam Co ophiolite zone; GLC - Gar - Lunggar - Comai fracture zone; LMF - Luobadui - Mira Mountain fracture zone; NG - North Gangdise block; MG - Middle Gangdise block; GRUB - Gangdise Sag - Uplift zone; SG - South Gangdise block

北到南依次为:班公湖—康托—安多断裂(图1-c, F1)、改则—尼玛—丁青断裂(图1-c, F₂)、狮泉河—永珠—纳木错断裂(图1-c, F₃), 将本区的构造单元由北到南分为:羌塘地块(QT)、班公湖—怒江缝合带(BNSZ)、北冈底斯地块(NG)、中冈底斯地块(MG)等几个重要的地质单元^[27-31]。区域内岩浆活动以早白垩世酸性侵入岩为主, 出露面积较小, 主要分布于东北部的赤勒地区、西南部的安门弄勒、和南部的色不拉地区(图1-c)。区域上主要出露中生代地层, 其中中—下侏罗统木嘎岗日群(J₁₋₂M)为一套浅变质复理石建造, 地层中集中了较丰富的Au、Ag、Cu、As、Sb等元素^[21, 32], 在木嘎岗日群中, 已发现商旭、拉嘎、达查^[33]等多处岩金矿床(点)(图1-c), 同时该地层中遍布砂金矿点, 显示出良好的金找矿潜力。

矿区地层由木嘎岗日群的变石英砂岩、炭质板岩组成, 并呈互层产出, 地层产状总体呈NWW向展布。控矿断裂主要表现为NWW向, 为班公湖—怒江缝合带的次级构造。断裂内岩石碎裂程度较高, 破裂面密集, 显示出具有多期次活动的特征。矿区

内含硫化物、铁方解石石英脉发育, 受NWW向构造的控制, 多赋存于断层破碎带中, 少部分分布于其旁侧。目前, 已评价金矿体4条(I₁、II₁、III₁、III₂矿体), 其中I₁矿体和III₁矿体为主要矿体, 分别位于NWW向的F₁₀₁和F₃₀₁断裂中, 在形态上呈脉状、透镜状, 具有不同程度的膨缩、分枝、复合和产状波动变化特征(图2, 图3)。矿区内围岩蚀变总体微弱, 矿化中心为硅化和绢云母化, 向外依次为碳酸岩化和绿泥石化。根据蚀变特征, 将矿石类型分为石英脉型和蚀变岩型2类, 石英脉型金矿石为含硫化物石英脉, 蚀变岩型金矿石是强烈黄铁矿绢英岩化蚀变的构造岩。矿石构造则以浸染状、斑点状及网脉状为主。金属矿物含量较少, 主要由自然金、方铅矿, 以及少量的黄铁矿、磁铁矿、闪锌矿; 非金属矿物主要有石英、绢云母、绿泥石及方解石等。石英呈乳白色、烟灰色, 细粒至中粒结构、碎裂结构, 块状构造。金以自然金的形式存在, 主要赋存于石英颗粒间、裂隙间; 其次赋存于黄铁矿粒间、裂隙间; 同时黄铁矿等硫化物中还存在显微包体金^①。

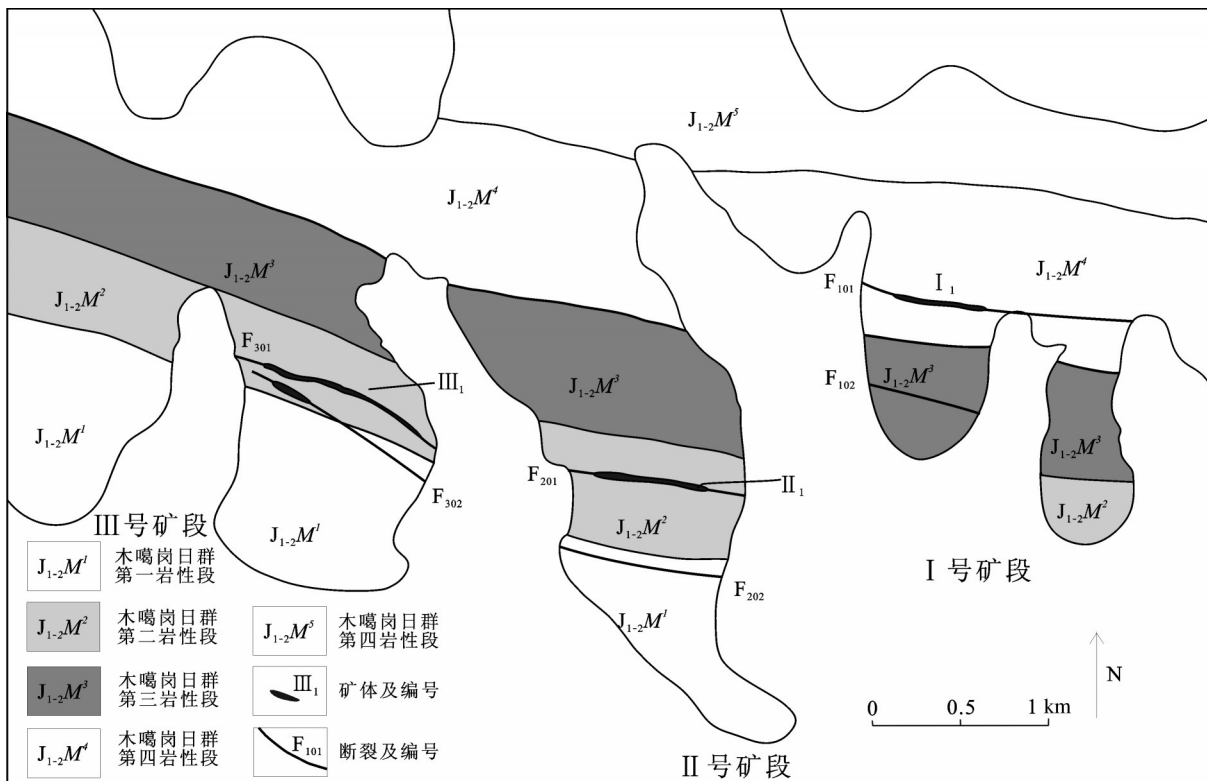


图2 商旭金矿矿区地质简图

Fig.2 Simplified geological map of the Shangxu gold ore district

①中国地质调查局成都地质调查中心. 西藏尼玛县商旭—达查地区金矿调查评价报告. 2014.

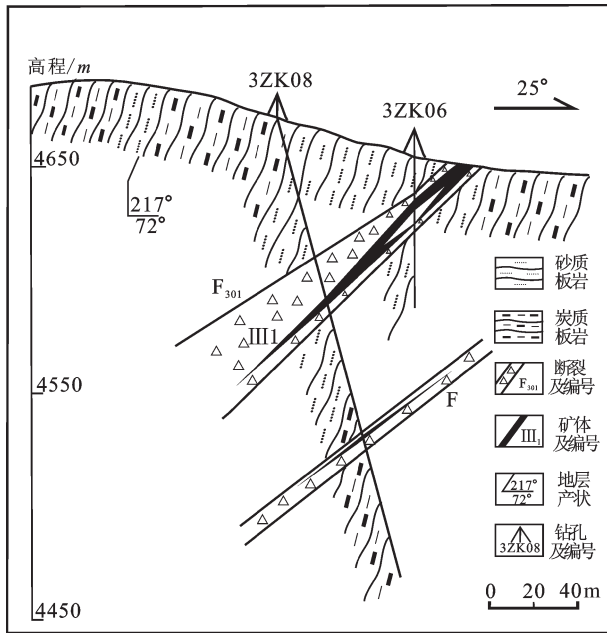


图3 商旭金矿Ⅲ。勘探线剖面图(据文献[19]修改)
Fig.3 Ⅲ。cross section of the Shangxu gold deposit (after reference [19])

3.2 采样情况

研究区位于藏北腹地,基本无植被覆盖,山体风化程度高,风化、半风化的基岩裸露较多,沟谷中存在大量沙金开采遗迹。为避免沟谷水系和砂金的干扰,提高找矿效果,经研究^①认为,在该研究区开展岩屑地球化学测量是较为有效的化探测量方法,采样位置避开第四系布置在山体中。在全区及外围32.2 km²内,按1:1万地球化学勘查的规定,布置线距为100 m,点距为40 m,采样粒度为0.9~4.75 mm,采样层位为C层(母质层),样坑深度40 cm以下。共采集4 724个样品,分析了包括Au、Ag、

表1 Bartlett球度校验和KMO校验分析
Table 1 Bartlett and KMO's Test

校验分析		值
Bartlett 球度校验	卡方检验值	21 164.8
	自由度	45
	概率	0.000
KMO 值		0.771 346

As、Sb、Cu、Pb、Zn、W、Mo、Bi共10个元素。

3.3 元素组合分析

因子分析的前提条件是:用于分析的数据通过Bartlett球度检验和KMO检验。Bartlett球度检验用于检验相关矩阵是否是单位阵,即各变量是否各自独立,若概率值小于给定的显著性水平 α (通常赋值为0.05),认为原有变量适合因子分析;Kaiser给出了常用的KMO度量标准,即0.9以上代表非常适合,0.6~0.8代表适合,小于0.6代表不适合。在本文数据的Bartlett球度校验和KMO校验分析表(表1)中,KMO值为0.771,通过了KMO检验;Bartlett球度检验统计值为21164.8,在自由度为45的条件下在0.000水平上达到显著,概率值为0.000(小于显著性水平 $\alpha=0.05$),通过了Bartlett球度检验。综上分析,本文数据满足因子分析的要求。

因子分析的关键是求出相关系数矩阵的特征值,合理提取因子变量。以累计方差贡献率>80%为标准进行因子提取,可选取5个主因子,这5个主因子共贡献了原有10个变量总方差的81.578%,且旋转前后总的累计贡献率(即总的信息量)没有发生变化,表明信息提取较好,提取前5个因子比较合理。因子分析的主要目的是将具有相近因子载荷的各

表2 工作区R型因子分析特征值和累计方差贡献率

Table 2 Characteristic roots and total variance explanation of R-factor analysis in the study area

因子	初始特征值			旋转后的因子载荷		
	总体	方差贡献率/%	累计贡献率/%	总体	方差贡献率/%	累计贡献率/%
F1	4.259	42.588	42.588	2.273	22.726	22.726
F2	1.358	13.583	56.171	1.532	15.325	38.051
F3	1.036	10.355	66.527	1.530	15.296	53.347
F4	0.808	8.082	74.609	1.513	15.132	68.479
F5	0.697	6.969	81.578	1.310	13.099	81.578

①中国地质调查局成都地质调查中心. 西藏尼玛县商旭—达查地区金矿调查评价报告. 2014.

表3 商旭金矿区R型因子分析正交旋转因子载荷矩阵
Table 3 Orthometric rotating factor loading matrix of R-factor analysis in the Shangxu gold ore district

元素	F1	F2	F3	F4	F5
Au	-0.033	0.901	0.161	0.031	-0.103
Ag	0.265	0.631	0.135	0.067	0.431
As	0.161	0.142	0.903	0.130	-0.023
Sb	0.052	0.171	0.727	0.151	0.536
Bi	0.355	0.013	0.092	0.269	0.781
Cu	0.910	0.055	0.123	0.118	0.188
Mo	0.096	0.008	0.047	0.831	0.336
Pb	0.512	0.494	0.030	0.412	0.193
W	0.342	0.144	0.316	0.691	-0.041
Zn	0.911	0.080	0.117	0.209	0.168

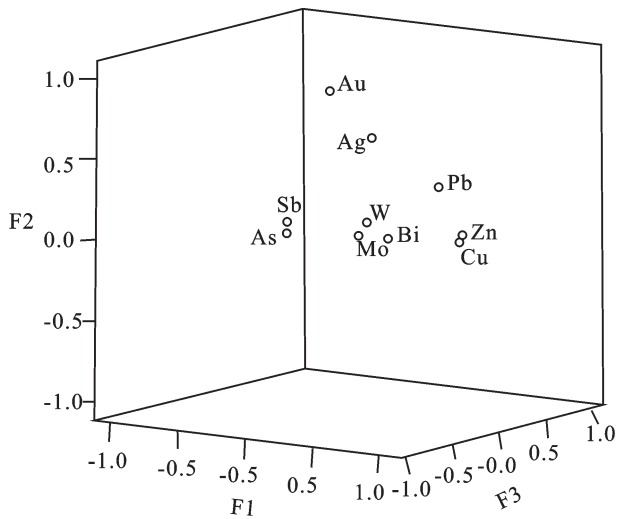


图4 商旭金矿区旋转后因子载荷图
Fig.4 Component plot in rotated space of the Shangxu gold ore district

个变量置于一个因子变量之下, 旋转因子载荷矩阵比初始因子载荷矩阵更具合理性和可解释性, 故采用旋转因子载荷矩阵(表3)来划分元素组合类型, 根据旋转因子载荷(表3, 图4)得到以下几个因子变量对应的元素组合类型, F1代表Cu-Pb-Zn元素组合; F2代表Au-Ag元素组合; F3代表As-Sb元素组合; F4代表W-Mo元素组合; F5代表Bi元素。

由因子分析得到的因子变量与聚类分析(图5)的结果基本吻合, 在地球化学分析中, W-Mo-Bi往往为共生的元素, 而在因子分析中, F4(W-Mo元素组合)和F5(Bi元素)为贡献最小的2个因子, 因此,

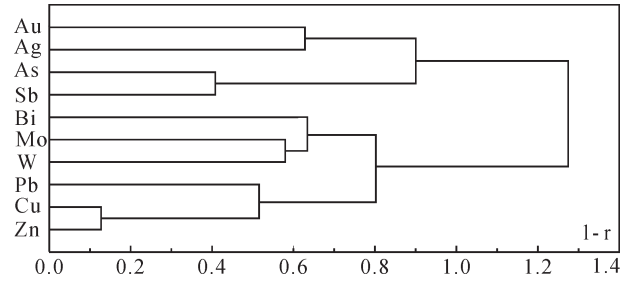


图5 商旭金矿区元素(变量)聚类分析图解
Fig.5 Cluster analysis diagram for the Shangxu gold ore district

结合聚类分析和相关分析, 把F4(W-Mo元素组合)和F5(Bi元素)作为一组因子变量来处理, 即F4、F5因子变量组合(W-Mo-Bi元素组合)。

商旭金矿区元素(变量)聚类分析结果(图5)显示: Cu、Zn和Pb; Au和Ag; As和Sb; W、Mo和Bi等元素有较好的相关性, 在相关矩阵(表4)上也能体现出来。这几个从成因方面来分析, 相关性较好的元素可能在成因和来源上有一定的关联。

3.4 地球化学分区

对工作区中4 724件样品的10种元素(变量)做因子分析后, 得出每个样品对5个因子变量的得分, 将最大因子变量得分相同的样品放在同一个因子分区(如, x号样品得分最大的因子变量为F1, y号样品得分最大的因子变量也为F1, 则x号样品和y号样品都属于F1因子分区), 从而进行地球化学分区。根据因子得分值将样品划分成4类, 每一类样品代表了一定类型的地球化学子区。根据工作区地质条件及矿化类型, 结合因子得分值圈定出的地球化学子区的边界见图6, 同时绘制了因子得分等值线图(图7)。从图6和图7可以看出, F1因子(Cu、Pb、Zn元素组合), 分布较广, 而矿区中西部(尤其是Ⅲ号矿段以西)最为突出(图6, 图7), F2因子(Au、Ag元素组合)和F2因子(As、Sb元素组合)主要分布矿区中部(Ⅱ号矿段、Ⅲ号矿段南部)(图6, 图7), F4及F5因子主要分布在矿区东北部(图6, 图7)。各因子分区(图6)和因子得分等值线分布(图7)呈近NWW向, 与矿区地层和主构造的走向一致(图2)。

4 讨论

4.1 地球化学分区讨论

F1因子(Cu、Zn、Pb元素组合)的方差贡献率为

表4 商旭金矿区元素(变量)相关系数矩阵

Table 4 Correlation matrix of the Shangxu gold ore district

	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Mo	Pb	W	Zn
Au	1.000									
Ag	0.372	1.000								
As	0.246	0.264	1.000							
Sb	0.247	0.406	0.592	1.000						
Bi	0.014	0.341	0.193	0.479	1.000					
Cu	0.072	0.370	0.245	0.301	0.469	1.000				
Mo	0.038	0.248	0.204	0.348	0.421	0.324	1.000			
Pb	0.362	0.448	0.301	0.293	0.486	0.508	0.410	1.000		
W	0.153	0.350	0.352	0.367	0.372	0.399	0.421	0.437	1.000	
Zn	0.079	0.385	0.280	0.285	0.502	0.872	0.365	0.587	0.460	1.000

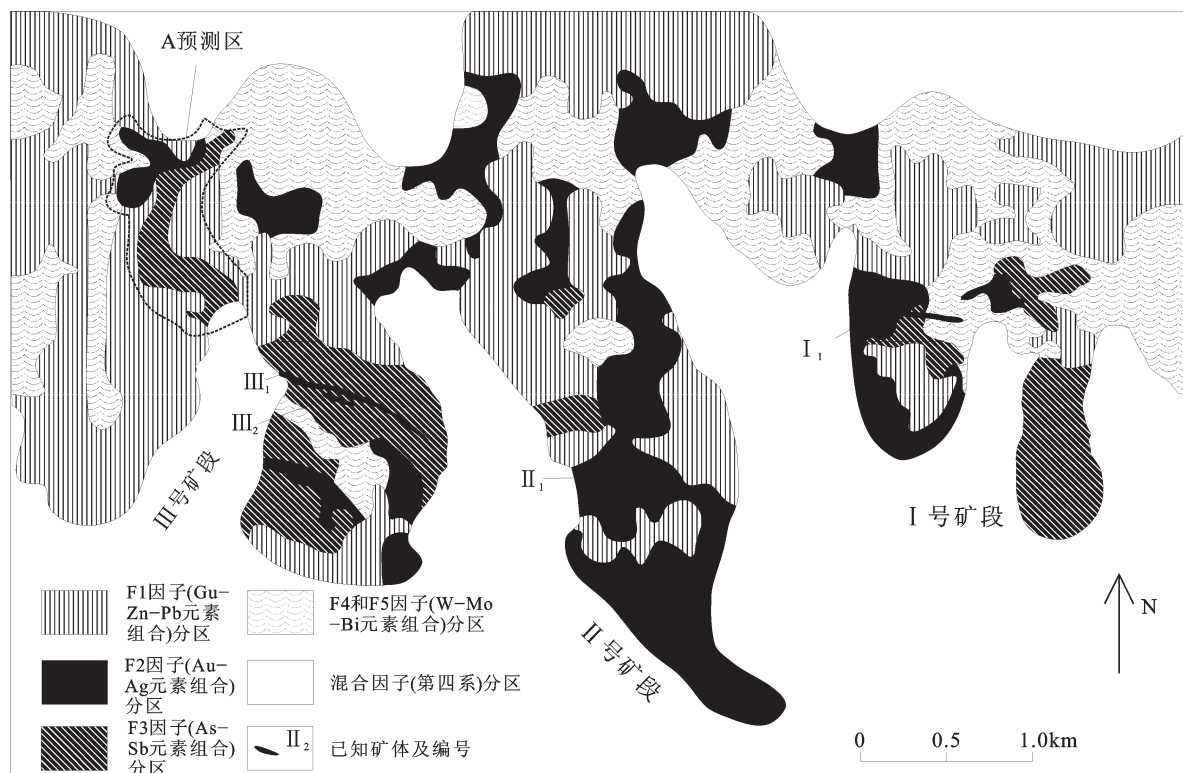


图6 商旭金矿区地球化学分区

Fig.6 Geochemical subdivisions of the Shangxu gold ore district

42.588%, 为矿区占主要地位的因子。Cu、Zn、Pb 元素均表现为亲硫性, 活动性高, 迁移能力强。Cu-Zn-Pb 子区主要分布在矿区的中西部, 分布范围较大, 但浓集程度相对较低。此外, 在已发现的矿体位置(图2), Cu-Zn-Pb 子区亦有规模相对较小的浓集区分布(图6, 图7)。从工作区实际地表矿化特征

来看, 地表的石英脉和蚀变岩具有褐铁矿化、方铅矿化的特征, 该子区的分布可能与地表的硫化物(褐铁矿化、方铅矿化)蚀变作用有关。由于采样介质为地表土壤, 金属硫化物的风化物(褐铁矿、方铅矿)容易残留在地表土壤中, 即相对于成矿元素(Au), Cu-Zn-Pb 元素更容易富集在地表土壤中。同时与 Cu-

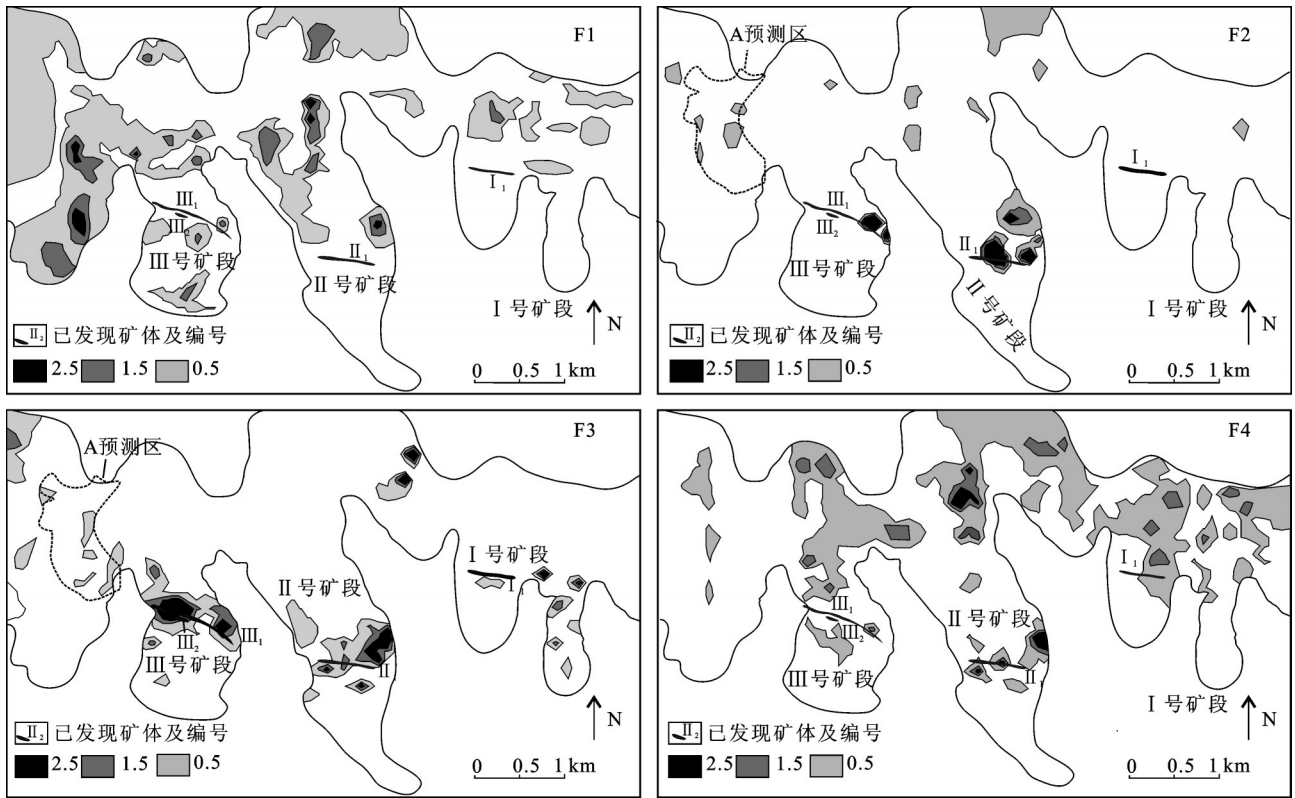


图7 商旭金矿区各因子得分等值线图

Fig.7 Diagram of factor scores in the Shangxu gold ore district

Zn-Pb 元素相关的硫化物(黄铁矿、方铅矿)为成矿元素(Au)的赋存矿物, Cu-Zn-Pb 元素含量数量级比成矿元素大的多。因此, F1 因子(Cu-Zn-Pb 组合)分区面积大于成矿元素组合因子(F2 因子)分区, 为矿区最大因子分区。F1 因子得分等值线特征为: 分布面积大, 但浓集程度低, 位于成矿元素因子(F2 因子)分带的外围。

F2 因子(Au、Ag 元素组合)代表本矿区的成矿元素组合。该因子方差贡献率为 13.583%, 为矿区第二主导地位的因子。该因子子区主要分布在矿区中南部, 尤其是 II 号矿段、III 号矿段南部(图6, 图7), 与已发现的矿体较为吻合, 分布较为零星, 但总体呈 NWW 向的丛聚性分布, 与矿区构造线一致。

F3 因子(As、Sb 元素组合)的方差贡献率为 10.355%, As-Sb 为低温元素组合。As 为亲铜元素, 属低温半金属两性元素, 地球化学行为相近, 迁移能力较强。As-Sb 子区在工作区中分布面积较大, 大多分布在已知矿体的外围。As、Sb 元素的分布特

征充分体现了低温元素的易迁移特征, 通常与 Au、Ag 伴生。

F4 因子和 F5 因子的方差贡献率分别为 8.082%、6.069%, 元素组合为 W-Bi-Mo 高温元素, 地球化学性质相近, 为亲石元素组合, 易在酸性岩体中富集, 可代表与岩浆热液有关的元素组合。W-Bi-Mo 子区主要分布在工作区的东北部矿化信息较弱的部位, 呈近北西西带状分布特征, 反映了区内岩浆活动时期高温元素的富集阶段, 代表金矿体矿尾晕元素组合的特征^[34, 35]。整体来看, 与岩浆热液有关的 W-Bi-Mo 元素组合对本矿区地球化学特征影响较小, 同时矿区内暂未发现岩体或者脉岩, 说明本矿床流体与岩浆热液关系不大, 这也与流体包裹体研究认为本矿床成矿热液主要来自于变质水的认识相同^①。

4.2 对找矿的指示

任何地区都有元素的聚集与分散, 这种特征与该区的地质背景有密切的关系^[36], 根据不同地质体

①中国地质调查局成都地质调查中心. 西藏尼玛县商旭—达查地区金矿调查评价报告. 2014.

表5 商旭金矿区各分区中Au元素的特征参数(10⁻⁹)
Table 5 Au element characteristic parameters of different subdivisions in the Shangxu gold ore district (10⁻⁹)

分区	F1	F2	F3	F4和F5	全区
平均值	2.286	75.178	9.315	2.952	15.782
标准差	4.635	811.508	66.127	30.026	330.560
离散度	2.028	10.795	7.099	10.171	20.945

(地球化学分区)中不同元素含量的高低,可以快速查明地球化学异常与地质体的成因联系,缩小找矿靶区,提供找矿方向。为研究工作区内Au元素在不同分区中的分布与富集状况,从各分区中Au元素的特征参数(表5)可以看出,在5类地球化学分区中,F2因子(Au、Ag元素组合)分区有最大的平均值、标准差、离散度(离散度越大表明元素呈相对集中趋势),F3因子(As、Sb元素组合)分区的Au元素地球化学特征参数大小为第二,F3因子(As、Sb元素组合)与F2因子(Au、Ag元素组合)最为接近。由因子地球化学分区图(图6)和因子得分等值线图(图7)可以看出,F3因子(As、Sb元素组合)高得分区域与F2因子(Au、Ag元素组合)极为相似,因子地球化学分区相邻,其相关性也比较高(图8),并大体反映了Ⅱ₁号、Ⅲ₁号矿体走向的特征。因此,F2因子(Au、Ag元素组合),F3因子(As、Sb元素组合)可作为成矿的指示元素,其中F3因子(As、Ag元素组合)代表金矿体前缘晕的特征,F2因子(Au、Ag元素组合)代表金矿体近矿晕特征。所以商旭金矿床的最佳地球化学标志元素组合为:①Au、Ag,②As、Sb,即F2、F3分区是工作区内金成矿的有利地质体。

Ⅲ₁系列矿体主要位于F3因子浓集区中(图6,图7),而F2分区在Ⅲ号矿段西部的另外一山脊亦有分布(图6,图7),地质调查显示,该区域也大片出露与Ⅲ₁系列矿体含金石英脉相同类型的石英脉,该地段具有找Ⅲ₁号矿体在西部延伸的潜力。总体说来下一步地质工作重点应放在Ⅱ号矿段、Ⅲ号矿段南部Ⅱ₁号、Ⅲ₁号矿体深部及周围,此外,可布置适当的工程在Ⅲ号矿段西部A预测区(图6,图7)内追索Ⅲ₁系列矿体向西的延伸。

5 结 论

(1)综合研究表明,商旭金矿床的最佳地球化学标志元素组合为:①Au、Ag,②As、Sb,其中,As、Sb

元素组合为金矿体的前缘晕,Au、Ag元素组合为金矿体的近矿晕,F2、F3分区是工作区内金成矿的有利地质体。

(2)下一步地质工作重点应放在Ⅱ号矿段、Ⅲ号矿段南部Ⅱ₁号、Ⅲ₁号矿体及周围。

(3)可布置适当的工程在Ⅲ号矿段西部A预测区范围以分别追索Ⅲ₁系列矿体向西的延伸部分。

致谢: 本文撰写过程中得到中国地质大学(武汉)赵少卿、刘月高和胡庆成博士,中国地质调查局成都地质调查中心和西藏自治区地质矿产勘查开发局第五地质大队多位专家的帮助和指导,审稿专家及责任编辑杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1] 李光明,段志明,刘波,等. 西藏班公湖—怒江结合带北缘多龙地区侏罗纪增生杂岩的特征及意义[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1256-1260.
Li Guangming, Duan Zhiming, Liu Bo, et al. The discovery of Jurassic accretionary complexes in Duolong area, northern Bangong Co—Nujiang suture zone, Tibet, and its geologic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(8): 1256-1260(in Chinese with English abstract).
- [2] 耿全如,潘桂棠,王立全,等. 班公湖—怒江带、羌塘地块提斯演化与成矿地质背景[J]. 地质通报, 2011, 30(8): 1261-1274.
Geng Quanru, Pan Guitang, Wang Liquan, et al. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co—Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2011, 30(8): 1261-1274 (in Chinese with English abstract).
- [3] 赵元艺,刘妍,王瑞江,等. 西藏班公湖—怒江成矿带及邻区铋矿化带的发现与意义[J]. 地球学报, 2010, 31(2): 183-193.
Zhao Yuanyi, Liu Yan, Wang Ruijiang, et al. The discovery of the bismuth mineralization belt in the Bangong Co—Nujiang metallogenic belt of Tibet and its adjacent areas and its geological significance[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2010, 31(2): 183-193(in Chinese with English abstract).
- [4] Shi R, Yang J, Xu Z, Qi X. The Bangong Lake ophiolite (NW Tibet) and its bearing on the tectonic evolution of the Bangong—Nujiang suture zone[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32(5): 438-457.
- [5] Kapp P, Murphy M A, Yin A, et al. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet[J]. Tectonics, 2003, 22(4): 3-1, 3-23.
- [6] Ding L, Kapp P, Yin A, et al. Early Tertiary volcanism in the Qiangtang terrane of central Tibet: Evidence for a transition from

- oceanic to continental subduction[J]. *Journal of Petrology*, 2003, 44: 1833–1865.
- [7] Li Jinxiang, Qin Kezhang, Li Guangming, et al. Magmatic–hydrothermal evolution of the Cretaceous Duolong gold–rich porphyry copper deposit in the Bangongco metallogenic belt, Tibet: Evidence from U–Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2011(6): 525–536.
- [8] 祝向平, 陈华安, 马东方, 等. 西藏多不杂斑岩铜金矿钾长石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. *现代地质*, 2012, 26(4): 656–662.
Zhu Xiangping, Chen Hua'an, Ma Dongfang, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating for K–feldspar from Duobuza porphyry copper–gold deposit in Tibet, China and its geological significance[J] *Geoscience*, 2012, 26(4): 656–662(in Chinese with English abstract).
- [9] 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 等. 藏北阿里地区新发现的尕尔穷铜金多金属矿床地质特征及其找矿前景[J]. *矿床地质*, 2011, 30(6): 1149–115.
Li Zhijun, Tang Juxin, Yao Xiaofeng, et al. Geological characteristics and prospecting potential of Gaerqiong copper–gold polymetallic deposit in Ali district, northern Tibet[J]. *Mineral Deposits*, 2011, 30(6): 1149–115(in Chinese with English abstract).
- [10] 江少卿, 孙兴国, 杨铁铮, 等. 藏北多龙斑岩铜金矿集区综合信息找矿模型研究[J]. *中国地质*, 2014, 41(2): 497–509.
Jiang Shaoqing, Sun Xingguo, Yang Tiezheng, et al. Integrated anomaly model and metallogenic prediction of the Duolong porphyry copper–gold ore concentration area in northern Tibet[J]. *Geology in China*, 2014, 41(2): 497–509(in Chinese with English abstract).
- [11] 祝向平, 陈华安, 马东方, 等. 西藏波龙斑岩铜金矿床的 Re–Os 同位素年龄及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2011, 27(7): 2159–2164.
Zhu Xiangping, Chen Hua'an, Ma Dongfang, et al. Re–Os dating for the molybdenite from Bolong porphyry copper–gold deposit in Tibet, China and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(7): 2159–2164(in Chinese with English abstract).
- [12] 李玉彬, 钟婉婷, 张天平, 等. 西藏改则县波龙斑岩型铜金矿床地球化学特征及成因浅析[J]. *地球学报*, 2012(4): 579–587.
Li Yubin, Zhong Wanting, Zhang Tianping, et al. Geochemical characteristics and genesis of the Bolong porphyry copper–gold deposit in Gerze county, Tibet[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2012(4): 579–587(in Chinese with English abstract).
- [13] 方向, 唐菊兴, 李彦波, 等. 西藏多龙矿集区拿若铜(金)矿床成矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. *中国地质*, 2014, 41(3): 936–950.
Fang Xiang, Tang Juxing, Li Yanbo, et al. Metallogenic element spatial distribution of the Naruo copper (gold) deposit in the Duolong ore concentration area of Tibet and its geochemical exploration model[J]. *Geology in China*, 2014, 41(3): 936–950(in Chinese with English abstract).
- [14] 孙兴国, 冯道永, 粟登遼, 等. 西藏班公湖带铁格隆南超大型斑岩铜(金)矿床的勘查突破及区域找矿意义[J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1314–1327.
Sun Xingguo, Feng Daoyong, Su Dengkui, et al. The exploration breakthrough of the Tiegelongnan superlarge porphyry Cu (Au) deposit, Bangong Lake arc, Tibet, and its significance[J]. *Geology in China*, 2014, 41(4): 1314–1327(in Chinese with English abstract).
- [15] 肖润. 西藏改则地区金矿成矿规律和找矿方向研究[D]. 中国地质大学(北京), 2005: 1–100.
Xiao Run. Research on Metallogenic Regularities and Prospecting Directions of Gold Deposits at Gaize District, Tibet[D]. China University of Geosciences (Beijing), 2005: 1–100(in Chinese with English abstract).
- [16] 肖渊甫, 孙燕, 王强, 等. 西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿床发现罕见金属(Ni–Cr–Fe, Cu–Zn)互化物[J]. *中国地质*, 2012, 39(5): 1311–1317.
Xiao Yuanfu, Sun Yan, Wang Qiang, et al. The discovery of rare intermetallic compounds(Ni–Co–Fe, Cu–Zn) in the Gaerqiong copper–gold deposit of Tibet[J]. *Geology in China*, 2012, 39(5): 1311–1317(in Chinese with English abstract).
- [17] 张志, 唐菊兴, 李志军, 等. 西藏尕尔穷—嘎拉勒铜金矿集区侵入岩岩石地球化学特征[J]. *地质与勘探*, 2013, 49(4): 676–688.
Zhang Zhi, Tang Juxing, Li Zhijun, et al. Petrology and geochemistry of intrusive rocks in the Gaerqiong–Galale ore concentration area, Tibet and their geological implications[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(4): 676–688(in Chinese with English abstract).
- [18] 黄瀚霄, 李光明, 刘波, 等. 西藏仲巴县天宫尼勒砂卡岩型铜金矿床锆石 U–Pb 年代学和岩石地球化学特征: 对成因及其成矿构造背景的指示[J]. *地球学报*, 2012(4): 424–434.
Huang Hanxiao, Li Guangming, Liu Bo, et al. Zircon U–Pb geochronology and geochemistry of the Tiangongnile Skarn–type Cu–Au deposit in Zhongba county, Tibet: their genetic and tectonic setting significance[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2012(4): 424–434(in Chinese with English abstract).
- [19] 黄瀚霄, 李光明, 刘波, 等. 藏北商旭造山型金矿床的发现及意义[J]. *矿床地质*, 2014, 33(3): 486–496.
Huang Hanxiao, Li Guangming, Liu Bo, et al. Discovery of Shangxu orogenic type gold deposit in northern Tibet and its significance[J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(3): 486–496(in Chinese with English abstract).
- [20] 冯孝良, 杜光树. 西藏金矿资源分布规律、矿化类型及找矿方向[J]. *特提斯地质*, 1999, 23: 32–37.
Feng Xiaoliang, Du Guangshu. The distribution, mineralization types and prospecting and exploration of the gold deposits in Xizang[J]. *Tethyan Geology*, 1999, 23: 32–37(in Chinese with English abstract).

- [21] 李胜荣, 肖润, 周肃, 等. 西藏改则地区金成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(1): 1-14.
Li Shengrong, Xiao Run, Zhou Su, et al. Gold mineralization in Gaize area, Tibet[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(1): 1-14(in Chinese with English abstract).
- [22] 肖万峰, 李光明, 黄瀚霄, 等. 藏北商旭金矿床控矿因素及其找矿标志[J]. 黄金, 2013, 34(10): 17-24.
Xiao Wanfeng, Li Guangming, Huang Hanxiao, et al. Prospecting indicator and ore-controlling factors of Shangxu gold deposit in north Tibet[J]. Gold, 2013, 34(10): 17-21(in Chinese with English abstract).
- [23] 吴越, 张均, 胡鹏, 等. 剩余异常分量因子得分法在西秦岭凤-太矿集区西段化探找矿靶区优选中的应用[J]. 物探与化探, 2010, 34(3): 340-343.
Wu Yue, Zhang Jun, Hu Peng, et al. The application of residual anomaly component factor score method to the optimization of prospecting target areas: A case study of the western part of the Fengtai ore concentration area in west Qinling mountains[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(3): 340-343 (in Chinese with English abstract).
- [24] 赵少卿, 魏俊浩, 高翔, 等. 因子分析在地球化学分区中的应用: 以内蒙古石板井地区 1:5 万岩屑地球化学测量数据为例[J]. 地质科技情报, 2012, 31(2): 27-34.
Zhao Shaoqing, Wei Junhao, Gao Xiang, et al. Factor analysis in the geochemical subdivisions: taking 1:50 000 debris geochemical survey in the Shibanjing area of Inner Mongolia as an example[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(2): 27-34(in Chinese with English abstract).
- [25] 时艳香, 纪宏金, 陆继龙, 等. 水系沉积物地球化学分区的因子分析方法与应用[J]. 地质与勘探, 2004, 40(5): 73-76.
Shi Yanxiang, Ji Hongjin, Lu Jilong, et al. Factor analysis method and application of stream sediment geochemical partition[J]. Geology and Exploration, 2004, 40(5): 73-76(in Chinese with English abstract).
- [26] 董庆吉, 陈建平, 唐宇. R 型因子分析在矿床成矿预测中的应用——以山东黄埠岭金矿为例[J]. 地质与勘探, 2008, 44(4): 64-68.
Dong Qingji, Chen Jianping, Tang Yu. Application of R type factor analyses in mineralization prognosis: by an example of Huangbuling gold deposit, Shandong province[J]. Geology and Exploration, 2008, 44(4): 64-68(in Chinese with English abstract).
- [27] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. 地质通报, 2002, 21(11): 701-707.
Pan Guitang, Li Xingzhen, Wang Liquan, et al. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet plateau and its adjacent regions[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(11): 701-707 (in Chinese with English abstract).
- [28] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1-28 (in Chinese with English abstract).
- [29] Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Wang Liquan, et al. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the Chayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes[J]. Science in China, 2009, 39(7): 883-848.
- [30] Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, et al. Geochemical investigation of early Cretaceous igneous rocks along an east-west traverse throughout the central Lhasa terrane, Tibet[J]. Chemical Geology, 2009, 268, 298-312
- [31] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. Cambrian bimodal volcanism in the Lhasa terrane, southern Tibet: record of an early Paleozoic Andean-type magmatic arc in the Australian proto-Tethyan margin[J]. Chemical Geology, 2012, 328: 290-308.
- [32] 李超, 肖传桃, 龚文平, 等. 班公湖-怒江缝合带中段构造演化再探讨[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011, 8(3): 41-43.
Li Chao, Xiao Chuantao, Gong wenping, et al. Reinvestigation into the Tectonic Evolution of Bangong-Nujiang structure[J]. Journal of Yangtze University(Natural Science Edition), 2011, 8 (3): 41-43(in Chinese with English abstract).
- [33] 肖润, 李胜荣, 傅璐珈, 等. 西藏尼玛县达查金矿床同位素地球化学研究[J]. 现代地质, 2012, 16(2): 165-169.
Xiao Run, Li Shengrong, Fu Lujia, et al. Isotope geochemistry of Dacha gold deposits in Tibet[J]. Geoscience, 2012, 16(2): 165-169(in Chinese with English abstract).
- [34] 李惠, 张文华, 刘宝林, 等. 金矿床轴向地球化学参数叠加结构的理想模式及其应用准则[J]. 地质与勘探, 1999, 35(6): 41-44.
Li Hui, Zhang Wenhua, Liu Baolin, et al. Ideal model and principle of structure of Axial geochemical parameter of gold deposit[J]. Geology and Exploration, 1999, 35(6): 40-43(in Chinese (in Chinese with English abstract).
- [35] 刘洪, 吕新彪, 李春诚, 等. 河南罗山金城金矿床成矿条件与深部找矿前景分析[J]. 地质与勘探, 2013, (2): 265-273.
Liu Hong, Lv Xinbiao, Li Chuncheng, et al. Metallogenic condition and ore-search prospect of Jincheng gold ore deposit, Luoshan county, Henan Province[J]. Geology and Exploration, 2013, (2): 265-273(in Chinese with English abstract).
- [36] 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 蒙甘新相邻(北山)地区金铜矿床时空分布特征及成矿作用[J]. 矿床地质, 2003, 22(3): 234-244.
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, et al. Temporal-spatial distribution and metallogenic processes of gold and copper deposits in Inner Mongolia-Gansu-Xinjiang Border (Beishan) region[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(3): 234-244(in Chinese with English abstract).