

文章编号:1004-4116(2023)01-0020-09

# 构造叠加晕结合五方位测井 在甘肃省贾公台金矿寻找深部矿体中的应用

杨怀玉,蒙 轸,刘 杰,赵 瑛,梁 悦,贾新勇

(甘肃省地矿局第二勘查院,甘肃 兰州 730050)

**摘 要:**贾公台金矿为甘肃党河南山地区规模最大的金矿床。为探索深部矿化、寻找盲矿体,在贾公台矿段开展原生晕研究,建立原生叠加晕轴向分带,发现贾公台金矿具反向分带特征。说明该矿体深部存在多期次成矿作用。结合地井五方位测井,预测深部3 200 m标高以下存在盲矿体。深部钻探发现了厚度大、品位高的多层金矿体,新增金资源量12吨,取得了显著找矿成果。构造叠加晕结合地井五方位测井成功圈定贾公台金矿深部矿体的实践,对同类矿床的深部找矿具有重要指导意义。

**关键词:**贾公台金矿;构造叠加晕;地井五方位测井;深部找矿;地球化学;甘肃

**中图分类号:**P618.51;P632

**文献标志码:**A

2008—2013年,甘肃省地矿局二勘院对贾公台金矿开展了地质勘查工作,基本查明了贾公台金矿浅部的赋矿规律和矿床规模,探求金资源量24吨。但后续工作方向难以判定,找矿进入瓶颈期。通过研究近年来利用化探原生晕开展深部找矿的工作进展<sup>[1-4]</sup>及在金矿深部勘查中取得的找矿效果<sup>[5-11]</sup>,认为贾公台金矿受断裂构造控制特征明显,构造蚀变带发育地段是金的矿化富集部位,深部具有很好的找矿远景。因此,选择在贾公台矿段开展构造叠加晕化探工作,通过化探数据分析研究,确定异常元素组合,建立矿区元素垂直分带序列,进而对矿区深部盲矿体进行初步预测<sup>[12-13]</sup>,最后利用深部钻探进行验证的找矿思路。

## 1 区域地质

贾公台金矿位于欧亚板块内部祁连微板块与柴达木微板块接触碰撞形成的祁连山加里东褶皱带的南祁连区。属秦祁昆成矿域祁连成矿省南祁连加里东期Cu-Pb-Zn-Ag-Cr-石棉成矿带党河南山加里东期Au-Cu-Pb成矿亚带<sup>[14]</sup>。

区域主要为下奥陶统乌力沟群、中上奥陶统盐

池湾组地层,北西向展布。构造极为发育,多为北西向,近东西向次之。岩浆岩主要为晚奥陶世—中三叠世中基性、中酸性岩体。重磁异常组合为局部相对重力低和正磁异常组合,与规模较大的中酸性隐伏岩体对应。地球化学特征为富Au、As、Sb、Hg、Bi、W,其中,Au具强分异性,As、Sb具弱分异性,As具表生叠加作用,Au、As、Sb异常与金矿床对应好。区域矿产以金为主,主要有东洞沟金矿、乌力沟金矿等(图1)。

## 2 贾公台金矿矿床地质

### 2.1 矿区地质

矿区出露地层为中奥陶统盐池湾组,赋矿岩性为岩屑长石砂岩。金矿化与中酸性岩体关系密切,岩性主要为黑云母斜长花岗岩及二长花岗岩,矿体产于岩体的内外接触带或岩体内部,远离岩体金矿化明显减弱。金矿受断裂构造控制,北西向深大断裂为控矿和导矿构造,北西向、北东向和近东西向次级断裂及裂隙带为矿体富集部位。围岩蚀变主要有硅化、钾化等,矿化主要有黄铁矿化、黄铜矿化等。化探异常组合为Au、Ag、Mo、Sb、Pb、Cd等,其中Au、

收稿日期:2023-01-18

基金项目:甘肃省科技厅科技重大专项资助(2012GS05628)

作者简介:杨怀玉(1972~),男,地矿高级工程师,从事地质矿产勘查研究工作。E-mail:492742945@qq.com

Ag、Mo 有内、中、外带,Au 峰值  $130.4 \times 10^{-9}$ ,均值  $27.091 \times 10^{-9}$ ; Mo 峰值  $17.5 \times 10^{-9}$ ,均值  $3.9 \times 10^{-9}$ ,显示了良好的矿致异常特征,高温元素 Mo 出现较强的异常,说明具多期次构造叠加。

2.2 矿体特征

贾公台金矿圈出金矿体 95 条,根据矿体产出空间位置,将贾公台金矿分为贾公台矿段和振兴梁矿段。其中贾公台矿段,圈定金矿体 79 条,呈 NW—SE 向,矿带长 1 000 m,宽 500 m;振兴梁矿段圈定金矿 16 条,呈 NE—SW 向,矿带长 1 000 m,宽约 400 m。各矿体沿走向、倾向具尖灭再现、分枝复合、膨大收缩等特征,在深部品位变富,厚度增大。呈雁列状展布(图 2)。贾公台矿段主矿体为 Au9、Au12、Au13、Au17、Au22、Au28、Au30、Au34、Au42、Au43、Au58;振兴梁矿段主矿体为 Au1、Au2、Au3。贾公台金矿区主要矿体特征见表 1。

3 矿区原生晕研究

在地表开展了 1 : 10 000 岩石测量,采集岩石样品 1 750 件,选择了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、Mo、W 等 11 种元素进行测试,进行地表原生晕特征研究。在 215 线已施工的 4 个钻孔中采集原生晕样品,进行深部原生晕研究,采样从地表 4 150 m 到深部 3 100 m 标高约 1 000 m 的范围内开展,在不跨层的前提下,每 5m 采集一件原生晕基岩样品,共采集样品 491 件,定量分析了 Au、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Ag、W、Mo、Bi、Co、Ni 等 12 种元素。测试工作由甘肃省地矿局第二勘查院化验室承担,分析方法为: Au 采

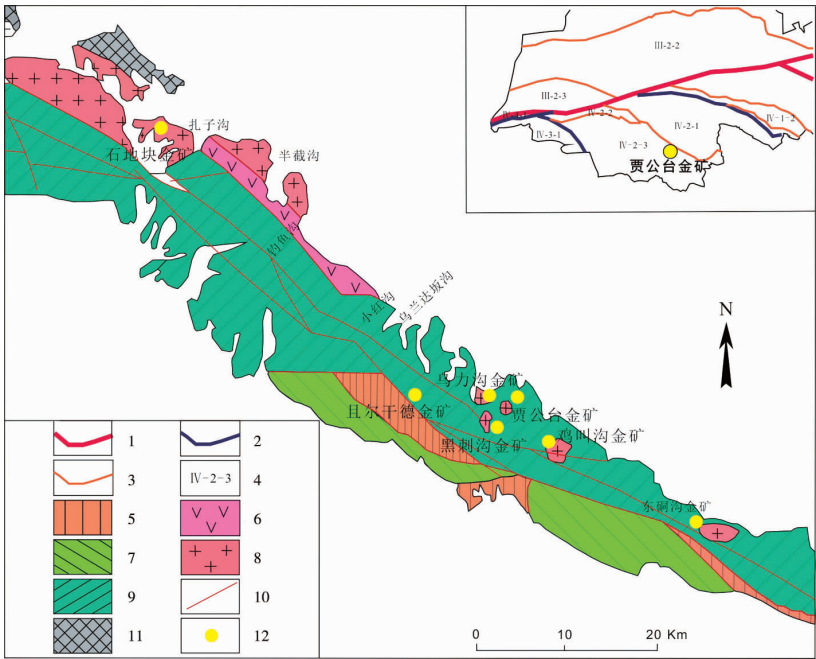


图 1 党河南山一带金矿床分布图

Fig. 1 Distribution of gold deposits in Danghenanshan area  
1—Ⅰ级构造单元;2—Ⅱ级构造单元;3—Ⅲ级构造单元;4—大地构造位于南祁连岩弧;  
5—泥盆系;6—奥陶纪火山岩;7—志留系;8—侵入岩;9—奥陶系;  
10—断裂构造;11—元古界;12—金矿床

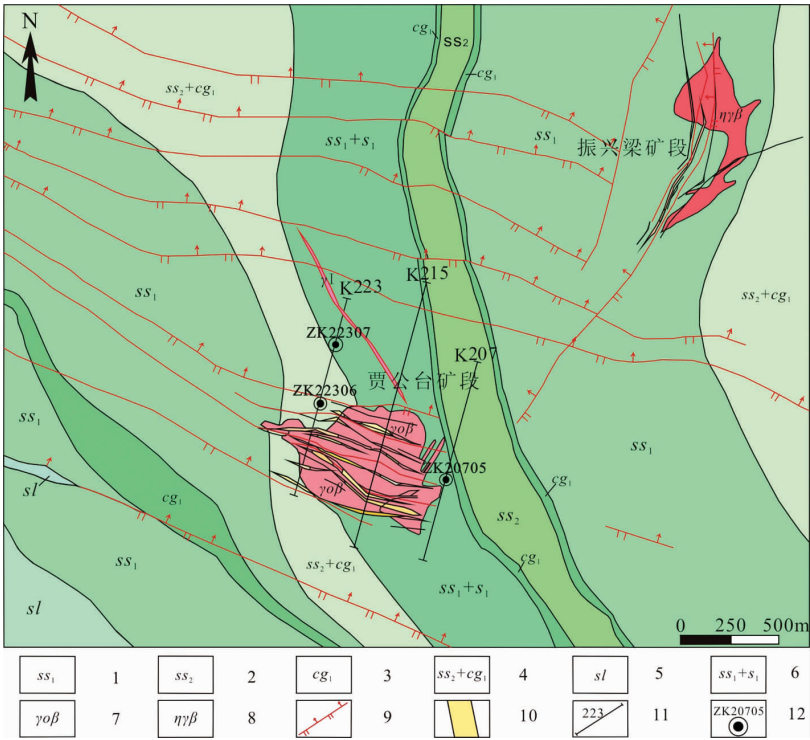


图 2 贾公台金矿地质简图

Fig. 2 Geological sketch of Jiagongtai gold deposit  
1—中细粒岩屑长石砂岩;2—中粗粒岩屑长石砂岩;3—细砾岩;4—中细粒岩屑长石砂岩  
夹细砾岩;5—砂质泥板岩;6—细砂岩夹砂质泥板岩;7—黑云母斜长花岗岩;8—二长花岗岩;  
9—逆断层;10—金矿体;11—勘探线位置及编号;12—钻孔位置及编号

表 1 贾公台金矿矿体特征表

Table 1 Characteristic parameters of ore bodies in Jiagongtai gold deposit

| 矿 段   | 矿体编号 | 矿体规模(m) |       |     | 平均品位<br>(g/t) | 矿体形态 | 产状          |        |
|-------|------|---------|-------|-----|---------------|------|-------------|--------|
|       |      | 斜深      | 厚度    | 长度  |               |      | 倾向          | 倾角     |
| 贾公台矿段 | Au9  | 350     | 2. 65 | 640 | 2. 48         | 似层状  | 8° ~ 32°    | 46. 2° |
|       | Au12 | 300     | 2. 90 | 440 | 2. 21         | 透镜状  | 11° ~ 43°   | 44. 5° |
|       | Au13 | 340     | 2. 70 | 440 | 2. 15         | 似层状  | 4° ~ 40°    | 43°    |
|       | Au17 | 400     | 1. 85 | 530 | 2. 60         | 似层状  | 6° ~ 27°    | 45°    |
|       | Au22 | 400     | 2. 98 | 700 | 3. 16         | 似层状  | 6°          | 45. 8° |
|       | Au28 | 200     | 2. 38 | 410 | 3. 49         | 似层状  | 6°          | 45°    |
|       | Au30 | 240     | 3. 71 | 515 | 3. 21         | 似层状  | 6°          | 44. 7° |
|       | Au34 | 280     | 3. 38 | 420 | 4. 93         | 似层状  | 6°          | 42°    |
|       | Au42 | 200     | 1. 93 | 365 | 1. 54         | 似层状  | 6°          | 30°    |
|       | Au43 | 200     | 1. 92 | 210 | 6. 19         | 似层状  | 5°          | 37°    |
|       | Au58 | 40      | 6. 34 | 200 | 8. 41         | 似层状  | 5°          | 36°    |
| 振兴梁矿段 | Au1  | 640     | 1. 71 | 190 | 2. 41         | 似层状  | 258° ~ 309° | 55. 2° |
|       | Au2  | 480     | 1. 64 | 160 | 3. 81         | 似层状  | 301°        | 40. 1° |
|       | Au3  | 560     | 2. 49 | 270 | 2. 52         | 似层状  | 280° ~ 340° | 62. 9° |

用化学光谱法;Cu、Pb、Zn、Ag、W、Mo、Ni、Co 采用熔融技术电弧发射定量光谱法;As、Sb、Bi 采用加罩电极定量光谱法。分析报出率 100%,检出限、误差符合要求。地表岩石样品及深部原生晕参数统计见表 2、表 3。

从表 2 表 3 可以看出:贾公台金矿地表 Au、Sb、Hg、Ag、Bi、Cu、Pb、W 等元素异常发育,深部原生晕异常以 Au、Ag、Mo、Bi、Pb、W 等元素最发育,变异系数高、强度大、连续性好,地表有中高温元素异常,深部有中低温元素异常,充分说明贾公台具多期次的构造叠加成矿作用。

表 3 215勘查线原生晕样品参数统计

Table 3 Parameters of primary halo in exploration line 215

| 元素 | 含量范围           | 平均值    | 标准离差   | 变异系数  |
|----|----------------|--------|--------|-------|
| Cu | 18. 4 ~ 517. 7 | 60. 4  | 37. 6  | 0. 62 |
| Pb | 10. 2 ~ 501. 5 | 46. 3  | 52. 9  | 1. 14 |
| Zn | 22. 1 ~ 237. 3 | 87. 3  | 32. 5  | 0. 37 |
| Ag | 0. 03 ~ 4. 426 | 0. 234 | 0. 371 | 1. 58 |
| Mo | 0. 99 ~ 251. 8 | 12. 99 | 22. 31 | 1. 72 |
| W  | 0. 86 ~ 510    | 8. 5   | 23. 98 | 2. 82 |
| Ni | 3 ~ 136. 3     | 37. 1  | 27. 6  | 0. 75 |
| Co | 3. 1 ~ 42. 1   | 15. 1  | 8. 4   | 0. 56 |
| As | 1 ~ 25. 4      | 4. 7   | 3. 6   | 0. 77 |
| Sb | 0. 41 ~ 11. 53 | 1. 82  | 1. 43  | 0. 79 |
| Bi | 0. 04 ~ 74. 35 | 0. 69  | 3. 53  | 5. 13 |
| Au | 0. 7 ~ 132 20  | 382. 6 | 918. 9 | 2. 4  |

注:Au 含量单位为 10<sup>-9</sup>,其余元素单位为 10<sup>-6</sup>

表 2 地表岩石样品参数统计

Table 2 Parameter statistics of surface rock samples

| 元素 | 含量范围       | 平均值     | 标准离差    | 变异系数   |
|----|------------|---------|---------|--------|
| Au | 0. 5 ~ 27  | 3. 03   | 4. 3    | 1. 419 |
| As | 1. 0 ~ 25  | 6. 53   | 3. 88   | 0. 594 |
| Sb | 0. 6 ~ 40  | 5. 94   | 10. 23  | 1. 722 |
| Hg | 2. 5 ~ 500 | 66      | 92. 3   | 1. 398 |
| Mo | 2 ~ 75     | 20. 64  | 11. 94  | 0. 578 |
| Ag | 0. 12 ~ 15 | 3. 39   | 4. 66   | 1. 375 |
| Bi | 5 ~ 150    | 9. 21   | 17. 16  | 1. 863 |
| Cu | 8 ~ 1 000  | 76. 98  | 134. 15 | 1. 743 |
| Pb | 10 ~ 1 500 | 174. 75 | 358. 57 | 2. 052 |
| Zn | 10 ~ 210   | 42. 04  | 22. 97  | 0. 546 |
| W  | 2. 5 ~ 70  | 12. 66  | 14      | 1. 106 |

注:Hg 含量单位为 10<sup>-9</sup>,其余元素单位为 10<sup>-6</sup>

3. 1 贾公台金矿地表原生晕特征

矿区共圈定 Au 元素原生晕异常 3 个(图 3),分别为 Au8、Au9、Au10 (以 15 × 10<sup>-9</sup> 为下限),Au8 分布在贾公台;Au9 分布在振兴梁;Au10 位于振兴梁 Au9 南 300 m 处,规模较小。由于贾公台矿段矿体规模大,本研究以此为主要对象。

Au8 原生晕呈 NW 向分布,主要分布在贾公台岩体及其内外接触带,原生晕长 650 m,宽 180 ~ 350 m,面积 0. 162 5 km<sup>2</sup>。该异常有 4 个浓集中心,Au 平均值 536 × 10<sup>-9</sup>,其组合特点显示与 Ag 具共生关系。Ag-Pb 相关、偏相关系数为 0. 89 和 0. 65,表

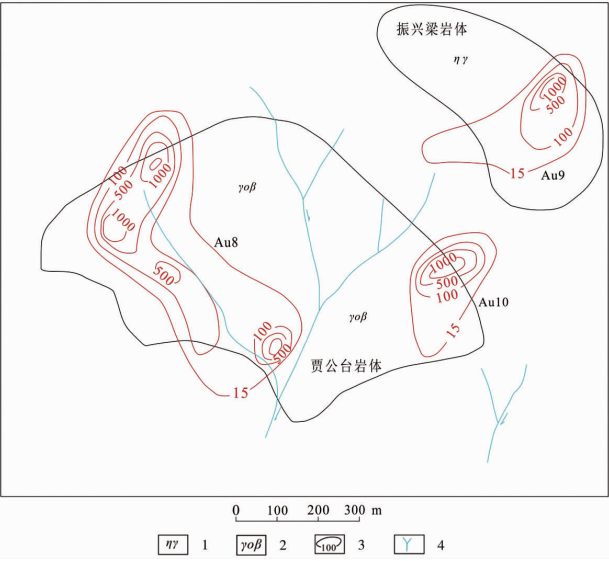


图 3 贾公台Au原生晕分布图

Fig. 3 Distribution of Au primary haloes in Jiagongtai gold deposit

1—二长花岗岩;2—黑云母斜长花岗岩;  
3—金元素原生晕( $\times 10^{-9}$ );4—水系

明 Ag 有相当一部分赋存在方铅矿中, 因而使得 Au-Ag 关系不稳定。Pb-Bi、Cu-Bi、As-Ag、Pb-Zn、As-Sb、Ag-Zn 等元素对具共生或共消长关系。

3.2 贾公台金矿深部原生晕特征

3.2.1 因子分析与点群分析

R 型因子分析, 提取了 3 个因子,F1 主要由 Zn、Co、Ni、Cu、Pb 元素组成,代表地质背景。F2 主要由 Mo、Ag、W、Au、Sb、Pb 等元素组成, 反映与酸性花岗岩有关的成矿因子。F3 由 As、Bi、(Au) 组成,是矿化叠加因子,同时反映 Au 与 As、Bi 成反消长关系。

贾公台金矿 215 勘查线各钻孔采集岩石样品 473 件,进行了 R 型点群分析,分析结果与因子分析结果一致,按信度值 16 分为 5 类,第 1 类由 Ni、Co、Cu、Zn 组成,代表地质背景。第 2 类由 Pb、Ag、Mo、Sb 元素组成,反映与酸性花岗岩有关的成矿因子。第 3 类 Bi 元素组成,反映矿化叠加因子,为矿化尾晕反映。第 4 类 As 元素组成,反映矿化叠加因子,为矿化前缘晕反映。第 5 类由 Au、W 元素组成,反映矿化叠加因子。通过 R 型因子分析与点群分析可以看出: F3 因子由 As、Bi、(Au) 组成, 点群分析第 5 类由 Au、W 元素组成,均反映矿化叠加因子,深部矿化叠加元素出现 Bi、W 等高温元素与低温元素 As 并存的现象,反映了矿化的复杂性。

3.3 构造叠加晕

3.3.1 构造叠加晕在剖面图的识别标志

通过对贾公台金矿轴向分带研究, 确定该矿前缘晕指示元素为 As、Sb,近矿晕指示元素为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn,尾晕指示元素为 Bi、Mo、Ni、Co、W。

从图 4 可以看出:

(1)在勘查线剖面图上<sup>[15]</sup>,地表—3 300 m、3 300 ~ 3 000 m 异常分布有所不同。上部为 As、Sb、Ag、Cu、Pb、Au、Zn、W、Bi、Co、Mo、Ni 异常,下部则缺失 Cu、Zn、Co、Ni 异常。这说明上部和下部地质特征不同,下部缺失基性成分。上部内、中、外带齐全的元素有 Sb、Ag、Pb、Au、W、Bi、Mo;有中、外带元素是 As;只有外带元素是 Zn、Co、Ni。下部三带齐全的元素有 Ag、Pb、Au、Mo; 有中外带元素是 As、Sb、Bi、Mo;只有外带元素是 W;缺失 Cu、Zn、Co、Ni 异常。Au、As、Sb、Mo 等元素的中、内带异常形成多个中心。

(2)前缘晕元素 Pb 在深部出现强异常,指示有成矿作用叠加。

(3)前缘晕元素 As、Sb 在深部出现较强异常,体

表 4 贾公台215勘查线元素比值特征表  
Table 4 Element ratio of exploration line 215 in Jiagongtai gold deposit

| 中 段           | Sb/Bi  | As/Mo | (As+Sb)/(Mo+Bi) | (AsxSb)/(BixMo) |
|---------------|--------|-------|-----------------|-----------------|
| 第一中段 4 000 m  | 7. 26  | 0. 44 | 0. 62           | 3. 19           |
| 第二中段 3 950 m  | 5. 63  | 0. 38 | 0. 62           | 2. 13           |
| 第三中段 3 900 m  | 6. 32  | 0. 05 | 0. 12           | 0. 32           |
| 第四中段 3 850 m  | 1. 22  | 0. 12 | 0. 19           | 0. 14           |
| 第五中段 3 800 m  | 0. 44  | 0. 02 | 0. 06           | 0. 01           |
| 第六中段 3 750 m  | 3. 64  | 0. 27 | 0. 45           | 0. 98           |
| 第七中段 3 700 m  | 8. 47  | 0. 31 | 0. 65           | 2. 66           |
| 第八中段 3 650 m  | 3. 96  | 0. 13 | 0. 29           | 0. 53           |
| 第九中段 3 600 m  | 4. 51  | 0. 31 | 0. 56           | 1. 39           |
| 第十中段 3 550 m  | 6. 11  | 0. 33 | 1. 07           | 2. 03           |
| 第十一中段 3 500 m | 3. 15  | 0. 3  | 0. 69           | 0. 94           |
| 第十二中段 3 450 m | 4. 38  | 0. 55 | 0. 84           | 2. 42           |
| 第十三中段 3 400 m | 2. 89  | 0. 72 | 1. 1            | 2. 09           |
| 第十四中段 3 350 m | 3. 2   | 0. 04 | 0. 06           | 0. 12           |
| 第十五中段 3 300 m | 10. 19 | 0. 54 | 0. 82           | 5. 46           |
| 第十六中段 3 250 m | 0. 95  | 0. 67 | 0. 71           | 0. 64           |
| 第十七中段 3 200 m | 15     | 1. 03 | 1. 39           | 15. 4           |
| 第十八中段 3 150 m | 19. 86 | 0. 72 | 1. 12           | 14. 35          |
| 第十九中段 3 100 m | 13. 17 | 4. 06 | 4. 38           | 53. 42          |
| 第二十中段 3 050 m | 24. 63 | 0. 19 | 0. 4            | 4. 71           |

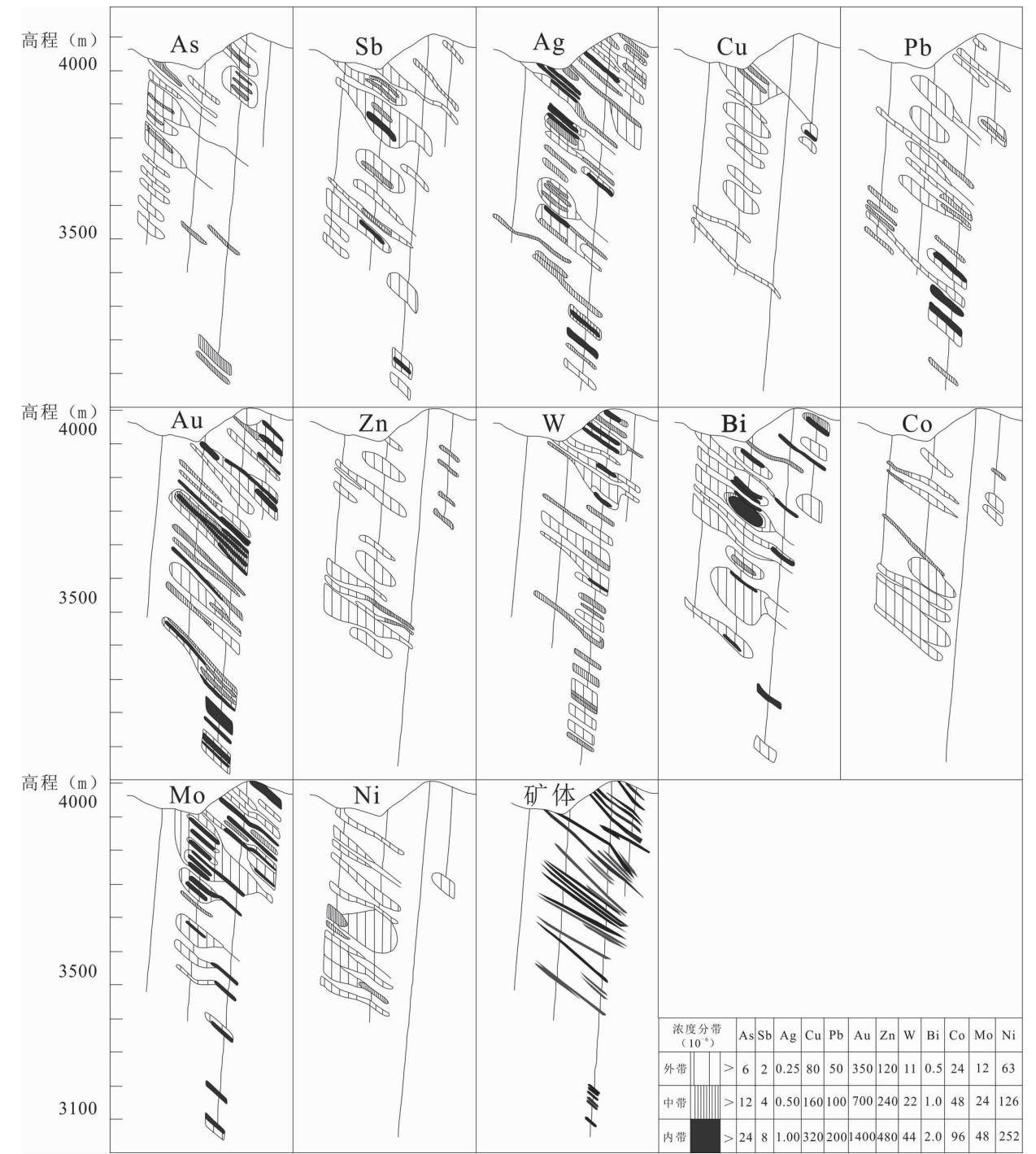


图 4 勘查线原生晕剖面图  
Fig. 4 Reflection features of the primary halo on the profile

现前缘晕元素在深部叠加,显示矿体沿倾向有延伸。

(4)前、尾晕 Sb、Ag、Pb、Au、W、Bi、Mo 等元素共存显示构造原生晕叠加,体现反向分带特征。

3.3.2 地球化学参数轴向转折指示叠加

将矿体地球化学参数  $Sb/Bi$ 、 $As/Mo$ 、 $(As + Sb)/(Bi + Mo)$ 、或  $(As \times Sb)/(Bi \times Mo)$  按高一低—高

的指示叠加,结果见表 4。

根据贾台金矿床不同标高地球化学参数叠加的变化特征,可以在深部预测盲矿体。金矿中段标高从 4 000 ~ 3 050 m 划分为 20 个,  $\omega(Sb)/\omega(Bi)$  比值分别出现 4 000 ~ 3 900 m 的高值向 3 850 ~ 3 800 m 的低值转折, 又向 3 750 ~ 3 300 m 的高值

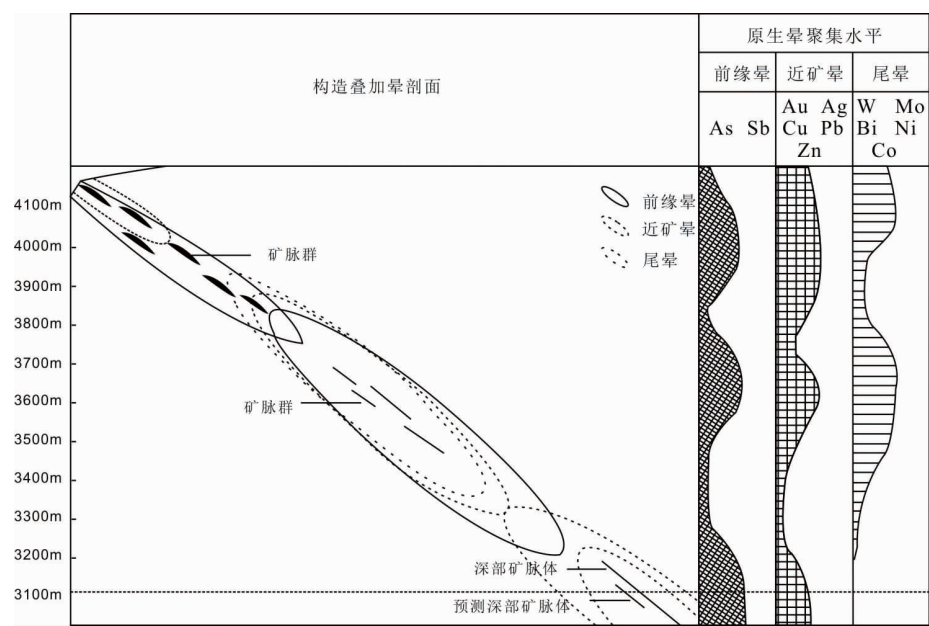


图 5 贾公台金矿构造叠加晕模式图

Fig. 5 Structural superimposed halo of Jiagongtai gold deposit

转折,再向 3 250 m 的低值转折,最终在 3 200 ~ 3 050 m 变为最高值,As/Mo、(As + Sb)/(Mo + Bi)、(As × Sb)/(Bi × Mo) 分别达到 4. 06、4. 38、53. 42 的最高值,出现了高一低—高一低—最高的转折现象,指示深部盲矿前缘晕叠加且矿化要强于地表和中部,深部至少存在 3 个矿体群(图 5)。

4 构造叠加晕对盲矿体的预测及验证

李惠等<sup>[16]</sup>总结出金矿原生晕轴向分带序列为:  
矿体前缘及上部:I、F、Hg→As、Sb→Sc、Li、Be、Ba、Sr、Li、Cs;  
矿体中部:Cd、Ag、Cu、Pb、Au、Zn;  
矿体下部及尾晕 W、Bi、Co、Mn、Mo→Ni、V、Ti、Ce、La、Ti、Sn。

利用“格氏”法<sup>[17]</sup>,对 215 勘查线自 4 100 ~ 3 100 m,每 100 m 一个中段,共计 11 个中段的计算,最终确定了矿床原生晕的轴向分带异常元素组合为 W—Mo—Bi—Ni—Co—Cu—Zn—Pb—Ag—Au—Sb—As,与李惠等总结的金矿床综合轴向分带序列有较大的偏差,以 W、Mo、Bi、Ni、Co 等为主的尾晕元素出现在了近地表,Au、Cu、Zn、Pb、Ag 等近矿元素出现在了中部,而 As、Sb 等前缘晕元素出现在深部。 $\omega(\text{Sb})/\omega(\text{Bi})$  比值亦出现了高一低—高一低—最高的反常现象,呈现“反向分带序列”<sup>[18-19]</sup>。这一结果显示贾公台金矿元素具反向分带特征,深部前缘

晕叠加,预测深部存在金的隐伏富集区,且矿体向深部延伸较大(图 6)。

根据对贾公台金矿构造叠加晕的研究成果,2014 年,在 223 线施工 ZK22306 进行工程验证(图 7)。

ZK22306 全孔见矿 55 层,累加矿体真厚度 136. 03 m,仍未打穿矿化层位,特别是 3 200 m 标高以下的预测盲矿体区,全岩矿化,见矿 20 层(从 Au53—Au72),其中 Au43 号矿体平均厚度 3. 29 m,平均品位

$8. 13 \times 10^{-6}$ ,最高品位  $22. 03 \times 10^{-6}$ ;Au58 号矿体平均厚度 8. 63 m,平均品位  $10. 98 \times 10^{-6}$ ,最高品位  $42. 9 \times 10^{-6}$ 。

5 地井五方位测井对构造叠加晕预测结果的验证

在地井五方位测井之前,根据不同岩性在矿区露头上测定了岩石磁性及电性,金矿石与围岩存在明显的电性差异。统计岩石物性参数见表 5。

(1)岩石磁性:矿区出露的奥陶系砂岩,磁化率 在无磁 ~ 250( $10^{-5}$  SI)之间变化,整体表现为弱磁性,没有磁异常出现。中酸性侵入岩的磁化率较强,变化范围为 241 ~ 1 090( $10^{-5}$  SI),具弱—中等磁性,能引起局部弱磁异常。

(2)岩石电性:贾公台金矿与侵入岩关系密切,由电性统计资料可以看出,金矿石极化率最高,平均值 1. 92%。变砂岩变化范围较大,在 0. 14% ~ 2. 83%之间,个别能达到 2. 82%,为变砂岩中存在的炭质引起的局部弱极化率异常。岩体的极化率相对较低,统计平均值在 0. 64% ~ 1. 24%,最大值 1. 78%。整体上岩体的电阻率较高,砂岩的电阻率低,基本在 250  $\Omega \cdot \text{m}$  以下。总体看,区内金矿石能引起视极化率异常。

(3)钻孔验证:根据 ZK 22306 的见矿成果,在该

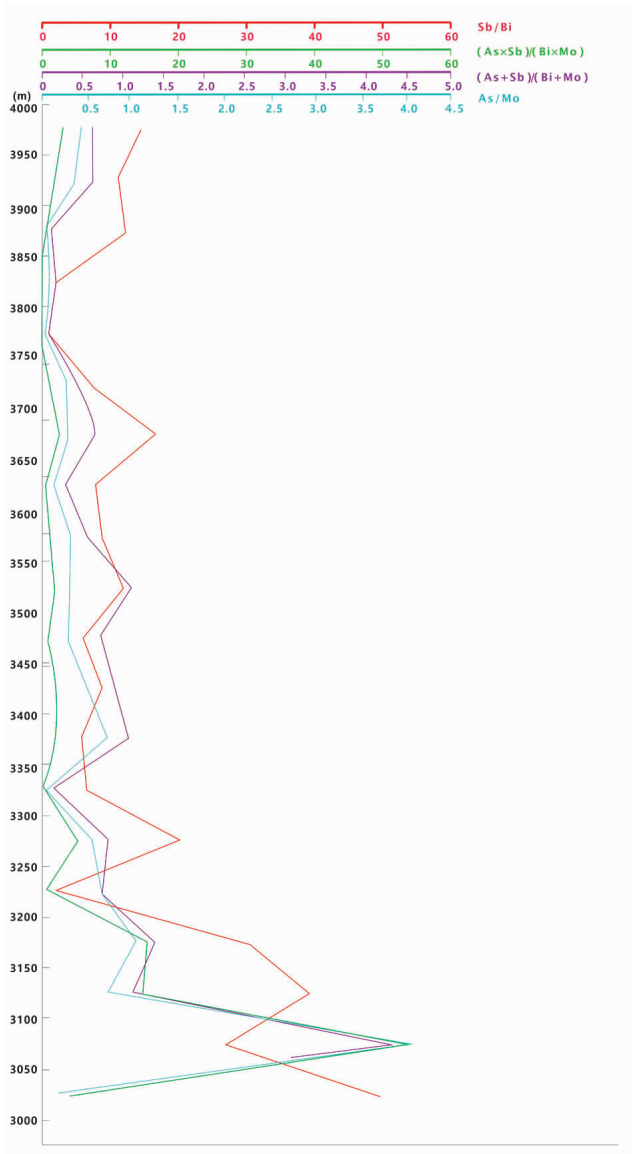


图 6 贾台金矿不同标高地球化学参数曲线图

Fig. 6 Geochemical parameters of different elevations in Jiagongtai gold deposit

钻孔开展了三维空间精细物探地—井五方位激电测井,在钻孔周围五个方位特别沿走向、倾向寻找盲矿体<sup>[20]</sup>(图 8)。

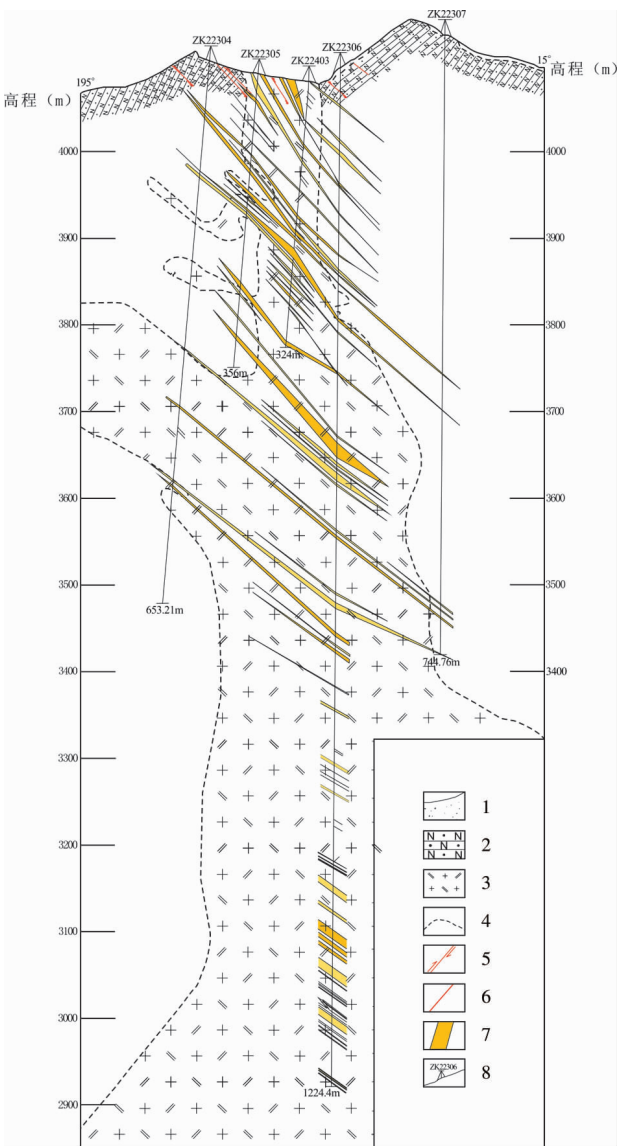


图 7 贾台金矿223号勘查线剖面图

Fig. 7 Schematic diagram of exploration line 223 in Jiagongtai gold deposit

1—第四系残坡积物;2—中粗砂长石砂岩;3—花岗岩;4—岩体界线;  
5—逆断层及编号;6—性质不明断层;7—金矿体;8—钻孔位置及编号

A0 曲线显示,井口至孔底出现两段高极化率区

表 5 贾台金矿岩石、矿石物性参数统计表

Table 5 Statistics of rock and ore physical parameters in Jiagongtai gold deposit

| 岩石名称     | 磁化率(10 <sup>-5</sup> SI) |     | 极化率(%)        |       | 电阻率(ΩM)   |     |
|----------|--------------------------|-----|---------------|-------|-----------|-----|
|          | 变化范围                     | 平均值 | 变化范围          | 平均值   | 变化范围      | 平均值 |
| 金矿石      | 111 ~ 141                | 121 | 1. 71 ~ 2. 12 | 1. 92 | 208 ~ 265 | 237 |
| 黑云母斜长花岗岩 | 192 ~ 482                | 364 | 0. 7 ~ 1. 78  | 1. 24 | 212 ~ 531 | 371 |
| 二长花岗岩    | 241 ~ 1 090              | 506 | 0. 41 ~ 1. 06 | 0. 64 | 181 ~ 667 | 452 |
| 变砂岩      | 7 ~ 250                  | 40  | 0. 14 ~ 2. 83 | 0. 71 | 14 ~ 394  | 182 |
| 岩屑长石砂岩   | 无—弱磁                     |     |               |       |           |     |

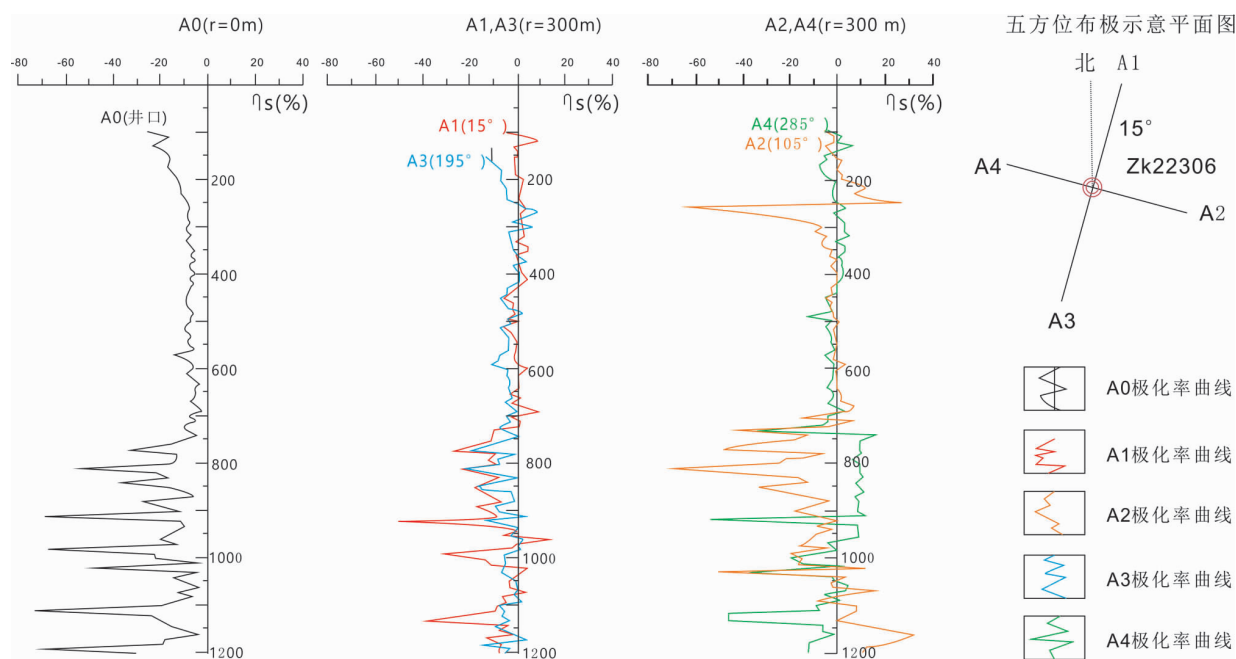


图8 贾公台金矿ZK 22306地井五方位电法综合曲线图

Fig. 8 Comprehensive curves by five-direction logging for ZK22306 in Jiagongtai gold deposit

间:第一段出现在100~300 m深度范围,第二段出现在800~1000 m范围,且一直向深部延伸,指示矿体向深部稳定延伸。勘查线主方位A1(15°)上高极化率指示矿体沿倾向延伸,极化率最高处为900 m处,对应标高为3200 m左右,与构造叠加晕预测的盲矿体位置完全对应。ZK 22307进行验证表明,在3400 m标高未到3250 m标高最佳极化率位置,就已打穿4层矿体(图7)。

在走向105°方向极化率异常增强,在200~280 m段有一个规则激电异常,呈反“S”型,在深部1150~1200 m也有一较强的正异常,推测有好的矿化体。在207线布置验证孔ZK 20705,仅施工652 m(3400 m标高,未到2800 m标高以下最佳极化率位置),就打穿20层金矿体,累计真厚度50.53 m(图9)。

地一井五方位激电测井很好地指示了钻孔周围及深部盲矿体的产出位置,而且可准确判断矿体产状。本研究中的两个深部验证孔由于各种原因,没有施工到预定深度,对五方位激电测井揭示的深部极化异常没有完全验证,影响了找矿效果。

本次找矿通过构造叠加晕及地井五方位测井的联合运用,新发现31条金矿体,新增金控制+推断资源量12吨,使贾公台金矿床升级为36吨的大型矿床。其中Au34号矿体在新发现金矿体中最为典型,控制长度大于400 m,控制斜深270 m,平均厚

度3.38 m,平均品位 $4.93 \times 10^{-6}$ ,最高品位 $89.02 \times 10^{-6}$ ,估算金资源量3.5吨。

## 6 结论

(1)前期认为贾公台金矿是石英脉型金矿床,估算资源量少,后经综合分析研究,认为其成因复杂,具多期叠加成矿特征,深部有找矿潜力。本次工作通过构造叠加晕、地井五方位测井及深部钻探工程验证,在深部发现厚度大、品位高的盲矿体。这表明贾公台金矿地表为石英脉型,规模小;近地表为中低温热液蚀变岩型,矿床规模有所扩大;深部矿体均赋存于酸性岩体中,为岩浆期后热液型矿床,达到大型规模。

(2)利用钻孔原生晕样品的地球化学数据,初步建立了贾公台矿段原生晕自上而下的轴向分带:W—Mo—Bi—Ni—Co—Cu—Zn—Pb—Ag—Au—Sb—As,为典型的“反向分带序列”。

(3)矿区构造叠加晕表明,深部前缘晕元素异常发育,预示深部找矿前景良好,初步预测深部盲矿靶位在3200 m标高以下。地井五方位测井显示:构造及蚀变矿化发育地段极化率明显升高,据此可以判断金矿体大致部位。

(4)钻探验证了构造叠加晕反向分带确定的深部盲矿体与地井五方位测井高极化率地段对应,

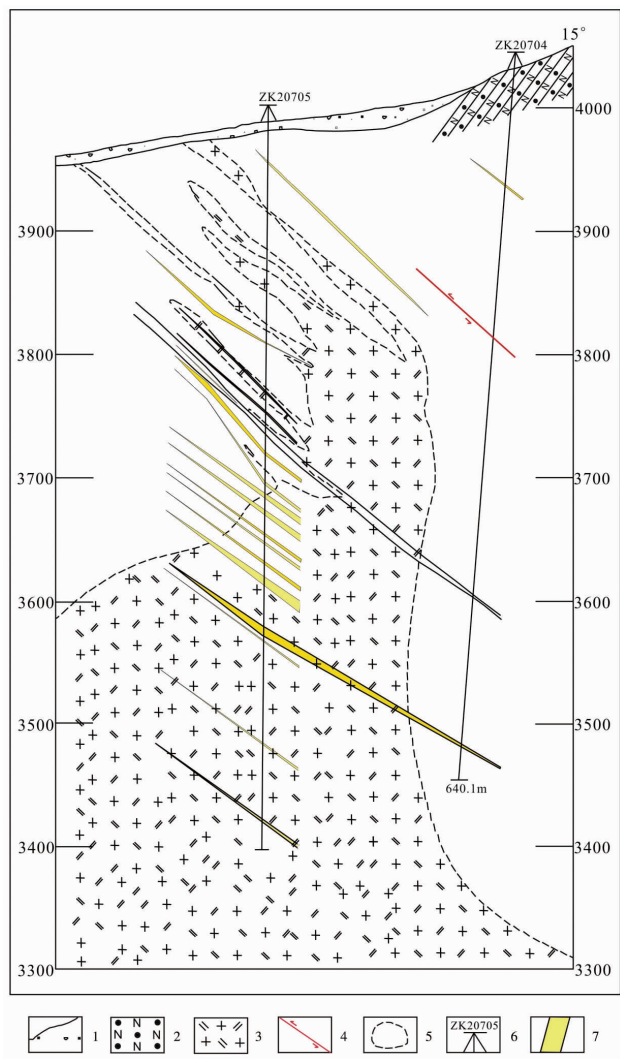


图9 贾公台金矿207勘查线剖面图

Fig. 9 Profile of exploration line 207 in Jiagongtai gold deposit  
1—第四系残坡积物;2—长石砂岩;3—花岗岩;4—逆断层及编号;  
5—岩体界线;6—钻孔位置及编号;7—金矿体

两者结合在贾公台矿段深部找矿中取得非常好的效果,该成果可以在同类金矿深部找矿工作中推广运用。

## 参考文献

[1] 邵跃. 热液矿床岩石测量(原生晕法)找矿[M]. 北京:地质出

版社,1997:1-145

- [2] 刘崇民. 金属矿床原生晕研究进展 [J]. 地质学报,2006,80(10):1528-1538
- [3] 李惠,禹斌,李德亮. 构造叠加晕找盲矿新方法及其找矿效果 [M]. 北京:地质出版社2011:12-30
- [4] 李惠,禹斌,李德亮,等. 构造叠加晕找盲矿法及研究方法[J]. 地质与勘查,2013,49(1):154-161
- [5] 李强,孙继东,杨兴科,等. 新疆石英滩金矿床原生晕特征与隐伏矿预测[J]. 地质与勘查,2005,41(4):66-72
- [6] 王长明,邓军,张寿庭,等. 河南崔香洼金矿原生晕地球化学特征和深部找矿预测[J]. 地质与勘查,2007,43(1):58-63
- [7] 孙华山,孙林,曹新志,等. 胶西北上庄金矿床原生晕轴(垂)向分带特征及深部矿体预测的勘查地球化学标志 [J]. 矿床地质,2008,27(1):64-70
- [8] 李惠,张国义,高延龙,等. 小秦岭金矿集中区深部第二富集带预测的构造叠加晕模型[J]. 物探与化探,2008,32(5):525-528
- [9] 朱先波,郭小俊,戴兴运,等. 构造原生晕法在地质找矿上的应用[J]. 吉林地质,2010,29(1):91-95
- [10] 王世新,杨毅恒. 新疆东天山红石金矿原生晕特征与矿体叠加模型[J]. 世界地质,2010,29(3):383-391
- [11] 陈国忠,梁志录,王建龙,等. 甘肃合作早子沟金矿原生叠加晕特征及深部预测[J]. 物探与化探,2014,38(2):268-276
- [12] 李惠,张文华,常凤池. 大型、特大型金盲矿预测的原生晕叠加模型[M]. 北京:冶金工业出版社,1998:1-140
- [13] 李惠,张国义,禹斌. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 北京:地质出版社,2005:1-142
- [14] 张新虎,刘建宏,赵彦庆. 甘肃省成矿区(带)研究[J]. 甘肃地质,2008,17(2):1-8
- [15] 蒙轸,俞胜,金治鹏,等. 甘肃肃北贾公台金矿构造叠加晕特征及深部找矿预测[J]. 地质与勘查,2015,51(4):731-738
- [16] 李惠,张文华,刘宝林,等. 中国主要类型金矿床的原生晕轴向分带序列研究及其应用准则 [J]. 地质与勘查,1999,35(1):32-35
- [17] 阮天健,朱有光. 地球化学找矿[M]. 北京:地质出版社,1985:1-273
- [18] 李惠,张国义,禹斌,等. 构造叠加晕找盲矿法及其在矿山深部找矿效果[J]. 地学前缘,2010,17(1):287-293
- [19] 陈新蔚,王世新,甘继军. 东天山红石金矿原生晕轴向分带研究[J]. 新疆地质,2013,31(3):201-205
- [20] 朱裕振,强建科,王林飞,等. 深埋铁矿磁测数据三维反演分析与找矿靶区预测[J]. 物探与化探,2019,43(6):1189

# APPLICATION OF STRUCTURAL SUPERIMPOSED HALOES COMBINED WITH 5-DIRECTION LOGGING IN SEARCHING FOR DEEP ORE BODIES IN JIAGONGTAI GOLD MINE, GANSU PROVINCE

YANG Huai-yu, MENG Zhen, LIU Jie, ZHAO Ying, LIANG Yue, JIA Xin-yong

*(The Second Institute of Geology and Mineral Exploration, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730020, China)*

**Abstract:** Jiagongtai gold deposit is the largest gold deposit in Danghenanshan area of Gansu Province. In order to explore deep mineralization and search for blind ore bodies, primary halo research is conducted in the Jiagongtai ore block to establish axial zoning of primary superimposed halos and a reverse zoning characteristic has been found in the deposit. It indicates that there are multiple stages of mineralization in the deep part of the ore body. Combining with the surface-borehole 5-direction logging, it is predicted that there are blind ore bodies below the depth of 3 200 m and multi-layer gold deposits with large thickness and high grade have been found by deep drilling that increase gold reserves 12 tons. The remarkable prospecting result has been achieved. The successful practice of structural superimposed haloes combined with 5-direction logging in searching for deep ore bodies in Jiagongtai gold mine has great importance to deep prospecting of similar deposits.

**Key words:** Jiagongtai gold deposit; structural superimposed halo; surface-borehole 5-direction logging; deep prospecting