

湘东北黄金洞金矿田构造格架、形成机制与勘查启示

高银梅¹, 曾广乾^{2*}, 穆家乐³, 柏道远², 刘中楠⁴, 王勇²

1. 河南地矿职业学院, 河南 郑州 451464;
2. 湖南省地质调查所, 湖南 长沙 410114;
3. 湖南黄金洞矿业有限责任公司, 湖南 岳阳 414500;
4. 湖南省地球物理地球化学调查所, 湖南 长沙 410114



摘要:湘东北黄金洞金矿田累计探明金资源量约为80 t, 平均金品位为 5×10^{-6} , 矿体主要赋存于NWW-近EW向倒转褶皱翼部的层间剪切断裂中。长期以来, 由于缺乏对矿田构造格架和变形样式的系统解析, 制约了对成矿规律的深入认识和找矿勘查的科学部署。通过对黄金洞金矿田进行精细的路线填图和野外构造解析, 厘清了矿田褶皱构造格架和变形样式, 并探讨了其形成机制及其对金矿勘查的启示意义。研究表明, 黄金洞金矿田构造格架主要由NWW-近EW向褶皱和NE向断裂系统组成。NE向泥湾断裂西盘主要发育枢纽呈NWW走向、轴面倾向NNE的倒转背斜和向斜组合, 东盘则主要发育枢纽近EW走向、轴面倾向N的褶皱组合。褶皱系统的初始变形受控于小木坪组与黄洋洞组之间的顺层滑脱断裂, 是在区域NNE-SSW向挤压构造体制下, 在滑脱断裂末端形成的断层传播褶皱。研究揭示, 泥湾断裂下盘构造线相对上盘的逆时针偏转, 可能受控于加里东期形成的近EW向隐伏逆断裂向北的逆冲推覆作用。综合分析认为: 今后找矿工作应聚焦于褶皱翼部层间剪切断裂构成的容矿空间, 重视矿体在垂向上的分段富集特征, 修正泥湾断裂两盘缺位找矿思路, 并加强NE向断裂与NWW-近EW向层间剪切断裂交会部位的勘查工作。本次精细构造格架的厘定为黄金洞金矿田及类似构造控矿区域的未来勘探提供了依据和借鉴。

关键词:构造格架; 褶皱变形机制; 找矿勘查启示; 黄金洞金矿田; 湘东北

中图分类号: P618.51 文献标志码: A 文章编号: 1005-2518(2026)01-0074-17 DOI: 10.11872/j.issn.1005-2518.2026.01.267

引用格式: 高银梅, 曾广乾, 穆家乐, 等. 湘东北黄金洞金矿田构造格架、形成机制与勘查启示[J]. 黄金科学技术, 2026, 34(1): 74-90. GAO Yinmei, ZENG Guangqian, MU Jiale, et al. Structural Framework, Formation Mechanisms and Exploration Implications of the Huangjindong Gold Field, Northeastern Hunan Province[J]. Gold Science and Technology, 2026, 34(1): 74-90.

江南造山带横贯湖南中北部, 汇集了省内90%以上的金矿, 被誉为湖南省“金腰带”(黄建中等, 2020)。在江南造山带(湖南段)内发育众多以顺层(局部切层)剪切断裂为主要容矿构造的金矿田(床), 如: 黄金洞和万古金矿田以NWW-近EW向

顺层剪切断裂为主要容矿构造(顾江年等, 2012; 王志林等, 2016; Zhou et al, 2021), 雁林寺矿田的容矿构造以NE向顺层脆-韧性剪切带和层间断裂为主(黄诚等, 2012; 柏道远等, 2024), 沃溪矿床的容矿构造主要为层间剪切断裂(鲍振襄等, 2002; 汪劲草

收稿日期: 2025-09-11; 修订日期: 2025-11-11

基金项目: 湖南省自然科学基金项目“多期次多级序构造对金成矿的控制——以湘东北黄金洞金矿为例”(编号: 2024JJ8366)、自然资源部新一轮找矿突破战略行动科技支撑项目“雪峰金锑矿构造解析与找矿预测”(编号: ZKKJ202408)、湖南省地质院科技计划项目“湘南坪宝矿田构造控岩控矿作用及深边部找矿方向研究”(编号: HNGSTP202507)和“江南古陆金成矿带黄金洞矿区深部三维智能预测技术及勘查示范”(编号: HNGSTP202302)联合资助

作者简介: 高银梅(1989—), 女, 河南郑州人, 讲师, 从事地质与资源勘查研究工作。E-mail: gao20231001@163.com

*通信作者: 曾广乾(1990—), 男, 湖南鼎城人, 博士, 高级工程师, 从事区域构造地质学与矿田构造地质学研究工作。

E-mail: 408164602@qq.com

© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

等,2003),大坪矿床的容矿构造为NE向顺层韧性剪切带(李华芹等,2008;柏道远等,2023a),漠滨矿床的容矿构造主要为NE向层间剪切断裂(余景明等,1993;鲍振襄等,1998)。其中,湘东北黄金洞金矿田因资源规模大、矿石品位高而备受关注。

一般而言,层间剪切断裂与弯滑褶皱作用密切相关(曾佐勋等,2008)。由于黄金洞金矿田的赋矿地层岩性较为单一,给褶皱构造的准确厘定和恢复带来了较大的难度,长期以来缺乏对矿田构造格架和变形样式的系统解析,进而导致在控矿构造认识上存在诸多争议。关于控矿构造的属性问题:一种观点认为黄金洞矿田内NW-近EW向顺层剪层断裂是区域性近EW向韧性剪切带派生的低次序扩容断裂(黄强太等,2010;顾江年等,2012;李振红,2017);另一种观点认为该组赋矿断裂为新元古代中期(武陵期)在NW-近EW向褶皱翼部层间滑脱形成的逆断裂(柏道远等,2023b;曾广乾等,2026)。关于金矿脉的对应关系及空间错断成因:有学者认为NE向断裂的左行走滑导致赋矿地层和含矿断裂的错动(文志林等,2016),也有学者主张NE向泥湾断裂向NW的逆冲作用造成金枚与金塘—杨山庄矿段之间约4 km的“左行”错断(柏道远等,2023b)。

为进一步解析控矿构造体系,通过对黄金洞金矿田开展详细的露头构造观测和路线填图工作,厘清了矿田构造格架和变形样式,进而探讨了其变形机制、动力学背景及其对金矿勘查的启示,以期为深化区域成矿规律研究和勘查部署提供科学依据。需要说明的是,本文所讨论的构造(如NW-近EW向褶皱、NE向断裂和滑脱断裂等)均为成矿前构造,共同构成了黄金洞金矿田的构造格架,控制了后期金矿体的就位与分布。本文重点解析这些构造的几何学、运动学特征及其形成机制,不涉及成矿期或成矿后的构造活动。

1 区域及矿田地质概况

1.1 区域地质背景

湘东北金矿集区构造位置处于江南造山带中段[图1(a)],是湖南省“金腰带”的重要组成部分(黄建中等,2020)。区内发育黄金洞和万古2个大

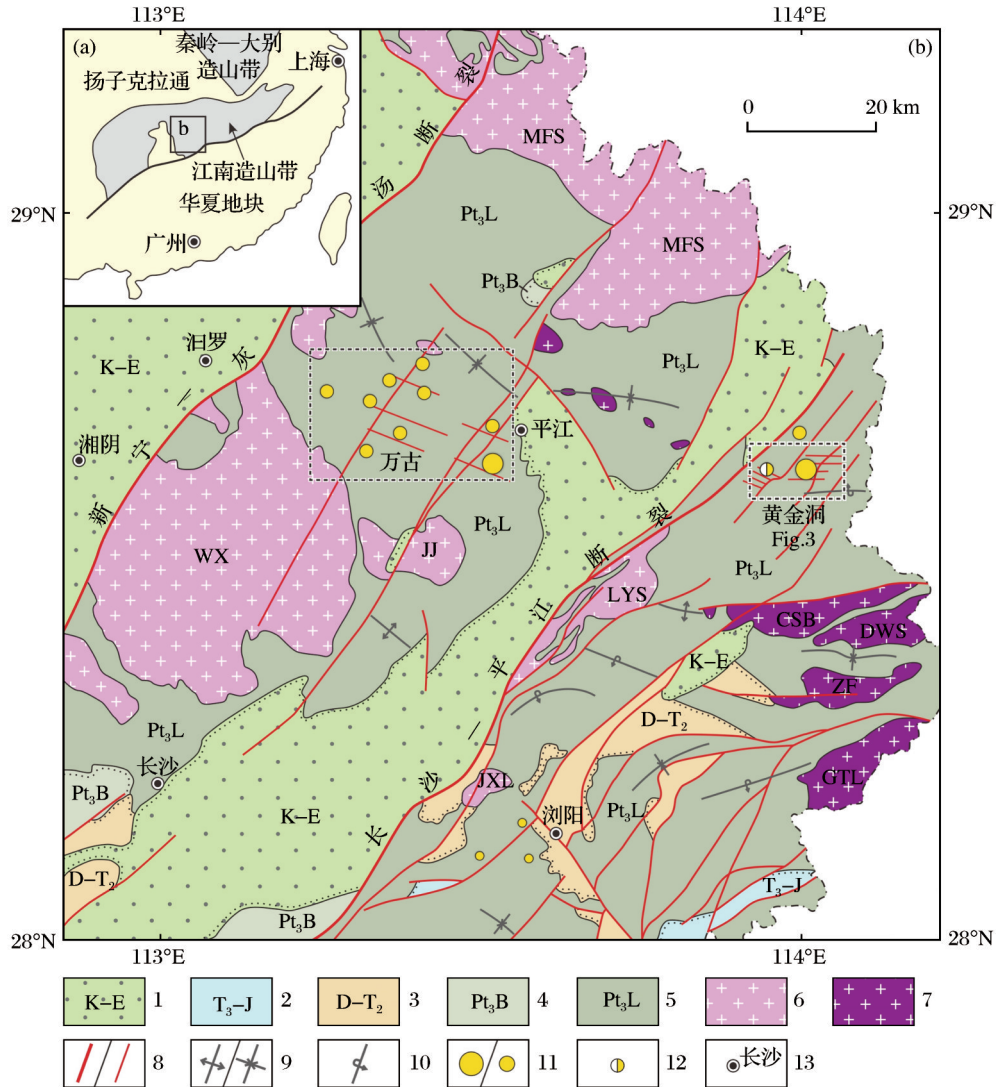
型金矿田,分别位于长沙—平江断陷盆地东西两侧[图1(b)]。湘东北地区地层发育较完整,除下古生界缺失外,自新元古界至古近系均有出露[图1(b)]。其中,冷家溪群和板溪群为一套浅变质的海相复理石沉积,主要由浅灰—灰绿色含黄铁矿绢云母(砂质)板岩和绿泥石板岩构成(Li et al, 2021)(图2)。冷家溪群的金背景值较高($0.5 \times 10^{-9} \sim 44.2 \times 10^{-9}$),约为地壳克拉克值的1~8倍(毛景文,1997),是该区金矿床的主要赋矿层位(Xu et al, 2017)。

自新元古代中期以来,该区经历了多期构造事件(许德如等,2017a)。新元古代中期扬子克拉通与华夏地块的碰撞拼合,导致冷家溪群中发育普遍而强烈的NW-NW向线状褶皱、逆断裂、劈理[图1(b)]和区域低级变质作用,并在冷家溪群与板溪群之间形成角度不整合(图2)。进入显生宙后,该区先后遭受志留纪晚期(加里东运动)SN向挤压、中三叠世晚期(印支运动早幕)NW-NNW向挤压、晚三叠世(印支运动晚幕)SN向挤压、中侏罗世晚期(早燕山运动)NW-近EW向挤压、白垩纪NW-SE向引张及古近纪中晚期NE-NNE向挤压(Zhou et al, 2021; 柏道远等, 2023b)(图2)。其中,白垩纪的岩石圈伸展作用塑造了典型的NE向盆岭构造格局,长沙—平江断裂和新宁—灰汤断裂将湘东北地区分割为断隆和断陷相间的“两隆三盆”构造体系(许德如等,2017a)。

区内岩浆活动主要集中于新元古代(武陵期)和晚侏罗—早白垩世(燕山期)[图1(b)]。新元古代花岗岩主要分布于浏阳东北部,包括长三背、大围山、张坊和葛藤岭等岩体,以及幕阜山岩体西南侧呈NW向串珠状分布的花岗岩株,形成于同碰撞构造背景,侵位年龄为840~810 Ma(李献华等,2001; Deng et al, 2019; 陈旭等, 2023)。晚侏罗—早白垩世花岗岩分布广泛,包括幕阜山、望湘、连云山、金井和蕉溪岭等岩体,主要为后造山S型花岗岩,成岩时代为154~127 Ma(陈剑锋等,2023)。其中,连云山岩体与黄金洞金矿田相邻,表现出明显的矿化分带性,由岩体中心向外依次发育W-Sn-Nb-Ta-Be矿化带、Cu-Pb-Zn矿化带和Au矿化带(许德如等,2017b)。

1.2 矿田地质特征

黄金洞金矿田位于长沙—平江断裂下盘,矿区



CSB-长三背岩体;DWS-大围山岩体;ZF-张坊岩体;GTL-葛藤岭岩体;JJ-金井岩体;JXL-蕉溪岭岩体;LYS-连云山岩体;MFS-幕阜山岩体;WX-望湘岩体;1.白垩-古近系;2.上三叠统一侏罗系;3.泥盆系一中三叠统;4.新元古界板溪群;5.新元古界冷水溪群;6.晚侏罗-早白垩世花岗岩;7.新元古代花岗岩;8.断裂、次级断裂;9.背斜、向斜;10.倒转背斜;11.金矿床;12.金锑矿床;13.地名

图1 江南造山带大地构造位置图(a)(据 Xu et al, 2017 修改)和湘东北地区地质矿产图(金矿)(b)

Fig. 1 Geotectonic location map of Jiangnan orogenic belt (a) (modified after Xu et al, 2017) and geological and mineral map (gold deposits) of northeastern Hunan (b)

出露地层以新元古界大药菇组为主,还有少量新元古界小木坪组和白垩系红层,分别展布于矿区南部和西北部(图3)。大药菇组岩性主要为青灰—黄绿色浅变质粉砂质板岩和绢云母板岩夹粉砂岩(孟亚群等,2024)。该区构造变形强烈,发育有一系列轴面北倾的倒转背斜和向斜。泥湾断裂西侧褶皱枢纽呈NW向展布,东侧则转为近EW向。区内断裂可划分为NW、近EW和NE向3组(图3),其中,NW和近EW向断裂多表现为层间剪切断裂,

走向与褶皱枢纽近一致;NE向规模性断裂包括泥湾、窑湾里、坑上和庵山断裂,总体倾向NW(局部倾向NWW),倾角为35°~65°,为印支—燕山期逆断裂(许德如等,2017a;周岳强等,2021)。矿区范围内未见岩浆岩出露。

该矿田已探明金资源量约为80 t,平均金品位达 5×10^{-6} (Zhang et al, 2018),主要包括金枚、金塘和杨山庄3个矿段(矿床),矿体赋存于大药菇组中。根据黄金洞金矿田内赋矿构造(直接控制工业矿体

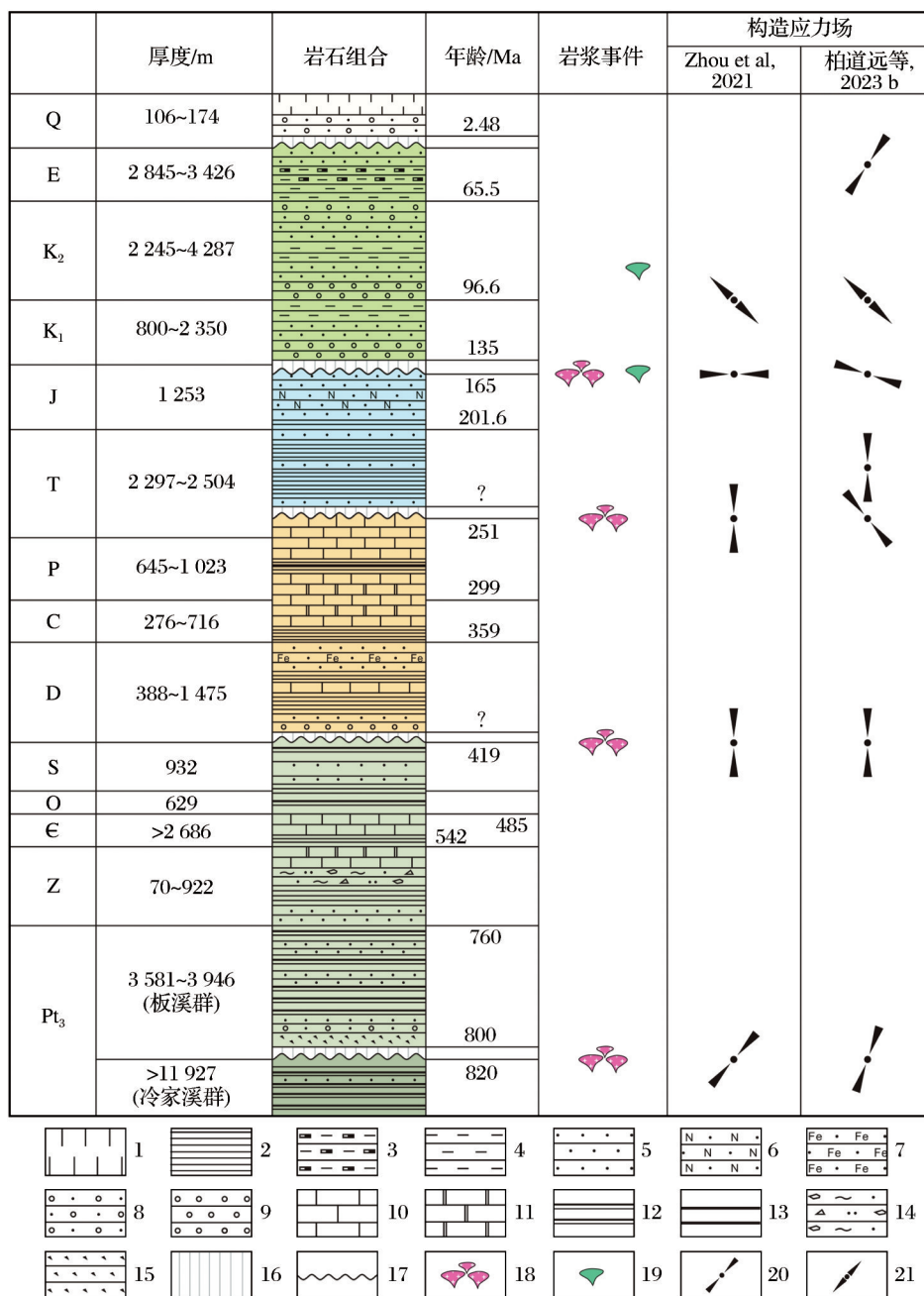


图2 湘东北及邻区沉积、岩浆事件及古构造应力场演替序列综合图(修改自 Zhou et al, 2021)

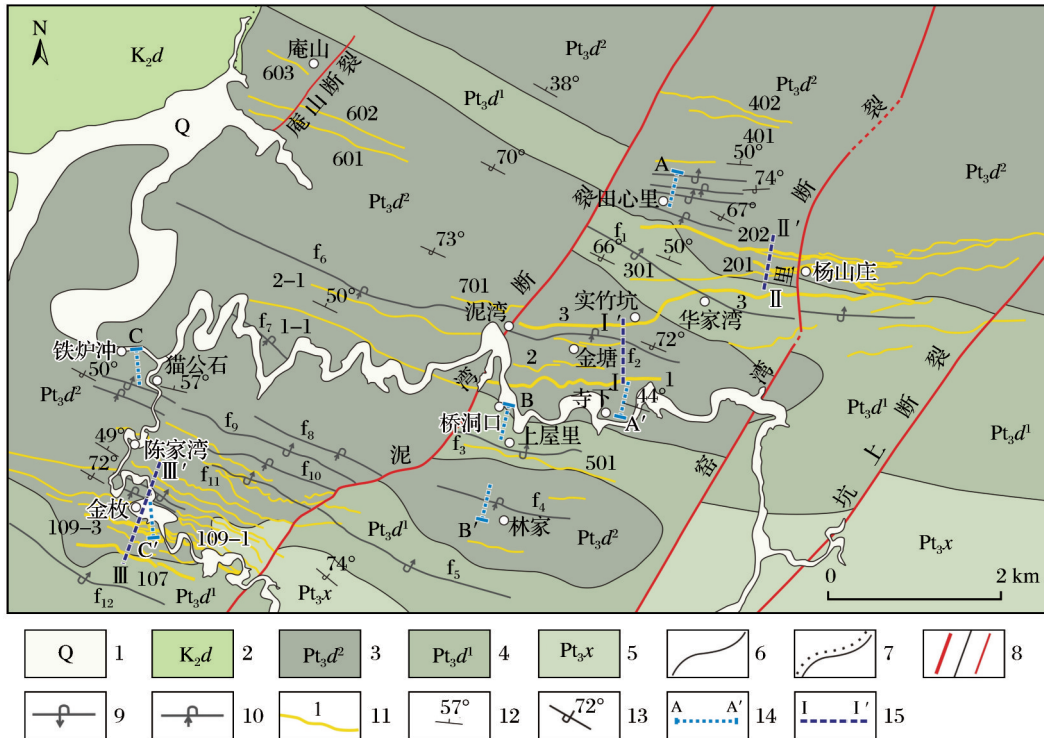
Fig. 2 Comprehensive map of sedimentary, magmatic events and paleotectonic stress field succession sequence of northeastern Hunan and adjacent areas (modified after Zhou et al, 2021)

空间就位的构造)的空间展布及其与围岩的交切关系,将赋矿构造划分为3种主要类型:近EW向层间剪切断裂,主要分布于泥湾断裂东侧,控制着1号、202号和501号等的矿脉产出;近EW向切层断裂,

分布在泥湾断裂东盘,控制着3号、201号和301号等矿脉产出[图4(a),4(b)];NNW向层间剪切断裂,分布在泥湾断裂西侧,控制着107号、109-1号、109-3号和110号等矿脉产出[图4(c)]。其中,1号

和3号脉的金资源量占矿区总量的50%以上(周岳强等,2021)。矿化类型多样,包括石英脉型、蚀变岩型、构造角砾岩型和碎裂石英脉型等(顾江年等,2012;Zhang et al,2020)。矿石矿物以毒砂、黄铁矿和自然金为主,伴生有石英、白钨矿、方铅矿、闪锌

矿、黄铜矿、方解石、绿泥石和绢云母等脉石矿物(孟亚群等,2024)。矿化蚀变特征显著,主要表现为硅化、黄铁矿化、毒砂化、碳酸盐化、绢云母化和绿泥石化等围岩蚀变现象(周岳强等,2021;许可等,2022)。



f₁-华家湾倒转背斜;f₂-碓堡界倒转向斜;f₃-野猪埂倒转背斜;f₄-倒寨屋场向斜;f₅-桃树洞倒转背斜;f₆-高楼坑倒转向斜;f₇-青山排倒转向斜;f₈-凉亭坦倒转向斜;f₉-屠刀坑倒转背斜;f₁₀-横岭倒转向斜;f₁₁-凉亭背倒转背斜;f₁₂-肖家里倒转背斜;1.第四系;2.白垩系戴家坪组;3.新元古界大药菇组上段;4.新元古界大药菇组下段;5.新元古界小木瓶组;6.整合界线;7.不整合界线;8.断裂、次级断裂;9.倒转背斜;10.倒转向斜;11.金矿脉及编号;12.正常地层产状;13.倒转地层产状;14.实测构造剖面;15.勘探线剖面

图3 黄金洞金矿田地质图(修改自Zhou et al,2021;孟亚群等,2024)

Fig. 3 Geological map of the Huangjindong gold field (modified after Zhou et al,2021 and Meng et al,2024)

2 矿田构造格架与褶皱样式解析

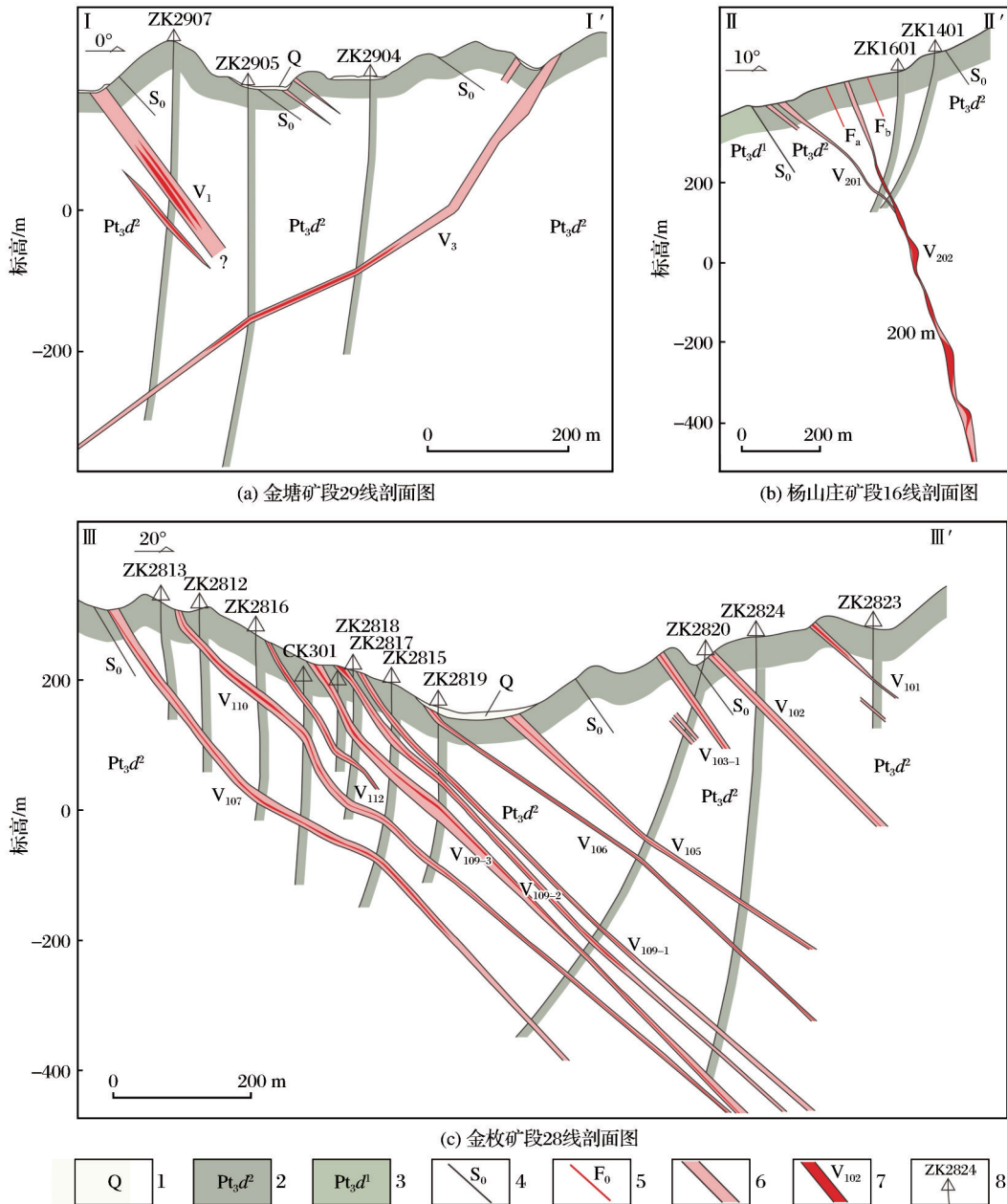
黄金洞金矿田构造格架主要由NWW-近EW向褶皱和NE向断裂组成。考虑到黄金洞金矿田内NE向断裂已有较高程度的勘查工程控制和较详细的构造解析(许德如等,2017a),因此本次主要针对与赋矿断裂走向平行的NWW-近EW向褶皱开展工作。

2.1 褶皱厘定依据

由于大药菇组岩性单一,缺乏可供对比的标志层,且矿区褶皱多为紧闭-中常倒转背斜和向斜(Zhang et al,2020),因此难以通过直接的野外观测

恢复褶皱几何样式。本研究主要借助于对粒序构造、层内劈理和不对称次级褶皱等观测来判断地层正常与否。其中,正粒序(下粗上细)代表地层正常,反粒序(下细上粗)可能指示地层倒转;层内劈理(S₁)倾角陡于层理(S₀)指示地层正常,反之可能暗示地层倒转;在排除后期叠加影响的前提下,不对称次级褶皱位态指示与其相邻的褶皱面或包络面为逆冲滑动,则可确定其所在为正常翼,反之则为倒转翼(陈柏林等,1998;Lin,2001;曾佐勋等,2008)。

本研究选择3条出露良好的矿区公路开展系统的路线地质填图和构造解析工作,由北向南测制



1.第四系;2.新元古界大药菇组上段;3.新元古界大药菇组下段;4.层理;5.断裂及编号;6.蚀变带;7.矿体及编号;8.钻孔及编号

图4 黄金洞金矿田典型地质剖面图(剖面位置见图3)

Fig. 4 Typical geological profile of the Huangjindong gold field (section location shown in Fig. 3)

了穿越构造剖面。在每个观测点上,系统采集包括沉积构造、原始层理(S_0)、劈理(S_1)、褶皱、断裂和破裂等多元构造要素数据。在整合野外实测数据与区域地质资料的基础上,编制了大比例尺路线地质图和构造剖面图。

下文将依次阐述3条剖面所揭示的构造变形样式及其特征。考虑到地表矿脉多已采空,且矿区

金矿脉已得到勘探工程和井下观测的有效控制与厘定(曾广乾等,2026),因此本次路线构造解析过程中未对地表矿脉开展详细研究。

2.2 A-A'剖面构造变形样式及其特征

A-A'剖面北起田心里,向南经实竹坑延伸至寺下(图3)。该剖面共布设10个构造观测点,并完成点间连续构造观测记录[图5(a)],获取41组有

效层理(S_0)和15组劈理(S_1)产状数据[图5(b)]。统计结果表明,岩层主要倾向 $355^\circ\sim 30^\circ$,优势倾向为 $0^\circ\sim 12^\circ$,倾角集中于 $44^\circ\sim 76^\circ$ 。由图5可知,局部岩层倾向NW[如D279点,图5(g)]或NE[如D276点间,图5(d);D282点,图5(a)],可能为后期叠加变形所致。少数岩层倾向S[如D283点,图5(a)],反映次级挠曲褶皱的存在。劈理走向多与层理近平行[图5(b)],二者共同指示一期近SN向挤压事件。劈理倾角一般较陡[图5(d),5(g),5(j),5(k)],少数倾角小于层理[图5(f),5(i)],后一种层劈关系指示局部岩层倒转。D284点[图5(a)]层理产状为 $65^\circ\angle 30^\circ$,劈理产状为 $15^\circ\angle 75^\circ$,二者大角度相交,结合其位于碛堡界倒转向斜扬起端的构造位置,推断该处缓倾层理在印支早幕或早燕山期近横跨叠加变形过程中发生倾向反转,而陡倾劈理则保持稳定。正粒序[图5(c)]和反粒序[图5(e)]构造分别反映D276和D277点处岩层正常和倒转。此外,不对称次级褶皱[图5(h)]指示D280点间岩层正常。

根据层劈关系、粒序构造和不对称次级褶皱分析,推断D277点、D278点、D281点间和D282点处岩层倒转。基于剖面变形特征,结合前人研究资料,绘制了A-A'剖面地质图[图5(l)]。A-A'剖面揭示了华家湾倒转背斜(及其北翼多个次级背、向斜)和碛堡界倒转向斜的几何形态。这些褶皱翼间角约为 38° ,轴面均以中等角度北倾。根据断层相关褶皱理论(Nabavi et al, 2021),这种不对称褶皱样式反映其不仅受制于区域SN向挤压下的整体缩短作用,还与自北向南的剪切、滑脱作用有关。

2.3 B-B'剖面构造变形样式及其特征

B-B'剖面北起桥洞口,向南经上屋里延伸至林家(图3)。该剖面共布设3个构造观测点,并完成点间连续构造观测记录[图6(a)],共获得21组有效层理(S_0)和11组劈理(S_1)产状数据[图6(b)]。统计结果显示,岩层优势倾向为 $2^\circ\sim 16^\circ$,倾角为 $45^\circ\sim 86^\circ$ 。劈理优势倾向为 $358^\circ\sim 11^\circ$,倾角为 $58^\circ\sim 85^\circ$,其走向与层理近一致,共同反映一期近SN向挤压事件的存在。值得注意的是,D286点处层理产状为 $80^\circ\angle 60^\circ$,劈理产状为 $340^\circ\angle 73^\circ$,劈理切穿层理且集中发育在宽度约为3 m的强变形带内[图6(c),6(d)]。根据区域构造应力场推断,该点处层理倾向相对于剖面优势产状的偏转,可能与印支运动早

幕NW-NNW向挤压应力场叠加有关,而切层陡倾劈理可能形成于印支运动晚幕SN向挤压应力场。

基于剖面变形特征和层劈关系[图6(e)~6(g)],恢复了B-B'剖面构造样式[图6(h)]。B-B'剖面揭示了野猪埂倒转背斜和倒寨屋场向斜的几何形态,这些褶皱翼间角约为 32° ,轴面均以中等角度北倾。这种不对称褶皱构造样式反映其不仅受控于区域SN向挤压下的整体缩短作用,还可能与深部自北向南的剪切和滑脱作用有关。

2.4 C-C'剖面构造变形样式及其特征

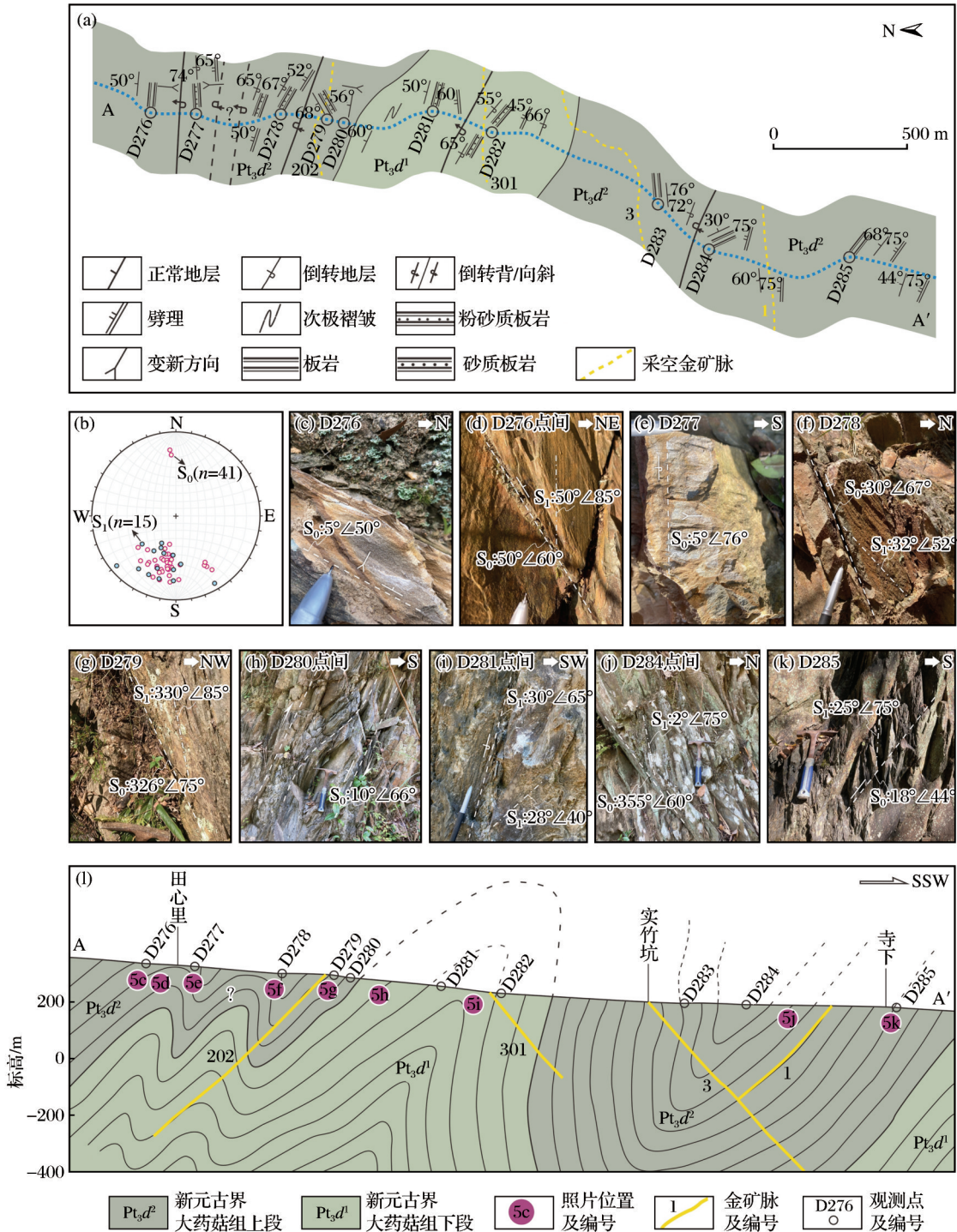
C-C'剖面北起铁炉冲,向南经猫公石、陈家湾和青湾里延伸至金枚南侧(图3)。该剖面共布设9个构造观测点,并完成点间连续构造观测记录[图7(a)],获取32组有效层理(S_0)产状和16组劈理(S_1)产状数据如图7(b)所示。由图7(b)可知,岩层优势倾向为 $10^\circ\sim 37^\circ$,倾角为 $31^\circ\sim 77^\circ$ (集中于 $42^\circ\sim 68^\circ$),局部岩层倾向NE,如:D293点处层理产状为 $45^\circ\angle 58^\circ$ [图7(a)];D293点间层理产状为 $45^\circ\angle 70^\circ$ [图7(c)];D294点处层理产状为 $80^\circ\angle 42^\circ$ [图7(a)];D297点间层理产状为 $40^\circ\angle 61^\circ$ [图7(d)],指示为后期叠加变形造成。劈理走向与层理近平行[图7(b)],共同指示一期NNE-SSW向挤压事件的存在。劈理倾角一般较陡[图7(c),7(e),7(f)],少数倾角小于层理[图7(g)],指示局部存在岩层倒转。D297点处发育顺层剪切断裂,旁侧劈理指示其上盘向南逆冲的运动学性质,剪切带内R破裂、D破裂和主滑移面的围限空间控制了含金石英脉的产出[图7(f)]。

根据层劈关系、粒序构造[图7(d),7(h),7(i)]和不对称次级褶皱分析[图7(j),7(k)],推断D291点和D296点处岩层倒转,其余观测点处岩层正常。基于剖面变形特征,绘制C-C'剖面地质图[图7(l)]。该剖面揭示出4个形态完整的倒转背斜和向斜,其翼间角为 $28^\circ\sim 40^\circ$,轴面以中等角度倾向NNE。上述褶皱几何学特征表明,该剖面格架不仅受区域NNE-SSW向挤压导致的整体地壳缩短控制,还与自北向南的基底剪切或层间滑脱作用密切相关。

3 讨论

3.1 黄金洞金矿田褶皱变形机制

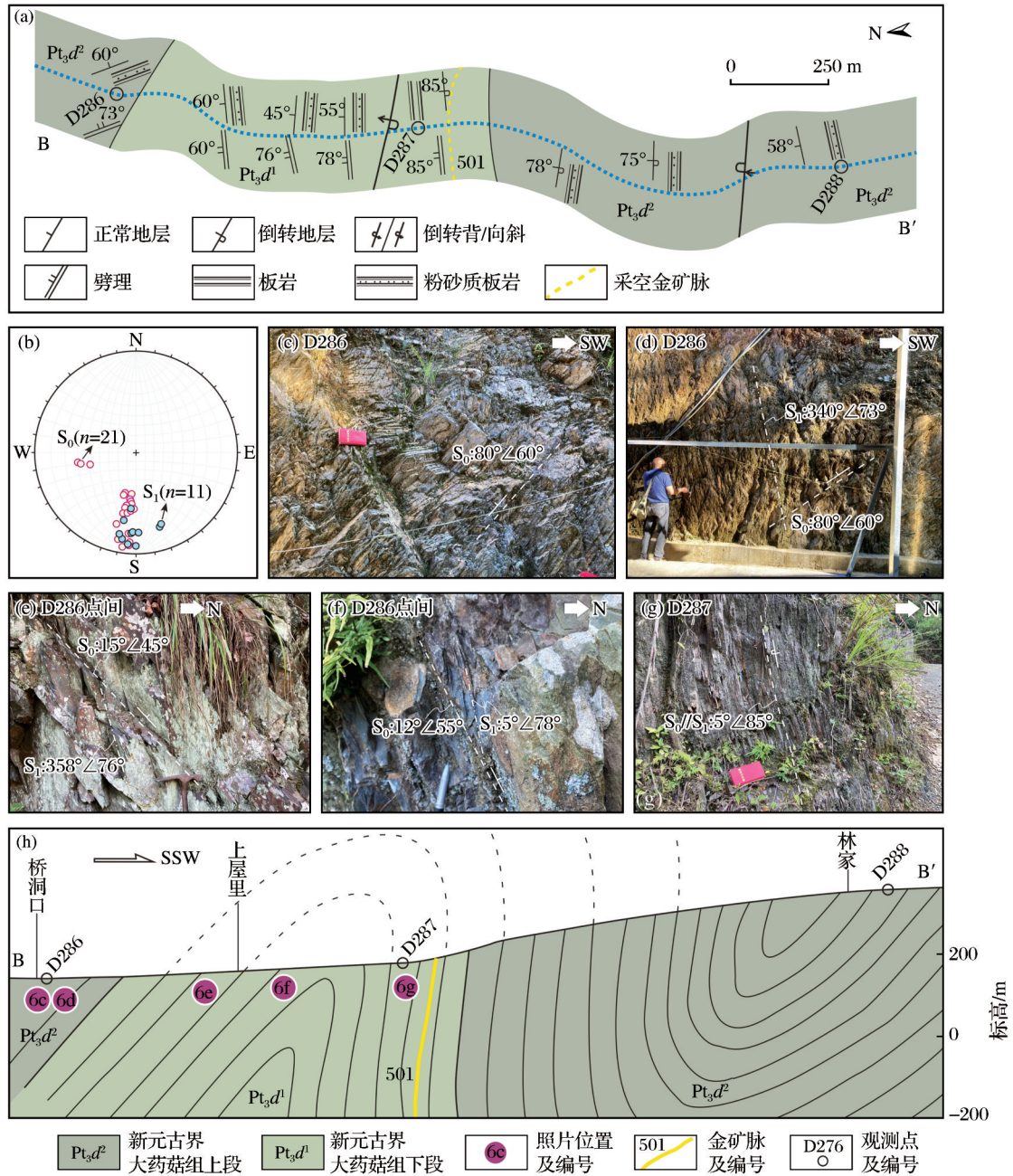
区域上,冷家溪群与上覆板溪群之间普遍存在



(a) 路线地质图; (b) 构造要素投影; (c) D276 点处正粒序构造示正常岩层; (d) D276 点间层缓劈陡示正常岩层, 岩层倾向因叠加变形而倾向 NE; (e) D277 点处反粒序构造示倒转岩层; (f) D278 点处层陡劈缓示倒转岩层; (g) D279 点处层缓劈陡示正常岩层, 岩层倾向因叠加变形而倾向 NW; (h) D280 点间从次级褶皱示正常岩层; (i) D281 点间层陡劈缓示倒转岩层; (j) D284 点间层缓劈陡示正常岩层; (k) D285 点处层缓劈陡示正常岩层; (l) 剖面图; S₀-层理; S₁-劈理

图 5 A-A' 剖面构造格架与变形特征

Fig. 5 Structural framework and deformation characteristics along the A-A' cross section



(a) 路线地质图; (b) 构造要素投影; (c) D286点处薄层状粉砂质板岩因叠加变形而倾向NEE; (d) D286点处发育密集劈理带穿切薄层状粉砂质板岩; (e) D286点间层缓劈陡示正常岩层; (f) D286点间层缓劈陡示正常岩层; (g) D287点处层理近直立,且劈理近平行于层理产出; (h) 剖面图; S₀-层理; S₁-劈理

图6 B-B'剖面构造格架与变形特征

Fig. 6 Structural framework and deformation characteristics along the B-B' cross section

的角度不整合关系揭示,发育于冷家溪群中的NW-NWW向褶皱组合为其初始构造样式,并指示其形成于新元古代中期(武陵期)扬子与华夏地块碰撞一拼合的大地构造背景(Zhou et al, 2021)。尽

管泥湾断裂东、西两盘的构造线走向存在差异,本节重点探讨其初始褶皱变形机制。黄金洞金矿田内一系列倒转褶皱的位态特征显示,其不仅受控于区域NNE-SSW向挤压导致的整体地壳缩短作用,

还与自北向南的剪切和滑脱作用密切相关,指示其可能属于断层相关褶皱。根据几何形态与形成机制,可将断层相关褶皱划分为3种基本类型(Mitra, 2002; Brandes et al, 2014; 李泽泓等, 2017; Nabavi et al, 2021):断层滑脱褶皱形成于滑脱层(低角度断裂或顺层滑脱面)之上,一般由岩层缩短引发,且断层末端终止于背斜核部;断层传播褶皱形成于断层末端向上扩展过程中,当断层从底部滑脱层向上传播时,因断层滑移量逐渐减少而引起的褶皱作用,局部可能突破褶皱核部而形成“贯通断层”;断层转折褶皱发育于具坡—坪式结构的弯曲断层上盘,岩层沿断层运动时因断面几何形态变化而发生褶皱,最终形成断隆背斜。

断层相关褶皱形成的关键在于区域滑脱面的存在,即要求在低能干性层之下垫伏高能干性岩层(Fossen et al, 2016)。湘东北地区冷家溪群上部自下而上可划分为黄浒洞组、小木坪组和大药菇组。其中,黄浒洞组主要由厚层岩屑杂砂岩和厚层板岩组成,具有较高的力学强度;上覆小木坪组和大药菇组则以薄层粉砂质板岩为主(湖南省地质调查院, 2017)。这种“下刚上柔”的岩性结构为滑脱作用提供了有利的力学条件。同时,矿田内褶皱的翼间角较小($28^{\circ}\sim 40^{\circ}$),此类高应变、大缩短量的褶皱样式,要求其变形主要集中于一个相对较薄的岩层序列中,指示控制褶皱形成的主滑脱面应位于一个较浅的构造层次。因此,推断滑脱面位于黄浒洞组与小木坪组之间的岩性界面是合理的,该界面的埋深与观测到的褶皱紧闭程度在力学机制上具有协调性。

在断层相关褶皱模式中,断层滑脱褶皱仅发育于滑脱断层末端,而黄金洞金矿田发育一系列连续倒转背斜和向斜,因此该区褶皱变形难以用断层滑脱褶皱机制解释。同时,该矿田褶皱轴面以中等角度($50^{\circ}\sim 65^{\circ}$)北倾的位态特征,明显区别于断层转折褶皱(近)对称的变形特点。因此,黄金洞金矿田内NW向褶皱变形应受控于断层传播褶皱机制:在区域NNE-SSW向挤压应力场作用下,小木坪组和大药菇组薄层板岩发生明显的横向缩短和纵向加厚,而下覆黄浒洞组厚层砂岩和板岩仅发育宽缓褶皱变形。2套岩层之间这种显著的差异性构造变形,容易在小木坪组与黄浒洞组之间形成滑动破裂

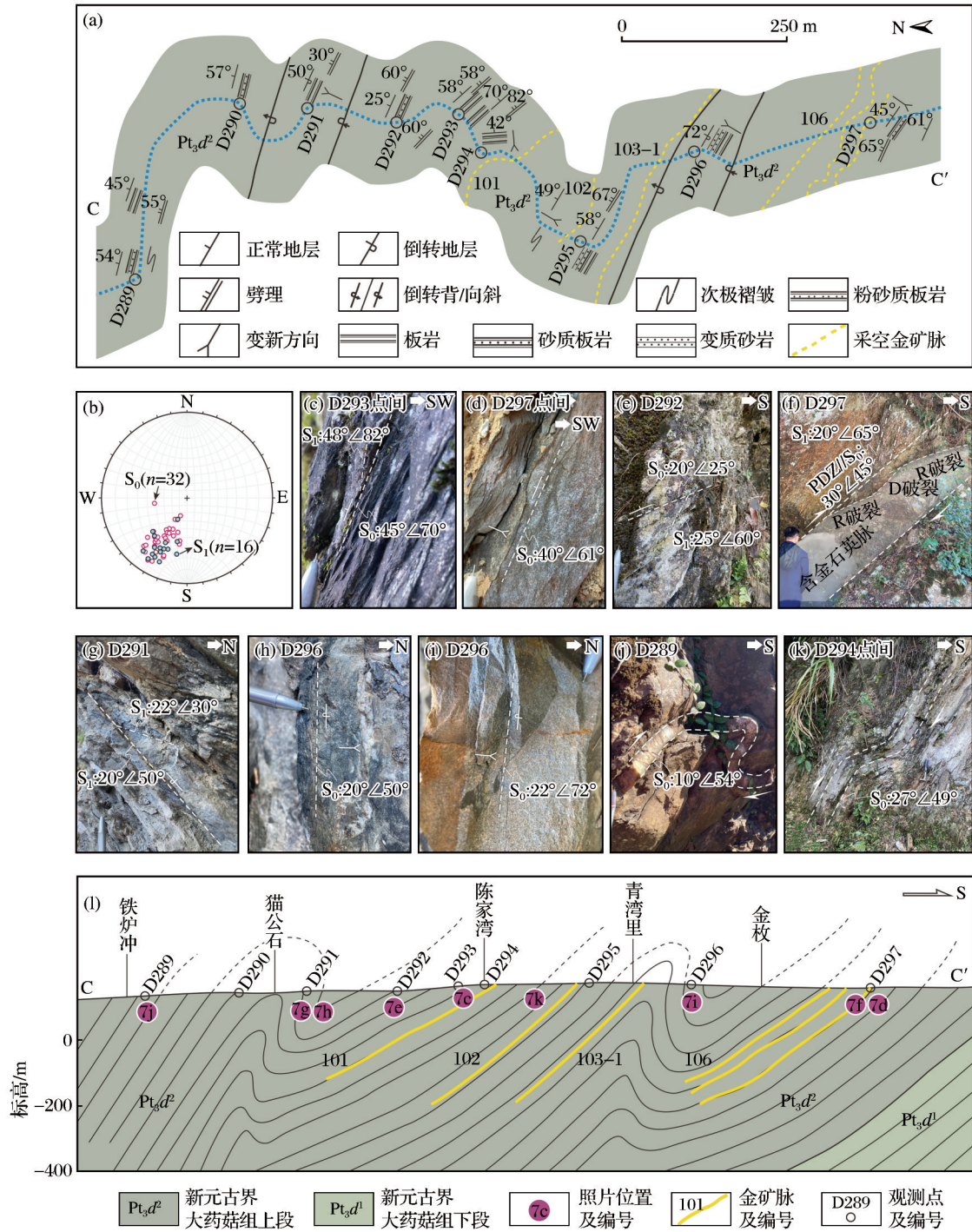
带。在滑脱断层传播过程中,因局部应力集中导致上覆岩层失稳并发生弯滑变形,从而形成褶皱。当褶曲应力超过岩层破裂阈值时,顺层滑动转变为切层逆冲,断层滑移量在末端逐渐减弱,最终在其上盘形成断层传播褶皱,实现褶皱缩短替代断层滑移的应变方式转变(图8)。这一解释虽然在一定程度上依赖对深部构造的合理推断,但其与地表观测到的构造形态具有高度的自洽性。

综上所述,黄金洞金矿田内NW向褶皱是在区域NNE-SSW向挤压构造体制下,在滑脱断层末端形成的断层传播褶皱。其形成时代被限定于新元古代中期(武陵期),主要依据如下:该套褶皱系统在空间展布上与武陵期形成的NW-NW向区域性构造线一致,且其指示的逆冲—推覆极性(自北向南)与该期区域构造运动的动力学背景吻合,表明其为武陵期构造事件的重要组成部分(Xu et al, 2017)。

3.2 泥湾断裂两盘构造线偏转与变形分异机制

由于受扬子克拉通东南缘弧形边界的控制,湘东北地区新元古界冷家溪群构造线走向主体呈NW-NW向(柏道远等, 2023b)[图1(b)]。泥湾断裂上盘(西盘)发育有一系列NW向褶皱群,包括高楼坑倒转向斜、青山排倒转向斜、凉亭坦倒转向斜、屠刀坑倒转背斜、横岭倒转向斜、凉亭背倒转背斜和肖家里倒转背斜等(图3),其展布方向与区域构造线基本一致。而泥湾断裂下盘(东盘)则发育有近EW向褶皱组合,包括华家湾倒转背斜、碉堡界倒转向斜、野猪埂倒转背斜、倒寨屋场向斜和桃树洞倒转背斜等,其展布方向与上盘构造线走向呈 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 夹角(许德如等, 2017a),本次获得的层理产状数据也证实了这一横向构造差异[图5(b)、图6(b)和图7(b)]。

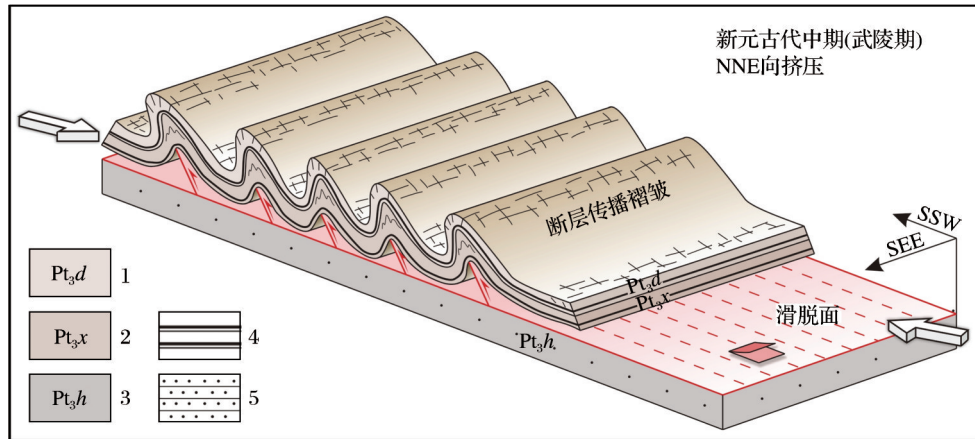
泥湾断裂上、下盘构造线走向的横向差异,可能与下盘近EW向南倾的逆断裂控制有关。该逆断裂存在的主要证据包括:(1)泥湾断裂东盘发育有一组逆断裂束,其走向与近EW向南倾的逆断裂一致,且控制着3号和301号脉;(2)泥湾断裂东盘岩层倾角与褶皱轴面普遍较上盘更陡[图5(1)、图6(h)和图7(1)],可能是由自南向北的逆冲牵引作用所致;(3)南倾逆断裂在逆冲推覆过程中存在横向差异,导致金塘矿段1号脉西端发生逆时针偏



(a)路线地质图;(b)构造要素投影;(c)D289点处不对称次级褶皱示正常岩层;(d)D291点处层陡劈缓示倒转岩层;(e)D291点处反粒序构造示倒转岩层;(f)D292点处层缓劈陡示正常岩层;(g)D293点间层缓劈陡示正常岩层,岩层倾向因叠加变形而倾向NE;(h)D294点间不对称次级褶皱示正常岩层;(i)D296点处反粒序构造示倒转岩层;(j)D297点处顺层剪切断裂带中次级R破裂、D破裂与主滑移带的围限区控制含金石英脉产出;(k)D297点间正粒序构造示正常岩层,岩层倾向因叠加变形而倾向NE;(l)剖面图;S₀-层理;S₁-劈理;PDZ-主滑移面

图7 C-C'剖面构造格架与变形特征

Fig. 7 Structural framework and deformation characteristics along the C-C' cross section



1. 新元古界大药菇组; 2. 新元古界小木坪组; 3. 新元古界黄浒洞组; 4. 板岩; 5. 砂岩

图8 黄金洞金矿田NWW向褶皱变形机制

Fig. 8 Deformation mechanism of NWW-trending folds in the Huangjindong gold field

转,呈NE走向。

该逆断裂的形成时代可限定于加里东期,其主要依据包括:(1)区域上,加里东期近SN向挤压构造事件在江南造山带被广泛识别并记录(Xu et al, 2017; Zhou et al, 2021);(2)矿田尺度上,金枚矿段白云母 Ar-Ar 年龄揭示出该期构造-热事件的存在;(3)控制3号和301号脉的逆断裂束所指示的自南向北的逆冲极性,与该期区域构造运动的动力学背景相吻合(柏道远等, 2023b; 曾广乾等, 2026);(4)与近EW向南倾逆断裂走向一致的3号脉控矿断裂,被后期印支早幕形成的NE向断裂切割(曾广乾等, 2026),进一步限定其形成时代早于印支期。

黄金洞金矿田横向差异格局的形成可概括为多期构造叠加的结果:新元古代中期(武陵运动),在NNE-SSW向挤压应力场作用下形成NWW向褶皱;至志留纪晚期(加里东运动),受近SN向挤压应力场的影响,由于构造变形的非均一性,在现今泥湾断裂下盘发育一条近EW向南倾的隐伏逆断裂,导致下盘块体内的构造线发生小幅逆时针旋转[图9(a)];印支运动早幕,在区域NW-NNW向挤压应力场作用下,在构造线走向转折部位(应力集中区)发生断裂成核,初始断裂进一步扩展生长,从而形成NE向泥湾断裂带[图9(b)]。

此外,泥湾断裂两盘先存构造线的差异,进一步控制了印支期变形的空间分异格局。具体表现为泥湾断裂上盘仅发育小型的庵山断裂,而下盘则

形成规模较大的窑湾里断裂和坑上断裂等NE向构造(图3)。该现象可从应变分配的角度予以合理解释:在印支运动早幕NW-NNW向区域挤压作用下,泥湾断裂上盘的NWW向岩层与主压应力方向夹角较小,致使大部分应变能通过沿岩性界面的层间张剪性滑动得以耗散,从而抑制了大型切层断裂的发育;而下盘近EW向岩层与区域挤压方向夹角较大,在挤压过程中发生更明显的收缩变形,进而形成NE向叠瓦式逆断裂束[图9(b)]。

3.3 找矿勘查建议

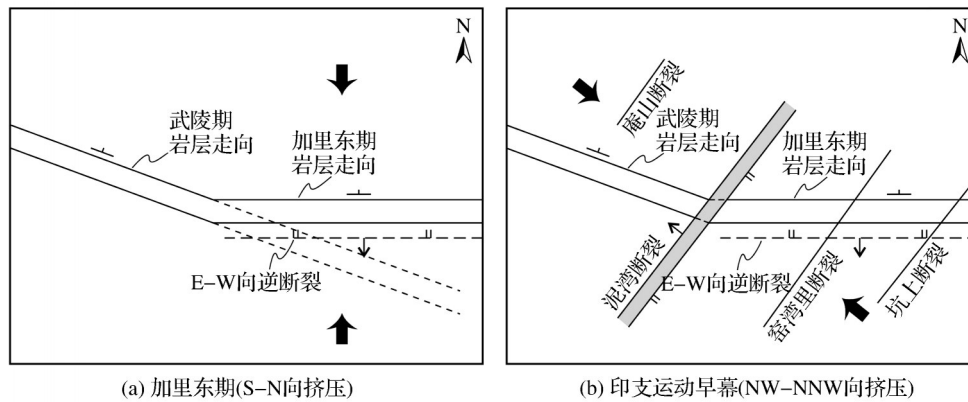
黄金洞金矿田内金矿脉主要赋存于倒转褶皱翼部的层间剪切断裂带中,赋矿断裂普遍具逆断裂性质[(图7(j))](曾广乾等, 2026),表明矿体定位与褶皱构造样式及变形机制密切相关。基于断层相关褶皱理论与弯滑褶皱作用机制,提出如下找矿建议:

(1)聚焦褶皱翼部容矿空间。在弯滑褶皱机制下,褶皱翼部层间剪切作用强烈,易形成显著扩容空间,有利于成矿流体的汇聚与矿石沉淀;而褶皱核部在变形中多发育挤入构造而非虚脱构造,难以形成有效容矿空间。

(2)重视矿体垂向分段富集特征。勘查成果显示,矿田内工业矿体常赋存于单一[图4(a)中V3]或多个标高范围内[图4(b)中V202],矿体间仅见弱矿化。金枚矿段(矿床)地表赋矿断裂的逆冲活动,导致R破裂、D破裂与劈理密集发育,这些次级

构造控制着矿化局部富集[图7(j)]。该垂向分段富集规律受控于层间断裂逆冲过程中的局部应力

集中,形成高渗透率区,促使流体大量汇聚并发生矿质沉淀(Cox, 2020; Hronsky, 2020)。



(a) 加里东期(S-N向挤压)

(b) 印支运动早幕(NW-NNW向挤压)

图9 泥湾断裂两盘构造线偏转机制(a)与变形分异的控制机制(b)

Fig. 9 Deflection mechanism of tectonic lines of two blocks for Niwan fault (a) and control mechanism of deformation differentiation (b)

(3)修正断裂两盘缺位找矿思路。泥湾断裂上盘缺少与3号脉、301号脉对应的南倾矿脉,且断裂两盘构造格架和控矿构造样式存在较大差异,并不支持泥湾断裂两盘赋矿断裂群的对应关系。相反地,泥湾断裂两盘赋矿断裂群更可能是在冲断—褶皱变形过程中独立形成的,因此在今后找矿工作中应纠正缺位找矿的传统思路。

(4)加强构造交会部位勘查。层间剪切断裂受褶皱包络面限制,且矿田褶皱下伏的滑脱断裂(小木坪组与黄浒洞组界面)产状平缓,难以有效沟通深部成矿流体,因此层间剪切断裂和滑脱断裂均不具备主要导—配矿功能。相比之下,NE向断裂(如泥湾和窑湾里断裂)延伸较远、倾角中等,可为深部成矿流体向上运移提供通道,起到导—配矿构造的作用,这也解释了为何矿化在区域上沿NE向断裂带集中分布(图3)。当NE向导—配矿断裂与NW-近EW向层间容矿断裂交会时,形成应力集中与强扩容域,岩石破碎程度与容矿空间显著增加,常形成矿柱或富矿包,是寻找高品位厚大矿体的有利部位。

4 结论

(1)黄金洞金矿田的构造格架主要由NW-近EW向褶皱和NE向断裂系统共同构成。泥湾断裂西盘主要发育枢纽呈NW走向、轴面倾向NNE的倒转背斜和向斜组合,东盘则主要发育枢纽呈近

EW走向、轴面倾向N的褶皱组合。褶皱系统的初始变形受控于小木坪组与黄浒洞组之间的顺层滑脱断裂,是在区域NNE向挤压构造体制下,在滑脱断裂末端形成的断层传播褶皱。

(2)泥湾断裂下盘构造线方向相对于上盘的逆时针偏转,可能与加里东期形成的近EW向隐伏逆断裂向北的逆冲推覆作用有关。

(3)今后找矿工作应聚焦于褶皱翼部层间剪切断裂构成的容矿空间,重视矿体在垂向上的分段富集特征,修正泥湾断裂两盘缺位找矿思路,并加强NE向断裂与NW-近EW向层间剪切断裂交会部位的勘查工作。

参考文献(References):

- Brandes C, Tanner D C, 2014. Fault-related folding: a review of kinematic models and their application [J]. *Earth-Science Reviews*, 138: 352-370.
- Cox S F, 2020. Chapter 2: the dynamics of permeability enhancement and fluid flow in overpressured, fracture-controlled hydrothermal systems [M]// *Applied structural geology of ore-forming hydrothermal systems*. Denver: Society of Economic Geologists.
- Deng T, Xu D R, Chi G X, et al, 2019. Revisiting the Ca. 845~820-Ma S-type granitic magmatism in the Jiangnan Orogen: new insights on the Neoproterozoic tectono-magmatic evolution of South China [J]. *International Geology Re-*

- view, 61(4):383-403.
- Fossen H, Bergen U O, et al, 2016. Structural geology [M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hronsky J M A, 2020. Deposit-scale structural controls on orogenic gold deposits: an integrated, physical process-based hypothesis and practical targeting implications[J]. *Mineralium Deposita*, 55(2): 197-216.
- Li W, Cook N J, Xie G Q, et al, 2021. Complementary textural, trace element, and isotopic analyses of sulfides constrain ore-forming processes for the slate-hosted Yuhengtang Au deposit, South China[J]. *Economic Geology*, 116(8): 1825-1848.
- Lin S, 2001. Stratigraphic and structural setting of the Hemlo gold deposit, Ontario, Canada[J]. *Economic Geology*, 96(3): 477-507.
- Mitra S, 2002. Structural models of faulted detachment folds[J]. *AAPG Bulletin*, 86(9): 1673-1694.
- Nabavi S T, Fossen H, 2021. Fold geometry and folding—a review[J]. *Earth-Science Reviews*, 222: 103812.
- Xu D R, Deng T, Chi G X, et al, 2017. Gold mineralization in the Jiangnan orogenic belt of South China: geological, geochemical and geochronological characteristics, ore deposit-type and geodynamic setting[J]. *Ore Geology Reviews*, 88: 565-618.
- Zhang L, Groves D I, Yang L Q, et al, 2020. Utilization of pre-existing competent and barren quartz veins as hosts to later orogenic gold ores at Huangjindong gold deposit, Jiangnan Orogen, Southern China[J]. *Mineralium Deposita*, 55(2): 363-380.
- Zhang L, Yang L Q, Groves D I, et al, 2018. Geological and isotopic constraints on ore genesis, Huangjindong gold deposit, Jiangnan Orogen, Southern China[J]. *Ore Geology Reviews*, 99: 264-281.
- Zhou Y Q, Xu D R, Dong G J, et al, 2021. The role of structural reactivation for gold mineralization in northeastern Hunan Province, South China[J]. *Journal of Structural Geology*, 145: 104306.
- 柏道远, 李彬, 曾广乾, 等, 2023a. 湖南铲子坪—大坪金矿区变形序列及控矿构造[J]. *地质力学学报*, 29(6): 801-823. Bai Daoyuan, Li Bin, Zeng Guangqian, et al, 2023a. Deformation sequences and ore-controlling structures of the Chanziping-Daping gold mining area in Hunan Province, China[J]. *Journal of Geomechanics*, 29(6): 801-823.
- 柏道远, 李彬, 江华军, 等, 2023b. 湘东北黄金洞金矿区构造变形序列及控矿构造属性[J/OL]. *地质通报*, 1-23 (2023-10-17). <https://link.cnki.net/urlid/11.4648>. P. 20231016.1313.002. Bai Daoyuan, Li Bin, Jiang Huajun, et al, 2023b. Deformation sequences and the attributes of ore-controlling structures in the Huangjindong gold mining area in northeast Hunan Province [J/OL]. *Geological Bulletin of China*, 1-23 (2023-10-17). <https://link.cnki.net/urlid/11.4648>. P.20231016.1313.002.
- 柏道远, 魏方辉, 李彬, 等, 2024. 湘东雁林寺金矿田及邻区构造变形事件与控矿构造属性[J]. *地质论评*, 70(1): 20-43. Bai Daoyuan, Wei Fanghui, Li Bin, et al, 2024. Deformation events and the attributes of ore-controlling structures in the Yanlinsi gold orefield and its adjacent areas in eastern Hunan[J]. *Geological Review*, 70(1): 20-43.
- 柏振襄, 万溶江, 鲍珏敏, 1998. 湖南漠滨金矿成矿地质地球化学特征[J]. *黄金地质*, (3): 54-60. Bao Zhenxiang, Wan Rongjiang, Bao Juemin, 1998. Geological geochemical characteristics of metallization in Mobin gold deposit, Hunan[J]. *Gold Geology*, (3): 54-60.
- 柏正襄, 万榕江, 包觉敏, 2002. 沃溪钨锡金矿床成矿的独特性[J]. *湖南冶金*, 30(4): 11-14. Bao Zhengxiang, Wan Rongjiang, Bao Juemin, 2002. Metallogenetic particularity of the Woxi W-Sb-Au deposit[J]. *Hunan Metallurgy*, 30(4): 11-14.
- 陈柏林, 李玉生, 董法宪, 等, 1998. 郴州西山地区褶皱变形的重新厘定[J]. *湖南地质*, (2): 71-75. Chen Bailin, Li Yusheng, Dong Faxian, et al, 1998. Recollating and restipulating of Xishan fold deformation in Chenzhou[J]. *Hunan Geology*, (2): 71-75.
- 陈剑锋, 黄建中, 文春华, 等, 2023. 浅论湘东北地区与燕山期花岗岩有关矿床的成矿系列与找矿方向[J]. *地球学报*, 44(5): 815-833. Chen Jianfeng, Huang Jianzhong, Wen Chunhua, et al, 2023. A preliminary study of metallogenic series and its prospecting direction related to Yanshannian granites in northeastern of Hunan Province [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 44(5): 815-833.
- 陈旭, 邵拥军, 孟德保, 等, 2023. 湘东北幕阜山梅仙花岗岩成因及其构造意义: 锆石 U-Pb-Hf 同位素与全岩地球化学制约[J]. *地质学报*, 97(7): 2222-2240. Chen Xu, Shao Yongjun, Meng Debao, et al, 2023. Zircon U-Pb-Hf isotope and whole-rock geochemical constraints on the origin and tectonic significance of the Meixian granites in the Mufushan area, NE Hunan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 97(7): 2222-2240.
- 顾江年, 宁钧陶, 吴俊, 2012. 湘东北九岭—清水地区韧性剪切带型金矿控矿特征及找矿方向[J]. *华南地质与矿产*,

- 28(1): 27-34. Gu Jiangnian, Ning Juntao, Wu Jun, 2012. Ore-controlling characteristics and prospecting direction for shear zone-type gold deposits in Jiuling-Qingshui area, northeastern Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 28(1): 27-34.
- 湖南省地质调查院, 2017. 中国区域地质志——湖南志[M]. 北京: 地质出版社. Geological Bureau of Hunan Province, 2017. Regional geology of China—Hunan records [M]. Beijing: Geological Publishing House.
- 黄诚, 樊光明, 姜高磊, 等, 2012. 湘东北雁林寺金矿构造控矿特征及金成矿 ESR 测年[J]. *大地构造与成矿学*, 36(1): 76-84. Huang Cheng, Fan Guangming, Jiang Gaolei, et al, 2012. Structural ore-controlling characteristics and electron spin resonance dating of the Yanlinsi gold deposit in northeastern Hunan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(1): 76-84.
- 黄建中, 孙骥, 周超, 等, 2020. 江南造山带(湖南段)金矿成矿规律与资源潜力[J]. *地球学报*, 41(2): 230-252. Huang Jianzhong, Sun Ji, Zhou Chao, et al, 2020. Metallogenic regularity and resource potential of gold deposits of Hunan area in the Jiangnan Orogenic Belt, South China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 41(2): 230-252.
- 黄强太, 夏斌, 蔡周荣, 等, 2010. 湖南省黄金洞金矿田构造与成矿规律探讨[J]. *黄金*, 31(2): 9-13. Huang Qiangtai, Xia Bin, Cai Zhourong, et al, 2010. Study on tectonic and metallogenic law in Huangjindong gold ore field, Hunan Province[J]. *Gold*, 31(2): 9-13.
- 李华芹, 王登红, 陈富文, 等, 2008. 湖南雪峰山地区铲子坪和大坪金矿成矿作用年代学研究[J]. *地质学报*, 82(7): 900-905. Li Huaqin, Wang Denghong, Chen Fuwen, et al, 2008. Study on chronology of the Chanziping and Daping gold deposit in Xuefeng Mountains, Hunan Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 900-905.
- 李献华, 李正祥, 葛文春, 等, 2001. 华南新元古代花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 20(4): 271-273. Li Xianhua, Li Zhengxiang, Ge Wenchun, et al, 2001. U-Pb zircon ages of the Neoproterozoic granitoids in South China and their tectonic implications [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 20(4): 271-273.
- 李泽泓, 曾广乾, 凌跃新, 等, 2017. 雪峰造山带北西缘永顺—大明逆冲推覆构造的厘定及其地质意义[J]. *矿物岩石*, 37(4): 62-73. Li Zehong, Zeng Guangqian, Ling Yuexin, et al, 2017. The determination of Yongshun-Daming thrust-nappe structure in the northwestern margin of Xuefeng orogenic belt and its geological implications [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 37(4): 62-73.
- 李振红, 2017. 湘东北黄金洞—万古地区金矿体构造定位机制浅析[J]. *国土资源导刊*, 14(3): 45-49. Li Zhenhong, 2017. Brief analysis on the tectonic orientation mechanism of the Huangjindong-Wangu gold deposit in northeast Hunan Province [J]. *Land & Resources Herald*, 14(3): 45-49.
- 毛景文, 1997. 湖南万古地区金矿地质与成因[M]. 北京: 原子能出版社. Mao Jingwen, 1997. *Geology and genesis of the Wangu gold deposit in Hunan Province, China* [M]. Beijing: Atomic Press.
- 孟亚群, 李伟, 毛景文, 等, 2024. 沉积黄铁矿微量元素和硫同位素组成对黄金洞金矿床的成因约束[J]. *矿床地质*, 43(4): 935-950. Meng Yaquin, Li Wei, Mao Jingwen, et al, 2024. Trace elements and sulfur isotopic composition of sedimentary pyrite on constraining ore genesis of Huangjindong gold deposit [J]. *Mineral Deposits*, 43(4): 935-950.
- 汪劲草, 夏斌, 雷鸣波, 等, 2003. 伸展型脆—韧性剪切带对沃溪钨铋金矿床的构造控制[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 33(2): 135-140. Wang Jincao, Xia Bin, Lei Mingbo, et al, 2003. Structural control of the extensional brittle-ductile shear zone on Woxi W-Sb-Au deposit in western Hunan Province [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 33(2): 135-140.
- 王志林, 邓腾, 董国军, 等, 2016. 湘东北万古金矿床控矿构造特征与控矿规律研究[J]. *大地构造与成矿学*, 40(2): 281-294. Wen Zhilin, Deng Teng, Dong Guojun, et al, 2016. Characteristics of ore-controlling structures of Wangu gold deposit in northeastern Hunan Province [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 40(2): 281-294.
- 许德如, 邹凤辉, 宁钧陶, 等, 2017a. 湘东北地区地质构造演化与成矿响应探讨[J]. *岩石学报*, 33(3): 695-715. Xu Deru, Zou Fenghui, Ning Juntao, et al, 2017a. Discussion on geological and structural characteristics and associated metallogeny in northeastern Hunan Province, South China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 33(3): 695-715.
- 许德如, 邓腾, 董国军, 等, 2017b. 湘东北连云山二云母二长花岗岩的年代学和地球化学特征: 对岩浆成因和成矿地球动力学背景的启示[J]. *地学前缘*, 24(2): 104-122. Xu Deru, Deng Teng, Dong Guojun, et al, 2017b. Zircon U-Pb geochronological and geochemical characteristics of the Lianyunshan two-mica monzogranites in northeastern Hunan Province: implications for petrogenesis and tectonic setting associated with polymetallic mineralization [J]. *Earth Science Frontiers*, 24(2): 104-122.

- 许可,许德如,2022.江南造山带黄金洞金矿蚀变岩型金矿化形成机制研究[J].黄金科学技术,30(2):151-164.
- Xu Ke, Xu Deru, 2022. Study on the formation mechanism of altered rock type gold mineralization of Huangjindong gold deposit in Jiangnan Orogenic Belt [J]. Gold Science and Technology, 30(2): 151-164.
- 余景明,殷子明,毛先成,1993.漠滨金矿区构造特征及其控矿规律[J].地质与勘探,29(9):23-28.
- Yu Jingming, Yin Ziming, Mao Xiancheng, 1993. The structural features and its ore-controlling rules of the Mobin Au mining area [J]. Geology and Prospecting, 29(9): 23-28.
- 曾广乾,穆家乐,柏道远,等,2026.湘东北黄金洞金矿田控矿构造解析与找矿方向[J/OL].矿物岩石地球化学通报,1-18. <https://link.cnki.net/urlid/52.1102.P.20251201.1458.002>. Zeng Guangqian, Mu Jiale, Bai Daoyuan, et al., 2026. Structural controls on gold mineralization and exploration targeting in the Huangjindong goldfield, northeastern Hunan, China [J/OL]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1-18. <https://link.cnki.net/urlid/52.1102.P.20251201.1458.002>.
- 曾佐勋,樊光明,2008.构造地质学[M].3版.武汉:中国地质大学出版社. Zeng Zuoxun, Fan Guangming, 2008. Structural geology [M]. 3rd ed. Wuhan: China University of Geosciences Press.
- 周岳强,董国军,许德如,等,2021.湖南黄金洞金矿床白钨矿 Sm-Nd 年龄及其地质意义[J].地球化学,50(4):381-397.
- Zhou Yueqiang, Dong Guojun, Xu Deru, et al., 2021. Scheelite Sm-Nd age of the Huangjindong Au deposit in Hunan and its geological significance [J]. Geochimica, 50(4): 381-397.

Structural Framework, Formation Mechanisms and Exploration Implications of the Huangjindong Gold Field, Northeastern Hunan Province

GAO Yinmei¹, ZENG Guangqian², MU Jiale³, BAI Daoyuan², LIU Zhongnan⁴, WANG Yong²

1. Henan Geology Mineral College, Zhengzhou 451464, Henan, China;

2. Geological Survey Institute of Hunan Province, Changsha 410114, Hunan, China;

3. Hunan Huangjindong Mining Co., Ltd., Yueyang 414500, Hunan, China;

4. Geophysical and Geochemical Survey Institute of Hunan Province, Changsha 410114, Hunan, China

Abstract: The Huangjindong gold field, situated in the northeastern region of Hunan Province within the Jiangnan Orogen, represents a major gold production site, boasting cumulative proven resources of approximately 80 tonnes with an average grade of 5 g/t. The ore bodies are predominantly hosted within interlayer shear fractures that have developed along the limbs of overturned folds trending from northwest-west to east-west. Despite its economic significance, a comprehensive understanding of the ore-controlling structural architecture has been lacking. Historically, the absence of a systematic analysis of the structural framework and deformation styles has impeded both a profound understanding of metallogenic regularity and the scientific planning of exploration initiatives in this field. To address this deficiency, this study conducts a detailed structural analysis grounded in extensive, fine-scale route mapping and field-based structural observations. The primary objectives were to (1) delineate the fold architecture and characterize the deformation patterns that govern mineralization, (2) elucidate the formation mechanisms of the predominant structures, and (3) explore the implications for future gold exploration endeavors. Our findings reveal a structural framework characterized by two primary elements: a system of NWW- to E-W-oriented folds and a series of NE-oriented faults. A notable structural divergence is evident across the regional Niwan Fault. To the west of this fault, the fold system consists of overturned anticline-syncline pairs with NWW-trending hinges and axial planes consistently dipping towards the NNE. Conversely, the eastern block exhibits folds with E-W-oriented hinges and north-dipping axial planes, suggesting a significant counterclockwise deflection of structural trends in the footwall compared to the

hanging wall. We propose that the initial development of this fold system was governed by a critical layer-parallel décollement horizon located between the Xiaomuping and Huanghudong formations. Under a regional NNE-SSW compressional tectonic regime, this décollement facilitated detachment and slip, resulting in the formation of fault-propagation folds at its leading edge. We hypothesize that the observed deflection across the Niwan Fault was induced by subsequent northward thrusting along a concealed, approximately E-W-striking reverse fault. The fault in question likely originates from the Caledonian orogeny, and its movement has resulted in the differential rotation of the footwall block. The structural model developed in this study has significant implications for exploration. Future research should focus on: (1) systematically investigating the ore-hosting potential of interlayer shear fractures that have developed along the limbs of the identified folds, as these serve as primary fluid conduits and sites of mineral deposition; (2) considering the vertical segmentation and enrichment characteristics of ore shoots within these structures; (3) revising traditional exploration strategies that assumed a straightforward correlation of ore veins across the Niwan Fault; and (4) improving the targeting of intersections between the northeast-trending fault system and the northwest-west to east-west interlayer shear fractures, as these junctions likely functioned as high-permeability zones conducive to fluid concentration and enhanced gold deposition. This refined structural framework offers a robust foundation for future evidence-based exploration in the Huangjindong gold field and similar structurally controlled regions.

Key words: structural framework; fold deformation mechanisms; exploration implications; Huangjindong goldfield; Northeastern Hunan