

甘肃两当县解板沟一带舒家坝群的解体

田 绒^{1,2}, 何世平³, 温志亮³, 时 超³, 段忠志^{1,2}

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 舒家坝群($D_{2-3}S$)是西秦岭北带构造蚀变岩型金矿重要的赋矿地层,为一套浅变质的具类复理石沉积特征的细碎屑岩及少量碳酸盐岩组合,形成时代为中晚泥盆世。通过1:5万区域地质调查,在西秦岭两当县北解板沟一带原划舒家坝群中新填绘出一套被断裂围限的火山岩-火山碎屑岩系,与舒家坝群的主体岩性差别明显。通过对该火山岩-火山碎屑岩系进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测年,分别获得其中流纹质晶屑凝灰岩加权平均年龄为 204 ± 2 Ma,英安斑岩加权平均年龄为 209 ± 3 Ma,表明该火山岩-火山碎屑岩系形成于晚三叠世。据此,将其从原划舒家坝群中解体,暂划归华日组(T_3hr)。

关键词: 舒家坝群; 火山岩-火山碎屑岩系; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年; 晚三叠世; 两当县

中图分类号: P588.14; P534; P597+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2019)05-0646-11

Disintegration of Shujiaba Group in Haibangou area, Liangdang County, Gansu

TIAN Rong^{1,2}, HE Shi-ping³, WEN Zhi-liang³, SHI Chao³ and DUAN Zhong-zhi^{1,2}

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. China University of Geoscience (Beijing), Beijing 100083, China; 3. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: Shujiaba Group ($D_{2-3}S$) is an important ore-bearing stratum of the tectonic altered rock type gold deposits in the northern belt of the West Qinling Mountains. It is a set of shallow metamorphic fine clastic rocks with the sedimentary characteristics of flysch and a small quantity of carbonate rocks. The combined rocks were formed in Middle-Late Devonian. According to the 1:50 000 regional geological survey, a set of volcanic-pyroclastic rock series was formed in the Haibangou in northern Liangdang County of West Qinling, which was originally designated as Shujiaba Group. According to zircon LA-ICP-MS U-Pb dating, the weighted mean average age of rhyolitic crystal tuff is 204 ± 2 Ma and that of dacite porphyry is 209 ± 3 Ma respectively, indicating that the volcanic-pyroclastic rock series was formed in the Late Triassic. Therefore, it was disintegrated from Shujiaba Group and is temporarily placed in the Huari Formation (T_3hr).

Key words: Shujiaba Group; volcanic-pyroclastic rock series; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; Late Triassic; Liangdang County

Fund support: Geological Survey Project of China Geological Survey (DD20160014, DD20190069)

舒家坝群广泛分布于西秦岭北带,主要出露于 娘坝—固城镇一线以南区域(王元元等, 2014),呈 甘肃省高桥—麻沿河—崖城一线以北和舒家坝—娘 西宽东窄的北西西—南东东向楔形展布。该群由陕

收稿日期: 2018-12-24; 接受日期: 2019-06-14; 编辑: 郝艳丽

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160014, DD20190069)

作者简介: 田 绒(1994-),女,地质工程专业硕士研究生, E-mail: tr1450463116@163.com; 通讯作者: 何世平, E-mail: xakeyi@163.com。

西区测队(1968)^①进行 1:20 万天水幅区测时创立的舒家坝组演化而来,包括上、下两个亚组共 8 个层段,属于叶连俊等(1944)所称“西汉水系”、黄振辉(1962)所称“西汉水统”、王钰等(1964)所称“西汉水群”的一部分。舒家坝群形成于半深海-深海环境,为一套浅变质的具类复理石沉积特征的细碎屑岩夹少量碳酸盐岩(晋慧娟等,1996)。

陕西区测队(1968)^①创名的舒家坝组分为上、下两个亚组。陕西区测队(1974)^②将舒家坝组上亚组中的变质火山岩及片岩、片麻岩、混合岩置于寒武-奥陶系,其余部分与下亚组一起改称为舒家坝群,并分为上、中、下 3 个组,但并未对其进行具体命名。舒家坝群主要岩性包括千枚岩、变钙质泥岩、变粉砂质泥岩、变粉砂岩、砂岩及板岩,夹少量灰岩、泥灰岩,产珊瑚、腕足类、植物、古孢子及疑源类动植物化石,局部可见其与上覆上泥盆统大草滩群呈平行不整合接触,未见底,与周缘下古生界太阳寺岩组和泥盆系西汉水群均呈断层接触关系。甘肃省地矿局第一地质队(1996)^③将舒家坝群分为黑沟组和何家店组,杨明岭等(2014)沿用了该划分方案,本文亦沿用此方案。舒家坝群何家店组包括 4 个岩性段:第 1 岩性段为灰-深灰色板岩(绢云千枚岩)、钙质粉砂岩夹石英杂砂岩及粉砂质灰岩,上部为一套灰白色薄-中层状碎屑灰岩;第 2 岩性段为灰白-灰绿色板岩、绢云千枚岩夹细砂岩及灰岩条带;第 3 岩性段为灰-灰绿色薄-中层状变石英砂岩夹粉砂质板岩及薄层灰岩,发育 C-D-E 层鲍马序列;第 4 岩性段为灰绿-黄绿色粉砂质板岩夹薄层状微晶灰岩,偶夹薄层状粉砂岩。舒家坝群黑沟组包括 2 个岩性段:第 1 岩性段为灰色石英砂岩、长石石英砂岩与粉砂岩、灰绿-暗紫红色板岩;第 2 岩性段为灰色薄层状石英砂岩、粉砂岩与暗紫红色板岩互层。长安大学地质调查研究院(2004)^④将两当县北侧太阳寺断裂以南的原划舒家坝群重新命名为龙潭组,断裂北侧为从奥陶系李子园群、中泥盆统舒家坝群和上泥盆统大草滩群中解体出来的一套浅变质碎屑沉积地层,并将

其命名为太阳寺岩组。太阳寺岩组中锆石 U-Pb 年龄为 426~420 Ma,其形成时代为晚志留世(刘图杰等,2014;陈伟男等,2014)。

以往的研究将舒家坝群的形成时代总体划为泥盆纪,但对其具体的形成时限长期存在争议,包括:① 早泥盆世,叶晓荣(1986)对甘肃天水舒家坝群中发现的孢子化石进行了研究,将舒家坝群划归早泥盆世;② 中泥盆世,陕西区测队(1968)^①根据区测在母家峡采到少量珊瑚及腕足化石,将舒家坝群划归为中泥盆世晚期;陕西区测队(1974)^②依据区域对比,将舒家坝群划归中泥盆世;甘肃区调队(1989)^⑤在扎固一带采到大量珊瑚、腕足化石,将舒家坝群划归中泥盆世;长安大学地质调查研究院(2004)^④根据珊瑚、腕足化石和区域对比,认为舒家坝群时代划归中泥盆世较合适;王元元等(2014)对舒家坝群进行了碎屑锆石 U-Pb 同位素年代学研究,所测样品最小锆石年龄组的加权平均年龄为 413 Ma,代表了舒家坝群的沉积下限,结合前人研究的古生物资料将其形成时代限定为中泥盆世。③ 中晚泥盆世,甘肃区调队(1969)^⑥采获珊瑚、腕足类化石,将舒家坝群划归中晚泥盆世;甘肃省地矿局第一地质队(1996)^③采获大量腕足类化石,将舒家坝群划归中晚泥盆世;苏建平等(2000)通过 1:5 万麻沿河幅、高桥幅区调,在西秦岭舒家坝群中发现了丰富的古孢子化石,认为其形成时代属中晚泥盆世;徐学义等(2014)编制的 1:50 万秦岭及邻区地质图,将舒家坝群划归中晚泥盆世。

总之,前人多数将舒家坝群的形成时代总体划为泥盆纪,但其形成的具体时限尚未精确限定,岩石组合为一套半深海-深海相浅变质的细碎屑岩夹少量碳酸盐岩。此外,尽管前人将舒家坝群岩石地层单元进行了划分,但其在不同地区岩石组合仍存在较大差异,并且差别较大的岩性组合均以断层接触,就是相同的岩性组合,其间亦为断层和平行不整合等接触。因此,前人所划舒家坝群中化石采集的位置不同,形成时代就可能变化,不排除存在其他时代

① 陕西区测队. 1968. 1:20 万天水幅地质图及说明书.

② 陕西区测队. 1974. 1:50 万西秦岭地质图.

③ 甘肃省地矿局第一地质队. 1996. 1:5 万太白幅地质图及说明书.

④ 长安大学地质调查研究院. 2004. 天水市幅 1:25 万区域地质调查成果报告.

⑤ 甘肃区调队. 1989. 1:20 万天水幅、岷县幅修测成果报告.

⑥ 甘肃区调队. 1969. 1:20 万岷县幅地质图及说明书.

的岩石组合的可能。

笔者在1:5万太阳寺幅地质矿产调查过程中,从甘肃省两当县解板沟一带原划舒家坝群中填绘出一套被断裂围限并与铁(金)矿成矿密切相关的火山岩-火山碎屑岩系,该岩系岩石组合与舒家坝群迥然不同。为精确限定该套火山岩-火山碎屑岩系的形成时代,笔者采集了其中流纹质凝灰岩和英安斑岩2件样品进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测年,结果表明其形成时代为晚三叠世。依据岩石组合和形成时代,将其从舒家坝群中解体出来,暂划归华日组。原舒家坝群的解体,对西秦岭岩石地层格架的进一步厘定和该区铁(金)矿形成地质背景的深入研究均具有重要意义。

1 区域地质背景

1.1 区域地层

研究区位于甘肃省两当县境内,大地构造位置属于商丹结合带之南(图1)的中秦岭构造带。研究区岩石地层由老到新有:

(1) 太阳寺岩组(S_3t),分为3个岩性段:第1岩性段(S_3t^1)为灰绿色角闪绿泥片岩、绢云绿泥片岩夹斜长角闪片岩;第2岩性段(S_3t^2)为灰色石英片岩、变砂岩夹绢云石英片岩、二云石英片岩,偶夹大理岩;第3岩性段(S_3t^3)为灰绿色二云石英片岩、绢云绿泥石英片岩夹石英片岩及硅质条带,偶夹薄层大理岩。其与南侧舒家坝群何家店组($D_{23}h$)呈断层接触。

(2) 舒家坝群($D_{23}S$),在研究区仅出露何家店组($D_{23}h$)第1、第2、第3共3个岩性段。第1岩性段($D_{23}h^1$)为灰色-灰白色细砂岩、粉砂岩夹粉砂质板岩及灰岩,顶部为一套灰色砂质灰岩;第2岩性段($D_{23}h^2$)为灰色粉砂质板岩、绢云母千枚岩夹灰白色薄层钙质细砂岩;第3岩性段($D_{23}h^3$)为灰色-灰绿色中细粒石英砂岩、粉砂岩夹粉砂质板岩。其与太阳寺岩组(S_3t)、西汉水群黄家沟组第2岩性段(D_2h^2)及华日组(T_3hr)均呈断层接触。

(3) 西汉水群(DX),研究区仅在西南角出露黄家沟组第2岩性段(D_2h^2)。岩性以灰-灰绿色钙质粉砂质板岩、钙质板岩为主,夹薄层灰岩、钙质千枚

岩、粉砂质板岩及细砂岩。其与舒家坝群何家店组($D_{23}h$)呈断层接触。

(4) 华日组(T_3hr),为本次地质矿产调查从舒家坝群中解体出来的地层单位,也是本文研究的重点。新解体出来的华日组分布于研究区中部,东西长约18 km,南北最宽约4.5 km,周缘被舒家坝群围限,两者为断层接触,北部和南部分别为自北向南逆冲的太阳寺-石马池断层和栗子坪-左家断层。

研究区华日组主要岩石类型包括安山质凝灰岩夹英安斑岩、流纹岩、玄武岩及中酸性凝灰岩(图2),局部出露英安质火山角砾岩和流纹质火山角砾岩(图3a),为近火山口的产物,呈近东西向链状展布。火山岩-火山碎屑岩系被后期二长花岗岩岩株及花岗闪长岩、花岗岩、花岗斑岩岩脉侵入。华日组火山岩-火山碎屑岩系表现出明显的火山-沉积韵律,总体为:安山质凝灰岩、玄武岩→英安斑岩、流纹岩、中酸性火山角砾岩,反映了火山喷发作用以爆发相火山碎屑岩开始,以喷溢相中酸性熔岩结束,主要为爆发相,次为喷溢相。铁矿和金矿产于火山旋回上部层位的中酸性火山岩和火山角砾岩中,铁矿石具有特征的层状构造(图3b),显示火山-沉积成因。

1.2 侵入岩

研究区主要为中酸性侵入岩,除了西邻太白二长花岗岩体和东邻何家庄二长花岗岩体少部分延入区内外,多为二长花岗岩、花岗闪长岩及花岗(斑)岩岩枝,呈北西西向展布,与区域构造方向基本一致,侵入于太阳寺岩组、舒家坝群何家店组以及新解体出的华日组中。

甘肃省地矿局第一地质队(1996)^①获得研究区西邻太白二长花岗岩体Rb-Sr等时线年龄为347.9 Ma,将其时代厘定为石炭纪。前人获得太白二长花岗岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素年龄为 221.8 ± 1.5 Ma,认为其形成时代为晚三叠世(任厚洲等, 2014; 王顺安等, 2016)。前人资料显示,研究区几乎没有石炭纪岩浆活动的证据,因而将太白二长花岗岩体时代划为三叠纪更为妥当。陕西省地质调查院(2003)^②将何家庄二长花岗岩体的时代也厘定为三叠纪。研究区侵入太阳寺岩组、舒家坝群何家店组的二长花岗岩、花岗闪长岩岩枝应属于与太白和何家庄二长花岗岩相关的侵入体,时代为三叠纪,

① 甘肃省地矿局第一地质队. 1996. 1:5万太白幅地质图及说明书.

② 陕西省地质调查院. 2003. 宝鸡市幅1:25万区域地质调查成果报告.

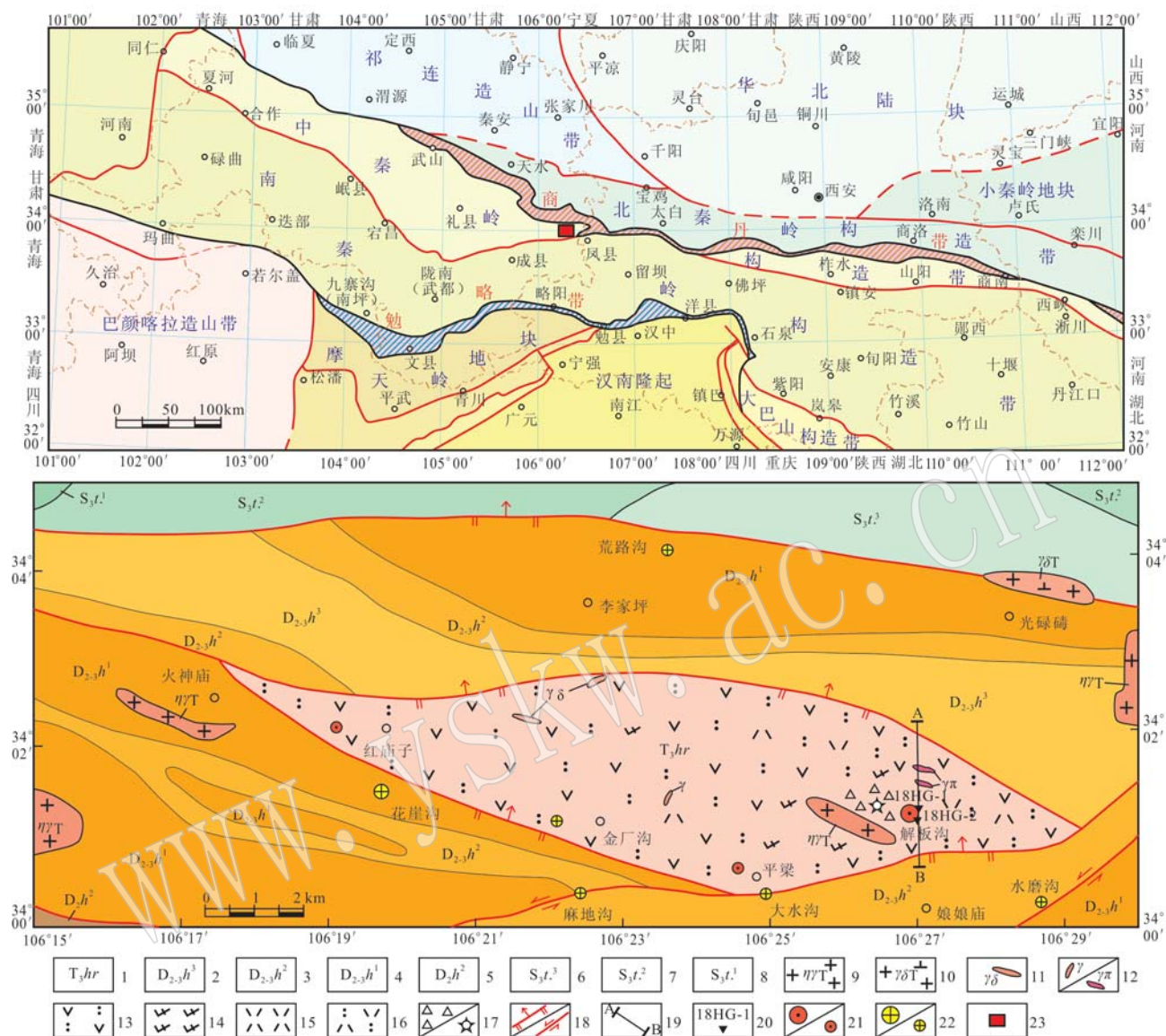


图1 甘肃省两当县解板沟一带地质矿产简图

Fig. 1 Geological and mineral resources map of Haibangou area, Liangdang County, Gansu

1—上三叠统华日组; 2—中上泥盆统何家店组第3岩性段; 3—中上泥盆统何家店组第2岩性段; 4—中上泥盆统何家店组第1岩性段; 5—中泥盆统黄家沟组第2岩性段; 6—下古生界太阳寺岩组第3岩性段; 7—下古生界太阳寺岩组第2岩性段; 8—下古生界太阳寺岩组第1岩性段; 9—三叠纪二长花岗岩; 10—三叠纪花岗闪长岩; 11—花岗闪长岩脉; 12—花岗岩脉/花岗斑岩脉; 13—安山质凝灰岩; 14—英安(斑)岩; 15—流纹岩; 16—流纹质晶屑凝灰岩; 17—火山角砾岩/火山口; 18—逆冲断层/左行走滑断层; 19—剖面位置; 20—同位素年龄样采样位置及编号; 21—小型铁矿床/铁矿点; 22—小型金矿床/金矿点; 23—研究区范围

1—Late Triassic Huari Formation; 2—3rd lithologic member of the Hejiadian Formation in the Middle-Late Devonian; 3—2nd lithologic member of the Hejiadian Formation in the Middle-Late Devonian; 4—1st lithologic member of the Hejiadian Formation in the Middle-Late Devonian; 5—2nd lithologic member of the Huangjiagou Formation in the Middle Devonian; 6—3rd lithologic member of the Taiyangsi Formation in the Early Paleozoic; 7—2nd lithologic member of the Taiyangsi Formation in the Early Paleozoic; 8—1st lithologic member of the Taiyangsi Formation in the Early Paleozoic; 9—Triassic monzonitic granite; 10—Triassic granodiorite; 11—granodiorite dyke; 12—granite dyke/granite-porphyry dyke; 13—andesitic tuff; 14—dacite (dacite porphyry); 15—rhyolite; 16—rhyolitic crystal tuff; 17—breccia volcano/crater; 18—thrust fault/left strike-slip fault; 19—section location; 20— isotopic age sampling location and its serial number; 21—small iron ore deposit/iron ore spot; 22—small gold deposit/gold ore spot; 23—study area

area

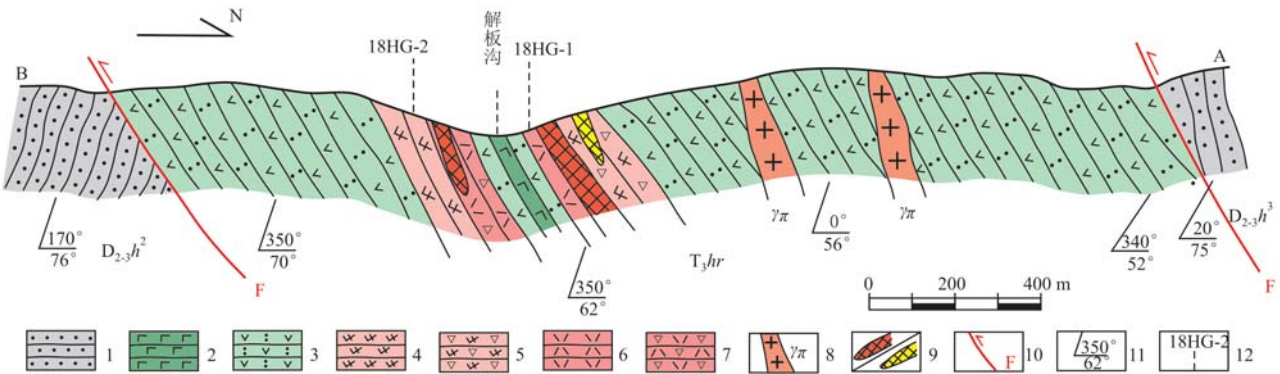


图2 甘肃省两当县解板沟地质剖面

Fig. 2 Geological section of Haibangou, Liangdang County, Gansu

1—变砂岩; 2—玄武岩; 3—安山质凝灰岩; 4—英安斑岩; 5—英安质火山角砾岩; 6—流纹岩; 7—流纹质角砾岩; 8—花岗斑岩;
9—铁矿体/金矿体; 10—逆冲断层; 11—岩层产状(倾向/倾角); 12—采样位置及编号
1—meta-sandstone; 2—basalt; 3—andesitic tuff; 4—dacite porphyry; 5—dacitic volcanic breccia; 6—rhyolite; 7—rhyolitic breccia; 8—granite porphyry; 9—iron orebody/gold orebody; 10—thrust fault; 11—attitude of rock (trend/dip); 12—sampling location and its serial number

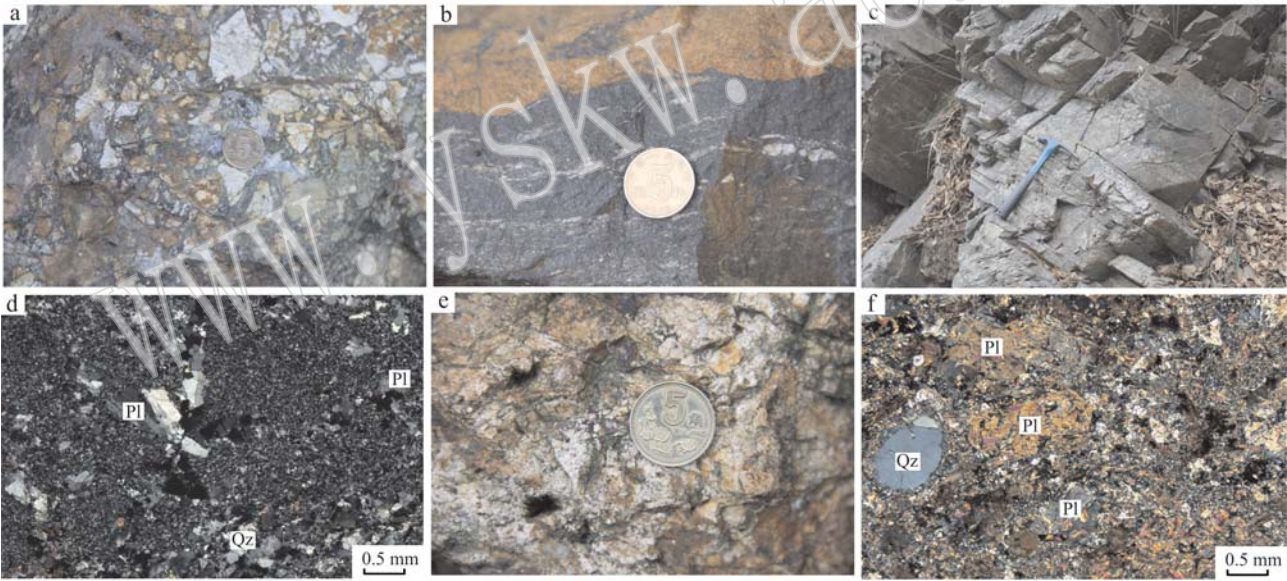


图3 甘肃两当解板沟地区火山岩野外和镜下显微特征

Fig. 3 Field characteristics and photomicrographs of volcanic rocks in Haibangou area, Liangdang County, Gansu Province

a—英安质火山角砾岩野外照片; b—解板沟铁矿矿区铁矿石(主要为镜铁矿, 次为磁铁矿), 发育条带状构造; c—流纹质晶屑凝灰岩(18HG-1)野外照片; d—流纹质凝灰岩(18HG-1)显微照片(正交偏光); e—英安斑岩(18HG-2)野外照片; f—英安斑岩(18HG-2)显微照片(正交偏光); Qz—石英; Pl—斜长石

a—field photo of dacitic volcanic breccia; b—the banded structure of iron ore in Haibangou iron mining area (mainly for the specularite, secondary magnetite); c—field photo of rhyolitic crystal tuff (18HG-1); d—microphotograph (crossed nicols) of rhyolitic crystal tuff (18HG-1); e—field photo of dacite porphyry (18HG-2); f—microphotograph (crossed nicols) of dacite porphyry (18HG-2); Qz—quartz; Pl—plagioclase

是秦岭地区印支期碰撞造山的地质记录。

1.3 区域构造

研究区断裂构造发育, 主要为近东西向或北西西向断裂和北东向断裂两组。早期为近东西向或

北西西向断裂, 属于自北向南的逆冲推覆断裂系, 也是新解体出华日组火山岩—火山碎屑岩系与外围舒家坝群的边界断裂。晚期为北东向断裂, 具有左行走滑性质, 切割早期近东西向或北西西向断裂。

2 样品特征

本次用于同位素测年的样品有2件(18HG-1、18HG-2),均采自甘肃省两当县北解板沟铁矿区(图1、图2),采样点地理坐标为E106°26′43.05″,N34°1′11.97″。

样品18HG-1,野外观察呈灰白色,块状构造(图3c),局部可见条带状构造。镜下表现为凝灰结构,由晶屑和基质两部分组成(图3d)。晶屑主要为酸性斜长石(约3%)和石英(约4%);基质为微细粒长英质(约40%)和隐晶质(约53%),具弱绢云母化。镜下定名为流纹质晶屑凝灰岩。

样品18HG-2,野外观察呈灰白-浅褐色,块状构造(图3e)。镜下具明显的斑状结构,由斑晶和基质两部分组成(图3f)。斑晶主要为绢云母化斜长石(约15%)和石英(约12%),石英斑晶边部遭受熔蚀后呈港湾状或浑圆状;基质由微细粒和隐晶质长英质(约73%)组成,发育强烈绢云母化。镜下定名为英安斑岩。

3 测试方法

锆石单矿物挑选在西安瑞石地质科技有限公司实验室完成,将流纹质晶屑凝灰岩(18HG-1)和英安斑岩(18HG-2)样品破碎至30~50目,通过常规浮选和电磁选方法挑出单颗粒锆石。

在国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成锆石的透射光、反射光和阴极发光(CL)图像分析。挑选出表面平整、色泽度和透明度好的锆石单矿物,将其贴在双面胶上,用无色透明的环氧树脂固定在测试样品靶上。采用JSM-6510A钨灯丝扫描电镜和GatanChromal阴极发光仪进行锆石内部结构显微照相。

LA-ICP-MS锆石微区U-Pb年龄测定在国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成,优选表面平整、无包裹体或裂隙的锆石作为LA-ICP-MS的测试点。分析仪器采用德国Coherent公司生产Geolas Pro型ArF准分子激光剥蚀系统(LA)和美国生产的Agilent7700x型四级杆等离子质谱仪(ICP-MS)组合而成。LA-ICP-MS基本原理是将激光微束聚焦于样品表面使之熔蚀气化,激光剥蚀束斑直径约为

30 μm ,激光剥蚀深度为20~40 μm 。再由He气将样品微粒送入等离子体中电离经质谱系统过滤,最后用接收器检测不同荷质比的离子(袁洪林等,2003;徐庆胜等,2014;李艳广等,2015)。

锆石的同位素比值及元素含量计算采用Glitter(ver4.0, Macquarie University)程序。按照Andersen(2002)的方法进行普通铅校正,采用Isoplot完成 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄计算以及谐和图的绘制(Ludwig, 2003)。

4 测年结果

流纹晶屑质凝灰岩(18HG-1)样品中的锆石颗粒较大,粒径达130 $\mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$ ~ 230 $\mu\text{m} \times 120 \mu\text{m}$,呈自形-半自形柱状、短柱状,锆石CL图像显示具明显的振荡环带结构(图4a),Th/U值为0.23~0.78,主体介于0.31~0.63之间(表1),属典型的岩浆成因锆石。经普通铅校正后锆石U-Pb同位素有效测试点共24个。锆石U-Pb谐和图中,所有测点集中分布于谐和线上或其附近(图4b), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为208 ± 4 ~ 200 ± 4 Ma,谐和年龄为206 ± 5 Ma(MSWD = 0.02),加权平均年龄为204 ± 2 Ma(MSWD = 0.22)(图4b)。谐和年龄和加权平均年龄在误差范围内基本一致, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄204 ± 2 Ma代表了流纹质晶屑凝灰岩的原岩形成年龄,表明其形成于晚三叠世。

英安斑岩(18HG-2)样品中的锆石粒径为90 $\mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ ~ 150 $\mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$,以自形-半自形柱状为主(部分残缺为锆石挑选中机械破碎所致),锆石CL图像显示具明显的振荡环带结构(图5a),Th/U值为0.30~0.78(表1),具有典型岩浆成因锆石特征。锆石U-Pb同位素测试数据经普通铅校正后,共17个有效测试点。锆石U-Pb谐和图中,所有测点成群分布于谐和线上或其附近(图5b), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为214 ± 4 ~ 204 ± 7 Ma,谐和年龄为208 ± 12 Ma(MSWD = 0.01), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为209 ± 3 Ma(MSWD = 0.22)(图5b)。谐和年龄和加权平均年龄在误差范围内基本一致, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄209 ± 3 Ma代表英安斑岩原岩形成年龄,也属于晚三叠世。

表1 甘肃两当县解板沟一带华日组火山岩-火山碎屑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analyses of the volcanic-pyroclastic rocks in Huari Formation, Haibangou area, Liangdang County, Gansu

样号	$w_B/10^{-6}$			Th/U	同位素比值				同位素年龄/Ma				谐和度/%								
	Th	U	Pb*		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ		$^{207}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ						
8HG-1 流纹质晶屑凝灰岩																					
18HG1-02	150.74	249.04	10.88	0.61	0.0529	0.0048	0.233	0.021	0.0319	0.0007	0.0077	0.0004	326	163	212	17	202	4	155	9	104.95
18HG1-03	101.68	210.19	9.17	0.48	0.0500	0.0050	0.222	0.022	0.0322	0.0007	0.0091	0.0006	194	183	204	18	205	4	183	11	99.51
18HG1-06	125.90	170.10	7.95	0.74	0.0502	0.0065	0.224	0.029	0.0325	0.0009	0.0086	0.0005	204	234	206	24	206	5	173	10	100.00
18HG1-07	90.70	185.89	7.76	0.49	0.0525	0.0103	0.230	0.044	0.0318	0.0014	0.0067	0.0009	307	320	211	36	202	9	135	17	104.46
18HG1-08	74.23	161.43	6.93	0.46	0.0496	0.0065	0.223	0.029	0.0327	0.0008	0.0076	0.0006	174	240	205	24	207	5	153	11	99.03
18HG1-09	170.09	302.46	13.42	0.56	0.0518	0.0052	0.229	0.022	0.0320	0.0007	0.0088	0.0005	275	180	209	18	203	4	178	10	102.96
18HG1-10	61.89	132.55	5.62	0.47	0.0502	0.0074	0.222	0.032	0.0320	0.0009	0.0078	0.0007	205	268	203	27	203	6	156	14	100.00
18HG1-11	290.19	371.44	17.14	0.78	0.0518	0.0038	0.231	0.017	0.0323	0.0006	0.0076	0.0004	275	133	211	14	205	4	153	7	102.93
18HG1-12	117.14	236.72	10.20	0.49	0.0514	0.0055	0.229	0.024	0.0324	0.0008	0.0076	0.0005	257	193	210	20	205	5	154	11	102.44
18HG1-13	160.59	315.46	13.44	0.51	0.0508	0.0058	0.226	0.025	0.0322	0.0008	0.0071	0.0006	234	202	207	21	204	5	143	11	101.47
18HG1-14	139.46	221.79	9.76	0.63	0.0531	0.0069	0.233	0.030	0.0318	0.0009	0.0077	0.0006	332	237	212	24	202	5	155	11	104.95
18HG1-15	114.57	210.45	9.40	0.54	0.0510	0.0066	0.227	0.029	0.0323	0.0009	0.0090	0.0007	243	237	208	24	205	5	182	14	101.46
18HG1-17	125.64	556.20	22.45	0.23	0.0524	0.0028	0.232	0.012	0.0321	0.0005	0.0095	0.0006	301	93	211	10	203	3	191	12	103.94
18HG1-18	84.86	164.70	7.06	0.52	0.0501	0.0075	0.218	0.032	0.0316	0.0009	0.0083	0.0007	201	267	200	27	200	6	168	14	100.00
18HG1-19	43.21	88.24	3.87	0.49	0.0528	0.0141	0.235	0.062	0.0322	0.0016	0.0089	0.0012	318	414	214	51	204	10	179	25	104.90
18HG1-20	97.33	175.52	7.78	0.55	0.0515	0.0052	0.230	0.023	0.0323	0.0007	0.0085	0.0006	265	185	210	19	205	4	171	12	102.44
18HG1-21	104.93	257.89	11.08	0.41	0.0487	0.0065	0.219	0.029	0.0326	0.0009	0.0088	0.0007	131	237	201	24	207	5	176	15	97.10
18HG1-22	105.73	345.46	14.23	0.31	0.0501	0.0058	0.224	0.025	0.0324	0.0008	0.0082	0.0008	201	208	205	21	205	5	165	15	100.00
18HG1-23	122.57	244.86	10.22	0.50	0.0546	0.0051	0.238	0.022	0.0316	0.0007	0.0069	0.0005	396	168	217	18	200	4	138	11	108.50
18HG1-25	123.99	262.77	11.45	0.47	0.0484	0.0053	0.219	0.024	0.0329	0.0007	0.0081	0.0007	119	202	201	20	208	4	163	13	96.63
18HG1-26	90.30	307.98	12.63	0.29	0.0496	0.0048	0.223	0.021	0.0326	0.0007	0.0079	0.0007	176	175	204	18	207	4	159	14	98.55
18HG1-27	61.06	123.34	5.13	0.50	0.0525	0.0101	0.231	0.043	0.0319	0.0012	0.0064	0.0009	308	324	211	36	202	8	129	18	104.46
18HG1-28	63.43	167.60	7.05	0.38	0.0509	0.0077	0.226	0.033	0.0322	0.0010	0.0087	0.0009	236	271	207	28	204	6	175	18	101.47
18HG1-29	53.65	132.13	5.60	0.41	0.0544	0.0100	0.237	0.043	0.0317	0.0010	0.0095	0.0009	388	332	216	35	201	6	190	18	107.46
18HG-2 英安斑岩																					
18HG2-01	430.45	552.25	25.59	0.78	0.0474	0.0035	0.221	0.016	0.0338	0.0006	0.0030	0.0002	67	127	202	13	214	4	61	3	94.39
18HG2-02	114.67	207.19	8.66	0.55	0.0487	0.0097	0.224	0.044	0.0333	0.0014	0.0022	0.0003	134	297	205	36	211	9	45	7	97.16
18HG2-03	51.48	142.64	5.68	0.36	0.0502	0.0091	0.223	0.040	0.0322	0.0012	0.0028	0.0004	206	300	204	33	204	7	57	8	100.00
18HG2-06	140.85	232.24	10.20	0.61	0.0505	0.0083	0.230	0.037	0.0330	0.0012	0.0036	0.0003	217	278	210	31	209	7	73	6	100.48
18HG2-12	217.11	331.99	14.35	0.65	0.0503	0.0061	0.227	0.027	0.0327	0.0008	0.0043	0.0003	210	225	208	22	208	5	86	6	100.00
18HG2-14	83.75	207.75	8.34	0.40	0.0496	0.0111	0.223	0.050	0.0326	0.0010	0.0046	0.0006	178	359	204	41	207	6	94	12	98.55
18HG2-16	125.12	294.90	12.30	0.42	0.0501	0.0079	0.231	0.036	0.0335	0.0012	0.0055	0.0006	201	268	211	29	212	7	110	12	99.53
18HG2-20	422.66	918.76	37.80	0.46	0.0522	0.0190	0.234	0.084	0.0325	0.0019	0.0074	0.0013	292	546	213	69	206	12	150	26	103.40
18HG2-21	197.71	343.41	14.91	0.58	0.0506	0.0096	0.227	0.042	0.0326	0.0013	0.0086	0.0010	221	307	208	35	207	8	172	21	100.48
18HG2-22	131.71	437.36	17.19	0.30	0.0506	0.0117	0.231	0.053	0.0331	0.0011	0.0076	0.0012	221	372	211	44	210	7	154	24	100.48
18HG2-23	457.20	812.63	35.58	0.56	0.0500	0.0280	0.230	0.128	0.0334	0.0024	0.0086	0.0019	195	856	210	105	212	15	174	38	99.06
18HG2-24	79.36	179.78	7.39	0.44	0.0517	0.0199	0.232	0.088	0.0325	0.0016	0.0095	0.0018	273	592	211	73	206	10	191	35	102.43
18HG2-25	122.64	384.36	15.03	0.32	0.0508	0.0166	0.229	0.074	0.0327	0.0016	0.0097	0.0022	231	495	209	61	207	10	196	43	100.97
18HG2-26	149.90	439.11	17.33	0.34	0.0510	0.0101	0.229	0.045	0.0326	0.0010	0.0107	0.0016	239	338	209	37	207	6	215	33	100.97
18HG2-28	118.55	329.37	12.63	0.36	0.0528	0.0151	0.234	0.066	0.0321	0.0013	0.0101	0.0022	322	454	213	54	204	8	202	45	104.41
18HG2-29	97.82	300.97	11.45	0.33	0.0481	0.0167	0.221	0.076	0.0334	0.0014	0.0047	0.0029	102	516	203	64	212	9	95	58	95.75
18HG2-30	100.06	306.75	11.19	0.33	0.0520	0.0189	0.233	0.084	0.0324	0.0016	0.0065	0.0022	285	563	212	69	206	10	131	44	102.91

注: $\text{Pb}^* = 0.241 \times {}^{206}\text{Pb} + 0.221 \times {}^{207}\text{Pb} + 0.524 \times {}^{208}\text{Pb}$; 谐和度 = $({}^{207}\text{Pb}/{}^{235}\text{U}) / ({}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U}) \times 100$ 。

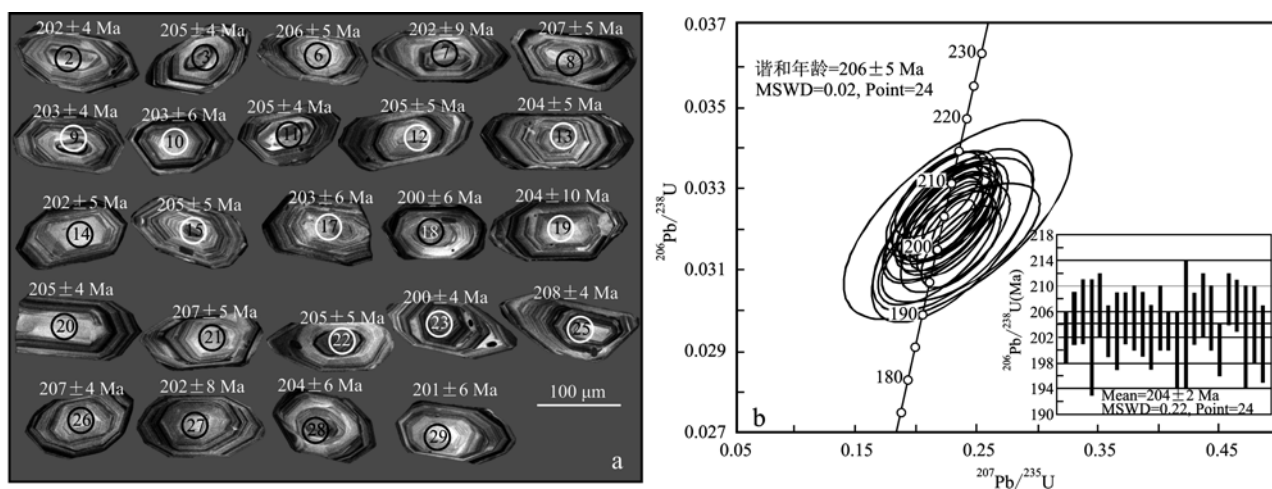


图4 甘肃两当县解板沟一带流纹质晶屑凝灰岩(18HG-1)CL图像(a)和锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 4 The CL images (a) and U-Pb dating concordia diagram of zircon (b) from rhyolitic crystal tuff (18HG-1) in Haibangou area, Liangdang County, Gansu

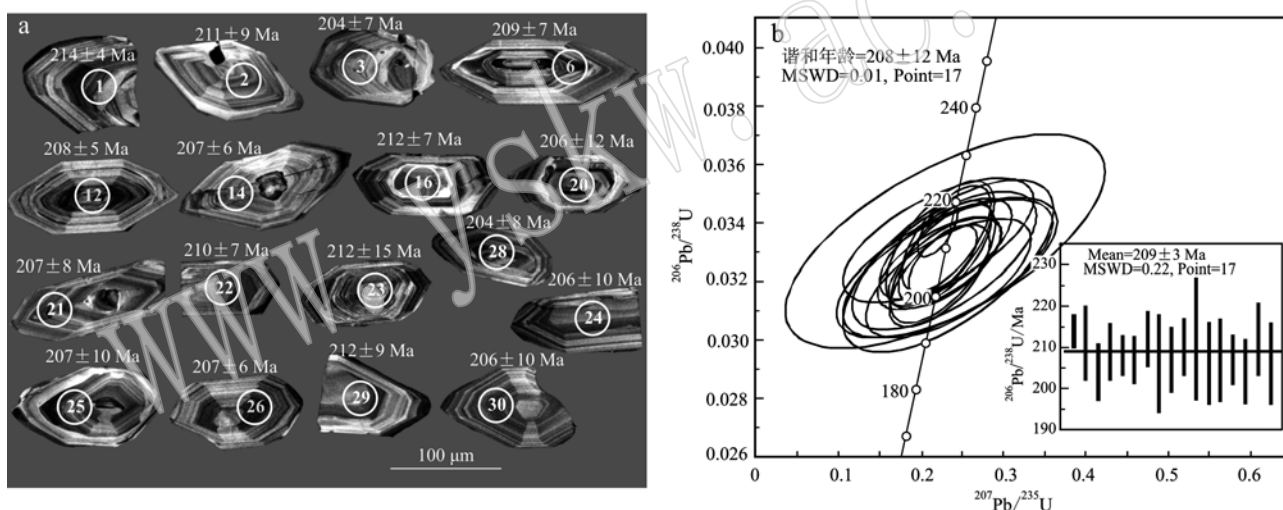


图5 甘肃两当县解板沟一带英安斑岩(18HG-2)CL图像(a)和锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 5 The CL images (a) and U-Pb dating concordia diagram of zircon (b) from dacite porphyry (18HG-2) in Haibangou area, Liangdang County, Gansu

5 讨论

长期以来,甘肃省两当县北分布于太阳寺-石马池断裂(区域上相当于舒家坝-娘娘坝-固城镇断裂)与栗子坪-左家断裂(区域上相当于高桥-麻沿河-崖城断裂)之间、以浅变质细碎屑岩为主的地层被划为舒家坝群或舒家坝群的何家店组(甘肃省地矿局第

一地质队, 1996^①; 长安大学地质调查研究院, 2004^②; 徐学义等, 2014), 时代为中晚泥盆世。本次研究在甘肃省两当县解板沟一带原划舒家坝群中填绘出一套被断裂围限的火山岩-火山碎屑岩系, 岩石组合主要为中酸性凝灰岩夹中酸性火山岩及少量中酸性火山角砾岩, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果表明其形成时代为晚三叠世(209 ~ 204 Ma)。从其岩石组合和形成时代来看, 显然有别于舒家坝群, 应该

① 甘肃省地矿局第一地质队. 1996. 1:5 万太白幅地质图及说明书.

② 长安大学地质调查研究院. 2004. 天水市幅 1:25 万区域地质调查成果报告.

从原划舒家坝群中解体。

在区域上,西秦岭地区晚三叠世火山岩-火山碎屑岩系包括日脑热组(T_3r)和华日组(T_3hr)两个组级岩石地层单位,两者为整合接触(青海省地质矿产局,1997;甘肃省地质矿产局,1997)。日脑热组主要为中基性火山岩夹碎屑岩,少量中酸性火山岩夹碎屑岩;而华日组上部以英安质火山熔岩、角砾岩、英安岩、英安质凝灰岩、集块岩为主,下部为碎屑岩、火山碎屑岩。结合区域上华日组的岩石组合特征划分,如李注苍等(2016)、李注苍(2018)将西秦岭合作市德乌鲁东形成时代为 226.3 ± 1.1 Ma 和 231.7 ± 2.1 Ma,岩性总体为一套中酸性火山熔岩和火山角砾岩的地层划归华日组,认为甘肃省两当县北解板沟一带新解体出的火山岩-火山碎屑岩系在岩石组合方面与华日组更为接近,因此暂将其划归华日组。

原舒家坝群的解体,对西秦岭地区岩石地层格架的进一步厘定提供了重要的基础资料。区域上广泛分布的舒家坝群,由于其内部断裂构造复杂,不排除还存在其他时代岩石组合的可能,值得今后进一步工作。区域上合作市德乌鲁东新划分出晚三叠世华日组,显示印支晚期火山活动在西秦岭的分布范围可从青海东部断续延伸至甘肃东部一带,与西秦岭广泛分布的印支末期中酸性侵入岩类共同成为秦岭造山带印支期构造运动的重要标志,二者相伴而生,是拉张与挤压一对矛盾的统一体,互为并存(霍福臣等,1996)。这一认识对探讨秦岭造山带地质构造演化史提供了新信息。

研究区分布有众多铁矿,如解板沟铁矿、平梁铁矿点、红庙子铁矿点等,以往被认为是产于舒家坝群中的沉积型铁矿。舒家坝群的解体改变了这一传统认识,认为该区铁矿与华日组火山-沉积作用关系密切,主体形成于中酸性火山作用晚期,矿石矿物以磁铁矿、磁赤铁矿为主,次为镜铁矿、赤铁矿,或产于火山韵律上部溢流相中酸性火山岩中,呈似层状、透镜状矿体(图2),具层状构造(图3b);或产于近火山口爆发相中酸性火山角砾岩中,铁矿石充填于火山角砾空隙中(图3a),为爆发相火山作用期后火山热液作用的产物。此外,还有部分金矿(化)体产于火山韵律上部溢流相中酸性火山岩中,为中酸性火山-沉积作用期后热液活动型金矿,并受到后期左行剪切作用的改造(辛存林等,2003;张作衡等,2004;刘涛等,2017)。总之,舒家坝群的解体对重新认识

和深入研究该区铁(金)矿形成地质背景具有重要意义,并可结合本次1:5万地质矿产调查圈定的磁异常开展成矿潜力评价和找矿预测。

6 结论

(1) 通过1:5万太阳寺幅地质矿产调查,在甘肃两当县解板沟一带原划舒家坝群分布区新填绘出一套被断裂围限的火山岩-火山碎屑岩系,岩石组合为安山质凝灰岩、英安(斑)岩、流纹岩、中酸性凝灰岩及少量玄武岩,局部出露英安质火山角砾岩和流纹质火山角砾岩,与原划舒家坝群的岩性差异明显。

(2) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示,流纹质晶屑凝灰岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 204 ± 2 Ma,英安斑岩 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 209 ± 3 Ma,表明该火山岩-火山碎屑岩系形成于晚三叠世。

(3) 依据岩石组合和同位素测年结果,结合区域地质对比,将该套火山岩-火山碎屑岩系从原舒家坝群中解体出来,暂划归华日组。

致谢 感谢秦岭成矿带文康-凤太地区地质矿产调查二级项目为本次研究野外工作提供了极大的支持与帮助。王欣、陈锐明、庄玉军、田荣、姜帅辉、张辉、付明庆、郭亚鹏等参加了野外地质调查工作,本文在工作和撰写过程中得到潘晓萍教授级高工、辜平阳高工等人的指点,在此深表感谢!

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 192: 59 ~ 79.
- Chen Weinan, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, et al. 2014. U-Pb ages of detrital zircons from Taiyangsi Rock Group in Shujiba area of West Qinling Mountains and their geological significance [J]. *Geology in China*, 41(3): 741 ~ 755 (in Chinese with English abstract).
- Gansu Geology and Mineral Resources Bureau. 1997. *Rock Strata in Gansu* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 158 (in Chinese).
- Huang Zhenhui. 1962. *Paleozoic Strata in the Western Section of the Qinling Mountains* [M]. Beijing: Science Press, 189 ~ 203 (in Chinese).
- Huo Fuchen and Li Yongjun. 1996. Evolution of the western Qinling orogenic belt [J]. *Journal of Gansu Institute of Geology*, 5(1): 1 ~ 15 (in Chinese).

- Jin Huijuan and Li Yuci. 1996. Study on the sedimentary sequence of deep-sea terrigenous clastics in the Devonian Shujiaba Formation in the northern Qinling Mountains[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 14(1): 1~10(in Chinese with English abstract).
- Li Yanguang, Wang Shuangshuang, Liu Minwu, *et al.* 2015. LA-ICP-MS U-Pb dating method and application of oblique zircon[J]. *Chinese Journal of Geology*, 89(12): 2 400~2 418(in Chinese with English abstract).
- Li Zhucang. 2018. Gansu Cooperation-Meiwu Gold Deposit Genesis and Its Structural Ore Control Research[D]. Xi'an: College of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, 39~60(in Chinese with English abstract).
- Li Zhucang, Li Yongjun, Qi Jianhong, *et al.* 2016. Geochemical characteristics and tectonic setting of the Lower Triassic Huari Formation volcanic rocks in the Western Qinling Mountains[J]. *Northwest Geology*, 49(4): 26~33(in Chinese with English abstract).
- Liu Tao and Zhao Xiaoqiang. 2017. Discussion on prospecting prospects in the deep metal deposit of Jinchanggou Gold Mine in Liangdang County[J]. *Gansu Science and Technology*, 33(11): 38~42(in Chinese).
- Liu Tujie, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, *et al.* 2014. Detrital zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of the Taiyangsi Formation in Liangdang area, western Qinling and its implications for material source and sedimentary age[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(7): 1 028~1 040(in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. 3. 0-A geochronological toolkit for Micro-soft Excel [A]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication [C], (4): 1~70.
- Ren Houzhou, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, *et al.* 2014. LA-ICP-MS zircon U-Pb age, geochemistry and geological significance of Taibai granite in Tianshui area, western Qinling[J]. *Journal of Geology*, 33(7): 1 041~1 054(in Chinese with English abstract).
- Qinghai Geology and Mineral Resources Bureau. 1997. Rock Strata in Qinghai Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 163~165(in Chinese).
- Su Jianping and Huang Wantang. 2000. The characteristics and time of fossil fossils in the Shujiaba Formation of the Western Qinling Mountains[J]. *Journal of Gansu Geology*, 9(1): 16~22(in Chinese).
- Wang Shun'an, Wang Xiaoxia, Ke Changhui, *et al.* 2016. Zircon U-Pb age and geochemistry of Lüjing granitoid pluton in Western Qinling and their significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 35(1): 33~51(in Chinese with English abstract).
- Wang Yu and Yu Changmin. 1964. Devonian in China [M]. Beijing: Science Press, 1~140(in Chinese).
- Wang Yuanyuan, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, *et al.* 2014. Debris zircon of the Devonian Shujiaba Group in the west Xiqiling area, LA-ICP-MS U-Pb age: Source area characteristics and formation age[J]. *Geological Bulletin of China*, 33(7): 1 015~1 027(in Chinese with English abstract).
- Xin Cunlin, Sun Bainian and Wang Bixi. 2003. Geological characteristics and genesis of Jinchanggou micro-disseminated gold deposit in Liangdang County, Gansu[J]. *Journal of Lanzhou University(Natural Science)*, 39(4): 98~103(in Chinese with English abstract).
- Xu Qingsheng, Wei Yingwen, Huang Anjie, *et al.* 2014. Geochemical characteristics, zircon U-Pb age and its relationship with lead-zinc mineralization in the Lizikeng volcanic basin, Shangrao, Jiangxi Province[J]. *Geological Review*, 60(4): 932~944(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi, Chen Junlu, Zhang Erpeng, *et al.* 2014. 1:50 Million Geological Maps and Specifications of Qinling and Adjacent Areas[M]. Xi'an: Xi'an Map Press(in Chinese with English abstract).
- Yang Mingling, Zhou Huiwu and Zhang Farong. 2014. Metallogenic model and prospecting direction of Huayagou gold deposit in Liangdang County, Gansu[J]. *Journal of Gansu Geology*, 23(3): 51~78(in Chinese with English abstract).
- Ye Lianjun and Guan Shicong. 1944. Geological records in the central and southern Gansu[J]. *China Geological Survey Geological Special Report*, 19: 1~82(in Chinese).
- Ye Xiaorong. 1986. Discovery of spore fossils in the Shujiaba area of Tianshui, Gansu and its stratigraphic significance[J]. *Journal of Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences*, (13): 89~93(in Chinese).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. U-Pb age determination and REE composition analysis of Cenozoic invaders in Northeast China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1 511~1 520(in Chinese with English abstract).
- Zhang Zuoheng, Mao Jingwen and Wang Yong. 2004. Characteristics of fluid inclusions in the gold deposits within Zhongchuan area, western Qinling and their geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(2): 147~157(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈伟男, 裴先治, 刘成军, 等. 2014. 西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 41(3): 741

- ~755.
- 甘肃省地质矿产局. 1997. 甘肃省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 158.
- 黄振辉. 1962. 秦岭西段古生代地层[M]. 北京: 科学出版社, 189 ~ 203.
- 霍福臣, 李永军. 1996. 西秦岭造山带的演化[J]. 甘肃地质学报, 5 (1): 1 ~ 15.
- 晋惠娟, 李育慈. 1996. 西秦岭北带泥盆系舒家坝组深海陆源碎屑沉积序列的研究[J]. 沉积学报, 14(1): 1 ~ 10.
- 李艳广, 汪双双, 刘民武, 等. 2015. 斜锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法及应用[J]. 地质学报, 89(12): 2 400 ~ 2 418.
- 李注苍. 2018. 甘肃合作-美武一带金矿成因及其构造控矿研究[D]. 西安: 长安大学, 39 ~ 60.
- 李注苍, 李永军, 齐建宏, 等. 2016. 西秦岭下三叠统华日组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 西北地质, 49(4): 26 ~ 33.
- 刘涛, 赵小强. 2017. 两当县金厂沟金矿深部找矿前景探讨[J]. 甘肃科技, 33(11): 38 ~ 42.
- 刘图杰, 裴先治, 刘成军, 等. 2014. 西秦岭两当地区太阳寺岩组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄: 形成时代与源区特征[J]. 地质学报, 33(7): 1 028 ~ 1 040.
- 青海省地质矿产局. 1997. 青海省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 163 ~ 165.
- 任厚洲, 裴先治, 刘成军, 等. 2014. 西秦岭天水地区太白花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学及其地质意义[J]. 地质学报, 33(7): 1 041 ~ 1 054.
- 苏建平, 黄万堂. 2000. 西秦岭舒家坝组古孢子化石组合特征及时代讨论[J]. 甘肃地质学报, 9(1): 16 ~ 22.
- 王顺安, 王晓霞, 柯昌辉, 等. 2016. 西秦岭闰井花岗岩锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 35(1): 33 ~ 51.
- 王钰, 俞昌民. 1964. 中国的泥盆系[M]. 北京: 科学出版社, 1 ~ 140.
- 王元元, 裴先治, 刘成军, 等. 2014. 西秦岭舒家坝地区泥盆纪舒家坝群碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄: 源区特征与形成时代[J]. 地质通报, 33(7): 1 015 ~ 1 027.
- 辛存林, 孙柏年, 王碧喜. 2003. 甘肃省两当县金厂沟微细浸染型金矿地质特征及成因探讨[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 39 (4): 98 ~ 103.
- 徐庆胜, 魏英文, 黄安杰, 等. 2014. 江西上饶梨子坑火山盆地潜火山岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其与铅锌矿成矿关系[J]. 地质论评, 60 (4): 932 ~ 944.
- 徐学义, 陈隽璐, 张二朋, 等. 2014. 1:50 万秦岭及邻区地质图及说明书[M]. 西安: 西安地图出版社.
- 杨明岭, 周会武, 张发荣. 2014. 甘肃省两当县花崖沟金矿成矿模式及找矿方向[J]. 甘肃地质, 23(3): 51 ~ 78.
- 叶连俊, 关士聪. 1944. 甘肃中南部地质志[J]. 中国地质调查所地质专报, 甲种第 19 号: 1 ~ 82.
- 叶晓荣. 1986. 甘肃天水舒家坝一带孢子化石的发现及其地层意义[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, (13): 89 ~ 93.
- 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48 (14): 1 511 ~ 1 520.
- 张作衡, 毛景文, 王勇. 2004. 西秦岭中川地区金矿床流体包裹体特征及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 23 (2): 147 ~ 157.