

扬子西缘黄水河群玄武岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义

任光明 庞维华 孙志明 尹福光

(中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要: 分布于龙门山逆冲推覆带内的黄水河群夹片, 为一套典型的浅变质(绿片岩)岩系, 局部变质程度可达低角闪岩相, 其中火山岩广泛发育。本文在野外地质调查基础之上, 结合岩石学、岩相学分析, 对干河坝组中采集的玄武岩锆石进行 SHRIMP U-Pb 测年, 获得 (799 ± 8) Ma 和 (875 ± 12) Ma 两个 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值, 前者为玄武岩结晶(成岩)年龄, 表明该玄武岩形成于新元古代中期, 后者为捕获锆石年龄信息, 代表晋宁运动的一次构造岩浆事件。结合区域上的成果资料, 认为黄水河群与盐井群、苏雄组为晚青白口纪同时代沉积的地层。

关键词: 黄水河群; 玄武岩; 锆石 SHRIMP 定年; 扬子西缘; 新元古代中期

中图分类号: P588.14⁺5; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)04-1007-09

扬子地台西缘传统上被人们认为由结晶基底和褶皱基底双层式结构组成, 其中后者包括会理群、盐边群、盐井群及黄水河群等^[1]。受晋宁运动影响, 龙门山—康定—冕宁—德昌至渡口一带呈南北向分布的杂岩带代表了陆缘弧的轴线, 表现为安第斯型陆缘弧带。由于龙门山至冕宁一带隆起相对较低, 盐井群及黄水河群等岛弧型火山—沉积建造得以保存, 重要的杂岩岩体包括彭灌杂岩、宝兴杂岩、康定杂岩^[2], 其中, 黄水河群分布在宝兴杂岩中。

关于黄水河群的历史划分如表 1 所示。近年来随着区域上不同比例尺的区域地质调查工作广泛开展, 已取得一些认识^[2-5]。区域上前人将黄水河群与盐井群加以对比, 认为黄水河群 3 个岩性组相当于盐井群的石门坎组和蜂桶寨组, 而缺失相当于雅斯德组和黄店子组的地层^[1], 二者均与不同时代的上覆地层呈角度不整合或平行不整合接触^[6]。也有观点

认为二者不能对比, 其岩性组合和变质程度存在差异, 盐井群由两套变质火山岩和两套副变质岩组成, 而黄水河群由变质火山岩逐渐过渡到以副变质岩为主的地层; 火山岩建造方面盐井群石门坎组为流纹岩夹少量玄武岩, 黄店子组为钙碱性—碱性粗面岩建造, 而黄水河群属细碧角斑岩建造; 盐井群变质程度较低, 为低绿片岩相, 而黄水河群变质程度相对要高, 可达低角闪岩相。

关于黄水河群的地层对比、火山岩的时代归属等目前仍存诸多问题。综合认为黄水河群属中元古代, 与会理群相当^[6,7]。本文在对宝兴—芦山地区分布的黄水河群开展野外地质调查的基础之上, 通过高精度锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年代学的研究, 限定其基性火山岩的形成时代, 为进一步开展扬子西缘前震旦系地层划分对比、构造岩浆演化研究等工作提供资料。

收稿日期: 2012-08-08; 改回日期: 2013-03-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41030315)、中国地质调查局调查项目(1212011121110 和 1212011085147) 及国土资源大调查项目(1212010610213)资助。

作者简介: 任光明, 男, 1980 年生, 工程师, 现主要从事区域地质调查工作; E-mail: rguangming928@sina.com。

①四川省地质局第一区测队, 1:20 万宝兴幅区域地质调查报告, 1976。

②四川省地质调查院, 1:25 万宝兴幅区域地质调查报告, 2002。

③张洪刚, 李承炎, 四川的前震旦系, 1983。

表 1 黄水河群划分沿革
Table 1 Evolution of the Huangshuihe Group classification

| 谭锡畴、李春昱 (1929) | 四川省地质局二区测队 (1973) | 张洪刚等 (1983) | 《四川省岩石地层》(1997) |
|-------------------|----------------------|----------------|-----------------|
| | 火山碎屑岩组 | 关防山组 | 关防山组 |
| 中元古界 | 碳酸盐岩碎屑岩组 | 黄铜尖子组 | 黄铜尖子组 |
| “白水河系” | 绿片岩组 | 干河坝组 | 干河坝组 |
| | 火山岩组 | | |

1 地质背景及岩相学

扬子西缘龙门山逆冲推覆带分布于青藏高原与四川盆地的过渡构造带内(图 1),该带北西以盐井—捧达弧形断裂,南东以苟家—双石断裂带为界,北东—南西连绵 500 余千米,宽 30~45 km。构造带主要由彭灌杂岩、宝兴杂岩、康定杂岩为代表的元古界杂岩和变质火山—沉积岩系组成^{①②},其中,黄水河群主要分布在宝兴杂岩中,位于构造带的中段,形成近南北向褶皱,岩性主要由一套火山—沉积岩夹中—基性溶岩,部分火山岩属细碧角斑岩系,归属岛弧型火山—沉积组合^[8-9]。该逆冲推覆带广泛发育钠质花岗岩岩基或岩株,黄铁矿型铜矿化明显。黄水河群包括三个岩性组(图 1~2),下部干河坝组岩性以变质玄武岩、变质安山岩、安山质火山角砾岩为主,局部夹火山角砾岩、凝灰岩及二云母石英片岩等,底部被澄江期钾质花岗岩侵入或断失;中部黄铜尖子组岩性为钠长绿泥片岩、石英片岩夹变英安岩、绢云石英片岩及少量碳酸盐岩,区域上岩性变化较大;上部关防山组岩性为石英片岩、砂板岩夹石英岩,变英安岩,并夹有少量中酸性火山碎屑岩及大理岩,上被震旦纪及古生界地层不整合覆盖。

笔者针对干河坝组分布的火山岩开展了详细的调查。其中,变玄武岩分布在干河坝组下部,呈灰色—灰绿色,具变余交织结构,粒状变晶结构,个别变余少斑状结构,块状构造,杏仁、气孔状构造。杏仁体和气孔呈圆状、扁豆状,多被方解石和白云石充填。其中,斑晶主要由蚀变斜长石(3%~5%)、变杏仁体(5%~10%)组成,蚀变杏仁体多被绿泥石和石英充填,但形状依然清楚,呈次圆、椭圆和不规则形状。基

质主要有斜长石(40%~50%),呈自形长板柱状,强烈绢云母化、碳酸盐化及绿泥石化,致使斜长石双晶不明显,暗色矿物(3%~6%)均已蚀变为绿泥石、黑云母;副矿物为磷灰石。

变安山岩分布在干河坝组中上部,岩石呈灰色、灰紫色,具变余斑状结构,基质变余(玻基)交织结构,块状构造、定向构造。斑晶主要由斜长石(1%~15%)组成,个别岩石中见辉石(2%)和黑云母(2%)斑晶,构成多斑结构。基质主要由斜长石(35%~50%)和“火山玻璃”(25%~35%)组成,其中“火山玻璃”多已变质为绢云母、绿泥石。

变英安质熔结角砾岩呈浅灰褐色、灰紫色,具变余火山凝灰角砾结构,变余熔浆胶结结构,定向构造,块状构造。角砾(70%~75%)呈透镜状、焰舌状、条带状等分布,并具定向排列,粒径大小 2~21.5 mm,成分为安山质岩屑。

云母石英片岩在干河坝组中分布相对较少,主要集中在火山岩上部层位。岩石呈灰色、浅灰褐色,中—细粒状鳞片变晶结构,片状构造,主要由斜长石(20%~35%)、云母(10%~15%)和石英(30%~45%)组成,含少量绢云母、绿泥石、方解石及副矿物磷灰石、榍石及黄铁矿等(5%~10%)。

2 样品采集

笔者通过对芦山快乐乡长石坝地区黄水河群的地质剖面调查,采集了玄武岩同位素年龄样品(CS1-2TW),其地理坐标:N 30°34'04",E 103°04'58"(图 1~2)。经镜下鉴定,岩石具变余交织结构,纤维柱状、粒状变晶结构,块状、杏仁状构造,杏仁体占 5%~10%,具浑圆状、扁豆状,粒径大小为 1 mm×25

①四川省地质局第一区测队.1:20 万宝兴幅区域地质调查报告,1976.

②四川省地质调查院.1:25 万宝兴幅区域地质调查报告,2002.

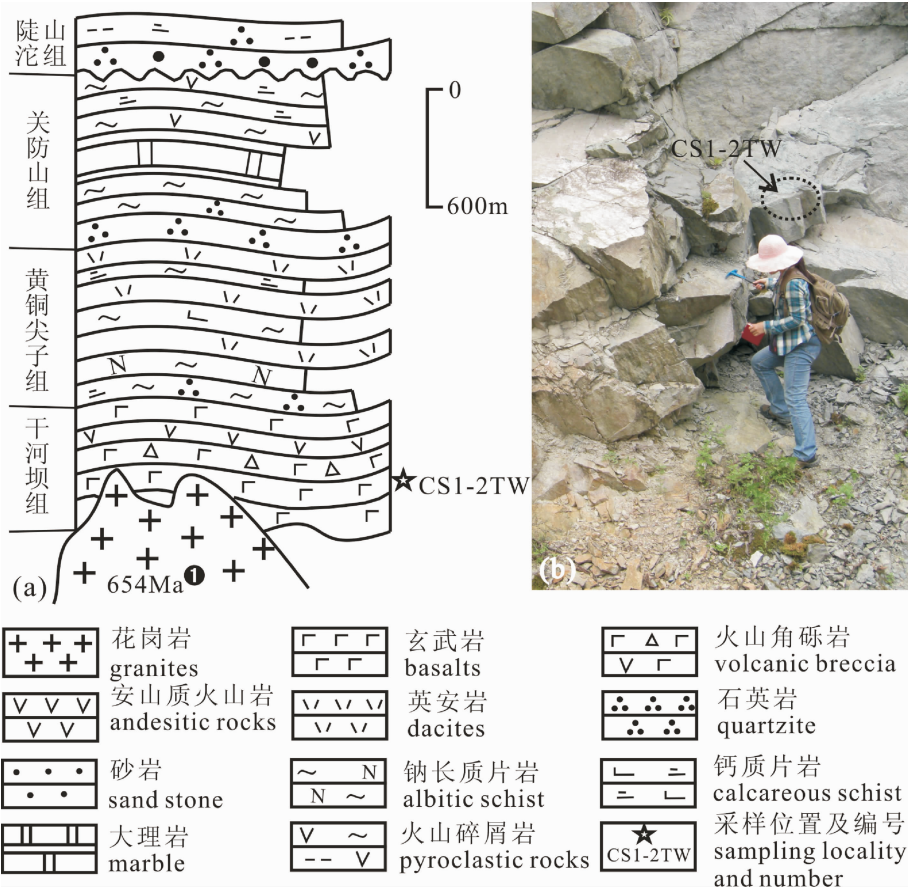


图 2 黄水河群地层柱状图及样品露头

a—黄水河群地层柱状图；b—干河坝组杏仁(气孔)状玄武岩野外露头

Fig.2 Stratigraphic column and field outcrop of Huangshuihe Group

a—Stratigraphic column of Huangshuihe Group; b—Field outcrop showing almonds, vesiculate basalt of Ganheba Formation

究及随后的 SHRIMP U-Pb 分析。锆石显微照相、CL 显微图像研究在北京离子探针中心扫描电镜实验室完成。

3 分析方法

锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定在北京离子探针中心的 SHRIMP-II 上进行,采用 SHRIMP 进行 U-Th-Pb 分析的详细流程见参考文献^[10-13]。应用澳大利亚国家地质调查局标准锆石 TEM(年龄为 417 Ma)进行元素之间的分馏校正 (interelement fractionation),采用 Claoue-Longetal(1995)^[14]提供的公式进行 Pb/U 校正。另外,采用标准锆石 SL13 标定测试分析锆石的 U、Th 和 Pb 含量,其中,标准锆石 SL13 的年龄为 572 Ma, ²³⁸U 含量为 238 μg·g⁻¹, Th/U≈0.088。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Squid1.0 和 Isoplot4.0 程序^[15]。测试分析数据处理采用澳大利亚

国立大学 PRAWN 程序^[16]。普通铅校正根据实测的 ²⁰⁴Pb 进行,普通铅的组成根据 Claoué-Long 等(1995)模式^[14]计算得到。数据表中,年龄的误差为 1σ 绝对误差,同位素比值的误差为 1σ 相对误差;文中所使用的 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄、²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值及谐和年龄计算值具 95%的置信度。

4 分析结果

玄武岩中锆石形态呈短柱状或不完整粒状分布,粒度集中在 60~150 μm,锆石具有较小的长宽比值,为 1:1~2:1。根据锆石透反射和阴极发光(CL)图像,可将玄武岩(CS1-2TW)中的锆石(图 3,表 2)分为 2 类:

第一类锆石占绝大多数,锆石多为无色透明自形粒状-短柱状,内部有清晰的振荡环带结构,且由于锆石在结晶过程中温度条件相对较高,形成较宽

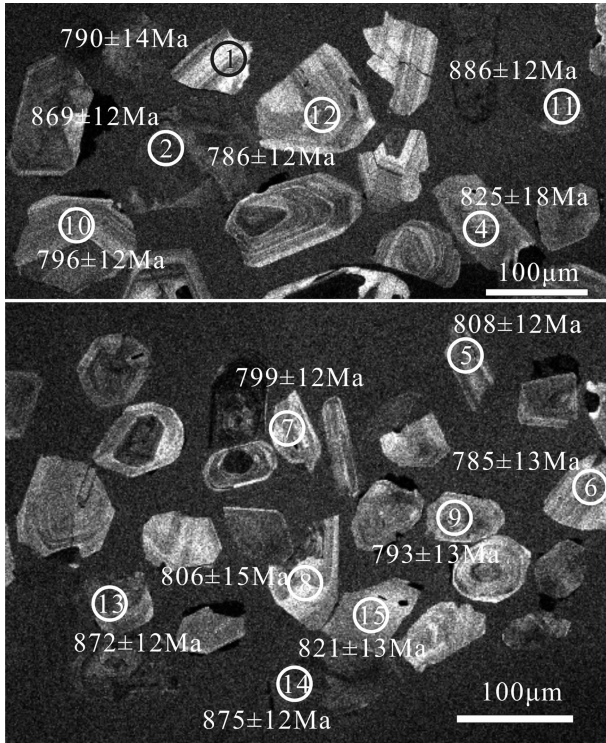


图3 芦山黄水河群玄武岩锆石 CL 图像,SHRIMP 测点及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值

圆圈为年龄分析点,数值为 SHRIMP U-Pb 分析 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数值
Fig. 3 Zircon CL images, dating points and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of basalt in Huangshuihe Group

Circle points for the age dating and numbers for $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age values

的结晶环带^[17],内部无继承性锆石核,锆石具有普遍较低的 U、Pb、Th 含量,其中 U 含量为 $90\times 10^{-6}\sim 378\times 10^{-6}$,平均为 204.6×10^{-6} ,放射性成因 Pb 含量为 $10.5\times 10^{-6}\sim 43.7\times 10^{-6}$,平均为 23.7×10^{-6} ,Th 含量为 $80\times 10^{-6}\sim 386\times 10^{-6}$,平均为 196.8×10^{-6} ,Th/U 比值介于 0.71~1.35,平均为 0.94(表 1),具有典型岩浆成因锆石的特征^[18-21],10 个锆石年龄测点成群集中在谐和线上(图 4-a), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (799 ± 8) Ma (MSWD=0.96),代表了玄武岩的形成时代(图 4-a,c)。

第二类锆石数量较少,呈金黄色、浅玫瑰色半自形不完整短柱状(CS1-2-13.1,14.1)、粒状(CS1-2-2.1)及椭圆状(CS1-2-11.1)分布,在阴极发光(CL)图像中颜色较暗,且较均匀,这可能与锆石中 U、Pb

含量较高有关^[18,22],不发育典型的环带结构或环带结构不清楚(图 3),为捕获锆石^[23]。4 个锆石测点(CS1-2-2.1,11.1,13.1,14.1) 有较高的 U、Pb、Th 含量,其中 U 含量为 $755\times 10^{-6}\sim 1064\times 10^{-6}$,平均为 854.3×10^{-6} ,放射性成因 Pb 含量为 $93.7\times 10^{-6}\sim 133\times 10^{-6}$,平均为 106.9×10^{-6} ,Th 含量为 $331\times 10^{-6}\sim 625\times 10^{-6}$,平均为 433.5×10^{-6} ,均远大于其他 10 个测点 U、Pb、Th 的含量。锆石 Th/U 比值相对于第一类锆石要低得多,集中于 0.45~0.61,平均为 0.5(表 1)。4 个锆石年龄测点都集中分布在谐和线上或附近, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (875 ± 12) Ma (MSWD=0.38),加权平均年龄的误差与单个测点误差基本一致,该年龄反映晋宁运动记录的地质信息(图 4-a,b)。

5 结论及讨论

就黄水河群地层时代问题,张洪刚等在彭县马松岭铜矿区大理岩中获得方铅矿 Pb-Pb 年龄为 1045~1440 Ma,侵入到黄水河群的闪长岩 U-Pb 年龄为 1043 Ma,认为黄水河群属于中元古代^①,与会理群及华北地区蓟县系相当^[7]。此外,在芦山县白水河地区关防山组上部大理岩中发现了微古植物 *Asperatopsophsphaera*、*Lignum*、*Leiopsophsphaera*、*Trematosphaeridium*,该属种常见于华北地区蓟县系至青白口系,推测黄水河群时代为中-新元古代青白口纪^②,1:25 万宝兴幅将盐井群划归为震旦系,黄水河群归为中元古界^③。本次获得的黄水河群干河坝组玄武质岩的锆石 SHRIMP U-Pb $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (799 ± 8) Ma,代表干河坝组玄武质岩的形成时代,为新元古代早期,基本可以代表黄水河群的下限年龄,约为 800 Ma,其上限仍有待于进一步研究。同时,还获得捕获锆石给出的加权平均年龄为 (875 ± 12) Ma,代表扬子西缘晋宁运动岩浆作用的地质记录。

区域上,盐井群与黄水河群野外露头只差一沟之隔,以盐井—五龙北东-南西向断裂为界,前人认为该断裂北西侧的盐井群与南东侧的黄水河群相当^④,同时,也有根据两套岩性差异、出露规模以及变质程度的不同,将黄水河群置于盐井群之下^[14],同属前震

①张洪刚,李承炎.四川的前震旦系,1983.

②四川省地质局第一区测队.1:20 万宝兴幅区域地质调查报告,1976.

③四川省地质调查院.1:25 万宝兴幅区域地质调查报告,2002.

④四川省地质局第二区测队.1:20 万邛崃幅区域地质调查报告,1976.

表 2 黄水河群玄武岩 CS1-2TW 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测试数据
Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb age determinations of basalt from Huangshuihe Group (CS1-2TW)

| 测点编号 | $^{206}\text{Pb}_c$ | | U | Th | Th/U | $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$ | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}^*$ | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | | 误差相 关系数 | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma 1σ | 不谐 和度 | |
|-------------|---------------------|-----------|------|-----|------|------------------------------------|---------|-------------------------------------|---------|----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----|---|----------|-----|
| | % | 10^{-6} | | | | 比值 | $\pm\%$ | 比值 | $\pm\%$ | 比值 | $\pm\%$ | 比值 | $\pm\%$ | | 年龄/Ma 1σ | 年龄/Ma 1σ | 年龄/Ma 1σ | | | | |
| CS1-2-1.1 | 0.84 | 12.7 | 113 | 85 | 0.78 | 7.67 | 1.9 | 0.0717 | 6.3 | 1.289 | 6.5 | 0.1303 | 1.9 | 0.630 | 978 | 128 | 841 | 42 | 790 | 14 | 19 |
| CS1-2-2.1* | 0.12 | 93.7 | 755 | 331 | 0.45 | 6.93 | 1.5 | 0.0697 | 0.88 | 1.387 | 1.7 | 0.1443 | 1.5 | 0.888 | 921 | 18 | 858 | 16 | 869 | 12 | 6 |
| CS1-2-4.1 | 12.26 | 16.6 | 124 | 93 | 0.77 | 7.33 | 2.3 | 0.0680 | 18 | 1.280 | 18 | 0.1357 | 2.4 | 0.405 | 878 | 378 | 840 | 142 | 825 | 18 | 6 |
| CS1-2-5.1 | 0.9 | 43.7 | 378 | 451 | 1.23 | 7.49 | 1.6 | 0.0689 | 4.3 | 1.267 | 4.6 | 0.1334 | 1.6 | 0.589 | 895 | 89 | 780 | 21 | 808 | 12 | 10 |
| CS1-2-6.1 | 2.31 | 22.8 | 201 | 228 | 1.17 | 7.72 | 1.8 | 0.0651 | 5.6 | 1.161 | 5.8 | 0.1294 | 1.8 | 0.742 | 777 | 117 | 743 | 26 | 785 | 13 | -1 |
| CS1-2-7.1 | 0.94 | 28.3 | 247 | 173 | 0.72 | 7.58 | 1.6 | 0.0670 | 3.7 | 1.218 | 4.1 | 0.1318 | 1.6 | 0.530 | 838 | 78 | 767 | 25 | 798 | 12 | 5 |
| CS1-2-8.1 | 2.48 | 10.5 | 90 | 80 | 0.92 | 7.51 | 2.0 | 0.0720 | 8.4 | 1.320 | 8.7 | 0.1330 | 2.0 | 0.457 | 986 | 172 | 809 | 49 | 806 | 15 | 18 |
| CS1-2-9.1 | 0.76 | 21.3 | 188 | 147 | 0.81 | 7.64 | 1.7 | 0.0679 | 3.6 | 1.226 | 4 | 0.1309 | 1.7 | 0.676 | 867 | 75 | 802 | 25 | 793 | 12 | 9 |
| CS1-2-10.1 | 1.78 | 33.9 | 295 | 386 | 1.35 | 7.61 | 1.6 | 0.0659 | 5.4 | 1.192 | 5.6 | 0.1313 | 1.6 | 0.532 | 802 | 113 | 754 | 21 | 796 | 12 | 1 |
| CS1-2-11.1* | 0.28 | 97.9 | 771 | 399 | 0.54 | 6.79 | 1.5 | 0.0678 | 1.3 | 1.377 | 1.9 | 0.1474 | 1.5 | 0.922 | 862 | 26 | 845 | 17 | 886 | 12 | -3 |
| CS1-2-12.1 | 0.68 | 27.6 | 246 | 170 | 0.71 | 7.72 | 1.6 | 0.0674 | 3.6 | 1.203 | 4 | 0.1296 | 1.6 | 0.779 | 849 | 76 | 777 | 27 | 785 | 12 | 8 |
| CS1-2-13.1* | 0.14 | 133 | 1064 | 625 | 0.61 | 6.90 | 1.5 | 0.0683 | 0.74 | 1.364 | 1.6 | 0.1449 | 1.5 | 0.940 | 877 | 15 | 838 | 14 | 872 | 12 | 1 |
| CS1-2-14.1* | 0.18 | 103 | 827 | 379 | 0.47 | 6.88 | 1.5 | 0.0687 | 0.94 | 1.377 | 1.8 | 0.1454 | 1.5 | 0.924 | 891 | 19 | 852 | 16 | 875 | 12 | 2 |
| CS1-2-15.1 | 1.1 | 19.4 | 164 | 155 | 0.97 | 7.37 | 1.7 | 0.0641 | 4.0 | 1.200 | 4.4 | 0.1357 | 1.7 | 0.737 | 746 | 85 | 763 | 23 | 821 | 13 | -10 |

注: Pb_c 为普通 Pb 的 ^{206}Pb 占全部 ^{206}Pb 的百分比, Pb^* 代表放射成因 Pb, 用于校正待测样品和与之同时测定的标准样品的误差为 0.43% (1σ), 普通 Pb 校正采用实测的 ^{206}Pb ; 样品编号后面未加星号为第一类锆石, 加星号 * 为第二类锆石。

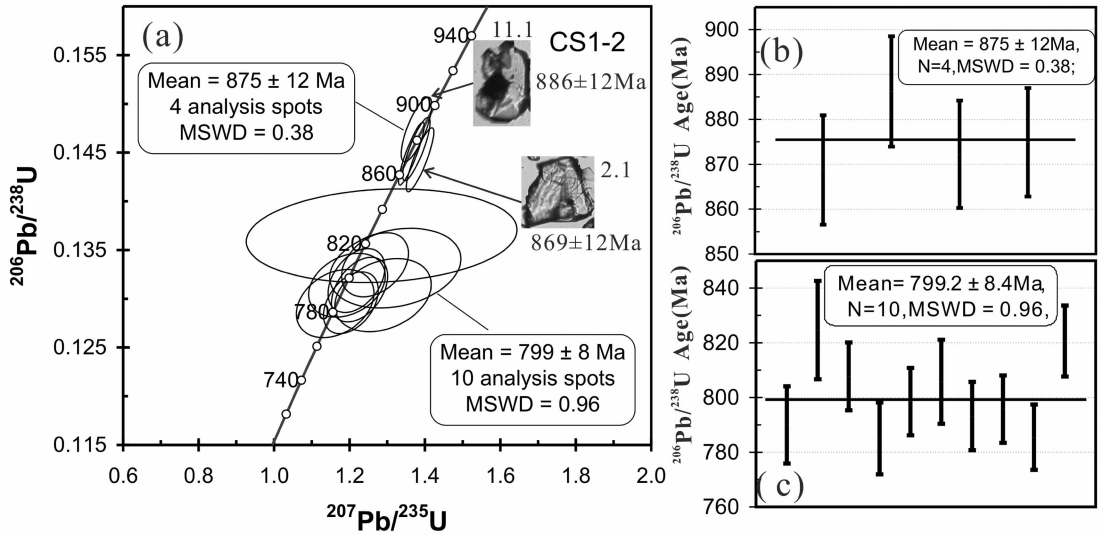


图 4 黄水河群玄武岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄谐和图

a—玄武岩锆石全部分析点年龄谐和图; b—捕获锆石测点加权平均图; c—玄武岩形成时代加权平均图

Fig.4 Zircon SHRIMP U-Pb concordant diagrams of basalt from Huangshuihe Group

a-Concordant diagram for all analytical points; b-Weighted average diagram for captured zircons measuring points; c- Weighted average diagram for basalt forming age

且纪变质岩系。近年来,伴随研究工作不断深入,新的高精度同位素年龄数据也不断涌现,如盐井群石门坎组中变凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (809±9)Ma^[24];李献华分别测得苏雄组中流纹岩锆石 SHRIMP 年龄为 (803±12)Ma 以及康定地区冷碛辉长岩 SHRIMP 年龄为 (808±12)Ma 等^[25-26]。这些与本次获得的玄武质岩时代完全一致,说明它们均为同一幕岩浆作用的产物。结合区域基础资料,笔者认为,黄水河群、盐井群以及苏雄组均为同时代的沉积地层。但关于这一期岩浆事件的大地构造背景一直存在争议,目前主要包括与地幔柱有关的陆内裂谷^{[25-26][27-31]}和与俯冲作用有关的岛弧体系^[32-35],黄水河群到底发育于什么样的地球动力学背景有待于进一步工作。

致谢: 本文锆石挑选由河北省廊坊区调所实验室完成,锆石制靶、照相及数据测试等工作得到庞建峰同仁的大力帮助;论文初稿撰写过程中,曾与耿元生研究员、高林志研究员和丁孝忠研究员进行了讨论,他们提出了很好的建议;野外还得到王建忠车队同仁的鼎力协助,在此一并对他们表示诚挚的感谢。

参考文献(References):

[1] 潘杏南, 赵济湘, 张选阳, 等. 康滇构造与裂谷作用 [M]. 重庆: 重

庆出版社, 1987; 1-297.

Pan Xingnan, Zhao Jixiang, Zhang Xuanyang, et al. Tectonic and Rifting in Kangdian Region[M]. Chongqing: Chongqing Publishing Press, 1987; 1-297(in China).

[2] 杨暹和, 张洪刚. 西南地区元古界概论 [J]. 中国地质科学院院报, 1984, 10; 195-206.

Yang Xianhe, Zhang Honggang. An outline of Proterozoic Erathem in Southwest China[J]. Bulletin Chinese Acad. Geol. Sci., 1984, 10; 195-206(in Chinese with English abstract).

[3] 张家润. 四川北部前震旦系科马提岩 [J]. 四川地质学报, 1993, 13 (4): 273-279.

Zhang Jiarui. Presinian Komatiite in Northwest Sichuan [J]. Acta Geologica Sichuan, 1993, 13(4): 273-279(in Chinese with English abstract).

[4] 陈社发, 邓起东, 赵小麟, 等. 龙门山中段推覆构造及相关构造的演化历史和变形机制(一)[J]. 地震地质, 1994, 16(4): 405-412.

Chen Shefa, Deng Qidong, Zhao Xiaoling, et al. Evolution and deformation mechanism of the nappe and related tectonics along middle section of Longmen Mountains (一) [J]. Seismology and Geology, 1994, 16(4): 405-412(in Chinese with English abstract).

[5] 陈社发, 邓起东, 赵小麟, 等. 龙门山中段推覆构造及相关构造的演化历史和变形机制(二)[J]. 地震地质, 1994, 16(4): 413-421.

Chen Shefa, Deng Qidong, Zhao Xiaoling, et al. Evolution and deformation mechanism of the nappe and related tectonics along middle section of Longmen Mountains (II) [J]. Seismology and Geology, 1994, 16(4): 405-412(in Chinese with English abstract).

[6] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社,

- 1991:1-719.
Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources. Sichuan Regional Geology [M]. Beijing: Geological Publishing Press, 1991: 1-719(in China).
- [7] 辜学达, 刘啸虎, 等. 四川省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997:1-417.
Gu Xueta, Liu Xiaohu et al. Petrostratigraphy of Sichuan Province [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997:1-417 (in China).
- [8] 林茂炳, 吴山. 龙门山推覆构造变形特征 [J]. 成都理工大学学报, 1991;18(1):46-55.
Lin Maobing, Wu Shan. Deformational features of nappe structures in the Longmen Mountains [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1991;18(1):46-55(in Chinese with English abstract).
- [9] 林茂炳. 对龙门山南段宝兴—庐山地区构造格架的探讨 [J]. 成都理工大学学报, 1992, 19(3):33-40.
Lin Maobing. Discussion on the tectonic pattern of the Baoxing-Lushan region in the southern segment of Longmen Mountains [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1992, 19 (3):33-40 (in Chinese with English abstract).
- [10] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for early Cambrian time-scale [J]. J. Geol. Sci., 1992, 149: 171-184.
- [11] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1987, 97: 205-217.
- [12] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48 卷(增刊):2002:26-30.
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of SHRIMP dating [J]. Geological Review, 2002, 48: 26-30.
- [13] 刘敦一, 简平, 张旗, 等. 内蒙古图林凯蛇纹岩中埃达克岩 SHRIMP 测年: 早古生代洋壳消滅的证据 [J]. 地质学报, 2003, 77(3):317-327.
Liu Dunyi, Jian Ping, Zhang Qi, et al. SHRIMP dating of adakites in the Tulingkai Ophiolite, Inner Mongolia; Evidence for the Early Paleozoic Subduction[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(3):317-327.
- [14] Cloué -Long J C, Compston W, Roberts J, et al. Two carboniferous ages: A comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analysis[C]//Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Special Publication, 1995:3-21.
- [15] Ludwig K R. SQUID 1.02, a user's manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication No. 2. 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA, 2002.
- [16] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe[C]// McKibben M A, Shanks W C, Ridley W I, (eds.). Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes. Review of Economic geology, 1998, 7:1-35.
- [17] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16):1589-1604.
Wu Yuanbao, Zhen Yongfei. Genesis of Zircon and Its Constraints on Interpretation of U-Pb Age[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16):1589-1604.
- [18] Kroner A, Jaekel P, Williams I S. Pb-loss patterns in zircons from a high-grade metamorphic terrain as revealed by different dating methods: U-Pb and Pb-Pb ages for igneous and metamorphic zircons from northern Sri Lanka [J]. Precambrian Research, 1994, 66:151-181.
- [19] Sue K, David S, William C. Identifying granite sources by SHRIMP U-Pb zircon geochronology: an application to the Lachlan foldbelt [J]. Contribution to Mineral and Petrology, 1999, 137:323-341.
- [20] Hoskin P W O, Black L P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon[J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18:423-439.
- [21] Belousova E, Suzanne G W, Fisher Y. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 2002, 143:602-622.
- [22] 简平, 程裕淇, 刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究—高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据[J]. 地学前缘, 2001, 8(3):183-191.
Jian Ping, Cheng Yuqi, Liu Dunyi. Petrographical study of metamorphic zircon: Basic roles in interpretation of U-Pb age of high grade metamorphic rocks [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8 (3):183-191(in Chinese with English abstract).
- [23] 李长民. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 2009, 33(3):161-174.
Li Changmin. A review on the minerageny and in situ microanalytical dating techniques of zircons [J]. Geological Survey and Research, 2009, 33 (3):161-174 (in Chinese with English abstract).
- [24] 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 扬子地台西缘变质基底演化[M]. 北京:地质出版社, 2008, 1-208.
Geng Yuansheng, Yang Chonghui, Wang Xinshe, et al. Evolution of Metamorphic Basement in the Western Margin of the Yangtze Block [M]. Beijing: Geological Publishing Press, 2008:1-208 (in Chinese).
- [25] 李献华, 周汉文, 李正祥, 等. 扬子块体西缘新元古代双峰式火山岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石学特征 [J]. 地球化学, 2001, 30 (4): 315-322.
Li Xianhua, Zhou Hanwen, Li Zhengxiang et al. Zircon U-Pb age and petrochemical characteristics of the Neoproterozoic bimodal volcanics from western Yangtze block [J]. Geochimica, 2001, 30 (4):315-322(in Chinese with English abstract).
- [26] 李献华, 李正祥, 周汉文, 等. 川西新元古代玄武质岩浆岩的锆石 U-Pb 年代学、元素和 Nb 同位素研究: 岩石成与地球动力学意义[J]. 地学前缘, 2002, 9:329-338.

- Li Xianhua, Li Zhengxiang, Zhou Hanwen, et al. U-Pb zircon geochronological, geochemical and Nd isotopic study of neoproterozoic basaltic magmatism in western Sichuan: petrogenesis and geodynamic implications [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9: 329-338(in Chinese with English abstract).
- [27] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? [J] *Earth Planet Sci. Lett.*, 1999, 173: 171-181.
- [28] Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia [J]. *Precam. Res.*, 2003, 122: 85-109.
- [29] Li X H, Li Z X, Zhou H, et al. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: implications for the initial rifting of Rodinia [J]. *Precamb. Res.*, 2002, 113: 135-155.
- [30] Li X H, Li Z X, Ge W, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crust melting above a mantle plume at ca. 825 Ma [J]. *Precambrian Res.*, 2003, 122: 45-83.
- [31] 朱维光, 邓海林, 刘秉光, 等. 四川盐边高家村镁铁-超镁铁质杂岩的形成时代: 单颗粒锆石 U-Pb 和角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学制约 [J]. *科学通报*, 2004, 49(10): 985-992.
- Zhu Weiguang, Deng Hailin, Liu Bingguang, et al. The age of the Gaojiacun mafic-ultramafic intrusive complex in the Yanbian area, Sichuan Province: Geochronological constraints by U-Pb dating of single zircon grains and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hornblende [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(10): 985-992(in Chinese).
- [32] Zhou M F, Kennedy A K, Sun M, et al. Neoproterozoic arc-related mafic intrusions along the northern margin of South China: Implications for the accretion of Rodinia [J]. *J. Geology*, 2002, 110: 611-618.
- [33] Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2002, 196: 51-67.
- [34] Zhou M F, Ma Y X, Yan D P, et al. The Yanbian Terrane (Southern Sichuan Province, SW China): A Neoproterozoic arc assemblage in the western margin of the Yangtze Block [J]. *Precambrian Research*, 2006, 144: 19-38.
- [35] 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 扬子地台西缘盐边群玄武质岩石地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 [J]. *地质学报*, 2005, 79(6): 805-813.
- Du Lilin, Geng Yuansheng, Yang Chonghui, et al. Geochemistry and SHRIMP U-Pb zircon chronology of basalts from the Yanbian Group in the western Yangtze Block [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2005, 79(6): 805-813(in Chinese with English abstract).

Zircon SHRIMP U-Pb dating of basalt from Huangshuihe Group on the western margin of the Yangtze block and its geological significance

REN Guang-ming, PANG Wei-hua, SUN Zhi-ming, YIN Fu-guang

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The structural clip of Huangshuihe Group, distributed along Longmenshan thrust nappe belt, is one of the typical low-grade metamorphic rock series, and some metamorphism could reach amphibolite facies, with the wide distribution of volcanic rocks. Based on field geological survey in combination with petrologic and petrographic analysis, the authors collected a sample of basalt from Ganheba Formation for zircon SHRIMP U-Pb dating, and obtained two U-Pb $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average ages of (799 ± 8) Ma (MSWD=0.96) and (875 ± 12) Ma (MSWD=0.38). The former age of (799 ± 8) Ma represents the crystallization age of the basalt, suggesting Mid-Neoproterozoic, whereas the latter represents the age of captured zircon, signifying a tectonic-magmatic event of Jinning movement. Combined with the results of data obtained from the region, the authors hold that Huangshuihe Group, Yanjing Group, and Suxiong Formation were contemporary sedimentary strata formed in the late Qingbaikou period.

Key words: Huangshuihe Group; basalt; zircon U-Pb dating; western margin of Yangtze block; Mid-Neoproterozoic

About the first author: REN Guang-ming, male, born in 1980, engineer, mainly engages in the regional geological Survey; E-mail: rguangming928@sina.com.