

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.106>



柴达木盆地北缘全吉群皱节山组碎屑锆石年代学特征及其地质意义

李 猛^{1,2}, 王 超³, 李荣社^{1,2}, 彭 岩⁴, 邵 东⁵, 陈奋宁¹, 陈守建¹, 潘晓萍¹

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 造山带地质研究中心, 陕西西安 710054

2. 自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西西安 710054

3. 西北大学大陆动力学国家重点实验室, 陕西西安 710069

4. 中陕核工业集团地质调查院, 陕西西安 710100

5. 核工业二〇三研究所, 陕西咸阳 712000

摘要:柴达木盆地北缘的全吉群主要为一套未变质的砂砾岩、石英岩、砂页岩、白云岩和冰碛岩的地层, 为全吉地块基底之上的最古老的直接沉积盖层。对全吉群上部皱节山组 2 件紫红色细砂岩样品进行碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定, 碎屑锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄谱特征显示, 皱节山组沉积物主要以 1750~1990 Ma(约占 84.7%) 的锆石年龄最为集中, 其次为 2400~2500 Ma 的年龄值, 结合区域热事件, 说明皱节山组沉积物可能主要来自于全吉地块古元古代末达肯大坂岩群, 部分来自德令哈杂岩体。此外, ~ 1.95 Ga 和 ~ 1.85 Ga 的碎屑锆石具有显著优势, 它记录了全吉地块在古元古代的 2 期重要的热事件——古元古代末镁铁质岩墙群的侵入作用和古元古代晚期的区域变质—深熔作用。

关键词:全吉群; 皱节山组; 碎屑锆石; U-Pb 年龄; 全吉地块; 地球化学。

中图分类号: P59

文章编号: 1000-2383(2018)12-4390-09

收稿日期: 2018-05-29

Detrital Zircon Geochronology and Geological Significance of Zhoujieshan Formation, Quanji Group in North Margin of Qaidam Basin

Li Meng^{1,2}, Wang Chao³, Li Rongshe^{1,2}, Peng Yan⁴, Shao Dong⁵, Chen Fenning¹, Chen Shoujian¹, Pan Xiaoping¹

1. Xi'an Center of Geological Survey, Orogen Research Center, China Geological Survey, Xi'an 710054, China

2. Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, China

3. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China

4. Institute of Geological Survey, Shaanxi Nuclear Industry, Xi'an 710100, China

5. No.203 Research Institute of Nuclear Industry, Xianyang 712000, China

Abstract: The Quanji Group is mainly distributed in the north margin of Qaidam basin and consists of non-metamorphic sandstone, quartzite, sand shale, dolomite and tillite. U-Pb ages of detrital zircons from two sandstone samples in the Zhoujieshan Formation in the Upper Quanji Group were measured using the LA-ICP-MS method. The concordant ages of detrital zircons show that the provenance in the Zhoujieshan Formation was derived mainly from the Dakendaban Group of the Quanji block (1750–1990 Ma), subordinately from the Delingha complex (2400–2500 Ma). In addition, the detrital zircons record two important thermal events (~ 1.95 Ga and ~ 1.85 Ga) of the Quanji block in Paleoproterozoic—strong regional metamorphism and anatexis, with magmatic intrusion.

Key words: Quanji Group; Zhoujieshan Formation; detrital zircon; zircon U-Pb age; Quanji block; geochemistry.

基金项目:国家自然科学基金项目(No.41602005);中国地质调查局项目(No.DD20160002);国家科技支撑专题(No.2015BAB05B01-01)。

作者简介:李猛(1986—),男,工程师,主要从事前寒武纪地层与古生物研究。ORCID:0000-0003-1986-5509. E-mail: lm27010501@sina.com

引用格式:李猛,王超,李荣社,等,2018.柴达木盆地北缘全吉群皱节山组碎屑锆石年代学特征及其地质意义.地球科学,43(12):4390–4398.

全吉地块位于青藏高原东北部,是夹持在柴北缘构造带和祁连构造带之间的一个克拉通残片,其变质结晶基底主要由德令哈杂岩、达肯大坂岩群组成。全吉群为不整合于该地块基底之上的沉积盖层,因其发育新元古代冰碛岩、前寒武纪宏体化石和罗迪尼亚超大陆裂解沉积记录而受到广泛关注(王云山等,1980;李怀坤等,2003;Shen *et al.*, 2007, 2010;王超等,2015)。然而,全吉群时代一直存在争议(王云山等,1980;王树洗,1982;青海省地质矿产局,1991;孙崇仁等,1997;陆松年等,2002a;李怀坤等,2003;Shen *et al.*, 2007, 2010;张海军等,2016;王超等,2018)。王云山等(1980)和孙崇仁等(1997)通过全吉群红藻山组叠层石、微古植物研究,认为其与我国南方晚震旦世地层灯影组相当,其时代为晚震旦世。王树洗(1982)将富含叠层石的全吉群红藻山组置于蓟县系。在全吉群石英梁组中获得玄武岩K-Ar年龄为700 Ma和710 Ma,海绿石K-Ar年龄为698 Ma和709 Ma(王云山等,1980;青海省地质矿产局,1991)。之后,前人对全吉群石英梁组玄武安山岩单颗粒锆石U-Pb测年,将738±28 Ma作为其形成时代(陆松年等,2002a;李怀坤等,2003)。另外,Shen *et al.*(2007, 2010)认为全吉群皱节山组中前人认为的 *Sabellididae* 并非遗迹化石,而是 *Shaanxiliites*,并根据其在华南灯影组中部和埃迪卡拉纪晚期的出现,将其时代限定为埃迪卡拉纪。近期,张

海军等(2016)在全吉群红藻山组两层凝灰岩夹层中获得岩浆锆石U-Pb年龄为 $1\,640 \pm 15$ Ma和 $1\,646 \pm 20$ Ma,认为其应属于中元古代早期。这与陆松年等(2002a)和李怀坤等(2003)获得的年龄数据矛盾,王超等(2018)认为需要重新审视全吉群沉积地层时代和该地区地质演化历史。

由于缺乏精确的同位素年龄数据,全吉群时代归属目前尚未准确标定,同时对全吉群碎屑物质的物源区和源区热事件研究相对较少。本文对柴北缘全吉群上部皱节山组碎屑锆石利用LA-ICP-MS方法进行U-Pb年龄测定,分析其年龄谱特征,探讨其可能的形成时代、沉积物源区以及揭示全吉山地区的构造—岩浆作用事件,进而为全吉地块构造演化提供依据。

1 地质概况

全吉群主要分布在柴北缘全吉山、石灰沟和欧龙布鲁克山一带,为一未变质沉积盖层,其角度不整合于全吉地块变质基底(主要为达肯大坂岩群和德令哈杂岩)之上,平行不整合于小高炉群之下(王云山等,1980;孙崇仁等,1997)(图1)。全吉群自下而上可划分为麻黄沟组、枯柏木组、石英梁组、红藻山组、黑土坡组、红铁沟组和皱节山组7个岩石地层单位(王云山等,1980)。其中麻黄沟组主要岩性为砾岩和

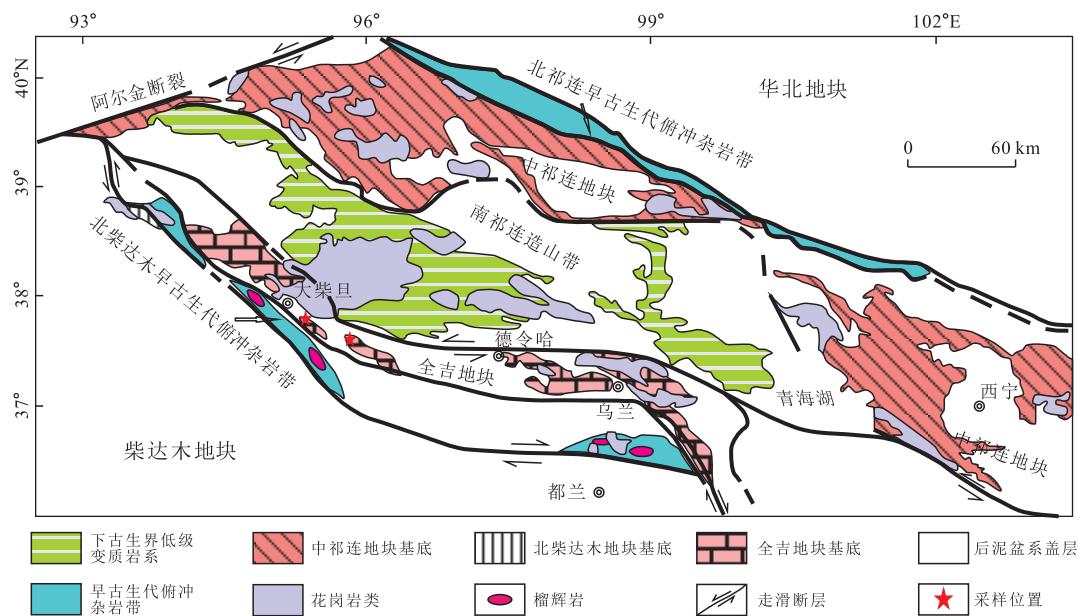


图 1 柴达木盆地北缘地质构造略图

Fig.1 Geological map of the north margin of Qaidam basin

据 Chen *et al.*(2009)修改

含砾长石砂岩；枯柏木组为一套发育平行层理或交错层理的长石石英砂岩；石英梁组以灰白色石英砂岩为主夹少量泥质粉砂岩和基性火山岩；红藻山组为含硅质条带和叠层石白云岩，其底部为灰绿色凝灰质粉砂岩夹凝灰岩；黑土坡组由一套炭质板岩和泥质粉砂岩组成；红铁沟组为冰碛杂砾岩；皱节山组主要为紫红色粉砂岩。

2 样品采集与分析方法

本次研究共采集 2 件碎屑锆石分析的样品(样品编号为 13SQL-31 和 13SQL-32)，均为柴北缘地区全吉群皱节山组紫红色细砂岩，分别采自全吉山剖面($37^{\circ}25'56''N, 95^{\circ}48'07''E$)和石灰沟剖面($37^{\circ}22'41.2''N, 96^{\circ}03'22.5''E$)(图 2, 图 3)。锆石的分选工作由河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司完成。锆石制靶、反射光和透射光照相在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成，锆石阴极发光图像分析在中国科学院地质与地球物理研究所扫描电镜实验室完成。

本次锆石 LA-ICP-MS 测试分析在天津地质调查中心同位素实验室完成。分析使用的激光器型号为美国 ESI 公司 U P193-FX ArF 准分子激光器，激光波长为 193 nm，脉冲宽度为 5 ns，束斑直径为

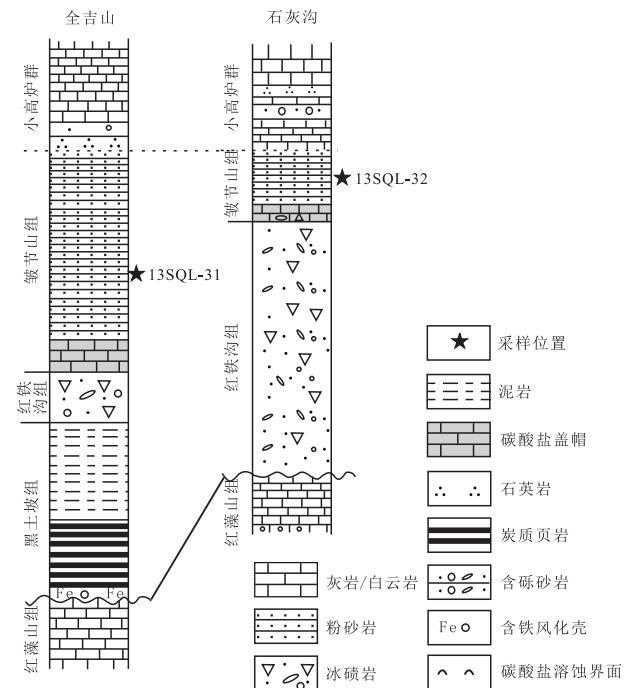


图 3 全吉群剖面柱状图与采样位置

Fig.3 Stratigraphic column of the Quanji Group with locations of geochronological samples

据王超等(2015)修改

$35 \mu\text{m}$ ，激光频率为 $8\sim10 \text{ Hz}$ ；预剥蚀时间和剥蚀时间分别为 5 s 和 45 s 。实验过程使用 He 作为载气，流速为 0.85 L/min 。等离子质谱仪 (ICP-MS) 为

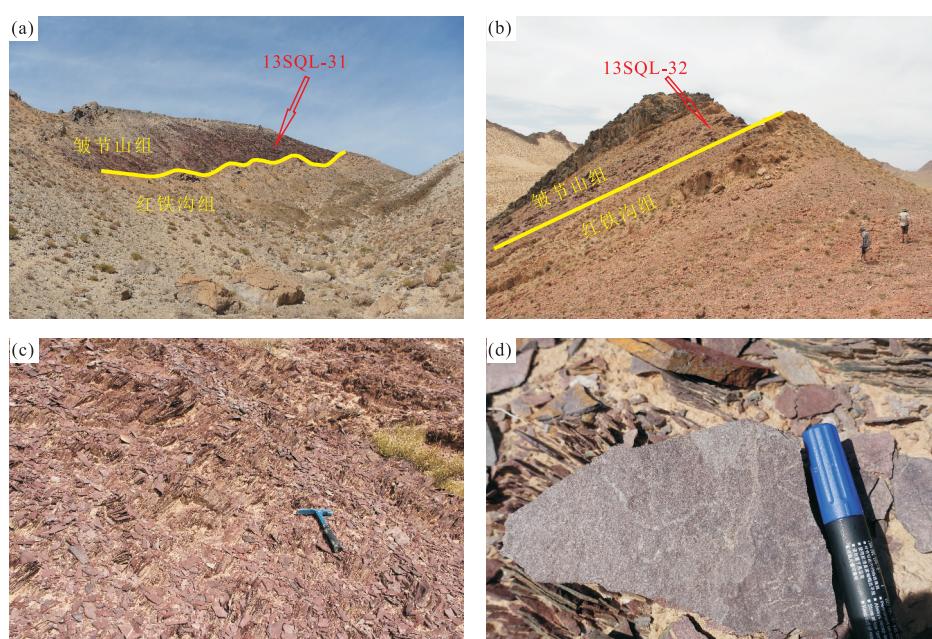


图 2 全吉群皱节山组剖面野外照片

Fig.2 Field photograph of Zhoujieshan Formation, Quanji Group
a.全吉山剖面；b.石灰沟剖面；c.皱节山组砂岩；d.皱节山组中“陕西迹”化石

Theemo Fisher 公司制造的 Neptune 数据处理软件使用 ICPMS Data Cal 程序 (Liu *et al.*, 2008, 2009, 2010) 和 Ludwig 的 Isoplot 程序 (Ludwig, 2003). 年龄计算时以标准锆石 GJ-1 为外标进行同位素比值校正. 元素含量以国际标样 NIST612 玻璃标样为外标计算.

3 分析结果

样品 13SQL-31 的碎屑锆石, 粒径大多数介于 80~120 μm , CL 图像显示深灰色环带或扇状环带特征, 应为变质锆石, 部分具有岩浆锆石振荡环带构造(图 4a). 本次对该样品共进行 80 个测点分析(附表 1), 谐和度良好, 均为 90%~110%, 对其进行 U-Pb 年龄分析(附表 1). 锆石 U-Pb 年龄值为

$1759 \pm 21 \text{ Ma} \sim 2672 \pm 17 \text{ Ma}$. 年龄谱图显示(图 5a, 5b), U-Pb 有效年龄值(谐和度为 90%~110%) 主要集中分布在 $1759 \sim 1998 \text{ Ma}$ 、 $2413 \sim 2514 \text{ Ma}$ 2 个区间, 以 $1759 \sim 1998 \text{ Ma}$ 占绝对优势(约为 86%), 主峰值年龄约为 1.84 Ga, 次峰值年龄约为 2.50 Ga, 其中最年轻的碎屑锆石 U-Pb 年龄值为 $1759 \pm 21 \text{ Ma}$.

样品 13SQL-32 的碎屑锆石, 粒径大多数介于 $85 \sim 150 \mu\text{m}$, CL 图像显示深灰色环带或扇状环带特征, 应为变质锆石, 部分具有岩浆锆石振荡环带构造(图 4b), 属于岩浆成因. 本次对该样品共进行 80 个测点分析, 剔除谐和度较差的 2 个点, 对剩下的 78 个点进行 U-Pb 年龄分析(附表 1). 锆石 U-Pb 年龄值分布在 $1758 \pm 24 \text{ Ma} \sim 2530 \pm 12 \text{ Ma}$. 年龄谱图显示(图 5c, 5d), U-Pb 有效年龄值(谐和度为

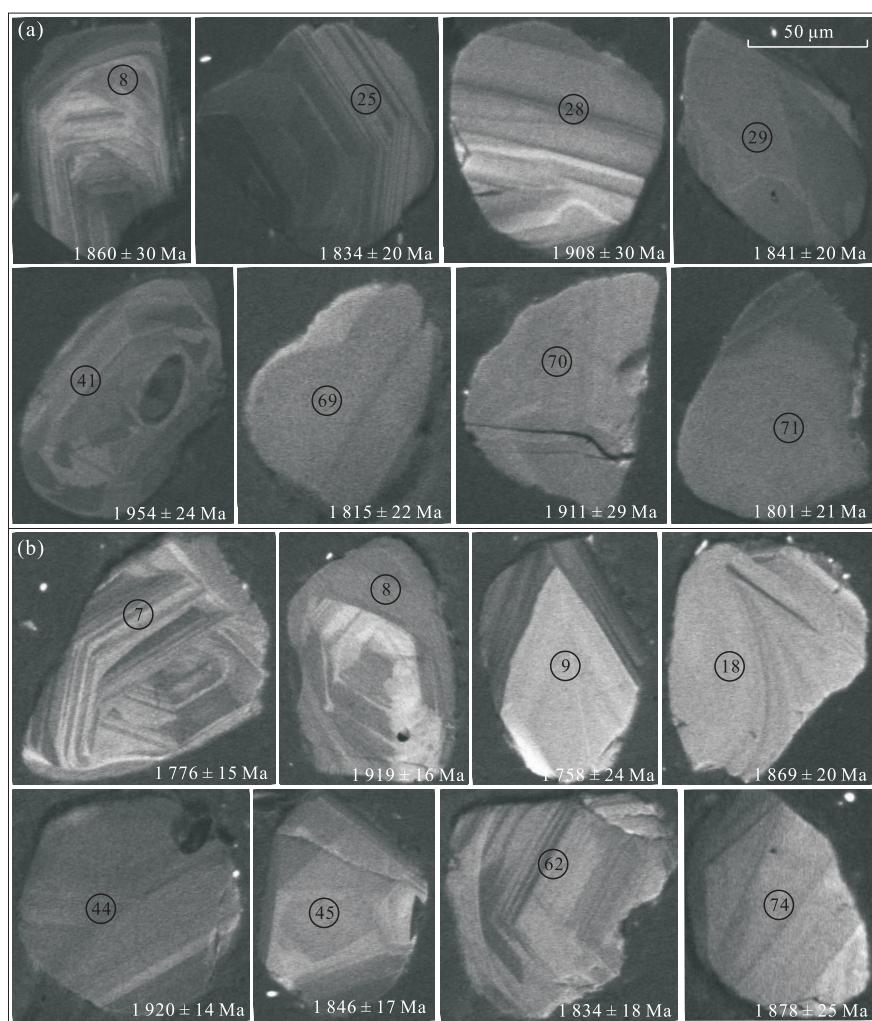


图 4 全吉群皱节山组碎屑锆石 CL 图像

Fig.4 CL images of zircons from the samples of Zhoujieshan Formation, Quanji Group

数字代表测点位置和测点号; a.13SQL-31; b.13SQL-32

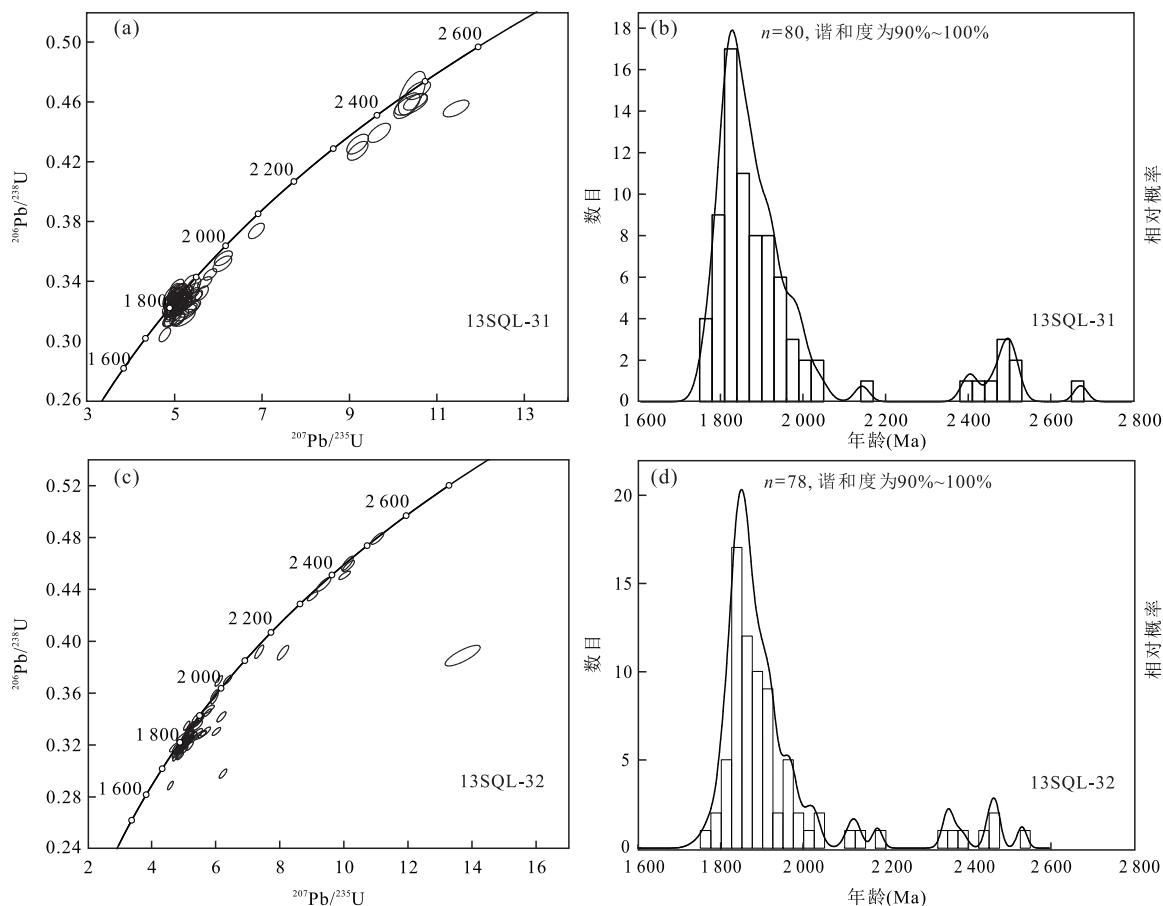


图 5 全吉群皱节山组碎屑锆石 U-Pb 年龄谐和图(a,c)和频谱图(b,d)

Fig.5 Zircon U-Pb concordia diagrams (a,c) and age spectra (b,d) of Zhoujieshan Formation, Quanji Group

90%~110%) 主要集中分布在 1 758~1 986 Ma、2 449~2 530 Ma 2 个区间, 以 1 758~1 986 Ma 占优势(约为 83.3%), 主峰值年龄约为 1.85 Ga, 次峰值年龄约为 2.46 Ga, 其中最年轻的碎屑锆石 U-Pb 年龄值为 1 758±24 Ma.

4 讨论

4.1 沉积物源区

全吉地块的基底主要由德令哈杂岩和达肯大坂岩群组成。德令哈杂岩以二长花岗片麻岩为主, 目前获得的德令哈杂岩的形成年龄集中在 2.2~2.47 Ga (陆松年等, 2002b, 2006; 郝国杰等, 2004; 李晓彦等, 2007; Lu *et al.*, 2008; Gong *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2015), 德令哈杂岩应为古元古代早期的岩浆活动产物。达肯大坂岩群为中深变质岩系, 以含石榴子石矽线石石英片岩、云母片岩和角闪片岩为主, 研究表明, 在早晚元古代时期可能经历了 1.90~1.96 Ga 和 1.80~1.85 Ga 两期变质作用 (王勤燕等,

2008; Chen *et al.*, 2012, 2013b). 全吉地块还存在一系列古元古代侵入体(前人均划入了达肯大坂岩群), 如 1.85~1.82 Ga (变)镁铁质脉体 (Lu *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2013a) 和 1.80~1.76 Ga 的环斑花岗岩 (陆松年等, 2006; Chen *et al.*, 2013a). 全吉群为全吉地块最早的沉积盖层。

从样品 13SQL-31 和 13SQL-32 的年龄分布特征来看, 1 759~1 998 Ma 和 1 758~1 986 Ma 的锆石年龄最为集中, 所占比例最多(分别为 86% 和 83.3%), 其他年龄值零星分布。锆石年龄主峰值分别为 1 845 Ma、1 859 Ma, 次年龄峰值分别为 2 500 Ma、2 462 Ma。从锆石 CL 图像特征上看, 大多数 1 850 Ma 左右的锆石显示深灰色环带或扇状环带特征, 应为变质锆石, 部分具有岩浆锆石振荡环带构造, 而且锆石颗粒较小, 形态呈短柱状或浑圆状, 表明源区经历了变质作用, 同时也伴随有岩浆事件。结合区域地质分析, 表明 1 750~1 990 Ma 的碎屑锆石很可能来自全吉地块达肯大坂岩群, 为其主要的物源区, 2 400~2 500 Ma 的锆石大多数来自于全吉

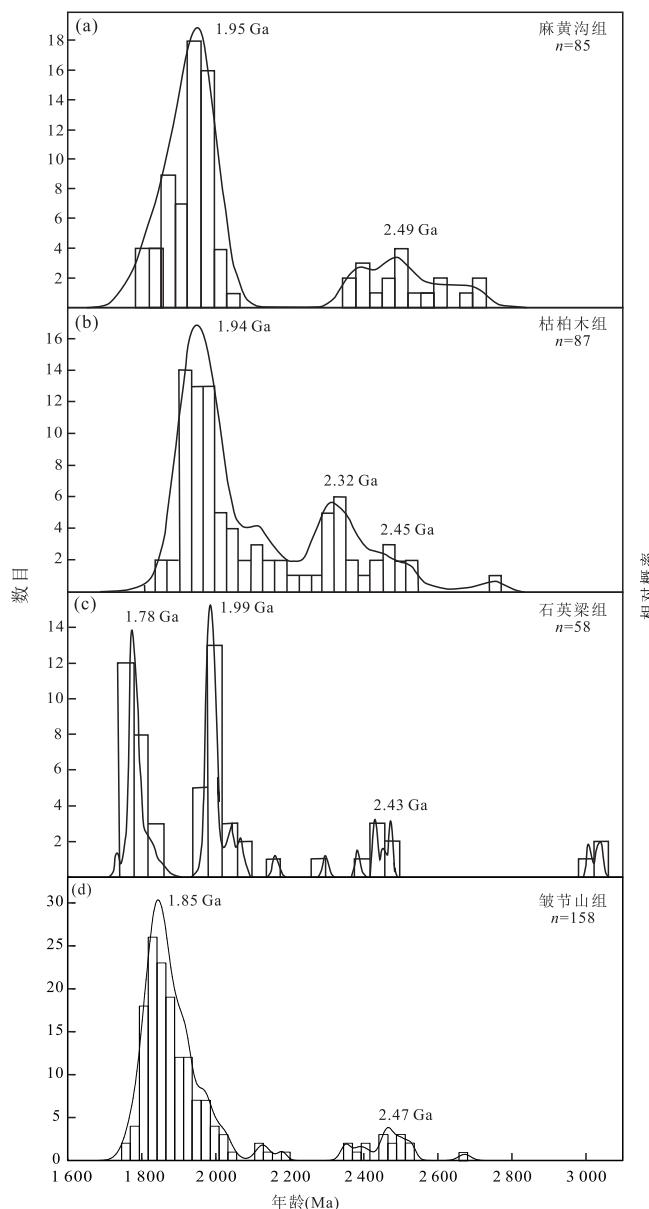


图 6 全吉群碎屑锆石频谱图

Fig.6 Age spectra of detrital zircons in Quanji Group

a. 麻黄沟组数据据张海军等(2016); b. 枯柏木组数据据张璐等(2012); c. 石英梁组数据据张璐(2014); d. 皱节山组数据据本文

地块德令哈杂岩体。

4.2 构造热事件

近年来,一些学者对全吉群中下部层位进行了碎屑锆石 U-Pb 年龄测定(张璐等,2012;张璐,2014;张海军等未发表数据).其中,张海军等对全吉群底部的麻黄沟组进行了 LA-MC-ICPMS 碎屑锆石 U-Pb 年龄测定,其谐和年龄分布在 1 781~2 701 Ma,显示最显著的主年龄峰值约为 1.95 Ga,次年龄峰值约为 2.48 Ga,最小的 2 个锆石谐和 U-Pb 年龄分别是 1 781±18 Ma 和 1 788±19 Ma(张海军等未发表数

据).张璐等(2012)在枯柏木组底部的长石石英砂岩样品中获得最小的谐和 U-Pb 年龄是 1 730 Ma,显示主年龄峰值约为 1.94 Ga,次年龄峰值约为 2.23 Ga.同时,张璐(2014)在石英梁组底部石英砂岩中获得最小谐和 U-Pb 年龄是 1 733 Ma,其主年龄峰值约为 1.99 Ga,次年龄峰值约为 1.78 Ga.本文在全吉群上部皱节山组中获得最小谐和年龄为 1 758 Ga 和 1 759 Ga,显示主年龄峰值约为 1.85 Ga、1.84 Ga,次年龄峰值约为 2.50 Ga、2.46 Ga.

由上述可知,全吉群自下而上碎屑锆石年龄分布特征基本一致(图 6),主要记录了全吉地块在古元古代的两期重要的热事件(~ 1.95 Ga 和 ~ 1.85 Ga),即古元古代末镁铁质岩墙群的侵入作用(陆松年等,2006; Wang *et al.*, 2009, 2015; 廖梵汐,2010)和古元古代晚期的区域变质—深熔作用(张建新等,2001; 郝国杰等,2004; Lu *et al.*, 2008; 王勤燕等,2008; Chen *et al.*, 2009; 张璐等,2011).

5 结论

(1) 碎屑锆石的年龄谱特征显示,皱节山组沉积物主要以 1 750~1 990 Ma 和 2 400~2 500 Ma 的锆石年龄最为集中,结合区域热事件,说明皱节山组沉积物可能主要来自于全吉地块古元古代末达肯大坂岩群,部分来自德令哈杂岩体.

(2) 柴北缘地区全吉群碎屑锆石 U-Pb 年龄记录了多期构造热事件.其中, ~ 1.95 Ga 和 ~ 1.85 Ga 的碎屑锆石具有显著优势,它记录了全吉地块在古元古代的 2 期重要的热事件.

致谢: 样品锆石分选由河北省廊坊市宇能岩石矿物分选技术服务有限公司王建华老师完成,锆石制靶与透反射图像由西北大学梁莎硕士研究生完成,锆石年龄数据处理得到天津地质调查中心同位素实验室耿建珍老师的指导.在此表示衷心的感谢!

附表 1 见: <http://www.earth-science.net/WebPage/Article.aspx?id=4064>

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province, 1991. Regional Geology of Qinghai Province. Geological Publishing House, Beijing, 1—662 (in Chinese).
- Chen, N. S., Gong, S. L., Sun, M., et al., 2009. Precambrian Evolution of the Quanji Block, Northeastern Margin of Tibet: Insights from Zircon U-Pb and Lu-Hf Isotope

- Compositions. *Journal of Asian Earth Sciences*, 35(3–4): 367–376.
- Chen, N.S., Gong, S.L., Xia, X.P., et al., 2013a. Zircon Hf Isotope of Yingfeng Rapakivi Granites from the Quanji Massif and 2.7 Ga Crustal Growth. *Journal of Earth Science*, 24 (1): 29 – 41. <https://doi.org/10.1007/s12583-013-0309-2>
- Chen, N.S., Liao, F.X., Wang, L., et al., 2013b. Late Paleoproterozoic Multiple Metamorphic Events in the Quanji Massif: Links with Tarim and North China Cratons and Implications for Assembly of the Columbia Supercontinent. *Precambrian Research*, 228: 102 – 116. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2013.01.013>
- Chen, N.S., Zhang, L., Sun, M., et al., 2012. U-Pb and Hf Isotopic Compositions of Detrital Zircons from the Paragneisses of the Quanji Massif, NW China: Implications for Its Early Tectonic Evolutionary History. *Journal of Asian Earth Sciences*, 54 – 55: 110 – 130. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2012.04.006>
- Gong, S.L., Chen, N.S., Wang, Q.Y., et al., 2012. Early Paleoproterozoic Magmatism in the Quanji Massif, Northeastern Margin of the Qinghai-Tibet Plateau and Its Tectonic Significance: LA-ICPMS U-Pb Zircon Geochronology and Geochemistry. *Gondwana Research*, 21 (1): 152 – 166. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.07.011>
- Hao, G.J., Lu, S.N., Wang, H.C., et al., 2004. The Pre-Devonian Tectonic Framework in the Northern Margin of Qaidam Basin and Geological Evolution of Olongbuluk Palaeo-Block. *Earth Science Frontiers*, 11 (3): 115 – 122 (in Chinese with English abstract).
- Li, H.K., Lu, S.N., Wang, H.C., et al., 2003. Quanji Group—The Geological Record of the Rodinia Supercontinent Break-up in the Early Neoproterozoic Preserved in the Northern Qaidam Margin, Qinghai, Northwest China. *Geological Survey and Research*, 26 (1): 27 – 37 (in Chinese with English abstract).
- Li, X.Y., Chen, N.S., Xia, X.P., et al., 2007. Constraints on Timing of the Early-Paleoproterozoic Magmatism and Crustal Evolution of the Oulongbuluke Microcontinent: U-Pb and Lu-Hf Isotope Systematics of Zircons from Mohe Granitic Pluton. *Acta Petrologica Sinica*, 23(2): 513 – 522 (in Chinese with English abstract).
- Liao, F.X., 2010. Chronology and Geochemistry of Delingha Metamorphosed Mafic Dyke Swarms (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan, 1 – 33 (in Chinese).
- Liu, Y.S., Gao, S., Hu, Z.C., et al., 2009. Continental and Oceanic Crust Recycling-Induced Melt-Peridotite Interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb Dating, Hf Isotopes and Trace Elements in Zircons from Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51(1–2): 537 – 571. <https://doi.org/10.1093/petrology/egp082>
- Liu, Y.S., Hu, Z.C., Gao, S., et al., 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1 – 2): 34 – 43. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.08.004>
- Liu, Y.S., Hu, Z.C., Zong, K.Q., et al., 2010. Reappraisal and Refinement of Zircon U-Pb Isotope and Trace Element Analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55 (15): 1535 – 1546. <https://doi.org/10.1007/s11434-010-3052-4>
- Lu, S.N., Li, H.K., Zhang, C.L., et al., 2008. Geological and Geochronological Evidence for the Precambrian Evolution of the Tarim Craton and Surrounding Continental Fragments. *Precambrian Research*, 160 (1 – 2): 94 – 107. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.025>
- Lu, S.N., Wang, H.C., Li, H.K., et al., 2002a. Redefinition of the “Dakendaban Group” on the Northern Margin of the Qaidam Basin. *Geological Bulletin of China*, 21 (1): 19 – 23 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S.N., Yu, H.F., Zhao, F.Q., et al., 2002b. Preliminary Study of Precambrian Geology in the North Tibet-Qinghai Plateau. Geological Publishing House, Beijing, 1 – 125 (in Chinese).
- Lu, S.N., Yu, H.F., Li, H.K., et al., 2006. Research on Precambrian Major Problems in China: Precambrian Important Geological Events in West China and Their Global Tectonic Significance. Geological Publishing House, Beijing, 1 – 206 (in Chinese).
- Ludwig, K.R., 2003. Isoplot 3.0—A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley.
- Shen, B., Xiao, S.H., Dong, L., et al., 2007. Problematic Macrofossils from Ediacaran Successions in the North China and Chaidam Blocks: Implications for Their Evolutionary Roots and Biostratigraphic Significance. *Journal of Paleontology*, 81(6): 1396 – 1411. <https://doi.org/10.1666/06-016r.1>
- Shen, B., Xiao, S. H., Zhou, C. M., et al., 2010. Carbon and Sulfur Isotope Chemostratigraphy of the Neoproterozoic Quanji Group of the Chaidam Basin, NW China: Basin Stratification in the Aftermath of an Ediacaran Glaciation Postdating the Shuram Event?. *Precambrian Research*, 177 (3 – 4): 241 – 252. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2009.12.006>
- Sun, C.R., Chen, G.L., Li, Z.R., et al., 1997. Multiple Classifi-

- cation and Correlation of the Stratigraphy of China (63): Stratigraphy (Lithostratic) of Qinghai Province. China University of Geosciences Press, Wuhan, 1—340 (in Chinese).
- Wang, C., Li, M., Li, R.S., et al., 2015. Recognition of the Regional Unconformity in the Neoproterozoic Quanji Group on the North Margin of the Qaidam Basin in Qinghai Province. *Geological Bulletin of China*, 34(2—3): 364—373 (in Chinese with English abstract).
- Wang, C., Li, R. S., Li, M., et al., 2015. Palaeoproterozoic Magmatic-Metamorphic History of the Quanji Massif, Northwest China: Implications for a Single North China-Quanji-Tarim Craton within the Columbia Supercontinent? *International Geology Review*, 57 (13): 1772—1790. <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1026849>
- Wang, C., Liu, L., Li, R.S., 2018. Precambrian Geology of the Northern Margin of the Tibetan Plateau: Review and Discussion. *Chinese Journal of Geology*, 53(3): 1—28 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q.Y., Chen, N.S., Li, X.Y., et al., 2008. LA-ICPMS U-Pb Dating for the Basement Dakendaban Group and Thermal Event in Quanji Block. *Chinese Science Bulletin*, 53 (14): 1693—1701 (in Chinese).
- Wang, Q.Y., Pan, Y.M., Chen, N.S., et al., 2009. Proterozoic Polymetamorphism in the Quanji Block, Northwestern China: Evidence from Microtextures, Garnet Compositions and Monazite CHIME Ages. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34(5): 686—698. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.10.008>
- Wang, S.X., 1982. Stromatolite from Quanji Group in Qinghai Province and Its Stratigraphic Significance. *Northwestern Geology*, 15(4): 1—10, 72—73 (in Chinese).
- Wang, Y. S., Zhuang, Q. X., Shi, C. Y., et al., 1980. Quanji Group along the Northern Border of Chaidamu Basin. In: Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, ed., Research on Precambrian Geology: Sinian Suberathem in China. Tianjin Science and Technology Press, Tianjin, 214—230 (in Chinese).
- Zhang, H.J., Wang, X.L., Wang, X., et al., 2016. U-Pb Zircon Ages of Tuff Beds from the Hongzaoshan Formation of the Quanji Group in the North Margin of the Qaidam Basin, NW China, and Their Geological Significances. *Earth Science Frontiers*, 23(6): 202—218 (in Chinese).
- Zhang, J.X., Wan, Y.S., Xu, Z.Q., et al., 2001. Discovery of Basic Granulite and Its Formation Age in Delingha Area, North Qaidam Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3): 453—458 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., 2014. Petrogenesis of the (Meta-) Precambrian Clastic Sedimentary Rocks from the Quanji Massif, Northwestern China and Tectonic Implications (Dissertation). China University of Geosciences, Wuhan, 1—127 (in Chinese).
- Zhang, L., Ba, J., Chen, N.S., et al., 2012. U-Pb Age Spectra and Trace Elements of Detrital Zircon from Quanji Group: Implications for Thermal Events and Early Evolution in the Basement. *Earth Science*, 37(S1): 28—42 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2012.S1.004>
- Zhang, L., Liao, F.X., Ba, J., et al., 2011. Mineral Evolution and Zircon Geochronology of Mafic Enclave in Granitic Gneiss of the Quanji Block and Implications for Paleoproterozoic Regional Metamorphism. *Earth Science Frontiers*, 18(2): 79—84 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 青海省地质矿产局, 1991. 青海省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1—662.
- 郝国杰, 陆松年, 王惠初, 等, 2004. 柴达木盆地北缘前泥盆纪构造格架及欧龙布鲁克古陆块地质演化. 地学前缘, 11(3): 115—122.
- 李怀坤, 陆松年, 王惠初, 等, 2003. 青海柴北缘新元古代超大陆裂解的地质记录——全吉群. 地质调查与研究, 26(1): 27—37.
- 李晓彦, 陈能松, 夏小平, 等, 2007. 莫河花岗岩的锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素研究: 柴北欧龙布鲁克微陆块始古元古代岩浆作用年龄和地壳演化约束. 岩石学报, 23(2): 513—522.
- 廖梵汐, 2010. 德令哈变质镁铁质岩墙群的年代学和地球化学研究(学士学位论文). 武汉: 中国地质大学, 1—33.
- 陆松年, 王惠初, 李怀坤, 等, 2002a. 柴达木盆地北缘“达肯大坂群”的再厘定. 地质通报, 21(1): 19—23.
- 陆松年, 于海峰, 赵凤清, 等, 2002b. 青藏高原北部前寒武纪地质初探. 北京: 地质出版社, 1—125.
- 陆松年, 于海峰, 李怀坤, 等, 2006. 中国前寒武纪重大地质问题研究——中国西部前寒武纪重大地质事件群及全球构造意义. 北京: 地质出版社, 1—206.
- 孙崇仁, 陈国隆, 李璋荣, 等, 1997. 青海省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1—340.
- 王超, 李猛, 李荣社, 等, 2015. 青海柴达木盆地北缘全吉群内部存在区域性不整合. 地质通报, 34(2—3): 364—373.
- 王超, 刘良, 李荣社, 2018. 青藏高原北缘前寒武纪地质演化: 进展与讨论. 地质科学, 53(3): 1—28.
- 王勤燕, 陈能松, 李晓彦, 等, 2008. 全吉地块基底达肯大坂岩群和热事件的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 定年. 科学通报, 53(14): 1693—1701.
- 王树洗, 1982. 青海全吉群的几个叠层石群及其地层意义. 西

- 北地质,15(4):1—10,72—73.
- 王云山,庄庆兴,史从彦,等,1980.柴达木北缘的全吉群.见:中国地质科学院天津地质矿产研究所编,中国震旦亚界.天津:天津科学技术出版社,214—230.
- 张海军,王训练,王勋,等,2016.柴达木盆地北缘全吉群红藻山组凝灰岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义.地学前缘,23(6):202—218.
- 张建新,万渝生,许志琴,等,2001.柴达木北缘德令哈地区基性麻粒岩的发现及其形成时代.岩石学报,17(3):

- 453—458.
- 张璐,2014.全吉地块元古代(变)沉积碎屑岩的成因和构造演化(博士学位论文).武汉:中国地质大学,1—127.
- 张璐,巴金,陈能松,等,2012.全吉群碎屑锆石的 U-Pb 年龄谱和微量元素:基底热事件信息和早期演化启示.地球科学,37(S1):28—42.
- 张璐,廖梵汐,巴金,等,2011.全吉地块花岗片麻岩中镁铁质岩包体的矿物演化和锆石定年与古元古代区域变质作用.地学前缘,18(2):79—84.

* * * * *

《地球科学》和《Journal of Earth Science》的引证指标再创新高

据《中国学术期刊影响因子年报》数据,《地球科学》近 5 年复合影响因子、复合总被引、年下载量均持续上升,其中 2018 年该刊复合影响因子达 3.518(图 1).据美国《期刊引证报告》(JCR)数据,《Journal of Earth Science》影响因子有了新的提高:近 6 年 SCI 影响因子由 2013 年的 0.395 上升到 2018 年的 1.5(图 1),在地球科学类学科中的国际排名也有明显提升.

在此感谢主编和编委团队的关心指导以及广大专家、作者和读者的大力支持!

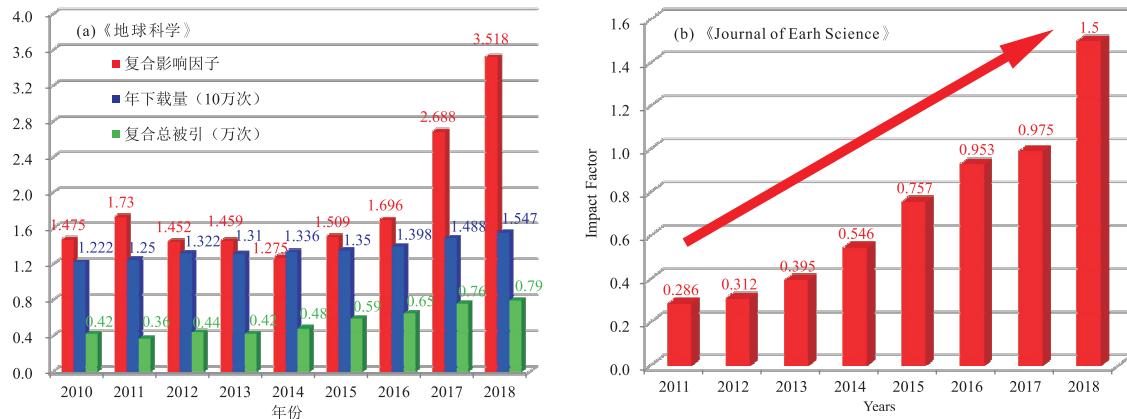


图 1 《地球科学》和《Journal of Earth Science》近年来的影响力指标变化情况