

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.2-3.002

大兴安岭南段幸福之路组新认识及区域对比

郑月娟^{1,2}, 张德军^{1,2}, 苏飞^{1,2*}, 张海华^{1,2}, 张健^{1,2}, 陈树旺^{1,2}

ZHENG Yuejuan^{1,2}, ZHANG Dejun^{1,2}, SU Fei^{1,2*}, ZHANG Haihua^{1,2}, ZHANG Jian^{1,2},
CHEN Shuwang^{1,2}

1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

2. 中国地质调查局东北地质科技创新中心, 辽宁 沈阳 110034

1. Shenyang Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China;

2. Northeast S & T Innovation Center, China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China

摘要:晚二叠世—中三叠世是中亚造山带东段构造演化过程中承上启下的关键地质时期, 涉及古亚洲洋的最终闭合、沉积环境剧变等重大地质问题。重新实测了晚二叠世—早三叠世幸福之路组一段、二段的建组剖面, 运用同位素测年和孢粉化石综合研究的方法, 结合野外观察及前人资料, 提出对幸福之路组沉积序列的新认识: 幸福之路组为以红层出现作为划分标志的一套砂泥岩夹火山岩沉积, 原划为幸福之路组一段的砾岩时代晚于原二段、三段, 时代不老于中三叠世, 不宜划入幸福之路组。研究区上二叠统与下三叠统为连续沉积, 晚二叠世晚期盆地边缘开始出现红层沉积(幸福之路组), 同时期盆地中心仍为灰黑色、灰绿色砂泥岩沉积(林西组上部), 林西组上部与幸福之路组下部为同时异相沉积。结合区域地质特征推测, 晚二叠世—早三叠世, 研究区处于整体隆升阶段, 古亚洲洋应闭合于早三叠世之后。

关键词:晚二叠世—早三叠世; 大兴安岭; 幸福之路组; 沉积序列; 地质调查工程

中图分类号: P534.46; P534.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2023)02/03-0201-14

Zheng Y J, Zhang D J, Su F, Zhang H H, Zhang J, Chen S W. New understanding of the Xingfuzhilu Formation in the southern part of the Greater Khingan Mountains and a correlation with the neighboring areas. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(2/3): 201-214

Abstract: It is an important period for the tectonic evolution of the eastern segment of the Central Asia Orogenic Belt during the Late Permian to Middle Triassic, which involves the final closure of the Paleo-Asian Ocean and the sharp changes of sedimentary environment. The stratotype of the 1st and 2nd Members of the Xingfuzhilu Formation was reinvestigated by the authors. Based on the sporopollen fossils and isotopic ages, combined with previous studies and field investigation, this paper offers some new understanding on the sedimentary succession of Xingfuzhilu Formation. Late Permian-Early Triassic Xingfuzhilu Formation which uses red-bed features as a divided point, is consisted of sand shale and pyroclastic rocks. The conglomerate which were considered as part of the lower member of xingfuzhilu Formation is actually younger than the middle triassic. In this case, this conglomerate should be not be classified as members of xingfuzhilu formation anymore. The sedimentary environment of the Upper part of Linxi Formation and Xingfuzhilu Formation is contemporaneous heterotopic facies. However, the lacustrine sediments of Linxi Formation were deposited at the center of the basin while the red-bed of Xingfuzhilu Formation were deposited at the edge of the basin respectively. According to the above results and regional data, the study area is overall upper uplift during the period from Late Permian to Middle Triassic. It leads to the conclusion that the final closure time of the Paleo-Asian Ocean is after Early Triassic.

Key words: Late Permian to Early Triassic; the Greater Khingan Mountains; Xingfuzhilu Formation; sedimentary succession; geological survey engineering

收稿日期: 2021-05-31; 修订日期: 2021-07-24

资助项目: 中国地质调查局项目《松辽盆地北部及外围石炭—二叠系油气地质调查》(编号: DD20190097)、国家自然科学基金项目《中国东北二叠纪安加拉植物群演替》(批准号: 31670215)

作者简介: 郑月娟(1964-), 女, 教授级高级工程师, 从事地层古生物研究及油气基础地质调查工作。E-mail: zhengyueliang666@163.com

* 通信作者: 苏飞(1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事油气基础地质调查研究。E-mail: 153993915@qq.com

中亚造山带(CAOB)位于华北板块和西伯利亚板块之间,地处东北亚大陆东缘滨太平洋构造域沟-弧-盆体系形成演化的重要位置,不仅记录了华北和西伯利亚两大古板块之间古亚洲洋的闭合过程,还记录了环太平洋构造域与古亚洲洋构造域的叠加与转换过程。中亚造山带是全球显生宙大陆地壳生长最显著的增生造山带之一,学者们一直广泛关注,并在此取得了一系列重要进展(唐克东,1989;孙德有等,2004;李锦轶等,2007;Jian et al.,2008;Miao et al.,2008;Wu et al.,2011;Xu et al.,2015;赵英利等,2016;张晓飞等,2019)。其中,关于古亚洲洋最终闭合的时限还未达成共识。部分学者认为,古亚洲洋东段洋壳在早古生代发生双向俯冲,并在泥盆纪—早石炭世完全闭合形成兴蒙造山带(Tang,1990;Tong et al.,2015;邵济安等,2017);大部分学者认为,古亚洲洋东部的双向俯冲启动于早古生代,期间发生一系列岛弧或微陆块的拼合,俯冲一直持续到晚古生代末,并在晚二叠世—早中三叠世沿西拉木伦—长春—延吉缝合带最终闭合,主要依据是地球物理、植物古地理分区、放射虫化石及蛇绿岩、岩浆作用的年代学和地球化学、碎屑锆石的物源分析等(王玉净等,1997;尚庆华,2004;孙德有等,2004;李锦轶等,2007;李朋武等,2007;邓胜徽等,2009;Wu et al.,2011;叶栩松等,2011;Liu et al.,2016;赵英利等,2016;Liu et al.,2017;张晓飞等,2019)。沉积体系反映了物源区的剥蚀顺序及程度,是构造活动过程最完整的地质记录,地层的发育特征是板块碰撞的重要判别标志。大兴安岭南段在大地构造位置上归属于兴蒙造山带(中亚造山带东段),广泛发育晚二叠世—早三叠世地层,对大兴安岭地区该套地层研究具有重要意义,已有部分学者从地层学和沉积学的角度开展了相关研究(朱俊宾等,2017;张渝金等,2020)。

近年,笔者针对原划为早三叠世的幸福之路组开展了一系列野外地质调查工作,重新实测了2条建组剖面,发现了孢粉化石和多层火山岩夹层,综合研究认为,哈拉山东剖面原幸福之路组三段的时代应为晚二叠世—早三叠世(郑月娟等,2013a;2014a;张海华等,2015),查干布拉格剖面原幸福之路组二段、三段的时代亦为晚二叠世—早三叠世(陈树旺等,2020)。本次在剖面实测过程中,对原划为幸福之路组一段的砾岩及下伏砂岩进行了细

致的观察,并采集了砾岩层之下原划为林西组的碎屑锆石样品。本文旨在对碎屑锆石测年的基础上,结合野外观察及近年相关的研究成果,探讨原幸福之路组一段砾岩的时代,并重新厘定幸福之路组的时代。该研究将促进大兴安岭地区上二叠统—下三叠统划分对比工作的开展,同时为区域大地构造演化研究提供基础资料。

1 研究剖面

研究区所在的大兴安岭南段,大地构造位置上属于中亚造山带东段,位于西拉木伦—长春—延吉缝合带北部,地层区划归属兴蒙—松嫩地层大区南兴安地层区(郑月娟等,2018)。幸福之路组建组于巴林右旗幸福之路地区,区内出露地层包括晚二叠世林西组、晚二叠世—早三叠世幸福之路组和晚侏罗世满克头鄂博组、早白垩世玛尼吐组,建组剖面为查干布拉格西山剖面和哈拉山东剖面(图1)。

实测剖面位于巴林右旗幸福之路乡查干布拉格西山,为幸福之路组一段、二段的建组剖面,剖面层序如下(图2)。

| 晚二叠世—早三叠世幸福之路组 | 总厚度 > 1389.02 m |
|---|-----------------|
| 未见顶 | |
| 69.紫灰色泥质粉砂岩 | 26.88 m |
| 68.紫灰色粉砂岩 | 1.38 m |
| 67.灰紫色泥质粉砂岩 | 6.23 m |
| 66.灰紫色粗粉砂岩 | 2.08 m |
| 65.灰紫色泥质粉砂岩 | 4.79 m |
| 64.紫灰色细砂岩 | 6.39 m |
| 63.灰紫色泥质粉砂岩、粉砂岩,含孢粉: <i>Klausipollenites</i> sp., <i>Psophosphaera</i> sp. | 12.54 m |
| 62.灰绿色粉砂岩夹紫灰色泥质粉砂岩 | 21.65 m |
| 61.灰绿色粉砂岩 | 38.84 m |
| 60.黄绿色粉砂质泥岩 | 21.85 m |
| 59.黄绿色粉砂岩 | 27.53 m |
| 58.灰绿色粉砂质泥岩,含孢粉: <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Quadraculina</i> sp. | 65.88 m |
| 57.黄绿色细砂岩 | 23.00 m |
| 56.灰绿色粉砂岩 | 18.47 m |
| 55.灰绿色泥质粉砂岩 | 58.77 m |
| 54.黄绿色细砂岩 | 24.12 m |
| 53.灰绿色粗粉砂岩 | 4.51 m |
| 52.灰绿色粉砂岩夹粉砂质泥岩 | 49.66 m |
| 51.灰绿色粉细砂岩 | 57.81 m |

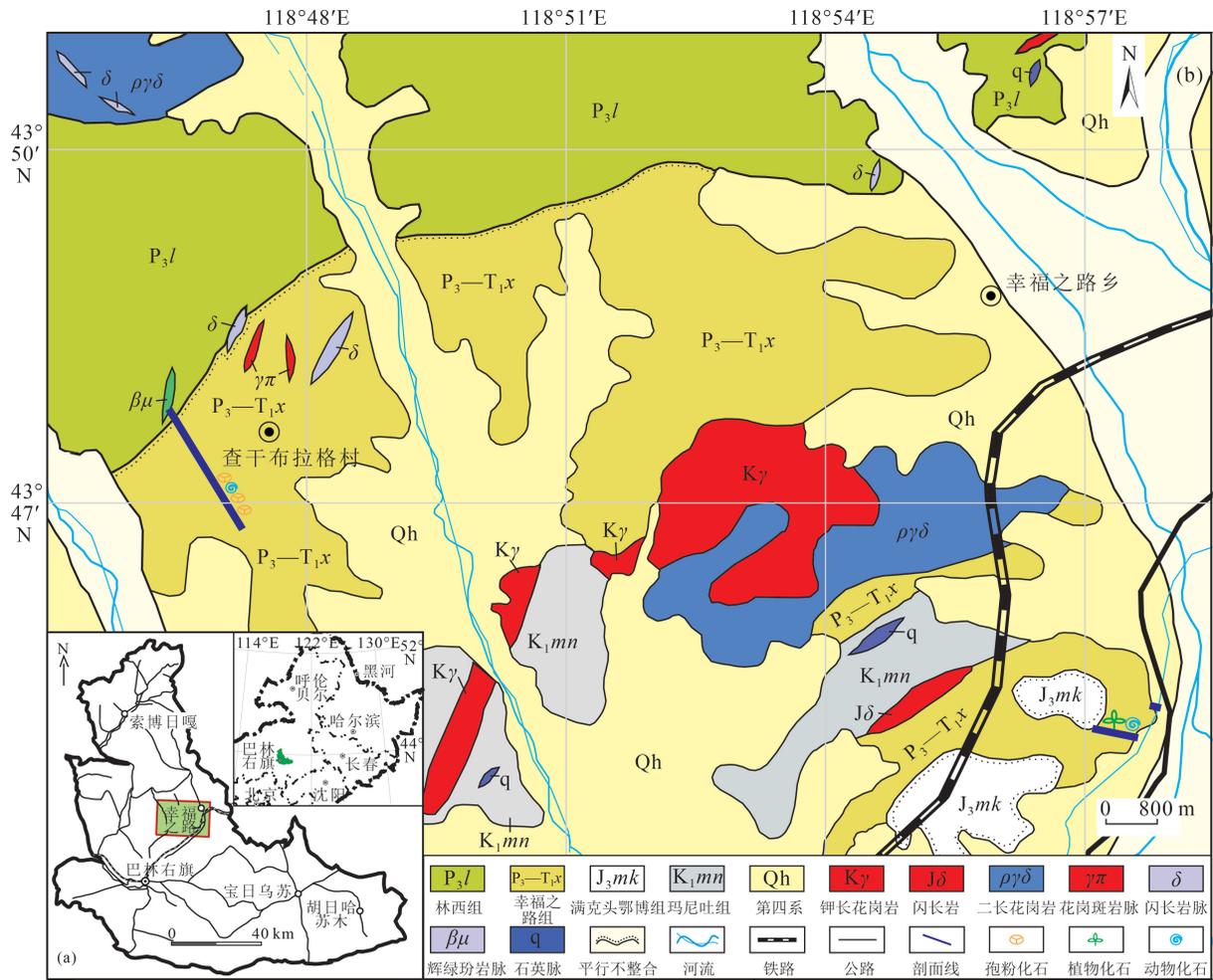


图 1 内蒙古巴林右旗幸福之路地区位置图(a)和地质简图(b)

Fig. 1 The location map (a) and sketch geological map (b) of Xingfuzhilu in Balinyouqi, Inner Mongolia

- | | | | |
|---|----------|---|---------|
| 50. 灰绿色粉砂岩 | 11.09 m | 44. 紫红色泥质粉砂岩夹灰绿色粉砂岩,含孢粉: <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Piceites</i> sp. | 10.28 m |
| 49. 深灰色细砂岩夹灰岩透镜体 | 13.31 m | 43. 紫红色、灰绿色粉细砂岩 | 37.25 m |
| 48. 灰绿色粉砂质泥岩、灰绿色粉砂岩、粉砂质泥岩,含孢粉: <i>Alisporites</i> sp., <i>Alisporites indarraensis</i> Segroves <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Piceites</i> sp., <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Protopinus</i> sp., <i>Lueckisporites</i> <i>virkkiae</i> R.Potonie et Klaus, <i>Pseudopicea</i> sp., <i>Pinuspollenites</i> sp. | 107.61 m | 42. 灰紫色中层中细砂岩,夹紫色粉砂质泥砾 | 34.73 m |
| 47. 灰紫色粉砂岩夹灰绿色细砂岩及灰岩透镜体,含孢粉: <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Piceites</i> sp., <i>Paleoconiferae</i> sp., <i>Protoconiferus</i> sp., <i>Lueckisporites virkkiae</i> R.Potonie et Klaus. | 56.20 m | 41. 紫色粉砂质泥岩,局部夹灰绿色粉砂岩,含孢粉: <i>Cyclogranisporites</i> sp., <i>Klausipollenites</i> sp., <i>Protoconiferus</i> sp., <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Quadraeculina</i> sp. | 28.32 m |
| 46. 灰绿色泥质粉砂岩,含孢粉: <i>Cyclogranisporites</i> sp., <i>Protopinus</i> sp., <i>Quadraeculina</i> sp., <i>Alisporites parvus</i> De Jersey, <i>Sulcatissporites</i> <i>rhombicus</i> Qu, <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Platysaccus</i> sp. | 16.14 m | 40. 紫灰色中薄层细砂岩 | 1.03 m |
| 45. 紫红色、灰绿色粉细砂岩,含孢粉: <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Alisporites indarraensis</i> Segroves, <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Quadraeculina</i> sp., <i>Piceites</i> sp. | 62.59 m | 39. 紫红色粉砂岩,含孢粉: <i>Baculatisporites</i> sp., <i>Cyclogranisporites</i> sp., <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Alisporites</i> sp., <i>Alisporites cacheutensis</i> (Join) Song, <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Piceites</i> sp., <i>Protopinus</i> sp., <i>Protoconiferus</i> sp., <i>Quadraeculina</i> sp. | 7.68 m |
| | | 38. 灰绿色粉砂岩,含孢粉: <i>Cyclogranisporites</i> sp., <i>Alisporites</i> sp., <i>Lueckisporites virkkiae</i> R.Potonie et Klaus, <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Protoconiferus</i> sp., <i>Quadraeculina</i> sp., <i>Psophosphaera</i> sp., <i>Protopinus</i> sp. | 56.63 m |

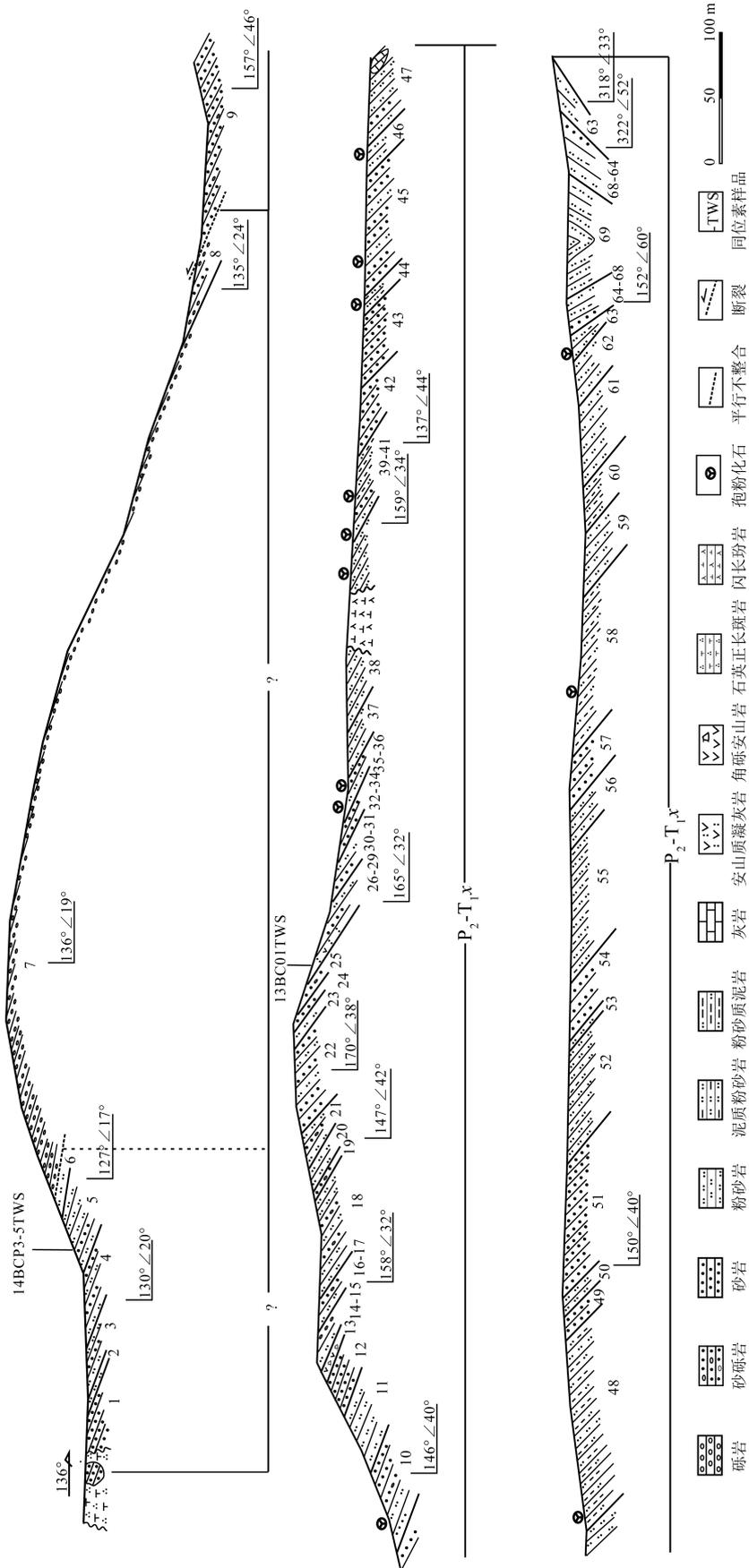


图2 内蒙古自治区巴林右旗幸福之路乡查干布拉格村西山上二叠统—下三叠统幸福之路组 (P₂-T₁x) 剖面
 Fig.2 Stratigraphic section of the Upper Permian—Lower Triassic Xingfuzhulu Formation at Xingfuzhulu, Balinyouqi, Inner Mongolia

| | |
|---|--------------|
| 37. 紫红色粉砂岩 | 19.31 m |
| 36. 紫红色粉砂岩与灰色中粗砂岩互层, 含孢粉: <i>Alisporites parvus</i> De Jersey, <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Protopinus</i> sp., <i>Piceites</i> sp., <i>Quadraculina</i> sp. | 5.65 m |
| 35. 紫红色中层粉细砂岩夹灰色细砂岩, 含孢粉: <i>Baculatisporites</i> sp., <i>Cicatricosisporites</i> sp., <i>Alisporites</i> sp., <i>Pristinuspollenites</i> sp., <i>Piceites</i> sp., <i>Protopinus</i> sp., <i>Pseudopicea</i> sp., <i>Platysaccus</i> sp. | 11.02 m |
| 34. 紫红色中层粉细砂岩与深灰色中层中砂岩互层 | 2.66 m |
| 33. 紫红色中薄层粉细砂岩夹灰色中层中砂岩 | 4.98 m |
| 32. 紫灰色中薄层细砂岩夹中层灰色粗砂岩 | 2.99 m |
| 31. 紫灰色中厚层粗砂岩夹紫红色粉砂岩 | 2.75 m |
| 30. 紫灰色厚层中砂岩夹紫红色粉砂岩 | 10.16 m |
| 29. 灰色厚层粗砂岩夹紫红色粉砂岩 | 3.53 m |
| 28. 紫红色粉砂岩夹灰色粗砂岩 | 4.07 m |
| 27. 灰色粗砂岩与紫红色粉砂岩互层 | 12.96 m |
| 26. 灰色厚层粗砂岩, 夹安山质岩屑、晶屑凝灰岩 | 7.40 m |
| 25. 灰色含砾粗砂岩与紫红色粉砂岩、泥质粉砂岩互层 | 9.23 m |
| 24. 灰色粗砂岩 | 7.18 m |
| 23. 紫红色粉砂岩夹灰色粗砂岩 | 8.69 m |
| 22. 灰色厚层粗砂岩夹紫红色粉砂岩 | 44.17 m |
| 21. 紫红色粉砂岩夹灰色砂砾岩 | 21.56 m |
| 20. 灰绿色粉砂岩 | 11.18 m |
| 19. 灰色含砾粗砂岩 | 4.97 m |
| 18. 紫红色粉砂岩夹灰色砂砾岩 | 40.12 m |
| 17. 灰色砂砾岩夹紫红色粉砂岩 | 4.29 m |
| 16. 紫灰色粉砂岩夹灰色砂砾岩 | 10.19 m |
| 15. 深灰色砾岩 | 3.22 m |
| 14. 紫灰色粉砂岩, 夹灰色砂砾岩 | 14.69 m |
| 13. 紫灰色角砾安山岩 | 8.73 m |
| 12. 灰绿色细砂岩 | 27.84 m |
| 11. 灰绿色粉砂岩 | 27.77 m |
| 10. 灰绿色中薄层粉细砂岩, 局部夹含砾粗砂岩, 含孢粉: <i>Piceapollenites</i> sp., <i>Protoconiferus</i> sp. | 43.34 m |
| 9. 紫灰色中薄层细砂岩, 局部夹含砾粗砂岩 | 99.18 m |
| -----断层----- | |
| 中晚三叠世? (原幸福之路组一段) | 总厚度 162.05 m |
| 8. 紫灰色复成分砾岩夹中薄层紫红色砂岩 | 21.51 m |
| 7. 灰紫色复成分砾岩 | 140.54 m |
| ——平行不整合—— | |
| 中晚三叠世? (原晚二叠世林西组) | 总厚度 >92.09 m |
| 6. 灰紫色薄层状粉砂岩 | 10.13 m |
| 5. 灰绿色粉砂岩, 局部夹灰色细砂岩 | 29.76 m |
| 4. 灰绿色粉砂岩与灰色细砂岩互层 | 22.22 m |
| 3. 灰绿色粉砂岩夹灰色细砂岩 | 14.82 m |

| | |
|-------------|---------|
| 2. 灰绿色粉砂岩 | 4.16 m |
| 1. 灰色中厚层细砂岩 | 11.00 m |

~~~~~侵入~~~~~  
石英正长斑岩

按照建组时的划分方案(朱儒峰等,1992):1~6层为晚二叠世林西组,岩性为灰绿色、灰紫色砂岩、粉砂岩,被石英正长斑岩侵入;7~69层为幸福之路组,时代为早三叠世,二者为微角度不整合接触。幸福之路组分为3个部分:下部(7~8层)砾岩,砾石主要有安山岩、英安岩、凝灰岩、砂岩及板岩,为幸福之路组一段;中部(9~45层)以红层为特色,岩性有砂岩、含砾砂岩,粉砂岩、泥质粉砂岩等,为幸福之路组二段;上部(46~69层)杂色细碎屑岩,为幸福之路组三段,该段在该剖面出露不全。通过剖面实测,笔者在查干布拉格西山剖面上部(35~63层)发现孢粉和叶肢介化石,在化石层下部灰色砂岩中(第26层)发现安山质岩屑、晶屑凝灰岩夹层,综合同位素测年及孢粉化石组合时代,幸福之路组原二段、三段的时代为晚二叠世—早三叠世(张德军等,2019;陈树旺等,2020)。从本次研究看,该剖面下部原划为幸福之路组一段的砾岩层(剖面7~8层)并非早三叠世沉积,其时代应新于早三叠世,依据有以下三方面:①在原幸福之路组下段砾岩中可见中段的红色泥岩砾石(陈树旺等,2020),而从野外观察看,未见确切砾岩(原幸福之路组一段)与红色砂泥岩(原幸福之路组二段)的接触关系,只是地层倾向均为南东,但砾岩段的产状较平缓,为19°~24°,其下部原划为林西组的砂岩产状更平缓,为17°~20°;②朱俊宾等(2017)对划为幸福之路组下段的砾岩层段中的砂岩夹层开展了碎屑锆石测年研究,测得紫灰色含砾粗砂岩最年轻的碎屑锆石年龄为241 Ma,据此认为幸福之路组砾岩段的时代可能为中三叠世晚期;③笔者对剖面砾岩层下部原划为林西组的砂岩做了碎屑锆石测年,测得最年轻的锆石年龄为219 Ma,最年轻的峰值年龄为249 Ma,最小峰值区间年龄段的年龄加权平均值为248.8±6.4 Ma,与最小峰值年龄吻合(具体见下文)。上述同位素测年结果表明,砾岩段(原幸福之路组一段)及下部的砂岩层(原林西组)时代新于红层沉积(原幸福之路组二段)及上部的暗色细碎屑岩沉积(原幸福之路组三段),其时代可能为中晚三叠世甚至更新。因此,笔者认为,原幸福之路组一段的

砾岩不宜放入幸福之路组,其确切时代有待进一步研究。鉴于目前没有见到接触关系,原幸福之路组二段红层与原一段砾岩的关系暂划为断层接触。

## 2 样品特征及测试结果

测试样品(14BCP3-5TWS)采自查干布拉格剖面幸福之路组砾岩段之下(图2)。原划为林西组,岩性为细砂质粉砂岩,主要由砂级碎屑、粘土质、钙质组成,砂级碎屑为长石、石英、岩屑,大小一般为0.02~0.05 mm,部分0.05~0.2 mm,极少数0.5~2 mm,杂乱分布。长石主要为斜长石,石英为单晶石英,岩屑少量,为粘土质粉砂岩,并可见少量云母碎屑。粘土质细小鳞片状,直径0.001~0.02 mm,部分0.02~0.05 mm,少部分0.05~0.1 mm,杂乱分布。钙质为方解石,他形粒状,大小一般为0.02~0.1 mm,部分0.1~0.2 mm,星散状分布(图3)。

锆石分选在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、透射光和反射光图像采集及LA-ICP-MS锆石U-Pb测试,在中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,锆石阴极发光图像在北京大学物理学院扫描电镜实验室完成。用于分析测试的锆石靶的制备过程与SHRIMP方法相似(宋彪等,2002)。

用于锆石U-Pb测试的仪器为美国New Wave Research Inc.公司生产的激光剥蚀进样系统(UPI93SS)和美国AGILENT科技有限公司生产的Agilent 7500a型四级杆等离子质谱仪联合构成的激光等离子质谱仪(LA-ICP-MS)。实验采用36 μm

的激光束斑直径和10 Hz的激光频率,激光取样过程采用5 s的预剥蚀时间、20 s的冲洗样品池时间和40 s的剥蚀取样时间。实验采用NIST610玻璃为外标,Si为内标进行元素含量计算,采用标准锆石91500为外标进行U-Pb同位素分馏效应的校正计算,澳大利亚锆石标样TEM和QH作为监控盲样监视测试过程的稳定性。数据处理采用澳大利亚Glitterver 4.4(Macquarie University)完成,普通铅校正方法同Anderson(2002)。

对原划为林西组细砂质粉砂岩(14BCP3-5TWS)中的锆石进行LA-ICP-MS U-Pb同位素分析,分析结果见表1。从锆石阴极发光图像(图4)可以看出,样品锆石晶形完好,主要为长柱状,内部结构清晰,发育典型的振荡型环带,具有较高的Th/U值,为岩浆成因锆石的特点(表1)。

测试结果显示,57颗锆石的谐和年龄主要集中在2个年龄区间:锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在219~276 Ma之间(14颗,占比24.6%),峰值年龄为249 Ma; $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于303~435 Ma之间(27颗,占比47.3%),峰值年龄为397 Ma;其他年龄介于498~933 Ma( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄)之间及大于1000 Ma,年龄值分布在1100~2957 Ma( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄)之间(图5)。

## 3 讨论

### 3.1 幸福之路组的时代及岩石地层序列

幸福之路组为朱儒峰等(1992)根据1:5万幸福之路幅区域地质调查资料创建于查干布拉格—

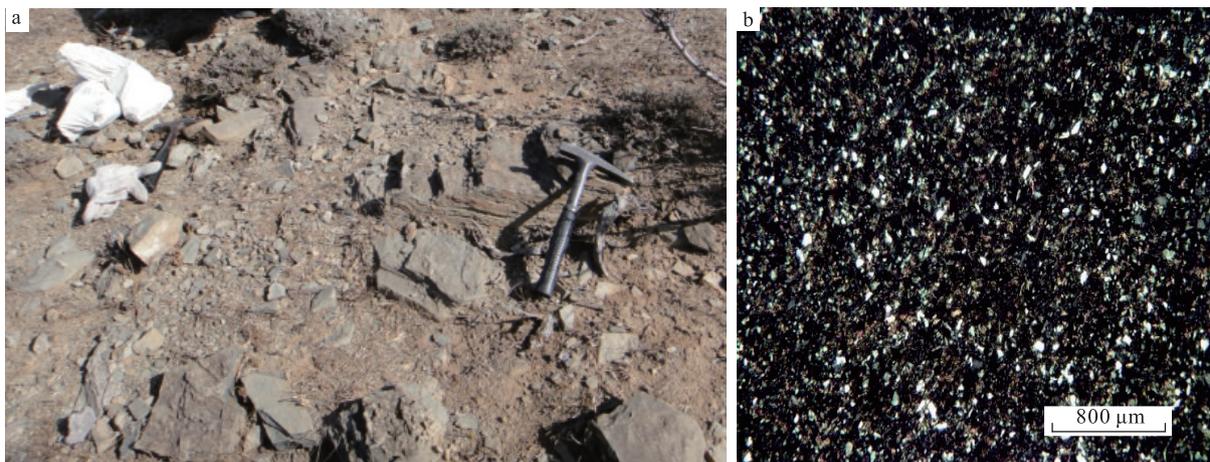


图3 细砂质粉砂岩(14BCP3-5TWS)野外(a)和镜下(b)特征

Fig. 3 The field (a) and microphotograph (b) of the siltstone(14BCP3-5TWS)

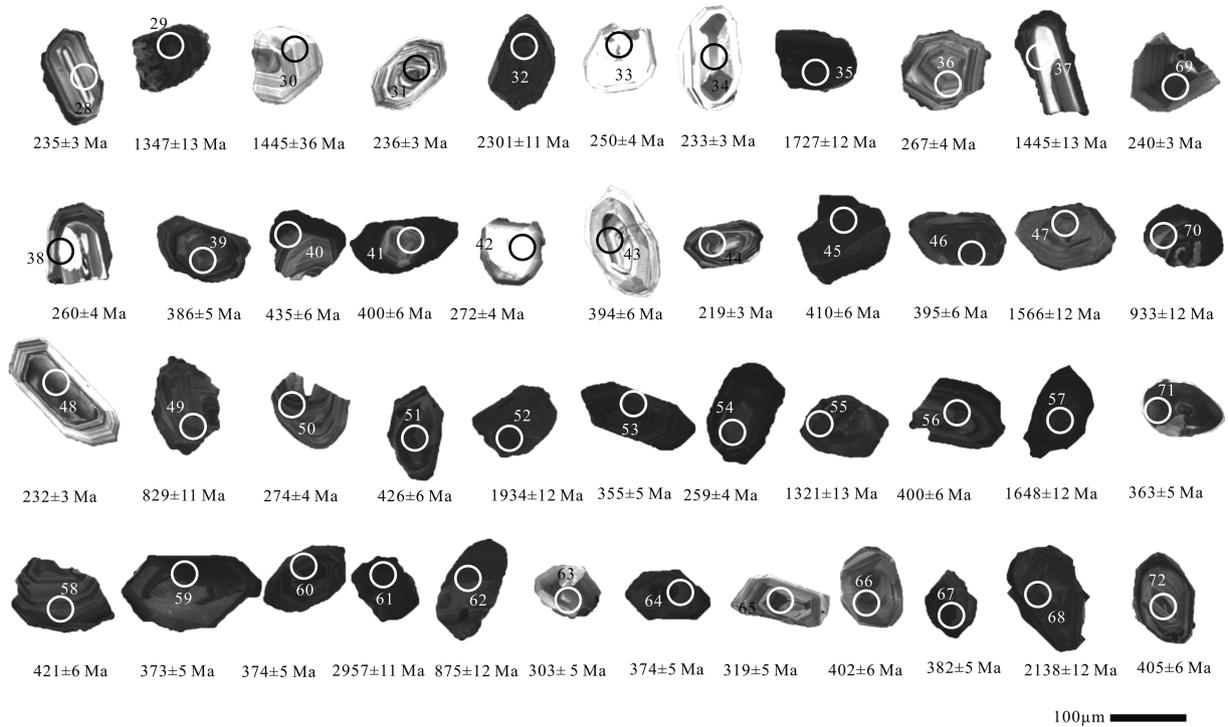


图 4 细砂质粉砂岩(14BCP3-5TWS)锆石阴极发光(CL)图像和年龄

(小于 1000 Ma 采用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄,大于 1000 Ma 采用<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄)

Fig. 4 CL images and ages of detrital zircons from the siltstone(14BCP3-5TWS)

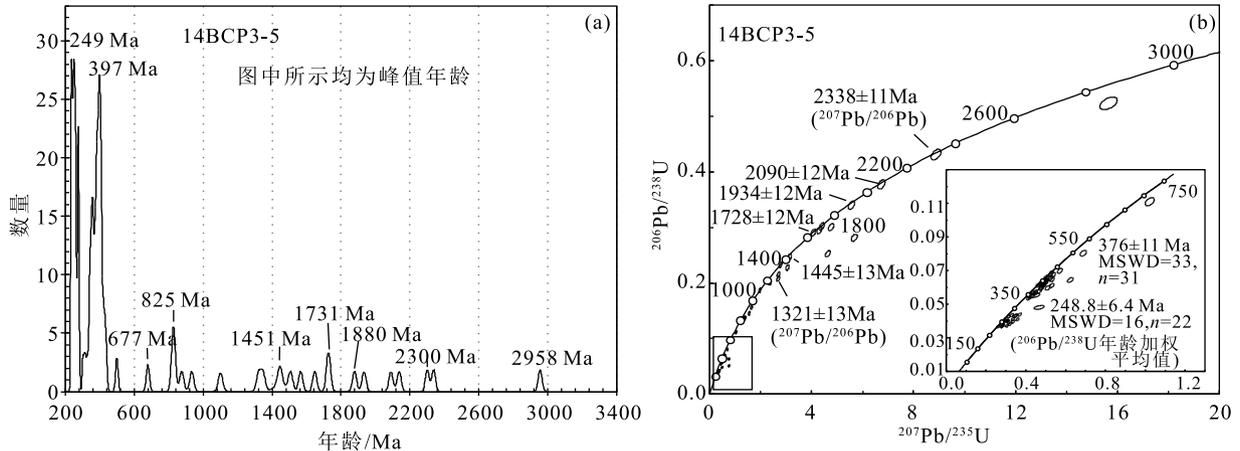


图 5 细砂质粉砂岩(14BCP3-5TWS)碎屑锆石 U-Pb 年龄频率分布图(a)和谐和图(b)

(年龄小于 1000 Ma 采用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U,年龄大于 1000 Ma 采用<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb)

Fig. 5 Relative probability plot(a) and concordia U-Pb plots(b) of detrital zircons from the siltstone(14BCP3-5TWS)

哈拉山一带,原划为林西组中上部,为一套红杂色沉积,分为 3 个岩性段:下段为杂色砾岩,平行不整合于晚二叠世林西组砂岩之上;中段以红层为标志,主要为紫红色杂砂岩、粉砂岩夹砂砾岩;上段为暗色细碎屑岩,顶部被上侏罗统不整合覆盖。中下段建组剖面为查干布拉格剖面,上段建组剖面为哈

拉山东剖面。建组时主要根据区域分布特征及在上段发现的双壳和植物化石将其时代划为早三叠世。和政军等(1997;1998)根据在中上段建组剖面发现的叶肢介和介形虫化石,认为其时代为早三叠世,但查干布拉格剖面原划为幸福之路组一段砾岩的时代一直缺少依据。郑月娟等(2013a;2014a)、张

表1 细砂质粉砂岩(14BCP3-5TWS)碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 分析结果  
Table 1 LA-ICP-MS detrital zircons U-Th-Pb data of the siltstone(14BCP3-5TWS)

| 样号 | Th<br>/ $10^{-6}$ | U<br>/ $10^{-6}$ | Th/U | 同位素比值                             |         |                                  |         |                                  |         | 年龄/Ma                             |    |                                  |    |                                  |    |
|----|-------------------|------------------|------|-----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------------------|----|----------------------------------|----|----------------------------------|----|
|    |                   |                  |      | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |         | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |         | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |         | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |    | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |    | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |    |
| 01 | 338               | 226              | 1.50 | 0.05316                           | 0.00108 | 0.31374                          | 0.00498 | 0.04279                          | 0.00062 | 336                               | 16 | 277                              | 4  | 270                              | 4  |
| 02 | 483               | 546              | 0.88 | 0.05494                           | 0.00107 | 0.32917                          | 0.00494 | 0.04344                          | 0.00063 | 410                               | 15 | 289                              | 4  | 274                              | 4  |
| 03 | 251               | 258              | 0.97 | 0.06677                           | 0.0013  | 1.02217                          | 0.01517 | 0.11098                          | 0.00161 | 831                               | 14 | 715                              | 8  | 678                              | 9  |
| 04 | 187               | 302              | 0.62 | 0.05804                           | 0.00113 | 0.52422                          | 0.00786 | 0.06548                          | 0.00095 | 531                               | 15 | 428                              | 5  | 409                              | 6  |
| 05 | 53                | 1292             | 0.04 | 0.06671                           | 0.0013  | 1.25669                          | 0.01879 | 0.13657                          | 0.00198 | 829                               | 14 | 826                              | 8  | 825                              | 11 |
| 06 | 615               | 895              | 0.69 | 0.06293                           | 0.00122 | 0.53                             | 0.00781 | 0.06106                          | 0.00088 | 706                               | 14 | 432                              | 5  | 382                              | 5  |
| 07 | 155               | 308              | 0.50 | 0.05772                           | 0.00114 | 0.49826                          | 0.00761 | 0.06258                          | 0.00091 | 519                               | 15 | 411                              | 5  | 391                              | 6  |
| 08 | 108               | 153              | 0.70 | 0.05495                           | 0.00114 | 0.30497                          | 0.00498 | 0.04023                          | 0.00059 | 410                               | 16 | 270                              | 4  | 254                              | 4  |
| 09 | 219               | 352              | 0.62 | 0.05302                           | 0.00105 | 0.2763                           | 0.00422 | 0.03778                          | 0.00055 | 330                               | 16 | 248                              | 3  | 239                              | 3  |
| 10 | 85                | 145              | 0.58 | 0.0565                            | 0.00114 | 0.49737                          | 0.0078  | 0.06382                          | 0.00093 | 472                               | 16 | 410                              | 5  | 399                              | 6  |
| 11 | 110               | 189              | 0.58 | 0.06066                           | 0.00124 | 0.31972                          | 0.00516 | 0.03821                          | 0.00056 | 627                               | 16 | 282                              | 4  | 242                              | 3  |
| 12 | 239               | 321              | 0.74 | 0.06213                           | 0.00122 | 0.68823                          | 0.01042 | 0.08031                          | 0.00116 | 679                               | 15 | 532                              | 6  | 498                              | 7  |
| 13 | 319               | 1216             | 0.26 | 0.05678                           | 0.00109 | 0.44896                          | 0.0066  | 0.05732                          | 0.00083 | 483                               | 15 | 377                              | 5  | 359                              | 5  |
| 14 | 271               | 495              | 0.55 | 0.05743                           | 0.00113 | 0.4476                           | 0.00677 | 0.0565                           | 0.00082 | 508                               | 15 | 376                              | 5  | 354                              | 5  |
| 15 | 35                | 212              | 0.16 | 0.07271                           | 0.00141 | 1.37168                          | 0.02033 | 0.13677                          | 0.00198 | 1006                              | 14 | 877                              | 9  | 826                              | 11 |
| 16 | 500               | 791              | 0.63 | 0.05621                           | 0.00109 | 0.42315                          | 0.00626 | 0.05458                          | 0.00079 | 461                               | 15 | 358                              | 4  | 343                              | 5  |
| 17 | 174               | 564              | 0.31 | 0.05695                           | 0.00111 | 0.43437                          | 0.0065  | 0.0553                           | 0.0008  | 490                               | 15 | 366                              | 5  | 347                              | 5  |
| 18 | 186               | 324              | 0.57 | 0.12943                           | 0.00248 | 6.73718                          | 0.09854 | 0.37737                          | 0.00546 | 2090                              | 12 | 2078                             | 13 | 2064                             | 26 |
| 19 | 78                | 172              | 0.46 | 0.06138                           | 0.00128 | 0.33616                          | 0.00553 | 0.0397                           | 0.00058 | 653                               | 16 | 294                              | 4  | 251                              | 4  |
| 20 | 233               | 426              | 0.55 | 0.05585                           | 0.0011  | 0.30794                          | 0.00467 | 0.03998                          | 0.00058 | 446                               | 15 | 273                              | 4  | 253                              | 4  |
| 21 | 50                | 304              | 0.16 | 0.14933                           | 0.00285 | 8.8812                           | 0.12838 | 0.43119                          | 0.00621 | 2338                              | 11 | 2326                             | 13 | 2311                             | 28 |
| 22 | 70                | 178              | 0.39 | 0.05522                           | 0.0015  | 0.46852                          | 0.01124 | 0.06151                          | 0.00091 | 421                               | 28 | 390                              | 8  | 385                              | 6  |
| 23 | 184               | 391              | 0.47 | 0.05633                           | 0.00109 | 0.481                            | 0.00714 | 0.06191                          | 0.00089 | 430                               | 44 | 255                              | 4  | 236                              | 3  |
| 24 | 147               | 211              | 0.70 | 0.09395                           | 0.00181 | 2.68904                          | 0.03943 | 0.20751                          | 0.003   | 1507                              | 13 | 1325                             | 11 | 1216                             | 16 |
| 25 | 66                | 207              | 0.32 | 0.11492                           | 0.00219 | 4.76255                          | 0.06903 | 0.30047                          | 0.00433 | 1879                              | 12 | 1778                             | 12 | 1694                             | 21 |
| 26 | 254               | 556              | 0.46 | 0.0553                            | 0.00107 | 0.47617                          | 0.0071  | 0.06243                          | 0.0009  | 300                               | 64 | 255                              | 6  | 250                              | 4  |
| 27 | 155               | 257              | 0.60 | 0.05758                           | 0.00115 | 0.31328                          | 0.00489 | 0.03944                          | 0.00057 | 514                               | 15 | 277                              | 4  | 249                              | 4  |
| 28 | 185               | 185              | 1.00 | 0.05945                           | 0.00122 | 0.30488                          | 0.00493 | 0.03718                          | 0.00054 | 584                               | 16 | 270                              | 4  | 235                              | 3  |
| 29 | 339               | 921              | 0.37 | 0.08639                           | 0.00164 | 2.77099                          | 0.03992 | 0.23256                          | 0.00335 | 1347                              | 13 | 1348                             | 11 | 1348                             | 18 |
| 30 | 77                | 82               | 0.94 | 0.09211                           | 0.00181 | 3.1387                           | 0.04756 | 0.24704                          | 0.00359 | 1445                              | 36 | 1327                             | 11 | 1255                             | 16 |
| 31 | 196               | 248              | 0.79 | 0.05545                           | 0.00111 | 0.28573                          | 0.00448 | 0.03736                          | 0.00054 | 430                               | 16 | 255                              | 4  | 236                              | 3  |
| 32 | 203               | 237              | 0.86 | 0.14615                           | 0.00278 | 5.67101                          | 0.08193 | 0.28133                          | 0.00406 | 2301                              | 11 | 1927                             | 12 | 1598                             | 20 |
| 33 | 70                | 150              | 0.47 | 0.05234                           | 0.0015  | 0.28577                          | 0.00732 | 0.03959                          | 0.00059 | 300                               | 32 | 255                              | 6  | 250                              | 4  |
| 34 | 73                | 152              | 0.48 | 0.05504                           | 0.00121 | 0.27956                          | 0.00503 | 0.03682                          | 0.00054 | 414                               | 18 | 250                              | 4  | 233                              | 3  |
| 35 | 59                | 986              | 0.06 | 0.10575                           | 0.002   | 4.40655                          | 0.06328 | 0.30211                          | 0.00435 | 1727                              | 12 | 1714                             | 12 | 1702                             | 22 |
| 36 | 193               | 293              | 0.66 | 0.06113                           | 0.00119 | 0.36933                          | 0.00555 | 0.0438                           | 0.00063 | 644                               | 15 | 319                              | 4  | 276                              | 4  |
| 37 | 147               | 238              | 0.62 | 0.09091                           | 0.00173 | 2.69525                          | 0.0391  | 0.21495                          | 0.0031  | 1445                              | 13 | 1327                             | 11 | 1255                             | 16 |
| 38 | 241               | 284              | 0.85 | 0.05902                           | 0.00116 | 0.33502                          | 0.00508 | 0.04115                          | 0.0006  | 568                               | 15 | 293                              | 4  | 260                              | 4  |
| 39 | 125               | 411              | 0.30 | 0.05705                           | 0.0011  | 0.48585                          | 0.0072  | 0.06175                          | 0.00089 | 493                               | 15 | 402                              | 5  | 386                              | 5  |

续表 1

| 样号 | Th<br>/ $10^{-6}$ | U<br>/ $10^{-6}$ | Th/U | 同位素比值                             |         |                                  |         |                                  |         | 年龄/Ma                             |                                  |                                  |    |      |    |
|----|-------------------|------------------|------|-----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----|------|----|
|    |                   |                  |      | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |         | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |         | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |         | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |    |      |    |
| 40 | 135               | 310              | 0.43 | 0.05927                           | 0.00115 | 0.57108                          | 0.00851 | 0.06986                          | 0.00101 | 577                               | 15                               | 459                              | 5  | 435  | 6  |
| 41 | 170               | 882              | 0.19 | 0.05622                           | 0.00107 | 0.49644                          | 0.00721 | 0.06402                          | 0.00092 | 461                               | 15                               | 409                              | 5  | 400  | 6  |
| 42 | 82                | 97               | 0.84 | 0.05806                           | 0.00127 | 0.34474                          | 0.00608 | 0.04305                          | 0.00064 | 532                               | 17                               | 301                              | 5  | 272  | 4  |
| 43 | 42                | 119              | 0.36 | 0.08437                           | 0.0017  | 0.73259                          | 0.01156 | 0.06295                          | 0.00092 | 1301                              | 14                               | 558                              | 7  | 394  | 6  |
| 44 | 218               | 484              | 0.45 | 0.05564                           | 0.0011  | 0.26513                          | 0.00406 | 0.03454                          | 0.0005  | 438                               | 15                               | 239                              | 3  | 219  | 3  |
| 45 | 152               | 722              | 0.21 | 0.05536                           | 0.00106 | 0.50178                          | 0.0073  | 0.06572                          | 0.00095 | 427                               | 15                               | 413                              | 5  | 410  | 6  |
| 46 | 299               | 677              | 0.44 | 0.0562                            | 0.00108 | 0.48981                          | 0.00715 | 0.06318                          | 0.00091 | 460                               | 15                               | 405                              | 5  | 395  | 6  |
| 47 | 98                | 179              | 0.55 | 0.09694                           | 0.00184 | 3.04346                          | 0.04402 | 0.22763                          | 0.00328 | 1566                              | 12                               | 1419                             | 11 | 1322 | 17 |
| 48 | 313               | 345              | 0.91 | 0.05145                           | 0.00102 | 0.25985                          | 0.00403 | 0.03662                          | 0.00053 | 261                               | 16                               | 235                              | 3  | 232  | 3  |
| 49 | 152               | 409              | 0.37 | 0.07167                           | 0.00136 | 1.35614                          | 0.01959 | 0.13718                          | 0.00198 | 977                               | 13                               | 870                              | 8  | 829  | 11 |
| 50 | 119               | 307              | 0.39 | 0.05871                           | 0.00116 | 0.35119                          | 0.00536 | 0.04337                          | 0.00063 | 556                               | 15                               | 306                              | 4  | 274  | 4  |
| 51 | 209               | 418              | 0.50 | 0.05592                           | 0.00108 | 0.52644                          | 0.0078  | 0.06825                          | 0.00099 | 449                               | 15                               | 429                              | 5  | 426  | 6  |
| 52 | 46                | 162              | 0.29 | 0.11854                           | 0.00227 | 5.56383                          | 0.08167 | 0.34028                          | 0.00494 | 1934                              | 12                               | 1911                             | 13 | 1888 | 24 |
| 53 | 199               | 906              | 0.22 | 0.05574                           | 0.00106 | 0.43536                          | 0.00632 | 0.05663                          | 0.00082 | 442                               | 15                               | 367                              | 4  | 355  | 5  |
| 54 | 996               | 1367             | 0.73 | 0.06343                           | 0.0012  | 0.3584                           | 0.00517 | 0.04097                          | 0.00059 | 723                               | 14                               | 311                              | 4  | 259  | 4  |
| 55 | 203               | 428              | 0.47 | 0.08525                           | 0.00161 | 2.35438                          | 0.03374 | 0.20022                          | 0.00288 | 1321                              | 13                               | 1229                             | 10 | 1177 | 15 |
| 56 | 80                | 340              | 0.23 | 0.05706                           | 0.0011  | 0.50368                          | 0.00741 | 0.064                            | 0.00092 | 494                               | 15                               | 414                              | 5  | 400  | 6  |
| 57 | 178               | 507              | 0.35 | 0.10131                           | 0.00192 | 4.05764                          | 0.05831 | 0.29036                          | 0.00418 | 1648                              | 12                               | 1646                             | 12 | 1643 | 21 |
| 58 | 149               | 206              | 0.72 | 0.05769                           | 0.00113 | 0.53731                          | 0.00811 | 0.06753                          | 0.00098 | 518                               | 15                               | 437                              | 5  | 421  | 6  |
| 59 | 149               | 424              | 0.35 | 0.0582                            | 0.00112 | 0.47769                          | 0.00701 | 0.0595                           | 0.00086 | 537                               | 15                               | 396                              | 5  | 373  | 5  |
| 60 | 105               | 190              | 0.55 | 0.06189                           | 0.00123 | 0.50985                          | 0.00788 | 0.05973                          | 0.00087 | 670                               | 15                               | 418                              | 5  | 374  | 5  |
| 61 | 272               | 665              | 0.41 | 0.21679                           | 0.00407 | 15.65547                         | 0.22216 | 0.52355                          | 0.00752 | 2957                              | 11                               | 2856                             | 14 | 2714 | 32 |
| 62 | 146               | 338              | 0.43 | 0.07708                           | 0.00147 | 1.54595                          | 0.0224  | 0.14542                          | 0.0021  | 1123                              | 13                               | 949                              | 9  | 875  | 12 |
| 63 | 54                | 103              | 0.52 | 0.07037                           | 0.00275 | 0.46687                          | 0.01694 | 0.0481                           | 0.00078 | 939                               | 48                               | 389                              | 12 | 303  | 5  |
| 64 | 349               | 575              | 0.61 | 0.05785                           | 0.00111 | 0.47694                          | 0.00696 | 0.05978                          | 0.00086 | 524                               | 15                               | 396                              | 5  | 374  | 5  |
| 65 | 334               | 630              | 0.53 | 0.10476                           | 0.00235 | 0.73187                          | 0.0133  | 0.05065                          | 0.00077 | 1710                              | 15                               | 558                              | 8  | 319  | 5  |
| 66 | 129               | 208              | 0.62 | 0.07023                           | 0.00135 | 0.62338                          | 0.0092  | 0.06436                          | 0.00093 | 935                               | 14                               | 492                              | 6  | 402  | 6  |
| 67 | 166               | 510              | 0.33 | 0.0579                            | 0.0011  | 0.48791                          | 0.00709 | 0.06109                          | 0.00088 | 526                               | 15                               | 403                              | 5  | 382  | 5  |
| 68 | 251               | 248              | 1.01 | 0.13299                           | 0.00254 | 4.6296                           | 0.06742 | 0.25239                          | 0.00365 | 2138                              | 12                               | 1755                             | 12 | 1451 | 19 |
| 69 | 698               | 694              | 1.01 | 0.05459                           | 0.00106 | 0.28575                          | 0.00426 | 0.03795                          | 0.00055 | 395                               | 15                               | 255                              | 3  | 240  | 3  |
| 70 | 140               | 628              | 0.22 | 0.07551                           | 0.00142 | 1.62132                          | 0.02303 | 0.15568                          | 0.00224 | 1082                              | 13                               | 979                              | 9  | 933  | 12 |
| 71 | 754               | 606              | 1.24 | 0.05519                           | 0.00106 | 0.30496                          | 0.0045  | 0.04006                          | 0.00058 | 553                               | 41                               | 390                              | 5  | 363  | 5  |
| 72 | 183               | 339              | 0.54 | 0.05953                           | 0.00114 | 0.53176                          | 0.00784 | 0.06476                          | 0.00093 | 587                               | 14                               | 433                              | 5  | 405  | 6  |
| 73 | 219               | 439              | 0.50 | 0.05862                           | 0.00112 | 0.46786                          | 0.00685 | 0.05786                          | 0.00083 | 553                               | 14                               | 390                              | 5  | 363  | 5  |
| 74 | 587               | 983              | 0.60 | 0.05219                           | 0.00099 | 0.29235                          | 0.00425 | 0.04061                          | 0.00058 | 294                               | 15                               | 260                              | 3  | 257  | 4  |
| 75 | 58                | 126              | 0.46 | 0.10576                           | 0.002   | 4.30636                          | 0.06174 | 0.29521                          | 0.00425 | 1728                              | 12                               | 1695                             | 12 | 1668 | 21 |
| 76 | 292               | 646              | 0.45 | 0.05575                           | 0.00106 | 0.47514                          | 0.00689 | 0.06179                          | 0.00089 | 442                               | 15                               | 395                              | 5  | 387  | 5  |
| 77 | 348               | 1020             | 0.34 | 0.07618                           | 0.00143 | 1.96365                          | 0.02788 | 0.18689                          | 0.00268 | 1100                              | 13                               | 1103                             | 10 | 1105 | 15 |
| 78 | 139               | 450              | 0.31 | 0.05598                           | 0.00107 | 0.49506                          | 0.00729 | 0.06412                          | 0.00092 | 452                               | 15                               | 408                              | 5  | 401  | 6  |
| 79 | 42                | 53               | 0.79 | 0.05783                           | 0.00277 | 0.44039                          | 0.02011 | 0.05521                          | 0.00093 | 523                               | 70                               | 371                              | 14 | 346  | 6  |
| 80 | 314               | 510              | 0.62 | 0.05611                           | 0.00108 | 0.41407                          | 0.0061  | 0.05351                          | 0.00077 | 457                               | 15                               | 352                              | 4  | 336  | 5  |

海华等(2015)根据在哈拉山东剖面(幸福之路组三段建组剖面)幸福之路组三段发现的叶肢介、孢粉化石及火山岩测年资料,认为原幸福之路组三段的时代为晚二叠世—早三叠世。幸福之路组二段建组剖面(查干布拉格剖面)红层中也发现了凝灰岩夹层(样品号 13BC01TWS,图 2),测得的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为  $255.5 \pm 1.1$  Ma(陈树旺等,2020)。凝灰岩上部多个层位发现晚二叠世—早三叠世孢粉化石(张德军等,2019),推断幸福之路组中段的时代为晚二叠世—早三叠世早期。另外,侵入中段红层沉积中的闪长玢岩时代为  $247.7 \pm 2.0$  Ma,相当于早三叠世最晚期—中三叠世最早期(郑月娟等,2015),限定了该地层的沉积上限。

幸福之路组建组时下部的砾岩段没有任何时代依据,只是根据地层的野外产状,认为砾岩段位于下部,且与下伏林西组砂岩为平行不整合接触。朱俊宾等(2017)对产自原幸福之路组下部砾岩段的紫灰色含砾粗砂岩夹层开展了碎屑锆石测年研究,测得最年轻的碎屑锆石年龄为 241 Ma,据此认为幸福之路组的时代为早中三叠世,其下部砾岩段的时代可能为中三叠世晚期,但对幸福之路组 3 个岩性段之间的上下层位关系未做进一步讨论。如上文所述,笔者通过对查干布拉格剖面的实测,发现砾岩段及其下原划为林西组的砂岩较中上段产状平缓,且砾岩中有中段的紫红色砂岩砾石,因而砾岩层可能位于中上段之上,原来的层序认识有误(陈树旺等,2020)。上文所述原划为林西组砂岩的碎屑锆石测年结果显示,最小的锆石年龄为 219 Ma,属于晚三叠世的年龄(219~237 Ma)有 5 个,最小年龄区间年龄加权平均值为  $248.8 \pm 6.4$  Ma,与最小峰值年龄吻合(249 Ma)(图 5)。综合考虑,原划为林西组的砂岩及粉砂岩组合时代应不老于晚三叠世,据此推测位于其上的原幸福之路组一段(砾岩段)时代可能更新,甚至可能新于三叠纪。

综合上述同位素测年和化石资料,笔者暂将幸福之路组重新厘定为“以红层出现作为划分标志的一套砂泥岩夹火山岩沉积,下部主要为紫红色、紫灰色、灰绿色砂岩、粉砂岩夹含砾砂岩等,上部以灰绿色、黄绿色、灰紫色粉砂岩、细砂岩为主夹粉砂质泥岩、(泥)灰岩等”,其时代为晚二叠世—早三叠世,原幸福之路组一段砾岩暂不再划入幸福之路组,其时代归属有待进一步研究确认。另外,原幸

福之路组三段的时代亦为晚二叠世—早三叠世(张海华等,2015),且从孢粉化石和同位素测年资料看,与原幸福之路组二段没有明显的上下叠置关系,二者关系有待进一步研究,所以对幸福之路组暂不分段。

### 3.2 幸福之路组与林西组对比

林西组广泛分布于大兴安岭地区,岩性为灰黑、灰绿色砂泥岩组合,为东北地区晚古生代重要的生烃层系(张健等,2019;陈树旺等,2021;张海华等,2021),含双壳、叶肢介、介形虫、植物及孢粉化石,其时代为晚二叠世目前无异议。从笔者近年的研究看,以红层为划分标志的幸福之路组的时代为晚二叠世晚期—早三叠世(不包括原一段的砾岩层),与林西组在沉积时代上有重叠。首先,从孢粉组合特点看,以红层沉积为特点的幸福之路组的时代与林西组上部几近相同,二者有很多共同的属种:*Kraeuselisporites spinulosus*, *Cyclogranisporites*, *Alisporites communis*, *A. auritus*, *Crucisaccites variosulcatus*, *Falcisporites*, *Lunatisporites tersus*, *Cycadopites caperatus*, *Vittatina*, *Vitreisporites pallidus*, *Striatopodocarpites crassus*, *Lueckisporites*, *Protohaploxylinus*, *Hamiapollenites*, *Vestigisporites*, *Klausipollenites*, *Piceapollenites*, *Platysaccus*, *Protopinus*, *Sulcatisporites* 等,其中包括二叠纪的特征分子,如 *Kraeuselisporites spinulosus*, *Vittatina*, *Protohaploxylinus*, *Hamiapollenites*, *Lueckisporites* 等(郑月娟等,2013a, b; 杨兵等,2014;张德军等,2019;2022);其次,火山岩同位素测年资料也显示,幸福之路组的沉积从晚二叠世开始(郑月娟等,2014a;张海华等,2015;陈树旺等,2020)。林西县南黑山头地区林西组中也含紫红色泥岩、泥质砂岩、砾岩和灰色砂页岩、砂岩,碎屑锆石 U-Pb 年龄显示,最年轻锆石年龄为 260 Ma(朱俊宾等,2017)。笔者也曾对该套红层进行研究,测得砂岩中碎屑锆石最年轻的峰值为 268 Ma(未发表数据),且发现晚二叠世植物化石,说明晚二叠世开始就有红层发育。结合区域地质资料推测,晚二叠世—早三叠世,研究区一直处于整体隆升阶段,晚二叠世晚期,沉积盆地逐渐缩小,沉积盆地不同位置的沉积特征不同,靠近盆地边缘红层出现的较早,幸福之路组红层可能为盆地的边缘相沉积,而同时期沉积在盆地中心位置的林西组仍为灰黑色、灰绿色的砂泥岩沉积。林西组和老龙头组的划分以岩石组合为基础,据此推测幸福之路组下部与林西组上部可能为同时异相沉积。

### 3.3 幸福之路组与老龙头组对比及早三叠世地层序列

杨雅军等(2012)曾对大兴安岭地区早三叠世地层进行对比研究,认为大兴安岭地区下三叠统自下而上为老龙头组、哈达陶勒盖组,将幸福之路组视为老龙头组的同物异名,将分布于奈曼旗地区的哈达陶勒盖组划归老龙头组,并将老龙头组重新定义为:岩性以灰色、黄灰色砂岩、粉砂岩、泥岩、板岩及紫红色砂岩、粉砂岩、砂砾岩为主,可夹中性或中酸性火山岩,与下伏林西组及上覆哈达陶勒盖组多呈整合接触,时代为早三叠世。目前大多数研究者将大兴安岭地区早三叠世地层称为老龙头组,将幸福之路组视作老龙头组的同物异名(杨兵等,2014;张德军等,2019;张渝金等,2020)。

从目前研究结果看,分布于大兴安岭南部的幸福之路组,含有叶肢介、介形虫、双壳、孢粉化石及火山岩夹层,综合研究结果显示时代为晚二叠世—早三叠世;老龙头组建组剖面的时代则依据 *Palaeomutela* 及少量 *Palaeonodonta* 划为早三叠世,但实际上双壳类 *Palaeomutela*-*Palaeonodonta* 组合分布时限为晚二叠世—早三叠世。曲关生等(1997)认为,因本组整合于产 *Glossozamites kryshstofovichi* 和 *Neocalamites?* sp. 植物化石的林西组之上,故将其时代置于早三叠世。因此,不能排除老龙头组的时代为晚二叠世—早三叠世的可能。

哈达陶勒盖组时代的研究近期有新的进展。辽宁省地质调查院(2013)<sup>①</sup>在哈达陶勒盖组建组剖面二段灰黑色页岩中发现了 *Euestheria* cf. *haifanggouensis* Chen 海房沟真叶肢介(比较种)、*Eosolimnadiopsis* sp. 东方似渔乡叶肢介(未定种)、*Euestheria jingyuanensis* Chen 靖远真叶肢介及 *Triops* sp. 蜚甲(背甲目,未定种)。化石为辽宁地质勘察院王敏成先生、中国地质调查局沈阳地质调查中心王五力先生和中国科学院南京地质古生物研究所沈炎彬先生鉴定。从叶肢介和背甲类共生的特点及组合面貌看,含化石地层的时代为中侏罗世,所以将其划分为塔木兰沟组。笔者也对哈达陶勒盖组建组剖面进行了实地考察并采获叶肢介化石。近年不断有研究者对哈达陶勒盖组的火山岩进行测年研究,测得的火山岩年龄也非早三叠世(马永飞等,2017;司秋亮等,2018),所以笔者支持辽宁地质调查院的划分意见,哈达陶勒盖组暂不再作为早三

叠世的地层单位。除建组剖面外,丁秋红等(2005)将奈曼旗地区含早三叠世孢粉组合的地层称为哈达陶勒盖组,下段为深灰色泥岩、灰色凝灰质细砂岩夹多层各色凝灰岩与蚀变安山岩,含 *Calamospora*-*Lundbladispora*-*Alisporites* 孢粉组合;上段为紫红色、紫褐色粉砂质泥岩和泥岩,含 *Verrucosiporites*-*Lundbladispora*-*Chordasporites* 孢粉组合,其上被中侏罗世地层角度不整合覆盖,认为该组下段、上段孢粉组合可分别与陕甘宁盆地的早三叠世刘家沟组、和尚沟组孢粉组合相对比,其时代明显年轻于幸福之路组孢粉组合。杨雅军等(2012)因其岩石组合特征与老龙头组相近,将其改称老龙头组。

鉴于幸福之路组和老龙头组均位于晚二叠世林西组之上,且均以红层发育为特征,并均含有火山岩夹层,从岩石地层划分的角度,笔者赞同前人的意见:将幸福之路组视作老龙头组的同物异名,但由于对其时代有不同认识,暂时保留幸福之路组,哈达陶勒盖组不再作为早三叠世的地层单位。

### 3.4 碎屑锆石物源分析及意义

采自查干布拉格剖面底部原划为林西组的细砂质粉砂岩的 57 颗谐和—近谐和碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄可划分为 4 组;其中晚三叠世—早二叠世晚期(<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 219~274 Ma, 14 颗锆石)和晚石炭世晚期—早志留世(<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 336~435 Ma, 27 颗锆石)为主要的年龄阶段,另外有中寒武世晚期—新元古代(<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄介于 498~933 Ma 之间,峰值年龄为 677 Ma 及 825 Ma)和大于 1000 Ma 的年龄(<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄介于 1100~2957 Ma 之间,具有 1731 Ma 及 2300 Ma 的峰值年龄)。

#### 3.4.1 晚三叠世—早二叠世晚期碎屑锆石(219~274 Ma)

这个时期绝大多数锆石保留了岩浆锆石的柱状晶形和振荡环带,显示其岩浆成因的特点。该区域也是 2 个主要年龄区间之一,峰值年龄为 249 Ma,代表了在二叠纪晚期—三叠纪,与华北板块和西伯利亚板块碰撞拼合密切相关的岩浆事件(李益龙等,2009;2012)。如原幸福之路组三段上部 2 个凝灰岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 252.6±1.7 Ma、249.9±1.6 Ma(郑月娟等,2014a),原幸福之路组二段红层中凝灰岩样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 255.5±1.1 Ma(陈树旺等,2020),在

林西县周边地区有早中三叠世岩浆岩分布,如转山子和建设屯花岗闪长岩体(刘建峰等,2013),双井子杂岩的形成年龄为230~206 Ma(江思宏等,2014)。华北板块北缘也有这一时期的岩浆活动(张拴宏等,2010)。

#### 3.4.2 早石炭世—志留纪碎屑锆石(336~435 Ma)

这是锆石含量最多的区段(占锆石总数的47.3%),峰值年龄为397 Ma。石炭纪—志留纪岩浆活动在内蒙东南部普遍存在。石炭纪的锆石年龄与苏尼特左旗—锡林浩特—西乌旗一带花岗质侵入岩的时代相符(337~302 Ma)(刘建峰等,2009;杨俊泉等,2014),本巴图组火山岩的年龄介于304~337 Ma之间(潘世语等,2012),施光海等(2003)和王善辉等(2012)获得锡林浩特杂岩中的斜长花岗岩和碎屑锆石年龄为316~437 Ma,黄波等(2016)在贺根山镁铁质堆晶杂岩中获得辉长闪长岩年龄为 $341 \pm 1$  Ma,与变质橄榄岩断层接触的玄武岩年龄为 $359 \pm 5$  Ma,苏左旗南白音宝力道黑云母二长花岗岩年龄为424~423 Ma(石玉若等,2014),内蒙古大石寨镇周边分布的变玄武岩的喷发年龄为 $439 \pm 3$  Ma(郭峰等,2009)等。华北板块北缘也存在该时期的岩浆活动(张拴宏等,2010)。

#### 3.4.3 中寒武世晚期—新元古代(498~933 Ma)

##### 碎屑锆石

该年龄段的锆石有7颗。除1颗为寒武纪晚期的年龄外,其他均为新元古代锆石。新元古代岩浆事件在华北克拉通内部记录较少,但在兴蒙造山带中普遍存在,如锡林郭勒杂岩中见有885 Ma、933 Ma和940 Ma的锆石,并可能存在600~800 Ma的块体(施光海等,2003)。克什克腾旗五道石门基性火山岩中存在760~950 Ma的继承性锆石(王炎阳等,2014),这一年龄段的锆石主要来源于东北地区。

#### 3.4.4 大于1000 Ma的年龄(1100~2957 Ma)

该年龄段的锆石共有9颗,其中包括3个1800 Ma左右的年龄(1727 Ma,1728 Ma,1934 Ma)。这些古老的锆石大多具有生长环带和高Th/U值,表明它们具有岩浆成因的特点。这一年龄区间的锆石在东北地区沉积岩中多有发现,如西乌旗地区本巴图组(郭晓丹等,2011)、寿山沟组(郑月娟等,2013c)和哲斯组(宋卫卫等,2012)、林西—扎鲁特旗地区林西组(韩杰等,2011;郑月娟等,2014b;王

丹丹等,2016),松辽盆地北部营城子组火山岩中也捕获了类似年龄的锆石(1293 Ma,1600 Ma,1848 Ma)(章凤奇等,2008)。1800 Ma和2500 Ma的岩浆热事件是华北板块的典型代表,但近年在东北地区也发现了这一年龄段的锆石:锡林郭勒杂岩中有1767~2933 Ma的碎屑锆石(施光海等,2003),李益龙等(2008)报道的双井微地块北缘混合岩中碎屑锆石的年龄介于 $2190 \pm 8 \sim 1804 \pm 25$  Ma之间,并推测双井地区可能存在古元古代的结晶基底。因此,不能排除东北地区作为其沉积物源的可能性。

综上所述,测年样品砂岩中锆石主要年龄区间(219~276 Ma)代表了二叠纪晚期—三叠纪与华北板块和西伯利亚板块碰撞拼合密切相关的岩浆事件,并限定了砂岩沉积的时间不早于晚三叠世,而不是前人认为的晚二叠世。砂岩沉积时期华北板块和西伯利亚板块已经碰撞拼合,因此其物源除来源于东北地区外,也具有华北北缘的信息。

## 4 结论

(1)幸福之路组以红层出现作为划分标志,为一套砂泥岩夹火山岩沉积,下部主要为紫红色、紫灰色、灰绿色砂岩、粉砂岩夹含砾砂岩等,上部以灰绿色、黄绿色、灰紫色粉砂岩、细砂岩为主,夹粉砂质泥岩、(泥)灰岩等,其时代为晚二叠世—早三叠世,原划为幸福之路组一段的砾岩时代晚于原二段、三段,时代不老于中三叠世,不宜划入幸福之路组。

(2)晚二叠世晚期开始,盆地边缘开始出现红层沉积(幸福之路组下部),同时期盆地中心仍为灰黑色、灰绿色砂泥岩沉积(林西组上部),林西组上部与幸福之路组下部为同时异相沉积。

(3)晚二叠世—早三叠世,大兴安岭南段处于整体隆升阶段,上二叠统与下三叠统之间为连续沉积,古亚洲洋应闭合于早三叠世之后。

## 注释

①辽宁省地质调查院.1:5万蛤蟆沟林场、榛子坝外站、乌兰岗站、腰林巴塔防火站幅区域地质调查野外验收简报[R].2013.

## 参考文献

Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$  [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59-79.  
Jian P, Liu D Y, Kröner A, et al. Time scale of an early to mid-Paleozoic

- orogenic cycle of the long-lived Central Asian Orogenic Belt, Inner Mongolia of China: Implications for continental growth [J]. *Lithos*, 2008, 101(3/4): 233-259.
- Liu J F, Li J Y, Chi X G, et al. The tectonic setting of early Permian bimodal volcanism in central Inner Mongolia: continental rift, post-collisional extension, or active continental Margin? [J] *Int. Geol. Rev.*, 2016, 58(6): 737-755.
- Liu Y J, Li W M, Feng Z Q, et al. A review of the Paleozoic tectonics in the eastern part of Central Asian Orogenic Belt [J]. *Gondwana Research*, 2017, 43: 123-148.
- Miao L C, Fan W M, Liu D Y, et al. Geochronology and geochemistry of the Hegenshan ophiolitic complex: Implications for late-stage tectonic evolution of the Inner Mongolia-Daxinganling Orogenic Belt, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(5/6): 348-370.
- Tang K D. Tectonic development of Paleozoic foldbelts at the north margin of the Sino-Korean Craton [J]. *Tectonics*, 1990, 9(2): 249-260.
- Tong Y, Jahn B M, Wang T, et al. Permian alkaline granites in the Erenhot-Hegenshan belt, northern Inner Mongolia, China: Model of generation, time of emplacement and regional tectonic significance [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 97: 320-336.
- Wu F Y, Sun D Y, Ge W C, et al. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41(1): 1-30.
- Xu B, Zhao P, Wang Y Y, et al. The pre-Devonian tectonic framework of Xing an-Mongolia orogenic belt (XMOB) in North China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 97: 183-196.
- 陈树旺, 许光, 杨建国, 等. 松辽盆地及外围油气资源基础地质调查——“十三五”阶段进展与未来工作展望 [J]. *地质与资源*, 2021, 30(3): 221-231
- 陈树旺, 郑月娟, 张健, 等. 大兴安岭南段二叠系—三叠系界线及沉积环境演化 [J]. *中国地质*, 2020, 47(3): 821-838.
- 邓胜徽, 万传彪, 杨建国. 黑龙江阿城晚二叠世安加拉—华夏混生植物群——兼述古亚洲洋的关闭问题 [J]. *中国科学(D 辑)*, 2009, 39(12): 1744-1752.
- 丁秋红, 张立君, 许坤, 等. 松辽盆地西南部下三叠统及其孢粉组合 [J]. *微体古生物学*, 2005, 22(1): 107-114.
- 郭峰, 范蔚茗, 李超文, 等. 早古生代古亚洲洋俯冲作用: 来自内蒙古大石寨玄武岩的年代学与地球化学证据 [J]. *中国科学(D 辑)*, 2009, 39(5): 569-579.
- 郭晓丹, 周建波, 张兴洲, 等. 内蒙古西乌珠穆沁旗本巴图组碎屑锆石 A-ICP-MS U-Pb 年龄及其意义 [J]. *地质通报*, 2011, 30(2/3): 278-290.
- 韩杰, 周建波, 张兴洲, 等. 内蒙古林西地区上二叠统林西组砂岩碎屑锆石的年龄及其大地构造意义 [J]. *地质通报*, 2011, 30(2/3): 258-269.
- 和政军, 刘淑文, 任纪舜. 内蒙古林西地区晚二叠世—早三叠世沉积演化及构造背景 [J]. *中国区域地质*, 1997, 16(4): 403-409.
- 和政军, 刘淑文, 王瑜, 等. 内蒙古巴林右旗三叠纪化石的新发现 [J]. *地层学杂志*, 1998, 22(4): 293-294.
- 黄波, 付冬, 李树才, 等. 内蒙古贺根山蛇绿岩形成时代及构造启示 [J]. *岩石学报*, 2016, 32(1): 158-176.
- 江思宏, 梁清玲, 聂凤军, 等. 内蒙古林西双井子杂岩锆石 LA-MC-ICP-MS 测年初步研究 [J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1108-1123.
- 李益龙, 周汉文, 葛梦春, 等. 内蒙古林西双井子片岩北缘混合岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄 [J]. *矿物岩石*, 2008, 28(2): 10-16.
- 李益龙, 周汉文, 钟增球, 等. 华北与西伯利亚板块的对接过程: 来自西拉木伦缝合带变形花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄证据 [J]. *地球科学*, 2009, 34(6): 931-938.
- 李益龙, 周汉文, 肖文交, 等. 古亚洲构造域和西太平洋构造域在索伦缝合带东段的叠加: 来自内蒙古林西县西拉木伦断裂带内变形闪长岩的岩石学、地球化学和年代学证据 [J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2012, 37(3): 433-450.
- 李锦轶, 高立明, 孙桂华, 等. 内蒙古东部双井子中三叠世同碰撞壳源花岗岩及其对西伯利亚与中朝古板块碰撞时限的约束 [J]. *岩石学报*, 2007, 23(3): 565-582.
- 李朋武, 高锐, 管焯, 等. 华北与西伯利亚地块碰撞时代的古地磁分析 [J]. *地球学报*, 2007, 28(3): 234-252.
- 刘建峰, 迟效国, 张兴洲, 等. 内蒙古西乌旗南部石炭纪石英闪长岩地球化学特征及其构造意义 [J]. *地质学报*, 2009, 83(3): 365-378.
- 刘建峰, 迟效国, 赵芝, 等. 内蒙古巴林右旗建设屯埃达克岩锆石 U-Pb 年龄及成因讨论 [J]. *岩石学报*, 2013, 29(3): 827-839.
- 马永非, 刘永江, 温泉波, 等. 大兴安岭中段晚三叠世哈达陶勒盖组火山岩成因及构造背景 [J]. *地球科学*, 2017, 42(12): 2146-2173.
- 潘世语, 迟效国, 孙巍, 等. 内蒙古苏尼特右旗晚石炭世本巴图组火山岩地球化学特征及构造意义 [J]. *世界地质*, 2012, 31(1): 40-50.
- 曲关生, 浦全生, 韩松生, 等. 黑龙江省岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1-298.
- 施光海, 刘敦一, 张福勤, 等. 中国内蒙古锡林郭勒杂岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及意义 [J]. *科学通报*, 2003, 48(20): 2187-2192.
- 尚庆华. 北方造山带内蒙古中—东部地区二叠纪放射虫的发现及意义 [J]. *科学通报*, 2004, 49(24): 2574-2579.
- 邵济安, 王友, 唐克东. 有关内蒙古西拉木伦带古生代—早中生代构造环境的讨论 [J]. *岩石学报*, 2017, 33(10): 3002-3010.
- 石玉若, 刘翠, 邓晋福. 内蒙古中部花岗岩质类年代学格架及该区构造岩浆演化探讨 [J]. *岩石学报*, 2014, 30(11): 3155-3171.
- 司秋亮, 王恩德, 唐振, 等. 大兴安岭中段哈达陶勒盖组火山岩 U-Pb 定年及成因 [J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(2): 1779-1782.
- 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*, 2002, 48(增刊): 26-30.
- 宋卫卫, 周建波, 郭晓丹, 等. 松辽地块大地构造属性: 古生界碎屑锆石年代学的制约 [J]. *世界地质*, 2012, 31(3): 522-535.
- 孙德有, 吴福元, 张艳斌, 等. 西拉木伦河—长春—延吉板块缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2004, 34(2): 174-180.
- 唐克东. 中朝陆台北侧褶皱带构造发展的几个问题 [J]. *现代地质*, 1989, 3(2): 195-204.
- 王丹丹, 李世臻, 周新桂, 等. 内蒙古东部上二叠统林西组砂岩锆石 SHRIMP U-Pb 年代学及其构造意义 [J]. *地质论评*, 2016, 62(4): 1021-1040.
- 王善辉, 陈岳龙, 李大鹏, 锡林浩特杂岩中斜长角闪岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素研究 [J]. *现代地质*, 2012, 26(5): 1019-1027.
- 王炎阳, 徐备, 程胜东, 等. 内蒙古克什克腾旗五道石门基性火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 2014, 30(7): 2055-2062.

- 王玉净,樊志勇.内蒙古西拉木伦河北部蛇绿岩带中二叠纪放射虫的发现及其地质意义[J].古生物学报,1997,36(1):58-69.
- 杨兵,张雄华,葛梦春,等.内蒙古林西地区晚二叠世—早三叠世孢粉组合及三叠系的发现[J].地球科学——中国地质大学学报,2014,3(7):784-794.
- 杨俊泉,张素荣,刘永顺,等.内蒙古东乌旗莫合尔图石炭纪闪长岩的发现:来自锆石 U-Pb 年代学的证据[J].现代地质,2014,28(3):472-477.
- 杨雅军,张立东,张立君,等.大兴安岭地区三叠系划分与对比[J].地质与资源,2012,21(1):67-73
- 叶棚松,廖群安,葛梦春.内蒙古锡林浩特、林西地区三叠纪过铝质花岗岩的成因及构造意义[J].地质科技情报,2011,30(3):57-64.
- 章凤奇,陈汉林,董传万,等.松辽盆地北部存在前寒武纪基底的证据[J].中国地质,2008,35(3):421-428.
- 张德军,张健,郑月娟,等.大兴安岭南二叠纪—三叠纪之交孢粉化石及古气候环境分析[J].吉林大学学报(地球科学版),2019,49(5):1350-1361.
- 张德军,郑月娟,张海华,等.松辽盆地北部黑富地 1 井晚二叠世孢粉组合特征及意义[J].地质与资源,2022,31(2):131-140.
- 张海华,郑月娟,陈树旺,等.大兴安岭南二叠纪—三叠纪之交孢粉组合特征及意义[J].地质与资源,2022,31(2):131-140.
- 张海华,郑月娟,陈树旺,等.大兴安岭南二叠纪—三叠纪之交孢粉组合特征及意义[J].地质与资源,2022,31(2):131-140.
- 张海华,张健,陈树旺,等.松辽盆地北部三叠纪重要火山原岩浆事件——对晚古生代地层时限的约束[J].地质与资源,2021,30(3):249-256.
- 张健,孙雷,何大祥,等.松辽盆地滨北西部上二叠统林西组烃源岩生物标志化合物的特征及意义[J].地质与资源,2019,28(4):350-35.
- 张拴宏,赵越,刘建民,等.华北地块北缘晚古生代—早中生代岩浆活动期次、特征及构造背景[J].岩石矿物学杂志,2010,29(6):824-842.
- 张晓飞,滕超,周毅,等.内蒙古西乌旗地区晚二叠世—早中三叠世花岗岩年代学和地球化学特征及构造意义[J].地质学报,2019,93(8):1903-1927.
- 张渝金,张超,谭红艳,等.大兴安岭南段陆相二叠—三叠系接触关系——来自锆石 U-Pb 年代学和生物地层学的证据[J].地球科学,2020,91(1):232-248.
- 郑月娟,苏飞,陈树旺,等.内蒙古巴林右旗下三叠统幸福之路组化石新发现[J].地质通报,2013a,32(9):1423-1435.
- 郑月娟,张健,陈树旺,等.内蒙古阿鲁科尔沁旗陶海营子剖面林西组化石新发现[J].地质通报,2013b,23(8):1269-1276.
- 郑月娟,公繁浩,陈树旺,等.内蒙古西乌旗地区下二叠统原寿山沟组碎屑锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J].地质通报,2013c,32(8):1260-1268.
- 郑月娟,黄欣,陈树旺,等.内蒙古巴林右旗下三叠统幸福之路组凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J].地质通报,2014a,33(2/3):370-377.
- 郑月娟,张海华,陈树旺,等.内蒙古阿鲁科尔沁旗林西组砂岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及意义[J].地质通报,2014b,33(9):1293-1307.
- 郑月娟,张海华,张健,等.大兴安岭南二叠纪—三叠纪之交孢粉组合特征及意义[J].地质与资源,2015,89(supp.):58-61.
- 郑月娟,黄欣,孙跃武,等.松辽盆地及外围石炭系—二叠系划分与对比[J].地质与资源,2018,27(1):1-15.
- 赵英利,李伟民,温泉波,等.内蒙东部晚古生代构造格局:来自中、晚二叠—早三叠世砂岩碎屑锆石 U-Pb 年代学的证据[J].岩石学报,2016,32(9):2807-2822.
- 朱俊宾,和政军.内蒙古林西地区上二叠统—中三叠统沉积序列的碎屑锆石记录及对古亚洲洋(东段)闭合时间的制约[J].地质学报,2017,91(1):232-248.
- 朱儒峰,郑广瑞.大兴安岭南二叠纪—三叠纪之交孢粉组合特征及意义[J].中国区域地质,1992,(3):219-225.