

doi:10.3799/dqkx.2014.048

黑龙江省东部早古生代地层的确定： 地质与碎屑锆石 U-Pb 年代学证据

高福红, 杨 扬, 王 枫, 许文良

吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061

摘要: 通过研究黑龙江省东部早古生代地层晨明组和宝泉组碎屑锆石的 U-Pb 定年结果, 讨论了晨明组和宝泉组的所属时代和物源。大多数锆石呈自形一半自形晶, 显示出典型的岩浆生长环带或条痕状吸收, 暗示其岩浆成因, 极少数的锆石具有经变质作用形成的暗色增生边。定年结果表明: 采自晨明组上部长石石英砂岩中碎屑锆石 59 个分析点产生了以下年龄组: 561 Ma、621 Ma、683 Ma、752 Ma、803 Ma、822 Ma、851 Ma、900 Ma、922 Ma、954 Ma、1 781 Ma、1 865 Ma 和 1 933 Ma, 这表明晨明组沉积于 561 Ma 之后。而以不整合接触关系覆盖于晨明组之上的宝泉组底部泥质板岩中碎屑锆石 60 个分析法点产生了 425 Ma、450 Ma、485 Ma、900 Ma 和 1 750 Ma 年龄众数。由上述地质关系和年代学测定结果, 结合晚古生代地层中碎屑锆石的年龄组合, 可以判定位于黑龙江省东部地区晨明组的形成时代介于 561~510 Ma 之间, 这是首次在黑龙江省东部确定的具有确切年代学证据的早古生代地层。上述年龄组碎屑锆石的存在, 表明其物源主要为该区新元古代和古元古代的地质体, 这进一步揭示在早古生代期间, 松嫩—张广才岭地块东缘可能存在前寒武纪残片。

关键词: 黑龙江省东部; 早古生代; 晨明组; 碎屑锆石 U-Pb; 年代学; 地质学。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2014)05-0499-10

收稿日期: 2013-11-19

Determination of the Early Paleozoic Strata in Eastern Heilongjiang Province: Evidence from Field Geology and Detrital Zircon U-Pb Geochronology

Gao Fuhong, Yang Yang, Wang Feng, Xu Wenliang

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: This paper reports LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results from the Chenming and Baoquan formations in the eastern Heilongjiang Province in order to constrain their forming age and provenances. Most of detrital zircons are euhedral-subhedral in shape and display striped absorption or oscillatory zoning in CL images, implying their magmatic origin. The others show dark accretionary rim formed by metamorphism. The dating results on magmatic zircons indicate that 59 detrital zircons from feldspathic quartz sandstones in the upper part of the Chenming Formation yielded age populations of 561 Ma, 621 Ma, 683 Ma, 752 Ma, 803 Ma, 822 Ma, 851 Ma, 900 Ma, 922 Ma, 954 Ma, 1 781 Ma, 1 865 Ma and 1 933 Ma. Based on detrital zircon dating results, we conclude that the sedimentary processes of the Chenming Formation could take place after 561 Ma. In the study area, the Baoquan Formation overlain the Chenming Formation with the unconformity relationship, 60 detrital zircons from argillite slates in the lower part of the Baoquan Formation yielded age populations of 425 Ma, 450 Ma, 485 Ma, 900 Ma and 1 750 Ma. According to the above dating results and the field geological relationship, combined with the age populations of the detrital zircons from the Late Paleozoic strata, we consider that the Chenming Formation in the eastern Heilongjiang Province formed between 561 Ma to 510 Ma. The Early Paleozoic strata are firstly discovered with the exact geochronological evidence in the eastern Heilongjiang Province. The above detrital zircon ages indicate that the provenances of the Chenming Formation could mainly come from the Neoproterozoic and Paleoproterozoic igneous rocks around the study area, implying that the minor Precambrian basement relic might be occurred in the eastern margin of the Songnen-Zhangguangcailing Massif in the Early Paleozoic.

Key words: eastern Heilongjiang Province; Early Paleozoic; Chenming Formation; detrital zircon U-Pb; geochronology; geology.

基金项目: 国家自然科学基金(Nos.41272075,41072038);地调局项目(No.12120113098200)。

作者简介: 高福红(1963—),女,教授,主要从事岩石学研究。E-mail: gaofh@jlu.edu.cn

黑龙江省东部位于兴蒙造山带的东段,该区在古生代期间经历了多陆块的拼合与古亚洲洋的演化两个过程(Sengör *et al.*, 1993; Li, 2006; 李锦轶等, 2009; Li *et al.*, 2009),该区的微陆块包括(自西向东):额尔古纳地块、兴安地块、松嫩—张广才岭地块、佳木斯地块和兴凯地块。近年来,对这些微陆块上存在的前寒武纪地质体的研究取得了新的进展,先前确定的“古元古代”地层已经被解体,除部分为新元古代(Wu *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2013)外,其主体形成于古生代,比如额尔古纳地块上的古元古代兴华渡口群,实际形成于古生代(Miao *et al.*, 2003, 2007; Wu *et al.*, 2011),并存在寒武纪晚期的变质作用(Zhou *et al.*, 2011)。位于兴安地块上的古元古代扎兰屯群和风水沟河群则形成于晚古生代晚期—早中生代(Xu *et al.*, 2012),位于松嫩—张广才岭地块上的新元古代张广才岭群,实际上是由早古生代—早中生代沉积和火山岩构成的一个构造混杂岩(Wang *et al.*, 2012a, 2012b),而位于佳木斯地块上的古元古代麻山群实际上是一套形成于泛非期的花岗质片麻岩(Wilde *et al.*, 2000, 2003)。同样,传统上认为在多个微陆块上分布有古生代地层,这些古生代地层呈零星的残片状分布在原来确定的海西期花岗岩“海洋”中(黑龙江省地质矿产局, 1993)。近年来,对原定为海西期的花岗岩进行了广泛的锆石 U-Pb 年代学研究,结果表明:这些所谓的海西期花岗岩,主体形成于早中生代,部分为早古生代和晚古生代(Wu *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012b; Yu *et al.*, 2013)。随着这些微陆块上前寒武纪地层的解体和对其花岗岩形成时代的重新认识,需要回答的问题是:前人确定的古生代地层是否存在?它们形成的时代如何?尽管部分地层(如晨明组)得到了早寒武世的碎屑锆石 U-Pb 年龄(冯坚, 2012),但由于缺少对其沉积上限的制约,目前还不能得到其沉积的确切时代。因此,对该区是否存在早古生代地层以及它们形成的确切时代仍然不清楚,然而这对揭示该区古生代的构造演化历史具有重要意义。鉴于此,本文对出露于黑龙江省东部的早古生代地层——晨明组进行了岩石组合及锆石 U-Pb 年代学研究,结合野外地质证据,确定了晨明组的形成时代,并讨论了其物源。

1 地质背景及样品描述

研究区位于兴蒙造山带的东段,嫩江—张广才

岭地块东缘,区内发育有新生界、中生界、古生界和元古界,同时大面积分布海西期、燕山期和新元古代花岗岩(黑龙江省地质矿产局, 1993)。研究区在早古生代发育一套碎屑—碳酸盐沉积,岩性主要为砂岩、粉砂岩、泥岩、板岩和灰岩,沉积环境为稳定的滨浅海环境(黑龙江省地质矿产局, 1993)。先前确定的早古生代晨明组和宝泉组主要出露于黑龙江省伊春市晨明镇附近(图 1)。

晨明组岩性为薄层灰岩、砂岩和粉砂岩组成,厚度大于 548 m。本次研究采样点位于晨明镇西山,整个剖面由下至上的岩性分别为:块状白云质沥青灰岩、薄层泥质粉砂岩夹长石石英砂岩、泥质粉砂岩夹薄层泥质灰岩和燧石条带灰岩,顶部被宝泉组泥质板岩以角度不整合覆盖(图 2)(黑龙江省地质矿产局, 1993)。

样品 12HCM1-2 采于晨明镇西北采石场(E: 129°28′28.11″, N: 46°59′1.7″),位于晨明组的中上部。岩石类型为细粒长石石英砂岩,细粒碎屑结构,块状构造,碎屑颗粒主要为石英和长石,长石发生绢云母化,填隙物主要为杂基,杂基发生了重结晶,形成绢云母,受挤压压实作用,有一定的定向排列(图 3a, 图 3b)。

样品 HCM1-2 采于晨明镇北南(E: 129°30′44.5″, N: 47°02′43.8″),位于宝泉组的最底部。岩石类

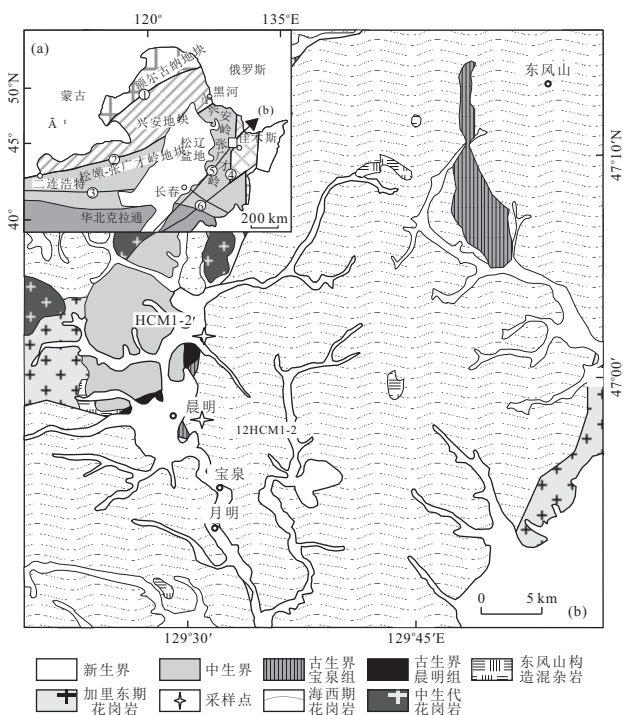


图 1 研究区地质(黑龙江省地矿局, 1993)

Fig.1 Geological sketch map of the study area

界	系	组	岩相	采样点	厚度 (m)	岩性组合	
古 生 界	奥陶系	宝泉组	流纹岩夹石英砂岩		>109	流纹岩夹石英砂岩	
			泥质板岩和石英砂岩	HCM1-2	43	泥质板岩和石英砂岩	
	寒武系	晨明组	薄层状泥质粉砂岩夹长石石英砂岩		>221	>221	薄层状泥质粉砂岩夹长石石英砂岩
			薄层隐晶质灰岩		29	29	薄层隐晶质灰岩
			薄层状粉砂岩夹长石石英砂岩及沥青质粒屑灰岩	12HCM1-2	88	88	薄层状粉砂岩夹长石石英砂岩及沥青质粒屑灰岩
			致密块状灰岩		45	45	致密块状灰岩
			厚层状隐晶质沥青质灰岩夹泥质粉砂岩和粉砂质泥岩		101	101	厚层状隐晶质沥青质灰岩夹泥质粉砂岩和粉砂质泥岩
			白云质沥青灰岩		>20	>20	白云质沥青灰岩

图 2 晨明组和宝泉组岩性柱状图及采样位置

Fig.2 Column diagram of the Chenming and Baoquan formations showing lithology and sampling location

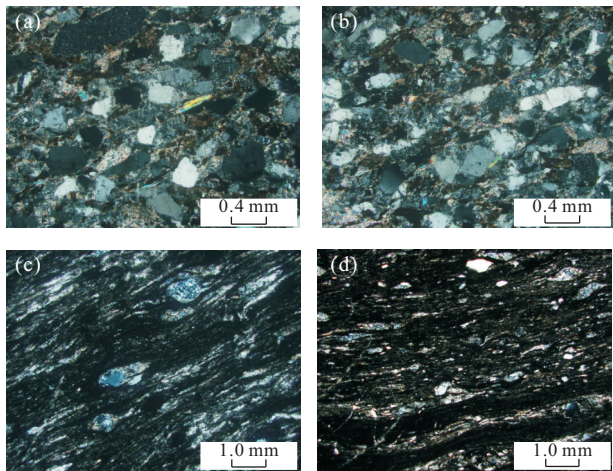


图 3 晨明组和宝泉组样品显微照片(正交偏光)

Fig.3 Photomicrographs of analysed samples from the Chenming and Baoquan formations

型为泥质板岩,露头上板理发育,在显微镜下主要为泥质和隐晶质的长英质成分,隐晶质长英质物质定向排列,细小石英和长石的拉长和定向现象,板状构造清晰(图 3c,图 3d).

2 分析方法

本文锆石 U-Pb 定年的样品均在河北省廊坊市区域地质调查研究所采用常规方法进行粉碎,并用浮选和电磁选两种方法进行分选,再在双目镜下尽量随机挑选出不同晶形,颗粒大小、磨蚀程度以及颜色的锆石颗粒,进而保证实验的全面性和客观性.然后将锆石粘在双面胶上,用无色透明的环氧树脂固定,待环氧树脂充分固化后抛光,使锆石内部暴露,从而对其进行透射光、反射光、阴极发光扫描电镜显微照像,根据锆石阴极发光(CL)图像,尽量选择包裹体较少且吸收程度均匀的区域进行分析测试.

锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点室采用标准测定程序进行,使用的 ICP-MS 为 Agilent 公司生产的 Agilent 7500,激光剥蚀系统为德国 MicroLas 公司的 GeoLas 200M,该系统由德国 Lambda Physik 公司的 Compex 102 Excimer 激光器(工作物质 ArF,波长 193 nm)与 MicroLas 公司的光学系统组成.分析中采用的激光束斑直径为 32 μm,以 ²⁹Si 作为内标,哈佛大学标准锆石 91500 作外标校正,元素含量采用美国国家标样技术研究院的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST610 为外标,详细参考值及仪器操作条件及步骤见参考文献(Yuan *et al.*, 2004).实验获得的同位素比值数据利用 ICPMSDataCal 软件(版本号:7.0)进行处理,具体处理过程见参考文献(Liu *et al.*, 2008, 2010),年龄采用 ISOPLOT 软件计算(版本号:3.0)(Ludwig, 2003).实验获得的数据采用 Andersen 的方法进行同位素比值的校正(Anderson, 2002),以扣除普通 Pb 的影响.所给定的同位素比值和年龄的误差(标准误差)在 1σ 水平(表 1).

3 分析结果

样品 12HM1-2:该样品中的碎屑锆石多数呈短柱状或浑圆状,多数锆石内部结构均匀,个别锆石具有一定的核边结构,边部发育有显示岩浆成因的振荡生长环带(图 4a).59 个测点给出 10 组谐和年龄,自下而上分别为 561 Ma(MSWD=0.011 1, n=9)、621 Ma(MSWD=0.003 2, n=3)、683 Ma(MSWD=0.027 0, n=2)、752 Ma(MSWD=0.006 9, n=4)、803 Ma(MSWD=0.004 8, n=2)、822 Ma(MSWD=

表 1 黑龙江省东部震明组和宝泉组锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据(年龄单位:Ma)
 Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results for the Chenming and Baquan formations in eastern Heilongjiang Province

序号	Th (10^{-6})	U (10^{-6})	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
				比值	1 σ	比值	1 σ	比值	1 σ	年龄	1 σ	年龄	1 σ	
				12HCM1-2 长石石英砂岩(震明组)										
12HCM1-2-01	210	302	0.70	0.070 23	0.003 41	1.327 23	0.061 69	0.136 02	0.003 28	935	57	858	27	19
12HCM1-2-02	105	197	0.53	0.069 08	0.005 08	1.554 88	0.115 98	0.159 66	0.004 01	901	112	952	46	22
12HCM1-2-03	456	512	0.89	0.069 66	0.002 49	1.494 74	0.049 03	0.153 73	0.002 91	918	37	928	20	16
12HCM1-2-04	108	186	0.58	0.067 72	0.004 06	1.337 78	0.076 34	0.141 87	0.002 69	860	87	862	33	15
12HCM1-2-05	73	200	0.37	0.118 43	0.004 29	5.919 71	0.208 21	0.355 84	0.005 21	1 933	42	1 964	31	25
12HCM1-2-06	282	505	0.56	0.109 23	0.004 29	5.133 43	0.194 52	0.334 53	0.005 15	1 787	47	1 842	32	25
12HCM1-2-07	191	330	0.58	0.071 41	0.003 18	1.587 06	0.068 58	0.159 59	0.002 55	969	62	965	27	14
12HCM1-2-08	368	591	0.62	0.113 00	0.004 83	4.992 54	0.199 51	0.315 77	0.006 32	1 848	44	1 818	34	31
12HCM1-2-09	420	1 119	0.38	0.114 67	0.003 15	5.550 22	0.166 00	0.344 53	0.005 20	1 875	32	1 908	26	25
12HCM1-2-10	193	241	0.80	0.068 65	0.004 20	1.426 29	0.084 49	0.149 68	0.002 61	888	94	900	35	15
12HCM1-2-11	181	319	0.57	0.067 23	0.005 94	1.302 66	0.104 36	0.141 16	0.003 77	845	122	847	46	21
12HCM1-2-12	208	265	0.78	0.062 85	0.006 56	1.073 32	0.111 37	0.124 00	0.003 43	703	176	740	55	20
12HCM1-2-13	116	390	0.30	0.067 08	0.003 18	0.940 10	0.043 83	0.101 16	0.001 43	840	74	673	23	8
12HCM1-2-14	525	679	0.77	0.070 49	0.002 33	1.562 45	0.051 09	0.159 58	0.001 84	943	48	955	20	10
12HCM1-2-15	121	268	0.45	0.070 01	0.004 84	1.493 11	0.106 30	0.153 52	0.004 02	929	103	928	43	22
12HCM1-2-16	594	590	1.01	0.067 61	0.002 87	1.324 37	0.056 14	0.141 25	0.001 96	857	65	856	25	11
12HCM1-2-17	296	717	0.41	0.060 53	0.003 14	0.759 82	0.037 27	0.090 97	0.001 48	622	78	574	22	9
12HCM1-2-18	65	552	0.12	0.069 08	0.003 82	1.333 44	0.069 36	0.139 99	0.002 61	901	117	860	30	15
12HCM1-2-19	150	461	0.33	0.118 57	0.005 78	5.551 68	0.263 86	0.336 87	0.005 65	1 935	61	1 909	41	27
12HCM1-2-20	410	351	1.17	0.063 68	0.003 48	1.194 97	0.066 18	0.135 80	0.002 07	731	92	798	31	12
12HCM1-2-21	83	930	0.09	0.067 58	0.003 36	1.328 52	0.065 53	0.141 62	0.003 24	856	65	858	29	18
12HCM1-2-22	1 030	1 448	0.71	0.062 38	0.002 76	0.789 44	0.032 36	0.091 03	0.001 21	687	65	591	18	7
12HCM1-2-23	457	912	0.50	0.108 65	0.003 05	5.008 01	0.141 34	0.329 79	0.003 50	1 777	36	1 821	24	17
12HCM1-2-24	451	1 045	0.43	0.108 97	0.003 30	5.125 60	0.151 65	0.336 54	0.003 75	1 782	38	1 840	25	18
12HCM1-2-25	240	196	1.22	0.066 48	0.003 98	1.210 11	0.069 25	0.132 88	0.002 18	821	92	805	32	12
12HCM1-2-26	221	637	0.35	0.058 64	0.002 97	0.742 22	0.038 16	0.090 99	0.001 62	554	81	564	22	10
12HCM1-2-27	513	1 034	0.50	0.061 32	0.002 29	0.780 03	0.031 41	0.090 92	0.001 33	651	61	586	18	8
12HCM1-2-28	268	300	0.89	0.063 31	0.005 52	0.962 12	0.080 74	0.111 44	0.003 23	719	129	684	42	19
12HCM1-2-29	380	556	0.68	0.070 99	0.002 81	1.338 56	0.054 16	0.135 84	0.002 06	957	58	863	24	12
12HCM1-2-30	648	713	0.91	0.065 24	0.002 30	1.232 05	0.043 27	0.136 05	0.001 51	782	55	815	20	9
12HCM1-2-31	171	1 479	0.12	0.114 00	0.003 88	4.586 81	0.150 53	0.292 17	0.008 00	1 864	27	1 747	27	40
12HCM1-2-32	225	554	0.41	0.118 48	0.003 51	5.556 67	0.163 53	0.336 52	0.003 36	1 933	38	1 909	25	16
12HCM1-2-33	413	926	0.45	0.153 72	0.003 97	1.286 93	0.267 33	0.478 95	0.005 11	2 388	30	2 461	24	22
12HCM1-2-34	328	532	0.62	0.070 41	0.003 67	1.340 57	0.072 20	0.135 74	0.002 03	940	86	863	31	12
12HCM1-2-35	289	659	0.44	0.064 42	0.002 84	1.271 41	0.054 62	0.140 91	0.002 37	756	62	833	24	13
12HCM1-2-36	232	717	0.32	0.060 59	0.002 70	0.773 42	0.034 01	0.091 00	0.001 27	625	71	582	19	7
12HCM1-2-37	203	479	0.42	0.063 95	0.002 60	1.267 16	0.049 99	0.141 22	0.001 95	740	60	831	22	11
12HCM1-2-38	231	276	0.84	0.064 94	0.003 47	1.231 83	0.065 91	0.135 65	0.001 89	772	89	815	30	11

续表 1

序号	Th (10^{-6})	U (10^{-6})	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$			年龄	1σ
				比值	1σ	年龄	比值	1σ	年龄	比值	1σ	年龄	比值	1σ	年龄		
12HCM1-2-39	523	643	0.81	0.060 93	0.002 92	1.165 14	0.057 85	0.136 55	0.002 17	637	79	0.057 85	0.136 55	0.002 17	637	79	
12HCM1-2-40	217	267	0.81	0.061 71	0.004 16	0.846 54	0.049 88	0.101 23	0.001 80	664	96	0.061 71	0.101 23	0.001 80	664	96	
12HCM1-2-41	391	597	0.65	0.054 18	0.002 62	0.928 01	0.042 95	0.123 87	0.001 76	379	78	0.054 18	0.123 87	0.001 76	379	78	
12HCM1-2-42	124	192	0.65	0.061 07	0.006 08	0.921 99	0.081 98	0.112 05	0.002 60	642	152	0.061 07	0.112 05	0.002 60	642	152	
12HCM1-2-43	142	780	0.18	0.099 31	0.003 52	4.494 37	0.155 35	0.326 91	0.005 67	1 611	39	0.099 31	0.326 91	0.005 67	1 611	39	
12HCM1-2-44	721	675	1.07	0.058 45	0.002 88	1.109 23	0.051 80	0.136 67	0.003 02	547	64	0.058 45	0.136 67	0.003 02	547	64	
12HCM1-2-45	199	365	0.55	0.052 74	0.005 01	0.903 03	0.082 43	0.123 53	0.002 49	318	170	0.052 74	0.123 53	0.002 49	318	170	
12HCM1-2-46	212	676	0.31	0.064 99	0.003 77	1.276 34	0.068 08	0.141 18	0.002 54	774	82	0.064 99	0.141 18	0.002 54	774	82	
12HCM1-2-47	312	797	0.39	0.071 35	0.003 53	1.404 42	0.065 28	0.141 36	0.002 88	967	62	0.071 35	0.141 36	0.002 88	967	62	
12HCM1-2-48	583	634	0.92	0.069 47	0.006 68	0.882 87	0.081 37	0.091 22	0.002 48	913	146	0.069 47	0.091 22	0.002 48	913	146	
12HCM1-2-49	211	434	0.49	0.073 72	0.003 24	1.530 49	0.065 77	0.150 07	0.002 34	1 034	61	0.073 72	0.150 07	0.002 34	1 034	61	
12HCM1-2-50	221	262	0.84	0.074 22	0.003 75	1.544 51	0.077 78	0.149 83	0.002 23	1 047	77	0.074 22	0.149 83	0.002 23	1 047	77	
12HCM1-2-51	429	609	0.71	0.066 33	0.003 65	0.839 23	0.047 75	0.090 95	0.001 83	817	85	0.066 33	0.090 95	0.001 83	817	85	
12HCM1-2-52	1 045	1 086	0.96	0.069 81	0.002 32	1.324 38	0.045 21	0.135 97	0.001 75	923	49	0.069 81	0.135 97	0.001 75	923	49	
12HCM1-2-53	573	886	0.65	0.063 74	0.002 96	0.805 56	0.037 06	0.091 04	0.001 43	733	71	0.063 74	0.091 04	0.001 43	733	71	
12HCM1-2-54	934	962	0.97	0.060 62	0.002 65	0.849 62	0.036 97	0.101 13	0.001 52	626	68	0.060 62	0.101 13	0.001 52	626	68	
12HCM1-2-55	230	271	0.85	0.066 99	0.004 36	1.299 21	0.080 86	0.141 20	0.002 69	837	98	0.066 99	0.141 20	0.002 69	837	98	
12HCM1-2-56	438	505	0.87	0.057 93	0.003 35	0.728 04	0.043 24	0.090 57	0.001 61	527	99	0.057 93	0.090 57	0.001 61	527	99	
12HCM1-2-57	126	1 443	0.09	0.066 48	0.002 28	1.301 04	0.042 95	0.141 22	0.002 07	821	44	0.066 48	0.141 22	0.002 07	821	44	
12HCM1-2-58	910	994	0.92	0.065 61	0.002 13	1.209 35	0.038 42	0.132 61	0.001 45	794	48	0.065 61	0.132 61	0.001 45	794	48	
12HCM1-2-59	325	504	0.65	0.065 11	0.004 17	1.105 80	0.067 32	0.123 72	0.002 47	778	94	0.065 11	0.123 72	0.002 47	778	94	
HCM1-2 泥质板岩(宝泉组)																	
HCM1-2-01	82	169	0.48	0.077 00	0.001 91	1.580 03	0.038 88	0.149 11	0.001 35	1 121	35	0.077 00	0.149 11	0.001 35	1 121	35	
HCM1-2-02	209	724	0.29	0.059 69	0.001 42	0.599 63	0.013 76	0.072 99	0.000 66	592	34	0.059 69	0.072 99	0.000 66	592	34	
HCM1-2-03	196	562	0.35	0.059 85	0.002 20	0.566 70	0.023 95	0.068 18	0.000 91	598	68	0.059 85	0.068 18	0.000 91	598	68	
HCM1-2-04	275	738	0.37	0.058 53	0.001 42	0.552 70	0.013 13	0.068 44	0.000 51	549	39	0.058 53	0.068 44	0.000 51	549	39	
HCM1-2-05	224	631	0.35	0.056 81	0.001 72	0.534 37	0.016 86	0.068 20	0.001 02	484	44	0.056 81	0.068 20	0.001 02	484	44	
HCM1-2-06	300	760	0.40	0.060 40	0.003 45	0.595 60	0.033 27	0.071 52	0.000 84	618	127	0.060 40	0.071 52	0.000 84	618	127	
HCM1-2-07	356	859	0.41	0.059 32	0.001 29	0.593 68	0.013 63	0.072 33	0.000 49	579	38	0.059 32	0.072 33	0.000 49	579	38	
HCM1-2-08	293	725	0.40	0.055 15	0.001 73	0.520 05	0.016 86	0.068 25	0.000 89	418	49	0.055 15	0.068 25	0.000 89	418	49	
HCM1-2-09	293	774	0.38	0.058 16	0.001 34	0.583 13	0.014 17	0.072 59	0.000 81	536	34	0.058 16	0.072 59	0.000 81	536	34	
HCM1-2-10	92	353	0.26	0.057 60	0.002 32	0.570 71	0.022 01	0.071 86	0.000 83	515	91	0.057 60	0.071 86	0.000 83	515	91	
HCM1-2-11	333	963	0.35	0.070 82	0.001 06	1.558 73	0.025 41	0.159 26	0.001 39	952	19	0.070 82	0.159 26	0.001 39	952	19	
HCM1-2-12	306	793	0.39	0.057 47	0.001 48	0.575 37	0.014 86	0.072 51	0.000 70	509	40	0.057 47	0.072 51	0.000 70	509	40	
HCM1-2-13	287	725	0.40	0.059 22	0.001 14	0.594 81	0.011 64	0.072 79	0.000 75	575	25	0.059 22	0.072 79	0.000 75	575	25	
HCM1-2-14	436	1 132	0.39	0.057 29	0.000 91	0.571 58	0.009 22	0.072 27	0.000 70	503	19	0.057 29	0.072 27	0.000 70	503	19	
HCM1-2-15	394	1 279	0.31	0.061 75	0.001 11	0.582 40	0.011 30	0.068 24	0.000 76	665	23	0.061 75	0.068 24	0.000 76	665	23	
HCM1-2-16	416	895	0.46	0.056 52	0.001 40	0.533 57	0.013 42	0.068 32	0.000 72	473	37	0.056 52	0.068 32	0.000 72	473	37	
HCM1-2-17	261	687	0.38	0.055 28	0.001 05	0.552 30	0.010 37	0.072 37	0.000 52	424	29	0.055 28	0.072 37	0.000 52	424	29	
HCM1-2-18	286	741	0.39	0.058 44	0.001 15	0.585 79	0.012 01	0.072 48	0.000 52	546	32	0.058 44	0.072 48	0.000 52	546	32	
HCM1-2-19	535	966	0.55	0.058 36	0.001 35	0.632 07	0.015 50	0.078 28	0.000 75	543	37	0.058 36	0.078 28	0.000 75	543	37	

续表 1

序号	Th (10^{-6})	U (10^{-6})	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$			$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
				比值	1σ	年龄	比值	1σ	年龄	比值	1σ	年龄	比值	1σ	年龄	比值	1σ	年龄
HCM1-2-20	556	940	0.59	0.054 69	0.001 59	0.547 17	0.014 51	0.072 59	0.000 80	40	0.72 59	10	443	10	443	5		
HCM1-2-21	284	308	0.92	0.063 61	0.002 05	0.595 23	0.018 20	0.068 18	0.000 75	46	0.68 18	12	474	12	474	5		
HCM1-2-22	49	105	0.47	0.106 57	0.002 83	4.553 05	0.119 01	0.309 73	0.003 69	1 742	31	1 741	22	1 741	18	1 739		
HCM1-2-23	221	751	0.29	0.058 02	0.001 40	0.626 95	0.014 93	0.078 27	0.000 59	531	39	494	9	494	4	486		
HCM1-2-24	298	791	0.38	0.058 22	0.001 52	0.583 14	0.016 64	0.072 33	0.000 90	538	41	466	11	466	5	450		
HCM1-2-25	635	906	0.70	0.056 81	0.001 46	0.569 11	0.014 20	0.072 57	0.000 80	484	36	457	9	457	5	452		
HCM1-2-26	355	680	0.52	0.059 14	0.001 39	0.591 50	0.013 85	0.072 34	0.000 51	572	39	472	9	472	3	450		
HCM1-2-27	139	157	0.88	0.065 67	0.003 17	0.652 31	0.028 65	0.072 55	0.000 97	796	70	510	18	510	6	451		
HCM1-2-28	170	552	0.31	0.061 06	0.001 38	0.611 28	0.013 98	0.072 43	0.000 58	641	35	484	9	484	4	451		
HCM1-2-29	265	676	0.39	0.058 53	0.001 75	0.588 52	0.018 69	0.072 61	0.000 94	550	47	470	12	470	6	452		
HCM1-2-30	243	633	0.38	0.056 80	0.001 44	0.568 89	0.014 62	0.072 51	0.000 74	484	39	457	9	457	4	451		
HCM1-2-B01	336	822	0.41	0.057 93	0.001 92	0.550 47	0.017 99	0.068 22	0.000 71	527	53	445	12	445	4	425		
HCM1-2-B02	328	939	0.35	0.056 48	0.001 92	0.570 06	0.019 55	0.072 38	0.000 86	471	55	458	13	458	5	450		
HCM1-2-B03	405	1 223	0.33	0.059 02	0.003 27	0.558 01	0.028 91	0.068 41	0.001 02	568	87	450	19	450	6	427		
HCM1-2-B04	341	974	0.35	0.055 82	0.001 98	0.559 82	0.019 61	0.072 34	0.001 04	445	52	451	13	451	6	450		
HCM1-2-B05	447	1 365	0.33	0.055 76	0.001 61	0.562 41	0.016 80	0.072 33	0.000 86	443	45	453	11	453	5	450		
HCM1-2-B06	393	1 142	0.34	0.056 12	0.001 95	0.532 69	0.018 21	0.068 21	0.000 73	457	57	434	12	434	4	425		
HCM1-2-B07	517	1 417	0.36	0.059 34	0.002 35	0.601 31	0.026 44	0.072 44	0.001 19	580	67	478	17	478	7	451		
HCM1-2-B08	453	1 545	0.29	0.056 41	0.001 84	0.564 91	0.017 21	0.072 31	0.000 90	469	45	455	11	455	5	450		
HCM1-2-B09	222	713	0.31	0.054 02	0.001 82	0.584 48	0.019 08	0.078 18	0.000 95	372	51	467	12	467	6	485		
HCM1-2-B10	436	1 354	0.32	0.053 10	0.001 85	0.536 80	0.019 36	0.072 58	0.000 99	333	57	436	13	436	6	452		
HCM1-2-B11	524	1 385	0.38	0.054 55	0.001 61	0.548 88	0.015 91	0.072 40	0.000 96	394	41	444	10	444	6	451		
HCM1-2-B12	613	981	0.62	0.066 12	0.002 43	0.718 31	0.025 95	0.078 22	0.000 72	590	144	501	25	501	5	481		
HCM1-2-B13	417	1 167	0.36	0.053 66	0.001 98	0.541 02	0.019 58	0.072 53	0.000 83	357	58	439	13	439	6	451		
HCM1-2-B14	350	834	0.42	0.058 93	0.002 00	0.583 16	0.020 44	0.072 45	0.000 87	564	54	473	13	473	5	451		
HCM1-2-B15	374	878	0.43	0.052 97	0.002 04	0.532 96	0.020 21	0.072 55	0.001 04	328	60	434	13	434	6	451		
HCM1-2-B16	370	1 048	0.35	0.053 56	0.001 99	0.506 74	0.018 47	0.068 18	0.001 09	352	53	416	12	416	7	425		
HCM1-2-B17	446	1 125	0.40	0.060 36	0.001 97	0.571 66	0.016 76	0.068 07	0.000 91	617	40	459	11	459	5	425		
HCM1-2-B18	813	2 233	0.36	0.054 89	0.001 26	0.553 02	0.012 90	0.072 39	0.000 74	408	34	447	8	447	4	451		
HCM1-2-B19	452	1 218	0.37	0.058 44	0.002 00	0.552 13	0.018 16	0.068 21	0.001 18	546	42	446	12	446	7	425		
HCM1-2-B20	615	1 167	0.53	0.076 56	0.002 83	0.723 45	0.026 88	0.067 90	0.000 88	902	123	502	22	502	5	419		
HCM1-2-B21	648	1 896	0.34	0.055 47	0.001 28	0.527 71	0.012 28	0.068 28	0.000 65	431	35	430	8	430	4	426		
HCM1-2-B22	386	1 053	0.37	0.057 58	0.001 48	0.578 92	0.014 60	0.072 35	0.000 70	514	38	464	9	464	4	450		
HCM1-2-B23	532	1 215	0.44	0.056 12	0.002 23	0.565 88	0.023 65	0.072 43	0.001 35	457	60	455	15	455	8	451		
HCM1-2-B24	472	1 501	0.31	0.056 66	0.001 70	0.572 88	0.017 24	0.072 54	0.000 89	478	45	460	11	460	5	451		
HCM1-2-B25	545	2 128	0.26	0.054 84	0.001 49	0.554 80	0.016 20	0.072 52	0.001 03	406	40	448	11	448	6	451		
HCM1-2-B26	402	1 038	0.39	0.064 44	0.002 45	0.613 07	0.022 45	0.068 44	0.000 78	541	121	442	19	442	5	423		
HCM1-2-B27	368	966	0.38	0.057 08	0.001 83	0.593 27	0.019 08	0.074 53	0.000 85	495	51	473	12	473	5	463		
HCM1-2-B28	499	1 301	0.38	0.056 71	0.001 47	0.571 90	0.014 94	0.072 32	0.000 71	480	40	459	10	459	4	450		
HCM1-2-B29	416	1 027	0.41	0.057 00	0.001 91	0.541 33	0.017 70	0.068 20	0.000 78	492	52	439	12	439	5	425		
HCM1-2-B30	325	768	0.42	0.064 09	0.002 36	0.649 26	0.027 06	0.072 29	0.001 30	745	58	508	17	508	8	450		

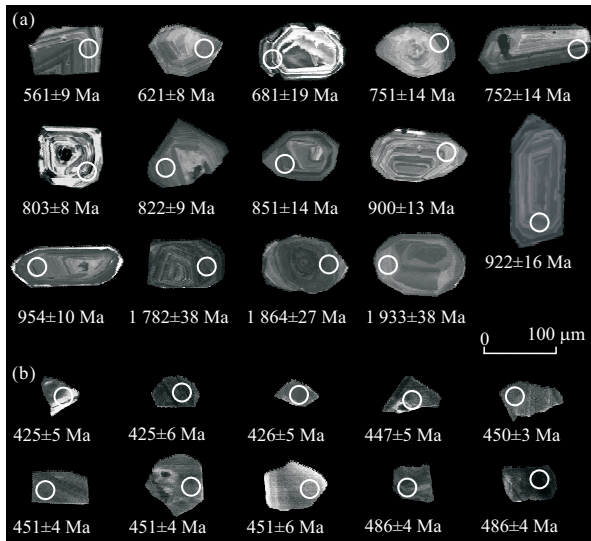


图4 晨明组(a)与宝泉组(b)锆石中的阴极发光图像
Fig.4 CL images of zircons from the Chengming (a)
and Baoquan (b) formations

0.021 0, $n=9$)、851 Ma (MSWD=0.028 0, $n=11$)、900 Ma (MSWD=0.005 1, $n=3$)、922 Ma (MSWD=0.001 4, $n=2$)和 954 Ma (MSWD=0.000 9, $n=3$)。另有 9 个测点给出 3 组谐和年龄为 1 781 Ma (MSWD=0.015 0, $n=3$)、1 865 Ma (MSWD=0.120 0, $n=3$)和 1 933 Ma (MSWD=0.000 44, $n=3$) (图 5)。

样品 HCM1-2: 该样品中的锆石多呈不规则形状, 发育明显的破碎边缘, 锆石内部可显示岩浆成因环带和条带结构被改造的不清晰, 并见有暗色增生边 (图 4b)。碎屑锆石的 U-Pb 定年结果为: 425 Ma (MSWD=0.150, $n=17$)、451 Ma (MSWD=0.101, $n=35$)、485 Ma (MSWD=0.250, $n=4$)、900 Ma 和 1 750 Ma。

4 讨论

4.1 黑龙江东部早古生代地层的发现

黑龙江省东部晨明组源于 50 年代末小兴安岭地质队首次提出的晨明岩系, 依据其中产出的生物化石 *Chlasellopsis*, *Protosphaeridium* sp., 将其时代确定为早寒武世。1963 年, 中国科学院黑龙江流域考察队姜春潮、孙枢等在伊春市晨明镇西山创建了晨明组, 并将其分为上下两段, 下部为沥青质白云岩、灰岩夹页岩和细砂岩, 上部为砂岩夹页岩, 层位于震旦系上统。1993 年《黑龙江省区域地质志》将

上部归入老道庙沟组, 保留晨明组的碳酸盐岩主体并沿用至今, 层位位于寒武系下统 (黑龙江省地质矿产局, 1993)。顶部被宝泉组板岩、石英砂岩和流纹岩覆盖。

本次研究的样品采集于伊春市晨明镇西山晨明组标准剖面上部的长石石英砂岩 (12HCM2-1), 样品中的碎屑锆石产生了 561 Ma、621 Ma、683 Ma、752 Ma、803 Ma、822 Ma、851 Ma、900 Ma、922 Ma、954 Ma、1 781 Ma、1 865 Ma 和 1 933 Ma 年龄众数 (图 5)。上述定年结果表明, 其中最年轻的锆石加权平均年龄为 561 Ma, 代表了其原岩的沉积下限。

野外地质调查表明, 宝泉组不整合覆盖在晨明组之上, 而宝泉组底部的泥质板岩 (HCM2-1) 中的碎屑锆石产生了 425 Ma、451 Ma、485 Ma、900 Ma 和 1 750 Ma 5 组年龄众数; 其中碎屑锆石的最小年龄为 425 Ma。由此可以认为晨明组沉积上限为 425 Ma。综合上述定年结果和地质关系, 可以判定位于黑龙江省东部的晨明组形成时代介于 561~425 Ma 之间, 属于古生代早期。然而, 从近年来发表的黑龙江省东部晚古生代地层中碎屑锆石的定年结果来看, 这些地层中普遍存在 510 Ma、485 Ma 和 450 Ma 年龄的碎屑锆石, 鉴于目前晨明组中缺乏这三组年龄的锆石, 我们认为晨明组的形成时代可能介于 561~510 Ma 之间。

4.2 黑龙江东部早古生代地层的沉积物源

锆石以高硬度及较高的封闭温度为特点得以在经历各种地质过程后仍然保持稳定的 U-Pb 同位素体系 (Bruguier and Lancelet, 1997)。因此, 根据碎屑锆石的年龄组成和区域对比, 可以用来判断地层的沉积物源。

本次研究中, 选自早古生代样品中的碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究显示其碎屑年龄组成从古生代到古元古代, 时代跨度非常大, 暗示了早古生代沉积物源区岩石组成的复杂性和多样性。

晨明组上部长石石英砂岩中碎屑锆石 U-Pb 年龄范围在 559~2 388 Ma 之间, 主要集中在 559~1 047 Ma、1 611~1 935 Ma 和 2 388 Ma 3 个年龄区间 (图 6)。其中约占 82% 的锆石介于 569~1 047 Ma 之间, 并呈现多个峰值年龄, 分别为 561 Ma、621 Ma、752 Ma 和 803~855 Ma。

这一系列谐和年龄的存在, 结合其锆石在阴极发光图像中所具有的核边结构以及边部发育有显示岩浆成因的振荡生长环带等特征, 暗示该组年龄与展布于松嫩—张广才岭地块东缘的南北向早古生代

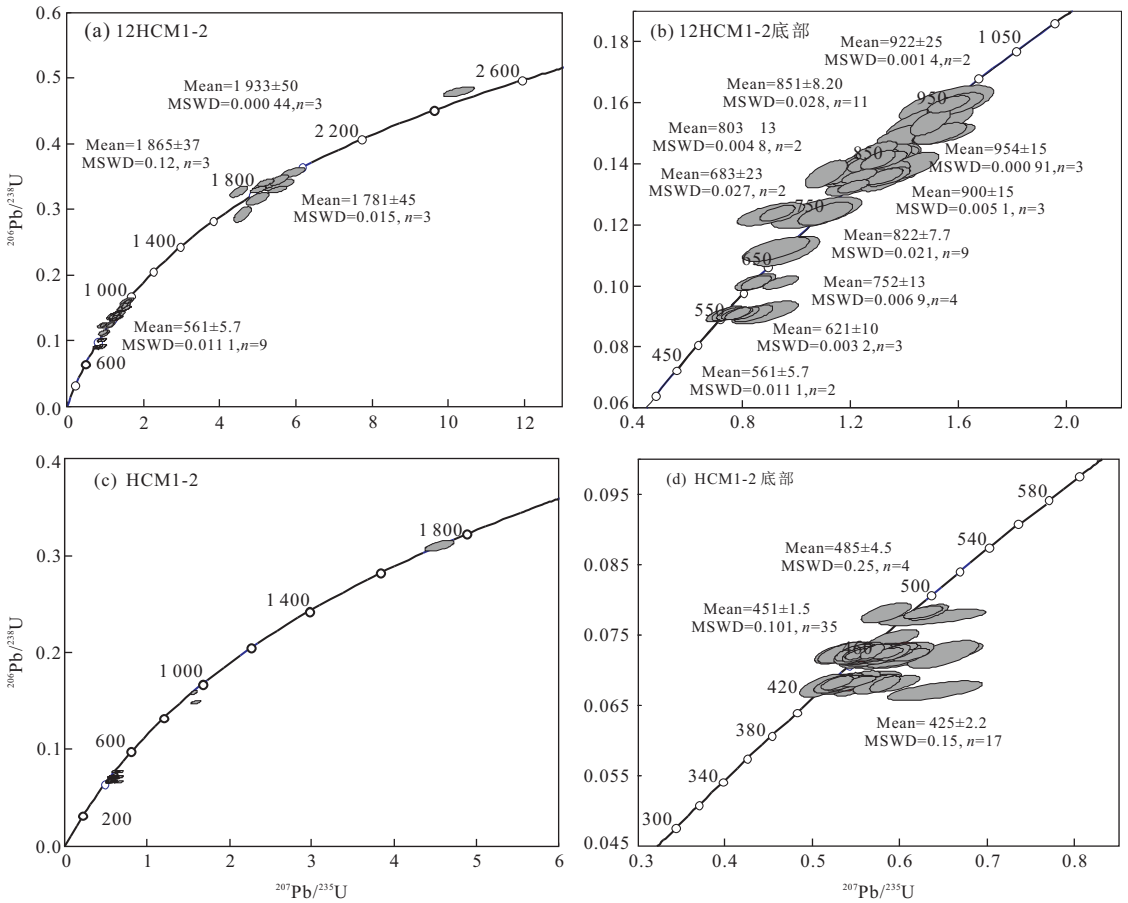


图 5 晨明组和宝泉组锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谱和

Fig.5 U-Pb concordia diagrams summarizing the LA-ICP-MS zircon data for the Chenming and Baoquan formations

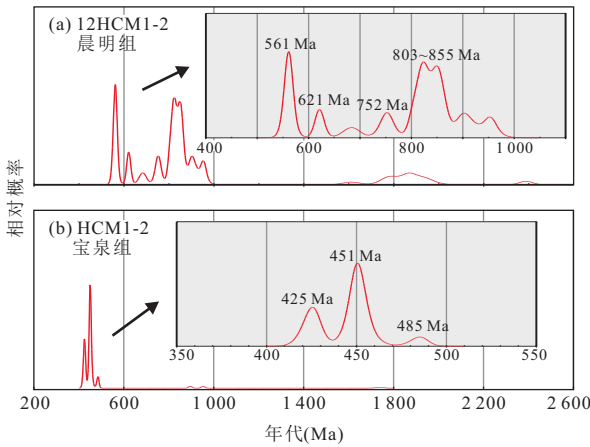


图 6 碎屑锆石 U-Pb 年龄频率

Fig.6 Relative probability of detrital zircons

花岗岩带的形成时代相一致 (Wu *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012a). 具有这些年龄的碎屑锆石在东北地区也被广泛报道 (吕志成等, 2001, 2002; Meng *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2011; Tang *et al.*, 2013). 最近, 通过对展布于松嫩—张广才岭地块东缘的前人

原定前寒武纪东风山群和塔东群进行碎屑锆石 LA-ICP-MS 年代学研究, 表明在该地块东缘存在一系列沉积于 821~752 Ma、752~560 Ma 以及 750~516 Ma 的新元古代地层 (Wang *et al.*, 2013). 最近, Tang *et al.* (2013) 详细报道了额尔古纳地块新元古代岩浆事件的地质年代学和地球化学, 这与本次研究中 0.7~0.9 Ga 的明显峰期年龄 (图 6) 以及近年来在松嫩地块及其相邻地块 (如额尔古纳地块、兴安地块) 古生代地层中发现有大量的具有典型岩浆成因的新元古代碎屑锆石的事实相吻合 (Meng *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012b, 2013), 暗示该地区存在新元古代岩浆事件, 这些火成岩构成了晨明组沉积物源的主体.

此外, 约占 18% 的锆石介于 1 611~1 935 Ma 之间暗示晨明组沉积期间地表或地表浅部可能存在古老的基底残片. 而相似的碎屑锆石年龄组成近年来在区域古生代—早中生代地层中均有发现 (Zhou *et al.*, 2009; Meng *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2012b, 2013). 由年龄分别为 (1 782 ± 38) Ma、(1 864 ± 27) Ma 和

($1\ 933\pm 38$) Ma 的 3 颗锆石形态来看, 锆石呈浑圆状, 锆石颗粒外缘线切割锆石内部生长纹, 说明锆石经历了长距离的搬运。从锆石定年数据中可见, 宝泉组也有 2 粒年龄为 1 211 Ma 和 1 724 Ma 的锆石, 由此进一步说明古元古代的古老地体残片可能为晨明组形成提供了一定的物质来源, 同时也是宝泉组沉积物源之一。

5 结论

(1) 黑龙江省东部松嫩—张广才岭地区晨明组的形成时代分别 561~510 Ma, 属于古生代早期。这是首次在黑龙江省东部确定的具有确切年代学证据的早古生代地层。(2) 晨明组物源主要来源于松嫩—张广才岭地块东缘的早古生代花岗质岩以及周边的新元古代地质体, 少量物源可能来自地表或地表浅部的古元古代地质体, 说明黑龙江省东部松嫩—张广才岭地块古生代期间可能存在古元古代残片。

References

- Anderson, T., 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses that do not Report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192: 59—79. doi: 10.1016/S0009—2541(02)00195—X
- Bruguier, O., Lancelet, J. R., 1997. U-Pb Dating on Single Detrital Zircon Grains from the Triassic Songpan-Ganze Flysch (Central China): Provenance and Tectonic Correlations. *Earth and Planetary Science Letters*, 152: 217—231. doi: 10.1016/S0012—821X(97)00138—6
- Feng, J., 2012. Tectonic Properties of Yichun-Yanshou Tectonic Zone during Early Paleozoic (Dissertation). Jilin University, Changchun (in Chinese with English abstract).
- Han, G. Q., Liu, Y. J., Neubauer, F., et al., 2011. Origin of Terranes in the Eastern Central Asian Orogenic Belt, NE China: U-Pb Ages of Detrital Zircons from Ordovician-Devonian Sandstones, North Da Xing'an Mts. *Tectonophysics*, 511 (3—4): 109—124. doi: 10.1016/j.tecto.2011.09.002
- Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 1993. Regional Geology of Heilongjiang Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, J. Y., 2006. Peimian Geodynamic Setting of Northeast China and Adjacent Regions: Closure of the Paleo-Asian Ocean and Subduction of the Paleo-Pacific Plate. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26: 207—224. doi: 10.1016/j.jseas.2005.09.001
- Li, J. Y., Zhang, J., Yang, T. N., et al., 2009. Crustal Tectonic Division and Evolution of the Southern Part of the North Asian Orogenic Region and Its Adjacent Areas. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(4): 584—605 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. M., Akira, T., Liu, Y. J., et al., 2009. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ages of the High-P/T Metamorphic Rocks of the Heilongjiang Complex in the Jiamusi Massif, Northeastern China. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 104: 110—116. doi: 10.2465/jmps.081022g
- Liu, Y. S., Gao, S., Hu, Z. C., et al., 2010. 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 of Mantle Xenoliths. *Journal of Petrology*, 51: 537—571. doi: 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: 34—43. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.08.004
- Lü, Z. C., Duan, G. Z., Hao, L. B., et al., 2001. Magmatism and Its Tectonic Significance in the Manzhouli-E'ergona Region. *J. Mineral. Petrol.*, 21(1): 77—85 (in Chinese with English abstract).
- Lü, Z. C., Duan, G. Z., Hao, L. B., et al., 2002. Geochemistry and Tectonic Setting of Metamorphic Detrital Rock of Jiageda Group. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 32(2): 111—115 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 2003. ISOPLOT 3: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Centre Special Publication, Berkeley, 74.
- Miao, L. C., Liu, D. Y., Zhang, F. Q., et al., 2007. Zircon SHRIMP U-Pb Ages of the “Xinghuadukou Group” in Hanjiayuanzi and Xinlin Areas and the “Zhalantun Group” in Inner Mongolia, Da Hinggan Mountains. *Chinese Science Bulletin*, 52: 1112—1134. doi: 10.1007/s11434—007—0131—2
- Miao, L. C., Qiu, Y. M., McNaughton, N. J., et al., 2003. SHRIMP U-Pb Zircon Ages of Granitoids in the Wulashan Gold Deposit, Inner Mongolia, China: Timing of Mineralization and Tectonic Implications. *International Geology Review*, 45: 548—562. doi: 10.2747/0020—6814.45.6.548
- Meng, E., Xu, W. L., Pei, F. P., et al., 2010. Detrital-Zircon Geochronology of Late Paleozoic Sedimentary Rocks in

- Eastern Heilongjiang Province, NE China; Implications for the Tectonic Evolution of the Eastern Segment of the Central Asian Orogenic Belt. *Tectonophysics*, 53: 1231–1245. doi: 10.1016/j.tecto.2009.11.015
- Sengör, A.M.C., Natal'in, B.A., Burtman, V.S., 1993. Evolution of the Altaid Tectonic Collage and Paleozoic Crustal Growth in Eurasia. *Nature*, 364: 299–307. doi: 10.1038/364299a0
- Tang, J., Xu, W.L., Wang, F., et al., 2013. Geochronology and Geochemistry of Neoproterozoic magmatism in the Erguna Massif, NE China: Petrogenesis and Implications for the Breakup of the Rodinia Supercontinent. *Precambrian Research*, 224: 597–611. doi: 10.1016/j.precamres.2012.10.019
- Wang, F., Xu, W.L., Meng, E., et al., 2012a. Early Paleozoic Amalgamation of the Songnen-Zhangguangcai Range and Jiamusi Massifs in the Eastern Segment of the Central Asian Orogenic Belt: Geochronological and Geochemical Evidence from Granitoids and Rhyolites. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 234–248. doi: 10.1016/j.jseaes.2011.09.022
- Wang, F., Xu, W.L., Gao, F.H., et al., 2012b. Tectonic History of the Zhangguangcailing Group in Eastern Heilongjiang Province, NE China: Constraints from U-Pb Geochronology of Detrital and Magmatic Zircons. *Tectonophysics*, 566–567: 105–122. doi: 10.1016/j.tecto.2012.07.018
- Wang, F., Xu, W.L., Gao, F.H., et al., 2013. Precambrian Terrane within the Songnen-Zhangguangcai Range Massif, NE China: Evidence from U-Pb Ages of Detrital Zircons from the Dongfengshan and Tadong Groups. *Gondwana Research*, 6: 1–12. doi: org/10.1016/j.gr.2013.06.017
- Wilde, S.A., Wu, F.Y., Zhang, X.Z., 2003. Late Pan-African Magmatism in Northeast China: U-Pb SHRIMP Zircon Evidence for Igneous Ages from the Mashan Complex. *Precambrian Res.*, 122: 311–327. doi: 10.1016/S0301-9268(02)00217-6
- Wilde, S.A., Zhang, X.Z., Wu, F.Y., 2000. Extension of a Newly-Identified 500 Ma Metamorphic Terrain in Northeast China: Further U-Pb SHRIMP Dating of Mashan Complex, Heilongjiang Province, China. *Tectonophysics*, 328: 115–130. doi: 10.1016/S0040-1951(00)00180-3
- Wu, F.Y., Sun, D.Y., Ge, W.C., et al., 2011. Geochronology of the Phanerozoic Granitoids in Northeastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 1–30. doi: 10.1016/j.jseaes.2010.11.014
- Xu, M.J., Xu, W.L., Wang, F., et al., 2012. Age, Association and Provenance of the “Neoproterozoic” Fengshuigouhe Group in the Northwestern Lesser Xing’an Range, NE China: Constraints from Zircon U-Pb Geochronology. *Journal of Earth Science*, 23: 786–801. doi: 10.1007/s12583-012-0291-0
- Yu, J.J., Wang, F., Xu, W.L., et al., 2013. Late Permian Tectonic Evolution at the Southeastern Margin of the Songnen-Zhangguangcai Range Massif, NE China: Constraints from Geochronology and Geochemistry of Granitoids. *Gondwana Research*, 24: 635–647. doi: 10.1016/j.gr.2012.11.015
- Yuan, H.L., Gao, S., Liu, X.M., et al., 2004. Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Geostandard Newsletter*, 28: 353–370. doi: 10.1111/j.1751-908X.2004.tb00755.x
- Zhou, J.B., Simon, A., Wilde, S.A., et al., 2011. A > 1 300 km Late Pan-African Metamorphic Belt in NE China: New Evidence from the Xing’an Block and Its Tectonic Implications. *Tectonophysics*, 509: 280–292. doi: 10.1016/j.tecto.2011.06.018
- Zhou, J.B., Wilde, S.A., Zhang, X.Z., et al., 2009. The Onset of Pacific Margin Accretion in NE China: Evidence from the Heilongjiang High-Pressure Metamorphic Belt. *Tectonophysics*, 478: 230–246. doi: 10.1016/j.tecto.2009.08.009

附中文参考文献

- 冯坚, 2012. 伊春—延寿构造带早中生代构造属性研究(硕士学位论文). 长春: 吉林大学.
- 黑龙江省地质矿产局, 1993. 黑龙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 李锦钛, 张进, 杨天南, 等, 2009. 北亚造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化. 吉林大学学报(地球科学版), 39(4): 584–605.
- 吕志成, 段国正, 郝立波, 等, 2001. 满洲里—额尔古纳地区岩浆作用及其大地构造意义. 矿物岩石, 21(1): 77–85.
- 吕志成, 段国正, 郝立波, 等, 2002. 佳疙瘩组变碎屑岩地球化学特征及古构造环境. 吉林大学学报(地球科学版), 32(2): 111–115.