

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2018.03.006

引用格式:周琦忠,张琪,宗德林,等.徐州贾汪地区暗色岩锆石 U-Pb 年龄及金刚石成因探讨[J].华东地质,2018,39(3):202-211.

徐州贾汪地区暗色岩锆石 U-Pb 年龄及 金刚石成因探讨

周琦忠,张琪,宗德林,黄友波,严锦文,冯学知,王国强

(江苏省地质矿产局第五地质大队,徐州 221004)

摘要:对徐州贾汪地区暗色岩进行锆石 U-Pb 年龄测定,结合该区地质构造背景和华北板块金伯利岩岩浆活动期次特征,探讨暗色岩中的金刚石成因及成矿前景。研究表明:该区暗色岩分布时代跨度较大,从新元古代至中生代甚至新生代,几乎每个重要的岩浆活动期次均有暗色岩。北许阳辉绿岩中的金刚石应来源于幔源岩浆结晶,但不具备金刚石找矿前景;西村金伯利岩具有一定的金刚石找矿前景,但其含矿性比山东金伯利岩差;从物质成分上看,燕山晚期—喜山期玄武岩具有一定的金刚石找矿前景。结合该区深部地质条件,认为该区具有基性岩上升过程中携带金刚石矿层的条件及新生代金伯利岩产出的可能性,但较高的大地热流值对金刚石保存不利。

关键词:暗色岩;锆石 U-Pb 年龄;金刚石成因;金伯利岩贾汪地区;徐州

中图分类号:P619.24⁺1;P588.12⁺5

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2018)03-202-10

近些年来,江苏省地质矿产局第五地质大队对徐州地区暗色岩开展了金刚石普查工作,选获了若干颗原生金刚石,在北许阳辉绿岩和大李庄玄武岩中选获了 2 颗微粒金刚石。一般认为,金刚石母岩主要为金伯利岩和钾镁煌斑岩。随着金刚石找矿成果的突破,在世界其他地区基性-碱性超基性岩中也找到了金刚石,证明金伯利岩和钾镁煌斑岩并不是唯一的含金刚石矿母岩,为今后在我国其他类型岩石中,尤其在东部碱性基性岩中寻找金刚石矿产提供了依据^[1-2]。前人对徐州地区暗色岩所做的研究工作,主要集中在岩石特征、地球化学特征和同位素年龄等方面,并取得了一定成果^[3-6],但对目标岩体缺乏系统分析,对暗色岩与金刚石的成因关系未作具体探讨。本文通过测定徐州贾汪地区暗色岩锆石 U-Pb 年龄,结合华北板块金伯利岩岩浆活动期次,探讨暗色岩中的金刚石成因及金刚石成矿前景。

1 区域地质背景

贾汪地区位于徐州市北部,构造位置处于华北

板块东南缘,东距郯庐断裂带约 45 km。研究区具有泰山岩群变质结晶基底,为华北板块特有的以太古宙中基性喷出岩为主的中深变质岩系,古元古代—新生代地层发育,且新元古代地层保存完好。

区内主要有 NE 向、NW 向、NNE 向和近 EW 向 4 组断裂,断裂多期活动性明显。总体而言,近 EW 向断裂形成时间最早,为基底断裂,晚期有继承性活动;NE 向和 NW 向断裂形成时间次之,为盖层断裂;NNE 向断裂形成时间最晚,切割较深。这些断裂既控制暗色岩时空分布,还对沉积盖层的发育、岩相变化和展布方向产生重要影响(图 1)。

区域岩浆活动强烈,受燕山运动影响,该区经历了长期复杂的构造岩浆演化史,岩浆活动主要有 3 个阶段:新元古代以辉绿岩为主,中生代(燕山期)以中酸性侵入岩及喷出岩为主,新生代(喜山期)以玄武岩或橄榄玄武岩、煌斑岩为主。

2 暗色岩特征

贾汪地区暗色岩主要为辉绿岩,其次为玄武岩

* 收稿日期:2017-10-20 修订日期:2017-12-19 责任编辑:谭桂丽

基金项目:江苏省地质勘查基金“江苏省徐州市塔山地区原生矿地质普查(编号:苏财建[2014]278号)”项目资助。

第一作者简介:周琦忠,1990 年生,男,助理工程师,主要从事地质矿产勘查工作。

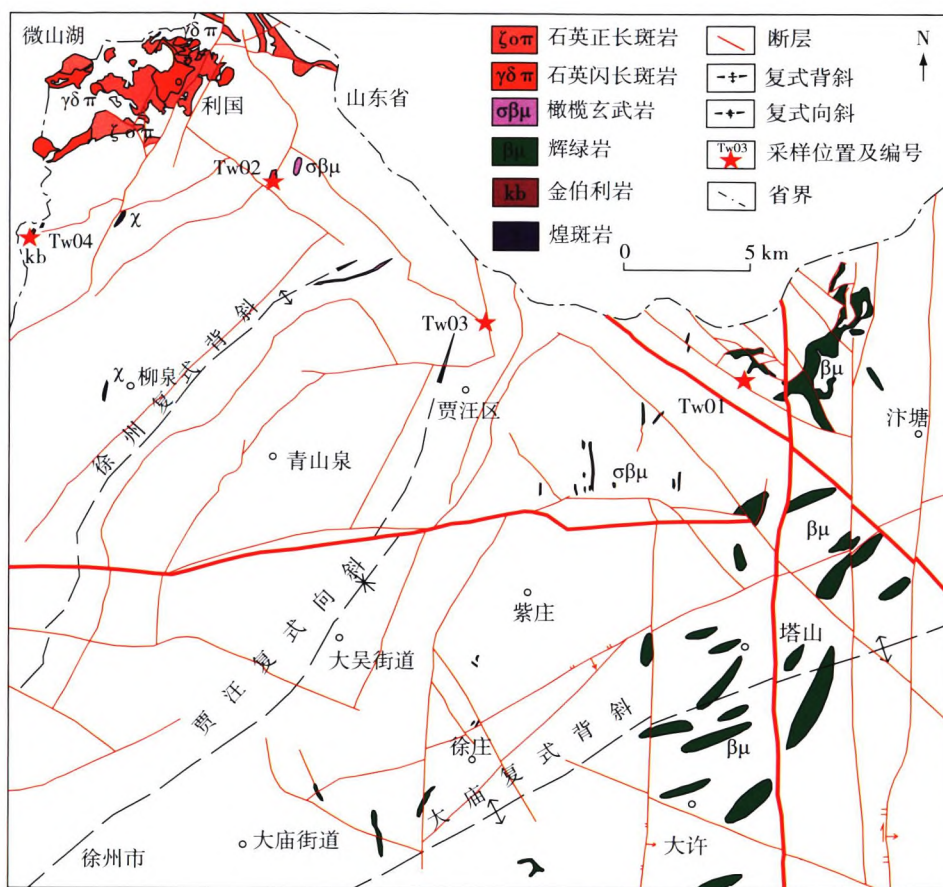


图 1 徐州贾汪地区岩浆岩分布图

Fig. 1 Map showing the distribution of magmatic rocks in the Jiawang area, Xuzhou

岩或橄榄玄武玢岩,苦橄玢岩、煌斑岩脉和金伯利岩零星分布。

辉绿岩主要分布在贾汪地区东部汴塘—塔山一带,呈层状或似层状侵入震旦纪倪园组或九顶山组,多呈 NE 向展布,规模不大。辉绿岩与围岩接触带附近常出现烘烤或热液蚀变现象,主要为大理岩化、蛇纹石化、透闪石-石棉化和黄铁矿化。

玄武玢岩主要分布在贾汪地区中东部大洞山、阚山、芦山等地区,侵入地层为震旦系、寒武系和奥陶系,均呈脉状,规模较小,多受 NNE 向断裂控制,脉体多斜切地层,接触界线清楚,热液蚀变较弱。岩脉中发现少量角砾,成分为辉石岩、基底变质岩和围岩角砾。

苦橄玢岩和煌斑岩分布于贾汪地区西部、利国中酸性杂岩体南部外围的西村—北村一带,侵入地层为奥陶系,呈脉状或岩管状,倾角较陡,严格受 NNE 向断裂控制,接触界线清晰,围岩蚀变不明显。

金伯利岩仅分布在贾汪地区西部西村凤凰山

一带,侵入地层为奥陶系,呈岩管状,倾角较陡,受 NNE 向断裂控制。岩体中后期细脉较发育,包括方解石脉和细晶岩脉,角砾含量较高,成分复杂,中酸性岩浆岩、暗色超基性岩、基底变质岩角砾和围岩角砾均有出现。

3 样品特征和分析测试

样品分别采自北许阳辉绿岩(样品 1)、二成山玄武玢岩(样品 2)、大李庄玄武岩(样品 3)和西村金伯利岩(样品 4)。北许阳辉绿岩呈灰绿色,辉绿结构,块状构造,主要矿物为斜长石和辉石,辉石充填于斜长石晶粒间,次要矿物为钾长石和角闪石;二成山玄武玢岩呈灰黑色,斑状结构,气孔-杏仁构造,斑晶为辉石巨斑,基质由斜长石和暗色矿物组成,暗色矿物多已皂石化或碳酸盐化,气孔多被碳酸盐矿物填充形成杏仁体;大李庄玄武岩呈灰黑色,斑状结构-基质间粒结构,块状构造,斑晶多为暗色矿

物,已皂石化、碳酸盐化或褐铁矿化,呈假象分布,基质主要由斜长石和暗色矿物组成;西村金伯利岩呈褐灰色,斑状结构,块状构造,斑晶由橄榄石假象、金云母和单斜辉石组成,基质为单斜辉石、金云母和方解石,可见少量辉石岩、花岗岩、变质岩和金伯利岩角砾。在北许阳辉绿岩和大李庄玄武岩中分别选获了1颗碎粒级微粒金刚石,均呈黄绿色,未见熔蚀壳,前者晶型较好,后者为金刚石碎片,晶型未见。

锆石挑选工作在河北省廊坊区域地质调查研究所实验室完成。将锆石单矿物粘在双面胶上,置于环氧树脂制靶,将靶上锆石磨至一半,使锆石内部暴露,利用透射光、反射光照像和阴极发光(CL)图像研究锆石的晶体形貌和内部结构,选择同位素分析最佳点(无裂纹、无包体);制靶,透、反射光和阴极发光照相在南京宏创地质勘查技术服务有限公司完成。利用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱法(LA-ICP-MS),在南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室完成锆石年龄测试。激光剥蚀束斑直径为32 μm ,剥蚀时间为60 s,背景测量时间为40 s,脉冲能量为10~20 J/cm²。用锆石标样GJ-1进行同位素分馏校正,GJ-1 锆石标样测试

值为601±1.2 Ma,每轮测试开始和结束前,分别分析标样2次,分析数据利用软件GLITTER进行计算,获得同位素比值、U-Pb 年龄和误差。

4 测试结果

利用 U-Pb 年龄测试结果讨论问题时,考虑到锆石年龄的准确性,对于年轻锆石(<1 000 Ma)一般采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄,对于古老锆石(>1 000 Ma),因存在一定程度的铅丢失,一般采用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄。一般超基性-基性岩类由于SiO₂ 不饱和,很难结晶出锆石。测试中发现,同一样品的锆石种类较多,大多数为捕获锆石,其对应的 U-Pb 年龄值也存在差异。因此,分析锆石 U-Pb 年龄时,应结合锆石成因和来源确定其年龄值代表的岩石类型。分析发现,除北许阳辉绿岩(样品1)外,其余样品可代表该暗色岩的结晶锆石较少。通过与前人获得的测年结果进行对比,发现除大李庄玄武岩(样品3)外,二成山玄武玢岩(样品2)和西村金伯利岩(样品4)的锆石 U-Pb 年龄值与前人获得的锆石 U-Pb 年龄值一致(详见下文),具有一定的实际参考价值。徐州贾汪地区暗色岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄结果见表1。

表1 徐州贾汪地区暗色岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测试结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic age data for dark rocks in the Jiawang area, Xuzhou

样点 编号	含量/10 ⁻⁶			同位素比值								年龄/Ma			
	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ
1-01	679	518	1.31	0.065 30	0.001 49	1.097 32	0.027 03	0.121 94	0.002 05	0.031 70	0.002 72	784	49	742	12
1-02	556	197	2.82	0.065 72	0.001 16	1.058 78	0.020 37	0.116 84	0.001 68	0.032 68	0.002 07	797	38	712	10
1-03	197	259	0.76	0.064 91	0.001 85	1.006 09	0.029 73	0.112 47	0.002 03	0.030 76	0.002 77	771	61	687	12
1-04	123	135	0.92	0.064 89	0.002 02	1.057 78	0.032 98	0.118 24	0.002 02	0.035 07	0.003 52	771	67	720	12
1-05	628	133	4.71	0.065 80	0.001 66	1.062 59	0.027 34	0.117 12	0.001 82	0.029 31	0.002 51	800	54	714	11
1-06	215	137	1.57	0.065 25	0.001 16	1.042 24	0.020 45	0.115 85	0.001 69	0.033 20	0.002 14	782	38	707	10
1-07	243	205	1.19	0.066 10	0.001 06	1.064 12	0.019 38	0.116 77	0.001 68	0.033 68	0.002 24	810	34	712	10
1-08	231	140	1.65	0.065 72	0.002 51	1.044 20	0.039 68	0.115 30	0.002 29	0.030 99	0.003 83	797	82	703	13
1-09	197	108	1.82	0.063 06	0.001 73	1.002 81	0.027 82	0.115 36	0.001 81	0.033 48	0.003 27	710	60	704	10
1-10	94	140	0.67	0.066 07	0.008 06	1.137 91	0.130 94	0.125 29	0.005 49	0.042 40	0.018 51	809	269	761	31
2-01	26	20	1.28	0.108 10	0.002 11	4.606 44	0.095 91	0.309 09	0.004 74	0.087 10	0.004 62	1 768	36	1 736	23
2-02	658	538	1.22	0.050 84	0.001 59	0.084 18	0.002 66	0.012 01	0.000 19	0.003 79	0.000 23	234	74	77	1
2-03	26	16	1.56	0.107 26	0.002 28	4.515 75	0.100 78	0.305 39	0.004 81	0.084 70	0.004 65	1 753	40	1 718	24
2-04	71	534	0.13	0.162 59	0.003 23	10.056 60	0.222 90	0.448 82	0.007 43	0.111 84	0.010 99	2 483	34	2 390	33
2-05	31	34	0.91	0.108 21	0.001 80	4.700 56	0.086 73	0.315 10	0.004 66	0.082 62	0.004 72	1 769	31	1 766	23
2-06	28	23	1.24	0.105 14	0.002 68	4.368 45	0.114 12	0.301 39	0.005 18	0.078 21	0.005 49	1 717	48	1 698	26

续表

样点 编号	含量/ 10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	1σ	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	1σ	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	1σ	$^{208}\text{Pb}/$ ^{232}Th	1σ	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	1σ	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	1σ
2-07	57	30	1.92	0.104 52	0.003 00	4.394 09	0.127 14	0.304 96	0.005 57	0.082 09	0.007 02	1 706	54	1 716	28
2-08	62	536	0.12	0.117 68	0.002 10	5.405 86	0.111 14	0.333 27	0.005 37	0.103 85	0.008 95	1 921	33	1 854	26
2-09	37	26	1.40	0.107 35	0.003 02	4.625 63	0.132 60	0.312 55	0.005 78	0.078 32	0.006 55	1 755	53	1 753	28
2-10	619	404	1.53	0.052 74	0.004 83	0.086 31	0.007 67	0.011 88	0.000 36	0.003 18	0.000 48	318	209	76	2
2-11	24	21	1.12	0.107 87	0.003 13	4.497 47	0.131 66	0.302 43	0.005 57	0.079 83	0.006 94	1 764	54	1 703	28
2-12	56	34	1.67	0.109 21	0.002 63	4.756 52	0.117 83	0.315 84	0.005 22	0.087 37	0.008 04	1 786	45	1 769	26
2-13	56	275	0.20	0.166 97	0.003 06	10.796 2	0.215 77	0.468 9	0.006 87	0.130 19	0.013 17	2 527	31	2 479	30
2-14	6	583	0.01	0.167 81	0.002 98	10.717 8	0.214 72	0.463 24	0.007 02	0.116 67	0.012 04	2 536	30	2 454	31
2-15	56	59	0.95	0.107 86	0.003 15	4.573 5	0.136 33	0.307 57	0.005 65	0.072 39	0.008 36	1 764	55	1 729	28
3-01	83	200	0.41	0.164 84	0.002 03	10.335 5	0.157 57	0.454 77	0.006 38	0.125 24	0.006 72	2 506	21	2 416	28
3-02	284	263	1.08	0.059 84	0.001 86	0.285 47	0.008 88	0.034 60	0.000 56	0.011 11	0.000 90	598	69	219	3
3-03	77	346	0.22	0.100 74	0.001 30	3.449 03	0.054 46	0.248 31	0.003 52	0.071 89	0.004 05	1 638	25	1 430	18
3-04	143	242	0.59	0.165 84	0.002 21	10.355 7	0.167 77	0.452 93	0.006 53	0.119 22	0.007 24	2 516	23	2 408	29
3-05	411	334	1.23	0.057 79	0.000 91	0.615 47	0.011 06	0.077 25	0.001 11	0.022 46	0.001 30	522	35	480	7
3-06	729	1 071	0.68	0.179 01	0.011 05	2.859 9	0.166 06	0.115 87	0.002 43	0.031 94	0.000 78	2 644	105	707	14
3-07	78	66	1.18	0.099 39	0.001 56	3.683 21	0.065 43	0.268 77	0.003 91	0.073 90	0.004 54	1 613	30	1 535	20
3-08	169	68	2.49	0.164 68	0.002 59	9.981 73	0.179 58	0.439 62	0.006 64	0.113 73	0.007 84	2 504	27	2 349	30
3-09	89	69	1.29	0.076 07	0.001 43	1.804 43	0.036 68	0.172 04	0.002 56	0.048 06	0.003 15	1 097	38	1 023	14
3-10	205	192	1.07	0.055 55	0.001 91	0.346 58	0.011 79	0.045 25	0.000 75	0.013 41	0.001 45	434	78	285	5
3-11	259	425	0.61	0.079 97	0.002 22	1.911 49	0.055 66	0.173 40	0.003 15	0.037 33	0.004 37	1 196	56	1 031	17
3-12	94	269	0.35	0.163 94	0.002 28	10.180 10	0.167 61	0.450 38	0.006 42	0.114 69	0.008 22	2 497	24	2 397	29
3-13	494	482	1.02	0.054 22	0.000 99	0.299 38	0.006 00	0.040 05	0.000 59	0.011 05	0.000 81	380	42	253	4
3-14	106	208	0.51	0.169 73	0.002 47	10.057 90	0.169 89	0.429 80	0.006 16	0.112 45	0.008 61	2 555	25	2 305	28
3-15	750	628	1.19	0.164 92	0.003 33	10.102 30	0.224 05	0.444 30	0.007 14	0.105 03	0.011 17	2 507	35	2 370	32
4-01	119	230	0.52	0.164 00	0.007 50	11.173 20	0.655 50	0.495 10	0.013 10	0.149 40	0.007 20	2 498	79	2 593	56
4-02	273	222	1.23	0.164 90	0.007 50	10.977 50	0.647 80	0.483 80	0.013 10	0.131 20	0.006 50	2 507	79	2 544	57
4-03	178	178	1.00	0.153 10	0.011 00	8.554 70	0.814 90	0.405 30	0.013 30	0.113 40	0.003 30	2 381	128	2 193	61
4-04	202	228	0.89	0.160 90	0.007 30	10.620 80	0.622 80	0.479 70	0.012 60	0.134 30	0.006 50	2 465	76	2 526	55
4-05	198	221	0.89	0.163 60	0.007 50	10.553 40	0.625 50	0.468 90	0.012 60	0.130 40	0.006 40	2 493	77	2 479	55
4-06	87	137	0.63	0.165 10	0.007 60	12.095 20	0.716 00	0.532 30	0.014 10	0.148 50	0.007 30	2 509	72	2 751	59
4-07	346	237	1.46	0.162 50	0.007 50	11.018 80	0.653 60	0.492 60	0.013 20	0.136 80	0.006 70	2 482	72	2 582	57
4-08	1 728	1 692	1.02	0.054 70	0.002 80	0.151 50	0.009 50	0.020 20	0.000 50	0.006 90	0.000 30	399	111	129	3
4-09	168	144	1.16	0.162 60	0.007 50	10.829 20	0.642 50	0.483 90	0.012 70	0.132 00	0.006 50	2 483	76	2 544	55
4-10	106	479	0.22	0.112 30	0.005 20	5.295 30	0.313 50	0.342 70	0.009 00	0.099 30	0.004 90	1 837	79	1 900	43
4-11	67	79	0.85	0.161 40	0.007 70	11.806 90	0.713 40	0.531 70	0.014 20	0.149 10	0.007 40	2 470	76	2 749	60
4-12	224	259	0.86	0.104 90	0.004 90	4.815 00	0.286 50	0.333 50	0.008 70	0.091 40	0.004 50	1 713	81	1 855	42
4-13	71	85	0.83	0.162 40	0.007 60	11.125 70	0.668 20	0.497 70	0.013 20	0.139 10	0.006 90	2 481	79	2 604	57
4-14	99	127	0.78	0.162 40	0.007 60	11.245 40	0.675 70	0.503 20	0.013 50	0.137 00	0.006 80	2 481	79	2 627	58
4-15	132	162	0.81	0.158 20	0.007 40	11.093 60	0.664 70	0.509 50	0.013 50	0.140 40	0.006 90	2 436	79	2 655	58
4-16	80	89	0.90	0.163 20	0.007 80	11.711 20	0.708 70	0.521 30	0.013 90	0.147 50	0.007 40	2 489	80	2 705	59
4-17	273	262	1.04	0.046 50	0.007 40	0.143 80	0.025 40	0.022 40	0.000 70	0.007 20	0.000 50	22	257	143	4
4-18	49	44	1.10	0.166 00	0.008 10	12.951 10	0.800 40	0.566 80	0.015 50	0.155 40	0.007 80	2 518	78	2 895	64
4-19	67	79	0.86	0.160 40	0.007 60	12.311 10	0.746 10	0.557 50	0.014 80	0.147 20	0.007 40	2 460	76	2 856	61

续表

样点 编号	含量/ 10^{-6}			同位素比值						年龄/Ma					
	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
4-20	188	171	1.10	0.158 80	0.007 40	10.883 60	0.654 00	0.497 90	0.013 10	0.133 20	0.006 60	2 443	81	2 605	57
4-21	142	146	0.97	0.160 00	0.007 60	10.846 40	0.655 00	0.492 50	0.013 00	0.132 0	0.006 6	2 456	82	2 581	56
4-22	1 008	538	1.87	0.050 70	0.003 10	0.143 80	0.010 30	0.020 60	0.000 60	0.006 30	0.000 30	228	147	131	4
4-23	137	264	0.52	0.163 20	0.007 60	10.776 30	0.646 50	0.479 80	0.012 50	0.130 10	0.006 50	2 489	84	2 527	54

4.1 北许阳辉绿岩(样品 1)

样品中的锆石呈半自形-自形柱状,部分破碎呈不规则粒状,自形程度较高,且晶棱显著,无增生

边,部分具有密集的震荡环带,部分具面状分带,内部较均匀,Th/U 值均 >0.67 ,为典型的基性岩锆石^[7-8](图 2)。

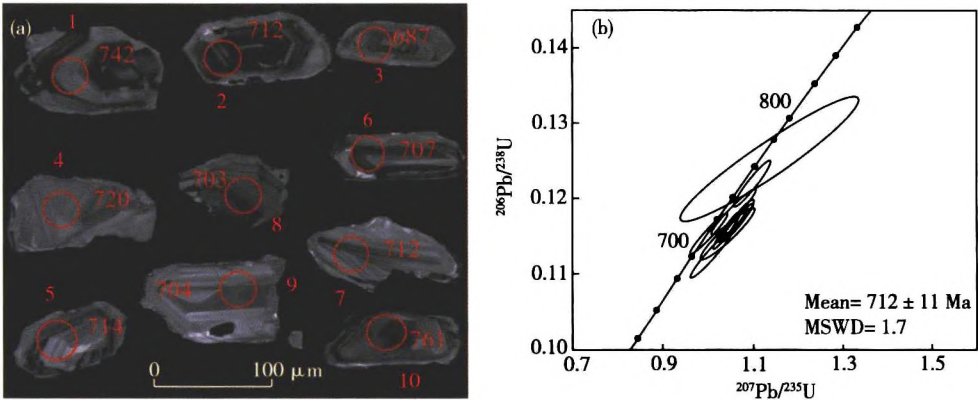


图 2 北许阳辉绿岩锆石 CL 图像(a)和锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 2 Cathodoluminescence images (a) and U-Pb age concordia diagram (b) of zircons from diabase in northern Xuyang

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄数据总体略分散, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 687~761 Ma, U-Pb 谐和年龄为 712 ± 11 Ma,属于新元古代晋宁运动的产物。前人对徐州地区辉绿岩年龄进行了测定,1977 年华东地质研究所获得徐州老寨山岩体和马鞍山岩体角闪石 K-Ar 年龄分别为 706 Ma 和 612 Ma^[3],江苏省地质矿产局第五地质大队获得徐州地区燕子埠岩体 K-Ar 年龄为 585.9 Ma^[3],辉绿岩 K-Ar 年龄基本为 550~750 Ma,表明徐州地区辉绿岩属于新元古代中晚期岩浆活动的产物。

4.2 二成山玄武玢岩(样品 2)

样品锆石 U-Pb 年龄复杂且分散, U-Pb 年龄值总体集中在 3 个区域:(1)2 483~2 536 Ma 年龄段,锆石 U-Pb 谐和年龄为 $2\,518\pm36$ Ma(MSWD=0.75),属新太古代晚期。锆石呈半自形,具密集震荡环带,核-幔-边结构明显,具一定的圆度,应为变

质基底捕虏的锆石;(2)1 706~1 921 Ma 年龄段,锆石 U-Pb 谐和年龄为 $1\,757\pm28$ Ma(MSWD=0.29),锆石均呈次圆-圆状,晶棱圆滑,可见边部切割锆石环带现象,为典型的变质锆石^[9],属于古元古代。该变质锆石可能是 2.5 Ga 的变质基底经过 1.8 Ga 高压麻粒岩相变质作用的叠加产物,反映变质作用集中的时期;(3)76~77 Ma 年龄段,锆石 U-Pb 谐和年龄为 76.8 ± 1.8 Ma(MSWD=0.20),锆石具面状或带状宽缓环带,为典型的基性岩锆石(图 3),其年龄可代表二成山玄武玢岩的形成年龄,属晚白垩世燕山晚期岩浆活动的产物,与江苏省地质矿产局第五地质大队在邳睢地区进行 1:5 万区调时测得的徐州地区橄榄玄武玢岩 K-Ar 年龄(49~124 Ma)一致(燕山晚期—喜山期)。该样品中的锆石类型较多,说明玄武岩浆在上升过程中受到了陆壳物质的混染。

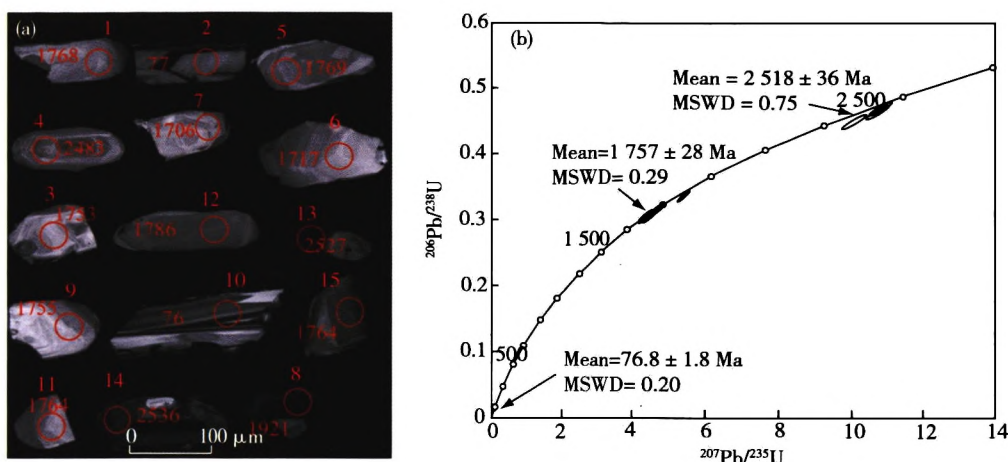


图 3 二成山玄武岩锆石 CL 图像(a)和锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 3 Cathodoluminescence images (a) and U-Pb age concordia diagram (b) of zircons from basaltic porphyrite in Ercheng mountain

4.3 大李庄玄武岩(样品 3)

样品锆石年龄大多位于 U-Pb 年龄谐和线附近,个别远离 U-Pb 年龄谐和线,可能由于铅严重丢失所致,本次分析将该数据剔除。该样品锆石 U-Pb 年龄主要集中在 4 个区域:(1)2 497~2 555 Ma 年龄段,锆石 U-Pb 年龄落在锆石 U-Pb 年龄谐和线下方,可能与铅少量丢失有关,其锆石 U-Pb 谐和年龄为 $2\,514 \pm 20$ Ma (MSWD=0.70), 锆石呈半自形,具密集震荡环带,晶棱明显,应为来自变质基底的捕虏锆石;(2)1 613~1 638 Ma 年龄段,锆石具有变质重结晶和增生边,可能为变质重结晶后的捕虏锆石;(3)1 097~1 196 Ma 年龄段和 480 Ma,该时期锆石铅含量较高,在实际操作中剥蚀时间较短,结

果可能存在误差;(4)219~285 Ma 年龄段,该时期锆石具密集震荡环带,晶棱明显,自形程度高,为典型的岩浆锆石(图 4)。该样品锆石 U-Pb 年龄分散,其原因尚未明确,基本为捕获锆石,后期还需重新采样挑选基性锆石进行测试,本文暂不讨论该岩体。

4.4 西村金伯利岩(样品 4)

该样品锆石 U-Pb 年龄较复杂,主要集中在 3 个年龄段:(1)2 381~2 518 Ma 年龄段,部分锆石 U-Pb 年龄落在下谐和线上方,其锆石 U-Pb 谐和年龄为 $2\,478 \pm 37$ Ma (MSWD=0.11)(图 5),锆石呈半自形,具密集震荡环带,代表变质基底年龄;(2)1 713~1 837 Ma 年龄段,该时期锆石自形程度较低,可见增生边,应为变质重结晶锆石;(3)129~

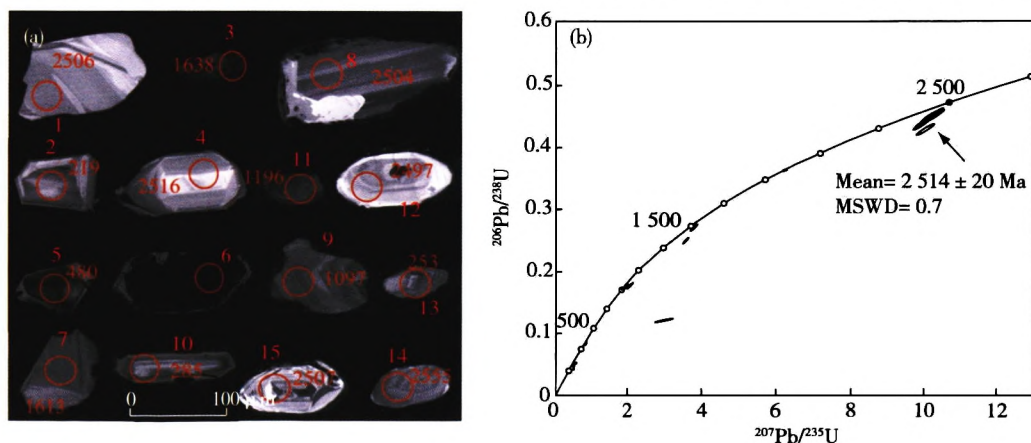


图 4 大李庄玄武岩锆石 CL 图像(a)和锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 4 Cathodoluminescence images (a) and U-Pb age concordia diagram (b) of zircons from basalt in Dalizhuang

143 Ma 年龄段,该时期锆石特征不同,其中 143 Ma 锆石自形程度较高,且震荡环带发育,为典型的岩浆锆石^[10-11],可能捕获了同期中酸性岩中的锆石;另 2 颗锆石已破碎,震荡环带不甚发育,呈宽缓状,

应为超基性岩中的岩浆锆石,可代表金伯利岩的形成年龄,其锆石 U-Pb 谐和年龄为 129.7 ± 4.7 Ma (MSWD=0.16)。

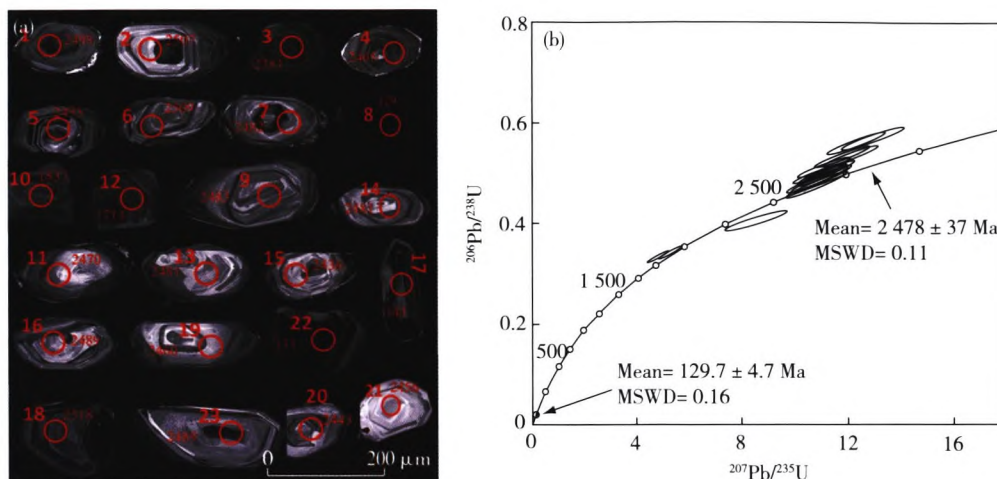


图 5 西村金伯利岩锆石 CL 图像(a)和锆石 U-Pb 年龄谐和图(b)

Fig. 5 Cathodoluminescence images (a) and U-Pb age concordia diagram (b) of zircons from kimberlite in Xicun

5 讨 论

5.1 构造背景及金刚石成因

多数学者认为金刚石主要有地幔捕虏晶成因、幔源岩浆结晶成因、变质成因和陨击成因^[12]。金伯利岩型原生矿床中的绝大多数金刚石形成于上地幔,其形成时代通常明显早于母岩,被金伯利岩浆携带至地壳上部的过程中已发生熔蚀,属于地幔捕虏晶成因^[12];幔源岩浆结晶形成的金刚石晶粒普遍较小,晶型较完整,迄今在世界各地已发现 10 多处偏碱性超基性、基性岩含极少量晶形完整的微粒金刚石多数由幔源岩浆结晶形成^[12]。

金刚石成矿母岩特别是金伯利质岩浆活动一般发生在稳定克拉通的相对活化期,产于内部或边缘的深大断裂或 2 个次级构造单元的交接部位^[1-2]。除金伯利岩和钾镁煌斑岩外,榴辉岩、橄榄岩类、碱性基性岩和碱性超基性岩也可作为金刚石母岩,这在徐州暗色岩中寻找金刚石矿产提供了参考。近些年来,江苏省地质矿产局第五地质大队在徐州地区暗色岩中选获了若干颗原生金刚石,说明基性岩、超基性岩也可作为金刚石母岩,但金刚石成因尚未明确,本文结合暗色岩构造背景探讨金刚石

成因。

暗色岩锆石 U-Pb 年龄测试结果反映徐州贾汪地区暗色岩的分布时代跨度较大,从新元古代至中生代(燕山期)甚至新生代(喜山期),几乎每个重要的岩浆活动期均有暗色岩。

北许阳辉绿岩形成于 712 ± 11 Ma 前,属新元古代,说明华北板块东南缘存在新元古代岩浆活动事件,与 Rodinia 超大陆的裂解时间(700~830 Ma)大致相当^[4],可能与 Rodinia 超大陆裂解相关,受其裂解影响,其时华北板块东南缘处于大陆伸展环境。在野外工作中,从辉绿岩中未发现深源包体,说明辉绿岩浆在上侵过程中携带深源物质的能力较弱。所选金刚石晶型完整、颗粒细小,反映了金刚石结晶时间较短,在该辉绿岩中未选获伴生的镁铝榴石等深源矿物。笔者认为,该金刚石来源于幔源岩浆结晶作用,其成因有待进一步研究。

西村金伯利岩的锆石 U-Pb 年龄为 129.7 ± 4.7 Ma,处于华北板块东部中生代岩浆作用较强烈的晚侏罗世—早白垩世岩浆活动期,中国东部处于强烈的伸展环境,此时郯庐断裂带走滑作用强烈^[13-15]。该时期岩浆活动以中、酸性岩浆为主,西村金伯利岩的发现,说明该时期贾汪地区也存在少量基性-超基性岩浆活动。在西村岩体中发现酸性

岩和基底变质岩角砾,表明岩浆在上升过程中受基底和陆壳的混染;在同时代的利国岩体(130 Ma)和班井岩体(127 Ma)中发现深源捕虏体^[5],表明幔源岩浆和壳源岩浆同时存在,是上地幔底侵、壳幔相互作用的结果,深源捕虏体反映深大断裂已切入地幔较深部位,具备金伯利岩浆上侵的可能。目前,西村岩体未发现金刚石,但其具有金伯利岩岩石特征和携带幔源物质的事实,且目前选获了镁铝榴石、铬尖晶石等深源矿物,反映岩浆形成时的高温高压环境,具备形成金刚石的深部条件。因此,西村金伯利岩具有一定的金刚石找矿前景,但其含矿性有待进一步研究。

晚侏罗世后,在华北板块东部白垩系中发现角度不整合,代表了燕山运动 1 期挤压事件;晚白垩世,华北板块东南缘处于从挤压作用向伸展作用转变的过渡期,岩浆活动相对较弱^[14],仅在东部少数地区发现并确定了该期火山岩的存在。二成山玄武岩(76.8±1.8 Ma)的发现,说明该区在晚白垩世发生微弱的岩浆活动,暗示徐州地区在晚白垩世已进入大陆伸展期。二成山玄武岩 U-Pb 年龄与徐州地区橄榄玄武岩 K-Ar 年龄(49~124 Ma)一致,均属于燕山晚期—喜山期岩浆活动的产物。该期岩浆活动与中国东部软流圈上涌有关,古近纪岩石圈上拱拉张而出现伸展断陷并伴有玄武岩喷发。新近纪以来,中国东部总体遭受近 EW 向挤压作用,郯庐断裂带表现为逆冲活动,深大断裂尤其是郯庐断裂带的切割深度加大,岩浆源区逐渐加深,形成了新近纪以来以碱性、强碱性为主的玄武岩^[6]。

该区玄武岩或橄榄玄武岩中虽未选获金刚石,但在相同地质背景下的白露山橄榄玄武岩中选获了 2 颗金刚石,颗粒较大,均发生熔蚀,为典型的地幔捕虏晶。该时期深大断裂增大的切割深度为含金刚石幔源包体的运移上升提供了通道。野外工作中在该期橄榄玄武岩中发现幔源包体,并选获了一些深源矿物,说明其来源深度较大,具备了一定的寻找金刚石原生矿的前景,时代越新,寻找金刚石原生矿的前景越好。

5.2 与华北板块金伯利岩活动期对比

西村暗色岩体以基性岩为主,超基性岩较少,但暗色岩的产出条件及成因与金伯利岩具有一定关系。在西伯利亚含金刚石岩筒附近发现古生代碱性玄武岩、煌斑岩、苦橄玢岩和沸煌岩岩墙;山东

蒙阴西峪金刚石矿床中的金伯利岩切穿了燕山期基性岩,说明含金刚石矿体继承了早期岩浆的上升通道,产出位置具有一致性^[2];河南鹤壁金伯利岩体附近出露苦橄玢岩和橄榄玄武岩^[15],表明金伯利岩与暗色岩具有共生或伴生关系。

华北板块金伯利岩岩浆活动分为 2 期:一是古生代金伯利岩岩浆活动期,以冀鲁辽陆核边缘铁岭岩区、中部复县和蒙阴岩区为代表(457~462 Ma);二是中-新生代金伯利岩岩浆活动期,以鹤壁和涉县岩区为代表(117~52 Ma)^[16]。

前人对徐州和辽宁地层进行对比,认为辽南和徐州地区奥陶世以前的地层完全吻合,由此推断郯庐断裂带平移时间为石炭纪。晚奥陶世以前,辽南和徐州处于同纬度,而辽宁金伯利岩活动期正处于该时期,因此徐州地区也存在古生代金伯利岩的可能性^[17]。随着研究的深入,也有学者认为郯庐断裂带起始于中生代^[6],该区乃至徐州地区的岩浆活动较弱,未发现与金伯利岩呈共、伴生关系的基性-超基性岩分布,因此,徐州地区是否存在古生代金伯利岩有待进一步研究。

西村金伯利岩的形成时代(129.7±4.7 Ma)略早于华北板块中-新生代金伯利岩岩浆活动期,华北板块处于挤压作用后的松弛期,受地壳引张和岩石圈减薄影响,深大断裂切割深度逐渐加大,为金伯利岩浆上升提供了通道。与古生代山东复县(200 km^[19])相比,岩石圈厚度明显偏薄,形成金刚石的深度条件较差,且同时期岩浆活动强烈,大地热流值较高,可能不利于金刚石的保存,金刚石的含矿性比山东金伯利岩差。

该区燕山晚期-喜山期的玄武岩岩浆活动与华北板块中-新生代金伯利岩岩浆活动一致^[16]。河南鹤壁处于太行山构造带,是华北板块东部被破坏区与西部相对完整区的过渡带,研究认为,鹤壁金伯利岩由于岩石圈较薄(<150 km),大地热流值较高,难以提供金刚石形成的温压条件,不具备形成和保存金刚石的深部地质条件^[18-19]。与河南鹤壁相比,该区同期的岩石圈(80~120 m^[19])略薄,且深大断裂切割深度增加,具有基性岩在上升过程中携带金刚石矿层的条件,同时也具备产出金伯利岩的可能性;古地温场显示,新生代,徐州地区上地幔处于高地温状态,具有较高的大地热流值^[6],不利于金刚石保存。

实际工作中,在橄榄玄武岩中发现了具地幔

捕掳晶成因的金刚石和深源矿物,具有进一步寻找金刚石矿的可能。贾汪及徐州地区新生代暗色岩的岩石类型、深源捕掳体特征、温压条件、源区性质及金刚石成矿条件有待进一步研究。

6 结 论

(1)徐州贾汪地区暗色岩的分布时代跨度较大,从新元古代至中生代(燕山期)甚至新生代(喜山期),几乎每个重要的岩浆活动期均有暗色岩出现。其中,北许阳辉绿岩(712 ± 11 Ma)形成于新元古代;西村金伯利岩(129.7 ± 4.7 Ma)形成于晚侏罗世—早白垩世岩浆活动期;二成山玄武玢岩(76.8 ± 1.8 Ma)形成于晚白垩世中国东部大陆伸展时期。

(2)北许阳辉绿岩金刚石应来源于幔源岩浆结晶作用,不具备金刚石找矿前景,西村金伯利岩和燕山晚期—喜山期玄武玢岩具有一定的金刚石找矿前景。

(3)贾汪地区不具备存在古生代金伯利岩的可能性;西村金伯利岩的金刚石含矿性比山东金伯利岩的金刚石含矿性差;该区具有基性岩在上升过程中携带金刚石矿层的条件及新生代金伯利岩产出的可能,但由于大地热流值较高,不利于金刚石的保存。

参考文献

- [1] 刘瑞. 中国东部碱性基性岩与金刚石矿床成矿机制研究[J]. 长春工程学院学报:自然科学版, 2003, 4(4): 1-4.
- [2] 蔡逸涛, 陈国光, 张洁, 等. 安徽栏杆地区橄榄辉长岩地球化学特征及其与金刚石成矿的关系[J]. 资源调查与环境, 2014, 35(4): 245-253.
- [3] 贺世杰. 徐州地区晚元古代辉绿岩墙岩石成因的初步研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2003.
- [4] 柳永清, 高林志, 刘燕学, 等. 徐淮地区新元古代初期镁铁质岩浆事件的锆石 U-Pb 定年[J]. 科学通报, 2005, 50(22): 2514-2521.
- [5] 杨德彬, 许文良, 裴福萍, 等. 徐淮地区早白垩世 adakitic 岩石的年代学和 Pb 同位素组成: 对岩浆源区与华北克拉通东部构造演化的制约[J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1745-1758.
- [6] 牛漫兰, 朱光, 宋传中, 等. 郯庐断裂带中南段新生代玄武岩源区地幔特征及其演化[J]. 现代地质, 2001, 15(4): 383-390.
- [7] 李长民. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 2009, 33(3): 161-174.
- [8] 王艳楠, 张进, 陈必河, 等. 雪峰山黔阳地区基性岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及意义[J]. 大地构造与成矿学, 2014, 38(3): 706-717.
- [9] 郝兴中, 李洪奎, 李英平, 等. 山东单县地区 BIF 型铁矿成矿时代——SHRIMP U-Pb 锆石定年[J]. 山东国土资源, 2017, 33(3): 1-7.
- [10] 罗春林, 刘高峰, 左祖发. 赣南坪市花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 华东地质, 2016, 37(2): 79-88.
- [11] 邱军强, 彭智, 陈芳, 等. 北淮阳东段杨家湾岩体地球化学特征、锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. 华东地质, 2016, 37(2): 89-96.
- [12] 张培元. 论金刚石的成因和成矿作用及找矿方向[J]. 地质科技管理, 1999, 4(4): 28-36.
- [13] 张鹏, 王良书, 钟锴, 等. 郯庐断裂带的分段性研究[J]. 地质论评, 2007, 53(5): 586-591.
- [14] 葛肖虹, 刘俊来, 任收麦, 等. 中国东部中—新生代大陆构造的形成与演化[J]. 中国地质, 2014, 41(1): 19-38.
- [15] 杨青亮. 华北陆块东南缘早白垩世基性侵入岩地球化学研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013.
- [16] 路凤香, 赵磊, 邓晋福, 等. 华北地台金伯利岩岩浆活动时代讨论[J]. 岩石学报, 1995, 11(4): 365-374.
- [17] 孙中任. 试论江苏徐州地区金伯利岩产出的可能性[J]. 江苏地质, 1994 (Z): 231-235.
- [18] 侯广顺, 向世红, 齐永安, 等. 河南鹤壁地区金伯利岩中地幔包体矿物化学特征[J]. 矿物学报, 2016, 36(3): 318-328.
- [19] 张旗. 从“岩石圈减薄”到“克拉通破坏”[J]. 地球物理学进展, 2011, 26(6): 2262-2269.

Zircon U-Pb dating of dark rocks in the Jiawang area, Xuzhou, and diamond genesis analysis

ZHOU Qi-zhong, Zhang Qi, ZONG De-lin, HUANG You-bo,

YAN Jin-wen, FENG Xue-zhi, WANG Guo-qiang

(*NO.5 Geological Team of Jiangsu Geology and Mineral Bureau, Xuzhou 221004, China*)

Abstract: Zircon ages of dark rocks from the Jiawang area were measured by LA-ICP-MS U-Pb dating method in this paper. On the basis of tectonic setting and magmatic activity period of the kimberlite in the North China Plate, this study analyzed the genesis of diamonds in the dark rocks and mineralization prospect in this area. The research shows that the dark rocks cover a wide range in age from the Neoproterozoic to Mesozoic and even Cenozoic, which involves almost every key magmatic activity. The diamonds in northern Xuyang diabase, which derived from the mantle magmatic crystallization, don't have the exploring potential for diamond. Xicun kimberlite has a certain prospect for diamond exploration, but its diamond-bearing rocks are worse than Shandong kimberlite. In terms of the material composition, the Yanshanian-late Himalayan period basalts are of a certain prospect of diamond exploration. Combined with the deep geological setting, it can be concluded that this area possesses the diamond-carrying condition during uplift process of mafic rocks and the possibility of occurrence of the Cenozoic kimberlite. However, high geothermal heat value is unfavorable to the formation and preservation of diamond deposits.

Key words: dark rocks; Zircon U-Pb dating; diamond genesis; kimberlite; Jiawang area; Xuzhou