第 41 卷 第 3 期
2020 年 9 月

华 东 地 质
EAST CHINA GEOLOGY

Vol. 41 No. 3
Sep. 2020

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.03.007
引用格式:冯学知. 江苏邳州花山子古锆砂矿地质特征及找矿方向[J]. 华东地质,2020,41(3):256-264.

江苏邳州花山子古锆砂矿地质特征及找矿方向

冯学知

(江苏省地质矿产局第五地质大队,徐州 221004)

摘要:通过研究江苏邳州花山子古锆砂矿的成矿地质背景、矿区地质特征、矿石类型、矿物组成、化学成分和放射性异常特征,借鉴现代锆砂矿成矿机制,进一步探讨花山子古锆砂矿的地质特征及找矿方向。花山子古锆砂矿是沉积砂矿床类型,赋存于中寒武世徐庄组中上部粉砂岩中,放射性元素钍含量高于一般粉砂岩钍含量,是古锆砂矿重要的找矿标志。徐庄组主要分布在徐州北部地区,汴塘耿庄、大泉焦庄和台儿庄高山等地区具有较好的找矿前景。

关键词:古锆砂矿;地质特征;找矿方向;江苏邳州

中图分类号:P618.85;P611.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:2096-1871(2020)03-256-09

锆在地壳中的含量十分丰富,但因冶炼工艺复杂而难以被经济有效地提取,因此被称为“稀有金属”[1]。我国锆资源相对稀缺,储量仅为世界锆储量的 0.64%[2]。矿石类型主要有砂矿型和岩矿型,其中岩矿型占 70%以上,但是因技术手段不成熟,目前岩矿型砂矿还无法开发利用,可开发利用的是分布于沿海地区的滨海型砂矿[3-4]。花山子古锆砂矿是古滨海沉积型砂矿[5-6],从矿石钙质、泥质胶结的物理及化学特征分析,如果选矿前增加破碎、酸洗或酸磨两道工序,则选矿过程与现代滨海沉积型砂矿基本相同,其开发利用前景较好。因此,笔者从花山子古锆砂矿的地质特征入手,探讨古锆砂矿的成矿规律及找矿方向,以期进一步扩大锆矿规模,推动地方经济发展,为我国锆矿勘查工作提供参考。

1 区域地质背景

研究区位于郯庐断裂带西侧,徐州—宿州弧形断褶带北端(图 1),属华北陆块区徐淮陆表海盆地,地层属于华北地层大区、徐淮地层分区、徐(州)宿(州)地层小区。新太古代泰山(岩)群山草峪组是该区最古老的地层,在山东省及江苏省丰沛地区近 EW 向断隆带钻孔中均有发育,为一套中深区域变质杂岩,主要为黑云斜长片麻岩、绿帘黑云斜长片麻岩、角闪岩、混合岩化黑云斜长片麻岩、斜长混合岩、钾长混合岩和二长混合岩等。上覆地层有新元古代青白口纪土门群,属于稳定的泻湖相-海相碎屑岩夹碳酸盐岩沉积组合;震旦系—古生界,其中震旦系自下而上为碎屑岩和碳酸盐岩,属陆表海沉积,厚度>2 500 m;古生界寒武系—中奥陶统主要为碳酸盐岩夹碎屑岩沉积建造,构成徐州地区主要山体,总厚度约 1 500 m。在断陷盆地继承沉积中生代晚侏罗世—晚白垩世陆相碎屑岩-火山沉积岩和古近纪湖相碎屑岩-蒸发盐岩,累计厚度>4 000 m[4]。

区域上主要发育 NE 向、NW 向和近 SN 向断裂,其中 NE 向断裂发育最早,是徐州—宿州弧形断褶带,具推覆性质;NW 向断裂发育次之,切割了早期 NE 向断裂与褶皱;近 SN 向断裂发育最晚,切割 NE 向和 NW 向断裂及推覆体,并具多期活动性,多数为逆平移断裂,断层面较陡,属郯庐断裂带西侧派生的次级断裂。

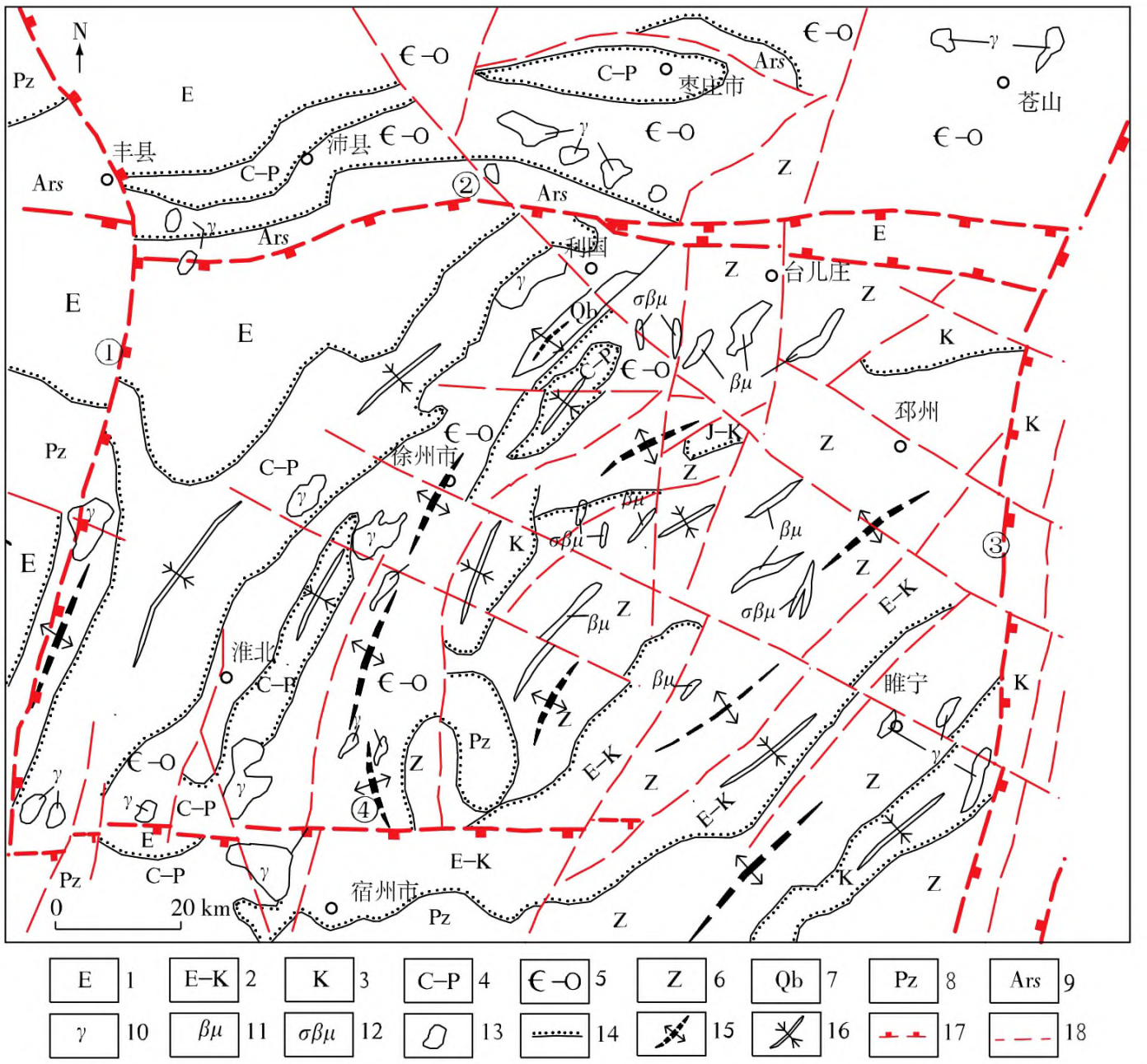
区域岩浆岩分布广泛。元古代以变质侵入岩

* **收稿日期**:2019-12-25　　**修订日期**:2020-02-21　　**责任编辑**:谭桂丽

基金项目:江苏省地质勘查专项资金“江苏省邳州市花山子锆(铪)矿普查(编号:苏财建[2017]160 号)”项目资助。

作者简介:冯学知,1969 年生,男,高级工程师,主要从事地质矿产勘查工作。

万方数据



1.古近系;2.古近系—白垩系;3.白垩系;4.石炭系—二叠系;5.寒武系—奥陶系;6.震旦系;7.青白口系;8.古生界;9.太古宙山草峪组;10.中酸性岩类;11.辉绿岩类;12.橄榄玄武岩类;13.地质界线;14.不整合界线;15.背斜;16.向斜;17.区域深大断裂;18.主断裂;①.丰县—岳集断裂;②.河口—铁佛沟断裂;③.郯庐断裂;④.符离集断裂

图 1　徐州北部区域地质简图

Fig. 1　Geological sketch map of northern Xuzhou

及辉绿岩为主,中生代(燕山期)以中酸性侵入岩及喷出岩类为主,新生代(喜山期)以橄榄玄武岩、煌斑岩、金伯利岩、安山玢岩等脉岩为主。区域矿产主要有白云岩、灰岩和石膏等,金属矿产主要有钛铁矿(砂矿)、锆石和独居石等。

2　研究区地质特征

2.1　地层

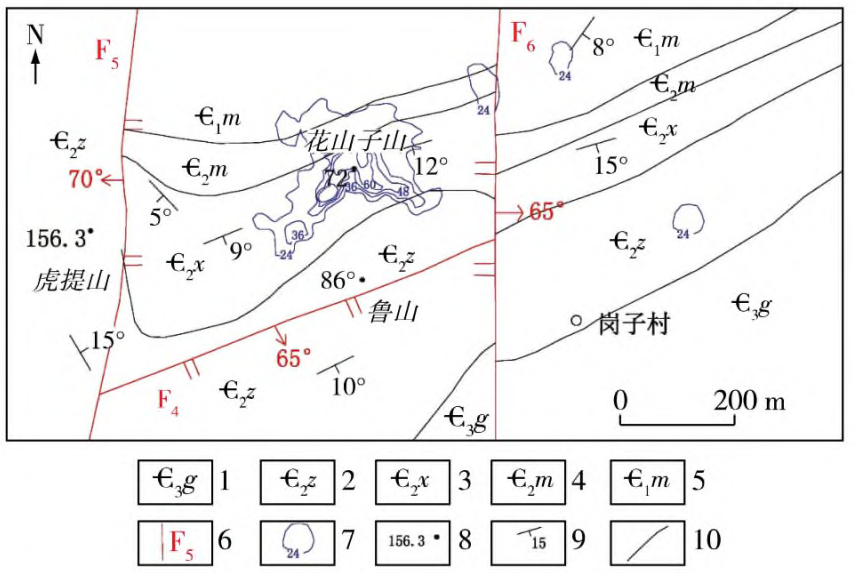
研究区主要为剥蚀残丘地貌,北部和东部外围被第四系覆盖,基岩出露面积约占总面积的 50%,出露地层主要为寒武系,由北西向南东,由老到新依次分布早寒武世馒头组,中寒武世毛庄组、徐庄组、张夏组和晚寒武世崮山组(图 2)。

(1)馒头组出露于岗子村北灌溉渠,倾向 195°,倾角约 8°。主要为土黄色砂屑灰岩、浅灰色瘤状泥质灰岩、灰色鲕粒灰岩夹紫色页岩、泥灰岩及紫红色砂页岩夹紫红色鲕粒灰岩。

(2)毛庄组分布在花山子山北部及岗子村北,倾向 157°～185°,倾角 7°～15°。自下而上主要为灰岩、粉砂质页岩和粉砂岩,呈反韵律重复出现,韵律层厚 7.83～11.03 m。

(3)徐庄组主要分布在花山子山附近,倾向 150°～170°,倾角 5°～22°。钻孔资料表明,徐庄组厚 53.58 m,以含海绿石灰岩为界分为上、下两部分:上部以中厚层浅灰色、灰黄色、土黄色钙质或泥质粉砂岩为主,夹青灰色页岩薄层,是锆石等重矿物的主要富集段;下部自下而上分别为砂质灰岩、粉

万方数据



1.晚寒武世崮山组;2.中寒武世张夏组;3.中寒武世徐庄组;4.中寒武世毛庄组;5.早寒武世馒头组;6.断层及编号;7. Th异常等值线,10^{-6};8.山顶标高;9.地层产状;10.地层界线

图2 研究区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the study area

砂质页岩、粉砂岩,锆石等重矿物含量较少。该层地表出露区或第四系覆盖区Th异常明显(图2)。

(4)张夏组分布在鲁山南部,倾向130°～180°,倾角8°～22°,主要以深灰色厚层鲕粒灰岩为主,夹豆状灰岩、块状灰岩、豹皮状灰岩。目前,该层主要作为水泥用灰岩进行开采。

(5)崮山组分布在岗子村南,倾向SE,倾角约20°,为灰色中厚层泥质条带状灰岩,夹薄层灰岩及鲕状灰岩,鲕粒多呈红色,厚24.78～31.32 m,平均厚29.95 m。

2.2 构造

研究区位于燕子埠向斜北西翼,是由寒武系组成的缓倾斜NE向单斜,倾向SE。主要发育F_4、F_5和F_6等3条断层(图2)。F_4断层分布在矿区南部,走向65°～70°,向南东侧倾斜,倾角65°,为正断层,东、西两端被F_6和F_5断层相截,因断层规模较小,对矿体破坏不大。F_5断层横穿虎提山东坡,为陡倾斜右行平移逆断层,断层面西倾,倾角约70°。在虎提山北坡断层西盘仅出露张夏组,缺失馒头组、毛庄组和徐庄组,且张夏组发生扭转,走向由NE向变为NW向,对矿体影响较大,推测西盘矿体被错断至虎提山以北,且隐伏于第四系之下。F_6断层经岗子村西侧纵贯该区中部,为右行平移逆断层,走向0°～5°,东倾,倾角较陡,水平断距约150 m,倾向断距约20 m,对矿体具有一定的破坏作用。

2.3 岩浆岩

研究区未见大面积岩浆岩分布,仅在研究区南约5 km处出露约3.5 km^2的燕子埠辉绿岩体,岩体侵位于震旦纪倪园组上部。辉绿岩SiO_2含量为42.36%～46.97%,平均值为45.73%;Al_2O_3含量为12.40%～14.43%,平均值为13.69%;Fe_2O_3含量为3.14%～4.69%,平均值为4.00%;TiO_2含量为1.81%～3.04%,平均值为2.23%;CaO含量为3.56%～10.54%,平均值为8.18%;MgO含量为5.32%～7.19%,平均值为6.50%(表1)。

表1 燕子埠辉绿岩主量元素含量

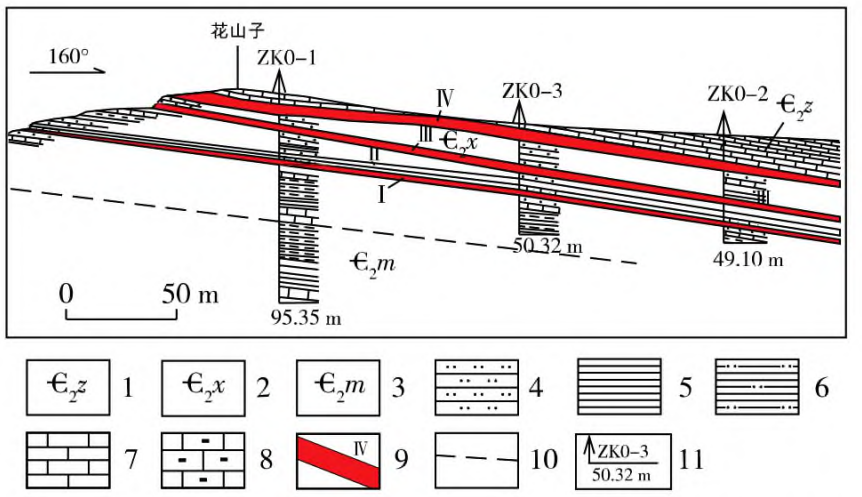
Table 1 Major elements contents of the gabbro in the Yanzibu area

样品编号	主量元素含量/%												
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	MnO	FeO	S	总量
Y01	46.95	12.40	3.52	1.91	9.29	7.19	1.37	3.01	0.21	0.22	9.45	0.13	99.52
Y02	46.97	13.52	3.14	2.15	9.32	6.61	0.85	3.02	0.21	0.19	9.30	0.15	99.45
Y03	42.36	14.39	4.69	1.81	10.54	5.32	1.62	2.19	0.53	0.13	6.36	0.10	99.49
Y04	46.65	14.43	4.66	3.04	3.56	6.86	1.42	1.50	0.41	0.12	8.27	0.17	99.43
平均值	45.73	13.69	4.00	2.23	8.18	6.50	1.32	2.43	0.34	0.17	8.35	0.14	99.47

2.4 矿床特征

花山子古锆砂矿位于邳州花山子山附近。在花山子山北坡有露头分布,南坡隐伏于张夏组灰岩之下。矿体呈平行层状分布在徐庄组中上部,自下而上由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ4个矿体组成(图3)。矿体均呈NE向展布,略向南东缓倾斜,倾向约160°,倾角5°～22°。矿体形态均呈板状,长约1 700 m,宽约260 m。其中Ⅳ矿体最厚,厚约4.35 m,锆石平均品位0.21%,其余矿体厚度一般为1.47～3.95 m,锆石平均品位0.07%～0.20%。Ⅰ与Ⅱ矿体垂向间距约1.5 m,Ⅱ与Ⅲ矿体垂向间距2～4 m,Ⅲ与Ⅳ矿体垂向间距6～10 m。

万方数据



1.中寒武世张夏组；2.中寒武世徐庄组；3.中寒武世毛庄组；4.粉砂岩；5.页岩；6.粉砂质页岩；7.灰岩；8.含海绿石灰岩；9.矿体及编号；10.地层界线；11.钻孔位置、编号及孔深

图 3　研究区 0 号勘探线地质剖面

Fig. 3　Geological cross section of the No. 0 exploration line in the study area

2.5　矿石

2.5.1　*矿石自然类型*

主要为泥质或钙质粉砂岩，由陆源砂、生物碎屑和填隙物组成。陆源砂包括石英(约 40%)，长石(约 15%)和岩屑(5%～10%)等，磨圆度中等，主要呈次圆状、次棱角状，大小一般为 0.05～0.15mm，少数为 0.15～0.20 mm，杂乱分布。生物碎屑约占 2%～3%，主要呈壳瓣状，大小一般为 0.4～3 mm，沿长轴定向排列，相对富集，呈条纹条带状分布，组成矿物为方解石。填隙物包括钙质胶结物(30%～35%)、海绿石(2%～3%)及少量硅质胶结物。重矿物主要有锆石、独居石、金红石和钛铁矿等。

2.5.2　*矿石物理性质*

灰黄色，粉砂质结构，中薄层状，层厚 5～10 cm，个别层厚＞15 cm。在自然含水条件下，单轴抗压强度为 28.32～34.31 MPa，属中等硬度岩石，稳固性较好。

2.5.3　*矿石化学成分*

花山子古锆砂矿矿石主量元素含量见表 2。矿石 SiO_2 含量为 46.14%～67.96%，平均值为 63.01%；Al_2O_3 含量为 6.48%～11.57%，平均值为 8.87%；Fe_2O_3 含量为 1.53%～2.90%，平均值为 1.90%，TiO_2 含量为 0.52%～1.38%，平均值为 0.70%，ZrO_2 含量为 0.17%～0.31%，平均值为 0.22%。

表 2　花山子古锆砂矿矿石主量元素含量

Table 2　Major element contents of zircon-bearing ores in the Huashanzi ancient placer

样品编号	主量元素含量/%													
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	MnO	FeO	ZrO_2	烧失量	总量
DY-2	46.14	6.48	2.90	1.38	19.62	1.48	2.14	0.11	0.38	0.11	1.31	0.22	17.50	99.78
DY-3	66.98	10.06	2.23	0.72	5.23	1.73	3.52	0.36	0.20	0.06	2.32	0.20	6.27	99.88
DY-4	50.35	8.31	1.53	0.52	16.58	1.67	2.86	0.30	0.16	0.13	2.19	0.31	14.99	99.91
DY-5	67.69	7.92	2.20	0.75	7.16	1.40	2.75	0.43	0.20	0.07	2.02	0.19	7.11	99.90
DY-6	67.96	11.57	1.98	0.79	2.77	2.24	3.57	0.46	0.16	0.05	3.32	0.17	4.85	99.89
DY-8	62.05	6.51	1.57	0.74	11.93	1.39	2.27	0.28	0.43	0.08	1.59	0.21	10.86	99.91
平均值	63.01	8.87	1.90	0.70	8.73	1.69	2.99	0.37	0.23	0.08	2.29	0.22	8.82	99.90

2.5.4　*主要重矿物特征*

(1)锆石分为黄粉色和玫瑰色锆石，其中黄粉色锆石约占 80%，晶形呈半自形柱状、短柱状、次棱角粒状，透明，弱金刚光泽，高硬度，表面较光滑，断口有熔蚀痕迹，磨圆度为次棱角—次圆状，分选性较好。粒径主要为 0.01～0.1 mm，少数为 0.1～0.2 mm，伸长系数主要为 1.2～2.3，少数为 2.3～4.5(图 4)。电子探针分析结果(表 3)表明，黄粉色锆石 TiO_2 含量平均值为 0.009%，SiO_2 含量平均值为 33.310%，HfO_2 含量平均值为 2.046%，FeO 含量平均值为 0.005%，ZrO_2 含量平均值为 64.887%。玫瑰色锆石含量较少，约占 20%，呈次椭圆状或滚圆粒状，磨圆度和分选性较好。透明—半透明，毛玻璃光泽，断口有熔蚀痕迹。粒径主要为 0.01～0.08 mm，少数为 0.08～0.15 mm，伸长系数主要为 1.0～1.5、少数为 1.5～3.0(图 5)。玫瑰色锆石 TiO_2 含量平均值为 0.003%，SiO_2 含量平均值为 33.176%，HfO_2 含量平均值为 1.798%，FeO 含量平均值为 0.012%，ZrO_2 含量平均值为 65.102%(表 3)。根据化学组成及 ZrO_2 含量，黄粉色锆石和玫瑰色锆石均定名为锆英石[6]。

万方数据

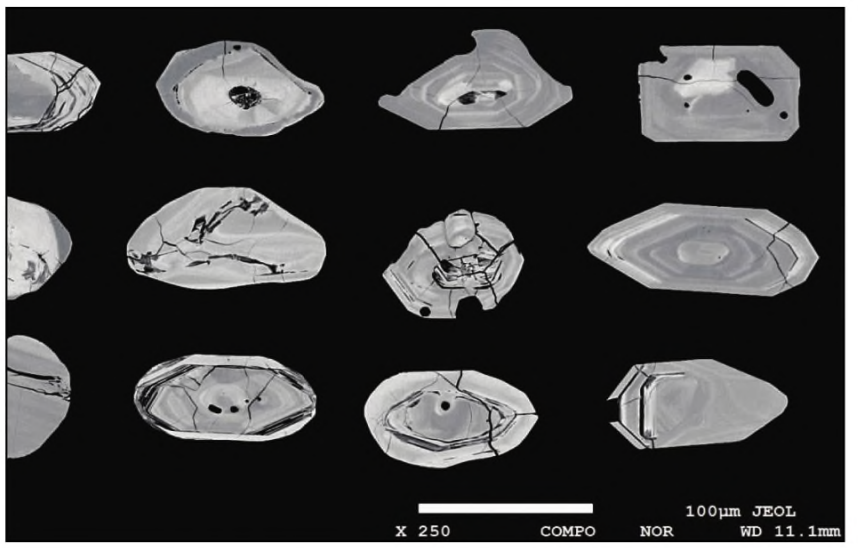


图 4 黄粉色锆石阴极发光图像

Fig. 4 Cathodoluminescence image for the yellow-pink zircons

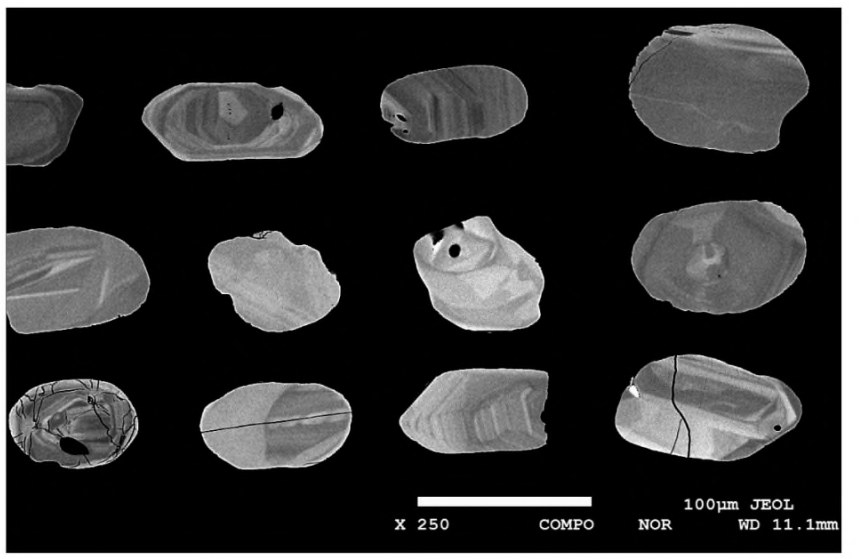


图 5 玫瑰色锆石阴极发光图像

Fig. 5 Cathodoluminescence images for the rose zircons

表 3 花山子锆石电子探针分析结果

Table 3 EPMA data of zircons in the Huashanzi area

颜色	样品编号	含量/%									
		CaO	TiO_2	MgO	Al_2O_3	SiO_2	HfO_2	FeO	MnO	ZrO_2	总量
黄粉色	DZT-1-1	0.000	0.000	0.000	0.009	33.554	2.672	0.000	0.000	64.147	100.382
	DZT-1-2	0.005	0.018	0.000	0.000	33.080	2.460	0.000	0.000	64.529	100.092
	DZT-1-3	0.000	0.000	0.000	0.000	33.097	1.321	0.000	0.000	64.871	99.289
	DZT-1-4	0.003	0.000	0.000	0.000	33.150	2.258	0.000	0.000	65.335	100.746
	DZT-1-5	0.005	0.000	0.035	0.000	33.246	2.399	0.000	0.000	64.480	100.165
	DZT-1-6	0.023	0.037	0.000	0.000	33.420	1.510	0.008	0.000	65.804	100.802
	DZT-1-7	0.003	0.038	0.019	0.000	33.440	2.134	0.036	0.020	65.059	100.749
	DZT-1-8	0.009	0.000	0.007	0.000	33.426	2.187	0.000	0.000	64.642	100.271
	DZT-1-9	0.006	0.000	0.004	0.000	33.405	1.869	0.003	0.000	65.329	100.616
	DZT-1-10	0.011	0.000	0.010	0.000	33.277	1.646	0.000	0.007	64.670	99.621
	平均值	0.007	0.009	0.008	0.001	33.310	2.046	0.005	0.003	64.887	100.273
玫瑰色	DZT-2-1	0.025	0.000	0.006	0.000	33.450	2.004	0.000	0.003	64.988	100.476
	DZT-2-2	0.015	0.000	0.021	0.000	33.189	1.668	0.000	0.000	64.734	99.627
	DZT-2-3	0.021	0.000	0.000	0.000	33.528	1.994	0.072	0.026	65.316	100.957
	DZT-2-4	0.000	0.012	0.021	0.000	33.056	2.738	0.000	0.000	64.561	100.388
	DZT-2-5	0.025	0.000	0.003	0.079	33.014	1.753	0.000	0.001	64.808	99.683
	DZT-2-6	0.002	0.000	0.006	0.000	32.921	1.905	0.000	0.000	65.265	100.099
	DZT-2-7	0.016	0.000	0.000	0.000	32.963	1.583	0.000	0.000	65.371	99.933
	DZT-2-8	0.011	0.000	0.000	0.000	33.563	1.495	0.029	0.022	65.541	100.661
	DZT-2-9	0.000	0.010	0.000	0.002	33.138	1.550	0.000	0.013	65.658	100.371
	DZT-2-10	0.000	0.007	0.000	0.000	32.933	1.289	0.016	0.000	64.773	99.018
	平均值	0.012	0.003	0.006	0.008	33.176	1.798	0.012	0.007	65.102	100.121

(2)独居石呈桔黄色,次椭圆状—次圆扁粒状,透明—半透明,油脂光泽,中硬度,粒径为 0.02～0.10 mm(图 6)。独居石 UO_2 含量平均值为 0.471%,ThO_2 含量平均值为 9.772%,PbO 含量

万方数据

平均值为 0.336%,P_2O_5 含量平均值为 28.999%,F 含量平均值为 0.51%,Y_2O_3 含量平均值为 1.369%,SiO_2 含量平均值为 0.934%,Gd_2O_3 含量平均值为 3.791%,Sm_2O_3 含量平均值为 2.647%,Pr_2O_3 含量平均值为 2.482%、Nd_2O_3 含量平均值为 8.944%,Ce_2O_3 含量平均值为 25.881%,La_2O_3 含量平均值为 11.615%(表 4)。

(3)金红石呈棕红色、黑色,半自形次圆柱状、次棱角块状,半透明—微透明,油脂光泽,高硬度,粒径为 0.01～0.25 mm(图 7)。金红石 TiO_2 含量平均值为 98.437%、SiO_2 含量平均值为 0.008%、SnO_2 含量平均值为 0.166%、FeO 含量平均值为 0.610%、Nb_2O_5 含量平均值为 0.615%(表 5)。

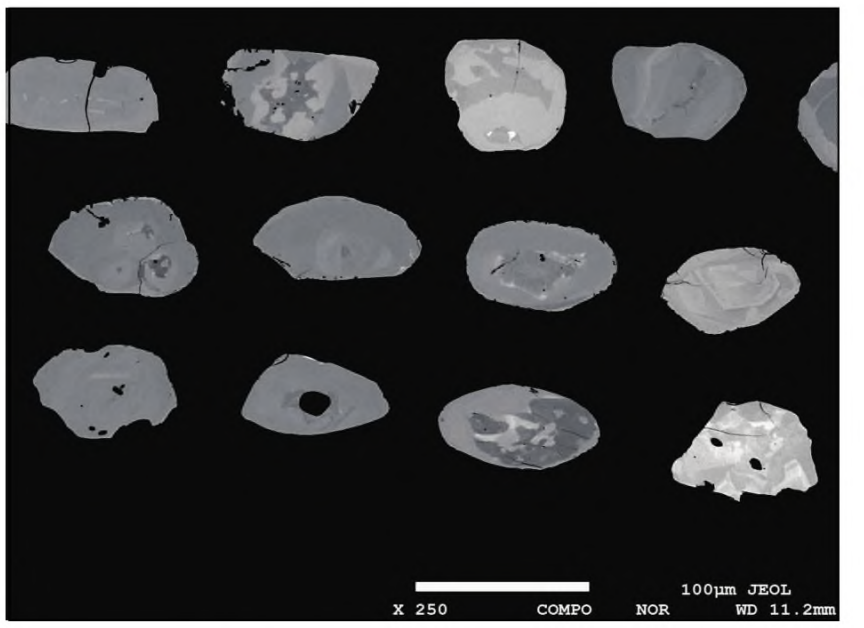


图 6　独居石阴极发光图像

Fig. 6　Cathodoluminescence images for monazites

表 4　花山子独居石电子探针分析结果

Table 4　EPMA data of monazites in the Huashanzi area

样品编号	含量/%														
	CaO	UO_2	ThO_2	PbO	P_2O_5	F	Y_2O_3	SiO_2	Gd_2O_3	Sm_2O_3	Pr_2O_3	Nd_2O_3	Ce_2O_3	La_2O_3	总量
DZ/T-3-1	1.455	0.248	10.217	0.299	29.214	0.73	3.810	0.666	3.902	3.577	2.595	9.211	23.209	9.435	98.563
DZ/T-3-2	1.070	0.383	10.023	0.379	28.838	0.51	0.687	1.187	3.737	1.391	2.650	8.804	26.372	12.161	98.185
DZ/T-3-3	1.302	0.014	8.695	0.413	29.852	0.62	0.347	0.751	3.860	1.556	2.659	9.252	27.567	11.759	98.643
DZ/T-3-4	1.808	0.416	11.458	0.312	30.407	0.78	3.109	0.654	3.885	2.230	2.338	8.853	23.747	9.312	99.305
DZ/T-3-5	1.457	0.277	8.393	0.281	30.608	0.65	2.519	0.395	3.997	1.641	2.146	8.245	26.015	11.820	98.435
DZ/T-3-6	0.450	0.081	8.223	0.260	27.721	0.41	0.252	1.437	3.845	4.532	2.503	8.071	27.553	14.443	99.776
DZ/T-3-7	1.369	0.458	12.921	0.272	28.758	0.49	2.366	1.405	3.977	2.080	2.381	9.310	22.587	9.920	98.291
DZ/T-3-8	0.702	0.794	2.872	0.326	29.982	0.64	1.009	0.116	4.122	4.466	2.813	10.568	28.761	12.604	99.817
DZ/T-3-9	1.676	0.845	8.517	0.290	30.986	0.46	1.683	0.290	4.067	1.943	2.474	9.142	25.478	10.845	98.696
DZ/T-3-10	1.061	0.395	8.222	0.204	30.201	0.72	0.716	0.615	3.512	1.374	2.283	8.669	28.376	13.369	99.717
DZ/T-3-11	1.632	0.967	8.675	0.360	29.184	0.51	1.507	0.281	4.236	4.220	2.448	8.989	25.177	10.900	99.084
DZ/T-3-12	0.988	0.461	8.232	0.154	28.700	0.62	0.744	0.765	3.710	1.248	2.445	8.743	28.278	13.431	98.510
DZ/T-3-13	0.647	0.065	6.470	0.158	28.558	0.23	0.208	0.744	3.654	0.659	2.898	8.540	30.422	15.415	98.721
DZ/T-3-14	1.895	0.835	10.243	0.595	29.026	0.30	0.215	0.537	3.436	3.884	2.301	8.738	25.345	12.053	99.403
DZ/T-3-15	0.782	0.136	9.979	0.194	27.346	0.71	0.726	1.437	3.816	1.479	2.743	9.293	27.878	12.486	99.018
DZ/T-3-16	1.076	0.710	12.632	0.798	27.221	0.33	2.497	1.961	3.861	3.259	2.130	8.639	23.768	9.804	98.683
DZ/T-3-17	0.987	0.249	8.681	0.136	28.615	0.43	0.461	0.921	3.971	4.534	2.541	9.063	26.424	12.820	99.909
DZ/T-3-18	1.265	0.302	13.586	0.516	27.161	0.50	0.260	1.913	3.237	4.158	2.772	10.456	24.200	9.801	100.120
DZ/T-3-19	1.868	0.938	9.094	0.297	30.594	0.45	1.963	0.193	3.765	1.569	2.484	8.507	25.248	11.205	98.167
DZ/T-3-20	1.676	0.852	18.314	0.466	26.998	0.18	2.303	2.416	3.226	3.138	2.037	7.791	21.221	8.718	99.331
平均值	1.258	0.471	9.772	0.336	28.999	0.51	1.369	0.934	3.791	2.647	2.482	8.944	25.881	11.615	99.019

万方数据

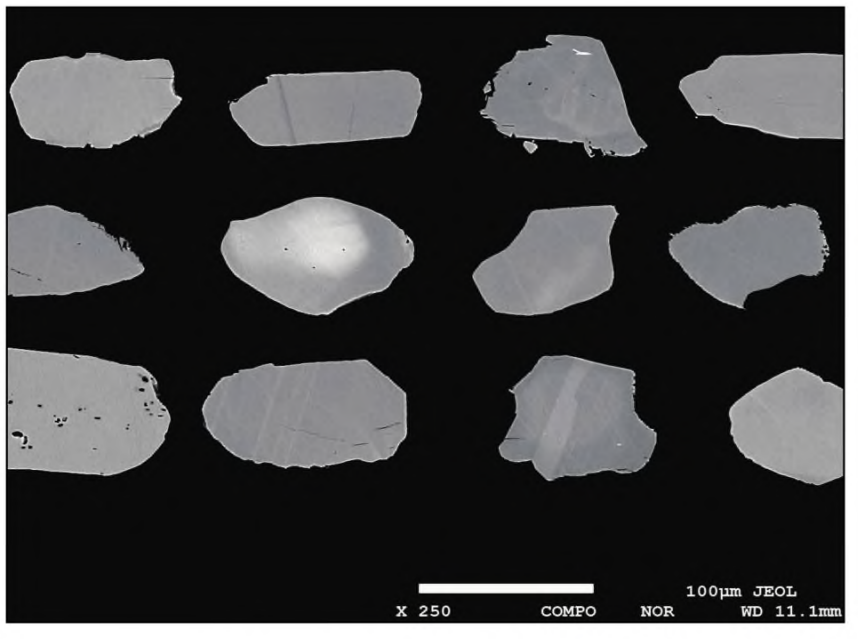


图 7 金红石阴极发光图像

Fig. 7 Cathodoluminescence images for rutiles

表 5 花山子金红石电子探针分析结果

Table 5 EPMA data of rutiles in the Huashanzi area

样品编号	含量/%					
	TiO_2	SiO_2	SnO_2	FeO	Nb_2O_5	总量
DZ/T-4-1	94.088	0.000	0.849	1.986	2.512	99.435
DZ/T-4-2	99.656	0.000	0.015	0.378	0.341	100.390
DZ/T-4Z-3	97.272	0.001	0.642	0.882	0.527	99.324
DZ/T-4-4	98.644	0.000	0.004	0.755	0.379	99.782
DZ/T-4-5	99.507	0.002	0.037	0.511	0.236	100.293
DZ/T-4-6	98.672	0.018	0.003	0.455	0.193	99.341
DZ/T-4-7	97.766	0.000	0.032	0.578	1.216	99.592
DZ/T-4-8	99.484	0.028	0.042	0.072	0.211	99.837
DZ/T-4-9	99.451	0.014	0.018	0.109	0.487	100.079
DZ/T-4-10	99.832	0.018	0.021	0.370	0.046	100.287
平均值	98.437	0.008	0.166	0.610	0.615	99.836

2.6 锆石源区

锆石$^{206}Pb/^{238}U$同位素年龄测定结果见表 6。TW1 和 TW2 样品采自顶部Ⅳ号矿体，TW3 样品采自底部Ⅰ号矿体。TW1 样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析数据总体略分散，$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 510～590 Ma，谐和年龄为(552.5±13)Ma，属于晚震旦世(图 8)。TW2 样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析数据较复杂且分散，$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄总体集中在 1 400～2 200 Ma 年龄段，少量年龄分布在 2 200～2 600 Ma 年龄段，属中元古代—新太古代晚期(图 9)。TW3 样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析数据总体较集中，$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄为 1 200～1 800 Ma，谐和年龄为(1 215±23)Ma，属于中元古代晚期(图 10)。苏北岩体辉绿岩 K-Ar 同位素年龄为 550～750 Ma[7-8]；新太古界泰山(岩)群山草峪组变质岩基体 K-Ar 同位素年龄为 2 013～2 342 Ma，长英质脉体同位素年龄为 1 021～2 000 Ma[9]。由上可知，下部矿体锆石来源相对单一，可能来源于泰山(岩)群山草峪组变质岩的侵入脉体；上部矿体锆石来源相对复杂，可能来源于震旦纪辉绿岩和泰山(岩)群山草峪组变质杂岩及混合岩。

表 6 锆石$^{206}Pb/^{238}U$同位素年龄测试结果

Table 6 $^{206}Pb/^{238}U$ isotopic dating results for zircons

序号	年龄/Ma			序号	年龄/Ma		
	TW1	TW2	TW3		TW1	TW2	TW3
1	1 524.15	1 965.13	2 450.31	14	1 324.65	1 752.67	1 260.95
2	624.67	~~2 583.36~~	1 894.77	15	1 319.97	1 466.38	915.16
3	~~1 960.19~~	1 566.86	725.54	16	641.55	1 826.13	1 050.58
4	624.23	2 105.76	1 209.39	17	860.99	1 699.83	1 496.00
5	1 271.15	2 196.40	2 575.87	18	993.02	1 549.24	811.86
6	656.99	1 488.03	1 192.23	19	632.34	1 930.95	1 085.96
7	717.03	1 105.79	1 055.89	20	1 414.41	1 862.40	669.87
8	~~496.30~~	~~1 437.48~~	1 244.85	21	944.49	2 137.06	1 233.42
9	1 043.96	~~1 639.90~~	917.66	22	~~445.03~~	2 632.40	1 211.48
10	1 177.40	2 356.50	618.01	23	~~526.45~~	2 016.75	1 341.36
11	~~580.30~~	2 024.96	956.94	24	758.14	2 182.20	1 266.12
12	612.11	2 386.50	909.34	25	1 584.17	1 902.60	1 380.53
13	656.85	~~1 908.94~~	1 186.05				

注：删除数据谐和度<95%，统计未采用

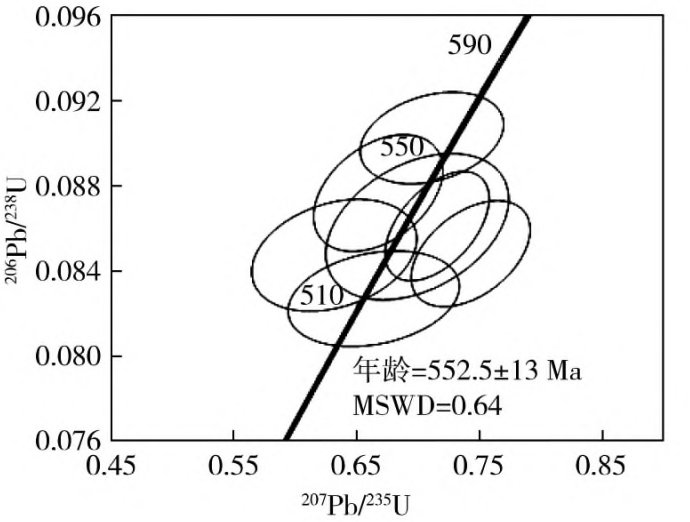


图 8 TW1 样品锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 8 Concordia plot of zircon U-Pb age for sample TW1

万方数据

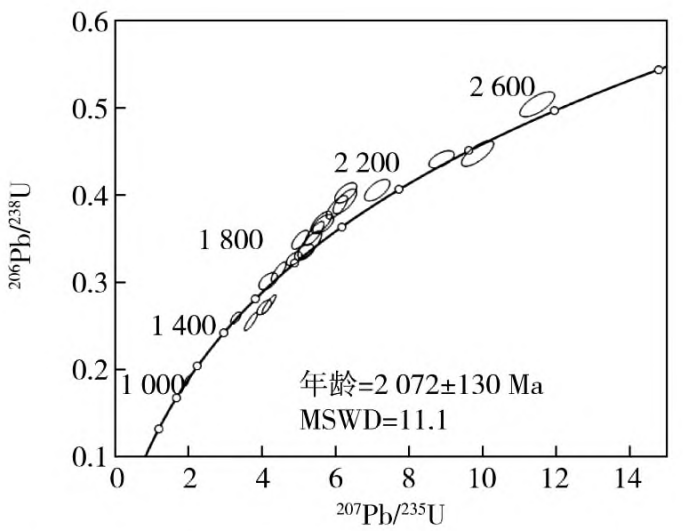


图 9　TW2 样品锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 9　Concordia plot of zircon U-Pb age for sample TW2

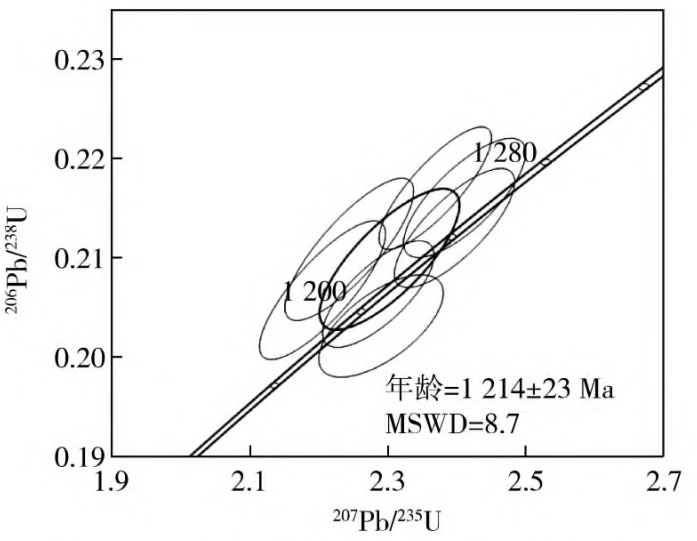


图 10　TW3 样品锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 10　Concordia plot of zircon U-Pb age for sample TW3

3　找矿方向

花山子古锆砂矿锆石、独居石等重矿物放射性元素 U、Th 含量较高，尤其是 Th 含量高于正常岩石含量的 2～32 倍，且常伴生放射性异常[10]。徐庄组上部含矿部位裸露至浅覆盖分布区的放射性异常是最有利的找矿标志。根据前人资料[11-15]，在贾汪东部—燕子埠中寒武世徐庄组分布区，除邳州花山子异常（编号：苏 F-84-4）已提交小型锆矿床外，还有铜山大泉焦庄异常（编号：苏 DF-84-4）、铜山汴塘耿庄异常（编号：苏 DF-84-14）和山东台儿庄高山异常（编号：鲁 DF-84-20），异常形态均较好，Th 含量为（12～17）$\times 10^{-6}$，这些异常规模均远大于花山子异常规模，具有较好的找矿前景。

4　结　论

（1）花山子古锆砂矿是以锆石为主，兼具独居石、金红石、钛铁矿等重矿物的复合型滨海相沉积古砂矿。矿石类型主要为泥质粉砂岩或钙质粉砂岩，产出层位为中寒武世徐庄组，是碳酸盐岩-碎屑岩沉积建造。主要有黄粉色和玫瑰色锆石，锆石有多源性，成矿物质可能来源于附近震旦纪辉绿岩和新太古代泰山（岩）群山草峪组变质杂岩基底和混合岩化长英质脉体。

（2）徐庄组在徐州地区伴有放射性异常，呈缓倾地层，地表裸露面积大，异常规模较大，地层与伴生放射性异常是锆矿重要的找矿标志。

（3）徐州汴塘耿庄、大泉焦庄和台儿庄高山等地区徐庄组粉砂岩均大规模出露，放射性异常明显，具有较好的找矿前景。

参考文献

[1]　熊炳昆，温旺光，杨新民，等. 锆铪冶金[M]. 北京：冶金工业出版社，2002.

[2]　林振汉.中国锆业现状[J]. 中国金属通报，2011（21）：18-19.

[3]　申正伟，张方方，韩聪，等. 我国锆资源现状分析及可持续发展建议[J]. 中国矿业，2016，25(3)：16-20.

[4]　阎树桐，王胜庭，严锦文，等. 中华人民共和国区域地质调查报告(1∶5 万台儿庄幅、岔河幅、汴塘幅、邳城幅)[R]. 徐州：江苏省地质矿产局第五地质大队，1990.

[5]　冯学知，王国强，黄友波，等. 江苏省邳州市花山子锆(铪)矿普查报告[R]. 徐州：江苏省地质矿产局第五地质大队，2019.

[6]　李献军，冯军宁. 锆的矿物资源和应用[C]//钛锆铪分会 2010 论文集.2010：95-99.

[7]　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.

[8]　冯学知，胡森林，张琪，等. 苏北金刚石找矿靶区铜山张集普查及泗洪梅花调查评价报告 [R]. 徐州：江苏省地质矿产局第五地质大队，2017.

[9]　江苏省地质矿产局.江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1984.

[10]　黄超，周贤金，宗德林，等.江苏省邳县燕子埠钛铁矿矿区茅寺矿段详查地质报告[R].徐州：江苏省地质矿产局第五地质大队，1992.

[11]　许裕庭，尹继昌，黄堂发，等.江苏省徐州—邳县地区金刚石原生矿普查地质报告[R].徐州：江苏省地质矿产局第五地质大队，1989.

[12]　刘尊党.江苏省新沂县城岗玻璃用石英砂矿详查地质

万方数据

报告[R].徐州:江苏省地质矿产局第五地质大队,1988.
[13] 黄国卿.江苏省金矿化类型及区域找矿方向专题研究报告[R].徐州:江苏省地质局地质综合研究队,1983.
[14] 李国华.金刚石原生矿综合勘查模型及徐淮地区成矿预测物化探研究报告[R].徐州:江苏省地质矿产局物化探大队,1988.
[15] 王正铤.中国滨海砂矿成矿机制[C]//中国地质科学院天津地质矿产研究所文集.1989:105-117.

Geological characteristics and prospecting direction of the Huashanzi ancient zircon placer in Pizhou, Jiangsu Province

FENG Xue-zhi

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

Abstract: On the basis of metallogenic geological background, ore type, mineral composition, geochemical composition and radioactive anomaly of the ancient zircon placer in Huashanzi, Pizhou, Jiangsu Province, this study further discussed the geological characteristics and prospecting direction of the ancient zircon placer, combined with the metallogenic mechanism of the modern zircon placer. The Huashanzi ancient zircon placer is a new type of sedimentary sand deposit, which occurs in the siltstone of middle and upper Xuzhuang Formation of Middle Cambrian. Its thorium content higher than the normal value of ordinary siltstone is an important prospecting indicator of ancient zircon placer. The Xuzhuang Formation widely distributed in the north of Xuzhou is of better prospecting conditions, while preferential areas for ore exploration are concentrated in Gengzhuang of Biantang, Jiaozhuang of Daquan and Gaoshan of Taierzhuang.

Key words: ancient zircon sand placer; geological characteristics; prospecting directions; Pizhou, Jiangsu Province

万方数据