

鲁东榴辉岩基本特征

王来明^① 黄 峰^① 刘贵章^① 韩宗珠^②
张希道^① 宋志勇^①

(^①山东省地质矿产局区域地质调查队 ^②青岛海洋大学)

提要 鲁东榴辉岩是秦岭—大别山榴辉岩带的东延部分,由郯庐断裂将其切割向北平移。榴辉岩的产状有三种,分别产于片麻岩、层状变质岩系和超镁铁质—镁铁质岩中。其成因有壳成、幔成和岩浆结晶型三种。榴辉岩形成于 7.5 亿年左右,经历了强烈的变质变形作用,改造最强烈的时间在 3.29—2.1 亿年。

1 榴辉岩的分布

鲁东榴辉岩是秦岭—大别山榴辉岩带的东延部分,被郯庐断裂带切断向北平移。在山东境内分布于临沭石门、莒南三界首、日照岚山头、诸城桃林、胶南王台、青岛仰口、文登侯家、荣成南部和威海。总体呈 NE 向沿海岸带展布,在 NE 段的荣成—威海地区转为近 SN 方向。断续延长 600 公里余。向 NE 进入黄海,向 SW 进入苏北东海地区。其 NW 边界在胶南地区为五莲—青岛断裂,在胶东地区为垛崮山—昆嵛山花岗岩带。南东边界位于黄海千里岩岛—朝连岛一线。陆地出露宽度 20—50km。见图 1。

2 榴辉岩的规模及产状

榴辉岩一般呈透镜状产出,部分为似层状、扁豆状、长条状或肠状产出。大小悬殊较大,长度从数厘米、数米、数十米到数百米,宽度从数厘米、数米到数十米。规模大者长 300 余米,宽近百米,如荣成滕家、鲍村、孔家店,诸城崔家沟,莒南三界首等地。小者仅似核桃一般大小,如荣成上庄、马草夼,诸城独乐沟等地。榴辉岩的长宽比一般为 3:1—10:1,少数达 20:1。其长轴方向与区域片麻理方向一致,但榴辉岩本身的片麻理与围岩片麻理从平行到大角度斜交均可见到。榴辉岩与围岩界面清楚,接触面与围岩面理协调一致。

榴辉岩的产状有三种:产于片麻岩中、层状变质岩系中和超镁铁质、镁铁质岩中,以前二者为主。

本文 1994—04 收到,1995—03 改回。

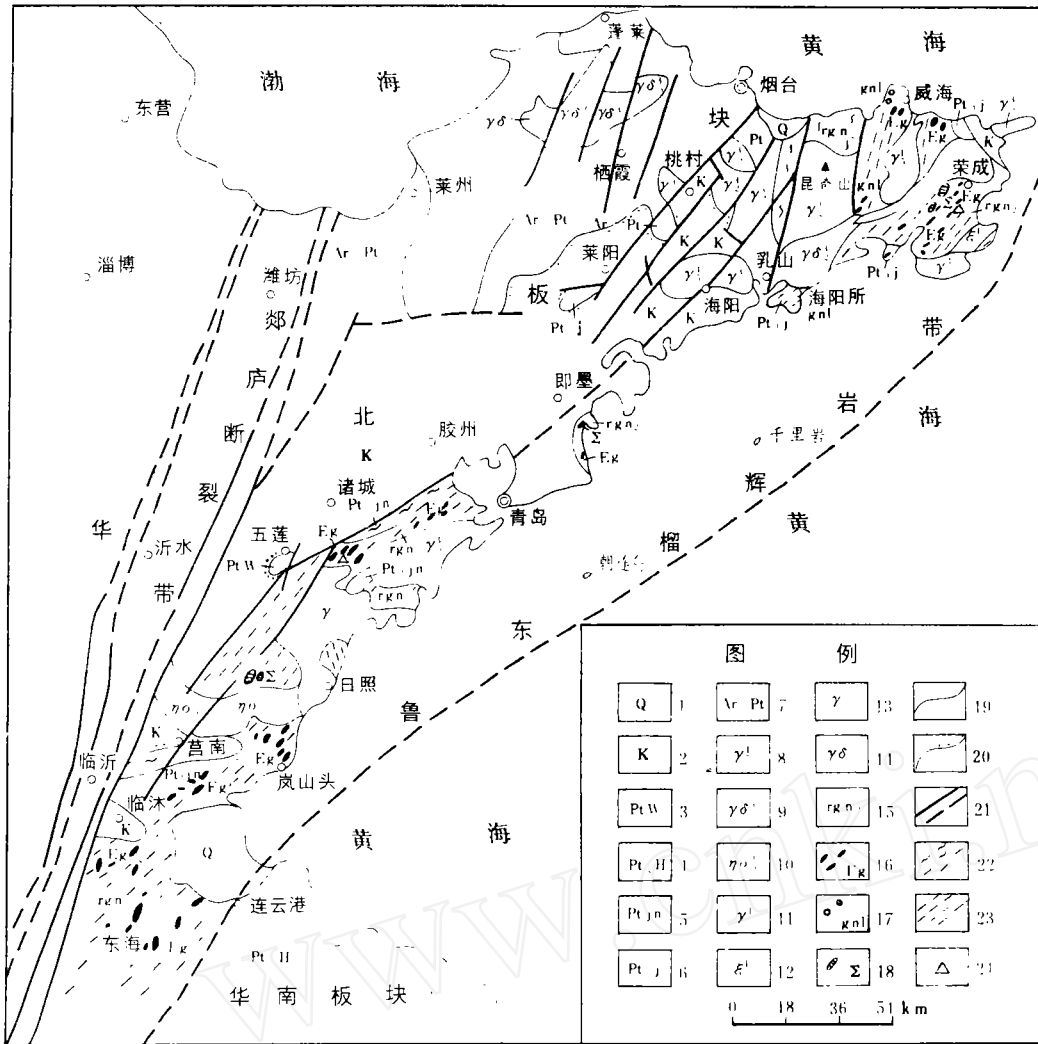


图 1 鲁东榴辉岩带地质图

1. 第四系; 2. 白垩系; 3. 元古界五莲群; 4. 中元古界海洲群; 5. 早元古界胶南群; 6. 早元古界荆山群; 7. 太古宇—元古宇变质基底; 8. 燕山期花岗岩; 9. 燕山期花岗闪长岩; 10. 燕山期石英二长岩; 11. 印支期花岗岩; 12. 印支期正长岩; 13. 新元古代花岗岩; 14. 新元古代花岗闪长岩; 15. 元古宙花岗质片麻岩; 16. 榴辉岩; 17. 麻粒岩; 18. 超镁铁质岩; 19. 地质界线; 20. 不整合界线; 21. 断裂及推测断裂; 22. 片麻理; 23. 韧性变形带; 24. 采样点

产于片麻岩中的榴辉岩最为广泛,是该地区主要类型,规模一般较大,呈透镜状产出,长数十米到数百米,宽数十米到近百米,其在片麻岩中呈包体形式出现,向下有变窄或尖灭的趋势。围岩为晚元古代花岗质片麻岩。该类榴辉岩以规模大区别于后二者。

产于层状变质岩系中的榴辉岩形态复杂多样,有似层状、扁豆状、肠状、透镜状等,它们多顺层或顺条带产出,层理或条带有绕其而过的现象。层状变质岩系主要为早元古界大理岩、石英岩。此类榴辉岩规模一般较小,长数米,宽一般 1—2m,小者仅有 5cm×3cm,

如荣成马草夼、单家大理岩中的榴辉岩。

产于超镁铁质、镁铁质岩中的榴辉岩较上述二者要少,仅分布于荣成迟家店、日照梭罗树、莒南张莲坡等地。该类榴辉岩规模一般不大,介于上述二者之间,呈透镜状和扁豆状产于超镁铁质岩、镁铁质岩之中或与其紧密伴生。这些超镁铁质、镁铁质岩石主要为石榴石橄榄岩、橄榄岩和角闪质岩石,时代为元古宙。

3 榴辉岩的岩石学特征

3.1 榴辉岩的结构构造

榴辉岩具有原生结构构造和后生结构构造特征,说明其形成之后经过了较强烈的改造作用。

3.1.1 原生结构构造

原生构造有块状构造、斑杂状构造、条带状构造及平行构造。

(1)块状构造:岩石中辉石和石榴石呈均匀展布。粒度大小相近,多数晶粒呈等轴状,不显定向,镜下微显定向。说明主要是在围压下结晶的,定向压力很弱,是深源岩石。

(2)斑杂构造:绿辉石和石榴石各自分别集中分布而构成大小不等的团块状。团块直径一般3—6cm。石榴石集中处绿辉石可减少到5%—15%。相反,绿辉石集中处石榴石也明显减少。

(3)条带构造及平行构造:条带构造是由富含石榴石和富含绿辉石(透辉石)的条带构成,条带宽5—10cm,长达1—2m。它不同于后期变形造成的断续细纹条带,可能是原岩成分的继承和变质分异所致。

原生结构有等轴粒变晶结构、斑状变晶结构、骸晶结构及包含变晶结构和环带状结构等。

(1)等轴粒状变晶结构:榴辉岩中主要矿物呈近等轴状晶体平衡共生,石榴石相对他形,而绿辉石和蓝晶石相对自形。在无蓝晶石的岩石中石榴石晶体相对大一些。

(2)斑杂变晶结构:斑晶有辉石和石榴石两种,斑晶3mm左右,基质0.3mm左右。辉石斑晶内常有石榴石的出溶条纹或六边形晶体。基质有较细小的辉石和石榴石等组成的细粒状、等轴状变晶。

(3)骸晶结构及包含变晶结构:石榴石呈六边形骸晶,晶内常包含一个或几个辉石、角闪石或石英,石榴石骸晶逐步生长,其内的包体慢慢消减。包体多时则呈筛状变晶结构。

(4)环带状结构:石榴石呈带状生长,由中心向外为富铁铝榴石分子—富镁铝榴石分子—铁铝榴石。

3.1.2 后生结构构造

榴辉岩形成之后经历了较强的构造变形和改造,形成了一些后生结构构造。主要后生构造有:

(1)片麻状、条带状、条痕状构造:它们是在后生应力为主的条件下发生形变和相变的,主要特征是石榴石呈压扁拉长的透镜状或条带状,而辉石则沿拉伸方向作定向排列,使粒状和柱状矿物相间分布。有时辉石发生相转化被角闪石代替,角闪石仍呈定向排列,构成片麻状。后生的角闪石和多硅白云母沿劈理集中定向排列,构成条带状构造。在韧性变形条件下石榴石塑性变形呈条带状集合体,构造条纹状或条痕状构造。

(2)斑纹状构造:是强应力变形改造使辉石和部分石榴石发生粒化成细纹状分布,残留的石榴石呈眼球状碎斑。

主要后生结构有:

(1)糜棱结构:榴辉岩经历了塑性变形,石英垂直应力方向拉伸塑变呈丝状,绿辉石呈透镜状,石榴石呈显微条带状多晶集合体,为深构造层变形相。

(2)碎斑结构:辉石和石榴石发生脆性变形,石榴石相对呈碎斑,而辉石和部分石榴石呈碎基,构成碎斑状结构。为中—浅构造层变形。

(3)胀裂结构:柯石英呈包体存在于石榴石或绿辉石中,当柯石英转变为石英时体积膨大而使石英周围出现放射状胀裂纹。

(4)交代残留结构:岩石中辉石或石榴石被透辉石或角闪石交代,但仍保留其原有结构残留。

(5)交代镶边结构:绿辉石外缘围绕一圈透辉石或角闪石的镶边,石榴石外缘围绕一圈石英、斜长石或角闪石镶边。这是退变作用所形成的反应边。

3.2 榴辉岩的矿物成分

榴辉岩的矿物成分分为原生矿物和后生矿物二种。原生矿物主要有辉石(单斜辉石和斜方辉石)和石榴石,占总量的90%以上,其次有柯石英、石英、金红石、磷灰石、透长石、石墨、尖晶石、锆石、钛磁铁矿、金云母、蓝晶石等。后生矿物有透辉石、角闪石、蓝晶石、石英、斜长石、钠长石、透闪石、白云母、黑云母、黝帘石、绿泥石、阳起石等。

3.2.1 辉石类。榴辉岩中的辉石主要为单斜辉石,偶尔可见斜方辉石。单斜辉石以透辉石和绿辉石为主,在岩石中一般呈柱状、板柱状、粒状变晶。绿辉石常有透辉石和斜长石的指纹状合晶镶边。透辉石则为角闪石镶边。斜方辉石偶尔出现,常呈较大的变斑晶,与单斜辉石共生,但粒度较单斜辉石大,它可能是幔源岩浆结晶的产物。

3.2.2 石榴石。榴辉岩中的石榴石为铁铝榴石和镁铝榴石。铁铝榴石色深,一般为深红色和红色。镁铝榴石颜色较浅,为粉红色或浅玫瑰色。石榴石粒度多数在0.5mm,有部分呈变斑晶出现,粒度为1—1.5mm,有的斑晶颗粒呈椭圆状,其内含有微晶金红石出溶,并且显示原始石榴石残余环带状形态,说明初始为均衡压力重结晶,而后为重力重结晶。石榴石内常含有柯石英、透长石、金红石、锆石等包体,说明为超高压、高温环境。包裹柯石英的石榴石从中心到边部成分有所变化,近柯石英处为镁铝—铁铝榴石,向外为镁铝榴石,边缘为铁镁—镁铝榴石。

3.2.3 石英和柯石英。石英是榴辉岩中常见的矿物,他形粒状,粒度一般为0.5mm,个别达1.5mm,有的发生塑变呈长条状、丝带状及多晶集合体。其原始状态为等轴状,常见于石榴石内或产于辉石和石榴石粒间。柯石英多呈浑圆状包于石榴石和绿辉石内,多数晶

体已转化为多晶石英聚晶体,个别颗粒保留假六方形态,但在同一岩石中可见到残留的柯石英晶体,其中高突起,折光率为 $N_g=1.594, N_m=1.596, N_p=1.599, (+)2V=55^\circ$ 。在柯石英的残晶外圈有针状石英的镶边。

3.2.4 金红石。金红石是榴辉岩中常见的矿物,但不是所有榴辉岩中都出现,它有两种产出状态,一种为微晶针状,通常产于石榴石中心部位,呈交织状散布于石榴石内,是石榴石重结晶时的 TiO_2 出溶物。另一种呈正方柱状分布于石榴石和单斜辉石的外部或粒间,粒径为 0.1—0.3mm。这二种金红石虽处于不同部位,但重结晶和出溶时间相同,后一种在退变质阶段仍不断聚集加大生长,有的达 1—1.5mm,并呈细脉集结。榴辉岩中金红石多数为 1%—3%,可构成具工业意义的矿体。

4 榴辉岩的岩石化学

榴辉岩的岩石化学成分见表 1,可以看出大部分榴辉岩的化学成分相当于辉长岩、玄武岩。少数榴辉岩的 $SiO_2 < 45\%$,相当于超基性岩范围,但其 Al_2O_3 含量仍相当于辉长岩类。从分布上看,胶东地区的榴辉岩与胶南地区的榴辉岩化学成分有一定的差异。胶东地区榴辉岩相对富 MgO ,多数为 9.04%—16.05%,富 CaO ,贫 $Al_2O_3, TFeO, TiO_2, Na_2O + K_2O$ 。胶南地区榴辉岩相对富 $TFeO, Al_2O_3, Na_2O + K_2O, TiO_2$,而贫 MgO ,大部分在 4.34%—7.44%,贫 CaO 。胶东地区榴辉岩化学成分多数相当于拉斑玄武岩,少数相当于碱性玄武岩系列。而胶南地区则相反。反映了当时大地构造位置上的差异。

表 1 鲁东榴辉岩化学成分(%)

序号	产地	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	H_2O^+	CO_2
1	荣成大疃	46.40	0.27	17.95	0.44	8.28	0.16	13.02	11.51	1.24	0.24	0.05	0.22	0.08
2	荣成大疃	47.35	0.34	17.58	0.36	5.95	0.11	11.30	14.58	1.48	0.24	0.07	0.26	0.06
3	荣成大疃	46.02	0.44	15.37	1.59	7.75	0.15	16.05	11.51	1.12	0.20	0.02	0.47	0.08
4	荣成滕家	46.52	1.68	13.95	0.69	11.80	0.21	6.96	12.40	1.20	0.28	0.04	1.10	3.04
5	荣成滕家	46.19	0.39	17.34	0.73	6.96	0.13	13.14	11.76	1.77	0.24	0.08	0.50	0.07
6	荣成滕家	52.66	0.50	12.02	1.83	7.53	0.16	9.04	11.30	2.68	0.27	0.10	0.36	0.05
7	威海崮山	49.74	1.20	9.54	1.20	10.65	0.17	11.59	12.85	1.36	0.20	0.12	0.92	0.06
8	青岛仰口	52.50	1.10	18.62	2.63	6.78	0.18	3.02	8.02	4.51	1.22	0.50	0.61	0.04
9	诸城桃行	47.46	1.50	15.20	1.47	10.59	0.19	6.94	10.61	3.30	0.64	0.50	0.30	0.04
10	诸城桃行	45.62	1.30	16.98	1.65	11.08	0.14	7.44	12.77	1.65	0.27	0.20	0.34	0.02
11	日照梭罗村	43.40	2.05	11.83	1.60	5.76	0.09	13.56	19.53	0.45	0.27	0.10	0.62	0.06
12	莒南三界首	46.21	1.98	15.51	1.99	12.95	0.22	6.60	9.59	3.41	0.24	0.33	0.46	0.03
13	莒南三界首	42.78	3.10	14.05	3.24	15.11	0.28	6.50	10.17	2.41	0.20	1.00	0.35	0.04
14	临沭大前庄	46.86	1.30	16.40	1.55	10.66	0.20	6.63	11.12	3.06	0.27	0.45	0.15	0.12

榴辉岩的产状不同,其化学成分也不同,与超镁铁质岩有关的榴辉岩其 MgO 为

13.02%—13.56%, SiO_2 为43.40%—46.40%,相当于R·G·Coleman(1965)化学组成分类的A类。产于片麻岩和层状变质岩系中的榴辉岩MgO一般在6.5%—11%,平均8.2%, SiO_2 一般在46%—47%,相当于R·G·Coleman的B类和BC过渡类型。胶东地区多数相当于B类,胶南地区相当于BC过渡类,青岛仰口地区则相当于C类。

榴辉岩的岩石化学成分多显示大洋中脊玄武岩、辉长岩及蛇绿岩套镁铁堆积岩的组成特点。

5 榴辉岩的形成时代及成因探讨

5.1 形成时代

对鲁东榴辉岩的形成时代的认识概括有两种观点,一种认为形成于元古宙,一种认为形成于古生代—中生代。根据野外地质特征和同位素地质年代学研究,作者认为鲁东榴辉岩形成于晚元古代。依据如下。

(1)榴辉岩广泛分布于前寒武纪变质地层和片麻岩中,中生代地层和岩体中没有分布,且榴辉岩带多处被中生代岩体切穿。说明它是中生代以前的产物。

(2)榴辉岩在前寒武纪变质地层和片麻岩中呈似层状、扁豆状或透镜状产出,有的在大理岩中呈结核状(荣成马草夼、单家)。其长轴与围岩片麻理方向一致,榴辉岩的面理与围岩片麻岩面理从平行到大角度斜交,有的片麻理绕榴辉岩通过(威海沙龙王家),说明榴辉岩生成早于或同时于片麻岩。这些片麻岩的锆石U-Pb同位素年龄为6.5—8.5亿年,它是华南、华北陆块碰撞改造重熔的产物,是同构造花岗片麻岩。榴辉岩形成之后在构造作用下挤入到花岗质岩浆中,或先形成榴辉岩上升到地壳后,地壳重熔而其富含铁镁难熔被包在重熔岩浆中带到地表浅部。

(3)鲁东榴辉岩经历了变形改造和变质作用,发育一系列紧闭、尖顶、不协调及顶厚褶皱构造,这些褶皱与该地区变质地层中早期褶皱(F_2, F_3)样式相似。当然不排除碰撞带中的构造复杂性。但中生界地层中却找不出此类型褶皱,这也说明它不是中生代的产物。岩相学资料表明,榴辉岩经历了多期退化变质作用,从退化变质矿物演化分析,先后经历了高温高压—高温中高压—高温中压三个变质作用阶段。如此多的退变作用只有在前寒武纪岩石中才有可能发生。

(4)榴辉岩和围岩一起经历遭受了深层次韧性改造剪切作用,这些韧性剪切变形发生于前寒武纪花岗质片麻岩和层状变质岩系中,与之相邻的晚元古代昆崙山花岗岩(7.04亿年)及加里东期文登花岗岩(3.4亿年)没有发生变形,这说明榴辉岩形成早于上述花岗岩。

(5)作者在该榴辉岩带南部诸城崔家沟片麻岩中的榴辉岩中和东部荣成滕家变质层状岩石中的榴辉岩中分别采取了较大样品,挑选出了足量的锆石进行了锆石U-Pb同位素年龄测定。诸城崔家沟榴辉岩测定结果为7.48亿年,荣成榴辉岩测定结果为7.32亿年(详见表2),这二类榴辉岩年龄基本一致。其年龄与上述地质情况比较吻合,基本反映了

榴辉岩的形成年龄。

表 2 鲁东榴辉岩中单颗粒锆石蒸发-沉积法年龄测定数据(误差为 2σ)

编 号	测定次数	测定组数	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}_{\text{Rad}}$	年龄(Ma)
Z ₁	1	5	0.2882±9	0.0825±8	0.00124±7	0.0646±2	788±10
	2	5	0.3753±30	0.0902±8	0.00173±7	0.0654±3	
R ₄	1	10	0.1420±13	0.0637±2	0.00027±2	0.0598±3	747±13
	2	5	0.1998±4	0.0820±3	0.00139±2	0.0618±3	
	3	5	0.2149±14	0.0637±1	0.00005±1	0.0630±1	
	4	6	0.3110±23	0.0650±4	0.00009±2	0.0637±4	
	5	6	0.3860±50	0.0669±5	0.00019±15	0.0642±4	
R ₃	1	14	0.2622±26	0.0626±5	0.00038±4	0.0571±5	495±20
R ₁	1	9	0.1741±9	0.0588±2	0.00025±1	0.0552±1	418±5

注:由中国地质科学院地质所测定;表中 Z₁ 为诸城榴辉岩中的锆石, R₄, R₃, R₁ 为荣成榴辉岩中的锆石, 测定组数即 BLOCK 数目, 每个 BLOCK 由 8 次扫描构成。

目前在该榴辉岩带上还获得较多的 2.1—3.3 亿年的 Sm-Nd 同位素年龄数据^[6], 这些数据反映的是榴辉岩经历的一次最强烈变质变形事件年龄。

5.2 成因探讨

我们将鲁东榴辉岩按产状分为三种类型, 其成因或形成条件是不同的, 产于超镁铁质、镁铁质岩中的榴辉岩是在地幔环境下形成的, 有的是地幔岩发生部分熔融在榴辉岩相条件下直接结晶形成的, 如日照梭罗树榴辉岩。有的是在地幔条件下变质形成的, 如荣成大疃迟家店。其岩石化学和矿物化学成分上相当于科尔曼的 A 类榴辉岩, 稀土总量低 (6.9×10^{-6}), 岩石中含有柯石英, 矿物温压计算结果压力大于 3GPa, 可达 4GPa, 温度大于 1000℃。产于片麻岩中的榴辉岩部分为在地幔条件下形成的, 部分为在地壳条件下形成的。变质层状岩系中的榴辉岩均为地壳条件下形成。

从稀土地球化学特征来看, 胶东榴辉岩显示大洋中脊玄武岩之特点, 胶南地区榴辉岩显示洋岛碱性玄武岩特点。

综合研究认为鲁东榴辉岩有三种成因类型, 一种为地幔型, 一种为地壳型, 一种为岩浆型。地幔型是指在地幔或接近地幔条件下变质形成的, 其形成温度大于 900℃, 压力大于 3GPa, 岩石中出现柯石英、透长石。地壳型是在地壳条件下变质形成的, 其形成温度低于 900℃, 压力小于 3GPa。它们都是板块碰撞条件下形成的, 只是二者形成深度不同。岩浆型则是由地幔岩浆直接结晶而形成的。三者形成时间上没有多大差别。

6 结 论

鲁东榴辉岩带是秦岭-大别山榴辉岩带的东延部分, 它是夹持于华北、扬子两大陆块

之间的构造混杂岩带或榴辉岩带,是由于华北、扬子两板块多次碰撞形成的。是碰撞带的重要标志。

榴辉岩的形成时代为中晚元古代,在海西—印支期经历了强烈的变形改造。榴辉岩有三种类型,分别为地壳型、地幔型和岩浆结晶型。

榴辉岩中含有较丰富的金红石,其背景含量 1%—3%,有些地段可构成金红石矿,所以该带也是一个重要的金红石成矿带。

参 考 文 献

- [1] 杨建军,1991,苏鲁榴辉岩及有关超基性岩,地质出版社。
 [2] 王来明,宋彪等,1994,山东榴辉岩的生成时代。科学通报,39(19),1788—1791。
 [3] 李曙光等,1989,大别北翼大别群中C型榴辉岩的Sm—Nd同位素年龄及其构造意义。科学通报,34(7),522—525。
 [4] 曹国权等,1990,山东胶南地体及其边界断裂五莲—荣成断裂构造意义。山东地质6(1)。
 [5] 张希道、陈允福等,1992,鲁东南莒南县一带榴辉岩的初步研究。岩石学报,第二期。
 [6] 王来明,1994,鲁东碰撞带的初步研究。山东地质,10(1)。

THE BASIC CHARACTERISTICS OF LUDONG ECLOGITE

Wang Laiming^①, Huang Feng^①, Liu Guizhang^①,
 Han Zongzhu^②, Zhang Xidao^① and Song Zhiyong^①

(^①The Regional Survey Brigade, Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources.

^②Qingdao Ocean University)

Abstract

Ludong eclogite is the east extension portion of QinLing—Dabieshan eclogite belt which is cut by Tanlu fault and slipped to north in strike. The eclogite takes three kinds of occurrence in gneiss, stratiform metamorphosed rocks and ultramafic—mafic rocks respectively. Their geneses include three types of crust generation, mantle generation and magma crystallization. The eclogite was formed about 750Ma ago and experienced intense metamorphism and deformation among which the most intense was between 329—210Ma.