

## 山东沂水县常庄钛铁矿地质特征及成因探讨\*

李洪奎, 田秀林, 王岳林, 张玉波, 梁太涛, 刘继梅

(山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

**摘要:**沂水县常庄钛铁矿床产于中细粒含钛磁铁矿辉石角闪石岩中, 该岩体既是成矿母岩又是赋矿围岩。矿体长1 800 m, 平均宽75 m, 控制斜深344 m, 平均品位 $TiO_2$  8.85%, 品位变化系数为104%,  $TFe + TiO_2$  平均品位28.24%, 品位变化系数为102%。属品位变化较不均匀的矿体。该矿床具有矿体规模大, 形态简单, 易于开采之特点。通过对矿床地质特征的研究, 认为该矿床属基性岩浆分异型钛铁矿床, 其成矿时代为古元古代。

**关键词:**钛铁矿; 地质特征; 品位; 矿床成因; 沂水常庄; 山东

**中图分类号:** P618.47

**文献标识码:** A

山东钛资源较丰富, 主要为榴辉岩型钛矿<sup>[1]</sup>、钛铁矿砂矿<sup>[2]</sup>和基性-超基性岩中的钛铁矿<sup>[3]</sup>。在山东鲁西结晶基底区的沂水、莒县、临朐等地, 分布有较多的基性-超基性岩体, 这些基性-超基性岩体所含的钛铁矿、磁铁矿可富集成矿供工业利用<sup>[3]</sup>。近年来对此类基性-超基性岩体的研究证实, 一是以含钛为主的钛磁铁矿型超基性岩体, 二是以含铁为主的磁铁矿型超基性岩体, 二者均可富集成矿<sup>[3]</sup>。

沂水县常庄钛铁矿床是产于辉石角闪石岩中的矿床, 具矿体规模大, 开采地质条件简单, 可供综合利用之特点。

## 1 成矿地质背景

沂水县常庄钛铁矿床位于沂水县城北西30 km处沂沭断裂带西侧的鲁西地块上(图1)。区内主要由新太古代的变质表壳岩、新元古代土门群和新太古代的变质深成岩及古元古代的花岗质岩石组成, 燕山期小规模的花岗岩和脉岩发育, 构造活动强烈。

### 1.1 地层

新太古代泰山岩群主要分布于鲁西地块及沂沭断裂带内汞丹山凸起区, 呈大小不等的包体出露于变质变形侵入岩中。新元古代土门群分布于靠近沂

沭断裂带一侧, 为未变质的浅海相碎屑岩-碳酸盐岩沉积建造。

寒武-奥陶系呈断块分布, 与下伏土门群呈不整合接触, 下部为碎屑岩-碳酸盐岩建造, 上部为碳酸盐岩建造, 为一套陆表海相沉积<sup>[4]</sup>。

白垩纪大盛群系陆相碎屑岩沉积, 分布于马站拉分盆地中。

### 1.2 岩浆岩

区内岩浆岩分布广泛, 主要发育有太古宙及古元古代花岗岩, 这些花岗岩具多期多次侵入之特点, 总体上表现为片麻岩-花岗岩穹窿<sup>[5]</sup>, 侵入其内的辉石角闪石岩构成矿体。中生代岩体规模小而零星, 其脉岩较发育。

### 1.3 构造

#### 1.3.1 基底构造特征

区内基底构造有韧性变形带和褶皱构造。NE向韧性变形带由一系列变形强带及夹于其间的变形弱带构成, 具左旋走滑<sup>[6]</sup>的特点。带内的构造岩主要为各种类型的糜棱岩, 在变形带内以绿片岩和花岗质糜棱岩最常见, 具绿片岩相变形环境。

#### 1.3.2 断裂构造特征

区内脆性断裂构造较发育, 主要有NNE向、NE向、EW向3组。NNE向断裂为沂沭断裂带, 出露郯

\* 收稿日期: 2010-07-07; 修订日期: 2010-08-05; 编辑: 程光锁

作者简介: 李洪奎(1962—), 男, 山东昌乐人, 研究员, 主要从事矿产资源勘查和地质矿产研究工作; E-mail: lhklhk126@126.com。

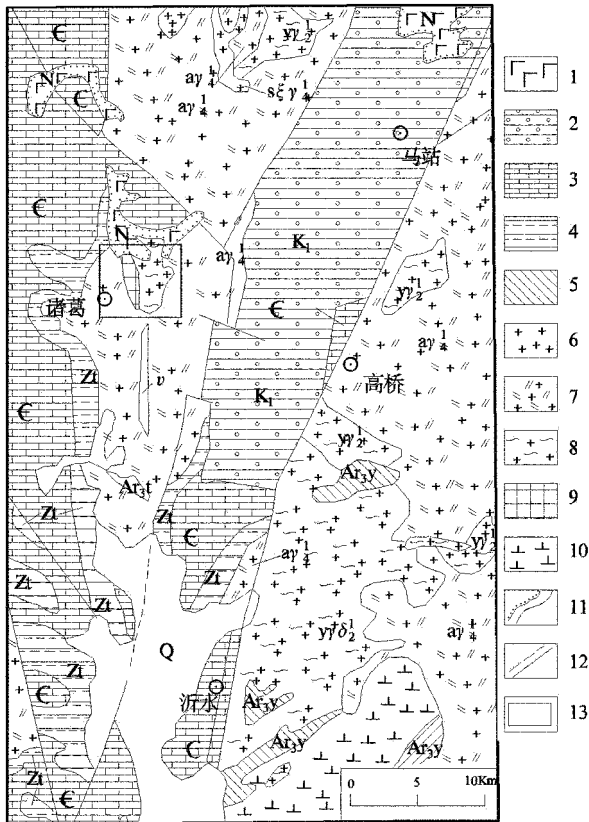


图1 常庄钛铁矿区域地质略图

1—新近系;2—白垩系;3—寒武系;4—新元古界;5—新元古代泰山岩群;6—古元古代花岗岩;7—古元古代二长花岗岩;8—新太古代花岗岩;9—矿体;10—闪长岩;11—地质界线;12—推测/实测断层;13—矿区范围

部-葛沟断裂和沂水-汤头断裂,与主干断裂平行的次级断裂发育。其活动性质以左行压扭性为主,具多期活动特点。NE向断裂为NNE向断裂的次级构造,其力学性质早期以左行压扭为主,后期以张性活动为主。EW向断裂多为一些规模较小的左行压扭断裂,切割NNE向、NE向断裂。

## 2 含矿岩体特征

常庄矿区钛铁矿床的含矿母岩为超基性岩体,岩性为细一中粒含钛磁铁矿辉石角闪石岩,岩体本身达到工业利用要求时即构成矿体,故岩(矿)体之间无严格的界线,仅靠分析结果来圈定矿体边界。超基性岩体的围岩为古元古代变质变形的二长花岗岩,辉石角闪石岩侵入于二长花岗岩中。

岩体总体呈脉状,沿走向具膨缩现象。走向 $0^{\circ} \sim 345^{\circ}$ ,倾向E,倾角 $68^{\circ} \sim 83^{\circ}$ 。出露长度1800 m,

北部被玄武岩所覆盖;宽一般50~200 m,最大宽230 m,最小宽25 m,平均宽125 m。

岩体主体岩性为辉石角闪石岩,在垂向和水平方向上均呈现岩性变化。平面上,由边部向内为斜长角闪岩—辉长岩—辉石角闪石岩—橄榄辉石岩—辉石橄榄岩,即岩体中心基性程度高,其边部基性程度偏低。在垂向上,地表为斜长角闪岩或辉石角闪石岩,向下逐渐变为橄榄辉石岩和辉长岩。在平面和剖面上,均不能圈出岩体的分带性,但岩体的基性程度与含矿性成正相关关系。

辉长岩:灰黑、绿黑色,变余粒状结构,块状构造。主要矿物成分有斜长石、辉石、角闪石、黑云母、磁铁矿及少量榍石、磷灰石。其中角闪石为半自形柱状,黄绿色,为普通角闪石,交代辉石而成。磁铁矿为他形粒状,多与暗色矿物分布在一起,粒度一般在0.05~0.3 mm,局部有聚集现象。

辉石角闪石岩:黑色,粒状变晶结构,块状构造。主要矿物成分有角闪石、辉石、磁铁矿、黑云母、磷灰石等。其中辉石多被角闪石所交代。角闪石,柱长一般0.3~2.0 mm,黄绿色,为普通角闪石,有的颗粒核部含粉末状钛铁矿、磁铁矿。钛铁矿、磁铁矿,他形粒状,有的具有板状形态,分布于角闪石粒间或被包裹,粒度一般0.05~0.50 mm。

纤闪石化橄榄辉石岩:绿黑色,交代假象结构,块状构造。岩石主要由纤闪石、黑云母、皂石、磁铁矿等矿物组成。原岩主要由辉石和橄榄石组成,发生较强的蚀变分解作用,其中辉石多数被透闪石交代呈半自形柱状假象,橄榄石呈残留体状并被皂石交代呈假象结构。磁铁矿,他形粒状,多分布于其他矿物粒间,有的分布于辉石核部,粒度不等,大者0.05~0.30 mm,小者呈小于0.02 mm的微粒状。

## 3 矿体特征

常庄矿区钛铁矿床由单一矿体组成,呈大的脉状体产出,在走向上与倾斜延深上均有膨缩变化,总体走向为 $0^{\circ} \sim 345^{\circ}$ ,倾向E,倾角 $70^{\circ} \sim 78^{\circ}$ 。矿体在地表断续出露,低洼处为第四系所覆盖,走向长1800 m,宽一般30~100 m,最大宽150 m,最小宽5 m,平均宽75 m。矿体控制最大斜深344 m,深部未完全封闭(图2)。

矿体厚度在04,02线和07线以北形成2个大膨胀体,矿体变厚变大且矿石质量变好。在04,02

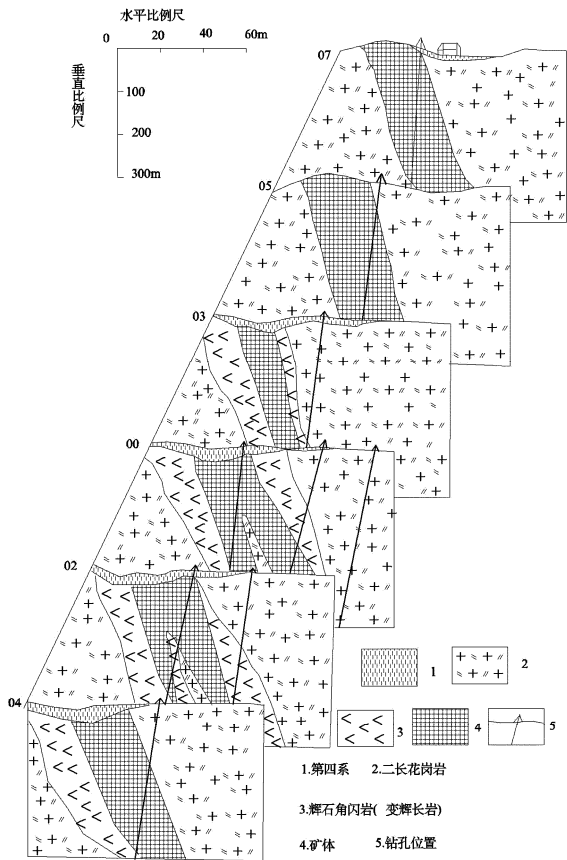


图2 常庄钛铁矿勘查线联合剖面示意图

线宽度为 100 m 左右,07 线以北矿体地表厚度较大,为 110 ~ 150 m,由地表往地下延伸厚度变化不大。

矿体为脉状侵入体,是含矿岩浆沿近南北向张扭性裂隙侵入而形成,总体形态比较规则,沿走向呈弯曲波线状,沿倾向表现为不规则状。矿体上盘产状较陡,倾角  $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ,下盘产状较缓,倾角  $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。

矿体品位为:  $\text{TiO}_2$  最高品位为 20.88%,最低品位 5.06%,平均品位 8.85%,品位变化系数为 104%,属品位变化较不均匀的矿体。TFe +  $\text{TiO}_2$  最高品位为 59.82%,最低品位 18.00%,平均品位 28.24%,品位变化系数为 102%,属品位变化较不均匀的矿体。

## 4 矿石特征

钛铁矿床的母岩为超基性岩体,其岩石名称为中细粒含钛磁铁矿辉石角闪岩,矿石呈褐绿色,以

粒状变晶结构为主,块状构造。

### 4.1 矿物学特征

矿石中金属矿物由钛铁矿、磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿组成,非金属矿物由角闪石、辉石、斜长石、黑云母、榍石、石英、磷灰石、方解石等矿物组成。

#### 4.1.1 金属矿物

**钛铁矿:**是矿石中 useful 矿物之一,浅灰色,略带棕色,反光镜下为灰色微带褐红色,自形一半自形晶粒状,形态近于菱形,粒径 0.05 ~ 0.50 mm。大颗粒内可见间距及宽窄程度不等的聚片双晶纹。多数呈独立矿物出现,少数与磁铁矿呈镶嵌状共生。矿物边界较平直、规则,但有时被磁铁矿交代呈不规则状。晶体内部一般无包裹物,含量 8% ~ 17%。

**磁铁矿:**是矿石中的有用矿物之一,呈灰色—深灰色,反光镜下微带棕色,半自形—他形粒状,粒径 0.1 ~ 0.3 mm,个别可达 1 mm 左右。多数矿物为独立矿物。少数以集合体形式与钛铁矿共生,两者呈镶嵌状。晶体内可见脉石矿物小包体,偶见钛铁矿小包粒,局部交代钛铁矿。含量 10% 左右。

**黄铁矿:**淡黄色,显均质性,反光镜下为黄白色。按其赋存形式及结构特点可分为两期:早期黄铁矿呈压碎结构,星点状分布;晚期黄铁矿呈半自形—他形微粒状,均以不规则的细脉状产出。早期黄铁矿较晚期含量高。黄铁矿含量一般 1% ~ 2%,最高可达 5% 左右。

**黄铜矿:**铜黄色,他形微粒状,粒径 0.1 mm 左右,呈星点状不均匀散布于矿石中,含量一般为 0.1% ~ 0.3%,局部可达 1% 左右。

#### 4.1.2 非金属矿物

非金属矿物有普通角闪石(含量一般 > 50%)、辉石(含量约 5% ~ 15%)、斜长石(含量为 25% ~ 40%)、黑云母等,有少量的榍石、石英、磷灰石、方解石、锆石等。

### 4.2 矿石化学特征

从主要矿石类型化学成分分析结果看出(表 1):  $\text{SiO}_2$  含量 33.48% ~ 44.38%,总体小于 45%,属超基性岩类。  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  含量 1.29 ~ 5.67,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  为 0.12 ~ 0.52,  $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ; 镁铁比值 M/F 为 0.24 ~ 0.66 < 2,属富铁镁质超基性岩。该岩矿石总体上属超基性岩碱性岩系列。

表1 常庄钛铁矿区岩矿石化学成分

样号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>
TC10-10H	37.22	7.24	8.99	11.90	9.46	1.26	3.51	0.266	9.45	5.42	1.77	3.15
TC6-10H	38.44	6.84	9.64	5.59	13.92	0.89	3.28	0.284	12.35	5.80	0.96	2.23
TC2-20H	33.74	9.33	6.54	12.81	13.77	0.75	3.45	0.302	9.41	7.10	0.51	2.73
ZK602-14H	33.48	8.46	5.08	8.78	16.86	0.29	2.37	0.292	12.82	8.00	0.58	1.86
ZK702-25H	34.19	8.56	5.92	8.53	16.41	0.95	2.80	0.291	11.41	7.99	0.58	2.07
1GS1H	40.57	5.51	6.17	9.66	10.63	0.28	1.01	0.18	11.98	13.30	0.19	1.10
6GS1H	37.92	8.12	8.50	5.75	18.97	0.56	1.14	0.25	6.85	10.04	0.24	1.58
7GS1H	44.38	4.20	11.52	3.88	14.70	1.95	3.72	0.23	7.92	4.41	1.25	1.67

岩矿石稀土元素分析结果列于表2中<sup>①</sup>。从表中可见稀土总量  $\sum REE = 95.76 \times 10^{-6} \sim 310.92 \times 10^{-6}$ , 变化较大, 岩体中心部位稀土总量明显偏大。岩体中心部分样品稀土总量  $\sum REE = 310.92 \times 10^{-6}$ ,  $\sum REE / \sum HREE = 4.7$ ,  $(La/Yb)N = 28.91$ , 轻重稀土分馏明显,  $\delta Eu = 1.24$ , 具正铕异常。岩体边部样品稀土总量  $\sum REE = 95.77 \times 10^{-6} \sim 122.2 \times 10^{-6}$ , 平均为  $109 \times 10^{-6}$ ,  $\sum REE / \sum HREE = 3.6 \sim 4.0$ ,  $(La/Yb)N = 10.0 \sim 23.1$ , 平均为 16.6, 轻重稀土分馏明显, 较中心部分为低。该岩体稀土配分形式表现为明显的右倾曲线(图3)。

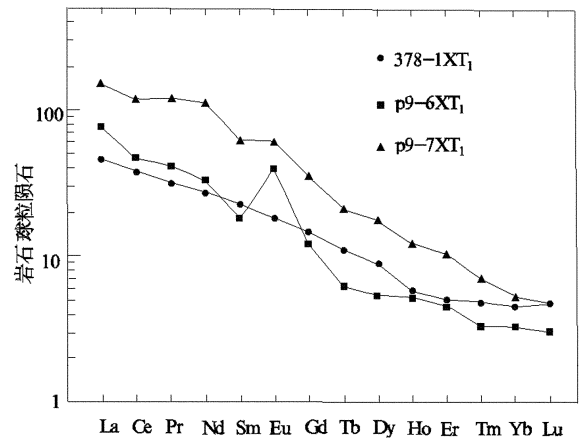


图3 辉石角闪石岩体稀土配分曲线图

表2 含钛磁铁矿辉石角闪石岩体稀土元素含量

元素	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
1XT1	15.00	32.9	4.06	17.1	4.57	1.37	4.06	0.55	3.01	0.45	1.15
6XT1	25.0	40.5	5.32	20.4	3.67	3.04	3.29	0.31	1.87	0.41	1.04
7XT1	50.6	103.0	15.7	70.6	12.6	4.68	9.81	1.06	5.99	0.94	2.34
元素	Tm	Yb	Lu	Y	$\sum REE$	LREE	LREE/HREE	$\delta Eu$	La/Yb	La/Sm	Gd/Yb
1XT1	0.17	1.01	0.17	10	95.77	75	3.61	0.95	10.01	2.06	3.24
6XT1	0.12	0.73	0.10	16	122.19	97.93	4.04	2.62	23.09	4.28	3.64
7XT1	0.25	1.18	0.16	32	310.91	257.18	4.79	1.24	28.91	2.53	6.71

对光片中的钛铁矿和矿石中挑选出的单矿物钛铁矿进行电子探针分析, 由山东省地质科学实验研究院分析, 分析仪器为 JXA-8800M, 硫化物测试条件: 20 kv 加速电压,  $1 \times 10^{-8}$  A 束流。其结果列于表3。钛铁矿化学式为  $FeTiO_3$ , 其  $TiO_2$  的理论含量为 52.66%,  $FeO$  的理论含量为 47.34%, 表3中 T1—T7 号样品与钛铁矿的理论化学成分基本一致, 应确定为钛铁矿。但 T12, T13 号样  $TiO_2$  含量高, 可能为锐钛矿或金红石。

### 4.3 矿石质量

根据化学分析和组合样品分析结果, 矿石中主要有用组分为  $TiO_2$ , 共生有用组分为 Fe, 伴生有用组分为 Au,  $V_2O_5$  和 Cu。  $TiO_2$  达到工业要求, Fe 可以综合利用,  $V_2O_5$ , Au, Cu 可以综合回收。

① 长春地质学院, 1:5 万东莞等 8 幅区域地质调查报告, 1995 年。

表3 常庄钛铁矿区钛铁矿电子探针分析(%)

编号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Σ总和
光片1-T1	0.149	51.554	0.000	46.692	1.094	0.000	0.227	0.243	0.040	0.000	99.998
光片1-T2	1.598	49.210	0.429	46.122	1.162	0.373	0.759	0.345	0.000	0.000	99.999
光片1-T3	0.115	50.113	0.192	48.325	1.185	0.025	0.016	0.027	0.000	0.000	99.998
光片2-T4	0.133	50.574	0.000	47.937	1.092	0.149	0.105	0.009	0.000	0.000	99.997
光片2-T5	0.073	50.314	0.000	48.446	1.036	0.000	0.014	0.115	0.000	0.000	99.997
光片2-T6	0.102	50.889	0.023	47.767	0.902	0.109	0.031	0.073	0.000	0.101	99.997
光片2-T7	0.210	49.801	0.020	48.677	0.972	0.032	0.032	0.191	0.000	0.062	99.997
光片3-T12	0.149	65.128	0.001	33.651	0.670	0.083	0.048	0.213	0.056	0.000	100.000
光片3-T13	0.198	99.239	0.001	0.197	0.000	0.128	0.137	0.067	0.000	0.033	100.000

#### 4.3.1 TiO<sub>2</sub> 含量及变化

TiO<sub>2</sub> 为矿石的主要有用组分,其含量的多少是衡量矿石质量的重要指标。TiO<sub>2</sub> 含量 5.06% ~ 20.28%,平均 8.85% (表4)。品位沿矿体走向有一定变化,品位变化系数为 104%,变化较稳定。其中 02 线平均含量最高达 9.25%,其余各线平均含量均大于 8.00%,矿体中部含量较高。

表4 TiO<sub>2</sub> 含量变化统计(%)

勘查线号	最高	最低	平均
06	8.99	6.06	7.31
04	20.28	5.05	9.14
02	16.29	5.67	9.25
00	12.50	5.10	9.02
05	13.07	5.06	8.34
07	18.18	5.23	9.02

结合勘查成果,TiO<sub>2</sub> 含量情况具以下规律:

(1)从矿体边部至矿体中心部位,TiO<sub>2</sub> 含量明显增高,据此可分为相对贫钛区和富钛区。

(2)矿体厚度与 TiO<sub>2</sub> 含量成正相关。沿矿体走向,厚度较大的部位 TiO<sub>2</sub> 含量较高,变薄和厚度小的部位 TiO<sub>2</sub> 含量较低。尽管沿矿体走向有一定变化,但总体变化较小。

(3)TiO<sub>2</sub> 地表含量相对较低,沿矿体倾向深部略有增高,特别是该矿体 04 线深部增高明显,最高达 20.28%;在 07 线深部增高明显,达 18.18%。

#### 4.3.2 TFe 含量及变化

TFe 是矿石中主要的伴生有用组分,可以综合利用。TFe 含量 13.10% ~ 39.54%,平均 19.60%,

变化系数为 102%,品位变化较均匀。TFe 含量在各勘查线有一定变化,其中 04 线含量最高,最高 39.54%,最低 15.71%,平均 20.99%。06 线最低,平均值为 15.30%,其他各线含量变化在 18.67% ~ 19.47% 之间,TFe 的含量与 TiO<sub>2</sub> 含量呈正消长关系。各矿体不同勘查线 TFe 含量变化情况见表 5。

#### 4.3.3 其他有用组分含量及变化

组合分析结果表明 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量一般在 0.06% ~ 0.21%,最高为 0.40%,平均 0.12%,达到伴生矿产品位要求。矿石中 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的含量一般在 0.14% ~ 0.44%,平均 0.27%;S 含量一般在 0.15% ~ 0.63%,平均 0.3%,对矿床开采无影响。

表5 TFe 含量变化统计(%)

勘查线号	最高	最低	平均
06	17.72	13.10	15.30
04	39.54	15.71	20.99
02	29.16	15.16	19.47
00	24.62	15.11	19.23
03	20.51	17.72	18.67
05	28.69	15.24	18.68
07	36.95	14.30	19.42

## 5 矿床成因探讨与开发前景

### 5.1 矿床成因与形成时代

#### 5.1.1 矿床成因

常庄钛铁矿矿床是一个含钛铁矿和磁铁矿较高的辉石角闪石岩岩体,与已报道的莒县棋山钛铁矿<sup>[3]</sup>、莒县天宝钛铁矿<sup>[7]</sup>和沂水县下儒林钛铁矿<sup>[8]</sup>

矿床地质特征具有相似性,与河北承德大庙黑山钽钛磁铁矿床亦基本相似<sup>[9]</sup>,其规模较大,形态简单,矿化均匀,其矿床成因均应为岩浆结晶分异矿床。

根据区域资料综合分析,该岩体物质来源于上地幔,属幔源分异型侵入岩类,由于岩浆结晶分异作用,使钛铁矿等成矿物质与造岩矿物同时从岩浆熔融体中结晶出来,在地壳内应力或构造挤压力的作用下,沿深大断裂顶蚀上侵到达地壳浅部,在NE向、近EW向张扭性空间中定位,形成含钛磁铁矿辉石角闪石岩岩体(即矿体)。矿床成因应为岩浆早期分异型钛铁矿床。

### 5.1.2 形成时代

鲁西地区该类岩体分布较多,原长春地质学院在1995年进行的1:5万东莞等8幅区调联测中,在沂水常庄角闪石岩体中,测得角闪石单矿物K-Ar年龄为(1965±80)Ma<sup>①</sup>,山东省第七地质矿产勘查院测得2037 Ma的年龄<sup>[10]</sup>,表明其时代为古元古代。

## 5.2 开发前景

沂水常庄钛铁矿矿体规模较大,形态简单,矿体大部裸露地表,矿区水文地质、工程地质条件简单,有利于开发利用。目前,钛铁矿的主要用途是将钛铁精矿用电炉熔炼法制成酸溶性高钛渣,然后用于硫酸法钛白生产<sup>[11,12]</sup>,它具有环保和经济的适宜性,也是我国钛白生产的主要方法<sup>[1]</sup>。钛铁矿的另一个用途是将钛铁精矿经过富集处理加工成高钛渣或人造金红石之后,采用沸腾氯化或熔盐氯化法制取TiCl<sub>4</sub><sup>[13-15]</sup>,生产海绵钛也是钛铁矿的用途之一<sup>[16-19]</sup>。因此钛铁矿的富集在矿物加工和提取冶金领域方面受到了极大的重视<sup>[20]</sup>。沂水常庄矿床主要有有益组分TiO<sub>2</sub>、伴生有益组分均可利用,经济价值较高。矿体可露天开采,开采技术条件简单,采矿成本低廉,可直接出售矿石或选矿后出售精矿,具可观的经济效益和社会效益。

## 6 结语

(1)沂水县常庄钛铁矿矿床产于中细粒含钛磁铁矿辉石角闪石岩中,属钛磁铁矿超基性型成矿系列,该岩体既是成矿母岩又是赋矿围岩。

(2)常庄钛铁矿矿体长1800 m,平均宽75 m,控制斜深344 m,平均品位TiO<sub>2</sub> 8.85%,品位变化系

数为104%;TFe+TiO<sub>2</sub>平均品位28.24%,品位变化系数为102%。属品位变化较不均匀的矿体。

(3)单矿物电子探针分析结果表明,常庄钛铁矿中TiO<sub>2</sub>含量为49.21%~51.55%,FeO含量为46.12%~48.68%,与钛铁矿的理论化学成分基本一致,应确定为钛铁矿。

(4)常庄钛铁矿矿床具矿体规模大,形态简单,易于开采之特点。通过对矿床地质特征的研究,认为该矿床属基性岩浆分异型钛铁矿床,其成矿时代为古元古代。

## 参考文献:

- [1] 孔庆友,张天祯,于学峰,等. 山东矿床[M]. 济南:山东科学技术出版社,2006:429-433.
- [2] 高莲凤,李文平,等. 山东近海砂矿资源分布特征及成因[J]. 太原理工大学学报,2007,38(4):348-351.
- [3] 李洪奎,于学峰,杨永波. 山东莒县棋山钛铁矿地质特征及成因探讨[J]. 地质学报,2010,84(7):725-761.
- [4] 李洪奎,耿科,糕传源,等. 山东省大地构造相划分初步方案[J]. 山东国土资源,2010,26(6):1-6.
- [5] 沈其韩,沈昆. 山东沂水杂岩的组成与地质演化[M]. 北京:地质出版社,2000,103-108.
- [6] 李洪奎,杨峰杰,牛树银,等. 山东龙泉站金矿区稳定同位素特征及其地质意义[J]. 地质学报,2007,81(5):635-639.
- [7] 张连峰,张增奇,刘鹏瑞. 沂水县天宝钛铁矿地质特征及矿床成因探讨[J]. 山东国土资源,2006,22(2):45-47.
- [8] 刘安同,李景波. 山东沂水县下儒林钛铁矿矿床地质特征[J]. 山东国土资源,2007,23(1):49-51.
- [9] 孙静,杜维河,王德叫,等. 河北承德大庙黑山钽钛磁铁矿床地质特征与成因探讨[J]. 地质学报,2009,83(9):1344-1362.
- [10] 宋明春,王沛成. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社,2003:68.
- [11] 张强,张伟. 浅谈立足我国钛矿资源生产钛白粉的工艺[J]. 钛合金,1998,(3):45.
- [12] Jablonski M. Kinetic model for the reaction of ilmenite with sulphuric acid. [J]. Therm Anal Calorimetry, 2000, 65(2): 583.
- [13] Dooley G I. Titanium production, ilmenite vs rutile. [J]. J Met, 1995, 27(3): 8.
- [14] Olanipekun E. Kinetic study of the leaching of a Nigerian ilmenite ore by hydrochloric acid[J]. Hydrometallurgy, 1999, 53(1): 1.
- [15] Girgin I, Turker L. Hydrochloric acid leaching of ilmenite - effect of alcohol species[J]. Bulletin and Proceedings - Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1986, 291(5): 61.

① 长春地质学院,1:5万东莞等8幅区域地质调查报告,1995年。

- [16] 胡克俊. 国外钛白工业发展现状[J]. 钢铁钒钛, 1996, 17(2): 58.
- [17] 孙洪志, 丁朝模, 周廉. 海绵钛生产现状及技术开发[J]. 有色金属, 1999, 51(1): 92.
- [18] Petrun'ko A N, Galitsky N V, Pampushko N A. Improve - ment of magnesium - thermal methods of producing titanium sponge from ilmenite[J]. Proceedings of the 4th International Conference on Titanium, 1980, (3): 1951.
- [19] Paul A. Titanium Alloy Development[J]. Adv Mater Proc, 1996, (10): 35.
- [20] 邱冠周, 郭宇峰. 钛铁矿富集方法评述[J]. 矿产综合利用, 1998, 10(5): 29 - 33.

## Study on Geological Characteristics and Origin of Changzhuang Ilmenite Deposit in Yishui County

LI Hongkui, TIAN Xiulin, WANG Yuelin, ZHANG Yubo, LIANG Taitao, LIU Jimei

**Abstract:** Changzhuang ilmenite deposits in Yishui county often occurred in fine - grained titanium bearing magnetite pyroxene hornblende rock. This rock is not only ore - forming country rocks, but also ore - bearing rocks. The length of ore body is 800m, the average width is 75m, controlling oblique depth is 344m, average grade of  $TiO_2$  is 8.85%, quality coefficient of variation is 104%, average grade of  $TFe + TiO_2$  is 28.24%, and coefficient of variation grade is 102%. It is a deposit with uneven ore grade changes. The deposit has the characteristics of large scale ore bodies, simple form and easy exploitation. Through study on geological characteristics of this deposit, it is regarded that the deposit is a basic magmatic differentiation ilmenite deposit. It was formed in Paleoproterozoic.

**Key words:** ilmenite deposit; geological characteristics; grade; origin of deposit; Changzhuang in Yishui county; Shandong province