文章编号：1004-4051(2023)S2-0114-04 DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20230642

山东昌乐卧虎山玄武岩矿体地质特征及矿石质量分析

李建委[1]，刘永昌[1]，秦荣毅[2]，季志刚[1]，郑岩岩[1]，刘 云[1]
（1. 中国冶金地质总局山东正元地质勘查院，山东 济南 250101；
2. 中国冶金地质总局青岛地质勘查院，山东 潍坊 261021）

摘 要： 昌乐卧虎山玄武岩矿床产出于新生代临朐群尧山组，岩性以橄榄玄武岩为主，是生产建筑用石料的优质原料。在收集分析以往区域地质勘查资料的基础上，通过在昌乐卧虎山开展的钻探、岩矿测试等多种工作手段，对卧虎山玄武岩矿的矿体特征、矿石质量及开采技术条件进行了分析。卧虎山玄武岩满足现行建筑石料类勘查规范中Ⅰ类标准，属于以环境地质问题为主的开采技术条件中等的矿床。

关键词： 玄武岩；矿体特征；矿石质量；昌乐；卧虎山
中图分类号： TD167; P584 **文献标识码：** A

Analysis on ore-body characteristics and ore quality of Wohushan basalt in Changle, Shandong Province

LI Jianwei[1], LIU Yongchang[1], QIN Rongyi[2], JI Zhigang[1], ZHENG Yanyan[1], LIU Yun[1]
(1. *Shandong Zhengyuan Geological Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Jinan* 250101, *China*;
2. *Qingdao Geological Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Weifang* 261021, *China*)

Abstract: The Wohushan basalt in Changle is produced in Yaoshan Formation of Linqu Group in Cenozoic Era, lithology is mainly olivine basalts, it is a high quality raw material for the production of building stone. On the basis of collecting and analyzing the previous regional geological exploration data, the ore-body characteristics, ore quality and mining technical conditions of the Wohushan basalt mine in Changle are analyzed by means of drilling and rock testing. The Wohushan basalt meets the Class I standard in the current building stone exploration code, and belongs to the ore deposit with medium mining technical conditions mainly due to environmental geological problems.

Keywords: basalt; ore-body characteristics; ore quality; Changle; Wohushan

0 引 言

玄武岩属基性火山岩，因其具备质地坚硬、抗压耐磨、耐酸抗腐蚀等特性，目前已被广泛应用于建材、冶金等行业，随着技术发展，可以预见玄武岩将具有更广阔的应用前景和市场需求[1-3]。

山东昌乐地区玄武岩分布广泛，主要为新生代临朐群地层，自下而上分为牛山组、山旺组和尧山组，其岩性主要以橄榄玄武岩、碧玄岩和橄榄拉斑玄武岩为主，常夹有薄层状玄武质火山角砾岩和正常沉积的砂砾岩、黏土岩等[4-5]。卧虎山玄武岩矿位于昌

收稿日期：2023-09-06 责任编辑：聂虹
第一作者简介：李建委(1991—)，男，硕士，工程师，主要从事地质勘查及找矿研究工作，E-mail: 913704807@qq.com。
引用格式：李建委，刘永昌，秦荣毅，等. 山东昌乐卧虎山玄武岩矿体地质特征及矿石质量分析[J]. 中国矿业，2023，32(S2)：114-117.
LI Jianwei, LIU Yongchang, QIN Rongyi, et al. Analysis on ore-body characteristics and ore quality of Wohushan basalt in Changle, Shandong Province[J]. China Mining Magazine, 2023, 32(S2): 114-117.

乐县乔官镇以东，由三个火山机构组成，分为东山、中山和西山，地表覆盖层为牛山组气孔状玄武岩和杏仁状玄武岩的岩石风化剥蚀的产物，覆盖层以下主要为尧山组溢流相橄榄玄武岩。山体西侧有一大型采坑（图 1），山上多见玄武岩露头（图 2）。

图 1　卧虎山西山采坑

Fig. 1　The mining pit on the western mountain of Wohushan

图 2　地表玄武岩露头

Fig. 2　The basalt outcrop on the surface

1　地质背景

研究区隶属于华北地层大区，晋冀鲁豫地层区，属鲁西地层分区的潍坊-临沂地层小区[6-8]。区域地层主要为新近纪临朐群地层，临朐群发育较完整，不整合于古近纪五图群之上。各地层岩性特征如下所述。

五图群朱壁店组（E_2zb）：该组下部为灰红色厚-巨厚层复成分砾岩、含砾粗粒岩屑长石砂岩夹中细粒岩屑长石砂岩、粉砂质泥岩，含钙质结核；中部为灰红色含砾粗粒钙质长石岩屑砂岩、钙质细砂岩夹灰绿色钙质泥岩及少量泥灰岩；上部为灰红色粉砂质泥岩或粉砂岩夹复成分砾岩、砂砾岩及中细粒长石岩屑砂岩；顶部为紫红色粉砂质泥岩夹中细粒岩屑长石砂岩及含砾中粗粒长石岩屑砂岩。

临朐群牛山组（N_1n）：以火山喷发玄武岩为主的熔岩建造夹喷发间歇期的正常沉积岩。自下而上分为三段：蚀变玄武岩夹角砾熔岩-蚀变玄武岩夹气孔状玄武岩、灰黑色橄榄玄武岩、灰褐色气孔杏仁状玄武岩夹灰黑色橄榄玄武岩。第一段的顶部和底部一般都有一层灰白色砂岩、砂砾岩或棕红色黏土岩等沉积层。

临朐群山旺组（N_1s）：分布范围很小，大多发育砾岩层、砂砾层，局部地区有黏土岩出露。

临朐群尧山组（Ny）：是卧虎山玄武岩主要赋存层位，主要为灰黑色厚层致密橄榄玄武岩，厚层角砾状橄榄玄武岩，呈水平状或近水平状产出。该期玄武岩，风化面为土黄色，块状构造，结构致密，常含有大量的橄榄岩包体和尖晶石、歪长石等矿物捕虏晶。

2　矿体特征

卧虎山玄武岩矿体连续稳定，内部结构简单，适宜露天开采。地表具有薄覆盖层，厚度一般 0.5～3 m 之间，最厚处可能大于 10 m。矿体整体东西长 1 100 m，南北宽 480 m，钻孔控制矿层厚度 1～73 m，由 3 个火山机构组成，火山机构形成的山脊处厚度大，向南北两侧厚度随地势降低变小，向南侧产状较缓，为 16°～25°，向北侧产状较陡，为 30°～50°。

3　矿石质量

3.1　矿石成分

本区矿石主要为橄榄玄武岩、蚀变橄榄玄武岩。通过对区内玄武岩取样鉴定（图 3），岩石中斑晶主要为橄榄石和单斜辉石，橄榄石半自形粒状，大小一般 0.3～1 mm，少量 1～2 mm；单斜辉石半自形柱状，大小一般 0.3～0.5 mm，呈星散状分布，大部分表面新鲜干净，局部被包林皂石及沸石交代。基质主要成分为斜长石、单斜辉石、橄榄石及少量玻璃质组成，斜长石半自形板状，大小一般 0.1～0.2 mm，部分 0.02～0.1 mm，杂乱分布，局部被沸石交代，可见聚片双晶、卡钠复合双晶；单斜辉石半自形柱状，大小一般 0.05～0.2 mm，少部分 0.02～0.05 mm，填隙状分布斜长石假象，构成间粒结构，表面较新鲜干净；橄榄石半自形粒状，大小一般 0.1～0.2 mm，部分 0.05～0.1 mm；玻璃质脱玻为束状、羽毛状及雏晶，星散状分布，局部被沸石交代。副矿物为磁铁矿、钛铁矿及磷灰石等。

区内玄武岩样品的多元素分析结果显示（表 1），本区玄武岩矿石中化学成分含量为：SiO_2 平均 44.74%，Al_2O_3 平均 12.28%，TFe_2O_3 平均 13.57%，CaO 平均 8.63%，MgO 平均 12.11%，符合区域上尧山组玄武岩化学成分参数[9-10]。

3.2　矿石质量

根据矿石样品测试结果，卧虎山玄武岩矿石饱和抗压强度 81.50～115.67 MPa，平均 98.22 MPa；矿石块体密度 2.83～2.94 t/m^3，平均 2.91 t/m^3；矿石吸水率

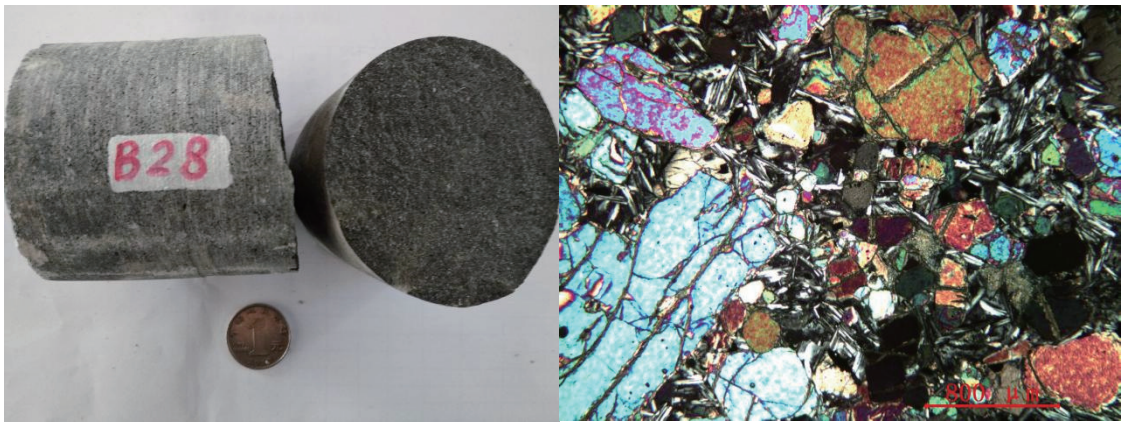

图 3 玄武岩标本及镜下特征

Fig. 3 Basalt specimens and microscopic features

表 1 临朐群尧山组玄武岩化学成分及参数表

Table 1 Table of chemical composition and parameters of basalt in Yaoshan Formation of Linqu Group

单位: %

样品编号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	TFe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI
DY1	46.35	2.03	12.00	13.90	9.35	8.99	2.99	1.58	0.48	1.97
DY2	42.44	2.50	14.06	12.14	10.7	9.44	3.53	2.21	0.70	2.11
DY3	45.42	1.71	10.77	14.67	16.28	7.46	2.05	1.12	0.30	0.08
S1	43.39	2.85	13.52	12.59	9.7	9.26	4.63	0.89	0.70	2.30
S2	44.54	3.10	14.18	12.73	7.67	9.12	4.31	0.68	0.65	2.41
S3	43.28	2.80	14.29	12.02	9.67	8.89	3.89	1.61	0.70	2.33
S4	46.18	2.60	15.61	11.27	6.87	9.20	3.13	2.30	0.60	1.62
S5	45.5	2.25	13.46	12.35	11.91	8.16	2.6	1.45	0.45	1.47
S6	43.92	2.47	13.72	12.04	11.79	9.26	2.46	1.79	0.59	2.50

注: S1～S6 为收集数据。

0.24%～0.90%, 平均 0.50%; 矿石坚固性 1.26%～1.62%, 平均 1.44%。矿石压碎值 4.00%～6.70%, 平均 5.35%; 矿石硫化物及硫酸盐含量 0.02%～0.08%, 平均 0.05%; 矿石放射性 0.1～0.3 Bq/kg; 快速碱硅酸反应试验结论为在大多数情况下可以判定为无潜在碱-硅酸反应危害。各项指标均达到 I 类标准(表 2)。

4 矿床开采技术条件

研究区主要含水层为基岩风化裂隙含水层, 该含水层富水性弱, 补给条件差。矿坑充水主要为大气降水, 区内地表水自然排泄条件较好, 降水可随地势自然排泄, 属裂隙充水为主的矿床, 水文地质条件简单。

矿体露天可开采无顶板, 但矿体具有覆盖层, 通常为玄武岩风化剥蚀的产物; 底板为同层位玄武岩, 厚层、块状构造, 致密坚硬。岩石抗压强度大, 属稳定底板。矿山开采过程中, 开采产生的边坡坡角不大于 60°, 边坡形态较稳定。矿区工程地质勘探类型属简单型。

表 2 测试结果与规范标准对比表

Table 2 Comparison table between test results and normative standards

试验项目	规范标准			测试结果		备注
	I 类	Ⅱ 类	Ⅲ 类	范围	平均值	
抗压强度(水饱和)/MPa		≥80		81.50～115.67	98.22	各项指标达到 I 类标准
坚固性/%	≤5	≤8	≤12	1.26～1.62	1.44	
压碎指标/%	≤10	≤20	≤30	4.00～6.70	5.35	
硫酸盐及硫化物含量/%	≤0.5	≤1.0	≤1.0	0.02～0.08	0.05	
放射性/(Bq/kg)		≤1		0.1～0.3	0.13	

注: 参考《矿产地质勘查规范 建筑用石料类》(DZ/T 0341—2020)的一般要求。

研究区地处丘陵地带，地势起伏较大，残坡积物仅局部存在且较薄。地势整体南高北低，坡度变化较大，但地表植被较发育，未发生过滑坡、崩塌或泥石流等地质灾害。自然条件下环境地质问题较少，地质环境质量好，未来矿山开采将改变区内环境地质条件，因此确定环境地质条件中等。

综上所述，研究区是以环境地质问题为主的开采技术条件中等的矿床。

5　结　语

卧虎山玄武岩矿属临朐-昌乐火山岩盆地新生代尧山组玄武岩，岩性以橄榄玄武岩、蚀变橄榄玄武岩为主。区内矿石质量较好，满足现行建筑石料类勘查规范中Ⅰ类标准，有良好的物理性能，可开发为多种用途的建筑材料。矿床水文地质条件简单，工程地质条件简单，环境地质质量中等，属于以环境地质问题为主的开采技术条件中等的矿床。该区玄武岩矿石具有较好的经济价值，有广阔的应用前景。

参考文献（References）：

[1] 陈勇. 山西左权县玄武岩开发利用探讨[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2021(4): 22-24,28.
CHEN Yong. Development and utilization of basalt in the Zuoquan County, Shanxi Province[J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2021(4): 22-24,28.

[2] 隆云. 新疆阿克苏沙井子一带玄武岩矿床地质特征[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2022(2): 22-24,55.
LONG Yun. Geological characteristics of basalt deposit in Shajingzi Area, Aksu, Xinjiang[J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2022(2): 22-24,55.

[3] 丁心科, 童家琨, 王树槐, 等. 江苏金坛花山建筑用玄武岩矿地质特征及开采技术条件[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2020(1): 47-50.
DING Xinke, TONG Jiakun, WANG Shuhuai, et al. Geological characteristics and mining technical conditions of Huashan basalt rocks for building in Jintan, Jiangsu Province[J]. China Non-metallic Minerals Industry, 2020(1): 47-50.

[4] 张春池, 王金辉, 任天龙, 等. 山东临朐-昌乐地区临朐群玄武岩基本特征及成因[J]. 西部探矿工程, 2007, 19(12): 101-104.
ZHANG Chunchi, WANG Jinhui, REN Tianlong, et al. Basic characteristic and origin of Linqu-Group basalt in Linqu-Changli District Shandong Province[J]. West-China Exploration Engineering, 2007, 19(12): 101-104.

[5] 张春池, 杨恩秀, 李秀章, 等. 山东临朐-昌乐地区新生代火山岩研究[J]. 上海地质, 2010, 31(S1): 137-139, 156.
ZHANG Chunchi, YANG Enxiu, LI Xiuzhang, et al. Cenozoic volcanic study in Linqu-Changle District of Shandong Province[J]. Shanghai Geology, 2010, 31(S1): 137-139, 156.

[6] 王强, 王岳林, 丁喜莲. 沂沭断裂带西缘昌乐县中部地区地热成热地质条件分析[J]. 山东国土资源, 2013(10): 36-41, 45.
WANG Qiang, WANG Yuelin, DING Xilian. Analysis on geological conditions of geothermal in central region of Changle County in West Margin of Yishu Fault Belt[J]. Shandong Land and Resources, 2013(10): 36-41, 45.

[7] 宋明春, 徐军祥, 王沛成. 山东省大地构造格局和地质构造演化[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 121.

[8] 徐峥, 郑永飞. 中国东部新生代玄武岩记录古太平洋俯冲带壳幔相互作用[J]. 地球科学, 2019, 44(12): 4135-4143.
XU Zheng, ZHENG Yongfei. Crust-mantle interaction in the Paleo-Pacific Subduction Zone: geochemical evidence from Cenozoic Continental Basalts in Eastern China[J]. Earth Science, 2019, 44(12): 4135-4143.

[9] 刘晓寒, 孔凡梅, 李旭平, 等. 山东昌乐新生代碱性玄武岩与地幔捕虏体中各类单斜辉石的地球化学特征及其意义[J]. 地球科学, 2019, 44(4): 1169-1185.
LIU Xiaohan, KONG Fanmei, LI Xuping, et al. Geochemical characteristics of clinopyroxenes from Cenozoic Alkalic Basalts and Mantle Xenoliths in Changle, Shandong Province and its significance[J]. Earth Science, 2019, 44(4): 1169-1185.

[10] 金隆裕. 郯庐断裂带中段新生代火山岩的岩石学和地球化学特征[J]. 岩石学报, 1989, 5(4): 45-57.
JIN Longyu. Petrologic and geochemical characteristics of cenozoic volcanic rocks in the middle segment of the Tancheng-Lujiang fault zone[J]. Acta Petrologica Sinica, 1989, 5(4): 45-57.