

doi: 10.12097/gbc.2023.08.025

鲁西龙宝山稀土矿重稀土矿体的发现及其勘查意义

尚振^{1,2}, 赵超^{3*}, 支成龙^{1,2*}, 安茂国^{1,2}, 张海东³, 韩宗瑞^{1,2}, 姜腾飞^{1,2}
SHANG Zhen^{1,2}, ZHAO Chao^{3*}, ZHI Chenglong^{1,2*}, AN Maoguo^{1,2}, ZHANG Haidong³,
HAN Zongrui^{1,2}, JIANG Tengfei^{1,2}

1. 山东鲁南地质工程勘察院(山东省地质矿产勘查开发局第二地质大队), 山东 济宁 272100;

2. 三稀矿产勘查与综合利用山东省工程研究中心, 山东 济宁 272100;

3. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054

1. Shandong Provincial Lunan Geology and Exploration Institute(Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources No.2 Geological Brigade), Jining 272100, Shandong, China;

2. Rare Mineral Exploration and Comprehensive Utilization Engineering Research Center of Shandong Province, Jining 272100, Shandong, China;

3. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China

Shang Z, Zhao C, Zhi C L, An M G, Zhang H D, Han Z R, Jiang T F. Discovery of heavy rare earth ore body in the Luxi Longbaoshan rare earth deposit and its exploration significance. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(2/3): 484–488

稀土在清洁能源、航空航天、国防军工等低碳高科技领域具有日益广泛的用途, 是各国争夺未来高科技领域战略制高点的关键性原材料(陈唯等, 2022)。当前, 中国现有稀土矿产资源中 90% 以上为轻稀土元素, 而应用前景更广、市场价格更高的重稀土资源储量相对较低(范宏瑞等, 2020)。华北克拉通中生代的大规模破坏诱发了强烈的岩浆、构造、热事件, 同时形成大量金属矿床(朱日祥等, 2012), 除举世闻名的胶东金矿外, 还孕育出中国第三大稀土基地——郯山(部分资料中称为微山)稀土矿(Wang et al., 2019)。近期, 在山东郯山稀土矿东北约 70 km 处的龙宝山地区, 稀土找矿勘查工作取得突破性进展, 本文对这一进展进行重点报道, 尤其是新发现的重稀土矿体, 为区域稀土找矿勘查提供重要参考, 并可能对国内重稀土资源供给产生重要影响。

1 区域及矿床地质特征

龙宝山地区位于华北克拉通东南缘, 郯庐断裂带以西, 隶属鲁西地块(图 1-a)。郯山—龙宝山地区出露地层主要为寒武系—奥陶系碳酸岩和碎屑岩, 以及石炭系—二叠系火山岩、第四系沉积物等。区内岩浆岩主要为新太古代傲徕山序列条花峪单元二长花岗岩及燕山晚期早白垩世碱性岩浆岩侵位形成的龙宝山杂岩体等。早白垩世碱性杂岩体主要为以龙宝山为中心的浅成碱性杂岩体, 侵位于寒武系中, 岩性以石英正长斑岩、闪长玢岩、霓辉正长斑岩、二长斑岩及正长闪长岩为主(周伟伟, 2014)。

龙宝山稀土矿出露地层主要为古生界寒武系长清群, 岩性以灰岩和石英砂岩为主。龙宝山矿床发育 3 组断裂构造(图 1-b), 其中 F1、F5、F6 为北西

收稿日期: 2023-08-22; 修订日期: 2023-11-29

资助项目: 国家自然科学基金项目《斑岩铜矿在变质改造期间金属活化迁移-富集机制研究——以多宝山为例》(批准号: 42002100)、山东省地质矿产勘查开发局项目《鲁西郯山—龙宝山稀土矿集区成矿机理研究》(编号: KY202220)和长安大学中央高校基本科研业务费《铜同位素揭示斑岩铜矿改造中金属元素行为》(编号: 300102273205)

作者简介: 尚振(1990-), 男, 工程师, 从事地质调查及矿产勘查工作。E-mail: shangxiaohuai@yeah.net

* 通信作者: 赵超(1990-), 男, 博士, 讲师, 硕士研究生导师, 从事斑岩型与碱性岩有关矿床成因研究。E-mail: chaozhao@chd.edu.cn;
支成龙(1989-), 硕士, 高级工程师, 从事地质调查及矿产勘查工作。E-mail: 13853768183@163.com

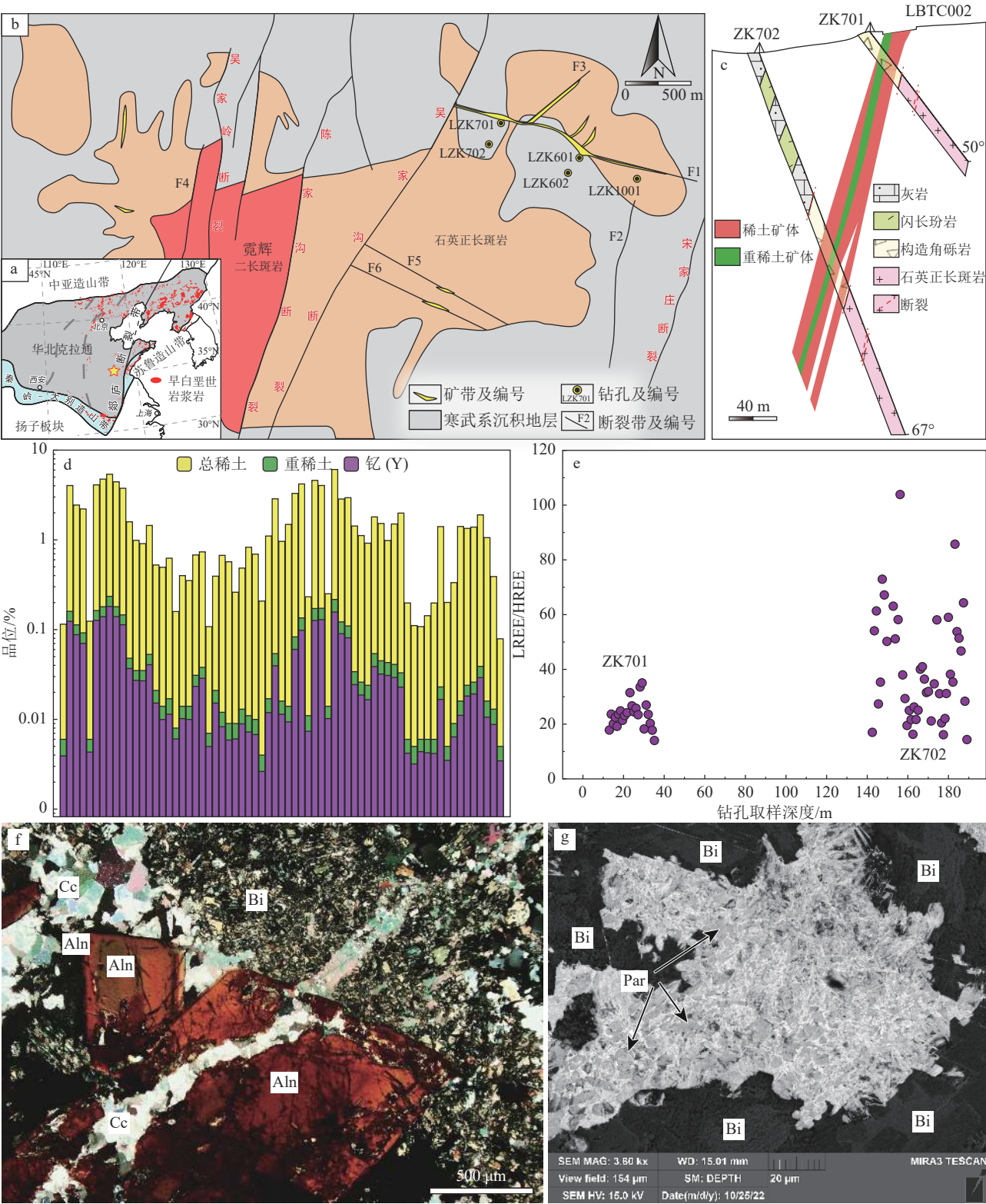


图 1 研究区区域地质图(a, b)、矿床剖面(c)、稀土品位(d, e)及代表性样品镜下特征(f, g)

Fig. 1 Regional geologic map of research area (a, b), geologic profile (c), grade histogram and plot of rare earth elements (d, e) and representative photomicrographs of Longbaoshan rear earth deposit (f, g)

Par—氟碳钙铈矿; Cc—方解石; Bi—黑云母; Aln—褐帘石

向, 吴家沟、吴家岭、陈家沟、宋家庄及 F2、F4 等断裂为北北东向, 该组断裂在区内广泛分布, 切割地层、中生代岩体及稀土矿体, 且具有多期活动特点; 北东向断裂以 F3 断裂为主, 断裂带内构造角砾岩、石英脉发育, 是龙宝山稀土矿最主要的赋矿构造。

龙宝山稀土矿侵入岩主要包括石英正长斑岩、闪长玢岩及霓辉二长斑岩, 其中霓辉二长斑岩和石英正长斑岩出露地表(图 1-b), 闪长玢岩在钻孔 ZK702 中可见(图 1-c)。其中石英正长斑岩为矿区最大的侵入体, 具有典型的斑状结构, 斑晶主要为碱性长石和少量石英, 石英正长斑岩被略晚期的霓辉二长斑岩体侵入, 霓辉二长斑岩主要分布在矿区中部, 侵位于吴家岭断裂和陈家沟断裂带之间, 可见霓辉石和碱性长石斑晶。闪长玢岩呈岩脉, 见于部分钻孔中, 整体呈黑灰色, 见碱性角闪石斑晶。空间上, 与稀土矿化密切接触的侵入体主要为石英正长斑岩和闪长玢岩(图 1-c)。

2 矿体特征

通过钻探验证, 龙宝山矿床目前共圈定 8 个稀土矿体(图 1-b)。其中 I 号矿体走向近南北, II 号、III 号、VII 号和 VIII 号矿体走向北西, IV 号、V 号、VI 号矿体走向北东向。I 号和 II 号矿体分布在霓辉二长斑岩西北部, 矿体赋存于石英正长斑岩中, 规模较小, 空间延伸十分有限; VII 号和 VIII 号矿体分别受到北西向 F5 和 F6 断裂控制, 赋存于石英正长斑岩中; 作为龙宝山稀土矿最主要的赋存矿体, III 号、IV 号、V 号和 VI 号矿体主要赋存在石英正长斑岩中, 其中 III 号矿体空间展布较复杂, 主矿体受北西向 F1 断裂控制, 赋存于寒武纪沉积地层中, 部分赋存于石英正长斑岩中, 少量矿体受北东向脆性断裂控制, 切穿北西向断裂及矿体, 该北东向矿体整体品位较低, 厚度较小, 通常呈灰黑色断层泥状矿体产出。

III 号矿体为龙宝山最具经济价值的矿体, 矿体主体赋存在一条北西西向的构造破碎带(F1)中, 破碎带穿过石英正长岩体和寒武纪沉积地层, 从平面形态看, 矿体总体呈现脉状或透镜状, 局部表现出尖灭再现、分支复合的特征(图 1-b)。通过钻孔和地表探槽工程验证, 确定矿体走向约 290°, 倾向 200°, 倾角 70°~85°, 矿体长约 780 m, 斜深 340 m(图 1-c)。矿体单样稀土元素氧化物总量(TREO)最高为 12.51%, 最低 0.50%, 平均品位 2.06%(表 1)。

值得重点关注的是, 在对 III 号矿体 7 号勘探线钻孔 LZK701 和 LZK702 岩心进行稀土元素含量分析时发现, III 号矿体不仅富集轻稀土元素, 部分样品重稀土元素也达到工业品位($Y_2O_3 \geq 0.05\%$)(图 1-d), 轻、重稀土元素比值变化表明, 深部矿体中部分样品轻稀土元素占比有所增加(图 1-e)。其中钻孔 LZK701 重稀土矿体 Y_2O_3 平均品位 0.1148%, 重稀土元素氧化物总量(THREO)平均品位 0.1285%; 钻孔 LZK702 重稀土矿体 Y_2O_3 平均品位 0.0860%, THREO 平均品位 0.1173%(表 1)。

3 矿石特征

龙宝山稀土矿石主要呈灰黑色, 具填隙结构、蚀变交代结构, 角砾和碎裂构造, 稀土元素主要分布在胶结物中。通过详细的镜下观察发现, 龙宝山主要稀土矿物为氟碳铈矿、氟碳钙铈矿、独居石、褐帘石及少量的钛硅铈矿、菱硼硅铈矿等(图 1-f、g), 其中轻稀土元素主要富集在氟碳铈矿和氟碳钙铈矿中, 重稀土元素则主要赋存于褐帘石中。这些稀土矿物组成 3 种类型矿石, 第一类主要含氟碳铈矿和氟碳钙铈矿, 常形成氟碳钙铈矿-氟碳铈矿-雌黄铁矿-黑云母-方解石-重晶石-萤石组合, 其中氟碳钙铈矿和氟碳铈矿常以充填并胶结黑云母、方解石、萤石等矿物的形式产出; 第二类主要含褐帘石, 常见褐帘石-方解石-黑云母-透辉石-石英-钾长石组合, 其中褐帘石具有较好的自形结构, 粒度较大, 镜下可见明显的环带特征(图 1-f); 第三类矿石矿物主要为独居石, 主要形成独居石-黑云母组合。

4 成因浅析及勘查意义

截至目前, 全球已探明的稀土矿床中超过 85% 与碳酸岩或/和碱性岩有关(毛景文等, 2022), 它们提供了全球几乎所有的轻稀土(Xie et al., 2019), 而重稀土主要来自中国华南离子吸附型矿床, 其供应了全球 90% 以上的重稀土资源, 然而由于离子吸附型矿床供应类型单一, 且开采方式(堆浸)环境问题突出, 因此导致重稀土资源供给风险日益增加。近年来, 研究发现一些与碱性岩-碱性花岗岩有关的稀土矿富集中—重稀土(Dostal, 2017; 范宏瑞等, 2020)。与富集轻稀土为主的典型碳酸岩型稀土矿相比, 碱性岩-碱性花岗岩有关的稀土矿床通常具有以下显著特征: ①矿化多与高分异碱性岩(如霞石正

表 1 龙宝山稀土矿部分钻孔稀土氧化物 (REO) 分析结果

Table 1 Rear earth oxide contents of samples from drill cores of Longbaoshan rare earth deposit

样品原号	取样位置/m	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	THREO/%	TREO/%
钻孔LZK701																		
LZK701-H37	13.0~13.95	360	533	45.4	132	13.8	2.76	5.54	1.08	6.24	1.28	3.65	0.53	3.83	0.53	39.2	0.006	0.115
LZK701-H38	13.95~14.95	11248	19498	1750	5342	560	135	171	32.5	153	28.9	74.1	9.67	60.2	6.68	1237	0.160	4.031
LZK701-H39	14.95~15.95	6515	11953	1065	3171	381	87.9	132	22.2	105	19.4	49.8	6.49	39.4	4.28	879	0.113	2.443
LZK701-H40	15.95~16.80	5969	10699	986	3015	341	80.7	106	19.7	93.4	17	42.9	5.58	32.7	3.53	703	0.092	2.211
LZK701-H3	16.80~17.50	339	585	55	172	18.8	3.93	7.23	1.29	6.87	1.33	3.55	0.52	3.73	0.53	43.2	0.006	0.124
LZK701-H4	17.50~18.50	11782	19926	1771	4993	555	133	184	32.6	156	28.8	74	9.8	58.3	6.39	1269	0.163	4.098
LZK701-H5	18.50~19.50	13445	23099	2050	6134	652	157	202	37.8	177	32.5	80.2	10.7	62.4	6.9	1394	0.180	4.754
LZK701-H6	19.50~20.50	14629	25848	2369	7404	811	194	270	49.9	238	43.4	109	13.9	80.7	8.33	1811	0.235	5.388
LZK701-H7	20.50~21.80	12609	21581	1926	5468	627	148	202	37.4	173	32.4	82.6	10.5	61.8	6.75	1397	0.180	4.436
LZK701-H8	21.80~23.15	10553	18530	1638	4589	532	126	155	30.8	144	25.9	67	8.47	49.7	5.4	1133	0.146	3.759
LZK701-H9	23.15~24.15	5004	7653	644	1816	190	44.3	57.3	10.2	50	9.29	21.7	2.75	15.8	1.84	369	0.048	1.589
LZK701-H10	24.15~25.15	3085	4728	396	1132	116	29.5	40.6	6.88	35.1	6.49	15.6	2.03	12.7	1.51	272	0.035	0.988
LZK701-H11	25.15~26.15	2868	4351	357	989	104	26.6	36.1	6.46	31.7	6.06	15.9	2.2	13.9	1.56	269	0.035	0.908
LZK701-H12	26.15~27.15	4619	6784	570	1699	179	45.3	60	10.3	51.3	9.46	23.4	3.18	19	2.08	407	0.053	1.448
LZK701-H13	27.15~28.15	1456	2558	234	674	78.3	17.4	30.9	4.4	21.4	4.02	10.3	1.47	10.6	1.4	152	0.021	0.525
LZK701-H14	28.15~29.15	1339	2452	229	681	69.9	13	17.2	3.32	16.1	3	8.16	1.36	11.4	1.72	99.7	0.014	0.495
LZK701-H15	29.15~30.15	1713	3131	287	827	86.6	15.8	23.9	4.21	19.9	3.72	10.1	1.69	13.1	1.98	114	0.017	0.625
LZK701-H16	30.15~31.15	417	750	71.8	220	26.9	5.83	10.8	1.7	8.93	1.71	4.72	0.69	4.58	0.59	60.5	0.008	0.159
LZK701-H17	31.15~32.15	1199	1924	168	488	53.2	10.5	15	2.96	15	2.8	7.66	1.21	8.97	1.25	102	0.014	0.400
LZK701-H18	32.15~33.15	1012	1669	153	467	52.5	10.7	18.3	3.03	15.4	2.92	7.92	1.16	8.6	1.16	100	0.014	0.352
LZK701-H19	33.15~34.15	1744	3242	312	989	115	24.3	48.2	6.92	33.2	6.1	15.6	2.17	13.9	1.71	233	0.031	0.679
LZK701-H20	34.15~35.20	1854	3479	335	1087	129	28.8	57.4	7.93	40.1	7.39	19.1	2.5	16.2	1.86	287	0.038	0.735
LZK701-H21	35.20~36.80	335	473	42	132	16.1	3.86	8.26	1.33	7.35	1.5	4.08	0.57	3.71	0.46	49.9	0.007	0.108
钻孔LZK702																		
LZK702-H24	142.50~143.50	959	1824	182	606	83.4	19.8	56.2	5.57	26.6	4.71	11.6	1.51	10.6	1.53	152	0.021	0.394
LZK702-H25	143.50~144.50	2170	3274	276	771	72.7	15.2	22.2	3.39	14.8	2.68	6.33	0.89	6.48	0.96	82.8	0.012	0.672
LZK702-H26	144.50~145.50	1732	2838	245	706	64.7	12.3	20	2.51	11.4	2.05	4.64	0.66	4.74	0.65	58.9	0.009	0.570
LZK702-H27	145.50~146.50	762	1257	114	331	35.2	7.63	15.8	2.2	10.8	2.01	5.18	0.7	5.03	0.71	60.6	0.009	0.261
LZK702-H28	146.50~147.40	1398	2330	208	658	73.9	15.4	31.3	3.94	18.7	3.35	7.87	1.05	6.95	0.89	89.2	0.013	0.485
LZK702-H29	147.40~148.40	2428	4108	371	1116	102	19.2	28.6	3.78	16.7	2.83	5.89	0.85	5.81	0.76	72.4	0.011	0.828
LZK702-H30	148.40~149.70	2211	3410	289	808	75.5	13.6	23.1	2.74	12.5	2.28	5.41	0.8	5.8	0.81	67.8	0.010	0.693
LZK702-H31	149.70~150.70	636	1025	90.7	257	26.5	5.19	4.33	1.04	4.82	0.89	2.15	0.33	2.54	0.36	26.3	0.004	0.208
LZK702-H32	152.80~153.80	3666	5408	444	1207	107	20.3	26.4	4.6	21.8	3.77	8.01	1.1	7.11	0.9	119	0.017	1.104
LZK702-H33	153.80~155.20	9155	13900	1176	3389	344	64.8	101	15.2	70.5	12.1	25.2	3.22	18.5	2.18	395	0.054	2.867
LZK702-H34	155.20~156.20	3111	4746	389	1062	106	20.2	30.8	4.65	20.8	3.61	7.95	1.04	6.85	0.87	114	0.016	0.962
LZK702-H35	156.20~157.45	5066	7306	573	1598	134	25.5	25.4	4.93	21.1	3.56	6.55	0.97	6.73	0.89	93.8	0.014	1.487
LZK702-H36	157.45~158.60	10575	15904	1321	3725	412	77.7	141	21.8	102	18.5	41.9	5.21	30.1	3.4	603	0.083	3.298
LZK702-H37	158.60~159.60	11955	20048	1826	5786	645	126	261	35.6	167	29.6	69.5	8.63	49.6	5.28	984	0.135	4.200
LZK702-H38	159.60~160.70	607	1090	109	340	43.1	9.4	18.7	2.64	12.8	2.42	6.22	0.88	6.29	0.82	73.7	0.011	0.232
LZK702-H39	160.70~161.60	12297	22212	2110	6398	786	152	339	46	212	37.3	85.8	10.1	57.2	5.85	1265	0.172	4.601
LZK702-H40	161.60~162.50	10655	19246	1813	5722	705	140	325	43.5	201	36	85	10.2	55.7	5.6	1294	0.173	4.034
LZK702-H41	162.50~163.05	583	1158	122	416	55.5	11.9	24.7	3.57	17.4	3.13	8.25	1.09	7.21	0.86	102	0.014	0.251
LZK702-H42	163.05~164.05	16445	29249	2758	8536	1038	203	447	62.5	282	48.6	110	13.1	71.4	7.1	1571	0.217	6.084
LZK702-H43	164.05~165.05	7476	13621	1286	4078	512	98.6	238	30.8	142	26.2	64.3	8.13	46.7	4.9	901	0.122	2.853
LZK702-H44	165.05~166.15	8213	13917	1332	4122	499	94.6	231	29	132	23.3	56.5	6.96	40.1	4.23	811	0.110	2.951
LZK702-H45	166.15~167.15	4404	6866	598	1751	191	35.5	82.1	9.4	44.4	7.48	16.9	2.2	13.7	1.74	244	0.034	1.427
LZK702-H46	167.15~168.15	3403	5392	478	1382	148	28.9	78.6	7.15	34.3	6.01	14	1.82	11.8	1.52	187	0.026	1.117
LZK702-H47	168.15~169.15	2767	4443	386	1150	127	25	57	6.92	32.1	5.71	13.5	1.76	11.7	1.76	166	0.024	0.919
LZK702-H48	169.15~170.15	5167	8559	785	2519	283	51.6	115	15.1	69.8	12	27.6	3.29	18.9	2.08	388	0.054	1.802
LZK702-H49	170.15~171.50	4293	7197	678	2205	255	48	107	13.6	61.6	10.7	24.2	2.93	16.7	1.89	320	0.045	1.523
LZK702-H50	171.50~173.00	2631	4648	441	1378	182	38.5	81.9	11.9	55.6	9.88	23.7	2.85	16.9	2.09	309	0.043	0.983

续表 1

样品原号	取样位置/m	La ₂ O ₃	CeO ₂	Pr ₆ O ₁₁	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₄ O ₇	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	THREO/%	TREO/%
LZK702-H51	173.00~174.30	4318	7241	668	2006	239	46	100	11.9	55	9.48	21.3	2.66	15.9	1.84	293	0.041	1.503
LZK702-H52	174.30~175.60	6208	9630	852	2477	246	44.1	92.5	10.1	45.8	7.88	16.3	2.12	12.8	1.5	229	0.033	1.988
LZK702-H53	175.60~176.60	532	943	93.6	299	34.6	7.19	10.7	1.62	7.7	1.38	3.1	0.43	2.74	0.38	42	0.006	0.198
LZK702-H54	176.60~177.50	242	512	58.6	209	24.8	5.78	8.87	1.25	6.09	1.05	2.45	0.33	2.4	0.33	31.9	0.005	0.111
LZK702-H55	177.50~178.30	199	491	61.4	217	27.2	6.74	11.4	1.6	7.65	1.4	3.43	0.47	3.31	0.47	43.7	0.006	0.108
LZK702-H56	178.30~178.95	326	675	75.4	247	28.7	6.47	10	1.54	7.37	1.32	3.1	0.45	3.12	0.43	42.4	0.006	0.143
LZK702-H57	178.95~179.95	569	933	89.3	280	31.2	6.88	9.03	1.56	7.38	1.31	2.86	0.42	2.84	0.38	41.7	0.006	0.198
LZK702-H58	179.95~180.95	4469	6807	575	1721	166	30.2	64.9	6.37	29.4	5.2	10.9	1.44	8.71	1	167	0.023	1.406
LZK702-H59	180.95~182.20	572	959	92.8	287	31	6.57	7.49	1.36	6.45	1.13	2.41	0.35	2.42	0.34	35	0.005	0.201
LZK702-H60	182.20~183.20	969	1620	149	444	49.3	10.2	10.2	2.37	10.8	1.92	4.34	0.58	3.7	0.46	63.7	0.009	0.334
LZK702-H61	183.20~184.20	4582	6898	578	1659	149	25.8	63	4.99	21.3	3.88	7.88	1.05	6.47	0.78	111	0.016	1.411
LZK702-H62	184.20~185.20	4249	6497	552	1615	160	27	89.7	6.31	28.2	5.14	11	1.45	9.03	1.2	182	0.024	1.343
LZK702-H63	185.20~186.20	4372	6661	582	1749	168	29.3	65.2	6.5	30.7	5.51	11.1	1.57	9.48	1.15	192	0.026	1.388
LZK702-H64	186.20~187.40	5770	9215	799	2436	245	41.7	87.5	10.3	45.7	8.35	17.9	2.39	14	1.51	292	0.039	1.899
LZK702-H65	187.40~188.10	3653	5111	410	1116	104	18.6	21.9	4.03	18.4	3.41	8.33	1.42	12.1	1.8	106	0.016	1.059
LZK702-H66	188.10~189.10	1249	1844	154	440	49.8	10.5	25.9	2.9	14.2	2.75	7.11	1.1	8.28	1.16	87.7	0.013	0.390
LZK702-H67	189.10~190.10	203	358	36	121	15.4	3.51	6.08	0.99	5.17	0.94	2.49	0.35	2.46	0.32	34.5	0.005	0.079

注: 含量单位为10⁻⁶; TROE为所有稀土氧化物总量; THREO为总的重稀土元素氧化物总量, 包含Tb₄O₇, Dy₂O₃, Ho₂O₃, Er₂O₃, Tm₂O₃, Yb₂O₃, Lu₂O₃, Y₂O₃

长岩、碱性花岗岩等)密切相关, 矿区无碳酸岩出露; ②矿床富含中—重稀土, 且通常伴生有 Zr、Nb、Ta 等高场强元素矿化; ③碱性(杂)岩体普遍经历过强烈的岩浆期后热液交代作用, 矿石矿物多为热液交代成因(范宏瑞等, 2020)。全岩分析结果显示, 与龙宝山成矿关系密切的石英正长斑岩和闪长玢岩均具有碱性—过碱性特征, 且稀土元素配分形式与矿石一致(未发表数据), 表明龙宝山稀土成矿可能与碱性杂岩有关。即成矿均与碱性岩或碱性花岗岩有关, 均富集中—重稀土元素, 均发育热液蚀变及交代作用。

鉴于郯山—龙宝山地区发育多个同期碱性杂岩体, 龙宝山稀土找矿的突破, 尤其是重稀土矿体的发现, 在某种程度上为缓解国内外市场中重稀土资源强烈依赖于离子吸附型矿床的紧张局面提供了宝贵机遇, 因此在今后勘查中应予以格外关注。

参考文献

Dostal J. 2017. Rare Earth Element Deposits of Alkaline Igneous Rocks[J]. *Resources*, 6: 34.

Wang C, Liu J, Zhang H, et al. 2019. Geochronology and mineralogy of the Weishan carbonatite in Shandong province, eastern China[J]. *Geoscience Frontiers*, 10: 769–785.

Xie Y, Verplanck P, Hou Z, et al. 2019. Rare earth element deposits in China: A review and new understandings, in *Mineral deposits of China chapter*[J]. *Society of Economic Geologists*, 12: 509–552.

陈唯, 蒋少涌. 2022. 什么样的碳酸岩才能形成大型—超大型稀土矿床?[J]. *地球科学*, 47: 3891–3893.

范宏瑞, 牛贺才, 李晓春, 等. 2020. 中国内生稀土矿床类型、成矿规律与资源展望[J]. *科学通报*, 65: 3778–3793.

毛景文, 宋世伟, 刘敏, 等. 2022. 稀土矿床: 基本特点与全球分布规律[J]. *地质学报*, 96: 3675–3697.

朱日祥, 徐义刚, 朱光, 等. 2012. 华北克拉通破坏[J]. *中国科学: 地球科学*, 42: 1135–1159.

周伟伟. 2014. 郯庐断裂带晚中生代富碱侵入岩年代学、岩石地球化学及其地质意义[D]. 中国地质大学(北京) 硕士学位论文: 1–99.