

doi: 10.12029/gc20230904002

中国橄榄岩成因、分布、矿床类型及其开发利用现状

宁鹏远^{1,2}, 王春连^{1,2}, 朱平平¹, 梁震^{2,3}, 颜开², 刘殿鹤^{2,4}

(1.昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2.中国地质科学院矿产资源研究所, 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 3.长江大学地球物理与石油资源学院, 湖北 武汉 430100; 4.北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871)

提要:【研究目的】橄榄岩是我国重要的矿产资源, 在建筑材料、耐火材料及化肥原料等方面有广泛应用。研究橄榄岩矿床的成因、分布及其找矿远景, 是解决我国橄榄石资源短缺的有效途径, 并对于找矿方向具有重要的指引作用。【研究方法】文章通过搜集和整理前人研究资料, 对我国橄榄岩的成因、分布、矿床类型、以及开发利用情况进行了归纳总结。【研究结果】根据橄榄石的产出, 橄榄岩包括两种最主要的矿床类型: 产于玄武岩中橄榄岩包体型、产于橄榄岩中的脉状充填热液型。我国的橄榄岩主要矿产地有河南南阳、河北、吉林蛟河、陕西商南等。吉林蛟河橄榄石宝石矿床为我国主要的橄榄石宝石产地。河南与陕西省交界的商洛山区钙镁橄榄石矿床, 资源储量约 5 亿吨, 品位高达 44%。【结论】我国橄榄岩已知资源并不是十分丰富, 但矿石质量良好。截止到 2022 年我国自然资源部统计, 全国的储量为 16008 万吨, 全国化肥用橄榄岩矿石总量为 249.22 万吨, 全国耐火用橄榄岩矿石总量为 1776.61 万吨。我国橄榄石宝石矿产地主要为吉林蛟河与河北万全县, 现如今河北省橄榄石矿已全部关闭, 所以吉林蛟河橄榄石宝石矿床成为重要的橄榄石宝石矿产地。同时橄榄岩的部分熔融与铬的富集作用息息相关, 亏损地幔经部分熔融形成的熔体发生液相不混溶, 导致硅酸盐岩浆和富铬矿浆形成。不仅仅是橄榄岩矿床的找矿, 同时对于以橄榄岩为围岩的矿床, 对于橄榄岩的研究同样具有十分重要的研究意义。

关键词: 橄榄岩; 成因; 资源分布; 矿床类型; 开发利用; 矿产勘查工程

创新点: (1)总结了橄榄岩的成因、矿床类型、分布、关键应用等; (2)根据目前橄榄岩的研究现状浅议存在问题、发展及找矿远景。

Genesis, distribution, deposit types, development and utilization status and prospecting prospect of peridotite in China

NING Pengyuan^{1,2}, WANG Chunlian^{1,2}, ZHU Pingping¹, LIANG Zhen^{2,3}, YAN Kai², LIU Dianhe^{2,4}

(1. School of Land and Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Key Laboratory of Mineralization and Resource Evaluation, Ministry of Natural Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. College of Geophysics and Petroleum Resources, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 4. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (编号: KK2322;KK2005) 和中国地质调查局地质调查项目 (编号: DD20230056; DD20190606; DD20221684; DD20230291)联合资助。

作者简介: 宁鹏远, 男, 1997年生. 硕士研究生, 研究方向: 主要从事地球化学的研究. E-mail: ningpengyuan0501@163.com。

通信作者: 王春连, 男, 1983年生, 研究员, 研究方向: 主要从事沉积学及矿床学方面的研究. E-mail: wangchunlian312@163.com。

Abstract: **[Objective]** Peridotite is an important mineral resource in China, which is widely used in building materials, refractory materials and fertilizer raw materials. Studying the origin, distribution and prospecting prospect of peridotite ore deposit is an effective way to solve the shortage of olivine resources in our country, and it is an important guideline for discussing the origin and prospecting direction of chromite ore deposit. **[Methods]** This paper summarizes the origin, distribution, mineral deposit types, development and utilization of peridotite in China by collecting and sorting out previous research data. **[Results]** According to the output of olivine, peridotite includes two main types of deposit: peridotite envelope type occurring in basalt and vein filling hydrothermal type occurring in peridotite. The main mineral areas of peridotite in China are Nanyang in Henan Province, Hebei Province, Jiaohe in Jilin Province and Shangnan in Shaanxi Province. Jiaohe olivine gem deposit in Jilin is the main source of olivine gem in China. The calc-magnesium-olivine deposit in Shangluo Mountain area at the border of Henan Province and Shaanxi Province has reserves of about 500 million tons with a grade of 44%. **[Conclusions]** The known resources of peridotite in China are not very rich, but the ore quality is good. As of 2022, China's Ministry of Natural Resources statistics, the national reserves of 16008 million tons, the total amount of peridotite ores for fertilizer in the country is 2,492,200 tons, and the total amount of peridotite ores for refractory in the country is 17,766,100 tons. The olivine gem deposit in Jilin Jiaohe and Wanquan County of Hebei Province is an important olivine gem deposit because the olivine gem mine in Hebei Province has been closed. At the same time, the partial melting of peridotite is closely related to the enrichment of chromium, and the liquid phase immiscibility of the melt formed by partial melting of the depleted mantle leads to the formation of silicate magma and chromium-rich pulp. The study of peridotite is of great significance not only for the exploration of peridotite deposits, but also for the deposits with peridotite as the surrounding rock.

Keywords: peridotite; the cause; resource distribution; type of deposit; development and utilization; mineral exploration engineering

Highlights: (1) This paper summarizes the genesis, type, distribution and key application of peridotite; (2) Discuss the existing problems and development of peridotite according to the current research status.

About the first author: NING Pengyuan, male, born in 1997, postgraduate student. research direction: mainly engaged in the research of geochemistry; E-mail: ningpengyuan0501@163.com.

About the corresponding author: WANG Chunlian, male, born in 1983, research fellow, research direction: mainly engaged in sedimentology and mineral deposit research; E-mail: wangchunlian312@163.com.

Fund support: Supported by the Basic Research Funds of Central Public Welfare Research Institutes (No. KK2322; KK2005) and the Project of China Geological Survey (No. DD20230056; DD20190606; DD20221684; DD20230291).

1 引言

橄榄岩是一种富含镁的硅酸盐岩石，主要由橄榄石族矿物组成，橄榄石族矿物主要划分为镁橄榄石、镁铁橄榄石、铁镁橄榄石（李电辉，2020）。橄榄石不仅是一种主要的造岩矿物，而且在工业中有着广泛应用，质纯的橄榄岩 MgO 含量可达 49%，熔点高达 1910°C，因此富镁的橄榄石可以用来制作耐火材料（张琦，2021）。作为一种重要的矿产资源，橄榄岩还在建筑材料、耐火材料、铸造领域有广泛应用（徐云鹏，1994；沈坤等，2020；王

清廉, 1988; 吕庆阶, 2015), 且因其具有独特的微孔结构可以吸附有害物质和有机物, 所以在环保领域、生态修复等方面均有重要的地位(高仲琪等, 2021)。

铬铁矿、磁铁矿或磁黄铁矿通常与橄榄岩共生, 因此, 针对共生橄榄岩起源与演化的研究能够有效指示铬铁矿、磁铁矿等金属矿床的成因机理, 对找矿工作有着重要的现实意义。例如铬铁矿床的围岩为地幔橄榄岩, 藏南康金拉豆荚状铬铁矿中的橄榄石和铬尖晶石的成分与其围岩地幔橄榄岩存在明显不同, 揭示藏南康金拉豆荚状铬铁矿床对于近矿围岩地幔橄榄岩而言为外来体, 可能是被地幔柱从地幔深部带到上部(徐向珍, 2009)。

目前对于橄榄岩的矿床类型, 根据 2022 年矿产资源综合利用手册, 我国仅有产于蛇绿岩套的超基性杂岩型橄榄岩矿床 1 种, 矿床分布主要有两个: 河南南阳西峡县洋淇沟橄榄岩矿床和陕西商南松树沟橄榄岩矿床, 而基性玄武岩中包体型橄榄岩矿床主要分布于吉林蛟河、河北万全县同时属于宝石级的橄榄石矿床。除了以上地区, 新疆、西藏等地区, 也是潜在的橄榄岩找矿地区, 加大对于新疆、西藏等高原地区的找矿力度。

2 资源概况

橄榄岩作为我国十分重要的非金属矿产, 其资源在全国的已知储量并不是十分丰富, 根据 2022 年自然资源部统计, 全国的储量为 16008 万吨, 主要分布在湖北、河北、吉林、陕西等地。截止到 2022 年全国矿产资源储量统计, 全国化肥用橄榄岩矿石总量为 249.22 万吨, 主要分布在湖北(145.93 万吨)、甘肃(103.29 万吨); 全国耐火用橄榄岩矿石总量为: 1776.61 万吨, 主要分布辽宁(33.85 万吨)、吉林(260.74 万吨)、湖北(1418.37 万吨)、河南(63.65 万吨); 全国建筑用橄榄岩矿石总量为 281.67 万吨, 内蒙古为主要产地(图 1)。



图 1 化肥和耐火材料用橄榄岩在全国的主要分布(数据来源: 2022 年自然资源部全国矿产资源储量统计表)

Fig. 1 Peridotite used in fertilizer and refractory materials is mainly distributed in the country (Data source: National Mineral Resources Reserves Statistics Table of the Ministry of Natural Resources in 2022)

中国的橄榄岩主要集中分布在陕西、河北、湖北等地。河北张家口、吉林蛟河是我国橄榄石宝石的知名产地。

总的来看，我国橄榄岩资源并不是十分丰富，但矿石质量良好。主要矿产地有陕西商南松树沟、陕西留坝楼房沟、河南西峡县、河北万全县等（表 1、图 2；宋述光等，1998；沈坤等，2020；俞佳宁，2009）。一般而言，只有超基性岩产出的地区才有产出橄榄岩矿床的可能性。但是河北张家口、吉林蛟河橄榄石矿床赋存于玄武岩中，目前主要开采砂矿；河南南阳西峡县、湖北宜昌橄榄岩矿床主要用于生产化肥用途；内蒙古通辽为建筑用途；河北承德、甘肃敦煌主要为耐火材料用途。

表 1 全国橄榄岩主要矿区（据自然资源部，2022）

Table 1 Main peridotite mining areas in China (after Ministry of Natural Resources, 2022)

全国橄榄岩主要矿区	
1 宜昌市夷陵区梅子厂铬铁矿区	2 梅子厂蛇纹岩橄榄岩矿
3 日照磊鑫矿业资源有限公司胡家林橄榄岩矿	4 承德县高寺台前沟化肥用蛇纹岩矿
5 承德县高寺台前沟化肥用蛇纹岩矿	6 磐安方前镇寺吞
7 建德梓州	8 建德市金兴橄榄岩矿
9 宜昌镁石矿业有限责任公司古村坪橄榄岩矿	10 梅纸厂橄榄岩中型矿床
11 宜昌科博耐火材料有限公司梅子厂橄榄岩矿	12 西峡宏泰镁橄榄石有限公司
13 西峡县洋淇沟橄榄岩矿区	14 西峡县豫边橄榄岩矿区
15 西峡县向阳冶材有限公司水利沟橄榄石矿	16 西峡县豫边橄榄岩
17 留坝县楼房沟	18 肃南县祁丰祁青乡大柳沟
19 大连源泰高科技有限公司尚义上青杨沟橄榄岩矿	20 清原县南口镇岗山
21 通辽市吐尔吉山建筑石材矿	22 敦化市意气松南山橄榄石宝石矿
23 敦化大桦树橄榄石宝石	24 敦化市鑫昌橄榄石矿业有限公司大石河橄榄石宝石矿
25 向阳屯纯橄榄岩矿	26 向阳屯纯橄榄岩矿点
27 宜昌市夷陵区梅子厂铬铁矿区	28 内蒙古索伦山



图 2 全国主要橄榄岩矿区分布图

Fig. 2 Distribution map of major peridotite mining areas in China

3 矿床成因类型

橄榄岩主要分为地幔橄榄岩和造山带橄榄岩，其中地幔橄榄岩特指一种超镁铁质岩，它包括橄榄石，斜方辉石，并含有少量的透辉石和尖晶石（王希斌和鲍佩声，1990）。按熔融程度，地幔橄榄岩体可被分为三种熔融残余类型：高熔残余型，中等熔融残余型和低熔残余型（王希斌和郝梓国，1994）。橄榄岩是地幔中一类重要的岩石类型，其赋存形式以大陆岩石圈地幔、洋壳和软流圈为主。地幔橄榄岩是造山带最主要的幔源岩石，对探讨地球深部物质成分及岩石圈地幔属性的演化有着十分重要的作用（兰锐和徐梦婧，2018）。造山带橄榄岩根据李先福等（1995），张宏福、于红（2019）的论证总结，主要为以下三类：（1）蛇绿岩型橄榄岩，即大洋岩石圈地幔残片；（2）阿尔卑斯型橄榄岩（大陆型造山带橄榄岩），其典型代表是位于造山带中的大陆岩石圈地幔；（3）前期层状基性-超基性堆晶岩，指经俯冲变质形成的橄榄岩，常出现石榴石橄榄岩（尖晶石橄榄岩变质而成）和石榴石辉石岩（辉长岩变质而成）。陕西商南松树沟镁橄榄岩矿床与南阳西峡县洋淇沟橄榄岩矿床类似，其中李先福等（1995），安三元等（1981）对于松树沟-洋淇沟岩体属于典型的阿尔卑斯型岩体进行了详细论证。松树沟-洋淇沟超基性岩体位于华北古板块与扬子古板块碰撞对接带内，是中国东部最大的阿尔卑斯型超基性岩体（余研等，1994）。

3.1 矿床成因

根据含矿岩体的不同，可将橄榄岩矿床分为超基性杂岩体型和基性玄武岩体型，而基性玄武岩体型又可根据赋存状态分为包体型和脉状充填热液型。超基性杂岩型橄榄岩矿床有两个，分别位于陕西商南松树沟和河南南阳西峡县洋淇沟。其中，陕西商南松树沟镁橄榄岩矿床是国内目前仅知的产于蛇绿岩套的超基性杂岩型橄榄岩矿床。

结合前人观点，总结出根据橄榄石的产出，将其分为两种矿床类型：产于玄武岩中橄榄岩包体型和脉状充填热液型（甘肃省地矿局，《地球科学词典》）。前者如河北万全县大麻坪(最早开发)和吉林蛟河橄榄石矿床，后者在国内没有典型的矿床，以埃及红海 Zabarget 岛橄榄石矿床举例说明。本文主要根据矿产资源综合利用手册分析蛇绿岩套的超基性杂岩体型橄榄岩矿床，以及根据橄榄石产出形式而划分的两种不同类型的橄榄石矿床进行介绍。

3.2 橄榄岩矿石特征

3.2.1 矿物成分

橄榄岩是极其复杂的超基性岩侵入岩的一种（ $\text{SiO}_2 < 45\%$ ），主要由橄榄石和辉石组成，有时含少量角闪石、黑云母或铬铁矿。其主要矿物成分为长石、石英、橄榄石、白云石、硅质岩和硅酸盐岩等。

3.2.2 化学成分

橄榄岩主要化学成分为 SiO_2 ，且含有 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 Na_2O 、 Cr_2O_3 、 MgO 等。各地橄榄岩矿的成分不同，含量也不同，表 2 列举了国内橄榄岩矿床的化学成分。

表 2 国内橄榄岩矿床化学成分

Table 2 Chemical composition of peridotite deposits in China

产地	化学成分 (%)									
	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	Fe_2O_3	FeO	Cr_2O_3	MnO	Na_2O	K_2O
吉林蛟河	42.02	0.58	45.37	0.14	0.86	7.82	0.02	0.09	0.19	0.17
陕西商南松树沟	43.95	3.88	39.00	2.60	0.75	7.50	0.41	0.13	0.60	0.22
河北万全县大麻坪	40.53	0.06	49.64	0.36	0.31	9.20	-	0.11	0.09	0.00
湖北宜昌	39.7	0.77	46.3	0.62	c_1	c_2	0.33	-	-	-
内蒙古北山地区	41.24	1.59	29.24	3.99	5.98	4.02	-	0.072	0.04	0.02
西藏罗布莎（二辉橄榄岩）	40.83	0.04	48.36	0.01	-	10.28	0.00	0.11	0.00	0.00
新疆达拉布特（二辉橄榄岩）	42.42	0.46	48.01	0.09	1.51	6.77	0.01	0.12	0.11	0.09
甘肃金川（二辉橄榄岩）	39.8	0.01	42.8	0.15	-	15.5	0.02	0.23	0.09	0.01
河南洋淇沟	40.31	0.65	48.36	0.00	0.95	7.99	0.01	-	-	-

注：“-”未找到相关数据； $c_1+c_2=8.50$ 。数据来源：（沈坤等，2020；刘瑞 2001；张泽军，1981；杨恒学等，2017；徐云鹏、张方明，1993；师占义等，1982；董洪凯等，2022；徐梦婧，2010；索文德等，2022）。

在橄榄岩中， SiO_2 的含量一般在 40%， MgO 的含量有时高达 50%。此外，常伴有较高

含量的铬和镍等微量元素（刘永祥，1990）。

3.2.3 橄榄石类型

根据橄榄石中镁和铁的含量，橄榄石随着成分中 Fe^{2+} 的增加可由白色、浅黄色或淡绿色转变为深黄色至墨绿色或黑色（张琦，2021）。橄榄石族矿物的化学式可表示为 $R_2[SiO_4]$ ，在矿物学中可分为镍橄榄石 Ni_2SiO_4 、锰橄榄石 Mn_2SiO_4 、橄榄石 $(Mg, Fe)_2[SiO_4]$ 这三个亚族。橄榄石这一矿物种通常指 $Mg_2[SiO_4]$ - $Fe_2[SiO_4]$ 完全类质同象系列（表 3）。

表 3 橄榄石亚种的划分（据张琦,2021 改）

Table 3 Subspecies division of olivine (modified by Zhang Qi,2021)

	镁橄榄石	贵橄榄石	透铁橄榄石	镁铁橄榄石	铁镁橄榄石	铁橄榄石
$Mg_2[SiO_4]$	100~90	90~70	70~50	50~30	30~10	10~0
$Fe_2[SiO_4]$	0~10	10~30	30~50	50~70	70~90	90~100

4 典型矿床

4.1 超基性杂岩体型橄榄岩矿床

4.1.1 陕西商南松树沟镁橄榄岩矿床

商南松树沟橄榄岩矿床位于商丹缝合带北侧秦岭构造带的南部边缘部位，走向大体与天山-兴蒙褶皱系平行（于红，2011；王希斌等 2005；鲍佩声等，1999；张泽军，1981）。松树沟岩体长约 19km，其中最宽的部位是岩体的中部，约 2km。松树沟橄榄岩体的出露面积达 20km²，是东秦岭出露面积最大的超基性岩体（于红，2011；李犇，2010；安三元等，1981）。该地区橄榄岩体主要包括三种岩石类型，即纯橄岩、方辉橄榄岩和透辉橄榄岩，其中纯橄岩有中粗粒纯橄岩和糜棱岩化细粒纯橄岩两种（于红，2011），纯橄岩占据出露岩体的 80% 以上（王清廉，1988；安三元等，1981）。松树沟橄榄岩是蛇绿岩套地幔橄榄岩的组成部分，指示该处存在新元古代大洋（张国伟等，2001）。

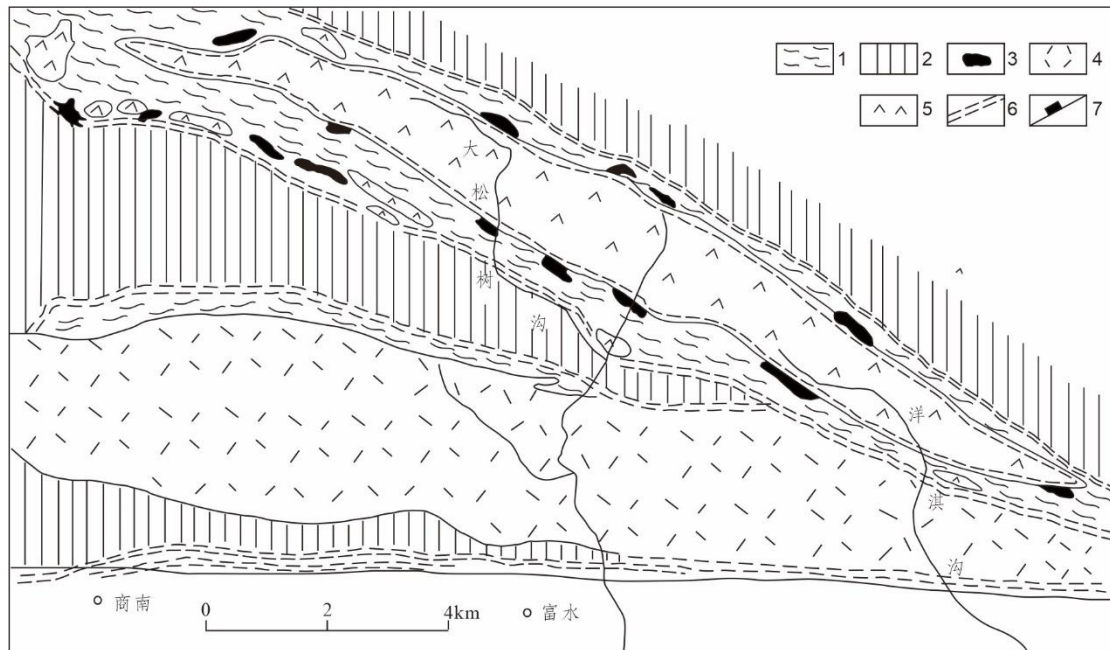


图3 商南松树沟岩体及围岩地质略图（据刘良等（1994）修改）

1—中、晚元古界斜长角闪岩类；2—下元古界表壳杂岩；3—石榴单辉岩及基性麻粒岩；4—变质基性杂岩；5—橄榄岩；6—韧性剪切带；7—商丹主断裂

Fig. 3 Geological sketch map of rock mass and surrounding rock in Songshugou, Shangnan (modified from Liu Liang et al. (1994))

1—Middle and late Proterozoic plagioclase hornblende; 2—Lower Proterozoic surficial complex; 3—Garnet clinopyroxene and basic granulite; 4—Metamorphic basic complex; 5—Peridotite; 6—Ductile shear zone; 7—Shangdan main fault

4.1.2 河南南阳西峡县洋淇沟橄榄岩矿床

西峡县洋淇沟地质构造发育于华北准地台-南缘隆起带和秦岭-北秦岭复合褶皱带的两个主要构造单元活动带中，该地区的构造整体上为北西-南东向。矿体为出露地表的橄榄岩岩体（沈坤等，2020；刘庆祥，1998）。区域内侵入岩发育，岩石类型从超基性岩到酸性岩均有，各地质时代均有岩浆侵入活动（阎中英，1985）。陕南豫西交界处的松树沟-洋淇沟含铬超镁铁质岩体是东秦岭出露规模最大的超镁铁质岩体，面积约 20km²，而洋淇沟岩体为其南东部分，面积约 8km²。（刘庆祥，1998）。岩体两侧围岩为古元古界秦岭群雁岭沟组斜长角闪片岩夹大理岩，二者呈侵入接触关系（余良济，1986）。主要岩石类型有细粒纯橄岩-含辉纯橄岩，单辉辉橄岩、斜辉辉橄岩、透辉石岩等（刘庆祥，1998）。岩石的矿物组合特点是：橄榄石分别和斜方辉石、透辉石共生，而斜方辉石和透辉石互不共存（沈坤，2020）。关于岩体成因，前人有较多的研究。主要有以下 3 种观点：（1）岩浆侵入结晶；（2）可能是蛇绿岩套古洋壳的组成部分；（3）属地幔残余-岩浆结晶多期熔融复合成因（张本仁等，1990）。

其中对于上述两种矿床的岩体，李先福等详细论证松树沟-洋淇沟岩体属于典型的阿尔卑斯型岩体（李先福等，1995）。

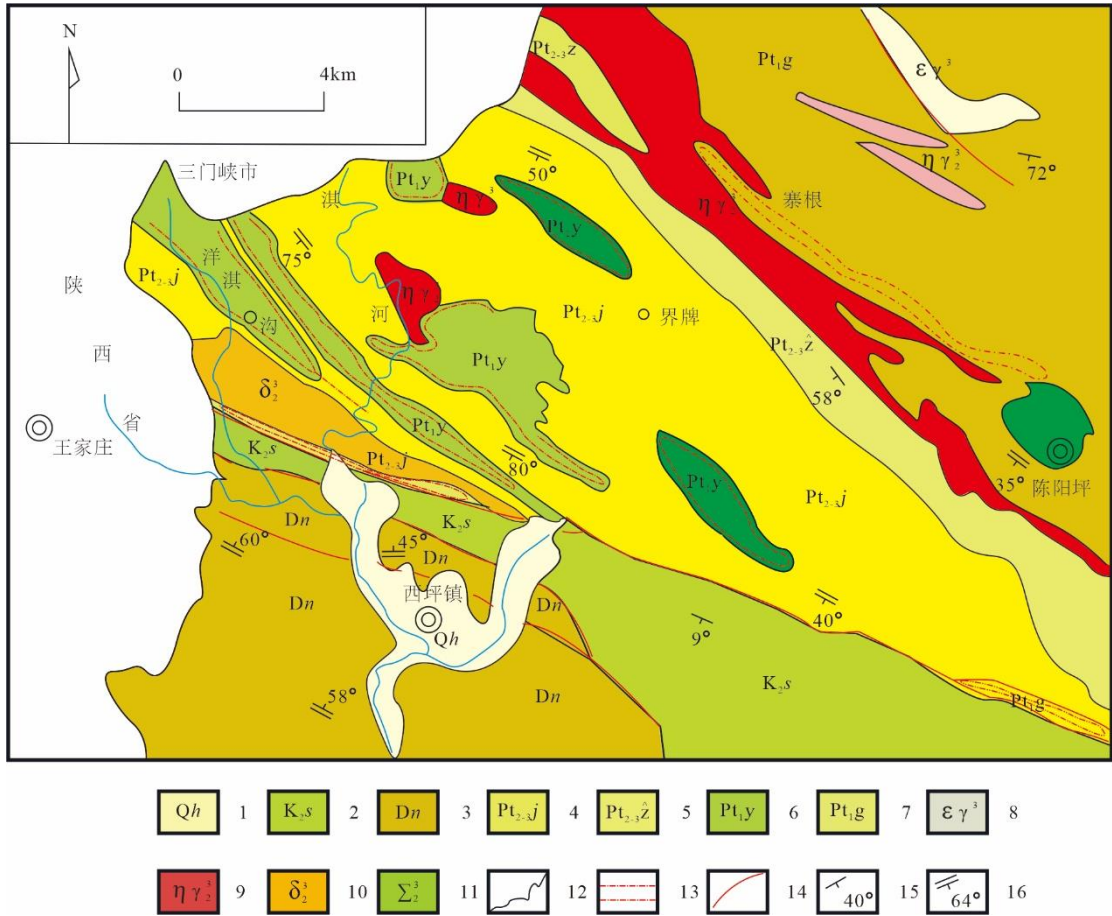


图 4 河南省西峡县洋淇沟橄榄岩矿区地质图

1—全新统砂土、亚砂土；2—白垩系上统寺沟组砂岩；3—泥盆系南湾岩组；4—中-新元古界峡河岩群界牌岩组斜长角闪片岩；5—中-新元古界峡河岩群寨沟岩组二云石英片岩；6—元古界秦岭岩群雁岭沟岩组白云石大理岩；7—元古界秦岭岩群郭庄组黑云斜长片麻岩；8—加里东期钾长花岗岩；9—晋宁期二长花岗岩；10—晋宁期闪长岩；11—晋宁期超基性岩；12—地质界线；13—韧性剪切带；14—性质不明断裂；15—岩层产状；16—片理产状

Fig. 4 Regional geological map of Yangqigou peridotite mine in Xixia County, Henan Province

1—Holocene sandy soil, sub-sandy soil; 2—Upper Cretaceous Sigou Formation sandstone; 3—Devonian Nanwan Formation; 4—Jiepai Formation plagioclhornblende schist in the Meso-Neoproterozoic Jiexiahe Group; 5—Zhaigou Formation didolomite quartz schist in the Meso-Neoproterozoic Jiexiahe Group; 6—Yanlinggou Formation dolomite marble in the Proterozoic Qinling Group; 7—Guozhuang Formation biotite plagioclase gneiss in the Proterozoic Qinling Group; 8—Caledonian potassium-feldspar granite; 9—Jinning period monzonite granite; 10—Jinning period diorite; 11—Jinning period ultrabasic rock; 12—Geological boundary; 13—Ductile shear zone; 14—Unknown fault; 15—Occurrence of rock strata; 16—Foliation occurrence

4.2 玄武岩中橄榄岩包体型

4.2.1 吉林蛟河橄榄石宝石矿床

吉林省中部蛟河市黄松甸镇的大石河新生代玄武岩位于兴蒙造山带的松辽增生杂岩中，其东西两侧分别与敦密断裂和佳伊断裂相邻，其东北部为嘉荫-牡丹江拼合带，南部为西拉

木伦河-长春-延吉板块缝合带（周琴等，2007）。矿区内的火山岩以中心式—裂隙式喷发为主，主要岩性为碱性橄榄玄武岩、凝灰岩、碧玄岩，拉斑玄武岩少见。吉林蛟河橄榄石宝石矿床主要受北西向的敦密断裂及其次级北东向超壳断裂控制，是船底山期火山喷发的产物（图5）。橄榄石宝石矿床呈北西向展布，从蛟河市前进乡经张广才岭至义气松断续出露，延长30km。矿区内出露的地层为三叠系，第三系到第四系。宝石矿床主要分布在第三系船底山组地层中（刘瑞，2001）。

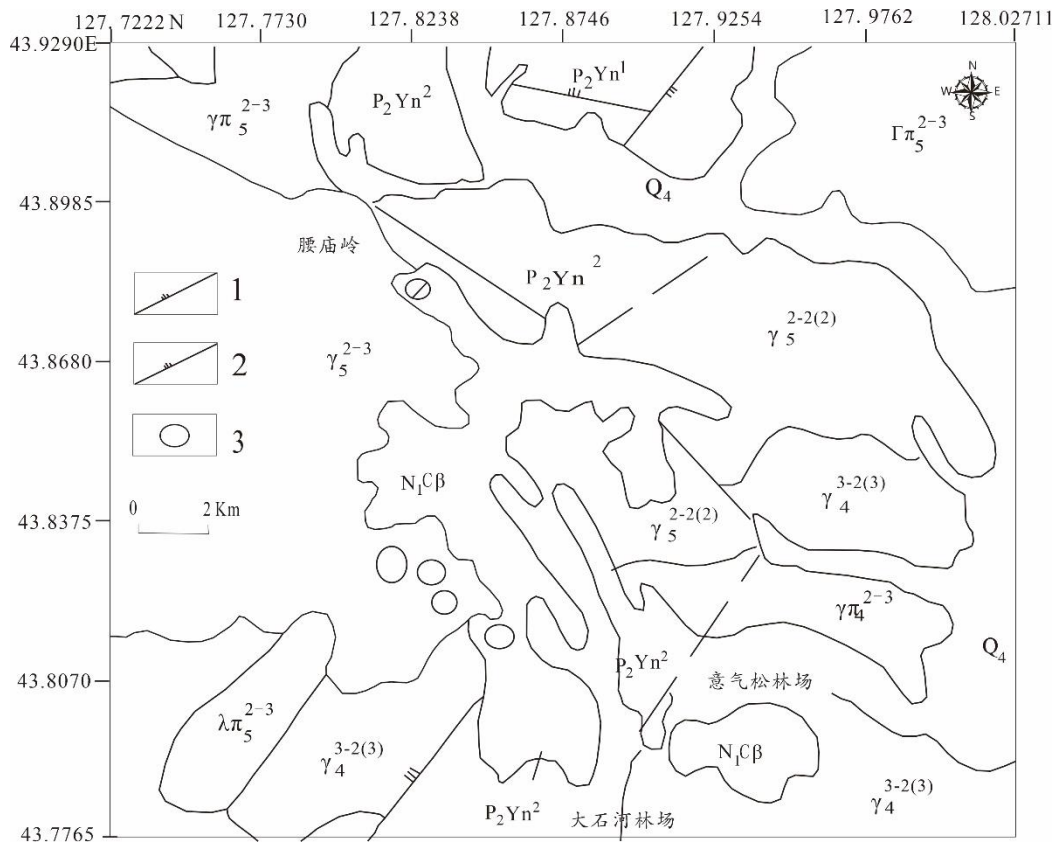


图5 吉林蛟河橄榄石宝石矿床地质图

Q—第四系冲积砂砾石层;P₂Yn²—杨家沟组砂板岩;N₁Cβ—第三系船底山组碱性玄武岩;γπ²⁻³₅—花岗岩斑岩;γ³⁻²⁽³⁾₄—斜长花岗岩;1—压性断层;2—压扭性断层;3—矿床位置

Fig. 5 Geological map of olivine gem deposit in the Jiaohe, Jilin Province

Q—Quaternary alluvial sand and gravel layer; P₂Yn²—Yangjiagou Formation sand slate; N₁Cβ—Tertiary Chuandingshan Formation alkaline basalt; γπ²⁻³₅—Granite porphyry; γ³⁻²⁽³⁾₄—Plagioclase granite; 1—Compressive fault; 2—Compression-torsion fault; 3—Location of the deposit

矿体赋存在船底山组中部富含橄榄岩包体的碱性橄榄玄武岩中。矿体底板为块状橄榄玄武岩，顶板为杏仁状橄榄玄武岩。含橄榄岩包体玄武岩为橄榄石宝石矿物层（刘瑞，2001）。矿体存在于新近系碱性橄榄玄武岩中的尖晶石二辉橄榄岩深源包体中（徐强等，2015）。矿石主要为橄榄岩包体，其次为碱性橄榄玄武岩包体，包体形态呈椭圆状、次棱角状和次圆状等。

该区域的玄武岩中的橄榄岩，可能是经过了部分熔融作用之后，形成的地幔残留，也就是所谓的岩石圈地幔。周琴等（2007）根据对温度的计算，认为该地区的岩石圈地幔上层为方辉橄橄榄岩，贫单斜辉石二辉橄橄榄岩，是部分融化作用的产物。在此基础上，下半部为二辉橄橄榄岩，具有很强的局部熔融作用，表现出明显的的岩石学上的分层性。

通过对橄榄石宝石矿床的地质特征分析，可知橄榄石宝石的形成是受多种地质因素控制作用（刘瑞，2001）。主要是(1)形成于地幔深处的富粗晶橄榄岩是矿床形成的先决条件。研究区内大量出现的尖晶石二辉橄橄榄岩、尖晶石橄橄榄岩等，并且其中含有丰富的宝石级橄橄榄石，这说明该地区在岩浆喷发之前，在地幔深处已经形成了橄橄榄石粗晶和巨晶。(2) 碱性玄武岩浆的快速上升是必要的搬运条件。(3) 受 NE 向敦密超壳断裂及次级 NNW 向超壳断裂控制形成矿床的导矿和容矿构造（刘瑞，2001）。

4.2.2 河北万全县大麻坪橄榄石宝石矿床

大麻坪橄榄石矿床位于河北省张家口市万全县大麻坪村西北坝坎上，产于渐新世晚期玄武岩中，即我们常说的汉诺坝玄武岩（唐雪莲，2005；秦晴等，2013；俞佳宁，2009）。区内地层主要为局部分布的白垩系土井子组砂砾岩广泛分布的第三系汉诺坝玄武岩和大面积的第四系覆盖层（杨恒学等，2017）。大麻坪橄橄榄石矿床的矿石为橄橄榄岩包体，主要产于尖晶石二辉橄橄榄岩包体中，其次为橄橄榄二辉岩包体（唐雪莲，2005）。其中橄橄榄石以橄橄榄岩包体形式赋存，碱性玄武岩中的二辉橄橄榄岩包体的体积分数最高可达 80%~90%（俞佳宁，2009）。大麻坪橄橄榄石矿床的形成与张家口—平泉深断裂带有着密切的关系，当断裂延伸至上地幔，发生局部熔融，使呈熔融状态的玄武岩浆向上部压力较低处运移，低熔点的物质因外部压力降低加速熔融，也沿断裂向上部压力较低处运移。岩浆在上升过程中由于温度降低，结晶分异出橄橄榄二辉岩等基性岩。这些固态岩石不断上升，由于岩块之间的摩擦和碰撞，使原来具有明显棱角的岩块的棱角首先被熔蚀，当碱性玄武岩浆喷出地表后，它们便带着含量不等、大小悬殊、形态各异的成分不同的包体，以各种产状冷凝固晶最后形成橄橄榄石矿床。

大麻坪的橄橄榄岩包体中含的橄橄榄石新鲜、颗粒大，包体结构疏松，适合露天开采和手工选矿，成为我国宝石级橄橄榄石的主要产地，同时亦是良好的耐火材料的原料（唐雪莲，2005；俞佳宁，2009）同时河北大麻坪产出的新生代碱性玄武岩及其所携带的二辉橄橄榄岩和辉石岩包体为人们研究岩石圈地幔、壳幔过渡带和下地壳纵向变化提供了理想的地质样品（韦延光等，2005）。

刘瑞（2001），徐思佳（2015）通过比较橄榄石宝石的矿床的形态、产状以及橄榄石宝石形成的温度压力条件，发现吉林蛟河橄榄石矿床与河北大麻坪橄榄石矿床的矿床基本成矿特征十分类似。并且它的成矿模式对在我国东部沿海各省玄武岩集中区寻找同类矿床极具参考价值（徐思佳，2015）。

4.3 产于橄榄岩中的脉状充填热液型

4.3.1 埃及红海 Zabargad 岛橄榄石矿床

Zabargad 岛位于红海北部轴槽的西部边缘，它的位置处于南部由海底扩张造成的板块分离区和北部由岩石圈吸附造成的延伸区之间的边界(Girdler、Styles,1974;Styles、Gerdes, 1983;Nicolas et al.,1987)。该岛受一个大的重力异常(164mgal)和磁力异常 (Triulzi,1898) 影响，研究表明存在至少 8km 深的新鲜橄榄岩。

该岛大约呈三角形，每边长约 3km。它有一个粗糙的形态，在主要的橄榄岩山上海拔达到 250 米。该岛约三分之一的表面被冲积层、不同新老时期的珊瑚礁以及蒸发岩覆盖。裸露的岩石包括橄榄岩、变质岩和玄武岩。存在三个橄榄岩体：主橄榄岩山(MPH)、中央橄榄岩山(CPH) 和北部橄榄岩山(NPH)(Moon,1923)。它们与变质岩和橄榄岩的接触似乎完全是构造性的 (Nicolas et al.,1987)。

橄榄岩来自上地幔，主要组成矿物是橄榄石、尖晶石和斜长石。然而，Zabargad 橄榄岩与常见的造山橄榄岩的不同之处在于其高比例的辉绿岩，尽管 Zabargad 岛的围岩已相当广泛地进行了多重再结晶，但仍保留了一些遗留的相位平衡，表明它们来自很深的地方 (>85 公里)。上升的 p-T 路径在更深的地方与海洋地温相吻合，但随着 p 的下降，逐渐偏离海洋地温，走向更高的 T。这被解释为表明快速的上升，这一观点得到了围岩穿透下层地壳岩石，特别是穿过 Zabargad 地层沉积物时引起的广泛接触变质作用，以及围岩中低程度的逆向变质作用的支持(Moon, 1923;Kurat et al.,1982a,b)。p-T 路径被解释为表明两种不同的上升模式。（1）早期的二叠纪阶段，（2）几个构造阶段这与结构 (Nicolas et al.,1987)和地球物理数据 (Styles、Gerdes,1983) 相符合。后者表明 Zabargad 橄榄岩深度超过了 8km，这意味着 Zabargad 橄榄岩位于上层地幔中。

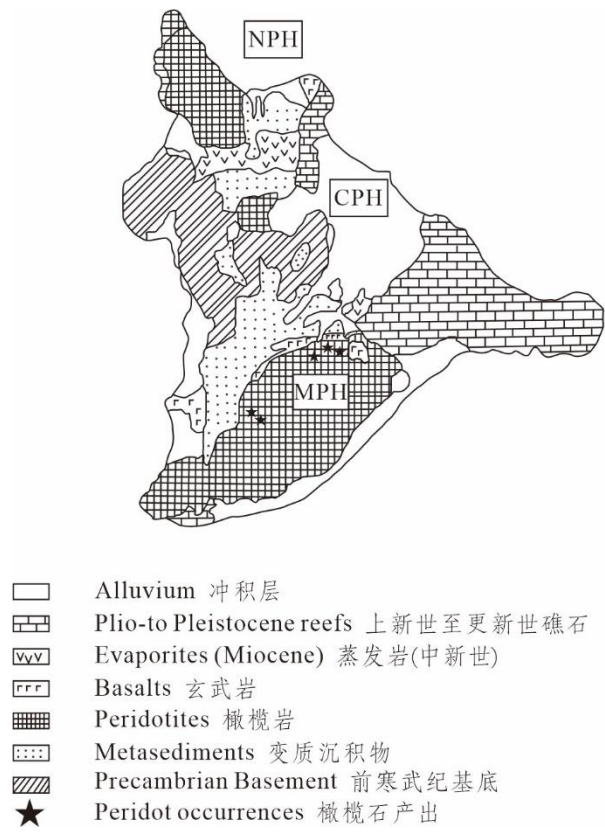


图 6 埃及红海 Zabargad 岛地质简图 (据 Moon, 1923; Bonatti 等人, 1981 和 Kurat 等人, 1982)
 Fig. 6 Geological map of Zabargad Island in the Red Sea, Egypt (after Moon, 1923; Bonatti et al., 1981 and Kurat et al., 1982b)

5 橄榄岩开发利用

橄榄岩是地幔岩的重要组成部分，是一种富含镁的硅酸盐岩石，具有硬度高、耐久性好、化学性质稳定、吸附性好等特点，广泛应用于建筑、地质、能源、环保以及生态修复等领域。橄榄岩是一种由镁橄榄石与铁橄榄石组成的岩石，橄榄石矿石在本世纪三十年代初已经被开采出来并加以利用，目前大多数被应用于化肥、耐火材料、建筑材料。欧洲也很久以前就开始使用橄榄石做贮热炉子的耐火材料（江西地质科技，1997）。我国橄榄石资源丰富，矿质优良，但因各种原因，其开采与应用尚处在起步阶段，尚未受到足够的关注与重视。随着人们生活水平的不断提高，橄榄石的应用将会更加广泛，同时对于研究地球深部地质过程和相互作用具有重要意义。

5.1 耐火材料

橄榄岩目前使用最多的是耐火原料，在 20 世纪 20 年代，国外已经开始使用镁质橄榄石矿来生产耐火材料。自七十年代开始，随着工业的发展，科技的进步，以及综合利用程度的提升，全球每年生产的镁橄榄石质耐火材料，已超过四十万吨。我国从 1958 年起，以镁橄榄石矿为原料，开发出了一种新型的耐火材料，并成功地应用于钢铁平炉和有色冶炼

的反射炉和回转炉，并广泛地应用于玻璃窑炉，为我国开发镁橄榄石矿型耐火材料奠定了坚实的基础（徐云鹏和张方明 1994）。当前国外一些国家，利用镁橄榄石耐火材料新制品，代替其它镁质原料制品，我国宜昌镁橄榄石产品质量与国外商家标准相当（表 4）。经过烘干和精炼处理的耐火材料，在欧洲各大港口国家，每吨价格为 21 至 25 英镑。为解决我国碱性耐火材料供应不足的问题，我们国家也需要加大对镁橄榄石产品的开发力度。

表 4 镁橄榄石型砂制品质量比较表（据徐云鹏、张方明，1994 修改）

Table 4 Quality comparison table of magnesium olivine molding sand products (modified from Xu Yunpeng and Zhang Fangming, 1994)

组分% 产地	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	灼减	产品含水	镁橄榄石
美国商品橄榄石砂	41.2	49.4	1.8	7.1	—	1.2	—	80
中国 XQ/2×54-86	I≤40 II≤41	I≥47 II≥44	—	≤10	—	I≤1.5 II≤3.0	≤0.5	—
宜昌镁橄榄石型砂制品	38.50	46.72	0.61	8.98	0.21	3.52	—	92

5.2 建筑领域

橄榄岩可以制成高品质石材，用于建筑装饰和室内装修。橄榄岩的主要矿物相石橄榄石，有的高达 90%，因此其矿石质量较优。橄榄岩石材质地致密、色泽美丽、硬度高、耐久性好、防火、防水、抗污染，是高档建筑装饰材料的首选。

近几年来建筑用橄榄岩广泛应用于建筑、交通及等诸多领域，其具有加工工艺简单的特点(沈坤等，2020)。国产建筑用橄榄石，主要用作道路碎石和普通建筑的混凝土材料，副产物可作水磨石地面和外墙粉刷的石材和涂料。建筑用橄榄岩经过一次粗破，二次破碎，再经过分选和除尘等工序，就可以获得不同尺寸的橄榄岩石子，经处理后未达到建筑材料要求的余料仍可供民用建筑使用，因此矿石的利用率高（沈坤等，2020）。

5.3 铸造领域

国内铸造界多年来一直在寻找新型铸砂。影响铸件质量的因素很多，而铸型砂的性能又起着举足轻重的作用。橄榄岩具有较高的耐火度，不含游离二氧化硅、无放射性，与铬铁矿砂、锆英砂称为最优良的 3 种铸造型砂，三者中以橄榄石砂价格最便宜，所以已普遍使用在铸钢件上，一致认为橄榄石砂是一较理想的铸钢用砂（沈坤等，2020）。湖北宜昌研制出了一种新型的橄榄石砂焙烧技术，填补了我省这一领域的空白，其质量级别见表 5。

橄榄石砂具有如下优点：1.橄榄石砂表面具有较好的抗金属氧化之能力，故使铸件表面光滑平整，可使铸件轮廓尺寸更加精确；2.镁橄榄石砂无游离 SiO₂ 的存在，故无硅尘之害；3.导热性也较石英砂为优，4.镁橄榄砂虽然膨胀值也较大，但是在膨胀时比较缓慢而均匀，不易产生夹砂之弊，不像石英加热时骤胀，而易夹砂；5.清砂较易，使成品产率较高。

因此，推广应用镁橄榄砂于铸造业方面，对冶金铸造工业的振兴，将起重要的作用。开发该区的镁橄榄石具有前景，但需要推广应用和扶持发展（王清廉，1988）。因纯橄岩(原矿)中尚含铬铁矿，故用强磁选和重选相结合的方法选出铬铁矿(要求 60-80 目)。选出的铬铁矿可综合利用，提高经济效益。

表 5 宜昌橄榄石砂质量级别（据曹脉运，1992 改）

Table 5 Yichang olivine sand quality grade (modified by Cao Maiyun, 1992)

等级	MgO ≥, %	SiO ₂ ≤, %	Fe ₂ O ₃ ≤, %	灼失 ≤, %	含水量 ≤, %	耐火度 ≥, °C
一级	47	40	10	1	0.4	1690
二级	44	42	10	1.5	0.4	1600
三级	41	41	10	1.5	0.4	1580

与石英砂比较，镁橄榄石砂具有抗金属液侵蚀能力强、热膨胀均匀缓慢、热稳定性好、游离二氧化硅较少等特点，有利于提高铸件表面质量，减少劳动强度，改善生产环境。与铬铁矿砂和锆英砂相比，具有价格低廉的优点，可获得较好的综合经济效益和社会效益。在铸造生产中特别在高锰钢铸件上有推广价值（曹脉运，1992）。

5.4 环保领域及生态修复

自 1997 年 12 月，149 个国家和地区的代表在日本东京召开的《联合国气候变化框架公约》缔约方第三次会议上，通过意义在限制发达国家温室气体排放量的《京都议定书》以来，为了保护地球环境，建设美丽地球，为了减轻因气候变化而造成的灾害，绝大部分国家都在努力控制和削减温室气体的排放量。最近几年，地质学家、环保学家们又在橄榄岩中发掘出新的利用价值，证实橄榄岩能吸附并贮存大量二氧化碳，有助于减缓全球气候变暖。阿曼在其实验和研究中有进一步发现，当二氧化碳接触到当地的橄榄岩时二氧化碳就会转化为固体矿物，而且这种自然发生的过程比人为的要快 100 万倍，所产生的固体矿物每年能永久地储藏 20 多亿吨二氧化碳（吕庆阶，2015）。受此研究的启发不少国家已经启动了橄榄岩的碳储存进程，即在橄榄岩上打钻孔，然后将二氧化碳热水进行加压处理并注入到橄榄岩钻孔中，让二氧化碳永久地封存在橄榄岩中（吕庆阶，2015）。

因橄榄岩具有高度的吸附性能，可以用来制作环保净化材料，如空气净化器、水处理器等。橄榄岩的微孔结构可以吸附有害物质和有机物，具有净化土壤、改善土壤物理性质等作用，可以应用于土地退化治理、水源涵养、沙漠化防治等领域。

5.4 宝石领域

橄榄石的供求关系分析主要是市场供应、消费者的需求与橄榄石价值之间的关系，橄榄石参与人类文明发展已经超过 3500 年，是一种古老的宝石（高仲琪等，2021）。世界上

宝石级橄榄石产于缅甸、墨西哥、挪威等国。优质的橄榄石属于中高档宝石，以颜色、净度和重量为经济评价的依据。颜色以鲜亮的黄绿色最好，带褐偏暗则欠佳。对于成品的橄榄石，质量 1-2 克拉属于低档宝石，与蓝黄玉、紫水晶相似；3 克拉以上比较珍贵；5 克拉以上价值超过了黄金。我国宝石级的橄榄石著名的产地有两处，分别是河北张家口大麻坪和吉林蛟河白石山两处橄榄石宝石矿床（吕庆阶，2015）。同时还有大量的宝石级橄榄石还蕴藏在地幔深部。

5.5 地质勘探领域

橄榄岩是一种含有许多特殊矿物质的火成岩，可以用于地球物理勘探、地球化学勘探和矿床勘探。橄榄石是地球地幔深部变化、发展信息及大地构造-板块运动信息传递的媒介。以橄榄石为主要矿物成分的超基性岩（橄榄岩）、基性岩（玄武岩）主要位于地表 33km 以下的地幔中，由于热地幔柱的上升作用，使上部地壳岩石圈的大陆破裂、大洋裂开，并迫使存在于地幔中的物质沿破裂的大陆、大洋裂隙（深大断裂）上升侵入到地壳或喷发到大陆地表或海洋的洋中脊中，往往有规律地组成了由基性岩、玄武岩或超基性岩构成的蛇绿岩带（来自地幔物质的岩浆岩带）。依据橄榄石传递的信息和以及在地壳中分布的规律和特征，地质学家成功地确证了全球中有 20 多个地幔柱存在，并将全球岩石圈划分为欧亚板块、太平洋板块、印度洋板块（又称印澳板块）、非洲板块、南美洲板块、北美洲板块、和南极洲板块等七大板块，使地质科学研究水平提高到了新的高度（吕庆阶，2015）。其中的橄榄石、辉石、磁铁矿等矿物质可以提供重要的地质信息，帮助找寻金属矿床和石油、天然气等地质资源。表 6 总结了橄榄岩在不同领域的应用实例。

表 6 橄榄岩应用领域及应用实例

Table 6 Application fields and examples of peridotite

应用领域	应用实例
建筑领域	橄榄岩可以制成高品质石材，用于建筑装饰和室内装修。橄榄岩石材质地致密、色泽美丽、硬度高、耐久性好、防火、防水、抗污染，是高档建筑装饰材料的首选。
道路建设	橄榄岩可以作为道路铺装材料，可以制成路基、路面、护坡、隧道衬砌等各种道路建设材料。橄榄岩具有厚度大、耐久性好、不易产生裂缝等优点，可以提高道路的承载能力和使用寿命。
工业用途	橄榄岩可以作为工业原材料，可以制成轻质骨料、高温绝缘材料、石棉替代品等各种工业用途的材料。橄榄岩的化学成分稳定，不含有害物质，可以用于食品、医药、化妆品等行业
地质勘探	橄榄岩是一种含有许多特殊矿物质的火成岩，可以用于地球物理勘探、地球化学勘探和矿床勘探。其中的橄榄石、辉石、磁铁矿等矿物质可以提供重要的地质信息，帮助找寻金属矿床和石油、天然气等地质资源。 橄榄岩具有高度的吸附性能，用来制作环保净化材料，如空气净化器、水处理器等。

	橄榄岩中的矿物质可以制成纳米材料，用于制造纳米传感器、纳米催化剂等。
环保净化材料	橄榄岩的高硬度和抗压强度使其成为制造汽车零部件的理想材料，如汽车发动机的缸体、活塞等。
纳米工业	橄榄岩中的镁铁矿可以用于制造熔融盐储能系统中的阳极材料。 橄榄岩可以用于生态修复和环境治理。橄榄岩的微孔结构可以吸附有害物质和有机物，具有净化土壤、改善土壤物理性质等作用，可以应用于土地退化治理、水源涵养、沙漠化防治等领域。
汽车工业	
能源产业	
生态修复	

随着人类对新材料和新技术的需求不断增加，橄榄岩在新兴领域的应用潜力也将得到更多的挖掘和发展。

6 找矿远景

我国主要矿产地有陕西商南松树沟、河南南阳、吉林蛟河、河北万全县等。

中国的宝石级橄榄石资源主要集中在吉林省与河北省。橄榄石宝石矿床主要为产生于橄榄岩包体型，如河北万全县大麻坪橄榄石宝石矿床、吉林蛟河橄榄石宝石矿床。1979年，位于河北省大麻坪橄榄石宝石矿被发现。如今，河北省橄榄石矿已全部关闭。所以对于吉林蛟河橄榄石宝石矿床的开发和找矿显得尤为重要。

根据河南省西峡县洋淇沟超镁铁质铬铁矿控矿因素及找矿标志研究发现，在板块构造理论和蛇绿岩套的观点指导以及系统的地质构造学、矿物岩石学、地球化学等研究结论得出的测试数据，并总结了铬铁矿的成矿、分布规律和矿因素等找矿标志的基础上，预测河南西峡县洋淇沟是现在我国重要的橄榄岩找矿远景区域。

目前我国橄榄岩矿区主要分布在我国东北部及中部地区，并且研究已经比较深入，但对于西北西南等地区的研究较少，橄榄岩是由纯橄榄岩和辉石岩组成的超基性岩和基性岩，主要分布在造山带。我国的西北部主要涉及古亚洲和特提斯两大构造域，造山带结构复杂，成矿地质条件优越，尤其是在阿尔泰山南缘、南天山、南昆仑等地。所以针对于新疆和西藏等地区可以作为橄榄岩的找矿远景区。

现如今，随着人们对环保和可持续发展的认知程度越来越高，橄榄岩具有良好的吸附特点，且二氧化碳被吸附后可转化为固体矿物，所产生的固体矿物能储藏在橄榄岩中，其应用前景将更为广阔，找矿前景更加重要。

7 结论

(1) 橄榄岩在我国的储量并不是十分丰富，橄榄岩矿区主要分布我国东北部及中部地区，如湖北、河北、吉林、陕西等地。化肥用橄榄岩主要分布在湖北、甘肃；耐火用橄榄岩主

要分布辽宁、吉林、湖北、河南等地。其中吉林蛟河及河北万全县主要为橄榄石宝石矿床。

(2) 在矿床成因类型上, 超基性杂岩型主要为陕西商南松树沟镁橄榄岩矿床和河南南阳西峡县洋淇沟橄榄岩矿床。其中松树沟镁橄榄岩矿床是国内目前仅知产于蛇绿岩套的超基性杂岩型橄榄岩矿床。基性玄武岩型橄榄岩矿床根据赋存状态可分为包体型和脉状充填热液型。在国内, 目前基性玄武岩中包体型主要为吉林蛟河橄榄石宝石矿床和河北万全县大麻坪橄榄石宝石矿床, 而脉状充填热液型尚未被发现。

(3) 橄榄岩作为主要的造岩矿物, 在各种领域中均有广泛应用: 耐火材料、地质学、工业领域、铸造领域、环保领域都扮演了重要角色。

近年来, 我们对地幔橄榄岩的岩石组合、矿物与岩石学、原岩属性与地球化学、变质演化与交代过程等进行了大量的研究, 然而, 由于地幔橄榄岩的形成环境非常复杂, 仍有很多问题亟待解决。针对橄榄岩的这些特点, 我们不仅要对其进行系统的地球化学研究, 还应当开展橄榄岩和铬铁矿中的异常矿物的研究, 以便对橄榄岩的各个方面都有一个全面的认识, 为今后橄榄岩的开发利用打下基础。

References

- An Sanyuan, Wang Dugrong, HU Nonggao. Geological characteristics and genesis of ultramafic rock mass in Songshugou, Shangnan, Shaanxi Province, 1981 [J]. Journal of Chang 'an University (Earth Science Edition), (02):9-21. (in Chinese)
- Bai Wenji, Fang Qingsong, Zhang Zhongming et al. The genesis of the mantle peridotites in 1999 in the Yallung Zangbo River ophiolite belt, Tibet [J]. Journal of Petrology and Mineralogy, (03):193-206+216. (in Chinese)
- Cao Maiyun, 1992 Identification of roasted magnesium olivine sand for casting [J]. Hot Working Technology, (01):49. (in Chinese)
- Chen C. 1992. Processing application and development prospect of peridotite molding materials [J]. Non-metallic Mines, (06) : 38-40. (in Chinese)
- Chen Y, Su B, Guo S. 2015. The Dabie-Sulu orogenic peridotites: Progress and key issues. Science China: Earth Sciences, 58: 1679-1699. (in Chinese with English abstract)
- Dong Hongkai, Xue Pengyuan, Liu Guang, Liu Silin, Yu Long. 2022. Tectonic attributes of the Jijitaizi - Xiaohuangshan ophiolite in the Beishan area, Inner Mongolia and in relationship to metallogensis: Evidence from the Aminwusu mantle peridotite [J]. Geology and Exploration, 58(4):0767 - 0777. (in Chinese with English abstract)
- Dong Yu, Zhu Zhu, Yang Wenguang et al. Geochemical characteristics of the peridotite from Cuocai Longla, Geze Cave, Tibet in 2012 and its tectonic significance [J]. Science and Technology Vision, (11):68-70+60. (in Chinese)
- Gan Wei, Jin Zhenmin, Wang Genhou, Xu Haijun. 2011. Rheology and fabric characteristics of mantly-derived peridotite in Huinan, Jilin and its implications for dynamics [J]. Acta Geologica Sinica, 85(04) : 491-504. (in Chinese with English abstract)
- GAO Zhongqi, YU Haiyang. 2021. The Analysis of Supply Taking Demand and Market Value of Gemstones: Peridot as An Example. [J]. Journal of Gemd & Gemmology, 2096-9120-05-0075-12. (in Chinese with English abstract)
- Girdler RW, Styles P (1974) Two stage Red Sea floor spreading. Nature 247:7-11.
- KONG Fanmei, WU Su, LI Xuping, LI Shoujun. 2012. Geochemical of the Dongdegou Peridotites in Southwestern Tianshan Mountains and Its Geological Singnificance [J]. Geological Review, 58(06). (in Chinese with English abstract)
- Kurat G, Niedermayr G, Prinz M (1982b) Peridot von Zabargad, Rotes Meer. Der Aufschluss 33:169-182.

- Kurat G, Niedermayr G, Prinz M, Brandstfitter F (1982a) High temperature peridotite intrusion into an evaporite sequence, Zabargad, Egypt. *Terra Cognita* 2:240
- LAN R, Xu M J.2018. Research status of mantle peridotite in the orogenic belt of China [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*,44(10) : 1-10. (in Chinese)
- Lee B, Zhu LM, Gong HJ, Guo B, Yang T, Wang F, Wang F and Xu A. 2010.Genetic relationship between peridotites and chromite deposit from Songshugou area of North Qinling. [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(05):1487-1502. (in Chinese with English abstract)
- Li X F, Bao S C, Yu Yan, Zhou J K. 1995. Thrust nappe structure and its geological significance in Songshugou ophiolitic area, Eastern Qinling Mountains [J]. *Geotectonics and Metallogeny*, (01):52-59. (in Chinese)
- Liu Qing-xiang. 1998. Genesis of the Mylonite on the edge of the ultramafic rock mass in Yangqigou in Henan province. [J]. *Hubei Geology and Minerals Resources*, (02):1-4. (in Chinese with English abstract)
- Liu R.2001. Geological characteristics and metallogenic conditions of the Jiaohe olivine gem deposit in Jilin Province [J]. *Geology and Exploration*, (06):17-19. (in Chinese with English abstract)
- Liu Y X.1990.Geologic feature and Ore-Forming conditions of jiaohe peridot gem deposit in jilin. [J]. *Jilin Geology*, (02):57-64. (in Chinese)
- Liu Zhiyuan. 2010. Effects of olivine characteristics on mantle research [J]. *Science and Technology Review*, 28(18) : 8. (in Chinese)
- Lu FX, Jin ZM, Sang LK, Chu LL and Jin SY. 2007. Petrological study for origin of Nanshan Ultramafic garnet peridotite from Dabie Mountain. *Acta Petrologica Sinica*, 23(11): 2757-2765. (in Chinese with English abstract)
- Lu Qingjie, 2015 environmental rookies: A self-statement of Olivine [J]. *Southern Land and Resources*, (02):41-42. (in Chinese)
- Luo Xianlin, Lu Huanzhang. 2005. History of Chinese and Foreign Treasures, Classic Interests, Appreciation and Trade. Beijing: Geological Publishing House.370. (in Chinese)
- Moon FW (1923) Preliminary geological report on St. John's Island, Red Sea. *Geolog Surv Egypt, Cairo, Egypt*. 36pp.
- Nicolas A, Boudier F, Montigny R (1987) Structure of Zabargad Island and early rifting of the Red Sea. *J Geophys Res* 92:461-474.
- Qin Qing, LI Dongsheng, Peng Yanhua et al. Gem mineralogical characteristics of Ganping olivine from Zhangjiakou, Hebei Province in 2013 [J]. *Chinese Gems and Jade Stones*, (06):140-145. (in Chinese)
- Shen Kun, Xie Hui, Huang Pu, Tang Yiyang.2020. Geological characteristics and development and utilization of Yangqigou peridotite deposit in Xixia County, Henan Province [J]. *Mineral Exploration*, 11(09) : 1910-1917. (in Chinese with English abstract)
- Shi Zhanyi, Li Jinming, Li Zhenxing. Genetic types and geological features of lherzolite nodules in Darnut ultrabasic rock zone, Xinjiang. [J]. *Northwest Geological Sciences*, (01):22-36+145-146. (in Chinese with English abstract)
- Song Shuguang, Su Li, Yang Hequn and Wang Yisheng.1998. Petrogenesis and Emplacement of the Songshugou Peridotite in Shangnan Shanxi [J]. *Acta Petrologica Sinica*, (02) : 85-94. (in Chinese with English abstract)
- Song Shuguang, Zhang Lifei, Niu Yaoling, et al. 2007. Two types of peridotite in continental orogenic belts—a case study from the North Qaidam UHP metamorphic belt. *Earth Science Frontiers*, 14(2):129-138. (in Chinese with English abstract)
- Styles P, Gerdes KD (1983) St John's Island (Red Sea): a new geophysical model and its implications for the emplacement of ultramafic rocks in fracture zones and at continental margins. *Earth Planet Sci Lett* 65:353-368.
- Suo Wende, Kang Jian, Ai Qixing, Song Xieyang. 2022. Petrogenesis of olivine from the Segment II of the Jinchuan intrusion in the Jinchuan mine in Gansu Province, NW China [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 42(03):376-386. (in Chinese with English abstract)
- Tang Xuelian.2005. The Physical & Chemical Characteristics and Genetic Model of Gem Peridot in Damaoping, Hebei province. [J]. *Yunnan Geology*, (02):218-224. (in Chinese with English abstract)
- Trulzi AE (1898) Expedition S. M. Schiff "Pola" in das Rothe Meer, nördliche Hälfte. *Wissenschaftliche Ergebnisse* 11. Relative Schwerebestimmungen. *Denkschr K Akad Wiss Wien Math-naturw K1* 65:131-206.

- Wang Cunzhi, Huang Zhizhong, Xing Guangfu, et al. 2016. The origin of the mantle peridotite from ophiolite in northeast Jiangxi and its geological implications[J]. *Geology in China*, 43(4): 1178-1188(in Chinese with English abstract).
- Wang C Z, Jiang Y, Xing G F. 2011. Recent situation of researches on ophiolites and some problems concerning the ophiolites in south China.[J]. *Resources Survey and Environment*, 32(04):235-246. (in Chinese with English abstract).
- Wang Qinglian, 1988 Characteristics and development and utilization of magnesium olivine ore in Shangnan, Shaanxi Province [J]. *Building Materials Geology*, (06):28-29. (in Chinese)
- Wang Xibin, Bao Peisheng. 1996. Genetic types of China's ophiolite and their metallogenetic specialization. 1996.[C]// Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Laboratory of Lithospheric Tectonic Evolution, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Department of Geology, Peking University. Proceedings of the Symposium on ophiolite and Geodynamics. Geological Publishing House, 1996:6. (in Chinese with English abstract).
- Wang Xibin, Hao Zigu. 1994. Temporal-spatial distribution and structural types of ophiolite in the orogenic belts of China [J]. *Regional Geology of China*, (03):193-204. (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaomei, Zeng Zhigang, Ouyang Hegen, Yin Xuebo, Wang Xiaoyuan, Chen Shuai, ZHANG Guoliang, Mushui. A review on the research progress of serpentinization of oceanic peridotite [J]. *Advances in Earth Science* (06) : 605-616.
- Wang Xibin, Bao Peisheng, Xu He. 1996. Rare Earth Elements Geochemistry of the Mantle Peridotite in the Ophiolite Suites of China.[J]. *Acta Petrologica Sinica*, (S1):24-41. (in Chinese with English abstract).
- WANG Yixuan, WANG Genhou, YUAN Guoli, et al. 2018. Tectonic genesis of the Santaishan peridotite in western Yunnan and its geological significance; evidence from geology, mineralogy and petrogeochemistry. *Earth Science Frontiers*, 25(1):138-156. (in Chinese with English abstract).
- Wei Y G, Wang D J, Yi L, Deng J, Wang J G, Xie H S. 2005. Measurements of elastic wave velocities in mantle rocks at high temperatures and high pressures from Damaping area, Wanquan, northwestern Hebei, China, and its geological significance. [J]. *Geological Bulletin of China*, 24 (6):524-527. (in Chinese with English abstract).
- Xu M J, Jin Z M. 2010. Deformation microstructures of mantle peridotite from Luobusha ophiolite, Tibet, China and its geological implication. *Geological Bulletin of China*, 29(12):1795-1803. (in Chinese with English abstract).
- Xu Q, Zhang C H, Qin H Y. 2015. Discussion on quality classification of olivine in Jiaohe, Jilin [J]. *Shandong Industrial Technology*, No.205(23):103. (in Chinese)
- Xu XZ, Yank JS, Guo GL and Li JY. 2011. Lithological research on the Purang mantle peridotite in western YarlungZangbo suture zone in Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 27(11):3179-3196. (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiangzhen. 2009. Origin of the Kangjinla padiform chromite deposit and mantle peridotite, Southern Tibet [D]. Chinese Academy of Geological Sciences. (in Chinese with English abstract).
- Xu Y P, Zhang F M. 1993. Geological characteristics of the forsterite deposit in Yichang and its genesis. [J]. *Hubei Geology*, (02):20-31+97. (in Chinese with English abstract).
- Yan Z Y. 1985. Division of tectonic-intrusive rock belt in Henan Province [J]. *Henan Geology*, 1985(04):63-71. (in Chinese)
- Yang Hengxue, Liang Rui, Xu Chao, Zhao Jun. 2017. Prospecting for the north-easterly periphery of Damaping peridot ore in Wanquan County, Hebei Province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 31(05):935-940. (in Chinese with English abstract).
- Yu Jianing. 2009. Mineralogical Researching of olivine in Hebei Damaping. [D]. China University of Geosciences (Beijing). (in Chinese with English abstract).
- Yu Yan, Bao Shicong, Li Xianfu, Chen Zhangrui. 1994. REE Geochemistry and Petrogenesis of Songshugou-Yangqigou Ultramafic Rocks in East Qinling, [J]. *Journal of Wuhan University of Chemical Technology*, (04):44-48.(in Chinese with English abstract).
- Yu Qian. 1994. Development and utilization of peridotite in China [J]. *Building Materials Industry Information*, (07):2-3. (in Chinese)
- Yu Hong., 2011. Mineral Geochemical characteristics and Genetic Mechanism of Olivine Rocks in Shangnan, Shaanxi [D]. China University of Geosciences (Beijing). (in Chinese with English abstract).

- Zhang Hongfu, Yu Hong. 2019. Petrology and tectonic Evolution of Orogenic Peridotite Massif : a case study of Songshugou Peridotite [J]. Earth Science,44(04):1057-1066. (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q.2021.11. Research status of olivine and its geological significance [J]. Advances in Geosciences,11(4),459-464. (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zejun. Genesis of ultrabasic rocks in Songshugou Area, Shangnan, Shaanxi Province, 1981 [J]. Journal of Chang 'an University (Earth Science Edition), (02):22-32. (in Chinese)
- Zheng J P, Lu F X, Yu C M, Tang H Y, Zhang Z H, Chu L L.2007. Physical and chemical processes of the destruction of the North China craton: evidence from mantle peridotite [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry,(04) : 327-335. (in Chinese with English abstract).
- ZHENG Jian-ping,LU Feng-xiang,GRIFFIN W L,et al. 2006. Lithospheric thinning accompanying mantle lateral spreading,erosion and replacement beneath the eastern part of North China:evidence from peridotites.EarthScience Frontiers,13(2):076-085.(in Chinese with English abstract).
- Zhou Q, Wu FY, Chu ZY, Yang YH, Sun DY and Ge WC.2007.Sr-Nd-Hf-Os isotopic characterization of the Jiaohe Peridotite xenoliths in Jilin Porvince and constraints on the lithospheric mantle age in northeasetrn China. Acta Peotrologica Sinica,23(6):1269 — 1280. (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 安三元, 王瑄荣, 胡能高. 1981 陕西商南松树沟超镁铁质岩体的地质特征及成因[J].长安大学学报(地球科学版), (02):9-21.
- 白文吉, 方青松, 张仲明等. 1999 西藏雅鲁藏布江蛇绿岩带罗布莎地幔橄榄岩的成因[J].岩石矿物学杂志, (03):193-206+216.
- 曹脉运, 1992 铸造用焙烧镁橄榄石砂通过鉴定[J].热加工工艺,(01):49.
- 陈超. 1992 橄榄岩造型材料加工应用及开发前景[J].非金属矿,(06): 38-40.
- 陈意, 苏斌, 郭顺. 2015.大别-苏鲁造山带橄榄岩:进展和问题[J].中国科学:地球科学,45(09):1245-1269.
- 董洪凯, 薛鹏远, 刘广, 刘思林, 于龙. 2022 内蒙古北山地区芨芨台子-小黄山蛇绿岩构造属性及与成矿关系: 来自阿民乌素地幔橄榄岩印证[J].地质与勘探, 58(04):767-777.
- 董煜, 朱利东, 杨文光等. 2012 西藏改则洞错才隆拉橄榄岩地球化学特征及其大地构造意义[J].科技视界, (11):68-70+60.
- 干微, 金振民, 王根厚, 徐海军. 2011.吉林辉南幔源橄榄岩流变学与组构特征及其动力学启示[J].地质学报,85(04): 491-504.
- 高仲琪, 于海洋. 2021 宝石的供应、需求及其市场价值分析: 以橄榄石为例[J].宝石和宝石学杂志(中英文), 23(05):75-86.
- 孔凡梅, 吴苏, 李旭平, 李守军.2012.西南天山东德沟橄榄岩的地球化学特征及其地质意义[J].地质论评,58(06)
- 兰锐, 徐梦婧. 2018.中国造山带地幔橄榄岩的研究现状[J].内蒙古石油化工,44(10): 1-10.
- 李彝, 朱赖民, 弓虎军等. 2010 北秦岭松树沟橄榄岩与铬铁矿矿床的成因关系[J].岩石学报, 26(05):1487-1502.
- 李先福, 鲍世聪, 余研, 周进宽.1995.东秦岭松树沟蛇绿岩区逆冲推覆构造及其地质意义[J].大地构造与成矿学,(01):52-59.
- 刘庆祥. 1998 河南洋淇沟超镁铁质岩体边部糜棱岩成因[J].湖北地矿, (02):1-4.
- 刘瑞. 2001.吉林省蛟河橄榄石宝石矿床地质特征及成矿条件研究[J].地质与勘探,(06):17-19.
- 刘永祥. 1990.河北迁安铁矿带南部尖晶石橄榄大理岩的特征及成因探讨[J].吉林地质,(02):57-64.
- 刘志远. 2010.橄榄石特征对地幔研究的作用[J].科技导报,28(18): 8.
- 路凤香, 金振民, 桑隆康, 储玲林, 金淑燕. 2007.大别山南山岭石榴橄榄岩成因的岩石学研究[J].岩石学报,(11):2757-2765.
- 罗献林, 卢焕章. 2005.《中外宝石历史·典趣·鉴赏·贸易》. 北京: 地质出版社.370.
- 吕庆阶, 2015 环保新秀——橄榄石的自述[J].南方国土资源, (02):41-42.
- 秦晴, 李东升, 彭艳华等. 2013 河北张家口大麻坪橄榄石的宝石矿物学特征[J].中国宝石, (06):140-145.
- 沈坤, 解惠, 黄璞, 汤宜洋. 2020.河南西峡县洋淇沟橄榄岩矿床地质特征及开发利用[J].矿产勘查,11(09): 1910-1917.
- 师占义, 李金铭, 李振兴. 1982 新疆达拉布特二辉橄榄岩团块的成因类型及其地质特征[J].西北地质科学, (01):22-36+145-146.
- 宋述光, 苏犁, 杨合群, 王懿圣. 1998.陕西商南松树沟橄榄岩体的成因及侵位机制[J].岩石学报,(02): 85-94.
- 宋述光, 张立飞, 牛耀龄, 张贵宾. 2007.大陆碰撞造山带的两类橄榄岩——以柴北缘超高压变质带为例[J].地学前缘,(02): 129-138.

- 索文德,康健,艾启兴,宋谢炎. 2022.甘肃金川II号岩体橄榄石成因探讨[J].矿物学报,42(03):376-386.
- 唐雪莲. 2005.河北大麻坪宝石级橄榄石物理化学性质及成因[J].云南地质, (02):218-224.
- 汪小妹,曾志刚,欧阳荷根,殷学博,王晓媛,陈帅,张国良,武力.2010.大洋橄榄岩的蛇纹石化研究进展评述[J].地球科学进展(06): 605-616.
- 王存智,黄志忠,邢光福,余明刚,洪文涛. 2016.赣东北蛇绿岩地幔橄榄岩岩石成因及其地质意义[J].中国地质,43(04):1178-1188.
- 王存智,姜杨,邢光福. 2011.蛇绿岩研究现状及华南蛇绿岩问题[J].资源调查与环境,32(04):235-246.
- 王清廉. 1988 陕西省商南镁橄榄石矿特征及开发利用[J].建材地质, (06):28-29.
- 王希斌,鲍佩声,戎合. 1996. 中国蛇绿岩中变质橄榄岩的稀土元素地球化学[J].岩石学报, (S1):24-41
- 王希斌,鲍佩声. 1996.试论中国蛇绿岩成因类型及其成矿专属性[C].国家自然科学基金委员会地球科学部,中国科学院地质研究所,中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放实验室,中国地质科学院地质研究所,北京大学地质系.蛇绿岩与地球动力学研讨会论文集.地质出版社,1996:6.
- 王希斌,郝祖国. 1994.中国造山带蛇绿岩的时空分布及构造类型[J].中国区域地质, (03):193-204.
- 王奕萱,王根厚,袁国礼,王行军,吕勇,林宇. 2018.滇西三台山幔橄榄岩的成因及其构造意义:来自地质学、矿物学和岩石地球化学的证据[J].地学前缘,25(01):138-156.
- 韦延光,王多君,易丽等. 2005 冀西北万全地区大麻坪地幔岩包体高温高压弹性波研究及其地质意义[J].地质通报, (06):524-527.
- 徐梦婧,金振民. 2010.西藏罗布莎地幔橄榄岩变形显微构造特征及其地质意义[J].地质通报, 29(12):1795-1803.
- 徐强,张彩慧,秦宏宇. 2015.吉林蛟河橄榄石质量分级探讨[J].山东工业技术,No.205(23):103.
- 徐向珍,杨经绥,郭国林,李金阳. 2011.雅鲁藏布江缝合带西段普兰蛇绿岩中地幔橄榄岩的岩石学研究[J].岩石学报,27(11):3179-3196.
- 徐向珍. 2009.藏南康金拉豆荚状铬铁矿和地幔橄榄岩成因研究[D].中国地质科学院.
- 徐云鹏,张方明. 1993.湖北宜昌镁橄榄岩矿床地质特征及其成因探讨[J].湖北地质,(02):20-31+97.
- 阎中英. 1985.河南省构造侵入岩带的划分[J].河南地质,1985(04):63-71.
- 杨恒学,梁瑞,徐超,赵军. 2017 河北省万全县大麻坪橄榄绿宝石矿东北外围找矿远景[J].矿产与地质,31(05):935-940.
- 于濂. 1994 我国橄榄岩的开发利用[J].建材工业信息,(07):2-3.
- 于红. 2011 陕西商南松树沟橄榄岩矿物地球化学特征及成因机理示踪[D]. 中国地质大学(北京).
- 余研,鲍世聪,李先福等. 1994 东秦岭松树沟一洋淇沟超基性岩体稀土元素地球化学与岩体成因[J].武汉化工学院学报, (04):44-48
- 俞佳宁. 2009.河北大麻坪橄榄石的矿物学研究[D].中国地质大学(北京).
- 张宏福,于红. 2019.造山带橄榄岩岩石学与构造过程:以松树沟橄榄岩为例[J].地球科学,44(04):1057-1066.
- 张琦. 2021.11.橄榄石的研究现状及其地质学意义[J].地球科学前沿,11(4),459-464.
- 张泽军. 1981 陕西商南松树沟地区超基性岩成因探讨[J].长安大学学报(地球科学版), (02):22-32.
- 郑建平,路凤香,余淳梅,汤华云,张志海,储玲林. 2007.华北克拉通破坏的物理、化学过程:地幔橄榄岩证据[J].矿物岩石地球化学通报,(04): 327-335.
- 郑建平,路凤香,余淳梅,张瑞生,袁晓萍,吴秀玲. 2006.华北东部橄榄岩与岩石圈减薄中的地幔伸展和侵蚀置换作用[J].地学前缘,(02): 76-85.
- 周琴,吴福元,储著银,杨岳衡,孙德有,葛文春. 2007.吉林蛟河地幔橄榄岩捕虏体的 Sr-Nd-Hf-Os 同位素特征与岩石圈地幔时代[J].岩石学报,(06):1269-1280.