

“一带一路”地区高级宝玉石矿床分布规律

赵子欧¹, 乔东海², 张维策¹, 赵元艺³

ZHAO Ziou¹, QIAO Donghai², ZHANG Weice¹, ZHAO Yuanyi³

1. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, Hubei, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

摘要:“一带一路”地区由于特殊的地质构造环境,发育宝玉石矿床,特别是高级宝玉石矿床。对于相关国家的高级宝玉石矿床,前人虽进行过一定程度的研究,但并未从“一带一路”的角度进行探索研究。鉴于此,在相关资料研究的基础上,对“一带一路”地区高级宝玉石矿床的分布规律进行了归纳与总结,以期为中国企业掌握“一带一路”地区宝玉石信息提供参考资料,同时为相关国家勘查开发宝玉石矿床提供资料,促进其经济发展。研究表明,金刚石矿床主要分布在俄罗斯、中国、印度等地,尤以俄罗斯西伯利亚地区为主要生产地,分为原生矿床和次生矿床2种;翡翠矿床主要分布在缅甸、俄罗斯、哈萨克斯坦和中国,其中缅甸是翡翠产量最高、品质最好的国家,产量占全世界产量的95%,分布在缅甸北部克钦邦的帕敢—道茂一带,有原生矿床和次生矿床2种类型;祖母绿矿床分布比较广泛,在阿富汗、哈萨克斯坦、巴基斯坦、印度、俄罗斯和中国都有分布,尤以俄罗斯乌拉尔地区祖母绿较出名,分为气成热液型和伟晶岩型2种;软玉矿床分布在中国、俄罗斯和韩国,尤以中国新疆的和田玉最出名,有岩浆热液型和变质热液型2种类型。

关键词:“一带一路”;高级宝玉石;金刚石;翡翠;祖母绿;软玉;和田玉

中图分类号:P617;P619.28⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)08-1450-12

Zhao Z O, Qiao D H, Zhang W C, Zhao Y Y. A study of the distribution of high-grade gemstone and jade deposits in countries of "The Belt and Road". *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(8):1450-1461

Abstract: There are 65 countries in the “The Belt and Road” region. Due to special geological tectonic environment, these countries have produced gemstone and jade deposits, especially senior gemstone and jade deposits. Relevant researchers have conducted some studies of gemstone and jade deposits, but not from the perspective of “The Belt and Road” strategic plan. The authors summarized gemstone and jade deposit distribution in “The Belt and Road” region by consulting a lot of relevant data, in the hope of providing gemstone and jade information of “The Belt and Road” region for Chinese enterprises and relevant countries so as to promote economic development. Diamond deposits are distributed in Russia, China and India, especially in Russian Siberian region, and there are two types: the primary deposit and the secondary deposit. Jadeite deposits are distributed in Myanmar, Russia, Kazakhstan and China. The Myanmar jadeite, distributed in Kachin Hpakan-Tawmaw of northern Myanmar, is characterized by high output and good quality, and the output possesses 95% of the world’s output; there are two types: the primary deposit and the secondary deposit. Emerald deposits are distributed in Afghanistan, Kazakhstan, Pakistan, India, Russia and China. Russian Ural’s emerald is especially fa-

收稿日期:2017-03-25;修订日期:2017-05-23

资助项目:中国地质调查局项目《中亚及邻区铜镍铀资源潜力评价与应用示范》(编号:121201103000150006)、《中蒙边境大型-特大型铜、金、铀和稀有金属矿集区对比研究》(编号:12120115066201)和《“一带一路”资源潜力综合分析与应用》(编号:12120115065901)

作者简介:赵子欧(1996-),女,在读本科生,地质学专业。E-mail:1044432566@qq.com

通讯作者:赵元艺(1966-),男,博士,研究员,从事矿床学、地球化学研究。E-mail:yuanyizhao2@sina.com

mous, with two types: the pneumatolytic hydrothermal deposit and the pegmatite deposit. Nephrite deposits are distributed in China, Russia and South Korea, especially in Xinjiang of China, having two types: the magmatic hydrothermal deposit and the metamorphic hydrothermal deposit. Hetian jade of Xinjiang is most famous in the world.

Key words: “The Belt and Road”; high-grade gemstone and jade; diamond; jadeite; emerald; Hetian jade

宝玉石是被切割、擦润、抛光的矿物、石料、土化物体,为收藏品、收藏品或穿着装饰之用,如金刚石、祖母绿、翡翠、软玉等都属于宝玉石。宝玉石分为宝石和玉石2种,广义的宝石是指所有经过琢磨、雕刻后可以成为首饰或工艺品的材料;狭义的宝石是指自然界产出的,具有美观、耐久、稀少且可琢磨、雕刻成首饰或工艺品的矿物单晶体。玉石是指自然界产出的,具有美观、耐久、稀少和工艺价值的矿物集合体^①。在美观性方面,宝玉石以其特有的光泽、独特的美感等优点受到人们的青睐,装饰性、纪念性、收藏性、保健性等属性吸引了人们对宝玉石的珍爱。宝玉石作为饰品,多佩戴在显著部位,是对人体的修饰和点缀,给人以精神上的寄托,激发人类对美好生活的无限遐思和憧憬。在投资方面,宝玉石持久的保值能力及快速的增值能力正成为当今人们收藏的热点。宝玉石具有独特的传承优势,具有资源稀缺、持续涨价、体积小、易存放、易搬运等特点,这些优势降低了投资风险。近年来,随着人们对宝石资源的需求量增加,宝玉石出现了供不应求的现象^②。

高档宝玉石指金刚石、红宝石、蓝宝石、祖母绿、翡翠、软玉等宝玉石,“一带一路”地区主要有金刚石、祖母绿、翡翠和软玉。高档宝玉石矿床是指在一定地质作用下形成,并在当今的技术和经济条件下,具有开采和利用价值的高档宝玉石矿物的集合体。高档宝玉石在缅甸、俄罗斯、中国等65个“一带一路”沿线国家呈不规律的分布。虽然“一带一路”地区现有宝玉石的开采地区众多,但数据显示已开采出的宝玉石数量明显不足,且许多地方开采难度大,质量也不过关。因此,宝玉石要想满足人们的需求,得到快速的发展,首要任务就是加大对宝玉石矿产资源的勘查力度,寻找优质矿床。前人对宝玉石矿床进行过相关研究^[2-65],但系统研究少。笔者根据前人的研究成果,对“一带一路”沿线地区的高级宝玉石矿床分布规律进行研究,研究结果对推动“一带一路”计划中宝玉石方面的研究具有重要参考。

1 区域地质概况

宝玉石矿床一般产出在板块碰撞造山带、古老稳定的地台地盾及构造变质带地区,受深大断裂控制。“一带一路”地区宝玉石矿床大多形成于阿尔卑斯、喜马拉雅造山带,以及俄罗斯的西伯利亚和乌拉尔山脉一带。“一带一路”地区地质构造复杂,区域整体上由多个陆块拼合而成,包括劳亚古陆的绝大部分,以及冈瓦纳古陆分解出来的某些陆块,主要由6个大型陆块和5条巨型造山带及其间的小陆块拼合而成。5条造山带分别为北极造山带、乌拉尔-蒙古造山带、昆仑-秦岭-祁连造山带、特提斯-喜马拉雅造山带和环太平洋造山带。“一带一路”地区横跨特提斯、古亚洲和环太平洋3个大型成矿域,成矿域上分布数量和储量都较可观的宝玉石矿床。特提斯成矿域是晚古生代—新生代期间,古、新特提斯洋在扩张和闭合过程中板块发生大规模俯冲、碰撞而形成的,复杂的构造演化导致该带成矿具有多金属、多类型的特征;古亚洲成矿域矿产资源丰富,稀有金属矿产在成矿域上大量产出,如在新疆阿尔泰、天山等地区的褶皱造山带中,与花岗岩类岩石有关的宝玉石矿床分布广泛;环太平洋成矿域是全球第三大成矿域,受中、新生代以来太平洋板块俯冲的影响,构造和岩浆活动频繁,成矿域上发生铜、钼、金、银、铅、锌、宝玉石等大规模成矿作用。在漫长的地质历史时期,“一带一路”地区经历了复杂的地质构造演化,陆块的多次裂解、汇聚、增生和拼合为成矿元素的富集创造了有利条件,形成了许多储量可观的铜、铅、锌、铁、铬、锰、锡、钨、宝玉石、石油、天然气等重要矿产资源^[64-68]。

2 “一带一路”地区金刚石矿床

钻石的矿物名称是金刚石,是一种由C元素组成的矿物,是C元素的同素异形体。金刚石是地球上发现的最坚硬的物质,按用途分为2类:质优粒大可用作装饰品的称为宝石级金刚石,质差粒细用于工业的称工业用金刚石。宝石级金刚石,又称钻石,光泽灿烂,晶莹剔透,被誉为“宝石之王”,价值

昂贵。金刚石赋存的母岩主要是来源深达上地幔的金伯利岩和钾镁煌斑岩超基性岩,其次还有超基性岩(如云母橄榄岩、榴辉岩)、碱性玄武岩、隕石、变质岩等,但具有工业意义的只有前2种^[2]。当前,自然界中金刚石的赋存具有储量极少和分布十分不均匀的特点。全球金刚石的年产量不超过 $5000 \times 10^4 \text{ Ct}$,且产地主要集中在澳大利亚、南非、苏联西布里亚等地。通常情况下,从矿体中提取1t矿石得到的有经济价值的金刚石不超过几克拉,经过加工、打磨等流程之后只有10%~20%可以变成光鲜亮丽的钻石^[3]。由此可见,钻石的珍贵不言而喻,开发出更多的钻石矿床也就成为宝石领域的一大主要任务。

金刚石的成矿条件特殊,在地球上分布十分稀少且很不均衡,主要集中产在太古宙稳定的克拉通地区和岩石圈厚度大、大地热流值低的构造薄弱带地区。原生金刚石是在地下深处(130~180km)、高温(900~1300℃)、高压(45~60kPa)、中等氧逸度的环境下结晶而成的^[4],在“一带一路”地区中的非洲西部、俄罗斯的西伯利亚,中国的华北、扬子 and 塔里木地台,以及印度北部和东部地区都有分布^[5]。金刚石的傳統矿床类型是金伯利岩型或钾镁煌斑岩型,但近年来在板块碰撞带的超高压变质带中陆续发现微粒金刚石,产出在变质岩中,首次在哈萨克斯坦发现金刚石,中国大别山地区也有发现,有望成为新的矿床类型^[6]。

2.1 “一带一路”地区金刚石矿床分类

“一带一路”地区金刚石矿床可分为原生矿和次生矿2种^[7],原生矿床又可根据成矿母岩的种类分为金伯利岩型和钾镁煌斑岩型^[8]。金伯利岩型金刚石矿床主要产于太古宙克拉通内部的构造薄弱带,受克拉通上与基底有关的隐伏深断裂或深断裂带两侧的次一级断裂控制;钾镁煌斑岩型金刚石主要产于太古宙克拉通边缘的元古宙活动带和古元古代地台^[9,75]。钾镁煌斑岩型金刚石矿床是1979年在澳大利亚发现的,来源于岩石圈地幔的浅成超钾、超镁质的基性岩或超基性岩,具煌斑结构^[10],产出方式与金伯利岩相似,岩体主要为火山管道相。世界闻名的阿盖尔(Argyle)钾镁煌斑岩岩筒,侵位于金伯利克拉通东南侧的活动带上,是世界上首次在金伯利岩以外的岩石中发现的金刚石原生矿^[11]。位于西伯利亚地台上的“和平”岩筒和“成功”岩筒

是“一带一路”地区金刚石的重要寄主岩^[12],中国辽宁瓦房店地区发现的30号金伯利岩管是一个大型原生金刚石矿床^[13]。

次生金刚石矿床是原生矿床经过风化、剥蚀、搬运、再沉积等一系列地质作用形成的,也称为金刚石砂矿床。砂矿床根据成矿环境不同可分为河流冲积砂矿、冰成砂矿及海滨砂矿3种类型^[14]。金刚石砂矿床中金刚石产量在市场上约占60%,在“一带一路”沿线地带,西伯利亚地台上砂矿中金刚石储量约为 $5000 \times 10^4 \text{ Ct}$,在印度及中国的辽宁复州河流域的第四纪河流冲积物中也发现了具有经济价值的金刚石砂矿^[13],开发潜力巨大。

2.2 典型金刚石矿床地质特征

2.2.1 西伯利亚地区“成功”岩筒

俄罗斯金刚石的产地主要为萨哈(Sakha)共和国雅库特(Yakutia)地区、阿尔汉格尔斯克(Arkhangelsk)州和彼尔姆(Perm)州。雅库特地区的金刚石占俄罗斯金刚石总资源量的80%,这些地方共发现了500个金伯利岩筒,其中只有10%含金刚石,著名的“成功”岩筒即是其中之一^[8]。俄罗斯年产金刚石约 $13 \times 10^6 \text{ Ct}$,居世界第4位,其中宝石级26%,近宝石级44%,工业级30%,总体粒度较小^[15]。

“成功”岩筒(Udachny)大地构造位置位于2个不同构造单元的邻接地区,朗通古斯台向斜和安娜巴德台背斜之间。在台背斜的隆起部分,出露的地层是古老的结晶片岩,褶皱和错动在这里都较强烈,其中有闪长岩的侵入,在其周围分布有震旦纪、寒武纪和奥陶纪地层,褶皱较平缓;早古生代地层包括碳酸盐类岩石在内,厚度达2000m。台向斜地层的分布和台背斜一样,下部也有早古生代碳酸盐类的沉积。此外,还发育志留纪—侏罗纪地层。在整个西伯利亚地台的周围及上述背斜和向斜之间都分布着深大断裂,其中北西向的深大断裂被侏罗系掩盖。在地台的边缘,分布有许多与深大断裂有关的内生矿床,含金刚石的金伯利岩岩筒,都出现在与深大断裂有关的近东西向的羽状构造断裂带中,岩筒也按此方向排列。岩筒的形状多种多样,如“成功”岩筒呈“8”字形,长750m,宽350m,围岩产状很陡。“成功”岩筒的岩性可分为东部和西部2种不同岩性,东部为玄武质角砾状金伯利岩,西部为角砾状金伯利岩。在西部见有玄武质金伯利岩脉穿在角砾状金伯利岩中,在东部也有不规则脉状的

角砾状金伯利岩侵入在玄武质金伯利岩中,说明金伯利岩的形成并非单期,而是多期形成的。

2.2.2 辽宁瓦房店金刚石矿床

辽宁省发现的金刚石矿床(图1;表1编号2)主要分布于瓦房店地区,且大多具有工业意义^[16]。截止到目前,瓦房店地区已找到由北向南间距约8km的3个金刚石矿带,由24个岩管和88条岩脉共112个岩体组成,分为4个大型金刚石原生矿床和3个近源冲积型砂矿床^②。在这些矿床中,达工业品位的金伯利岩管有6个(30、42、50、51、68、74号),各岩管内金刚石含量变化较大,一般介于100~300mg/m³之间^[17-19]。

矿床大地构造位置位于中朝准地台胶辽台隆复州-大连凹陷内,郯庐断裂带东侧60km处。矿区地层主要由太古宙-古元古代基底(鞍山群和辽河群混合花岗岩、斜长角闪岩、片麻岩等)和前震旦系-古生界(青白口系、南华系和寒武系灰岩、

页岩等)组成^[20]。瓦房店金伯利岩分布在瓦房店西部,由众多岩管和岩脉组成,呈北东向排列。岩管和岩脉形态各异,但整体延伸方向受北北东-北东东向断裂控制。瓦房店金伯利岩可划分为3条成矿带,目前研究较多的30号岩管分布在I号成矿带上^③。金伯利岩岩浆起源于地幔深部,在沿郯庐断裂带上升过程中,到达近地表通过金刚石稳定区时捕获了金刚石。部分金伯利岩岩浆在北东东向和东西向断裂交会部位侵入喷发成矿,未喷发出来的金伯利岩岩浆侵入到围岩中形成隐伏矿体^[13]。

30号金伯利岩管位于瓦房店I号成矿带上,由浅部的30-1岩体和深部的30-2岩体组成,赋矿围岩为前震旦系城子坦组片麻岩、南芬组页岩、泥灰岩。地表出露地层为南芬组灰岩,地下500m深度见片麻岩。岩管中有大量的围岩捕虏体,包括片麻岩、泥灰岩、页岩、石英砂岩、粉砂岩^③。浅部岩管(30-1号)为椭圆状,面积14000m²。该岩管东南侧

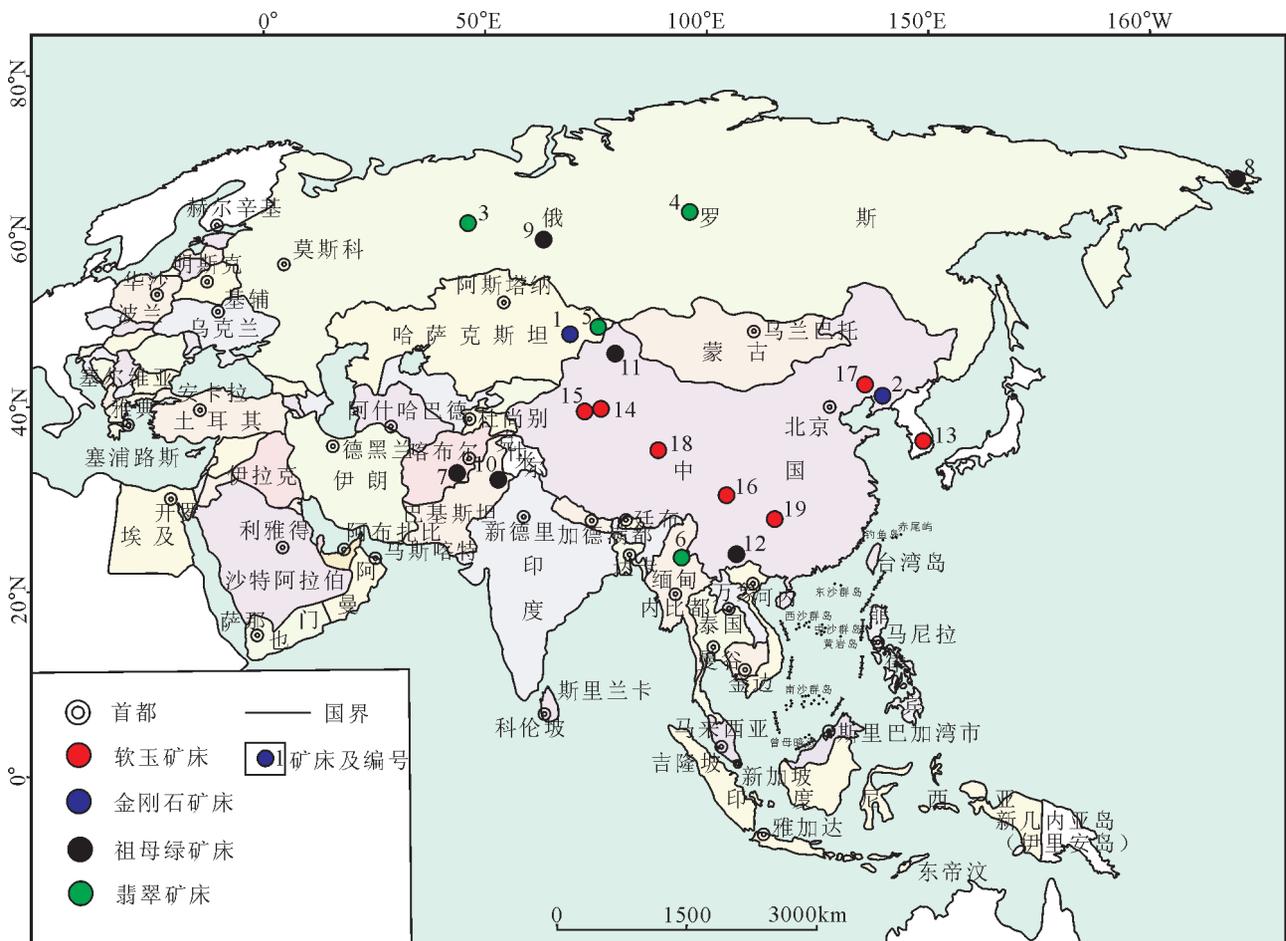


图1 “一带一路”地区宝玉石矿床分布

Fig. 1 Distribution of gemstone and jade deposits in “The Belt and Road” region

表1 “一带一路”地区典型宝玉石矿床分布
Table 1 Data distribution of typical gemstone and jade deposits in “The Belt and Road” region

序号	经纬度	矿床名称	国家	矿种	矿物组合	成因	资料来源
1	E70°19' N49°25'	Kumdy-Kol 矿床	哈萨克斯坦	金刚石	石榴石、辉石、阳起石、 黑云母、电气石	变质成因	[6]
2	E144°37' N40°03'	辽宁瓦房店金刚石矿床	中国	金刚石		岩浆热液成因	[13]
3	E48°19' N60°25'	克奇佩利矿床	俄罗斯	翡翠	钠铬辉石、绿辉石、硬玉	区域变质成因	[25]
4	E98°19' N61°25'	卡什卡拉克矿床	俄罗斯	翡翠		区域变质成因	[25]
5	E81°40' N47°23'	特穆隆达翡翠矿床	哈萨克斯坦	翡翠	硅辉石、顽火辉石、 铁辉石、硬玉、锆石		[26]
6	E96°19' N25°42'	缅甸度冒翡翠矿床	缅甸	翡翠	硬玉、绿辉石、钠铬辉石、 角闪石、铬铁矿、钠长石	岩浆成因、变质成因和 热液交代成因	[27]
7	E69°14' N34°53'	潘杰希尔矿床	阿富汗	祖母绿	黑云母、斜长石、石英、 方解石、白云石	热液变质成因	[28-29]
8	E174°96' N69°54'	桑达瓦纳矿床	俄罗斯	祖母绿	透闪石针状晶体、 石榴子石、针铁矿	变质成因或接触交代成因	[29]
9	E61°59' N58°56'	乌拉尔矿床	俄罗斯	祖母绿	滑石、透闪石、铬铁矿、 金云母、阳起石	气成热液型矿床	[29]
10	E34°47' N50°56'	瓦斯特祖母绿矿床	巴基斯坦	祖母绿	石英、白云石、方解石、滑石	热液成矿成因	[30]
11	E79°47' N47°56'	新疆祖母绿矿床	中国	祖母绿	方解石、绿柱石、石英、水晶	碳酸盐型,中高温 气成-热液型	[31]
12	E105°10' N23°13'	云南祖母绿矿床	中国	祖母绿	电气石、斜长石、黑云母和毒砂	伟晶岩脉型	[31]
13	E150°47' N37°13'	春川软玉矿床	韩国	软玉	透辉石、蛇纹石和斜绿泥石	接触交代成因	[32]
14	E78°29' N37°56'	新疆皮山县392和田玉矿床	中国	和田玉	橄榄石、白云石、透闪石、滑石	热液交代成因	[33]
15	E78°12' N36°18'	新疆皮山县397和田玉矿床	中国	和田玉	透闪石、榴石	层控接触交代成因	[34]
16	E103°52' N34°35'	四川龙溪软玉矿床	中国	软玉	透闪石、白云石、绿泥石、 黑云母、石榴子石、方解石	变质成因	[35]
17	E142°47' N42°56'	辽宁岫岩闪石玉矿床	中国	软玉	透闪石、蛇纹石、透辉石	变质热液成因	[36]
18	E94°22' N35°54'	青海三岔河软玉矿床	中国	软玉	透闪石、方解石、透辉石、 蛇纹石、铬铁矿、磷灰石	变质热液成因	[37]
19	E106°47' N25°47'	贵州罗甸透闪石矿床	中国	软玉	透闪石、透辉石、绿泥石、 方解石、钠长石	接触交代变质成因	[38]

下方、基岩以下206m处为隐伏金伯利岩管(30-2号),其规模和储量约为30-1号岩管的2倍,提交储量为 $278.9 \times 10^4 \text{ Ct}^{[21]②}$ 。30-1号浅部岩体中斑状富金云母金伯利岩分布在岩体的东部和中部,金伯利凝灰角砾岩分布在岩管边部。30-2深部岩体中金伯利岩分布在岩体的中心部位,离地表250~300m不

等,从岩体中心向四周逐渐过渡为金伯利凝灰角砾岩^[22]。30号岩管岩石类型简单,岩浆活动具有明显脉动和分期的特点,至少由4次岩浆活动形成了4种类型的金伯利岩。分别为碳酸盐化斑状金伯利岩块状构造,圆斑结构,围岩碎屑角砾组分含量不超过5%;斑状富金云母金伯利岩块状构造,圆斑

结构,围岩角砾组分含量不超5%;含围岩角砾斑状金伯利岩角砾状构造,碎屑状结构,围岩角砾的组分含量不超过50%;金伯利凝灰角砾岩角砾状构造,其中结晶灰岩的组分含量在50%~90%之间^[22]。

3 “一带一路”地区翡翠矿床

3.1 总体特征

翡翠是以硬玉矿物为主的辉石类矿物组成的纤维状集合体,是在地质作用下形成的达玉石级的石质多晶集合体,主要由硬玉或硬玉、钠质(钠铬辉石)、钠钙质辉石(绿辉石)组成。翡翠的颜色比其他任何玉的颜色都鲜艳、质地都细腻,其价值也是所有玉质中最高的,因此人们称翡翠为“玉中之王”。翡翠质量的评价主要从质地、色彩、透明度、粒度大小等方面进行评价,质地细腻致密、色彩艳丽、透明度好、块大而完整无裂隙的翡翠为上等。

不同产地的翡翠,矿物组合不完全相同,甚至同一矿区产出的翡翠矿石,矿物组合也不一定相同,绝大部分都不同程度地含有钠铬辉石、绿辉石、普通角闪石(包括其他闪石类矿物)、钠长石和含硅钙铬的未名矿物,以及铬铁矿、铬尖晶石、磁铁矿、辉钼矿和非晶质物质^[23]。另外还有次生矿物,如粘土矿物、沸石等,大多分布在裂隙中,为后期形成,对翡翠的品质产生一定的影响^[23-24]。在“一带一路”沿线地区,翡翠在缅甸、俄罗斯、中国、哈萨克斯坦等地都有分布。其中缅甸翡翠以产量高、品质好而享誉世界。

翡翠的主要产地有缅甸西北部克钦邦的帕敢一道茂(Hpakan-Tawmaw)一带^[39-41],危地马拉的Motagua谷地的中央^[42],日本新泻县、鱼狮、青海町等地的冲积矿床^[43-44],俄罗斯乌拉尔的列沃-克奇佩利矿床和西萨彦岭的卡什卡拉克矿床^[45],哈萨克斯坦巴尔喀什市的伊特穆隆达矿床^[46],意大利阿尔卑斯山西部的Punta Rasciassa地区,古巴Sierradel Convento地区,美国加利福尼亚州San Benito镇的New Idria蛇纹岩。翡翠矿床分为原生矿床和次生矿床两大类,均产出于褶皱带的蛇绿岩中,且蛇绿岩带附近均广泛分布有蓝闪石片岩等高压变质产物,属于古板块缝合带产出矿床。翡翠矿床的矿体围岩绝大多数为超镁铁岩,一般岩体规模较大,长可达数百千米至百余千米,宽数百米至数千米,岩石普遍发生蛇纹石化^[47]。

缅甸是翡翠王国,翡翠主要分布在克钦邦的密支那、隆肯、甘马因、八莫等地区,高质量的翡翠只产在缅甸^[47-48]。大地构造位置位于印度板块的东部那加阿拉干(Naja-Arakan)缝合带与密支那(Myit-kyina)缝合带之间的实皆(Sagaing)走滑断裂带西部的蛇纹岩带内,主要呈脉状、块状、透镜状等产于蛇纹岩化超基性岩中^[49]。矿床主要有原生矿床和次生矿床两大类型,原生翡翠矿床沿密支那-实皆板块缝合带分布^[47-48],次生翡翠矿床主要沿缅甸北部乌龙河流域两岸的盆地分布,矿床可细分为砾岩阶地型翡翠矿床、现代河流冲积矿床和残积-坡积矿床3种类型。

哈萨克斯坦特穆隆达翡翠矿床(图1;表1编号5)集中产在早古生代超基性岩体的顶部和巨大围岩捕虏体附近,岩体呈北西西向延伸约30km,最宽处达1.51km,矿体产在捷尔劳蛇纹岩体的破碎带和片理化带^[26,47]。岩体中有斜辉辉橄岩、纯橄岩、异剥橄橄岩和辉石岩残体,同时伴有花岗岩类岩石、细晶岩等,围岩为蓝闪石片岩和铝铁闪石片岩。矿体中部主要为浅灰色和绿色硬玉岩(翡翠),向外变为绿泥石岩、角闪岩等。翡翠中有钠长石、奥长石残体,硬玉颗粒间隙中有时出现楣石、绿纤石和云母颗粒,某些硬玉颗粒被钠长石、透闪石、沸石等交代。矿区Cr₂O₃成分含量变化较大,可能与铬铁矿含量较多有关,岩体围岩为含硬玉岩和蓝闪石片岩的蛇纹混杂岩^[50]。

俄罗斯翡翠矿床主要有乌拉尔列沃-克奇佩利及西萨彦岭的卡什卡拉克(图1;表1编号3、4)。其中列沃-克奇佩利矿床的翡翠呈翠绿色、绿灰色色调斑块不均匀分布,致密块状,矿物定向排列明显。而卡什卡拉克矿床具有明显的分带性,可分为纯硬玉岩带、钠长石硬玉带-硬玉钠长石带及非常复杂的混合岩带^[25]。列沃-克奇佩利矿床产于乌拉尔褶皱带的早古生代巨大超基性岩体中,岩体规模很大,长约180km,宽几千米至25km,岩体中发育有辉石岩、辉长岩、斜长岩、钠长岩等岩脉。岩体外接触带发育蓝闪石片岩、石榴子石角闪岩等^[47],岩体之外还伴生有辉长岩类岩体和斜长花岗岩,矿体围岩为蛇纹石化斜辉辉橄岩。

3.2 典型翡翠矿床地质特征

3.2.1 俄罗斯卡什卡拉克翡翠矿床

卡什卡拉克矿床(图1;表1编号4)位于蒙古

共和国北侧,克拉斯诺亚尔斯克区阿巴坎南部约100km的坎捷吉尔河河谷内^[25,51]。矿床硬玉岩体位于博鲁斯超基性岩体的西南部,超基性岩体与西萨彦岭寒武纪的蛇纹岩套有关。翡翠矿体出露的地区伴随有大鳞片状叶蛇纹石岩,该蛇纹石岩被绿泥石叶蛇纹石岩、钠沸石岩、脉状钠长岩及硬玉岩岩体切穿。卡什卡拉克矿床叶蛇纹石岩岩体走向长度为150~200m,厚度为2~3m^[51]。

矿床大地构造位置位于阿尔泰-萨彦造山带,地处萨彦-贝加尔湖断裂带东部、阿尔泰造山带西部,地质构造背景极其复杂^[45,52]。翡翠矿体产于博鲁斯超基性岩体(长150km,宽5~15km)的西南部,交代作用使矿床的翡翠具有对称条带状构造^[33]。矿区构造活动频繁,矿床的热液活动具有多期性,温压变化大,重结晶作用明显。与大多数翡翠矿床相似,卡什卡拉克翡翠矿体具有对称分带性,内层为纯硬玉带,颜色有白色、灰色、绿色,可产出宝石级的绿色翡翠;次外层为钠长石硬玉带-硬玉钠长石带,矿物组成主要为硬玉和钠长石;最外层为混合岩带,矿物组成主要有斜长石、硬玉、闪石类矿物、云母、透辉石等。卡什卡拉克矿体多呈深绿色,次生矿物较少,后期受到的动力变质作用不强烈,造成翡翠质地不细腻,透明度低^[53]。矿床的主要矿物有硬玉、钠铬辉石、绿辉石、透辉石、钠长石、闪石类矿物、含硅钙铬未名矿物;次要矿物有铬铁矿、铬尖晶石、辉钼矿、非晶质矿物。

3.2.2 缅甸度冒(Tawmaw)翡翠矿床

缅甸北部的密支那地区分布了大量的优质翡翠矿床,度冒(Tawmaw)原生翡翠矿床(图1;表1编号6)即是其中之一。矿床产于蛇纹石化橄榄岩内,矿体较大,深埋于地表下,未受到外力的迁移和风化,矿体多呈透镜状。缅甸翡翠矿床分布在3个矿带上,分别为后江-雷打矿带、帕橄主矿带和南奇矿带,每个矿带上星罗棋布分布着不同矿床(点)^[23,54],度冒矿床位于后江-雷打矿带。

矿床大地构造位置位于印度板块与欧亚板块碰撞部位的东侧,碰撞带岩性主要为一组始新世侵入的阿尔卑斯型超基性岩体,岩性为蛇纹石化纯橄岩、角闪橄榄岩和蛇纹岩,并发育各类片岩,如蓝闪石片岩、阳起石片岩和绿泥石片岩。矿床隐藏于蛇纹岩化的橄榄岩体内,岩体长18km,宽6.4km,岩体

在蓝闪石片岩和钾钠长石片岩之间分布,属于气成热液交代型矿床。矿体倾角比较平缓,长约270m,厚2.5~3m^[45]。硬玉岩(翡翠)、钠长石岩及角闪岩互层产出,使岩墙呈分带结构,翡翠脉呈对称条带状分布,硬玉岩构成了主要的翡翠矿体。矿体中心部分为硬玉岩(翡翠),朝脉壁方向渐变为钠长石硬玉岩和钠长石岩。矿区内广泛分布有蓝闪石片岩、阳起石片岩和绿泥石片岩,局部地区岩石被花岗岩脉切穿。上述情况表明,钠长石与翡翠的形成有密切的内在联系,翡翠是在花岗岩浆侵入后,钠化较高的酸性溶液沿蛇纹岩的裂隙与蛇纹岩交代而形成的^[48]。矿物组合优良是度冒矿床翡翠品质较高的原因。

4 “一带一路”地区祖母绿矿床

祖母绿的矿物名称是绿柱石,为铍铝硅酸盐矿物,化学式 $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$,含有Cr、Fe、Ti、V等元素。以Cr、V致色呈绿色者为“祖母绿”,以 Fe^{2+} 致色呈蔚蓝色者为“海蓝宝石”,其他颜色的统称为“绿柱石”,如玫瑰绿柱石。海蓝宝石作为绿柱石家族的一员,多年来一直屈居祖母绿之下,目前还不属于高档宝玉石。优质的祖母绿碧绿清彻,晶莹凝透,是绿柱石类宝石中最名贵的品种,是绿色宝石之王。纯净的绿柱石无色透明,因为晶体内所含的杂质不同,绿柱石颜色有绿色、黄绿色、粉红色、深鲜绿色等。当绿柱石晶体内含有0.15%~0.20%的三氧化二铬时,呈现翠绿色,当含量达到0.5%~0.6%时,则呈深绿色,在紫外光照射下发出耀眼的红光,这就是绿柱石的珍品——祖母绿宝石所具有的重要特征之一。

世界上祖母绿分布国家有俄罗斯(乌拉尔山脉)、印度(拉贾斯坦邦)、津巴布韦(桑达瓦纳、穆斯塔德、诺维洛克-莱姆斯矿)、南非(德兰士瓦)、加拿大(RegalRidge)、哈萨克斯坦(Delbegetey)、阿富汗(Panjsher)、哥伦比亚(Muzo)和马达加斯加(Mananjary、Ianaperra)、巴西、奥地利、巴基斯坦、赞比亚、埃及、坦桑尼亚^[55]。“一带一路”地区祖母绿矿床主要分布在阿富汗、哈萨克斯坦、巴基斯坦、印度、俄罗斯和中国新疆^[35]。

4.1 “一带一路”地区祖母绿矿床分类

4.1.1 气成热液型

气成热液型祖母绿矿床在“一带一路”沿线中

的俄罗斯、印度、巴基斯坦等地都有分布。这种祖母绿矿床中,祖母绿晶体以斑晶的形式赋存在超基性岩的变质岩——云母片岩、滑石片岩、绿泥石片岩等岩脉中。含祖母绿的片岩通常呈脉状,常赋存在酸性花岗岩与超基性岩的内外接触带,其结构通常从内到外依次是斜长岩透镜体、云母带、阳起石带、绿泥石带、滑石带,而后是超基性岩,祖母绿多形成在云母带。在酸性岩浆侵入到基性、超基性岩体后期,残余岩浆熔点低,流动性大,随温度的降低发生结晶分异,先形成伟晶岩,余下富含Be、Al、Si、F、Cl等挥发组分的高温气成热液与超基性岩发生组分交换,从蚀变超基性围岩中萃取出Cr、Mg、V等元素,在花岗岩和超基性岩的接触带上结晶形成祖母绿晶体^[29],成矿温度一般为300~500℃^[55]。如俄罗斯乌拉尔地区的祖母绿矿床和印度拉贾斯坦邦祖母绿矿床,即为气成热液型矿床。

4.1.2 伟晶岩型

伟晶岩型祖母绿矿床有岩浆伟晶岩和变质伟晶岩2种,岩浆伟晶岩又包括稀有金属伟晶岩和含铬镁的长石伟晶岩,通常位于母岩侵入体的顶部、边部或围岩裂隙中。岩浆伟晶岩型矿床是在酸性岩浆活动末期,由于温度降低,熔浆依次结晶,在比较稳定的封闭环境中,在有挥发组分的参与下,形成的伟晶岩矿床。变质伟晶岩型矿床是在由超变质的深熔作用或选择重熔作用下形成的一种深熔流体,随着挥发组分的聚集,早先形成的固态岩石发生重结晶作用及交代作用,沿构造裂隙渗入形成的伟晶岩型矿床。伟晶岩型矿床主要产在强烈褶皱带和花岗岩侵入体发育地区,因此围岩经常是区域变质岩、片岩、片麻岩及混合岩,围岩的化学成分影响伟晶岩矿物的形成,祖母绿晶体中的Be、Al、Si等元素来源于花岗岩浆,Cr、V等致色元素则来源于变质围岩。矿床的形成温度为200~600℃^[62]。中国云南麻栗坡祖母绿矿床就属于该类型,矿床产于长英质伟晶岩脉中,且伟晶岩脉中矿石矿物分布常具有分带性,祖母绿产于脉体中心电气石带。

4.2 典型祖母绿矿床地质特征

4.2.1 阿富汗潘杰希尔矿床

潘杰希尔矿床(图1;表1编号7)为气成热液型矿床,位于距首都喀布尔130km的潘杰希尔流域,成矿与大陆缝合带有关。矿床原蛇纹岩岩体受侵入花岗岩接触变质及热液蚀变,沿破碎带形成变质

片岩,祖母绿产于蛇纹岩岩体蚀变后形成的微弱的金云母反应带中,伴随有大量的钠长石、白云母、黑云母、电气石、黄铁矿等矿物^[28]。

矿床大地构造位置位于潘杰希尔流域的海西褶皱区断裂带中,紧挨阿富汗中间地块的边缘,矿床受北西向吉杜库什克断裂和南东向潘德谢尔深断裂控制。在热液蚀变的岩石中,绿柱石和祖母绿富集在发生热液蚀变形成的大理岩岩脉中。含祖母绿的细脉通常分布在钠长石化带轴部,细脉常发生有钠长石化、硅化、碳酸盐化、电气石化、黄铁矿化等。

4.2.2 巴基斯坦斯瓦特矿床

斯瓦特矿床(图1;表1编号10)位于白沙瓦东北约200km,矿床形成于23Ma^[63]。矿床成矿与喜马拉雅造山运动轴部造山带中延伸超过200km的蛇绿岩有关,成矿作用是在晚期新生代造山运动碱性岩体侵入后,热液气成作用所形成的,母岩为蚀变的超镁铁质岩或其浅变质岩—滑石碳酸盐质片岩,南边的穆罕莫德区祖母绿母岩为白云岩,再向北是滑石碳酸盐片岩。斯瓦特地区祖母绿采自明戈拉、查巴格和古加基利的滑石碳酸盐片岩中,片岩中的碳酸盐是铁白云石,由于其中含铁,该岩脉经常会发生褐铁矿化,这些地区所产祖母绿质量最高^[64]。

矿床大地构造位置位于巴尔蒂斯坦径吉尔吉特、柯希斯坦、斯瓦特延展到迪尔区的造山带中,为气成热液型矿床。斯瓦特是巴基斯坦最重要的祖母绿产地,祖母绿多与铬云母和绿色电气石(富Cr)共生产于褐铁矿化的滑石—碳酸盐岩脉中,脉体位于构造剪切带,被多条细石英脉体穿插。部分祖母绿还产于石英脉体及强硅化的菱铁矿脉体,同样有铬云母、绿色电气石(富Cr)等矿物共生^[35]。此外,共生矿物有石英、方解石、滑石、黑电气石。

4.2.3 俄罗斯乌拉尔祖母绿矿床

乌拉尔祖母绿矿床(图1;表1编号9)产于金云母片岩及与透闪石和铬铁矿共生的滑石片岩中,为气成热液型矿床。由于铁、钛、钒、钴、镍等杂质的存在,祖母绿呈现出各种色调的蓝绿色。乌拉尔祖母绿有较典型的颜色分带现象,可能是晶体生长过程中致色元素的不均匀分布造成的^[28]。

矿床形成于Adui花岗岩体边部或隐伏岩体上部的热变质带中,主矿带均为蛇纹岩为主的混杂堆

积岩带,经变质成为以金云母和阳起石为主的角闪岩和少量石英斜长石岩,绿柱石沿破碎带形成于角闪岩中,定向排列,祖母绿和绿柱石与富金云母带关系密切^[58-59],含矿的金云母岩脉贯穿在块状蛇纹岩中,岩脉中心是斜长石透镜体,由长石、石英、萤石、磷灰石、电气石、云母及辉铜矿组成,两侧发育阳起石、绿泥石、滑石反应边,共生有黑电气石、磷灰石、翠绿宝石。云母同伟晶岩和石英-斜长岩脉穿插,含矿岩体一般沿超基性岩与闪长玢岩和角闪岩的接触带分布。围岩为以纯橄榄岩和橄榄岩为主的超基性岩,其中穿插许多石英闪长岩脉、花岗细晶岩脉、伟晶岩脉及在接触带中形成的金云母质云母岩岩脉,祖母绿就赋存在云母岩中^[60]。

4.2.4 哈萨克斯坦祖母绿矿床

矿床通常产于云英岩边部及石英-白云母脉体内,位于哈萨克斯坦东北部的代奥贝盖特地区,南部有深成花岗岩,并有角页岩化的石炭纪砂岩出露。围岩沿破碎带发生交代变质,矿物组成主要为石英、白云母、电气石、萤石、祖母绿等^[28]。

4.2.5 新疆南疆某地祖母绿矿床

主要位于西昆仑、喀喇昆仑和帕米尔三大构造单元的结合部位(图1;表1编号11),新疆南部的最南端,产出于碳酸盐岩脉内^[61]。祖母绿颜色为翠绿色,略带浅蓝色,半透明-透明,矿化条件好,品质较高。矿体内祖母绿晶体自形程度较高,形态较完整,多为六方柱状,晶体多以长柱状、短柱状产出,也有的彼此平行生长以双晶形式产出,发现极少量呈晶簇状或束状集合体、半自形及他形块状产出^[31]。

矿床大地构造位置位于喀喇昆仑造山带塔什库尔干陆块与明铁盖陆块两大二级构造单元的结合处,主体位于塔什库尔干陆块西部。区域东北部处于西昆仑中间地块,显生宙岩浆弧带上;西南部为喀喇昆仑造山带,其北东侧为塔什库尔干陆块,南西侧为明铁盖陆块,呈现被区域断裂分割的相对独立且变形复杂的构造块体,控制着岩浆岩及地层的分布。塔什库尔干陆块出露地层以元古宇为主,只有边部和局部覆盖少量中生界-古生界。矿区出露的岩浆岩主要为燕山期黑云斜长花岗岩及正长岩的小型侵入体及其派生脉岩。矿区内出露地层主要为下二叠统及奥陶系-志留系,主要分布于中部和西北部,属中生代裂陷盆地发育初期(拉张)阶段的产物。矿区东北面的主要断裂构造为塔什

库尔干断裂,其倾向北东,倾角为30°左右。该断层南西侧的次级褶曲断裂发育,是本区主要的控矿构造,倾向北东,倾角为50°~60°。矿体位于矿区南西部,产于与地层产状近垂直相切的张性节理裂隙中。赋矿地层为下二叠统变砂岩、千枚岩、大理岩,局部伴有碳酸盐岩化(方解石化、白云石化)。矿体形态简单,是相对规则的脉状,沿走向和倾向有一定的变化,分枝、复合现象较少。绿柱石矿体的矿物组合主要为绿柱石、方解石、石英组合,围岩及矿体中的脉石夹层主要矿物组合为石英、方解石、黄铁矿组合。

5 “一带一路”地区软玉矿床

软玉是指角闪石族中以透闪石和阳起石类质同像系列矿物为主的显微纤维状或致密块状的矿物集合体。软玉有很多种,仅中国就有新疆和田玉、辽宁岫岩玉、青海昆仑玉等。新疆和田玉色泽美丽,质地坚韧,玉质明显优于其他软玉品种,白玉中的羊脂玉更是举世闻名,因此本文将“和田玉”从软玉中分离出来描述。世界软玉矿床主要分布在亚洲、北美洲、欧洲和非洲,大洋洲也有零散分布,在“一带一路”沿线国家中,软玉在中国、俄罗斯和韩国都有分布。其中,中国的软玉矿床集中分布在新疆、青海、台湾、四川等地,俄罗斯主要集中在西伯利亚地块,韩国软玉矿床主要集中在春川。软玉的主要矿物为透闪石-阳起石,此外还有磷灰石、石墨、铬铁矿、透辉石、磁铁矿、钙榴石、黄铁矿、金红石、符山石、硅钙硼石、滑石、葡萄石和蛇纹石的同质多象矿物^[62-63]。

5.1 “一带一路”地区软玉矿床分类

软玉矿床的成因与热液作用有着密不可分的联系,矿床成矿热液的来源与中酸性花岗岩的侵入有关。根据成矿热液的主要来源把软玉矿床分为岩浆热液型和变质热液型2种。岩浆热液型按侵入岩的类型又可以分成三大类,中酸性岩型、基性岩型和超基性岩型;变质热液型根据母岩的类型细分为碳酸盐型和蛇纹岩型。和田玉原生矿床属于中酸性侵入岩与镁质碳酸盐岩接触交代型,其中白玉中的羊脂玉是世界特有的玉种之一,具有典型意义。

“一带一路”地区,属于岩浆热液型的中酸性岩型的软玉矿床有韩国春川矿床和中国新疆和田矿

床、青海格尔木矿床,该类矿床产于花岗岩、花岗闪长岩与白云质大理岩接触带,其伴生蚀变矿物主要有尖晶石、镁橄榄石、透辉石、金云母等。矿体呈不规则脉状、透镜体状及束状,以白玉、青白玉及青玉为主。基性岩型矿床目前在“一带一路”地区尚未发现。属超基性岩型的矿床有新疆玛纳斯矿床。属变质热液型矿床中碳酸盐型矿床的有辽宁铀岩玉矿床、福建南平矿床。

5.2 典型软玉矿床地质特征

软玉按产出环境可分为山料、山流水、籽料3种。山料是指从原矿床中开采出来的玉矿石,因未经风化和河流冲刷,玉质和石质混杂在一起,统称为“坑料”。山流水料指原生玉矿石经风化崩落,并由冰川、洪水等搬运一定距离的玉矿石。特点是距原生矿较近,块度较大,棱角稍有磨圆,表面较光滑,材质在籽料与山料之间。籽料是原矿石经自然风化作用破碎,经冰川、洪水冲刷,搬运到河床下游沉积的玉矿石。羊脂玉是和田玉籽料中最好的一类,因经过河流搬运并反复磨蚀,玉石不再存在节理等裂隙及可侵蚀、析出的杂质,因而质量最好。

5.2.1 新疆皮山县392和田玉矿床

392和田玉矿床(图1;表1编号13)位于皮山县境内新藏公路392里程点以北2km处,392矿床因此得名。矿体产于海西期花岗闪长岩与寒武系白云质大理岩接触带镁矽卡岩中,具和田玉矿体的矿化带只有1条,产在矿区中部的长城系桑株塔格群白云石大理岩中,矿化带长160m,宽2~3m,呈北东—南西走向,与地层产状大体一致。矿化带内,白云石大理岩普遍具有软玉化、透闪石化、蛇纹石化现象,矿体垂直分带明显,上部多白玉、青白玉,下部多青玉。392和田玉矿石以白玉为主,占矿石总量的99%左右,青白玉和青玉少量,只占矿石总量的1%左右,在沿矿体倾向方向延伸16m处见少量青白玉和青玉^[40-41]。

矿床大地构造位置位于塔里木板块西南缘,昆仑活动区桑株塔格—柳什塔格中央隆起带的西段。矿区内地层自北向南由老到新分为斜长角闪片麻岩段和白云石大理岩段2段。矿区岩石非常破碎,构造特别发育。矿区地层为单斜岩层,没有褶皱构造,但断裂和裂隙较发育。矿区内岩浆岩不发育,只在矿化带西段有一小型花岗伟晶岩脉,呈楔形,长3m,最宽1.5m。矿体围岩属长城系桑株塔格群

白云石大理岩或橄榄石大理岩,具有透闪石化、蛇纹石化、滑石化、橄榄石化等围岩蚀变。围岩蚀变主要在矿化带中,在矿化带外,主要为橄榄石化,还有微弱的透闪石化和蛇纹石化,没有滑石化,在矿化带中滑石化和蛇纹石化强烈的地方,玉石矿的质量好,且矿体厚。在矿化带中断续出现和田玉矿脉,在这些矿脉之中,有可以开采利用的矿体,也有不能开采利用的矿化体,还有片理化透闪石片岩。矿脉长几米到十几米,宽30cm左右。有的矿脉成组出现,每组中有数条薄厚不等的矿脉。

5.2.2 韩国春川软玉矿床

春川软玉矿床(图1;表1编号14)位于京畿地块的中北部。京畿地块是朝鲜半岛三大主要构造元素之一,是世界上较大的软玉成矿带。春川软玉的主要矿物为透闪石,含量高达98%,次要矿物含量约2%,成分主要为透辉石,还有蛇纹石、斜绿泥石,少量的白云石、方解石、磷灰石、铁质氧化物等^[32,36]。春川软玉成矿带赋存于前寒武系白云质大理岩和角闪石片岩中,是在构造运动后期由春川中—酸性花岗岩侵入形成的。前寒武纪岩石可分为龙头里片麻岩杂岩体与上覆的九峰山群岩体,龙头里片麻岩杂岩体与九峰山群岩体是在绿片岩相与角闪岩相的条件下变质形成的,这2个部分都被向西延伸的中生代春川花岗岩侵入。矿区的岩性大致可以分为变质岩类与火成岩类两大类。黑云母片岩和钙质硅酸盐岩起源于沉积的变质岩类,花岗片麻岩与角闪岩起源于火成的变质岩,为贯入体。春川软玉的颜色分布较均匀,总体上偏白,在灰绿色、黄绿色到白色之间变化,深绿色者极少见,其Fe的质量分数不高,但随着Fe质量分数的增加,其颜色加深^[32,36]。

6 结论

(1)“一带一路”地区高档宝玉石主要有金刚石、翡翠、祖母绿、软玉等。金刚石矿床主要分布在中国、俄罗斯等地。传统的金刚石矿床成矿母岩是金伯利岩和钾镁煌斑岩,近年来在板块碰撞带的超高压变质带中陆续发现微粒金刚石,这种微粒金刚石以包体形式产于高压变质岩中,有可能成为未来金刚石矿的新来源。微粒金刚石首次在哈萨克斯坦的片麻岩中发现,在中国的大别山地区也有发现。

(2)翡翠矿床主要分布在缅甸、哈萨克斯坦、中国等地。根据翡翠矿床形成地质条件及成矿模式,应将找矿目标集中在板块缝合带、蛇绿岩套、蓝闪石片岩带等地区,有多期次变质作用、构造活动、岩浆活动、热液活动等地质作用叠加的改造地区是寻找翡翠矿床的巨大潜力区。

(3)雅鲁藏布江地区是“一带一路”沿线地区开采优质翡翠的良好前景区。雅鲁藏布江缝合带与缅甸密支那板块缝合带同属一个构造变质岩浆带,该区与缅甸北部翡翠产区毗连,两者区域地质条件相似。该缝合带东段与缅甸产优质翡翠矿区地质条件极相似,同属一个时间漫长和强烈压扭应力场,找矿潜力巨大。

(4)祖母绿矿床主要分布在俄罗斯、哈萨克斯坦、阿富汗、巴基斯坦、中国新疆等地;软玉矿床主要分布在韩国、中国新疆等地。阿富汗稀有矿产极其丰富,但勘查程度低,祖母绿矿床在巴尔蒂斯坦径吉尔吉特、柯希斯坦、斯瓦特延展到迪尔区的造山带中有巨大的找矿潜力;俄罗斯乌拉尔和中国新疆南部都是寻找祖母绿矿床的有利地区。和田玉矿床的找矿应集中在中国新疆和田地区,依据外围找矿和就近找矿原理,加大找矿力度。

参考文献

- [1]湖南文交所宝玉石交易中心.宝玉石必将成为文交所的下一个热点[EB/OL](2016-12-23)[2017-03-05]http://www.hngje.com/zxzxshow-17-362-1.html.
- [2]刘陟娜,许虹,王秋舒,等.全球金刚石资源分布现状及我国勘查开发建议[J].中国矿业,2016,25(7):5-10.
- [3]邓燕华.宝(玉)石矿床(二)[J].桂林冶金地质学院学报,1991,11(2):223-231.
- [4]黄先觉.金刚石成因及原生矿床形成的地质环境分析[J].安徽地质,2015,25(1):35-36.
- [5]张培元.世界金刚石矿床发现史[J].中国宝石,1997,6(3):22-26.
- [6]Pavel Nitsenko, Igor I Ussoltsev.哈萨克斯坦北部 Kumdy-Kol 金刚石矿床地质与变质金刚石成因[J].地学前缘,2004,11(2):333-337.
- [7]水儿3872.金刚石[EB/OL](2010-8-21)[2017-03-05]http://blog.sina.com.cn/s/blog_54d8d9d1010016y9.html.
- [8]刘昌寅,田祯.国外金刚石矿床的基本类型[J].非金属矿,1978:39-45.
- [9]任成明,党晓亮,顾雄.我国金刚石矿床地质特征及构造背景[J].中国非金属矿工业导刊,2015,4:42-45.
- [10]叶德隆.钾镁煌斑岩的鉴别标准和分类命名[J].地质科技情报,1993,(1):39-46.
- [11]Shigley J E, Chapman J, Ellison R K. Discovery and mining of the Argyle diamond deposit, Australia[J].Gems & Gemology, 2001, 37(1):26-41.
- [12]解广鑫,郑楚生,李璞.西伯利亚地台雅康特地区的金伯利岩——H.B.巴甫洛夫专家在中国科学院地质研究所的报告摘记[J].地质科学,1960,(1):51-55.
- [13]杨占兴,王彬娜.辽宁瓦房店30号金伯利岩管地球化学特征及金刚石矿床成因[J].世界地质,2016,35(2):378-386.
- [14]胡建飞,马建生,王鑫,等.金刚石形成条件及矿床类型[J].科技向导,2015,(9):266-267.
- [15]选矿技术网,世界金刚石矿产分布概况[EB/OL](2017-04-12)[2017-03-05]http://www.mining120.com/tech/show-itemid-22190.html.
- [16]李月新.辽南瓦房店地区袁家沟金刚石原生找矿前景分析[J].地质与资源,2010,19(2):119-122.
- [17]董振信.中国金伯利岩[M].北京:科学出版社,1994:1-2.
- [18]王雪木,王萍,胡克.辽宁瓦房店金伯利岩剥蚀深度与金刚石剥蚀量计算[J].中国矿业,2015,24(增刊):300-303.
- [19]刘长纯.辽宁省重要矿产成矿系列与成矿谱系[J].地质科技情报,2017,36(1):152-159.
- [20]辽宁省地质矿产勘查局.辽宁省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989:707-727.
- [21]孟琪.辽宁金刚石的过去、现在和未来[J].岩石矿物学杂志,2016,35(增刊):191-194.
- [22]居易,朱仁智,倪培,等.瓦房店30号岩管金伯利岩中央晶石成分特征及其意义[J].矿物岩石地球化学通报,2016,35(6):1218-1223.
- [23]欧阳秋眉.翡翠全集上册[M].香港:天地图书有限公司,2000:71-74.
- [24]张蓓莉.系统宝石学[M].北京:地质出版社,2006:347-365.
- [25]欧阳秋眉.俄罗斯西萨彦岭翡翠矿床特征[J].宝石和宝石学杂志,1999,1(1):17-25.
- [26]邓燕华,袁奎荣,袁雁.翡翠矿床的成矿作用及我国翡翠找矿前景[J].云南地质,1998,17(3):407-409.
- [27]沙淑清,黄磊,毛建林,等.翡翠矿床的地质特征及经济价值[J].资源与产业,2009,11(4):88-91.
- [28]任伟,汪立今,李甲平.中亚祖母绿主要产地及特征初探[J].矿物学报,2009,(S1):314.
- [29]胡荣荣,张世涛.祖母绿矿床研究现状[J].化工矿产地质,2006,28(4):234-240.
- [30]Kazmi A H, Snee L W.巴基斯坦的祖母绿[J].珠宝,1991,(2):54.
- [31]禹秀艳.新疆南部祖母绿(绿柱石)与哥伦比亚、云南祖母绿矿床矿物学特征对比研究[D].新疆大学硕士学位论文,2012:2-50.
- [32]裴祥喜.韩国春川软玉矿床研究[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2012:1-50.
- [33]田广印,吐尔逊·亚森.新疆皮山县392和田玉矿床地质特征及成因探讨[J].和田师范专科学校学报,2005,25(4):129.
- [34]田广印.新疆皮山县379和田玉矿床地质特征及找矿方向[J].新疆有色金属,2005,(4):10-13.
- [35]丁一.浅谈四川龙溪玉和软玉猫眼的对比及市场前景[J].中山大学研究生学刊(自然科学、医学版),2011,32(2):80-82.
- [36]侯弘,王轶,刘亚非.韩国软玉的宝石学特征研究[J].西北地质,

- 2010, 43(3):147-152.
- [37]李晶.中国典型产地软玉的宝石学矿物学特征及对良港古玉器产地的指示[D].中国地质大学(北京)博士学位论文,2016:1-50.
- [38]朴庭贤,尹京武,闫星光,等.贵州罗甸玉矿物学及成分特征[J].岩石矿物学杂志,2014,33(增刊):8-16.
- [39]Chhibber H L.The mineral resources of Burma[M].London: Macmillan, 1934:1-320.
- [40]Bennder F.Geology of Burma[M]. Berlin:Gebruder Borntraeger, 1983:1-293.
- [41]Hughes R W, Galibert O, Bosshart G, et al.Burmese jade: The inscrutable gem[J].Gems and Gemology, 2000, 36(1):2-26.
- [42]Harlow G E. Jadeitites, albitites and related rocks from the Motagua Fault Zone[J].Journal of Metamorphic Geology, 1994, (12): 49-68.
- [43]Chinara K. Mineralogy and paragenesis of jadeites from the Omi-Kotaki area, Central Japan[J].Mineralogical Society of Japan, Special Paper, 1971, (1):147-156.
- [44]Iwao S.Albitite and associated jadeite rock from Kotaki District, Japan[J].Reports of the Geological Survey of Japan, 1953, (153):26.
- [45]Dobretsov N L, Ponomareva L G.Comparative characteristics of jadeite and associated rocks from Polar Ural and Near-Balkhash Region[J].Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics, 1965, (31):178-243.
- [46]Ermolov P V, Kotelnikov P E.Composition and origin of jadeitites of Imurundinsky Melange (northern Balkhash Area) [J].Soviet Geology and Geophysics, 1991, (2):44-51.
- [47]鱼海麟,陈学明.试论世界主要翡翠矿床特征及在我国找矿的可能性[J].建材地质, 1996, (2):22-26.
- [48]张金富,吴飞豹,史清琴.缅甸翡翠矿床成因及在我国寻找翡翠矿床的可能性[J].云南地质, 1998, 17(3):400-405.
- [49]施光海,崔文元,刘晶,等.缅甸含硬玉的蛇纹石化橄榄岩及其围岩的岩石学研究[J].岩石学报, 2001, 17(3):484-488.
- [50]张睿.哈萨克斯坦翡翠的矿物学研究及成因解析[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2014:1-50.
- [51]Dobretsov N L. Mineralogy, petrography and genesis of ultrabasic rocks, jadeitites and albitites from the Borus Mountain Range(the West Sayan) [J].Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics, 1963, 15:242-316.
- [52]Safonova H Yu, Buslov M M, Iwata K, et al. Fragments of Vendian-Early Carboniferous Oceanic Crust of the Paleo-Asian Ocean in Foldbelts of the Altai-Sayan Region of Central Asia:Geochemistry, Biostratigraphy and Structural Setting[J].Gondwana Research, 2004, 7:771-790.
- [53]狄敬如,吕福德,周守云,等.哈萨克斯坦翡翠成分特征及成因初步研究[J].珠宝研究, 2000, (2):38-39.
- [54]曹妹旻,亓利剑,郭清宏,等.美国通用电气公司宝石级合成翡翠的振动谱学研究[J].光谱学与光谱分析, 2008, 28(4):847-851.
- [55]余海陵.祖母绿的矿床类型及其包裹体的特征[J].珠宝科技, 2001, (4):43-47.
- [56]Schwarz D, Giuliani G.祖母绿矿床[J].宝石和宝石学杂志, 2001, 3(2):42-44.
- [57]刘国彬.一个正在崛起的宝石王国——巴基斯坦宝石矿床考察札记[J].矿物岩石地球化学通讯, 1986, 2:100-101.
- [58]毛景文.乌拉尔考察[J].地质论评, 2000, 46(6):614-615.
- [59]余平.乌拉尔祖母绿[J].珠宝科技, 1996, (2):28.
- [60]胡荣荣,张世涛.祖母绿矿床研究现状[J].化工矿产地质, 2006, 28(4):234-240.
- [61]安银祥.新疆塔什库尔干祖母绿矿床地质特征[J].新疆有色金属, 2006, 2(3):9-10.
- [62]Harlow G E, Sorensen S S. Jade:Occurrence and metasomatic origin- extended abstract from International Geological Congress 2000[J]. The Australian Gemmologist, 2001, (21):7-10.
- [63]Harlow G E, Sorensen S S. Jade (Nephrite and Jadeite) and serpentinite:metasomatic connections[J]. International Geology Review, 2004, (46):1-16.
- [64]张洪瑞,侯增谦,杨志明.特提斯成矿域主要金属矿床类型与成矿过程[J].矿床地质, 2010, 29(1):113-115.
- [65]任秉琛,邬介人.古亚洲成矿域古生代矿床成矿系列组合与矿床成矿系列类型的初步划分[J].矿床地质, 2002, 21(增刊):219-221.
- [66]任秉琛,邬介人.古亚洲成矿域重要金属矿床类型与区域成矿规律探讨[J].矿床地质, 2004, 23(增刊):112-120.
- [67]周飞飞.“一带一路”点燃地质工作新梦想[N].中国国土资源报(第5版), 2015-01-01.
- [68]乔东海,赵元艺,汪傲,等.“一带一路”地区能源金属矿床分布规律及开发工艺[J].地质通报, 2017, 36(1):66-68.
- ①国家标准 GB/T16552—2003《珠宝玉石名称》。
- ②辽宁省地质矿产勘查局.辽宁省区域矿产总结. 2006.
- ③辽宁第六地质大队.辽宁省瓦房店大李屯地区金刚石隐伏矿体普查报告. 2010:11-12.