

辽宁瓦房店金刚石矿田金伯利岩侵位机制分析

付海涛

辽宁省地矿集团,沈阳,110032

内容提要:辽宁省瓦房店金刚石矿田位于华北陆块辽东新元古代-古生代拗陷带。区内各时代地层均有出露,其中新元古界出露面积最大。区内断裂构造发育,较大的有北北东向的金州断裂,已发现的金伯利岩体基本上分布在该断裂以西。矿田内金刚石矿均为金伯利岩型,已发现 100 多个金伯利岩体,划分成 4 条矿带,已提交 4 个大型原生金刚石矿床和 3 个近源小型金刚石砂矿床,资源量占全国的一半以上,是我国重要的金刚石矿集区,其中 50 号金伯利岩管因其出产的金刚石质量优越而在宝石界享有盛誉。但本区的金伯利岩绝大部分是 20 世纪 70 年代、80 年代发现的,为了更好地开展金刚石勘查工作,对本区金伯利岩的成矿条件和控矿因素进行了研究,金伯利岩体的平面分布位置表明,瓦房店地区的金伯利岩体成群、成带分布,既有岩管也有岩脉,以岩脉为主,岩管约占 20% 左右,岩体大小不等、形态各异,钻孔控制的岩管、岩脉大多具有向下延伸突然中断的特征,钻孔中见到的金伯利岩显示,很多金伯利岩管底界平直或具有多个水平标高上出现平移错动的现象,典型岩管、岩脉与等轴或近等轴状构造盆地的关系密切。通过对区内金伯利岩空间分布特征、岩体形态特征进行分析,并探讨了本区金伯利岩的侵位过程和就位机制后认为,瓦房店地区的金伯利岩在侵位的浅成阶段,由于岩浆携带大量挥发分,在上升通道不顺畅的地段使上覆地层隆起,当挥发分泄漏掉以后隆起的地层塌陷形成浅碟子状的构造盆地,挥发分泄漏的通道就是金伯利岩体的产出位置,也有部分岩浆沿次级断裂运移固结成岩;由于被晚期推覆构造改造,使岩管、岩脉出现水平错动,造成了钻孔中所见的平底岩管或岩脉向下延伸不大的现象,这一认识为合理部署勘查工作提供了新的思路。

关键词:辽宁瓦房店;金伯利岩;构造盆地;侵位机制;演化过程

瓦房店金刚石矿田位于辽宁省南部,是我国重要的金刚石矿产区,自 20 世纪 70 年代初在本区发现金伯利岩以来,区内已发现了 100 多个金伯利岩体,这些金伯利岩体一般都含有金刚石,以金伯利岩脉为主,岩管约占 20%。本区已提交 4 个大型原生金刚石矿和 3 个近源小型金刚石砂矿,探明的金刚石资源/储量占全国已探明资源/储量的一半以上。因此,本区也吸引了众多的专家学者在此地开展相关的研究工作。以往研究认为,本区的金伯利岩是侵入和爆发相互作用且以侵入为主的形成机制,岩管不是受火山口的控制,而是受断裂裂隙的控制,金伯利岩浆在地台的升降构造运动中,地壳产生减薄和水平引张作用下沿岩石圈断裂呈螺旋式的反复上涌,充填于封闭的基底断裂、盖层断裂中,在不同的

构造部位形成金伯利岩管或岩脉(Zhuang Dehou, 1984);本区金伯利岩主要受近东西向断裂控制,与北东向(北北东向)构造交汇部位多控制岩管产出,而岩管深部形态产状有时则与层间断裂联合控制(Qi Yuxing et al., 1998);研究认为加里东期近东西向构造控制着辽南金伯利岩的产生及成矿作用,燕山期断裂构造对金伯利岩的展布起控制作用(Wan Fanglai et al., 2019);本区的金伯利岩均呈根部相,已剥蚀深度超过 2km(Wang Xuemu et al., 2015)。此外,还有很多专家学者在研究本区金刚石矿成矿规律、成矿预测以及本区金伯利岩与世界其它地区金伯利对比等问题(He Guanzhi, 1980; Dong Zhenxin, 1991; Zhao Jianjun et al., 2011; Ren Xuming et al., 2015; Zhao Chunqiang et al., 2018;

注:本文为辽宁省地质勘查项目“瓦房店金刚石整装勘查区增储专项”(编号 LNZC2019-0078-20)资助的成果。

收稿日期:2020-02-27;改回日期:2020-06-26;网络发表日期:2020-08-24;责任编辑:李曼。

作者简介:付海涛,男,1959 年生。博士,教授级高级工程师。主要从事成矿预测、“3S”技术应用等工作。Email:lnfht@163.com。

引用本文:付海涛. 2020. 辽宁瓦房店金刚石矿田金伯利岩侵位机制分析. 地质学报, 94(9):2640~2649, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020174.
Fu Haitao. 2020. Analysis of kimberlite emplacement mechanism in the Wafangdian diamond ore field. Acta Geologica Sinica, 94(9): 2640~2649.

Liu Fei et al. ,2019;);有人在研究本区金伯利岩的岩石学特征 (Dong Zhenxin et al. , 1980; Zhou Xiuzhong et al. ,1990;1996;Dong Zhenxin,1992);有人在研究本区金刚石矿勘查方法 (Meng Xiaohong et al. , 1994; Chi Guangcheng et al. , 2013;An Zhanfeng et al. ,2017;Xue Yulong et al. , 2017;Fu Haitao,2019a;Jiang Lili et al. ,2019)。前人在本区金伯利岩与断裂构造的关系、岩石学特征、与国外金伯利的对比等方面做了大量研究并取得了重要成果,也开展了找矿方法研究和成矿预测等工作,但困扰本区金刚石找矿工作的问题是,已提交的大型金刚石矿床都是 20 世纪 70~80 年代发现的,近几十年来没再取得重大突破性成果,分析其原因认为是成矿理论还有待完善,控矿因素还需要深入研究,勘查思路也有待调整。本文作者通过对区内金伯利岩空间分布规律和岩体三维形态等问题的研究认为,本区的金伯利岩与构造盆地关系密切 (Fu Haitao,2019b,2019c),这些构造盆地是由岩浆侵入时所携带的挥发分造成的,其边缘和中心地段是金伯利岩最可能的赋存位置,区内可能存在隐伏的金伯利岩体,金伯利岩侵位后经过后期推覆构造的改造造成了向下延伸突然中断的现象,并提出本区金刚石勘查中应注意研究构造盆地和推覆构造两个问题。

1 矿田地质特征概况

瓦房店金刚石矿田大地构造位置位于华北陆块辽东新元古代-古生代拗陷带,跨两个四级构造单元,东侧为城子坦-庄河太古宙基底隆起,西侧为大连新元古代-古生代凹陷。东侧隆起区属金州-庄河新太古代低压高温角闪岩相变质岩带,主要出露新太古界片麻岩;西侧凹陷区,出露有古元古界大石桥岩组、盖组岩组,新元古界青白口系永宁组、钓鱼台组、南芬组,南华系桥头组、长岭子组,震旦系南关岭组、甘井子组,古生界寒武系碱厂组、馒头组、张夏组、崮山组-炒米店组,奥陶系冶里组、亮甲山组、马家沟组,石炭系本溪组-太原组,中生界侏罗系瓦房店组、白垩系普兰店组、小岭组,新生界主要分布在沟谷之中 (Yang Zhongzhu et al. ,2017)(见图 1)。其中,新元古界分布面积最大,约占全区总面积的 60%,除少量金伯利岩体围岩为寒武系外,绝大部分金伯利岩体均分布在新元古界之中。瓦房店地区的岩浆岩除金伯利岩外,在矿田东、西两侧出露有中酸性侵入岩,岩性主要有二长花岗岩、石英闪长岩、闪

长玢岩等,出露面积约占全区面积的 11%;在矿田内部,还出露有辉绿岩等脉岩,但出露面积不大。矿田断裂构造十分发育,主要有北东向、北东东向、近东西向等多个方向的断裂,其中金州断裂是本区最重要的断裂构造,处于构造分区线的附近。最新的调查结果表明,本区还存在自东向西的推覆构造。此外,矿田内还存在众多近等轴状的构造盆地。

2 矿田金伯利岩分布规律

本区从 1971 年发现第 1 个金伯利岩体以来,截止 2018 年底,已发现 113 个金伯利岩体和 7 个疑似岩体。其中,金伯利岩管 24 个。已发现的金伯利岩主要分布在瓦房店市的西侧,目前划分为四个矿带 (见表 1)。

表 1 瓦房店地区金刚石矿带特征一览表
Table 1 Characteristics of diamond ore belt in Wafangdian area

矿带编号	长(km)	宽(km)	岩管数(个)	岩脉数(个)	备注
I	28	2~6	14	67	
II	15	2	8	18	
III	4	0.5	2	4	
IV	10	3		7	疑似金伯利岩

I 矿带位于矿田的中部,西起 2 号岩管,东至 75 号岩管,长约 28km,共 81 个岩体,总体呈北东走向,根据金伯利岩体的分布情况可分为三段。西段由 6 个岩体组成,呈北东向线状分布,西南端的 4 个岩体分布在不到 200m 的范围内,有 2 个岩管,另外两个岩体距前 4 个岩体 3.8km 和 5.0km;中段与西段相比,往北西方向位移了约 2km,由 58 个岩体组成,有 6 个岩管,是本区内金伯利岩体密度最大的一个区域,呈长约 10km、宽约 2km 的带状分布,中段南西端为 2 个岩体群、北东端为两条岩体带,总体上看北侧为近直线分布的金伯利岩带,北东端的南侧的岩体带为弧心向北的弧状带,30 号岩管大型原生金刚石矿床在弧状带的中心部位;东段由散点状分布的 17 个金伯利岩体组成,有 6 个岩管,分布在长约 11km、宽约 6km 的范围内,东段出露的金伯利体相对比较分散,42 号岩管大型原生金刚石矿床在东段的西部。

II 矿带位于 I 矿带的东南侧,与 I 矿带西段相距约 4km,呈北东东向带状,由 2 岩体群和 1 个岩体带组成,分布在长约 15km 的范围内,共 26 个岩体。也可分为 3 段,西段岩体群由 8 个岩体组成,分布在长约 3.5km、宽约 1.7km 的范围内,有岩管 5 个,著

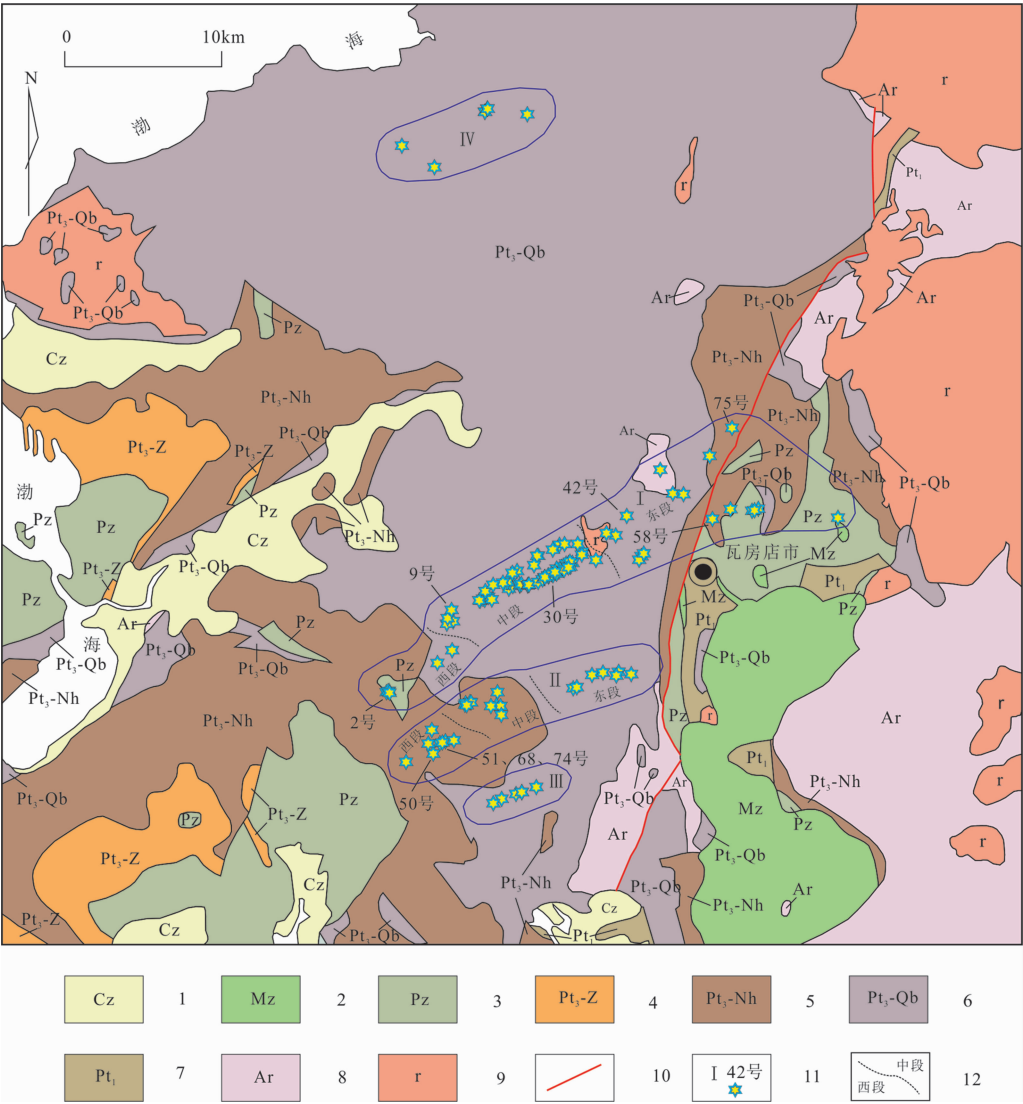


图 1 瓦房店地区地质略图(根据中国区域地质志(辽宁卷)资料改编)

Fig. 1 Geological sketch of Wafangdian area (adapted from The Regional Geology of China, Liaoning Province)

1—新生界;2—中生界;3—古生界;4—新元古界震旦系;5—新元古界南华系;6—新元古界青白口系;7—古元古界;

8—太古宙片麻岩;9—中酸性侵入体;10—金州断裂;11—金伯利岩体及矿带编号;12—金刚石矿带分段线及标识

1—Cenozoic; 2—Mesozoic; 3—Paleozoic; 4—Neoproterozoic Sinian; 5—Neoproterozoic Nanhua; 6—Neoproterozoic Qingbaikou;

7—Paleoproterozoic; 8—Archean gneiss; 9—middle acid intrusive body; 10—Jinzhou fault; 11—kimberlite and ore belt number;

12—diamond ore belt section line and marking

名的 50 号岩管大型原生金刚石矿床就在这个岩体群中,由 51、68、74 号三个岩管组成的大型原生金刚石矿床也在这个岩体群中;中段岩体群由 11 个岩体组成,分布在长约 3km、宽约 1.5km 的范围内,有 3 个岩管;东段由 7 个岩体组成,呈弧心向南侧、长约 4.5km 的弧状带。

Ⅲ矿带位于Ⅱ矿带的东南侧,相距约 4.5km,由 6 个岩体组成,有 2 个岩管,呈北东向带状分布,长约 3km。2016 年,在Ⅰ矿带北西侧 26km 处发现了 7 个疑似金伯利岩体,命名为Ⅳ矿带,已在Ⅳ矿带发现 9 粒金刚石。由于本区以往未在金伯利岩以外

的岩体中发现金刚石,而此矿带又没能确认金伯利岩体的存在,所以暂时称这 7 个岩体为疑似金伯利岩体。

除 1、2、3、6、56、57、66 号岩体出露围岩为寒武系馒头组、63 号岩体出露围岩为新太古界片麻岩、第Ⅳ矿带分布在青白口系永宁组外,其余的金伯利岩体均分布在青白口系钓鱼台组、南芬组和南华系桥头组,南芬组和桥头组为主要容矿围岩。

本区除已提交的 4 个大型矿床外,至少还有 9 号、58 号等 20 个以上金伯利岩脉(管)的金刚石含量超过 20mg/m³,甚至高达 1.6 克拉/m³。

3 矿田金伯利岩体形态特征

本区的金伯利岩以脉状为主,岩管较少。大部分金伯利岩脉的厚度小于 1m,薄的只有 0.1m,但延长很大,有的甚至超过 1000m(如 9 号脉长达 1040m),岩脉走向近于平行,产状比较稳定,岩脉与围岩界线清楚,单个脉体沿走向具有明显尖灭再现分枝复合现象,岩脉的长宽比一般在 100 以上,大部分在 200~500 左右,岩脉一般呈走向近东西或北东

东向,向南倾为主,倾向多为 150°~170°,倾角多为 75°~85°;岩管一般宽度大于 10m,出露宽度最大的是 42 号岩管,最宽处近 200m,岩管的长宽比一般小于 5,只有少量的岩管的长宽比为 10~20 之间。表 2 罗列了矿田典型金伯利岩体的长宽比值。由于有些金伯利岩体的地质工作程度还没有达到普查,因此岩体形态还有很多不确定性,但已提交详查和勘探报告的 4 个大型原生矿床的金伯利岩体形态还是比较清晰的。

表 2 瓦房店地区典型金伯利岩长宽比统计表^①

Table 2 Statistics of length-to-width ratio of typical kimberlite in Wafangdian area^①

岩体编号	岩体形态	岩体长宽比	岩体编号	岩体形态	岩体长宽比	岩体编号	岩体形态	岩体长宽比
30	岩管	2.65	16	岩脉	680	47	岩脉	750
38	岩管	2.25	31	岩脉	600	48	岩脉	150
50	岩管	4.45	32	岩脉	666.67	59	岩脉	400
51	岩管	2.6	36	岩脉	760	60	岩脉	260
68	岩管	4.67	37	岩脉	500	62	岩脉	1,000.00
74	岩管	6.67	39	岩脉	500	69	岩脉	500
75	岩管	1.38	40	岩脉	500	73	岩脉	400
110	岩管	3	41	岩脉	1,200.00	78	岩脉	166.67
42	岩管	1.17	45	岩脉	200	81	岩脉	125

注:42 号岩管的长宽比是按含金伯利岩物质角砾岩范围的计算结果

50 号岩管是本区最重要的一个岩管,也是区内 4 个大型原生金刚石矿床唯一一个已经开发利用的岩管。该岩管出露标高 140m,主矿体最低见矿标高-76.20m(Fu Haitao,2019d),地表近东西向展布,呈西大东小的蝌蚪状,西侧为长约 180m、宽 40m~55m 的椭圆状,东侧为脉状,地表长约 90m,宽 6m~8m。根据勘探和开发资料,岩管从地表向下呈逐渐膨大的趋势。-20m 标高时,岩管面积是地表面积的 2.3 倍(宋瑞祥,2013)。在-70m 标高附近岩管急剧缩小并尖灭。东侧的脉状体厚度变化不大,根据钻孔资料该脉体向东延伸大于 300m。西侧部分为 50 号岩管的主体部分,为最大长度约 280m 的厚板状体。根据开采平面图和钻孔数据库建立的三维模型体,50 号岩管主体部分呈底面向东缓倾斜、西端底部翘起、东端底部向延长方向突出的“靴子”状。总体上来说,50 号岩管是一个厚板状体而不是传统意义上的管状体。

42 号岩管是本区最大的岩管,也是我国目前已发现的最大的金伯利岩体。岩管出露在东西长约 540m、南北宽约 320m 的范围内,由大小 8 个岩体组成。总体上呈西窄东宽的样式,西部为斑状金伯利岩,出露宽约 70m,东部也是斑状金伯利岩,但其外围由含围岩角砾的金伯利岩包围着,局部呈近 180m 的等轴状,中间由若干个小岩株组成。在岩管的南

北两侧出露有外部边界为北西走向的含金伯利岩物质的角砾岩。42 号岩管以含金伯利岩物质的角砾岩为边界的范围约 631m×540m。根据各个岩体的相互位置等因素,将 42 号岩管编号 42-1、42-2 和 42-3 三个子岩体。最高出露标高约 160m,钻孔控制最低标高-432m,还有些钻孔由于当时的施工能力停在岩管之中。42 号岩管是本区金伯利岩管状特征最明显的一个金伯利岩体。

30 号岩管位于 50 号和 42 号岩管中间,距 50 号岩管约 13km,距 42 号岩管约 6km,是一个地表形态比较规则的岩管。地表椭圆形,长约 200m,宽约 95m,走向 70°左右。西南和北东两端出露有多个小岩体以及含金伯利岩物质的角砾岩。30 号岩管是本区控制程度比较高的岩管,也是钻孔控制深度最大的一个岩管。该岩管出露标高约 110m,钻孔见金伯利岩最低底界标高-836.99m,也就是说,向下延伸近千米。勘查过程中,根据钻孔见矿情况认为,该岩管是向东南方向侧伏的,但通过三维建模认为,该岩管是近直立产出的,由于被推覆构造错断导致钻孔见矿深度不断加深(Fu Haitao et al.,2017),推覆构造至少在 3~4 个标高上对 30 号岩管造成了破坏。

与 30、42、50 号岩管三个金伯利岩型大型原生金刚石矿床不同,51、68、74 号岩管是三个相距很近

的小岩管,组成了一个大型原生金刚石矿床。这三个岩管位于 50 号岩管东北侧约 1km 处,呈北东向近等间距串珠状展布,51 号在东北端,68 号在西南端,74 号在中间,51 号与 68 号相距约 350m。51 号出露面积约 1300m²,68 号出露面积约 1200m²,74 号出露面积约 750m²。钻孔控制的 51 号和 68 号向下延深约 400m,74 号岩管向下延深很小。在开采 50 号岩管的过程中,对这三个小岩管进行了试采。

4 金伯利岩与构造盆地的关系

本文所说构造盆地是指在平面上呈等轴或近等轴状、中心部位的地层产状相对平缓、边缘地层产状比中心陡一些的浅碟子状盆地。通过研究发现,本区金伯利岩的分布与构造盆地在空间上具有一定的关联性,最明显的是 75 号岩管,50、51、68、74 号等岩体也与一个构造盆地相关。75 号岩管位于第一矿带的最北端,是一个直径约 50m 的小岩管,出露在近于完整的构造盆地的南部边缘,该盆地主要出露有青白口系南芬组和南华系桥头组,盆地的东南角因受晚期断裂构造影响出露有寒武系。该盆地直径 2km 多,盆地边缘地层向盆地中心倾斜,倾角 10°~30°,盆地边缘的高程近 300m,盆地中心的高程约 100m(见图 2),周边的地层向盆地中心倾,具等轴向斜特征。50 号岩管所处的构造盆地比 75 号岩管所处的盆地要大一些,这个盆地直径接近 10km,通过进一步划分可以看出,50、51、64、68、69、74、107 号等岩体与一个直径 2km 多的小盆地(头道沟盆地)相关,50、64、69、107 号岩体在小盆地的边缘上,51、68、74 号岩管处在小盆地的中心。这个小盆地内出露地层为南华系桥头组(见图 3),其外围是青白口系南芬组。除金伯利岩外,小盆地内还出露有辉绿岩。头道沟盆地周边地层也是向中心倾斜,也具有等轴向斜特征。与 75 号岩管所在盆地相似,头道沟盆地中心标高也是 100m 左右,边部也是 300m 左右。为了突出显示金伯利岩体与构造盆地关系,图 2、图 3 对地质内容进行了简化。

这些构造盆地在遥感影像上一般呈明显的环状,当盆地中有相对抗风化的地层时,环状影像就更加明显一些,但由于后期构造运动的改造,现存盆地大多为残盆。这些盆地与原始沉积盆地有明显的区别,一是盆地规模大小不一,小的直径不到 1km,最大的直径不过几十千米,在几千平方千米的范围内分布有 100 多个;二是这些盆地相对比较规则,平面形态近等轴状,不符合沉积盆地的特征。因此认为

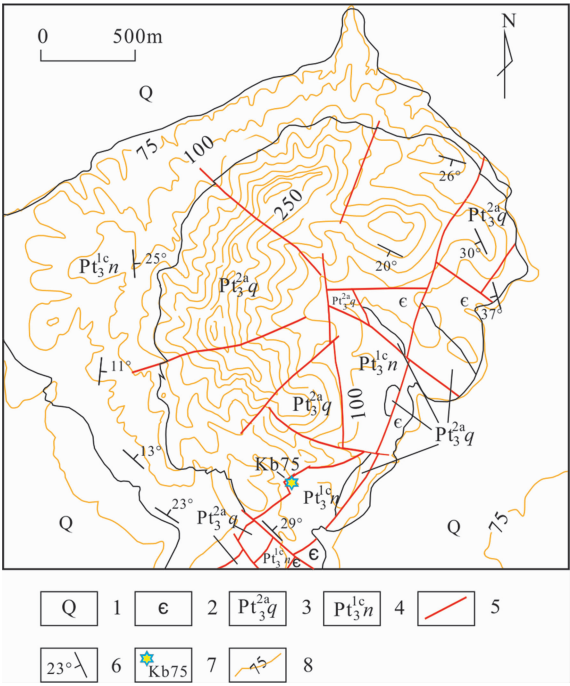


图 2 75 号金伯利岩管地质略图

Fig. 2 Geological sketch of No. 75 kimberlite pipe

- 1—第四系;2—寒武系;3—南华系桥头组;4—青白口系南芬组;
5—断层;6—地层产状;7—金伯利岩管及其编号;8—等高线及高程值
- 1—Quaternary; 2—Cambrian; 3—Nanhua Qiaotou Formation;
4—Qingbaikou Nanfen Formation; 5—fault; 6—stratigraphic occurrence;
7—kimberlite pipe and its number; 8—contour and elevation values

这些盆地是在本区各相关时代的地层沉积后受到某种力量的改造而形成的。有人认为,环状构造是地幔物质和热流上升的通道(Hu Zhengguo, 1983);有人用火山-深成作用来说明地球大多数大型环状构造的形成(Михайлов et al., 1983);有人认为环状构造是岩浆侵入体或岩浆活动中心(Yang Wunian, 1983)。本文认为,由于金伯利岩浆上侵过程中携带大量挥发分,这些挥发分能够使岩浆通道上方的地层隆起,当挥发分在上覆地层破损处释放后,中间部位向下塌陷,而边部的地层由于隆起时产状变陡,下落的距离小于中心部位,从而造成周边高中间低的盆地。

因地层(或层状物)下方有水气而使其隆升的现象在现代的火山熔岩中也有所体现,例如内蒙古自治区阿尔山国家地质公园中有很多的“熔岩冢”,据信是由于火山熔岩在流淌过程中因局部气体聚集或当熔岩流流经潮湿地面时,熔岩流底部形成气囊而形成的,在这种气体的作用下,熔岩流鼓胀,表面穹起而形成一种馒头状熔岩构造,其顶部和侧面常因

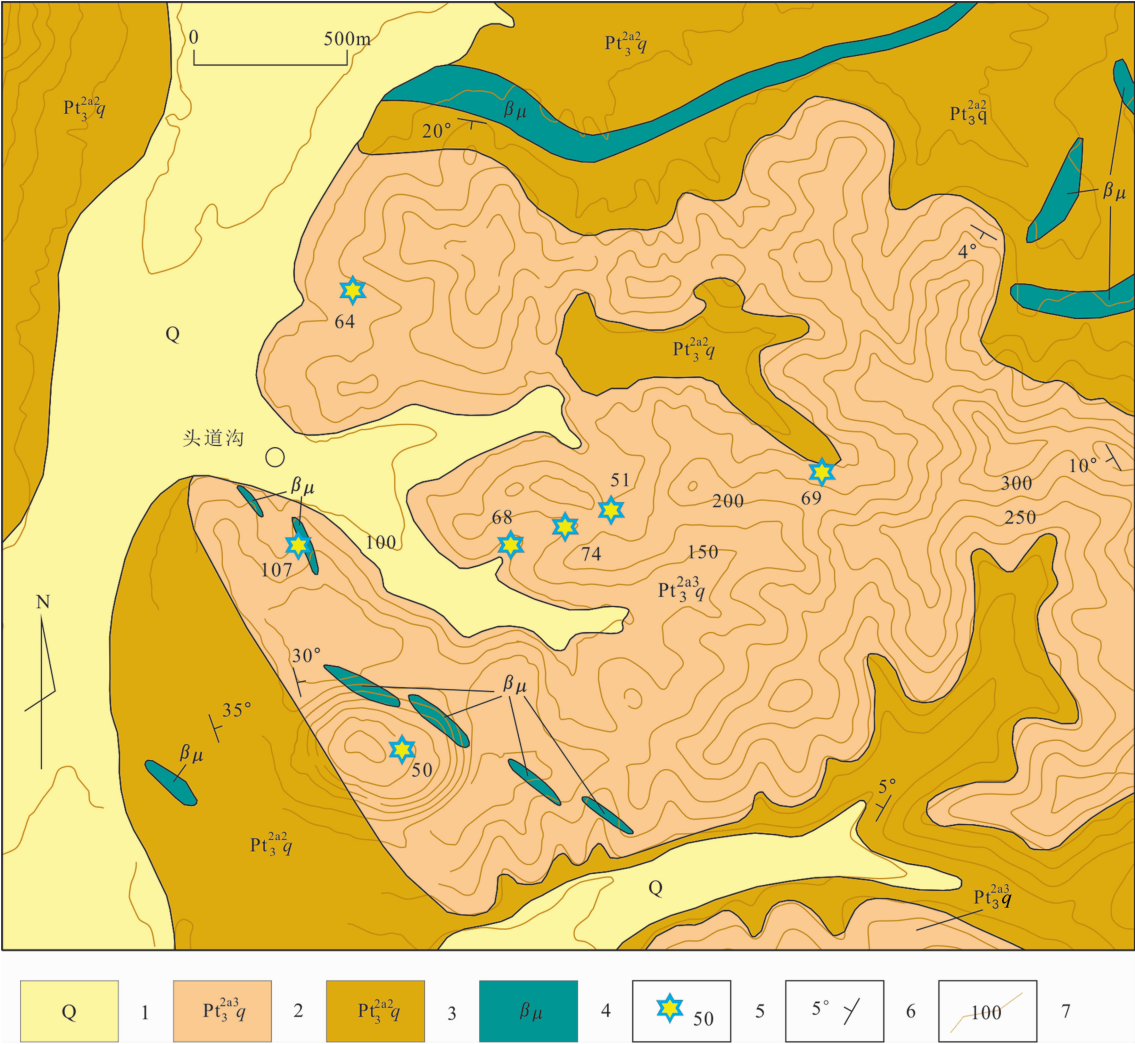


图 3 头道沟盆地地质略图

Fig. 3 Geological sketch of Toudaogou basin

1—第四系;2—南华系桥头组三段;3—南华系桥头组二段;4—辉绿岩;5—金伯利岩体及编号;6—地层产状;7—等高线及高程值
1—Quaternary; 2—third member of the Nanhua Qiaotou Formation; 3—second member of the Nanhua Qiaotou Formation;
4—diabase; 5—kimberlite and number; 6—stratigraphic occurrence; 7—contours and elevation values

气体鼓胀而裂开。直径较小时气体直接从熔岩冢的顶部泄出,从而形成开花馒头状(见图 4a);当直径较大时则气体多从侧面泄出,冢顶塌陷呈平顶状(见图 4b)。这一现象对理解构造盆地的形成有一定的帮助。

5 金伯利岩侵位过程与就位机制分析

以往研究认为,本区金伯利岩体的岩浆来源深度约为 215km,岩浆沿着一定宽度的裂隙快速侵入,上升速度达 18m/s,金伯利岩浆在侵入的浅成阶段,高度浓缩的爆破气体起着重要作用,单位重量的 CO₂ 和 H₂O 体积在(4~8)×10⁷Pa 压力下急剧增加并发生爆破(Zheng Jianping et al.,1989)。从金伯

利岩浆上侵速度上分析,可以认为上升通道规模是巨大的,确保了上侵的速度,但随着岩浆的不断上侵,上侵的动能会逐渐减弱,特别是在浅成阶段当挥发分体积急剧膨胀后可能导致岩浆不能按原有的方向运动,当遇到巨厚的沉积盖层岩浆没能从主通道的上方冲出地表时会在上侵通道的上方因挥发分膨胀而造成地层隆起,当挥发分聚集到一定程度上覆地层不能承受时,挥发分就会在隆起的薄弱部位,隆起的中心和边部,撕裂出通道泄漏掉挥发分并形成构造盆地;同时在上侵受阻时也会有部分岩浆沿次级断裂向周边扩散,并在合适的地方继续上侵并喷出地表。根据以往研究成果,本区金伯利岩的侵位时间约为 465Ma(Zhang Hongfu et al.,2007);即侵

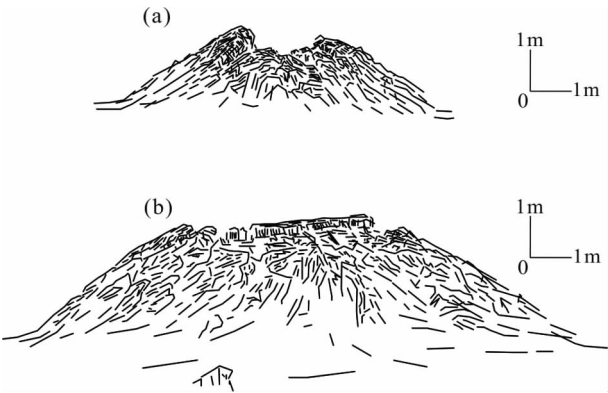


图 4 阿尔山地质公园“熔岩冢”

Fig. 4 Lava mound in Aershan Geopark

位于中奥陶世。根据有关资料^①，瓦房店地区沉积于新太古界片麻岩和古元古界之上的青白口系、南华系、震旦系和寒武系的总厚度大于 3100m(见表 3)，也就是说，在金伯利岩浆侵入时，本区存在巨厚的沉积盖层。

表 3 瓦房店地区金伯利岩侵位前沉积岩厚度统计表^①
Table 3 Statistics of sedimentary rock thickness before the kimberlite invasion in Wafangdian area^①

寒武系(m)	震旦系(m)	南华系(m)	青白口系(m)	合计厚度(m)
583.53	1316.3	742.5	494.2	3136.53

因此，本区的金伯利岩可能有两种就位方式，一是与构造盆地有关，二是与区域深大断裂的次级断裂有关。与构造盆地有关的金伯利岩一般分布在盆地的边缘和中心，这是因为在挥发分泄漏时，岩浆会填补挥发分所占据的空间，会顺着挥发分的外泄通道上侵、冷却或喷出地表，形成现在所见的金伯利岩体。由于岩浆的黏稠度和比重远大于挥发分，运动速度小于挥发分的泄漏速度，所以岩浆也不可能完全占据挥发分占据的全部空间，也就是在盆地内会见有相关的碳酸盐化等蚀变而无金伯利体的地段。由于挥发分泄漏通道大小不一，涌入的岩浆也不一样多，因此在盆地中的某些地段可能存在未喷出地表的隐伏岩体。另一方面，与构造盆地有关的金伯利岩体以岩管居多。图 5 示意了理想状态下金伯利岩产出位置与构造盆地的关系。与次级断裂有关的金伯利岩一般呈脉状产出，脉宽不大但延伸较长，脉壁平直，脉与脉之间相互平行或呈雁行式排列。由于体量小，携带的挥发分也少，基本上就是岩浆沿裂隙运移、固结成岩。

6 几点认识

(1)本区金伯利岩来源于上地幔，但岩浆浅成阶

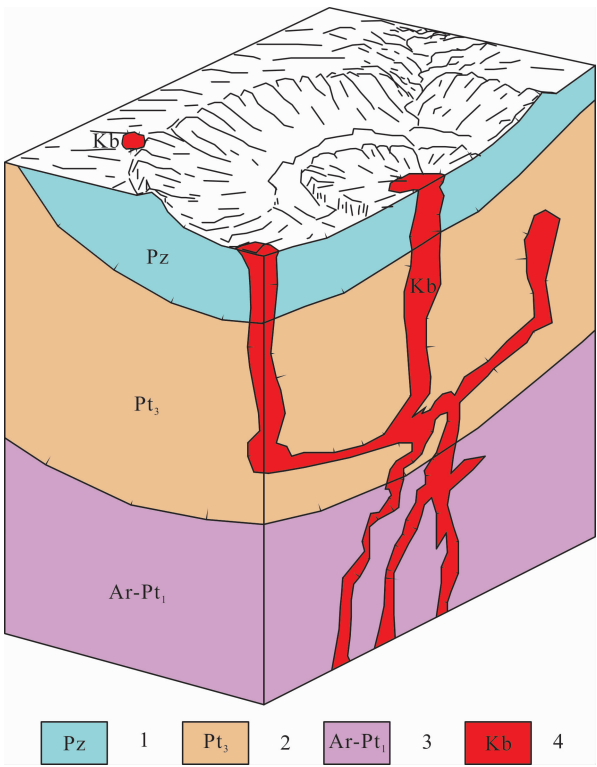


图 5 金伯利岩产出位置与构造盆地关系示意图
(构造盆地地表形态根据曾佐勋等
《构造地质学(第三版)》(2008)资料改编)

Fig. 5 Schematic diagram of the relationship between the location of kimberlite and tectonic basins (Surface morphology of tectonic basin is adapted from the data of “Tectonic Geology (The Third Edition, 2008)” by Zeng Zuoxun et al.)
1—古生界；2—新元古界；3—古元古界及太古界；4—金伯利岩
1—Paleozoic；2—Neoproterozoic；3—Paleoproterozoic and Archean gneiss；4—kimberlite

段是影响金伯利岩体产出位置和形态的重要因素，当岩浆通道上方覆盖层厚大时可以因挥发分聚集、泄漏而使上覆地层发生形变并形成近等轴状构造盆地，与构造盆地有关的金伯利岩体以岩管居多。

(2)按上述讨论的观点，可以很好地解释瓦房店地区环状影像和那些构造盆地的成因，也可以在相对比较明显的构造盆地中看到金伯利岩与构造盆地的相关性。根据现有资料，直径 2~3km 的构造盆地可能更有利于寻找金伯利岩体。

(3)研究区构造盆地众多，大小不一，其中较大的盆地位于西南部，最清晰的是以岚固弧为边界的那一个，直径超过了 20km。矿田西南部出露的地层层位比较高，中小型构造盆地也比较完整。矿田地势总体上呈从南西向东北逐渐升高的趋势，地层总体上从北东向南西方向倾斜。目前，在矿田的西南部一带发现的岩浆岩较少，以基性的辉绿岩为主，

几乎未见中性或酸性岩。推测这样的地层分布和地势形态可能与岩浆通道有关,矿田西南部可能是基性、超基性岩浆的主通道,当岩浆活动结束后,地表向下塌陷,造成了西南部地势低而地层层位高的现象。

(4)根据区内金伯利岩体形态特征,规模较大的金伯利岩管中,围岩层位较高的 50 号、30 号岩管呈厚板状体产出,而围岩层位最低的 42 号岩管则具有平面上近等轴、垂向近等粗的火山颈相特征,其中 42-1 号岩管主矿体部分地表控制长约 232m,宽约 183m,钻孔控制的近 600m 深度内不同标高断面的面积变化不大;另一方面,区内已提交的金金刚石砂矿均为小型近源砂矿,在典型矿床下游河道及阶地虽然发现有金刚石,但尚未发现金金刚石砂矿床,因此认为有必要对本区金伯利岩体的相态和剥蚀深度进行系统研究。

此外,还有一些问题需要进一步思考和研究,一是区内构造盆地是由岩浆侵入单一原因造成的还是叠加了构造虚脱因素有待研究;二是以往将所发现的金伯利岩划分了 4 个矿带,但从图 1 上可以看出,金伯利岩体在平面上只是在局部具带状特征,更多的是呈簇状或散点状分布,由于现在看到的构造盆地大多是残盆,还有多少岩体与构造盆地有关有待研究;三是本区是否存在席状金伯利岩有待研究,当挥发分泄漏、岩浆侵位时部分地段会沿空洞形成近水平状岩席,目前除在 1 号岩管资料中见有顺层侵入表述外,尚未发现其它金伯利岩体有此类现象;四是金伯利岩侵位时研究区已有厚度巨大的沉积盖层,而且现存有众多地表未见侵入岩、形态完整的构造盆地,因此认为,本区可能存在未出露于地表的金伯利岩体,这些未出露于地表的金伯利体的工业意义有待进一步研究;五是虽然经历了漫长地质时期的改造,但从金伯利岩空间分布和形态上看,金伯利岩侵位后除经历了剥蚀外,后期构造运动对金伯利岩平面相对位置的影响不是很大,但推覆构造被认为是影响岩体形态的一个重要因素,岩管和岩脉向下延深不大或显示平底特征不是岩体侵位时的原始形态,而是因推覆构造改造的结果。

致谢:在此研究过程中,得到了辽宁省第六地质大队以及辽宁省金刚石勘查技术团队有关人员的大力支持,在此深表谢意!

注 释

① 辽宁省第六地质大队:辽宁瓦房店金刚石矿整装勘查区实施方案

(2012)

② 辽宁省第六地质大队:区域矿产地质调查说明书(比例尺:1:50000,瓦房店市幅(J51E003008))(2017)

References

An Zhanfeng, Jia Zhiye, Wang Meng, Dong Lina, Zhang Huiting, Li Jian, Yang Yi, Wang Xin. 2017. A tentative discussion on the aeromagnetic flight method for the diamond survey in Wafangdian, Liaoning Province. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 41 (1): 111 ~ 115 (in Chinese with English abstract).

Chi Guangcheng, Li Guowu, Xiao Gang, Wu Yue, Yue Mingxin, Hao Yuanfang. 2013. Composition and implication of the chromite in Kimerlite from Wafangdian, Liaoning and Menyin, Shandong. *Geology and Resources*, 22(1): 76 ~ 80 (in Chinese with English abstract).

Dong Zhenxin, Zhou Jianxiong. 1980. The typomorphic characteristics of chromites from Kimberlites in China and the significance in exploration of diamond deposits. *Acta Geologica Sinica*, (4): 284 ~ 299 (in Chinese with English abstract).

Dong Zhenxin. 1991. Some geological characteristics of kimerlite type diamond deposits in China and their ore-prospecting indicators. *Mineral Deposits*, 10(3): 255 ~ 264 (in Chinese with English abstract).

Dong Zhenxin. 1992. Clinopyroxenes in Kimberlites of China. *Acta Geologica Sinica*, 66 (1): 35 ~ 47 (in Chinese with English abstract).

Fu Haitao, Shan Xuedong, Kang Ning, Fu Haihua, Wan Fanglai. 2017. The application of 3D Modeling technology in the No. 30 Kimberlite rock pipe exploration. *Advances in Geosciences*, 7 (5): 645 ~ 652 (in Chinese with English abstract).

Fu Haitao. 2019a. The application of 3D modeling technology to the kimberlite rock tube exploration; A case study of Wangfangdian in Liaoning Province. *Geological Bulletin of China*, 38(1): 51 ~ 55 (in Chinese with English abstract).

Fu Haitao. 2019b. Understanding of the relationship between annular structure and Kimberley rock in Wafangdian area, Liaoning. *Western Resources*, 16(3): 14 ~ 16 (in Chinese without English abstract).

Fu Haitao. 2019c. Two issues worthy of attention in diamond prospecting in Wafangdian area. *Advances in Geosciences*, 9 (5): 328 ~ 333 (in Chinese with English abstract).

Fu Haitao. 2019d. Study on deep prospecting of No. 50 kimerley pipe in Wafangdian area, Liaoning Province. *China Non-metallic Minerals Industry*, 40 (3): 34 ~ 36 (in Chinese with English abstract).

He Guanzhi. 1980. Formation mechanism of Kimberlite and diamond. *Geological Review*, 28 (5): 384 ~ 391 (in Chinese without English abstract).

Hu Zhengguo. 1983. Central-ring structure-a type of structure that is generally important. *Geology-Geochemistry*, 11 (1): 18 ~ 25 (in Chinese without English abstract).

Jiang Lili, Fu Haitao. 2019. Analysis on the exploration of AMT method in kimberly rock pipe of No. 30 Wafangdian. *Western Resources*, 16(6): 162 ~ 165 (in Chinese with English abstract).

Liu Fei, Yang Jingsui, Lian Dongyang, Yu Xiaoyan, Kewame Rollyken Gwandu. 2019. Metallogenic features of diamondiferous kimberlites in Botswana and China; Enlightenment for exploration of the same type deposits. *Geology in China*, 46 (1): 43 ~ 76 (in Chinese with English abstract).

Meng Xiaohong, Tan Chengze. 1994. The characteristic and significance of Liaonan kimberlites, Liaoning Province. *Acta Geophysica Sinica*, 37 (3): 353 ~ 361 (in Chinese with English abstract).

Qi Yuxing, Shi Zhongshuang, Han Zhuguang. 1998. The prospecting and exploration of diamond deposits in Liaoning. *Liaoning Geology*, 15(2): 111 ~ 125 (in Chinese with English abstract).

Ren Xuming, Dang Xiaoliang, Gu Xiong. 2015. *Geological*

- characteristics and tectonic setting of diamond deposit in China. China Non-metallic Minerals Industry, 36(4): 42~45+59 (in Chinese with English abstract).
- Wan Fanglai, Jiang Jingjing, Wang Xuan, Yang Xianzhong, Wang Huaichu. 2019. Geological characteristics and structural ore-control role in Wafangdian kimberlite orefield of Liaoning Province. Geological Bulletin of China, 38(1): 62~67 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xuemu, Wang Ping, Hu Ke. 2015. The erosion depth of kimberlite and the denudation thickness of diamond in the wafangdian region of Liaoning Province. China Mining Magazine, 24(Suppl): 300~303+335 (in Chinese with English abstract).
- Xue Yulong, Wang Xuemu, Hu Ke. 2017. The erosion detrital material transported direction in south of Liaoning. China Mining Magazine, 26(Suppl): 185~190+199 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wunian. 1983. On the relationship between circular structures and mineral deposits based on remote sensing imagery data. Journal of Chengdu College of Geology, 24(4): 101~108 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhongzhu, Chen Shuliang, Dong Wande, Wang Changfeng, Wang Wenqing, Wang haipeng, Fu Haitao, Guan Yubo, Li Dongtao, Yang Zhanxing, Zhang Qingkui, Zhang Guoren, Tang Shujun. 2017. The Regional Geology of China, Liaoning Province. Beijing: Geological Publishing House, 55~126 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Hongfu, Yang Yueheng. 2007. Emplacement age and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics of the diamondiferous kimberlites from the eastern north China craton. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 285~294 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Chunqiang, Zhang Zhibin, Shi Yi, Shi Shaoshan, You Hongxi, Li Jing, Zhao Jingyang. 2018. Research progress and discussion on the metallogenic background of diamond in southern Liaoning. Geology and Resources, 27(2): 149~159 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Jianjun, Li Jing, Wang Shu, Dai Jun. 2011. The regional ore-controlling conditions and prediction of resources potential of the diamond concentrated district in Wafangdian, Liaoning Province. Geology and Resources, 20(1): 40~44 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Jianping, Lu Fengxiang, Ye Delong. 1989. The Genesis of kimberlite from S. Liaodong peninsula. Liaoning Geology, 6(4): 321~333 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xiuzhong, Yangianmin, Huang Yunhui, Qin Shuying. 1990. REE geochemistry characteristics of kimberlites in Shandong and Liaoning, China. Acta Petrologica Et Minereagica, 9(4): 300~308 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xiuzhong. 1996. The discovery of phlogopite exsolution lamellae in garnets of eclogite enclaves, Liaoning Province. Acta Geologica Sinica, 70(3): 223~231 (in Chinese with English abstract).
- Zhuang Dehou. 1984. Geological characteristics and formation mechanism of diamond primary deposits in south Liaoning. Liaoning Geology, 1(1): 63~80 (in Chinese without English abstract).
- 意义. 地质学报, (4): 284~299.
- 董振信. 1991. 我国金伯利岩型金刚石矿床的若干地质特征及其找矿标志. 矿床地质, 10(3): 255~264.
- 董振信. 1992. 中国金伯利岩中的单斜辉石. 地质学报, 66(1): 35~47.
- 付海涛, 单学东, 康宁, 付海华, 万方来. 2017. 三维建模技术在 30 号岩管勘查中的应用. 地球科学前沿, 7(5): 645~652.
- 付海涛. 2019a. 三维建模技术在金刚石勘查中的应用——以辽宁省瓦房店地区为例. 地质通报, 38(1): 51~55.
- 付海涛. 2019b. 辽宁瓦房店地区环状构造与金伯利岩关系的几点认识. 西部资源, 16(3): 14~16.
- 付海涛. 2019c. 瓦房店地区金刚石找矿值得注意的两个问题. 地球科学前沿, 9(5): 328~333.
- 付海涛. 2019d. 辽宁瓦房店地区 50 号金伯利岩管深部找矿问题研究. 中国非金属矿工业导刊, 40(3): 34~36.
- 贺灌之. 1980. 金伯利岩和金刚石的形成机制. 地质论评, 28(5): 384~391.
- 胡正国. 1983. 中心型-环状构造——一种普遍重要的构造类型. 地质地球化学, 11(1): 18~25.
- 蒋丽丽, 付海涛. 2019. 音频大地电磁法在辽宁 30 号金伯利岩管的勘查效果分析. 西部资源, 16(6): 162~165.
- 刘飞, 杨经绥, 连东洋, 余晓艳, Kewame Rollyken Gwandu. 2019. 博茨瓦纳和中国含金伯利岩的金伯利岩的地质特征及对寻找类似岩体的启示. 中国地质, 46(1): 43~76.
- 孟小红, 谭承泽. 1994. 辽宁复县金伯利岩的磁性特征及其意义. 地球物理学报, 37(3): 353~361.
- 米哈伊洛夫 A E, 陈秀琴. 1983. 地壳的环状构造及其对构造地质学和矿床成因论的意义. 地质科技情报, 2(1): 31~34.
- 齐玉兴, 施中爽, 韩柱国. 1998. 辽宁金刚石找矿与勘查. 辽宁地质, 15(2): 111~125.
- 任成明, 党晓亮, 顾雄. 2015. 我国金刚石矿床地质特征及构造背景. 中国非金属矿工业导刊, 36(4): 42~45+59.
- 宋瑞祥. 2013. 中国金刚石矿床专论. 北京: 地质出版社, 41~169.
- 万方来, 蒋金晶, 王焯, 杨献忠, 王怀楚. 2019. 辽宁省瓦房店金伯利岩矿区构造特征及其控矿作用. 地质通报, 38(1): 62~67.
- 王雪木, 王萍, 胡克. 2015. 辽宁瓦房店金伯利岩剥蚀深度与金刚石剥蚀量计算. 中国矿业, 24(增刊 1): 300~303+335.
- 薛玉龙, 王雪木, 胡克. 2017. 辽南金伯利岩剥蚀碎屑物质搬运方向初探. 中国矿业, 26(增刊 1): 185~190+199.
- 杨武年. 1983. 根据遥感图象资料试论环形构造与矿产之关系. 成都地质学院学报, 24(4): 101~108.
- 杨中柱, 陈树良, 董万德, 王长峰, 王文清, 王海鹏, 付海涛, 关玉波, 李东涛, 杨占兴, 张庆奎, 张国仁, 唐树军. 2017. 辽宁省区域地质志(辽宁卷). 北京: 地质出版社, 55~126.
- 曾佐勋, 樊光明. 2008. 构造地质学(第三版). 武汉: 中国地质大学出版社, 87~132.
- 张宏福, 杨岳衡. 2007. 华北克拉通东部含金伯利岩金伯利岩的侵入年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素地球化学特征. 岩石学报, 23(2): 285~294.
- 赵春强, 张志斌, 时溢, 石绍山, 尤洪喜, 李靖, 赵敬阳. 2018. 辽南金伯利岩成矿背景研究进展及讨论. 地质与资源, 27(2): 149~159.
- 赵建军, 李靖, 王书, 戴军. 2011. 辽宁瓦房店金刚石矿集区区域成矿控制条件及资源潜力预测. 地质与资源, 20(1): 40~44.
- 郑建平, 路凤香, 叶德隆. 1989. 辽东半岛南部金伯利岩成因讨论. 辽宁地质, 6(4): 321~333.
- 周秀仲, 杨建民, 黄蕴慧, 秦淑英. 1990. 山东和辽宁金伯利岩的稀土元素地球化学特征. 岩石矿物学杂志, 9(4): 300~308.
- 周秀仲. 1996. 辽宁榴辉岩包体的石榴石中金云母出溶片晶的发现. 地质学报, 70(3): 223~231.
- 庄德厚. 1984. 辽南地区金刚石原生矿床地质特征及其形成机制探讨. 辽宁地质, 1(1): 63~80.
- 安战锋, 贾志业, 王萌, 董丽娜, 张慧婷, 李健, 杨怡, 王鑫. 2017. 辽宁瓦房店地区金刚石航磁调查飞行方法探讨. 物探与化探, 41(1): 111~115.
- 迟广成, 李国武, 肖刚, 伍月, 岳明新, 郝原芳. 2013. 辽宁瓦房店和山东蒙阴金伯利岩中铬铁矿成分特征及指示意义. 地质与资源, 22(1): 76~80.
- 董振信, 周剑雄. 1980. 我国金伯利岩中铬铁矿的标型特征及其找矿

参 考 文 献

**Analysis of kimberlite emplacement mechanism in the
Wafangdian diamond ore field**

FU Haitao*

Liaoning Geological Exploration Mining Group, Shenyang 110032, China

** Corresponding author:lnfht@163.com*

Abstract

The Wafangdian diamond ore field in the Liaoning Province is located in the Neoproterozoic Paleozoic depression in the east of Liaoning Province. The stratas of all ages in the area are exposed, the largest of which occur in the Neoproterozoic area. The largest fault structure in the area is the north-north-east Jinzhou fault. The discovered kimberley rock mass is largely distributed to the west of the fault. More than 100 discovered kimberlite bodies have been divided into 4 ore belts. Four large primary diamond deposits and three near source small diamond sand deposits have been discovered. These resources account for more than half of those identified in the country. It is an important diamond concentration area in China. The No. 50 kimberlite pipe is well known in the gem industry for its superior diamond quality. However, most of the kimberlites in this area were discovered in 1970s and 1980s. In order to improve diamond exploration, the metallogenic conditions and ore controlling factors of kimberlites in this area were studied. The spatial distribution of kimberlites in the Wafangdian area occurs in groups and zones. These are found both in rock pipes and veins of which the former is the main source accounting for about 20%. The rock masses vary in size and shape. Most of the rock pipes and dikes located by drilling holes are characterized by sudden interruption of downward extension. Kimberlite indications seen in borehole show that the bottom boundary of many kimberlite pipes is either straight, or there are many horizontal areas with translational dislocations. The typical rock pipes and veins are closely related to the isometric or near isometric structural basins. Based on the analysis of the spatial distribution and rock morphology characteristics of kimberlite, the emplacement process and emplacement mechanism of kimberlite in this area was inferred. It is proposed that in the hypabyssal stage of emplacement of kimberlite in the Wafangdian area, overlying strata in the sections where the ascending channel is not smooth were uplifted due to the large amount of volatiles carried by the magma. When the volatiles leaked out, the collapse of the uplifted strata collapse formed a shallow saucer like structural basin. The kimberlite body is located in the leakage channel of volatiles. Some magma migrated and was consolidated along the secondary fractures. Because of the late nappe structural transformation, the horizontal displacement of the rock pipes and veins occurred resulting in disruption of their downward extension as seen in the boreholes. This study provides new ideas for judicious extension of exploration work.

Key words: Liaoning; Wafangdian; kimberlite; tectonic basin; emplacement mechanism; evolution process