金伯利质岩管的认识及其找矿意义

丁毅
河北地质大学,石家庄,050031

内容提要:金伯利岩是世界上分布较少和较难寻找的岩石。因其含有金刚石,具经济价值,含有地幔捕虏体,给科学界带来地壳深部和上地幔信息,一直为地学界所关注。金伯利岩多呈管状产出,岩管中含有来自上地幔的同源包体以及上升通道周边各种岩石的捕虏体,火山爆发所形成的火山碎屑的复杂性造成其岩石命名有多种不同的认识,有关术语及其用法非常多。在研究国内外关于金伯利岩成果的基础之上,本文将术语用法和岩石命名原则进行分析和总结,解剖三种类型金伯利质岩管在纵向上的变化,分析在中国所发现的含金刚石的金伯利质岩管的特征和分析可能存在的金刚石砂矿。

关键词:金伯利岩岩管;金刚石矿;命名;岩相划分;找矿意义

以火山管道为中心,每一种SiO_2不同成分的火山机构都可能具有各自不同的矿产(丁毅,1992)。在不同岩性的火山机构建造中,金伯利质火山管道是最为复杂的,然而因其含有金刚石的经济价值也是研究最为深入的。剖析金伯利质火山管道在纵向上的变化,或许对理解其它火山中心机构及其有关矿产有帮助。

1 金伯利质岩浆和金伯利质岩管

Janse(1985)将克拉通地台分为:① 1600~2400 Ma结晶固化的元古宙P型克拉通,钾镁煌斑岩为母岩的金刚石矿产生在P型克拉通内;② 大于2400 Ma基底已固化的太古宙的A型克拉通,以金伯利岩为母岩的有开采价值的金刚石矿都产在A型克拉通内。A型克拉通地台的特点是长期稳定的和存在大于150 km的古老地层(Kennedy and Kennedy, 1976; Ringwood et al., 1992; Mitchell, 1995)。全球共发现了一万多条钾镁煌斑岩体,虽然多数含有金刚石,但是有经济开采价值的只是澳大利亚西北部的Argyle岩体,而且该岩体也是目前全世界所开采的金刚石矿中品位最低的,因此本文重点讨论金伯利岩体。在全世界已经发现的6400多座金伯利岩体中,有经济价值的可开采的金刚石矿不到1%,例如:在南非地台共发现有800多个金伯利岩体,具有开采价值的金刚石矿不到10座(宋瑞祥和丁毅,2019)。

金伯利岩质岩浆通常是富含水和二氧化碳挥发分的超基性岩浆,SiO_2小于38%(Price et al., 2000; Kopylova et al., 2007; Francis and Patterson, 2009),有些学者认为金伯利质岩浆更有可能是碳酸和硅酸盐的混合岩浆(Dawson and Hawthorne, 1973; Kamenetsky et al., 2007; Nielsen and Sand, 2008; Patterson et al., 2009; Russell et al., 2012)。金伯利岩以管状和岩脉状产出,目前发现只有管状的金伯利岩才有经济开采价值。金伯利质岩管的形状像个埋在地下的放大的胡萝卜,越往下越细,显示出金伯利质岩浆上升的速度越往上越快(Jones et al., 2014),即:越接近地表的减压环境其上升并爆破的冲击力越大(Hawthorne,1975;Foulger,2010;Thomas and Goudie,2000)。金伯利岩火山口的特点是不具有高出地面的锥状体而多是负地形、面积小(最初地表上的直径多小于1000 m)、成群出现的。但就其在地表呈现的火山口而言,它更像一个盘子,由"盘边"和"盘底"构成,盘边的斜坡上或边缘通常堆

注:本文为中国地质调查局"华南重点矿集区稀有稀散和稀土矿产调查"(编号:DD20160056)和中国地质调查局"华北和扬子地区金刚石矿产调查"(编号:DD20160059)项目的成果。
收稿日期:2019-05-21;改回日期:2019-08-08;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2019.05.015
作者简介:丁毅,男,1957年生,1982年、1985年和1994年分别于河北地质学院、中国地质科学院和加拿大Dalhousie大学获工学学士、理学硕士、科学硕士学位;现为河北地质大学客座教授;40年来,主要从事火山岩和有关矿产研究,目前,专注中国玛珥式火山岩和金伯利岩研究;Email: chinakimberlite@126.com。

砌着火山喷发的碎屑,它们形成环带构造。这些碎屑可以是仅仅由盖层碎块组成,也可以是盖层和喷发出的岩浆团块的混合碎块。

2 金伯利岩的组成

在分析金伯利质岩管之前,了解金伯利岩的组成,理清各种术语的使用是分析金伯利质岩管在纵向上变化的基础。

2.1 金伯利岩中岩石结构和矿物

金伯利岩除了含有幔源(同源)和壳源的捕虏体外,还含有大颗粒晶体和小颗粒晶体,显示出矿物多世代的特点。早期结晶的晶体空间自由度大,晶体颗粒较大,并被仍未凝固的岩浆溶蚀成浑圆状,而后期晶出的晶体自形程度高,这种斑晶和基质所组成的斑状结构正是典型的火山岩的结构特点。金伯利岩的晶体按照颗粒的大小分为大晶体(megacrysts:大于 10 mm)和中晶体(macrocrysts:0.5~10 mm)两个等级。与岩浆早期晶出的大颗粒晶体很难区分的是捕虏晶,它们的晶体也呈浑圆形,无论呈集合体或是单晶存在,它们是在岩浆形成初期捕获或是从捕虏体中分离出来的(Kamenetsky and Kamenetsky,2007; Neilson and Sand, 2008),在矿物组成上与从岩浆早期结晶出的矿物相似,由富镁橄榄石、金云母、富铬透辉石和少量顽火辉石、富含铬的镁铝榴石、富镁钛铁矿、铬铁矿、和原生方解石组成。

2.2 金伯利岩碎屑

金伯利岩中各种类型的碎屑和包裹体较多而且成分复杂,大体可分为三类:异源碎屑、同源碎屑、深源捕虏体。

(1) 异源岩屑指的是金伯利质岩浆沿管道上升过程中所捕获的在金伯利质岩浆冷凝之前的所有地层岩石,这些捕虏体的种类与各个地区所存在的地层有关,常见的有麻粒岩、片麻岩、页岩、石英砂岩、灰岩等等(Clement,1982;Clement and Reid,1989)。

(2) 同源碎屑也称之为岩浆碎屑(Field and Scott,1999),是在金伯利质岩管的纵向上不同相中所出现的与金伯利岩同成分的早期岩浆结晶的细晶金伯利玢岩、云母斑晶金伯利岩碎块,多呈圆形和椭圆形。

(3) 岩球是同源碎屑的一种,是金伯利岩中常见的和有特色的一种岩石构造特征,通常由单颗粒橄榄石或数颗粒橄榄石和围绕在其周围的其它矿物组成(Clement and Skinner, 1985)。中文文献中称之为“岩球”(杨建民,1995),颗粒大小从 1 mm 到 10cm 直径都有,以直径 2 mm 为界,小球(<2 mm)通常由单颗橄榄石组成, 大球(>2 mm)通常由多颗橄榄石组成(Skinner and Marsh,2004)。关于岩球的成因,有的学者认为它们是来源较深的未熔包体(杨建民,1995); 本文认为包体的矿物组成是深源的,以单颗粒或多颗粒矿物(主要是橄榄石)为中心旋转而形成的, 即:岩球是早期结晶的矿物如橄榄石,以其为中心在自由度相对大的空中或粘度较小的岩浆中快速旋转而形成的。这与在火山凝灰岩中常见的球粒的形成机理相同,如北京八达岭火山凝灰岩中的“京白梨”大小的圆形球体,球体成分和颜色(灰色)均与球外的凝灰岩相同。世界上许多地区岩体中均发现有大的石球,像波斯尼亚凝灰岩中有 2m 直径的岩球。笔者认为它是由于剪切力造成的。这些在旋转过程中所形成的岩球,有中心的凝固性和抗风化能力强的特点,在风化的金伯利岩中成了突出的“眼球”,这也正是寻找金伯利岩的标志之一。

(4) 深源捕虏体,是在岩浆形成初期不完全熔融或在深部开始上侵时捕获的,不同的金伯利岩体中所见颗粒大小不同,通常在几毫米至 10 cm 甚至更大,岩性如方辉橄榄岩、二辉橄榄岩、榴辉岩和二辉橄榄岩等,它们也被称为“深源包体”。金伯利岩中的深源捕虏体和巨晶是金伯利岩的经济价值所在,品位较高的金刚石矿通常具有较多的方辉橄榄岩和榴辉岩的深源捕虏体。一个金刚石矿能有几颗大颗粒的金刚石的话,该矿的价值将增大。

(5) 金伯利岩有二种巨晶,一是从捕虏体中分离出来的,二是金伯利质岩浆早期结晶的,它们有大颗粒金刚石、镁铝榴石、橄榄石、铬铁矿和钛铁矿等晶体。判断二者之间的区别要从分析晶体的核心成分入手,仅仅根据晶体的溶蚀程度来区分是捕虏晶还是岩浆早期结晶的矿物是很难区分的(董振信,1992)。

2.3 金伯利岩碎屑结构和大小

在金伯利质岩浆自源起、沿通道上升、乃至就位形成岩管的过程中,先后捕虏的深源和异源碎屑的次序不同导致这些碎屑在岩浆中停留的时间长短不一,使得它们在岩浆中的溶蚀程度由高至低从而有从椭圆形和圆形 — 次棱角状 – 棱角状的变化。用来形容碎屑大小的术语有:大球形(globular)、小球形(pelletal)、火山砾(lapilli)和火山灰(tuff); 用来形容岩石构造的有集块构造(> 64 mm,

conglomerate)、角砾构造(>2 mm, brecciated)和凝灰构造(<2 mm, tuffaceous)。在火山学中常用火山碎屑这一名词(pyroclasts, volcaniclasts),因为火山口相内各种火山碎屑复杂,有的学者也用火成碎屑(magmaclasts)来形容。另外形容碎屑大小和形状的常用火山弹(volcanic bombs)、火山砾(volcanic lapilli)和火山灰(volcanic ash)。

3　金伯利岩的命名

3.1　命名原则

金伯利质岩石中捕虏体和围岩以及其它外来体较多,以岩石化学划分来命名岩石是不准确的。但是,对岩管深部的玢岩相进行岩石化学分析有助于对比其它地区同样的玢岩相岩石化学分析。根据金伯利岩岩石结构命名,即不考虑岩石在岩管中所处的部位,仅以斑状、细晶、粗晶结构来命名岩石(董振信,1994;杨建民,1995)在野外工作中有实际意义,即可以较容易和简单地命名岩石,例如:细晶金伯利岩,粗晶金伯利岩。然而,以岩石中矿物组成和结构为基础,划分岩相,即从岩相学的角度来命名,最能反映金伯利岩管在纵向变化的复杂性(Clement, 1982; Clement, 1985; Mitchell, 1986; Mitchell,1995;Field and Scott,1998)。在命名中不考虑捕虏体和捕虏晶是因为金伯利岩浆来源深度大,含有大量的捕虏体和大颗粒的捕虏晶,虽然参与命名更能反映金伯利岩体的含矿性,但是这样会使金伯利岩的命名变得很复杂, 而在命名时考虑从岩浆晶出的斑晶和基质矿物更能表明岩浆的性质(Skinner and Clement,1979)。金伯利质岩管在纵向上的火山碎屑的数量、捕虏体的数量、巨晶的数量和种类、难溶岩球的数量、以及岩浆晶出的结构、甚至管壁附近围岩的碎块数量和形状的变化都是有规律的。以划分岩相学为基础的命名对了解金伯利岩成因和寻找金刚石矿床有帮助,特别有助于推断金伯利质岩管可能遭受的剥蚀程度。在许多金伯利质岩管中,虽然出现在不同的深度上的各种相的金伯利岩相互交叉和重叠情况,但是总体上从上向下的变化是有规律的。

3.2　火山口相

金伯利质岩管的最上部为火山口相(Crater-Facies Kimberlite),其主要岩石是火山碎屑沉积岩、是金伯利质火山喷发时原地抛掷上空回落的碎块(包括盖层碎块和岩浆喷出后凝结的碎块)、喷射到四周的碎块后又被风化流水回填到火山口内部而形成的堆积岩,也有火山口湖泊随着年代沉积的细砾和有层理的火山沉积岩。如果说金伯利质火山喷发降落为一次搬运的话,再风化回填到火山口内部的过程则为二次搬运(图 1),有的学者称之为"二次沉积金伯利质碎屑岩"(resedimented volcaniclastic kimberlite,Field and Scott,1998)。每个火山岩管的火山口相的深度不同,一般为 150~300m, 管道壁的角度变化在 25°~75°(Hawthorne,1975),其地表形状如同“有边的盘子”。这一岩相的岩石命名以火山碎屑沉积岩为基础,冠以“金伯利”,如金伯利火山凝灰沉积岩(碎屑粒度<2 mm)、金伯利火山角砾沉积岩(碎屑粒度 2~64 mm)、金伯利火山集块沉积岩(碎屑粒度>64 mm)。

3.3　火山管道相

火山口相下面是金伯利质岩管的主体,称之为火山管道相(Diatreme-Facies Kimberlite),与火山口相的最大区别是岩石不具沉积层理但是具有岩球。该岩相的主要岩石是金伯利凝灰岩和金伯利角砾岩。由于岩浆的上冲的速度快,岩浆与围岩的接触几乎为冷接触,即岩浆与围岩之间没有什么交代和渗透反应,所以这一岩相的管道壁附近很少见有围岩的捕虏体。火山管道相的深度从 0 至 2km 都有,管道壁的角度变化在 75°~85°。这部分的岩石命名以“金伯利凝灰岩或金伯利角砾岩”为基础,如果含有岩球,则冠以“含岩球的”+ 特征矿物 + 金伯利角砾岩或金伯利凝灰岩,如“含岩球的石榴子石金伯利角砾岩”,如“含岩球的金云母金伯利凝灰岩”。

3.4　玢岩相

深部是金伯利岩的玢岩相(Hypabyssal-Facies Kimberlites),或俗称为根部相,其特点是火山角砾岩和凝灰岩含量少,岩石是由斑晶和微晶基质组成的典型的玢岩结构,这样的结构体现了金伯利质岩浆冷凝结晶的过程和特点。对这一岩相的命名以‘玢岩’为基础, 反映出岩浆的结构和岩浆产出的部位。该岩相的金伯利岩中斑晶和基质的颗粒大小差异明显,因此以斑晶冠名,根据斑晶的组成命名,如橄榄石金伯利玢岩、石榴子石金伯利玢岩等。玢岩相的另外一个特点是金伯利质岩浆在就位和冷凝的时间要比形成火山口相和火山管道相岩石的时间长,因此岩浆与围岩的接触时间长,管道壁附近的围岩块体相对火山管道相来说较多,对于含有围岩碎屑的金伯利玢岩,则冠以“围岩”名,如含灰岩角砾的金伯利玢岩。

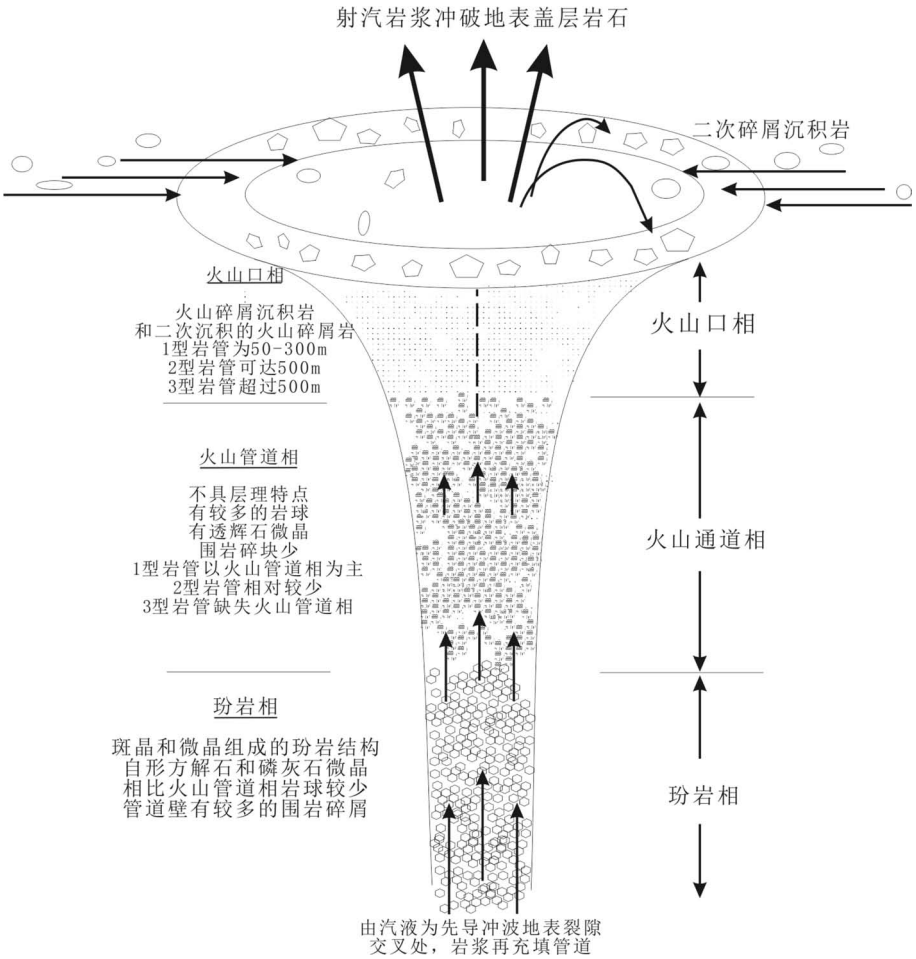

图 1 金伯利质岩管火山口相、火山管道相、玢岩相示意图

Fig. 1 The CFK(Crater-Facies Kimberlite), DFK (Diatreme-Facies Kimberlite) and HFK (Hypabyssal-Facies Kimberlites) lithofacies diagram of kimberlite pipes, displaying the brief descriptions of three types of kimberlite pipes on the left, as detailed in the text

4 金伯利质岩管的分类

世界上所发现的金伯利岩种类很多,研究人员集中关注金刚石矿,即有经济开采意义的金伯利岩,Field & Scott Smith (1999)将它们分为三种类型:

4.1 第 1 类型金伯利质岩管

第 1 类型的金伯利质岩管最深,大于 3000m,由火山口相、火山管道相、玢岩相组成,Mwadui 金伯利质岩管是位于坦桑尼亚,是世界上经济效益比较好的金刚石矿山(Williamson Diamond Mine),地质学家 John Williamson 在 1940 年发现,到目前为止共生产出 1900 万克拉(1 克拉=200 mg)的金刚石,品位从每百吨的 6 克拉到 62 克拉,平均为每百吨 30 克拉。火山管道相管道壁的角度是 82°(Hawthorne, 1975;Stiefenhofer and Ferrow, 2004)。火山管道相以具有小颗粒岩球,基质中没有方解石微晶但出现透辉石微晶为特点,岩球数量多也是火山管道相最主要的特征,岩球都是由两颗以上蛇纹石化的橄榄石组成,这些被蛇纹石化的晶体都被蛇纹石化细晶所组成的基质围绕。在火山管道相中的管壁附近也含有棱角的围岩捕虏体,它们没有被改造或很少被溶蚀,是在火山管道相形成的时候被捕虏的,并在快速冷凝的情况下被保存在火山管道相中。玢岩相具有岩浆斑晶和基质的结晶结构,基质中自形的方解石和叶蛇纹石 (antigorite)紧密共存,方解石和叶蛇纹石可达 50%(Skinner and Clement, 1979),其内部含有蒙脱石和磷灰石,叶蛇纹石也常以小晶体分布在自形的方解石和磷灰石之间。叶蛇纹石以不改变橄榄石晶体形状的假晶存在(Skinner and Marsh, 2004)。玢岩相中存在较少的岩球,岩球由橄榄石、金云母、黄长石、蒙脱石、方钛矿、和尖晶石组成,小球体由磷灰石、方解石、和蛇纹石作为'基质'交接在一起。与下面的第 2 和第 3 类型的金伯利质岩管相比,第 1 类型的金伯利质岩管被认为是由温度相对低的金伯利质岩浆形成的。

4.2 第 2 类型金伯利质岩管

第 2 类型的金伯利质岩管的上部以火山口相为主,其深度可达 500m, 下面的火山管道相的厚度不大,再往下为玢岩相。例子有加拿大萨省金刚石矿,俄国的 Jubilee 岩管,以及安哥拉北部的岩管。俄国的 Jubilee 岩管是世界上最大的金刚石矿,估算有 1.53 亿克拉的金刚石的储藏量,目前的开采深度是 320m,预计开采到 720m。这种类型岩管的形成以射汽岩浆为先导冲破地表,后在火山口上部形成火山碎屑岩 (Field and Scott, 1999; Clement and Skinner,1985)。金伯利质火山碎屑岩 (pyroclastic

kimberlite）主要的组成是原生岩浆碎屑。火山管道相含有粒度大小不等的岩球和由方解石充填的杏仁状构造,不存在透辉石微晶,但是存在玻璃质,这些都表明原生岩浆的上冲速度快与围岩接触淬火形成火山管道;杏仁状构造在第 1 种和 第 3 种类型的金伯利岩体的火山口相中是少见的。

4.3　第 3 类型金伯利质岩管

第 3 种类型的金伯利质岩管主要特点是以火山口相为主, 深度通常大于 500m,直接过渡到深部的玢岩相,而不存在火山管道相,火山口相管道壁的角度较陡。包括加拿大著名的 Ekati 矿(Carlson et al., 1999; Creaser et al., 2004;Nowicki et al., 2007), 博兹瓦纳的 Jwaneng 矿(Machin,2000), 安哥拉东北部的金刚石矿,西伯利亚的 Sytikanskaya 和 Aichal 金刚石矿。Ekati 矿位于加拿大北部,距离北极圈不到 200km, 由加拿大地质学家 Chuck Fipke 和 Stewart Blusson 发现,岩管的形成年代在 45~ 62 Ma (Creaser et al., 2004),岩管深度可达 600m,周围的其它岩管受断裂交汇和岩脉的走向控制,存在金伯利凝灰岩、富含橄榄石的火山碎屑岩、二次沉积回填到火山口的泥质沉积金伯利岩。

5　中国金刚石矿岩管分析

中国有两个金刚石矿床: 辽宁瓦房店金刚石矿和山东蒙阴金刚石矿, 它们具有三个共性:沿郯庐断裂带分布、形成在奥陶纪(张宏福和杨岳衡, 2007)、具有相似的剥蚀程度。

5.1　辽宁瓦房店金刚石矿

金伯利岩体在郯庐断裂带上分布。基底岩石存在前寒武纪古老地层 ,如太古宇鞍山群、元古宇辽河群混合花岗岩、斜长角闪岩及各种片麻岩,刘敦一等(1990)在鞍山测得 3.8Ga 的花岗岩体,古老地层的存在证明了华北地台有形成金刚石矿的基础。所发现的瓦房店金伯利岩主要由金云母金伯利玢岩、金伯利角砾岩、金伯利凝灰岩和金伯利围岩角砾岩组成,在金伯利角砾岩和金伯利凝灰岩中含有岩球,组成成分和岩石结构分析表明它们属于火山管道相和玢岩相两个相(董振信,1994)。根据如上所建立的金伯利岩管的典型纵向剖面对比说明属于第 1 类型的金伯利岩管,火山口相应当在金伯利岩管形成的初期阶段是存在的,在这里没有发现火山口相意味着这一相已经被剥蚀了,未来分析古地理环境是有可能在附近找到金刚石砂矿的。

5.2　山东蒙阴金刚石矿

宋奠南[1]在临沂地区寻找与发现蒙阴金刚石矿过程中做了 30 年的基础地质工作,蒙阴金刚石矿(山东胜利 1 号)由金伯利凝灰岩(以晶屑和岩屑为主)、金伯利角砾岩、部分地段存在含岩球的金伯利岩、金云母金伯利玢岩和镁铝榴石金伯利玢岩所组成,这些岩石分别属于火山管道相和玢岩相。董振信(1994)通过岩相学分析后认为 ,金伯利质岩管可能遭到大约 1200m 的剥蚀作用。如果该矿属于金伯利质岩管的第 1 种类型,那么就意味着其上部富含金刚石的火山口相和火山管道相大部分都已经被剥蚀掉了,仅残留少部分火山管道相和玢岩相。然而,该矿也有可能属于第 2 种类型,即全部的火山口相被剥蚀掉,只留下火山管道相和玢岩相。不论这一金伯利岩管属于哪种类型,被剥蚀的富含金刚石的火山口相有可能被搬运而形成金刚石砂矿,由此推测附近有可能存在奥陶纪到新生代的沉积型金刚石砂矿。

6　结论

金伯利质岩管在纵向上,由上至下存在火山口相、火山管道相、玢岩相。世界上所存在的金伯利质岩管有 3 种类型,每种类型的这三个相的组合和深度变化上有所不同,它们在矿物组成、结构、岩球的数量、和围岩碎块数量上都有各自的特点,识别岩管类型对寻找金伯利岩、分析剥蚀的深度、预测可能的金刚石砂矿有帮助。

任何金伯利质岩管都是从火山爆发开始的,3 种类型的金伯利质岩管的共同特点是都应当存在火山口相,详细分析不同岩相的存在和含矿信息,可以判断以金伯利质火山为中心周围是否存在冲积型砂矿。从金伯利质岩管的纵向分析上,辽宁瓦房店金刚石矿和山东蒙阴金刚石矿的周围都有可能存在金刚石砂矿。

火山口相中的火山碎屑岩是金刚石赋存的重要载体,在我国的山东临沂市郯城县和郯城县—临沭县交界地区先后发现多颗大颗粒金刚石,大颗粒金刚石通常存在火山口相中,这一地区存在金刚石矿的可能性较大。

世界上存在各种岩性的火山机构建造,而各种岩性的火山建造都与不同的矿种相联系,如宁芜辉石闪长玢岩与玢岩铁矿密切相关。通过理解金伯利质火山管道在纵向上的变化将有助于分析理解其它火山岩质管道结构特征,并建立纵向的岩相变化规

律。

致谢:感谢宋瑞祥先生、王凤鸣博士、吴文盛博士、杨献忠博士、袁学银博士。本文所涉及的内容复杂,感谢审稿专家认真审阅并提出了宝贵意见。

注 释 / Note

(The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract)

❶ 宋奠南. 2015. 山东金刚石地质与勘探. 未出版印刷品: 34~55.

❶ Song Dingnan. 2015#. Geology and Exploration of Diamond Mines in Shandong. printed paper, unpublished: 34~55.

参 考 文 献 / References

丁毅. 1992.宁芜玢岩铁矿成因新论:同化作用、高侵位和铁质聚合. 矿床地质,11(3): 1~12.

董振信. 1992. 中国金伯利岩的单斜辉石. 地质学报,66(1): 35~47.

董振信. 1994. 中国金伯利岩. 北京:科学出版社: 12~14,257~258.

刘敦一, 武家善, 赵敦敏, 耿元生, 张宗清, 江博明, 欧津瑞·B, 休昆·P. 1990. 中国最老地壳同位素年龄. 中国地质,(6): 29.

宋瑞祥, 丁毅. 2019. 金伯利岩的发现与研究. 河北地质大学学报, (3): 1~15.

杨建民. 1995. 山西北部金伯利岩钾镁煌斑岩岩石学矿物学研究. 导师: 黄蕴慧. 北京: 中国地质大学(北京)博士论文: 12~13.

张宏福, 杨岳衡. 2007. 华北克拉通东部含金刚石的金伯利岩侵位年龄和 Sm—Nd—Hf 同位素地球化学特征. 岩石学报, 23(2):284~294.

Arndt N T, Boullier G M, Le Roex A M, Tommasi A, Cordier A, Sobolev A. 2010. Olivine, and the origin of kimberlite. Journal of Petrology, 51: 573~602.

Brett R C, Russell J K, Moss S. 2009. Origin of olivine in kimberlite: Phenocryst or impostor? Lithos, 112(supp. 1): 201~212.

Carlson J A, Kirkley M B, Thomas E M, Hillier W D. 1999. Recent Canadian kimberlite discoveries. In: Gurney J, et al. eds. Proc. 7th Int. Kimberlite Conf., vol. 1, Red Roof Design, Cape Town: 81~98.

Cas R, Porritt L, Pittari A, Hayman P. 2008. A new approach to kimberlite facies terminology using a revised general approach to the nomenclature of all volcanic rocks and deposits: Descriptive to genetic. Journal of Volcanology and Geothermal Research,174: 226~240.

Clement C R, Reid A M. 1989. The origin of kimberlite pipes: An interpretation based on a synthesis of geological features displayed by southern African occurrences. In: Ross J, et al. eds. Proc. 4th Int. Kimberlite Conf. Kimberlites and Related Rocks, vol. 1. Carlton, Vic: Blackwell: 632~646.

Clement C R, Skinner E M W. 1985. A textural—genetic classification of kimberlites. Trans. Geol. Soc. S. Afr., 88: 403~409.

Clement C R. 1982. A comparative geological study of some major kimberlite pipes in the Northern Cape and Orange Free State, Ph. D. thesis (2 vols.). Univ. Cape Town, South Africa: 34~38.

Creaser R, Grüttr A H, Garlson J, Crawford B. 2004. Macrocrystal phlogopite Rb-Sr dates for the Ekati property kimberlites, Slave Province, Canada: Evidence for multiple intrusive episodes in the Paleocene and Eocene. In: The 8th International Kimberlite Conference Selected Papers, 1: 399~414.

Dawson J B, Hawthorne J B. 1973. Magmatic sedimentation and carbonatitic differentiation in kimberlite sills at Benfontein, South Africa. Journal of the Geological Society, London, 129: 61~85.

Ding Yi. 1992&. A new theory concerning the origin of the Ningwu (Nanjing—Wuhu) porphyritic iron deposits: Assimilation—high-level emplacement—aggregation of ferruginous substance. Mineral Deposits,11(3):195~202.

Dong Zhenxin. 1992&. Clinopyroxene from Kimberlites in China. Acta Geologica Sinica, 66(1): 35~47.

Dong Zhenxin. 1994&. Kimberlites in China. Beijing Science Press: 12~14, 257~258.

Field M, Scott Smith B H. 1999. Contrasting geology and near surface emplacement of kimberlite pipes in southern Africa and Canada. In: Gurney J, et al. eds. Proc. 7th Int. Kimberlite. Conf. vol. 1, Red Roof Design, Cape Town: 214~237.

Field M, Scott Smith B H. 1998. Textural and genetic classification schemes of kimberlites: a new perspective. Extended Abstracts of the 7th Int. Kimberlite: 214~216.

Foulger G R. 2010. Plates vs. Plumes: A Geological Controversy. Chichester, UK: Wiley-Blackwell: 56~58.

Francis D, Patterson M. 2009. Kimberlites and aillikites as probes of the continental lithospheric mantle. Lithos, 109: 72~80.

Grütter H S, Latti D, Menzies A H. 2006. Cr saturation arrays in concentrate garnet compositions from kimberlite and their use in mantle barometry. Journal of Petrology,47: 801~820.

Hawthorne J B. 1975. Model of a kimberlite pipe. In: Ahrens L, et al. eds. Proc. 1st International Kimberlite Conference. Phys. Chem. Earth, 9: 1~15.

Janse A J A. 1985. Kimberlite: where and when. Geo. Department and Extension Service, University of Western Australia, 8:19~61.

Jones T J, Russell J K, Porritt L A, Brown R. J. 2014. Morphology and surface features of olivine in kimberlite: implications for ascent processes. Solid Earth, 5: 313~326.

Kamenetsky V S, Kamenetsky M B, Sharygin V V, Faure K, Golovin A V. 2007. Chloride and carbonate immiscible liquids at the closure of the kimberlite magma evolution (Udachnaya—East kimberlite, Siberia). Chemical Geology,237: 384~400.

Kennedy C S, Kennedy G C. 1976. The equilibrium boundary between graphite and diamond. Journal of Geophysical Research, 81: 2467~2470.

Kopylova M G, Matveev S, Raudsepp M. 2007. Searching for parental kimberlite melt. Geochimica et Cosmochimica Acta, 71: 3616~3629.

Liu Dunyi, Wu Jiashan, Zhao Dunmin, Geng Yuansheng, Zhang Zongqing, Jahn Bor-ming, Ozinrui B, Shukong P. 1990#. Isotopic Age of the Oldest Crust in China. Geology in China, (6):29.

Machin K. 2000. Processes and products in kimberlitic crater facies of the South lobe, Jwaneng Mine, Botswana. MSc. thesis, Rhodes Univ., South Africa.

Mitchell R H. 1986. Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry and Petrology. New York: Plenum Press: 1~442.

Mitchell R H. 1995. Kimberlites, Orangeites, and Related Rocks. New York: Plenum Press: 1~410.

Nielsen T F D, Sand K K. 2008. The Majuagaa Kimberlite dike, Maniitsoq region, West Greenland: Constraints on an Mg-rich silicocarbonatitic melt composition from groundmass mineralogy and bulk compositions. Canadian Mineralogist, 46: 1043~1061.

Nowicki T E, Moore R O, Gurney J J, Baumgartner M C. 2007. Diamonds and associated heavy minerals in kimberlite: A review of key concepts and applications. Developments in Sedimentology, 58: 1235~1267.

Patterson M, Francis D, McCandless T. 2009. Kimberlites: Magmas or mixtures? Lithos, 112: 191~200.

Price S E, Russell J K, Kopylova M G. 2000. Primitive magma from the Jericho Pipe, NWT, Canada: Constraints on primary kimberlite melt chemistry. Journal of Petrology, 41: 789~808.

Ringwood A E, Kesson S E, Hibbernson W, Ware N. 1992. Origin of Kimberlites and Related Magma, Earth Planet Science Letter, 113: 523~528.

Russell J K, Porritt L A, Lavallee Y, Dingwell D B. 2012. Kimberlite ascent by assimilation-fuelled buoyancy. Nature, 481: 352~356.

Skinner E M W, Clement C. 1979. Mineralogical classification of southern African kimberlites. Proc. 2nd Int. Kimberlite. Conf. In: Boyd F R, Meyer H O A. eds. Kimberlites, Diatremes and Diamonds: Their Geology, Petrology and Geochemistry. Trans. Geol. Soc. South Africa, Marshalltown, South Africa: 129~139.

Skinner E M W, Marsh J S. 2004. Distinct Kimberlite Pipe Classes with Contrasting Eruption Processes. Lithos, 76: 183~200.

Song Ruixiang and Ding Yi, 2019&. Discovery and Research on Kimberlites. Journal of Hebei GEO University, 2:1~15.

Stiefenhofer J, Ferrow D. 2004. Geology of the Mwadui kimberlite, Shinyanga district, Tanzania. Lithos 76(1):139~160.

Thomas D S G, Goudie A. 2000. The Dictionary of Physical Geography. Oxford: Blackwell:1~301.

Walter R J, Branney M J, Norry M J. 2017. Dike propagation and magma flow in a glassy rhyolite dike: a structural and kinematic analysis. Geol. Soc. Am. Bull., 129 (5~6): 594~606; Doi: 10.1130/B31378.1

Webb K J, Scott Smith B H, Paul J L, Hetman C M. 2003. Geology of the Victor Kimberlite, Attawapiskat, Northern Ontario, Canada: cross-cutting and nested craters. 8th International Kimberlite Conference, Long Abstract: 353.

Woolley A R, Bergman S C, Edgar A D, Le Bas M J, Mitchaell R H, Rock N M S, Scott Smith B H. 1996. Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilitic, melilitic, and leucitic rocks. The Canadian Mineralogist, 34: 175~186.

Yang Jianmin. 1995&. Petrological and Mineralogical Studies of Kimberlites and Lamprophyre in Northern Shanxi. Ph. D. Thesis of China University of Geology(Beijing): 13~40.

Zhang Hongfu and Yang Yueheng. 2007&. Emplacement age and Sm—Nd—Hf isotopic characteristics of diamondiferous kimberlites from the eastern North China Craton. Acta Petrologica Sinica, 23(2): 284~294.

The understanding of kimberlite pipes and its significance in prospecting

DING Yi

Hebei GEO University, *Shijiazhuang*, 050031

Abstract: Kimberlite is a rock less distributed and harder to find in the world. For a long time geologists have paid attention to, since it contains diamonds for economic value and the information brought by xenoliths from deep crust or upper mantle. The kimberlites exist mostly in pipe shapes, which contain homologous inclusions from the upper mantle and xenolith from all rocks when magma caught from country rocks along the ascending channel. The complexity makes nomenclatures controversial. Based on the study and investigation of the latest achievements, this paper analyzes and summarizes the noun usage and rock naming principles, and dissects the vertical changes of three types of kimberlite pipes, and analyzes the characteristics of kimberlite pipes discovered in China, which may help in discovering possible diamond alluvial.

Keywords: kimberlite pipe; diamond mines; nomenclature; lithofacies division; prospecting

Acknowledgements: Thanks to Mr. SONG Ruixiang, Dr. WANG Fengming, Dr. WU Wensheng, Dr. YANG Xianzhong, and Dr. YUNG Xueyin for their help when I have been in China; to Reviewers for their excellent works on the complicated topic; to Projects of Nos. DD20160056 and DD20160059 from China Geological Survery for financial supports.

First author: DING Yi, graduated from Hebei Institute of Geology in 1982, from the School of Chinese Academy of Geological Sciences in 1985, and from Dalhousie University in 1994; professor, expertise at maars and kimberlites; Email: chinakimberlite@126.com

Manuscript received on: 2019-05-21; Accepted on: 2019-08-08; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2019.05.015