

# 山西地块的深部构造和金伯利建造: 兼论金刚石矿与稳定地块的深部过程

徐 俊

(山西省地质调查院, 山西 太原 030006)

**提要:** 稳定地块的深部, 软流圈上拱, 岩石圈破裂, 产生三联结构超壳深断裂系, 地幔热流使上地幔岩局部熔融, 形成碱性-偏碱性系列岩浆, 沿深断裂系侵位过程中演化为金伯利岩建造。金刚石聚集于该建造的终端-(角砾状)碱性超基性岩类, 爆发式侵入上地壳, 迅速冷凝, 金刚石得以保存而成为有用资源。我国的稳定地块面积颇广, 显生宙经历多次深部过程, 已查明多处金刚石矿藏, 仍有巨大找矿潜力。

**关键词:** 稳定地块(克拉通); 深断裂系; 深源岩浆(金伯利建造); 爆发式侵入机制

**中图分类号:** P619.24\*1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2013)03-0790-10

重启金刚石原生矿勘查已历数载, 成效不及预期。从座谈会听知, 目前勘查工作偏重于物探、化探、重砂测量, 理论研究侧重于已知岩群的矿物岩石学和大区域岩石圈格局与演变, 对岩群和目标区的深部过程的研究很为薄弱, 此乃找矿成败的症结。回首 50 年历程, 后 30 年未发现新的矿产地, 前 20 年的勘查和研究成果, 仍不失借鉴和指导意义, 因而, 笔者欣然命笔, 对“老资料”进行二次开发, 撰成下文, 抛砖引玉, 为找矿突破尽微薄之力。

## 1 国内外重要金刚石矿区的控矿因素

### 1.1 南部非洲及东非

19 世纪 80 年代, 金伯利城找到含金刚石的富钾质超基性角砾岩岩筒, 被定名为金伯利岩, 从此掀起在非洲乃至全世界寻找金刚石原生矿床的浪潮, 南部非洲成为金刚石地质学的圣地。

非洲板块的基底层形成于古元古代, 为典型的克拉通。南部非洲有寒武-志留系, 中生界和第四系沉积层。二叠至三叠纪的卡鲁系暗色岩很发育, 其玄武岩被视为先导岩浆事件, 金伯利岩侵入该系和白垩系岩层, 确定为白垩纪中期。紧密相关的碱性岩为

黄长岩, 霞石玄武岩岩颈和碳酸岩。

南非的金伯利岩体分布的显著特点, 是在构造带的交汇处: 例一, 近东西向莱索托构造带长 600 km, 宽 280 km, 内有 200 多个岩筒和岩墙, 其西端为近南北向的北开普构造带, 交汇处有近南北向排列的金伯利岩体群, 该构造带内有卡鲁系熔岩, 并是现代地震带, 显然为地壳薄弱带; 例二, 西南非洲有 40 个以上金伯利岩筒, 位于北东向达马腊-赞比西构造带与北北西向纳米布构造带交汇处; 例三, 近东西向纳曼库构造带与其北侧纳米布构造带和其南侧赛达贝尔格构造带(北北西向)交汇处都有金伯利岩体; 例四, 赛达贝尔格构造带与南端开普构造带(东西向)交汇处也有岩体; 例五, 博茨瓦纳中北部的一群岩筒, 赋存于林波波构造带(东西向-北东东向)与达马腊-赞比西构造带交汇处的卡鲁系熔岩盆地中。上述构造带都是克拉通内部的地壳薄弱带, 张扭性构造, 地表构造行迹不强大, 却是深达地幔。罗得西亚和斯普林博克平原的金伯利岩产于克拉通内部, 看不到构造带, 与布什维尔火成杂岩及大岩墙有关, 形成于同一深部过程, 系深源岩浆经地壳薄弱区爆发而成。

东非坦桑尼亚的姆旺堆金伯利岩,产在东非大裂谷的西南端外侧,剪张构造形成的中+新生界沉积盆地中,含有凝灰质火山岩块及页岩和植物化石碎块,实为沉积碎屑回填于金伯利岩爆发的火山口中,勘查数十年,方揭开其面目。

## 1.2 西伯利亚雅库特

前苏联地质学界对照南部非洲地质构造背景,从理论推论——区域地质测量—重砂追索—岩石矿物学研究和反复勘查,历时几十年而发现。

雅库特岩省位于西伯利亚板块中部的西伯利亚地台东北部,太古界片麻岩和结晶片岩构成基底层,为典型克拉通。盖层有古生界、中生界、新生界。依据重磁场结合地表地质构造而确定的深大断裂,控制着金伯利岩体的分布:地台内次级构造衔接处和不同方向深断裂交切处,以及盖层巨大褶曲构造的最薄弱部位。岩省中央沿东经108°线有一条巨大的“地障”性深大断裂,将岩省分为东西两半。东半边的中部,北北西向与北东向构造相交(地表构造不大),形成近百个含金刚石很高的岩筒(体),海西期侵位;东北部接近地台边缘,南北向和东西向构造相交(地表构造较大),形成含少量或不含金刚石的200多个岩体(脉),中生代侵位;东南部也接近地台边缘,以北东向大型构造为主,4个岩体都不含金刚石,显见地台边缘的岩体成矿性差。岩省西半边仅有2个岩体含少量金刚石,铁矿床却很多。岩省东西两半边成矿差异的原因归结为:基底层岩性不同,即:西半边为斜长岩类,东半边花岗岩类。笔者认为,归因为两半边的上地幔岩有差异更为贴切。

金伯利岩浆活动分为3个旋回:志留纪至早石炭世,中三叠至早侏罗世,中侏罗至早白垩世。每个旋回都有侵入期和爆发期,侵入期的岩墙和岩脉不含金刚石,爆发期的岩筒含有金刚石,爆发机制是重要控制因素。相关的岩浆岩成系列组合出现,中三叠至早侏罗世旋回的粗玄岩类最为发育,其后为苦橄玢岩,钙镁橄榄石苦橄玢岩,含霞黄长岩,钙镁橄榄石岩和黄长煌斑岩,1982年创立“金伯利岩建造”,其含义是:碱性玄武岩为先导,次后碱性煌斑岩和碱性岩,角砾状碱性超基性岩的金伯利岩为终端,后者侵入于前列岩体群之中或附近,构成碱性岩浆演化系列,这阐明了金伯利岩生成的理论模式和伴生岩群亲缘关系,据此,可以利用伴生岩群寻找它,扩大了野外普查的视野和有效方法。

## 1.3 贵州镇远

该矿区位于华南板块的江南古陆中部<sup>[1]</sup>,古陆的基底层为中元古界的中浅变质岩层,新元古代有多处花岗岩侵入,刚性增强,成为年青的克拉通。早古生代稳定沉积,加里东期其东南侧裂陷<sup>[2]</sup>,而其内部由南向北挤压强烈,基底层中前期的东西向构造复活,镇远—芷江出现东西向深断裂,支臂由镇远伸向凯里(NE30°左右),其西南侧的马坪岩群有291个大小不一的岩体,侵位于次级压扭性构造和层间虚脱空间,其中“东方一号岩体”是中国发现的第一个含金刚石岩体,造岩矿物中金云母含量高达60%~90%,次为橄榄石及含铬镁铝榴石(屡见含有镁尖晶石包体),亦见(铌)锐钛矿成“环状”集合体,副矿物组合极为繁多,尤见黄铁矿和辉钼矿(或因岩浆房位置较高而致),呈残损细晶保存的金刚石含量较富。岩石命名为橄榄钾镁煌斑岩,斑状结构,幔源(橄榄石球)和围岩角砾(白云岩,几无变质岩)很少,角砾的边角少有熔圆和重结晶,外接触围岩的烘烤蚀变亦很轻微,显示岩浆温度不高。该岩体为白云岩层间1~3 m厚的岩床,延展200~300 m,产状平缓,其他小岩脉和岩床,与之围绕成长轴近东西向的椭圆形,与火山口的环状构造相似,却未见火山岩管,或因挤压作用强烈,缺少张扭性构造而致。思南岩群位于主深断裂带,挤压构造更强,较为典型的碱性煌斑岩(钾镁煌斑岩),与镇远、魏家屯、冲牛岩群环绕于马坪岩群的东北侧,马坪岩群西南地区离深断裂较远,压应力减小,张扭性结构面增多,有望找到岩管和较大岩体。勘查期采样测定岩体同位素年龄为368 Ma、399 Ma。方维萱等测得Sm-Nd等时线年龄502 Ma, Rb-Sr等时线年龄497 Ma,认为这是构造热事件的起始期,终止时间为443~436 Ma<sup>[3]</sup>。因此,将岩群的孕育-侵位过程,定为加里东期—海西期。

## 1.4 辽宁瓦房店和铁岭

辽宁瓦房店矿区位于中朝板块东北部,基底层由深变质鞍山群与浅变质辽河群组成,元古宙辉绿岩脉使地块刚性增强,盖层始于新元古代青白口系(7亿年)。岩区位于强大的东西向构造与北东向构造联结点西南侧。金伯利岩体多数侵入于盖层的复式背斜轴部(轴向近东西),岩区面积600 km<sup>2</sup>,由18个岩管和80多岩脉组成3条北东东向岩带,呈羽状排列,储岩构造为低序次张扭性结构面和节理带,而非断层带,脆性围岩的张裂性好,便于形成岩管。勘查

期采样测定金伯利岩同位素年龄值 3.4~4.5 亿年,被燕山期辉绿岩和流纹岩脉穿切,归属海西期,同期侵入岩有橄榄玄武岩。该区 50 号岩管以角砾状金伯利岩为主,次为块状金伯利岩,显著特征是含镁铝榴石较多,并富含同源捕虏体。路凤香等<sup>[4]</sup>进一步研究后,认为该区古生代岩石圈上地幔岩与南非不完全相同,与金刚石平衡共存的是含石榴石及铬铁矿的二辉橄榄岩和方辉橄榄岩,而南非仅为方辉橄榄岩。张宏福和杨岳衡<sup>[5]</sup>对本区及山东蒙阴金伯利岩中金云母巨晶的 Ar-Sr-Nd-Hf 同位素进行研究,对岩石成因和构造背景深入探讨,测定的 Ar-Ar 同位素年龄 465 Ma,仍属海西期为宜。

辽宁铁岭位于瓦房店岩区东北 400~500 km,中朝板块的北边缘,亦受东西向和北东向构造控制,19 个岩体分列在 3 条次级北东向压扭性断裂中,自变质很强,选矿未见金刚石,与西伯利亚地台边缘的金伯利岩相似。

### 1.5 山东蒙阴

蒙阴矿区位于中朝板块东部,典型克拉通。基底层为太古宇泰山群,盖层有古生代、中生代及新生代沉积层。金伯利岩群分布在北北东向郯庐深断裂与北西向蒙阴深断裂联结点之西 40~70 km,为三联结构深断裂系控岩的典例。多数岩体的围岩为太古宇,少数为古生界。岩区内两条次级北北东向断裂之间,发育有 3 组低序次构造:走向 NE-NNE 扭裂结构面,走向 325~350°的扭裂结构面和走向 280~300°的张裂结构面。100 多个岩管和岩脉,分为 3 带雁列于 NNE 向扭裂结构面内,当与张裂结构面相交,即形成较大的岩管,含矿即高,多数岩体含金伯利岩。该区以斑状金伯利岩为主,斑晶以橄榄石、镁铝榴石和金云母为主,有少量同源和异源捕虏体,同源的有细粒金伯利岩、纯橄岩、镁铝榴石橄榄岩及二辉橄榄岩,异源的有下古生界灰岩,砂页岩和早白垩世晚期火山岩角砾。岩体侵入切断早白垩世暗色岩脉,并采样测得同位素年龄为 88 Ma。马杏垣教授阐释的元古宙三次裂陷伸展事件,其构造行迹在山东地区所见很少<sup>[6]</sup>,然而,尹作为等<sup>[6]</sup>依据该区金刚石中 N 的聚集状态,估算金刚石形成于 1.8~1.7 Ga, 1.3~1.1 Ga, 0.9~0.6 Ga 3 期,与 3 次伸展事件相吻合,并计算出金刚石形成的深度分别为 152 km、165 km 和 181 km,即位于岩石圈底部。张宏福等<sup>[5]</sup>测定 Ar-Ar 同位素年龄 465 Ma。2006 年,张培强对本区岩管群进行

较详细研究,认为郯庐断裂自新元古代始,至奥陶纪完全裂解,金伯利岩浆侵入于岩区深部张性裂隙,形成隐爆式岩管,其中金刚石生成是多期多阶段,始终处于“熔蚀-结晶临界点”附近,熔蚀使金刚石减少和颗粒变小,结晶则相反<sup>[7]</sup>。山东地区在中生代晚期发生强烈构造和岩浆活动,刘燊对基性脉岩和地壳拉张活动进行了研究,测得的 K-Ar 年龄值为 140~90 Ma,期间地壳有 4 次拉张构造活动,均伴随着基性和偏碱超基性脉岩侵入<sup>[8]</sup>。综合上述,该区金伯利岩侵位于燕山晚期,而其岩浆及其中的金刚石在元古宙伸展构造活动中已孕育于地下。

## 2 山西地块的深部构造和金伯利岩建造

20 世纪全国性寻找金刚石矿高潮中,山西地质局对大同地区 4 个偏碱性基性-超基性岩墙群,开展金刚石矿的勘查,另在柳林尖家沟金伯利岩群进行了钻探,但选矿收获甚微。20 世纪 80 年代初,山西地质科学研究所立项,调研国内外重要金刚石矿区的成岩成矿控制因素,探究山西地块成矿条件,编制了深部构造图(1:100 万)。研究表明,山西地块的深部构造格局呈南北向带状<sup>[9]</sup>,自东而西为:(1)北京-新乡深断裂至太行山东麓为地幔隆起带(莫霍面埋深 32~36 km),(2)太行山区为地幔斜坡带(36 降至 39 km),(3)山西腹地为地幔拗陷带(39~43 km)。随着汾渭裂谷的发生-发展,形成众多次级深部构造单元,相伴而生的深源岩浆,演化而形成颇具特色的系列岩浆岩组合和多处金伯利岩建造。

### 2.1 大同地区印支期金伯利岩建造(259~180 Ma)

大同地区位于中朝板块中北部,北接阴山东西向构造带。基底变质岩属太古宇,在元古宙经历 3 期裂陷回返<sup>[9]</sup>,相应的沉积和岩浆建造分布于裂陷区,宏伟壮观的辉绿岩墙广布全区,致使地块刚性极强。

二叠纪晚期,大同之东出现地幔热点<sup>[10]</sup>,岩石圈上拱,缺失三叠纪地层,隆起区布及晋冀内蒙边界。随之岩石圈破裂,产生汾渭裂谷的第一代 3 联结构深断裂系(图 1),主断裂呈北东向,支臂自北向南,联结点位于丰镇-应县地幔次级隆起轴部(深度由 43 上升至 40~39 km)。由于热流上升,上地幔岩低度熔融形成碱性玄武岩浆,上侵与围岩同熔,在隆起轴东侧生成阳高采凉山的胡窑石英二长岩(247 Ma),西施沟花岗闪长岩-辉绿岩复合岩体(221.5

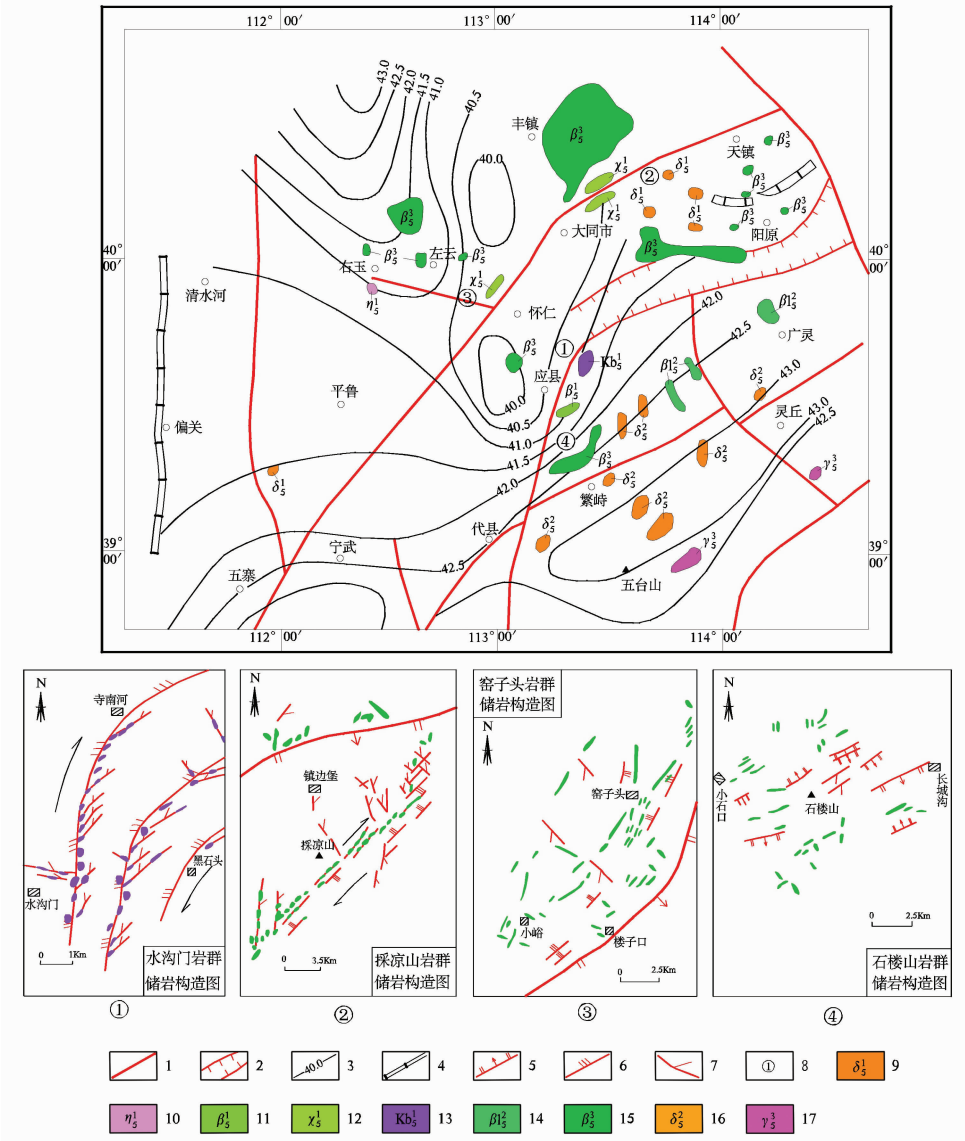


图 1 大同地区深部构造图

1—超壳深断裂;2—地幔断陷;3—莫霍面等深线 (km);4—地幔次级隆起轴;5—正断层;6—压扭性断裂;7—张扭性断裂;  
 8—岩群编号;9—印支期闪长岩;10—印支期偏碱性岩;11—印支期玄武岩;12—印支期煌斑岩;13—印支期似金伯利岩;  
 14—燕山早期双峰式火山岩;15—燕山晚期玄武岩;16—燕山早期中碱性复合岩群;17—燕山晚期花岗岩群

Fig. 1 Deep structure sketch map of Datong area

1-Super-deep fault; 2-Mantle fault; 3-Moho isodepth contour line; 4-Sedimentary uplift axis of the mantle; 5- Normal fault;  
 6-Compression and scissor fault; 7-Transensional fracture; 8-Serial number of rock group; 9 Indo-Chinese epoch diorite;  
 10-Indo-Chinese epoch subalkaline rock; 11-Indo-Chinese epoch basalt; 12- Indo-Chinese epoch lamprophyre;  
 13- Indo-Chinese epoch kimberlite-like rock; 14-Early Yanshanian bimodal volcanic rocks; 15-Late Yanshanian basalt;  
 16-Early Yanshanian intermediate-alkaline rock group; 17-Yanshanian granite group

Ma), 天镇县罗家沟霞石正长岩(249 Ma)和吴家湾正长闪长岩(194 Ma)。深部岩浆房内分馏为偏碱性基性-超基性岩浆,在隆起轴肩部侵位生成 5 个岩群,数百个岩体,具体如下:

(1) 应县水沟门为中心岩群,24 条岩脉和 3 个

岩管(长约 160 m,宽约 80 m),雁列式成弧形排列,储岩构造为 NNE-NE 向压扭性结构和 NE-NEE 向扭张性结构面,岩管中围岩角砾占 10%-50%,(有寒武-奥陶系角砾,是印支期成岩的佐证之一),基质岩石的矿物组成有黑云母、辉石、橄榄石(已蚀变)、

金云母、斜长石。指示矿物碳硅石、含铬镁铝榴石、含铬透辉石、含铬尖晶石。岩石命名为角砾云辉玢岩,直称“似金伯利岩”。笔者认为,该岩群爆发机制很好,可能保存金刚石,对 2 号岩管采样复查,选到 1 粒细粒金刚石。1995 年,杨建民对该岩群进行岩石矿物学研究,认定为富含云母的橄榄石型金伯利岩,含有低钙-铬铝榴石(G10),高铬低铝铬尖晶石,镁铁铁矿,应该含有金刚石,并在 2 号岩管的人工重砂中选获 2 粒细粒级金刚石,测得 Rb-Sr 等时线年龄属中元古代,似乎其岩浆在元古宙伸展构造活动中,已孕育于稳定地块的地下<sup>[10]</sup>。

(2) 阳高县采凉山岩群有 172 条岩脉,大者长百米宽两米,雁列式排列于主深断裂南侧的次级强压扭性构造中,岩管很少。内蒙丰镇县西黄耀岩群,位于主断裂北侧,数十条很小的岩脉,岩管亦很少。此两岩群相距不远,岩体中均有浑圆状片麻岩的角砾(包体),大者长 20 cm 宽 30 cm,基质岩石灰绿色斑状结构,矿物组成中黑云母最多,辉石次之,另有斜长石、橄榄石(已蚀变)、角闪石、黄长石、正长石。指示矿物含铬镁铝榴石、含铬透辉石、铬尖晶石、碳硅石,岩石命名为云斜煌岩,未选获金刚石。1991 年,李佑国等<sup>[11]</sup>研究认为,该岩群由主要矿物成分金云母,单斜辉石,钾碱镁闪石,假象白榴石和透长石组成的六种钾镁煌斑岩,含  $\text{TiO}_2$  低于 1%。杨健民<sup>[10]</sup>确定为(透长,金云,白榴)钾镁煌斑岩。1998 年,张连昌等<sup>[12]</sup>与世界上典型的含金刚石钾镁煌斑岩作比较,认为本岩群相对贫钛和钾,岩浆起源于贫钛的金云母二辉橄榄岩,深度约 100 km。

(3) 怀仁县窑子头岩群位于主断裂北西侧,侵入于石炭—二叠纪地层,被燕山期断裂切割并成角砾,数十条 NNE 向岩脉赋存于强压扭性结构面,长度可达 200 m 以上,不含角砾,按矿物组成应为碱性煌斑岩和橄榄玄武岩。

(4) 应县南山(石楼山)有一群橄榄玄武岩脉,脉体很小,长数十米宽不及一米者为多,走向 NEE 为主,相同走向的短小(张扭性)正断层亦多,个别岩脉中见星点状铬透辉石。

纵观上列岩群的分布,采凉山、西黄耀在北,窑子头在西,石楼山在南,西施沟、罗家沟,吴家湾在东北,环绕水沟门呈环带状,相距 120 km 之内。岩石学研究表明,它们属同源,形成富钾闪长岩类为先导-碱性岩(正长岩)-橄榄玄武岩-碱性煌斑岩-似

金伯利岩为终端的系列岩浆岩组合,即金伯利岩建造,(与前述雅库特矿区有所不同),其终端水沟门岩群含金刚石,但因岩浆源的地幔岩含铁质偏高,含钛偏低,深度较小,因而金刚石较少,类似西伯利亚岩省西半部金伯利岩的含矿性。

## 2.2 柳林燕山早期金伯利岩建造 (180~100 Ma)

三叠纪末,山西地块北移,大同地区沉陷沉积,中侏罗—早白垩世裂隙加强,怀仁至阳原出现地幔断陷(图 1),岩浆喷发,由碱性玄武岩、玄武安山岩、粗安岩、英安岩、流纹岩,组成大陆裂谷型双峰式火山岩建造(138~133 Ma)<sup>[9]</sup>。

该时期山西中南部自北而南隆起,地幔热点相对南移至五台山—紫金山之下,同时受到由东而西的挤压,汾渭裂谷东南边界深断裂系开始发生,由于受五台山—关帝山,太岳山,中条山等古老地体限制,发展为复杂的多处三联结构深断裂系。地幔的次级隆坳相间,轴向各地不一(图 2),并且与磁性基底层隆坳轴向不一致,交角超过  $30^\circ$ 。五台山—关帝山为巨大北东向的地幔坳槽(深度约 43 km),五台山区深断裂两侧出现多处复式岩群(图 1),由同熔型富钾质的辉石正长岩或正长闪长岩(137 Ma)-花岗闪长岩(133 Ma)-2 次隐爆角砾岩-石英正长斑岩或石英斑岩(120 Ma)组成<sup>[9]</sup>,未见基性-超基性岩体(相)。太原西山深断裂系结点出现孤偃山富碱性岩群(168~131 Ma(图 2)<sup>[9]</sup>,临汾东南的结点出现塔儿山偏碱性岩群(134 Ma)<sup>[9]</sup>,均未见基性-超基性岩体(相)。中条山北侧深断裂(近东西向)裂陷很深,仅见零星中酸性小岩体。

汾渭裂谷北西边界深断裂,从大同向西南发展直至渭河,其西北侧为平行的地幔次级隆起带,五寨为结点发生第二代三联结构深断裂系(图 1),支臂由南而北直达内蒙,其东为大同煤系沉积区,其西(右玉—托克托)升起为古陆区,东西向构造发育,韧性和脆性形变相间叠加,可见榴辉岩类的幔源岩脉。

图 2 中还可看出,以离石为结点,出现又一个三联结构深断裂系,支臂由东向西,横切地幔次级隆起,柳林金伯利岩群位于其西北侧(图 2)。变质基底层属太古界,近东西向挤压构造发育。围岩为寒武—奥陶系碳酸盐岩层,构造裂隙发育,有  $\text{NE}70^\circ$  陡立与  $\text{NE}5^\circ$  倾角  $80^\circ$  两组,后者先张后压,角砾岩内有小型金伯利岩体侵入,张性裂隙与节理亦发育。岩体呈雁行排列,20 多岩体分列两行,岩脉顺裂隙侵入,岩床

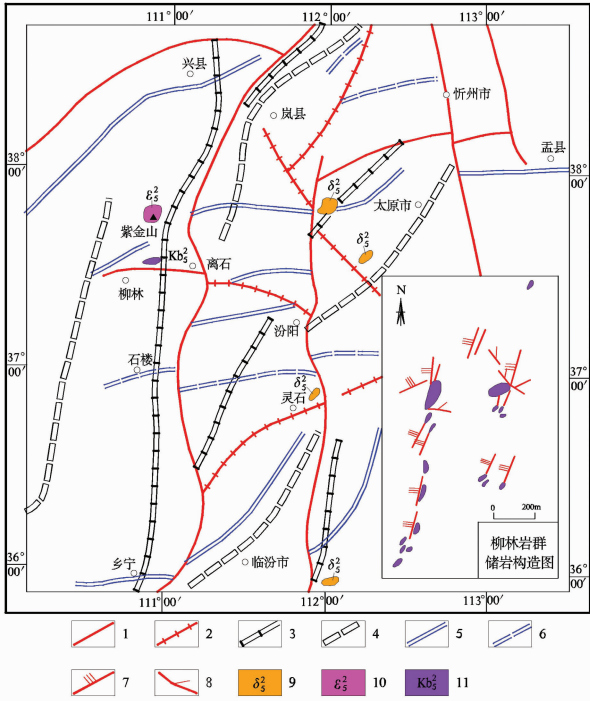


图 2 柳林地区深部构造图

- 1—超壳深断裂;2—壳内深断裂;3—地幔次级隆起轴;
- 4—地幔次级拗陷轴;5—磁性基底层隆起轴;6—磁性基底层拗陷轴;
- 7—压扭性断裂;8—张扭性断裂;9—燕山早期中碱性岩群;
- 10—燕山早期碱性岩;11—燕山早期金伯利岩

Fig. 2 Deep structure sketch map of Liulin area

- 1-Super-deep fault; 2-Deep fault; 3-Sedondary uplift axis of the mantle;
- 4-Sedondary depression axis of the mantle;
- 5-Uplift axis of magnetic basement; 6-Depression axis of magnetic basement;
- 7- Compression and scissor fault;
- 8-Transensional fracture; 9-Early Yanshanian intermediate-alkaline rock;
- 10-Early Yanshanian alkaline rock;
- 11-Early Yanshanian kimberlite

沿层间滑脱面侵入。7号岩体由两者复合组成,地表出露长 135 m 宽 23 m, 钻探查明其地下有五层岩床, 形态极为复杂。另一较大的 1 号岩体, 出露长 120 m, 宽 23 m, 隐伏部分大于 100 m。与岩体接触的围岩均有数厘米热变质带, 北、西两侧的热变质带的内侧, 出现后期挤压的平滑断裂面。岩体中围岩角砾占 40%~80%, 变质岩为主, 次为沉积岩和岩浆岩, 基质岩石为斑状金伯利岩, 橄榄石和辉石均已蚀变为假象, 金云母仅占 5%, 副矿物仍然保留, 有镁铝榴石、钛铁矿、金红石、锆石、磁铁矿等。该岩群为爆发式侵位, 再遭受后期构造热事件, 蚀变极强, 可能对金刚石的保留产生不利影响。

柳林之北百余千米, 有一经典式的紫金山碱性

岩体, 由二长岩、霓辉正长岩、暗霞正长岩、霓霞钛辉岩呈环带组成复式岩体(158~132 Ma)<sup>[9]</sup>, 中央为霞石正长岩、假白榴响岩、粗面岩组成的次火山岩管, 位于地幔次级隆起轴部, 与金伯利岩同源, 构成二长岩-碱性岩-金伯利岩系列岩浆岩组合的金伯利岩建造, 属燕山早期产物。

### 2.3 大同地区燕山晚期深源岩浆岩(100~65 Ma)

白垩纪—古近纪, 山西地块又向南移, 地幔热点重回大同地区, 岩石圈隆起, 发育第三代三联结构深断裂系, 支臂断裂东移至浑源, 走向北西, 南延至恒山—五台山区, 出现 10 余处壳源改造型钙碱性花岗岩体(Rb-Sr 等时年龄 92 Ma)<sup>[9]</sup>。此时, 深部构造和深源岩浆活动加强, 大片玄武岩喷发于该地区南北两侧的繁峙和内蒙边境, 松脂岩、橄榄玄武岩、正长岩等岩脉和玄武岩火山锥广布于右玉至天镇, 次级大断裂交切处具备爆发侵位机制, 可能潜藏着金伯利岩体, 但由于随后沉积的助马堡组砾岩严重覆盖, 地表未见。第四纪玄武岩火山锥继承性喷发, 表明地幔热点引导的深部过程依然活跃。

### 2.4 河南省鹤壁燕山早期金伯利岩建造(180~100 Ma)

该岩区位于山西地块东南边缘, 北京—新乡深断裂西侧的地幔隆起带<sup>[9]</sup>, 与长治—安阳东西向次级地幔断陷带交汇处(图 3), 岩区内北北东向压性、压扭性断裂密集而强烈, 岩区南端东西向断裂强大, 深部和地表均构成三联结构断裂系。北北东向构造控制着岩体形态和展布, 分为南北两大带<sup>[13]</sup>, 围岩为奥陶系碳酸盐岩层, 南带 5 个岩脉组 20 条岩脉, 另有两条似岩管的漏斗状岩脉(长径 234 m, 短径 100 m)。岩脉侵入于较大压扭性构造旁侧的低序次压扭性结构面, 规模多为很小。北带 55 个岩体, 分布在较强的压扭性断层近侧, 多呈似层状侵入于泥灰岩、页岩、角砾状灰岩等岩性较脆弱岩层的滑脱空间, 长可达 200 m 以上, 厚度 1~2 m 为多, 亦见藕节状, 形态复杂。金伯利岩呈灰、灰绿等色, 块状, 角砾状, 蜂窝状, 球状构造, 斑状结构。矿物组分: 橄榄石为主(蛇纹石化), 金云母约占 10%, 镁铝榴石有团块状, 粗粒斑晶, 细粒 3 种, 另有铬铁矿, 铬尖晶石, 铬透辉石等。局部见到幔源和围岩角砾及碎屑, 围岩角砾直径 3~10 cm 为多, 见有变质岩、沉积岩、岩浆岩(辉长岩, 闪长岩, 花岗闪长岩, 正长岩, 正长斑岩等), 这些岩浆岩体环布于金伯利岩群西侧, 为数众多, 有偏碱性闪长岩 (166 Ma), 石英二长岩, 霓霞正长岩(139

Ma), 闪长玢岩脉(123 Ma)<sup>[9]</sup>。东南侧紧挨着的苦橄玢岩有 1 个岩管(长径 200 m, 短径 300 m) 和 3 条小岩脉, 具有角砾状, 气孔状和杏仁状构造, 含有金伯利岩群中见及的幔源包体和片麻岩角砾, 含铬镁铝榴石, 铬透辉石、铬尖晶石等指示矿物, 确与金伯利岩同源。再向东为橄榄玄武岩脉, 岩石学研究表明, 上述岩浆岩构成碱性闪长岩-碱性岩-橄榄玄武岩-苦橄岩-金伯利岩岩浆演化系列, 即金伯利岩建造。该区位于稳定地块边缘, 深部过程受东邻的华北裂谷系影响, 构造位置和样式与山东蒙阴相当, 由于强烈挤压应力限定, 侵位机制为侵入式, 后期蚀变蛇纹石化和碳酸盐化很强, 不利于金刚石保存, 岩样采选未获金刚石, 仅在河流沉积物淘获 3 颗金刚石。

### 3 讨论与展望

1) 金刚石来自地幔有 3 个途径: (1) 稳定地块内, 上地幔局部熔融而成的金伯利岩浆; (2) 前寒武纪海相火山岩(科马堤岩), 属绿岩带建造, 如南非的维特瓦特斯兰德系; (3) 保留在亏损上地幔的超镁铁质岩内, 被推覆构造带到地表<sup>[4]</sup>。上列三者, 只要其含量达到开采利用要求, 就可成为金刚石矿的矿床类型, 其中以金伯利岩为载体的矿床, 是现今主要矿床类型。超镁铁质岩为载体的矿床已有发现, 绿岩带的金刚石经剥蚀搬运而成砂矿沉积, 西非加纳有成型砂矿, 南美、印度、西澳等地亦有, 已经受到中外地质学者关注和论述, 值得地质同仁重视。

2) 稳定地块(克拉通)是金伯利岩的寄生地, 世界各地克拉通的地史发展差异很大, 中朝板块东部的山东, 其在太古宙形成之后, 直到中生代发生强烈裂陷, 稳定期长达 22 亿年。中朝板块北部(含辽宁, 山西北部), 在元古宙发生 3 期裂陷回返<sup>[9]</sup>, 深部构造作用连续不断, 从晚元古代至晚古生代, 稳定期仅为 6 亿年。华南板块(江南古陆)形成于中新元古代, 至晚古生代, 稳定期亦仅 6 亿年。地块的稳定性(刚性)比稳定期长短更为重要, 因而中国西部的很多稳定地块, 新疆、青海、甘肃、内蒙西部等均可作为寻找金刚石矿的目标地区, 并且近来已有进展<sup>[15-16]</sup>。此外, 攀西裂谷区的康滇古陆中早有钾镁煌斑岩的报道<sup>[7]</sup>, 西澳大利亚裂谷外侧为重要的金刚石矿区, 以钾镁煌斑岩为载体<sup>[8]</sup>, 它们的构造背景与江南古陆大为不同, 湖北大洪山金伯利岩和钾镁煌斑岩群可能产在稳定地块边缘, 北邻秦岭缝合带<sup>[9]</sup>, 均非本文论述对象。

3) 深断裂是金伯利岩浆上升通道, 其起因有两种(深部过程与大陆裂谷国际科学讨论会, 1985, 成都): 其一为主动方式, 软流圈隆起, 物质上涌, 岩石圈拉张破裂, 南非岩区的深断裂系, 地表没有强大挤压构造面, 而是众多平行的先张后扭构造带, 它们均呈“T”形的三联结构, 极利于金伯利岩体侵位, 西伯利亚岩省中部的深断裂亦如此; 其二为被动方式, 岩石圈受强烈挤压而剪切拉张破裂, 形成强大的“T”形三联结构深断裂系, 主断裂旁侧形成次级地幔隆拗和张扭性断裂, 有利于金伯利岩浆侵位。晚古生代, 中朝板块北缘海槽俯冲缝合, 同时受到库拉板块(已沉没于西北太平洋)的挤压<sup>[19]</sup>, 辽宁丹东、瓦房店、辽西、京西、山西大同、右玉—内蒙托克托等地, 形成主断裂东西向(或北东向), 支臂北东向(或近南北向)的三联深断裂系。瓦房店、辽西、大同均已见岩群。华南板块受冈瓦纳古板块挤压, 贵州镇远出现主断裂东西向, 支臂北东向的三联深断裂系, 也已见岩群。二叠纪晚期, 华南板块继续北压, 该深断裂复活, 在余庆、黄平一带折呈南西向西延, 瓮安、修文、织金出现玄武岩喷出, 其支臂断裂由余庆呈北东向伸至梵净山, 黄平已见钾镁煌斑岩体。镇远深断裂东延至湖南常德—平江, 桃江为结点出现支臂深断裂, 向东南经宁乡延伸, 其东侧侵位有含金金刚石钾镁煌斑岩-金伯利岩群<sup>[20]</sup>, 其西侵位有花岗闪长岩群和基性岩群。三叠纪之后, 华北板块和华南板块合而为一。新生的太平洋板块向西强烈挤压, 造就规模宏大的新华夏系沉降和隆起带, 形成为数众多的主断裂走向北北东(北东)向, 支臂近东西向, 与前期显然不同的三联结构深断裂系。其结果是, 山东蒙阴、河南鹤壁、山西柳林已见岩群, 鲁南、江苏、安徽、江西亦或有之。贵州和湖南省边界地区(江南古陆), 形成总体呈北东向的深部构造格局<sup>[21, 22]</sup>, 笔者认为, 湖南汨罗到城步为拉张性深断裂, 石门至贵州榕江为挤压性深断裂, 两者之间为地幔隆起带, 石门—常德为北北西向地幔断陷, 构成“H”形深断裂系, 其西侧发育一系列北东东向次级深断裂, 形成规模宽大的白垩纪—新近纪红层盆地, 其中有成型的金刚石砂矿多处, 镁铝榴石、铬尖晶石等指示矿物分布很广, 最近发现含金金刚石的岩体侵入红层, 因而红层盆地是寻找金刚石原生矿的有望地区。综上所述, 在中国境内, 早古生代(加里东—海西期)、印支期、燕山早期、燕山晚期均有生成金伯利岩的深部断裂构造和岩浆活动。

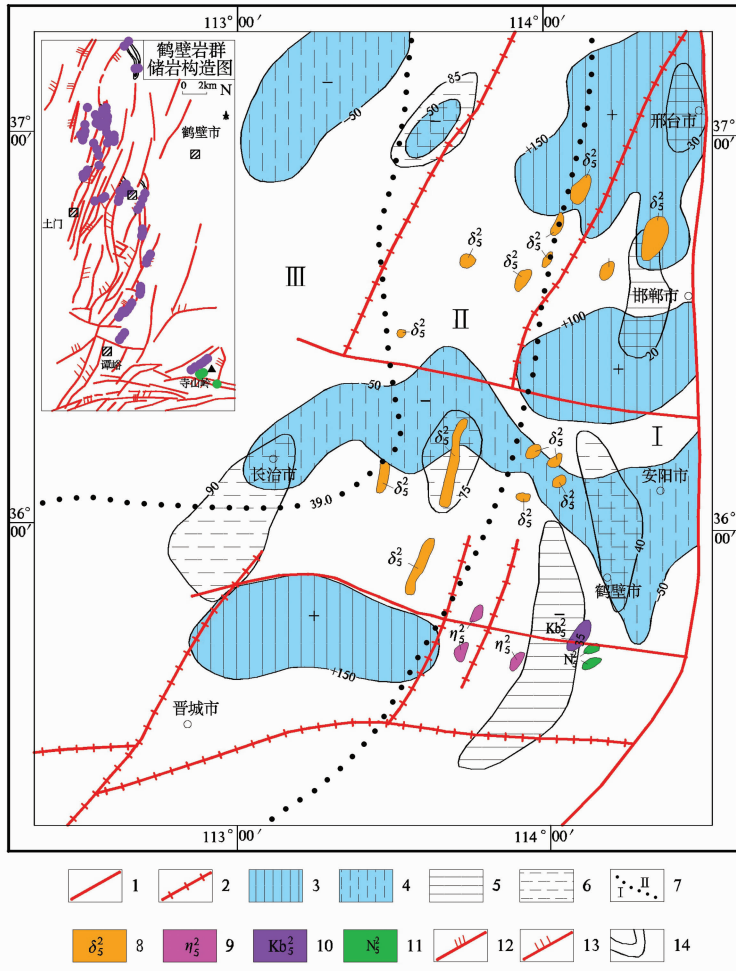


图 3 鹤壁地区深部构造图

1—超壳深断裂;2—壳内深断裂;3—航磁正异常区;4—航磁负异常区;5—布格重力低异常区;6—布格重力高异常区;  
 7—地幔构造带: I—地幔隆起带, II—地幔斜坡带, III—地幔拗陷带;8—燕山早期偏碱性闪长岩;9—燕山早期正长岩;  
 10—燕山早期金伯利岩;11—燕山早期基性岩;12—压扭性断裂;13—压性断裂;14—层间虚脱面

1— Fig. 3 Deep structure sketch map of Hebi area

1— Super-deep fault; 2—Deep fault; 3—Aeromagnetic positive anomaly area; 4—Aeromagnetic negative anomaly area; 5—Bouguer gravity low anomaly zone; 6—Bouguer gravity high anomaly zone; 7—Mantle tectonic belt: I—Mantle uplift belt, II—Mantle slope belt, III—Mantle depression zone; 8—Early Yanshanian sub-alkaline diorite; 9—Early Yanshanian syenite; 10—Early Yanshanian kimbolite; 11—Early Yanshanian mafic rock; 12—Compression and scissor fault; 13—Compressive fracture; 14—Interlayer collapse surface

4)南非金伯利岩的初始定义为“含金刚石角砾状偏碱性超基性岩”,后发现有有的岩体不含金刚石,改为“角砾云母橄榄岩”。雅库特、瓦房店、蒙阴、柳林岩群岩石特征总体均与之相似;鹤壁岩群的矿物组分相同而角砾很少;水沟门岩群的矿物成分差异较大,但仍属偏碱性超基性岩,角砾很多;马坪岩群的矿物成分虽有差异,亦属碱性超基性岩,角砾很少。后两地岩性差异或因上地幔成分不同而致,角砾的多少由爆发机制决定。笔者推荐金伯利岩建造,是基于岩浆成因模式,即将同一地幔次级构造单元内,同

一构造期的岩浆岩,按侵位顺序排列的偏碱性-碱性系列岩浆岩组合:南非和雅库特以大规模的玄武岩事件为先导,随后为偏碱性的橄榄玄武岩、煌斑岩、碱性岩,终端为金伯利岩。山西地块以偏碱性中性岩为前锋,随后为碱性岩、橄榄玄武岩、碱性煌斑岩,终端为(似)金伯利岩。镇远地区如以含金刚石碱性超基性的钾镁煌斑岩为终端(马坪),其前一幕为基性度较低的钾镁煌斑岩(思南塘等),以此类推建立金伯利岩建造(湖南亦然),将从理论上拓宽金伯利岩的范围(因为金伯利岩不是严格的岩石学名



称),并丰富了金伯利岩建造的类型,有利于解开江南古陆地区找矿症结和早日突破。

5)克拉通内部由主动方式和被动方式形成的深断裂系封闭性较好,岩浆依次侵入上地壳,最终气液积聚爆发上冲,形成富含金刚石的金伯利岩,南非和瓦房店最为典型。被动方式形成的深断裂系,如果挤压应力很强,形成的封闭系统足以保护金刚石上达地壳上部,亦可成矿,如马坪。克拉通边缘挤压力强大,深断裂系构造面长远,气液扩散较快,压力快速降低,温度仍然很高,金刚石气化而损耗,如西伯利亚地台边缘和铁岭,甚至完全不保留,如河南鹤壁。后期构造热事件使金伯利岩遭受蚀变,金刚石亦遭损失,如柳林。

**致谢:**本文引用了贵州省101地质队、山东省第七地质队、辽宁省第六、九地质队,河南省地质13队,山西省212,217地质队,山西省地质科学研究所和区调队的1965—1984年地质报告,贵州101队和湖南省413队近期资料,陈晓航同志清绘图件,谨向上列单位和同志们致敬和感谢。本文主题思想形成于30年前,引用吸收了当时的国内外学术成果。此次撰文,查阅和吸取了近期网络上的学术成果,谨向作者们致谢。杨经绥研究员审阅全文给予指导,冯光英同志整理全文加译英文,特致深谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 李春昱,王荃,刘雪亚,等. 亚洲大地构造图[M]. 北京:地图出版社,1982.  
Li Chunyu, Wang Quan, Liu Xueya, et al. Tectonic Map of Asia [M]. Beijing:Sinomaps Press, 1982 (in Chinese).
- [2] 马杏垣,宿俭. 中国地质历史过程中的裂陷作用[C]//现代地壳运动研究. 北京:地震出版社,1985:5-16.  
Ma Xingyuan, Su Jian. Rifting in the geological history of China[C] //Study on Modern Crust Motion. Beijing: Seismological Press, 1985:5-16 (in Chinese with English abstract).
- [3] 方维萱,胡瑞忠,苏文超,等. 贵州镇远地区钾镁煌斑岩类的侵位时代[J]. 科学通报,2002,4:307-312.  
Fang Weixuan, Hu Ruizhong, Su Wenchao, et al. On emplacement ages of lamproites in Zhenyuan County, Guizhou Province [J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(10):874-880 (in Chinese with English abstract).
- [4] 路凤香,韩柱国,郑建平,等. 辽宁复县地区古生代岩石圈地幔特征[J]. 地质科技情报,1991,S1.  
Lu Fengxiang, Han Zhuguo, Zheng Jianping, et al. Characteristics of Paleozoic mantle-lithosphere in Fuxian, Liaoning Province [J]. Geological Science and Technology Information, 1991, S1 (in Chinese).
- [5] 张宏福,杨岳衡. 华北克拉通含金金刚石金伯利岩的侵位年龄和Sr-Nd-Hf同位素地球化学特征 [J]. 岩石学报,2007,23(02):285-294.  
Zhang Hongfu, Yang Yueheng. Emplacement age and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics of the diamondiferous Kimberlites from the eastern North China craton [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (02):285-294 (in Chinese with English abstract).
- [6] 尹作为,路凤香,陈美华,等. 山东蒙阴金刚石的形成时代及地质环境[J]. 地学前缘,2005,12(4):614-621.  
Yin Zuwei, Lu Fengxiang, Chen Meihua, et al. Ages and environments of formation of diamonds in Mengyin County, Shandong Province [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(4):614-621 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张培强. 山东金伯利岩岩管成因[D]. 中国地质大学(北京),2006.  
Zhang Peiqiang. Origin of Kimberlitic Pipes in Shandong Province [D]. China University of Geosciences, Beijing, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [8] 刘燊. 山东地区中生代岩浆作用与地壳拉张——兼论煌斑岩与金成矿的关系[D]. 中国科学院研究生院地球化学研究所,2004.  
Liu Shen. The Mesozoic Magmatism and Crustal Extension in Shandong Province, China——Additionally Discussing the Relationship between Lamprophyres and Gold Mineralization [D]. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2004 (in Chinese with English abstract).
- [9] 徐俊. 山西地块的深部构造及金伯利岩形成背景 [J]. 山西地质,1986,1(2):140-150.  
Xu Jun. Deep structure and tectonic setting of the Kimberlite in Shanxi Massif [J]. The Geology of Shanxi Province, 1986, 1(2):140-150 (in Chinese with English abstract).
- [10] 杨健民. 山西北部金伯利岩钾镁煌斑岩岩石矿物学研究 [D]. 中国地质科学院,1995.  
Yang Jianmin. Study on the Mineralogy and Petrology of Kimberlite and Lamproite from the North Part of Shanxi Province, China [D]. Chinese Academy of Geological Science, 1995 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李佑国,莫宣学,赵崇贺. 山西大同采凉山钾镁煌斑岩的地质与岩石学特征[J]. 地质科技情报,1991,S1,29-36.  
Li Youguo, Mo Xuanxue, Zhao Chonghe. Geology and petrology of lamproite in cai-liang-shan area, Datong, Shanxi Province [J]. Geological Science and Technology information, 1991, S1, 29-36 (in Chinese).
- [12] 张连昌,卢登蓉,王淑荣,等. 山西大同钾镁煌斑岩地质地球化学特征[J]. 矿物岩石,1998,18(4):31-37.  
Zhang Lianchang, Lu Dengrong, Wang Shourong, et al. Geology and geochemistry of lamproite in Datong area, Shanxi Province [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1998, 18 (4):31-37 (in Chinese with English abstract).
- [13] 柯元硕,田为恕. 金伯利岩和钾镁煌斑岩的集群性在金刚石地质勘查中意义[J]. 地质科技情报,1991,S1.

- Ke Yuanshuo, Tian Weishu. Significance of the features of the aggregation of kimberlites and lamproites in diamond exploration[J]. Geological Science and Technology, 1991, S1 (in Chinese).
- [14] 白文吉. 西藏罗布莎豆荚铬铁矿、金刚石及伴生矿物成因[M]. 北京:地震出版社, 2000.
- Bai Wenji. Origin of Podiform Chromitites, Diamonds and Associated Mineral Assemblage in the Luobusa Ophiolite, Tibet [M]. Beijing:Seismological Press, 2000 (in Chinese with English abstract).
- [15] 柴凤梅. 塔里木地台西南缘钾镁煌斑岩岩石学特征及含矿性研究[D]. 新疆大学, 2001.
- Chai Fengmei. Petrogenesis of the Lamproite in Southwestern Margin of Tarim Block [D]. Xinjiang University, 2001 (in Chinese with English abstract).
- [16] 鲍佩声, 苏犁, 翟庆国, 等. 新疆巴楚地区金伯利质角砾橄榄岩物质成分及含矿性研究[J]. 地质学报, 2009, 83(09):1276-1301.
- Bao Peisheng, Su Li, Zhai Qingguo, et al. Compositions of the Kimberlitic brecciated peridotite in the Bachu Area, Xijiang and its ore-bearing potentialities[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(09): 1276-1301 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张云湘. 四川攀西裂谷论文集[C]. 北京:地质出版社, 1985:12.
- Zhang Yunxiang. Panzhihua -Xichang Rift Symposium [C]. Beijing:Geological Publishing House, 1985:12 (in Chinese).
- [18] Arkinson W J, Hughes F E, Smith C B. A review of the Kimberlitic rocks of western Australia (Kimberlites 1: Kimberlites and related rocks), 1984:195-224.
- [19] 何松. 湖北首次发现金刚石新源岩-钾镁煌斑岩[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 1988, 4:485.
- He Song. The first discovery of diamond resource rock-lamproite in Hubei Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 1988, 4, 485(in Chinese with English abstract).
- [20] 林玮鹏, 丘志力, 董斌, 等. 湖南宁乡钾镁煌斑岩及相关岩石重砂锆石地球化学特征 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 中山大学学报(自然科学版) 2011, (03):105-111.
- Lin Weipeng, Oiu Zhili, Dong Bin, et al. Geochemistry and U-Pb dating of heavy mineral zircons and their significance in lamproites and associated rocks from Ningxiang Hunan Province [J]. Acta, Scientiarum Naturalium universitatis Sunyatsen, 2011, (03):105-111 (in Chinese with English abstract).
- [21] 孙士军, 杨松平. 贵州金刚石成矿条件初探 [J]. 贵州地质, 1998, 15(1): 1-8.
- Sun Shijun, Yang Songping. A Discussion on prerequisites to search for primary diamonds in Guizhou [J]. Guizhou Geology, 1998, 15(1):1-8(in Chinese with English abstract).
- [22] 饶家荣, 王纪恒, 曹一中. 湖南深部构造 [J]. 湖南地质, 1993, S1 期.
- Nao Jiarong, Wang Jihuang, Cao Yizhong. Deep tectonic activation in Hunan Province [J]. Geology of Hunan, 1993, S1 (in Chinese).

## Deep structure of Shanxi massif and kimberlite formation: A discussion on the deep process of the stable massif in relation to diamond deposits

XU Jun

(Shanxi Institute of Geological Survey, Taiyuan 030006, Shanxi, China)

**Abstract:** The upwelling asthenosphere in deep stable craton led to the rupturing of the lithosphere and the formation of deep-seated fault series. Alkaline series magma was formed by partial melting of the upper mantle. In the process of its upward migration along the rift and emplacement, the magma evolved into kimberlite formation. Diamonds were accumulated at the terminal end of the kimberlite formation, i.e., brecciated alkaline ultra-basic rocks. With the explosive emplacement in the upper crust, diamonds were preserved as useful resources. The widespread stable massif in China underwent multiple deep magmatic process in Phanerozoic. Up till now, many diamond deposits have been discovered, with great exploration potentiality remaining existent.

**Key words:** stable massif; deep-seat fault series; kimberlite formation; explosive emplacement

**About the first author:** XU Jun, male, born in 1937, senior engineer, engages in the study of primary diamond mineralization conditions within stable block; E-mail: wanjxyy@qq.com.