南京大学倪培教授——过渡型金伯利岩的成因：以华北克拉通瓦房店金伯利岩为例 MDPI Minerals

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/39014.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

南京大学倪培教授——过渡型金伯利岩的成因：以华北克拉通瓦房店金伯利岩为例 MDPI Minerals。论文标题：Petrogenesis of Transitional Kimberlite: A Case Study of the Hypabyssal Wafangdian Kimberlite in the North China Craton

论文链接：https://doi.org/10.3390/min15101009

期刊名：Minerals

期刊主页：https://www.mdpi.com/journal/minerals

研究背景

金伯利岩是地球深部来源的超镁铁质、碱性火山岩，因其作为原生金刚石的主要母岩而备受关注，同时也是探索地球深部地幔成分和演化的重要探针。传统上，金伯利岩被分为两大类：典型金伯利岩（I型）和橙黄岩（II型）。然而，在全球多地，包括中国华北克拉通的瓦房店地区，发现了一类兼具两者特征的过渡型金伯利岩。它们具有独特的矿物组合和同位素特征，但其确切的岩浆起源、演化过程及地幔源区性质长期存在争议，相关研究也较为匮乏。

瓦房店金伯利岩群是华北克拉通重要的含金刚石岩体，其形成时代约为4.8亿年前（奥陶纪）。前人研究已将其归类为过渡型，并对其成因提出了地幔柱或俯冲大洋板片相关等不同假设。然而，关于其原始岩浆的真实成分，以及在上升就位过程中经历的具体改造过程（如地壳混染、分离结晶、地幔物质捕获等）缺乏量化约束，这限制了对这类重要岩石成因的深入理解。因此，本研究以瓦房店地区相对新鲜的浅成相金伯利岩为对象，通过系统的全岩主微量元素地球化学和Sr-Nd同位素分析，旨在精确厘定其近原始母岩浆成分，揭示控制其成分变化的关键地质过程，并最终阐明其地幔源区特征和形成机制。

研究过程与结果

1. 样品与分析：研究选取了瓦房店金伯利岩群中L1、L30、L42、L50四个岩管的28件新鲜样品，包括富含大型橄榄石晶体的粗粒型和几乎不含大晶体的隐晶质型。所有样品均被破碎为1~ 5 mm的小颗粒，并在双目镜下经过严格挑选以避免可见包体。研究团队采用了X射线荧光光谱（XRF）、电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）和热电离质谱（TIMS）等技术，获得了高精度的全岩主

微量元素含量及Sr-Nd同位素数据。

2. 识别与排除后期干扰：首先，研究区分了受地壳物质混染和未受混染的样品。受混染样品通常具有更高的SiO?、Pb含量和重稀土元素（HREE）丰度，以及更分散的Sr同位素组成。这些样品在后续成因分析中被排除，以确保所用数据能最大程度反映岩浆的原始信息。同时，研究指出碱金属元素（如K、Rb、Ba）可能受到后期蚀变的影响而活动，而高场强元素（HFSE）和稀土元素（REE）则相对稳定，是追踪原始岩浆过程的可靠指标。

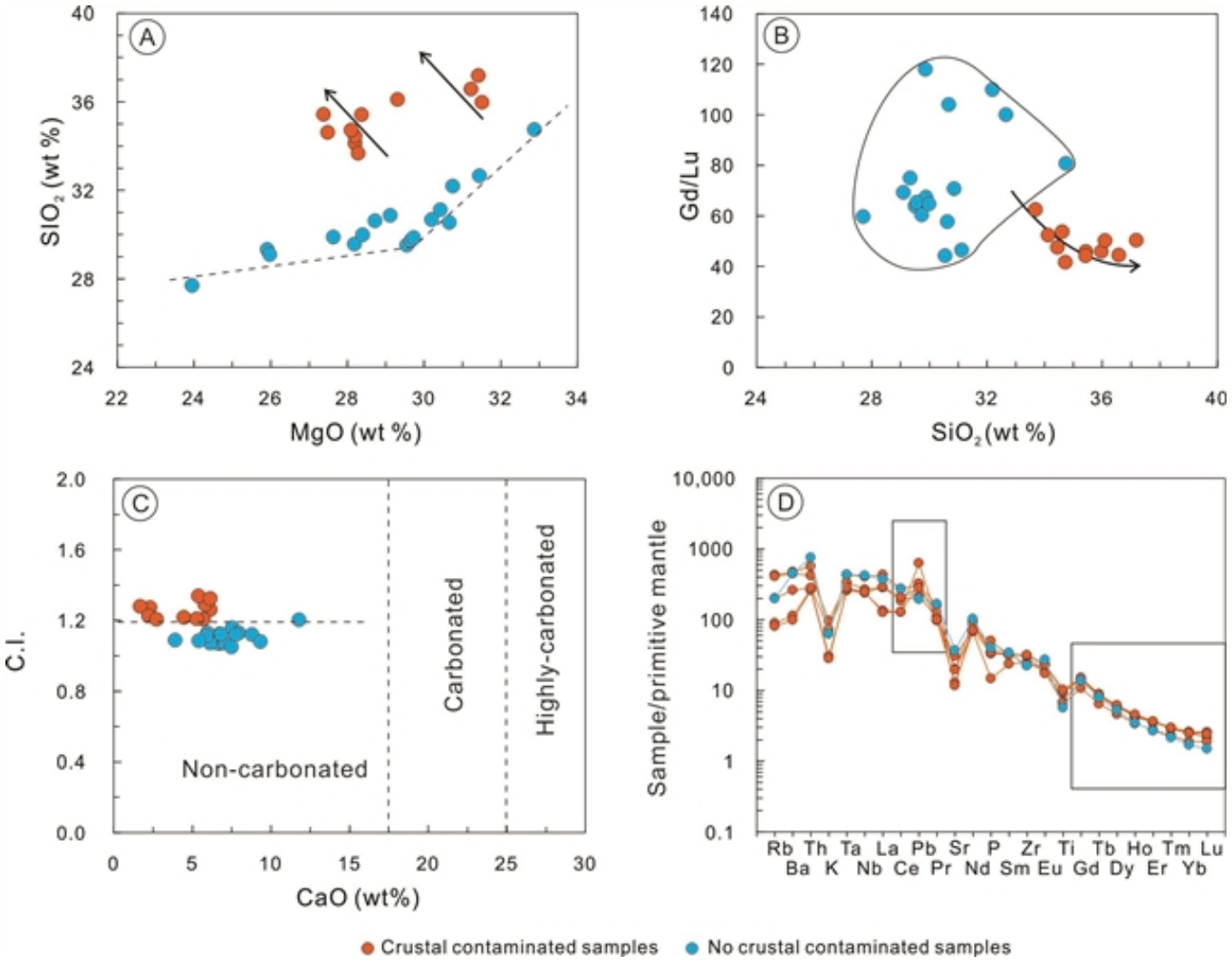


图1. 瓦房店地壳混染金伯利岩样品和未混染样品的SiO2 vs MgO图解（A），Gd/Lu vs SiO2图解（B）;地壳混染指数图解（C.I.）（C）；和原始地幔标准化微量元素图解（D）。地壳混染样品表现出正SiO2和Pb异常以及升高的重稀土（HREE）含量。

3. 量化岩浆演化过程：研究发现，瓦房店金伯利岩的成分变化主要受两个关键过程控制：

• 分离结晶作用：在隐晶质样品中，Ni、Co含量随Mg#降低而系统减少，结合Al2O3、K2O等元素的行为，表明其成分变化主要源于橄榄石和金云母的分离结晶。模拟计算表明，这一过程最高可达约32%。

• 地幔物质捕获作用：巨晶样品普遍具有更高的Mg#和Ni含量，其成分趋势指向地幔橄榄岩包体

（特别是石榴石二辉橄榄岩）的携带和部分同化。模型显示，地幔物质的加入比例最高可达约35%。这些粗粒（尤其是浑圆状橄榄石）被解释为来自被岩浆捕获和分解的地幔岩石，而非岩浆自身结晶产物。

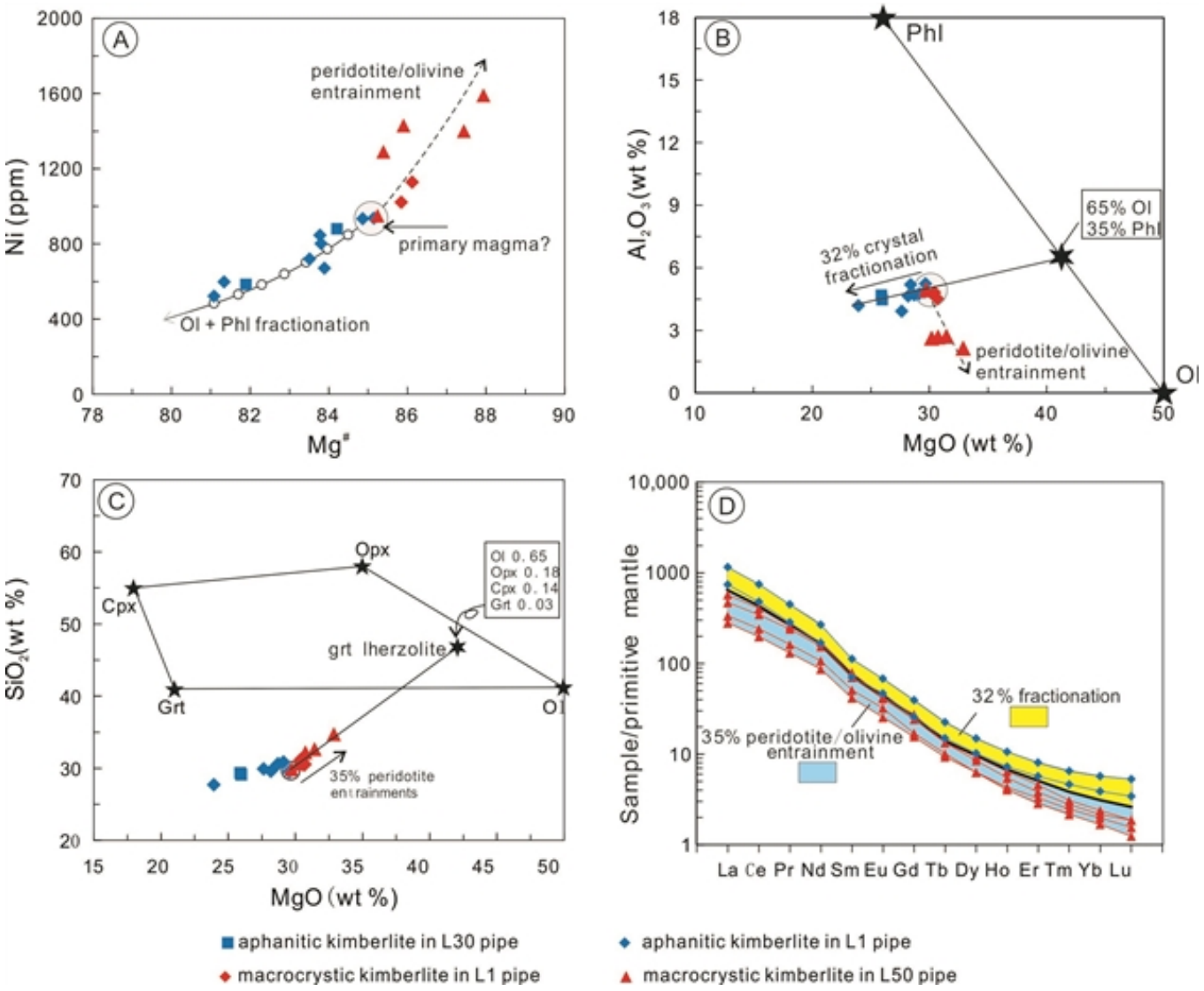


图2. 瓦房店金伯利岩Ni vs Mg指数图解（A）、Al2O3 vs MgO 图解（B）、SiO2 vs MgO图解（C）和稀土元素配分图（D）。隐晶质金伯利岩的成分变化表明这些岩石发生了最高达32%的橄榄石和金云母分离结晶作用，粗粒金伯利岩样品成分变化是由最高达35%的地幔橄榄岩捕获体引起。

4. 约束近原始岩浆成分：基于上述过程的反演，研究估算出瓦房店过渡型金伯利岩的近原始母岩浆成分约为：~29.7 wt.% SiO2, ~29.7 wt.% MgO, Mg# ~85, ~5 wt.% Al2O3, ~1.3 wt.% TiO2, ~1.3 wt.% K2O, ~7.0 wt.% CaO, 10.0 wt.% Fe2O3*, 950 ppm Ni。这一成分在Mg#上与全球典型金伯利岩平均值一致，但具有更高的Al2O3和K2O，更低的CaO，显示了其过渡性特征。

5. 揭示地幔源区性质：通过对微量元素比值（如Nb/U、La/Nb、Ba/Nb）和Sr-Nd同位素（87Sr/86Sr(t) = 0.7036 - 0.705387， ε Nd(t) = -2.93 – -1.53）的综合分析，研究发现瓦房店金伯利岩与源自对流软流圈地幔的典型金伯利岩在源区过程上相似（如约1%的低程度部分熔融），但其显著的负 ε Nd值、较高的Al2O3、K2O以及较低的Ce/Pb比值，强烈暗示其源区并非

纯净的对流地幔。最合理的解释是，其源区是一个曾被古老大洋地壳（通过俯冲作用）所混染或交代的对流地幔。这种混染发生在金伯利岩岩浆生成之前，而非上升过程中的地壳同化。

研究总结

本研究通过对华北克拉通瓦房店过渡型金伯利岩的精细地球化学解剖，取得了以下核心认识：

1. 过程量化：成功区分并量化了地壳混染、橄榄石-金云母分离结晶（≤32%）和地幔橄榄岩携带同化（≤35%）这三个主要过程对岩石最终成分的贡献，为理解过渡型金伯利岩复杂的外观提供了清晰的模型。

2. 成分限定：首次给出了瓦房店过渡型金伯利岩较为可靠的近原始母岩浆地球化学指纹，明确了其高镁、富铝钾、相对贫钙的过渡性特征，为全球类似岩石的对比提供了关键数据。

3. 成因模型：提出了一个创新的成因模型：瓦房店含金伯利岩金伯利岩来源于被再循环大洋地壳物质污染过的对流上地幔的低程度部分熔融。这一模型不仅解释了其兼具典型金伯利岩和富集地幔（如橙黄岩源区）特征的地球化学混合现象，也将该区金伯利岩的生成与深部地幔的物质循环（古俯冲事件）联系起来，深化了对华北克拉通早古生代深部地幔动力学背景的认识。

此项研究凸显了运用地球化学手段剥离后期干扰、反演深部过程的能力，不仅为瓦房店金刚石成矿作用提供了深部背景，也为全球范围内理解具有复杂特征的过渡型地幔岩浆的起源提供了重要案例。

作者介绍

倪培，教授，博士生导师。研究方向为矿床学和地质流体。曾任南京大学地球科学与工程学院副院长 (主管科研，2010-2022)，内生金属成矿机制研究国家重点实验室副主任 (2010-2025)，现任南京大学地质流体研究所所长。兼任Ore geology Reviews、Journal of Geochemical exploration、Journal of Asian Earth Sciences:X 副主编。主持过包括国家自然科学基金重点项目、科技部科技支撑计划项目、全国危机矿山接替资源找矿项目、老矿山找矿项目、整装勘查区关键基础地质研究项目等在内的多项科研项目。已发表论文200余篇。

朱仁智，深空探测实验室助理研究员，主要从事金伯利岩型金刚石矿床、关键金属成矿高温高压实验研究。共发表SCI论文约20篇，其中以第一/通讯作者在Geochimica et Cosmochimica Acta、Mineralium Deposita、Gondwana Research、Ore Geology Reviews 等期刊发表论文7篇。出版学术专著一部 (排名第二)。主持国家自然科学基金委面上项目、青年基金和博士后面上项目课题。

Minerals期刊介绍

主编：Prof. Dr. Leonid Dubrovinsky, University Bayreuth, Germany

期刊研究范围涵盖矿物学、矿物地球化学和年代学、经济矿物资源、矿物勘探、创新的采矿技术以及矿物加工等广泛领域。期刊现已被SCIE、Scopus等数据库收录。

2024 Impact Factor: 2.2

2024 CiteScore: 4.4

Time to First Decision: 17.7 days

Acceptance to Publication: 2.6 days

来源：Minerals

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发