

荣光恒久 富泽绵长

——回忆裴荣富院士与“体中体”成矿模型的建立

□ 文 / 李 鹏 李建康 王浩琳

第一作者简介 李鹏，副研究员，硕士生导师，从事稀有金属成矿作用研究及资源勘查工作。先后主持多项国家自然科学基金青年基金、面上基金项目、国家重点研发计划项目专题及中国地质调查局地质调查项目。项目引导湘鄂幕阜山地区新发现大型矿床一处，新圈定稀有金属矿田一处，找矿成果受央视等多家主流媒体报道。以第一/通信作者发表学术论文26篇，含SCI 16篇，获自然资源部科技进步奖一等奖等省部级奖项2项，三篇（作为第一作者）论文入选“领跑者5000——中国精品科技期刊顶尖学术论文（F5000）”，获“2024年度知网最具影响力学者、高被引学者TOP1%”。



＞云漫青山 视觉中国 / 供

缘 起

2010年，笔者在中国地质大学（北京）硕博连读期间，有幸参与了中国地质科学院矿产资源研究所（后文简称“资源所”）裴荣富院士牵头的“全球巨型成矿带找矿勘查技术方法研究”科研项目。在项目年度成果交流会上，笔者因转专业基础薄弱，研究进展缓慢，在汇报时不免感到紧张。

2025年1月25日，裴荣富院士在北京逝世，享年101岁。作为我国著名的矿床学家与矿产勘查学家，裴荣富院士毕生投身于国家矿产勘查与研究事业，曾获多项国家级、部级科学技术进步奖，荣获国际矿床成因协会终身荣誉称号，他不仅培养了一批奋战在国家矿产研究与勘查一线的优秀人才，还以金针度人，拟设立“李四光地质科学奖裴荣富勘探奖”专项基金，以激励后辈实现找矿突破。本文以裴院士学生视角，围绕大岩基“体中体”成矿模型的理论研究历程展开，回溯自拜入师门以来受裴先生悉心指导的珍贵点滴。撰写此文，既为缅怀导师，也为向读者普及地质理论的建立与应用过程，更希望裴院士谦逊质朴、淡泊名利、始终以国家需求为导向的宝贵精神得以薪火相传。

裴院士面带笑容，和善地替我解围，并提出了下一步工作建议，给大家留下了深刻印象。2015年，笔者博士毕业后，经刘善宝老师介绍，有幸拜入裴院士门下，继续开展博士后研究工作。彼时正值“十二五”期间，国家高度重视发展包括新能源汽车在内的战略性新兴产业，与其紧密相关的稀有金属资源安全保障问题备受关注。在此背景下，裴先生安排笔者参与王登红研究员的“华南重点矿集区稀有稀散和稀土矿产调查”项目。在合作副导师李建康研究员的指导下，主攻研究程度相对薄弱的幕阜山地区。自此，笔者在转专业的基础上又实现了转矿种，投入到稀有金属成矿作用的研究工作中。当时笔者自然不会想到，幕阜山这个原本陌生的地名，转眼间已经与之深度绑定，走过了十个春秋。

初识幕阜山

位于江南造山带中段、湘鄂赣三省交界的幕阜山地区，是我国重要的伟晶岩型稀有金属矿集区，孕育了仁里超大

型铌钽矿床等 70 余处稀有金属矿床 / 矿点。幕阜山主体由一个出露面积超过 2 530 平方千米的大型花岗岩基构成，如此规模岩基伴随的大范围稀有金属成矿作用，世界罕见。

独特性往往伴随着复杂性，笔者初次接触幕阜山的地质资料时，便遭遇难题。1 : 5 万幕阜山花岗岩区稀有金属矿产普查报告中，幕阜山岩基被分为了 3 期侵入体，共 36 个岩性单元（地质部 701 地质队，1965）；1 : 20 万地质图中，幕阜山岩基被分为了 6 期侵入体，共 27 个岩性单元（湖南省地质局区域地质测量队，1978）。幕阜山地区常年多雨，植被极其茂盛，地表罕见新鲜岩石露头。不同资料中对岩性划分的差异，难以通过野外调查进行有效核实。在岩性单元无法查明的高植被覆盖区开展科研与找矿工作，本身就极具挑战。尤其是要在面积达 2 530 平方千米的岩基中精准定位只有几米厚的伟晶岩脉，这对于刚接触稀有金属矿种的笔者而言，宛如一座难以逾越的高山。高植被覆盖度、复杂的岩性单元、含矿伟晶岩规模有限且矿化不均等因素，也导致传统勘查手段效率极低，以致自 20 世纪 70 年代幕阜山地区区调、矿调工作结束之后，稀有金属找矿工作鲜有突破。通过成矿理论研究，实现稀有金属勘查的科学性和高效性，是区域找矿突破的唯一途径。



裴荣富院士在家线上参加学生视频答疑

裴荣富院士主持编制了多套全国及亚洲地质图，创新性地将成矿系列理论与图件表达相结合，通过建立“矿床成矿偏在性”与“异常成矿构造聚敛场”等理论，实现了“理论可视化”。成矿理论与编图的结合，引领了全国多处重要找矿突破。对于刚入门的笔者，他常教导：“地质学是‘跑’出来的学问，要扎根于野外一线，图纸上的每一笔都要经得起野外的检验”，并耐心教授如何将零散的野外现象及分析数据整合成一张逻辑清晰的成矿规律图，强调“图中要有思想，思想要能指导找矿”。他常说：“好的地质图不是简单的信息堆砌，而是成矿理论的直观表达。”在他的指导下，笔者开始聚焦从宏观地质信息中捕捉细节，再从细节中提炼规律。

小岩体成大矿？

“小岩体成大矿”这一重要概念最初由郭文魁院士在研究南岭成矿作用时提出，曾遭孟宪民院士质疑，之后汤中立院士将其引用到岩浆硫化物矿床的研究中，并被广泛应用于基性—超基性杂岩体和浅成中酸性小岩体有关的多类型、多矿种矿床研究领域。

我国很多伟晶岩型稀有金属

矿床中，伟晶岩围绕花岗岩呈完善的水平类型分带。此类矿床花岗岩母岩往往规模有限，具有典型的“小岩体成大矿”特征。幕阜山伟晶岩表现出一定的类型分带，对于此类矿床，确定其成矿母岩是矿床成因研究与找矿勘查的关键。从幕阜山2530平方千米岩基内的30余个岩性单元中，进一步确定稀有金属伟晶岩的成矿母岩这一“小岩体”，便成为了该区域工作亟待攻克的问题。

围绕“小岩体”的筛选定位，笔者2016年在幕阜山开展了为期4个月的野外调查，主要聚焦两个任务目标：一是通过对已探获的稀有金属伟晶岩进行野外调查和测试分析，查明其成矿母岩；二是梳理大岩基主要岩浆期次，揭示稀有金属成矿相关的岩浆活动。调查期间，笔者一方面借助采石场、修路及宅基地新挖剖面等零星岩石露头开展野外调查与采样，另一方面依据地质资料标注的矿点，布设剥土和探槽工程，揭露伟晶岩产状、含矿性及其与围岩的关系。然而，所收集到的地质资料内容极为有限。在野外调查过程中，岩石的新鲜露头较为罕见，这导致很难对不同岩性单元的接触关系进行观察与判断，更难以圈定“小岩体”的形态与分布。“大岩基”中“小岩体”的寻找定位工作初步受阻，区域的科研与勘查工作也陷入了停滞状态。

共（源）岩浆补余分异作用

第一阶段野外工作受阻后，笔者与李建康研究员进行了多次讨论。他指出，



＞李鹏博士后期间与裴荣富院士在办公室合影

汤院士的“小岩体成大矿”理论重点强调了深部预富集机制和岩浆通道成矿过程，但不要过度受限于“小岩体”这一具体的产出形态，特别是在大岩基地区，更要考虑宏观尺度的侵位模型。他建议笔者学习裴荣富院士“共（源）岩浆补余分异作用”理论，并总结第一阶段野外成果，向裴先生汇报、请教。

笔者带着整理好的野外资料向裴先生进行了详细汇报。还记得那天裴先生穿着野外马甲，把铺满沙发的资料书籍整理到一旁，才空出地方面对面落座。他听取汇报后表现出浓厚的兴趣，激动地讲解“共（源）岩浆补余分异作用”理论的核心观点。先生当年就读于清华大学地质学专业，那时采用的是全英文授课，因此很多专业名词他更熟悉英文表达。笔者至今仍对这堂由93岁老者讲授的中英文双语课程记忆犹新。

“共源岩浆”是指同源岩浆，并有统一的岩浆库。“补余分异作用”则指具有统一岩浆库的共源岩浆，在特定的地质环境下，如多期的、多阶段的、脉动的张性导岩浆在断裂构造作用下，可以诱导岩浆分异产生补余效应。“补余效应”是指一个熔体流体的总组成，在多期次的分离过程中，第一期次分离体组成的不足由总组成在第二期次分离体予以补余，

第二期次由第三期次补余，依期次补余直至达到过程的平衡态出现而停止。

“以幕阜山这类大岩基为例”，裴院士深入讲解，“深部共岩浆库发生批次熔离，早期岩浆侵位形成岩基的主体，多为岩席、岩盖；晚期岩浆侵位、贯入形成岩基的补体，多为岩株、岩脉，甚至在早期岩浆未完全固结时贯入，呈过渡边界，无具体形态”。听闻先生讲解，茅塞顿开，“小岩体”只是补体的一种产出形式，它既可能是看不见的隐伏岩体，又可能是相同岩性的不同侵入单元。而在后一种情况中，如果同岩性的晚期岩浆贯入时，早期岩浆尚未完全固结，两期岩性相同且无穿切边界，则意味着我们寻找的“小岩体（成矿母岩）”已完全“隐身”。

一年后，《科学》（*Science*）杂志发表了一篇跨地壳岩浆系统的论文（Cashman et al., 2017），



＞裴荣富院士在办公室阅读文献资料

与裴先生讲述的理论有很多相似之处，笔者不禁对这位 90 多岁老先生学术观点的前瞻性深感震惊。多年后，笔者特意就此事向裴先生的秘书王浩琳老师请教，先生很少用电脑搜索文献，如何做到持续关注各类矿种的先进研究进展？王浩琳老师说，先生多年以来坚持参加各类国际学术会议，结识了一批活跃在全球科研及勘查一线的挚友。先生请求这些好友每年将本国地质学一线期刊的纸质刊物邮寄到北京，并保持电子邮件交流，十几年如一日。怪不得每次去拜访先生，总能看到他埋头在办公室的书堆中翻阅资料。他坚持每日阅读巨量的文献，直至先生好友先后离世而被迫中止。裴先生曾落寞地和王浩琳老师说：“我跟不上时代了，也就不再写论文了，别误导了年轻人。”

大岩基“体中体”成矿模型的建立

“共（源）岩浆补余分异作用”理论为大岩基地区稀有金属研究及勘查工作提供了重要的思路，但对于既可能隐伏、又可能隐身的“小岩体（成矿母岩）”，还需要找到一个切入点。李建康研究员带笔者翻阅、整理大量资料和图件后指出，科学的伟晶岩类型分带是定位成矿母岩的关键。岩基各阶段侵入体大多都有伟晶岩分异产出，而精准剔除非矿化阶段的伟晶岩是成矿期伟晶岩类型分带的技术难点。

理清研究思路后，2016 年末，由李建康研究员带队开展了幕阜山地区的第二次野外考察，并有幸邀请到资深稀有金属专家邹天人研究员一同参加。此次考察覆盖稀有金属矿床、矿点十余处，考察路线横跨整个岩基，初步查明了各阶段岩浆活动相关伟晶岩的类型特征。尤其在湖南省核工业地质局三一一大队（后文简称“三一一大队”）的协助下，研究团队对仁里超大型矿床的伟晶岩脉进行了系统

考察采样，并完成了矿床伟晶岩类型的分带工作。此次野外考察，笔者将“体中体”模型的初步构想与三一一大队总工黄志飏、项目负责人周芳春等进行沟通交流，也进一步听取了一线地勘人员的建议。

2017年，笔者将6个月野外工作成果与测试分析结果相结合，完成了博士后出站报告。报告总结了幕阜山地区三阶段岩浆活动与稀有金属成矿作用，并提出大岩基“体中体”成矿模型的雏形：深部共补余岩浆库发生批次熔离，以跨地壳岩浆系统的形态上升侵位并进一步分异演化，最终形成了由不同期次、不同岩石类型的岩石单元所构成的大型花岗质杂岩体；多期次的岩浆活动叠加导致了稀有金属成矿，共源岩浆补余分异效应越强，成矿规模越大，岩体冷却速率越慢，成矿强度越大。

博士后出站答辩于幕阜山脚下的平江县举行。裴荣富院士、陈毓川院士、王登红研究员等众多专家，还有湘鄂赣多家相关部门领导、地勘单位负责人等参加了答辩。尽管“体中体”成矿模型还有诸多关键问题待进一步解决，但该模型的建立及应用得到了专家组的高度认可。

笔者有幸与先生参加过一次

野外考察，那是笔者与先生唯一一次，也是先生最后一次野外考察，那年裴先生94岁。笔者和王浩琳老师陪先生一同坐飞机前往，先生一路坚持自己拉行李，多次拒绝他人帮忙。在机场带笔者和王浩琳老师进入贵宾休息室时，先生拿着自己的院士证，向前台的贵宾专员自豪地分享自己的学术成果。休息室中，他高兴地吃着零食，还不忘塞给笔者一大把，开心得像个孩子。在博士后室内答辩后，裴先生坚持要参加野外考察。他拒绝他人搀扶，手撑登山杖，在仁里矿床对着地质图，进行了约20分钟中英文双语的讲解。身处野外的裴院士精神矍铄，宛如花甲之年，如鱼得水，似鸟归林。

理论模型指导找矿突破

笔者博士后出站后，正式入职资源所，继续开展幕阜山地区稀有金属成矿研究及勘查工作。2017年，笔者与三一一大队的张立平工程师一起，跑遍了幕阜山南缘仁里矿床的60余处伟晶岩分布地区，完成了40余条岩脉的编录和超300件岩石样品的系统采集。结合多手段分析测试，进一步完善了仁里矿床伟晶岩地表类型分带，厘定其东北部二云母花岗岩为成矿母岩，建立了矿床尺度的“体中体”三维勘查模型。该模型有效指导了仁里矿床深部和外围的找矿工作，并收到了三一一大队的成果应用证明。看到应用证明的裴先生非常激动，



裴荣富院士、陈毓川院士在幕阜山观察典型伟晶岩手标本
左起：何寄华（时任湖南省核工业地质局局长）、裴荣富院士、李鹏、陈毓川院士



>94 岁的裴荣富院士在幕阜山仁里矿床野外考察

他说，基础理论研究一定要落地转化为实实在在的成果，因此地质科研人员一定要扎根一线，实现“野外调查完善理论模型，理论模型指导找矿实践，找矿成果验证理论模型”的良性闭环。

在裴荣富院士、李建康研究员、王登红研究员的指导下，笔者通过多个典型矿床研究、系统的地质调查与岩石剖面样品采集，初步构建了幕阜山岩基“时一空一物质”演化框架，进一步完善了大岩基“体中体”成矿模型，指出“二云母花岗岩与冷家溪群第四五岩组接触带”为成矿有利域。依托项目的持续投入，研究团队创新构建了“化探低值异常解译”的技术体系，并针对伟晶岩含矿性不均建立了含矿性矿物

学判别指标，形成了一套由面至点的高覆盖区伟晶岩型矿床勘查方法组合。依托“‘体中体’模型圈定成矿有利域→优化勘查方法定位伟晶岩→建立含矿判别标志确定矿体”这一由面至点的勘

查思路，研究团队最终在 2019 年年中，于幕阜山西南缘新发现黄柏山铌钽锂矿产地一处，经后续工程验证跟进，其铌钽锂资源量可达大型矿床规模。2021 年，由邓军院士牵头的科技部专家组在黄柏山进行“深地项目”野外检查，对找矿成果给予了积极评价，最终项目结题评分为“优秀”。而此阶段，裴荣富院士受新冠肺炎疫情影响，在疗养院康复治疗，这一喜讯未能向先生汇报。

2022 年至 2025 年，笔者依托所承担的地质调查项目，与湖北省地质局第四地质大队合作，在幕阜山西北缘及周边开展了系统的战略性矿产勘查工作，探明了幕阜山西北缘岩浆活动期次与伟晶岩类型分带，建立了区域“体



>95 岁的裴院士参加职工运动会

中体”三维勘查模型，并通过4 391 米钻探，探获伟晶岩超过129 层，累计视厚度 883 米，圈定了稀有金属矿田一处，实现了幕阜山北缘本世纪以来最显著的稀有金属找矿成果。2024 年，幕阜山找矿成果获湖北省十大找矿进展，“体中体”成矿模型也收到了湖北省地质局第四地质大队出具的应用证明，证明指出：大岩基“体中体”成矿模型助推了我队近年来鄂南地区的稀有金属找矿成果。2020 年至 2024 年，笔者成果先后荣获自然资源部科学技术进步奖一等奖、“地质学会地质科技重要进展”“2024 年度知网最具影响力学者、被引学者 TOP1%”，作为第一作者的三篇“体中体”模型相关论文，先后入选了年度“领跑者 5000——中国精品科技期刊顶尖学术论文（F5000）”。

薪 传

裴先生治学客观包容，作风科学严谨，他以“白马非马”这一经典命题为喻，阐明在科学研究中应避免以个别案例替代整体共性，强调信息越全面，思维越客观，所得结论才越可靠。在生活中，先生始终乐观开朗、热爱运动，这为他长期投身地质事业奠定了坚实的身心基础。即便已



>1947 年，裴荣富（前排左二）同清华大学篮球队合影（后排左一马约翰教授）
照片引自《裴荣富 70 年工作侧影》

经 95 岁高龄，他仍精神矍铄地参加职工运动会，并常向我们忆起当年求学时，曾有幸受“中国体育教育奠基人”马约翰教授指导，担任清华大学篮球队队长的难忘经历。先生融贯一生的学术精神与从容豁达的人生态度，深深影响着笔者和他的每一位学生、同事。

2025 年 1 月 25 日，敬爱的老师、著名矿床学家和矿产勘查学家裴荣富院士，因病医治无效在北京逝世，享年 101 岁。先生一生朴素，淡泊名利，对科学真理孜孜以求。即使在鲐背之年，他仍保持着令人敬佩的学术热忱：每日坚持步行往返办公室，风雨无阻；案头永远堆满文献、报告和地质图件，保持着对学科前沿的敏锐洞察。先生常教导我们：“地质工作者要以国家需求为己任，年轻人不要囿于论文和职称，要深入一线，为国找矿才是第一要务。”先生拟设立“李四光地质科学奖裴荣富勘探奖”专项基金，用于资助投身找矿的青年地质人才。

学术之星虽陨落，而其大爱情怀薪火相传，学术思想孕育的理论模型也在祖国大地生根发芽，结出了一大批果实。大岩基“体中体”稀有金属成矿模型，是裴先生留给我们，留给这个世界的宝贵财富！

第一作者单位 / 中国地质科学院矿产资源研究所

（本文编辑：张佳楠）