矿 床 地 质
2002 年 MINERAL DEPOSITS 第 21 卷 增刊

论异常成矿作用*

Study on Anomalous Ore-forming Process

裴荣富 梅燕雄

（中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037）

Pei Rongfu and Mei Yanxiong

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

摘 要 成矿作用是指导致岩石圈成矿物质富集形成工业矿床的特殊地质作用，而特大型矿床则是常规成矿作用发生异常（即异常成矿作用）的产物。异常成矿作用的发生与全球性重大事件有关，如太古宙氧大气变态、元古宙还原大气变态和显生宙构造圈热侵蚀，其结果导致异常成矿构造聚敛场及特大型矿床的形成。研究和探索异常成矿作用的“基因”是当代成矿学的一个重大课题。

关键词 异常成矿作用 特大型矿床 成矿基因 成矿学

成矿学（Metallogeny）概念自法国学者 L de Launay 于 1905 年提出以来，经过近百年的发展，已赢得作为矿床学分支学科的科学地位（Laznicka，1994；裴荣富等，1997）。成矿学研究最初主要是通过对大量描述性资料的综合分析来划分成矿类型、圈定成矿区（带）并推测矿床的成因，进而通过光（薄）片鉴定、矿（岩）石测试、同位素地球化学示踪、成岩成矿模拟等实验方法获取更多的成矿信息，从而更深刻地研究和解决矿床的成因问题。当代成矿学正在大力开展以地球各圈层互动作用过程为基础的成矿动力学研究，将静态成矿学发展成为动态成矿学，同时也为探讨和发现矿床成因的缘因（基因）而努力。

成矿作用是指导致岩石圈成矿物质富集形成工业矿床的一种特殊的地质作用，包括成矿物质的来源和供应、成矿流体的输运、成矿物质的富集和储存等主要地质作用过程（翟裕生等，1999），即成矿过程三部曲（源→运→储）。探索和揭示成矿作用的机制及其规律是成矿学的基本任务之一。

特大型矿床的数量极其有限，但矿产资源量及经济价值巨大。据粗略统计，特大型矿床仅占矿床总数的 5%～10%，却提供了全球矿产资源量的 75%～90%，对一个国家乃至全球经济和社会的可持续发展具有举足轻重的作用（Laznicka，1983；涂光炽等，1989，1994，1995，2000；裴荣富等，1990，1998；梅燕雄等，1997）。根据我们的初步研究，特大型矿床的成矿作用具有特殊性，成矿作用爆发异常（即常规成矿作用发生异常）是导致特大型矿床形成的关键因素（裴荣富等，1999）。显然，特大型矿床是异常成矿作用的产物。

1 重大地质事件与异常成矿作用

异常成矿作用的发生与全球性及区域性重大地质事件有关，它可能与气象学界提出的厄尔尼诺事件及拉尼娜事件促发正常气候发生“引潮共振”导致异常气候相类似。 根据长江流域历史上周期性暴雨成灾的启发，我们认为只有在地质历史上周期性地爆发异常成矿作用，并与一定控矿作用因素发生“引潮共振”

* 本文受世界地质图类委员会《世界大型超大型矿床成矿图——全球成矿研究》项目和中国地质调查局地质调查项目《中国成矿体系与区域成矿评价》联合资助

第一作者简介 裴荣富，男，76 岁，中国工程院院士，研究员，长期从事成矿学研究。

激发常规的源、运、储最佳耦合， 才能促使成矿物质得以急剧地巨量堆积。

地质历史早期出现的“氧大气变态”（Oxyatmoversion）[1]和“还原大气变态”（Redoxyatmoversion）等全球性重大事件是促发异常成矿作用并形成太古宙—古元古代特大型 BIF 型铁矿床及绿岩型金矿床和中元古—古生代特大型沉积岩容矿的铅锌矿床的重要原因。这一时期在全球范围发生的古陆聚散、陨石撞击等事件激发强烈的地幔排气作用及地球圈层大规模的物质交换，引发水圈和大气圈的“氧大气变态”和“还原大气变态”循环。这些事件的全球变态促发常规成矿作用的“引潮共振”[2]而导致异常成矿作用的发生，并在相对短的时限内发生急剧的巨量成矿物质堆积。研究表明，新太古代至中元古代在华北地台北缘乃至全球范围发生了一系列异常成矿作用，如新太古代（2800～2500 Ma，Ar_3）绿岩带金矿、新太古代晚期—古元古代 BIF 型铁矿(2700～2000 Ma，Ar_3－Pt_1)、古元古代蒸发盐类硼镁铁矿和菱镁矿(2000～1800 Ma)、中元古代早期宣龙式铁矿(1800～1600 Ma, Pt_1)、中元古代晚期沉积岩容矿喷流沉积硫化物矿床(1600～1500 Ma，Pt_2)等，形成了 5 个阶段不同矿种类型的成矿高峰（裴荣富等，1998，1999，2001）。由绿岩型金矿床的硫化物相、BIF 型铁矿床的 FeO＋Fe_2O_3 相、蒸发岩型硼镁矿床的 $Mg_2B_6O_{11}$＋$MgCO_3$ 相、沉积型铁矿床的 Fe_2O_3(＋$FeCO_3$)相直到 SEDEX 型铅锌矿床的硫化物相，氧逸度呈现低→高→低的低氧→过氧→缺氧的异常变化，并伴随着一系列异常成矿作用的爆发。过氧达到高峰的标志为中元古代早期宣龙式铁矿的豆状、鲕状 Fe_2O_3 沉积；$FeCO_3$/ Fe_2O_3 矿层沉积界面是高氧逸度向低氧逸度的转折点，是缺氧事件的开始。最有意义的是缺氧成矿事件骤然发生在“过氧事件”高峰之后的中元古代末，一直延续到古生代，并形成大量的 SEDEX 铅锌铜硫化物矿床，世界级的特大型矿床多数都集中在这个时期。

地球构造圈热侵蚀（Tectonosphere thermal erosion）事件是显生宙（特别是中新生代）异常成矿作用的主因。澳大利亚以 Macquarie 大学为主组织国际有关单位开展“大陆地球化学演化与成矿”研究，提出了构造圈热侵蚀和岩石圈能否永存以及幔壳将发生混同大变革等新概念[3]，为深化研究大陆构造-岩浆作用与陆内爆发异常成矿作用奠定了理论基础。邓晋福等（1990，1996，1999）认为中国东部在中生代（燕山期）发生了岩石圈－软流圈系统（LAS）大灾变事件，并识别出被扰动的 LAS 的两种类型，即在挤压造山环境下的岩石圈巨大减薄与巨大增厚作用。大量的新生、热地幔物质和再活化的热的下地壳物质取代、加热和注入冷的岩石圈及地壳是中生代（燕山期）爆发异常成矿作用的基本原因与深部环境。华仁民等（1999）认为，中国东部中生代成矿大爆发是该地区在特定地质背景下发生岩石圈大减薄和构造格局大转折相结合、从而导致大规模壳幔相互作用和构造圈热侵蚀事件的产物。作者等通过执行国际地质对比计划 IGCP-354“岩石圈超巨量金属工业堆积”项目和参加国际交流与讨论，提出深部构造过程是成矿“引擎”（engine），表壳构造作用是控矿“温床”（hot bed），深部作用激发表壳构造的耦合成矿是显生宙（特别是中新生代）爆发异常成矿作用的关键（裴荣富等，1999，2001）。

2 异常成矿构造聚敛场

异常成矿构造聚敛场（exceptional metallotect convergence）是异常成矿作用于特定空间及时间产生的物质实体，是地质的、地球物理的、地球化学的多种有利控矿因素的异常汇聚。 异常成矿构造聚敛场不是一个简单的空间场所或地域概念，而是表现在一定成矿地质构造背景上发生的成矿环境突变，使成矿流体流在开放体系的非平衡态物化条件下骤然变为相对平衡态，并释放出大量能量，产生有利成矿构造动力，促使成矿物质的巨量堆积。

根据对中国及世界特大型矿床成矿特征的对比和分析，我们将异常成矿构造聚敛场归纳为 4 个主要类

---

[1] Karkham R. and Roseoe S. 1992. Atmorspheric evolution and ore deposits formation, ABSTRACS, of 29th IGC, Vol 1 of 3.

[2] 任振球. 1998. 造成长江强降水过程利用“引潮共振”的准确预测. 中国科学技术 50 周年年会论文集. 3～5.

[3] O’Reilly S Y. Director’s preface and Introducing GEMOC, 1997 . Annual Report of ARC National Key Centre for the Geochmical Evolution and Metallogeny of Continents , 1997. 1～2.

型（裴荣富等，1998，2001）：

（1）太古宙－古元古代同剪切形变异常成矿构造聚敛场。指成矿作用与剪切构造在空间和时间上是连续的直接控矿，富大矿体（脉）均切穿剪切线理并呈后生脉状产出，但实际上都是同剪切驱动使成矿物质在韧-脆性及脆性剪切过程中堆积形成的。如霍姆斯塔克、夹皮沟等金矿床剪切扩容带中的含金石英脉。而成矿作用与剪切构造有时差的后成矿剪切形变控矿不能构成异常成矿构造聚敛场，但可作为后剪切构造－岩浆活化成矿作用的“成矿基预”（ground preparation）。

（2）元古宙－古生代“三同一体”异常成矿构造聚敛场。指同成矿断裂、同成矿不协调褶皱、同成矿角砾岩三种控矿因素在时间上和空间上的最佳耦合，对沉积岩容矿的超大型层控和层状矿床的形成最为重要。例如，澳大利亚布罗肯希尔铅锌铜矿床就是同成矿不协调褶皱使成矿物质不断补给而形成的，我国的东升庙铅锌硫矿床明显地受控于同成矿断裂和同成矿不协调褶皱，而锡矿山锡矿床则是典型的“三同一体”控矿。

（3）中生代“行、列、汇”异常成矿构造聚敛场。其内涵主要包括 3 个方面：其一是两组构造的交叉；其二是在构造交叉处（即“汇”）出现岩浆作用的耦合并发生共岩浆补余分异效应，且含矿流体流还需受裂隙水偏流理论支配形成涡流；其三是与深部地震剪切波的垂向低速带耦合。我国东部广泛发育由前中生代近东西向构造带与中生代北东—北北东向或近南北和北西向构造带叠加形成的“行、列、汇”构造式样，当其与中生代构造岩浆作用等成矿因素耦合时，就为特大型矿床的形成创造了极为有利的条件。

（4）新生代多阶湖汇流异常成矿构造聚敛场。我国西部高原盐湖地区是多阶湖汇流异常成矿构造聚敛场发生的主要地质环境。大面积分布的泛河湖区经区域构造变动后形成不同高差的阶梯状多阶湖盆，初始泛河湖中的成矿物质随流体介质向最低阶湖盆汇流，从而导致巨量成矿物质的大规模堆积。

3 异常成矿作用的基因问题

基因是自然界一切事件发生的原质。成矿基因不完全等同于矿床成因，它是导致和促使成矿物质发生源-运-储等成矿过程的内在原因和原质，而异常成矿作用的基因则是正常成矿基因发生变异的结果。

关于异常成矿作用的基因问题，目前多从下列几个方面的成矿现象来探讨：① 充分的和巨量的成矿物质供给；② 多种有利控矿因素非常罕见的耦合；③ 重大成矿事件的年代鉴证，等等。作者认为，矿集区及矿汇相对储量丰度方法是探求和发现异常成矿作用基因的新方法，即首先根据综合赋值的方法圈定矿集区及矿汇，然后根据矿集区及矿汇中矿产储量（资源量）相对丰度（Relative Aboundance of Ore Reserve ，RAOR）及其与成矿时限（Forming Time Interval ，FTI）的相关关系，进而探讨其异常成矿作用的强度与基因。

研究异常成矿作用的基因是预测和发现特大型矿床的关键科学问题，也是一个非常复杂的科学问题，因为它是在地质历史时期出现的，比现代气象学发现“厄尔尼诺”和“拉尼娜”现象造成异常气候的基因要困难得多。

根据作者的初步认识，异常成矿作用是成矿基因与常规控矿因素发生“引潮共振”（Initiational resonace）促成的。全球大气变态可能是促成太古宙－元古宙“多同一体”异常成矿作用的基因，构造圈热侵蚀可能是显生宙构造岩浆异常成矿作用的基因。成矿构造聚敛场则是形成特大型矿床的客观实际，也是受成矿基因作用发生“引潮共振”的必然结果。

应当指出，经过近百年的探索和研究，人们对矿床的成矿地质特征、成矿控制因素、时空分布规律以及成矿作用过程与机制等，都进行了广泛的探讨和深入的探究，取得了大量的理论性认识，促进了成矿学的空前发展。但是，成矿学已有的科学成果主要是研究和解决（或基本解决）“矿床及矿带是怎样形成的”问题，而对“矿床及矿带为什么形成”的问题则迄今尚未有系统的认识，甚至尚未引起足够的重视。因此，开展成矿基因研究、特别是异常成矿（作用）基因研究，探索正常成矿基因发生变异的条件和原因，不仅对成矿学理论的创新和发展具有重大科学意义，而且对特大型矿床的勘查评价和新世纪矿业经济的可持续发展具有很大的实际意义。

参 考 文 献

邓晋福，莫宣学，赵海玲，等. 1999. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质，18（4）：309～315.

邓晋福，赵海玲，莫宣学，等. 1996. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京：地质出版社.

邓晋福，赵海玲. 1990. 中国东部上地幔热结构——由岩石学模型推导. 地质学报，64（4）：344～349.

地质矿产部《地质辞典》办公室. 1986. 地质辞典. 矿床地质应用地质分册. 北京：地质出版社.

华仁民，毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质，18（4）：300～308.

李杨鉴，陈延成. 1998. 关于厄尔尼诺成因新认识. 化工矿产地质，20（3）：109～204.

毛景文，华仁民，李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质，18（4）：291～299.

梅燕雄，朱裕生，叶锦华. 1997. 中国超大型矿床的若干统计特征. 地球学报，18（4）：358～366.

裴荣富，等. 1998. 中国特大型矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛场. 北京：地质出版社.

裴荣富，吕凤翔，范继璋，等. 1998. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京：地质出版社.

裴荣富，彭聪，熊群尧. 1999. 南岭金属成矿省深部构造过程与超巨量金属堆积. 见：裴荣富，翟裕生，张本仁主编. 深部构造作用与成矿. 北京：地质出版社. 1～13.

裴荣富，邱小平，尹冰川，等. 1999. 成矿作用爆发异常及巨量金属堆积. 矿床地质，18（4）：333～340.

裴荣富，吴良士. 1990. 我国开展寻找超大型矿床的若干基础研究问题的讨论. 矿床地质，9（3）：287～289.

裴荣富，吴良士. 1993. 特大型矿床与成矿环境和成矿作用异常. 见：中国地质学会矿床地质专业委员会编. 第五届全国矿床会议论文集. 北京：地质出版社. 127～129.

裴荣富，熊群尧，梅燕雄. 1999. 金属成矿省成矿年代学研究的新进展——以华北地台北缘为例. 地质前缘，6（2）：325～334.

裴荣富，熊群尧. 1997. 成矿学和成矿年代学研究的新进展. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊，第 1 号，30～37.

裴荣富，叶锦华，梅燕雄，等. 2001. 特大型矿床研究若干问题探讨. 中国地质，28（7）：9～15.

裴荣富. 1995. 共（源）岩浆补余分异作用与成矿. 矿床地质，14（4）：376～379.

涂光炽，等. 2000. 中国超大型矿床（I）. 北京：科学出版社.

涂光炽. 1989. 关于超大型矿床的寻找和理论研究. 矿物岩石地球化学通讯，（3）：163～168.

涂光炽. 1994. 超大型矿床的探寻和研究的若干进展. 地学前缘，1（3）：45～53.

涂光炽主编. 1995. 庞然大物——与寻找超大型矿床有关的基础研究. 长沙：湖南科学技术出版社.

翟裕生，等. 1999. 区域成矿学. 北京：地质出版社.

Hutchinson R W. 1992. Some broad procsses and effects of evolutionary metallogeny. ABSTRACTS of 29th IGC, Vol.1 of 3.

Kravchenko S M. 1999. At the Symposium on the mantle rooted of the Earth's Crust and Metal Accumulation. Geology of Ore Deposits, 41(4)：346～348.

Kutina J. 1995. Regional mentle-rooted discontinuity extending fransnersely to the margins of Cratons and adjacent mobile belts, Metallogenic applications. Glob. Tect Metall. 5(1～2)：7～18.

Laznicka P. 1983. Giant ore deposits, a quantitation approach. Global Tectonics and Metallogeny. 2：41～63.

Laznicka P. 1994. Metallogeny：past,present,future. 地学前缘，1（3）：9～20.

Pei Rongfu. 1996. On the evolution of metallogenetic province and metallogeny. ABSTRACTS of 30th IGC.

Pei Rongfu, et al. 1999. Deep Tectonic processes and super accumulation of metals related to granitoids in the Nanling metallogenic province, China. Acta Geological Sinica, 73（2）：181～192.