

谨将此书献给第三十届国际地质大会



002

成矿系统分析的理论与实践

李人澍 著



地质出版社



成矿系统分析 的理论与实践

李人澍 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书是作者运用系统科学与传统地质学相结合的方法,对陕西秦巴区域成矿规律及国内外典型矿床研究成果所做的理论方法总结。书中厘定了堆积成矿系统、近等化学改造成矿系统、熔炼成矿系统、动力改造成矿系统和环流热液成矿系统等五个成矿系统;建立了成矿系统特征的信息指标体系,包括成矿系统过程动力学特征、结构集约度、演化成熟度、标准富集量和自组织力强度等;对比分析了成矿系统聚矿功能的优劣;讨论了成矿系统自组织力与环境相协调达到成矿过程优化的机理;总结了成矿系统分析方法,并以陕西秦巴地区为例进行了区域含矿性评价和成矿预测,探索了成矿研究的新途径。

本书可供矿床学、区域成矿学研究工作者及矿床地质勘查工作者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

成矿系统分析的理论与实践/李人澍. — 北京:地质出版社, 1996.5

ISBN 7-116-02096-9

I. 成… II. 李… III. 矿床成因论 IV. P611

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 02051 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:谭惠静、刘浩龙

*

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 17.25 字数: 420000

1996 年 5 月北京第一版·1996 年 5 月北京第一次印刷

印数: 1—800 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-116-02096-9

P·1573



谨将此书献给

第三十届国际地质大会

82附

序

建国以来我国矿床学和勘查学的理论和方法，在外为中用和自己 40 多年的地质找矿、矿山开采的实践和认识的基础上，已经取得很大进展。不但出版发行了很多高水平的教材和有关专著，还勘探和开发了大批发展国民经济所急需的各种矿产资源。这是遵循实践——认识——实践的原则，在科研与生产相结合、科学技术为生产服务的方针指导下，经过众多专家、学者和广大从事地学工作的人员刻苦钻研、努力工作的结果。

但是，在当前地质找矿已经进入到找深埋隐伏矿床和肉眼难辨认矿石的新的发展阶段的形势下，如果不善于运用更全面、更先进的地学理论，指导找出更多、更好、更急需的矿产资源，就不能确保 21 世纪我国国民经济发展对矿产资源保证程度的需要，也不可能在国际矿床学和勘查学领域跻身于世界先进之林。然而，要丰富和发展我国矿床学和勘查学的理论和方法，若还是按步就班地跟着前人的脚步走下去，而不是在已有的基础上大胆创新，就很难取得具有中国特色的高层次的科学理论成果。

正是在这种形势的要求下，中国有色金属工业总公司西北地质勘查局李人澍教授，为了探索提高勘查效果的新途径，十多年来他立足于陕西秦巴地区的地质矿产实际和长期的勘查研究工作实践，认真地将系统科学引入矿床地质研究，充分运用各学科之间的相互渗透和转移，力图在现代地学基础上挖掘出成矿系统的固有规律，从而达到指导找矿勘查工作的目的，终于在庆祝中华人民共和国成立 45 周年之际和第 30 届国际地质大会即将召开之前，完成了他的《成矿系统分析的理论与方法》专著。著作中建立了成矿系统框架，认为一个地区的矿产总体上是一个具有时-空成因联系的四维成矿系统网络，并厘定了五类基本的成矿系统；提出了成矿系统动力学体系概念，并引入了成矿系统过程动力学中介层次；探讨了成矿系统的结构、聚矿功能和有序度；论述了成矿系统的自组织性及其对聚矿功能差异的影响；还讨论了成矿系统信息的多层次性，强调在成矿类比中挖掘深层结构的信息的重要性；并对秦巴成矿区系统网络作了区域含矿性评价，提出了区域性找矿战略的建议；还总结了一套严密合理、可操作的成矿系统分析的方法步骤和工作程序等等。

这个研究成果不仅开拓了具有我国特色的区域成矿研究和区域矿产预测的理论和方法，极富创新性和启发导向性，就是在成矿系统理论探索的深度和广度上也实属国内外有关文献中所罕见。而且在应用上，诸如制定秦巴地区的找矿战略，确定各成矿系统的集中分布区，划分出各级成矿单元并指出

远景开拓区等，其中不少预测意见均已得到而后的勘查工作所证实，因此可以说本书既是基础理论研究成果；也是应用科学的研究成果，已经达到了国际先进水平。

本书学术思想先进、内容新颖充实，论述严谨周密，而且在论述的内容和文字表达方面也具有科学性、逻辑性、系统性和实用性，可以认为是一本内涵丰富、例证有力、学术价值和应用价值很高的专著。诚望这个在矿床学和勘查学领域中开绽出的一朵奇葩，结出丰硕之果，并进一步深化到矿田、矿床（包括金属和非金属矿床）的规律性总结和矿产预测中，从而使这一成果的研究水平和实用意义有更大的提高。

郑之英

1994年11月19日

目 录

前言	(1)
----	-----

上编 成矿系统分析的理论基础

第一章 成矿系统分析的方法论基础	(4)
第一节 系统科学简介	(4)
第二节 在成矿研究中引入系统科学的必要性和可行性	(8)
第三节 成矿系统分析方法的基本要求	(11)
第二章 成矿系统建构的基本因素和成矿系统框架	(13)
第一节 成矿系统与地质系统	(13)
第二节 建构成矿系统的基本原则	(14)
第三节 厘定基本成矿机制的主要因素	(17)
第四节 成矿系统动力学体系	(19)
第五节 构造因素在成矿系统建构中的作用	(27)
第六节 成矿系统基本框架	(29)
第三章 成矿系统的结构、聚矿功能和有序化	(31)
第一节 成矿系统结构及其要素	(31)
第二节 典型成矿系统结构分析	(32)
第三节 结构集约度及其演化趋势	(35)
第四节 成矿系统综合功能的表现——有序化	(37)
第五节 成矿系统的绝对功能	(41)
第四章 成矿系统的环境与自组织	(43)
第一节 环境层次对成矿系统的影响	(43)
第二节 成矿系统的时空边界	(46)
第三节 成矿系统的自组织性及地质表现	(49)
第四节 成矿系统自组织力与环境	(52)
第五章 堆积成矿系统 (I) 与近等化学改造成矿系统 (II)	(55)
第一节 堆积成矿系统 (I) 基本特征	(55)
第二节 重力分选成矿亚系统 (I_a) 和化学分异成矿亚系统 (I_b)	(56)
第三节 生物化学成矿亚系统 (I_c)	(58)
第四节 堆积成矿系统综论	(60)
第五节 近等化学改造成矿系统 (II) (深层近源改造成矿系统)	(62)
第六章 熔炼成矿系统 (III)	(67)
第一节 富气液熔炼成矿亚系统 (III_b) 的强大聚矿能力	(68)
第二节 HHP (产高热) 花岗岩的成矿作用——系统 III_b 第二成矿力的反映	(73)
第三节 贫气液熔炼成矿亚系统 (III_a)	(76)

第四节	富气液碱性熔炼成矿亚系统 (Ⅲ _c)	(78)
第五节	系统Ⅲ其它成员及系统Ⅲ小结	(82)
第七章	环流热液成矿系统 (V) 与动力改造成矿系统 (IV)	(85)
第一节	环流热液成矿机理及成矿实验概述	(85)
第二节	海底环流热液成矿亚系统 (V _a)	(87)
第三节	陆相环流热液成矿亚系统 (V _b)	(96)
第四节	动力改造成矿系统	(102)
第五节	产于韧性剪切带中的动力改造成矿系统	(104)
第六节	与剥离断层、走滑断层有关矿床的评论	(108)
第七节	与冲击作用和脆性域形变有关的动力改造成矿系统	(110)
第八节	动力改造成矿系统 (IV) 小结	(114)

下编 成矿系统研究方法及应用

第八章	成矿系统网络演化成熟度的评估	(115)
第一节	成矿系统的网络性	(115)
第二节	成矿系统演化成熟度及其评估	(122)
第三节	成矿系统的优化	(132)
第九章	成矿系统网络的信息和成矿类比法	(146)
第一节	成矿系统信息的多层次性	(146)
第二节	宏微观信息对比和微观信息的局限性	(151)
第三节	类比法在成矿系统研究中的重要作用	(153)
第四节	成矿富集比 (C) 与标准富集量 (Q _s) 深层结构信息性质的讨论	(159)
第十章	成矿系统分析方法概要	(167)
第一节	系统思维-工作程序的制订	(167)
第二节	成矿系统分析的基础资料准备	(168)
第三节	建构成矿系统	(168)
第四节	成矿系统特征分析	(170)
第五节	区域成矿系统时空规律研究	(170)
第六节	成矿系统含矿性评价	(171)
第七节	成矿系统分析方法的适用范围	(172)
第十一章	陕西秦巴成矿系统总体分析	(173)
第一节	陕西秦巴区域地质构造基本特征	(173)
第二节	陕西秦巴区域地球物理地球化学背景简述	(176)
第三节	主要成矿系统 (一): 环流热液成矿系统 (V _a)	(184)
第四节	主要成矿系统 (二): 熔炼成矿系统 (Ⅲ)	(189)
第五节	主要成矿系统 (三): 构造岩浆复合改造成矿系统 (Sm)	(202)
第六节	陕西秦巴成矿系统网络及其演化	(215)
第七节	陕西秦巴区域成矿系统含矿性评价概述	(227)

结论.....	(239)
参考文献.....	(241)
英文摘要.....	(247)

CONTENT

Introduction	(1)
---------------------------	-----

PART ONE THE ORETICAL BASIS OF THE METALLOGENTC SYSTEM ANALYSIS

Chapter 1 Methodology on the Metallogenic System Analysis	(4)
1. Brief introduction of system science	(4)
2. Necessity and feasibility of the application of system science in metallogenic study	(8)
3. Requirement to the metallogenic system analysis	(11)
Chapter 2 Fundamentl Factors in the Construction of Metallogenic System	(13)
1. Metallogenic system and geological system.	(13)
2. Principles in the construction of metallogenic system	(14)
3. Factors in defining the basic ore-forming mechanism	(17)
4. Metallogenic dynamic system	(19)
5. The roles of tectonic factors in the construction of metallogenic system	(27)
6. Basic framework of the metallogenic system	(29)
Chapter 3 Structure, Ore-forming Capacity and Ordering of Metallogenic System ...	(31)
1. Metallogenic system's structure	(31)
2. Typical metallogenic structure analysis	(32)
3. Compactness (intensity) of system structure and its evolutionary tendency	(35)
4. Ordering——manifestation of the function of system	(37)
5. Absolute function of metallogenic system	(41)
Chapter 4 Environment and Self-organization of Metallogenic System	(43)
1. Influences of different grades of environment to metallogenic system	(43)
2. Time-spatial boundary of a metallogenic system	(46)
3. Self-organization of metallogenic system and its evidences	(46)
4. Self-organization power and its relations with environment	(52)
Chapter 5 Accumulative Metallogenic System (I) and Quasiisochemical Reformation Metallogenic System (II)	(55)
1. Characteristics of accumulative metallogenic system (I)	(55)
2. Gravity sorting metallogenic subsystem (I _a) and chemical differentiation metallogenic subsystem (I _b)	(56)

3. Bio-chemical metallogenic subsystem (I _c)	(58)
4. Review of accumulative metallogenic system	(60)
5. Quasi-isochemical reformation metallogenic system (II)	(62)
Chapter 6 Smelting Metallogenic System (III)	(67)
1. Powerful ore-forming capacity of smelting metallogenic subsystem (rich in gas and fluid, III _b)	(68)
2. Metallogeny of the HHP (high heat producing) granites—expression of the second ore-forming power of system III _b	(73)
3. Smelting metallogenic subsystem (III _a , poor in gas and fluid)	(76)
4. Alkaline smelting metallogenic subsystem (III _c , rich in gas and fluid)	(78)
5. Other members and conclusions of system III	(82)
Chapter 7 Circulative Hydrothermal Metallogenic System (V) and Dynamic Reformation System (IV)	(85)
1. Ore-forming mechanism and experiments	(85)
2. Submarine circulative hydrothermal subsystem (V _a)	(87)
3. Subaerial circulative hydrothermal metallogenic subsystem (V _b)	(96)
4. Dynamic reformation metallogenic system (IV)	(102)
5. Dynamic reformation metallogenic system in ductile shearing zone	(104)
6. Comments on the mineralizations occurring in denudational and strike-slip fault systems	(108)
7. Dynamic reformation metallogenic system related to meteorite impaction and in the brittle-deformation zone	(110)
8. Summary on dynamic reformation metallogenic system	(114)

PART TWO METALLOGENIC SYSTEM ANALYSIS AND ITS APPLICATION

Chapter 8 Evaluation of the Evolutionary Maturity of a Metallogenic System Network	(115)
1. Complexity of the metallogenic system	(115)
2. Evaluation of the evolutionary maturity of metallogenic system	(122)
3. Optimization of metallogenic system	(132)
Chapter 9 Informations of Metallogenic System Network and Metallogenic Analogous reasoning	(146)
1. Mutiple-leveled information of metallogenic system	(146)
2. Comparison of macro- and microscopic information and limitation of the latter	(150)
3. Significance of analogous reasoning in the study of metallogenic system	(155)

	4. Discussion on concentration coefficient (C) and standardized ore reserve (Q_S)	(159)
Chapter 10	Program of Metallogenic System Analysis	(167)
	1. Working and reasoning procedure in the sense of system science	(167)
	2. Background data collection and preliminary study	(168)
	3. Metallogenic system construction	(168)
	4. Characteristic analysis of metallogenic system	(170)
	5. Study of metallogenic system in time-spatial relations	(170)
	6. Evaluation of ore-forming capacity and metallogenic prediction	(171)
	7. Application scope	(172)
Chapter 11	General Analysis of Qinba Metallogenic System Developed in Shaanxi, China	(173)
	1. Main features of regional tectonics	(173)
	2. Outline of regional geophysical and geochemical background	(176)
	3. Important metallogenic system (1): circulative hydrothermal metallogenic subsystem (V_a)	(184)
	4. Important metallogenic system (2): Smelting metallogenic system (Ⅲ)	(189)
	5. Important metallogenic system (3): Dynamo-magmatic reformation metallogenic sytem (Sm)	(202)
	6. Evolution of metallogenic system network	(215)
	7. Evaluation of the ore-forming capacity of the metallogenic systems (outline)	(227)
Conclusion		(239)
References		(241)
Abstract (English)		(247)

前言

秦岭大巴山地区是中外学者瞩目的复杂地块，成矿极富特色。80年代以来，作者与同事们以系统科学为指导，对秦岭大巴山（陕西段）（以下简称陕西秦巴）进行了区域成矿总体性研究，首次在本区建立了由五个具有成因演化联系、从初级发展到高级的子系统所构成的成矿巨系统；进行了成矿系统特征研究、各子系统聚矿力对比排序、区域含矿性评价和远景区圈定。作为研究报告^①的副产品，初步总结了“区域成矿系统分析方法”。在1988—1993年间，作者等运用这一方法以贵金属为主要对象，先后进行了五项延伸研究（李人澍，1993）^{②③④⑤⑥}。并广泛吸收同行专家的意见，对“区域成矿系统分析方法”的理论基础及方法体系进行了充实和归纳。本书就是对十年来成矿系统理论研究和实践的一次阶段性总结。

一个地区的矿产总体是一个复杂巨系统网络。矿床学经过近一二百年来的发展，积累了丰富的素材，理论研究也取得了长足的进步，但对这一复杂总体的真面貌的认识仍相差甚远，勘查风险之大就是证明。当前，现代科学已进入学科相互交融的新时代，整体性研究已成为复杂系统研究的大趋势，矿床学已面临学术思路更新的严峻挑战。矿床学各分支间、矿床学与其它地学分支间以及地学与其它学科之间的渗透融合势在必行，而方法论的现代化更是首当其冲。

系统科学是新兴的横断学科，克服了近代科学中某些重分析轻综合、重局部轻整体的倾向，长于纵观全局和深入研究事物结构各层次间及其与环境之间的关系，在社会科学、生物学和系统工程等的实践中已取得重大突破。国际上即将开展的“国际地圈-生物圈计划（IGBP）”、“行星地球统一理论”和“超越板块构造理论的新地球观”（肖庆辉，1991；徐道一等，1989）等研究计划都将以系统科学为指导思想。这充分说明运用系统科学于复杂巨系统的研究是地球科学发展的前沿。国内在矿床学领域，运用系统科学的呼声日高，经过十余年的蕴酿，业已走出一一般思辩性讨论阶段，步入实质性研究阶段，在成矿地球化学和地球化学反应动力学研究等方面取得了一批重要成果（於崇文等，1988；张荣华等，1992）。预期今后十年地学界将会出现运用系统科学的高潮，实现科研找矿的新突破。

多层次复杂成矿巨系统的行为由多因素所决定。成矿系统的形成和演化具有随机性与确定性的双重特点，现有地质知识体系远不足以刻画其全貌。然而系统科学只是方法论，

-
- ① 李人澍、刘孝忠、史伦祥等，1987，陕西秦巴区域成矿研究报告。
 - ② 李人澍、张素英，1988，陕西秦巴银成矿潜力分析。
 - ③ 李人澍、张素英，1980，国内外银矿勘查方法研究。
 - ④ 李人澍、张素英，1990，陕西秦岭褶皱带贵金属成矿潜力分析。
 - ⑤ 李人澍、张素英，1992，陕西秦巴铜、银、金成矿系统分析及有利类型靶区优选。
 - ⑥ 李人澍、张素英，1993，陕西秦巴主要金属矿产成矿系统分析。

它不能提供解决问题的具体方法和答案，故成矿系统研究的难度极大。在成矿系统研究的最初阶段应以定性与定量相结合，以定性分析为主；宏观与微观相结合，以宏观为主。这样可能更符合认识论，更有实效。

矿床学本身探索性极强，系统科学更是创造性的科学，故成矿系统研究尤应坚持以探索新思路为宗旨。本书所作的概括，所建立的模式和体系，固然依据了很多可靠的实际资料，并遵循严谨的科学思维方法，但所形成的具体结论都只是一种探索性的见解。作者以为，在开拓性研究中，重要的是提出的思路和方法是否正确，是否有启发和导向价值，具体结论的重要性尚在其次。对于复杂地块的研究更是如此。因此，本书只是一种思维方式的展示，而不应看作讨论陕西秦巴矿床地质学的专著。

宇宙中不同物质形式的运动规律是相通的，或者说是全息；成矿规律与全球地质规律及其它领域，包括精神领域的规律也是相通的、全息的。一部科学史就是各种学科互相借鉴，同步发展的过程。类比法就是促进不同领域的观点和成果相互转移的重要思维方式。因此，本书不乏借鉴不同学科中的事实和规律进行思考、论证的情况，这不仅仅是因为地质学是年轻的科学，更因为不同知识体系的高度融合可能正是研究复杂系统的重要突破口。希望作者的意图会得到理解。

成矿与大地构造的关系是一个复杂的大题目，成矿分析离不开大地构造背景的研究。在大地构造学领域中，学术思想活跃，学派林立，作为矿床研究者难以深入评论，也不宜把一种学派作为成矿系统分析的唯一依托。作者将本着构造现象是地球物质运动的重要形式之一，构造形迹是地球物质不同组合之间的界面，是反映地壳运动的信息这一观点，在成矿分析中选用论据最充实最有说服力的构造解释，而不论其学派归属。这样做，可能会有名词杂陈之弊，尚希行家指教。

本书分上、下两编。上编“成矿系统分析的理论基础”共分七章：第一章是成矿系统分析的方法论基础，对系统学科中涉及较多的主要分支简略引述；第二章至第四章主要对成矿系统建构的基本因素，包括成矿动力学体系问题，进行讨论；第五章至第七章为基础成矿系统各论。下编成矿系统研究方法及应用共分四章，包括成矿系统特征半定量评估，成矿系统分析方法体系的论述及其在陕西秦巴地区的应用。

本书得以问世，应感谢西北有色地质勘查局第一线工作者长期实践提供的坚实基础资料；应感谢我局及研究所领导对这项很难短期见效的探索工作所给予的人力、物力支持。王世称、[王俊发]、祁思敬等教授和周志靖、赵宏海、王汝融等总工程师组成的科研成果鉴定委员会对本书所依据的重要科研成果进行了认真的评审，给予了极高的评价，并提出深化成矿系统理论研究的重要建议。作者的主要论文和总结●●●●●曾得到翟裕生、罗耀星、夏卫华、张国伟、翦万筹等教授和张锦樵、王之田、王集磊、何伯墀、杨锦源、何典仁、徐景、李幸凡、任有祥、罗才让等高级工程师的评议指教，获益良多。在进行秦巴

- 李人澍，1987，区域成矿规律若干问题的探索（内部材料）。
- 李人澍，1989，成矿系统分析方法在陕南区域成矿研究中的应用，第四届全国矿床会议材料。
- 李人澍，1990，成矿系统建构与成矿预测，中国有色总公司成都地质干部学院讲稿。
- 李人澍，1991，区域成矿分析方法的理论探索（内部材料）。
- 李人澍，1991，成矿系统若干理论问题的探索，西北有色地质研究所所刊第1号。
- 李人澍，1992，成矿系统网络的信息指标体系，西北有色地质研究所所刊第2号。

区域成矿研究中，作者的主要同事刘孝忠、史伦祥、张炳熊、姚本许、张素英等在秦巴基础地质、矿产地质研究成果和图件制作上为本书奠定了基础。本书英文摘要承孙高民讲师审校；本书的图件清绘由田玉礼、白玉洁等完成。作者荣幸地指出：本书承蒙宋叔和院士（以下按姓氏笔划排列），祁思敬教授，何伯墀、郑之英教授级高工和翟裕生教授等进行了严格认真的评审，对本书的理论性、实用性和创新性作了充分的肯定，提出了极其中肯的改进意见。最后，尤应指出，由于中国有色工业总公司地质勘查总局的领导和有关人员的支持，才使本书得以公开出版。谨此一并致谢！

作 者

上编 成矿系统分析的理论基础

第一章 成矿系统分析的方法论基础

第一节 系统科学简介

系统科学发展到今天已有多个分支,他们各有侧重又相互补充,其中一般系统论的基本观点依然是最重要的。本节将以系统论为主体,结合成矿系统分析涉及的某些分支,综述其梗概。有兴趣者可参考有关专著(普里高津,1987;贝塔朗菲,1987;托姆,1989;格莱克,1990;哈肯,1984;切克兰德,1990)。

(一) 系统概念和主要特征

系统是由若干相互联系和相互作用的部分(要素、过程)所构成的一个整体,它具有各组成部分在孤立状态下所不具有的整体功能,在其存在过程中总与环境发生一定联系。系统具有一定的内部结构,在一定条件下,它与功能互为因果。绝大多数事物,包括物质和观念,自然和人工产物,都可归入系统。系统具有以下一系列特性。

1. 系统的整体性

一切系统都是有机的整体,系统总体功能一般都不等于而且常大于部分功能之和,亦即所谓“系统功能的非加和性”。系统的整体性质是“系统质”,将事物分解研究再简单地综合,不能真正理解事物。显而易见,分子不等于原子的简单相加,区域地质构造不等于各种岩石的相加。运用“地质图加矿点”的预测方法,以及“矿化集中区就是成矿远景区”的思路自然难以查明成矿规律,提高找矿效果。研究成矿系统,就要力图查明不同成矿系统的“系统质”。系统的整体性通过系统的相关性而实现。

2. 系统的相关性

任何系统都可分为更小的子系统,系统又是更大系统的要素。系统与要素之间的联系可以是单向的控制作用,如基性、超基性岩对Cr、Ni、Co、Pt等矿产的成矿专属性;也可以是交互的(反馈的),如流体对地层中矿质的萃取和流体之被矿化。任何具系统性质的事物从一个系统中分离出来,必落入另一系统。要素与要素之间的各种组(耦)合方式是系统的结构联系。结构联系使系统内部形成一定秩序。系统联系揭示给定系统与其它系统的纵向与横向关系,如同时形成的优冒地槽对、双变质带(横向)、先后叠加的成矿带(纵向)。功能联系指系统与环境之间的关系,表现为系统将环境输入的物质、能量、信息,通过内部结构转换为输出的过程。如热卤水进入矿源层系统,通过岩石孔隙渗流萃取矿质,成为新的成矿流体离开岩层。起源联系指示系统以何种方式产生和发展。秦岭地槽

系是古中国地台裂陷后历经加里东期至海西期的发展，于印支期闭合并与南北地台结合而结束其地槽生命。即是说秦岭地槽涉及古中国地台的起源联系。以往科学研究中所强调的单向因果联系只是系统诸多联系中的很小部分。复杂的系统常有一因多果，一果多因及交叉因果链存在。在韧性剪切带成矿过程中存在的复杂交叉因果链极为典型（参见图 7.20）。现代系统动力学则主张采用反馈因果关系代替单向因果联系概念，这一概念尤其适合成矿巨系统的情况。

过去地质学中过分强调对系统诸要素的分别研究，现代地质学理论实践的新发展，包括宏观上的全球成矿对比和诸多微观信息收集手段的问世，使上述成矿系统内外的诸多联系的研究成为可能，并能有效用于成矿研究和成矿预测。

3. 有序性

任何系统在其保持整体特性和功能时，各部分物质按一定方式组织，按一定秩序运动，这就是系统的有序性。系统科学以“熵”表示系统的无序程度，以负熵^①或信息量表示有序度

$$R = 1 - \frac{H}{H_m} \dots\dots\dots \text{(公式 1)}$$

式中 H_m 为系统的最大熵， H 为系统的现实熵。系统最大熵值愈大，现实熵愈小，则系统有序度愈大。根据熵值计算公式，一个系统所包含的要素及要素的状态数愈多，则 H_m 值愈大，其达到的有序度愈高。这一关系可以用于成矿系统有序度和演化程度的判断和对比。

系统的有序性变化超过一定阈值，系统整体特征和功能就要改变。此时，系统可向更加有序的方向演化，或有序度降低，甚至重归无序。有无稳定负熵流的输入是决定系统能否继续存在并向前演化的关键所在。

系统演化有五种基本形式，即自组织、自相似、自复制、自催化和自反馈，其中自组织是基础。系统的结构、功能都是系统自组织的产物，一切系统都有不同程度的自组织能力。非平衡理论指出：只有在非平衡背景下，系统要素之间有较强的非线性相互作用基础上，由一定结构、功能构成的系统才具有显著的自我组织特征。自相似指系统不同层次间结构与功能的某种相似性。自复制是系统在类似环境下产生类似结构功能新系统的能力。自催化是系统影响其演化方向和速度的特性。所有系统都具有一定的自反馈能力，可根据外界和自身信息调节内部要素间及系统与环境间的关系。这五种形式可以交互作用，形成系统的综合组织力。它关系到系统的稳定性与演化方向。不同成矿系统自组织能力的大小，涉及该系统能否在演化中不断进化，有多大的产出概率，以及成矿规模等重大问题。

4. 稳态动态性

平衡态是系统最无序状态，其内部没有能量传递和物质转换过程，既不耗散能量，又无作功能力。系统在非平衡态中稳定地保持有序性，称为稳态，其内部有能量传递和物质转换的宏观过程，并不断与环境交换能量与物质，不断耗散能量保持作功能力的活跃状

① 普里高津指出，一个开放系统的总熵 $ds = des + dis \dots\dots$ （公式 2）。式中 dis 为系统本身不可逆过程所引起的熵增，系统与环境交换物质能量产生的熵流（ des ）可正可负，当负熵流绝对值大于 dis 时，系统总熵将减少，有序度上升。