

矿石的构造和结构

(苏联) A.Г.别捷赫琴 A.Д.耿 金 著
A.A.菲利蒙诺娃 T.H.沙德隆

中国工业出版社

矿石的构造和结构

(苏联) A.Γ.别捷赫琴 A.И.耿金 著
A.A.菲利蒙诺娃 T.H.沙德隆

中国工业出版社

本书是在苏联著名矿床学家 А. Г. 別捷赫琴的参加下集体编写而成。共十九章，各章按一定顺序安排，由阐明结构和构造的概念开始，而以研究结构-构造的实用意义告终。在这许多章节中，叙述了在研究矿石结构和构造当中所涉及的一些基本原理，同时也考虑到成矿理论的最新成就。

作者们都是矿床专家，曾以多年的精力研究了各种不同成因的金属矿床的结构-构造特点，积累了大量的实际资料，为本书的编写工作打好了很好的基础。编写本书的目的是为了进一步阐明成矿沉积过程及成矿条件，以便更能正确地指导普查勘探工作。此外，研究矿石结构-构造特点在选矿工作中也有很大意义。

本书插图新颖，叙述精辟，可作为普查勘探人员及科学研究人员的重要参考书。

本书原序、绪论、第一章至第三章由譚榮森翻譯；第四章至第八章由康介民翻譯，譚榮森校對；第九章至第十一章由岳樹勤翻譯，李应运、王伟校對；第十二、十三、十六、十七、十八、十九章由王伟翻譯；第十四章由王貴君翻譯，王伟校對；第十五章由王伟、王貴君合譯。

А. Г. Бетехтин, А. Д. Генкин,
А. А. Филимонова, Т. Н. Шадлуш
ТЕКСТУРЫ И СТРУКТУРЫ РУД
ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ
• МОСКВА 1958

矿石的构造和结构

地質部地質研究所編輯（北京西四羊市大街地質部院內）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本787×1092¹/₁₆·印张 21·字数493,000

1962年11月北京第一版·1962年11月北京第一次印刷

印数001—911·定价(10-6)2.70元

*

統一書号: 15165·1530(地質-157)

目 录

原序	5
緒論	7
第一章 矿石结构研究史	9
第二章 “结构”和“构造”概念的定义	17
岩石结构的概念 (18)	
第三章 “结构”和“构造”的概念在矿石中的应用	27
矿石的结构 (27) 矿石的构造 (38)	
第四章 熔融体和溶液的结晶	50
均匀液体介质的结晶过程 (50) 温度、压力和化学组份的浓度对熔融体和溶液结晶的影响 (56)	
第五章 关于胶体溶液和凝胶	60
胶体溶液的性质 (60) 悬浮体分散相的结构 (61) 分散相的凝聚和凝胶的缩水 (62)	
胶体溶液形成的条件 (64) 凝結物形成的条件 (66) 凝結物沉淀的过程 (72)	
第六章 胶体溶液参与矿石形成的标志	77
胶状集合体 (77) 鱗石 (90) 乳胶悬浮体 (94) 韻律条带沉积物 (98) 結晶溶胶 (100)	
第七章 凝胶的重結晶	106
凝胶重結晶时粒状集合体的形成 (106) 凝胶重結晶时干裂紋的形成 (113)	
第八章 矿石中矿物置换的标志	121
矿物的溶蝕 (121) 有新化合物或固溶体形成的置换作用 (132) 扩散置换作用 (141)	
第九章 斑状变晶	151
金属矿床中斑状变晶的特征 (151) 斑状变晶的特征 (169)	
第十章 矿物的溶解及其所产生的空洞被新产物的充填	174
单矿物充填假象 (174) 复矿物充填假象 (185)	
第十一章 金属矿物的分解现象	190
矿物在氧化作用影响下的分解 (190) 矿物在还原条件下的分解 (199)	
第十二章 固溶体的分解现象	204
固溶体 (204) 固溶体的分解 (208) 識別固溶体分解结构的准则 (217)	
第十三章 造矿矿物的破碎现象和柔性变形	219
矿石脆性变形的标志 (219) 矿石柔性变形的现象 (224)	
第十四章 变质作用时矿石的重結晶	232
由于成矿后的构造破坏 (断层, 平移断层, 挤压带等) 而发生的矿石重結晶 (232)	
由于区域变质作用而发生的矿石重結晶作用 (238) 由于热力变质作用而发生的矿石重結晶 (253)	
第十五章 内生金属矿床中的矿化期	258
矿化阶段 (258) 矿化期 (261) 矿物的世代 (269)	

第十六章 矿物的共生关系和生成顺序	273
矿物共生关系具体实例的分析 (274) 金属矿床中铁和铜的硫化物与氧化物的共生 关系 (282)	
第十七章 矿石构造和结构的研究方法	287
野外观察 (287) 实验室研究 (291) 观察结果的解释 (296)	
第十八章 光片的结构浸蚀	303
结构浸蚀的特点 (303) 顺利进行结构浸蚀的必要条件 (305) 结构浸蚀法 (306) . 结构浸蚀的虚假效应 (312) 结构浸蚀对研究矿石光片的意义 (314)	
第十九章 研究矿石结构-构造特点的实际意义	319
详细的矿相研究在选矿工作中的意义的例子 (319) 矿物共生组合和矿物共生关系的 规律对普查工作的意义 (326)	
参考文献	331

原 序

苏联科学院金属矿床地質学、矿物学、岩石学和地球化学研究所矿相实验室的全体研究員^①，在伟大的卫国战争以后的年代里，曾詳細研究过在成因上极不相同的金属矿床的结构构造特点，为的是要闡明矿石沉积过程和矿物形成条件。还在三十年代（別捷赫琴，1934，1937₁）便已拟定并在苏联地質刊物上发表过的“构造”、“结构”、“結晶顆粒的組构”諸概念的准則便成为这次研究的基础。近几年来研究矿石的实践，完全証实了研究矿石产物組构的这种途径是正确的。

用来研究矿石结构构造特点的基本資料，是三十多年来在矿相实验室中研究各种金属矿床所积累起来的成套光、薄片。一部分标本或照象資料則取自本所和苏联科学院其他研究所的研究員（Г.И.布申斯基、О.А.沃罗比耶娃、А.А.戈多維科夫、И.В.杜布罗娃、В.Н.杜布罗夫斯基、А.С.叶戈罗夫、И.Н.克加依、О.Д.列維茨基、Л.М.列別捷夫、В.П.罗吉諾夫、Б.П.克罗托夫、Д.В.馬托林、В.С.米雅斯尼科夫、Д.О.翁托耶夫、Н.В.巴甫洛夫、М.М.波維萊齐斯、О.П.波利亚科娃、Н.М.普罗科品科、Е.А.拉德克維奇、И.А.魯卡維什尼科娃、Г.А.索科洛夫、А.И.齐什金、А.Л.杨尼茨基等）。

此外，資料还来自苏联科学院分院、各加盟共和国科学院、費尔斯曼矿物博物館、地質学院和地質勘探学院、莫斯科加里宁有色金属与黄金学院矿产教研室、国立莫斯科罗蒙諾索夫大学等，以及地質部、前有色和黑色冶金部的科学研究机关和生产单位的工作人員（Г.А.阿瓦利安、С.Т.巴达洛夫、Г.П.巴尔桑諾夫、Я.Н.別列弗采夫、Ю.С.博罗达耶夫、В.А.瓦赫魯舍夫、А.С.戈利科夫、Г.И.戈尔布諾夫、Д.П.多利哲、Д.А.晉科夫、Н.С.臧托夫、Т.В.伊万尼茨基、С.А.卡申、А.Ф.柯尔任斯基、В.Н.柯特利亚尔、П.И.庫秋欣、И.К.拉迪什、А.А.魯依克、В.Т.馬特維因科、В.Д.尼基亭、Л.Н.奧弗琴尼科夫、А.П.彼列利亚耶夫、Н.В.彼得罗夫斯卡婭、В.Э.波雅尔科夫、Д.В.隆德克維斯特、И.З.薩蒙諾夫、В.И.斯米尔諾夫、Л.Н.赫特契科夫、И.Н.契尔科夫、А.Д.謝格洛夫、К.Ф.謝尔巴科娃、Ю.Ю.尤尔克等）。

还有得自中国（叶連俊等）、捷克斯洛伐克（М.伊万諾夫）、波兰（Т.加尔克維奇）和德国（П.拉姆多尔）地質学家的成套矿石。

我們謹向上述各位表示真誠的謝意，感謝他們的支援和同志般的帮助。

此外，我們認為有必要指出苏联科学院金属矿床地質学、矿物学、岩石学和地球化学研究所磨片室的工作同志們（А.Я.克賴紐科娃、Ф.М.奧尔洛娃、Н.Ф.博內金娜）和照相室的工作同志們（В.А.庫茲明、В.Н.宰采娃等）的大力帮助。

可見，矿相实验室的同志們研究过大量能說明矿石构造特点的資料。結果发现了許多前所未見的新因素，分析这些因素便能按照与前不同的另一种方式闡明成矿理論的某些問題。这些新見解，在已出版的杂志論文和“岩浆金属矿床基本問題”这一論文集中，均有反

① 成員有А.Г.別捷赫琴、Т.Н.沙德隆、П.Ф.安德魯申科、А.И.耿金、А.Т.苏斯洛夫和А.А.菲利蒙諾娃。

映。

因此，矿相实验室的全体研究员决定编写关于矿石的构造和结构研究的这种方法指南，以便表明这些研究对于金属矿床学的发展具有何等重要的意义。编制本书的主要目的，就在于引起金属矿床研究者对书中所涉及的问题给予较大的注意。这也就是书中引用最标准的插图的原因。

提供读者研究的本专著由十九章组成，各章系按一定次序安排，由确定“结构”和“构造”的概念开始，而以关于研究矿石结构构造特点的实际意义一章告终。在这许多章中，述了与研究矿石结构有关的基本原理，同时也考虑到成矿理论领域内的最新成就。

A. Γ. 别捷赫琴写第二、三、四、五、十五、十六、十八、十九章，T. H. 沙德隆写第七、八、十四、十七章，A. Д. 耿金写第八、九、十一章，A. A. 菲利蒙诺娃写第十二章。六章是A. Γ. 别捷赫琴和T. H. 沙德隆合写的，而第十章则是与A. Д. 耿金合写的。

今后打算出一本关于各种成因类型的矿床的矿石结构构造特点的汇编，并综合与该问题有关的现有一切资料。自然，这种综合将能修订并明确矿石的构造和结构分类。

A. 别捷赫琴

緒 論

還在本世紀二十年代前几年，当刚开始为我国工业查明矿物原料基地而开展地質勘探工作的时候，便已在研究金属矿床的苏联地質学家面前展开了詳細研究矿石的广泛可能性；而且研究的不仅是矿石的成分，同时还有矿石的組构特点。最早的研究是对在成因上与超基性火成岩有关的原生鉑矿床、烏拉尔的黃鉄矿类矿体、阿尔泰多金属矿床及其他类型矿床进行的。

應該指出，对研究矿石的成分和組构的这种兴趣，在很大程度上与新方法的进入科学研究工作的实践有关，这种方法就是在反光中研究矿石的磨光标本，也就是后来形成为一門独立学科——矿相学的方法。因此，回忆一下A.Π.卡尔宾斯基的名言是有点好处的，还在上一世紀八十年代之初，当編写第一本俄文的金属矿床教程^①时，他写道：“應該想到，关于矿床的学說，只有当运用极精确的地質研究方法来研究这些复杂而又极不同的产物，例如，当构成矿床的岩石^②用显微镜研究之后，才会是完整的科学”。这几行字写了經過40年之后，A.Π.卡尔宾斯基已有可能知悉烏拉尔原生鉑矿石的矿相学研究的首批成果了，他对这些矿石的成因（当于1890年发现第一个矿床以后）是极其感兴趣的。

随着矿相学研究的扩大，已經弄清楚，矿石的組构比早先根据手标本和矿山坑道掌子面的观察所設想的多样化要大得多。热液成因的矿床更是如此，重金属工业堆积的全体便集結于这种矿床中。十分自然，矿石組构特点的这种多样化，是由种种原因造成的，这些原因就是：矿石沉积过程的复杂性，伴随着矿石的沉积常有后来的矿化阶段的多次重迭，較早沉积的物質与残余溶液的反应，矿石成分中相的变化，以及常見的最初沉积的矿石的重結晶和变質現象，等等。

只有既在矿山坑道的掌子面上，又在光面和光片中系統研究矿石的組构，才能分析成分不同的矿物組合的相互关系和形成順序，以及与其有关的成矿过程的历史。正如实践所表明的，这些研究极为困难，并要求在开采該矿床的矿体的整个时期內都不断地进行观察。虽然如此，但这种作法却能揭露成分不均一的矿物体在空間分布上的重要規律性，即可查明用来指导找矿勘探工作的規律性。

現在，并不能說我們在这一实質上还研究得不够的知識領域內，已拥有多少詳尽无遺的实际資料。成因特点不同的矿床，在組构細節上的变化是如此之大，以致几乎每当我们去系統研究不十分寻常的某一矿床时，在矿物組合的关系、它們的形成順序及空間分布上，都要发现一些前所未見的新的特点。因此，今后在这一方面还要进行广泛的研究，这些研究无疑会給我們的关于成矿过程的概念带来許多新东西。

但是，在我們感兴趣的一些問題上，現在总算已积累了相当丰富的材料。材料已发表在期刊的許多論文中，个别专著，論文集以及諸如“苏联矿物志”、“烏拉尔矿物学”之类的巨

① 以手稿形式保存于列宁格勒矿业学院的图书馆中。

② 所指的是含矿岩石和矿石。

書中。此外，還有相當數量有意義的實際資料呈報告原稿保存在科學研究所的檔案中，以及詳細研究金屬礦床的個別研究者手中。

由此看來，現在已經是迫切需要綜合並在理論上加以整理我們在这一領域內所已經知道的一切知識的時候了。本專著即是這種綜合的結果，進行綜合的目的，不僅僅是將研究不同成因類型的金屬礦床的礦石構造和結構時所积累的資料加以系統化。綜合資料的批判研究，能夠較肯定地發現礦石沉澱過程研究不夠的方面，並指出今後在理論研究上的任務。我們在这一領域內進行的工作的意義，在很大程度上是由這種原因所決定的。

應該指出，蘇聯科學院金屬礦床地質學、岩石學、礦物學和地球化學研究所的全體研究員，在綜合資料時，對與研究礦石結構特點有關的問題，順便又進行了廣泛的補充研究。首先是重新審查了早先用來判斷礦石中礦物時代關係的準則，並根據大量實際資料驗證了它們的可靠程度。有鑒于此，故特別注意了礦石物質沉澱以後，由於周圍介質中的物理化學條件的改變而引起的分布極廣的物質重新組合的現象。由於這些轉變實質上是在固態下完成的，所以往往導致礦物間相互關係發生相當大的改變，自然，在研究礦物沉澱的順序或新礦物組合在成礦過程的後生階段中的形成順序時，對它們是不能不加考慮的。沒有這一切現象的解釋，就不可能得到關於下列情況的正確概念，這就是在每一具體情況下，礦物從溶液中是按什麼順序析出，以及已沉澱的礦石在成分上和結構上的後生變化是按什麼順序進行的。

此外，系統研究礦石物質的結構特點和分析精確科學的現代成就所確定的事實，還能揭露成礦過程在理論上和實踐上的極為重要的規律性，這些規律性都是以前的研究方法不可能發現的。下面的情況，即按照新的方式審查了金屬礦床學說中最重要的應用於礦石中的礦物共生問題大大地促進着這一方面的发展。這一方向在礦石的研究中究竟有多大用處，可以這樣來判斷，這種方式能夠解決這樣一些重要的理論問題，如由於物理化學因素和地質因素的不同，含金屬的溶液中的硫和氧的狀態在礦石沉澱中的作用；成礦過程中，介質的氧化還原電位值；化學反應在由膠體溶液中生成金屬礦物時的作用；等等。這些研究結果得出了一些比較現實的、關於熱水溶液的化學性質、金屬在其中搬運的形式和礦石沉澱過程的作用方式等概念。

若不詳細研究礦石的結構特點和成分不同的礦物組合的生成順序，以及它們在金屬礦床中空間分布的規律性，所有這些理論成就都不可能取得。這就是說，我們在本書中所探討的那些問題都是迫不及待的。

第一章 矿石組构研究史

对矿体的构造，尤其是脉状金属矿床的构造的研究，早已引起重視。例如，大家知道，还在阿格里科拉和罗蒙諾索夫时代，金属矿床研究者就曾试图了解矿物質在矿脉中分布的規律性。

在还没有显微镜研究矿石的方法的那些时候，地質学家主要是注意矿脉之間的相互关系，它們的构造特点和矿物集合体在矿脉的各个部位的分布。矿石的研究，基本上是从属于在矿床中寻找富含金属的地段（矿柱）的任务的。

为了闡明矿体的形成条件，也要求仔細研究各种矿物集合体的相互关系，但是还没有积累起十分充足的实际資料来作广泛的綜合。仅仅是在十九世紀后半期，在資本主义发展的时期，当时欧美各国已开采大量金属矿床，对矿石組构的問題才开始有了愈来愈大的注意。这时，已积累了有关极不同类型的金属矿床的大量实际資料，要求加以綜合。这就湧現出有关矿床描述和矿石起因問題的大量文献。

在十九世紀末和二十世紀初的著名地質学家的許多专著中，尤其是捷克学者波塞卜尼，德国地質学家貝克、波恩哈特等，以及曾在彼得堡矿业学院攻讀多年关于有用矿产專門課程的金属矿床权威博格丹諾維奇等人的著述中，均有金属矿床的构造和矿物相互关系的詳細描述。他們的著作包括一些有意义的素描和照片資料，用以說明矿石在掌子面和单个标本中的构造。

Φ.波塞卜尼在关于列茨巴尼亚矿床的研究著作中，主要是在“金属矿床的成因”一书中（Росерны, 1874, 1902），当分析脉状矿床和其它类型矿床的成因問題时，引用了矿石构造特点的許多插图，这些插图对确定它們的形成方式具有重要的意义。

Р.貝克在“金属矿床学”（Beck, 1909）一书中，当描述不同成因类型的矿床时，也用許多掌子面素描和矿石标本的素描來說明矿石的构造。

К.И.博格丹諾維奇在其巨著“金属矿床”（1912，卷I）中，对矿石的构造赋予很大的注意，并专辟一节来闡述这一問題。虽然他把矿石标本在肉眼下观察到的組构算为“組織”（сложение）。但是，詳細审查他所引用的不同类型矿石組織的名称（带状、皮壳状、层状、角砾状、晶脉状、帽章状、細胞状等），便不难証实，他在組織这一概念下所考虑的，就是我們現在所称的矿石的“构造”[●]。他在教程中引用了相当多的照片，来表明不同成因类型的金属矿床的最典型的构造。

應該說，博格丹諾維奇實質上是我国最早提出关于研究矿石构造重要性的人。他強調說，研究矿石物質的組織“既具有科学意义，在矿石选矿和矿床評價中又具有实际意义”。

在描述矿石的个别构造特点时，他說道，在一些情況下，成分不同的矿物質的沉积大致是同时进行的（例如条带状輝长岩-磁鉄矿的异离体便証明組成它們的条带是同时形成的）；在另一些情況下，生在空洞中的矿石的带状或皮壳組織，則說明各个皮壳是依次沉积的，“其中每一皮壳，分布愈靠近围岩的，均比离围岩远的为老”，等等。

● 應該指出，“构造”一术语首先是格魯宾受于1910年提出的。普遍使用这一术语要稍微晚一些。

博格丹諾維奇在談到實用方面的問題時，則注意到礦石選礦的複雜程度。例如，組成部分相當大的礦石，照他說來，就容易進行手選。“當礦石為帶狀組織時，則選礦的難易便隨各個皮壳的厚度而定。如果皮壳很薄，那就只好將全部物質均粉碎到泥渣狀態，這便會增加技術上的困難並提高礦石的成本”。

當研究礦石的構造特點時，遇到在手標本的不平表面上不能十分清晰地觀察到礦物質的時代關係的時候，便將礦石標本磨光。看來，研究礦石標本的這種方法，是在本世紀初，M.Д.斯特拉托諾維奇根據烏拉爾圖里耶礦山的著名調查者E.C.費多羅夫的倡議而首先採用的。為了闡明半氧化礦石標本中銅的原生化合物和氧化產物的相互關係，他曾將磨光面用漆塗上，以預防進一步氧化。

在波恩哈特 (Bornhardt, 1910, 1912) 和其他學者的著作中，我們也找到有礦石磨光標本的照片。

不久之後(二十世紀的前四分之一末)，礦石光片的顯微鏡研究便得到廣泛的發展，自然，這就為研究礦石物質的許多特點开辟了廣闊的前途；對各種礦物細小連晶及其時代關係的研究、礦物集合體配合方式的研究、礦物共生特點的研究等方面，尤其是如此。

應該說，還在1814年便第一次出現了瑞典著名化學家和礦物學家別爾且留斯關於他利用顯微鏡來研究礦石結構的報導。這位研究家在當時便已指出，礦物學家研究礦物時應該利用研磨和拋光，特別需要用來研究欲作化學分析的物質，因為在光片中能夠確定“由外來機械混入物而引起的結構上的不均一性”。他強調說，這樣做可以避免在確定礦物的化學成分時犯錯誤，這對於天然的金屬硫化物特別重要。

但是在以後的年代里，幾乎到十九世紀末葉，地質學家也不採用這種研究方法。只在顯微鏡下利用反光對金屬礦物進行過零星的研究。

例如，鮑姆豪爾在他的關於赫洛里達(新墨西哥)斑銅礦的顯微鏡研究的著作中(Baumbauer, 1885, 1886)，曾將浸蝕既用來鑑定礦物，又用以顯現結構特點。他不僅研究了並且還精確地確定了浸蝕后的光片中斑銅礦、輝銅礦、黃銅礦和方鉛礦的相互關係，並且還根據這種關係作出了關於這些礦石中礦物集合體的時代關係和成因特點的重要結論。他還用同一方法研究過砷鉛礦—砷鎳礦系列的礦物族。作者在他的作品中首先提出了在經過浸蝕的光片中金屬礦物連晶和內部組構的圖形。

後來，胡沙克(Hussak, 1904)借助於鈦磁鐵礦石的光片的浸蝕確定了鈦鐵礦、磁鐵礦、尖晶石和其他礦物的不同種類的連晶。他為了確定鈦鐵礦晶片在磁鐵礦中的結晶學位置，還利用過定向光片。

B.坎別爾在二十世紀初改進了由硫化礦石製備光片的技術，並首先在顯微鏡下研究了銅鎳硫化礦石。於1906年，他發表了一篇專門論文，論述不透明金屬礦物的顯微鏡研究方法(Campbell, 1906, Campbell a. Knight, 1906)。

貝克(Beck, 1907)在反光中研究光片中的鉑礦物時，描述了鉑與鉻鐵礦、橄欖石和透輝石的時代關係。他還利用浸蝕確定了鉑分泌物的粒狀結構和個別鉑顆粒的環帶構造。

但是，較詳細地研究含鉑鉻鐵礦石的，卻是我們的著名學者H.K.維索茨基，他研究了在烏拉爾下塔吉爾純橄欖岩體中於1890年發現的第一個原生礦床的礦石。他既在薄片，又在光片中詳細描述了各種造礦礦物，其中包括自然鉑的相互關係。這些研究的成果均收集在他的專門巨著“烏拉爾伊斯區和下塔吉爾區的鉑礦床”中，該書出版於1913年。

孔尼斯伯格(Königsberger, 1908, 1909, 1910)首先將顯微鏡下對非均質效应的觀察应用于金属矿物中。我們知道, 后来, 許多金属矿物的这一性質也被广泛地用来确定矿物集合体的結構。

以后, 在外国文献中直到二十世紀三十年代才出版了关于矿石顯微鏡的方法, 关于新仪器的改进和設計方面的一些著作, 同时也出版了第一批如繆尔道奇(Murdoch, 1916)、大卫和法恩汗(Davy a. Farnham, 1920)、史奈德洪(Schneiderhöhn, 1922)等几位作者关于金属矿物在反光顯微鏡下的鉴定手册。

万·德·文的著作“矿相学和矿石沉积”(Veen, 1925, 卷 I)与史奈德洪和拉姆多尔的“矿石顯微鏡指南”一书(Schneiderhöhn a. Ramdohr, 1931, 卷 I)也应属于外国作者的首批著作, 其中不仅已經出現了金属矿物鉴定特征的一些綜合, 同时也有关于矿物顆粒連生的資料。

特別應該指出万·德·文的書的重要意義, 他最先試圖對某些類型的金属矿物, 尤其是天然金属的連晶給以物理化学解釋。

当顯微鏡已用于矿石研究的日常实践并出現了第一批光片制备方法指南和不透明矿物在反光顯微鏡下的研究指南之后, 便开始进行矿物集合体的研究了, 研究目的既要确定矿石的成分, 也要闡明矿物顆粒在集合体中的相互关系, 即矿石的結構。

在我国, 矿相学研究是在1917年的伟大的十月社会主义革命之后才开始发展的。如所周知, 沙皇俄国的矿山工业是处于很低的发展水平上的。已开拓的矿床为数不多, 并且其中許多在地質方面也是研究得很差的。

因此, 在革命之后, 由于国民經济的根本改造, 便要求在建立强大的矿物原料基地方面采取坚决的措施。在我国領土上便开展了广泛的普查勘探工作和科学研究工作, 来研究許多金属矿床。这也刺激了对成因类型极不相同的矿石的顯微鏡研究的发展。

K. 維斯康特(1918)的論不透明金属矿物的顯微鏡研究法是苏联刊物上出現的第一篇論文, 文中坚持研究矿石物質的人要注意到, 这一新方法能够得出許多东西, 来解决实际任务和科学問題。

矿相学研究引起了多大的兴趣, 它在研究金属矿床的事业中究竟起了多大作用, 可以根据下面这一点来判断, 早在1922—1923年便在列宁格勒矿业学院中, 后来不久又在其他高等矿业学校和大学中(尤其是莫斯科地質勘探学院、烏拉尔綜合技术学院等), 都由矿床教研室开出了矿石的顯微鏡研究法的課程, 而在进行有用矿产的矿床这門課程时, 矿相学的教学大綱也被認為是必不可少的了。

矿石的矿相学研究也开始在我国最高国民經济會議系統內的科学研究机构中发展起来了, 因为在它們的任务中加入了尽快地开拓金属矿产的新产地, 并为我国的基本工业部門建立原料基地。因此, 在許多地質部門和生产单位中都开始了对矿石光片和光面在反光中的專門研究。尤其是好多单位中都已着手矿石的系統研究, 还在二十年代之初, 在烏拉尔鉑托辣斯和烏拉尔銅托辣斯的一些企业中便已創始(А. Г. 別捷赫琴、П. М. 查米亚琴), 后来不久, 莫斯科应用地質学和矿物学研究所(Е. Е. 查哈罗夫)和列宁格勒地質委員會中也在进行研究, Н. Ф. 格里戈里耶夫首先在列宁格勒地質委員會中用反光研究了阿尔泰的多金属矿石, 而А. Н. 查瓦里茨基則研究了烏拉尔黃鉄矿类矿床的矿石和磁山的磁鉄矿石。

总的說来, 應該指出, 無論是國內还是国外, 在二十世紀前二十五年中, 关于矿石的

显微镜研究方面的工作，基本上都限于矿石的研究方法和金属矿物鉴定方面的问题。已发表的著作的内容证明，显微镜研究矿石的主要目的，是利用得到的资料来作选矿，以及矿石的综合利用，做到不仅利用最重要的元素，同时也要利用矿物原料中伴生的其他贵重组分。因此，在矿相学发展的这一草创时期内，主要是注意矿石的成分，矿物的物理性质和化学性质，矿石颗粒的形状、大小和矿物连生的特点，在对不同的矿物原料选择合理的选矿方法时，知道这些是非常重要的。

因此，矿相实验室首先在矿石选矿研究所得到的广泛的建立是十分自然的。大家知道，在这些实验室中，将光片在反光中研究的，不仅是矿石，同时也有其选矿的产物（精矿、中间产品和尾矿），其目的在于控制选矿过程。

后来不久，从二十年代末开始，随着关于矿物连晶资料的积累，金属矿床研究者便对一些与金属矿床学说直接有关的问题感兴趣起来了。尤其是对阐明成矿条件具有极重要意义的矿物的时代关系和矿物组合的沉积顺序问题，也开始引起了地质学家们的重视。

在我国的地质刊物中，开始出现了一些不仅是描述成分，同时也根据详细的矿相学研究描述矿石结构的著作（И.Ф.格里戈里耶夫，Е.Е.查哈罗夫，С.А.瓦赫罗麦耶夫等）。同样地，在外国的论文中，也针对这一主题发表了一些关于成因类型极不相同的金属矿床的材料。时机已经成熟，对在矿石中所观察到的结构特点迫切需要加以系统化。

矿石结构的第一部详细汇集和分类是属于苏联学者И.Ф.格里戈里耶夫的，他发表过一篇长篇论文“矿石中矿物连晶的结构”（1928）。他将矿石和岩石的结构加以比较后，强调指出矿石中结构标志不寻常的多样性和不稳定性。他还指出矿石物质在固相中改组的巨大能力，这就使得矿石的结构与变质岩的结构相接近了。

И.Ф.格里戈里耶夫提出了矿物连晶的结构分类的下列总的方案。

I. 沉积结构：粒状结构；斑状结构；图案结构；次图案结构；环带结构；条带结构；鲕状结构。

II. 混合物分解结构：网环结构；格子结构；乳浊结构；图案结构；不均一结构。

III. 置换结构：线状结构；网环结构；团粒结构；骸晶结构；图案结构；格子结构；环带结构；晶枝结构；胶结结构。

IV. 偏胶质结构：胶状结构；珍珠结构；球粒结构；条带结构；环带结构；凝胶结构。

V. 压力结构：挤压结构；破碎结构；条带结构；粒状结构。

同时应该指出，И.Ф.格里戈里耶夫并未在矿石的显微构造特点和结构特点间给以区分，而只是将“构造”一概念保留来表示肉眼可见的矿石的组织。

后来，于1934年在“苏联地质问题”杂志上刊载了А.Г.别捷赫琴的著作“论矿石的结构和构造”，作者在文中将“结构”和“构造”二概念作了合理的区分。他建议将“结构”一术语理解为形状和大小（绝对大小和相对大小）不拘的结晶颗粒在该集合体中配合的方式，而“构造”一术语则表示组成矿石的、但矿物成分或结构彼此不同的矿物集合体的配合。同时，岩石或矿石的结构是在显微镜下观察或是用肉眼观察（例如在伟晶岩中）并无原则意义。对于矿石的构造也是如此，随组成矿石的矿物集合体的大小不同而划分为粗显构造和显微构造。

基于这些概念，А.Г.别捷赫琴在1937年发表了矿石结构和构造的详细分类（苏联科学

院院报, 地質丛刊, 第1和第2期), 并且这还是对矿石构造的最早分类。

如所周知, 詳細研究矿石构造和结构的意义在于, 用这种方法能够找到矿石中矿物組合生成順序的解释。如И. Ф. 格里戈里耶夫所早已指出的, 矿石以其结构极其复杂而与岩石不同, 它往往具有后来的矿化阶段的重选的特征, 并且較早沉积的矿物集合体发生交代作用或变質作用。因此, 矿石的这些特点便反映出复杂的成矿过程, 对矿石群的结构特点缺乏系統研究, 便不可能了解这种过程。

在战前五年计划时期, 在苏联铬铁矿床的矿石研究上, 进行了許多工作(А. Г. 別捷赫琴, Г. А. 索科洛夫, С. А. 瓦赫罗麦耶夫, С. А. 卡申等)。有着复杂的地質形成史的烏拉尔黃鉄矿类矿体, 在这些年內对其中矿石的研究也很重視(А. Н. 查瓦里茨基, Е. Е. 查哈罗夫, А. А. 阿米拉斯拉諾夫, С. А. 尤什科, С. А. 瓦赫罗麦耶夫, С. Н. 伊万諾夫, В. П. 洛吉諾夫, Т. Н. 沙德隆及其他許多人)。苏联矿相学在金属矿产的其他矿种的研究方面, 也取得了重大的成就, 尤其是錫、鎢、鉬矿石, 銅鎳、銅、鉛鋅、砷、銻等方面(С. С. 斯米尔諾夫, Е. А. 拉德克維奇, О. Д. 列維茨基, Л. В. 拉杜京娜, Н. С. 沃崙斯基, С. А. 尤什科, К. 契琴納泽等)。金矿床的詳細矿相学研究(А. А. 伊万諾夫, Н. В. 彼得罗夫斯卡娅, А. П. 彼列利亚耶夫, С. С. 鮑里善斯卡娅等), 已能揭露矿物形成过程中的有意义的規律性。在錳矿石和鉄矿石的矿相学研究中, 同样也取得了重大的成就(А. Г. 別捷赫琴, В. П. 克罗托夫, М. Н. 多布罗霍托夫, Д. Д. 托波尔科夫, П. Г. 潘捷列耶夫, А. Б. 巴塔洛夫等)。

所有这些矿石的詳細研究, 再加上在地質勘探工作中所取得的地質資料, 使得苏联学者能够在对矿石沉积过程的規律性和矿床成因的了解上提出許多新見解来。关于这些問題的大量实际材料, 曾发表在单独的文章和諸如“苏联矿物志”(1940, 卷I和卷II)、“烏拉尔矿物学”(1941, 1954, 卷I和卷II)之类的綜合性汇编中。

外国在这一时期所进行的研究, 其总的方向基本上是积累矿石结构方面的資料。基于矿物或矿物顆粒的相互关系, 曾试图确定矿物时代关系的准则。尤其應該指出的是, 1931年曾发表了美国地質学家的集体創作“在光片中观察矿物时代关系的准则”(Bastin, Gratton等, 1931), 其中曾试图拟定矿石中矿物的沉积順序或同时沉积的标志。

誠然, 这一著作中的許多原理都帶有探討的性質, 也远未包括矿石中所見到的结构构造特点的多样性。但是以后, 矿相学中的这一重要問題却未受到外国学者方面任何深入的研究。甚至在不久以前出版的巴斯丁(Bastin, 1950)和希瓦尔茨(Schwartz, 1951)闡述这一問題的书籍中, 与1931年所发表的比起来, 實質上也未提出任何新东西。

在1940—1950年間, 出版有外国学者, 尤其是爱德华(Edwards, 1947)、拉姆多尔(Ramdohr, 1950)●、巴斯丁(Bastin, 1950)、希瓦尔茨(Schwartz, 1951)等人关于矿石结构的許多汇集和手册。它們在頗大程度上都是以形式主义的态度来研究矿石的结构。上述作者都在从事于矿石结构的現有情报的綜合, 并试图在某种程度上給所观察到的不同类型的矿物連晶以地質解释。所有这些著作均未对“结构”和“构造”两个概念加以清楚的区分, 在关于矿物組合的时代关系、矿物的共生等問題上, 也缺乏明朗的概念。

在爱德华的著作(1947)中, 对固体溶液分解的结构描述較詳細, 而对置換结构、矿

● 爱德华和拉姆多尔的上述著作后来曾再版过, 在以后各章和参考文献目录中, 均引用其新版(Edwards, 1954; Ramdohr, 1955)。

物顆粒的環帶、條帶和變形則很簡短。在希瓦爾茨的著作(1951)中，羅列了已有的結構名稱，並試圖將其分類。實際上，無論在那一著作中，我們都找不到成因見解。二位作者都未試圖根據礦石一般結構的研究來分析複雜的礦石形成過程。

拉姆多爾論金屬礦物及其連晶的綜合性著作(Ramdohr, 1950)，其理論水平相當高。雖然它包含有許多新的、寶貴的材料，但它有上述的缺點，這就是對研究整個礦石的結構和礦石構造特點及礦體構造特點的重要性估計不足。

在該著作中，拉姆多爾詳細研究了光片在鏡下所見到的金屬礦物連晶。極詳盡地描述了所謂的蠕狀連晶或圖案連晶，連晶的長篇目錄(由97個名稱組成)包括了大量金屬礦物。同樣也詳盡地描述了金屬礦物中的礦物包裹體，它們對於正確確定礦物集合體間的相互時代關係，往往具有一定的意義。

在1950年版本中，拉姆多爾對礦石中礦物連晶結構的描述，是根據上面提到的首批俄文著作之一中所引用的分類(И.Ф.格里戈里耶夫“礦石中礦物連晶的結構”，1928)進行的，而在1955年版本中，則是根據史奈德洪的分類(Schneiderhöhn, 1952)，不過他指出，在第一版中也是如此，他利用的是И.Ф.格里戈里耶夫分類的基本原則。

拉姆多爾將礦石連晶按照其形狀和按生成條件的描述截然分開，於是便造成在編排具同樣形狀的礦石連晶的綜合類時，成因迥然不同的連晶卻跑到同一類里去了。例如，在蠕狀連晶一類中就有磁黃鐵礦與鎳黃鐵礦、磁鐵礦與鈦鐵礦的典型分解結構，其實它們與圖案連晶毫無共同之處。

關於結構材料的敘述並不服從於確定礦物集合體間時代關係的目的，因此便帶有純描述的性質。

同時，拉姆多爾的著作包含豐富的實際資料，可以被認為是一本必備的參考書，其中綜合了外國文獻中現有的關於造礦礦物、礦物的鑑定、它們相互連生的特點和顆粒的內部結構的全部情報。

史奈德洪(Schneiderhöhn, 1941, 1952)也搞過礦物連晶和礦石結構分類的問題。應該指出，在他的一些著作中，也跟拉姆多爾一樣，在敘述關於礦石群的組織和結構的材料時，基本概念缺少清楚而明瞭的定義。在結構分類中，主要注意的是顆粒和集合體的形態特點。至於構造特點，實質上是只字未提。

現有的關於礦石結構的外國文獻，總起來說，可以說直到最近時期為止，在詳細描述不同礦床的礦石的著作中，照例都是將主要注意力放在礦物連晶的結構上，對於礦石的構造特點，僅僅是順便提上几句而已。

在蘇聯出版的礦相學手冊(尤什科, 1949; 瓦赫羅麥耶夫, 1950, 1956)中，只有較少的篇幅用來談有關礦石的構造和結構的研究問題。上述手冊的作者，都是不同程度利用А.Г.別捷赫琴的分類，並引用了礦床主要成因類型中礦石的不同構造和結構的具體例子。

1954年出版了幾位作者(С.И.塔爾迪京, И.Ф.岡恰爾克, Г.Н.葉尼克耶娃, Б.Б.羅津娜)集體編寫的“礦石的結構和構造圖冊”。在該著作中，列有文獻中已有的礦石結構和構造的名稱目錄，和每一術語的解釋，並引用了構造和結構鑑定表，還附有實物照片和顯微照片，但僅表現出礦石構造和結構以及金屬礦物顆粒的內部結構的某些類型。

應該指出，鑑定表所依據的、將構造和結構分組的形態原則，是不妥當的。因此便造

成图片安排不系统的印象。图册中并未说明，构造或矿物连晶及其内部结构的这种或那种特点，对阐明矿物集合体的形成条件或生成顺序究竟有什么作用。

既然关于矿石和各个矿物的结构特点的资料，主要是用来阐明它们的形成条件，学术思想自然便提出了将观察到的不同现象在实验室环境下用实验方法使其再现的必要性。在大多数情况下，实验方法解决了有关下列现象的个别的、局部的问题，如固体溶液的分解、一些矿物被另一些矿物置换、金属矿物在单向压力条件下的变形、液体硫化物自硅酸盐熔浆中的分出等。

旨在再现矿物连晶的各种结构的实验研究，为量不多。已知实验（据文献资料）大部分都属于分解结构的再现。这类结构的形成，对一定的矿物说来，具有一定的温度，因此在研究矿石时，这些结构便用作地质温度计。许多研究者——希瓦尔茨(Schwartz, 1928, 1930, 1931₁)、博赫特(Borchert, 1934)、鲍格尔(Buerger, 1934)——对它特别重视。同时，实验次数最多的是斑铜矿-黄铜矿系列、斑铜矿-辉铜矿系列、闪锌矿-黄铜矿系列，对磁铁矿-钛铁矿和其他某些矿物对也有一些试验。

在苏联，关于斑铜矿-黄铜矿对分解结构再现的有趣试验，是A.A. 菲利蒙诺娃(1952)进行的。实验证明，该矿物对的分解结构能在相当低的温度(270°)下形成，根据以往的研究也认为是这样。

由置换所造成的矿石结构和构造的再现的试验，许多研究者都作过(Ray, 1930; Park, 1931; Schouten, 1934)，进行最广泛的是肖滕(Schouten, 1934, 1937, 1946)。但即使在他的著作中，关于能否将实验资料与天然过程对比的问题，也仍然是悬而未决的。作者指出，他的试验并不是天然过程的再现，只能推测在天然物体中，由于置换的结果，可能存在有类似的结构和构造。

根据肖滕所引用的资料判断，遗憾的是，他的大部分试验都是再现在氧化和还原过程中硫化物被硫化物置换的现象，这与氧化带中进行的过程较为接近，而与深成(内生)置换过程却迥然不同。

由再现胶体产物的构造的观点看来，能取得所谓李泽干格环或李泽干格层的实验(Watanabe, 1924; Watanabe a. Nakano, 1927)，具有无可置疑的意义。这些试验主要不是再现结构和构造，而是再现复杂成分的凝胶的形成过程本身。制取矿物集合体的某些连晶或配合方式的任务，在这些试验中并未纳入。但以实验方式在白明胶中制成的呈韵律性沉淀的化合物，却具有天然凝胶产物所具有的一定的形态特点。

再现由于压力和重结晶而造成的结构和构造的实验，寥寥无几。

塑性变形的再现，主要是各种矿物(其中包括硫化物)单晶中的滑动和压力双晶，有穆格(Mugge, 1886, 1920)、维特(Veit, 1922)、鲍格尔(Buerger, 1928)和阿达姆斯(Osborn a. Adams, 1931)等人作过试验。在苏联，C.A. 尤什科(1940, 1941)也进行过实验，实验在天然方铅矿中再现了滑动纹和压力双晶，并在受到压力的人造方铅矿粉末中再现了重结晶的晶芽。

重结晶结构的再现，说得确切些，主要不是结构的再现，而是新颗粒或结晶集合体产生过程本身的再现，在鲍尔格较近期的试验(Buerger a. Washken, 1947)中有了反映；试验表明，粉碎了的物质，受过压力和加热后，发现有颗粒的生长。试验尤其适合于硬石膏、螢石和方解石。Г.Ф. 契尔维雅科夫斯基(1952)作过内容相似的试验，他曾用粉碎的

硫化物，如黃鉄矿、閃鋅矿、黃銅矿来作試驗。試驗結果用劳埃图检查，图上記錄了晶格的变形(星彩現象)，而当加热并出現重結晶的晶芽后，变形即行消失。研究各种金属和合金在高压下、在冷加工和热处理时的性状的冶金学家，拥有关于再結晶结构的相当多的实验資料。

至于說到压力构造在成分复杂的天然矿物集合体中再現的試驗，根据文献資料判断，任何一位外国研究者都还未作过，首先是在苏联由沙德隆和罗查諾夫(1949)于1946年进行的。試驗是用硫化物矿石标本进行的，这些标本在显微镜下研究均未发现有变形的特征。由于这些实验，查明了在相当大的定向压力下，在由黃鉄矿、黃銅矿、閃鋅矿、石英、重晶石和方鉛矿組成的天然硫化物集合体中，軟矿物发生塑性变形，硬矿物則受到碎裂、破碎和磨細。同时，塑性变形甚至导使矿石中生成条带。

苏联的矿相学研究，在伟大的卫国战争时期，特别是战后五年計劃时期，获得了进一步的发展。在这段时间，吸引了地方科学研究机构和生产部門的許多地質学家来掌握矿石的矿相学研究方法。許多种战略原料，特别是稀有、有色和黑色金属矿床，受到了广泛地研究。自然，因此也就积累了有关各种类型矿床的矿石物質构成特点的大量实际資料。

应该指出，前一时期在矿相学領域內所取得的成就，不能不影响到矿相学这一科学部門的发展方向及其内容和任务。苏联学者愈来愈注意闡明不同地質环境中矿石的形成条件。自然，矿相学中以矿石物質的組成特点为研究对象的这一方面，也因此在很大程度上受到重視。

1945年，A.Г.別捷赫琴在他的“論矿相学”一文中曾提出确定矿相学这門科学的具体任务的問題。他早在1936年和1939年便已涉及这些問題。但是这些問題在該文中反映得最全面。因此，应该說，苏联学者不仅是从事确定矿物集合体和矿物的时代关系的准则这些基本原则的研究，同时还提出了一系列新的問題。

例如，基于矿石結構和构造的研究，A.Г.別捷赫琴探討了金属矿床学說中的一个最重要的問題——关于矿物的共生和矿物組合的形成順序的問題。他指出，缺少对矿石中矿物集合体的时代关系的解释，便不可能获得下述問題的正确概念，即不同金属矿床形成时事件进行的順序，和矿石沉积时矿物成分变化的規律性。这些原則也提供了闡明其他許多理論問題的可能性，其中特别有意义的是硫和氧的状况对成矿过程和矿石中矿物的共生关系的影响这一問題(A.Г.Бегехтин, 1949, 1951, 等等)。

这样看来，应该承認苏联地質学家在矿相学研究領域內各方面都取得了相当大的成就。如果說在其发展的初期，这些研究曾提出以滿足生产部門的直接需要，主要是精确确定矿石的矿物成分和造矿矿物顆粒連生的特点作为自己的任务的話，那末，今后，我們的学者便要注意解决与金属矿床学說密切有关的任务了。