

# 论金-硫化物矿床 氧化带中金的性状

[苏联] B·M·克列依捷尔 B·B·阿里斯托夫  
И·С·沃林斯基 А·Н·克列斯托夫尼柯夫  
B·B·庫維琴斯基 著  
呂 文 彥 譯

中国工业出版社

# 鍍金-碲化物礦床 氧化帶中金的存在

蘇聯地質研究所地質部 地質部 地質部 地質部  
地質部 地質部 地質部 地質部 地質部 地質部  
地質部 地質部 地質部 地質部 地質部 地質部  
地質部 地質部 地質部 地質部 地質部 地質部

中國地質出版社

56.57121  
259

# 论金-硫化物矿床 氧化带中金的性状

[苏联] B. M. 克列依捷尔 B. B. 阿里斯托夫  
И. С. 沃林斯基 A. H. 克列斯托夫尼柯夫  
B. B. 庫維琴斯基 著  
吕 文 彦 译

26576/63

中国工业出版社

本书是以研究氧化带中金的性状为基础，阐述关于内生金和表生金以及金溶解试验工作问题的现状；次生带的形成；除自然界事实以外，还阐述了一些附加有理论计算和结论的实验材料；根据露头来评价金矿床和金矿石的研究方法。目的是要我们掌握评价金矿床原生带和次生带的实际原理。可供地质普查勘探工作者和科学研究人员参考。本书由吕文彦同志翻译，秦国兴同志校对。

В.М.Крейтер, В.В.Аристов, И.С.Волинский,  
А.Н.Крестовников, В.В.Кузнецкий  
ПОВЕДЕНИЕ ЗОЛОТА В ЗОНЕ  
ОКИСЛЕНИЯ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
государственное научно-техническое  
издательство литературы по Геологии и Охране Недр  
Москва 1958

\* \* \*  
论金-硫化物矿床氧化带中金的性状  
吕文彦 译

\*  
地质部地质书刊编辑部编辑 (北京西单羊市大街地质部院内)  
中国工业出版社出版 (北京德胜门内大街10号)  
(北京市书刊出版事业许可出字第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·各地新华书店经售

\*  
开本850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张8<sup>11</sup>/<sub>16</sub>·字数226,000  
1962年10月北京第一版·1962年10月北京第一次印刷  
印数0001—1,710·定价(10-6)1.35元

\*  
统一书号: 15165·1492(地质-153)

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 序言.....                     | 4   |
| 緒論.....                     | 5   |
| 第一章 內生金和表生金的現代概念 .....      | 8   |
| 1. 內生金 .....                | 8   |
| 2. 表生金 .....                | 18  |
| 3. 金的溶解度 .....              | 24  |
| 第二章 地质-矿物观察 .....           | 28  |
| 1. 麦卡英矿田 (哈薩克斯坦) 的矿床 .....  | 28  |
| 总論 .....                    | 28  |
| 潛水和矿水.....                  | 29  |
| 麦卡英矿田某些矿床氧化带的特征 .....       | 32  |
| 硫化带矿物.....                  | 57  |
| 氧化带矿物.....                  | 62  |
| 2. 朱薩雷矿床 (哈薩克斯坦) .....      | 117 |
| 总論 .....                    | 117 |
| 潛水和矿水.....                  | 118 |
| 硫化矿石 .....                  | 120 |
| 硫化带矿物.....                  | 122 |
| 氧化带 .....                   | 125 |
| 3. 布里亞瓦和新西拜 (南烏拉尔) 矿床 ..... | 172 |
| 第三章 論次生含金带的形成 .....         | 191 |
| 第四章 金溶解度的实验和理論計算 .....      | 202 |
| 实验 .....                    | 202 |
| 理論計算 .....                  | 226 |
| 第五章 氧化带中金溶解和迁移的条件 .....     | 237 |
| 第六章 評价金矿露头的实际方法 .....       | 243 |
| 第七章 含金矿石矿相学之某些方法問題 .....    | 255 |
| 参考文献.....                   | 274 |

06078

## 序 言

这本书是以研究氧化带中金的性状为基础的，这一研究工作是由以 М·И·加里宁命名的有色金属和黄金学院（莫斯科有色金属和黄金学院）矿山地质学和物理化学教研室的同事于 1944—1947 年中完成的。

最先提出这些研究工作的是金矿勘探托辣斯总工程师 П·С·别洛夫。

1945 年时，过早去世的 С·А·普列截涅夫教授曾非常积极地参加了该书的工作，他首先提出了金溶解度的热力学计算[50]。

А·Т·戈列塔娅曾进行了一定量的地质工作，她曾在 1945 年作了补充性的地质观察，收集了标本材料，并观察了新西拜矿床的大量薄片。

本文中所提到的许多矿石工艺试验都是由莫斯科有色金属和黄金学院的贵金属工艺教研室进行的，而其中有些试验是专门为了我们的研究而进行的。

综合研究的资料已在 1948—1949 年整理完毕，但由于技术上的原因，全部出版工作未作好准备。现在重新校阅，同时还补充了一些新的资料。

本书的组织者和科学领导人是 В·М·克列依捷尔。此外，第一、五和六三章也是由他编写的。

第二章第 1、2 两节（关于麦卡英和朱萨雷矿床）及第三章（论次生含金带的形成）是由 В·В·阿里斯托夫编写的。

第二章的第 3 节（关于布里亚瓦和新西拜矿床）和第七章（阐述方法问题）是由 И·С·沃伦斯基编写的。在矿相学研究方面他也提供了意见。

В·В·库维琴斯基编写了第四章的第 1 节，他过去曾做过溶解金的实验。

第四章第 2 节是 А·Н·克列斯托夫尼科夫编写的，此外，他在整个研究期间曾在化学工作方面提供了很多意见。

作者对 П·С·别洛夫，莫斯科有色金属和黄金学院贵金属工艺教研室主任 И·Н·普拉克辛教授及其同事给予我们的协助表示感谢，同时对 Т·Н·沙德隆和 Л·С·克列依捷尔给予我们参考他们的著作的权利以及 Г·Г·鲁谢茨基在出版工作方面给予的巨大帮助表示谢意。

## 緒 論

研究为勘探工作所揭露的金属矿床露头的基本任务就是查明次生矿化带和原生矿化带的性质和质量。为了正确地解决这一任务，除了了解影响氧化带发育的一般条件（气候和地貌构造条件）外，必須了解个别一些物质和元素在氧化带中的成份及性状。过去曾对那些在经济上很重要的氧化带中的金属和非金属的地球化学多少还作了一些实验性的研究工作。遗憾的是，对于贵金属——金和銀就談不到这点了。

C·C·斯米尔諾夫院士曾写道[54]：“……例如，在表生带矿床——沉积的和风化的——发生的问题方面已取得了很大成就。銅的次生硫化富集带的形成问题也很好地作过研究，不过对金和銀來說，我們还没有令人滿意地解决了类似的问题”（着重点是我們加的）。在苏联經常发现和将会发现新的金矿床，而某些采金托辣斯主要正在开采氧化带的矿石，毫无疑问，金在次生带中的性状是应当加以研究的。

在外国，其中包括美国，可以看到近20年来对所討論的问题降低了兴趣。因此可以作两点推测：1）在那里新的发现极少，尤其是硫化矿床含金氧化带的发现更少；2）地质工作者認為金在次生带中的集中微乎其微。后一点推测可由 A·伯特曼簡要的話来証实[82]：“可以忽视金的表生富集”。

在苏联的文献中和实际工作中，与美国地质工作者相反，有时对次生金赋予过大的意义。由于在历史上由氧化带矿石中提取金比由原生矿石中高，所以就形成了这种見解。如此夸大表生金的價值就会不利于矿床深度远景的预测评价，因为一般以为原生矿石的质量会大大恶化。因此，正确地解决表生带的问题不仅在科学上具有极其重大的意义，而且对实际应用也具有特別重大的意义。

在苏联，原生金見于两个主要类型的矿床中：1) 在含有某些数量硫化物的金——石英脉和网状脉中；2) 在含金硫化矿床中。

为了解决表生带中金的迁移問題，主要选择了含金硫化矿床类型，对这类矿床来說，富含金的次生带的存在是毋庸置疑的。我們是以哈薩克斯坦两个矿床（麦卡英和朱薩雷）和南烏拉尔两个矿床（布里亚瓦和新西拜）詳細研究的結果作为例子的。

在大多数的其他硫化矿床中，氧化带已被采空或在收集資料前已被破坏或在此地只是在开采次生矿石，而原生矿石完全不明。

除了地质—矿物研究之外，曾作了細粒分散金溶解的實驗室实验工作。

对所述及之矿床的矿石的显微鏡研究，在金方面是不合质量要求的，如果用工艺方法未查明金的大小的話。因此，也把工艺方法列入研究范围。

由于与本著作篇幅有关的技术原因，沒有可能对闡述原生和次生矿石中金的文献作完整的历史評論以及对金溶解的实验工作作出評論。此外，象这样的評論与問題也沒有什么意义。因此，在第一章中简单地闡述了关于內生金和表生金以及金溶解的实验工作問題的現代状况。

在以后的闡述中把麦卡英和朱薩雷矿床实际的矿物—地球化学資料（第二章）放在主要地位，这些矿床的氧化带在文献中說明得很差，虽然它具有很大的科学意义。布里亚瓦和新西拜矿床的矿石，以前已作过十分詳細的研究和描述，这里也就不詳加闡述了。

根据地质和矿物—地球化学資料，第三章写的是次生带的形成。

当然，除了闡述自然界事实以外，还引述了一些附加有理論計算和結論的实验材料（第四和第五章）。

本書的最后两章是：第六章——根据露头来評价金矿床；第



## 七章——金矿石的研究方法。

方法一章講的是查明含金矿石显微鏡研究的某些特殊的性质以及查明金—銀固溶体和我們感到兴趣的表生金的化学分析的可能性。涉及到评价露头的野外实际方法这一章写得极为簡要，因为前面几章已提出了判断露头的根据。

書中在阐述金性狀的同时，对表生帶中銀和重晶石性狀順便也作了相当詳細的探討。

全書的主要目的——使研究者掌握评价金矿床原生帶和次生帶的实际原理，这些原理是由金的表生迁移性质的概念推断出来的。

作者不認為書中已充分涉及和闡明了問題的所有方面，因此不强求把自己的結論普遍地应用于自然界的一切条件。

# 第一章 內生金和表生金的現代概念

## 1. 內 生 金

金与絕大多数的其他金属矿物不同，它多半呈分散状态存在于自然界中。根据金粒大小，可把它分为以下主要类别：

(1) 肉眼可見的(大約到0.2毫米)；(2) 在顯微鏡下可見的(0.0005毫米或0.5微米)<sup>①</sup>和(3) 次顯微狀的(СУБМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ)。属于头两类的金，以后統称之为可見金(ВИДИМОЕ ЗОЛОТО)。

顆粒很小的金主要能利用近15—20年所发表的地质工作資料，即从大量采用倍数极大的顯微鏡和完善的磨光片后的地质工作資料。

1944年出現了什瓦尔特茨的“含自然金矿物”的单独作品[118]。作者研究了明尼苏达大学所采集的金矿石并綜合了115个矿床(北美、加拿大、墨西哥、澳大利亚、南非、德国、瑞典、菲律宾群島)的文献資料。作者当时的主要任务是，确定这些矿床中有哪些矿物和这些矿物如何經常与金(包括自然金在內)共生一起。他对金属矿物的这些情况作了如下統計：

|               |               |
|---------------|---------------|
| 黃鉄矿.....48种情形 | 黃銅矿.....23种情形 |
| 毒砂.....45种情形  | 輝鎳矿.....12种情形 |
| 方鉛矿.....30种情形 | 鎳矿.....11种情形  |
| 閃鋅矿.....26种情形 |               |

磁黃鉄矿、黝銅矿、砷黝銅矿、磁鉄矿、硫鎳鉛矿都有几种情形。还可指出有34种金属矿物(主要是硫化物)，在个别情况下这些矿物中能見到金的顆粒。

① 用顯微鏡判断矿石中金时，可进一步識別更小顆粒的金(达0.2微米)，而这种金粒的形狀細節已超出顯微鏡可見范围以外。

作者对脉石矿物指出，金与石英經常共生，金在碳酸盐中有9种情形，在綠泥石中——8种，在碳质物质中——6种；长石、云母也有几种情况，最后还有14种矿物在个别情况下也含有金。

作者強調指出硫化物，特别是黄铁矿，在許多金矿石中的巨大作用。

什瓦尔特茨綜合无数观察后作出了一个結論，即金与各种矿物的关系取决于下列因素：

1. 个别矿物 选择性地沉淀金。属于这类的例如有鉍的矿物。

2. 决定成矿次序的时间因素。例如，金与方鉛矿的共生，常与其在某一晚期成矿沉积阶段的同时沉积有关。

3. 成矿溶液的性质，这种溶液能与金一起和同时搬运和沉积矿物。

4. 含金矿物的变形。这里作者引証了瓦依特的文章[119]，文章中把石英的压碎認為是决定金在石英脉中局部化的基本原因。

什瓦尔特茨的著作，在某种程度上是形式主义的。因为他在这里沒有对矿物的結構和构造給以足够充分的研究，所以也就很难判断金与其他矿物在时间上的共生性质。誠然，作者本人指出，就变化的多样性來說，整个情况是极其复杂的，要用一般的标准来解决这一問題是不可能的，而应当对每一矿床单独进行研究。順便指出，含金矿物被金置换的作用只具有极其微不足道的意义。

遺憾的是，什瓦尔特茨完全沒有涉及关于次显微状金的这个最重要的問題。大概这是由于他所利用的原始資料的性质（現成的一套矿石）的原故。

苏联的金矿床最近二十年来已經过金矿地质勘探科学研究所全体地质工作者（П·А·齐莫菲也夫斯基、Н·В·彼特罗夫斯卡娅、Н·И·博罗达也夫斯基、М·Б·博罗达也夫斯卡娅等）的系統研究。在这些工作中，对外貝加尔地区、烏拉尔、阿尔丹和西伯

利亚的很多矿床的伴生有金的共生組合进行了詳細研究，并研究了金在总的成矿过程中的位置問題。

根据大量資料，对于在不同地质构造环境中形成的許許多多矿床的金——石英脉可以清楚地确定，造成工业富集的最大量的金是在矿脉形成的晚期阶段析出的。根据沉淀的时间，金与多金属硫化物(方鉛矿、閃鋅矿、有时为黃銅矿)或与更晚期的硫輝錫矿紧密共生。

由于在此矿床范围内，經常見到金紧密地产于一定的、往往是晚期的矿物組合中，所以这些矿物組合是最可靠的找矿和評价的标志。这些共生体不愧被H·B·彼特罗夫斯卡娅称之为“含矿組合”。

此外，还有某些数量的金沉淀于較早期阶段，紧密地与黃鉄矿共生，而有时与毒砂共生。它与較晚期沉淀的金不同，后者往往顆粒比較粗，而这种金，对所有已研究过的矿床來說，都是細粒分散的。由于早期硫化物——黃鉄矿和毒砂——在石英脉中占的体积不大，因而在此种情况下分散金不具工业意义。

在关于金在金矿床形成过程中沉淀位置的这一問題方面尚有另外不同的意見。埃蒙斯[69]指出有两种形成金的最大限度。根据林格伦[105]的概念，金可在矿床的任何主要成因阶段形成，由高溫交代到低溫热液。許多現代的研究者，如：阿尔弗尔得[80]、馬泽尔[109]、什涅捷尔恒[115]等，都支持林格伦的見解。B·A·奥布魯切夫[38a]、A·H·查瓦里茨基[16]、A·E·費尔斯曼[60]和其他許多地质学家也持有同样观点。

在战前和战争的年代里，很多作者都趋向于認為金仅沉淀于后来的、低溫形成的矿脉之中。如H·H·戈尔諾斯达也夫[13]就認為在艾孟斯的地球化学系統中应当取掉高溫金，它应只位于鉛和銀之后、錫和汞之前的低溫系列中。支持这种观点的有地质学家B·H·納达罗夫[37]、C·A·尤什科[70]和地球化学家O·E·茲維亞采夫[18、19]。

怀依特[119]，特別是莫烏得斯里[110]，持有一种更极端的

观点。怀依特，除了正确地承認石英压碎对金局部化的影响外，給金溶液加上了簡直是神秘的性质。根据他的意見，进入溶液中的金，要“等待”溫度急剧下降并且沉淀于所有金属和脉石矿物之后。莫烏得斯里認為金是在形成矿体的溶液与沉淀金的溶液在性质和時間上完全分了家以后才帶入的。但是，莫烏得斯里有益地指出波尔居巴英矿山的矿脉中存在次显微状金，該矿山在加工时丢掉了10克純的金。

莫烏得斯里和怀依特得出的結論，曾引起了比汗〔84〕的反对，比汗根据对瑞典矿床中金的共生的研究，証明这些观点与自然界的 facts 不符。

許多俄国的作者，根据自己的研究工作（H·А·古科夫斯基〔15〕、А·Е·費尔斯曼〔60〕），老早就已发展了近似的观点。只是在承認或否認在“早期”与“晚期”阶段間金的沉淀有无間断方面有些分歧。这一分歧也反映在共生曲綫图上，在此图上我們可以相应地看到金的連續綫和不連續綫。

Л·С·克列依捷尔对斯帖普尼亚克区金—石英矿床也曾确定有“早期”和“晚期”金。早期分散金紧密与黄鉄矿共生，与第一（石英—黄鉄矿）成矿阶段的毒砂共生者較少。在第二阶段——石英—多金属阶段沉淀的金的基质，紧密与这一阶段較晚期的矿物——方鉛矿、車輪矿、黄銅矿、硫銻鉛矿共生。Т·М·卡依科瓦姪〔24〕对哈卡斯三矿田的研究令人信服地証明了“早期”和“晚期”金的存在。在大倍数的显微鏡下发现与黄鉄矿密切共生的“早期”金，金粒比晚期金的顆粒要小好几十倍。

在哈卡斯主要观察了这些阶段：（1）石英—黄鉄矿阶段；（2）含金基质的石英—多金属阶段和（3）石英—方解石阶段——无矿阶段。

А·А·伊凡諾夫〔22〕对烏拉尔的某些矿床作出了一个大致相同的矿床形成和矿床中金的性状的略图。Л·А·晋科夫（1939年）分出了与毒砂有关的細粒分散的早期金和被两个不含金的成矿阶段与前者相隔离的晚期金。

但是必須指出，在苏联的金儲量平衡表中，具有极重要意义的不仅有金-石英矿石，而且还有硫化物矿石，即金-黄鉄矿矿石、含金黄銅矿矿石，最后还有金-多金属矿石。属于硫化物矿石的有烏拉尔、阿尔泰、哈薩克斯坦等的許多矿床。在这些矿床的矿石中金的含量一般都不很高（在这种“貧”金儲量极大的条件下），金是順便从主要金属中提取的。金很少在价值方面是主要的金属，当然，也有些矿床（金-黄鉄矿矿床）只开采金。

硫化矿床中的金，由于各种原因，研究得很不够。首先，同石英脉相反，金的基质在这里具有細粒分散的性质，所以金只有在放大倍数很大时才能局部看到。此外，如果含量很少或中等，則个别粗大的金粒沒有包括到薄片的截面中去。另一方面，工艺过程本身——黄鉄矿熔解——有可能把金几乎全部提取出来，因此研究矿石中的金实际上并不需要。

对这类矿床來說，經過显微鏡研究和工艺試驗（精矿），已証明在方鉛矿和黝銅矿（阿尔泰）、黄銅矿和閃鋅矿（烏拉尔）中有金存在。与黄鉄矿有关的金在所有矿床中都已发现。有一定根据認為，在黄鉄矿类矿床內，黄銅矿中的金粒比在黄鉄矿中的較粗大（捷姆揚涅茲，1945年）。但是，有关金的粗細問題的解决，是本主題极其重要的問題，而金在黄鉄矿类矿床的共生系列中的位置、取决于承認或否認这些矿床成矿后的变质作用。为了不使問題复杂化，以后我們將只探討金与黄鉄矿的关系和这种金的大小，这在实际工作方面可以說是最重要的。在金矿和含金黄鉄矿类矿床中，黄鉄矿在数量上往往是主要的，而在某些矿石中，黄鉄矿实际上是唯一的硫化物。

金与黄鉄矿共生的事实本身，不必再需要何种証据了。但是黄鉄矿与金析出的同时性和金的分散程度需要仔細加以研究。

黄鉄矿中細粒分散金和次显微状金很早就是工艺学家的障碍物，而且并不奇怪，就是这些工艺学家在研究这一問題方面作出了很大貢獻。很早就已指出，提取金方面的資料一方面与显微鏡研究不相符合，另一方面与試管分析也不符合。大倍数显微鏡在矿

相研究中的采用（借此可以发现細达0.2微米的顆粒），更加指出了分析样品中少量可見金的高含量之間的差別。仅仅这一情况可以指出不仅有細粒分散的金存在，而且有次显微状的金存在，这种金在矿石粉碎得极限細小的情况下一般也是提取不出来的<sup>①</sup>。

金在黃鉄矿和多金属矿石中呈次显微状分散的例子可以举出很多。这里我們仅简单地研究其中的几个例子。

在1926年，И·Н·普拉克辛[44]在鍛烧阿斯科尔矿石含金硫化物时，曾确定次显微状合併的事实。經此加工处理之后，金变成了可見金和在工艺上比較容易提取的金了。

普魯諾格耶尔[99]对智利的丘琼科和奇瓦托矿床的网脉状硫化矿石进行了研究，这里黃鉄矿是矿石的基质。方鉛矿、閃鋅矿和黃銅矿在矿石中具次要意义，脉石矿物是电气石、菱鉄矿和石英（少見）。矿石中含有由8到12克/吨的金。对各种不同类型的矿石进行过最大倍数的显微鏡研究：浸染有黃鉄矿的石英岩和綠泥石岩，含黃鉄矿、方鉛矿、閃鋅矿和黃銅矿的富矿石，以及矿山不同层位上的个别黃鉄矿晶体。除硅化地段外，在任何一个薄片中都沒有发现金。加热黃鉄矿晶体时，金就显示出来。在溫度达600°的馬弗爐中加热了5—6次。通过适当換算証明，可見金与黃鉄矿中的金（次显微状金）比例为1:5。

Φ·戈弗曼[101]所引用的哥伦比亚齐齐里貝矿床的黃鉄矿矿石是一个更加明显的例子。在这里，个别样品中金含量达到了500—800克/吨，但它在最大倍数的显微鏡下并未被发现。金的平均含量約150克/吨的矿石薄片在300—800°的溫度下加热后，在黃鉄矿和其他硫化物中就出現了最微細的金包体。

С·К·沙巴林和И·Н·普拉克辛（1946年）曾引用了列宁諾爾斯克矿石的資料，証明在黃鉄矿精矿中有80%的金与黃鉄矿紧密共生，但是無論用汞齐化法或是用氰化法都不可能把它提取出

① 1948年出版的И·Н·馬斯列尼茨的著作中，已对問題的历史和整个技术加工試驗作了詳細研究[36]。

来。在粉碎至250个筛孔时，用汞齐化法提取了23%的金，而用氰化法提取了55%的金。在450°和880°的温度下煅烧这些矿石，用氰化法能使金的提取率增加到93%。用氰化法从达拉松毒砂精矿中能提取70%的金，而煅烧后——达93%。

无论是苏联的矿床，或是外国的矿床，这样的例子可以增加许多倍。无疑，黄铁矿（和其他一些硫化物）中的次显微状金是存在的，而预先煅烧成为提取这种金的正常工艺程序。

А·Г·别捷赫琴和其他许多矿物学家也提到次显微状金。为阐明细粒分散的和次显微状金的形成和性质的真相，曾很有趣地研究了某些试验。科尔捷科特[92]用实验证明，金沉淀在黄铁矿表面或黄铁矿内的裂隙中。П·П·维依马恩曾确定，在缓慢还原的条件下，金在硅酸凝胶中可以发生高度分散的沉淀。

比尤尔格[88, 98, 90, 91]做过许多实验工作，他曾假定，与硅酸接触的黄铁矿是溶于硅酸凝胶中的金的还原剂。这位作者引出了关于加热时由于类似固体扩散的作用使黄铁矿晶格发生“自纯”的概念。

И·Н·马斯列尼茨基[32, 33, 34, 35, 36]的各种研究工作，取得了最重要的结果。作者首先用实验证明，沉淀在早期形成的硫化物表面上的金一般都形成粗大的析出物。

次显微状金的存在，证实了他所提出的关于黄铁矿和金同时形成的假定。在这一过程中，金的质点的成长不可避免地将在黄铁矿晶体的成长而陷于困境，所以致使金在黄铁矿中呈细粒分散状态存在。

特别有价值的是 И·Н·马斯列尼茨基的实验。在他的实验中他取得了含细粒分散状和次显微状金的人工黄铁矿晶体。作者用1份氧化铁、2份硫和3份氯化铵配成混合物。用维尔法在400—500°的温度下进行黄铁矿的合成。结果获得了极其完善的黄铁矿晶体，作者还对这些晶体进行了结晶学、化学、矿物学和伦琴射线透视检查。

为了制取含分散金的黄铁矿，作者在试验前先用金的胶体溶



液或氯化金溶液把氧化鉄浸湿，然后进行还原。经过各种很复杂的操作后，作者获得了合成的含金黄鉄矿。再对这种黄鉄矿进行了化学的、伦琴射线透视的和矿相学的分析。

研究工作証实了合成含金黄鉄矿与天然的黄鉄矿完全一样。在作矿相研究时，一部分金粒具有0.5到5微米的大小，并且看得很清楚。金粒一般都在黄鉄矿顆粒的表面上。大部分金都是次显微状的。用一切可能采用的复杂的富选、加热、化学檢驗和矿相检查的方法查明了黄鉄矿中人工分散的金整个平衡情况。

整个說来，И. И. 馬斯列尼茨基的工作对了解黄鉄矿中金的形成和性质具有很大的价值。

次显微状金在黄鉄矿中以何种状态存在的問題，仍然是不清楚的。絕大多数的研究者都認為金是呈金属状态而存在。金能不能存在于黄鉄矿晶格中（金的格架跟黄鉄矿的格架完全不同）或呈极細的析出物存在于黄鉄矿的表面（所謂表面，在此情况下指的是厚 $10^{-4}$ — $10^{-5}$ 厘米的外层），这也是不清楚的問題。

在А. А. 伊凡諾夫[23]本人写的一本著作[23]中，就这一問題列举了一些极有价值的材料。利用电子显微鏡研究了天然的和合成的含金黄鉄矿标本（ $\times 7000$ ）。同时，对合成的不含金的黄鉄矿也进行了研究。根据所进行的研究，作者得出如下結論：“……黄鉄矿中的金呈质点状机械混入物存在，这些质点大多具有近似于等軸的形状，其大小由几微米到 $10^{-5}$ 厘米。金呈电性中和的原子不能进入黄鉄矿的晶格中……”。此时，金粒的形状和大小用間接观察的方法加以确定，这时在电子显微鏡上不是研究光片，而是研究能再現薄片表面起伏的印痕。

这一方法在对天然与合成物体进行比較时未引起怀疑，就象А. А. 伊凡諾夫进行研究的情况一样，可惜它尚不能有把握地用来研究天然标本，以便解决金粒或其他矿物性质的問題。

我們已由国立有色金属研究所得知，烏拉尔有些矿石含有这种次显微状金，这种金在反复加热时不扩大，所以在工艺上不能把它提取出来。可能在这里是一种最微細分散的金极端情