

232488

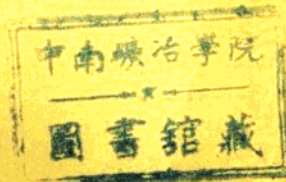
[苏联] B·A·梅耶尔 著

李舟波 王碩儒 译



多金属矿床测井

中国工业出版社



目 录

引 言	1
-----------	---

第一部分 作为测井对象的多金属矿床

第一章 金属阿尔泰的多金属带	6
§ 1. 孜里亚诺夫斯克-布赫塔尔马矿结	9
§ 2. 列宁诺哥尔斯克矿田	13
§ 3. 近额尔齐斯矿田	15
§ 4. 尼古拉耶夫-舍莫纳伊哈矿结	19
§ 5. 左洛图兴矿田	21
§ 6. 兹美伊诺哥尔斯克矿结	22
第二章 东外贝加尔的多金属带	25
§ 7. 近额尔古纳区	27
§ 8. 南区	32
第三章 卡腊山脉的铅锌矿床	38
§ 9. 集合型矿床	39
§ 10. 成层-层状矿床	42
第四章 中哈萨克的多金属矿床	46
§ 11. 碳酸盐岩石中的交代矿床	47
§ 12. 硅酸盐岩石中的矿床	50

第二部分 在多金属矿区应用的测井方法与技术

第五章 基本方法	54
§ 13. 视电阻率法测井(KC)	54
§ 14. 自然电场法测井(ПC)	58
§ 15. 滑动接触法测井(MCK)	66
§ 16. 电极电位法测井(MЭП)	68
§ 17. 电池偶法(MГП)	77
§ 18. 激发极化法(БП)	82
§ 19. 磁测井(MK)	83
§ 20. 放射性测井	90
§ 21. 确定岩层空间位置的方法	98
§ 22. 研究钻孔内岩层出水的方法	99
§ 23. 确定钻孔技术情况的方法	101

IV

§ 24. 无线电波透视法	102
第六章 仪器	105
§ 25. 记录方式	106
§ 26. 电极系和井下仪器供电特点	115
§ 27. 磁测井仪器	117
§ 28. 放射性测井仪器	132
§ 29. 供电电源	136
第七章 测井方法在多金属矿床上的应用	137
§ 30. 应用测井方法校核地质剖面	137
§ 31. 寻找矿层和研究其结构	146
§ 32. 确定钻孔与钻孔间矿体的轮廓	155
§ 33. 确定岩层的倾角与倾向	156
§ 34. 确定出水位置	156
結束語	160
参考文献	163

引言

早在十九世紀，为了要了解地下溫度随深度变化的情况，就已經开始了鑽孔中的地球物理研究工作，并且确定了地壳上部热状态和地质結構之間的一定关系[6,7,58,85]。

著名的俄国石油地质学家 Д.В. 戈卢比亚特尼科夫 (Голубятников) 教授进行了鑽孔內溫度的測量，不仅是为了科学研究，也是为了勘探[29,35]。Д.В. 戈卢比亚特尼科夫于1908~1913年在阿普歇伦半島完成的工作，为系統地利用溫度測量确定含油气层位置，以及为查明地层水流入鑽孔的位置和地层水在套管外的循环情况打下了基础[27,29,62]。

由于用鑽孔取心办法进行深井剖面編录的工作有很大困难，因此后来在石油勘探鑽孔中除了进行溫度測量之外，还应用了其他一些地质調查用的物理方法。利用电法研究鑽孔的原理是由一家法国的电法勘探公司(К.什仑貝尔热)在1926—1933年間研究出来的，后来这个方法被称为电测井[35,127]。苏联的电测井工作是从1929年开始应用的。由于它很有效，所以在石油地质勘探中开展了大規模的测井工作。从那个时候起也越来越注意寻找新的研究鑽孔的方法，这些方法不仅要保証完整地进行鑽孔剖面的地质編录和划分含矿层位，而且还要解决一系列其他問題——例如，确定岩层走向和傾角、研究鑽孔的技术状况等[35,56]。

在研究和制定测井方法的工作中。1932年 В.А. 佛克 (Фок) 院士提出了关于点电源电场在鑽孔中分布問題的一般解，使电测井資料的解释获得了改进[3,35,54,106]。1933—1934年間 Г.В. 高尔什科夫 (Горшков)、В.А. 什帕克 (Шпак)、А.Г. 格拉馬科夫 (Грамаков) 和 Л.М. 庫尔巴托夫 (Курбатов) 等人提出了利用岩石天然放射性来研究鑽孔的方法，并制出了伽偶测井仪[49,109,111]。1934年 В.А. 什帕克提出了根据岩石磁性划分岩层的磁测井方法[110,111]。就在同一时候，苏联地球物理学者还研究出了气测井方法的原理[35,56]。Л.М. 阿尔平 (Альпин)、А.И. 查鮑罗夫斯基 (Заборовский)、С.Г. 柯馬罗夫 (Комаров)、В.Н. 达赫諾夫 (Дахнов) 以及各專門研究机关及学院 (全苏地球物理研究所、莫斯科石油学院等) 和矿場地球物理生产单位的大批工作人員，对发展油气田测井方法的理論、改进方法技术和测井曲綫解释工作等方面，都完成了大量的工作[3,30,32,35,38,54,55,56]。

从1941年起，在矿場地球物理研究的实际工作中，开始采用以人工放射性和应用放射性同位素为基础的研究鑽孔剖面的方法。在这些方法中，特別应当指出的是已經得到实际应用中子-伽偶测井法(Б.虎捷科尔沃[Понтекорво], 1941年)、中子-中子测井法、密度测井(М.М. 索柯洛夫[Соколов]、А.П. 奥奇庫尔[Очкур], 1953年; Г.М. 沃斯科鮑依尼科夫[Воскобойников]和 Ю.П. 布拉謝維奇[Булашевич], 1955年)和人工活化法(А.А. 柯尔日夫[Коржев])[24,56,77,126]。

由于测井方法在勘探油气田工作中的广泛应用，早在30年代中叶就已經可以开展較大

規模的无岩心钻进，从而大大加快了钻进速度，减少了矿床勘探費用。同时还显著地提高了钻孔地质編录工作的质量和矿床总的地质研究程度。測井工作使我們不仅对勘探井，而且对生产井也一样可以进行有重要价值的地质編录。

目前针对油气田的条件，已經制定了正规的測井工作方法，并且制成了高效率的全自动測井仪器^[35,55,56]。在測井工作的組織方面，已建立了大的矿場地球物理托拉斯和大队；測井工作無論是在打普查钻孔的时候，还是在油田开发过程中都已成为不可缺少的一环。

在勘探煤田时，特别是勘探金属矿时，測井工作暂时还用得很少。在金属矿方面，对于金属矿測井方法的发展問題，长时期以来没有得到应有的注意，至于它作为地质研究工作的一种客观手段的广泛可能性，实际上还没有被利用。

早在1937—1938年就已经开始注意到^[87]，甚至在岩性非常稳定的条件下，根据钻探資料編录金属矿钻孔的方法也是不完善的。例如，在蒙契苔原銅鎳矿床，A. C. 謝苗諾夫(Семенов)和O. K. 弗拉季米罗夫(Владимиров)根据实际資料曾經指出，甚至在岩心采取率几乎等于百分之百的情况下，仍可能把薄的硫化矿脉打丢。用A. C. 謝苗諾夫和O. K. 弗拉季米罗夫专门制定的滑动接触法(МСК)測量时，由于校正了已知矿脉的厚度以及加上被打丢矿脉的厚度，就使得整个矿床的儲量几乎增加了30%^[89]。后来，不仅在蒙契苔原，而且在苏联其他金属矿区，滑动接触法測井都成为一个必经的步骤。

A. C. 謝苗諾夫也是最先对硫化矿石进行系統研究，以求查明地质条件、结构和构造对其导电性的影响的人^[88,89,90,91,92]。

当然，即使在滑动接触法把全部优点都发挥出来的情况下，也不可能解决金属矿钻孔剖面編录的所有問題，因为这个方法的勘探可能性实质上只限于划分良导电的硫化矿体。把这种方法在各种地质条件下进行广泛試驗后表明，除了硫化矿体之外，非矿的良导电带在МСК曲綫上也表现出类似的异常。然而长时期来，这种方法不只是用在硫化矿床上，而是不考虑具体地质情况地用在其他一些矿床上。把矿場地球物理中实际应用的某些方法机械地套用到金属矿上的嘗試，同样也没有成功。总之，無論在划分岩性还是在圈定金属矿层位方面，測井方法常常不能給出滿意的結果。

在布置金属矿床測井工作时，首先必須考虑到金属矿床的成因类型的多样性和与之有关的围岩及矿石类型的多样性，以及它們在空間上的多变性。此外还必须注意到，在矿石中有用成分的含量常常很低，所以要利用物理方法把它們划分出来常常会遇到相当大的困难。最后还必须考虑到，無論是对钻孔剖面編录的詳細程度或是对有关矿体物质成分和其他特点的資料，要求都是很高的。

由于在勘探金属矿时測井应该解决的問題很复杂，所以需要綜合应用以岩石和矿石不同物理性质为基础的各种方法。根据1938—1939年的工作經驗^[8,89]已經清楚，除了电学性质之外，某些在油矿地球物理中被認為是次要的参数，譬如密度和磁化率，对于划分岩石和矿石也有很大意义。最初工作的經驗只是証明，必須进一步改进金属矿測井的方法，但是一直到1950年，这方面的系統研究工作仍未进行。仅仅是在勘探放射性矿床的方法和仪器方面得到了一些发展。在烏拉尔和克里沃罗格矿区只是断断续續地作了一些磁測井工

作(Н.А. 伊万諾夫[Иванов], 1946年; А.В. 維謝夫[Вешев], 1947年)。1940—1950年間金屬測井生產任務縮減的原因, 歸根結底是由于金屬測井的方法問題研究不夠, 以及金屬測井部門缺乏專門的儀器和裝備。可是, 所得結果的非單值性, 却使金屬測井效果很差的說法廣泛地傳了出去。

隨着提高用地球物理方法勘探和尋找金屬礦床效果的總問題的提出, 1949年全蘇地球物理勘探研究所把發展金屬測井方法的必要性問題, 在更廣泛的意義上又重新提出。在1950年 А.С. 謝苗諾夫等人建議使用一種新的金屬測井方法——電極電位法。同 МСК 法相比, 它能比較單值地區分出鉆孔內的硫化礦體^[95,96]。作者實際擬定這個方法是在1951—1952年期間, 1953年在阿爾泰、中哈薩克以及其他一些地區開始應用。1952—1954年間, 在全蘇地球物理勘探研究所內由 М.М. 索柯洛夫和 А.П. 奧奇庫爾等人研究制定了用來發現多金屬礦體的密度伽瑪-伽瑪測井法的原理。在同一時期, А.В. 維謝夫、В.А. 梅耶爾(Мейер)、Л.В. 拉里昂諾夫(Ларионов)和 Д.Р. 巴爾哈托夫(Бархатов)制成並在野外條件下試驗了高靈敏度的磁化率測井儀^[22,67]。

迨至1955年, 其他一些地球物理機構也對發展金屬測井方法作了不少工作, 其中首先應該指出的是蘇聯科學院烏拉爾分院(Г.М. 沃斯科鮑依尼科夫、Ю.П. 布拉謝維奇、В.Н. 波諾馬廖夫[Пономарев]、斯維爾德洛夫礦業學院(А.К. 科澤林[Козырин])和烏拉爾綜合測井隊。烏拉爾地球物理學家們最重要的成就, 是詳細研究了選擇測井法的原理(Г.М. 沃斯科鮑依尼科夫, 1957年), 制成了用于鐵礦床的綜合磁測井儀(В.Н. 波諾馬廖夫和 Е.А. 蘇沃洛夫[Суворов], 1957年), 並在野外條件下試驗了為定量估計礦石中銅和鉛含量的人工活化法(А.К. 科澤林和 Л.В. 穆久金[Музюкин], 1958年)^[23,25,80]。最近幾年, 為了查明測井方法在不同金屬礦床上應用的可能性, 莫斯科地質勘探學院、中央地質勘探研究所、哈薩克地質物理托拉斯和各地地方地質局生產隊的工作人員都做了不少工作。

除了研究貼近鉆孔壁的岩石和礦石的方法有所發展以外, 全蘇地球物理勘探研究所、全蘇地質勘探方法與技術研究所、莫斯科地質勘探學院和蘇聯科學院烏拉爾分院對於能夠研究鉆孔間的礦體的無線電波透視法、“電測對比法”^①和井中磁法勘探等方法的研究, 也取得了很大成績。

這樣, 地球物理和地質勘探工作者便在比較短的時間內就掌握了許多新的研究鉆孔的方法, 學習和在金屬礦實際工作中運用這些方法, 乃是最近幾年的重要任務之一。

* * *

早在1939年, О.К. 弗拉季米羅夫和 А.С. 謝苗諾夫在多金屬礦床(阿爾泰、卡臘山脈)就已開始進行了測井工作^[89]。這個工作的結果, 肯定了滑動接觸法無論對劃分致密礦體還是浸染狀硫化礦體都有良好效果。還應指出的是 В.И. 列契金娜(Релькина)于1940—1941年在金屬阿爾泰所作的工作, 她是根據電測井資料綜合對比金屬礦層位的第一個人。在1949—1951年 О.К. 弗拉季米羅夫和 А.К. 奧弗琴尼科夫(Овчинников)在卡臘山脈鉛鋅礦床進行了應用綜合測井方法的大量研究工作。在所得到的結果中, 為研究礦床水文地

① 一種井中充電法。

质条件而广泛采用的测井方法，具有很大的实际意义和方法上的意义。这个地区的测井工作，主要是激发极化法测井工作，是由 М.И. 普留斯宁 (Плюснин) 和 А.Ф. 波斯切里尼科夫 (Постельников) (莫斯科地质勘探学院) 于 1953~1956 年按照和哈萨克地质局签订的合同进行的[79]。用电法测井在中哈萨克古利沙德矿床试验得到的某些资料，已由 Н.М. 奥宁 (Онин) 在 1958 年发表 (列宁格勒矿业学院)。

1950—1957 年全苏地球物理勘探研究所为改进多金属矿测井方法进行的工作，以及后来全苏地质勘探方法与技术研究所在这方面所做的工作，都是同列宁格勒大学协作进行的。作者是一些工作的执行者，因此有可能看到测井生产队的资料，并且不仅对一系列已知方法，而且还对一系列新的研究钻孔的方法作了试验。总之，在这一段时间内积累了相当数量的实际资料，这些资料为写这本专著打下了基础。

本书出版的目的是，要综合在多金属矿床上测井工作的经验。本书中地质部分占了很大篇幅，这一部分着重讨论了在多金属矿床上应用测井方法的地质—地球物理条件。讨论地质地球物理条件时举了几个地区作为例子，这些地区的地质条件在很多方面不只对铅锌矿床，而且对其他金属矿床来说也是带有典型意义的。因此，本书的第一部分在一定程度上是说明了在一般金属矿床上测井方法的应用条件。

对金属矿测井的各种方法作一系统综合的时机已经成熟。其中一部分方法已经在生产中应用。其余的方法可以认为是具有前途的，并且应该在最近期间用于生产。在这本专述某些类型金属矿床的书中，把大多数现有方法综合起来单辟一章，看来是合适的，原因如下。

第一，几乎所有被讨论的方法在多金属矿床上都经过了试验，书中所举的例子可以说明这些方法在其他金属矿床上用来勘探的可能性。

第二，目前在金属矿测井方面实际上还没有一本综合性的著作或者手册。1947 年 А.С. 谢苗诺夫和 О.К. 弗拉季米罗夫写的一本小册子[89]，实际上是唯一的一本金属测井方法指南。这本书中推荐的方法只有一种，即滑动接触法。这本小册子目前已成罕见的孤本。而最近几年研究制定的一些新方法 (电极电位法、磁测井、密度测井和选择测井等) 的基本资料，主要是以单篇论文的形式发表在不同刊物上。这些刊物大都是印数不多，野外测井队工作人员很少有机会得到。

金属矿测井工作的现状，多半和测井生产队在专门仪器方面没有保障有关。当然，很多仪器问题还不能认为已经最后解决，但是分一部分精力介绍某些还没有成批生产的仪器，作者认为还是必要的。

在本书最后一部分，列举了在多金属矿床上应用测井解决各种勘探问题的实例，因而本书的实用部分基本上只谈了多金属矿床。至于本书讨论的一般问题和关于方法及仪器的章节，则对于其他金属矿种也是有意义的。

很自然，本书并没有把应用测井方法的各种情形，即使仅仅是在多金属矿应用的各种情形都谈到。本书对选择测井的实例举得太少，同样对于研究钻孔之间矿体的问题，也只是很肤浅地谈了一下。但是，如果本书在某种程度上能够对金属测井文献不足的情况有所补益，同时能够对在金属矿工作的同志们有所帮助的话，作者将认为自己的任务已经完成了。

作者对 А.С. 謝苗諾夫教授表示深摯的謝意，他鼓励作者把所得許多研究成果整理成这本书出版。作者还應該感謝 А.В. 維謝夫、В.В. 阿历克塞耶夫(Алексеев)、Ю.П. 塔菲耶夫(Тафеев)和 В.А. 什帕克，他們为作者进行主要的实验工作提供了良好条件。在出版准备过程中，作者得到了 О.К. 弗拉季米罗夫、М.М. 索柯洛夫、Н.И. 卡拉班諾夫(Карабанов)、А.П. 奥奇庫尔、А.Н. 馬卡罗夫(Макаров)、Г.Б. 斯維什尼科夫(Свешников)、Н.П. 西林(Силин)、А.А. 波波夫(Попов)等人的不少資料和宝貴意見。在加工原稿时，Е.М. 諾沃日洛夫(Новожилов)和 Л.О. 巴尔哈托夫給予作者以很大帮助。作者对所有这些同志也都表示最深切的謝意。

作者热誠希望讀者对本书涉及的問題提出批評意見，并請把这些意見寄到列宁格勒大学，地址是：Ленинград, Университетская наб., 7/9。

第一部分 作为测井对象的多金属矿床

如果把测井方法看作是勘探矿床的一种手段，那么它在金属矿床上的基本任务应该是：（1）校正地质剖面；（2）划出含矿层位、确定矿石成分和估计其中有重要工业价值的金属含量；（3）确定含矿夹层的倾角、倾向以及追踪其在相邻钻孔中的部分；（4）根据一系列钻孔对剖面作总的对比；（5）确定出水位置等等。

这些问题解决得是否全面充分，所得结果是否可靠，首先决定于进行测井工作时的具体地质-地球物理条件。这些条件通常指的是：（1）主要岩石的物性差异；（2）剖面上一定地质层位或层组的物理参数的稳定性；（3）矿体和围岩之间存在着可以观察到的物性差别；（4）地质界面足够清晰；（5）物理剖面和地质剖面大体相符，等等。

在分析各种方法的应用可能性和解释测井资料时，都必须考虑整个地区和各个矿床的地质构造的一般规律，矿石的结构、构造和成分，以及其他一些局部的地质因素。这些因素中包括：在各种过程（特别是硅化、重晶石化等）作用下岩石发生的变化；岩石中裂隙的发育情况；黄铁矿以及某些对所研究矿床来说常为次要矿物的如磁黄铁矿、磁铁矿等出现的多少。

下面对苏联各个多金属矿床所进行的分析，就是从分析上述各种条件的观点来讨论的。关于区域地质、地层和区域构造等问题，因为在分析其他一些资料时多少还要用到，所以在书中还是作了大致介绍。主要内容是描述矿床。在叙述岩石和矿石的特征时，除了岩石学和矿物学的知识以外，还利用了已经研究得比较充分的物性资料，即岩石和矿石的密度、磁化率和电导率等。

关于作为测井对象的多金属矿床的特征，主要是以阿尔泰、东外贝加尔、卡腊山脉和中哈萨克作为例子，也就是全苏地球物理勘探研究所和 КАГТ^① 的勘探队作过多年试验工作，并且是作者亲自参加过工作的地区。即使是这些地区，由于矿床类型很多，所以也只是选最典型的来讨论；得出的基本结论对于其他一些多金属矿区和矿床在某种程度上也将是正确的。

第一章 金属阿尔泰的多金属带

阿尔泰成矿区的多金属矿是极为丰富的，而以五种主要金属为代表。阿尔泰的铅和锌在苏联居首位。在许多“伴生”金属中，常常可以达到工业品位的主要是铜、金和银。单金属

^① 现在称作哈萨克地球物理托拉斯(КазГТ)。

矿床在阿尔泰很少見，实际价值也不大。

一般說来，在上述整个地区內都有多金属矿化的特征，但是有工业价值的矿床則集中在一个北西向的狭长条带內。这个带称为金属阿尔泰的多金属带^[72,73]。多金属带的边界是受构造控制的。最清楚的西南边界是呈直綫形状的額尔齐斯断裂和沿着这个断裂形成的額尔齐斯扭曲带。多次分叉的北东扭曲带是这个多金属带的东北边缘。在这些巨大的构造带以外，多金属矿化現象分布很少，各个金属矿区都直接生在其中。因此可以認為，这些构造带是决定矿床空間分布的因素，具有很大意义^[73,75]。

阿尔泰的多金属矿床分布在被海西褶皱和热液作用改造过的噴发沉积岩中，从中泥盆統下部起到发門那組止。絕大多数矿床是生在中泥盆世岩石中^[73]，个别的矿床則在泥盆紀上部—石炭紀下部的过渡岩层中（扎沃德矿床），甚至是在早石炭世（？）的岩层中也可見到。

在构造方面，阿尔泰各最主要多金属矿床彼此是很相似的。对于形成工业矿床最有的是位于大背斜边缘（里迭尔）或直接靠近扭曲带（別廖佐夫和別洛烏索夫矿床）的二級及三級背斜构造和隆起构造^[72,73,76]。在所有情况下都可以看到多金属矿化現象伸向局部断裂的趋势。在断裂和扭曲带外边的大向斜中，在目前还没有看到有很大的多金属矿化显示。

在阿尔泰的多金属矿床和某种一定的侵入岩之間，沒有找出直接的成因联系。按 В. П. 涅哈罗歇夫 (Нехаровцев) 的意見，矿床和斑岩脉之間的空間联系，仅仅就岩浆源的共同性而言是共生的。

金属阿尔泰有两种有成因关系的主要矿石类型：鉛-鋅矿和銅-鋅矿，其間鉛和銅的数量比例不同。通常在第一种类型的矿床中，貴金属要富得多。在这两种类型中，鋅的含量通常都超过鉛和銅的总含量。常常还看到，在同一个矿床的不同层位这两类矿化同时出現（列宁諾哥尔斯克矿田）^[17,20]。

阿尔泰的大部分多金属矿是属于中温热液交代型的^[74]。矿体的形状有脉状、透鏡状或为层間矿体，产在片理发育的岩层中。这些岩层都带有明显的动力变质和热液作用的痕跡。新构造运动造成的无数断裂和断层使它們的形态很复杂。对于控制成矿最有的是孔隙性凝灰岩和不同岩性岩层的容易剥离的接触带。对于阿尔泰來說，生在碳酸盐岩层中的矿床不是其特征。

在扭曲带附近，不仅泥盆紀而且連石炭紀岩层的褶皱，也几乎完全被接近垂直方向的最新劈理所掩盖。在每一个带內，这些劈理具有非常稳定的走向。例如，在西南阿尔泰的所有的带中，典型的劈理走向为北西向；在額尔齐斯扭曲带走向为北西 320° 的劈理延伸許多公里。向东南方向劈理和片理增多。

对于整个阿尔泰來說，列宁諾哥尔斯克矿区是一个反常的地方，这里的岩层傾角比較緩（ $10-30^\circ$ ）。这一点可以用同稳定的加里东基底比較接近来解释^[17]。

不同类型矿床的围岩蚀变也具有不同的特点。对于鉛-鋅矿床最典型的是矿下（подрудный）岩层和部分含矿层中的硅化，造成微石英岩，有时带有細脉型矿化（“浸染矿石”）。对于銅-鋅矿床，围岩主要是綠泥石化和絹云母化^[20,41,59]。

按空間位置，金属阿尔泰的多金属矿床可以組合成几个主要矿田和矿結^[20,25,39]。下

金屬阿爾泰多金屬礦床岩石和礦石的物理性質

表 1

礦床	岩石名稱	容重 克/立方厘米	密度 σ 克/立方厘米	容重 克/立方厘米	磁化率 $\times 10^{-6}$ CGSM						電阻率 ρ · 歐姆米				
					1	10	100	1000	10000	100000	1	10	100	1000	10000
俄羅斯 亞歷山大 斯庫及 相鄰的地區	砂質和粉砂質、泥質頁岩	6	■												
	灰質綠泥片岩、絹雲母—綠泥片岩、 石英—絹雲母片岩和板狀頁岩	17	■												
	砂岩	61	■												
	角岩	25	■												
	粉砂岩	14	■												
	花崗岩	8	■												
	片麻岩	8	■												
	閃長岩	16	■												
	輝長岩、輝長岩—閃長岩系	15	■												
	輝長岩 (輝石、角閃岩、石英斑岩、輝石岩、閃岩)、 輝石岩 (輝石的輝石性的) 綠泥砂岩和綠泥角閃岩	54	■												
		27	■												
	新泥質片岩和綠泥石—綠泥石—石英斑岩—石英片岩	47	■		52										
	絹雲母—綠泥岩—石英片岩	68	■		36										
	帶有黃鉄礦礦染的綠泥泥質頁岩	157	■		164										
列寧諾 哥爾斯克	酸性凝灰岩	19	■												
	基性凝灰岩	547	■												
	隱石英岩和石英角閃岩	239	■		248										
	帶有黃鉄礦礦染的輝綠岩	178	■		166										
	絹雲母—綠泥片岩	204	■		100										
	炭質千枚片岩	245	■		271										
	灰質綠泥片岩	182	■		202										
	帶有硫化物礦染的各種片岩	324	■												
	綠泥岩	70	■		60										
	絹雲母—石英片岩	76	■		63										
別列 佐夫	炭質頁岩	147	■		127										
	凝灰岩	108	■		125										
	綠泥岩	46	■		43										
	灰質頁岩				246										
	酸性凝灰岩				352										
尼古 拉耶夫	基性凝灰岩				349										
	石英斑岩				104										
	輝綠岩				99										
	片岩	297	■								124				
	泥岩	143	■								246				
斯捷 日科夫	凝灰岩	61	■								167				
	輝綠岩	127	■								68				
	輝綠岩	85	■												
	斜長花崗岩—斑岩										203				
	片岩	131	■												
彼特 羅夫	泥岩	223	■												
	凝灰岩														
	輝綠岩	134	■												
	輝綠岩														
	斜長花崗岩—斑岩														
尤 爾金	片岩		■												
	泥岩		■								217				
	凝灰岩		■								156				
	輝綠岩		■												
	輝綠岩		■												
列寧諾 哥爾斯克	泥岩		■												
	凝灰岩		■												
	石英斑岩		■												
	石英角閃岩		■												
	碎屑斜長花崗岩		■		65										
蘇聯 伊爾庫 斯克	黑雲母—角閃花崗岩		■		16										
	輝石閃長岩		■		18										
	花崗岩和石英二長岩		■		37										
	蛇紋岩		■		10										
	凝灰岩		■		18										
卡爾 斯魯厄 區	花崗岩 (M-44)		■		40										
	黑雲母花崗岩和花崗閃長岩		■		20										
	花崗岩和石英二長岩		■		37										
	花崗岩 (M-44-43)	84	■												
	花崗岩 (整個阿爾泰地區)	152	■												
卡爾 斯魯厄 區	多金屬硫化物	151	■												

面对这些矿床組中各个主要矿床的地质特征分別作的描述，基本上是依据文献〔26,39〕和B. И. 維茨(Вейц)的資料〔19,20〕。岩石和矿石的物性表(表1)是根据全苏地球物理勘探研究所的勘探队、CAГT的阿尔泰地球物理勘探队和西伯利亚地球物理托拉斯的卡緬斯克勘探队的資料編制的。在估計岩石和矿石的导电性时，我們还利用了“阿尔泰有色金属勘探”托拉斯的資料(B. И. 列契金娜, 1941)。为了避免数值被过分平均，物性参数是按单个矿床分別整理的，并且是和地质特性的研究一起分析的。

§ 1. 孜里亚諾夫斯克-布赫塔尔馬矿結

孜里亚諾夫斯克-布赫塔尔馬矿結包括100多个矿床和矿点。其中有：孜里亚諾夫斯克、普廷采夫、格雷霍夫矿床組(格雷霍夫1和2)和扎沃德矿田(扎沃德1和2)。

孜里亚諾夫斯克矿床是其中最大的一个，它生在一个使雷夫紐兴大背斜西翼复杂化的二級背斜构造(孜里亚諾夫斯克背斜)中。矿床地段由中晚泥盆世(?)的火山岩、火山沉积岩和沉积岩系組成〔48〕。矿体周围的岩石受强烈的热液作用和动力变质作用而变成了残斑变岩、石英絹云母片岩、綠泥石絹云母片岩、碳酸质綠泥石片岩和其他变质片岩。微石英岩分布很广泛。

在孜里亚諾夫斯克矿床剖面上分出的岩組(別寥佐夫，馬斯良和孜里亚諾夫斯克)的接触带，多数情况下在地质上是不清楚的，并且岩层的原生层理通常都被片理所掩盖。交錯片理分布很广，它的特征是傾斜很陡，并与层理交成很小的銳角(10° — 20°)〔48〕。

在孜里亚諾夫斯克矿区范围内的岩石，按密度不同可以划成三組，組与組之間的平均差別为0.05克/立方厘米(表1)。

砂-泥质和粉砂-泥质頁岩的密度小。这些岩石最常見的密度值变化在2.56—2.63克/立方厘米范围内。在矿床外边(米亚卡雅-托尔斯图哈山和奥寥尔等地)出露的花崗岩也可以划归这組。

属于第二組的有砂岩、噴出岩和凝灰岩，它們最可能的密度值是2.57~2.70克/立方厘米。其中噴出岩(斑岩、石英斑岩和玢岩)的密度变化范围最大，当黃鉄矿化現象发育时，它們的 σ 值可达3.0克/立方厘米。

在第三組中可以包括灰质綠泥石片岩、綠泥石絹云母片岩、粉砂岩和角岩(2.65—2.70克/立方厘米)。

矿床剖面上岩石的磁性实际上沒有差异。根据A. П. 奥奇庫尔測量的結果(1954年)推断，这里岩石的最大磁化率不超过 $5-50 \times 10^{-8}$ CGSM。

为了說明孜里亚諾夫斯克矿床电性剖面的特点，把根据7个鉆孔測得的視电阻率平均值列成表(表2)①。表中的片岩及其他岩石是按 ρ_k 值增大的次序排列的。討論表2可以得出結論：由于各种岩石的 ρ_k 值都互相交叉，因此这里的不同岩石并不能按电阻率明显区分。但是却相当清楚地看到，随着片状岩石中泥质含量的减少和綠泥石的富集，电阻率显著升高。

① 用2—2.5米电极距測得的 ρ_k 值(B. И. 列契金娜在工作中采用的)，在一定程度上表示出岩石电阻率变化的情形。

在孜里亞諾夫斯克矿床钻孔中测得的岩石平均视电阻率值

(根据 В. И. 列契金娜的资料)

表 2

岩石名称	测量次数	ρ_k 值变化范围 (欧姆-米)	ρ_k 平均值 (欧姆-米)						
			77号孔	86号孔	83号孔	82号孔	52号孔	44号孔	80号孔
絹云母泥质頁岩	30	700—1700	—	—	—	—	1300	—	—
絹云母片岩	73	200—2100	700	—	1000	—	900	—	—
絹云母綠泥石泥质頁岩	23	1400—2500	1600	—	—	—	2000	—	—
石英綠泥石絹云母片岩	15	1300—3000	—	—	—	—	2400	—	—
絹云母綠泥石片岩	312	800—3400	1100	—	2100	—	—	—	—
綠泥石片岩	270	700—4200	1000	3100	3000	—	1700	—	—
綠泥石片岩(碳酸盐化了)	59	1600—6000	—	—	4200	—	—	—	—
灰泥质頁岩	318	800—14800	—	—	—	4900	4600	8030	—
残斑变岩	135	900—2360	1800	—	1300	—	—	—	—
碳酸盐化残斑变岩	93	1900—9700	—	—	—	—	5000	—	—
玢岩	94	400—6600	2500	—	2600	—	4300	—	—
碳酸盐化玢岩	6	4100—7000	—	—	—	—	—	5800	—
石英斑岩	278	4800—14400	—	—	—	—	—	8000	—
角岩	101	260—22000	1800	3600	—	—	—	—	890
重晶石碳酸盐岩石	21	1900—27900	—	—	—	—	4800	—	1510

在碳酸盐化作用发育的地方,同样可以看到岩石电阻率的显著升高。片岩中电阻率最高的是灰质的,它的最大 ρ_k 值几乎达到 15,000 欧姆-米。碳酸盐化的残斑变岩和玢岩与这些岩石不含钙时的“正常”情况相比,电阻率也较高。因此,片岩和其他岩石的电阻率变化范围很大的情况,是和复杂的变质过程以及它们的热液蚀变过程密切相关的。

組成孜里亞諾夫斯克褶皱的全部岩层,在某种程度上都多少带有多金属矿化现象,并且主要是浸染型的矿化。按矿床类型,矿床可以看作是一个广阔的浸染带,其中含有个别的富集致密矿石地段。这些致密矿石趋向于别寥佐夫和馬斯良岩組之間通过的断裂破碎带。矿床主要是由三个大半是生在絹云母片岩和微石英岩中的矿体組成:北部矿体、南部矿体和馬斯良組的“层間”矿体(промзон)。矿体有透鏡狀的,也有因尖灭和膨胀而复杂化了的层狀的。最大的由致密矿石組成的矿体——馬斯良透鏡体,厚 0.6~22 米,向深部延伸到 450 米。除了这些矿体之外,还有内部层間带,生在孜里亞諾夫斯克背斜核心部分,并以硫化物在微石英岩中的不均匀浸染为代表^[48]。矿床的示意剖面图示于图 1。

孜里亞諾夫斯克矿床的矿石是典型的多金属矿石。

在矿床中除了馬斯良地段外,都明显地表现出氧化带(达 80—120 米深)和原生矿石带,钻探已追索到 600 米深处。在它們之間出現一层不太厚的(2—3 米)烟灰狀矿石带(次生硫化物富集带)。

原生矿石又分为:(1)富的致密矿石,其中鉛、鋅和銅的总含量不低于 15%;(2)浸染(細脉浸染)狀矿石;(3)脉狀的(巢狀-脉狀的)。

在工业上有主要意义的是占全部原生矿石将近 75%的第一和第二組矿石。

致密硫化矿石乃是細粒和中粒的块狀结构的硫化矿物集合体(图 2,а),比較少見的还有呈条带斑点狀结构的。金属矿物中占多数的矿物是閃鋅矿。方鉛矿、黃銅矿和黃鉄矿的

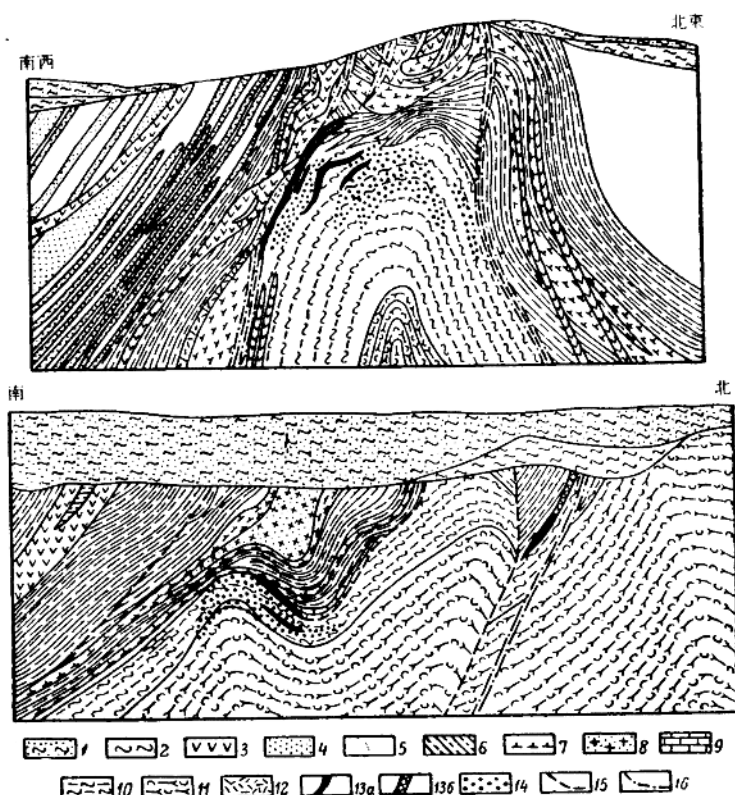


图 1 孜里亞諾夫斯克矿床的地质剖面 (根据 А.К. 卡尤波夫[Каюпов] 等人的资料)

1—第四纪沉积；2—第三纪（ τ ）沉积；3—玢岩；4—砂岩；5—粉砂岩和頁岩；
6—灰质和硅质粉砂岩，灰质粉砂岩；7—斑岩和残斑变岩；8—斑岩；9—碳酸盐
岩石；10—石英岩，微石英岩和片岩；11—石英岩的凝灰岩和綠泥石片岩；
12—石英綠泥石片岩；13—致密矿石；13a—硫化矿石；13b—氧化矿石；14—浸染
矿石；15—断裂破坏；16—扭曲带、破碎带和片理带

数量大致相等 ($\text{Pb}:\text{Zn}:\text{Cu}:\text{Fe}=1:2.8:1:1.1$)。在个别情况下，方鉛矿或者黃銅矿也可以成为矿石中的主要組成部分。在极少的情況下，也看到致密的含黃鉄矿矿石的聚集，其中閃鋅矿、方鉛矿和黃銅矿充填在黃鉄矿顆粒之間^[20]。虽然矿石中閃鋅矿占多数，但是由于分散在閃鋅矿之間的方鉛矿、黃銅矿和黃鉄矿顆粒在电性上是連通的，所以孜里亞諾夫斯克矿床的致密矿石大都是良好的电子导体。

致密矿石中的石英包裹体和其他脉石矿物呈星散顆粒状 (图 2, e, ж, з) 或細脉状分布，它們对矿石的导电性沒有重大影响。矿体和围岩除了在导电性上有明显差別之外，致密矿石对围岩的剩余密度也很大。

浸染矿石是由相同硫化矿物的星散状浸染体、小矿巢和細脉孤立地分散在微石英岩中形成。硫化矿物浸染体在片岩、碳酸盐岩石，有时还在玢岩中見到。按成分来看，浸染矿石和致密矿石的差別是，黃鉄矿含量有某些增加 ($\text{Pb}:\text{Zn}:\text{Cu}:\text{Fe}=1:2.6:1.0:1.6$)。浸染矿石的分布是受岩石中片理和裂隙总的发育情况所控制。在致密矿体附近常常可以看到达到

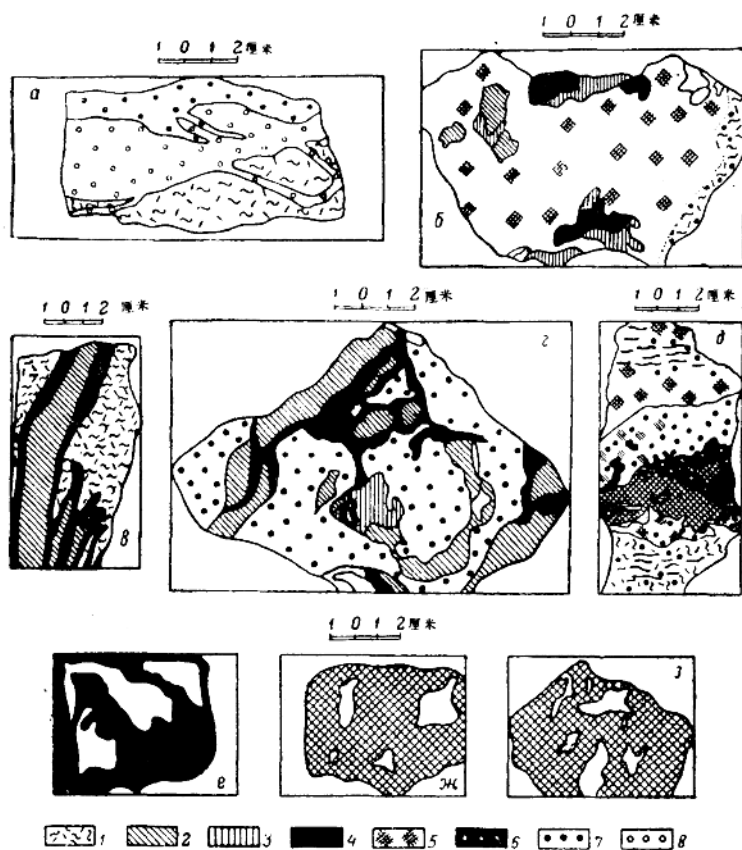


图 2 孜里亞諾夫斯克矿床矿石素描图 (根据 A. K. 卡伏波夫和 E. A. 福列罗夫 [Флеров] 的资料)

a—閃鋅礦和方鉛礦在石英絹云母片岩中的浸染矿脉中的相互关系；b—硫化矿物在石英碳酸盐岩石中的巢状分布；c—硫化矿石的带状结构；d—粗晶质多金属矿石被細粒方鉛礦胶結；e—粗晶脉脉切穿石英碳酸盐岩脉；e, ж, s—硫化矿石中石英包裹体的特征
1—石英絹云母片岩；2—閃鋅礦；3—黃銅礦；4—方鉛礦；5—石英碳酸盐岩脉；6—致密多金属矿石；7—浸染鉛-鋅矿石；8—浸染鋅-鉛矿石

工业要求的浸染矿化带，这个带的走向和倾向都大致和致密矿体相一致[48]。从致密矿体向浸染矿体的过渡通常是渐变的，虽然也能看到浸染矿体界线清楚的情况。在片岩和微石英岩中的浸染矿石通常是良导电的。只有硫化物浸染体为互相分离的带时，例如在碳酸盐岩石中（图 2, б），才是不导电的，这种矿体通常也是没有工业价值的。非常貧的（“平衡表外的”）浸染矿石和围岩相比，剩余密度大約是 0.1 克/立方厘米。

脉状矿石常常具有带状结构（图 2, a, в）。它们的特征通常和致密矿石相似，具有电子导电性，并且密度大。

在普廷采夫矿床，围岩是綠泥石絹云母片岩、凝灰质片岩和石英斑岩。一部分矿体（按 С. М. 格列鮑夫 [Глебов] 的资料）是位于片岩和斑岩的接触面上。整个含矿岩层組，包括矿脉在內，都被玢岩脉所切割，并使矿体的某些部分发生錯动。

在普廷采夫矿床的原生矿体中，大半是呈条带状构造的致密矿石。在矿石中閃鋅礦占

絕對多數，但也和在孜里亞諾夫斯克礦床一樣，礦石被導電的硫化物貫穿。

格雷霍夫組的礦床具有相似的地質情況，按礦化類型來看，彼此沒有本質上的差別。組內兩個礦床的特征都是細脈浸染礦石占主要地位。

第一格雷霍夫礦床的礦體多集中在微石英岩中，少部分地是在由殘斑變岩形成的絹雲母片岩中。礦石是以閃鋅礦為主的典型多金屬礦石。以黃鐵礦化的石英-絹雲母片岩和由閃鋅礦小顆粒富集成的小條帶成交互層的帶狀礦石分布最廣。

第二格雷霍夫礦床的礦體是生在石英綠泥石片岩中。原生礦石的主要成分是黃鐵礦。根據 И. В. 利亞赫尼茨卡婭 (Ляхницкая) 的資料，在第二格雷霍夫礦床的礦石中出現有星散顆粒狀的磁黃鐵礦。

扎沃德礦田的大多數礦床是屬於脈型的。其中第二扎沃德礦床是典型的多金屬礦床。這個礦床的硫化礦石分致密的和浸染的兩種。致密礦石以閃鋅礦為主（達 40%），同方鉛礦緊密地生在一起。浸染礦體散布在主要礦體上下盤的微石英岩、綠泥石化和絹雲母化片岩中。

第一扎沃德礦床的特征是致密礦石中幾乎只含單礦物的方鉛礦。

對普廷采夫、格雷霍夫和扎沃德等礦床的礦石和岩石的物性沒有作過專門的研究。但是根據它們的岩石及礦石的岩性-岩相特征，以及過去的地球物理工作結果，可以對它們的物性推測：上述礦床的硫化礦石通常都具有很高的導電性。至於礦石和岩石的密度及磁性方面的差別，則和孜里亞諾夫斯克礦床的這方面資料非常相似。

§ 2. 列寧諾哥爾斯克礦田

列寧諾哥爾斯克礦田位於北東扭曲帶的兩條分支之間。根據某些研究者的意見^[17]，列寧諾哥爾斯克礦田的主要礦床是生在三個傾斜很緩的北-北西向背斜褶皺中。這些褶皺乃是這個地區的主要構造單元。根據 Г. Н. 舍爾巴 (Шерба) 的意見，發育在很緩的背斜翼部的複雜隆起構造（“火山隆起”）是列寧諾哥爾斯克礦田的含礦構造^[112]。

在列寧諾哥爾斯克礦田中包括有巨大的里迭爾和索柯爾礦床，比較小的是克留科夫、依利茵和十五個更小的礦點。其中以含鉛-鋅礦石為主的多金屬礦床占絕大多數。

里迭爾和索柯爾礦床的主要礦體位於含有石灰岩夾層的泥質和灰泥質頁岩“屏蔽”層下部的“克留科夫”組 (D_2^1 - 2) 的凝灰質岩石中（圖 3）^[26]。礦體的圍岩都變成了微石英岩。除了矽化作用之外，還廣泛發育着碳酸鹽化和重晶石化作用。

在里迭爾（列寧諾哥爾斯克）礦床含礦層的全部岩石中，以微石英岩和酸性成分的凝灰岩為一方，以絹雲母-碳酸質-石英質片岩為另一方，存在着非常明顯的密度差別（見表 1）。前者最常見的密度值為 2.68~2.69 克/立方厘米，後者大約為 2.76 克/立方厘米。其他岩石的密度值介於其間。

和在孜里亞諾夫斯克礦床一樣，此處岩石的密度也和硫化物礦化程度有直接關係。例如，矽化泥質頁岩的密度，當其中含有黃鐵礦時，可以達到 2.95 克/立方厘米，而不含有硫化物時，它的最可能的密度值不超過 2.74 克/立方厘米。基性凝灰岩的密度變化也是如此。

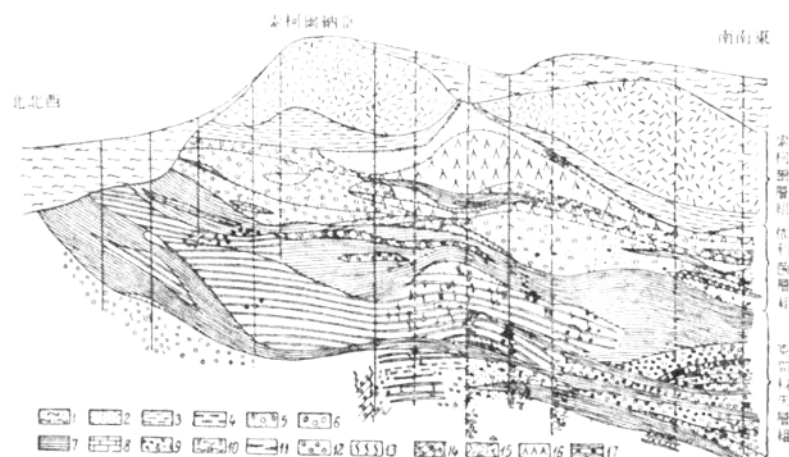


图3 索柯尔山地区的地质剖面

1—亚粘土；2—砂屑质凝灰岩；3—灰质粉砂岩；4—克留科夫统粉砂岩；5—砾状凝灰岩；6—粗碎屑凝灰岩；7—砂泥岩；8—石灰岩；9—絹云母石英岩；10—石英絹云母岩；11—致密硅化物多金属矿石；12—浸染矿石；13—細脉矿石（网脉状）；14—集块状凝灰岩和带陆源胶结物的层凝灰岩（杂色的）；15—石英角闪岩和斑岩；16—杏仁状斜长斑岩；17—由集块状凝灰岩和砂泥岩变成的石英岩

根据电阻率可以非常明显地把微石英岩分出来，按 B. H. 列契金娜的资料，它的 ρ_{κ} 值可达到 18500 欧姆-米（表 3）。和致里亚诺夫斯克矿床类似，片岩的电阻率随其所含的硅质和碳酸盐成分的增加而增高。此处泥质页岩电阻率的特点，同样也是具有比较稳定的低值（ ρ_{κ} 在 600—700 欧姆-米左右）。一般说来，絹云母岩、石英角闪岩和凝灰岩的电阻率是很不稳定的。

在里迭尔矿床钻孔中测得的岩石平均视电阻率

(根据 B. H. 列契金娜的资料)

表 3

岩石名称	测量次数	ρ_{κ} 值变化范围 (欧姆-米)	ρ_{κ} 平均值 (欧姆-米)									
			260号孔	263号孔	269号孔	195号孔	211号孔	203号孔	208号孔	209号孔	204号孔	210号孔
泥质页岩	142	—	—	—	568	—	532	759	—	321	362	1188
硅化泥质页岩	74	263—2500	1109	338	825	—	—	—	—	—	—	—
灰泥质页岩	269	最大3580	—	609	1026	—	—	2135	2805	730	402	693
硅化灰泥质页岩	8	363—5650	—	1688	—	—	—	—	—	—	—	—
微石英岩	482	81—18500	3024	2822	2136	—	—	—	—	—	—	—
絹云母岩	65	131—1648	—	303	1013	—	—	—	—	—	—	—
石英角斑岩	62	190—5115	—	—	—	343	—	—	4525	1768	—	433
红绿色凝灰岩	291	—	—	540	204	—	1751	—	—	—	—	747

里迭尔矿床岩石的磁化率不超过 $100-200 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ （见表 1），最常见的磁化率值在 $20 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ 以下。基性凝灰岩的磁性稍高些（ χ_{max} 达 $150 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ ）。

在灰泥质页岩和綠帘石—綠泥石片岩，以及絹云母—碳酸盐—石英片岩中，有的磁化率可以达到 $70 \times 10^{-6} \text{CGSM}$ 。磁化率最低的是硅化泥质页岩、微石英岩和石英角闪岩。

上面列举的里迭尔矿床围岩的物理性质，对于地质情况相似的索柯尔矿床基本上也是