

科拉超深钻井

(上)

[苏] E.A.科兹洛夫斯基 主编

张秋生 主译

地质出版社

科 拉 超 深 钻 井

超深部地壳地质 地球物理 钻井技术

(上)

[苏] E·A·科兹洛夫斯基 主编

张秋生 毛成云 译

秦国兴 校

6723/111

地 质 出 版 社



B 636303

内 容 介 绍

《科拉超深钻井》分上、下两册出版,本书是上册。书中首次根据超深钻井的资料、岩心和钻井周围空间的综合地质-地球化学研究资料,对波罗的地盾前寒武纪大陆壳深达11600m的垂直剖面进行了研究;对其中发生的包括成矿作用在内的各种作用进行了阐述。本书是研究古老大陆地壳结构和地壳中已经发生与正在发生的一些地质作用的极为珍贵的资料。

本书可供从事地质、地球物理及钻探专业的科研人员参考。

КОЛЬСКАЯ СВЕРХГЛУБОКАЯ

Исследование глубинного строения континентальной
коры с помощью Бурения Кольской
сверхглубокой скважины

Главный редактор издания—д-р техн. наук, проф.

Е. А. КОЗЛОВСКИЙ

МОСКВА «НЕДРА» 1984

科 拉 超 深 钻 井 超深部地壳地质 地球物理 钻井技术 (上)

〔苏〕Е.А.科兹洛夫斯基 主编

张秋生 毛成云 译

秦国兴 校

责任编辑:李上男

地质出版社出版发行
(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)
新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆印张: 14 字数: 327000
1989年8月北京第一版·1989年8月北京第一次印刷
印数: 1—860册 国内定价: 6.10元
ISBN 7-116-00474-2/P·400

中 译 本 序

正当张秋生教授逝世一周年的时候，地质出版社出版了由他主持译校的、苏联 E. A. Козловский 等人编著的《科拉超深钻井》（超深部地壳地质、地球物理、钻井技术）一书。对我国地质学界，这是件有意义的事；也是我们活着的人怀念逝者的最好方式。《科拉超深钻井》中译本的出版，可慰过早辞别人世的张秋生教授在天之灵。

大家知道，由70年代初开始的在苏联波罗的地盾东北部科拉半岛上的超深钻井计划，是为全世界地质学家所瞩目的一个壮举。关于这个超深钻，迄今我们只知其事，不知其详。从杂志文献和口头报告中，只透露了某些片断。大家都迫切希望知道关于它更多更详的情况。1984年，B. И. Казанский 教授——该书原作者之一，把刚刚在苏联出版的、首次公诸于众的俄文版新著，赠送给张秋生教授。秋生同志以他的科学敏感，认为有立即组织力量译成中文之必要，以飨中国读者。这一想法得到地质出版社的支持。这就是本书中译本得以出版的原委。当我们手捧此书之际，我们衷心感谢苏联的原作者们，还要感谢慷慨赠书的 B. И. Казанский 教授，更要感谢张秋生同志及其合译者。

这是一本值得仔细研读的好书。老少咸宜，读者当会从中获得教益。苏联地质学家，历时一十有五年（1970—1984，钻进近12km。要完成15km的钻进计划，还得花上若干年时间），持续地用先进综合方法研究了深达11600m的剖面岩芯，并对超深钻井进行了系统的地球物理观测。所获丰富资料，分地质、地球物理和钻探三大篇，分门缕析，凡29章，标志着苏联地质学当代的水平。

固然，超深钻井也还是“一孔之见”，但这“一孔”却非同一般。迄今超深钻井所获结果，有些是始料所及的，更多的是始料所不及的。毕竟因此“一孔”而打开了地质学家的眼界。现今关于地壳结构的许多概念，因此“一孔”而迫使我们不得不作相应地修正。这本专著的意义，不仅在于告诉了我们在地壳12km深度内，已经看见了什么；更重要的是给了我们这样一个启示：人们对地壳的了解远远不够，许多未知事物，等待我们去发掘。这一点对我国青年地质学家，特别具有挑战性。在地质学领域内，我们不是无所作为，而是大有用武之地。

趁张秋生教授译著出版的机会，我愿在这里再次呼吁，在中国地质学界，在我们长春地质学院，要竭尽全力创造一种使优秀青年脱颖而出的条件，鼓励青年人超过老年人，学生超过先生，别人超过自己。这是张秋生教授的遗愿，也是老一辈地质学家对青年一代的殷切期望。

长春地质学院院长、教授

张贻侠

1988年12月28日

目 录

中译本序

绪论 *Е. А. Козловский* (1)

第一篇 地 质

波罗的地盾东北部的地质构造 *В. С. Ланев, И. В. Литвиненко, Э. Б. Наливкина, М. С. Русанов, С. Н. Суслова* (10)

科拉半岛地质构造的基本特征 (10)

科拉半岛的深部结构 (15)

СГ-3号钻井所在地区的地质结构 (16)

СГ-3号钻井所在地区深部地球物理研究的主要成果 (23)

钻井地质剖面 *В. С. Ланев, Э. Б. Наливкина, В. В. Вахрушева, Е. А. Голенкина, М. С. Русанов, Ю. П. Смирнов, С. Н. Суслова, Г. Г. Лук, Т. В. Кольцова, В. А. Масленников, Б. В. Тимофеев, В. Г. Заславский* (26)

贝辰加杂岩 (26)

太古代杂岩 (37)

剖面岩石的物理分层 (42)

剖面岩石的地层划分 (43)

贝辰加杂岩和科拉群的时代 (44)

岩石和造岩矿物 *Э. Б. Наливкина, В. С. Ланев, Н. П. Виноградова, С. Н. Суслова, М. С. Русанов, И. Н. Далекая, А. Г. Нехорошева* (50)

贝辰加杂岩的变质岩和侵入岩 (50)

太古代杂岩的多相变质岩 (62)

深部垂直剖面内的造岩矿物 (76)

前寒武纪杂岩的地球化学特征和形成条件 *А. А. Брежневский, Л. Н. Овчинников, И. В. Банщикова, И. В. Лапидус, М. С. Русанов* (79)

贝辰加杂岩 (80)

太古代杂岩 (99)

地壳的地球化学剖面 (111)

变质作用的分带性和时代 *А. А. Глаголев, В. И. Казанский, К. В. Прохоров, В. Л. Русинов, В. А. Масленников, С. Н. Вороновский, Л. Н. Овчинников* (116)

垂直变质分带性 (116)

低温退化变质作用 (127)

变质作用的物理-化学条件	.....	(129)
带状变质作用的时代	.....	(133)
成矿作用	<i>А. Д. Генкин, Г. И. Горбунов, В. И. Казанский,</i> <i>В. С. Ланев, А. А. Филимонова, Ю. Н. Яковлев</i>	(139)
铜-镍硫化物矿化	.....	(141)
变基性岩中的铁-钛矿化	.....	(148)
含铁石英岩	.....	(151)
退化动力变质带中的热液硫化物矿化	.....	(151)
断裂和矿化裂隙	<i>В. И. Казанский, Ю. П. Смирнов, Ю. И. Кузнецов</i>	(155)
断裂和动力变质作用	.....	(155)
矿化裂隙及其在深处的分布	.....	(162)
岩石的裂隙度、物理性质和非均质性	.....	(166)
气体和有机物质	<i>Е. В. Карус, В. Д. Нартиков, О. В. Барташевич,</i> <i>Г. М. Гиладвили, С. В. Икорский, М. А. Павлова,</i> <i>И. А. Петерсилье, Т. Ф. Писарницкая</i>	(168)
钻井的气体分析	.....	(168)
岩石中的气体	.....	(171)
有机物质地球化学	.....	(179)
水文地质概述	<i>Л. В. Боревский, Г. С. Вартамян, Т. В. Куликов</i>	(189)
贝辰加准自流盆地的地下水	.....	(189)
地下水的化学成分	.....	(191)
地下水和水物理分带性	.....	(193)
前寒武纪大陆地壳的演化	<i>В. И. Казанский, А. А. Кременецкий, В. С. Ланев,</i> <i>Э. Б. Наливкина, Л. Н. Овчинников</i>	(200)
贝辰加地区的立体地质模型	.....	(200)
贝辰加区域地质发展历史	.....	(202)
矿化的演化和垂直分带性	.....	(210)
前寒武纪地壳的演化	.....	(211)
结束语	<i>Е. А. Козловский</i>	(217)

绪 论

为寻找新的矿物原料来源，人类已经开始开发大陆架和洋底。在大陆上矿床的勘探和开采深度也在加大（图1-1）。油气田的勘探和开采深度已达到5—6km。竖井也变得更深。在某一金矿床中正在从超过3km的深处开采矿石。甚至铁矿石的开采深度，例如在克里沃罗格，也已经达到1km左右，而可能储量的评价已经达到2.5km深度。近年来查明的绝大多数新的矿物原料资源都与未出露地表的矿床有关。

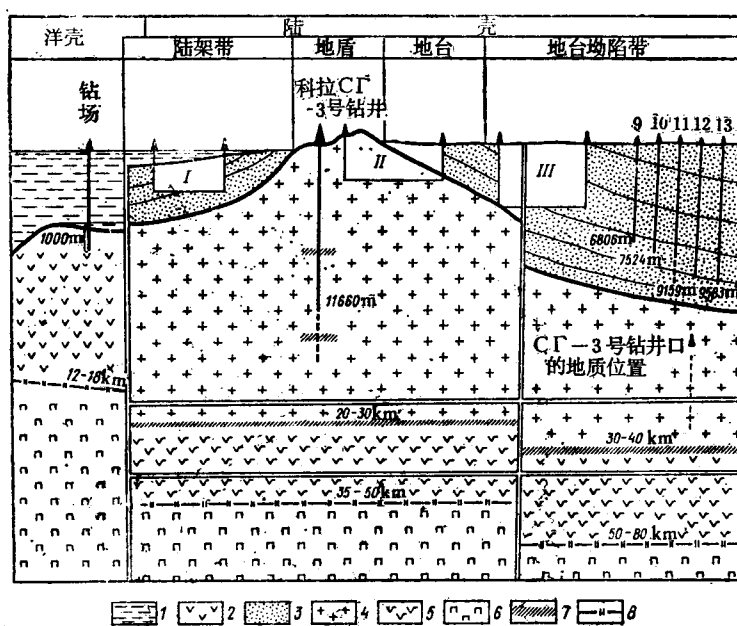


图 1-1 根据深钻资料编制的地壳概略剖面

钻探的深度范围：I—陆架带内；II—固体矿产；III—含油、气钻井。1—地球的水圈；2—大洋玄武岩；3—显生宙沉积岩和沉积-火山岩（年龄500Ma）；4—前寒武纪“花岗岩”层结晶岩（年龄大于1000—3000Ma）；5—大陆“玄武岩”层岩石；6—地幔岩层；7—高速层—康拉德面（ $v_p = 6.6-6.8 \text{ km/s}$ ）；8—莫霍面（弹性波传播速度 $v_p = 8.0 \text{ km/s}$ ）；9—阿拉尔索尔超深钻；10—舍甫琴柯超深钻；11—萨特雷超深钻；12—拜登超深钻（美国）；13—贝尔塔·罗杰斯超深钻（美国）

因此，研究地壳深部结构具有越来越大的现实意义。苏联境内深部结构的研究，可划分为三个阶段。第一阶段是本世纪60年代，提出了任务，进行了科学的准备工作，针对深达10—15km的超深钻进和井中地质-地球物理研究，制造了国产的技术设备。第二阶段在70年代，在此期间进行了科拉和萨特雷超深钻井的试验性钻进和利用深部地球物理方法对某些区域进行了研究。第三阶段开始于1981年，它以在全国转入对地壳和上地幔进行有计划的研究为标志。

1960—1969年。提出了组织地球深部结构研究的意义。

1965年制定了研究地壳深部结构的综合科学-技术计划。计划规定首先要实施科拉和

萨特雷超深钻进。科拉超深钻井应当在科拉半岛上距扎波利亚尔内市10km的贝辰加铜镍矿区内揭露波罗的地盾最古老的太古界剖面，而且如果可能的话应进入玄武岩层，根据初步地球物理资料判断，玄武岩层会在7km左右的深处遇到，而萨特雷超深钻井布置在阿塞拜疆共和国境内的库林洼地中，据推测，这里已知的重力最大值是由玄武岩层顶面的局部升高引起的。

1970—1980年。70年代的工作计划是要建立地壳和上地幔的结构模型，制定新的矿床预测方法，编制包括储量定量评价的预测图，在苏联各个远景区内确定各种主要矿产的普查、勘探工作的方向。

70年代初完成了科拉超深钻井的开钻准备工作。从这时起开始了地球深部研究的第二个阶段。

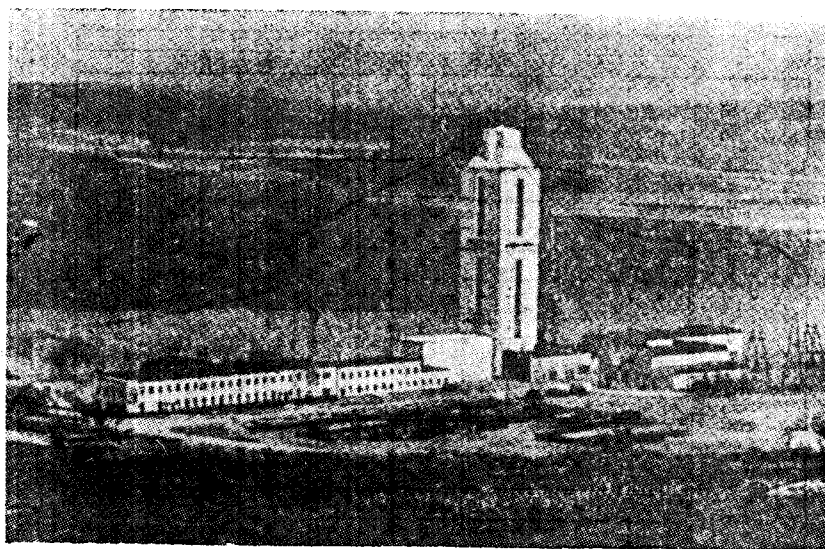


图 1-2 科拉超深钻井场全景

科拉СГ-3号超深钻井（图1-2）于1970年5月开始钻进，其目的任务如下：

1. 研究科拉半岛地区波罗的地盾太古代结晶基底和含镍的贝辰加杂岩的深部结构，查明包括成矿作用在内的地质作用的特点；
2. 查明大陆地壳内地震界面的地质性质并取得有关地球内部热状态、深部水溶液和气体的新资料；
3. 获得最充分的有关岩石物质成分及其物理状态的信息，揭露和研究地壳花岗岩层和玄武岩层之间的边界带；
4. 完善现有的和创立新的超深钻进的技术和工艺；以及深部岩石和矿石的综合地球物理研究方法。

到1980年，在许多地区根据利用工业爆破记录数据所编制的剖面，在研究地壳和上地幔结构方面已完成了多年的地球物理工作。总共完成了18000km深部地震探测剖面。在完成探测工作的方向上，探明了地壳的深部结构——查明了东西伯利亚地区莫霍面和前里菲纪基底的高程及其起伏，确定了固结地壳和沉积盖层中的一系列过渡界面，查明了断裂带及其垂向延伸范围，详细确定了正构造单元和负构造单元的区域边界及其深部构造，内生

矿化的富集，石油和天然气聚集区可能与这些构造单元有关。在东欧和西伯利亚古老地台及其周围的年轻台坪和褶皱构造范围内取得了有关上地幔结构和物理参数的新资料。编制了深达400km左右的速度剖面，研究了介质的吸收性，对所划分出的纵地震波区域速度异常作出了综合地质解释。对苏联境内包括西西伯利亚在内的一系列大型构造单元，计算了地壳和地幔的理论模型。

根据不同地质构造带的各种地球物理资料所作的综合解释，可以得出如下结论：以前形成的关于被研究介质模式的概念（地球物理资料向来是根据这种概念进行解释的）是过于简单了。例如，已经查明：

1. 地壳和岩石圈的结构在垂直和水平方向上具有很大的不均匀性；
2. 深部结构与近地表地质构造具有复杂的相互关系——地球物理（特别是速度）参数和由其引起的异常体之间在不同的构造水平上不相吻合，这可以作为岩石圈构造很不协调（似乎是逐层不协调）的一个证据；
3. 在地壳和上地幔中，除了地质界面（构造-物质界面）外，还明显地出现介质的不同地球动力状态的界面，这种界面见于较小的深度（10—15km）范围内。

科拉CF-3号超深钻井在1980年已经达到10.7km的深度。它钻进的结果首次获得了独一无二的有关波罗的地盾深部结构的地质-地球物理资料^[53、99、100]，从而对钻进前占统治地位的一些理论概念作了重大修正。根据对岩心的矿物-地球化学成分所作的直接研究和井中的综合地球物理研究，获得了有关深部岩石的物质成分和物理状态的资料，这些资料与钻进前根据地球物理资料所建立的剖面模型的资料有着明显区别。它们对于在科拉半岛和其它古老地块上预测隐伏的矿床——铁、铜、镍、云母和稀有金属矿床，具有重要意义。根据这些资料还可以对地球物理资料作出可靠的解释，而这种解释在地质构造问题的研究中会起很大作用。

查明了岩石的成分和性质随着深度增加而发生有规律的变化。首次在单一剖面内揭示了不同于理论模式的岩石变质的垂直分带性，这可用于进一步发展岩石成因理论。

查明了自由水和结合水在带状进化变质过程中不同的性状；在变质作用增强过程中，特别在超变质作用条件下，造岩元素具有等化学性，而杂质元素发生强烈的再分配。

通过实验查明了古地壳的地热状态。查明了地热梯度比以前推测的要高。查明了地幔源和放射成因来源在总的深部热流中所起的作用。对建立地壳形成的热模型作出了重要的贡献，因为它考虑到了实际存在的内热部分。

首次建立了11.6km深度范围地壳的垂直地球化学剖面，查明了岩石的酸度和碱度随着深度的变化规律以及与其相关的成矿元素、稀有元素和放射性元素的性状。根据深部地震探测资料建立了原始大陆壳的化学成分模式。

取得了关于地壳深部层位成矿作用的崭新资料。在1665—1830m井段内揭露了具有工业意义的铜镍矿石，这种矿石属于以前未知的“矿层”，这就扩大了在贝辰加地区发现新的铜、镍矿床的可能性。发现镍矿石延伸很深，而且矿石中有用组分的含量很稳定。离地面6500—9500m的深处首次揭露了铜、铅、镍矿化带。由此证明，不仅地壳的上层，而且地壳的下层也是有利于矿产形成的。这一结论对于进一步发展矿床学具有重要意义，而且扩大了找寻新矿床的前景。

对于古老地盾，首次证实在深部存在着饱含深部地下水的高孔隙岩带和裂隙岩带，这

是以前未曾想到的。查明了地下水化学成分的特点，从而对建立地壳基本的水物理分带模型上作出了重大贡献。

同时获得了深度超过10km的岩石的物理状态和性质的资料，有些地方还发现岩石具有强渗透性，这对于预测人工地下“空洞”的工程-地质条件和评价是否可以利用这种“空洞”来解决有毒工业废物的埋藏问题具有重要意义。

根据井中地球化学、地球物理和核地球物理研究资料和岩心的实验室研究资料，查明了科拉СГ-3号超深钻井揭露的岩石的化学成分、结构和物理性质之间的相互关系。在此基础上确定了大陆地壳中深部地震界面的确实的地质属性。这些资料并未证实贝辰加地区深部结构的地球物理模型。钻井在7000—7500m深处并未遇到根据地球物理资料划分出的玄武岩层，而却揭露了致密的太古代片麻岩，这促使我们要用新的观点来解释地面区域性地球物理研究资料，不仅在波罗的地盾，而且在其它古老结晶岩分布地区都应这样做。

把科拉钻井的剖面作为标准加以利用，可以提高地球物理工作的可靠性，特别是提高正在苏联国内外大规模进行的深部地震探测的准确性。

通过打科拉钻井取得了关于地壳深部结构和岩石状态的资料，根据这些资料可以很可靠地评价各种内生作用在岩石形成和成矿过程中的意义，而且可以在新的基础上提出成矿假设。所研制和推广的新技术措施和方法使井中地球物理研究工作提高到了一个新的水平，这对于提高石油和天然气以及其它矿产地质勘探工作的效率和质量具有重要意义。

另外一个超深钻井——萨特雷钻井于1977年在库林洼地开始钻进，那里很早以前就发现存在一个重力最大值。据推测，这个重力最大值是由玄武岩层顶面的局部隆起引起的。钻井穿过疏松的新生代和晚中生代沉积层之后，进入了看来是属于白垩纪和侏罗纪的很厚的火山岩层。显然，正是这个岩层是造成重力最大值的根源。现在这个钻井的任务在于穿过整个火山岩层到达古生代基底。

在科拉和萨特雷钻井的钻进过程中解决了一系列重要的深钻技术问题，创立了新技术。

在世界超深钻钻探实践中（美国），使用着工作性能参数非常高的设备（荷载能力6—8MN、泵压50MPa）。但是，在国外所达到的深度未超过9100m—9600m。分析钻探设备发展趋势表明，进一步提高设备的荷载能力方面实际上已无潜力可挖。苏联专家们能够研制出先进的钻井工艺，这种工艺可保证钻井钻到所设计的很大的深度（大于10km），而只需使用荷载能力（5MN）和压送压力（40MPa）较小的钻探设备。这种工艺的特点在于使用国产涡轮机和铝合金钻杆，进行超前井身钻进。

乌拉尔重型机器制造厂的科学家和工人们为了实现钻到以前不能达到的深度这一计划，制造了新的钻探设备（图1-1、3、4）。研制和运用了适用于深部条件的岩石破碎工具和井底发动机，其中包括带有油浸密封支承的钻头，能在最佳转速范围内稳定工作的速减器式涡轮钻机。研制和运用了控制涡轮钻机在井底工作的设备，没有这种设备，利用井底发动机在超过8—9km的深处进行钻进是不可能的。研究和运用了高强度的（流变极限达到500MPa）和耐热的（达到200℃）轻合金钻杆，它们能保证在钻井内高速升降钻具时不发生故障。

第十一个五年计划（1981—1985）中开始了研究地球深部结构的新阶段。

分析苏联在1981年以前完成的超深钻进和区域地球物理研究的资料表明，为了提高工

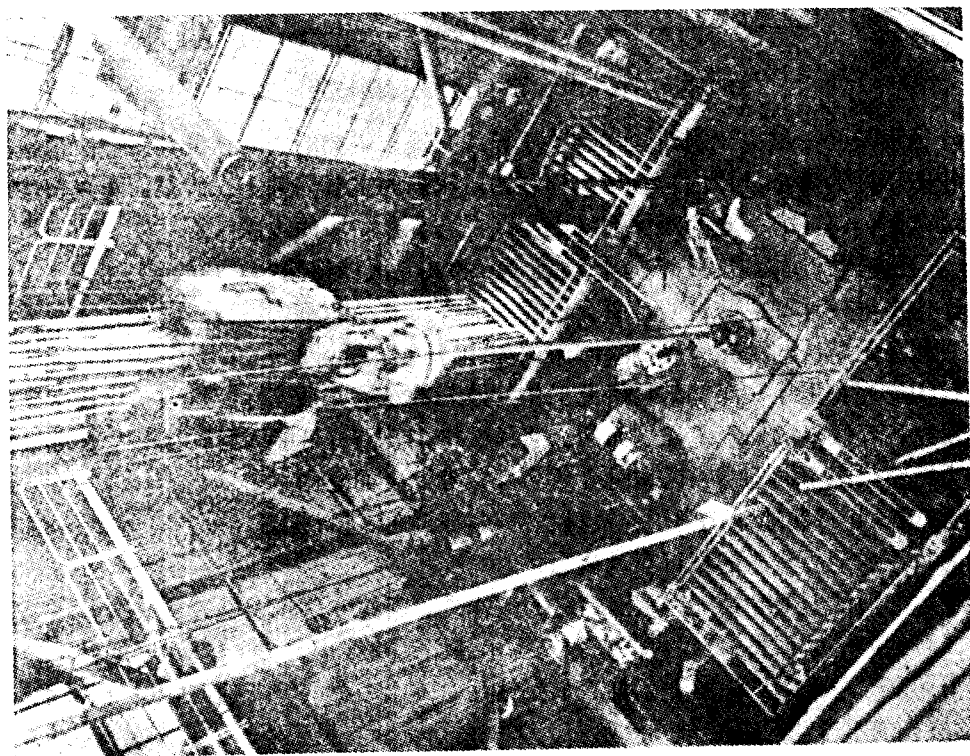


图 1-3 往钻井中下放钻杆往

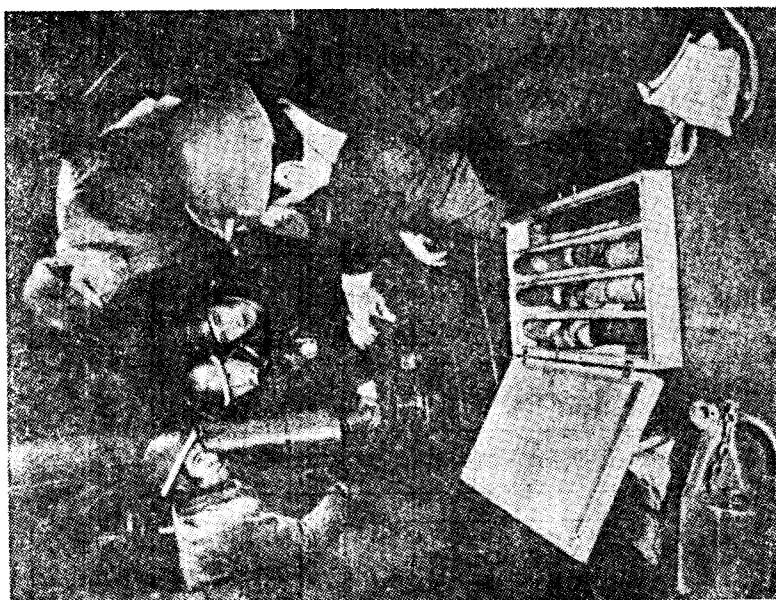


图 1-4 岩心的提升和取出

作效率需要重新考虑这些工作的规划和实施，这就是要建立全苏统一的地壳和上地幔区域研究体系^[9,51]。

这种体系的基础是互相联系的地球物理剖面网，而这些剖面是建立在超深控制井和深控制井基础上的（图1-5）。体系中还应包括预测用于研究地球物理场变化的地球物理靶区。基本控制网应当作为各地区更详细研究的标测基线。在对材料进行综合解释时利用航天地质测量和航空地球物理测量资料，使我们有可能建立苏联全国不同级别的地质-地球物理立体模型。

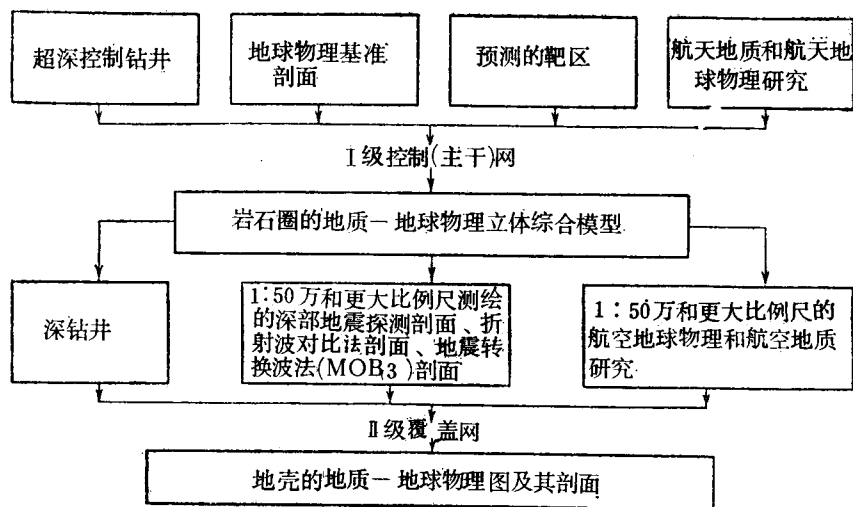


图 1-5 苏联境内地壳和上地幔区域研究图解

沿着延伸很长的一级主干剖面（称为地质导线）进行研究的主要任务是研究全国地球动力发育状态不同的各个区域内岩石圈结构和物质状态的主要差别。二级剖面布置在均质的构造断块范围内，或者一定的断块系统中，以及布置在断块的边缘（连结处、断裂带、接触带），并且应当解决构造、岩性（物质成分）和其它区域性问題。一级和二级主干靶区内的工作应做得较详细，其目的是研究地壳上层介质局部的不均质性、断裂和接触带。工作的主要任务是解决与中、大比例尺矿床预测和普查有关的问题。

所进行的地壳和上地幔深部结构研究工作的显著特点是其系统性，这项工作规定要在广大地区建立相互联系的一级基准剖面网。这样做使得我们有可能观察到从一个区域过渡到地球动力发育状况不同的另一区域时介质物理参数发生的变化。

将地质-地球物理和地球化学研究资料在空间和时间上进行综合，就有可能获得关于研究介质的结构和动力状态的更可靠的概念。

已规定要大大扩大深井钻进和超深钻进的工作量。科拉和萨特雷钻井将继续钻进。安排了秋明、阿纳斯塔斯耶夫-特罗伊茨克和乌拉尔超深钻井（达到12—15km）的钻进。同时，在第十一个五年计划期间要开始打六个深钻井，其中三个（第聂伯-顿涅茨、滨里海、提曼-伯绍拉）位于含油区，三个（穆龙套、诺里尔斯克、克里沃罗格）位于矿区。

科拉超深钻井在第十一个五年计划中，应当达到13000m的深度。根据地震研究资料，它将揭露地壳内新的界面。据推测，可能揭露所谓的麻粒岩-基性岩层。随着钻井加深，

将“Уралмаш-15000”型钻机进行进一步的工业试验，将研究超深钻进工艺，研制和推广高压和高温条件下用的新的地球物理仪器。

已经决定，科拉超深钻井完成以后将变为独一无二的天然实验室，用于研究地壳中发生的各种深部作用，进行长期的温度状态的观测、研究在深埋藏工业废物的可能性及其条件，试验和完善地质-地球物理、地球化学和水文地质研究的仪器和方法。萨特雷钻井的钻进和综合地质-地球物理研究将继续到11000m深度。

秋明超深钻井将确定西西伯利亚北部侏罗纪和前侏罗纪地层的含油气性，查明这一地区的深部结构和确定其远景。乌拉尔超深钻井将有助于揭露最大的含矿褶皱区的剖面和解决与在该地区预测新矿床有关的极其重要的地质问题。根据超深钻进的结果，并结合地球物理研究，能更可靠地论证1990—1995年和直到2000年的普查和勘探工作方向。

在1981—1985年，在完善超深钻进的技术和工艺，以及控制测量仪器方面将继续进行科学研究和设计-试验工作。必须加快生产下列产品：(1)高强度钻杆和接头的试验样品和工业样品；(2)能保证在温度升高条件下，有效地进行取心钻进的破岩工具；(3)耐热的减速器式轮钻机；(4)在大于10000m的深处进行地球物理工作的成套设备；(5)记录钻进状态的井底仪表系统；(6)制备耐热冲洗液用的化学试剂和润滑添加剂；(7)制作钻具和井底发动机用的专门的耐热材料。已经开始了建立试验台的工作，在这一试验上可以模拟15—20km深的、井底温度为300—400℃、压力为200—300MPa的钻进条件。

准备为乌拉尔、秋明和阿纳斯塔斯耶夫—特罗伊茨克钻井建造荷载能力达5MN和泵的工作压力达40—50MPa的高度机械化的钻探设备。在科拉СГ-3号超深钻井，必须研究和检验在深度超过12km时的超前钻进工艺。对萨特雷超深钻井，编制了达到13km深度的超前井身的钻进设计书。计划还规定要研制不提钻取岩心的钻进方法。

在借助深钻井和超深钻井⁽⁵¹⁾研究地壳深部结构的计划中，研制在高温（达350℃）和高压（达到30MPa）条件下进行井中地球物理研究的技术设备占有重要地位。目前供在深达15km的钻井中进行升降作业使用的固定式测井升降机已在科拉和萨特雷超深钻井中交付使用。还必须研制地球物理工作中使用的长15500m的，能荷重的三心电缆。

综合计划的主要目的是研究大陆地壳和大陆上地幔。同时，值得指出，当苏联订出了计划并着手开展这些工作时，美国学者提出了在大洋中打钻的计划，计划后来变成了一个国际性计划。许多国家，其中也包括苏联参加了这一计划的实施。美国“格洛玛·查林杰”号钻探船在各个大洋中已钻了500口以上的钻井。这些钻井首次提供了关于洋底沉积层的成分、时代和结构的资料以及关于沉积物下面的洋壳固结层（由以前喷出在洋底上的玄武岩组成）最上部岩层的资料。因此，这两项计划（苏联大陆计划和国际大洋计划）是互相补充的。

目前，研究大陆地壳的重要性，不仅在苏联已得到承认。美国学者在长期醉心于研究大洋之后已决定在1981—1990年的十年内加强对北美大陆的研究。在制定取代“地球动力学计划”的国际“岩石圈”计划时，特别强调指出，对于大陆应该给予比以往的国际计划所给予的更大的注意。

第一篇 地 质

地质剖面

岩石、矿物

地球化学

变质作用

成矿作用

断裂构造

有机质

水文地质

大陆壳的演化

波罗的地盾东北部的地质构造

波罗的地盾的总面积为 1.14Mkm^2 ，是东欧地台结晶基底最大的出露区。在地盾的北缘，沿着巴伦支海岸，出露有以里菲纪地层为代表的提曼-卡宁贝加尔褶皱带的西支部分。在西部和西北部，斯堪的纳维亚加里东褶皱带逆掩在地盾之上，而在南部和东部，地盾表面平缓地倾没在俄罗斯台坪的沉积盖层之下。

科拉半岛位于波罗的地盾的东北部。与南部和西部不同，这里发育的主要是最古老的地质产物，它们最充分地反映了前寒武纪构造的主要形成阶段。由于其发展的长期性和复杂性，地盾的这一部分具有与众不同的特点，明显地显示了构造旋回性、区域内生成矿作用的阶段性和方向性。代表地盾成矿作用特点的矿床和矿点的分布区域相对较小，这就决定了这个地区的研究程度较高。因此，可以以它为例来探讨地盾结构的最主要地质要素、地盾的构造、岩浆作用和成矿作用。

科拉半岛地质构造的基本特征

科拉半岛主要由前寒武纪结晶岩组成（图1-6），这种岩石在芬兰、瑞典、挪威境内也有分布。

地质工作者对这个地区的地质特征作了多年的研究，研究成果刊登在众多的文献中在《苏联地质》^[25]上，作者对摩尔曼斯克地区的地质特征作了最充分的描述。

科拉半岛的地盾特征完全取决于它的地质历史。其地质历史可以分为两大阶段：第一阶段——泛地槽和原地槽阶段，第二阶段——地台阶段。在第一阶段，塑性的上部岩石圈受到挤压，形成主要为北西向的褶皱，而在第二阶段，由于应力的作用，在固结地壳中产生了断裂，把该区分割成一些不同大小和形状的断块。

在波罗的地盾的东部，可以分出三个大断块：科拉断块、白海断块和卡累利阿断块，大致与著名的科拉-挪威、白海-拉普兰和中卡累利阿构造带一致。

科拉大地块占全区面积的四分之三，地质结构最为复杂。在其北缘沿着巴伦支海岸，出现摩尔曼斯克地块，其特征是广泛出现花岗岩化作用。在北部卡尔宾斯基大断裂将该地块与加里东运动时期下沉的里菲沉积拗陷隔开。在南部地块，以向北东方向陡斜的克伊夫-乌拉古布断裂为界。沿着这些构造带摩尔曼斯克断块大幅度上升并遭到剥蚀。断块中到处都分布着奥长花岗岩、花岗闪长岩和夹有角闪岩的片麻岩。在残留片岩和片麻岩中发现的矿物共生组合清楚地证明这些岩石属于早期发展阶段的麻粒岩相。岩层常常形成等轴状穹隆构造；较少出现北西向的主褶皱。

在大断块的中部，可以划分出一个 $160-200\text{km}$ 宽的中科拉大地构造区前寒武纪复杂褶皱带，它是一个巨型复向斜。它的北部以克伊夫-乌拉古布为界，南部以科尔维茨-拉普兰构造线为界。该区清楚地保存了地壳活动最早阶段及其早太古代稳定时期的特点，此后叠加了元古代的沉积作用、构造活化和深成变质活化。它们基本上继承了太古代阶段的构

造格局。

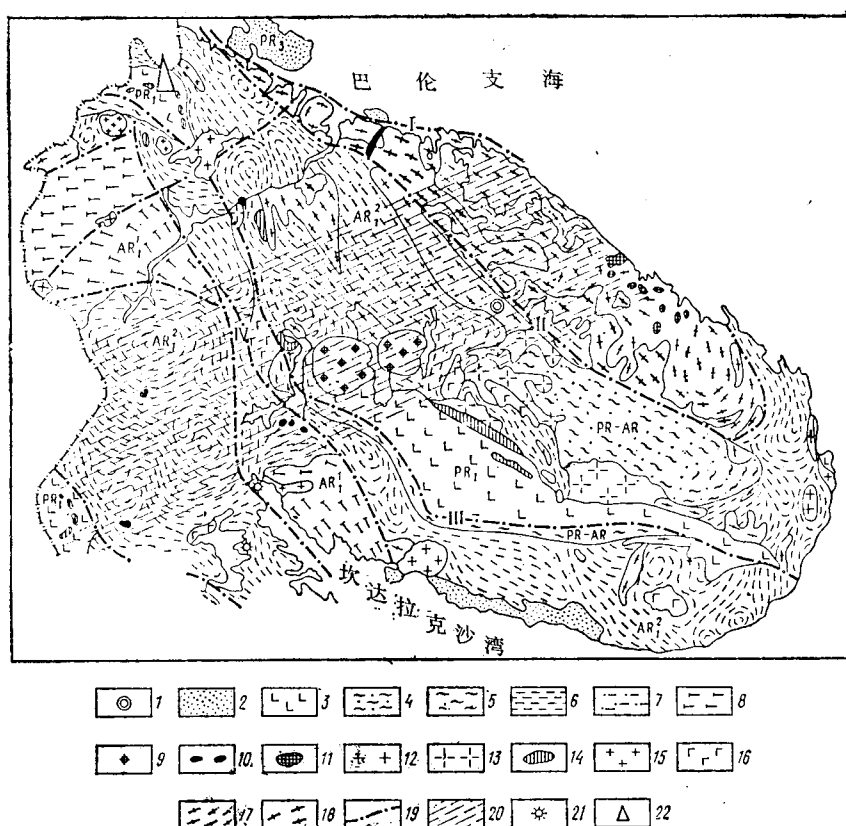


图 1-6 科拉半岛的地质结构

(据К.Д.Беляев, Т.В.Билибин, В.А.Перевозчикова, Л.Я.Харитонов的资料)

古生界: 1—上泥盆统和下石炭统, 康托泽尔构造的沉积火山杂岩。上元古界: 2—北极群各组地层, 雷巴奇半岛——砾岩、砂岩、页岩; 中半岛、基利金岛和捷尔斯岛——石英岩、砂岩、杂色页岩、白云岩。下元古界: 3—贝辰加杂岩、伊曼德拉-瓦尔朱格杂岩、库奥拉耶尔杂岩——基性、中性、超基性熔岩和凝灰岩, 其次是主要遭受绿帘岩相变质的千枚岩、粉砂岩、砂岩、白云岩、砾岩。下元古界—上太古界: 4—克伊夫群——主要遭受绿帘石-角闪岩相变质的铝质片岩、炭质片岩、云母片岩及其它片岩、石英岩和砂岩; 5—通德拉群——主要遭受绿帘石-角闪岩相变质的角闪片岩、云母片岩、铝质片岩和片麻岩、角闪岩和含铁石英岩。下太古界, 科拉群: 6—黑云母-斜长石片麻岩、黑云母-角闪石-斜长石片麻岩、二云母片麻岩、含高铝矿物的黑云母-斜长石片麻岩、角闪岩; 主要发生角闪岩相变质作用; 7—含高铝矿物的黑云母-斜长石片麻岩、角闪岩、辉石-角闪石-斜长石片麻岩和结晶片岩、含铁石英岩, 主要遭受角闪岩相变质; 8—麻粒岩相杂岩——堇青石-石榴石-黑云母-斜长石片麻岩、辉石-角闪石-斜长石片麻岩和结晶片岩、角闪岩和其中的混合岩、紫苏花岗岩、紫苏花岗闪长岩, 主要遭受麻粒岩相变质。侵入杂岩和超变质杂岩——中古生界(上泥盆统); 9—碱性霞石正长岩杂岩; 下古生界: 10—基性、超基性和碱性杂岩; 上元古界: 11—辉长岩、辉绿岩、花斑岩; 下元古界: 12—花岗岩、花岗闪长岩, 13—碱性花岗岩、正长岩, 14—辉长岩、辉长苏长岩、辉石岩、橄榄岩、苦闪橄榄岩; 上太古界: 15—花岗岩、花岗闪长岩, 16—辉长岩—斜长岩, 变质辉长苏长岩、变质辉长岩; 下太古界: 17—花岗岩、花岗混合岩, 18—花岗闪长岩、片麻状花岗岩、斜长花岗岩; 19—主要断裂(I—卡尔宾斯基, II—克伊夫-乌拉古布, III—贝辰加-瓦尔朱格, IV—拉普兰-科尔维茨); 20—最强烈的加里东活化带^[63]; 21—爆发岩筒; 22—科拉超深钻井

在中科拉地区(复向斜), 可分出三个一级构造: 克伊夫向斜、贝辰加-瓦尔朱格向斜和它们之间的科拉背斜。强烈活动的二级、三级断裂构造及褶皱使这些大型构造复杂化, 把它们分割成一系列结构复杂的块段。

穿越整个半岛的科拉背斜, 以及被分隔的两个向斜的南、北翼, 主要由所谓的科拉岩