

地质科技资料选编(一〇六)

# 地壳和上地幔研究

苏 联 部 分

(国外深部地质研究专辑二)



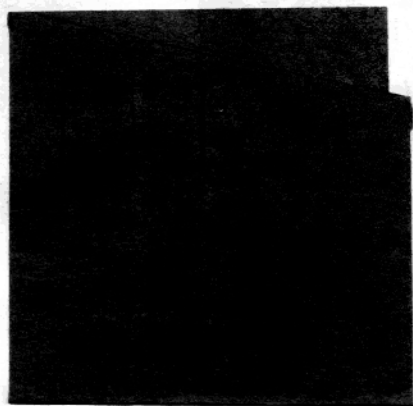
地质矿产部科技司  
地质矿产部情报所

一九八六年十一月

## 编者的话

本专辑是“国外深部地质研究”专辑一的继续，主要内容包括苏联地壳和上地幔研究的产生、发展、使用的各种方法和取得的地质-地球物理成果。为使读者对苏联深部地质研究有一个系统的了解，我们选择了六十年代和七十年代的部分文章。这些文章现在看来比较肤浅，有些内容和今天取得的新资料也不尽一致，但可为读者提供一个苏联深部地质研究的发展过程。

本专辑编辑过程中得到部科技司冯昭贤、陶惠亮及所内、外有关同志的大力帮助，在此仅致谢意。因编者水平有限，请读者对文中错误之处提出批评和指正。



# 目 录

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 1. 苏联地球深部结构研究现状和前景                                | (1—9)     |
| 2. 地球深部研究在苏联的发展                                   | (10—14)   |
| 3. 深部地震调查的发展途径                                    | (15—19)   |
| 4. 深部地震调查的现有方法                                    | (20—23)   |
| 5. 深部钻探—地壳研究的一种方法                                 | (24—27)   |
| 6. 苏联超深钻历史及技术经济                                   | (28—33)   |
| 7. 关于在苏联领土上进行超深钻探的问题                              | (34—37)   |
| 8. 论超深钻布钻的地点                                      | (38—40)   |
| 9. 超深钻的地质和地球物理任务                                  | (41—45)   |
| 10. 超深井岩心研究                                       | (46—51)   |
| 11. 世界上最深的钻井                                      | (52—57)   |
| 12. 井中地球物理测量                                      | (58—67)   |
| 13. 苏联利用核爆炸进行深地震测深                                | (68—73)   |
| 14. 根据工业爆破地震资料研究中乌拉尔的构造                           | (74—80)   |
| 15. 乌拉尔地壳上部结构(据克拉斯诺乌拉尔深部地震测深)                     | (81—86)   |
| 16. 哈萨克斯坦地壳和上地幔的研究                                | (87—89)   |
| 17. 天山(中亚)地壳和上地幔的结构                               | (90—94)   |
| 18. 帕米尔—喜马拉雅造山带地壳的深地震研究                           | (95—99)   |
| 19. 东欧地台及其相邻地区莫霍面的起伏情况                            | (100—108) |
| 20. 西伯利亚深部结构研究方法                                  | (109—116) |
| 21. “地壳深部研究和超深钻”问题部门间委员会召开“矿床形成和分布<br>的地球动力学分析”会议 | (117—119) |

## 苏联地球深部结构研究现状和前景

苏联领土深部结构研究可分为三个阶段。第一个阶段包括本世纪六十年代，当时提出了深部结构研究任务，进行了科学准备，研制成了10—15公里井中地质—地球物理调查技术设备。第二阶段是七十年代，在此期间，进行了科拉和萨阿特累超深井的试钻工作，以及运用深部地球物理方法对个别区域进行了调查。第三阶段开始于1981年，此阶段的特点是在全国范围内，对地壳和上地幔开展有计划的综合研究。在苏联，研究地球深部的想法只有到了六十年代初期才有可能实现，因为当时钻探技术的发展已能使人们着手设计深度为12—15公里的深井，并随后进行钻探。在此之前，苏联和美国已拥有一些深度为7—9公里的深井，打这些深井的目的是寻找石油和可燃性气体。这些钻井通常布置在沉积盆地中，揭露的地层同盆地边缘出露地表的地层一样。因此，在完成普查任务时，这些钻井对于了解地壳深层的结构和成分很少能提供新的信息。

苏联的专家们在各种专业会议上，在出版物上发表的文章里都曾讨论过打超深井时可能担负的任务，并提出了有可能布置超深井的地点。可以借助超深井进行研究的对象是：地台上最深盆地的沉积盖层；地槽的沉积剖面；花岗岩层下部的成分和结构，康拉德面的性质，玄武岩层的成分；莫霍面的性质，上地幔上层的成分；地壳中物质的分异作用；侵入源；地壳中的流体，溶液和气体；地壳的地热。

有可能布置深度为10—15公里的超深井的地区是：近里海盆地，乌拉尔，卡累利阿，库林洼地，高加索，东欧地台中部地区，东西伯利亚金伯利岩筒分布区，天山，千岛群岛。

1960—1962年，苏联科学院，苏联地质部，苏联计划委员会下属的国家燃料工业委员会详细制订了关于组织地球深部结构研究的建议。在此基础上，苏联部长会议所属的国家科学研究工作协调委员会制定并批准了地球深部研究和超深钻规划。

为了组织、协调、实际领导地下深部研究工作，成立了“地下深部研究及超深钻”问题部门间科学委员会。该委员会集中了各部和部门科研及生产单位的约200名学者和专家，其中有苏联科学院及各加盟共和国科学院院士9名，通讯院士21名，博士70名和副博士65名。1973年之前，部门间科学委员会的主席由技术科学博士A.C.季莫菲耶夫教授担任，他对于组织建立钻探技术和钻探工艺工作，组织科拉超深井第一阶段的钻进工作做出了很大的贡献。

从1975年起，由E.A.科兹洛夫斯基担任该委员会的领导。

1965年，苏联地质部和苏联科学院的一些科研单位制订了研究全国深部结构的综合科学技术纲要。纲要规定将科拉和萨阿特累超深井作为已计划钻进的首批钻井。在此之后，苏联国家科学技术委员会，苏联国家计划委员会及苏联科学院曾多次讨论过地壳深部结构研究工作如何开展的问题。

七十年代的工作纲要规定，建立地壳和上地幔结构模型，研制矿床预测的新方法，编制有储量定量评价的预测图，确定远景区主要矿种的普查勘探工作方向。1976—1980年的纲要包括198项任务，其目的是解决同地壳深部结构和演化方面基础理论研究紧密相关的一系列实际问题。纲要还规定，进一步研究成矿条件、矿产的形成过程和分布规律。

上述任务由苏联地质部牵头实施。为实现纲要规定，有苏联地质部、苏联科学院、各加盟共和国科学院、苏联高等和中等教育部、俄罗斯加盟共和国高等和中等教育部、各部和部门等150多个科研和生产单位参加。科拉井的钻探工作由专门组织的科拉地质勘探大队承担。

科拉超深钻的准备工作在地下深部结构研究第二阶段初期就已完成。当时，即七十年代初，除科拉和萨阿特累井之外，还用地球物理方法对个别地区的地下深部进行了调查。

科拉井于1970年5月开钻，其主要任务是：研究科拉半岛地区贝辰加含镍岩系和波罗的地质结晶基底的深部结构，查明包括成矿作用在内的各种地质作用的表现特点；查明陆壳内地震分层的地质作用和有关热动态、深部水溶液、气体的新数据；取得有关岩石物质成分及其物理状况的最完整的信息，揭露并研究地壳花岗岩层和玄武岩层之间的界面；完善现有的和研制超深井和深井中岩、矿石综合地球物理调查的新技术和新工艺。

1980年以前，有许多地区利用工业爆破记录资料对地壳和上地幔深部结构进行了多年的地球物理调查。1976—1980年共完成了18000公里深部地震测深剖面，借此查明了地壳深部结构，追索了东西伯利亚的莫霍面和前里非期基底的标高和起伏及固结壳和沉积盖层中的一系列界面，发现了一些断裂带及其垂向延伸情况，查明了对内生矿化和油气富集有远景的正负构造要素的区域分界和深部结构。获得了有关东欧地台和西伯利亚地台及其周围年轻台坪和褶皱构造范围内的地壳上地幔结构和物理参数的新资料。编制了深达400公里的速度剖面，研究了介质的吸收性能，对于大型工业爆破引起的纵向地震波区域速度异常进行了概括性的地质解译。为苏联领土（包括西伯利亚）的一系列大型构造单元，建立了地壳和地幔的理论模型。

通过综合解译不同大地构造带的各种地球物理资料，我们可以得出这样的结论，就是以前建立的据以解释地球物理资料的介质模型的概念过于简单化了。

例如，业已发现地壳和岩石圈的结构在垂直方向和水平方向上都很不均匀，深部结构与浅部地质构造的关系复杂，即在不同构造高度地球物理参数（尤其是速度）与它们所引起的异常体之间不一致，这说明岩石圈构造具有明显的、看来是顺层的不和谐特征；在地壳和上地幔内，除地质（构造—物质）界线之外，还明显地表现出很可能是介质的各种地球动力状态的界线。

科拉超深井（СГ—3号）1983年底，深度已达12000米。在其钻进过程中，对岩心和井筒周围空间进行了内容广泛的综合调查，如：地质、岩石、地球化学、矿物学、构造、辐射、地震声学、核子—物理、磁性、电性及热力调查，同时对井筒状况进行了监测。

通过上述工作，所取得的最重要的调查结果如下：

地质方面：该超深井所揭示的剖面代表16—30亿年间的地质历史，有两套杂岩，即元古代杂岩（0—6842米）和太古代杂岩（6842—11662米）。元古代杂岩系的研究改变和深化了对贝辰加矿区构造的认识。贝辰加沉积—火山杂岩分为两个岩系（从上至下）：含镍岩系

和卢奥斯塔林岩系。上部岩系为若微—玄武岩和硬砂岩建造；下部岩系为粗面安山—玄武岩和石英—碳酸盐岩建造。证明了贝辰加群的主要地层单元的厚度向深部保持稳定。太古代杂岩分为七个韵律层。每个韵律层由含高铝矿物的黑云母—斜长石片麻岩和下伏的黑云母—斜长石片麻岩及角闪岩组成。含高铝矿物的片麻岩是原始沉积成因的，属粘土—砂质建造。黑云母—斜长石片麻岩和角闪岩则属玄武—安山岩建造。

根据Cr—3号钻井资料，首次在一个连续剖面上详细研究了从葡萄石—绿纤石相到角闪岩相范围内的变质分带，查明了岩石成分，岩石形成深度和温度（从上到下温度从300℃增至650℃）对于分带的影响。发现变质时期的地热梯度比现在的地热梯度高4—6倍。已查明，随深度增加，不仅进化变质作用的温度增高，而且矿物组合的平衡程度也提高。贝辰加杂岩的进化变质作用同构造断块的鳞片状逆掩位移是同时发生的。这些作用导致大型断裂带内的变质岩石在内部结构和弹性方面具有明显的非均质性，波及了科拉岩系的花岗片麻岩，几乎完全破坏了花岗岩片麻岩中较早期的麻粒相矿物共生组合。太古代含多金属杂岩的突出特点是，角闪岩相条件下的区域花岗岩化，以及变质岩发生广泛的白云母化。

在广泛分析材料的基础上，建立了第一个前寒武纪地壳可靠的地球化学垂直剖面。它反映了成岩元素，稀有元素和分散元素的含量变化，证明了地壳的铁镁质成分是随着深度增加而变为以硅铝质为主的成分。在这一背景下，查明了岩石的酸性和碱性程度随原始岩石成分和添加作用而异的规律性变化，查明了成岩元素（包括钾、钠）变质作用的等化学性质。证明，葡萄石—绿纤石相的岩石中水的含量较高（达6.8%），绿片岩相中水的含量降至2.5%，在绿片岩相和绿帘石—角闪岩相的交界部位下降至1.5%。

首次发现了陆壳深部地带带有矿化的裂隙地下水，并发现它具有水文地质垂直分带性；随深度增加，氯化钙型水变为重碳酸盐—钠型水。气体成分中，氢、氧的作用随深度而增大，主要产于元古代杂岩沉积层中的碳氢气体的作用则随深度而减弱。

钻探结果证明，在所有已揭露的区段内，陆壳含有大量矿产，并说明各种矿化类型的分布是沉积、岩浆、变质和热液作用依次更替的结果。在1540—1800米区段，该井揭露了前所未有的含铜—镍硫化物矿石的超基性岩层。岩心研究证实了这些矿石是多源成因的，发现在深2.5公里以上矿石产出的地质位置，以及矿物成分、矿石的结构和构造都具有稳定性。在科拉岩系中发现了含铁石英岩、变质的岩浆型铁钛矿石、铜、镍硫化物矿化。在600—1100米深处的退化动力变质带内发现了地幔成因的低温热液黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿矿化。一些定量资料证明，有矿化的裂隙构造从地表向下延伸的深度，比一般理论计算所推测的深度大2—3倍。根据这些事实，再结合其它地质观测，可以肯定，垂直位移和水平位移，甚至是深度很大的垂直位移和水平位移，都可能形成有利于成矿的构造断块、断裂构造和褶皱构造。

科拉超深井所穿过的剖面并未囊括整个前寒武系。然而，根据实际资料可以对有关陆壳深部结构的各种假说的可靠性做出评价。贝辰加矿区的三维地质模型，可用作解释古老变质岩系深部地质和地球物理调查资料的标准。根据这个模型，该区的地质历史可分为太古代和元古代两个大的旋回。太古代旋回又分两个阶段：安山—玄武质火山作用阶段和沉积作用阶段，褶皱作用，麻粒岩相变质作用和超变质作用。元古代旋回包括裂谷型内陆活动带形成的四个阶段：安山—玄武质火山作用阶段，黄铁矿—玄武质火山作用阶段，褶皱—断裂作用阶段，从葡萄石—绿纤石相到角闪岩相的带状变质作用阶段。

根据新的解译,含镍侵入体的侵位不是同元古代地槽形成的最后阶段有关,而是同整个具有反向性的外地台岩浆作用的出现有关。

有关含镍侵入体最初呈水平产出和由于构造断块的鳞片状位移而将侵入体分解为单个断片的结论,扩大了在贝辰加构造区发现铜—镍矿石的远景,改变了铜—镍矿的普查评价准则。同时,也产生了在元古代和太古代杂岩中对科拉超深井已揭露的其它类型矿化(包括与退化动力变质作用带有关的热液硫化物矿化)进行普查工作的必要性。

总结综合性地质和地球物理调查的结果,可以做出这样的结论:剖面上部常见的大部分倾斜地震界面决定于地质体的界面,也就是说具有实体性质。剖面下部平缓的地震界面不是地质体的界面,因为这些地质体在深部通常产状很陡(倾角为 $60^{\circ}$ 左右)。这些平缓的地质界面也不可能是变质相的界面,因为从一定深度开始,变质带呈斑点状。剖面下部平缓的地震界面伴有岩石碎裂带,看来具有物理性质。

地球物理方面,科拉超深井剖面的地球物理和岩石物理调查保证了:在深达11600米的自然产状下取得了有关岩石的物理状态和成分的直接信息;通过岩心研究查明了前寒武纪地壳地球物理界面(包括地震界面)的地质性质,查明了地壳深处的温度情况;研究了钻井揭露的岩体的应力状态;测定了井筒的技术状况。

地球物理调查的主要成果之一是,在深部元古代贝辰加杂岩分布范围内发现了在玄武岩成分的岩石上叠加有低温变质作用而形成的低速带。在贝辰加杂岩的底板,钻井揭露了巨厚的科拉群,就其性质来看相当于典型的花岗片麻岩层。这一事实与科拉井开钻之前,根据深部地震测深资料所作的预测是有矛盾的。但在大量测定岩心的基础上,建立了弹性—密度模型(表示按弹性和密度三分剖面上的岩石,即主要由元古代火山岩组成的地段,剖面中部巨厚的片理化带和太古代岩石)之后,这个问题就得到了说明。

剖面的主要特点是:在剖面上部的火成岩中密度( $\rho$ )和速度 $V_1$ 和 $V_2$ 最大,然后 $\sigma$ ,  $V_1$ ,  $V_2$ 跳跃式下降,岩石的孔隙度、渗透性及非均质性等参数影响增大。在元古界和太古界之间,上述性质变化相同。剖面上的弹性分析表明,这种变化同岩石成分的急剧变化和大型断裂带内随深度加剧的片理化有关。根据密度、弹性和其它性质观察到的明显界限,通过电磁特性也记录了下来。剖面中磁性矿物的分布规律如下:从0到4586米(硫化物矿化带),除含有大量磁铁矿的超基性岩外,主要矿物为磁黄铁矿。从4586到5642米(氧化物矿化带),实际上没有磁黄铁矿,只有磁铁矿和赤铁矿,较深处有磁铁矿和磁黄铁矿小型富集体。

在井中对11600米以上深度进行了详细的温度测定。此外,还对剖面典型岩石标本进行了导热测定。据此可以确定,地热梯度值和热流密度随深度增长。沿钻井剖面各层,对放射性元素铀、钍、钾进行了系统取样。结果查明,放射性热占全部热流总量的50%以上。计算方法和实验方法证明,钻井剖面的地压分布不均。同岩石静压力相比,发现有应力急剧下降或上升的地段。在地面用地震法记录出这些变化的界线。由于研制了测井的新工艺和方法,制造出国产的独一无二的耐热压的地球物理仪器和12000米长的测井电缆,以及对信息进行了全面的分析,地球物理调查才获得了成功。

钻探技术和工艺方面。从技术上看,工作主要成果是制造了超深井高效成套技术设备。设备的特点是地上和地下设备和工具轻便,结构简单,在极深处钻结晶岩石工作能力强。由于综合运用了一些新的技术方法,如钻超前井筒,低转数涡轮钻进,轻合金钻杆,涡轮在井

底工作的监控仪以及将信息传递到地面的仪器等,才有可能达到深度要求的水平。

在美国超深井钻探采用了工作性能极好的设备(提升能力600—800吨,水泵压力500兆帕),即便如此,所钻深度也不超过9100米—9600米。从钻探设备制造的趋势来看,要进一步提高设备的提升能力,实际上已没有潜力。因此,苏联专家们研制成了一种新工艺,这种工艺利用提升能力较低、送水压力较小的钻探设备,成功地达到了10000多米的深度。

关于钻进过程随深度的变化规律这一单纯计算得出的概念,如今得到了修正。例如,在极深处岩石可钻性变差的推测未得到证实,保持井筒周围结晶岩体稳定的问题比预料的更为复杂。根据钻杆阻力及其轻合金材料遇高温弱化的情况,对钻杆的计算方法做了重要修正。重新审核了关于从应力复杂的井底取心过程的概念,为控制钻井空间的行迹和其它钻进工艺要素,查明了一些新的规律。

科拉井钻进是复杂的科学技术实验,这项工作完全采用国产技术和工艺,使用了适合深部条件的岩石破碎工具和井底发动机,其中有带密封油浸支承的钻头和最佳转速范围内稳定工作的减速涡轮机,采用了涡轮井底工作监控装置,制造了高强度、耐高温轻合金钻杆,它保证了高速升降钻具时安全作业。

第二口井为萨阿特累超深井,位于库林洼地(阿塞拜疆加盟共和国),于1977年开钻。这里很久以来就已知是重力高地区。重力高是玄武岩层顶板隆起引起的。该井在穿过新生代和晚中生代疏松沉积层之后进入了白垩纪和侏罗纪厚层火山岩,然后达到古生代基底。

在“十一五”计划期间开始了深部结构研究新阶段。在科拉超深井和其它调查工作取得的成果基础上,苏联国家科学技术委员会会同苏联地质部和苏联科学院制定了全国领土地球深部研究综合规划。分析1951年以前完成的超深钻和区域地球物理调查资料表明,提高超深钻及地球物理调查的效果,需要采用新方法规划和进行这项工作,而建立统一的全苏领土地壳和上地幔区域研究系统,才能达到这个目的。

## 1981—1985年和直至1990年期间

### 地球深部结构研究的主要任务

苏联地质工作者面临着加速进行苏联领土地质研究和增加矿物原料储量的任务。地质勘探工作的庞大规模及随着远景区普查程度的提高发现新矿床的难度日益增加,都要求对所进行的工作进行深入的科学论证。因此,进一步超前开展基础地质研究,加强应用地质研究(首先是对定量预测可靠性和地质勘探工作最合理方向的确定有决定性影响的应用地质研究),改进矿产普查勘探方法,乃是普查和勘探成功进行的必需条件。

研究地球的结构、成分和演化就属于这种基本的地质问题。“地下深部研究与超深钻问题”部门间科学委员会会同苏联地质部、科学院的科研单位和其它部门共同制定了一项综合研究计划,解决用深井、超深井和地球物理方法研究地壳深部结构和确定主要矿区含油气远景及含矿远景的科学技术问题。

计划规定超深钻和深钻与深部地震和其它地球物理、地球化学调查相结合,苏联科学院和苏联地质部在理论地质学和应用地质学方面要开展一系列工作;这将促进地球科学的进一步发展和指导矿产的普查工作。区域地质—地球物理调查工作是综合研究计划的重要组成部分

分, 其最终目的是为主要油气区和矿区建立不同地球动力环境地区的构造圈模型。

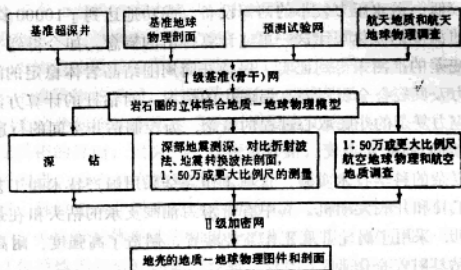


图 1 苏联领土地壳和上地幔区域研究系统

## 深部地质—地球物理调查

以基准超深井和深井为基础的地球物理剖面网是上述统一系统的基础。统一系统还包括苏联科学院研究地球物理场变化的地球物理预测试验网。主要骨干网是各个地区更详细调查的联接基线。在资料综合解释时利用航天地质和航空物探资料,可建立全国各级地质—地球物理立体模型。

沿一级骨干剖面（即地壳大剖面，图2）进行调查的主要任务是：研究苏联地球动力发

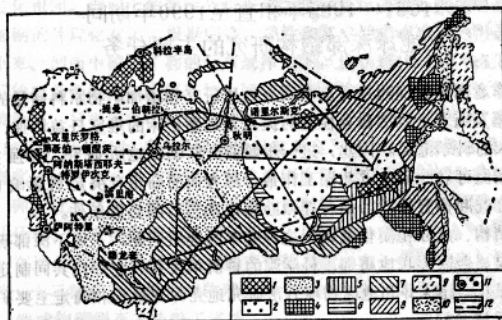


图 2 苏联深井、超深井和深部地震剖面分布示意图

1—地盾; 2—古老地台; 3—年轻地台; 4—中间地块; 5—9—褶皱区, 5—前贝加尔期褶皱区, 6—贝加尔期褶皱区, 7—古生代褶皱区, 8—中生代褶皱区, 9—新生代褶皱区, 10—火山岩带; 11—钻井( $\alpha$ —超深井,  $\sigma$ —深井); 12—深地震测线( $\alpha$ —已完成的,  $\sigma$ —计划的)

展状态不同的地区岩石圈结构、内部构造和物质状态方面的差异。二级剖面应布置在均一构造断块或一定的块段体系内，以及块段的界线上（块段的共扼带、断裂、接触带），并要解决构造、岩石（物质成分）和其它区域性的问题。一级和二级骨干网范围内的工作属详细工作，主要研究地壳上层介质的局部不均匀性、断裂和接触带，解决与中、大比例尺矿产预测和普查有关的问题。

地壳和上地幔深部结构研究以系统性为其突出特点，要求在大面积上建立相互联结的一级基准剖面网。这样可以查明从一个地区到另一个地区介质物理参数的变化情况。

地质—地球物理调查与地球化学调查在空间和时间上配合一致可使我们获得所研究介质结构和动力状态的可靠概念。

第一个深部地震基准剖面系统与深钻和超深钻相结合，除解决基础理论问题外，还用来研究苏联有油气远景的一些最大的地质构造的结构，这首先是东欧地台（滨里海凹陷、伯朝拉台向斜）；西西伯利亚台坪，西伯利亚地台（维柳伊台向斜、安加拉—勒拿构造阶梯、地台的北部沉降带），这些构造都是具有数千米、上万年厚的盖层沉积和火山—沉积岩系的构造。

第二个剖面系统穿过古老地台和年轻地台的隆起和出露地段——东欧地台范围内的波罗的地盾和乌克兰地盾、沃罗涅什地块、伏尔加—乌拉尔台背斜；西伯利亚地台的阿尔丹地盾和阿纳巴尔地盾；后海西图兰台坪的穆龙套山脉；乌拉尔、阿尔泰—萨彦和哈萨克斯坦褶皱区；最新的地台期后活化带——天山和贝加尔，这是地壳褶皱结晶岩系的构造、地壳的断块和断裂体系构造。在波罗的地盾苏联部分将沿着国际地壳大剖面建立通到科拉半岛超深井的地壳基准剖面。

西伯利亚地台深部基准剖面用来对含金刚石区的构造进行立体地质—地球物理填图，研究它们与地壳深部层位和上地幔在成因和空间上的联系，查明其形成条件。在巴伦支海和喀拉海陆架地段及亚洲大陆与太平洋的过渡带，要研究深部沉积岩系及下伏的基底和整个地壳的岩石，这具有最重要的实际意义。

必须进行专门的实验—理论研究。这方面首先是要根据深井和超深井观测时真实介质（特别是结晶岩石）物理性质的实验研究，建立介质的物理模型，发展弹性波在与实际相近的复杂介质模型中传播的理论，开展利用深部地震转换波及其它各种波的理论和实验研究。

当前需要加强关于改进利用电子计算机解释地球物理资料方法的工作，以适应波动地震场的新概念和地壳及上地幔物理（地球动力）界线性质的研究，要加强关于查明这些界线同地质（构造—物质）界线和接触带的相互关系的工作，关于研究在构造中无反映但对弹性波速度和传导性有影响的物理场异常的性质的工作。必须在保证精度的情况下加大地震测深的深度，并且完善这种方法的物理基础。要提高地震测深的分辨率和精度并扩大从地震图中提取的信息量，这个问题具有重要意义。

深钻和超深钻

计划规定要大幅度扩大深钻和超深钻的工作量。科拉半岛超深井和萨阿特累超深井将继续钻进。秋明、阿纳斯塔西耶夫—特罗伊茨克、乌拉尔超深井（深达12—15公里）准备开钻。

在“十一五”计划期间有六口深井即将开钻，其中三口（第聂伯—顿涅茨井、滨里海井、伯朝拉井）布置在含油气区，三口（穆龙套井、诺里尔斯克井、克里沃罗格井）布置在金属矿区（图2）。

科拉半岛超深井“十一五”期间应达到13000米。打到根据地震资料推测的一些新的地壳分界线，据推测可能要钻到所谓的“麻粒岩—基性岩层”。萨阿特累超深井将继续进行钻进并作综合地质—地球物理调查，达到11000米。

许多含油气区沉积盖层上部的油气资源开发程度很高，因此，研究其深部层位的含油气性具有重要意义。计划规定在一些主要含油气区打一批超深井和深井。

秋明超深井准备布置在乌连戈伊气田的北部，目的是穿过整个中生代和古生代沉积剖面，评价其含油气性，研究被揭露的沉积岩系的成分和物理性质，确定波速特性，划分储集性能不同的岩石，查明储集层和盖层、异常高压带和异常低压带。此外，还要研究钻进工艺，确定钻井最佳结构和技术设备，供该区以后设计新的深井时参考。

阿纳斯塔西耶夫—特罗伊茨克超深井（12000米）将布置在北高加索，目的是研究整个中生代地层剖面的含油气性；

滨里海深井（6000米）的目的是研究阿斯特拉罕拱隆盐下地层（首先是早石炭统和泥盆系）的地层剖面，评价其含油气性；

在提曼—伯朝拉含油气区将打一口5000米深井，研究泥盆纪地层剖面并评价含油气性。

第聂伯—顿涅茨深井（6500米）用来研究早石炭统、泥盆系及其下伏的沉积岩层的剖面和含油气性。

乌拉尔超深井布置在塔吉尔大复向斜的中心部位，目的是揭露和研究乌拉尔优地槽区最完整的古生代地层剖面。这个剖面含有含铜黄铁矿化和矽卡岩型磁铁矿化，预计将揭露克拉斯诺乌拉尔区的含矿系统，穿过结晶基底，从而解决这个“典型”地槽基底的性质和时代问题。打算查明在古生代构造层不同深度揭露铜、铁、多金属工业矿床的可能性，以及在更老的地层中揭露铁、铜、石墨等变质矿床的可能性。将要取得乌拉尔地下深处物理状态的参数资料，这些资料对于重新解释和进一步精确先前建立的地震剖面是很需要的。这些工作对研究和再造含矿系统以及最终研究成矿作用十分重要。

综合研究计划规定在诺里尔斯克、克里沃罗格和穆龙套矿区布置深钻，以促进成矿理论的发展，改进矿床深部预测和评价的方法。

在诺里尔斯克矿区集中分布着大型铜镍硫化物矿床，在这里布置深钻主要是为了查明区域重力异常的性质、层状含矿侵入体形成的机理，预计将制定出铜镍硫化物矿床的补充普查标志，划分出新的普查区。

克里沃罗格深井应查明富铁矿在深部的分布特征，揭露早元古代克里沃罗格群的整个剖面，以进一步认识它的含矿性，这对于总体评价克里沃罗格盆地的远景具有重要意义。

穆龙套矿区深钻的任务是：确定含矿（主要是金矿）黑色页岩系在地层剖面中的位置，研究深部可能存在的花岗岩类岩体和变质作用的垂直分带性，以查明含矿层内矿化富集的规律和机理以及深部矿化的分布特征。

## 建立和改进深部地质—地球物理

### 调查的技术装备

1931—1935年在改进超深钻技术和工艺及监测仪器方面，将继续进行科学研究和试验—设计工作。要加速生产试验样机和工业样机，首先要改进高强度钻杆和接头及能在高温下有效地进行取心钻进的岩石破碎工具；改进耐热减压涡轮钻，可在10000米以下深处用的全套地球物理仪器、井底钻进状况记录仪；配制耐热泥浆用的化学试剂和添加剂；改进制造钻具和井底发动机用的特种耐热材料。已着手建造试验台，以确定井深为15—20公里、井底温度为300—400℃、压力为200—300兆帕的钻井的钻进条件。计划规定要制造高度机械化的提升能力达500吨、泵压达40—50兆帕的钻探设备，研制在高温（350℃）、高压（达300兆帕）条件下进行井中地球物理测量的技术装备，1932年必须制造出长12500米的三芯电缆，到1935年生产出长15500米的电缆。

总之，利用现已拟定的苏联领土地球深部研究系统（图2）能够以新的高度研究各种构造带（地盾和古老地台、不同时代的褶皱带、大陆边缘带、岛弧等）的结构和地质发展史，包括研究现代构造运动，能够建立具有不同成矿专属性的各种地质构造类型岩石圈（特别是地壳的固结部分）更可靠的理论模型，能够为地质—地球物理图件和剖面的编绘建立统一的方法基础——这些都将大大改变区域预测评价。综合研究计划的实现将有助于进一步加速发展苏联领土的地质研究工作，增加矿物原料探明储量，因为它的实现使我们能够评价主要地区各种矿产的远景，确定普查勘探工作的最佳方向。通过实施这个计划，应当完善岩石形成和构造形成作用、岩浆形成和变质作用、油气形成和成矿作用以及这些作用的地球化学和物理化学的理论基础。

梁祖谦，刘燕平编译自 Советская геология 1932. № 9

Разведка и охрана недр 1934. № 7

1934. № 8

# 地球深部研究在苏联的发展

H.A. 别利亚耶夫斯基

对地球深部的研究是现代地质科学急待解决的问题之一，因为内生的构造作用、岩浆作用和变质作用、成矿溶液和熔融体、导致地震的应力作用都是在地球深部发生的。

只是在最近20—25年里，人们才对地下深部情况有了多方面的了解。在这段时期，制定了对地壳整个岩层和地幔上部进行深部地震剖面调查的方法，扩大了对地球物质进行精密地球化学研究的范围，研究了岩石-矿物实验和在高温、高压条件下测定岩石、矿物物理性质的仪器。

A.Д.阿尔汉格尔斯基和Г.А.甘布尔采夫的研究工作曾涉及到最初阶段使用物探方法在苏联进行地球深部研究的各种问题。深部地震探测方法的问世是与Г.А.甘布尔采夫的名字分不开的，这种方法已成为研究地壳和上地幔上部的深部构造的主要方法。在最近二十年中，B.Б.别洛乌索夫、A.Б.裴伟、B.Б.费丁斯基、及其他苏联知名学者都在这方面做了很多工作。

这一时期所进行的多种实验室研究和理论研究为创立关于固体地球外壳的成分、结构和发学说提供了依据，也就是说为地球科学飞速发展的新领域——深部地质奠定了基础。

在这段时间里，苏联完成了220多条地壳剖面，总长度已逾75,000公里。其中有40多条剖面含有有关深度达80—240公里的上地幔结构的重要信息。在几十个点上进行了磁大地电流测深。在相当大的范围内进行了区域航磁测量、重力测量、地热测量及研究地下深部所需要的其它地球物理工作。

根据深部地震研究，早已能够把巨厚的（30—70公里）、结构复杂的陆壳与厚度不大的（4—8公里，少数为15—25公里）、比较简单的洋壳区分开来，也可以与厚度、结构不稳定的内海地壳、以及陆洋连接区的地壳区分开来。近年来，有关地壳的概念明显扩大了，更加明确了。业已发现，不同成因类型的大型地质构造在地壳的结构和厚度方面都有突出的特点。

运用深部地震测深方法，在所有大陆构造乃至大洋构造内，均发现地壳有水平分层现象。这种分层现象的性质尚未很好研究。看来，这种分层现象多半是由于地壳层中物质成分的变化、构造不整合和其它不整合引起的，至少由于物理条件的变化引起的。在这种情况下，由于发现了地震波低速层（波导层），以前形成的有关地壳各层中地震波速度梯度增加的概念得到了极重要的修正。大陆构造地壳剖面的中部和底部都发现低速层。证明了这些低速层的侧向分布，并发现了它们与大型地质构造的关系。

地壳中低速层的存在并不妨碍分层，与此相应，地壳具有含水层、沉积层和固结层，而固结层中，根据地震波速度的差异，还存在有“花岗岩层”和“玄武岩层”。

现在已有大量的统计材料证实上述各层的划分是合理的，但各层的名称并不能反映它们的岩石成分。例如，“花岗岩层”（地震波传播速度为5.6—6.3公里/秒）就包括了组成显生宙褶皱系的一套极为复杂的花岗岩类岩石，各种片麻岩，结晶质片岩，以及变质程度不同的变质岩。“玄武岩层”（地震波传播速度为6.6—7.2公里/秒）目前还研究得很不够，可能大多是由相当于角闪岩变质相，主要是麻粒岩变质相的变质岩（包括“地壳榴辉岩”）组成。大概，基性和超基性成分的侵入体在玄武岩层中较多，而在花岗岩层中较少。这两层间的界线在地震方面不很明显，根据界面速度值，大致认为是 $8 \pm 0.4$ 公里/秒，虽然根据地震资料判断，各层的内部构造通常是不相同的。

习惯上把莫霍面（M）作为地壳的基底。但随着深部研究的扩大，这个界面作为统一的、到处都有的、明显的地震界面的概念已经过时了。在乌克兰共和国境内其它地区进行的详细地震工作表明，在地壳的基底，往往有比较薄的层（12—14公里），并有大量方向各异的反射面。这些反射面位于厚度为3—4公里的层内。《Земля》地震站的资料表明，该层的厚度也可能更大些，为6—8公里。如果在地壳下部有高速层（7.5—7.8公里/秒），例如在天山南部，高加索和其它地区，则莫霍面的地震活动性明显减弱。这时，地壳和上地幔之间的地震差异表现不明显。科拉半岛上的一些地段，地壳和上地幔之间，根本没有任何明显的界限。地壳及其下层—上地幔的这种不同的关系是各种深部作用的结果。其中，矿物相的改造作用，特别是榴辉岩化作用可能具有极为重要的意义。

同大陆构造不同，太平洋上的千岛群岛一带，地壳和上地幔之间的界面总是非常清晰，易于区分。由于达到莫霍面的深度较小（10—15公里）可以有根据地认为，这种现象是由于岩石物质成分各异而引起的，与变质作用无关。

统计调查表明，苏联领土上大陆构造地壳的平均厚度近40公里。如果就各个区域来看，只有远东中生代构造（36公里）的地壳块段厚度最小。哈萨克斯坦和中亚（45公里以上）古生代褶皱构造，平均厚度较大。苏联南部阿尔卑斯构造带（包括内海），厚度变化大（16—58公里）最为典型。远东新生代构造的地壳也是这样，但其厚度变化的幅度不大——11—40公里，苏联南部的阿尔卑斯褶皱带和远东的新生代褶皱带往往不仅是地壳厚度不稳定，而且其剖面中缺失花岗岩层。这种现象在内海和边缘海的深水盆地中亦可发现。古地台和年轻地台，其地壳厚度接近平均厚度（38—42公里），而且在古老地台（例如西伯利亚地台）早太古代形成的地区内，往往是固结层的厚度减小。这些资料说明，地壳具有大型断块结构，其厚度取决于地质构造形成的时间和条件。

有一些地区，地壳具有较小的断块结构，通过地震研究，发现了大量陡倾斜的深断裂，切穿整个地壳，有一部分亦贯入很深的上地幔（达100—200公里，也有可能更深些）。许多断裂破坏了莫霍面，并使之发生极大的位移。最大的深断裂即是大型地质构造的界线。

早太古代地层在西伯利亚地台基底中的大规模出露，突出地说明了地壳固结层的厚度最小（26—32公里）。显然，这里的大部分固结层早在前里菲期已被侵蚀殆尽。当时，西伯利亚地台基底的隆起，没有由于上地幔使地壳厚度增大而得到补偿。在东欧地台，例如在克里沃罗格复向斜之下，仍然保留有早元古代褶皱系的根部。莫霍面的古老年龄可以由此得到佐证，可能与卡累利阿褶皱的年龄（12亿年以上）完全相当。

克里沃罗格复向斜地壳厚度局部增至56—58公里的例子说明存在着没有山的“山根”。

地幔岩石捕获体中放射性元素的含量比以前推测的低一个数量级，说明壳下岩层受热程度较低。

大地电磁测深资料表明上地幔中存在有高导层，其中的物质可能处于局部熔融状态。高导层在古老地台位于150—300公里深处，在古生代图兰台坪深度达500公里。在里海南部盆地下面，该层顶部上升达60—80公里，而在里海台向斜下面，该层则位于约110—120公里的深处。上地幔中的高导层可能相当于根据地震资料确定的（地震波传播速度低的）软流圈。

在完成具有重要实际意义的地质任务中，地下深部研究起了巨大的作用。由于运用深部地震测深方法进行工作的结果，已在陆地及内海和边缘海的海岸地带发现了一些沉积层厚度极大的沉积盆地。例如，在苏联境内业已表明，在第聂伯—顿涅茨台沟，在阿穆达利亚盆地、费尔干纳盆地、库林盆地、南塔吉克盆地及其它一些盆地的广大范围内，沉积层的厚度达10—12公里，在前科彼特陷、木尔加布陷、前乌拉尔陷和英多罗-库班陷和黑海盆地中，达14—16公里，在滨里海和里海南部盆地中达20多公里。根据地震波的平均波速不大来推断，在大多数盆地中，甚至在很大的深度内，沉积层均未完全压实。这使我们有可能对盆地近岸地带的含油气远景，特别是滨里海台向斜盐下沉积的含油气远景作出比以前更为乐观的评价。

在内海和一些边缘海的盆地内，深部地震测深发现广泛分布有巨厚的（2—3公里以上）的、压实和错动程度较弱的大片沉积物，说明存在许多新的大型沉积盆地。这些盆地对于寻找油气是有意义的。在巴伦支海、白令海、鄂毕湾、里海和黑海都发现有这样的地区。在喀拉海、东西伯利亚海、楚科奇海及拉普帖夫海可望发现大型沉积盆地。已知的海洋沉积盆地，总面积有150多万平方公里，其中大部分位于大陆架的浅海区。

用地球物理方法研究含矿省时，在科拉半岛的贝辰加含镍构造带，中哈萨克斯坦的乌斯品挤压带的矿区，乌拉尔绿岩带、乌克兰的别洛泽尔铁矿区，以及其它地区的地下深部，均发现地壳结构具有不同的类型。由此可以提出这样一种设想，即在许多其它矿田深部也可以找到地壳的突出特征，在寻找内生矿床时，这些特征可以作为新的评价准则。关于内生成矿作用不同的地带在地壳厚度和结构上不同的资料已开始增多。例如，太平洋活动带的金矿省和锡矿省同中哈萨克斯坦的多金属和铜矿化区相比，总的说来地壳厚度要小，花岗岩层不太发育。乌拉尔绿岩带的地壳具有十分特殊的标志。

以地震观测为基础的地球深部调查具有重要的作用。土库曼、南哈萨克斯坦、后贝加尔、阿尔明尼亚的地震活动性和地壳结构的对比证明，震源与深部地震测深发现的深断层有联系。部分震源往往位于剧烈弯曲的莫霍面之上，也有可能位于深断裂带内，毋庸置疑，千岛群岛岛弧的震源区即与地壳和上地幔中的各种活动有关。所有这些可以使人确信，运用深部地震方法研究地震区的震源特征是很有远景的。在塔什干和阿拉木图地区，第一次成功地进行了这种试验。

关于地壳和上地幔的组成、性质和历史的理论概念也是根据区域性的实际资料得出来的。虽然这些概念在很大程度上还是自相矛盾的，目前难以构成一个完整的假说，但是它们总的发展方向似乎已经很明确了。这可以使我们确信，在不久的将来，我们对地球深部的认



# 深部地震调查的发展途径

И.А.列扎诺夫

Г.А.甘布尔采夫提出的深部地震测深方法为地震“透视”地壳的整个厚度开辟了广泛的可能性。成功地运用和发展这一方法可以使人们在认识苏联领土的深部结构方面迈出重大的一步。

在研究负向构造，特别是第聂伯-顿涅茨拗陷和滨里海台向斜的深部结构方面取得的成果最多，成功地确定了它们的形状，详细划分了充填其中的巨厚的沉积岩系，评价了各种断裂构造的作用，等等。还取得了关于长期发育形成的边缘拗陷的深部结构的新资料。查明了图兰台坪各盆地的多层结构。在古老地台和年青地台的基底发现了地堑型盆地。在研究地壳-地幔过渡层的薄层构造和调查地幔中的不均匀性等方面也取得了很大的成绩。

但是，不指出在近年来所进行的地壳和地幔地震调查中存在着的某些缺点是不对的。在致力于研究深部情况，特别是在确定莫霍面起伏和更深的界面起伏时，专家们已开始运用地震测深方法。用这一方法能够可靠地记录折射首波和距爆破点很远（200—500公里）的超临界反射波。

现在来自莫霍界面和壳下界面的地震波均能可靠地记录下来。但是，在这样的情况（当检波器远离震源时）下，可能得到的仅仅是来自平缓界面的反射波。因此，地壳结构，特别是地壳上部10—15公里内的结构，从地震剖面上看好象是近水平的界面。这样的地震界面不是虚假的，就是非常笼统地、错误地揭示了地壳结构的某些一般特征。那些在固结地壳上半部测得的地震界面往往不能与在地表上发现的具体地质构造结合起来，因为所有的陡倾斜界面被漏掉了。在我们看来，这就是某些生产单位和科研单位对深部地震研究一向持“冷漠”态度的原因所在。

在苏联进行了大规模的深部地震测深工作（超过6万测线公里）。利用深部地震测深和低频折射波对比法研究深部盆地，为建立关于地壳结构和发育的近代理论概念奠定了基础，具有重大的实际意义（查明潜在的石油聚集区）。但是，许多剖面，特别是东欧地台和西伯利亚地台、中哈萨克斯坦和沿海一带的剖面，就其地质效果来说，成效不大。

在用地震方法研究地壳时，苏联使用了各种不同的观测系统，不同类型的仪器 and 所获资料的不同解释方法。观测系统的多样化严重地影响了地震工作的地质效果、可靠性和准确性。

在一种观测系统中，地质学家能够根据弹性参数相当详细地划分地壳，并对地壳的结构和地壳内发生的各种作用做出可靠的结论，而在另外一些观测系统中，则会得出相当平均化的图象（尽管这种图象是非常复杂的），以致无法作出任何肯定的地质结论。由于使用的观测方法不同，即使是具有类似的地质史的地区，其资料也是无法对比的。