

科拉超深钻的重大成果

莫 杰

从深部岩层的年代、金属矿物与成矿作用、深部地层的温度、岩石密度与静压、气体与矿化水、变质作用、深部构造、地球物理与岩石物性、三岩分界与康拉德面和钻探技术工艺等方面，概述了苏联科拉半岛超深钻探获得的新成果。

当前世界地质科学领域中最引人瞩目的有三大新进展：(1) 国际性联合的大洋钻探计划 (ODP)；(2) 美国的大陆深部地震反射剖面 (COCORP)；(3) 苏联的超深钻探 (SDD)。

苏联于1970年5月首先在波罗的海地质科拉半岛上贝辰加铜镍矿区内进行钻探。这口名为CT-3超深钻设计深度为15000米，到1986年底已钻进13000米。现已获得有关深部岩层的物质组成及其物理性质、化学特征、变质作用和成矿作用等多方面的重要信息，主要的成果有：

1. 深部岩层的年代 钻探揭露的剖面由两大套变质杂岩组成，其地史时距由30~16亿年。元古代杂岩(0~6842米)约为16~20亿年；太古代杂岩(6842~11662米)约为25~30亿年。研究资料表明，岩石的成分及其物性随深度加大而有规律地变化。元古代的沉积—火山杂岩：上部(0~4500米)尼克尔斯尔岩系为辉石橄榄岩—玄武岩建造和杂砂岩建造；下部(4500~6842米)卢奥塔林斯克岩系为粗面安山岩—玄武岩建造和石英岩—碳酸盐建造。太古代杂岩划分为7个韵律性交替的岩系，每个韵律均由含铝矿物的黑云母—斜长石片麻岩及其下伏的黑云母—斜长石片麻岩和角闪岩组成。从而建立了第一个可信的前寒武纪地壳的地质—地球物理—地球化学垂直剖面图。

2. 金属矿物与成矿作用 垂直剖面上的磁性矿物分布自上而下：0~4586米为硫化物矿化带，主要为磁黄铁矿；4586~5642米为氧化物矿化带，磁黄铁矿基本消失，主要有磁铁矿和赤铁矿；5642米以下磁铁矿和磁黄铁矿较少。钻探结果说明，各种类型矿化的分布是按沉积作用、岩浆作用、变质作用和热液作用的顺序更替的。在600~1100米深处发现了地幔成因的低温热液黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿矿化。1540~1800米，成矿作用呈现为前所未有的含硫化物铜镍矿的超基性岩层位及含铁石英岩、变质岩的岩浆钛铁矿；

在6500~9500米处出现了以前认为只有近地表才能见到的低温热液矿化带(Cu、Pb、Zn、Ni、Ag等)；9500~11000米继续发现低温热水矿化作用的破碎岩带，对9500米处取样分析有磁铁矿、白云母、金云母和各种金属(Cu、Pb、Zn、Ni、Co等)的硫化物。这表明超深部也存在良好的成矿条件。

3. 深部地层的温度 在钻进过程中测量了孔内实际温度及岩石的导热率。元古代地层的地热增温率为1.6℃/百米，太古代地层为2℃/百米。3000米以下每加深100米地温预计仍增高1℃，到10000米深处应为100℃，但实测结果每加深100米升温2.5℃，到10000米处几乎高出一倍，为180℃，地温梯度值和热流密度随深度而增加。目前钻遇地层的温度约250℃，这从根本上推翻了地壳温度随深度每加深100米增加1℃的传统理论。

4. 岩石的密度与静压 该钻孔4500~9000米深部岩石密度比上部小，其原因主要是高温高压作用析出大量水，使原较致密的岩石破碎和疏松。同时，取得了结晶岩块岩石静压的反常资料，如到3000米深压力急剧上升，而到8000米又明显下降。

5. 气体与矿化水 深部地层中发现气体和沿巨厚的构造破碎带循环的强大水流。气体为He、H₂N、甲烷、水饱和溴、碘和高含量的重金属。首次发现了地壳深部存在着矿化的地下裂隙水，并显示了垂直的水文地质分带性：深部含氯化钙为主的水向上变为含水碳酸钠质的水。气体成分表现为深部氢、氮的作用增加，而主要产在元古代杂岩的沉积岩系中的碳氢化合物气体的作用减小。这表明各种气体矿化水已进入结晶岩石，并进行成矿作用。

6. 变质作用 根据钻探资料，在一个连续剖面上首次详细研究了从葡萄石—绿帘石相到角闪岩相这一范围的变质分带性，并确定了岩石的沉积成分、形成深度和温度对这个分带性的影响，变质温度自上而

下由300~650℃。由此可见,在变质时地温梯度比现今的地温梯度升高5~7倍。同时还查明,不仅变质温度随深度增加,而且矿物组合的平衡程度也随深度增进。该钻孔所在矿区的贝辰加杂岩的进变质作用是与构造岩块的叠瓦状逆冲位移同步发生的。太古代含多金属杂岩的明显特点,是在角闪岩相条件下发生区域性花岗岩化和在变质岩中广泛出现白云母化。

7. 深部构造 定量资料证实,由于垂直与水平位移的结果,在地壳深部同样存在构造岩块、断裂构造和褶皱构造。元古代旋回包括:安山玄武质火山作用、黄铁矿—玄武岩火山作用、褶皱—断裂错动和从葡萄石—绿帘石相互角闪岩相的带状变质作用4个阶段;太古代旋回由安山玄武质火山岩喷发沉积阶段、麻粒岩相褶皱变质及超变质阶段。

8. 地球物理与岩石物性 根据对钻孔岩心和剖面的地球物理与岩石物性的研究,获得深达12000米的有关自然产状岩石物性和成分的实际资料。首次在世界钻探实践中测定了20多种地球物理参数。在元古代贝辰加杂岩体深部,发现了一条由叠加在玄武岩之上的低温变质作用所控制的低速带,这是地球物理研究的一项重大成果。科拉超深钻是第一个穿透地震波速度发生突变界面的钻孔。但是与人们的期望相反,未发现任何由玄武岩组成的岩层。在地震波速突变的界面以下,岩石平均成分与界面以上大体相同。综合地质—地球物理研究成果得出以下结论:剖面上部倾斜的地震界面主要由地质体界反射;而剖面下部的地震界面则不再是地质体的界面了。因此,剖面的基本特征表现为:密度(σ)和速度 V_p 、 V_s 的最大值见于剖面上

部的火成岩中;下部的 σ 、 V_p 、 V_s 呈跳跃式减低。剖面弹性密度模式表明,这种变化与岩石成分剧烈的交替和在大断裂带内片理化强度随深度而加剧。

9. 三岩分界与康拉德面 地壳平均厚度35公里,陆壳区为70~75公里,洋壳为10~15公里。几十年来,科学家一直认为地壳是由沉积岩、花岗岩和玄武岩三大岩层组成。因此,穿过三岩界面是科拉超深钻的主要任务之一。地震测量该地区沉积岩—沉积—火山岩的深度为4.7公里,预测7公里处为康拉德界面。但实际钻探证实沉积岩底面深度为6.8公里,往下为花岗岩,目前仍在其中钻进,根本未遇什么康拉德面(未见推测的“玄武岩层”),这是地壳构成的重大发现。

10. 钻探技术工艺 科拉CГ—3超深钻的结构为上部设置三层钢质套管,其管径由外向里分别为720、325和245毫米,长度分别为40、2000和2000米,钻杆全部为轻型铝合金。下部钻具由下至孔底依次为涡轮钻机、减速器,连接心轴、取心器和牙轮钻头。由于在作业中综合运用了许多新技术成果,使超深钻施工顺利进行。这些新成果包括:超深钻探、低转速涡轮钻进、高速升降、程序控制和孔底监测装置。苏联目前已掌握了30多种新钻探技术的生产,这些新技术和新工艺已经超过世界水平,可钻进15000米。

科拉超深钻获得的重大成果为研究深部地质开辟了新的途径,也为提高以深部地震探测为主的地球物理测量的准确性和可靠性打下了坚实的基础。同时更有助于解决地质科学研究领域中许多重大的基础问题和实际问题。

Great Achievements of Ultradeep Drilling at Kola Peninsula

Mo Jie

Abstract

The great achievements yielded from the ultradeep drilling at Kola Peninsula (U. S. S. R.) are summarized in following aspects. They are: the age of deep-seated rock formation, metallic minerals and metallogenesis, the temperature, rock density and static pressure of deep strata, gasses and mineralized water, metamorphism, deep-seated structure, geophysical and lithological properties, boundary layers of sedimentary rock, granite and basalt, and Conrad discontinuity, and drilling technology.