

提高钻探的综合利用

——油气钻探遇到其它矿产

夏南^{1*}, 李锋², 夏冬^{3#}, 武晓静⁴

¹海南地质综合勘察设计院, 海南 海口

²河北省地质矿产勘查开发局地质勘查技术中心, 河北 石家庄

³海南职业技术学院, 现代供应链学院, 海南 海口

⁴河北资源环境职业技术学院, 河北 石家庄

收稿日期: 2022年10月8日; 录用日期: 2022年11月16日; 发布日期: 2022年11月23日

摘要

复杂的地质作用使各类矿产资源赋存在地壳不同深度, 钻探是寻找这些潜在矿产资源最直接、最客观的手段之一。尤其作为当前钻进最深的油气钻, 人们往往仅注重目标矿产或层位, 忽略可能遇到其它矿产资源的几率。为了提高油气钻探综合利用效率, 不遗漏其它类型的可能矿产资源, 本文作者通过总结不同矿产资源主要成矿深度及相互间共生规律, 提出一个观点——通过改进、补充当前钻孔岩芯(尤其是油气钻)编录与测试方法, 例如对潜在矿化信息的描述, 以提高钻探综合利用效率, 再运用必要的地球物理方法进行深部找矿的认识, 从而进一步完善岩石圈系统找矿方法和理论。

关键词

钻探, 油气钻, 岩芯编录, 深部找矿, 岩石圈系统

Improving Comprehensive Utilization of Drilling

—Oil and Gas Drilling Meets Other Minerals

Nan Xia^{1*}, Feng Li², Dong Xia^{3#}, Xiaojing Wu⁴

¹Hainan Provincial Geological Survey Institute, Haikou Hainan

²Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration, Geological Survey Technology Center, Shijiazhuang Hebei

³Hainan College of Vocation and Technique, Haikou Hainan

⁴Hebei Resources and Environment Voc-Tech College, Shijiazhuang Hebei

*第一作者。

#通讯作者。

Abstract

The complex geological process makes various mineral resources exist in different depths of the crust. Drilling is one of the most direct and objective means to find these potential mineral resources. Especially as the deepest oil and gas drill currently drilled, people often only focus on the target mineral or horizon, ignoring the possibility of encountering other mineral resources. By roughly summarizing the main metallogenic depths of different mineral resources and their mutual co-accompaniment laws, the author of this paper puts forward a point of view: by improving and supplementing the current drilling core (especially oil and gas drilling) observation and testing methods, such as the analysis of potential mineralization information, in order to improve the comprehensive utilization efficiency of drilling, and then use the necessary geophysical methods to understand the deep ore prospecting, so as to further improve the lithospheric system ore prospecting methods and theories.

Keywords

Drilling, Oil and Gas Drilling, Core Observation, Deep Prospecting, Lithospheric System

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地球上绝大多数矿产资源产于上地壳内，地壳深部物质的复杂性是引起人们对地球科学强烈兴趣的原因之一。钻探是人类在上地壳表层寻找矿产资源的最直接、最重要的技术手段。然而，由于受理论、技术及经济风险性等原因的限制，人们对钻探在深部钻进过程中究竟会遇到什么知之甚少，同样对地外星球矿产资源的勘查和开采则更加遥远[1]。

虽然钻探作为高级勘查手段造价高昂，但其找矿效果直接，是伸向地下了解地壳深部物质组成的最明确的探针，能直接研究地球浅部圈层和间接了解地球更深部物质组成。钻探应用领域和地域相当广泛，如今世界上许多国家开展的深地勘查、海洋钻探，沉积(火山)盆地钻探，全球沙漠覆盖区钻探，科学超深钻，尽管钻孔设计要求尽可能多地收集地质信息，但因地球科学中存在明显的学科壁垒，涉及到经费安排、技术手段、技术人员能力等因素的制约，不同矿产勘查领域的钻孔勘查布设依据、岩芯的观察及研究的不同，必然忽略和丢失了许多宝贵的地质信息，勘探过程中则主要聚焦于目标矿产，这导致钻孔勘查布设依据，岩芯的观察和研究的内容在不同矿产勘查领域几乎完全不同。如油气、煤等勘查注重岩石孔隙、裂缝、有机烃、沥青等的观察和研究。水资源勘查关注含水层岩石的块度、硬度、风化程度、裂隙发育程度等。金属、非金属矿产勘查则注重有用矿物的富集及相关蚀变现象的观察与分析。铀钍矿注重样品放射性核素存在、活度及其含量的分析与研究。毫无疑问，运用钻探进行单一对象的勘查方式存在明显的弊端，例如找矿勘探成本的增加、潜在资源的丢失以及已获得的科研价值的折损等。

2. 矿产可能赋存位置

地壳的陆地和海洋不同构造部位存在各类矿产。沉积作用使得沉积层内显著发育沉积型矿产，如盐

类、煤矿、铀钍、重矿物、油气矿等。然而，岩浆作用、变质作用使得沉积层中也可形成金银铜铁铅锌等内生金属矿产。变质层与基底则主要产内生型金属、非金属、铀钍矿及部分油气等[2]。流体是携带、运移这些矿质的重要媒介[3] [4]。他们包括岩浆热液、变质水、幔源流体、同生水、海水及大气降水等[5]。含矿流体使得各种矿产形成于地壳不同构造部位(图 1)。事实上，前人已对在地壳内具有一定共生或者共存关系矿产[6]有了比较深入的研究，如石油中确切发现达到工业品级的铀矿、金矿、银矿等[7] [8]，其上部可存在气藏、天然气水合物、海底多金属结核(polymetallic nodules)煤或者盐类[9]，而气藏之上边缘带可发育铀矿，煤中可能含有可供利用的稀土、稀有金属及铀钍矿[10] [11]。锑、汞、铅锌、金矿床中存在沥青和油滴，这解释为古油气藏与金属矿的关系[11]。盐类、非金属矿床上下部层位可能有砂岩型铅锌铜等重矿物矿床及水层[12]。事实表明，钻孔勘探在向深部钻进中确实遇到过不同矿产，这使已有的钻孔资料的再利用和进一步发掘成为必要和可能，并为其他矿产资源的勘查提供了重要思路且可能开辟出新的研究方向。经统计，石油勘探中意外找到了全球 38%的钾盐[13]。深海钻探首次发现了天然气水合物及多金属硫化物结核等[14]。上世纪 70~80 年代，美国成功开展的煤成气勘探，恰恰充分利用了已有的石油勘察和煤炭勘察资料(包括钻孔方面)，从而节省了大量的经费和时间。尽管如此，这些潜在现象常被人们所忽视，并未引起足够的重视。在一定程度上，找矿勘探应该整合岩石圈系统才更有效。

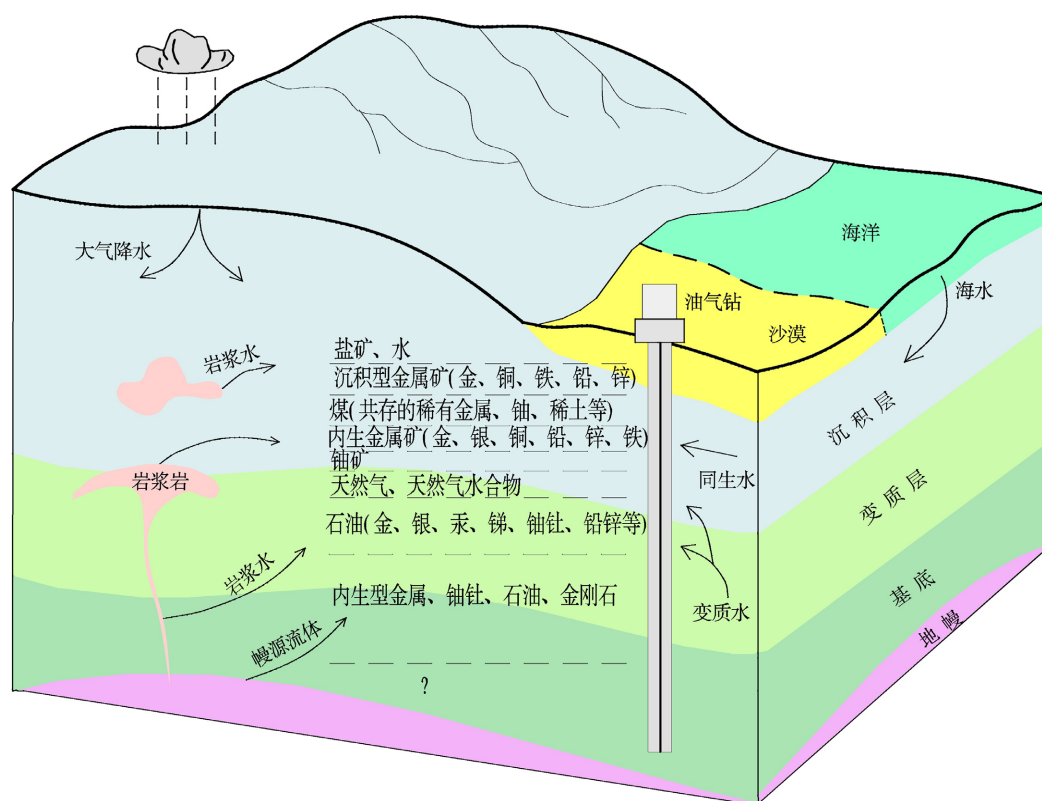


Figure 1. Ideal view of potential minerals encountered by oil and gas drillers in different parts of the deep crust
图 1. 油气钻在地壳深部不同部位遇到潜在矿产的理想图

3. 主要理论依据

因各种地质作用，含矿流体在沉积层、变质层和基底形成不同矿产(图 1)。油气钻在向深部钻进的过程中可能会遇到它们。人类对能源的需求导致全球成千上万的油气钻、水文钻及页岩气钻等的实施。油

气主要产于沉积盆地、火山盆地、海洋深处有利的圈闭内。在这些构造环境中, 钻孔通常需要钻进至地壳下部很深, 甚至很多可达近 10,000 m。然而, 油气成因的认识一定程度上决定着油气钻的部署方向和打钻的深度。油气成因分为有机与无机[15] [16] [17]。有机成因认为油气主要形成于烃源岩富集的有利圈闭内, 油气圈闭中的油气存在于储集层中, 储集层可以是高连通有效孔隙度的岩石, 包括火山岩、侵入岩、变质岩及沉积岩。无机成因认为油气成藏过程中主要或者至少存在深部无机流体的贡献[18] [19]。超临界态含烃、金属、非金属、稀土元素的地幔烃碱流体, 在合适的温压和地层条件下分异形成金属、非金属、油气矿藏[8]。油气成因的争论导致其找矿勘查方向的不同。苏联兰第聂伯-顿涅茨盆地 3100~4000 m 前寒武系变质基底——花岗质岩石、角闪岩和片岩中, 意外发现储量 2.19×10^8 吨的工业油田[20]。乌克兰大陆科学钻探在 5000~6000 m 前寒武纪结晶基底中发现了工业油田。克拉玛依油田八区克 256 井于 2830~2838 m 和其南部 4 Km 的检乌 8 井 3021~3022 m 古生界基底岩芯中均见流纹岩晶洞中含稠油。事实表明, 有的花岗岩基底中也产油[21]。而地壳内大部分金属、非金属、铀、稀有金属及稀土等矿产资源也产在花岗岩中, 如埃斯康迪达(Escondia)铜矿、奥拉帕金刚石矿(Orapa)、可可托海铀-钍-钽-铌稀有金属矿床(Koktokay rare metal deposit)、白云鄂博稀土矿(Bayan Obo REE deposit)、奥林匹克坝铜-铀-金矿(Olympic Dam copper-uranium-gold deposit)等。当然, 成矿控制因素不仅包括各类岩石, 构造的作用也相当关键, 如在叠合盆地中断裂构造是控制油气分布的主要原因[22], 而在地壳内不同尺度的构造对固体矿产的控制作用更广泛[23]。因此, 包括花岗岩在内的地壳内各类岩石及控矿构造是油气及其他矿产资源赋存的共同载体和空间。这为利用油气钻寻找金属以及其他矿产提供了一个重要的理论依据[24]。但是, 为什么目前油气钻探尚无找到可供开采的金属矿床的先例呢? 这可能是人们对已获取油气钻孔岩芯中的金属矿化内容的忽略, 亦或是对偶然发现的金属矿化现象成矿潜力研究欠缺有关。

以新疆三山夹两盆地的特殊的构造格架为例, 石炭-二叠纪双亚幔柱岩浆作用(图 2)对新疆矿产资源具有显著“8 字型”控制作用[25] (图 3)。已发现的金属、非金属矿主要分布于准噶尔-塔里木两个盆地边缘, 油气、煤则产于两个盆地内的石炭-二叠系火山岩储层或者生油层[26], 部分与幔源低劈构造相关[27]。因此, 推断准噶尔-塔里木两个盆地内可能存在未知规模的金属、非金属矿床[28]。由此提出一个通过改进、补充当前钻孔岩芯(尤其是油气钻孔和水文钻岩芯)观察和测试内容, 总结已获取岩芯的潜在成矿信息, 继而加强对地壳深部开展系统找矿新方法和深部理论研究的新观点。

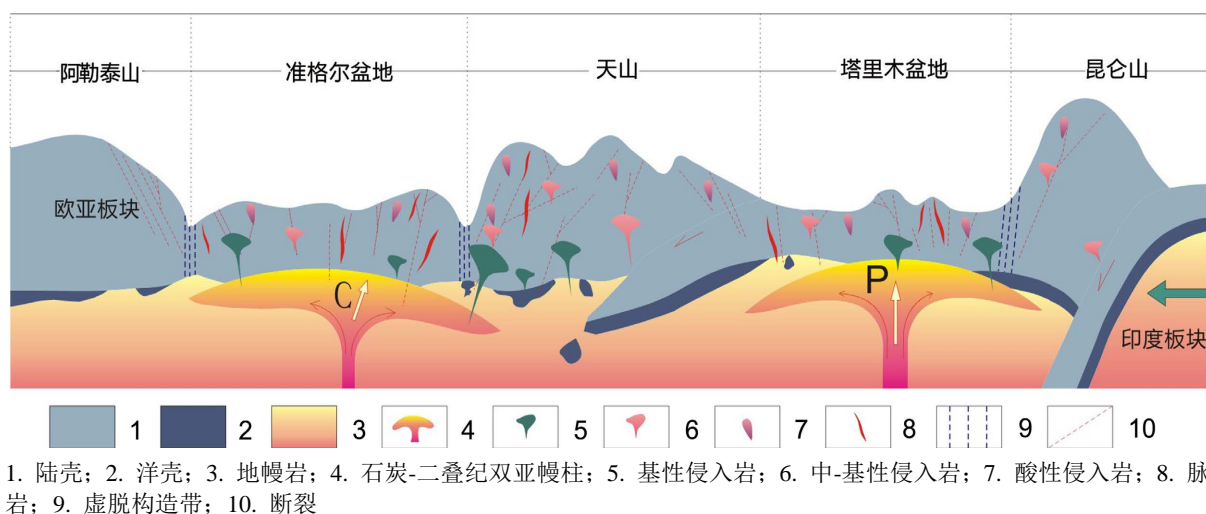
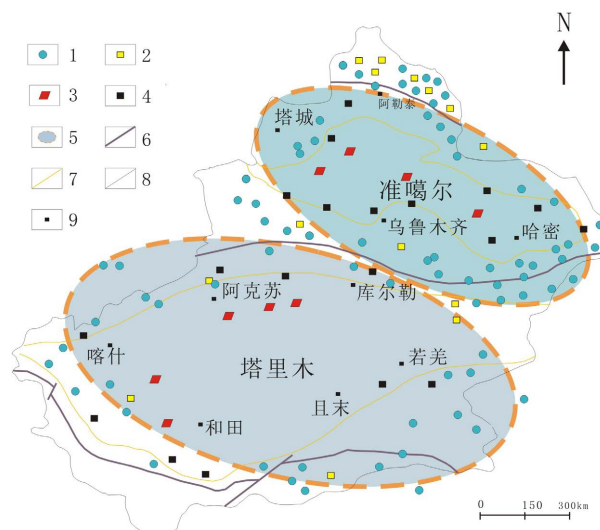


Figure 2. Model diagram of Carboniferous-Permian bisubmantle columns in Xinjiang
图 2. 新疆石炭-二叠纪双亚幔柱模式图



1. 金属矿产；2. 非金属矿产；3. 石油；4. 煤炭；5. 环型成矿带；6. 板块缝合线；7. 盆地界线；8. 省界；9. 地名

Figure 3. Schematic diagram of “8”-shaped distribution of metal minerals in Xinjiang

图 3. 新疆金属矿产“8”字型分布简图

4. 主要技术方法及潜在意义

依托油气钻(包括水文钻等)勘查,新方法可以补充加入以下内容:1)以将要实施的或者已经完成的石油钻孔岩芯为研究和分析对象,参考金属矿产编录标准,建立有针对性的、系统的岩芯编录指南。2)系统归纳已获得岩芯中金属矿化与蚀变特征,总结矿化强度并初步推测可能的矿化规模。3)分析与油气勘查有关的地球物理资料,如三维地震、测井数据等,并结合矿区地层、邻近钻孔岩芯岩性及矿化蚀变特征,进而反演目标矿体或者控矿构造大致位置、形态、规模及可能延伸趋势,论证针对金属矿体开展下一步工作的潜在经济意义。4)明确这个意义后,对目标矿体采用必要的与金属矿产相关的地球物理方法,如磁法或电法等,进行再反演,进一步确定矿体位置。5)钻孔验证。6)论证矿床开采可行性及经济意义。在山间盆地或者火山岩型盆地中,运用油气钻寻找其他矿产资源的效应可能会更加明显。当然,其他的深部钻探同样可辅助性指导油气等矿产资源的勘查。同时由于油气钻探具有深度大及与地质类钻探不同的地域性(如沙漠地区或深海钻探),对地学领域开展的不同深度的“陌生”地壳研究提供大量详细的地质资料。

依托钻孔勘探找到可能潜在的不同类型的矿产,从而直接的节约勘查成本、降低勘探风险,其能拓展不同地学领域科研人员对深部地壳的不同对象的研究,有益于打破学科间的壁垒,施展其广阔的应用领域,可促进不同学科之间的交叉和渗透。当然,如果在地壳深部发现了其他别的矿产,却因技术或者经济因素导致难以进行下一步勘查和开采的情形是可预见的。但令人值得期待的是:在可能新发现的矿床中,总可以选择出有可利用价值的,如那些矿石品位高的、埋深较浅的或者规模足够巨大的。从长远看,该观点对人类开展地外星球相似地质条件下的矿产资源勘查及开采提供了可预期的实践积累[29]。

5. 结论

本文通过总结、分析了地壳深部各类矿产共生、共存关系及可能的赋存部位,提出了通过改进、补充当前钻孔岩芯(尤其是油气钻孔和水文钻孔岩芯)观察和测试内容以便获取对地壳深部不同矿产进行系统找矿和研究的观点。这种方法如若实现,将对全球钻探,尤其是油气钻在勘查中可能会有发现其它可供利用的矿产,同时可开辟出新研究方向收获更多钻探技术带来的惊喜。

参考文献

- [1] Elvis, M. (2012) Let's Mine Asteroids—For Science and Profit. *Nature*, **485**, 549. <https://doi.org/10.1038/485549a>
- [2] 滕吉文, 杨立强, 刘宏臣, 等. 岩石圈内部第二深度空间金属矿产资源形成与集聚的深层动力学响应[J]. 地球物理学报, 2009, 52(7): 1734-1756.
- [3] 毛景文, 李晓峰. 深部流体及其与成矿成藏关系研究现状[J]. 矿床地质, 2004, 23(4): 520-532.
- [4] 罗照华. 流体地球科学与地球系统科学[J]. 地学前缘, 2018, 25(6): 277-282.
- [5] Robb, L. (2005) *Introduction to Ore-Forming Process*. Blackwell Scientific Publishing, London.
- [6] 真允庆, 郝红蕾, 付怀林, 等. 广东三水盆地油气田与金属矿床的成因关系[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 795-804.
- [7] 涂光炽. 成煤、成油、成气、成盐和成金属矿之间的关系[J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 3(1): 1-3.
- [8] 崔永强. 现代石油地质学-幔源油气理论[J]. 新疆石油地质, 2018, 39(2): 244-250.
- [9] Schrope, M. (2013) UK Company Pursues Deep-Sea Bonanza. *Nature*, **495**, 294. <https://doi.org/10.1038/495294a>
- [10] 代世峰, 任德贻, 周义平, 等. 煤型稀有金属矿床: 成因类型、赋存状态和利用评价[J]. 煤炭学报, 2014, 39(8): 1707-1715.
- [11] 俞弼安, 司马献章, 金若时, 等. 鄂尔多斯盆地东北缘发现大型砂岩型铀矿床[J]. 中国地质, 2020, 3(47): 883-884.
- [12] 顾雪详, 章永梅, 李葆华, 等. 沉积盆地中金属成矿与油气成藏的耦合关系[J]. 地学前缘, 2020, 17(2): 83-105.
- [13] 刘成林, 王弭力, 焦鹏程, 等. 世界主要古代钾盐找矿实践与中国找钾对策[J]. 化工矿产地质, 2006, 28(1): 1-8.
- [14] Collett, T.S. (1993) Natural Gas Hydrates of the Prudhoe Bay and Kuprukrivierarea, Northslope, Alaska. *AAPG Bulletin*, **77**, 793-812. <https://doi.org/10.1306/BDF8D62-1718-11D7-8645000102C1865D>
- [15] Griffin, W.L., Begg, G.C. and O'Reilly, S.Y. (2013) Continental-Root Control on the Genesis of Magmatic Ore Deposits. *Nature Geoscience*, **6**, 905-910. <https://doi.org/10.1038/ngeo1954>
- [16] Kutcherov, V.G. and Krayushkin, V.A. (2010) Deep-Seated a Biogenic Origin of Petroleum: From Geological Assessment to Physical Theory. *Reviews of Geophysics*, **48**, RG1001. <https://doi.org/10.1029/2008RG000270>
- [17] Kolesnikov, A., Kutcherov, V.G. and Goncharov, A.F. (2009) Methane-Derived Hydrocarbons Produced under Upper-Mantle Conditions. *Nature Geoscience*, **2**, 566-570. <https://doi.org/10.1038/ngeo591>
- [18] 莫宣学. 岩浆与岩浆岩: 地球深部探针与演化记录[J]. 自然杂志, 2011, 33(5): 255-259.
- [19] 杜乐天, 张景廉, 欧光习. 石油天然气藏幔汁加氢和碱交代成因的再认识[J]. 地质论评, 2015, 61(5): 1007-1020.
- [20] 许志琴, 杨文采, 杨经绥, 等. 中国大陆科学钻探的过去现在和未来[J]. 地质学报, 2016, 90(9): 2109-2122.
- [21] 李庆忠. 打破思想禁锢, 重新审视生油理论——关于生油理论的争鸣[J]. 新疆石油地质, 2003, 24(1): 75-83.
- [22] 罗群. 断裂控烃理论与油气勘探实践[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2002, 27(6): 751-756.
- [23] 牛树银, 孙爱群, 郝梓国, 等. 地幔热柱多级演化及其成矿控矿研究: 以张-宣幔枝构造研究为例[J]. 地学前缘, 2011, 18(2): 258-267.
- [24] 陈广坡, 徐国盛, 王天奇, 等. 论油气成藏与金属成矿的关系及综合勘探[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 201-206.
- [25] 夏冬, 彭玉旋, 罗照华, 等. 新疆石炭-二叠纪双亚幔柱特征及其对矿产资源的约束[J]. 西北地质, 2018, 1(4): 10-23.
- [26] 康玉柱. 新疆两大盆地石炭-二叠系火山岩特征与油气[J]. 石油实验地质, 2008, 4(30): 321-327.
- [27] 林隆栋. 关于准噶尔盆地油气勘探新模式的思考[J]. 新疆石油地质, 2011, 32(5): 557-563.
- [28] Lebedev, B.A. and Pinsky, E.M. (2017) Transvaporite Model of Ore Genesis and an Exploration Strategy for New Giant Ore Deposits. *Ore Geology Reviews*, **89**, 324-349.
- [29] Editorial (2013) Expanding Boundaries of Exploration. *Nature*, **6**, 891.