

多工艺 空气钻探

耿瑞伦 陈星庆 主编

地质出版社

多 工 艺 空 气 钻 探

耿瑞伦 陈星庆 蒋荣庆
李大用 于荫平 李永信 等编著

地 质 出 版 社
· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

图书在版编目 (CIP) 数据

多工艺空气钻探/耿瑞伦,陈星庆主编. -北京:地质出版社,1995.10

ISBN 7-116-01887-5

I. 多… II. ①耿…②陈… III. 空气钻进-钻探-技术 IV P634.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 05109 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 31 号)

责任编辑:冯士安

*

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 850×1168 1/32 印张: 13 字数: 338 000

1995 年 10 月北京第一版·1995 年 10 月北京第一次印刷

印数: 1—700 册 定价: 17.50 元

ISBN 7-116-01887-5

P·1475

前 言

《多工艺空气钻探》一书,是一本较全面地反映地质矿产部“七五”科技攻关项目“多工艺空气钻进技术的开发研究”所取得的一系列丰硕成果的专著。该攻关项目是由地矿部勘探技术研究所、探矿工艺研究所、水文地质工程地质技术方法研究所、成都水文地质工程地质研究中心、中国地质大学(武汉)、长春地质学院、成都地质学院、地质矿产信息院、上海探矿机械厂、天津探矿机械厂等单位共同完成的。项目设七项课题,含28个专题,绝大部分已按计划完成并通过了技术鉴定,不少成果在钻探生产中已推广应用,产生了显著的技术经济效益,被国家科委列入“国家科技成果重点推广计划”(编号工 3—1—1—8),并成为“国家科技成果重点推广计划创亿元产值项目100例”之一。近年还获部科技成果一等奖2项;二等奖4项;国家专利10余项。

本书的撰写工作是由各课题和专题的研究人员完成,发挥了集体力量和大家的聪明才智。内容重理论与实践相结合,有助于当前国内多工艺空气钻探技术的推广与应用,有助于我国钻探生产水平的提高。其应用领域将涉及矿产岩心钻探、工程地质钻探、水文水井钻探、基础工程施工、矿山开采、地质灾害防治和环境保护工程等。

本书由中国地质勘查技术院耿瑞伦和陈星庆主编。各篇章分工如下:概论由耿瑞伦编写;第一篇由蒋荣庆负责,其中第一、二、四章和第三章的五、六节由蒋荣庆、殷琨编写;第四章的第四节由王建增编写;第三章的一至三节由李仲元、冉德发、叶成明等编写;第四节由汪彦枢编写。第二篇由李大用负责,其中第一章由耿瑞伦编写;第二章由李大用编写;第三章由李大用、耿瑞伦编写。第三篇由于荫平负责,其中第一章由耿瑞伦编写;第二至八章由于荫

平编写,其中第七章由于荫平、陈台智、石厚载等编写。第四篇由李永信负责,其中第一至三章由徐会文、李永信编写,第二章的第三节由张文佑编写,第四节由费立、朱宗培编写;第四章由戎信、陈惟明编写;第五章由费立、朱宗培编写;第六章由肖阳春、陈逸编写。最终全文由陈星庆负责统一审阅、删节、修改后定稿。

本书的编写与出版和本攻关项目一样,始终得到地矿部高容中心、科学技术司、勘查技术司、中国地质勘查技术院的有关领导和专家刘广志、赵国隆、王达、雷恒仁等的关怀与支持,特别是国内外著名钻探专家刘广志教授热情为本书作序,给本书编著者以很大的鞭策与鼓舞,在此一并表示衷心的感谢。

科学技术无止境。多工艺空气钻探技术在不停顿地发展与完善。本书存在的不足与错误之处,诚恳地希望大家批评指正。

编 者

1994. 10

序 言

一部反映我国地质钻探工程领域重大科学研究成果，并代表我国地质钻探工程现代化又步上一个新台阶的《多工艺空气钻探》新书终于问世了。这是我国地质钻探界的一件可喜可贺的大事，这是继《金刚石钻探手册》问世以来，又一颗灿烂的“明星”，熠熠生辉地照亮着我国地质钻探工程的道路，排除万难向更高、更新层次发展。这部集聚了 60 多位老、中、青钻探教授、专家、工程师，据多年专题研究成果写成的巨著，不仅是他们呕心沥血所为之奋斗的多工艺空气钻探的新理论、新发现的结晶，同时还将国外已有的理论向前推进了一大步，富科学性、创新性。在硬件方面，诸如设备、器具、钻具、技术工艺等，都密切结合了我国的国情，既借鉴于国外经验，又注意了国产化，从而使多工艺钻探的理论与实践具有很高的实用性。还应特别指出的是，任何一件硬件或软件都是经过具有高新科技的实验室进行反复试验见初步成效后，又在野外队作过生产试验验证取得实际效果后，再经部级技术鉴定确认的。在整个科研试验过程中，自始至终遵循“实践是检验真理的唯一标准”这条基本原理。因此，多工艺空气钻探技术必将在地质找矿、水文水井、岩土钻凿工程、地质灾害与环境治理工程等所面临的新挑战面前得到推广，并取得胜利，为实现钻探工程现代化作出重大贡献。

空气钻探起源于 20 世纪 10 年代。当时，在美国南方经得克萨斯等一些州，陆续发现与开发了一大批高产油气田，油气产量剧增，不仅石油产量高，而且天然气产量也很大，一时间给储存、集输与使用造成了一些不必要的困难，于是有些工程技术人员建议采用天然气作为钻井冲洗介质。试用中他们意外地发现，这些轻型气态冲洗介质借助于它固有的密度低、压力高、气量供应可以调节

的优点,不仅排除岩粉速度高,还使钻进速度成倍增长。同泥浆比较,其最大优点是对油气产层起到了明显的保护作用。其主要的缺点是易于产生火灾,而且循环回来的天然气就逸散到大气中,造成大量浪费,并污染空气。后来,随着天然气输送管网、集输控制设备的逐步完善,工业与民用天然气事业的迅速发展,用天然气作冲洗介质的钻探工艺才逐渐消泯。但它在应用过程中,给予人们的启迪却起了极大的推动作用,于是取而代之的是压缩空气。确切的说应该叫做压缩空气冲洗钻探 (Compressed air flush drilling),简称空气钻探 (Air drilling)。一种全新的工艺诞生,那是 30 年代末的事了。其后,由于高压油气深井的出现(油气层压力高达 20—30MPa,甚至更高),井控一时出现困难,以致使空气钻探用于油气井曾消沉了一段时间。随着井控技术的改善与进步,在 50 到 60 年代,空气钻探又兴盛起来,表现在:① 当时用空气钻探油气井在美国南方各州的工作量约占总工作量的五分之一;从数百口井的资料分析,比泥浆钻探钻速提高二倍以上,钻头进尺至少提高三倍,总成本和每米成本降低了一半,钻探总时间减少了百分之七十;② 德州的浅井一般 2000—3000m,最深的一口井达到了 5683m,取得了惊人的技术经济效益,引起了石油钻探界的密切注意;③ 一些著名大学的石油工程系纷纷对空气钻探基础理论进行研究,设置课程进行正式教学;④ 空气钻探设备与工艺获得完善与发展,延伸为四类,以适用不同特性的岩层,即纯空气钻探(又称粉尘钻探, Air drilling 或 Dust drilling),雾化钻探(Mist drilling),充气泥浆钻探 (Aerated mud drilling),与稳定(或称粘性)泡沫钻探 (Stiff foam drilling);这四种工艺是按照上述顺序逐步发展而来的;⑤ 实践证明,空气钻探的四种工艺,使钻孔内静压力,不仅大为减低,有利于实施地层压力平衡钻进,并且成为现代保护低压层(低压油气层、非承压水层、地热储层、冰层、永冻层以及断裂带型金属矿床)的理想钻井介质,这不仅拓宽了对复杂岩层概念的认识,也为钻进工艺提供了新的途径。进入 70 年代,国外又逐步拓展用于地质找矿钻探,如金、铀、铜、铅锌等矿,均获

成功。我国试验发现,用空气钻探的固体矿产钻孔的地质样品,其代表性强,物质成分极少受干扰,层次分明,判层准确,即地质效果优良,其原因如下。

① 气态冲洗介质上升速度快(双壁管反循环中心孔上返速度高达 $20-25\text{m/s}$)。净化孔底能力强,避免了重复破碎。

② 样品返回地表及时而且重量足。

③ 用双壁钻杆时,样品不与孔壁接触,因而不会被外来物质污染,不会混样。

④ 充气泥浆或泡沫钻探工艺,兼有护壁、止漏、保护矿心的效用。

⑤ 经与岩心样、坑道样化学分析对比,各孔段含矿品位有十分密切的相关性。经地质人员判定,样品有充分的代表性,即使将全样缩分为 $1/8$ 、 $1/4$ 、 $1/2$,分析后的品位仍具有充分的代表性。

综上所述,空气钻探已成为现代钻探技术水平的重要标志之一,多年来一直受到地矿部系统各级领导的重视。

50 年代初在北京周口店曾作过试验,在甘肃干旱缺水地区也曾打过两口小口径地质浅孔,终因技术准备不足,设备不配套而中断。

1984 年 3 月,地质矿产部派出空气钻探考察团访问联邦德国,详细考察了空气钻探工艺与实际效果。1985 年 11 月,在我国无锡召开的国际钻探会议期间,约请加拿大贝克尔钻探公司专家详细介绍了美国、加拿大反循环空气钻探在地质钻探领域的发展现状与远景,使到会代表们对空气反循环中心取样(CSR)这种快速钻探方法的综合地质、技术、经济效益有了深入的了解。会期即商定进口一套“CSR-1000AV”钻机,并立即派人到美国现场作了核查,并签定了合同。1986 年 10 月,又派团到加拿大贝克尔钻探公司进行了技术操作与设备维修管理的培训。钻机到货后,在山东、宁夏金矿区作了对比性生产试验,取得了预期效果。

还应该提到的是,我国自 50 年代起由勘探所王人杰高级工程师和长春地质学院探工系蒋荣庆教授主持研制的各种类型的液动

式冲击回转钻具(液动潜孔锤)到1984年已基本形成系列,并投入推广,而且已逐渐转入空气潜孔锤的研制。至此,空气钻探技术以钻头和冲击器为起点,将传统碎岩机理作了革新,势必带动循环方式、钻具结构、钻孔口径、专用钻探设备与辅助工具、循环介质和处理剂,以及相应工艺等作革命性或革新性的变革。

在这种背景下,1986年地矿部批准将“多工艺空气钻进技术的开发研究”列为第七个五年计划期间钻探重点科研项目之一,项目编号为“86019”,由长春、成都地质学院,中国地质大学(武汉),勘探所,探矿工艺所,水文技术方法研究所,成都水文地质中心,地矿部信息院等八个单位负责。设二级课题七项,分解为27个专项,内容涵盖了多工艺空气钻探的各个领域。动员了60余位全国知名的教授、专家和工程师做课题带头人与研究人员,并邀请了河南、山东、吉林、江西、宁夏、甘肃、四川、安徽等地矿厅局和有关野外队,以及上海、无锡、天津等探矿厂、钻探工具厂等十多个单位参加生产试验与协作攻关活动。该项目由耿瑞伦同志任总负责,刘广志同志作顾问。在科研攻关活动中,大家本着精诚团结,一心振兴钻探事业的雄心壮志,到1991年6月,历时5年,胜利完成了科研任务。其中有23项通过了地矿部的部级技术鉴定。先后获得部科技成果一等奖两项;二等奖四项,三等奖一项。还派生出大口径、小口径气动潜孔锤、贯通式潜孔锤、潜孔锤小钻机(长院),雾化钻探(吉林)、泡沫泥浆钻探(四川)等五个项目。成果质量是一流的,覆盖面是广的,达到了科研任务书中的各项预期要求。

《多工艺空气钻探》是一部理论联系实际,理论指导实践的专著,必将受到全国地质钻探界的欢迎,也必对促进钻探工程提高到一个新水平作出应有的贡献。仅此为序,以资推荐;并向参加科研、试验的全体教授、专家、工程师们和支持与参加生产试验的各级领导与一线工程技术人员和钻探工人致以深切的谢意。

刘 广 志

目 录

概论	(1)
第一节 钻探用循环介质的演进	(1)
第二节 空气钻探技术的发展及其背景	(3)
第三节 多工艺空气钻探技术	(5)
第四节 空气钻探用设备	(11)
第五节 我国多工艺空气钻探技术的主要成果	(12)

第一篇 气动潜孔锤钻探技术

第一章 概述	(17)
第一节 气动潜孔锤钻进特点	(17)
第二节 气动潜孔锤钻进发展概况	(18)
第三节 气动潜孔锤的应用范围	(22)
第二章 气动潜孔锤的类型、结构及工作原理	(24)
第一节 气动潜孔锤分类及其基本要求	(24)
第二节 阀式气动潜孔冲击器结构及工作原理	(25)
第三节 无阀式气动潜孔冲击器结构及工作原理	(32)
第四节 GQ 型贯通式气动潜孔冲击器	(37)
第三章 气动潜孔锤钻进工艺及应用实例	(40)
第一节 常规潜孔锤钻进	(40)
第二节 潜孔锤取心钻进	(49)
第三节 潜孔锤扩孔钻进	(54)
第四节 潜孔锤跟管钻进	(59)
第五节 贯通式气动潜孔锤反循环连续取心(样)钻进	(74)
第六节 硬岩大直径潜孔锤钻进	(102)

第四章 气动潜孔锤钻进的主要设备及配套机具	(105)
第一节 钻机.....	(105)
第二节 空气压缩机.....	(105)
第三节 钻杆.....	(111)
第四节 除尘方法及设备.....	(115)
第五节 样品采集与缩分.....	(120)

第二篇 空气双管反循环连续取样(心)钻探

第一章 概述	(123)
第二章 空气双管反循环连续取样(心)钻探技术	(126)
第一节 基本原理.....	(126)
第二节 钻探设备.....	(126)
第三节 钻具的组合及其特性.....	(136)
第四节 空气双管反循环连续取样(心)钻探的施工技 术.....	(139)
第三章 空气双管反循环连续取样(心)钻探的应用效果 及发展前景	(154)
第一节 岩金矿勘查中的应用.....	(154)
第二节 水井钻探中的应用.....	(158)
第三节 发展前景.....	(159)

第三篇 气举反循环钻探技术

第一章 概述	(161)
第二章 气举反循环钻探技术原理、特点和应用范围 ...	(164)
第一节 气举泵与气举反循环钻进原理.....	(164)
第二节 气举反循环钻进特点.....	(169)
第三节 气举反循环钻探技术应用范围.....	(171)
第三章 气举反循环钻具	(176)
第一节 双壁钻杆气举反循环钻具.....	(176)
第二节 并列风管法兰盘连接式气举反循环钻具.....	(182)

第三节	气举反循环钻进用钻头	(190)
第四章	钻探设备	(198)
第一节	钻机	(198)
第二节	空气压缩机	(206)
第五章	冲洗液及其除气与净化	(214)
第一节	冲洗液	(214)
第二节	净化与除气装置	(219)
第六章	气举反循环钻进理论计算	(222)
第一节	钻头破碎岩石的能力	(222)
第二节	冲洗液携带岩屑的能力	(223)
第三节	冲洗液冲洗孔底的流量	(236)
第四节	效率及功率计算	(237)
第七章	连续取样(心)与判层	(239)
第一节	连续取样(心)机理	(239)
第二节	野外模拟试验	(240)
第三节	实际钻进结果	(243)
第四节	岩心(样)代表性的研究	(245)
第五节	岩样螺旋分离机	(250)
第八章	气举反循环钻进工艺规程要点	(254)
第一节	钻具尺寸及钻探设备的选择	(254)
第二节	辅助钻进方法	(255)
第三节	井场布置	(255)
第四节	孔内事故的预防和处理	(256)

第四篇 泡沫及泡沫钻探技术

第一章	概述	(259)
第一节	低密度钻井流体	(259)
第二节	泡沫钻进技术发展现状	(261)
第二章	泡沫剂	(264)
第一节	泡沫剂的种类、特点及要求	(265)

第二节	表面活性剂	(269)
第三节	ADF-1 型泡沫剂	(276)
第四节	DF-1 型泡沫剂	(282)
第五节	CDT-812 泡沫剂	(293)
第六节	CDT-813 泡沫剂	(299)
第三章	泡沫流体的性能及其测量	(306)
第一节	泡沫钻进对泡沫剂的性能要求	(306)
第二节	发泡能力的测量及泡沫稳定性的评价	(311)
第三节	泡沫流变性试验研究	(319)
第四节	泡沫流体携屑能力的研究	(325)
第五节	泡沫质量评价	(338)
第四章	泡沫钻进技术在地质岩心钻探中的应用	(341)
第一节	泡沫钻进在地质岩心钻探中的应用	(341)
第二节	泡沫钻进设备配套的合理选择	(345)
第三节	泡沫钻进工艺	(353)
第五章	泡沫泥浆钻进	(364)
第一节	泡沫泥浆的特点及应用范围	(364)
第二节	泡沫泥浆的配制及发泡方式	(371)
第三节	钻进工艺参数	(382)
第四节	应用实例	(387)
第六章	钻进中的消泡技术	(390)
第一节	消泡方法概述	(390)
第二节	DX 型消泡剂	(394)
第三节	机械消泡装置	(400)

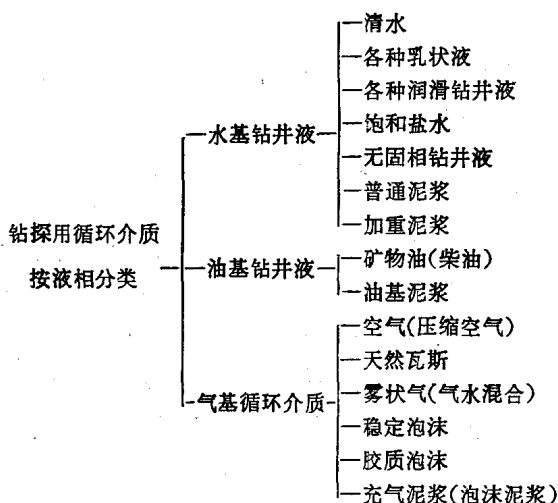
概 论

从本世纪初开始试验, 50—60 年代正式获得生产应用, 并于 70—80 年代广为发展形成的多工艺空气钻探技术 (Multi-Tech Air Drilling), 被视为现代钻探技术一项重要成就和衡量钻探技术水平的标志之一。其理论基础是: (1) 空气或含气介质循环可以在钻进过程中有效地冷却钻头、清洗孔底和快速输送岩屑至地表; (2) 用空气或含气介质循环时, 可以排除或降低孔内液柱对孔底岩石破碎的影响, 有利于提高钻进速度; (3) 空气或含气介质(如泡沫和充气泥浆)对孔壁和岩矿心有保护作用, 利于在水敏性地层和某些不稳定地层钻进; (4) 空气和低密度含气介质利于在低压(低渗透率)层钻进, 保护低压油气储层和含水层不受破坏; (5) 压缩空气可以在用作井孔循环介质的同时作为动力驱动潜孔风动冲击器(潜孔锤)大幅度提高钻岩, 特别是硬岩钻进速度; (6) 空气取之不尽, 包括含气介质容易获取和制备等。正因为如此, 多工艺空气钻探技术很快在世界范围内发展推广, 技术经济效益十分显著。尽管如此, 多工艺空气钻探技术的实际应用, 仍应视钻探施工所处地质、地理环境和钻探目的与要求等客观条件而定。它不排除, 也不可能完全取代清水、泥浆等液体循环介质。

第一节 钻探用循环介质的演进

世界钻探工业的长期实践表明, 开发新型钻探用孔内循环介质(流体), 不断改善流体性能, 是提高钻速、改善钻孔质量、保证安全施工、降低钻探成本和促进钻探技术进步的重要因素之一。钻探用孔内循环介质的演进, 经历了从无循环液(早期冲击钻)到有循环液; 从用清水到兼用普通泥浆、优质泥浆和无固相(无粘土)钻

井液；从水基到兼有油基和气基低密度循环介质（空气和空气介质），从一般条件下用循环介质到兼有特种条件下（低温、高温、低压、高压、高盐和不稳定地层等）和特种钻进工艺方法用循环介质等过程。十分明显，钻探用循环介质的演进，都是和钻探施工的条件及工艺方法的变革紧密相联系的。现代钻探用循环介质按液相的分类如下。



早期钻探用循环介质以水基为主，至今仍广为应用，而且开发了很多种类的泥浆、无固相钻井液和乳化液。油基钻井液主要在石油、天然气钻探时用于某些水敏性地层和低压层，亦用于某些冻结层。50年代起正式用于生产的空气钻探技术，一开始见诸于石油、天然气钻井（亦用天然瓦斯）。它和低固相泥浆、低密度优质泥浆、无固相钻井液一样，都被视作钻探技术的重要成就。

进入70—80年代，空气钻探技术日益完善，应用领域愈益广泛，在石油天然气钻探、煤田钻探、固体矿产钻探、水文水井钻探、工程地质钻探、基础工程孔施工、矿山爆破孔、锚固孔和物探震源孔施工等方面都获得广泛应用。而空气钻进，除用压缩空气外，还发展了多种低密度循环介质，如雾状气、泡沫和充气泥浆等。这就

为空气钻进的推广应用创造了条件。与此同时,空气钻进的工艺方法及装备亦不断完善和发展,包括不同的循环方式和碎岩方法及与空气钻进配套的空气压缩机、钻机、辅助泵和钻具等,形成了完整的多工艺空气钻探技术体系。在许多领域里它正以其独特的优越性,即钻进高速度、钻孔(井)高质量、钻探低成本、尤其在干旱缺水和很多复杂条件下能顺利钻进,而被视为不可缺少的先进技术方法。这种技术方法还在继续不断地发展。

第二节 空气钻探技术的发展及其背景

用空气(或天然瓦斯)循环钻进是从石油天然气钻探开始的。美国1908—1909年就作过尝试。1932年和1938年分别作过钻井试验,到40年代后期开始取得效果,至50—60年代,应用面不断扩大。1960年美国在地热钻探中开始用空气钻进;在得克萨斯州油气钻探中用空气钻进井深达到5683.4m。这期间,美国和加拿大开发应用了气动冲击器钻进,并发展了泡沫钻进,使空气钻探技术日益完善,并向欧洲、西亚及世界各地推广。除了在石油、天然气领域成功应用外,于70—80年代,美国还开始将空气钻进向其它钻探领域发展,包括铀、金、铜等固体矿产和煤田,采用空气和泡沫钻进,用潜孔锤、双管反循环中心取样钻进(简称“CSR”——Centre Sample Recovery)。在水井施工基岩井时,广泛用潜孔锤钻进;在第四系地层和较深的大口径井孔施工中发展了气举反循环钻进。

原苏联于50年代开始发展空气钻探技术,而且先在岩心钻探、水文地质钻探和施工震源孔时应用。60年代初,钻进工作量即达10万m以上。与此同时,还完成了大量矿山爆破孔工作量。原苏联在空气钻进技术试验和理论研究方面作了大量工作,包括用不同钻头(硬质合金、金刚石和牙轮钻头)的钻进工艺和气态循环运动规律等。60年代初,开始在油井钻探和固体矿产大力研究采用泡沫钻进。由于国土面积广阔,并多处于严寒冰冻区域,长期

冻结面积大,复杂地层亦多,因此长期以来致力于发展空气钻探技术,并且根据全国地层复杂程度,规划了全版图适合空气、泡沫钻进的地域分布图。

日本利根公司为了节约用水,曾于1939年发明了“气水混合钻进法”,并获得了当时的专利权。气水混合钻进(后来有称雾状气钻进)当时节约用水五分之四。结果还发现,这种方法能有效提高钻进速度,并引进了美国等国外技术,有了较快的发展。

瑞典、德国和英国等采矿业发展较早的国家,其空气钻探技术和风动凿岩用空气压缩机的发展密切相关。因此,凡是采矿业和空气压缩机产品先进的国家,其空气钻探技术发展亦较早和较快。

世界范围内的空气钻探技术,是从实践中发现其一系列独特优点而获得迅速发展,并广泛应用的。综其发展背景可概括如下几方面。

1. 在许多干旱缺水地区、高山地区和严重漏失带钻探,供水困难,无法用液体循环方法钻进,如沙漠、半沙漠、戈壁、高寒和岩溶地区等。以沙漠为例,近年来,全世界每年约有600万公顷土地发生沙漠化。地球上受到沙漠化影响的土地面积有3800多万 km^2 ,其中亚洲占32.5%;非洲占27.9%;澳大利亚占16.5%;北美和中美洲占11.6%;南美洲占8.9%;欧洲占2.6%。在沙漠化地区钻探作业很难做到用液体循环。

2. 某些地层复杂地区和岩矿层,用液体循环易发生溶蚀、坍塌失稳。如水敏性岩矿层、盐类矿床和湿陷性黄土层等。

3. 大面积永冻层(包括覆盖层和岩层)忌用液体循环钻进。西伯利亚诺尔德维克永冻层厚度达600m。温度 -40°C 至 -50°C 。永冻层覆盖了陆地面积约20%。

4. 在某些低压油气层和含水层中钻进时,为保护生产层,忌在井孔内采用产生液柱压力的介质循环钻进。

5. 某些露天矿勘探(如煤田)、矿山爆破孔、抗滑锚固孔施工,亦忌用液体循环作业。