

'94 国际石油与石油
化工科技研讨会论文

塔里木盆地沙漠腹地钻井装备 特殊配套技术

胡志详 李循迹 周 平 孙满堂

(塔里木石油勘探开发指挥部)

1994 年 9 月 北京

塔里木盆地沙漠腹地 钻井装备特殊配套技术

摘要

针对塔克拉玛干大沙漠春季风沙大,夏季炎热干燥,冬季寒冷漫长,加上流动沙丘多,地下水为苦咸水等特殊自然、地理、气候条件,我们在沙漠装备配套技术方面进行了以下6个方面的主要技术攻关:①解决扬沙和沙尘暴对设备的侵蚀问题;②解决炎热干燥的夏季对设备的高温散热问题;③解决高浓度地下苦咸水的淡化与软化问题;④解决寒冷漫长的冬季造成的设备和人员的保暖问题;⑤解决流动沙丘造成的设备和生产生活物资的沙漠运输问题;⑥解决工作人员在沙漠内部生活问题。

目前进入沙漠的钻机全部配备有防沙棚,夏季可遮阳,春季可防沙,冬季可保暖,保证设备和工作人员一年四季连续工作;对柴油机和直流电机通风进气系统加装沙漠空气滤清器,有效地避免了沙尘进入设备内部;为每一套钻机配备油品密闭输送,强制过滤装置;为电磁刹车冷却水配备高温强制散热装置,保证了在夏季七、八月份电磁刹车的安全可靠地工作;研制了三种沙漠高浓度苦咸水淡化装置和两种高硬水软化装置;为井队配备热风吹(空气加热装置)和燃油锅炉;从德国、日本、美国、独联体等国家引进一批沙漠运输车辆和施工机具;通过改造和完善,目前基本上解决了十几部钻机的沙漠运输;为井队配备了全套沙漠生活营房。

目前我们已比较成功地解决了沙漠腹地勘探开发设备和人员安全可靠工作的问题,其经济效益和社会效益十分显著,同时为今后大规模勘探开发塔里木沙漠油田打下了坚实的基础。

沙漠自然地理及气候条件 对设备带来的问题

塔克拉玛干大沙漠位于新疆南部,塔里木盆地的中央,地处北纬 $38^{\circ}26'$ 至 $41^{\circ}45'$,东经 $77^{\circ}16'$ 至 $86^{\circ}8'$ 之间,总体为东北—西南走向的椭圆形,长800km,宽400km,总面积为33.7万 km^2 ,约占全国沙漠荒漠总面积的二分之一;流动沙丘占沙漠总面积的85%,是世界上著名的第二大沙漠,海拔高度为700~1300m之间。

沙漠内部气候夏季炎热干燥,冬季寒冷漫长。从4月份起,最高气温可达 35°C 以上,7月份超过 40°C ,沙面最高温度达 70°C 以上;从9月份开始,就会出现 0°C 以下天气,一直可持续到第二年5月份,全年零度以下天气平均约150天,全年 -10°C 以下的天气在60~90天之间,一月份最冷,极低温度可达 -30°C ,日温差可达 30°C ,年温差可达 70°C 左右。降雨稀少,全年平均降雨量在10~

60mm之间。

沙漠内部风沙大,季风长,每年3~8月份为风季,经常刮5~6级大风,8级以上大风也时有发生,最高风速为40m/s。当风速达到8m/s以上时,就能扬起地面上的沙土,形成扬沙和沙尘暴,能见度小于1km为沙尘暴,能见度在1~10km为扬沙。每当沙尘暴出现,沙尘遮日,顷刻间使白昼如同黑夜,能见度极低。沙尘暴最多可持续3~5天,有时沙尘暴与扬沙结合,最长可持续一周以上。据塔中1井统计,每年出现扬沙以上的天气为80天,最多一年达130天,出现沙尘暴天气平均每年25天,最多约45到50天。

沙漠内部地下水为苦咸水。固相溶解物和氯化物含量较高,一般为每升几十个毫克。最高的塔东地区,固相溶解物含量达20万 mg/L ,含盐量达每升十几万毫克。

沙漠内部地表为不同高度的沙丘所覆盖,地形连绵起伏,沙丘高,形态复杂,移动速度快,实测

小沙丘年移动18m左右。5m以上沙丘占流动沙丘面积的87%，复合型沙丘链高度一般在50~100m以上，局部沙丘高度可达200~300m，沙粒细小，直径一般为0.15mm，是非洲沙漠沙粒直径的1/2。

塔克拉玛干恶劣的自然、地理、气候、水质和沙漠运输条件给油气田的勘探和开发带来了巨大的困难，特别是给勘探开发技术装备带来了老油田无法想象的问题。勘探开发装备能否进入沙漠腹地并长期稳定工作是沙漠油田能否开发的前提，如何使设备在春季风沙大，夏季气温高，冬季寒冷条件下工作，并在沙丘高，流沙多，运输困难的情况下保证设备的运输和后勤物资供应，成了装备技术的关键。针对上述沙漠里苛刻的自然、地理、气候和运输条件，要想在沙漠内部打井，并保证钻机在沙漠腹地一年四季连续可靠地工作，必须解决以下几个方面的问题：

- (1) 扬沙和沙暴对设备的侵蚀问题。
- (2) 炎热、干燥的夏季对设备造成的高温散热问题。
- (3) 寒冷漫长的冬季造成的设备的保暖问题。
- (4) 高浓度地下苦咸水的淡化与软化问题。
- (5) 流动沙丘造成的车辆运输问题。
- (6) 沙漠内部工作人员的生活问题。

为保证钻机在沙漠正常工作所 采取的几项技术措施

从会战一开始，指挥部对上述问题就引起高度重视，经过4~5年试验、摸索，目前，我们在对付上述问题上，初步取得了一些经验和成果，基本上满足了钻井工艺的需要。概括起来，主要有以下八方面的工作。

1. 钻井设备采用防沙棚技术

由于春季风沙大，夏季气温高，冬季寒冷等特殊的气候条件的限制，若采用老油田常规办法，让设备裸露在大气下工作，就无法满足设备正常工作所需要的条件，因此就不能保证设备长期稳定工作。经过几年的试验、改进，我们研制出钻井设备用防沙棚，也就是对钻井主要设备如钻台、机房、泵房、固控系统、发电机房、固井机组等设备加装防沙、遮阳、保温棚（整体布局如图1）。

早期的防沙棚采用金属木板结构，几年的试用，发现安装较困难，夏季散热差。目前的防沙棚

采用金属框架加盖“三防”（防水、防火、防腐蚀）棚布。其特点是：房体骨架由钢基础或水泥基础、立柱、顶棚人字架、横担、檩条等组成。立柱与横担、檩条，少部分用螺栓连接，大部分采用斜插板连接，整体结构牢固可靠，安装拆卸较快。棚布的设计制造是和防沙棚每部分的骨架相配而成的，其上装有拉绳、皮带、连接环等，安装时在对部位加以固定。整体防沙棚的抗风能力为10级（风速32m/s，风压0.65MPa）。

设备采用防沙棚后，改善了设备和操作人员的工作条件。春季可防沙，夏季可遮阳，冬季可保暖。保证设备一年四季连续工作，大大提高了设备的利用率，加快了钻井速度。

2. 柴油机 and 电机的通风进气系统防沙改造技术

钻机的动力是柴油机。电动钻机的主要执行元件是直流电机。由于沙漠腹地春季风沙大，一场沙暴后，空气中粉尘几天下不来。如果含有大量粉尘的空气通过柴油机空气滤清器进入气缸内，一方面加剧了柴油机气缸内的磨损，造成拉缸事故；另一方面，大量的粉尘通过空气滤清器时，很容易造成滤清器的堵塞，减少了气缸进气量，影响了柴油机正常燃烧，降低了柴油机的输出功率。如果含有大量粉尘的空气通过直流电机和发电机电刷进入定子和转子之间的空隙对电机进行冷却时，一方面加剧了电刷的磨损，另一方面造成火花，影响了安全生产。为克服上述难题，我们在柴油机空气滤清器之前加装旋风管式沙漠空气滤清器；在直流电机进风道前加装斜板式百叶窗型粉尘分离器（原理如图2、图3），在发电机端头加装过滤器。另外，主要设备的呼吸器改装沙漠呼吸器。

通过上述措施，较好地解决了沙尘进入气缸、电机和主要设备内部的问题，保证了柴油机和电机及主要设备的正常工作，满足了钻机连续生产要求。目前，进入沙漠的柴油机和电机均经过此项改造。

3. 沙漠钻井设备用油采用密闭输送强制过滤技术

钻机上用油设备较多，添加、更换润滑油较频繁。用常规的加油法很难保证润滑油的清洁、干净，混进粉尘的润滑油不但不能润滑设备，反而加快了设备的磨损速度，降低了设备的使用寿命。为此，经现场摸索和试验，我们设计制造出三品油密闭输送、强制过滤装置（工作原理如图4）。

采用该装置,我们可以保证从外围运来的洞滑油密闭输送到贮油罐,经三级过滤后,通过输油泵向主要设备供油。加油点采用密闭管线或加油枪。做到洞滑油密闭输送,保证了设备的良好润滑。该装置经现场试用后,很快推广。目前除沙漠钻机配此装置外,外围钻机也推广使用。

4. 电磁刹车采用强制冷却技术

由于塔里木油田井较深,一般为5000~6000m之间。地下情况复杂,起下钻频繁。因此,我们的钻机全部配备电磁刹车作为下钻的辅助刹车。如何使电磁刹车在环境温度较高的条件下安全可靠长期稳定工作,是能否保证钻井工作顺利进行的关键。电磁刹车正常工作条件是:冷却水进水温度低于42℃,出水温度低于72℃。由于沙漠腹地气温高,钻机负荷大,电磁刹车冷却水出水温度经常超过72℃。过高的出水温度,就无法保证电磁刹车内部线圈的有效冷却,因此就无法保证电磁刹车长期稳定工作。为此,经过几年的摸索和试验,我们为每套钻机电磁刹车配备一套冷却水高温强制散热装置(如图5),其工作原理是:由电磁刹车回水管出来的高温水(温度超过70℃左右)经过散热器,在轴流风机的作用下进行强制散热,降温后的冷却水,经过离子除垢器,由两台水泵抽出入电磁刹车水腔中进行循环。进而达到降低电磁刹车冷却水温的目的。该系统还有温度和压力报警系统。该装置经过几年的使用证明,性能良好,可保证钻机在7、8月份正常工作,保证了生产的正常进行。

5. 沙漠钻井设备冬季取暖保温技术

塔克拉玛干沙漠冬季取暖期一般为4个月,从11月份到第二年2月份,最冷期是12月和元月。外围设备冬季取暖采用燃煤蒸汽锅炉。而腹地沙漠运输路线长,从外围向沙漠腹地运煤,运输成本太高。如何解决设备和人的取暖问题,是钻机如何过冬的关键。目前我们主要采用两种取暖法:一种是引进海上船用燃油蒸汽锅炉并加以改造;另一种是引进美国空气加热装置(简称热风吹),其原理如图6和图7所示。

经实践证明,两种加热装置相互补充,取长补短,以热风吹为主,个别管线冻结用燃油锅炉辅助解冻。热风吹以空气为加热介质,不需用水。另外,干燥的空气对电动钻机的电器元件起到保护作用。

目前,进入沙漠腹地工作的电动钻机配备一

套热风吹,一套燃油锅炉,而机械钻机配备两套燃油锅炉。实践证明,完全可以满足沙漠设备冬季取暖要求,保证了设备冬季连续生产,节约了成本,提高了时效。

6. 沙漠苦咸水淡化、软化技术

历史上,塔克拉玛干曾三次为海。目前沙漠内部的地下水为苦咸水。固相溶解物、含盐量和硬度均较高。这样的水,不能直接饮用,对设备的腐蚀也相当严重。如何解决水的问题?是从外围拉水?还是引进水处理设备?是会战初期人们争论的一个问题。根据所定井位,大部分井位于沙漠的中间,离南北边缘均较远(平均200km沙漠路)。靠外围运水成本太高,而引进设备,当时国内还没有成熟的沙漠苦咸水淡化与软化装置。因为沙漠苦咸水的预处理和后处理要比海水难得多。为了降低成本,我们先后与有关科研院所和水处理厂合作,研制出三种沙漠苦咸水淡化装置。

这三种方法分别是:电渗析法苦咸水淡化装置,压汽蒸馏法苦咸水淡化装置和反渗透法苦咸水淡化装置。电渗析法是在直流电场的作用下,利用阴阳离子交换膜对溶解液中阴阳离子选择透过性而使溶解液中呈离子状态的溶质和溶剂分离的一种物理化学过程。压汽蒸馏法是对蒸发器产生的二次蒸汽用压缩机进行直接压缩,提高了蒸汽的饱和温度和压力后再作为蒸发器加热蒸汽的造汽过程。反渗透法是在压力的作用下,液体通过半透膜(只能通过纯水,不能通过溶质)进而分离纯水的造水过程。三种沙漠苦咸水淡化装置工作原理如图8、图9、图10所示。

通过几年的实践改造,并经过对比分析,我们认为含盐量在0~4000mg/L之间,采用电渗析法苦咸水淡化装置基本可满足目前我们大部分勘探区域的水处理,而且比较经济可靠,维修方便。压汽蒸馏法处理装置,其处理范围为10000~45000mg/L之间,对于处理较高含量的苦咸水比较合适。由于目前我们探井工作区域的含盐量不是特别高,因此,用此设备不够经济。反渗透法,尽管处理范围较大0~30000mg/L,但由于主机半透膜需依靠进口,成本较高,加之预处理操作使用管理要求较严格,经过一口井使用认为不够实用。

另外,为了满足沙漠设备用水,经与有关厂家合作研制出两种小型单井软化水装置,经使用效果较好。

几年的摸索试验,我们成功地解决了沙漠苦

咸水的淡化、软化问题,满足了沙漠腹地生产生活用水需要。

7. 沙漠运输车辆和施工机具配套技术

在塔克拉玛干大沙漠中间打井,首当其冲要解决的一个问题是运输问题。一台 6000m 大型钻机,庞大的设备系统,光主机就需要上百个车次。另外,营房、钻井材料、油料、后勤保障等等,样样离不开运输。如何保证钻机安然无恙地进入沙漠、如何使生产生活用料源源不断地送往井队,是能否保证沙漠井队存活的大问题。显然,由于沙漠特殊的自然地理条件,用常规车辆是根本无法胜任的。不用说运送货物,就是空车也进不去。因此,会战前期,指挥部有关部门做了大量细致的调查研究,并进行了广泛的技术交流和技术论证,我们认为,沙漠运输车辆和施工机具的技术关键是:

- (1)要有功率充足的大马力发动机。
- (2)要有良好的越野性和流动沙丘的通过性。
- (3)要有适合沙漠环境条件的传动系统、悬挂系统、轮胎、驾驶室和高质量的密封件。
- (4)整机适应性要好。
- (5)先进的通讯和应急抢险系统。
- (6)要有严密的组织管理、调度系统。

经过对几个国家不同车型的考察并与外商进行技术合作,从 1986 年开始,我们陆续引进德国奔驰 3236 型 15t、4950 型 50t、30t 平板车;美国卡特皮勒 D8L 型推土机;日本多田野 TR500E 型、TR250-E25 型越野吊车等。以后又陆续引进日本五十铃 CYW19 型、美国 OSHKOSHJ3080 型、KENWORTH S953 型沙漠车;D9N 型推土机等,最近又引进俄罗斯巴斯车。从 1986 年到现在,我们共引进 15 种规格共 140 多台沙漠车,9 种 50 多台施工机具等。经过六、七年的运转考验,大部分车辆和施工机具性能较好,经过局部改造,基本上满足了沙漠运输的要求,保证了沙漠油田勘探开发的顺利进行。

8. 沙漠生活设施配套技术

在浩瀚的塔克拉玛干大沙漠中间打井,首先要考虑的一个重要问题就是人员生存问题。一套 6000m 的庞大钻机,远离后勤基地作战,光钻井队工作人员就 40 多人,另外考虑甲方代表、泥浆、录井、通讯、固井、生活服务、航空人员及值班司机等等需配备的总人员约 70 人,再考虑临时上井人员,过路司机等等将超过 80 人。

为了在塔克拉玛干中间打井,我们采取一系列

措施,基本上解决了沙漠井队人员生存问题;概括起来主要有以下几个方面的措施。

第一,租用两架双水獭型飞机,开通库尔勒至塔中沙漠专用航线,负责人员的进出沙漠和后勤生活物资的供应。

第二,配备先进的短波和超短波通讯系统,保证塔中与基地的联系。

第三,配备冷藏食品车,负责大量食品从外围向沙漠内部的运送。

第四,配备成龙配套的生活野营房和生活设施,保证井队工作人员的正常生活。

经过广泛地调查研究并与有关厂家合作,我们研制出沙漠生活全套营房设施,保证了井队工作人员的生活。其整体布局如图 11 所示。

该套系统集成食宿、休息、娱乐为一体,走廊和连接部件将住房、食堂、卫生间、淋浴室、娱乐房、更衣室、洗衣房等连为一体,形成一个密闭防沙的与沙漠环境相隔离的生活空间,内部设置空调和加热器,在外部风沙气候恶劣、多变的情况下,为工作人员提供一个相对比较舒适良好的生活空间。

几年的实践证明,这套生活设施,可以有效地保证工作人员的休息和工作,目前全探区所有井队的生活设施普遍采用此办法。成功地解决了井队工作人员的生活问题,满足了塔里木 52 部钻机安全、连续钻井的需要。

另外,为了保证沙漠长途运输的中转,保证司机休息和生活,我们在沙漠中间先后建立三个支撑点,设置小组成野营房,保证了中间沙漠车辆、人员的生活。

经济和社会效益

回顾世界石油勘探史,进入塔克拉玛干这样一个世界第二大沙漠搞石油大会战,也仅此塔里木一家。在过去的年代里不能进入沙漠腹地的主要原因是装备不能适应沙漠苛刻条件。几年来,经过塔里木人的艰苦努力,采用引进和自制两种办法,研制出以上的沙漠石油勘探配套装备和技术。使我们的钻机能够在沙漠腹地正常钻井,无疑这是很大的科技进步。尽管还没有完全彻底解决沙漠石油勘探装备的所有问题,但基本上满足了沙漠腹地石油勘探的需要,并在沙漠腹地内发现一个亿吨级的塔中 4 号油田,为在塔里木发展更大场面打下了坚实的基础。

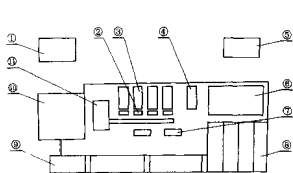


图1 钻机防沙棚平台布置图

①固井机组;②变压器;③柴油泵;④压风机组;⑤发电机组;⑥配浆平台;⑦泥浆泵;⑧泥浆储备罐;⑨泥浆循环罐;⑩钻台;⑪绞车

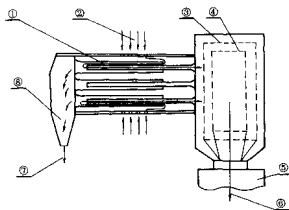


图2 旋风管式空气过滤器原理图

①旋风管;②进气口;③粗过滤器;④精过滤器;⑤柴油;⑥清洁空气入口;⑦排沙口;⑧贮沙盆

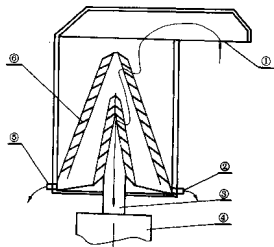


图3 百叶窗式斜板分离器

①进气口;②排沙口;③清洁空气出口;④电动机;⑤排沙口;⑥斜板分离器

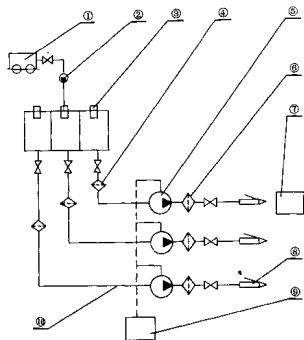


图4 油品密闭输送强制过滤装置流程

①油罐车;②机油泵;③入口过滤器;④粗过滤器;⑤机油泵;⑥精过滤器;⑦设备;⑧加油枪;⑨控制柜;⑩机油管线

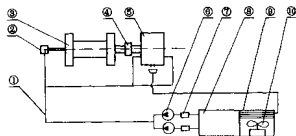


图5 电磁刹车强制冷却装置流程图

①水管线;②导水葫芦;③绞车;④离合器;⑤电磁刹车;⑥水泵;⑦离子除尘器;⑧水箱;⑨散热器;⑩轴流风机

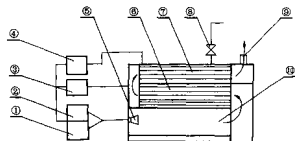


图6 燃油蒸汽锅炉工作原理图

①燃油系统;②供气系统;③压力、温度检测系统;④供水系统;⑤喷嘴;⑥一次烟管;⑦二次烟管;⑧蒸汽出口;⑨排烟口;⑩燃烧室

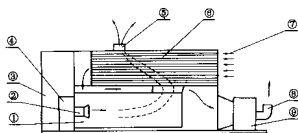


图 7 空气加热装置原理图

①燃烧室;②喷嘴;③控制室;④供油供气系统;⑤排烟口;⑥进风管;⑦进风口;⑧热风排出口;⑨引风机

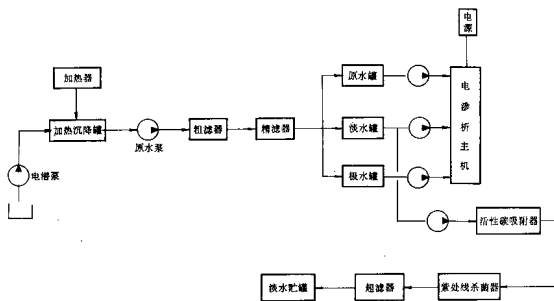


图 8 电渗析苦咸水淡化装置流程图

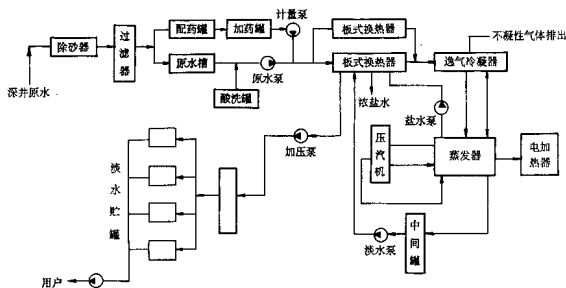


图 9 压汽蒸馏法苦咸水淡化装置流程图

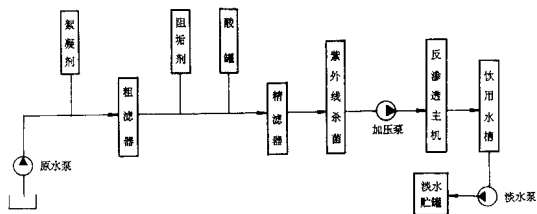


图 10 反渗透苦咸水淡化装置流程图

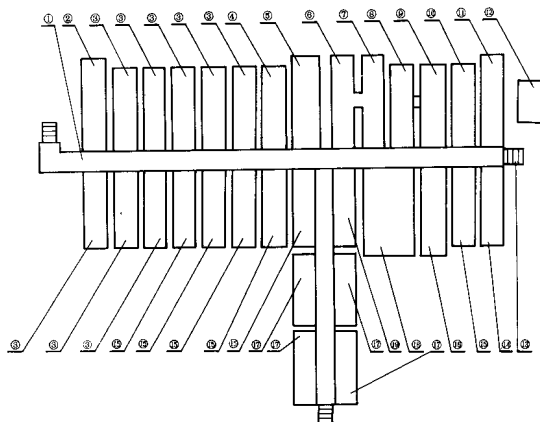


图 11 沙漠井队厨房平面布置图

①走廊;②更衣室;③8人间;④冷冻室;⑤仓库;⑥2"操作间;⑦1"操作间;⑧洗脸间;⑨洗衣间;⑩洗澡间;⑪厕所;⑫高低罐;⑬过桥;⑭电工房;⑮6人间;⑯娱乐室;⑰4人间;⑱餐厅;⑲医务室

石油物探局制图印刷厂
照排印刷