

# 天然气井的绳索式完井管柱及工具

陈 国 章

(四川石油管理局井下作业处)

完井划分的趋势是从打开油气层起,到油气井投产前为止,包括射孔、试油、增产措施等。完井作业被认为是油气井整个工作期限内最重要的阶段。完井管柱及工具的应用与完井工艺技术密切相关。国外在发展永久完井方法的过程中,不仅应用了必要的过油管射孔、动态测井等技术,而且还应用了一系列用绳索(钢丝或电缆)不压井操作的井下工具由于使用这些工具作业能极大地减少地层伤害、修井费用和占用钻机,国外正在广泛应用和发展中。近年文献将这类工具的完井作业称为 Wireline Completions,即绳索式完井<sup>[1]</sup>。

四川气井所在的构造分散、一井多层、

气水关系复杂、并含 $H_2S$ ,如果大力试验研究绳索式完井管柱及工具,使工艺技术配套后,将可获得显著的效益。该工艺的优点为:

- 1.能先排液后射孔,以实现高负压过油管射孔,进一步减少射孔作业中的地层伤害。
- 2.能置井底压力计于封隔器以下,并隔离其上部的油管空间,缩短压力恢复测试时间。能不动管柱打水泥塞或使用过油管桥塞,大大提高试油速度。
- 3.测试和生产中,可使用井底气嘴,解决地面孔板的结冰问题。
- 4.在酸化、压裂等增产措施方面:

拔断负荷,岩心不断时,刹住刹把,继续开泵循环、有的要延续到十分钟,直到岩心割断为止。

二关:上提方钻杆时,关死转盘销子,用大钳上卸扣,保持井下钻具不转动,防止上卸方钻杆时,岩心断口错位,造成顶松卡箍困难。如图5所示。

当岩心拔断后,如果上部断口转了 $180^\circ$ 方位,加压顶卡箍时,A和B'点先接触,断口将被压碎,造成断口损坏和顶松卡箍困难。

三压:接单根后,先不旋转,可用比钻压大50%的压力静压,顶松卡箍,再稍上提钻具后,恢复取心钻进。

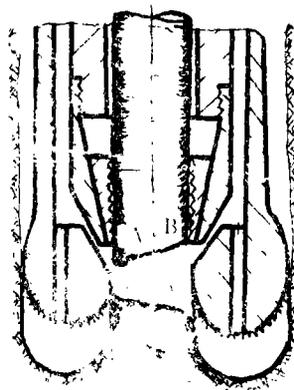


图 5

(本文收到日期1984年3月15日)

(1) 作业前后不需起下管柱。高压作业前, 管柱可在井下直接试压。

(2) 能让工作液直接进入地层, 避免完井液在替换过程中挤入地层, 构成伤害。

(3) 作业前后可不动管柱进行必要的动态测井, 为作业设计和效果分析提供重要信息。

#### 5. 在生产作业方面:

(1) 对含水气层, 可把油管延长至产层以下帮助排水, 减少积水浸泡和层间干扰。

(2) 可使用油管安全阀保障生产作业安全。

(3) 能不动管柱进行动态测井, 为气井生产、治水、防沙、修井等作业提供依据。

(4) 便于应用过油管再射孔及其它措施恢复老井产能。

#### 6. 在修井作业方面:

(1) 能大大提高修井速度、减少钻机占用, 修井费用可降25%。

(2) 可实现不压井修理井口装置。

## 单井绳索完井管柱及工具

单层绳索完井管柱按不同的井下条件有多种类型, 图1为一种能适应高压深井的管柱结构。现从上至下对其主要工具及应用要点作扼要说明。

#### 1. 耐磨短节

耐磨短节为一段外径同接箍的厚壁管, 长度据使用情况而定。耐磨短节具有耐磨性、抗腐蚀性和更高的强度, 主要用于多层采气。凡要穿过上层射孔段采下层气的管柱, 正对上层的一段须用抗磨管(耐磨短节), 详见图3, 以承受地层流体的冲刷与腐蚀作用, 普通油管在这里很易被刺穿。

图1中耐磨短节充当第一根油管, 考虑到这里轴向张应力最大, 管内外流体又要改

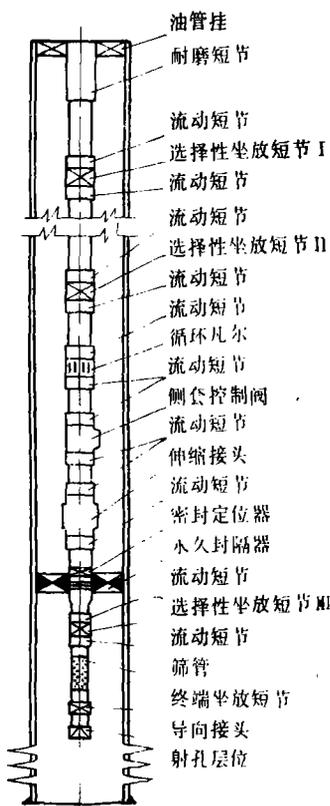


图1 单层绳索完井管柱结构示意图

变方向, 冲刷作用也较大。尤其大型加砂压裂作业中, 最好这样应用。

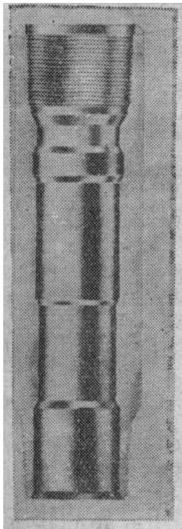
#### 2. 流动短节

流动短节形状同耐磨短节, 一般为0.6~1.2米长, 用高级合金钢制造。管柱中, 凡在内径变化的工具上下都应有流动短节, 以抵抗紊流的冲刷与腐蚀作用。

#### 3. 选择性坐放短节I、油管安全阀和油管堵塞器

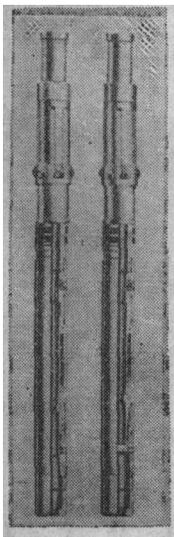
坐放短节用以坐放由绳索工具送下的各种井下工具, 工具坐入后要能承受该处的温度及压差。这些工具还必须能被绳索工具取出。坐放与取出都应能不动井进行。坐放短节内径只稍小于油管, 以保证其通过能力。在同一管柱的不同深度可以安装几个名义尺寸相同、内径相同的选择性坐放短节。井下

工具可有选择地坐入其中任一种，而不受上面坐放短节的阻挡。坐放短节本身结构并不复杂，附图1为其中一种。

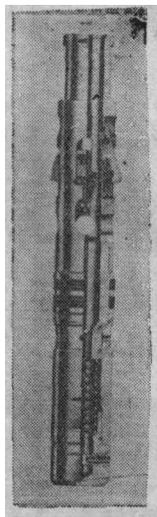


附图1 选择性坐放短节

由井下控制，靠压力变化或流速变化自动关闭，附附图2为一种速度控制型安全阀。另一类由地面通过传压管实施控制。



附图2 油管安全阀



附图3 油管堵塞器

(2) 用绳索不压井坐入油管堵塞器后，可以修理井口装置及对井口装置试压。

堵塞器必须能承受单向或双向压差。

附图3为其中一种。堵塞器必须有旁通阀与平衡阀，起下堵塞器时，旁通阀处于开位，以减少流体阻力，堵塞器坐入后，此阀自动关闭。作业完毕，取出堵塞器前应打开平衡阀以平衡其上下压力，否则不能取出堵塞器。

另有一种坐放工具，不需与坐放短节配用，而可直接将工具坐落在油管內，虽有更高的灵活性，但可靠性略差。

#### 4. 选择性坐放短节Ⅱ和油管延长管

图1中选择性坐放短节Ⅱ在循环凡尔之上离封隔器很近，有以下用途：

(1) 打开循环凡尔后用绳索在该坐放短节Ⅱ处坐入小直径油管延长管，管底可伸到封隔器以下直至产层，构成通道以进行循环、洗井、冲砂、挤水泥等作业。

(2) 生产中可不压井坐入油管延长管至产层以下，帮助出水气井排水，防止积水对产层的浸泡及伤害。

(3) 坐入油管堵塞器后，可对上面的管柱及工具试压，以避免高压作业中管柱泄漏，导致耗费甚大的作业失败。

#### 5. 循环凡尔

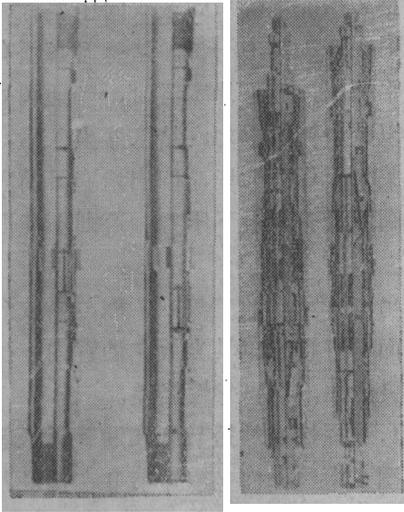
此凡尔用来连通或关闭油管与套管环形空间，以循环各种作业液或进行气举。用绳索操作的循环凡尔外径同接箍，内径通过能力同选择性坐放短节，其结构有三种类型：

(1) 滑套型，通过滑套上下实现开关。

(2) 旁通坐放短节型，相当于带旁通口的坐放短节，坐入隔离套筒可实现关闭。

(3) 侧套型，在侧套内坐入控制装置以实现开关。

附图4为一种多功能循环凡尔，上面有选择性坐放短节剖面，下面有光滑内圆孔。当滑套意外不能关闭时，可用绳索坐入隔离套筒关闭凡尔。用绳索作业操作滑套需要专用的切换工具，附图5为其中一种。



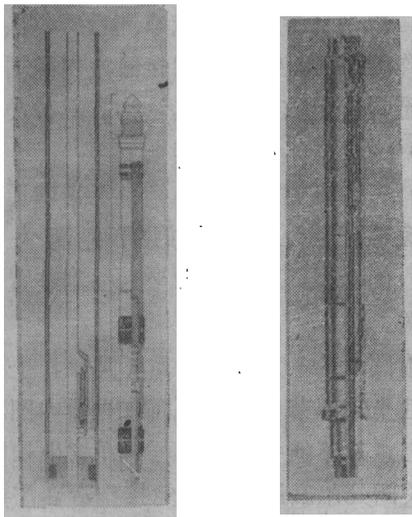
附图4 循环凡尔 附图5 切换工具

### 6. 侧套控制阀

该阀有一个侧套，外径稍大于接箍，因其承压能力较弱，须用高级合金钢制造，附图6为其中一种。侧套内的控制阀由绳索安放与取出，可用以连续注入缓蚀剂或安放气举阀进行排液作业。

### 7. 伸缩接头

该接头为一个能有限伸缩的密封套筒，一般外套筒在上，内套筒在下，下井前处于锁定位置，封隔器坐封后才解除锁定（通过剪切销或J型槽）。该接头的作用是补偿因



附图6 侧套控制阀 附图7 伸缩接头

温度、压力变化而引起的管柱长度变化。以减少管柱轴向载荷并防止油管弯曲，但其初始位置须全面考虑，仔细计算<sup>2</sup>，对大型压裂酸化的高压深井十分重要。

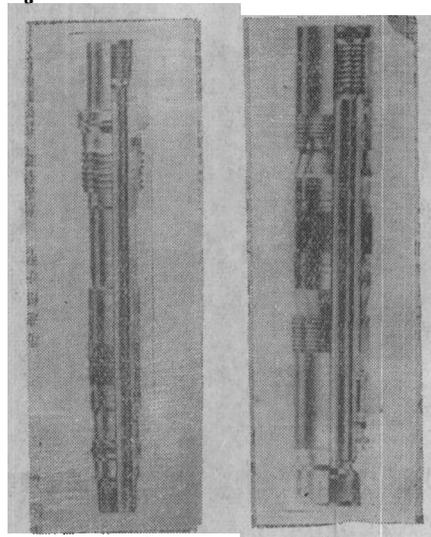
附图7列出一种，内套筒上端有坐放短节机构，特殊情况下还可坐入油管堵塞器，取出外套筒及密封件以进行修理工作。

### 8. 密封定位器

该装置的作用是把油管柱锚定在永久封隔器内，并与封隔器内孔构成有效密封。特殊情况下，可解除锚定，把管柱从封隔器中取出，以进行必要的修理工作。附图8为其中一种。

### 9. 永久封隔器

永久封隔器要能长期经受各种作业的温度、压差及腐蚀性介质的作用。靠油管压重维持坐封的封隔器会导致管柱弯曲而影响绳索作业，故一般用液压式封隔器，附图9为其中一种。需要精确控制封隔器位置时，可用由电缆坐封的永久封隔器。一般可取式封隔器因受解封机构限制，承压能力不如永久封隔器。目前已有所谓半永久式封隔器，它既有永久封隔器的功能，必要时又能取出<sup>3</sup>。



附图8 密封定位器 附图9 永久封隔

### 10. 选择性坐放短节Ⅲ及井底气嘴

图1中选择性坐放短节Ⅲ的作用如下:

(1) 坐入油管堵塞器,既可以操作液压式封隔器,亦可以对全部井下管柱试压。

(2) 坐入井底气嘴控制产气量。在高压气井中,井底气嘴能把天然气压降移置于井下温度高的地方,从而避免了危险的井口结冰问题,并使整个管柱及井口的工作压力降低。还会因管内流速的提高而增加天然气带水能力。

(3) 可先把自动井底压力计坐入下面的终端坐放短节内,然后在此坐入油管堵塞器,就可以大大地缩短压力恢复测试时间。

(4) 增产措施施工,可不压井坐入油管堵塞器,打开循环凡尔循环工作液,然后关闭循环凡尔。取出堵塞器后再进行作业,让工作液直接进入地层,防止完井液挤入地层,构成伤害。

(5) 必要时可坐入井底流量计。

### 11. 终端坐放短节

此短节不具选择性,内径比相同名义尺寸的选择性坐放短节内径稍小一点<sup>4</sup>,主要用以坐入井底压力计或井底温度计,并可防止下井工具于意外事故中掉入井底。

### 12. 导向接头

该接头下端为喇叭口,引导绳索工具进入油管柱,避免在此遇阻。

综上所述,对绳索式完井管柱工具、工艺有如下特别要求。

(1) 属多功能管柱,必须能胜任气井要进行的各种常规或特殊作业,有较高的灵活性。

(2) 整个管柱必须有合理的油管 and 工具秩序,保证足够的通过能力。管柱工具较多时,要适当加大管柱尺寸。

(3) 管柱不能处于弯曲状态,不能使用靠油管压重维持坐封的封隔器。管柱在各种作业中的长度及应力变化都应准确计算。

(4) 各种作业均要求能用钢丝、电缆或连续油管在不压井情况下进行。

(5) 要求各种工具有高度的可靠性。

(6) 在含 $H_2S$ 气井中,要求管柱与工具抗 $H_2S$ ,否则须连续注入缓蚀剂。

## 绳索完井作业简述

1. 先下管柱与工具,坐好封隔器,装好井口装置。油管柱底端下至目的层最上层顶部以上,测试从最下层开始。

2. 射孔前洗井与置换完井液可打开循环凡尔进行。如需对封隔器以下直至产层循环,可在选择性坐放短节Ⅱ坐入小直径油管延长管至所需部位。

3. 要高负压过油管射孔,甚至气态下过油管射孔,可先进行排液,降低油管液面,其办法有三:

(1) 打开循环凡尔,从油管注入高压氮气或二氧化碳,待油管液面降至预定深度后关闭循环凡尔。

(2) 用连续油管或小直径油管在油管内排液。

(3) 分次射孔法。在地层压力高的情况下,可先过油管射开气层下部,然后放喷排液至一定程度,再不压井过油管射开气层其余部分。

这些方法的优点是循环空间内始终有适当的完井液保护套管,也便于施加套管平衡压力。

4. 射孔后可立即测试。地层压力高时,可使用井底气嘴避免冻冰。测压力恢复曲线时,可用自动井底压力计与油管堵塞器配合使用,缩短测试时间。

5. 随后可进行必要的增产措施及动态测井作业。

6. 如确认该层无开采价值,可用以下办法封闭该层。然后上试其它各层,直至获得工业性产能投产。

(1) 打开循环凡尔，坐入小直径油管延长管，注水泥塞。

(2) 使用连续油管注水泥塞。

(3) 使用过油管桥塞，这是一种高效率办法。

### 多层绳索完井管柱举例

多层完井方法较多，管柱结构也多种多样。以下仅以单管三层和双管二层为例，对其管柱结构和绳索作业的特点作简要说明。

#### 1. 单管三层管柱

图2为置管三层管柱之一。

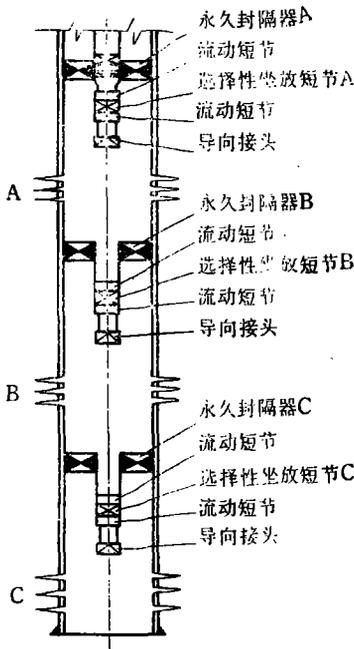


图2 单管三层绳索完井管柱结构

图中选择性坐放短节A，永久封隔器A及其以上的全部管柱，与图1管柱的对应部分相同。下面二段管柱如图2所示，比较简单。封隔B、C也是永久封隔器，既能用油管坐封，也能用电缆坐封。坐放短节A是连接在管柱上的，而坐放短节B、C则分别连接在封隔器B、C上。如果层间距离足够，也可在各导向节头之上增加筛管与坐放井底压力的坐放短节。安装管柱与工具要从下至

上进行，试油也从C层开始。

(1) 过油管射孔打开C层，测试并进行必要的增产措施。然后在选择性坐放短节C处坐入油管堵塞器，临时隔离C层。

(2) 以同样方法打开B层，处理与测试后，在选择性坐放短节B处坐入油管堵塞器，临时隔离B层。

(3) 以同样方法单独处理A层。

(4) 取出坐放短节B、C处的油管堵塞器，可三层合采。

(5) 如需要单独对某层作业，可以适当配用油管堵塞器和隔离套筒，临时隔离其它二层。作业完毕后再解除隔离。

该管柱结构简单，但在生产中不能有效控制层间干扰。

#### 2. 二层双管管柱

图3为二层双管管柱之一。

开采A层的管柱A可以与图1管柱相同。开采B层的管柱B在双管封隔器A以上也可以与图1管柱相应部分相同。其余部分如图3所示。

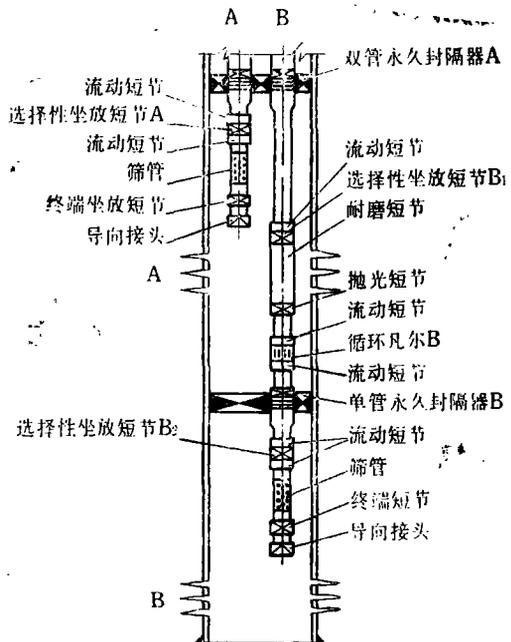


图3 二层双管绳索完井管柱结构

(1) 封隔器 A 为双管永久式封隔器。

(2) 管柱 B 正对 A 层为耐磨短节。其作用已如前文所述。

(3) 抛光短型是一个内表面光滑的短节。耐磨短节损坏时, 该短节可与选择性坐放短节 B 1 配用, 坐入隔离套筒以隔离耐磨短节。

(4) 选择性坐放短节 B 1 除能与抛光短节配用外, 还具有图 1 中管柱选择性坐放短节 II 的功能。

(5) 循环凡尔 B 结构与图 1 管柱中循环凡尔相同, 可以在必要时构成管柱 A、B 之间的循环, 为井下作业增加了灵活性。

(6) 管柱 B 在单管永久封隔器 B 以下部分也与图 1 管柱相应部分完全相同, 作用也一样。

该管柱的优点是能对二层单独作业, 单独控制, 能有效防止层间干扰。作业方法基本上同于图 1 管柱。只是对 A 层过油管射孔时, 必须应用定向射孔技术, 以免射穿耐磨短节。

## 两点意见

由于绳索式完井作业的多种优点, 这无疑是我们值得借鉴的。在技术研究方面, 有以下两点意见谨供参考。

### 1. 应加强对井下工具的研究

成功的井下工具固然可带来巨大效益, 而失败的井下工具却会造成巨大损失。因此对井下工具的可靠性要求很高, 绳索完井的井下工具除工作条件恶劣, 受空间限制外, 工作时间还特别长, 因而应对难点有足够重

视。国外一直重视对井下工具的研究, 众多的工具公司要研究工具, 各服务公司也都研究工具。不仅研究工具本身, 连工具的油漆及螺纹密封脂对地层的伤害也被注意到。

### 2. 也要重视对油管柱的研究

绳索式完井管柱是多功能永久性管柱, 设计上除考虑井深、地层压力、温度、生产能力外, 还须考虑通过能力、长度变化、强度、抗腐蚀性、螺纹型式、连续密封方式等方面。国外油管的连接和密封方式多种多样, 用于腐蚀环境的高强度不锈钢油管也已投入使用。目前, 我们使用的油管无论在连接方式、密封结构方面, 或是在尺寸系列和材质方面都比较单一, 对管柱的研究还不充分, 因此这也是我们应改善的一个方面。

### 参 考 文 献

[1] L·Douglas Patton and William A·Abbott: Well Completion and Workovers-Part 16 (Wireline Completions-The Systems Approach), Pet·Eng·Intl, August 1981, P83-98

[2] J·Luppens: Completion Techniques for Albuskjell, Edda, and Eldfisk Fields, JPT, March 1982, P471-476

[3] Thomas O·Allen and Alan p·Rocerts: Production Operations, Oil and Gas Consultants International. Inc, 1978, Tulsa, Oklahoma.

[4] Baker Oil Tools Company, Baker Packers 1982—1983 Catalog.

(本文收到日期 1983年10月25日)

(上接32页)

### 参 考 文 献

[1] 蒋继光 裂缝性储集层内渗滤问题精确解 《力学》 1977 第4期

[2] в.н.Щелбачев Разработка нефтьегоносных Пластов при упругом Режиме 1959年

(本文收到日期 1984年1月9日)

## 天然气井的绳索式完井管柱及工具

陈国章

本文扼要地介绍了天然气井的绳索式完井管柱、工具及有关的完井工艺技术。文章综述了在气井中应用该技术所能获得的技术效益。对于构造分散、一井多层、气水关系复杂、硫化氢含量高的四川地区的气井完井管柱及工具选择，具有显著的参考价值。

《天然气工业》 第4卷 第3期 1984

## Wireline Completion String and Tools for Gas Wells

*Cheq Guozhang*

The wireline completion string, tools and technique and technology concerned for gas wells are presented briefly in this paper. The technical advantage probably obtained by using this technique in gas wells is summarized also.

This paper is of great reference value to selection of the completion string and tools for gas well in Sichuan region where the structure is dispersive, there are multiple producing horizons in a well, the gas-water relation is complex and the H<sub>2</sub>S content is high.

NGI Vol.4 No.3 1984

## 集气管道用聚氨酯硬质泡沫塑料保温防止水合物形成

熊庆云

本文对聚胺酯硬质泡沫塑料保温管道进行了计算、分析和论证。认为从节约能源角度和从经济效果来看，其对四川气田集输工程建设有参考价值。

《天然气工业》 第4卷 第3期 1984

## Using Polyurethane Hard Foam as a Thermal Insulation on Collecting Pipe to Protect the Formation of Hydrate

*Xiong Qingyun*

The heat preservation of the collecting pipe by using polyurethane hard foam has been calculated, analyzed and demonstrated in this article.

From the point of view of saving energy and economic benefit, it is of reference value to gas field collection and transmission project construction in Sichuan.

NGI Vol.4 No.3 1984

## 膨胀机制冷在大庆油田气脱水净化中的应用

李胜

本文简要介绍膨胀机制冷原理及大庆油田膨胀制冷脱水装置的试验情况。实践证明，在高寒地区，低压油田伴生气采用膨胀机制冷脱水在技术上是可行的，在经济上是合算的。

《天然气工业》 第4卷 第3期 1984

## Application of Expander Refrigeration to Associated Gas Dehydration in Daqing Oil Field

*Li Sheng*

The principles of expander refrigeration and the testing situation of expander refrigeration dehydration apparatus in Daqing Oil Field are briefly introduced in this paper.

The practice shows that it is feasible in technique to use expander refrigeration for low pressure associated gas dehydration in very low temperature area and it is economically profitable.

NGI Vol.4 No.3 1984

## 膨胀制冷工艺在天然气液化分离中的应用

孙逊 喻国信

本文叙述了国内外膨胀制冷工艺在天然气液化分离中的应用，着重阐述了利用膨胀机、热分离机和焦耳-汤姆逊效应的制冷工艺流程，并对工艺中的几个问题进行了讨论。

《天然气工业》 第4卷 第3期 1984

## Application of the Expanding Refrigeration Technology to Natural Gas Liquefying Separation

*Sun Xun Yu Guoxin*

The application of expanding refrigeration technology to natural gas liquefying separation at home and abroad is described in this paper.

The process of refrigeration technology by use of the expander, thermal separator and Joule-Thomson effect are emphatically expounded and some problems related to this technology are discussed also.

NGI Vol.4 No.3 1984