

# 世界油气田情况

第五分册

国外采油工艺技术

王 徽 张柏年 仇振澄等 編譯

内部发行

中国工业出版社

# 世界油气田情况

第五分册

国外采油工艺技术

王 橄 張柏年 仇振鏗等 編譯

江苏工业学院图书馆  
藏书章

中国工业出版社

本分册共包括有关多油层油井的完成方法、钻开油层的洗井液、酸化、压裂、提高注水井吸水率的措施、注水的控制与调节、油井防砂清砂、油井防蜡清蜡、油井堵水和矿场自动化管理等十篇资料。资料中除概括地叙述了国外一般的技术水平以外，着重介绍了近年来获得较好发展的一些新技术，新方法的原理、工艺及经济效果。

本书可供石油工业部门各级领导同志、工程技术人员和科学研究工作者参考。

## 世界油气田情况

### 第五分册

#### 国外采油工艺技术

王 敏 张柏年 仇振澄等 编译

\*

石油工业部编辑室编辑（北京北郊六铺炕石油工业部）

中国工业出版社出版发行（北京佟麟阁路10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

\*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $7^{3/16}$ ·插页1·字数175,000

1962年3月北京第一版·1963年8月北京第二次印刷

印数1,571—2,098·定价（10—5）1.25元

\*

统一书号：15165·1483（石油-100）

## 前 言

为了适应我国石油及天然气勘探与开发工作的需要，石油工业部地质勘探司組織了部属生产技术司情报处，編輯室，办公厅編譯室和石油科学研究院各单位以及北京石油学院的有关同志分工协作，广泛搜集国外資料，編譯“世界油气田情况”一书，綜合介紹世界各国具有代表性的部分大油气田、特种油田以及国外石油勘探与开发經驗，供我国石油工业領導同志、石油工作者及技术研究人員参考。全书共分六个分册出版：

第一分册——苏联大油田；

第二分册——資本主义国家大油田；

第三分册——国外特种油田；

第四分册——国外大气田；

第五分册——国外采油工艺技术；

第六分册——近十年来世界石油勘探与开发技术发展动向。

本分册共蒐集十篇資料，内容包括多油层完井方法，钻开油层用的洗井液，油井增产（酸化、压裂），砂、蜡、水处理，提高注水效率以及矿场自动化管理等几个方面。这些資料大都为綜述形式，对原理、工艺仅作了梗概說明，未加詳尽介紹。同时，文中側重介紹近年来国外实际应用且已行之有效的一些新技术、新方法，而有关处于純研究阶段的問題，另在第六分册介紹。

参加本分册編譯工作的有：王徽教授和王鴻勳、毛良通、袁璞、蔣曼丽、曹桂兰、刘学忠、王達、胡征欽、仇振澄、杨少俊、徐云英、张柏年等同志。担任全稿审閱工作的，有石油科学研究院主任工程师童宪章和主任地质师李德生，北京石油学院钻采系主任秦同洛及石油部生产技术司情报处张柏年同志。

# 目 录

## 前 言

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 一、多油层油井的完成方法 .....      | 1  |
| 引言 .....                | 1  |
| 一般的完井方法 .....           | 4  |
| 多层同时分采的完井方法 .....       | 6  |
| 多层同时分采的经济效果 .....       | 20 |
| 二、钻开油气层的洗井液 .....       | 22 |
| 引言 .....                | 22 |
| 水基泥浆 .....              | 26 |
| 清水 .....                | 27 |
| 油基泥浆 .....              | 29 |
| 表面活性物质处理的洗井液 .....      | 35 |
| 气体洗井 .....              | 39 |
| 三、酸化 .....              | 42 |
| 引言 .....                | 42 |
| 盐酸处理 .....              | 42 |
| 热酸处理 .....              | 53 |
| 土酸处理 .....              | 58 |
| 各种添加剂在酸处理过程中的广泛应用 ..... | 61 |
| 酸处理的发展趋势 .....          | 65 |
| 四、压裂 .....              | 67 |
| 引言 .....                | 67 |
| 多次选择性压裂 .....           | 68 |
| 大型压裂 .....              | 88 |
| 垂直压裂 .....              | 90 |
| 压裂液 .....               | 91 |
| 支撑剂 .....               | 97 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 压裂设备与测量仪表 .....        | 99  |
| 五、提高注水井吸收率的措施 .....    | 104 |
| 引言 .....               | 104 |
| 注水井井身处理措施 .....        | 104 |
| 注入水水质处理措施 .....        | 110 |
| 六、注水(气)的控制与调节 .....    | 114 |
| 引言 .....               | 114 |
| 确定注水井注水剖面的方法 .....     | 115 |
| 改变注水井吸水能力不均匀性的方法 ..... | 120 |
| 油田面积上注水过程的调节与控制 .....  | 124 |
| 注气过程的调节与控制 .....       | 126 |
| 七、油井防砂清砂 .....         | 130 |
| 引言 .....               | 130 |
| 在防砂问题上的几种肯定意见 .....    | 131 |
| 几种防砂措施 .....           | 132 |
| 八、油井防蜡清蜡 .....         | 151 |
| 引言 .....               | 151 |
| 结蜡条件的理论分析 .....        | 152 |
| 油井清蜡和防蜡方法 .....        | 155 |
| 矿场蜡的利用问题 .....         | 168 |
| 九、油井堵水 .....           | 171 |
| 引言 .....               | 171 |
| 水泥 .....               | 172 |
| 油基水泥的研究 .....          | 175 |
| 堵水技术 .....             | 177 |
| 选择性堵水 .....            | 182 |
| 十、矿场自动化管理 .....        | 197 |
| (一) 苏联采油自动化情况 .....    | 197 |
| 发展状况及效果 .....          | 197 |
| 自动化运动化系统介绍 .....       | 202 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 自动装置及工具 .....           | 207 |
| (二) 美国及加拿大采油自动化情况 ..... | 211 |
| 发展状况 .....              | 211 |
| 典型系统介绍 .....            | 212 |
| 自动装置及自动化工具 .....        | 219 |

# 一、多油层油井的完成方法

## 引 言

油井完成是钻井工作的最后一个重要环节，它包括从钻开生产层到油井出油的整个过程。油井完成工作进行得好坏对油井以后的试油和生产有很大的影响，因此今天油井完成已成为一项专门的技术来进行研究。本文只介绍国外在多油层油井完成方法方面的一些新情况。

在世界各国的油气田中有不少的油气田是多生产层的，各层之间的压力、产量和生产能力往往各不相同，因此如何合理的开采多层的油气田就成为一个普遍关心的问题。

开采多层油气田的最简单的办法是单井同时合采。采用这一方法完井，当各层的压力系统不同和岩性变化很大时是不合理的。因为这样做，各层间会产生干扰和串流，使之不能采出预期的油量，并且难以研究各分层的生产和变化情况〔1〕。

目前开采具有不同参数的多层油气田的一般方法有两种，即：1) 每层各打一套井网开采；2) 在一口井中自下向上逐层回采。这两种方法各有其缺点，前一种方法很不经济，需要消耗大量的钻井费用；后一种方法虽然钻井费用较少，但会延长油田开发的时间和降低开采的速度。由于这些缘故，在三十年代初提出了一口井同时分采几个油气层的方法。

单井同时分采的方法有许多优点，主要表现在产油多、开发快和花费少。用这种方法采油可以大大缩减钻生产井的工作量，节省大量的金属、水泥和其他材料，大大地减少在生产井管理和油田建设上的费用，并且能增加每口井的产量和加快开发新油田的速度。

虽然多层同时分采有许多好处，但是这种方法并非经常和到处都可以采用而能获得同样效果的，因此不能建议在所有的油矿上采用。

同时分采必須預先在井內安裝各种不同的堵塞器，在套管和油管中隔离地层。当井內有砂、腐蝕液和压降大等情况下，这些設備的工作在很大程度上变得复杂化。所以多层同时分采的方法只是在那些沒有上述因素存在或其影响不显著的井中采用才是最有效的。

在选择井时也必須考虑到井內进行修理工作的特点和次数的多少。在多层分采井中进行修理工作比在开采一层的井中要复杂。分采井在修理时，由于有串流現象，要求較長時間的关井，因此使产量受到損失。

上述情况可能大大地降低分采的有效性或者甚至比用一般的开采方法更不合算。所以多层分采應該只用在那些修理工作不十分复杂的和进行得較少的井上。

在进行分采时复杂的井下設備引起了油井管理上的一定困难和增加了在工作时可能发生故障的次数。

分层开采的效果取决于在分层开采时由于設備复杂和多层井修理而引起的产量損失和附加的耗費，以及与一般結構的相应井数的建井費用相比在經濟上是否合算。

很显然，分采的效果在各种不同的条件下将随着井深增加而增高。

在那些油气层較深，地层压力高，油田的工业儲量大，岩层坚固稳定的多层油气田上，在保持地层压力的开采条件下，采用最簡單的分采方案，就能获得最大的效果。

自从提出分层开采的問題后，各国就进行了設計制造各种不同結構的分采設備的工作。在自噴井上进行分采的技术和設備問題已基本获得了解决，因此近年来在国外，特别是美国已得到了日益广泛的采用。

但是必須指出，到目前为止，也还未設計出能在下6"和5"套管的抽油井中进行分采高含蜡原油的有效設備。

到1960年为止，多层油气田同时分采的方法用得最普遍的还是在

自噴井和气井上进行两层同时分采，因为这种方法較為簡便，費用也較少。三层、四层同时分采的尚不多，用的时候也只限于自噴井。五层和六层分采更是极个别的現象，至今还只在美国的多层气田中各完成了一口井。

多层同时分采的油气井深度一般可达3000—3500米。同时分采的方式有各种不同的結合，可以两层均为自噴；可以一层为自噴，另一层为抽油；也可以两层均为抽油等等。

从国外的情况来看，多层同时分采与小井眼钻井，无套管完井以及永久完井等方法有密切的关系，因为只有这样才能充分体现同井分层开采在經濟上的优越性。

分层同时开采的完井方法，从固井的角度看可有三种类型即：裸眼的、封閉井眼的和永久完成的。从开采方面來說又可有单个油管加堵塞器装置的和多个油管加堵塞器装置的。具体采用何种結構的井下装置應該根据油田的条件来决定。文献指出，在岩层較疏松，出砂多，油层一般不深的多层油田上，用多管的办法实行多层分采較理想；而对油层較深、岩层較坚固致密、产量大、出砂少的油田，用多管完井开采不經濟。并认为用堵塞器装置实行多层分采将是一个主要趋向〔2〕。

无套管完井和永久完井是世界各国在油井完成方面的新方向。它是降低钻井和开采費用的主要途径之一。无管完井法在美国始于1942年，其实质就是用小尺寸的油管作套管，一般采用  $2\frac{1}{2}$ "— $2\frac{7}{8}$ " 油管〔3〕。据美国一家公司1959年在德克薩斯、密西西比和新墨西哥州完成的92口无套管井的統計，平均比普通井的費用低19%。

永久完井法在美国始于1950年。所謂永久完井就是在油管以及其他井下处理和井下设备装置完成后，钻机即行搬家，射孔、試油等完井作业以及修井工作均經鋼絲绳在油管内进行。这种方法的主要优点在于完井費用低，并且在注水泥以后能隔絕地层中所有不需要的液体。美国实际在矿上运用这种方法是在1952年，到1955年止，在德克薩

斯和路易士安娜州即有2000口井是用永久完井法完井的〔4〕。据美国计算，采用永久完井法比普通完井法可节省费用53%（在美国内河地区），30%（在陆地），85%（在海上）〔5〕。

采用小直径油管代替套管，并用小直径的井下作业、修理工具和小径射孔枪（可下入到 $1\frac{1}{2}$ "管内的）来进行完井工作，这就是美国多层完井的一个主要趋向。

### 一般的完井方法

在钻井实践中用得最普遍的钻开生产层和完井的方法有以下几种：

1. 钻井到生产层顶部，加固中间套管，然后钻开生产层，下生产套管或尾管。当生产层由坚硬稳定的岩层组成时，不需要下生产套管或尾管，中间套管同时用作开采。

2. 生产层全部钻开，在井中下入下部带滤器的生产套管。在生产层顶部以上注水泥，生产层部分不注水泥。这个方法在打开低压层时采用。

3. 生产层全部打开，生产套管下到井底，通过管鞋注水泥，套管射孔后进行生产。

这三种完井方法可以

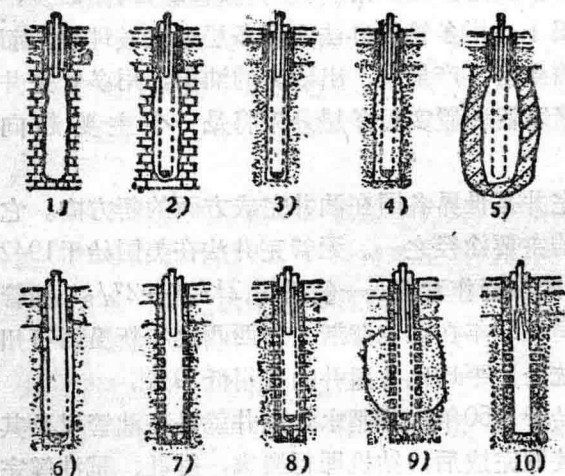


图 1

和逐层回采的井中〔6〕。

在美国中部大陆区所采用的钻开生产层和完井方法分两类：裸眼

完成法（前五种）和封闭井眼完成法（后五种），如图1。

- 1) 不带滤管或尾管的裸眼完成；
- 2) 不带堵塞器的尾管；
- 3) 装有堵塞器的衬管；
- 4) 井眼扩大，砾石填于滤管的周围空间；
- 5) 塑料胶固完成；
- 6) 贯眼完成；
- 7) 射孔完成；
- 8) 射孔及滤管的混合完成；
- 9) 射孔，砾石填充及滤管混合完成；
- 10) 永久完井。

裸眼完成法中不用滤管或尾管的裸眼完成是最便宜的完井方法，这种方法能使井底附近地区的渗透率不致因水泥浆滤液侵入油层而降低。在低渗透率及低孔隙率的广大地区以及垂直渗透率低的地层上所钻的油井，最适宜于裸眼完成，因为这些井用套管完成出油时，需要大大提高射孔密度，有时却不能做到。采用裸眼完成的做法时，可以选择水力压裂、酸化或爆炸等增产措施，但这种完井方法只有在油井全部开采期间油层部分井壁能保持相当稳定的情况下，才能采用。

如裸眼部分的地层是松散的砂层，则可借滤管、尾管、带堵塞器的尾管装置、砾石衬管及塑料胶结地层等方法来加固裸眼部分的井壁。最近趋向于用后两种方法。砾石衬管完成方法，在不久以前有了改善，对控制井内流砂很有效，特别在滤管或尾管使用无效的地方，砾石衬管可以防止砂堵的形成。使用塑料以胶结松软砂层的方法来完井颇受限制，因它会大大降低油层的渗透率，而且塑料成本很高，同时塑料的硬化随井底情况而变化，难于加以控制。

封闭井眼的完成法一般应用于疏松的油层，多油层或油层附近夹杂着水层或气层而在完成时要求封闭的场合。这类共有四种完成法，即：

貫眼完成法。这种方法的优点是仅油层的盖层部分以上注水泥，油层不易受水泥浆滤液的侵入而遭破坏。这种方法特别适用于裂缝交错的油层，以免水泥浆漏入这些裂缝而破坏油层。

射孔完成法是用套管加固井身的完成法中最普通的一种。这种方法是套管穿过油层，注水泥，然后对准油层进行射孔，因而具有很大的选择性。适用于同时或分层开采的多油层油田，并能很好的隔绝水层和气层，防止油层塌陷。

射孔和滤管的混合完成法。用在砂子较易于通过套管上的孔眼大量流入井内形成砂堵或磨损井下设备的场合。这种方法由于下滤管要增加成本以及滤管对以后修井工作有影响而受到限制。

射孔砾石填充及滤管混合完成法。此法用于胶结较弱的松软地层，以防止砂子侵入井内。这种方法是套管穿过油层，并在环形空间注水泥，射穿套管，然后清洗套管及水泥环外的砂岩部分，形成一空间，并以砾石填充，借以支持胶结较弱的松软地层。砾石靠下到射孔部分的尾管或滤管来固定位置。

这种方法给多油层油田的选择性完井带来了某些麻烦。同时在隔绝水层及气层时有困难〔7〕。

## 多層同时分采的完井方法

### 1. 两层同时分采完井法

自从提出多层同时分采的问题后，三十年来，出现过多种方案，对于各种分采方法也做过长期的研究，并且有不少井积累了长期分采的经验，但由于多层分采的完井和采油设备及技术问题尚未彻底解决，所以长期以来未得到普遍的应用，直至1950年，设备问题获得解决后，多层同时分采的方法才被较广泛地采用。

苏联在自喷井中两层同时分采的完井方法有以下几种：

下两根同心油管及一个堵塞器的双层完井 外面的油管4"，里面的油管2 $\frac{1}{2}$ "或2"。在4"油管內下入堵塞器，隔开两层油。下层的

油气通过 $2\frac{1}{2}$ "或2"油管开采，上层經环形空間开采（图2甲）。

目前苏联东部油区古比雪夫省的一些油田上有一批井即用此法开采。总的說来，这个方法用得还不广，主要是因为它还存在一些缺点：一是无法在环形空間下入测量仪器对上层进行深入的研究；二是在环形空間内进行清蜡工作相当复杂；三是根据ВНИИ的研究气液混

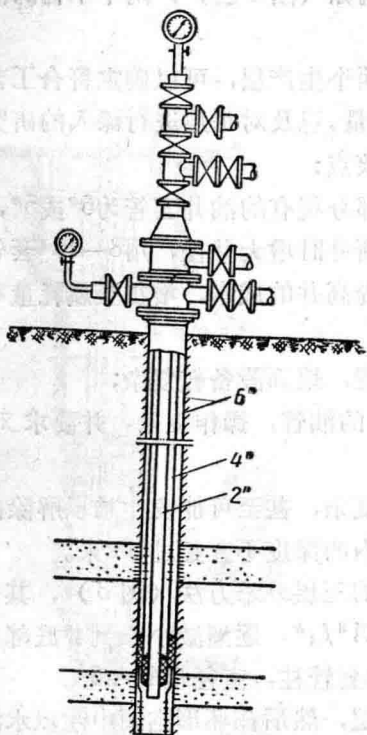


图2(甲) 两个同心管分采的井的装置简图

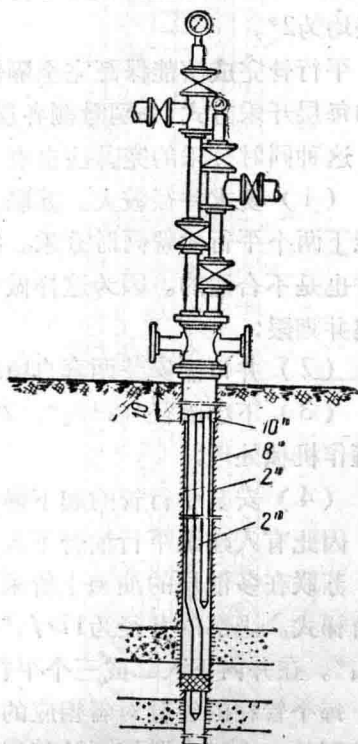


图2(乙) 两个平行管分采的井的装置简图

合体沿环形截面流动的压头损失比圆形截面要大，由于这个緣故，所以在上面的油层能量储备不足时无法采用这种方法〔2〕。

两个平行油管的双层完井 一个管子上装有堵塞器，用它在套管內隔离两个油层。第二个管柱的管鞋打开，安装在上油层頂部以上。通过两个管子分別开采两层油。这种两层同时分采的完井方法曾在气矿上采用，也在巴庫和哈薩克斯坦地区不深的油井上分层抽油时应用。

在深的自噴井中下平行油管同时分采还是1952年在韃靼的米尼巴也夫油田上首次实施。該井井身結構如（图 2 乙），两个平行的油管直径均为2"。

平行管完成法能保証完全隔絕两个生产层，可以确定符合工艺要求的每层开采方式，分別量測各层产量，以及对每层进行深入的研究。

这种同时分采的完井法也有其缺点：

（1）要求井径較大。苏联大部分現有的油井套管为6"或5"，不可能下两个平行油管同时分采。钻新井时增大井径，用8—10"套管来固井也是不合适的。因为这样做会提高井的成本，增加金属耗量和延长建井期限；

（2）井口需安装两套自噴装置，地面設備較复杂；

（3）下小直径（1 $\frac{1}{2}$ "，2"）的油管，操作复杂，并要求对其接箍作机械处理；

（4）安装平行管的起下操作复杂，甚至可能发生难以解除的事故。因此有人建議平行油管下入井內的深度不宜超过500米。

苏联在多油层的油藏上所采用的三层分采方法（图 3），其井身为阶梯式。上部的井径为17 $\frac{3}{4}$ "—21 $\frac{3}{4}$ "，逐漸减小，到井底部分为9 $\frac{3}{4}$ "。在井內下入二或三个平行的套管柱，直径从4"—6"。

每个管柱的管鞋对着相应的产层，然后在环形空間中注以水泥。用特制的定向射孔器打开油气层。很明显，在多管井上进行自噴开采是完全可以成功地实现的。但是这种分采方法由于井径增大，可能比钻相应井数的一般結構的井在經濟上不見得有利。

1955年苏联全苏石油研究所提出了由单一套管同时分采两个自噴油层的新設備，如图 4。按照这种分采方法，套管是用6"或6"以上

图 4 一个油管柱开采两个自喷层的新设备

1—油管； 2—堵塞器； 3—分配柱体； 4—下端封闭的2"管； 5—密封盘根； 6—接头； 7—油咀； 8—4"管子； 9—盘根； 10—管座

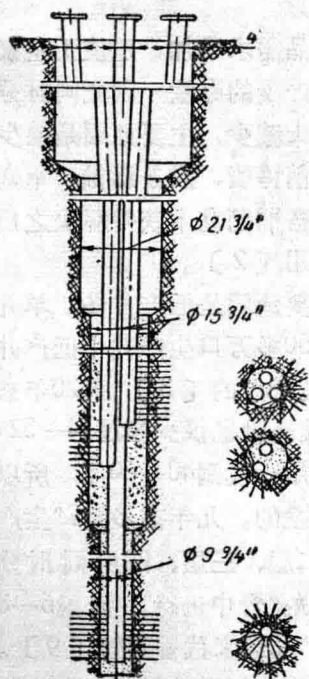
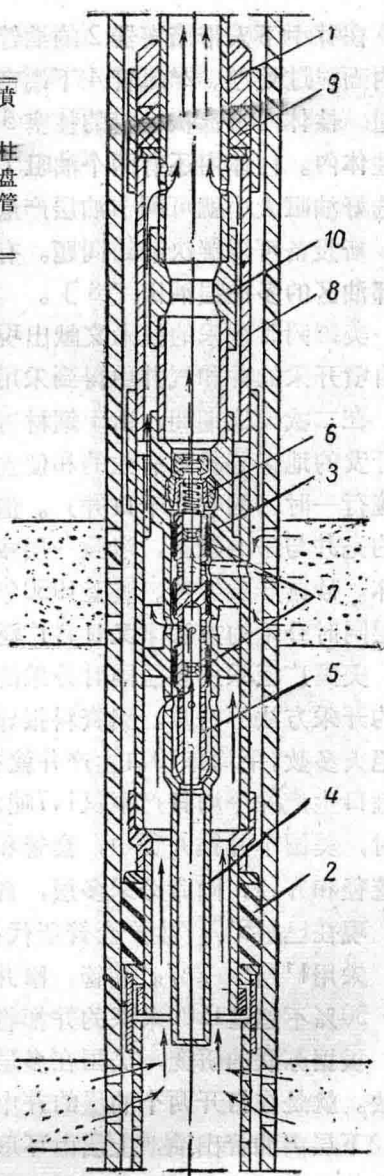


图 3 三管井的井下装置简图



的。在井中下入帶堵塞器 2 的油管 1，堵塞器上面裝一分配柱體 3，它內面經過處理。2" 尾管 4 下端密閉。柱體側壁上有若干孔洞與油層相通。柱體內帶盤根密封的柱塞 5 用以隔離兩層油，它用特殊卡瓦裝在柱體內。柱體內還有兩個油咀 7，通過兩個油咀分別采兩層油。只要選好油咀大小就可調節油層產量。

新設備可以解決清蜡問題。有人認為這種分采裝置很適用於蘇聯東部油區的多油層油田〔8〕。

美國同時分采的技術文獻出現在 1935—1936 年。早期這種方法只在自噴開采的井和氣井中得到採用。

在二次大戰期間，由於鋼材奇缺，油品需求增加，迫使工業家在已開發的地區尋找更有效的和便宜的增加產量的辦法，因此同時分采曾流行一時（約有幾千口井）。但戰後大大減少，主要原因是缺少相應的完井與采油設備，以致一層或兩層提前停噴，設備腐蝕，堵塞器損壞，砂堵嚴重等等。直至 1950 年後，設備問題基本獲得解決之後，多層同時分采的方法才又日益廣泛地被採用〔2〕。

美國廣泛採用多層同時分采的一個主要原因是低產井多，單井單層的開采方法不合算。據資料報導美國在 50 多萬口生產井中低產井占了絕大多數，平均每 10 口生產井就有 7 口是低產的〔3〕，近 20 年來美國每口生產井平均日產率僅 1.7 噸左右，最高時也很少超過 14—52 噸。同時，美國單井鑽井費中，套管和油管費用一般到 40—60%，所以縮小管徑和井徑，同時分采多層，自然是有益的。幾年前多用 7" 生產套管，現在已被 5 $\frac{1}{2}$ " 生產套管所代替。在二層、三層、四層同時分采時，採用 1 $\frac{1}{2}$ "—2 $\frac{5}{8}$ " 油管，修井亦在 1 $\frac{1}{2}$ " 管中進行。據說 6—8 年後，50% 不超過 1500 米深的井都將用 2 $\frac{1}{2}$ " 油管來代替套管〔9〕。

根據蘇聯的研究，美國在多層自噴分采的初期是用下一個油管的辦法。就是在打開兩個油層的井中下一個油管，在兩層間下一堵塞器，下層由油管出油，上層由環形空間出油。試油是在堵塞器還未密封和井口敞開時兩層混合測試的。這種作法自然是危險的，可能引起