

采油技术手册 (修订本)

第七分册
防砂技术



石油工业出版社

学(综)

562

6-17

登记号	087527
分类号	TE 355-62 (62)
种次号	001(7)-7

采油技术手册

(修 订 本)

第七分册 防砂技术

万仁溥 罗英俊 主编

陈端宗 陈光海 刘震泽 凌开元 编



200420945



00797719

石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书系统介绍了油、气井各种防砂方法,特别是绕丝筛管砾石充填防砂技术的原理、井下工具、施工工艺及应用条件,并概括了现场应用的有关技术问题,是我国多年来防砂工艺技术的全面总结。

本书结合现场实际,实用性强,对于采油工程技术人员,特别是从事防砂工作的生产和科研技术人员具有很大的参考价值。

采 油 技 术 手 册

(修 订 本)

第七分册 防 砂 技 术

万仁溥 罗英俊 主编

陈端宗 陈光海 刘震泽 凌开元 编

石油工业出版社出版

北京安定门外安华里二区一号楼

北京海淀昊海印刷厂排版

北京怀柔燕文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本6¹/₄印张160千字 印4001—7000

1991年3月北京第1版 1994年6月北京第2次印刷

ISBN 7-5021-0508-5/TE·486

定价: 7.10元

修订版说明

原《采油技术手册》是采油专业的一部重要工具书，它的出版发行已在采油技术工作中起了重要的作用。但由于该手册出版于70年代初期，内容已显得陈旧，部分章节单薄不全，特别是近十年来在采油技术工作中又发展了一批新工艺、新技术、新工具，这些工艺、技术和工具有待于更多的技术人员掌握应用，以转化成更大的生产力。为此，经中国石油天然气总公司开发生产部同石油工业出版社商定，对原《采油技术手册》进行修订，重新编写。

新的《采油技术手册》由中国石油天然气总公司开发生产局和石油工业出版社共同组织编写，由万仁溥、罗英俊负责主编。

考虑到修订后的《手册》内容广泛、牵涉面广、篇幅长和工作量大的特点，以及从便于应用出发，新的《手册》将以分册的形式来完成。

新的《采油技术手册》暂定为十个分册，各分册的名称如下：

- 第一分册 自喷采油技术
- 第二分册 注水技术
- 第三分册 生产测井技术
- 第四分册 机械采油技术
- 第五分册 修井工具与技术
- 第六分册 增产措施设备技术
- 第七分册 防砂技术
- 第八分册 稠油热采工程技术
- 第九分册 压裂酸化工艺技术
- 第十分册 堵水技术

手册的各分册都既是独立的工具书，又是《采油技术手册》的一个组成部分，采油部门的各专业可根据需要选用其中的分册。

前 言

我国疏松砂岩油藏分布范围较广、储量大，产量占有重要的地位。油井出砂是这类油藏开采的主要矛盾，出砂危害极大，砂埋油层或井筒砂堵造成油井停产作业；出砂使地面和井下设备严重磨蚀、砂卡；频繁地冲砂检泵、地面清罐等维修工作量巨增，既提高了原油生产成本，又增加了油田管理难度。因而，油井防砂工艺技术的研究和发展对疏松砂岩油藏的正常生产至关重要，防砂工艺是这类油藏的基本采油工艺，是正常生产的重要保证。

随着我国石油工业的高速发展，防砂技术不断完善，日趋成熟，逐步形成了防砂综合配套技术体系，并在各油田大规模工业应用，为原油产量持续稳定增长做出了重要贡献。

油井防砂技术主要分为化学防砂和机械防砂两大类。化学防砂在60年代开始研究应用，很快形成能力，发展了酚醛树脂溶液地下合成、水带干灰砂等多种工艺，成为当时的主要防砂方法。随着油田深入开发，70年代开始了机械防砂的研究，首先研制成功环氧树脂砂粒滤砂管并广泛应用取得良好效果。进入80年代，在学习国外技术的基础上，又研究发展了以金属绕丝筛管砾石充填为主导的机械防砂技术。由于它具有强度高，适应性强，防砂成功率高等优点，而得到迅猛发展，目前，各相关技术基本配套，成为防砂的重要手段，展示了广阔的发展前景。

本手册是我国数十年来各类防砂技术的全面总结。它阐述了各类防砂工艺的技术原理，分析了现场施工工艺及应用范围，介绍了各种施工设备及井下机具，特别对于当今国内外最流行的绕丝筛管砾石充填防砂工艺技术进行了较为详尽的论述。无疑，它将会对促进防砂工艺技术的完善和提高产生积极的影响。本书收

集了丰富的室内试验和现场施工的实际资料，针对性和实用性较强，对于从事防砂技术研究和应用的技术人员，具有较好的参考价值。

本手册由胜利油田防砂技术研究中心负责编写。本书第一、二章由凌开元编写，第三、九、十章由陈端宗编写，第四、八章由陈光海编写，第五、六、七章由刘震泽编写。张义刚等同志参加了本书主要图件的编绘工作。胜利石油管理局张人和，采油工艺研究院陈德坦对全书进行了技术审核；中国石油天然气总公司开发生产局万仁溥、罗英俊组织并主持了本书的编写和审定工作。

编写过程中，胜利石油管理局孤岛采油厂、孤东采油厂、滨南采油厂和辽河石油勘探局、大港石油管理局为本书提供了大量的技术资料。在此，对于这些单位的大力支持，对于支持关心本书编写的同志们表示衷心的感谢。

由于编写水平有限，错误之处在所难免，敬请广大读者批评、指正。

编者

1990年4月

目 录

第一章 油、气井防砂概论	1
一、油、气井出砂危害	1
二、油、气井出砂机理	2
三、出砂地层分类及其特征	3
四、防砂方法分类及选择	7
第二章 绕丝筛管砾石充填防砂概述	15
一、地层砂取样和分析化验	15
二、施工设计	23
三、现场施工	51
四、井筒准备技术	50
第三章 管内砾石充填	66
一、概述	67
二、反循环砾石充填	67
三、正循环砾石充填	72
四、两种类型的砾石充填工艺	80
五、两步法和一步法挤压充填	82
六、注蒸汽井砾石充填防砂工艺	84
七、砾石充填防砂施工质量及注意事项	92
第四章 筛眼井砾石充填防砂工艺	94
一、概述	94
二、施工工艺程序	97
第五章 滤砂管防砂	105
一、滤砂管管柱结构	105
二、施工工艺	109
第六章 预涂层砾石双层筛管防砂	113
一、适用范围及评价	113
二、筛管结构及性能	114

三、施工工艺	115
第七章 化学防砂	117
一、水泥砂浆人工井壁	118
二、水带干灰砂人工井壁	120
三、柴油乳化水泥浆人工井壁	121
四、酚醛树脂胶固砂岩	123
五、树脂核桃壳人工井壁	125
六、树脂砂浆防砂	127
七、酚醛溶液地下合成	128
八、预涂层砾石人工井壁	132
第八章 防砂施工主要设备	135
一、防砂施工设备的发展和国内外现状	135
二、防砂泵车	137
三、其它防砂泵车施工设备	149
四、国内组合式防砂施工设备	158
五、橇装防砂施工设备	160
六、筒式过滤器	161
七、D、E过滤器	166
第九章 防砂井地层伤害的预防及化学处理	169
一、防砂井地层伤害的预防	169
二、地层伤害的化学处理	171
第十章 防砂新工艺新技术介绍	175
一、振动砾石充填防砂工艺	175
二、泡沫砾石充填防砂工艺	177
三、割缝衬管防砂技术	178
四、膨胀式封隔器防砂	179
五、氟硼酸稠化液砾石充填	181
六、定向井砾石充填防砂工艺	182
七、其它化学防砂方法	185

第一章 油、气井防砂概论

一、油、气井出砂危害

油、气井出砂是石油开采遇到的重要问题之一。每年要花费大量人力物力进行防治和研究。如果砂害得不到治理，油、气井出砂会越来越严重，致使出砂油、气田不能有效开发。出砂的危害主要表现在以下三方面：

1. 减产或停产作业

油、气井出砂，最容易造成油层砂埋、油管砂堵、地面管汇和贮油罐积砂。因此，常被迫起油管清除砂堵、冲洗砂埋油层、清理地面管汇和贮油罐。其工作量大，条件艰苦，既费时又耗资。问题还没有最终解决，恢复生产不久，又须重新作业，周而复始，生产周期越来越短，使油、气田产量大减。有的油、气田被迫在一定条件下采取控制生产的办法来抑制地层出砂，但势必要减少油井产量。

2. 地面和井下设备磨蚀

由于油、气井产出流体中含有地层砂，而地层砂的主要成分是二氧化硅（即石英），硬度很高，是一种破坏性很强的磨蚀剂，能使抽油泵阀座磨损而不密封，阀球点蚀，柱塞和泵缸拉伤，地面闸门失灵，输油泵叶轮严重冲蚀。使得油、气井不得不停产进行设备维修或更换，造成产量下降，成本上升。

3. 套管损坏、油井报废

最严重的情况是随着地层出砂量的不断增加，套管外的地层空穴越来越大，到一定程度，往往会导致突发性的地层坍塌。套管受坍塌地层砂岩团块的撞击和地层应力变化的作用，受力失去

平衡而产生变形或损坏。这种情况严重时会导致油井报废。

油、气井出砂问题必须立足于早期防治，不能任其发展酿成后患。此外，地层砂产出井筒，对环境会造成污染，尤其是海洋油、气田，更为环境保护法规所制约，所以油、气井防砂不仅是油、气开采本身的需要，也是环境保护的需要。

二、油、气井出砂机理

地层出砂没有明显的深度界线，一般来说，地层应力超过地层强度就有可能出砂。地层强度决定于地层胶结物的胶结力、圈闭内流体的粘着力、地层颗粒物之间的摩擦力以及地层颗粒本身的重力。地层应力包括地层结构应力、上覆压力、流体流动时对地层颗粒施加的推拽力，还有地层空隙压力和生产压差形成的作用力。由此可见，地层出砂是由多种因素决定的，主要可分为先天原因和开发原因。

1. 先天性原因

先天性原因是指砂岩地层的地质条件，也就是砂岩地层含有胶结矿物数量的多少、类型的不同和分布规律的差异，再加上地质年代的因素，就形成了砂岩油、气藏不同的胶结强度。一般来说，胶结矿物数量多，类型好，分布均匀，地质年代早，砂岩油、气藏的胶结强度就大，反之就小。

2. 开发因素

人为的开发因素造成油、气井出砂，有的可以避免，有的不可能避免。

不恰当的开采速度以及采油速度的突然变化，落后的开采技术（包括不合理的完井参数和工艺技术），低质量和频繁的修井作业，设计不良的酸化作业和不科学的生产管理等造成油气井出砂，这些都应当尽可能避免。

随着油、气田开发期延续，油、气层压力自然下降，储层砂岩体承载砂粒的负荷逐渐增加，致使砂粒间的应力平衡破坏，胶

结破坏，造成地层出砂。另外地层注水可能使储层中的粘土膨胀分散，有的还会随地层流体迁移使地层胶结力下降。在注水开发中为了保持产量必定要提高采液量，这就会增加地层流体的流速，加大流体对地层砂的冲刷力，因此，注水有可能造成地层出砂。此外，地层中的两相或三相流动状态能增加对地层砂的携带力。以上这些因素在开发过程中是难以避免的。

三、出砂地层分类及其特征

出砂地层根据地层砂胶结强度的大小可以分成三种类型。

1. 流砂地层

流砂是指没有胶结的地层砂，即地层中没有有效的胶结物。流砂地层的聚集依靠很小的流体附着力和周围环境圈闭的压实力。这种地层极易坍塌，使钻具难以顺利通过，根本无法采用裸眼砾石充填完井方法。油、气井完井以后，一旦开井投产便立即出砂并连续不断地出砂，而且会延续几十年。尽管累积出砂量越来越大，但套管周围不会出现地层空穴，只是地层越来越疏松。这种地层的出砂规律如图1—1所示，其产出液含砂量相对稳定，基本上是一个常数。

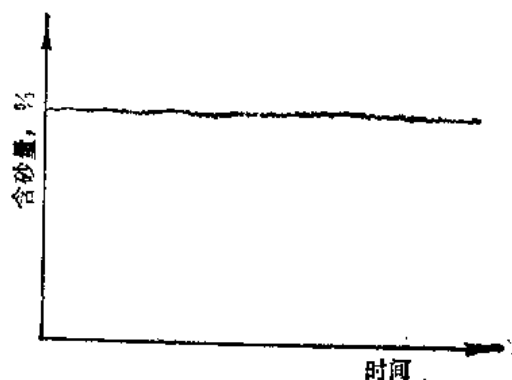


图1—1 流砂地层出砂规律

流砂地层难以取心，需研制特殊工具在钻井过程中获取岩样。此外，只能依靠井底捞砂或冲出砂来获得砂样。此类地层在砾石充填作业中，经常发生地层吐砂现象，造成油、气层砂埋、筛管下不到井底、炮眼砂堵、砾石与地层砂互混，甚至还有地层砂通过筛管缝隙进入筛管内腔卡住冲管造成的事故。因此，必须采取特殊的工艺措施来预防这些现象的发生。如使用空心桥塞作井底，这种桥塞也叫沉砂封隔器，以便地层吐出的砂子沉入井底口袋；还可以使用密度较大的工作液并加入适量的稠化剂来阻止地层吐砂；也可选用高密度挤压砾石充填工艺技术，以便高密度砂浆在炮眼中形成段塞流，把炮眼中的地层砂推出炮眼，在套管周围形成密实的充填区，有利于油、气井生产。

2. 部分胶结地层

这种地层含有胶结物数量少，胶结力弱，地层强度低。用常规取心工具可以取得岩心，但岩心非常容易破碎。采取相应的技术措施稳定地层，可以进行裸眼砾石充填完井。如控制泥浆性能、防止地层坍塌，或在泥浆中加入适量的暂堵剂，防止失水过多而引起地层膨胀造成垮塌。

投产以后，地层砂会在炮眼附近剥落，逐渐发展而形成洞穴。这些剥落的小团块地层砂进入井筒极易填满井底口袋，堵塞油管，掩埋油、气层。经过对原油含砂量检测，发现这类地层的出砂规律如图1—2所示，其产出液含砂量变化较大，甚至每天都不一样，时多时少。

随着产层压力递减，作用在承载骨架砂粒上的负荷逐渐增加，出砂情况会日趋严重。如不及早加以控制，那么产层附近的泥岩、页岩夹层也会因空穴加大而剥落，从而造成近井区域泥岩、页岩和砂岩三种剥落物互混，渗透率降低，产量下降。任其发展，有可能造成地层坍塌，盖层下沉，套管损坏，油、气井报废的严重后果。

3. 脆性砂地层

脆性砂地层也称易碎砂地层，有较多的胶结物，是中等胶结

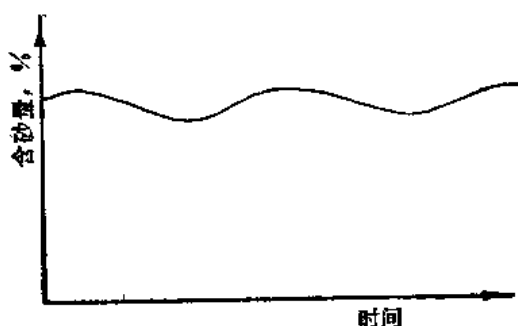


图1—2 部分胶结地层出砂规律

强度的砂岩。这种地层很容易取心。从取出的岩心分析，似乎有足够的强度不会出砂。但地层流体产出时，却能在地层面上把地层砂粒冲刷下来。脆性砂地层的出砂规律如图1—3所示。这种地层开始投产时出砂几天或几周，忽然出砂量大减，几乎是无砂产出，此时，产量有可能会上升，但到一定的时候有可能重新出砂。这种规律是因为在出砂过程中套管外部地层冲蚀空穴突然增大，过流面积成倍增加，使地层流体的流速大幅度下降，致使出砂量明显下降。随着油井条件变化，又会形成新的出砂环境面开始出砂。当单位过流面积上的流体速度达到一定数值时，又会出

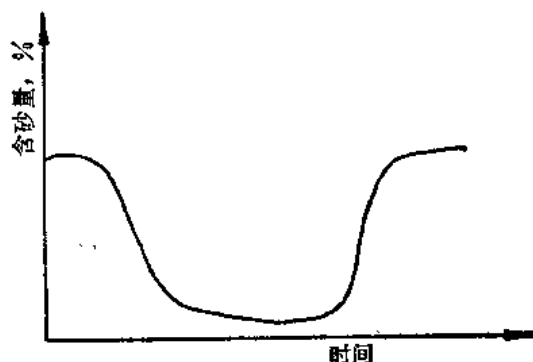


图1—3 脆性砂地层出砂规律

现地层砂大块垮塌，过流面积倍增而停止出砂，出现另一个周期。周而复始任其发展，洞穴越来越大，到一定的时候，就有可能形成灾难性的地层坍塌，使油、气井套管变形而报废。

此类地层的裸眼砾石充填完井成功率很高。由于裸眼井筒直径大，过流面积大，地层流体流速低，对地层层面的冲蚀力较小。同样道理在套管内砾石充填完井时，采用大直径高密度射孔技术，也将减少流体对地层层面的冲蚀，有利于油、气井防砂。

4. 出砂地层的鉴别

鉴别出砂地层的类型，采取针对性的防砂工艺措施是十分必要的。最确切的鉴别方法是取心分析。但油、气井常常得不到100%的取心收获率。有两种可能性，一是取心作业本身工艺不过关；二是地层疏松，在取心过程中岩心破碎散失，这就需要加以判别。油、气井捞出砂对鉴别砂岩地层类型很难提供确切的依据，除非在捞出砂中有一些团块状的地层砂可以在一定程度上说明地层砂的胶结情况。地球物理测井可用来测定砂岩地层的相对密度，从而判别出砂地层的类型。但是必须注意，同一个地层，甚至是同一口油、气井，往往会有不同类型的出砂地层存在。

研究表明，当砂岩地层处于下述情况时地层不出砂。

$$\frac{G}{C_0} > 5.6 \times 10^{13} \text{ kPa}$$

式中 G ——地层抗剪切弹性模数；

C_0 ——地层体积压缩系数。

最初采用此指标来预测地层出砂。

近年来，采用声波在地层中的传播时间 ΔT 来进行预测，当 $\Delta T > 295 \mu\text{s}/\text{m}$ 时该地层应采取防砂措施。

还可应用某些经验公式来预告地层出砂。如某口油、气井的生产压降大于该井岩心的抗压强度1.7倍时，就会造成地层出砂。

出砂地层的鉴别和地层出砂规律的研究都是防砂技术中的基

础课题，不可忽视。

四、防砂方法分类及选择

无论哪一种防砂方法，都应该能够有效地阻止地层中承载骨架砂随岩地层流体进入井筒。承载骨架砂是指那些组成地层力学结构的固体颗粒物质。游离于承载骨架砂孔隙之中的“非承载砂”不是油、气井防砂的治理对象，它们最好能够随着地层流体产出，起到疏通地层孔隙通道的作用；反之，如果这些游离砂留在地层中，再杂以各种完井液、修井液中的固相伤害物，有可能堵塞地层孔隙，造成渗透率下降，产量降低。

油、气井防砂方法很多，最终要以防砂后的经济效果来选择和评价。根据防砂原理，大致可以分成砂拱防砂、机械防砂、化学防砂和热力焦化防砂四大类。如表1—1所示。

有的油井出砂量不大，可以采取防止井底积砂法带砂采油。如选用管式泵抽油、小直径油管、循环注液或气举来加速井筒中液流上升速度，从而把地层砂带出井筒。这些方法并不能把地层砂限制在地层内部，因此，严格讲不能算作防砂方法，只是一类采油技术。

1. 砂拱防砂

砂拱防砂是指油、气井射孔完井后不再下入任何机械防砂装置或充填物，也不注入任何化学药剂的防砂方法。

砂拱防砂的机理如同拱桥承载一样，许多砂粒在炮眼口处形成砂拱，具有一定的承载能力，挡住地层砂随液产出。

砂拱防砂成败的关键在于砂拱的稳定性。要想保持砂拱的稳定性必须考虑两个关键问题：一是降低并稳定地层流体产出速度；二是保持或提高井筒周围地层的径向应力。

一般来说，套管完井砂拱防砂要求小孔径和高孔密的炮眼。小孔径有利于形成砂桥和提高砂桥的稳定性。高孔密可以增大过流面积，降低地层流体的流速，使其控制在一定的临界值之内而

表1—1 防砂方法分类

