

刘东升 赵 国 杨延滨 贾云祥 等编著

油气井 套损防治新技术



石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据大庆油田近几年油水井大修的研究成果和有关套损防治所取得的新科研成果,并在参考国内外油田资料的基础上,统计、分析和总结编写而成,内容包括油水井大修新技术、修井参数监控技术、工程测井技术、套损预测技术、套损预防措施、油水井大修井控技术等。

本书可供从事油气田开采及井下作业的工程技术人员和现场操作人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气井套损防治新技术/刘东升等编著.

北京:石油工业出版社,2008.3

ISBN 978-7-5021-6340-2

I. 油…

II. 刘…

III. 套管(钻孔)-损伤-防治

IV. TE925

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 177558 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 19

字数: 483 千字 印数: 1—1000 册

定价: 60.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《油气井套损防治新技术》

编 委 会

主 编：刘东升 赵 国

副主编：杨延滨 贾云祥 叶 鹏 贺贵欣 任志刚

袁 林 金岩松 孟凡瑞 陈显进 李云飞

编 委：衣作松 杨剑天 陈 光 张传军 李胜龙

李祝武 王锡年 李化甫 董俊英 孔维军

张智超 王 明 刘国军 王久民 艾教银

余 龙 刘继生 吴恩成 李 岩 刘春荣

邱海研 杜若霞 史东平 黄文元 邹光艳

王秋艳 梁文义

前 言

油水井投产后随着生产时间的不断延长，开发方案的不断调整和实施，特别是在实施注水后开发的油藏，油、气、水井套管技术状况将逐渐变差，甚至损坏，导致油井不能正常生产，以致会影响油田稳产。大庆油田是套损的“重灾区”。1997年就有576口套管损坏，2001年套损井就超过700口，到目前为止，整个油田套损井累计已超过11000口。套损不仅影响了油田的生产，而且其带来的经济损失也非常巨大。如每年在套损井大修方面的投资是巨大的；此外，假如由于套损而需要钻新井，按投入100万元/井计算，大庆油田套损的直接经济损失达110亿元。不仅如此，套损井还会造成注采系统不完善、产量递减加快等严重后果，其间接损失更大。

对此，科技人员一直致力于套损井大修工艺及配套技术的研究。随着新工艺、新技术、新材料的出现，研制了打通道技术、段铣技术等；为了解决整形过程中对套管外水泥环的破坏，消除水泥环损坏后管外窜槽所带来的引发新套损的隐患，水泥环修复技术应运而生。燃气动力密封加固技术，使目前加固后的通径达到了 $\phi 106\text{mm}$ 以上；而膨胀管加固技术，在加固管壁厚增加、通径进一步加大的情况下，保持了更佳的密封性能及锚定性能，满足了地质技术人员对套损井分层注水的要求。在利用原井场不新征地、不重新铺设地面管线、不影响原来的井网布置和开发方案的情况下发展了侧斜技术，使严重的套损井在尽可能短的时间内恢复生产。对于近年来发展起来的气井、水平井及小井眼井的修井也进行了研究，并取得了较好的效果；对于无法修复的套损井，以及修复施工中因各种原因而不能完成施工的井，出于开发的需要而采取工程报废处理的井，研制了挤注水泥的报废工艺，保证了报废效果。

在修井过程中，合理的钻压、扭矩、拉力等参数，对一口井是否能修复起到了至关重要的作用。随着先进修井工艺和修井工具的不断出现，以及每口井损坏情况的不同，修井时对这些参数都要提出特定的要求。为了提高工艺措施

合理性，以及减少事故发生的几率，科技人员研制了修井参数检测、预警和查询技术。用直观的数值为修井技术人员提供帮助，并在相关参数超出预设范围时，通过声、光等信号为施工人员报警。这不仅提高了施工的安全性，降低事故发生的几率；而且减少了财产损失，使修井施工更加人性化。网络化的管理和修井数据的实时存储，提高了修井技术人员的工作效率，使修井技术人员在进一步总结经验教训的同时，提高自身的技术水平。

工程测井是生产测井的重要组成部分，其目的是提供油水井套管、水泥环技术状况信息，以及指导射孔、修井等作业施工。新工程测井仪器的出现为套损井段的确定、套管腐蚀外漏井漏点和套管腐蚀程度的检测，以及套损方位的判断提供了新的技术手段。

地层的非均质性、油层倾角、岩石性质、地层断层活动、地下地震活动、地壳运动等地质因素是导致油水井套管技术状况变差的客观条件。这些内在因素一经引发，产生的应力变化是巨大的、不可抗拒的。这将会使油水井套管受到严重损害，这不仅会导致局部小区块套管损坏，甚至成片套管损坏的出现；而且还严重威胁油田的稳产，给作业、修井施工增加了极大的困难。在注水油田开发过程中，工程技术措施，如高压注水、大型压裂等作业将诱发各种地质因素对套管的破坏作用。

通过钻井取心、工程测井等技术手段，以及人们对地层沉积的认识，在获得新证据的基础上形成了对套管损坏机理的新理论，从而指导技术人员降低或消除诱发各种对套管起破坏作用地质因素，维护套管的正常生产，从根源上降低套损，真正做到修井“预防为主、修防结合、综合治理”的修井原则。

随着油气田勘探开发工作的不断深入，使得井下作业井控工作显得尤为重要，特别是近几年来，在井下作业技术逐步走向国际市场的新形势下，对井下作业井控工作提出了更高的要求。井下作业系统人员能很好地掌握井控技术，为安全生产和绿色生产提供了保障。

综上所述，掌握、学习油水井大修新技术，对油田预防和修复套损井、减少套损井、完善注采关系及油田可持续发展具有重要的意义。

目 录

第一章 油气田修井新技术	(1)
第一节 打通道技术	(1)
第二节 套管段铣技术	(12)
第三节 水泥环修复技术	(13)
第四节 燃气动力密封加固	(17)
第五节 膨胀管补贴技术	(21)
第六节 气井修井技术	(25)
第七节 侧斜技术	(33)
第八节 水平井修井技术	(36)
第九节 小井眼修井技术	(54)
第十节 报废技术	(60)
第二章 修井参数监控技术	(65)
第一节 SS - XJ6 - 10A 型修井参数检测仪	(66)
第二节 大修作业报表系统	(72)
第三节 修井参数检测仪监控系统	(85)
第三章 工程测井技术	(98)
第一节 井径测井技术	(98)
第二节 超声成像测井技术	(100)
第三节 方位、井斜测井技术	(104)
第四节 电磁测井技术	(106)
第五节 固井质量检测技术	(110)
第六节 交叉偶极声测井技术	(118)
第四章 套管损坏机理	(121)
第一节 泥岩层位套管损坏成因新认识	(121)
第二节 油层段套损特征	(137)
第三节 其他地质因素的套损机理	(154)
第四节 工程因素	(160)
第五章 套损预防措施	(178)
第一节 提高套管抗挤压强度	(178)
第二节 防止注入水窜入软弱地层	(184)

第三节	防止油层出砂	(191)
第四节	防止套管腐蚀	(197)
第五节	大庆油田套损预防措施	(205)
第六章	井下作业井控技术	(219)
第一节	井控的基本知识	(219)
第二节	井涌井喷机理及分析	(224)
第三节	井下作业井控设计	(231)
第四节	井下作业井控技术措施	(233)
第五节	井控装置	(245)
参考文献		(295)

第一章 油气田修井新技术

近几年来,随着各种套管检测技术的发展,新工艺、新材料的出现,以及人们对套损机理认识的不断深入,国内出现了一系列修井新技术,从打通道技术到密封加固技术,以及水泥报废技术直至利用原井场实施的侧斜修井技术,同时这些技术还在不断发展和完善。这些新技术的应用,提高了套损井修复的成功率,缩短了施工周期,降低了施工成本。

第一节 打通道技术

一、小口径打通道技术

1999 年以前,在 $\phi 139.7\text{mm}$ 套管井中 $\phi 70\text{mm}$ 以下的小口径套损井打通道技术的成功率很低,分析其原因是 $\phi 70\text{mm}$ 的口径已经达到井眼直径的一半,找通道工具及找到通道后的后续整形扩径工具和工艺不配套。针对小口径套损井数逐年增加,而大修工具和大修工艺不配套,以致于使扩径成功率很低的问题;从 1999 年开始,开发研制了偏心胀管器、顿击器、活动肘节、活动式导引磨鞋、探针式铣锥、复式磨铣筒、滚动扶正器、钻压控制器和滚珠整形器 9 种小口径套损井整形扩径工具,以及 6 种钻具组合和相应的施工工艺。在现场应用中,通过不断完善找通道工艺方法,改进顿击头的材质,设计找偏磨铣筒,优选合适的工艺参数,形成了比较配套的小口径套损井扩径工艺技术。通过这 6 种修井钻具的单独或组合应用,打开错断井段的通道,为通径 $\phi 40\text{mm}$ 以上的错断井修复和实现无落物报废创造前提条件。

1. 配套工具的研制

1) 偏心胀管器

偏心胀管器是圆柱体与圆锥体的组合,二者的轴心线不是重合而是相交,圆锥体的一条母线与圆柱体的一条母线重合。这种胀管器下井后,底部始终偏向套管壁一侧,有利于插入套损通道(图 1-1)。

2) 顿击器

顿击器类似活动短节,内部有一对特殊形状的顿击头。拉开时下部不动,快速下放钻具上部顿击头打击下部顿击头,实现顿击(图 1-2)。

偏心胀管器和顿击器组合,改变了以往的胀管方式。每次提起钻具(不超过顿击器工作长度),偏心胀管器不会被提起,使偏心胀管器始终插在套损通道内,快速下放钻具后,完成一次顿击胀管。

3) 活动肘节

活动肘节是一个能传递扭矩的万向节,与一般机械上的万向节不同之处是内外密封,钻具磨铣时能正常循环。主要是能够解决旋转磨铣过程中因不同心而产生的别钻问题(图 1-3)。

4) 活动式导引磨鞋

活动式导引磨鞋是将内六方孔的锥形磨鞋装在一根带水眼的芯轴上,芯轴的下部为圆柱形,上部为外六方形。当芯轴的底部遇阻时(没有插入原通道),磨鞋不随钻具转动,磨铣



图 1-1 偏心胀管器示意图

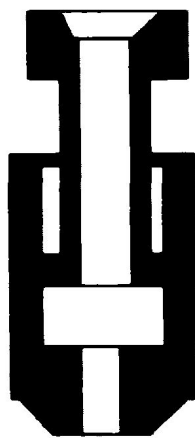


图 1-2 顿击器结构示意图

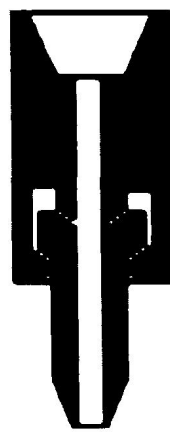


图 1-3 活动肘节示意图

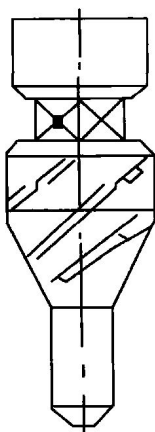


图 1-4 活动式导引磨鞋结构示意图

不会产生进尺，起到防止磨偏的作用。当芯轴底部插入套损通道后，磨鞋被推向芯轴的上方，磨鞋与芯轴结合成一体，磨鞋随钻具转动而产生磨铣作用。芯轴引导磨鞋始终处于套损通道内，保证不会磨铣到套管外（图 1-4）。

5) 探针式铣锥

探针式铣锥主要由铣锥主体和导引杆构成。铣锥主体的结构和作用与常规的铣锥基本相同，导引杆是用来引导铣锥始终处于套损通道内，不至于造斜磨铣至套管外（图 1-5）。

6) 复式磨铣筒

复式磨铣筒是由一次磨铣刃和二次磨铣刃组成的磨铣工具。一次磨铣刃相当于套铣筒，二次磨铣刃相当于凹底磨鞋。特点是一次磨铣刃套铣下来的套管片（或者夹在断口的落物）经过二次磨铣刃才能完全被磨铣掉，这样磨铣过程中磨铣筒内总有一段套管片，起到导引作用（图 1-6）。



图 1-5 探针式铣锥示意图

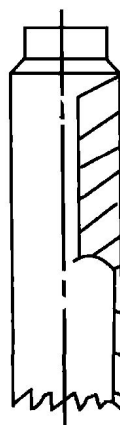


图 1-6 复式磨铣筒示意图

7) 滚动扶正器

滚动扶正器主要由镶嵌在外套上的6个滚针和设计有工作台阶的芯轴组成。下钻具时,滚针被收拢在一起,靠在芯轴的缩径部位。当钻压加上之后,滚针被推向芯轴的台阶处,滚针突出出来,起到扶正作用。这种扶正器扶正时滚针能够紧贴套管壁,扶正效果好,滚针能够自转,不损伤套管(图1-7)。

8) 钻压控制器

钻压控制器主要由外工作筒和芯轴组成,有效行程为1.8m。能够有效地避免因指重表和手工操作因素造成的钻压忽高忽低,保证钻压恒定。主要解决磨铣工具“跑偏”的问题,同时可以提高磨铣效率,延长磨铣工具使用寿命,减轻工人的劳动强度(图1-8)。



图 1-7 滚动扶正器示意图



图 1-8 钻压控制器结构示意图

9) 滚珠整形器

滚珠整形器主要由芯轴和锥体组成,在锥体的表面上,沿螺旋线镶嵌着直径为30mm的特制滚珠。滚珠整形器工作时,滚珠在整形器的凹槽内自转的同时也围绕整形器的轴线公转,依靠滚珠在套管变形位置的反复滚压施加外力进行碾压整形,使套管产生塑性变形,以达到整形的目的(图1-9)。该工具的优点是依靠滚珠在套管变形位置反复滚压进行整形,对套管外水泥环的损坏程度较小。



图 1-9 滚珠整形器结构示意图

2. 修井工艺的研究

对于小通径套损井段,由于通道小,套损部位形态各异,又可能存在落物鱼顶与之平齐等复杂情况;所以用一种工具来处理往往不能奏效,需要几种工具组合,分步处理。

1) 针对不同的套损形态,采用不同的工艺措施

- (1) 活动性错断:以胀为主;
- (2) 非活动性错断:以磨为主;
- (3) 严重变形:以套铣为主。

2) 根据不同的套损途径, 选用不同的工具组合

(1) 采用顿击式整形组合钻具处理套损途径 $\phi 70\text{mm}$ 以下活动性错断井。

该组合钻具主要由偏心胀管器和顿击器组成 (图 1-10)。钻具用钻杆下入井内, 偏心胀管器到达错断口时, 通过钻具的反复上提—转角度—下放, 将偏心胀管器插入套损通道, 然后上提钻具 3~6m (顿击器冲程范围以内), 再快速下放钻具, 顿击器将钻杆的冲击力传递给偏心胀管器进行胀管。反复上提下放钻具, 不断地击打偏心胀管器, 偏心胀管器就像楔子一样楔入错断通道, 达到扩径目的。

工艺方法:

①选择合适的铅模, 落实清楚套损深度、套损途径、套损类型;

②下入顿击式整形组合钻具试找错断通道, 找准后顿击整形, 如根据进尺推算偏心胀管器已进入错断口 0.3m 以上, 就可以起出该钻具 (如整形进尺速度正常也可继续整形, 直至通过或无进尺), 打铅印落实扩径效果;

③根据打印结果, 选择下入钻杆笔尖试找错断通道, 探鱼顶, 或者下入恒钻压预处理磨铣组合钻具磨铣错断口, 将错断口磨铣至 $\phi 90 \sim \phi 100\text{mm}$;

④下入恒钻压活动式导引磨鞋磨铣组合钻具将错断口和套损段磨铣至 $\phi 110 \sim \phi 116\text{mm}$;

⑤下入恒钻压强制扶正磨铣组合钻具将错断口和套损段磨铣至 $\phi 120\text{mm}$ 。

(2) 采用恒钻压磨铣组合钻具处理套损途径 $\phi 70\text{mm}$ 以下非活动性错断井。

该组合钻具主要由探针式铣锥、活动肘节和钻压控制器组成 (图 1-11)。将钻具下到错断口以上 0.5m, 开泵循环, 冲洗错断口, 然后采用顿击式扩径处理组合钻具找通道的方法, 将探针式铣锥插入套损通道, 同时在方钻杆上做好标记, 再上提钻具 (上提高度为钻具自重伸长量加 0.1m), 此时钻压控制器以下钻具的重量就恒定地加在探针式铣锥上。开始时以低钻速磨铣, 确认无憋钻、跳钻现象后可适当加大钻速。磨铣一段时间或指重表悬重增大, 完全下放钻具测量进尺, 量完进尺后, 再上提钻具 (上提高度与前面要求相同), 继续磨铣至设计深度。

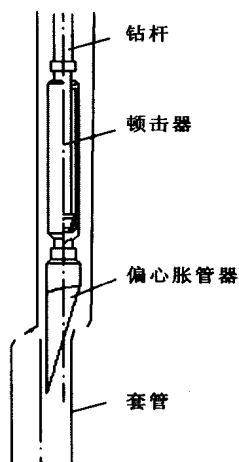


图 1-10 顿击式整形组合钻具结构示意图

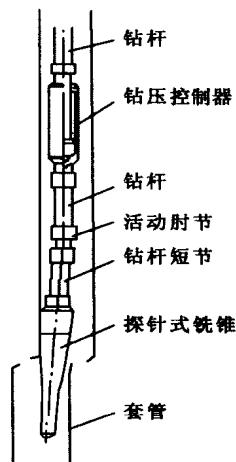


图 1-11 恒钻压磨铣组合钻具结构示意图

工艺方法:

①选择合适的铅模, 落实清楚套损深度、套损途径、套损类型;

- ②下入恒钻压磨铣组合钻具磨铣错断口，将错断口磨铣至 $\phi 90 \sim \phi 100\text{mm}$ ；
 - ③下入恒钻压活动式导引磨鞋组合钻具磨铣错断口，将错断口磨铣至 $\phi 116\text{mm}$ ；
 - ④下入恒钻压扶正磨铣组合钻具将错断口和套损段磨铣至 $\phi 120\text{ mm}$ 。
- (3) 采用恒钻压活动式导引磨鞋组合钻具处理套损通径 $\phi 70\text{mm}$ 以上错断井。

该组合钻具主要由钻压控制器、活动肘节、活动式导引磨鞋组成（图 1-12）。当钻具下到错断口时，上提钻具使钻压控制器处于工作状态，开泵循环进行磨铣。如果磨铣进尺正常，证明活动式导引磨鞋的导杆已插入套损通道内，此时磨鞋主体的内六方孔与芯轴上的六方杆结合，导引磨鞋正常磨铣错断口，直至磨铣到设计深度。如果磨铣无进尺（起到了防止磨偏的作用），说明活动式导引磨鞋的导杆未插入错断口，要起出钻具另定工艺措施。

工艺方法：

- ①选择合适的铅模，落实清楚套损深度、套损通径、套损类型；
 - ②下入恒钻压活动式导引磨鞋组合钻具磨铣错断口，将错断口磨铣至 $\phi 116\text{mm}$ ；
 - ③下入恒钻压扶正磨铣组合钻具将错断口和套损段磨铣至 $\phi 120\text{ mm}$ 。
- (4) 采用恒钻压扶正套铣组合钻具处理套损通径 $\phi 70 \sim \phi 100\text{ mm}$ 弯曲变形井。

该组合钻具主要由复式磨铣筒、滚动扶正器、钻压控制器组成（图 1-13）。将钻具下到错断口以上 0.5m 处，开泵循环，冲洗错断口，然后将钻具完全下放到底，在方钻杆上做好记号，再上提钻具（上提高度为钻具自重伸长量加 0.1m），开始磨铣。这时钻压控制器以下钻具的重量就恒定地加在滚动扶正器和复式磨铣筒上，滚动扶正器的滚针突出紧贴套管壁，起到扶正作用，复式磨铣筒开始磨铣切削。磨铣一段时间后，经过几次测量进尺、上提钻具，完成整个磨铣工作。

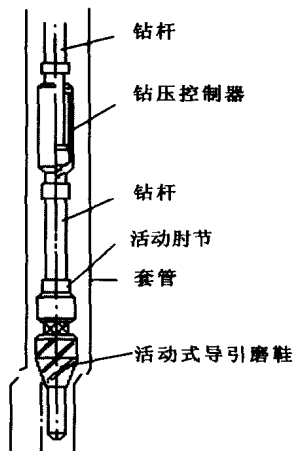


图 1-12 恒钻压活动式导引磨鞋示意图

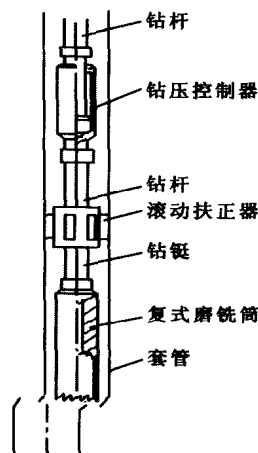


图 1-13 恒钻压扶正套铣组合钻具结构示意图

工艺方法：

- ①选择合适的铅模，落实清楚套损深度、套损通径、套损类型；
 - ②下入恒钻压扶正套铣组合钻具磨铣错断口，将突出的一段套管完全磨铣掉；
 - ③下入恒钻压扶正磨铣组合钻具将错断口和套损段磨铣至 $\phi 120\text{ mm}$ 。
- (5) 采用恒钻压扶正滚压整形组合钻具处理套损通径 $\phi 110\text{mm}$ 以上变形井。

该组合钻具主要由滚珠整形器、钻铤、滚动扶正器、钻压控制器组成（图 1-14）。将

钻具下放到套损段直至遇阻，在方钻杆上做好记号，再上提钻具（上提高度为钻具自重伸长量加0.1m），开动钻盘使钻具旋转。这时钻压控制器以下钻具的重量（下钻具之前，按照磨铣需要设计、配置相应重量的钻具）作为钻压作用在滚动扶正器和滚珠整形器上，滚动扶正器的滚针伸出，紧贴套管壁，并随钻具滚动，起到扶正钻具的作用；在钻具旋转过程中，滚珠整形器锥形外筒上的合金滚珠球对变形井段进行旋转碾压，将套损井段扩径、修直。

工艺方法：

- ①选择合适的铅模，落实清楚套损深度、套损通径、套损类型；
 - ②选择 $\phi 106 \sim \phi 116\text{mm}$ 滚珠整形器对套损井段扩径至 $\phi 116\text{mm}$ ；
 - ③选择 $\phi 110 \sim \phi 120\text{mm}$ 滚珠整形器对套损井段扩径至 $\phi 120\text{mm}$ 。
- (6) 采用恒钻压扶正磨铣组合钻具对套损井段进行修整。

该组合钻具主要由组合式铣锥、钻铤、滚动扶正器、钻压控制器组成（图1-15）。使用该组合钻具达到两个目的：一是将套损部位扩径至 $\phi 120\text{mm}$ ；二是对套损部位进行修直，便于采取加固等后续措施。

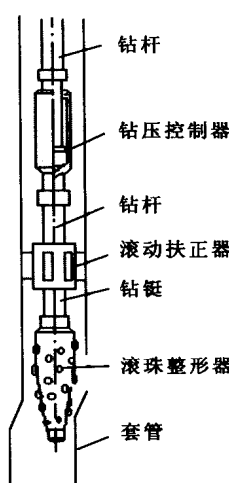


图1-14 恒钻压扶正滚压整形组合钻具结构示意图

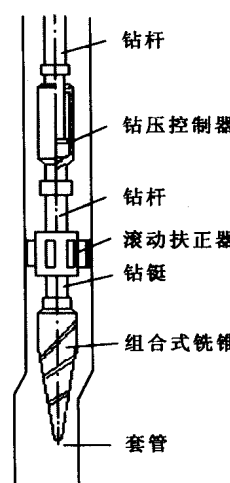


图1-15 恒钻压扶正磨铣组合钻具结构示意图

3. 合理的参数选择及注意事项

(1) 合理的参数选择，见表1-1。

表1-1 钻具合理参数

组合钻具名称	钻压 (kN)	转速 (r/min)
恒钻压预处理磨铣组合钻具；恒钻压活动式导引磨鞋磨铣组合钻具	2~2.5	40~80
恒钻压强制扶正套铣组合钻具；恒钻压强制扶正滚压整形组合钻具；恒钻压强制扶正磨铣组合钻具	3~4	30~60

(2) 注意事项。

每趟钻具的下入深度、进尺、工具的磨铣等情况都是下一次措施及工具选择的重要依据，必须认真检查记录。

施工操作中，钻压宜低不宜高；钻速先慢后快，根据钻具运转中的稳定情况适当调整，

在稳定情况下保持相对高转速。

实例一：杏1-丁3-118井，用 $\phi 90\text{mm}$ 铅模打印，在899.2m处套管错断，最小通径 $\phi 40\text{mm}$ ，井下落物为三级三段配水管柱、 $\phi 62\text{mm}$ 油管26根。采用平底磨鞋+滚动扶正器+钻压控制器组合钻具磨铣至899.57m；用 $\phi 114\text{mm}$ 铅模打印此处错断通径变为 $\phi 56\text{mm}$ ；下入顿击式预处理整形组合钻具整形2h，打铅印证实通径扩大到 $\phi 77\text{mm}$ ；下入恒钻压活动式导引磨鞋组合钻具扩径至 $\phi 110\text{mm}$ ；下入 $\phi 118\text{mm}$ 恒钻压强制扶正组合钻具，磨铣进尺2.2m后通过；打捞出全部井下落物，完成了深部取套前期工作。

实例二：杏4-10-608井，用 $\phi 100\text{mm}$ 铅模打印，在790.04m处套管错断，最小通径为 $\phi 73\text{mm}$ 。下 $\phi 73\text{mm} \times 9000\text{mm}$ 笔尖，在790.04m遇阻，经过旋转钻具进尺8.10m；下入恒钻压磨铣组合钻具，将错断口磨铣至 $\phi 100\text{mm}$ ；下入两次恒钻压扶正磨铣组合钻具，分别将错断口磨铣至 $\phi 114\text{mm}$ 、 $\phi 120\text{mm}$ ；用 $\phi 110\text{mm}$ 铅模打印，在793.46m处套管错断，最小通径为 $\phi 90\text{mm}$ ；下入恒钻压活动式导引磨鞋组合钻具扩径至 $\phi 110\text{mm}$ ；下入两次恒钻压扶正磨铣组合钻具，分别将错断口磨铣至 $\phi 114\text{mm}$ 、 $\phi 120\text{mm}$ ；打捞出全部井下落物，完成了深部取套前期工作。

实例三：杏1-322-斜17井，用 $\phi 110\text{mm}$ 铅模打印，在1112m处套管错断，最小通径为 $\phi 97\text{mm}$ ，错断口以下有四级四段配水管柱落物，在磨铣错断口过程中掉入磨鞋底1个。下入 $\phi 120\text{mm} \times 500\text{mm}$ 套铣筒磨铣3.5h，进尺不明显，起出检查套铣筒磨损严重；下入恒钻压扶正套铣组合钻具磨铣4.5h，进尺0.37m，铣通错断井段，并随复式磨铣筒起出磨鞋底和一块套管片；成功地捞出井内落物，实施了膨胀管加固。

二、定向法打通道技术

通过对机械打通道技术的攻克，大幅度地提高了小通径套损井打通道的成功率。但是在现场试验中，发现仍然存在以下问题：①探测手段简单，只能根据铅模印痕判断错断口通径的大小，无法确定其形态和方位；②方法不科学，找通道时采用旋转试探的方法，认为方入较深处既是插进了下断口，具有一定的盲目性，有时造成误导，使工具磨铣出套管外而失败。根据以往小通径错断井旋转试探法磨铣打通道技术存在的缺点和不足，开展了定向磨铣打通道研究，将打通道工序分为定向找通道、扩通道和校直通道3个阶段。

1. 定向找通道技术

找通道就是指将打通道工具引入到下断口下部套管内，只有找到通道才能进行磨铣扩径，因此说找通道技术是打开通道的技术关键。由于小通径错断井断口的通径小、横向位移量大，普通的磨铣工具插不进断口内；另外没有较好的测试手段，错断口的形态只能根据铅模印痕来判断，不是十分的准确，在找通道时工具容易顺着弯曲的上断口而引入到套管外。过去应用的旋转试探法找通道的盲目性较大，大多数井就是由于找不到通道而失败，为此提出了定向找通道方法。它包括以下两个步骤。

1) 确定错断口方位

将铅模和定向接头在地面连接，在铅模周边本体上刻条竖线标示定向键的方位，在铅模底部刻一个“十”字花，使其中一条线与定向键标示线相交。用钻杆送入井内进行打印，然后不动管柱下入小直径（ $\phi 45\text{mm}$ ）陀螺仪，测出定向接头内定向键在井内的方位。将管柱起至地面，量出定向键与铅模上下断口印痕两端线的圆心角，就可计算出套损通径在井内的方位范围。

2) 定向找通道

将偏心领眼铣锥和定向接头在地面连接,计算出定向键和工具导向部分的方位差,然后用钻杆送入井内,接方钻杆。由于工具中心线和钻柱轴线存在一个夹角,工具导向部分始终偏离套管轴线,使工具插入下断口变为可能。下入小直径陀螺仪确定定向键的方位,根据定向键与工具导向部位的方位差,通过地面调整,使工具导向部位方位和断口通道方位一致,下放管柱便可使偏心铣锥插进下断口内。定向找通道方法使找通道由盲目性变得较为科学,并且针对性强,成功率也较高。

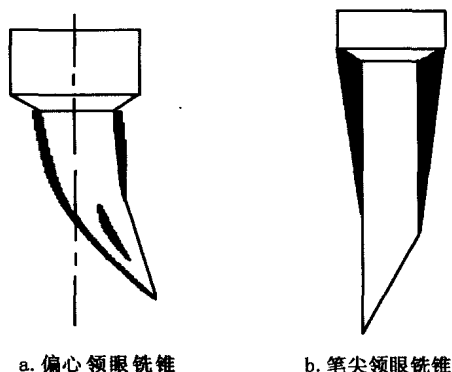


图 1-16 定向法打通道工具

2. 扩通道技术

找到通道后采用以下 3 个步骤扩通道。

1) 偏心领眼铣锥锉铣断口

原理:找到通道后,锁定转盘,使引入通道内的偏心铣锥上下活动,靠镶嵌在偏心领眼铣锥四周的磨铣材料锉铣套管,使断口通径扩大至 $\phi 60\text{mm}$ 左右,为下入偏心领眼铣锥扩径创造条件。

工具:结构如图 1-16a 所示,由偏心领眼铣锥、磨铣面、接头组成。领眼前导部分呈楔形笔尖状,起导向作用,整个领眼渗碳处理,硬度达 HRC65-70,最小外径 $\phi 30\text{mm}$,四周均匀镶嵌超强磨铣材料,硬度比套管硬度高出 3 倍,有利于

纵向磨铣。在领眼与接头连接部位,堆焊 YD 合金,形成锥形面。

管柱结构:偏心铣锥 + 定向接头 + $\phi 73\text{mm}$ 反扣钻杆 + 方钻杆。

施工参数:钻压为 10-20kN,上提下放距离在 0.5~1m。

2) 笔尖领眼铣锥磨铣断口

原理:将笔尖领眼铣锥和定向接头在地面连接,计算出定向键和笔尖的方位差,然后用钻杆送入井内,用陀螺仪找好方位后,缓慢下放使引入通道的铣锥锥铣面与下断口接触,再旋转铣锥,靠铣锥外缘的硬质合金磨削向内凸出的套管,使断口通径由 $\phi 60\text{mm}$ 扩大到 $\phi 105\text{mm}$,为扩通道创造条件。

工具:笔尖领眼铣锥结构如图 1-16b 所示,由领眼、锥铣面、接头组成。领眼前导部分呈圆形笔尖状,起导向作用,整个领眼渗碳处理,硬度达 HRC65-70,外径 $\phi 50\text{mm}$ 。在领眼与接头连接部位以下堆焊 YD 合金,形成锥形面,具有磨铣扩径功能。

管柱结构:笔尖铣锥 + 定向接头 + $\phi 73\text{mm}$ 反扣钻杆 + 方钻杆。

施工参数:钻压为 5~10kN,转速为 60~80r/min,排量为 0.8~1.0m³/min。

3) 长锥面铣锥扩铣断口

原理:用 $\phi 114\text{mm}$ 和 $\phi 120\text{mm}$ 的长锥面铣锥周向磨铣通道,使错断处的通径由 $\phi 105\text{mm}$ 增大到 $\phi 120\text{mm}$ 。以 $\phi 120\text{mm}$ 短工作面工具顺利通过为标志。

工具: $\phi 114\text{mm}$ 和 $\phi 120\text{mm}$ 的长锥面铣锥。

管柱结构: $\phi 114\text{mm}$ 和 $\phi 120\text{mm}$ 铣锥 + $\phi 73\text{mm}$ 反扣钻杆 + 方钻杆。

施工参数:钻压为 10~20kN,转速为 80~100r/min,排量为 0.8~1.0m³/min。

3. 校直通道技术

原理:校直通道是指修整错断口处及上下弯曲的套管,使套损段的中心线与上下完好套管

轴线接近或重合,它以 $\phi 118\text{mm} \times 6\text{m}$ 的通井规顺利通过为标志,为密封加固提供前提条件。

工具: $\phi 120\text{mm}$ 长锥面铣锥 + 不同长度铣锥短节串。

管柱结构: $\phi 120\text{mm}$ 长锥面铣锥 + 不同长度铣锥短节串 + $\phi 73\text{mm}$ 反扣钻杆 + 方钻杆。

施工参数: 钻压为 $10 \sim 20\text{kN}$, 转速为 $80 \sim 100\text{r/min}$, 排量为 $0.8 \sim 1.0\text{m}^3/\text{min}$ 。

定向法打通道实例:

杏 6-1-26 井, 该井于 2004 年 9 月 12 日施工, 压井起原井、刮蜡后打印, 遇阻深度 850m, 为鱼头印, 打捞抓住后活动 450kN 拔脱, 最后一根油管夹扁至 $\phi 63\text{mm}$, 打印证实深度为 947.43m 套管错断, 通径 $\phi 43\text{mm}$, 采用机械打通道技术无法打开通道。下入 $\phi 100\text{mm}$ 铅模和定向接头打印, 电缆传输测方位, 起出后测出定向键方位为 62° , 断口与定向键的方位差为 -34° , 则错断口的方位为 $62^\circ - 34^\circ = 28^\circ$ 。下偏心铣锥使铣锥导向方位与定向键方位一致, 下至 947m 定向, 测出键槽方位为 93° , 将管柱逆时针旋转 65° , 加压 20kN, 上提有夹持力, 继续加压至 40kN, 上提夹持力增加, 反复上提下放纵向磨铣 20min, 进尺 0.5m 后起出, 接着用不同级差的铣锥磨铣用 $\phi 120\text{mm}$ 铣锥顺利通过, 又用铣锥短节串磨铣套损井段, 模拟通井、测井、加固、试压和完井, 直至收尾完工。

三、聚能切割打通道技术

为了进一步提高小通径套损井打通道成功率和施工效率, 针对通径小于 $\phi 70\text{mm}$ 套损井开展了聚能切割打通道技术研究。该技术是小通径套损井打通道的一项匹配技术, 是对小通径套损井打通道已有技术的补充。

1. 聚能喷射器研究

根据套损通径大小和通道形态, 研究了两种外部结构和内部装药结构不同的喷射器: 为切割套管打出大孔道要求, 设计了平底环形装药结构喷射器; 为扩径和穿深的要求, 设计了锥底自锻弹丸装药结构喷射器。两种喷射器互为补充, 可根据现场实际情况选择使用。

1) 平底环形装药喷射器

采用前后级装药结构, 前级装药形成金属射流, 射穿套管, 后级装药形成弹丸, 剪切套管间连接部分。后级装药延时起爆原则是: 弹丸抵达套管前, 金属射流穿孔已经形成。其结构如图 1-17, 弹体最大外径 $\phi 100\text{mm}$, 装药直径 $\phi 84\text{mm}$, 长度为 175.5mm, 弹体外壳是 45 号钢。这种结构可将弹体直接坐到下断口上, 且能施加 $30 \sim 50\text{kN}$ 压力。

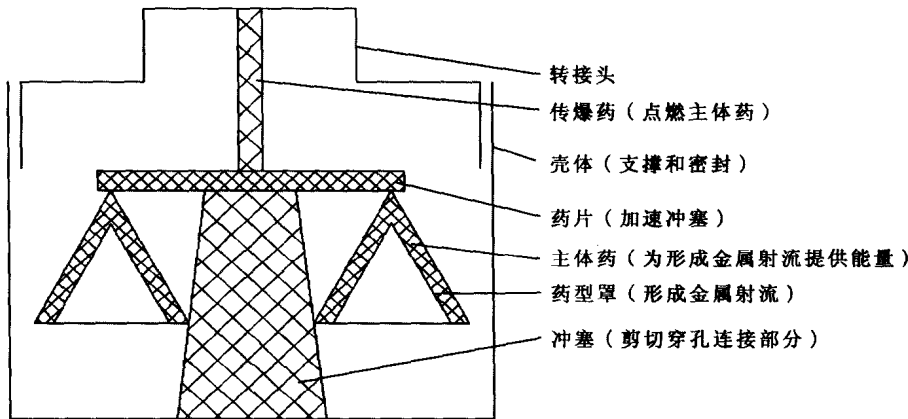


图 1-17 平底环形装药喷射器结构图

2) 大锥角自锻弹丸装药喷射器

自锻弹丸装药喷射器结构如图 1-18, 弹体最大外径 $\phi 85\text{mm}$, 装药直径 $\phi 60\text{mm}$, 底面直径 $\phi 30\text{mm}$, 弹体长 150mm , 这种锥形结构有利于喷射器引入到下断口内, 增强打通道效果; 弹壳采用预制破片结构, 防止堵塞通道。

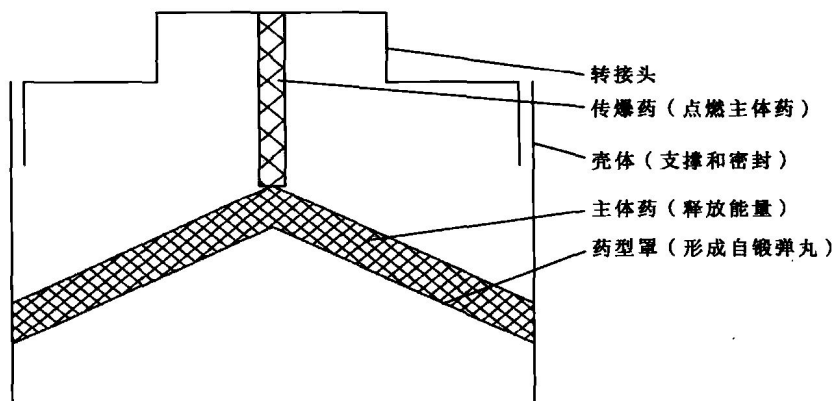


图 1-18 自锻弹丸装药喷射器结构图

2. 聚能喷射器炸药的选择和装药方式的确定

要提高药柱的聚能效应首先要提高炸药爆轰时的能量密度, 爆轰波能量密度 E 用下式表示:

$$E = \frac{1}{6} \rho_0 D^2$$

式中 ρ_0 ——炸药密度;

D ——炸药爆速。

从上式中可以看出, E 与 ρ_0 、 D^2 成正比, 其中 D 对 E 的增加作用更显著。所以炸药的选择首先考虑爆速, 其次考虑炸药密度; 为了满足安全和现场施工的需要, 炸药还应具有良好的耐热、耐压、抗水和低感度性能。所以主装药采用综合性能优异的 R_{852} 炸药, 该炸药是以黑索今 (RDX) 为主的混合炸药。为了提高装药密度, 装药方法采用压装法。

R_{852} 炸药性能指标为: 理论密度为 1.794g/cm^3 ; 实际装药密度为 1.72g/cm^3 ; 爆速为 8390m/s ; 耐温为 $130^\circ\text{C}/48\text{h}$, $180^\circ\text{C}/2\text{h}$; 耐压为 30MPa ; 冲击感度为 15% (10kg 、 25cm); 摩擦感度为 23% (90°C 、 3.92MPa)。

3. 弹体引爆和传爆技术

为使弹体与目标充分接触, 并对其施加 $30 \sim 50\text{kN}$ 钻压, 弹体选用硬管柱传送, 结合现场实际情况, 选用 $\phi 73\text{mm}$ 反扣钻杆或 $\phi 62\text{mm}$ 油管传送弹体。点火机构选用安全性能可靠、易于现场操作的投棒撞击式起爆结构。弹体结构及各点火总成见图 1-19。

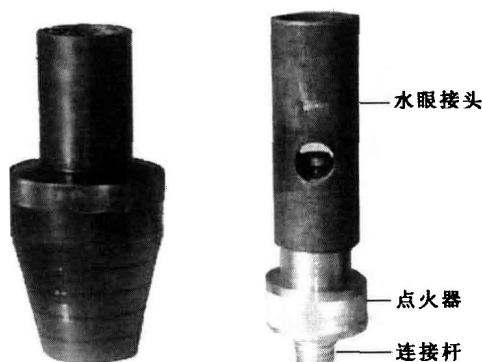


图 1-19 弹体结构及点火总成图