

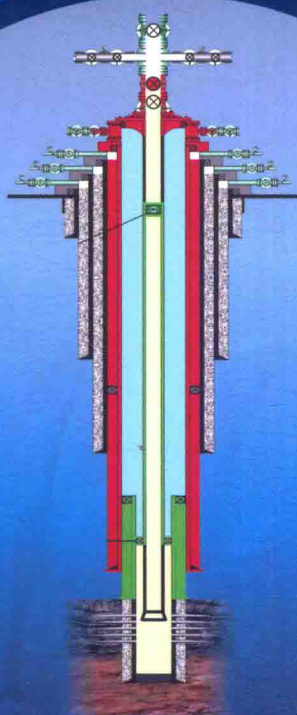


高温高压及高含硫井完整性规范丛书

高温高压及高含硫井 完整性设计准则

WELL INTEGRITY DESIGN
FOR HPHT & HIGH H_2S CONTENT

吴 奇 郑新权 张绍礼 杨向同 等 编著



非外借

石油工业出版社

高温高压及高含硫井完整性规范丛书

高温高压及高含硫井 完整性设计准则

吴 奇 郑新权 张绍礼 杨向同 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

井完整性是国际上针对高温高压及高含硫井管理的有限手段,是近几年全球油气工程技术研究的热点。本书是《高温高压及高含硫井完整性规范丛书》第二分册,详细阐述了高温高压及高含硫井钻井、试油、完井、生产到弃置的全生命周期内各阶段井完整性设计方法,是高温高压及高含硫井完整性设计的指导手册。

本书可供石油生产管理者、工程技术人员、科研工作者使用,也可供相关院校师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

高温高压及高含硫井完整性设计准则 / 吴奇等编著.

—北京:石油工业出版社,2017.9

(高温高压及高含硫井完整性规范丛书)

ISBN 978-7-5183-2087-5

I. ①高… II. ①吴… III. ①油气井—设计

IV. ①TE2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第223371号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号楼 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010) 64523710

图书营销中心:(010) 64523731 64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:13

字数:175千字

定价:120.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《高温高压及高含硫井完整性设计准则》

编写组

组 长：吴 奇

副 组 长：郑新权 张绍礼 杨向同 张福祥 陈 刚

主要编写人员：（以姓氏笔画排序）

丁亮亮	马 勇	马 琰	马辉运	王孝亮
毛蕴才	艾正青	龙 平	乔 雨	刘文红
刘洪涛	刘爱萍	刘祥康	齐奉中	李玉飞
李美平	李 勇	杨成新	杨炳秀	杨 健
吴 军	邱金平	张仲宏	林 凯	林盛旺
周 朗	周理志	查永进	段国斌	胥志雄
秦世勇	耿东士	董 仁	蒋光强	曾 努
谢俊峰	滕学清	魏风奇		

参与编写人员：（以姓氏笔画排序）

王 林	王 强	王 磊	卢亚锋	冯耀荣
吕栓录	朱金智	刘会峰	刘明球	刘 波
刘 勇	严永发	李川东	李元斌	李 宁
李军刚	李孝军	李 杰	李家学	吴云才
何轶果	何银达	何 毅	余朝毅	汪海阁
汪 瑶	张 帆	张 伟	张 果	张 峰
张 娟	张 震	陈力力	季晓红	周 波
周建平	郑有成	赵大鹏	胡锡辉	袁中涛
袁进平	耿海龙	夏连彬	徐冰清	高文祥
郭建华	唐克松	唐 庚	唐 睿	曹立虎
彭建云	彭建新	曾凡坤	曾有信	谢南星
雍兴伟	窦益华	黎丽丽		

丛书序

截至 2014 年底,中国石油在塔里木油田和西南油气田已投产高温高压及高含硫井 200 余口,其中油套管发生不同程度的窜通、泄漏等问题的井达 40 多口,严重影响了这些井的安全高效开发。目前国际上普遍采用全生命周期井完整性技术来解决高风险井的安全勘探、开发问题,井完整性是一项综合运用技术、操作和组织管理的解决方案来降低井在全生命周期内地层流体不可控泄漏风险的综合技术。井完整性贯穿于油气井方案设计、钻井、试油、完井、生产到弃置的全生命周期,核心是在各阶段都必须建立两道有效的井屏障,通过测试和监控等方式获取与井完整性相关的信息并进行集成和整合,对可能导致井失效的危害因素进行风险评估,有针对性地实施井完整性评价,制订合理的管理制度与防治技术措施,从而达到减少和预防油气井事故发生、经济合理地保障油气井安全运行的目的,并最终实现油气井安全生产的程序化、标准化和科学化的目标。

自 20 世纪 70 年代以来,挪威等国家相继开展了井完整性的系统研究,特别是在 1996 年挪威北海发生恶性井喷失控事故和 2004 年挪威 P-31A 井侧钻过程中发生地层压力泄漏后,井完整性开始真正引起业内重视,并且成立了挪威井完整性协会,颁布了全球第一个井完整性标准 NORSOK D-010《钻井及作业过程中井筒完整性》;2010 年,美国墨西哥湾海上发生震惊全球的 Macando 钻井平台漏油事故后,全球掀起了井完整性研究热潮,挪威、美国、英国等国均加快了井完整性研究的步伐,NORSOK D-010《钻井及作业过程中井筒完整性》(第四版)、《英国高温高压井井筒完整性指导意见》、《水力压裂井井完整性指导意见》、ISO/TS 16530-1《油气井完整性——全生命周期管理》、ISO/TS 16530-2《生产运行阶段的井完整性》等标准相继颁布并得到实施,有效地指导了相关油气井的安全勘探和开发。

目前国内缺少一套系统的井完整性技术标准,而标准化是井完整性技术有效实施和推广的关键,国外标准主要针对海上

油气井，对于中国石油高温高压及高含硫油气井，直接应用国外标准无法保证经济性和可实施性。鉴于此，中国石油勘探与生产分公司为加强高温高压及高含硫井从方案设计、钻井、试油、完井、生产到弃置全生命周期的各阶段和节点的井完整性管理，提高高温高压及高含硫井完整性管理水平，从源头上确保高温高压及高含硫井安全可控，2013年8月开始组织中国石油塔里木油田分公司、西南油气田分公司开展高温高压及高含硫井完整性规范的编制工作，分三年完成《高温高压及高含硫井完整性指南》《高温高压及高含硫井完整性设计准则》和《高温高压及高含硫井完整性管理规范》三部井完整性标准规范，并将其分三册作为丛书出版。

本丛书的作者均为中国石油井完整性领域的先行者，具有较高的理论水平和丰富的实践经验。丛书的面世为高温高压及高含硫井的设计、建井、试油、生产、检测和监控等各项主要工作或阶段提出最低要求和推荐做法，较详细地阐述了高温高压及高含硫井的钻井完整性设计、试油井完整性设计、完井投产井完整性设计和暂闭/弃置井完整性设计方法，对全生命周期内各阶段提出了井完整性管理原则和要求，是目前国内在高温高压及高含硫井井完整性方面编写的唯一标准体系，可有效指导国内油气能源行业现场操作。目前，井完整性标准系列在中国石油塔里木油田分公司和西南油气田分公司等单位开始初步推广应用，为高温高压及高含硫油气井设计、施工和管理提供了技术指导，有效保障了该类油气井全生命周期的井完整性。

本丛书充分借鉴了国际上井完整性的最新标准，结合中国石油在高温高压及高含硫井的实际情况和生产实践中的经验及行之有效的管理方法，涵盖内容全面，技术内容均经过了反复讨论和求证，准确度高。希望丛书能成为中国石油上游生产管理者、技术人员、科研人员必备工具书，在完善设计、安全作业、高效生产、工艺研究和培训教学中发挥重要作用。

吴奇

2017年8月21日

前 言

井完整性是一项综合运用技术、操作和组织管理的解决方案来降低井在全生命周期内地层流体不可控泄漏风险的综合技术，以达到减少和预防油气井事故发生，经济合理地保障油气井安全运行为目标。井完整性标准化是保证井完整性技术和管理有效实施的基础。《高温高压及高含硫井完整性设计准则》是《高温高压及高含硫井完整性规范丛书》的第二部，规范油气井全生命周期内的井完整性设计。

本书编写充分借鉴了国际上井完整性的最新标准，并结合中国石油在高温高压及高含硫井的实际情况和生产实践中的经验及行之有效的技术措施，经多次讨论修改，历时一年半完成。本书详细阐述了高温高压及高含硫井的钻井完整性设计、试油井完整性设计、完井投产井完整性设计和暂闭/弃置井完整性设计方法，包括设计基础、设计原则、设计基础资料获取、工艺设计、各阶段井屏障部件设计等内容，是高温高压及高含硫井完整性设计的指导手册。

本书包括5章内容，第1章由吴奇、杨向同、张福祥、张绍礼、邱金平、魏风奇、张仲宏、杨炳秀等编写；第2章由吴奇、毛蕴才、魏风奇、查永进、胥志雄、龙平、滕学清、杨成新、董仁、艾正青、马琰、蒋光强、耿东士、齐奉中、李勇、王孝亮、马勇、李美平、林凯、刘文红、刘爱萍等编写；第3章由郑新权、杨向同、张绍礼、邱金平、刘洪涛、乔雨、丁亮亮、秦世勇、周朗等编写；第4章由杨向同、张绍礼、邱金平、刘洪涛、曾努、乔雨、李玉飞、曾有信、刘祥康等编写；第5章由杨向同、张福祥、张绍礼、邱金平、丁亮亮完成编写。全书由张绍礼、杨向同统稿，吴奇、郑新权审定。

本书在编写与出版过程中，得到了中石油塔里木油田分公司、中石油西南油气田分公司、中国石油集团石油管工程技术

研究院、西安石油大学等相关单位和院校的大力支持和帮助，在此一并感谢。

鉴于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在错、漏、不当之处，恳切希望读者批评指正。

目 录

1	井完整性设计准则编制目的	1
1.1	井完整性设计的概念	1
1.2	井完整性设计技术现状	1
1.3	井完整性设计准则编制意义及内容	3
1.4	适用范围	4
2	钻井完整性设计	5
2.1	设计基础	5
2.2	设计原则	7
2.3	井屏障构成	8
2.4	资料分析	13
2.5	井身结构设计与井身质量要求	17
2.6	套管柱设计	22
2.7	钻井液	34
2.8	固井	38
2.9	井控设计	48
2.10	环境保护	56
2.11	实施与变更	56
3	试油井完整性设计	58
3.1	设计基础	58
3.2	设计原则	60
3.3	试油前的井屏障完整性评价	61
3.4	试油工艺设计	67
3.5	主要井屏障部件的设计、安装和测试	75
3.6	试油管柱校核	84
3.7	试油过程中的井完整性控制和监控要求	89
3.8	储层改造井完整性设计的特殊要求	93
3.9	高含硫井的特殊要求	95
3.10	各施工节点的完整性评价	95
4	完井投产井完整性设计	97
4.1	设计基础	97
4.2	设计原则	97
4.3	完井前的井完整性评价	98
4.4	完井工艺设计	99

4.5	主要井屏障部件的设计、安装和测试	103
4.6	完井管柱强度校核	110
4.7	完井过程中的井完整性控制和监控	114
5	暂闭 / 弃置井完整性设计	117
5.1	暂闭 / 弃置井作业前井屏障评价	117
5.2	暂闭 / 弃置井完整性设计	120
5.3	典型弃置井完整性设计要求	123
5.4	暂闭 / 弃置井井屏障测试	128
5.5	暂闭 / 弃置井完整性控制和监控	133
附录 A	防气窜评价方法 (资料性附录)	135
附录 B	负压验窜方法 (资料性附录)	139
附录 C	典型高压气井试油过程中的井屏障示意图绘制示例 (资料性附录)	141
附录 D	试油 管柱力学校核报告 (资料性附录)	150
附录 E	环空压力控制范围计算方法 (资料性附录)	154
附录 F	试油现场作业要求 (资料性附录)	160
附录 G	试油作业期间各施工节点的完整性评价 (资料性附录)	164
附录 H	典型高压气井完井投产过程中的井屏障示意图绘制示例 (资料性附录)	174
附录 I	完井管柱力学校核报告 (资料性附录)	181
附录 J	完井作业完整性要求 (资料性附录)	185
附录 K	高压气井完井投产各施工节点的完整性评价 (资料性附录)	188
附录 L	编写《高温高压高含硫井完整性设计准则》所参考的标准及 文件资料	194



1 井完整性设计准则编制目的

1.1 井完整性设计的概念

目前国际上广泛接受的井完整性概念是综合运用技术、操作和组织管理的解决方案来降低井在全生命周期内地层流体不可控泄漏的风险。井完整性贯穿于油气井方案设计、钻井、试油、完井、生产到弃置的全生命周期，核心是在各阶段都必须建立两道有效的井屏障。井喷或严重泄漏都是由于井屏障失效导致的重大井完整性破坏事件。

井完整性设计是指在钻井、试油、完井投产和弃置阶段，通过开展作业前完整性评价、井屏障部件优化设计，制定井屏障部件的测试和监控方法、作业过程中各工序的井完整性控制和监控要求及各施工节点的井完整性评价方法等，建立合格、有效的井屏障，保障全生命周期内的钻井、试油、完井、弃置等不同阶段井的完整性。

1.2 井完整性设计技术现状

1.2.1 国外井完整性设计现状

目前越来越多的超深高温高压及高含硫油气井投入开发，钻井、试油、完井等作业复杂程度也不断增加，井筒失效事件越来越多，国外相关权威机构对井完整性失效事件做了大量调查研究。石油技术发达国家、国际上一些行业协会和标准化组织都相继制定、完善和发布了井完整性设计相关的推荐做法、指南、标准和法规。

2004年，挪威国家石油公司 Snorre A 平台井喷事故后，NORSOK D-010 发布了第三版，提出了井屏障设计理念，各个油公司和作业者开始重视和使用该标准。2010年，墨西哥湾 Macando 井喷事故后，NORSOK D-010 吸纳了行业对该事故提出的 450 条建议，修订发布了第四版，该标准被世界石油公司普遍采用，并作为井完整性设计的指导原则。英国能

源协会在 2009 年发布了《高温高压井设计》，英国油气协会 (Oil & Gas UK) 在 2012 年发布了《暂停井和废弃井指导手册》，API 在 2013 年发布了《API17TR8 高温高压设计准则》，2015 年发布了《API RP 100-1 水力压裂井完整性和裂缝控制》。挪威的石油工业管理法规、石油设备设计和配置法规都提出了井屏障的设计和监控要求，英国的海上油田装置安全案例法规、井的设计和建造法规等都涉及井完整性相关的要求。目前国际上还有一些与井完整性设计相关的标准正在修订和制定中。

1.2.2 国内井完整性设计现状

2007 年 7 月，针对罗家 2 井地面冒气及其对周围居民安全的影响，在国家安监总局的组织下，西南石油大学借鉴国际上井完整性相关的规范和标准，引入井完整性设计、管理理念，开展含 H_2S 气田的井完整性及安全研究。

塔里木油田针对库车山前高压气井面临的众多挑战，以借鉴国外先进的井完整性设计理念为基础，持续开展了井完整性设计研究。(1) 2005—2008 年，针对克拉 2 和迪那 2 气田多口高压气井环空异常高压问题，引入井完整性的概念，开展问题井风险评估工作，采用 API RP 90 标准进行各环空最大允许带压值计算，并制定治理措施；(2) 2009—2011 年，针对迪那 2 气田多口井出现完整性问题，在进行广泛的井完整性国际调研的基础上，开展了全油田井完整性现状大调查，引用井完整性设计理念制定了相应的措施，保证了迪那 2 气田的安全高效开发；(3) 2012—2016 年，针对大北、克深区块大规模建产后井完整性面临的新挑战，探索了一套以井屏障设计、测试和监控为基础井完整性设计技术。

西南油气田也非常重视井完整性设计相关工作。2008 年依托龙岗气田开展了一系列相关研究工作，并形成了一套“三高”气井完整性评价技术；2013—2016 年高效完成龙王庙气藏的试油、完井及开发建产工作；期间不断配套和完善了井完整

性评价所需的各种设备和工具。2014 年发布 Q/SY XN 0428—2014《高温高压高酸性气井完整性评价技术规范》企业标准，2015 年“西南油气田井完整性管理系统”正式上线运行。

同时，大庆油田、吉林油田等结合自身油气田的特点，开展了相关的井完整性研究，并取得了一定的效果。

中国石油勘探与生产分公司结合相关油气田在高温高压及高含硫井完整性方面的技术需求和具体做法，于 2013 年 8 月提出在三年内完成《高温高压及高含硫井完整性指南》《高温高压及高含硫井完整性设计准则》《高温高压及高含硫井完整性管理》等井完整性技术规范。2015 年 6 月已完成《高温高压及高含硫井完整性指南》并下发执行，2016 年 5 月完成《高温高压及高含硫井完整性设计准则》，并开始了《高温高压及高含硫井完整性管理》的编制工作。

1.3 井完整性设计准则编制意义及内容

高温高压及高含硫井完整性问题是一个国际性难题，国际上各油公司、各大研究机构和服务公司都在致力于解决这一问题，挪威、英国等国家形成了系统的井完整性技术和配套标准。目前中国石油井完整性方面的技术要求和标准分散而且不全面，为提高高温高压及高含硫井完整性整体水平，从源头上确保高温高压及高含硫井安全可控，急需制定覆盖方案设计、钻井、试油、完井投产和弃置全过程的井完整性设计指导文件，用来规范和指导高温高压及高含硫井的钻井、试油、完井投产和弃置井完整性设计。井完整性设计准则从钻井、试油、完井投产到弃置等各阶段出发，从设计基本原则入手，首先，针对各阶段开始时的井况开展地层、井筒、井口三部分各井屏障部件完整性评价，作为后续设计和施工的基础；其次，开展各阶段设计，包括工艺选择与优化、井屏障部件选择、施工过程中的井屏障示意图绘制等内容，确定整体施工工艺、主要井屏障部件及相关要求；第三，通过开展所有的井屏障部件的适应性评价、强度校核等，完成相关井屏障部件的设计，并在此基础

上制定主要井屏障部件的安装、测试和监控要求；第四，针对各作业工况特点，制定作业过程中的井完整性控制要求以及特殊井完整性设计要求。最后，通过对各井屏障部件进行科学的设计、严格的验证测试和有效的监控，及时了解井屏障部件状态，采取相应措施，确保各井屏障部件在整个作业期间及后续作业、生产、直至弃置全过程安全可靠。本设计准则的编制充分借鉴国际上井完整性的最新标准，结合中国石油在高温高压及高含硫井的具体实践，为高温高压及高含硫井的设计提出具体的规范、要求和推荐做法。

1.4 适用范围

本设计准则规定了高温高压及高含硫井从钻井、试油、完井到弃置全过程中关于井完整性设计的基本要求和推荐做法，暂不包含修井作业过程的井完整性设计。

本设计准则适用于高温高压及高含硫井的完整性设计，同时满足以下定义中任意两个条件的井应遵循本设计准则的要求：

- (1) 储层孔隙流体压力不小于 70MPa。
- (2) 储层温度不小于 150℃。
- (3) 储层 H_2S 含量不小于 30g/m^3 。
- (4) 试油预测产气量或生产定产产气量大于 $20 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。

其他高温井、高压井、高产井、高含硫井应根据地质和工艺等条件分析论证是否参照执行本设计准则。



2 钻井完整性设计

钻井设计是钻井作业必须遵循的准则，是组织钻井生产和技术协作的基础。钻井设计的规范性、针对性、适用性关系到井全生命周期的完整性。依据《高温高压及高含硫井完整性指南》，在详细分析地质和工程资料、做好风险评估的基础上，开展高温高压及高含硫井钻井优化设计，重点做好井身结构、井控、钻井液、套管柱、固井等设计工作。从设计、准备、施工、检验等环节对井屏障部件严格把关，建立安全可靠的井屏障，确保各井屏障部件在钻井阶段及后期试油完井至油气井生产过程中的安全可靠。

2.1 设计基础

2.1.1 设计依据

高温高压及高含硫井钻井设计主要依据《钻井地质设计》《高温高压及高含硫井完整性指南》《探井钻井设计编制规范》和《开发井钻井设计编制规范》。

2.1.2 设计主要参考标准

下列文件为钻井阶段完整性设计的参考标准、规范资料，凡不注明日期的引用文件，参考其最新版本。

GB/T 5005 《钻井液材料规范》

GB/T 10238 《油井水泥》

GB/T 16782 《油基钻井液现场测试程序》

GB/T 16783.1 《水基钻井液现场测试程序》

GB/T 19139 《油井水泥试验方法》

GB/T 19830 《石油天然气工业 油气井套管或油管用钢管》

GB/T 20656 《石油天然气工业 新套管、油管和平端钻杆现场检验》

GB/T 20657 《石油天然气工业 套管、油管、钻杆和用作套管或油管的管线管性能公式及计算》

GB/T 20972.1 《石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第1部分：选择抗裂纹材料的一般原则》

GB/T 20972.2 《石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第1部分：抗开裂碳钢、低合金钢和铸铁》

GB/T 20972.3 《石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第1部分：抗开裂耐蚀合金和其他合金》

GB/T 22513 《石油天然气工业 钻井和采油设备井口装置和采油树》

GB/T 23512 《石油天然气工业 套管、油管、管线管和钻柱构件用螺纹脂的评价与试验》

GB/T 31033 《石油天然气钻井井控技术规范》

SY/T 5053.2 《钻井井口控制设备及分流设备控制系统规范》

SY/T 5087 《含硫化氢油气井安全钻井推荐作法》

SY/T 5088 《钻井井身质量控制规范》

SY/T 5374.1 《固井作业规程 第1部分：常规固井》

SY/T 5374.2 《固井作业规程 第2部分：特殊固井》

SY/T 5412 《下套管作业规程》

SY/T 5431 《井身结构设计方法》

SY/T 5435 《定向井轨道设计与轨迹计算》

SY/T 5467 《套管柱试压规范》

SY/T 5480 《固井设计规范》

SY/T 5623 《地层压力预（监）测方法》

SY/T 5724 《套管柱结构与强度设计》

SY/T 5731 《套管柱井口悬挂载荷计算方法》

SY/T 5792 《侧钻井施工作业及完井工艺要求》

SY/T 5964 《钻井井控装置组合配套、安装调试与维护》

SY/T 6160 《防喷器的检查和维修》

SY/T 6268 《套管和油管选用推荐作法》

SY/T 6332 《定向井轨迹控制》