含硫气井的井筒完整性设计方法

张智¹ 周延军² 付建红¹ 陈明² 李文飞² 施太和¹

1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学 2.中石化胜利石油管理局钻井工艺研究院

张智等.含硫气井的井筒完整性设计方法.天然气工业,2010,30(3):67-69.

摘要 针对 API/ISO 或 GB/SY 标准设计的油管、套管不能完全保证在服役过程中完整性的现状,参考挪威石油工业协会 NORSOK D-010 标准,研究了“井筒完整性设计”的理念和设计方法,提出了井下作业的井筒完整性管理方法,防止井下作业工具对套管可能产生的潜在损伤。从 API 圆螺纹和偏梯形螺纹的使用限制、金属接触气密封螺纹的选用方法、井下组件潜在的电偶腐蚀和缝隙腐蚀等角度,研究了降低螺纹连接部位被腐蚀、泄漏或断裂的措施,尽可能保持井筒物理上和功能上的完整性,使井筒始终处于受控状态。建议在井筒完整性设计过程中,重视螺纹的合理选用以及正确操作、井下组件的电偶腐蚀,以降低密封失效的风险。

关键词 气井 高含硫化氢 高产 井筒 完整性 设计 螺纹选用

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.03.017

0 引言

挪威石油工业协会 NORSOK D-010 标准将井筒完整性定义为:采用有效的技术、管理手段来降低开采风险,保证油气井在成功废弃前的整个开采期间的安全。井筒完整性设计主要包括以下内涵:①井筒应保持物理上和功能上的完整性。所谓“物理上”是指无泄漏、无变形、无材料性能退化、无壁厚减薄,“功能上”是指适应开采或井下作业的腐蚀环境、压力及操作。②井筒油管、套管及安全装置始终处于受控状态,可预测不同使用期间能承受的极限载荷和极限服役环境,操作者应控制施工参数在极限条件之内;当不可控制的因素可能导致井筒的某一关键节点失效,可能危及环境与公众安全时应及时补救或有能力安全地封井废弃井眼。③建立一体化的技术档案及信息收集、交接或传递管理体制。许多套管失效是操作者不知道套管或井下结构的技术数据,井下作业损伤套管或使已损伤的套管演变成事故。④建立具有针对性的失效分析、风险分析机制,将油管、套管、各层环空的完整性管

理和设计建立在失效分析、风险分析的基础上。由于井筒完整性设计涉及的外载、套管、水泥环损伤或材料性能退化等很难准确定量计算,因此,设计或服役条件要用到风险分析方法^[1-3]。

1 井筒完整性设计涉及的基本内容

1.1 井下管柱及配件完整性设计

主要包括:①管柱力学设计,参考 ISO10400、API 5C3、Alberta Recommended Practices Directive 010、SYT 5322-2000、NORSOK STANDARD D-010 Rev. 3 等标准,开展高含硫环境中管柱力学设计、以 NACE TM 0177—1996 的 Nace D 法实验为基础的材料临界环境断裂韧性设计和管柱变形分析;②高含硫环境的合理选材,参考 NACE MR 0175/ISO 15156、SY 6268—1996 等标准;③井下高温高压强腐蚀环空中橡胶筒长期耐蚀性和密封性设计。

1.2 采气井口系统完整性设计

主要包括:①采气井口型号的合理选择,参考 ANSI/API 6A、SYT 5127—2002 等标准;②闸阀的合

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:50904050)、国家科技重大专项(编号:2008ZX05017)和国家科技支撑计划(编号:2008BAB37B00)。

作者简介:张智,1976年生,副教授,SPE会员;2005年毕业于原西南石油学院,获博士学位;主要从事石油工程教学和研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油大学石油工程学院。电话:13981828569。E-mail:wiszez@139.com

理选择,参考 API 6FC/6FA 抗火试验标准;③地面控制系统的合理选择,参考 API I4C RPC 标准;④密封材料的合理选择,参考 API 6FB 标准^[4-5]。

1.3 套管头完整性设计

主要包括:①材料选用:参考 NACE MR0175/ISO 15156、SY6137—2004 标准;②镍基合金的断裂行为设计;③密封方式选择;④防止组件间的电偶腐蚀控制措施,参考 ISO15156 标准。

1.4 井下作业完整性设计

主要包括:①试压、清管和置换:参考 SY 0466、SY 0402、SY 5225 标准;②移开采气井口或防喷器的安全规定;③环空带压管理 API RP 90,环空带压的诊断与排除是井筒完整性设计的重要内容;④提高固井质量的完整性设计:水泥浆体系及性能要求,测井手段,井下作业及其对水泥环的影响。

1.5 油气井资料的交接和保存

油气井钻井、完井和后期作业资料必须将相关文件移交给业主,并且由井筒完整性设计部门保管。任何重大的作业都应该清楚地记录在案,移交的资料主要包括:①钻井井史、完井资料,重点记录入井管串的结构、型号等资料;②作业过程中的复杂情况;③修井作业资料;④油气井开采资料;⑤实时监测系统和井筒保护措施资料;⑥油气井信息资源共享。

2 井下作业的井筒完整性设计

1)井下作业者应清楚井下的管串结构、材料、强度等原始数据,评估内外壁腐蚀状况及有可能的缺陷,制订合适的施工压力限制条件。

2)任何井下作业工具均应考虑避免对套管产生的潜在损伤,如划痕、磨损、撞击。任何下井工具均不应有锐利的外缘,以避免划伤套管。

3)应清楚内径变化处的深度及各附件所处的深度、井下工具经过内径变化处或附件深度处,应缓慢起下,避免快速起下撞击或划伤附件或作业管柱。

4)井下作业中,如果发现起下管柱有阻卡,应考虑采用较小直径的工具。对含硫套管或井下附件应避免刮、胀、修、磨。应考虑井下作业有可能损伤套管或降低套管在硫化氢环境中的使用性能。

5)如果遇到不可避免的需要胀管、修管,应报上级主管部门审批,上级部门应根据井下情况以及环境断裂力学相关理论确定合适的作业措施。

6)不推荐采用作业管作为长期服役的油管使用。

作业管螺纹应采用符合要求的螺纹脂,并且上扣扭矩和旋转圈数应符合 ISO 11960 的规定。应注意仅按上扣扭矩为标准的操作措施已被 ISO 11960/API 5CT 废弃。

7)作业管的非正常操作有可能造成管柱断或脱扣,延长井口敞开时间,应考虑由此可能导致的溢流和井喷风险。

8)应根据作业管、套管的实际状况,考虑合适的作业载荷、最高压力、环空允许压力。井下作业(如酸化压裂、安放封隔器)时,应进行强度与变形评估。

9)若下永久式封隔器,应考虑井下作业、环空压力变化等对封隔器密封性的影响,多次井下作业可能导致永久式封隔器失效。

3 螺纹的选用和操作

1)在含硫化氢、二氧化碳和地层水含量高的油套管柱中,螺纹连接是首先被腐蚀、泄漏或断裂的部位,优选螺纹和合理使用可显著提高密封完整性。

2)API 圆螺纹和偏梯形螺纹使用限制。在含硫化氢、二氧化碳和地层水含量高的井中,油管、生产套管、尾管不宜选用 API 圆螺纹和偏梯形螺纹连接。当流体通过油管柱接箍中部时,API 圆螺纹和偏梯形螺纹连接处截面变化,即截面的突然放大和突然缩小,流体流速及流场将发生变化。在该区域产生流动诱导冲刷,应力腐蚀、缝隙腐蚀,电偶腐蚀。API 偏梯形螺纹连接密封压力低于 API 圆螺纹,只可用于内压力不大的表层或技术套管。在硫化氢酸性环境中,API 标准圆螺纹接箍承受较大的周向张应力、或局部应力集中过大,可能导致纵向开裂。API 圆螺纹的外螺纹最末完全扣处存在较大的应力集中,如果油管环空暴露于腐蚀介质中,该点将成为应力腐蚀、缝隙腐蚀,电偶腐蚀敏感点,导致穿孔或断裂。

3)金属接触气密封螺纹选用。含硫化氢、二氧化碳气井中的油管、生产套管、尾管应选用金属接触气密封螺纹。在各型金属接触气密封螺纹中,推荐优先选用满足下述要求的螺纹和密封结构:①接箍和外螺纹应力分布合理,尽可能降低应力水平;②螺纹旋进阶段,扭矩应缓慢上升,且扭矩值不应过大。应能区分正常旋扣扭矩和粘扣扭矩;③密封面接触和扭矩台阶接触后扭矩应有“直角上升”趋势;④外螺纹前端应有合适厚度,紧扣产生的径向应力不应使外螺纹前端缩径;⑤金属接触气密封面接触应力适当,接触面无粘连损

伤,接触面粘连损伤可能引起密封失效。

4)现场使用要求。现场使用需要注意:①操作不当是螺纹失效的主要原因,许多螺纹失效(粘扣、丧失密封、断扣/脱扣)发生在现场上扣端;②上扣扭矩、圈数、转速应符合 ISO 11960/API5CT 标准或厂家推荐值,油管和生产套管均应有上扣扭矩、圈数记录,应采用无咬伤型动力钳上卸扣,避免钳牙咬伤处应力腐蚀和电偶腐蚀;③应采用符合 API 6A3 标准的改性螺纹脂。螺纹脂不应含有二硫化钼润滑剂,并能抵抗硫化氢的腐蚀。

4 井下组件的电偶腐蚀控制

在土壤、大气和硫化氢、二氧化碳等井下介质中的异种金属接触都会有电位腐蚀和缝隙腐蚀,如不锈钢或镍基合金与碳钢或低合金钢接触,钢管与管架接触等。镍基合金可能的电偶腐蚀风险有:①电偶腐蚀和电偶诱发的氢应力开裂(GHSC),前者损伤低碳合金钢,后者损伤镍基合金;②合金件的冶金和制造缺陷,合金中晶间析出针状 δ 相影响构件的力学性能,严重时产生瞬间断裂。

合金材料与低合金钢(例如 C110)接触、井口处低合金钢 C110 与镍基合金管 718(套管头心管)接触,在接触界面处存在两类腐蚀机理:①对低合金钢 SM-C110、输送管中的碳钢,以电偶腐蚀为主,此外还存在缝隙腐蚀和应力腐蚀。碳钢或低合金钢管先期腐蚀穿孔或断裂。电偶腐蚀是指两种具有不同电位能级的材料在与周围环境介质构成回路的同时,也构成了电偶对。由于腐蚀电位不相等有电偶电流流动,使电位较低金属溶解速度增加,而电位较高的金属,溶解速度反而减少的现象称为电偶腐蚀。造成电偶腐蚀的原因是:两种材料之间存在着较大的电位差,存在的电解质溶液构成电子和离子的导体,由此形成了腐蚀原电

池。②对镍基合金(如 G3 或 718),可能产生电偶诱发的氢应力开裂(GHSC)。不锈钢或合金与碳钢或低合金钢连接时,受电偶激发,不锈钢或合金中的组织缺陷聚集氢、变脆和断裂。

5 结论

1)按照 API/ISO 或 GB/SY 标准设计的油管、套管不能完全保证在服役过程中的完整性,需要参考“井眼完整性设计”的理念和设计方法,保持井筒物理上和功能上的完整性,使井眼始终处于受控状态。

2)井下作业极易破坏井筒的完整性,在井下作业过程中,需要评估井下管串内外壁腐蚀状况及可能的缺陷,制订合适的施工压力限制条件,避免对井下管串产生的潜在损伤。

3)建议在井筒完整性设计过程中,重视螺纹的合理选用以及正确的操作、井下组件的电偶腐蚀,以降低密封失效的风险。

参 考 文 献

- [1] Standards Norway . Well integrity in drilling and well operations[R].Norway :OLF and TBL ,2004 .
- [2] API Bull 5C3 . Bulletin on formulas and calculations for casing , tubing , drill pipe , and line pipe properties [S] . 1994 .
- [3] ISO .ISO 15156-2 petroleum and natural gas industries - materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production - part 2 :Cracking-resistant carbon and low alloy steels , and the use of cast irons-1st edition[S] .2003 .
- [4] 张智,付建红,施太和,等.恶劣环境气井井下油管的相变诱导腐蚀[J].天然气工业,2007,27(10):70-72 .
- [5] 王树平,李治平,陈平,等.高温油气引发套管附加荷载预防模型[J].天然气工业,2007,27(9):67-71 .

(收稿日期 2009-10-28 编辑 钟水清)