

陇东地区油田套管腐蚀破损与洛河组沉积相的关系研究

张凤奎¹ 张 林^{1,2} 周志平³ 蒋志辉³ 樊红旗³ 张忠义⁴

(1.西北大学地质学系,陕西 西安 710069;2.长庆工程技术研究院,陕西 西安 710021;
3.长庆油田采油二厂,甘肃 庆阳 745100;4.长庆油田勘探开发研究院,陕西 西安 710021)

摘要:鄂尔多斯盆地陇东油田套管腐蚀破损严重地影响着油田生产,白垩系洛河组的 Na_2SO_4 型地层水与套管之间的电学、生物化学反应是主要原因。笔者研究发现全盆稳定分布的洛河组沙漠相砂体具有均质性、渗透性强的特点,为地下水的补给、径流和排泄提供了良好的通道和空间,形成的强渗流场加速了套管腐蚀破损速度,并通过分析证实本地区仅依靠提高固井质量来防止套管腐蚀破损是不够的,必须通过新材料、新技术、新工艺的突破性大量应用才能解决这一难题。

关键词:套管腐蚀破损;沙漠相;洛河组;渗流场

中图分类号:TE252⁺.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0450-05

鄂尔多斯盆地陇东地区从 20 世纪 70 年代初勘探以来,已相继开发了马岭、城壕、华池、元城、樊家川、上里塬、庆阳等主要油田和井组,是长庆油田的重要原油生产基地。伴随油田生产建设的发展,套管腐蚀破损问题越来越严重。自该区 1973 年 7 月在马岭油田首次发现下白垩统洛河层套管腐蚀损坏现象以来,区内各油田区块相继都发现了套管被腐蚀损坏现象,且套损井的数量逐年增加,已严重地影响着陇东地区的原油生产^[1]。笔者从宏观到微观机理出发,结合沉积相研究,找到了该区套管破损的主要原因,为该问题的合理解决指明了方向。

1 陇东地区套管破损特点

陇东地区套管破损后,采油井在生产过程中出现暴性水淹、水型改变,矿化度大幅度下降,产液量和动液面升高。一般情况下,油井在几天或十几天时间内,含水率突然上升至 90%~100%,水型由 CaCl_2 、 MgCl_2 型转变为 Na_2SO_4 型,总矿化度由 80 g/l 左右下降为 10 g/l 左右或更低,动液面由 800~1100 m 上升至井口。注水井套破后表现为油套压骤降,注水量猛升。一般情况下油套压由 15 MPa 左右降为 0 MPa,注水量则由几十 m^3/d 猛增至一百多 m^3/d 。

陇东地区套管破损形态为大面积均匀腐蚀和局部穿孔,套管内径基本未变、表面光滑、外径普遍减少 6 mm,最薄处仅 0.6 mm,穿孔最密处为每根套管 51 个,最大孔径为 287×86 mm,且以外腐蚀为主。套损井的寿命一般为 10 年左右^[1]。

纵向上套管在各层、组均有腐蚀破损现象,但其破损层位相对集中在下白垩统洛河组。在 79 口封隔器找破损段的井中,洛河段破损井为 69 口,占 87.13%,其次为下白垩统华池环河组,其他井段套管破损少见。

陇东油田在勘探、开发之初,由于对洛河层水腐蚀套管的严重性认识不足,因而在封固生产套管时,未将洛河层水进行封固。随着时间的推移,油田套损井的逐年增加,特别是 1978 年初拔出岭 1 井损坏套管后,才对洛河层水腐蚀套管这一严重问题有了明确的认识。1978 年以前固井主要是以封固油层为目标,从 1978 年开始至 1993 年,力求封固好洛河层及以上水层,随着固井工艺措施的逐步加强和完善,水泥返高的上提、固井质量的改善,使套损率有了明显的降低。但从 1994 年以后,通过洛河层的工程测井、磁测井^[2]发现,洛河段无论其固井质量优劣与否,均存在套管腐蚀现象,尤以固井质量差的井套管腐蚀程度严重。这说明固井可以延缓套管腐蚀进度,但不能彻底解决这一问题。随着时间延伸,套管腐蚀

收稿日期:2007-05-16;改回日期:2007-05-29

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214600)资助。

作者简介:张凤奎,男,1963 年生,博士生,高级工程师,长期从事采油技术工作;E-Mail:cnpcqzhl@163.com。

寿命的竭尽,洛河组套管破损现象又变得逐渐严重起来(图 1),严重影响着油田生产。

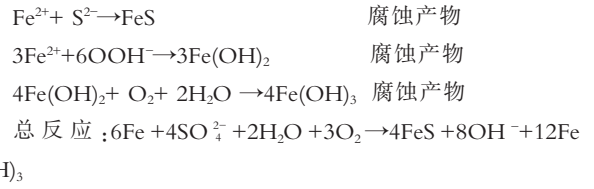
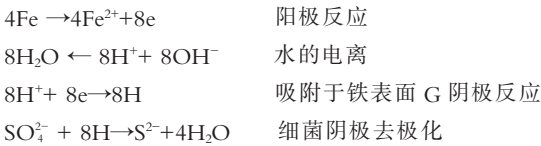
2 陇东地区套管腐蚀破损机理研究

由于陇东地区套管腐蚀破损这一问题的长期性与复杂性,科研和工程技术人员已经在多方面做了大量的研究工作,但普遍局限于井筒附近的就事论事。为了继续深入下去,必须从微观到宏观、从井筒到地层背景来进行综合分析。

2.1 套管腐蚀破损与地层水的关系

大量事实及生产实践表明,陇东地区套管的破损主要是由于洛河水的腐蚀作用造成的。由于受上覆沉积物和地层水运动规律的影响^[3,4],相对于其他地区以 HCO₃-2Ca 型为主,陇东地区洛河组地层水为 Na₂SO₄ 型。该区地层水总矿化度平均为 2.24 g/l,其中 SO₄²⁻、Cl⁻、HCO₃⁻以及 CO₂的矿化度较高,地层水呈弱酸性(表 1)。

通过研究,陇东地区洛河水中的二氧化碳、硫酸盐还原菌以及缝隙腐蚀作用(套管连接处以及套管在运输装卸和下井过程中碰撞造成的缝隙)对套管腐蚀破损起了主要作用,是一组完整的电化学、生物化学反应过程^①。其中硫酸盐还原菌对套管的腐蚀过程如下:



陇东地区下白垩统主要沉积有环河—华池组和洛河组^[3-5],经水文地质研究发现,环河—华池组和洛河组地层水水质相近^[4],并且环河—华池组地层矿化度稍大于洛河组,局部可高达 11g/l,为什么在洛河组套管腐蚀破损最严重呢?这需要从地层水的活跃性即渗流特性来进行研究。

2.2 套管腐蚀破损与洛河组沉积相的关系

陇东地区环河—华池组主要沉积为滨浅湖、河流和三角洲相的砂泥岩;而洛河组时期气候炎热干旱,沉积了一套沙漠相成因的紫红色巨厚层状、块状粗—中粒长石砂岩和长石石英砂岩夹薄层泥岩,厚度一般为 100~400 m。粒度概率曲线以跳跃和悬浮段为主(图 2),发育巨型交错层理和板状层理,沙粒表面毛玻璃化,并覆以铁、锰质薄膜,具有典型的沙漠相特征。陇东地区洛河组沉积剖面微相划分见图 3。

由于沙漠风成沉积具有分选好、砂岩颗粒均匀、杂基稀少、砂质洁净的特点,加之胶结作用不强,造成砂岩结构疏松、孔隙度大(18.74%~25.22%),渗透率高(256.9×10³~398.74×10³ μm²),使得洛河组砂岩含水丰富,透水性强,地层承压能力低。在钻井过程中容易发生严重泥浆漏失,往往需要采用锯末、麦糠、膨润土粉末等堵漏方能凑效,在固井过程

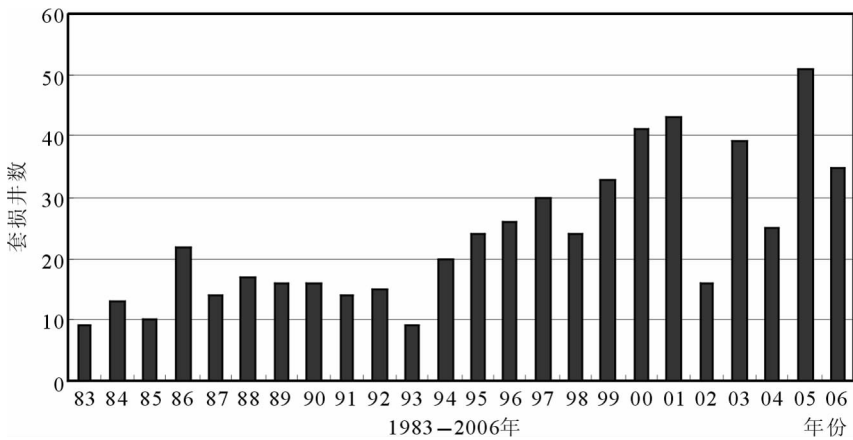


图 1 陇东地区逐年套损井数统计图

Fig.1 Statistics of wells with damaged casing in the Longdong area in the years

表 1 陇东地区地层水水质化学成分 (mg/l)

Table 1 Chemical analysis of the water quality of formation water in the Longdong area (mg/l)										
pH 值	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Fe ³⁺	Fe ²⁺	O ₂	CO ₂
6.7	663	44	18	326	884	301	0.24	0.12	0.52	2.08

①张凤奎. 陇东地区油田油水井套管破损特点及机理分析, 1997.

中也容易发生水泥浆漏失^①。另外,沙漠相砂体具有连片分布和均质性强的特点(洛河组砂岩在全盆分布稳定,可作为标志层进行地层对比^[3,4]),为地层水的活动提供了良好的通道和空间,有利于地下水的径流和循环。

从钻井、固井过程中的工作液漏失说明,陇东地区洛河组排泄渠道畅通,而套管破损后大量出水现象表明洛河组地层水供应充足。鄂尔多斯盆地很多地区洛河组地层水成了重

要的生活与工业用水,冯建国等^[7]在延安城市供水二期工程水源地选区研究发现,下白垩统洛河组地层水在永宁—桥镇地段的断面流量为 468.14 m³/d, 顺宁—寺台地段为 8517.87 m³/d, 砖窑湾—新峡峁、西河口—石马科水库地段为 8517.87 m³/d,总的来看都反映了洛河组地层水从补给区—径流区—排泄区运行顺畅、渗流强度大、流速梯度、压力梯度小的特点。可以断定,活跃的地层水是陇东地区洛河组套管腐蚀破

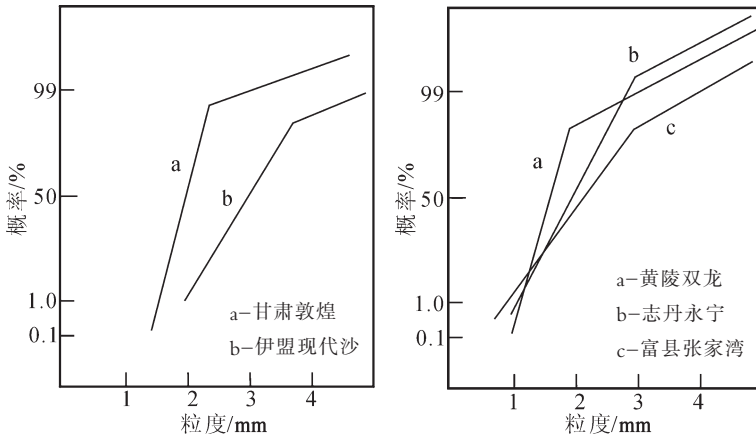


图 2 现代风成砂与洛河组砂岩粒度概率曲线比较图^②

Fig.2 Comparison of grain-size probability curves between sandstone of the Luohe Formation and modern eolian sands

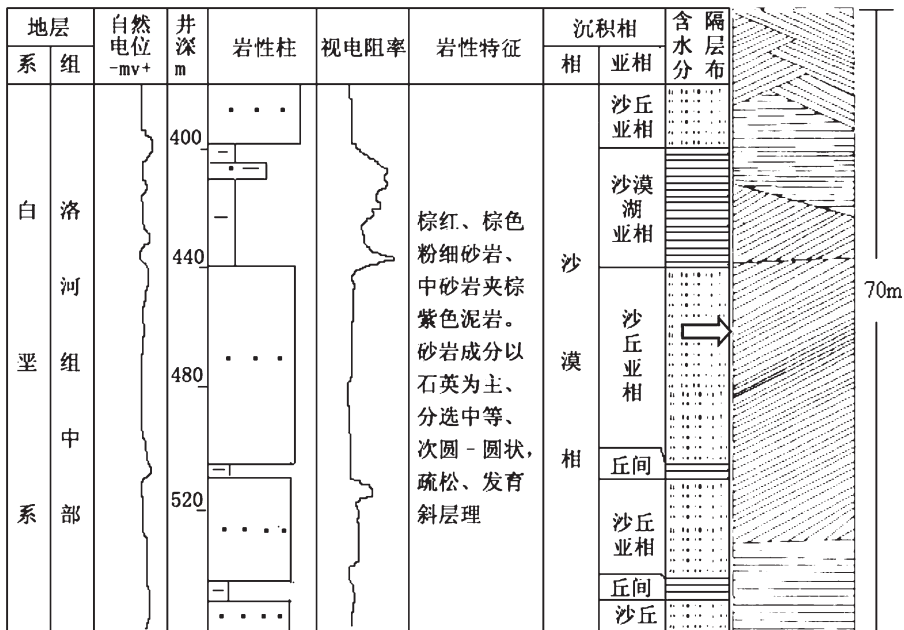


图 3 洛河组沉积相及层理特征图^②

Fig.3 Sedimentary facies and stratification characteristics of the Luohe Formation

① 中国石油网科技版. 庆阳地区钻井液技术, 2003.

② 张忠义. 鄂尔多斯盆地洛河组—华池环河组沉积特征研究, 2005.

损严重的另一主要原因。

2.3 陇东地区套管腐蚀破损的机理

综上所述,陇东地区套管腐蚀破损严重的主要原因在于地层水水质的腐蚀性和地层水渗流的活跃性,假如将洛河组地层水的渗流场比为洪泛漫流的话,油井套管就是这漫流场中的孤岛。洛河组 Na_2SO_4 型地层水对套管造成了腐蚀,活动的地层渗流水将腐蚀产物及时带走并能给套管周围提供新鲜的地层水,使腐蚀反应能够不断进行下去,直至造成套管破损。

对洛河组井段固井后,在一定程度上隔绝了反应过程,但如果由于井眼偏斜或其他原因,造成套管与井眼之间的环形水泥环缺失或存在瑕疵^[2-8],在长期洛河水的浸泡渗滤作用下,这些缺陷将给套管的腐蚀破损留下了可乘之机,前期作业过程中受到伤害的套管部位(如撞、刮伤及高压损伤)以及套管接头,是腐蚀破损的重灾区。

大量的事实也表明,在目前的技术水平下,通过水泥返高完全封固洛河层是不可能的。原因是洛河组水层厚、水量大,岩性疏松,孔隙度大,渗透率高,导致绝大多数井水泥浆在该层漏失严重。1982年开始使用低比重水泥对洛河层及以上层位进行封固,但是一半井的水泥胶结质量在洛河层为差。1993年加强固井质量以来,洛河层段的固井合格率已从25.5%提高到目前的85%以上,优质率从7.1%提高到50%左右,水泥返高合格率达71.3%提高到95%以上^[9]。但近年来不断增加的套损井数证明了靠单独提高固井质量是不能完全解决陇东地区的防腐问题。

目前,在套管防腐方面涌现出了大量新的材料和技术,如套管耐合金化、表面工程技术、电化学保护技术、外加电流阴极保护技术、牺牲阳极阴极保护技术以及联合保护技术等^[2-10],但由于受到成本以及技术本身的限制,套管防腐问题在陇东地区洛河组一直得不到很好的解决,要解决这一困扰了油田科技工作者长年的难题,还需要借助新技术、新材料、新工艺的突破性大量应用。

3 结论

(1) 陇东地区洛河组属于沙漠相沉积,砂岩的高渗透性与连片均质性造成了洛河组地层水渗流异常活跃,强渗流场中的 Na_2SO_4 型地层水与套管之间的电化、生物化学反应是该区套管腐蚀破损的主因。

(2) 为了彻底解决洛河组套管腐蚀,仅靠提高固井质量是难以奏效的,必需借助新技术、新材料、新工艺的大量突破性应用方能实现。

参考文献(References):

[1] 张西明, 陈小荣. 陇东地区生产套管腐蚀现状调查分析 [J]. 钻采工艺, 1999, 22(1):40-46.
Zhang Ximing, Chen Xiaorong. Status quo of casing corrosion in Longdong area [J]. Drilling & Producing Technology, 1999, 22(1):

40-46(in Chinese).

- [2] 杨海恩, 李谦定, 杨全安. 陇东油田油井套管外防腐技术的应用及发展趋势[J]. 油气田地面工程, 2005, 24(5):52-53.
Yang Haien, Li Qian Ding, Yang Quan'an. Application and trends of anti casing-corrosion technology [J]. Petroleum Surface Engineering, 2005, 24(5):52-53(in Chinese).
- [3] 谢渊, 王剑, 张新胜, 等. 鄂尔多斯盆地白垩系沙漠相沉积特征及其水文地质意义[J]. 沉积学报, 2005, 23(1):73-82.
Xie Yuan, Wang Jian, Zhang Xinsheng, et al. Sedimentary characteristics of the Cretaceous desert facies in Ordos Basin and their hydrogeological significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(1):73-82(in Chinese with English abstract).
- [4] 李明辉, 王剑, 谢渊, 等. 鄂尔多斯盆地白垩系岩相古地理与地下水相关性探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(4):35-39.
Li Minghui, Wang Jian, Xie Yuan, et al. The correlation of sedimentary facies and palaeogeography and ground water from the Cretaceous strata in the Ordos Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23 (4):35-39 (in Chinese with English abstract).
- [5] 杨友运, 常文静, 侯光才, 等. 鄂尔多斯白垩系自流水盆地水文地质特征与岩相古地理[J]. 沉积学报, 2006, 24(3):388-392.
Yang Youyun, Chang Wenjing, Hou Guangcai, et al. Hydrogeological Characteristics and Lithofacies Palaeogeography of Cretaceous Artesian Basin, Ordos [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(3):388-392(in Chinese with English abstract).
- [6] 郭小阳, 张玉隆, 杨远光. 长庆油田提高固井质量与套管防腐技术研究[J]. 西南石油学院学报, 1998, 20(2):47-52.
Guo Xiaoyang, Zhang Yulong, Yang Yuanguang. Study on technique of enhancing cementing quality and preventing casing corrosive in Changqing oil field[J]. Journal of Southwest Petroleum, 1998, 20(2):47-52(in Chinese with English abstract).
- [7] 冯建国, 李云峰, 李友成, 等. 延安城市供水二期工程水源地选区方略[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1):57-61.
Feng Jianguo, Li Yunfeng, Li Youcheng, et al. Selection of groundwater supplying field in Second Period Water Supply Project of Yan'an City [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2006, 28(1):57-61(in Chinese with English abstract).
- [8] Sugden W. Origin of faceted pebbles in some recent desert sediments of southern Iraq[J]. Sedimentology, 1964, 3:65-74.
- [9] 张西明, 李军, 张新发, 等. 长庆油田小套管的腐蚀与防护 [J]. 腐蚀科学与防护技术, 2004, 16(1):59-61.
Zhang Ximing, Li Jun, Zhang Xinfā, et al. Corrosion and protection for small-casing in Changqing oil field [J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2004, 16(1):59-61(in Chinese with English abstract).
- [10] 李琼玮, 杨全安, 李成龙, 等. 长庆油田油套管腐蚀预测研究与建议[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2005, 17(5):371-372.
Li Qingwei, Yang Quan'an, Li Chenglong, et al. Casing corrosion prediction and suggestion [J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2005, 17(5):371-372(in Chinese).

Relation between sedimentary facies of the Luohe Formation in the Changqing Oilfield, Longdong, and casing corrosion and damage

ZHANG Feng-Kui¹, ZHANG Lin^{1,2}, ZHOU Zhi-ping³, JIANG Zhi-hui³,
FAN Hong-qi³, ZHANG Zhong-yi⁴

(1. Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. Changqing Petroleum Engineering and Technology Institute, Xi'an 710021, Shaanxi, China;

3. Second Oil Production Division, Changqing Oilfield, Qingyang 740021, Gansu, China;

4. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Oilfield, Xi'an 710021, Shaanxi, China)

Abstract: In the Longdong area, Changqing oilfield, Ordos, casing corrosion and damage influence oil production seriously. The main cause is thought to be electrochemical and biochemical reactions between casing and formation water of Na_2SO_4 type in the Cretaceous Luohe Formation. The desert-facies sandstone of the Luohe Formation distributed uniformly in the whole basin is characterized by high permeability and homogeneity, so it can provide good conduits and spaces for the recharge, runoff and discharge of groundwater and the resulting strong leakage field accelerates casing corrosion and damage. Analysis confirms that only relying on raising the quality of casing and cementing is not enough to prevent casing corrosion and damage in the study area, and only by using new materials and technologies can we solve this problem.

Key words: casing corrosion; desert facies; Luohe Formation; groundwater seepage

About the first author: ZHANG Feng-kui, male, born in 1963, Ph.D student and senior engineer; mainly engages in research on oil production technology; E-mail: cnpccqzh@163.com.