V150 钢级钻杆管体用无缝钢管的性能研究*

董 珍[1], 刘洪霞[2], 李培德[2], 侯红阳[2], 靳 燕[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章对包钢研制生产的 V150 钢级钻杆管体用无缝钢管的拉伸、冲击、韧脆转变温度、室温抗扭强度、旋转弯曲疲劳等性能进行了试验研究, 结果表明: 热处理态钢管的常规力学性能、晶粒度等技术指标可满足 DS—1™标准第 1 卷《钻井用管材产品规范》的要求, 同时还具有横向冲击韧性好、低温冲击韧性高、韧脆转变温度低、室温抗扭强度大、抗旋转弯曲疲劳性好等优良的材料特性, 可满足 V150 钢级超高强度钻杆管体用钢的要求。

关键词: V150; 钻杆管体; 性能研究
中图分类号: TU392.3 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009 - 5438(2021) 04 - 0054 - 05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.04.014

Performance Study of Seamless Steel Pipe for V150 Grade Drill Pipe Body

Dong Zhen[1], *Liu Hong - xia*[2], *Li Pei - de*[2], *Hou Hong - yang*[2], *Jin Yan*[2]

(1. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, such performances as drawing, impact, ductile - brittle transition temperature, torsional strength at room temperature and rotating bending fatigue of seamless steel pipe for V150 grade drill pipe body developed and produced by Baotou Steel are tested and studied. The results showed that such technical indexes as the conventional mechanical properties and grain size of as - heat - treated steel pipe could meet the requirements of DS - 1™ Standard Vol. 1 *Specification of Tubular Products for Drilling*. At the same time, it is also with such excellent material characteristics as good transverse impact toughness, high low temperature impact toughness, low ductile - brittle transition temperature, high torsional strength at room temperature and good anti - rotating bending fatigue, which could meet the requirements of steel for V150 grade drill pipe body with super high strength.

Key words: V150; drill pipe body; performance study

钻杆是油气田钻探过程中使用的重要工具之一, 在钻井过程中, 钻杆上面连着方钻杆, 方钻杆下面连着钻铤, 是向钻头传递破岩所需压力、转速、扭矩的工具和输送冲洗介质的通道, 也是完成提取岩

* **收稿日期**: 2021 - 04 - 13
作者简介: 董 珍(1969 -), 女, 内蒙古呼和浩特市人, 硕士, 正高级工程师, 现从事无缝管产品研发工作。

心、处理事故等工作的基本手段[1]。世界上大多数国家都采用 API Spec 5DP《钻杆规范》[2] 生产石油钻杆，该标准规定了石油、天然气工业钻井和采油作业用管体端加厚和钻杆接头对焊的钢制钻杆 3 个产品规范级别的交付技术条件，涵盖 E 级、X 级、G 级和 S 级 4 个级别的钢制钻杆。

近年来，随着石油勘探钻井技术的迅速发展，陆地深井、超深井及特超深井的数量在逐步增多，深海油气资源也相继进入勘探开发阶段，这对钻杆的强度提出了更高的要求，API 系列中最高强度级别的 S135 钢级的钻杆已不能满足超深井、深水井及大位移井的钻探要求，因此，国内外钻具生产厂家陆续研发了 V150 超高强度级钻杆。V150 超高强度钻杆比 S135 钻杆的强度可至少提高 103 MPa，强度质量比提高了 11%，这不仅提高了钻井深度，而且适当增大了水眼尺寸，可提高钻井排量，降低循环压耗，钻井效率可提高 50% 以上，这对超深井钻井及海洋勘探具有重要的意义[3]。

本文主要介绍了包钢钢管公司研制生产的 V150 钢级超高强度石油钻杆管体用钢的室温纵向力学性能、横向冲击韧性、低温冲击韧性、韧脆转变温度、室温抗扭强度、抗旋转弯曲疲劳等材料特性的试验研究结果。

1　试验材料

试验材料取自包钢钢管公司研制生产的 V150 钢级热处理态无缝钢管。钢管的生产工艺流程为：高炉铁水→铁水预处理→转炉冶炼→LF 精炼→VD 真空处理→圆坯连铸→管坯加热→穿孔→轧管→定(张减) 径→冷床冷却→锯切→淬火→回火→矫直→探伤→人工检查→测长、称重、喷标→入库。

钢管的主要化学成分见表 1，轧态钢管的室温纵向力学性能见表 2，热处理态钢管的室温纵向力学性能和金相检验结果见表 3、表 4、图 1、图 2。

表 1　钢管的主要化学成分(质量分数)　%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.28	0.27	0.66	0.008	0.003	1.15	0.52

表 2　轧态钢管的室温纵向力学性能

屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	平均冲击功 /J
722	1 000	18	5

注：试样尺寸 7.5 mm×10 mm×55 mm。

表 3　热处理态钢管的室温纵向力学性能

取样位置	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	平均冲击功/J	
				21 ℃	−20 ℃
管头	1 080	1 157	20.0	94	92
管尾	1 102	1 178	21.5	86	84
DS—1™标准第 1 卷《钻井用管材产品规范》[4] 要求	1 034～1 138	≥1 102	≥12.0	≥43	≥54

注：试样尺寸 7.5 mm×10 mm×55 mm。

表 4　热处理态钢管的金相检验结果

取样位置	组织	晶粒度 /级	非金属夹杂物/级								
			A 粗	A 细	B 粗	B 细	C 粗	C 细	D 粗	D 细	D_s
管头	S	10.0	0	0.5	0	1.0	0	0	0	0.5	0
管尾	S	9.5	0	0.5	0	0.5	0	0	0	0.5	0
DS—1™标准第 1 卷《钻井用管材产品规范》[4] 要求		≥5.0									

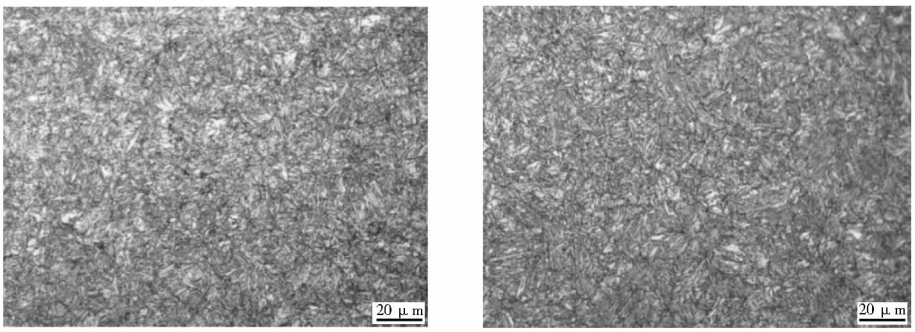


图1 热处理态钢管的金相组织

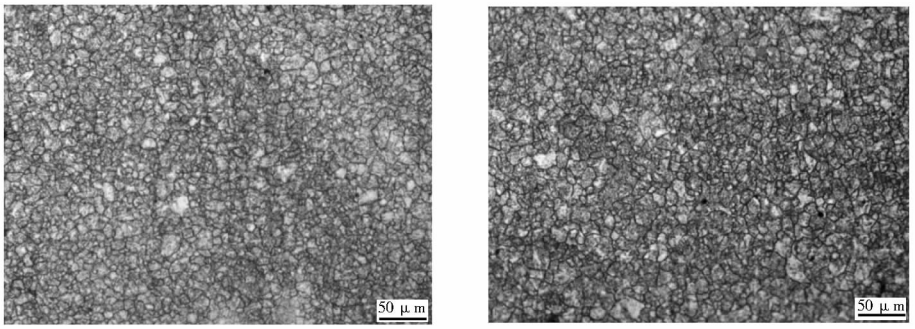


图2 热处理态钢管的晶粒度

2 试验方法及结果

2.1 横向冲击韧性试验

依据GB/T 229—2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》[5],利用NI750型冲击试验机,取两组热处理态钢管试样,进行了横向冲击韧性试验,试验结果见表5。结果表明:在21 ℃和-20 ℃条件下V150钢级的热处理态钢管具有良好的横向冲击韧性,两组热处理态钢管的横向半尺寸平均冲击功室温条件下为43~48 J,-20 ℃条件下为42~46 J,横向与纵向冲击功之比为0.75~0.77。

表5 热处理态钢管的横、纵向冲击功

样号	温度/℃	横向冲击功/J				纵向冲击功/J				横纵比
		值1	值2	值3	均值	值1	值2	值3	均值	
1	21	48.8	47.4	47.7	48	94	92	92	93	0.77
	-20	46.6	45.5	46.0	46	94	92	90	92	0.75
2	21	42.7	42.4	44.6	43	88	85	84	86	0.75
	-20	42.2	41.3	43.3	42	85	82	84	84	0.75
DS—1™标准第1卷《钻井用管材产品规范》[4]要求						21 ℃平均冲击功≥43 J -20 ℃平均冲击功≥54 J				

注:试样尺寸5 mm×10 mm×55 mm。

2.2　低温冲击韧性试验

依据 GB/T 229—2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》,利用 NI750 型冲击试验机,对试验料进行了 -90 ~ 30 ℃范围内不同温度下的冲击试验。试验所测得的平均冲击功与试验温度的关系见图 3,平均剪切断面率 (*FA*) 与试验温度的关系见图 4。试验结果表明: V150 钢级的热处理态钢管具有良好的低温冲击韧性,其韧脆转变温度区间为 -40 ~ -60 ℃,可适用于低温环境。

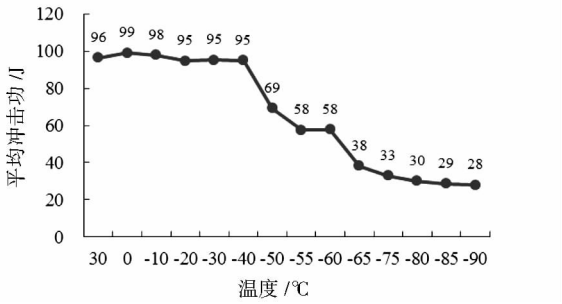


图 3　平均冲击功与温度的关系

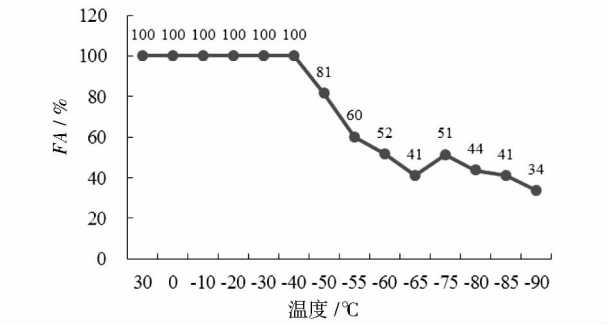


图 4　平均剪切断面率与温度的关系

2.3　室温扭转试验

依据 GB/T 10128—2007《金属材料室温扭转试验方法》[6],利用 WNJ - 1000 型微型控制扭转试验机,在室温条件下对试验料进行了扭转试验,试验结果见表 6,扭转试样的断口形貌见图 5。结果表明: 该钢种的平均非比例扭矩为 165 N/m、平均最大扭矩为 188.5 N/m、平均非比例扭转强度为 843 MPa、平均抗扭强度为 964 MPa。

表 6　试验钢的抗扭强度

样号	最大扭矩 /(N · m^{-1})	抗扭强度 /MPa	非比例扭矩(0.2%) /(N · m^{-1})	非比例扭转强度(0.2%) /MPa
1	190.9	975	168.4	860
2	191.0	975	169.3	865
3	184.6	945	164.6	840
4	188.7	965	159.3	815
5	187.4	960	163.5	835
平均值	188.5	964	165.0	843

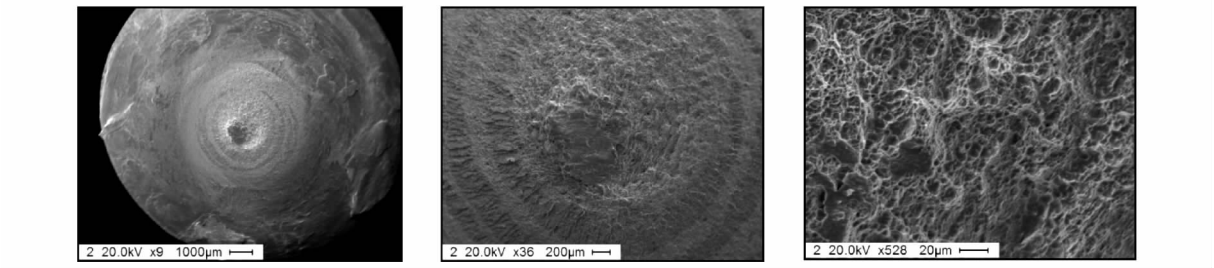


图 5　扭转试样的断口形貌

2.4　旋转弯曲疲劳试验

钻杆在井下承受内外压力、轴向力、弯曲应力和扭应力等多种载荷的联合作用,在钻进过程中常常发生失效,尤其容易发生载荷与腐蚀介质联合作用下的疲劳失效。统计数据表明,国内外油田均发生过钻杆疲劳断裂事故,造成了巨大的经济损失,因此,研究钻杆的疲劳性能具有现实意义[7]。依据 GB/T 4337—2008《金属材料疲劳试验旋转弯曲方

法》[8]，利用 PQ1－6 型纯弯曲疲劳试验机，在室温条件下对试验料进行了旋转弯曲疲劳试验，图 6 是试验所测得的该钢种的疲劳应力寿命曲线（*S*—*N* 曲线），旋转弯曲疲劳试样的断口形貌见图 7。结果表明：在室温条件下，当转速为 5 000 r/min，如设定循环次数 *N* 大于 10^7 次、循环时间大于 33 h 不断裂为疲劳极限，则该钢种的旋转弯曲疲劳极限应力为 515 MPa、极限载荷为 720 kN。

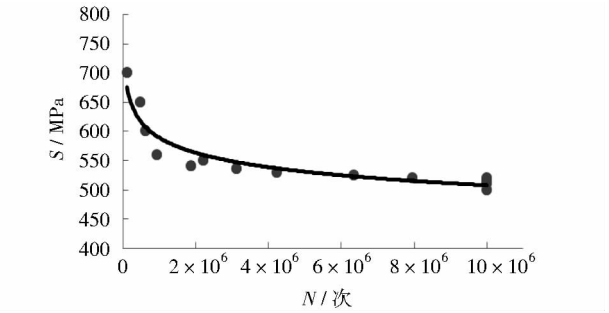


图 6 试验钢的 *S*—*N* 关系图

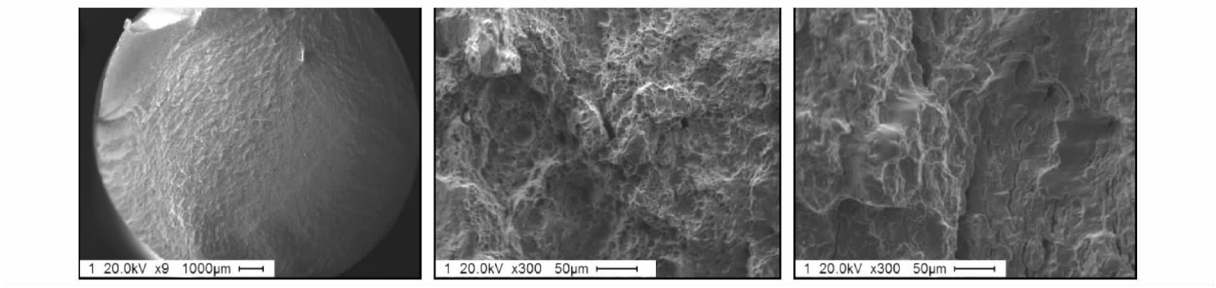


图 7 旋转弯曲疲劳试样的断口形貌

3 结论

（1）包钢研制生产的 V150 钢级超高强度石油钻杆管体用无缝钢管的常规力学性能、晶粒度等技术指标满足 DS—1™标准第 1 卷《钻井用管材产品规范》的要求。

（2）在室温和－20 ℃条件下 V150 钢级的热处理态钢管具有良好的横向冲击韧性，横向半尺寸平均冲击功室温条件下为 43～48 J，－20 ℃条件下为 42～46 J，横向与纵向冲击功之比为 0.75～0.77。

（3）钢管具有良好的低温冲击韧性，其韧脆转变温度区间为－40～－60 ℃，可适用于低温环境。

（4）该钢种的平均非比例扭矩为 165 N/m、平均最大扭矩为 188.5 N/m、平均非比例扭转强度为 843 MPa、平均抗扭强度为 964 MPa；旋转弯曲疲劳极限应力为 515 MPa、极限载荷为 720 kN。

参 考 文 献

[1] 操建平，孟庆昆，高圣平，等. 深井、超深井钻杆技术的研究[J]. 机电产品开发与创新，2012，25(2)：28－30.

[2] API Spec 5DP，Specification for Drill Pipe[S].

[3] 李鹤林，田伟，邝献任. 油井管供需形势分析与对策[J]. 钢管，2010，39(1)：1－7.

[4] DS—1™标准第 1 卷，钻井用管材产品规范（中文版）[S].

[5] GB/T 229—2007，金属材料夏比摆锤冲击试验方法[S].

[6] GB/T 10128—2007，金属材料室温扭转试验方法[S].

[7] 刘志超，冯爽，姚久红，等. 钻杆的失效分析和检测现状及其研究进展[J]. 热加工工艺，2015，44(6)：8－11.

[8] GB/T 4337—2008，金属材料疲劳试验旋转弯曲方法[S].