

· 工艺材料进展 ·

耐腐蚀油井管用钢专利技术研发进展

陈 妍 潘文龙 何舒薇
(鞍钢股份技术中心, 鞍山 114009)

摘 要 根据 1994 年至今全世界公开的耐腐蚀油井管用钢专利技术, 概述了耐腐蚀油井管用钢制造企业的研发特点, 以及马氏体、奥氏体、双相、复合相不锈钢, 低合金钢和 Cr 合金钢等耐腐蚀油井管用钢的化学成分, 关键技术和性能。低成本、耐各种条件腐蚀的油井管开发是油井管生产企业的研发重点。

关键词 油井管用钢 耐腐蚀 专利 研发

Progress of Research and Development of Patented Technologies on Corrosion-Resistant Steels for Oil Country Tubular Goods

Chen Yan, Pang Wenlong and He Shuwei
(Technical Center, Ansteel Co Ltd, Anshan 114009)

Abstract Based on published patented manufactured technologies of corrosion-resistant steels for oil country tubular goods (OCTG) in the world from 1994, the characteristics of research and development of corrosion-resistant steels for OCTG at manufacturing enterprises and the chemical composition, key manufacturing technologies and properties of corrosion-resistant steels for OCTG including martensite, austenite, dual phase and complex phase stainless steels, low alloy steels and Cr alloy steels are summarized. The key points of research and development at OCTG manufacturing enterprises are development of the OCTG with low cost and corrosion resistance in various conditions.

Material Index Steel for Oil Country Tubular Goods, Corrosion Resistance, Patent, Research and Development

1 专利技术公开概况

1994 年至今, 全世界共公开耐腐蚀油井管用钢专利 1 752 件, 526 个专利族。专利申请量总体呈现平稳发展态势, 尤其是近 10 年, 平稳发展趋势更加明显。日本的新日铁住金、JFE 在耐腐蚀油井管用钢的研发方面公开专利占总量的 85.5%。国内的宝钢紧随其后, 在耐腐蚀油井管用钢的研发方面具备一定的实力。表 1 为耐腐蚀油井管用钢专利技术的分布情况。

2 典型耐腐蚀油井管用钢的关键技术

2.1 不锈钢

不锈钢油井管(例如超级 13Cr、22Cr 双相不锈钢、25Cr 超级双相不锈钢)适于 CO₂ + 少量 H₂S 和/或 Cl⁻ 环境中使用, 用于高腐蚀管段, 具有优良的抗硫化物应力腐蚀性(抗 SSC 性)。不锈钢油井管核心专利包括马氏体不锈钢、双相不锈钢(奥氏体 + 铁素体)、奥氏体不锈钢以及含 14% ~ 20% Cr 复相不锈钢。表 2 为典型不锈钢油井管用钢的化学成分, 表 3 为典型不锈钢油井管用钢的关键技术和性能^[1-12]。

2.2 低合金钢

表 1 耐腐蚀油井管用钢专利技术的分布

Table 1 Distribution of patented technologies of corrosion-resistant steels for OCTG

公司	普通 不锈钢	低合 合金钢	高 Cr-高 Ni 合金钢	含 Cr 合金钢	其他
新日铁住金	162	75	19	15	15
JFE	74	9		8	9
宝钢	13	21	5	4	
天津钢管公司	1	5		2	3
大同特殊钢	4	1			3
Huntington 合金公司			4		1
包钢	1	3		1	
瓦鲁雷特曼内斯曼 油气法国公司		4			
Pervouralsk 钢管厂		1		2	
山东墨龙石油机械有限公司		3			
无锡西姆莱斯		1		2	
浙江健力股份公司	1	2			
鞍钢集团		2			

低合金钢适用于低、中度腐蚀管段, 酸性环境下具有优良的耐 SSC 性。低合金油井管获得耐腐蚀性能的方法主要包括钢的高净化、夹杂物和碳化物的形态控制、晶粒细化以及化学成分控制等, 表 4 为典型低合金钢油井管的化学成分, 表 5 为典型低合金钢油井管的关键技术和性能^[13-25]。

2.3 含 Cr 合金钢

含 Cr 合金钢是 H₂S、CO₂、Cl⁻ 和 S 共存环境下

表 2 典型不锈钢油井管用钢的化学成分 / %
Table 2 Chemical composition of typical stainless steels for OCTG / %

种类	公司	专利号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Al	V	Ca	其他
马氏体 不锈钢	新日铁 住金	WO2002099150A1	0.03	0.25	0.52	0.013	0.000 9	10.8	1.2	0.2	1.0	0.027	0.004	0.04	0.001 1	
	JFE	WO2010026672A1 ⁽¹⁾	0.010	0.15	1.21	0.016	0.000 9	10.9	2.0		0.5	0.008	0.022	0.03		0.04Nb
	天津 钢管	CN1391021A	0.08 ~ 0.25	≤1.00	0.6 ~ 1.2	≤ 0.030	≤ 0.020	8.0 ~ 25.0	≤1.0		≤ 0.25					
	宝钢	CN101096744A	0.20	0.5	0.2			13.1	0.5	0.2			0.01			
双相 不锈钢	新日铁 住金	WO2014034522A1	0.019	0.35	0.49	≤0.04	≤0.030	25.10	6.7	3.09	0.5	0.28				≤0.010
	神户 制钢	JP2014074209A	0.019	0.38	0.69	0.019	0.000 7	25.50	6.4	4.0		0.29	0.017	0.10	0.000 7	
	SANDVIKAB	CA2397592A1	0.014		0.90			31.85	7.25	3.47		0.50				
奥氏体 不锈钢	新日铁 住金	EP851037B1	0.02	0.32	0.56	0.023	0.002	25.00	21.0	-	2.5		0.09			0.03
	宝钢	CN101994052A	0.028	0.34	2.67	0.012	0.002	24.06	25.03	3.31	0.19	0.206	0.26			
复相 不锈钢	新日铁 住金	WO2010134498A1 ⁽²⁾	0.022	0.24	0.10	0.017	0.000 9	17.01	5.03	2.55	2.48	0.015 3	0.045	0.05		
	JFE	WO2013190834A1 ⁽³⁾	0.03	0.28	0.31	0.019	0.000 7	14.80	3.96	4.47	1.01	0.053 5	0.036	0.054		
	宝钢	CN103320707A ⁽⁴⁾	0.03	0.29	0.12			17.54	5.42	2.78	0.95	0.031	0.02	-		

注:(1) C - 31/4Nb + 7/6N - 9/4Al = -0.36 ; (2) Cr + Cu + Ni + Mo = 27.07 ; 30(C + N) + 0.5Mn + Ni + Cu/2 + 8.2 - 1.1(Cr + Mo) = -5.88 ;
 (3) -5.9 × (7.82 + 27C - 0.91Si + 0.21Mn - 0.9Cr + Ni - 1.1Mo - 0.55W + 0.2Cu + 11N) = 32.6 ; 其他 0.88W, 0.093Nb, 0.090Ti ;
 (4) Cu/3.25 + (Nb + Ti)/17 + V/2.4 = 0.30 ; 其他 0.04Nb, 0.03Ti。

表 3 典型不锈钢油井管的关键技术和性能
Table 3 Key technologies and properties of typical stainless steels for OCTG

种类	公司	专利号	关键技术	性能
马氏体 不锈钢	新日铁 住金	WO2002099150A1	加热1 250 °C 2 h,终轧1 040 °C,水淬,50 mm板。原奥氏体晶界碳化物量 < 0.5% ; 晶粒内碳化物最大短径长度 10 ~ 200 nm ; 碳化物中所含 Cr 浓度与 Fe 浓度之比 < 0.4 ; M ₂₃ C ₆ < 1% , MN 型或 M ₂ N 型 < 0.3% 。	屈服强度 (R _p) 为 823 MPa, 具有优良的耐腐蚀性和冲击性能。
	JFE	WO2010026672A1	热加工成无缝管,850 °C 加热,空冷至 25 °C,675 °C 回火。	R _p 738 MPa,低温韧性、耐腐蚀性优良。Nb 的析出量为 0.028% 。
	天津 钢管	CN1391021A	优质废钢加海绵铁,EAF-精炼,连铸或铸后锻造成圆管坯,环形炉加热,曼氏穿孔机穿孔,定径、轧制后加热炉缓冷。1 000 ~ 1 100 °C 淬火 + 650 ~ 750 °C 回火。	R _p 552 ~ 758 MPa,硬度 HRC ≤ 28,耐湿 CO ₂ 腐蚀性优良。
	宝钢	CN101096744A	转炉炼钢、模铸、初轧开坯、管坯穿孔制管、热轧、热处理等,模铸铸锭1 250 °C 均匀化退火,初轧开坯后650 ~ 750 °C 退火。	R _p 758 MPa,非 API 油套管。耐高温、CO ₂ 及 Cl ⁻ 腐蚀性能优良。
双相 不锈钢	新日铁 住金	WO2014034522A1	钢管外径 178.0 mm,工艺包括冷拔-低温热处理-矫直,450 °C 热处理,矫直最大滚压修整率 6.0% 。	抗拉强度 (R _m) - 轴向 967 MPa,圆周 945 MPa,压缩 R _p - 轴向 885 MPa,圆周 945 MPa,优良不同应力分布耐受性。
	神户 制钢	JP2014074209A	圆管坯,将圆坯 ≤ 1 200 °C 锻造,1 100 °C 30 min 固溶处理,水冷,制成 (mm) 600 × 120 × 60 锻件。	耐孔蚀指数 43.3,无表面缺陷,具有优良的耐 H ₂ S 腐蚀性和热加工性。
	SANDVIKAB	CA2397592A1	冶炼、铸造、热锻后加工成圆棒,热挤压成型,在 1 100 °C 进行 20 min 退火处理,水中急冷,铁素体含量为 35% ~ 55%。合金元素关系 0.93Cr + Mo + 4.5N ≥ 35。	退火 R _p 761 MPa, R _m 977 MPa, A ₅ (伸长率) 35%, -60 °C 冲击功 70 J,焊接性、耐腐蚀性低温韧性优良。
奥氏体 不锈钢	新日铁 住金	EP851037B1	电弧炉炼钢,AOD 精炼,铸锭。加热 1 250 °C,1 200 °C 锻造成棒形,挤压成制管用材料,采用玻璃润滑剂高速挤压法制管。钢管 1 100 °C 0.5 h 水冷。	R _p 862 ~ 966 MPa,优良耐 H ₂ S 腐蚀性和热加工性,不添加 Mo、W,成本低。
	宝钢	CN101994052A	EAF-AOD 冶炼后铸成钢锭,再经电渣重熔后锻造,锭坯加热至 900 ~ 1 250 °C 热挤压、水冷,再将管坯 1 050 ~ 1 180 °C 固溶,水冷,冷轧压下率 20% 。	R _p 890 MPa,伸长率 A _{50.8} 16.5%,具有优良的抗点蚀性和抗应力腐蚀开裂性。
复合相 不锈钢	新日铁 住金	WO2010134498A1	铸坯经 1 000 ~ 1 250 °C 锻轧成钢板。Z 76.7%。980 ~ 1 250 °C 15 min 水冷,500 ~ 650 °C 回火。马氏体 77%,铁素体 22%,残余奥氏体 1%,铁素体分布率 100% 。	R _p 951 MPa,具有优良的高温耐腐蚀性和抗 SSC 性。
	JFE	WO2013190834A1	经转炉炼钢、连铸、热加工制成无缝管,钢管 1 030 °C 20 min,0.5 °C/s 冷却至 25 °C,进行 600 °C 30 min 回火。马氏体相为主相,铁素体 30%,残余奥氏体 15% 。	R _p 935 MPa, -10 °C 冲击值 218 J,具有优良的韧性,含 CO ₂ 和 Cl ⁻ 高温环境下耐腐蚀性和抗 SSC 性。
	宝钢	CN103320707A	冶炼、铸造、锻造成圆管坯、退火、加热、轧制、淬火和回火,退火温度 640 ~ 720 °C,960 °C 淬火,550 °C 1 h 回火,马氏体 55.45%,奥氏体 13.05%,其余为铁素体。	R _p 862 MPa,全尺寸夏比 V 型冲击功 132 J,优良韧性以及高温抗 CO ₂ 、Cl ⁻ 腐蚀性。

表 4 典型低合金钢油井管的化学成分 / %
Table 4 Chemical composition of typical low alloy steels for OCTG / %

公司	专利号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Nb	V	Ti	N	B	O	其他
新日铁住金	WO2004106572A1	0.25	0.29	1.26	0.009	0.003 0	0.20			0.037			0.031	0.008 5 ⁽¹⁾	-		
	JP11061254A	0.25	0.14	1.20	0.013	0.002 0	0.52	0.69	0.02	0.034	0.021	0.42	0.015	0.002 8	0.000 6	0.002 6	0.005Ca
	JP2005350754A	0.27	0.19	0.43	0.005	0.001 8	0.50	0.73		0.034		0.11	0.015	0.004 4	0.001 1	0.003 1	
	WO2008123422A1	0.16	0.28	1.12	0.013	0.002 1	1.42	0.31		0.033		0.06	0.008	0.006 2	-		0.002 5Ca
	WO2011155140A1	0.29	0.31	0.40	0.005	0.000 4	0.98	0.73		0.031	0.005	-	0.015	0.004 9	0.001 5		0.001 5Ca, 0.005Zr, 0.000 13Mg
JFE	WO2010150915A1	0.25	0.27	0.60	0.010	0.000 7	1.30	0.80	0.05	0.028	0.050	0.03	0.020	0.002 7	0.002 1		0.002Ca 0.10Cu
	WO2013094179A1	0.25	0.27	0.60	0.010	0.000 7	1.30	0.80	0.05	0.028	0.050	0.03	0.020	0.002 7	0.002 1		0.002Ca 0.10Cu
	JP2014012890A	0.25	0.27	0.60	0.010	0.000 7	1.30	0.80	0.05	0.028	0.050	0.03	0.020	0.002 7	0.002 1		0.002Ca 0.10Cu
宝钢	CN101748330B	0.25	0.30	0.80				1.00		0.020							0.23W
	CN102199730A	0.25	0.30	0.50	0.014	0.010	0.60	0.50			0.050	0.10					0.15Cu
天津钢管	CN1361306A	0.30	0.31	0.73	0.006	0.003	0.98	0.32	0.02								0.08Cu
	CN1948538A	0.29	0.35	0.75	0.010	0.005	1.20	0.50	0.25	0.040							0.20Cu
V&M 公司	EP2403970B1	0.35	0.38	0.39	0.011	≤ 0.001 1	0.94	1.27		0.040	0.080	0.06	0.013	0.005	0.000 6	0.001 ⁽²⁾	

注: (1) 该值为全 N 含量, 固溶 N 含量为 0.000 4%;
(2) 该值为全氧含量。

表 5 典型低合金钢油井管的关键技术和性能
Table 5 Key technologies and properties of typical low alloy steel for OCTG

公司	专利号	关键技术	性能
新日铁住金	WO2004106572A1	热锻后制成直径为 80 mm、长 300 mm 的棒, 再制成外径 75 mm, 壁厚 10 mm、长 300 mm 无缝管。	R_p (屈服强度) 630 MPa, 硬度 HRC 22, 扩管后具有优良的耐 SSC 性。
	JP11061254A	真空熔炼炉熔炼、铸造、锻造后制成 (mm) 40 × 80 × 250 的板坯, 1 250 °C 1 h 加热, 粗轧压下率 ≥ 50%, 终轧 1 000 °C, 加工度 40%, 轧制成 12 mm 板材后加热至 950 °C 5 min 淬火, 700 °C 回火。	R_p 1 064 MPa, 具有优良的耐 SSC 性。
	JP2005350754A	真空熔炼、热锻、热轧后进行淬火回火处理, 总加工度 [(加工前钢板的截面积-加工后的截面积)/冶炼后钢板的截面积] 为 20.5%, 1 060 °C 终轧, 920 °C 30 min 后水冷淬火, 并进行回火。	H 的半值宽度 0.41, H 的扩散系数为 2.1, R_p 951 MPa, 具有优良的耐 SSC 性。
	WO2008123422A1	曼内斯曼制管法制成外径 273.1 mm、壁厚 16.5 mm 无缝管, 将无缝管 950 °C 10 min 水淬、回火。组织-回火马氏体, 单位面积内晶粒直径 1 μm 以上的 $M_{23}C_6$ 系析出物的个数不超过 0.1 个/mm ² 。	R_p 754 MPa, 在高压 (0.2 MPa, 特别是 0.5 ~ 1.0 MPa) H_2S 环境的耐腐蚀性优良。
	WO2011155140A1	转炉、精炼、RH。转炉出钢加 MgO, 渣中 MgO 调至 5% ~ 10%, 转炉出钢至 RH 需 1 h。RH 后喂 Mg 线, 再喂 CaSi 线, 圆铸坯, 制成无缝管, 920 °C 淬火 + 回火。	R_p 758 ~ 862 MPa, 粗大的夹杂物少, 钢水洁净, 钢管具有优良的耐 SSC 性。
JFE	WO2010150915A1	钢水经真空熔炼, 脱气处理后铸造成钢锭, 钢锭加热 1 250 °C 3 h, 轧制成 178 mm × 22.2 mm 的无缝管, 无缝管 920 °C 5 min 淬火, 700 °C 30 min 回火, 回火马氏体和贝氏体 (1%), M_2C 型析出物为球状, 分散量为 0.10%。	固溶 Mo 量 0.59%, 位错密度 $5.5 \times 10^{14}/m^2$, R_p 82 MPa, 具有优良的耐 SSC 性。
	WO2013094179A1	转炉炼钢, 连铸成铸坯, 曼内斯曼轧管成 178 mm × 22.2 mm 无缝管, 空冷。无缝管 920 °C 5 min 淬火, 720 °C 30 min 回火, 620 °C 矫直, 组织为回火马氏体和贝氏体 (1%)。	R_p 777 MPa, 横截面最大硬度 HV10 为 288, 具有优良的耐 SSC 性。
	JP2014012890A	转炉炼钢, 连铸成铸坯。曼内斯曼轧管成 178 mm × 22.2 mm 无缝管, 空冷。加热至 1 200 °C 保温 30 min 水冷, 满足条件 $(T + 273) \times [15 + \log(t/60)] \geq 21\ 600$ (T - 加热温度; t - 保温时间), 进行降低偏析处理, 再进行 920 °C 5 min 淬火, 720 °C 30 min 回火, 组织为回火马氏体和贝氏体 (1%)。	Mn、Mo、Cr 偏析度分别为 1.22、1.41、1.23, R_p 777 MPa, 具有优良的耐 SSC 性。
宝钢	CN101748330B	冶炼、浇铸和热轧制成的无缝管于 920 °C 30 min 水淬, 得到 95% 以上的马氏体组织。淬水管随后进行 690 °C 30 min 回火, 得到细小的索氏体。	室温 R_p 725 MPa, 350 °C R_p 620 MPa, 具有优良的高温性能、抗腐蚀及抗蠕变性能。
	CN102199730A	冶炼、浇铸和热轧制成的无缝管在 930 ~ 1 000 °C 45 ~ 90 min 水冷, 650 ~ 720 °C 回火, 热矫直温度 480 ~ 520 °C。	R_p 980 MPa, 伸长率 18%, 具有优良的抗 SSC 性。

续表5

公司	专利号	关键技术	性能
天津钢管	CN1361306A	海绵铁和废钢,电弧炉,二次精炼和真空脱气,圆铸坯1 270 °C加热,热定心、穿孔、连轧、定径,890 °C 30 min水淬,690 ~ 700 °C 60 min,空冷,550 °C矫直。	R_p 705 MPa,伸长率27.4%,硬度HRC23.5,具有优良的抗H ₂ S应力腐蚀性能。
	CN1948538A	优质废钢,超高功率电弧炉,CaO-Al ₂ O ₃ 高碱度渣;偏心炉底出钢,钢包炉精炼+真空脱气+包芯丝喂丝(Si-Ca)精炼。环形炉1 260 °C炉温,限动芯棒连轧机轧制成无缝管。800 ~ 950 °C淬火,600 ~ 750 °C回火,500 ~ 650 °C矫直,钢管组织为回火索氏体。	具有优良的抗H ₂ S应力腐蚀性能。
V&M公司	EP2403970B1	244.5 mm × 13.84 mm钢管,两次淬火。900 °C,水淬,700 °C回火,钢管组织为马氏体。	R_p 865 MPa,具有优良的抗硫化物应力腐蚀性能。

表6 典型Cr合金钢油井管的化学成分/%

Table 6 Chemical composition of typical Cr alloy steels for OCTG/%

公司	专利号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Al	Cu	Ni	N	V	Zr	Mo	W	其他
新日铁住金	WO1999016921A1	0.12	0.23	1.01	0.009	0.006	4.85		0.033	0.09							
JFE	JP2004099964A	0.035	0.06	0.23	0.005	0.005	10.3	0.014	0.079	0.40	1.90	0.019	0.08				
	JP11269608A	0.22	0.33	0.50	0.020	0.001	6.0		0.020	0.20	0.15		0.16	0.02			
天津钢管	CN101655002A	0.10	0.40	0.55	0.009	≤0.006	9.20		0.010	0.06	0.03				0.95		
	CN101413089A ⁽¹⁾	0.16	0.22	0.58	0.008	0.003	3.04				0.20				0.49		
宝钢	CN102071361A	0.07	0.45	0.78			3.0	0.02	0.040			0.05	0.14		0.20	1.75	0.050Ti 0.008Ca

注:(1)表中给出的成分为平均值。

表7 典型Cr合金钢油井管的关键技术和性能

Table 7 Key technologies and properties of typical Cr alloy steel for OCTG

公司	专利号	关键技术	性能
新日铁住金	WO1999016921A1	真空熔炼,Φ550 mm圆铸坯,1 200 °C热锻成Φ150 mm的圆坯,曼内斯曼制管法制成Φ188 mm × 12 mm无缝管。900 ~ 1 000 °C淬火或退火,500 ~ 650 °C回火,获得回火马氏体单相组织。	R_p 630.2 MPa,屈服比85%,硬度HRC19.1。具有优良的湿润CO ₂ 腐蚀环境中耐局部腐蚀性和耐海水腐蚀性。
JFE	JP2004099964A	热轧板厚度12 mm,800 °C淬火,620 °C回火。	R_p 800 MPa, -40 °C冲击功222 J,具有优良的耐腐蚀性和热加工性。
	JP11269608A	钢管1 000 °C淬火,冷却速度5 °C/s,冷却至300 °C以下,650 °C回火。	R_p 552 ~ 655 MPa,在含有CO ₂ 、Cl ⁻ 、H ₂ S腐蚀环境下具有优良的耐SSC性。
天津钢管	CN101655002A	铁水、废钢和海绵铁,电弧炉,二次精炼、真空脱气、模铸、锻造、退火、连轧成钢管,1 040 ~ 1 080 °C光亮正火,730 ~ 760 °C回火,550 ~ 600 °C热矫直,再加工螺纹,制成套管。	R_p 815 MPa, A 23%,横/纵向全尺寸夏比冲击功分别为101 J和145 J,在150 °C CO ₂ 分压1.5 MPa下,耐腐蚀性优良。
	CN101413089A	调质处理后得到回火索氏体组织。	TP110 R_p 758 ~ 965 MPa,硬度HRC ≤ 32,晶粒度≥ 8,耐CO ₂ 和H ₂ S混合气体腐蚀性优良。
宝钢	CN102071361A	圆铸坯,或浇铸成方坯后轧制成圆坯,热轧成Φ177.8 mm × 9.19 mm无缝管,900 °C 90 min正火,620 °C 90 min回火。	室温屈服强度955 MPa,500 °C R_p 775 MPa,具有优良的高温性能和抗CO ₂ 腐蚀性。

使用的较经济的耐蚀油井管用钢,适用于中、高度腐蚀管段。表6为典型Cr合金钢油井管的化学成分,表7为典型Cr合金钢油井管的关键技术和性能^[26-31]。

3 耐腐蚀油井管用钢的研发特点

(1)从全世界公开的耐腐蚀油井管用钢专利数量看,耐腐蚀油井管专利申请数量总体呈现平稳上升趋势,新日铁住金、JFE、宝钢在该技术领域研发最为活跃,新日铁住金和JFE控制着该领域的核心技术,并在全世界范围内进行了布局,研发领域涉及

广泛。新日铁住金的耐腐蚀油井管涉及不锈钢、低合金钢、高Cr-高Ni合金钢、含Cr合金钢以及复合管等;JFE的耐腐蚀油井管涉及不锈钢、低合金钢以及含Cr合金钢;宝钢的耐腐蚀油井管涉及不锈钢、低合金钢、高Cr-高Ni合金钢以及含Cr合金钢。

(2)各钢种耐腐蚀油井管技术的研发已形成较为固定的研发思路,例如马氏体不锈钢,其合金设计思路是以13Cr为基础,通过改变合金组成,如低C、Ni和Mo复合添加等方法获得更高的强度、添加Nb等微合金化元素细化晶粒,减少M₂₃C₆等碳化物在晶界处的析出获得优良的耐腐蚀性,同时辅以适当的

热处理,获得优良的韧性;低合金钢,其研发思路主要是以成分控制、钢水洁净度控制、碳化物的形态控

制以及改善钢的组织,获得优良的耐 SSC 性。

参考文献

- [1] 新日铁住金公司. Martensitic Stainless Steel; WO, 2002099150A1 [DB/OL]. 2001-06-01 [2002-12-12]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [2] JFE. Seamless Pipe of Martensitic Stainless Steel for Oil Well Pipe and Process for Producing the Same; WO, 2010026672A1 [DB/OL]. 2008-09-04 [2010-03-11]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [3] 天津钢管. 抗二氧化碳腐蚀石油套管及生产方法; CN, 1391021A [DB/OL]. 2001-06-07 [2003-01-15]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [4] 宝钢. 高钢级高抗二氧化碳、氯离子腐蚀油套管用钢及制造方法; CN, 101096744A [DB/OL]. 2006-06-28 [2008-01-02]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [5] 新日铁住金公司. Duplex Stainless Steel Tube and Method for Producing Same; WO, 2014034522A1 [DB/OL]. 2012-08-31 [2014-03-06]; http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [6] 神户制钢. 二相系ステンレス鋼材および二相系ステンレス鋼管; JP, 2014074209A [DB/OL]. 2012-10-05 [2014-04-24]. <http://www8.ipdl.inpit.go.jp/Tokujitu/tjktk.ipdl? N0000=108>
- [7] SANDVIK AB. Duplex Stainless Steel; CA, 2397592A1 [DB/OL]. 2000-03-02 [2001-09-07]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [8] 新日铁住金公司. High-Chromium and High-Nickel Alloy with Hydrogen Sulfide Corrosion Resistance; EP, 851037B1 [DB/OL]. 1996-06-17 [1998-07-01]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [9] 宝钢. 一种含氮奥氏体合金; CN, 101994052A [DB/OL]. 2009-08-21 [2011-03-30]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [10] 新日铁住金公司. Stainless Steel for Oil Well, Stainless Steel Pipe for Oil Well, and Process for Production of Stainless Steel for Oil Well; WO, 2010134498A1 [DB/OL]. 2009-05-18 [2010-11-25]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [11] JFE. High-Strength Stainless Steel Seamless Pipe Having Excellent Corrosion Resistance for Oil Well, and Method for Manufacturing Same; WO, 2013190834A1 [DB/OL]. 2012-06-21 [2013-12-27]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [12] 宝钢. 一种韧性优良的高强度不锈钢管及其制造方法; CN, 103320707A [DB/OL]. 2013-06-20 [2013-09-25]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [13] 新日铁住金公司. Oil Well Steel Pipe to Be Placed Under Ground and Be Expanded; WO, 2004106572A1 [DB/OL]. 2003-05-28 [2004-12-09]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [14] 新日铁住金公司. 高强度高耐食継目無鋼管の製造方法; JP, 11061254A [DB/OL]. 1997-08-13 [1999-03-05]. <http://www8.ipdl.inpit.go.jp/Tokujitu/tjktk.ipdl>
- [15] 新日铁住金公司. 耐硫化物応力割れ性に優れた低合金油井管用鋼; JP, 2005350754A [DB/OL]. 2004-06-14 [2005-12-22]. <http://www8.ipdl.inpit.go.jp/Tokujitu/tjktk.ipdl>
- [16] 新日铁住金公司. Low-Alloy Steel, Seamless Steel Pipe for Oil Well, and Process for Producing Seamless Steel Pipe; WO, 2008123422A1 [DB/OL]. 2007-03-30 [2008-10-16]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [17] 新日铁住金公司. Steel for Steel Pipe Having Excellent Sulfide Stress Cracking Resistance; WO, 2011155140A1 [DB/OL]. 2010-06-08 [2011-12-15]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [18] JFE. High-Strength Seamless Steel Tube for Use in Oil Wells, Which Has Excellent Resistance to Sulfide Stress Cracking and Production Method for Same; WO, 2010150915A1 [DB/OL]. 2009-06-24 [2010-12-29]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [19] JFE. High-Strength Seamless Steel Pipe with Excellent Resistance to Sulfide Stress Cracking for Oil Well, and Process for Producing Same; WO, 2013094179A1 [DB/OL]. 2011-12-22 [2013-06-27]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [20] JFE. 耐硫化物応力腐食割れ性に優れた油井用低合金高強度継目無鋼管おすびその製造方法; JP, 2014012890A [DB/OL]. 2013-06-05 [2014-01-23]. <http://www8.ipdl.inpit.go.jp/Tokujitu/tjktk.ipdl>
- [21] 宝钢. 一种耐热套管用钢及其制造方法; CN, 101748330B [DB/OL]. 2008-12-17 [2010-06-23]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [22] 宝钢. 140ksi 以上钢级耐硫化氢腐蚀无缝油套管及其制造方法; CN, 102199730A [DB/OL]. 2010-03-23 [2011-09-28]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [23] 天津钢管. 抗硫化氢应力腐蚀石油套管及其制造方法; CN, 1361306A [DB/OL]. 2000-12-29 [2002-07-31]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [24] 天津钢管. 抗硫化氢应力腐蚀的石油钢管及其制造方法; CN, 1948538A [DB/OL]. 2006-11-03 [2007-04-18]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [25] V&M 公司. Low Alloy Steel with A High Yield Strength and High Sulphide Stress Cracking Resistance; EP, 2403970B1 [DB/OL]. 2009-03-03 [2013-05-08]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [26] 新日铁住金公司. Steel for Oil Well Pipes with High Wet Carbon Dioxide Gas Corrosion Resistance and High Seawater Corrosion Resistance, and Seamless Oil Well Pipe; WO, 1999016921A1 [DB/OL]. 1997-09-29 [1999-04-08]. http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch? locale=en_EP
- [27] JFE. 高强度高韧性高クロム継目無鋼管の製造方法; JP, 2004099964A [DB/OL]. 2002-09-09 [2004-04-02]. <http://www8.ipdl.inpit.go.jp/Tokujitu/tjktk.ipdl>
- [28] JFE. 耐炭酸ガス腐食性、耐サワー性に優れた油井 Cr 含有鋼管; JP, 11269608A [DB/OL]. 1998-03-20 [1999-10-05]. <http://www8.ipdl.inpit.go.jp/Tokujitu/tjktk.ipdl>
- [29] 天津钢管. 火烧驱油法开采稠油用油层段石油套管及其生产方法; CN, 101655002A [DB/OL]. 2009-09-16 [2010-02-24]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [30] 天津钢管. 低 CO₂ 环境用高强度低铬抗腐蚀石油专用管; CN, 101413089A [DB/OL]. 2008-12-04 [2009-04-22]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>
- [31] 宝钢. 一种耐高温油井管用钢及其制造方法; CN, 102071361A [DB/OL]. 2009-11-20 [2011-05-25]. <http://search.cnipr.com/search! doOverviewSearch.action>

陈 妍 (1971-), 女, 副研究员, 鞍山师范学院 (本科) 毕业, 国内外钢铁专利研究。E-mail: lychenyan@sian.com

收稿日期: 2015-02-20