ICS 75.180.10
CCS E 92

中华人民共和国国家标准

GB/T 47807—2026

石油天然气工业用耐微生物腐蚀钢管

Steel pipes resistant to microbial corrosion for use in the petroleum and natural gas industries

2026-07-02 发布　　2027-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语、定义、符号和缩略语 …… 1
3.1　术语和定义 …… 1
3.2　符号 …… 2
3.3　缩略语 …… 3
4　钢管等级、钢级和交货状态 …… 3
4.1　钢管等级和钢级 …… 3
4.2　交货状态 …… 4
5　由购方提供的信息 …… 4
6　制造方法和工艺 …… 4
6.1　制造方法 …… 4
6.2　制造工艺 …… 5
7　技术要求 …… 5
7.1　化学成分 …… 5
7.2　金相组织 …… 6
7.3　拉伸性能 …… 7
7.4　夏比冲击性能 …… 8
7.5　硬度 …… 9
7.6　淬透性 …… 9
7.7　耐静水压强度 …… 10
7.8　耐微生物腐蚀性能 …… 10
7.9　表面状况、缺欠和缺陷 …… 10
7.10　尺寸、质量和偏差 …… 11
7.11　用于输送管的钢管焊接性 …… 11
8　检验和试验 …… 11
8.1　一般要求 …… 11
8.2　化学分析 …… 13
8.3　金相分析 …… 13
8.4　拉伸试验 …… 13
8.5　CVN 冲击试验 …… 14
8.6　硬度试验 …… 14

8.7 淬透性 …… 16
8.8 静水压试验 …… 16
8.9 耐微生物腐蚀试验 …… 17
8.10 无损检验 …… 18
8.11 尺寸和外观检验 …… 19
8.12 焊接性评价 …… 19
9 涂层与保护 …… 19
9.1 用于输送管的钢管 …… 19
9.2 用于油管、套管的钢管 …… 19
10 标志及文件 …… 19
10.1 标志 …… 19
10.2 文件 …… 20
参考文献 …… 22

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本文件起草单位：中国石油集团工程材料研究院有限公司、宝山钢铁股份有限公司、天津钢管制造有限公司、中国石油化工股份有限公司西南油气分公司、中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院、中石化重庆涪陵页岩气勘探开发有限公司、中国石油天然气管道工程有限公司、西安科技大学、中国石油大学(北京)、衡阳华菱钢管有限公司、江苏常宝钢管股份有限公司、江苏新长江无缝钢管制造有限公司、中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司天然气研究院、北京石油机械有限公司、达力普石油专用管有限公司、林州凤宝管业有限公司、无锡中油瑞德防腐科技有限公司、浙江宝丰特材股份有限公司、成都德维石油技术服务有限责任公司、扬州龙川能源装备有限公司、山东中正钢管制造有限公司、山东磐金钢管制造有限公司、青山钢管有限公司、浙江大凯特钢科技有限公司、湖南天卓管业有限公司、湘潭华进重装科技股份有限公司。

本文件主要起草人：袁军涛、付安庆、齐亚猛、冯文昊、李艳、徐婷、刘学虎、李明星、黄居峰、张慧慧、李轩鹏、刘佳、刘乔平、陈长风、李茹、吴丹、于淑珍、尹贤利、魏刚、周雄、张娟涛、于浩波、赵兴亮、王海兵、吴华、杨建、王瑞霄、雷宇、高建昌、徐培林、钟广义、韩士丰、田伟东、史善淼、李强、傅士刚、邵斌弟、陈新凯、魏志祥、彭德平。

石油天然气工业用耐微生物腐蚀钢管

1 范围

本文件规定了石油天然气工业用耐微生物腐蚀无缝钢管(以下简称为“钢管”)的等级、钢级和交货状态以及由购方提供的信息、制造要求、技术要求、检验和试验、涂层与保护和标志及文件。

本文件适用于石油天然气工业用耐微生物腐蚀无缝钢管的制造和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分:试验方法

GB/T 2102 钢管的验收、包装、标志和质量证明书

GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分:试验方法

GB/T 5777 无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动超声检测

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 7735 无缝和焊接(埋弧焊除外)钢管缺欠的自动涡流检测

GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管

GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法

GB/T 12606 无缝和焊接(埋弧焊除外)铁磁性钢管纵向和/或横向缺欠的全圆周自动漏磁检测

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 16545 金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除

GB/T 17600.1 钢的伸长率换算 第1部分:碳素钢和低合金钢

GB/T 19830—2023 石油天然气工业 油气井套管或油管用钢管

GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法

GB/T 20490 钢管无损检测 无缝和焊接钢管分层缺欠的自动超声检测

GB/T 32552 无缝和焊接钢管(埋弧焊除外)的自动全圆周超声厚度检测

GB/T 42673 钢管无损检测 铁磁性无缝和焊接钢管表面缺欠的磁粉检测

JB/T 7901 金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法

SY/T 0532 油田注入水细菌分析方法 绝迹稀释法

3 术语、定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 9711、GB/T 19830—2023 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

微生物　microorganism

一类结构简单且具有各种生理特征的微小的单细胞或多细胞初级生物。

示例 1：原核生物，如细菌和古细菌。

示例 2：真核细胞，如真菌（酵母菌和霉菌）、原生动物和微小藻类。

注：本文件仅涉及油田系统中普遍认为有害的油田细菌，不考虑其他生物，如浮游植物（藻类）、原生动物或海洋生物。

［来源：ISO 22787：2023，3.6，有修改］

3.1.2

微生物腐蚀　microbial corrosion

由微生物作用所形成的腐蚀。

［来源：GB/T 10123—2022，4.37］

3.1.3

硫酸盐还原菌　sulfate-reducing bacteria

在一定条件下能将硫酸根离子还原成二价硫离子，进而形成副产物硫化氢，对金属有很大腐蚀作用的一类细菌。

［来源：SY/T 5329—2022，3.4］

3.1.4

试验批　test unit

采用同一熔炉，在相同钢管制造条件下，通过相同制管工艺，制成的相同规定外径和规定壁厚的规定数量的钢管。

3.2　符号

下列符号适用于本文件。

A——拉伸试样的横截面积，单位为平方毫米（mm^2）；

A_R——端面密封液压缸横截面积，单位为平方毫米（mm^2）；

A_P——管壁横截面积，单位为平方毫米（mm^2）；

A_I——钢管内径横截面积，单位为平方毫米（mm^2）；

C——碳元素符号；

C_M——化学元素 M 的质量分数，以百分数表示；

CE_{IIW}——采用国际焊接学会公式确定的碳当量；

CE_{pcm}——采用 Ito-Bessyo 碳当量公式的化学部分确定的碳当量；

D——钢管规定外径，单位为毫米（mm）；

d_{max}——腐蚀后试样表面的最大蚀坑深度，单位为毫米（mm）；

e——标距为 50 mm 时的最小伸长率，以百分数表示；

e_f——标距为 50.8 mm 时的最小伸长率，以百分数表示；

P——静水压试验压力，单位为兆帕（MPa）；

P_R——端面密封液压缸内压力，单位为兆帕（MPa）；

R_m——抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

R_{pit}——最大点蚀速率，单位为毫米每年（mm/a）；

$R_{t0.5}$、$R_{t0.65}$——总伸长率 0.5%的屈服强度、总伸长率 0.6%的屈服强度，单位为兆帕（MPa）；

$R_{t,x}$——总伸长率 x 的屈服强度（MPa）；

S——环向应力，单位为兆帕（MPa）；其数值根据 GB/T 9711 的规定取值；

T——腐蚀试验周期，单位为小时(h)；

t——钢管规定壁厚，单位为毫米(mm)；

x——载荷下的总伸长率，以百分数表示；

YS_{min}——规定最小屈服强度，单位为兆帕(MPa)。

3.3 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CVN：夏比 V 型缺口(Charpy V-notch)

HRC：C 标尺洛氏硬度(Rockwell Hardness C-scale)

HV：维氏硬度(Vickers Hardness)

MT：磁粉检测(Magnetic-particle Testing)

PBS：磷酸缓冲盐溶液(Phosphate Buffer Saline)

RM：耐微生物腐蚀(Resistant to Microbial Corrosion)

SRB：硫酸盐还原菌(Sulfate-reducing Bacteria)

UT：超声检测(Ultrasonic Testing)

4 钢管等级、钢级和交货状态

4.1 钢管等级和钢级

4.1.1 用于输送管的钢管等级应符合表 1 的规定。钢管等级由字母或字母与数据混排的牌号构成，以识别钢管的强度水平。钢名(表示为钢级牌号)与钢的化学成分有关，其后缀的单个字母(N 或 Q)表示钢管的交货状态，最后的字母组合(RM)表示耐微生物腐蚀钢管。

表 1 用于输送管的钢管等级

钢管等级/钢级	交货状态
L245N-RM 或 BN-RM	N
L290N-RM 或 X42N-RM	
L320N-RM 或 X46N-RM	
L360N-RM 或 X52N-RM	
L245Q-RM 或 BQRM	Q
L290Q-RM 或 X42Q-RM	
L320Q-RM 或 X46Q-RM	
L360Q-RM 或 X52Q-RM	
L390Q-RM 或 X56Q-RM	
L415Q-RM 或 X60Q-RM	
L450Q-RM 或 X65Q-RM	
注：N、Q 代表交货状态，N 指正火轧制、正火、正火＋回火交货状态，Q 指淬火＋回火交货状态。	

4.1.2 用于油管、套管的钢管等级应符合表 2 的规定。钢管等级由字母或字母与数据混排的牌号构成，以识别钢管的强度水平，最后的字母组合(RM)表示耐微生物腐蚀钢管。

表 2　用于油管、套管的钢管等级

钢管等级/钢级	交货状态
80-RM	Q
90-RM	
95-RM	
110-RM	
注：Q 指淬火＋回火交货状态。	

4.2　交货状态

钢管的交货状态应符合订货合同中钢管等级所对应的状态。

5　由购方提供的信息

5.1　用于输送管的订购合同中应包括下列信息：

a）　钢级及交货状态(见表 1)；
b）　钢管的总质量或总长度；
c）　外径和壁厚；
d）　长度和长度类型；
e）　钢管焊接性的要求；
f）　按 GB/T 9711 的规定由购方和制造商协商确定的条款。

5.2　用于油管和套管的订购合同中应包括下列信息：

a）　钢管用途(油管、套管)；
b）　钢级及交货状态(见表 2)；
c）　钢管的总质量或总长度；
d）　外径和壁厚；
e）　GB/T 19830—2023 规定的其他可选要求；
f）　按 GB/T 19830—2023 规定由购方和制造商协商确定的条款。

6　制造方法和工艺

6.1　制造方法

6.1.1　钢管应采用转炉冶炼或电炉冶炼，并应进行炉外精炼＋真空脱气处理。制造过程中应对钢水进行处理，以控制夹杂物的形态。夹杂物形态控制效果可由购方和制造商双方协商确定评估方法(如金相检验)。当钢中硫含量不大于 0.001 % 时，可协商不进行夹杂物形态控制效果评估。若购方无特殊要求，冶炼方法由制造商自行确定。

6.1.2　用于油管、套管的钢管，制造过程中应进行晶粒细化处理。

注：加入一种或多种晶粒细化元素，使钢的奥氏体晶粒细化。

6.1.3　制造商应在产品质量证明书中注明采用的冶炼方法。

6.2 制造工艺

6.2.1 按本文件供应的无缝钢管，其制造工艺应符合表 3 的规定，并根据订单规定进行全管体、全长热处理。如果采用冷精整方法，应在质量报告书中指明。

表 3 钢管的制造工艺

原料	钢管成型	钢管热处理
钢锭、初轧坯或方坯、连铸圆坯	热成型	N
		Q
	热成型和冷精整	N
		Q
注：N、Q 代表交货状态，N 指正火轧制、正火、正火＋回火交货状态，Q 指淬火＋回火交货状态。		

6.2.2 用于输送管的钢管，其管端加工应符合 GB/T 9711 的规定。

6.2.3 用于油管、套管的钢管，其端部和接箍应符合 GB/T 19830—2023 的规定。

7 技术要求

7.1 化学成分

7.1.1 用于输送管的钢管，当壁厚不大于 25.0 mm 时，其化学成分应符合表 4 的规定。对于壁厚大于 25.0 mm 的钢管，化学成分应协商确定，碳当量极限值的选择应有利于焊接性。碳当量(CE_{Pcm})应采用公式(1)确定，碳当量(CE_{IIW})应采用公式(2)确定，式中化学元素符号表示质量分数。

$$CE_{Pcm}=C_C+\frac{C_{Si}}{30}+\frac{C_{Mn}}{20}+\frac{C_{Cu}}{20}+\frac{C_{Ni}}{60}+\frac{C_{Cr}}{20}+\frac{C_{Mo}}{15}+\frac{C_V}{10}+5C_B \quad \cdots\cdots(1)$$

$$CE_{IIW}=C_C+\frac{C_{Mn}}{6}+\frac{(C_{Cr}+C_{Mo}+C_V)}{5}+\frac{(C_{Ni}+C_{Cu})}{15} \quad \cdots\cdots(2)$$

表 4 用于输送管的钢管的化学成分

钢级	质量分数[a] %									碳当量[c] 最大
	C	Si	Mn[b]	P	S	V	Nb	Ti	Cu	CE_{pcm}
L245N-RM 或 BN-RM	0.14	0.40	1.35	0.020	0.005	0.08	0.05	0.04	0.30-2.50	0.25%
L290N-RM 或 X42N-RM	0.14	0.40	1.35	0.020	0.005	0.08	0.05	0.04	0.30-2.50	
L320N-RM 或 X46N-RM	0.14	0.40	1.40	0.020	0.005	0.08	0.05	0.04	0.30-2.50	
L360N-RM 或 X52N-RM	0.14	0.45	1.65	0.020	0.005	0.10	0.05	0.04	0.30-2.50	
L245Q-RM 或 BQ-RM	0.14	0.40	1.35	0.020	0.005	0.08	0.04	0.04	0.30-2.50	
L290Q-RM 或 X42Q-RM	0.14	0.40	1.35	0.020	0.005	0.08	0.04	0.04	0.30-2.50	

表 4　用于输送管的钢管的化学成分（续）

钢级	质量分数[a] %									碳当量[c] 最大
	C	Si	Mn[b]	P	S	V	Nb	Ti	Cu	CE_{pcm}
L320Q-RM 或 X46Q-RM	0.15	0.45	1.40	0.020	0.005	0.08	0.05	0.04	0.30-2.50	0.25%
L360Q-RM 或 X52Q-RM	0.16	0.45	1.65	0.020	0.005	0.08	0.05	0.04	0.30-2.50	
L390Q-RM 或 X56Q-RM	0.16	0.45	1.65	0.020	0.005	0.08	0.05	0.04	0.30-2.50	
L415Q-RM 或 X60Q-RM	0.16	0.45	1.65	0.020	0.005	0.08	0.05	0.04	0.30-2.50	
L450Q-RM 或 X65Q-RM	0.16	0.45	1.65	0.020	0.005	0.09	0.05	0.06	0.30-2.50	

注：除 Cu 元素外，其他元素均给出允许的最大值。

[a] $C_{Al总}\leqslant 0.060\%$；$C_N\leqslant 0.012\%$；$C_{Al}/C_N\geqslant 2:1$（不适用于钛镇静钢或钛处理钢）；$C_{Ni}\leqslant 2.50\%$；$C_{Mo}\leqslant 0.80\%$；$C_B\leqslant 0.001\%$。

[b] 碳含量比规定最大碳含量每减少 0.01%，则允许锰含量比规定最大锰含量高 0.05%，最大增加 0.20%。

[c] 以产品分析为依据，碳含量不大于 0.12%时用 CE_{pcm}。由于 Cu 含量的差异，碳当量的控制也可由购方与制造商协商。当碳含量大于 0.12%时，碳当量的控制由购方与制造商协商。

7.1.2　用于油管、套管的钢管，应符合表 5 的规定。对于 110-RM 钢级，制造商有意加入到每一炉批的所有元素的最高和最低值，应予以报告。

表 5　用于油管、套管的钢管的化学成分

钢级	质量分数 %							
	C	Mn	Mo	Cr	Ni	Cu	P	S
80-RM	0.43[a]	1.90	0.85	8.0	2.5	0.50～2.50	0.020	0.010
90-RM	0.35	1.20	0.85	8.0	2.5	0.50～2.50	0.020	0.010
95-RM	0.35	1.20	0.85	8.0	2.5	0.50～2.50	0.020	0.010
110-RM	0.35	1.20	0.85	8.0	2.5	0.50～2.50	0.020	0.010

注：除 Cu 元素外，其他元素均给出允许的最大值。

[a] 如果产品采用油淬，则 80-RM 钢级的碳含量上限可增加到 0.50%。

7.2　金相组织

7.2.1　用于输送管的钢管，其晶粒度应符合 GB/T 6394 中 7 级或更细的规定。购方宜规定带状组织和夹杂物的具体要求。

7.2.2　用于油管、套管的钢管，80-RM、90-RM 和 95-RM 钢级的晶粒度不应低于 GB/T 6394 中规定的 5 级；110-RM 钢级的晶粒度不应低于 GB/T 6394 中规定的 6 级。购方宜规定带状组织、夹杂物的具体要求。

7.3 拉伸性能

7.3.1 用于输送管的钢管的拉伸性能应符合表6的规定。在50 mm的标距长度上，规定的最小伸长率(e)(圆整到最邻近的百分数)应采用公式(3)确定。

$$e = 1\ 490 \times \frac{A^{0.2}}{R_m^{0.9}} \qquad \cdots\cdots(3)$$

注：根据规定外径或试样的名义宽度和规定壁厚计算拉伸试样横截面积且圆整到最邻近的10 mm²，并取计算值或485 mm²中的较小者作为A值：

——对于标距内直径为8.9 mm和12.7 mm的圆棒拉伸试样，A取值为130 mm²；

——对于标距内直径为6.4 mm的圆棒拉伸试样，A取值为65 mm²。

表6 用于输送管的钢管的拉伸性能要求

钢管钢级	屈服强度 $R_{t0.5}$ MPa	抗拉强度 R_m MPa	屈强比[a] $R_{t0.5}/R_m$
L245N-RM 或 BN-RM L245Q-RM 或 BQ-RM	245～450[b]	415～655	≤0.93
L290N-RM 或 X42N-RM L290Q-RM 或 X42Q-RM	290～495	415～655	≤0.93
L320N-RM 或 X46N-RM L320Q-RM 或 X46Q-RM	320～525	435～655	≤0.93
L360N-RM 或 X52N-RM L360Q-RM 或 X52Q-RM	360～530	460～760	≤0.93
L390Q-RM 或 X56Q-RM	390～545	490～760	≤0.93
L415Q-RM 或 X60Q-RM	415～565	520～760	≤0.93
L450Q-RM 或 X65Q-RM	450～600	535～760	≤0.93

[a] 适用于D＞323.9 mm的钢管。

[b] 对要求纵向试验的钢管，其最大屈服强度应不大于495 MPa。

7.3.2 用于油管、套管钢管的拉伸性能应符合表7的规定。在50.8 mm的标距长度上，规定的最小伸长率e_f(圆整到最邻近的百分数)应采用公式(4)确定。加厚套管和油管的拉伸性能(加厚端伸长率除外)应与管体的要求一致。加厚处的性能(伸长率除外)应从加厚部位取样和检测。

$$e_f = 1\ 492.57 \times \frac{A^{0.2}}{R_m^{0.9}} \qquad \cdots\cdots(4)$$

注1：根据规定外径或试样的名义宽度和规定壁厚计算拉伸试样横截面积且圆整到最邻近的10 mm²，并取计算值或490 mm²中的较小者作为A值。

注2：对于标距内直径为8.9 mm、标距长度为35.6 mm和标距内直径为12.7 mm、标距长度为50.8 mm圆棒拉伸试样和，A取值为130 mm²。

表 7　用于油管、套管的钢管的拉伸性能要求

钢级	载荷下的总伸长率 x %	屈服强度 $R_{t,x}$ MPa	抗拉强度 R_m MPa
80-RM	0.5	552～758	≥689
90-RM	0.5	621～827	≥689
95-RM	0.5	655～862	≥724
110-RM	0.6	758～965	≥862

7.4　夏比冲击性能

7.4.1　用于输送管的钢管，在 0 ℃下，同一组 3 个全尺寸试样（即 10 mm×10 mm×55 mm）的平均 CVN 吸收能应不小于 80 J。任何试样的单个试验值不应小于规定的最小平均（同一组的 3 个试样）吸收能的 75%。采用小尺寸试样时，最小平均吸收能应为全尺寸试样的规定吸收能与小尺寸试样规定宽度与全尺寸试样规定宽度的比值的乘积，计算结果圆整到最邻近的焦耳。

注：小尺寸试样指 3/4、2/3 和 1/2 全尺寸试样。

7.4.2　用于油管、套管的钢管，在 0 ℃下，同一组的 3 个全尺寸试样（即 10 mm×10 mm×55 mm）的平均 CVN 吸收能应满足表 8 的要求。接箍材料和接箍的全尺寸试样在 0 ℃下的平均（同一组的 3 个试样）CVN 吸收能应满足表 9 的要求。还满足以下要求。

a）　同一组的 3 个试样中，最多允许一个冲击试样的吸收能低于表 8 或表 9 的要求，但任何试样的单个试验值不应小于规定的最小平均（同一组的 3 个试样）吸收能的 2/3。

b）　当无法截取全尺寸横向试样时，应按照 GB/T 19830—2023 中的规定取尽可能大的小尺寸横向试样。

c）　当无法截取横向试样时，应按照 GB/T 19830—2023 的规定截取符合规定的纵向试样。

d）　当使用小尺寸试样时，最低 CVN 吸收能要求应为全尺寸试样吸收能要求值乘以表 8 中的降低系数。但在任何情况下，如果降低后吸收能要求低于 11J，不应使用小尺寸试样。

表 8　用于油管、套管的钢管全尺寸试样最低吸收能要求

钢级	横向要求	纵向要求
80-RM、90-RM 和 95-RM	YS_{min}（0.001 18 t＋0.012 59）或 14J，取二者中的较大者（见 GB/T 19830—2023 中表 C.18）	YS_{min}（0.002 36 t＋0.025 18）或 27J，取二者中的较大者（见 GB/T 19830—2023 中表 C.19）
110-RM	YS_{min}（0.001 18 t＋0.012 59）或 20J，取二者中的较大者（见 GB/T 19830—2023 中表 C.18）	YS_{min}（0.002 36 t＋0.025 18）或 41J，取二者中的较大者（见 GB/T 19830—2023 中表 C.19）
注：当使用 3/4 尺寸试样（10.0 mm×7.5 mm×55.0 mm）时，降低系数为 0.80；当使用 1/2 尺寸试样（10.0 mm×5.0 mm×55.0 mm）时，降低系数为 0.55。		

表 9　接箍材料和接箍的全尺寸试样最低吸收能要求

钢级	横向要求	纵向要求
80-RM、90-RM、95-RM 和 110-RM	YS_{min}(0.001 18 t+0.012 59)或 20J,取二者中的较大者(见 GB/T 19830—2023 中表 C.16)	YS_{min}(0.002 36 t+0.025 18)或 41J,取二者中的较大者(见 GB/T 19830—2023 中表 C.17)

7.5　硬度

7.5.1　用于输送管的钢管,其管体的硬度应不大于 250HV10 或 22HRC。

7.5.2　用于油管、套管的钢管管体硬度应满足表 10 及下列要求:

a)　对于 80-RM 钢管,任何单个压痕测得的硬度值不应超过 28.0HRC;

b)　对于 90-RM 钢管,任何单个压痕测得的硬度值不应超过 30.0HRC,当平均硬度值介于 28.0HRC～30.0HRC 之间时,应进行复验;

c)　对于 95-RM 钢管,任何单个压痕测得的硬度值不应超过 31.0HRC,当平均硬度值介于 29.0HRC～31.0HRC 之间时,应进行复验;

d)　对于 110-RM 钢管,任何单个压痕测得的硬度值不应超过 32.0HRC,当平均硬度值介于 30.0HRC～32.0HRC 之间时,应进行复验。

表 10　用于油管、套管的钢管的硬度要求

钢级	HRC
80-RM	≤27.0
90-RM	≤28.0
95-RM	≤29.0
110-RM	≤30.0

7.6　淬透性

7.6.1　用于油管、套管的钢管,对于每种规格、质量、化学成分以及奥氏体化及淬火组合,应在每一生产流程的淬火后、回火前的产品上进行全壁厚硬度试验,测定淬透性。

7.6.2　全壁厚硬度试验应在钢管本体上进行,如果是加厚产品或附件材料,应在加厚部位或设计的最大壁厚部位进行。

7.6.3　80-RM 钢级的平均硬度值应不小于由公式(5)确定的、对应于最小 50%马氏体的硬度值。

$$HRC_{min}=[52\times C_C]+21 \quad \cdots\cdots(5)$$

7.6.4　90-RM 和 95-RM 钢级的平均硬度值应不小于由公式(6)确定的、对应于最小 90%马氏体的硬度值。

$$HRC_{min}=[58\times C_C]+27 \quad \cdots\cdots(6)$$

7.6.5　110-RM 钢级的平均平均硬度值应不小于由公式(7)确定的、对应于最小 95%马氏体的硬度值。

$$HRC_{min}=[59\times C_C]+29 \quad \cdots\cdots(7)$$

注:公式(5)～公式(7)源于 ISO 15156-2 中的数据,适用于碳含量在 0.15%～0.50%范围内的情况。

7.7 耐静水压强度

7.7.1 用于输送管的钢管，应进行静水压试验，试验后应无渗漏或明显变形。

7.7.2 用于油管、套管的钢管，应在加厚（如果适用）后和最终热处理（如果适用）后进行全长静水压试验，试验后应无渗漏或明显变形。

7.7.3 如果制造商能证明其制造工艺能使钢管全长承受比理论计算更高的静水压试验压力，经购方同意后可不进行静水压试验。

7.8 耐微生物腐蚀性能

7.8.1 用于输送管的钢管，在标准腐蚀试验条件下的最大点蚀速率应不超过 0.13 mm/a。

7.8.2 用于油管、套管的钢管，在标准腐蚀试验条件中的最大点蚀速率应不超过 0.13 mm/a。

注：标准腐蚀试验条件见 8.9。

7.8.3 如果钢管在应用中可能存在硫化物应力开裂风险，可由购方与制造商协商，对采购产品进行硫化物应力开裂试验评价，验收指标由购方与制造商协商制定确定。

7.9 表面状况、缺欠和缺陷

7.9.1 用于输送管的钢管

7.9.1.1 所有钢管在交货时应无缺陷。

7.9.1.2 所有钢管应无裂纹、渗水和漏水。

7.9.1.3 用无损检测方法检验的缺欠验收极限应满足 GB/T 9711 的要求。

7.9.1.4 扩展到钢管表面或坡口面上，且外观检查周向长度大于 6.4 mm 的任何分层或夹杂应认为是缺陷。有这种缺陷的钢管应被拒收或返切，直到管端上没有这样的分层或夹杂存在。

7.9.1.5 除摔坑外，由于钢管成型工艺或制造操作可能造成钢管实际轮廓相对于钢管正常圆柱轮廓的几何尺寸偏离（如扁平块或噘嘴等），当几何尺寸偏离处的极端点与钢管正常轮廓延伸部分之间的测量间距（即深度）超过 3.2 mm 时，该处应认为是缺陷。

7.9.1.6 当摔坑在任何方向上的长度超过 $0.5D$，且深度（指凹陷的最低点与钢管正常轮廓延伸部分之间的测量间距）超过 3.2 mm（针对冷态成型并带有尖底划伤的摔坑）或 6.4 mm（其他摔坑）时，应认为是缺陷。

7.9.1.7 在任何方向上尺寸大于 50 mm，单点压痕的硬度值超过 35HRC 或 345HV10 的硬块应认为是缺陷。

7.9.1.8 外观检查发现的深度大于 $0.125\ t$ 且不影响最小允许壁厚的缺欠，以及影响最小允许壁厚的缺欠，应认为是缺陷。

注：影响最小允许壁厚的缺欠是指该表面缺欠下的剩余壁厚小于最小允许壁厚的缺欠。

7.9.1.9 对于钢管的缺陷，不应通过焊接进行修复。

7.9.2 用于油管、套管的钢管

7.9.2.1 所有钢管子和由钢管制成的附件不应包含：

a) 任何淬火裂纹；
b) 使净有效壁厚减小到规定壁厚的 87.5%以下的任何表面开裂缺欠；
c) 外表面上面积大于 260 mm^2 的任何非表面开裂缺欠（如有协议规定）；
d) 内外表面上任何方向上深度大于 GB/T 19830—2023 中表 C.30 或表 E.30 所列数值的任何线性缺欠；
e) 钢管加厚部位任何方向上深度大于 GB/T 19830—2023 中表 C.31 或表 E.30 所列数值的任何

表面开裂缺欠、位于管体外螺纹部位且深度大于规定壁厚 10%的内表面上的任何非线性表面开裂缺欠、所有加厚产品的内加厚结构上任何可使 90°钩形工具挂住的尖角或截面突变。

7.9.2.2 所有非钢管制成的附件材料、接箍毛坯和接箍材料不应有任何淬火裂纹。

7.9.2.3 所有接箍毛坯和接箍材料外表面不应有深度大于制造壁厚的 5%或可证实其外径或壁厚减小到规定公差以下的任何表面开裂缺欠。

7.10 尺寸、质量和偏差

7.10.1 用于输送管的钢管，其尺寸、质量和偏差应符合 GB/T 9711 的规定。

7.10.2 用于油管、套管的钢管，其尺寸、质量和偏差应符合 GB/T 19830—2023 的规定。

7.11 用于输送管的钢管焊接性

7.11.1 制造商应提供相关钢的焊接性数据，否则应进行焊接评价试验。焊接评价试验的细节和验收极限由购方和制造商协商确定。

7.11.2 由于焊后钢管接头性能与化学成分、焊接材料和焊接工艺等有关，如有协议，制造商应提供可选用的焊接材料及焊接工艺。

7.11.3 应评价焊接接头的耐微生物腐蚀性能，且应满足 7.8 的要求。

8 检验和试验

8.1 一般要求

8.1.1 用于输送管的钢管，检验和试验项目应符合表 11 的规定。

表 11 用于输送管的钢管的检验和试验项目

类型	检验项目	试验要求	检验频次	检验和试验方法	技术要求
化学分析	熔炼分析	M	每熔炼炉的钢分析 1 次	8.2	7.1.1
	产品分析	M	每熔炼炉的钢分析 2 次	8.2	7.1.1
物理试验	金相分析	M	每熔炼炉的钢分析 2 次	8.3.1	7.2.1
	拉伸试验[a]	M	$D \leqslant 141.3$ mm：相同冷扩径率不超过 400 根钢管为一试验批进行 1 次试验 $D > 141.3$ mm 且 $\leqslant 323.0$ mm：相同冷扩径率不超过 200 根钢管为 1 试验批进行 1 次试验 $D > 323.0$ mm：相同冷扩径率不超过 100 根钢管为一试验批进行 1 次试验	8.4	7.3.1
	冲击试验	M	相同冷扩径率钢管为 1 试验批，每批 1 次	8.5	7.4.1
	硬度试验	M	每批次 1 次	8.6.1	7.5.1
耐静水压试验	静水压试验	M	每根钢管	8.8.1	7.7.1
外观检查	表面质量、缺欠与缺陷	M	每根钢管	8.11.1	7.9.1

表 11　用于输送管的钢管的检验和试验项目（续）

类型	检验项目	试验要求	检验频次	检验和试验方法	技术要求
尺寸检查	—	M	按照 GB/T 9711 的要求执行	8.11.1	7.10.1
无损检验	—	M	每根钢管	8.10.1	7.9.1
腐蚀试验	耐微生物腐蚀试验	M	每钢级 1 次，或由购方与制造商协议	8.9	7.8.1
其他	焊接性评价	M	每钢级 1 次，或由购方与制造商协议	8.12	7.11
注：M 表示强制性的。					
[a] 冷扩径率（适用时）用扩径前外径或圆周长与扩径后外径或圆周长推导出，由制造商设定。冷扩径率增加或减少量超过 0.002 时，则要求建立一个新的试验批。					

8.1.2　用于油管、套管的钢管，检验和试验项目应符合表 12 的规定。

表 12　用于油管和套管的钢管的检验和试验项目

类型	检验项目[a]	试验要求	检验频次[d]	检验和试验方法	技术要求
化学成分分析	熔炼分析	M	每熔炼炉的钢分析 1 次	8.2	7.1.2
	产品分析	M	每熔炼炉的钢分析 2 次		
物理试验	金相分析	M	每熔炼炉的钢分析 2 次	8.3.2	7.2.2
	拉伸试验[b,c]	M	80-RM 钢级：每批 1 次 90-RM 和 95-RM 钢级：每批 1 次 110-RM 钢级：每批 1 次	8.4	7.3.2
	冲击试验	M	每批次 1 次	8.5	7.4.2
	硬度试验	M	每批次 1 次	8.6.2	7.5.2
	淬透性	M	每一生产过程或热处理作业 1 次	8.7	7.6
耐静水压强度试验	静水压试验	M	每根钢管	8.2	7.7.2
外观检查	外观检查	M	每根钢管	8.11.2	7.9.2
尺寸检查	尺寸检查	M	按照 GB/T 19830—2023 的要求执行	8.11.2	7.10.2
无损检测	无损检测	M	每根钢管	8.10.2	7.9.2
腐蚀试验	耐微生物腐蚀试验	M	每钢级 1 次，或由购方与制造商协议	8.9	7.8.2
注：M 表示强制性的。					
[a] 接箍的成品分析、拉伸试验和冲击试验等试验项目在接箍料或接箍毛坯上进行。 [b] 对于 80-RM、90-RM 和 95-RM 钢级，$D \leqslant 114.3$ mm 时，每一批次中的最多件数为 200；$D > 114.3$ mm 时，每一批次中的最多件数为 100。 [c] 对于 110-RM 钢级，每一批次中的最多件数为 100。 [d] 一批定义为来自同一炉批、作为连续作业的一部分（或单独作为一批）进行热处理、具有相同规定尺寸和钢级的所有产品。					

8.2 化学分析

8.2.1 除另有协议外，由制造商决定选择适用的化学分析方法进行分析测定，有争议时，应在双方同意的实验室进行分析试验。同时，双方应协商确定分析方法，可参考 ISO/TR 9769。

8.2.2 试样的取样和制样应按 GB/T 20066 的规定进行。

8.2.3 制造商应提供用于制造订单上规定产品的每炉钢的熔炼分析报告。按购方要求，还应提供制造商用以控制力学性能的其他元素的定量分析结果。

8.2.4 制造商应在热处理之前或之后经精加工的管产品（每炉钢应取 2 根隔开的管产品）进行产品分析，提供表 4 和表 5 所列的所有元素的定量分析结果，以及制造商用来控制力学性能的其他元素的定量分析结果。

8.2.5 如果代表一炉批的 3 根管产品的分析结果不满足规定要求，则由制造商选择，或应拒收该炉产品，或应将该炉所有剩余产品逐根进行试验，以确定是否满足规定要求。如果 2 个试样中仅有 1 个试样不满足规定要求，则由制造商选择，或应拒收该炉产品，或应从该炉产品中另取 2 根产品进行复验。如果复验用的 2 个试样满足规定要求，则除最初分析不合格的产品外，该炉产品合格。如果 1 个或 2 个复验用的试样不满足规定要求，则由制造商选择，或应拒收该炉产品，或应将剩余的产品逐根进行试验。在逐根试验任一炉的剩余产品时，只分析不合格元素或需要测定的元素。

8.3 金相分析

8.3.1 应按照 GB/T 13298 的方法评定钢管的显微组织，按照 GB/T 6394 的方法测定其晶粒度，按照 GB/T 10561 的方法测定其非金属夹杂物含量。

8.3.2 金相分析应在热处理后的钢管上进行。

8.3.3 当金相分析结果不符合 7.2 的规定时，按以下程序进行复验。

a) 应从同一批号、同一炉号、同一规格的钢管中，另取双倍数量的试样（包括备用样）。复验试样应取自初验不合格钢管相邻位置的同支钢管，或按抽样方案重新抽取。

b) 对双倍数量的试样，就初验不合格的同一项目进行检验。复验应由初验机构以外的另一名持有相应资格的金相检验员进行，或由双方共同认可的具有资质的第三方仲裁机构进行。

c) 如果所有复验试样的检验结果均合格，则该批（或该炉）钢管的金相组织判定为合格；如果复验试样中仍有任意一个试样的检验结果不合格，则该批（或该炉）钢管的金相组织判定为不合格。

8.4 拉伸试验

8.4.1 用于输送管的钢管，拉伸试验试样应符合 GB/T 9711 的规定。对于非冷扩径钢管，采用纵向拉伸试样，试样数量为 1 件。对于冷扩径钢管，当外径小于 219.1 mm 时采用纵向拉伸试样，试样数量为 1 件；当外径不小于 219.1 mm 时采用横向拉伸试样，试样数量为 1 件。横向试样应为圆棒试样，且取自未压平的试块。

8.4.2 用于油管、套管的钢管，试样应符合 GB/T 19830—2023 的规定。由购方与制造商协商，可选择全截面试样、条形试样或圆棒试样。条形试样应取自钢管圆周上任一位置，圆棒试样应取自壁厚中间位置。除圆棒试样外，其他拉伸试样应代表所截取钢管产品的整个壁厚，且不应将试样压平进行试验。当钢管规格允许时，圆棒试样直径应为 12.7 mm；当钢管规格不足以截取 12.7 mm 圆棒试样时，应采用直径为 8.9 mm 的圆棒试样。

8.4.3 拉伸试验按照 GB/T 228.1 的规定和下列要求进行：

a) 应测定屈服强度、抗拉强度、屈强比（如适用）以及断后伸长率；

b) 应报告标距长度为 50.8 mm 试样的断后伸长率；

c) 对于试样标距长度小于 50.8 mm 的试样，应按照 GB/T 17600.1 的方法，将断裂后测得的伸长

率转换为 50.8 mm 长度上的伸长率。

8.4.4 如果代表一批产品的一次拉伸试验不满足规定要求，则制造商可从同一批产品中另取 2 件进行复验。如果所有试样复验均满足要求，则除最初取样的产品外，该批产品判定为合格。如果复验中一个或多个试样不满足规定要求，则制造商可选择将该批剩余产品逐根进行试验。

8.5 CVN 冲击试验

8.5.1 用于输送管的钢管，CVN 冲击试验用试样应符合 GB/T 9711 的规定。试验时：

a) 宜优先采用横向全尺寸试样，其次为 3/4、2/3、1/2 试样；
b) 横向试样均应取自未压平试样；
c) 除非另有协议，试验温度为 0 ℃；
d) 一组试样不满足规定要求，制造商可选择替换本试验批涉及的材料，或从该试验批中再另取 2 根钢管进行试验；
e) 如果新试验均满足规定要求，则除初始取样管外，该批次剩余钢管判定为合格；
f) 如果 2 个试验中任一试验不满足规定要求，则应对该批剩余的所有钢管进行试验。

8.5.2 用于油管、套管的钢管，试样应符合 GB/T 19830—2023 的规定。试验时：

a) 宜优先采用横向全尺寸试样，其次为 3/4、1/2 试样；
b) 当无法选用横向试样时，宜使用尽可能大的纵向试样；
c) 如果一个以上试样的结果不满足规定要求，或一个试样的结果低于规定要求的 2/3，则应从同一件产品上另取 3 个试样进行复验。复验的每一个试样的冲击吸收能均应满足规定要求，否则该件产品应拒收，并应对该批剩余的所有钢管进行试验。

8.5.3 CVN 冲击试验应按照 GB/T 229 的规定和下列要求进行：

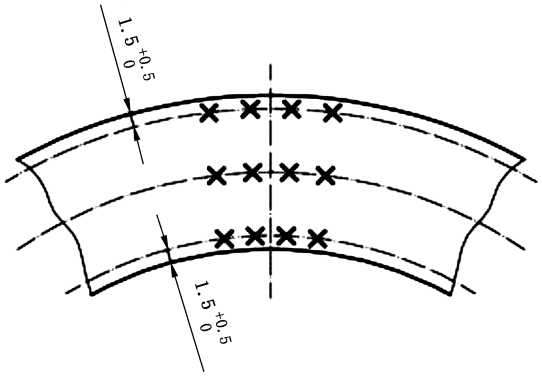
a) 锤头半径为 8 mm；
b) 测量并报告 CVN 吸收能和剪切面积百分比。

8.6 硬度试验

8.6.1 用于输送管的钢管，硬度试验用试样应为横向试样。应按照 GB/T 4340.1 或 GB/T 230.1 的规定，在图 1 所示的位置进行硬度试验。试验结果应按下列要求进行判定：

a) 当单点硬度读数超过相应验收极限时，如果三点中最小值与在这三点附近加取的六点中最大值的平均值不超过相应验收极限，且单点读数超过相应验收极限的幅度不多于 10HV10 或 2HRC(选两者中适用者)，也可视为该单点合格；
b) 如果代表一个试验批钢管的硬度试验试样不满足规定要求，制造商可选择在同一批另取 2 根钢管进行复验；
c) 如果 2 个复验试样都满足规定要求，除原始试样取样的钢管外，该批剩余的全部钢管应接收；
d) 如果有 1 个或 2 个复验试样不满足规定要求，制造商可选择对该批剩余钢管逐根进行试验。

单位为毫米



注：壁厚小于 4 mm 的钢管，在厚度中部的横向进行试验；壁厚介于 4 mm～6 mm 的钢管，在内表面和外表面横向进行试验。

图 1　用于输送管的钢管的硬度试验位置

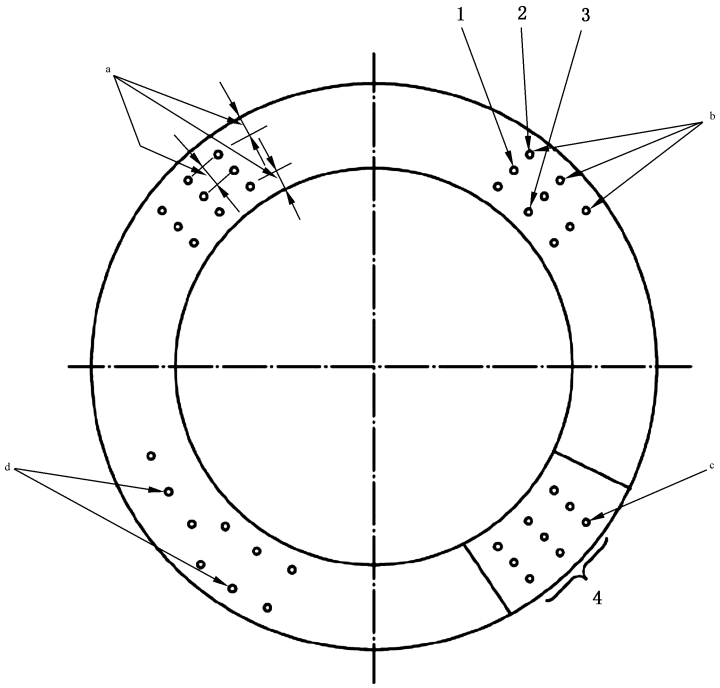
8.6.2　用于油管、套管的钢管，应从产品上截取产品试块或试验环，应根据 GB/T 230.1 的规定采用洛氏 C 标尺方法进行一个象限或四个象限的全壁厚硬度试验，压痕位置如图 2 所示。硬度试验机的周期检查、试验机和压头的验证应按 GB/T 19830—2023 中的要求进行。用于全壁厚硬度试验，标准化试块的最大不均匀度应为 0.4 HRC。对于淬透性试验，标准化试块的最大不均匀度应为 1.0 HRC。HRC 压头的最大性能误差应为±0.4 HRC。按下列要求进行复验。

a）　对于 80-RM 钢级产品，如果代表一批的全壁厚硬度试样结果不满足规定要求，则制造商可选择从同一批另取 2 件产品，在与初次取样的同一端取样进行复验。如果所有复验试样满足要求，则除初次试验不合格的产品外，该批产品可接收。如果复验中一个或多个试样不满足规定要求，则制造商可选择对该批剩余产品逐件试验或整批拒收。

b）　对于 90-RM 钢级产品，如果任何平均硬度值在 28.0 HRC～30.0 HRC 之间，则应在紧邻区域另打 3 个压痕，得到一个新的平均硬度值。如果新的平均硬度值不超过 28.0 HRC，则该产品应可接收，否则应拒收。制造商可选择从同一批另取 2 件产品进行复验。如果所有复验试样满足要求，则除初次试验不合格的产品外，该批产品可接收，否则整批产品应拒收。

c）　对于 95-RM 钢级产品，如果任何平均硬度值在 29.0 HRC～31.0 HRC 之间，则应在紧邻区域另打 3 个压痕，得到一个新的平均硬度值。如果新的平均硬度值不超过 29.0 HRC，则该产品应可接收，否则应拒收。制造商可选择从同一批另取 2 件产品进行复验。如果所有复验试样满足要求，则除初次试验不合格的产品外，该批产品均可接收，否则整批产品应拒收。

d）　对于 110-RM 钢级产品，如果任何平均硬度值在 30.0 HRC～32.0 HRC 之间，则应在紧邻区域另打 3 个压痕，得到一个新的平均硬度值。如果新的平均硬度值不超过 30.0 HRC，则该产品可接收，否则应拒收。制造商可从同一批另取 2 件产品进行复验。如果所有复验试样满足要求，则除初次试验不合格的产品外，该批产品均可接收，否则整批产品应拒收。



标引说明：

1——壁厚中间位置压痕；

2——壁厚外部位置压痕；

3——壁厚内部位置压痕；

4——产品试验块。

注：如果硬度压痕中心距试样边缘的距离小于 2.5 倍的压痕直径或两压痕中心的间距小于 3 倍的压痕直径时，试验结果可能有误；

[a] 压痕位置应取在距外表面或内表面 2.54 mm～3.81 mm 之间的位置。

[b] 洛氏硬度读数的平均值为在相同位置上三个洛氏硬度读数的平均值。

[c] 洛氏硬度压痕数据称为洛氏硬度值。

[d] 对于薄壁管，压痕行的位置允许错开排列。

图 2　油管和套管用钢管的全壁厚硬度试验的示意图

8.7　淬透性

8.7.1　对于 90-RM、95-RM 和 110-RM 钢级，每一生产过程或热处理作业应在一个试样上测定淬透性。

8.7.2　每个订单产品的开始以及其后每当产品规格发生变化时，或奥氏体化和淬火工艺条件发生显著变化时，应进行 4 个象限内的全壁厚硬度试验。

8.8　静水压试验

8.8.1　用于输送管的钢管，每根钢管均按下列要求下进行静水压试验：

a）　试验压力应根据规定钢管外径和最小壁厚进行计算，使钢管环向应力应达到该钢级所规定的最小屈服强度的 95%；

b）　试验压力最大值不超过 25 MPa；

c）　试验过程中，稳压时间不应少于 5 s；

d）　对加工有螺纹和带接箍钢管，除外径不大于 323.9 mm 钢管可在平端状态下进行试验外，如果协议，钢管应带上机拧紧的接箍进行试验；

e) 接箍手紧状态交货的钢管，除订货合同规定特定状态外，钢管可在平端仅加工有螺纹或带接箍状态下进行静水压试验；

f) 如果在静水压试验中采用了产生轴向压应力的端面密封堵头，当规定试验压力产生的环向应力超过规定最小屈服强度的90%时，静水压试验压力(P)可用公式(8)确定，计算结果圆整到最邻近的0.1 MPa。

$$P=\frac{S-\frac{P_R\times A_R}{A_P}}{\frac{D}{2t}-\frac{A_l}{A_P}} \qquad \cdots\cdots(8)$$

8.8.2 用于油管、套管的钢管，每根钢管在下列规定的试验压力下进行静水压试验，且稳压时间不应少于5 s：

a) 钢管的静水压试验压力应按照GB/T 19830—2023的规定确定，或为购方与制造商协商的更高的试验压力。

b) 试验压力最大值不宜超过69 MPa。

8.9 耐微生物腐蚀试验

8.9.1 试验溶液及器皿等的灭菌

8.9.1.1 试验用溶液包括培养基、模拟水溶液，分装溶液所用的玻璃瓶、烧杯、试管等玻璃器皿，量取溶液所用的移液枪枪头、吸管和量筒，试验用的挂片等应经过灭菌处理。

8.9.1.2 试验用玻璃器皿及溶液的灭菌：将溶液装在耐高温高压玻璃瓶中，瓶口用牛皮纸包扎，以防污染，用高压蒸汽灭菌器于(121±3)℃灭菌20 min。

8.9.1.3 其他操作器件灭菌：用紫外灯灭菌30 min。

8.9.2 腐蚀试样

8.9.2.1 除另有协议规定，否则应采用长(50±1)mm、宽(10±1)mm、厚(3±1)mm的板状试样。

8.9.2.2 试样应用钢管上沿纵向切取，试样的棱角应予以保留。

8.9.2.3 试样的原始金属表面层应使用砂纸打磨或其他机械方法去除。试样最终表面应满足JB/T 7901的要求。

8.9.2.4 经过砂纸打磨处理的试样应采用去离子水、丙酮(或无水乙醇)进行超声清洗，冷风吹干后储存在干燥器内。

8.9.3 细菌来源

8.9.3.1 试验用SRB可从生产现场采集水样或固体试样，经实验室分离和纯化获得。也可采用商用的标准菌种。

8.9.3.2 试验溶液中微生物的含量宜按照SY/T 0532采用绝迹稀释法进行测定。也可采用其他方法，但应能证明该方法的可靠性。

注：绝迹稀释法是一种用于根据特定培养基中的生长情况估计连续稀释样本中的微生物种群大小的方法，将待测水样用无菌注射器逐级注入到测试瓶中进行接种稀释，经实验室培养后，根据细菌瓶阳性反应和稀释倍数，计算细菌含量。

8.9.4 试验溶液

8.9.4.1 3.5%(质量分数)氯化钠溶液，应使用蒸馏水或去离子水，以及符合国家标准或行业标准的分析纯试剂进行配制。

8.9.4.2 将氯化钠溶液进行灭菌后，添加 SRB 富集液，使得氯化钠溶液中的 SRB 浓度达到 10^6 个/mL 以上。配制过程中，应将营养液的添加量控制在 3%（体积分数）以下。

注：营养液由 0.5 g/L 的 KH_2PO_4、2.0 g/L 的 $MgSO_4$、0.1 g/L 的 $CaCl_2$、0.5 g/L 的 Na_2SO_4、1.0 g/L 的 NH_4Cl、3.5 g/L的乳酸钠、1.0 g/L 的酵母膏和去离子水配制而成。

8.9.4.3 试样溶液应持续通入经孔径为 0.22 μm 的无菌滤膜过滤的惰性气体（如：氩气、氮气），以去除溶液中的溶解氧。

8.9.4.4 试验溶液除氧后的所有操作，应在厌氧条件下进行。

8.9.5 试验方法

8.9.5.1 每批试验应同时开展耐微生物腐蚀钢管和对照试样的试验，每种试样应至少有 3 个平行试样。

8.9.5.2 试验前应测量所有试样的尺寸（包括悬挂孔的内部尺寸），精确至 0.02 mm，计算总表面积。

8.9.5.3 试验前和试验后，应测量所有试样的质量，精确至 0.1 mg。

8.9.5.4 试验溶液体积与试样表面积之比应不小于 20 mL/cm^2。

8.9.5.5 待试样和试验容器均灭菌后，将试样置于试验容器中，再倒入量取的含菌试验溶液。密封后，采用惰性气体（如：氩气、氮气）充气以排出溶液中的溶解氧，每升试验溶液的通气时间应不少于 0.5 h。

8.9.5.6 除非协议要求，试验温度应为 35 ℃±1 ℃，试验周期应为 14 d。

8.9.5.7 试验后，应在 1 h 内测量试验溶液中的 SRB 浓度，以及试样表面固着 SRB 数量。

注：固着细菌是指附着在金属表面的细菌，它们通过分泌黏附素或其他化学物质与金属表面紧密结合，形成生物膜。腐蚀试验结束后，将试片取出后，用 PBS 轻轻浸洗除去表面的浮游细菌，然后用小软刷子将固着细菌刷到灭菌除氧后的 10 mL PBS 溶液中，将试片、刷子以及溶液置于一起振荡均匀，再依据 SY/T 0532 给出的绝迹稀释法测量细菌数量，即为固着 SRB 的数量。

8.9.5.8 腐蚀试样上腐蚀产物的清除宜采用毛刷、橡皮器具等擦除，或采用 GB/T 16545 规定的化学清洗方法清洗。

8.9.5.9 应采用适合的方法或仪器（如轮廓仪、超景深显微镜和激光共聚焦显微镜等）测量去膜后试样表面的蚀坑深度（精确至 0.001 mm）。测量方法可参考 GB/T 18590 的规定，至少报告 10 个蚀坑的深度（如可能）。取最大点蚀坑深度，按照公式（9）计算最大点蚀速率，精确至小数点后四位。

$$R_{pit}=\frac{d_{max}\times 8\ 760}{T} \qquad \cdots\cdots(9)$$

8.10 无损检验

8.10.1 用于输送管的钢管，按照下列要求进行无损检验。

a) 应按照 GB/T 5777 的要求，进行全管体纵向缺欠的超声检验，验收极限应满足 GB/T 5777 中 U2/C 的验收等级要求。

b) 应按照 GB/T 32552 的规定，进行全周向超声检验，以验证其壁厚是否满足最小允许壁厚要求。

c) 如有协议，应按照 GB/T 5777 的要求，对钢管的横向缺欠进行超声检测。

d) 如有协议，应按照 GB/T 12606 的要求，采用漏磁方法对钢管全管体的纵向缺欠和/或横向缺欠进行检验。

e) 对未被自动检验系统覆盖的部分管端，应采用手动或半自动超声斜角（声束）法或磁粉方法进行缺陷检验，否则，应切除未检验管端。

f) 如有协议，对壁厚不小于 5 mm 的钢管，应按照 GB/T 20490 的规定，对每根钢管管端 25 mm 宽度区域进行超声检验，以确认在该区域不存在周向尺寸大于 6.4 mm 的分层缺欠。

8.10.2 用于油管、套管的钢管，按照下列要求进行无损检验：

a) 80-RM 钢级，应按 GB/T 5777 规定的 UT，或 GB/T 12606 规定的漏磁检测，或 GB/T 7735 规定的涡流同轴线圈检测，或 GB/T 42673 规定的 MT(仅限钢管外表面)，检测内、外表面上的纵向缺欠，验收等级为 U4/F4/E4/L4。80-RM 钢级的接箍毛坯和附件材料，应采用一种或多种方法(UT、漏磁检测、涡流同轴线圈检测和 MT)，按验收等级 U3/F3/E3/L3 检验外表面上的纵向和横向缺欠。

b) 90-RM、95-RM 和 110-RM 钢级，应按 GB/T 5777 规定的 UT 方法按验收等级 L2 检测内、外表面上的纵向和横向缺欠。还应按 GB/T 12606 规定的漏磁检测(验收等级 F2/L2)，或 GB/T 7735 规定的涡流检测(验收等级 E2/L2)，或 GB/T 42673 规定的 MT，检测所有钢管外表面上的缺欠。90-RM 和 95-RM 钢级的接箍毛坯和附件材料，应采用一种或多种方法(UT、漏磁检测、涡流检测和 MT)按验收等级 U2/F2/E2/L2 检测外表面上的纵向、横向和斜向缺欠。110-RM 钢级的接箍毛坯和附件材料，应采用一种或多种方法(UT、漏磁检测、涡流检测和 MT)按验收等级 U2/F2/E2/L2 检验外表面上的纵向和横向缺欠。

c) 对未被自动检验系统覆盖的部分管端，应采用手动或半自动超声斜角(声束)法或磁粉方法进行缺陷检验，否则，应切除未检验管端。

8.11 尺寸和外观检验

8.11.1 用于输送管的钢管，其尺寸检验质量和外观检查应按照 GB/T 9711 的规定进行。

8.11.2 用于油管、套管的钢管，其尺寸检验(包括直径、壁厚、通径、长度、质量、直度和内加厚)和外观检验应按照 GB/T 19830—2023 的规定进行。

8.12 焊接性评价

8.12.1 用于输送管的钢管，制造商应提供焊接性评价报告。

8.12.2 焊接性评价方法，由购方与制造商协商确定。

9 涂层与保护

9.1 用于输送管的钢管

9.1.1 钢管应以光管(无涂层)交货。

9.1.2 如有协议，钢管可采用临时外涂层交货或特殊涂层状态交货。

9.2 用于油管、套管的钢管

9.2.1 除非另有规定，钢管和接箍应有外涂层，以防止运输过程中生锈。涂层应光滑、致密，且不应脱落。

9.2.2 除非另有规定，接箍毛坯、接箍材料和附件材料应无外涂层供货，在模印标记上可能涂覆的保护涂层除外。

10 标志及文件

10.1 标志

10.1.1 标志内容

钢管标志应至少包括下列内容：

a) 钢管制造商名称或标记；

b） 本文件编号；
c） 规定外径；
d） 规定壁厚；
e） 钢管钢级；
f） 炉批号和管号；
g） 水压试验压力；
h） 钢管长度；
i） 制造日期；
j） 检验代表的标识(如需要)。

标志制造日期时，用于输送管的钢管按 GB/T 9711 的规定执行；用于油管、套管的钢管按 GB/T 19830—2023 的规定执行。

10.1.2 标志方法

10.1.2.1 用于输送管的钢管，宜采用模板漆印方法。经购方和制造商协议，也可采用冷打印方法。

10.1.2.2 用于油管、套管的钢管，由制造商选择采用模印标记，或同时采用模印和锤压印标记。特殊情况满足以下要求：

a） 经购方与制造商协商，可要求锤压印标记，应同时采用锤压印和模印标记；
b） 由制造商选择，钢管和接箍上的热滚压印或热锤压印标记可代替模压印标记，并允许沿着产品间隔标记；
c） 可采用模印的替代方法，如果该替代方法有可能改变做标记的表面上材料的力学性能或腐蚀性能，则应通过文件化程序对工艺控制参数进行确认。

10.1.3 标志位置

10.1.3.1 用于输送管的钢管，除另有规定外，标志标记在以下位置。

a） 在钢管外表面标志时，应从距钢管管端 450 mm～760 mm 的一点开始。
b） 在钢管内表面标志时，应从距钢管管端至少 150 mm 的一点开始。
c） 对于随后要涂层的钢管，如经协商，标记可在涂敷厂而不是在钢管厂进行。在此情况下，应确保可追溯性。

10.1.3.2 用于油管、套管的钢管，标志标记在以下位置。

a） 模印标记：应印在每根钢管的外表面上，且在距接箍或内螺纹、或距平端管任一端、或外螺纹—外螺纹管或接箍毛坯任一端至少 0.6 m 处开始。对于长度小于 1.8 m 的附件材料和短节，所要求的模印标记可印在贴在距端部 0.3 m 范围内的外表面上的印花纸上。该标记应用短横线隔开，或留有适当的间距。
b） 锤压印标记：规格不小于代号 1∶1.660 的套管和油管上的标记应锤压在每根钢管的外表面上，且位于距接箍或内螺纹、或平端管任一端、或外螺纹－外螺纹管任一端约 0.3 m 的范围内。规格小于代号 1:1.660 钢管上的可选锤压印标记可锤压在附在每根管的金属标牌上，或锤压在附在每捆捆装油管的金属标牌上。

10.1.4 其他要求

钢管标志的其他要求应符合 GB/T 2102 的规定。

10.2 文件

制造商应至少提供如下文件：

a） 产品试验证书或质量证明书；
b） 产品耐微生物腐蚀性能第三方试验报告；
c） 产品要求的其他试验文件和证书；
d） 相应的焊接材料信息、焊接工艺要求的文件(用于输送管的钢管)。

参 考 文 献

[1] GB/T 10123—2022 金属和合金的腐蚀 术语

[2] GB/T 18590—2025 金属和合金的腐蚀 点蚀评价指南

[3] SY/T 5329—2022 碎屑岩油藏注水水质指标技术要求及分析方法

[4] ISO/TR 9769 Steel and iron—Review of available methods of analysis

[5] ISO 15156-2 Petroleum and natural gas industries—Materials for use in H_2S-containing environments in oil and gas production—Part 2: Cracking-resistant carbon and low-alloy steels, and the use of cast irons

[6] ISO 22787:2023 Marine environmental impact assessment (MEIA)—Technical specifications for marine biotic surveys in the international seabed area—General principles