

ICS 75.200

E 98

备案号：53460—2016

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 7044—2016

海底管道用大口径无缝钢管

Large diameter seamless steel pipe used for submarine pipeline



专供锅炉、石化行业用
无缝钢管|合金钢管|不锈钢管

天津国威钢铁贸易有限公司

周良 经理

<http://www.boilertube.cn>

手机：13102008542

电话：022-26926620

邮箱：372663033@qq.com

地址：天津市东丽区无瑕街招商大厦A区2280-190

2016-01-07 发布

2016-06-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	3
4 缩略语	4
5 钢级和交货状态	5
6 制造	5
6.1 总则	5
6.2 工艺确认	5
6.3 制造工艺	6
6.4 原材料	6
6.5 冷定径	6
6.6 交货状态	7
6.7 可追溯性	7
7 验收准则	7
7.1 化学成分	7
7.2 拉伸性能	7
7.3 夏比冲击试验	7
7.4 硬度试验	10
7.5 裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验	10
7.6 静水压试验	10
7.7 焊接性能	10
7.8 附加要求	11
7.9 表面状态、缺欠和缺陷	13
7.10 尺寸、质量和公差	14
7.11 钢管几何尺寸偏差	14
8 检验	16
8.1 检验文件	16
8.2 检验要求	17
9 标识	25
9.1 通用标识	25
9.2 特殊标识	26
10 涂层	26
11 记录的保存	27

12	购方检验	27
13	运输、储存和质量证明书	27
13.1	搬运	27
13.2	存放	27
13.3	装运	28
附录 A (规范性附录)	制造工艺规范 (MPS)	29
附录 B (规范性附录)	制造工艺评定 (MPQT)	30
附录 C (规范性附录)	表面缺欠和缺陷的处理	31
附录 D (规范性附录)	无损检测 (NDT)	32

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由石油管材专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：衡阳华菱钢管有限公司、中国石油集团石油管工程技术研究院、中海油研究总院、北京隆盛泰科石油管科技有限公司。

本标准主要起草人：谢凯意、王海涛、彭晖、高建忠、赵海英、黄电源、邓世荣、贾旭、李记科。

海底管道用大口径无缝钢管

1 范围

本标准规定了海底油气输送管线用 $D323.9\text{mm} \sim D762\text{mm}$ 无缝钢管的尺寸、外形、技术要求、试验方法、检验规则、标识以及质量证明书等。

本标准适用于海底管道用大口径无缝钢管。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2975 钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试验制备

GB/T 4157 金属在硫化氢环境中抗特殊形式环境开裂实验室试验

GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 火花源原子发射光谱分析方法

GB/T 4340 (所有部分) 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 8650 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评定方法

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 13298 金属显微组织检验方法

GB/T 15574 钢产品分类

GB/T 15970 (所有部分) 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验

GB/T 17505 钢及钢产品交货一般技术要求

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 18253 钢及钢产品 检验文件的类型

GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法

SY/T 6423.4 石油天然气工业 钢管无损检测方法 第4部分：无缝和焊接钢管分层缺欠的自动超声检测

SY/T 6476 管线钢管落锤撕裂试验方法

SY/T 6577.1 管线钢管运输 第1部分：铁路运输

SY/T 6577.2 管线钢管运输 第2部分：内陆及海上船舶运输

SY/T 6577.3 管线钢管运输 第3部分：卡车运输

JB/T 10061 A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件

ISO 2400 非破坏性测试 超声测试 1号校准块规范 (Non-destructive testing—Ultrasonic testing—Specification for calibration block No. 1)

ISO 4885 铁制品 热处理词汇 (Ferrous products—Heat treatments—Vocabulary)

ISO 6508 (所有部分) 金属材料 洛氏硬度试验 (Metallic materials—Rockwell hardness test)

- ISO 9001 质量管理体系 要求 (Quality management systems—Requirements)
- ISO 10474 钢和钢制品检验文件 (Steel and steel products—Inspection documents)
- ISO 10893-2 钢管的无损检测 第2部分: 用于缺陷探测的无缝和焊接钢管(埋弧焊除外)自动涡流检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 2: Automated eddy current testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for the detection of imperfections]
- ISO 10893-3 钢管的无损检测 第3部分: 用于纵向和/或横向缺陷探测的无缝和焊接铁磁性钢管(埋弧焊除外)自动全周磁漏检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 3: Automated full peripheral flux leakage testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) ferromagnetic steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections]
- ISO 10893-5 钢管的无损检测 第5部分: 用于表面缺陷探测的无缝和焊接铁磁性钢管的磁粉检测 (Non-destructive testing of steel tubes—Part 5: Magnetic particle inspection of seamless and welded ferromagnetic steel tubes for the detection of surface imperfections)
- ISO 10893-8 钢管的无损检测 第8部分: 用于层状缺陷检测的无缝和焊接钢管的自动超声波检测 (Non-destructive testing of steel tubes—Part 8: Automated ultrasonic testing of seamless and welded steel tubes for the detection of laminar imperfections)
- ISO 10893-10 钢管的无损检测 第10部分: 用于纵向和/或横向缺陷探测的无缝和焊接钢管(埋弧焊除外)自动全周边超声波检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 10: Automated full peripheral ultrasonic testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections]
- ISO 10893-12 钢管的无损检测 第12部分: 无缝和焊接钢管(埋弧焊除外)的自动全周边超声测厚度检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 12: Automated full peripheral ultrasonic thickness testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes]
- ISO 11484 钢产品 无损检验人员的雇主资格制度 [Steel products—Employer's qualification system for non-destructive testing (NDT) personnel]
- ISO 12135 金属材料 测定准静态断裂韧度统一标准试验方法 (Metallic materials—Unified method of test for the determination of quasistatic fracture toughness)
- ISO 15156-2 石油天然气工业 油气开采中用于含硫化氢环境的材料 第2部分: 抗开裂碳钢、低合金钢和铸铁的使用 (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)
- ASNT SNT-TC-1A 无损检测人员资格鉴定与认证推荐方法 (Recommended practice for qualification of nondestructive examination personnel)
- ASTM A370 钢产品机械测试的试验方法及定义 (Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products)
- ASTM A435 钢板的纵波超声检验方法 (Standard specification for straight-beam ultrasonic examination of steel plates)
- ASTM A941 有关钢、不锈钢、相应合金和钛合金的术语 (Standard terminology relating to steel, stainless steel, related alloys and ferroalloys)
- ASTM E1290 测量裂纹尖端张开位移 (CTOD) 断裂韧度的试验方法 [Standard test method for crack-tip opening displacement (CTOD) fracture toughness measurement]
- ASTM E1806 化学成分测定用钢和铁的取样规程 (Standard practice for sampling steel and iron for determination of chemical composition)
- ASTM G39 弯梁应力腐蚀试样制备与使用规程 (Standard practice for preparation and use of

bent - beam stress - corrosion test specimens)

DNV - OS - F101: 2013 海底管道系统 (Submarine pipeline systems)

NACE MR 0175 石油和天然气工业 石油和天然气生产中用在含 H₂S 环境中的材料 (Petroleum and natural gas industries—Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production)

NACE TM 0177 在 H₂S 环境中金属抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂的实验室试验 (Laboratory testing of metals for resistance to sulfide stress cracking and stress corrosion cracking in H₂S environments)

NACE TM 0284 标准试验方法 管线钢和压力容器钢抗氢致开裂评估 (Standard test method—Evaluation of pipeline and pressure vessel steels for resistance to hydrogen induced cracking)

3 术语和定义

GB/T 15574 或 ASTM A941 (有关钢产品), ISO 4885 或 ASTM A941 (有关热处理), GB/T 2975, GB/T 17505, GB/T 18253 或 ASTM A370 (有关取样程序类型, 检验和检验文件) 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

协议 as agreed

除非另有说明,“协议”指“在询价和订货时由购方和制造商协商确定的文件”。

3.2

轧制状态 as-rolled

未经任何特殊轧制和/或热处理的交付状态。

3.3

冷定径钢管 cold-sized pipe

指在工厂环境温度下,经成型后,使钢管全长或部分长度的外径或周向尺寸获得永久性增加或减少的钢管。

3.4

冷精整 cold finishing

永久应变大于 1.5% 的冷加工操作 (通常为冷拔)。

3.5

缺陷 defect

尺寸和/或分布密度超出本文件验收极限的缺欠。

3.6

炉 heat

一次熔炼工艺一次循环所生产的金属。

3.7

缺欠 imperfection

用本标准规定的检验方法发现的产品壁厚内部或表面的不连续处或不规则处。

3.8

分层 lamination

内部金属分离导致分层,通常平行于钢管表面。

3.9

制造商 manufacturer

按照本标准的要求，负责生产且标识产品的工厂、公司或社团。

3.10

NDT/无损检测 non-destructive testing/non-destructive inspection

用电磁方法、超声方法或本标准规定的其他方法使缺欠显现出来的检验，而材料不受干扰、应力或破坏。

3.11

轧制正火 normalizing rolled

钢管交货状态形成于轧制过程，在此过程中最终变形在一定的温度范围内进行，使材料的状态与经正火处理后材料的状态相当，使得在随后进行的任何正火中，仍能满足规定机械性能要求。

3.12

管体 pipe body

指除管端之外的整根管。

3.13

钢管级别 pipe grade

表示钢管强度水平的名称。

注：相同级别的钢管可以有不同的化学成分和/或热处理状态。

3.14

产品分析 product analysis

钢管的化学成分分析。

3.15

购方 purchaser

负责确定产品订货要求且为所购产品付款的一方。

3.16

淬火加回火 quenching and tempering

由淬火硬化和随后进行的回火组成的热处理过程。

3.17

无缝钢管 seamless pipe/SMLS pipe

采用热成型工艺制造的不带焊缝的钢管，在热成型后，可以进行冷定径或冷精整，以获得需要的外形、尺寸及性能。

3.18

服役条件 service condition

由购方在订货合同中规定的使用条件。

3.19

试验批 test lot

采用同一炉批，在相同钢管制造条件下，通过相同制管工序、制成的相同规定外径、规定壁厚的规定数量的钢管。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CTOD——裂纹尖端开口位移；

CVN——夏比 V 型缺口；

HIC——氢致开裂；

HRC——洛氏硬度；
 HV——维氏硬度；
 KV——夏比值；
 MPS——制造工艺规范；
 MPQT——制造工艺评定；
 NDT——无损检测；
 SSC——硫化物应力开裂；
 DWTT——落锤撕裂试验。

5 钢级和交货状态

钢级和交货状态应符合表 1 的规定。

表 1 钢级和交货状态

钢级	交货状态
L245NO/BN0	轧制正火 (NR) 或 正火 (N)
L290NO/X42NO	
L320NO/X46NO	
L360NO/X52NO	
L245Q0/BQ0	淬火 + 回火 (Q&T)
L290Q0/X42Q0	
L320Q0/X46Q0	
L360Q0/X52Q0	
L390Q0/X56Q0	
L415Q0/X60Q0	
L450Q0/X65Q0	
L485Q0/X70Q0	
L555Q0/X80Q0	
L625Q0/X90Q0	
L690Q0/X100Q0	

6 制造

6.1 总则

海底管道用大口径钢管应按无缝钢管制造工艺进行生产。若有特殊要求，应按购方认可的制造方法制造。

6.2 工艺确认

6.2.1 制造工艺规范 (MPS)

开始生产前，制造商应提交制造工艺规范 (MPS) 供购方认可。制造工艺规范中应说明如何通

过所采用的生产线获得和确保产品指定的特性，并指明影响产品质量和可靠性的所有因素，其中应详细阐述从原材料接收控制到成品管发货的主要生产步骤及所有检查和验证的关键点，并包括实施每一步骤的相关文件化程序，具体按附录 A 进行。

6.2.2 制造工艺评定 (MPQT)

6.2.2.1 正式生产前或由制造商承担风险进行首次生产时，制造商应向购方提供制造工艺评定报告。

6.2.2.2 制造工艺评定应按附录 B 的要求进行。制造工艺评定合格后，方可进行正式生产，并形成制造工艺评定报告。若在签订合同前 3 年内，制造商有可核实的同钢级、同规格的产品供货业绩和完善的制造工艺评定文件资料证明，可不再重复进行制造工艺评定。

6.2.2.3 在制造工艺评定时，如果一个或多个试验不满足要求，应对其工艺进行必要的审查和调整，并重新进行制造工艺评定。

6.3 制造工艺

本标准供货的钢管应按表 2 的规定进行制造。当采用冷精整加工工艺时，应在检验文件中或工厂质量证明书中注明。

表 2 钢管的制造流程

钢管类型	原材料	钢管成型方式	钢管热处理状态	交货状态
无缝钢管	钢锭、轧坯或铸坯	热轧	—	R
		成型正火	—	N
		热成型	正火	N
			淬火 + 回火	Q
		热成型和冷精整	正火	N
			淬火 + 回火	Q

6.4 原材料

6.4.1 作为原料用于制造钢管的钢锭、轧坯、铸坯应采用吹氧转炉或电炉冶炼并经真空脱气、钙处理的细晶粒镇静钢。

6.4.2 经协议，制造商可向购方提供金相组织照片。

6.5 冷定径

6.5.1 冷定径钢管的定径比应不大于 0.015，以下情况除外：

- a) 钢管随后进行正火或淬火 + 回火；或
- b) 整支冷定径钢管随后进行应力消除。

6.5.2 除非另有协议，定径比 S_r 应使用公式 (1) 计算：

$$S_r = \frac{|D_a - D_b|}{D_b} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

D_a ——制造商设计的定径后的外径，单位为毫米 (mm)；

D_b ——制造商设计的定径前的外径，单位为毫米 (mm)；

$|D_a - D_b|$ ——外径差的绝对值，单位为毫米 (mm)。

6.6 交货状态

钢管应按表 2 规定的最终状态交货。

6.7 可追溯性

制造商应制定并遵循文件化程序，以保持所有这类钢管的熔炉批次标识和试验批标识。此程序应提供从任一支钢管追溯到其试验批和相关化学成分分析、力学性能试验结果的方法。

7 验收准则

7.1 化学成分

7.1.1 制造商应将目标熔炼化学成分和范围在制造工艺规范 (MPS) 中表明 (附录 A)。

7.1.2 对于规定壁厚 $t \leq 40.0\text{mm}$ 的钢管，标准钢级的化学成分应符合表 3 的规定，中间钢级的化学成分应依照协议，但应与表 3 规定的化学成分协调。

7.1.3 对于规定壁厚 $t > 40.0\text{mm}$ 的钢管，化学成分应协商确定。

7.1.4 当产品分析碳含量大于 0.12% 时，碳当量 CE_{IIW} 应按公式 (2) 计算：

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \dots\dots\dots (2)$$

式中各化学元素符号代表各元素的质量分数 (见表 3)。

7.1.5 当产品分析碳含量小于或等于 0.12% 时，碳当量 CE_{Pcm} 应按公式 (3) 计算：

$$CE_{Pcm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \dots\dots\dots (3)$$

式中各化学元素符号代表各元素的质量分数 (见表 3)。

7.2 拉伸性能

7.2.1 对于管体拉伸试验，应测定屈服强度、抗拉强度和断后伸长率百分比。

7.2.2 屈服强度应为试样标距长度内产生 0.5% 总伸长 (用引伸计测定) 时所需的拉伸应力。当需记录或报告伸长率时，记录或报告中应注明试样的标距长度以及公称宽度 (板状试样) 或直径 (圆棒试样)。

7.2.3 拉伸试验结果应符合表 4 的规定。

7.3 夏比冲击试验

7.3.1 制造商应进行横向夏比 V 型缺口冲击试验。缺口轴线应垂直于钢管表面。

7.3.2 对于输油管道钢管和除 7.8.2 外的钢管，其夏比 V 型缺口冲击吸收能应符合表 5 的规定。夏比 V 型缺口试验温度应根据工程的最低设计温度 T_{min} 决定，符合表 6 的规定。

7.3.3 当采用小尺寸试样时，要求的最小平均 (一组 3 个试样) 吸收能值应为全尺寸试样的规定值乘以小尺寸试样规定宽度与全尺寸试样规定宽度的比值，并将计算结果圆整到最邻近的 1J。

7.3.4 如果在低于规定试验温度的温度下进行 CVN 冲击试验，该试验的吸收能满足规定温度下的相应要求，则该试验应被接受。

表 3 规定壁厚 $t \leq 40.0\text{mm}$ 钢管的化学成分要求

钢级	质量分数, 基于熔炼和产品分析 % (最大)									碳当量 ^a % (最大)	
	C ^b	Si	Mn ^b	P	S	V	Nb	Ti	其他 ^{c,d}	CE	P _{cm}
L245NO/BNO	0.14	0.40	1.35	0.015	0.005	^e	^e	0.04	f,g	0.36	0.22
L290NO/X42NO	0.14	0.40	1.35	0.015	0.005	0.05	0.05	0.04	f,g	0.36	0.22
L320NO/X46NO	0.14	0.40	1.40	0.015	0.005	0.07	0.05	0.04	f,g	0.38	0.23
L360NO/X52NO	0.16	0.45	1.65	0.015	0.005	0.10	0.05	0.04	f,g	0.43	0.25
L245QO/BQO	0.14	0.40	1.35	0.015	0.005	0.04	0.04	0.04	g	0.34	0.22
L290QO/X42QO	0.14	0.40	1.35	0.015	0.005	0.04	0.04	0.04	g	0.34	0.22
L320QO/X46QO	0.15	0.45	1.40	0.015	0.005	0.05	0.05	0.04	h	0.36	0.23
L360QO/X52QO	0.16	0.45	1.65	0.015	0.005	0.07	0.04	0.04	f,h	0.39	0.23
L390QO/X56QO	0.16	0.45	1.65	0.015	0.005	0.07	0.04	0.04	f,h	0.40	0.24
L415QO/X60QO	0.16	0.45	1.65	0.015	0.005	0.08	0.04	0.04	f,h	0.41	0.25
L450QO/X65QO	0.16	0.45	1.65	0.015	0.005	0.09	0.05	0.06	f,h	0.42	0.25
L485QO/X70QO	0.17	0.45	1.75	0.015	0.005	0.10	0.05	0.06	f,h	0.42	0.25
L555QO/X80QO	0.17	0.45	1.85	0.015	0.005	0.10	0.06	0.06	f,h	0.42	0.25
L625QO/X90QO	0.14	0.45	1.85	0.015	0.005	0.10	0.06	0.06	f,i	协商	
L690QO/X100QO	0.14	0.45	1.85	0.015	0.005	0.10	0.06	0.06	f,i	协商	

^a 基于产品分析, 如果碳含量大于 0.12%, CE_{IIW} 碳当量极限; 碳含量小于或等于 0.12%, 应采用 CE_{Pcm} 碳当量极限。

^b 最大指定碳含量每减少 0.01%, 可允许锰含量在规定最大值上提高 0.05%, 但最大的增加量为 0.20%; \geq L625QO 或 X90QO 可增加到最大为 2.20%。

^c Al_{total} \leq 0.060%; N \leq 0.012%; Al; N \geq 2 : 1 (不适用于 Ti 镇静钢和 Ti 处理钢)。

^d 当废料用于制钢时, 下列残留元素的含量应测定并报告, 且含量水平不能超过: 0.030% As, 0.010% Sb, 0.020% Sn, 0.010% Pb, 0.010% Bi 和 0.006% Ca。

^e 除非另有协议, 否则 V 和 Nb 之和应 \leq 0.06%。

^f (Nb + V + Ti) %_{max}: 0.12%, 若达成协议, 该值最大可为 0.15%。

^g Cu \leq 0.35%, Ni \leq 0.30%, Cr \leq 0.30%, Mo \leq 0.10%, B \leq 0.0005%。

^h Cu \leq 0.50%, Ni \leq 0.50%, Cr \leq 0.50%, Mo \leq 0.50%, B \leq 0.0005%。

ⁱ Cu \leq 0.50%, Ni \leq 1.00%, Cr \leq 0.55%, Mo \leq 0.80%, B \leq 0.0005%。

表 4 拉伸性能要求

钢级	屈服强度 R _{0.5} ^a MPa		抗拉强度 R _m ^{a,b} MPa		屈服比 ^c R _{m.5} /R _m	伸长率 A _t %
	最小值	最大值	最小值	最大值	最大值	最小值
L245NO/BNO L245QO/BQO	245	450	415	655	0.92	d
L290NO/X42NO L290QO/X42QO	290	495	415	655	0.92	d
L320NO/X46NO L320QO/X46QO	320	520	435	655	0.92	d

表 4 (续)

钢级	屈服强度 $R_{0.5}^a$		抗拉强度 $R_m^{a,b}$		屈强比 ^c	伸长率 A_r
	MPa		MPa		$R_{0.5}/R_m$	%
	最小值	最大值	最小值	最大值	最大值	最小值
L360NO/X52NO L360QO/X52QO	360	520	460	760	0.92	^d
L390QO/X56QO	390	540	490	760	0.92	^d
L415QO/X60QO	415	565	520	760	0.92	^d
L450QO/X65QO	450	570	535	760	0.92	^d
L485QO/X70QO	485	605	570	760	0.92	^d
L555QO/X80QO	555	675	625	825	0.93	^d
L625QO/X90QO	625	745	695	895	0.95	^d
L690QO/X100QO	690 ^e	810	760	960	0.95	^d

^a 对于中间钢级,其规定最大屈服强度和规定最小屈服强度的差值应与表列相邻的较高钢级的相同,规定最小抗拉强度和规定最小屈服强度的差值应与表列相邻的较高钢级的相同。

^b 若协商同意,对大于或等于 L555QO/X80QO 钢级的钢管,可采用更严格的最大抗拉强度的限制。

^c 对采用调质工艺(Q&T)制造的钢管,经协议屈强比可大于表中所列值。

^d 规定最小延伸率 A_r 由下式计算:

$$A_r = C \frac{A_{xc}^{0.2}}{U^{0.9}}$$

式中:

C——采用 SI 单位制时为 1940,采用 USC 单位制时为 625000;

A_{xc} ——适用的拉伸试样横截面积,用 mm^2 表示,按下列方法确定:

- 圆棒试样,对于直径为 $\phi 12.7\text{mm}$ 和 $\phi 8.9\text{mm}$ 的试样为 130mm^2 ;对于直径 $\phi 6.4\text{mm}$ 的试样为 65mm^2 ;
- 全截面试样,取 485mm^2 和采用钢管规定外径和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小值,圆整到最邻近的 10mm^2 ;
- 板状试样,取 485mm^2 和采用钢管规定宽度和规定壁厚计算的试样横截面积两者中的较小值,圆整到最邻近的 10mm^2 。

U——规定最小抗拉强度,MPa。

^e 钢级 > L625QO/X90QO,应采用 $R_{10.2}$ 。

表 5 夏比 V 型缺口冲击试验要求 (10mm×10mm×55mm 试样)

钢级	冲击吸收能 KV, J	
	单值	平均值 (一组 3 个试样)
L245NO/BNO L245QO/BQO	≥ 22	≥ 27
L290NO/X42NO L290QO/X42QO	≥ 24	≥ 30
L320NO/X46NO L320QO/X46QO	≥ 24	≥ 30
L360NO/X52NO L360QO/X52QO	≥ 30	≥ 36

表 5 (续)

钢级	冲击吸收能 KV, J	
	单值	平均值 (一组 3 个试样)
L390QO/X56QO	≥30	≥36
L415QO/X60QO	≥35	≥42
L450QO/X65QO	≥38	≥45
L485QO/X70QO	≥40	≥50
L555QO/X80QO	≥45	≥56
L625QO/X90QO	≥45	≥56
L690QO/X100QO	≥45	≥56

表 6 夏比 V 型缺口试验温度

公称壁厚 mm	试验温度 ℃
$t \leq 20$	$T_{\min} - 10$
$20 < t \leq 40$	$T_{\min} - 20$
$t > 40$	根据实际情况而定

注 1: T_{\min} 为询价或订购技术规格书中的最低设计温度。
注 2: 其他温度可以协议。

7.4 硬度试验

进行硬度试验的试样，任何位置的最大硬度值应为：

- 钢级 ≤ L450QO/X65QO 时，硬度应 ≤ 270HV10 或 25HRC。
- 钢级 > L450QO/X65QO，且 ≤ L555QO/X80QO 时，硬度应 ≤ 300HV10 或 30HRC。
- 钢级 > L555QO/X80QO 时，硬度应 ≤ 325HV10 或 33HRC。

7.5 裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验

制造商应进行钢管的裂纹尖端张开位移试验 (CTOD)。CTOD 试验应在沿钢管周向上取样进行，CTOD 值在最低设计温度下应不小于 0.20mm。

7.6 静水压试验

每根钢管应进行静水压试验，且不得出现泄漏及可见或超过规定偏差的变形。

7.7 焊接性能

经协议，制造商应提供有关钢种的焊接性能和进行焊接试验的数据。在进行焊接试验时，焊接试验的细节以及验收标准可进一步协议确定。

7.8 附加要求

7.8.1 酸性服役条件下的附加要求

7.8.1.1 总则

根据 NACE MR 0175 规定的酸性工作条件中,用于输送含硫化氢流体的管线钢管,其中包括通常为干燥(即正常操作时输送介质不含液态水)的管道,如果其他的酸性工作条件符合上述标准,应符合该规范最新版本中对材料选择、最大硬度、制造和预制工艺的所有要求,而且符合下面的补充要求。对于 L485QO/X70QO 以上钢级的管线钢管,不适用本附加要求。

7.8.1.2 化学成分

化学成分应按表 7 中给出的进行调整。此表中未列出的元素应分别与表 3 相一致,且当中的备注也同样适用。

表 7 在酸性工作条件下无缝管线钢管化学成分的附加要求

钢级	质量分数,基于熔炼和-product 分析 % (最大)								
	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	Cr	CE _{Pem}
L360NO/X52NO L360QO/X52QO 及以下	0.12	1.35	0.015	0.003	0.35	0.50	0.35	0.30	0.23
L415QO/X60QO L450QO/X65QO	0.12	1.45	0.015	0.003	0.35	0.50	0.35	0.30	0.25
L485QO/X70QO	0.12	1.65	0.015	0.003	0.35	0.50	0.35	0.30	0.25

7.8.1.3 氢致开裂 (HIC) 试验

当在 A 溶液(环境)(见 ISO 15156-2)进行评估抗氢致开裂(HIC)试验时,每个试样的 3 个截面最大允许平均比率应符合下列验收要求:

- 裂纹敏感率(CSR) $\leq 2\%$;
- 裂纹长度率(CLR) $\leq 15\%$;
- 裂纹厚度率(CTR) $\leq 5\%$ 。

7.8.1.4 硬度试验

管材的硬度应不超过 250HV10 或 22HRC。

7.8.1.5 硫化物应力开裂(SSC)试验

从试验介质中取出 SSC 试验试样后,应用低倍显微镜在 $\times 10$ 倍率下,对先前受拉的试样表面进行检查。在试样的拉伸表面出现任何的开裂或裂纹则认为该试样试验失败,除非能证明其不是硫化氢应力开裂引起的。

7.8.2 止裂特性方面的附加要求

7.8.2.1 关于止裂特性方面的要求适用于输气管线钢管,且输送介质为纯甲烷气体,利用因子不大于 80% (“利用因子”可参考 DNV-OS-F101:2013 中的表 13-3),压力不大于 15MPa,且壁厚

不大于 30mm 的管道。

7.8.2.2 对于上述极限以外的服役条件，管道所要求的止裂特性应基于反映实际服役条件或全尺寸试验的计算结果。在减压过程中，气态混合物在进入两相状态时，管道止裂扩展所要求的断裂韧性应远高于纯甲烷。计算方法应采用 Battelle 双曲线法。如果通过 Battelle 双曲线法计算的全尺寸吸收值不小于 95J，则需对止裂韧性值进行修正。Battelle 双曲线法应利用全尺寸试验数据进行校正以尽可能地接近实际管道服役条件，包括气体压力、钢管尺寸和气体成分。虽然 Battelle 双曲线法是基于裂纹扩展速度和减压速度的物理模型，但其所包括的常数是基于在有限的实验条件下所获得的试验数据和计算条件。

7.8.2.3 应绘制一条夏比 V 型缺口吸收能的变化曲线。在不同的温度下（包括最低设计温度 T_{\min} ）对五组试件进行试验。在最低设计温度下，其横向的夏比 V 型缺口吸收能应不小于表 8 中给出的值。

7.8.2.4 以下要求适用于整根管交付时未经热处理（正火、淬火或回火）的海底管道用大口径无缝钢管。经应变—时效的管线管母材，应绘制一条夏比 V 型缺口吸收能的变化曲线，塑性变形等于生产过程中（要求没有附加应变）给出的实际变形，试样应在 250℃ 下时效 1h。应在不同的温度下（包括最低设计温度），对五组试件进行试验。在最低设计温度下，横截方向的夏比 V 型缺口吸收能应不小于未变形/未时效（见 7.8.2.3）情况下得到该值的 50%，且在应变时效情况下该值不小于表 8 给出的值，其他温度下得到的值可供参考。

表 8 止裂特性方面的附加要求

钢级	夏比 V 型缺口冲击试验冲击吸收能	
	J	
	壁厚 $t \leq 30\text{mm}$	
	$D \leq 610\text{mm}$	$610\text{mm} < D \leq 762\text{mm}$
L245NO/BNO L245QO/BQO	40	40
L290NO/X42NO L290QO/X42QO	40	43
L320QO/X46QO	40	43
L360NO/X52NO L360QO/X52QO	50	61
L390QO/X56QO	50	61
L415QO/X60QO	64	77
L450QO/X65QO	73	89
L485QO/X70QO	82	100
L555QO/X80QO	103	126
L625QO/X90QO	117	134
L690QO/X100QO	132	157

注 1：试验温度为最低设计温度（ T_{\min} ）。

注 2：表中冲击吸收能为 3 个试件的平均值，单个试件最小值应超过表中相应值的 75%。

7.8.2.5 对于 L415QO/X60QO 及以上钢级，直径 $D \geq 400\text{mm}$ 的钢管，应对其进行落锤撕裂（DWTT）试验。在最低设计温度下要求平均剪切面积至少为试件面积的 85%，允许 1 个试样的剪切面积至少为试样面积的 75%。

7.8.2.6 对于 L450QO/X65QO 以上钢级，当既要满足酸性工作条件，又要满足止裂特性方面的附

加要求时，可通过协议确定 7.8.2.4 中阐述的接收标准（平均和最小剪切面积）。

7.8.3 塑性变形管的附加要求

7.8.3.1 该附加要求仅适用于由碳锰钢制造、安装或操作过程中产生不小于 2% 的累积塑性应变 ϵ_p 的无缝钢管。对于其他应变的钢管应满足协议要求。

7.8.3.2 塑性变形管的附加要求不适用于 L450QO/X65QO 及以上钢级的产品。

7.8.3.3 在进行 7.8.3.4 要求的试验之前，成品钢管应满足下列要求：

- a) 实测纵向屈服强度不超过规定的最小屈服强度 100MPa。
- b) 纵向 YS/TS（屈服强度/抗拉强度）值不超过 0.85。
- c) 纵向伸长率最小为 25%。

7.8.3.4 力学试验的试样应取自成品钢管，模拟铺设过程的相应步骤，使试样在单一轴向拉力和压力作用下连续变形。其塑性变形应不小于安装和运行期间产生的塑性变形。进行试验前，应将试样在 250℃ 的温度下时效 1h。

7.8.3.5 试验内容包括：

- a) 拉伸试验。
- b) 硬度试验。
- c) 夏比 V 形缺口韧性试验。试验温度按表 6 中的相关数据确定。

7.8.3.6 产生应变后，试样应满足下列要求：

- 纵向屈服强度和拉伸强度应满足表 4 的相应要求；
- 伸长率最小为 15%；
- 屈强比不应大于 0.97；
- 夏比 V 形缺口韧性符合表 5 的相应要求；
- 硬度应满足 7.4 的相应要求。

7.8.3.7 如果材料还要满足酸性工作条件下的附加要求和/或止裂特性方法的附加要求，应按 7.8.3.4 的规定取得试样，进行应变和人工时效，然后进行附加要求所需的试验，试验应满足相应的接收标准。

7.9 表面状态、缺欠和缺陷

7.9.1 制造商应采取足够的预防措施防止钢管损伤及减少缺欠的出现。

7.9.2 成品钢管的表面应便于通过外观检查发现表面缺陷。

7.9.3 外观检查发现的表面缺欠应按下列方法检查、分类及处理（见附录 C）：

- a) 深度小于或等于规定壁厚的 5%、且不影响规定最小壁厚的缺欠，应判为可接受的缺欠，并按照 C.1 的规定处理。
注：如果钢管随后要涂敷，购方可对表面缺欠提出特殊要求。
- b) 深度大于规定壁厚 5% 的，且不影响到规定最小壁厚的缺欠，应判为缺陷，根据具体情况可按照 C.2 中的规定采用磨削法修磨掉，或按照 C.3 中的规定处理。
- c) 影响到规定最小壁厚的缺欠应判为缺陷，并按照 C.3 的规定处理。

7.9.4 检测出的缺欠的验收极限应符合附录 D 的要求。

7.9.5 所有成品钢管应没有缺陷。

7.9.6 扩展到钢管表面或坡口面上，且外观检查周向长度大于 6.4mm 的任何分层或夹杂应判为缺陷。存在这种缺陷的钢管应切除含缺陷管段或拒收。

7.9.7 由于钢管成型工艺或生产操作而造成钢管上出现与钢管正常轮廓不一致的几何形状偏差（如凹陷、扁平斑、凸起等）应不得超过下列规定：

- a) 扁平斑、凸起以及冷态形成的尖底凹陷为 3.2mm。
- b) 其他凹陷为 6.4mm。

注：上述规定数据指这些几何形状不一致处最深或最高点与钢管正常轮廓延伸线之间的间距。

7.9.8 扁平硬块和凸起的测量见 8.2.7.4。凹陷在任何方向上的长度应不得超过钢管外径的四分之一。

7.9.9 在任何方向上长度超过 50mm 的任何硬块，其硬度值应不大于 35HRC (345HV10)。

7.10 尺寸、质量和公差

7.10.1 尺寸

钢管应按照订货合同上规定的尺寸交货，且符合相应公差。

7.10.2 质量

钢管的单位长度质量 (m) 应采用公式 (4) 计算：

$$m = 0.0246615(D - t) \cdot t \dots\dots\dots (4)$$

式中：

m ——钢管单位长度质量，单位为千克每米 (kg/m)；

D ——规定外径，单位为毫米 (mm)；

t ——规定壁厚，单位为毫米 (mm)。

公式 (4) 中采用的密度应为 7.85kg/dm³。

注：一支钢管的理论质量是其长度与单位长度质量的乘积。

7.11 钢管几何尺寸偏差

7.11.1 管体直径

7.11.1.1 钢管管体外径的允许偏差应为 (-0.5%~0.5%) D 。

7.11.1.2 钢管管体的椭圆度应不超过外径的 1.0%。

7.11.2 管端内径

在钢管的端部，距管端 100mm 范围以内应采用内环规进行钢管内径尺寸的检查。内径偏差应符合表 9 的规定。同时，管端内径椭圆度应不超过公称内径的 0.75%。

7.11.3 壁厚

壁厚公差应符合表 10 的规定。检查的结果应圆整到 0.1mm。

表 9 内径偏差

内径 mm	偏差 mm
d	$\pm 0.5\%d$ ，最大为 ± 1.6
注： d 为计算值， $d = D - 2t$ 。	

7.11.4 长度

7.11.4.1 对于海底管道用大口径无缝钢管，钢管应以定尺长度交货，且 90% 钢管的单根长度应为

12.2m，长度最大偏差应为 $\pm 25.4\text{mm}$ 。其余10%应大于10m，且不超过12.2m。

表 10 壁厚偏差

壁厚 t mm	允许偏差 mm
≤ 15	$-12.5\%t \sim +15.0\%t$
$15 < t < 25$	$-10.0\%t \sim +12.5\%t$
$25 \leq t < 40$	$-10.0\%t \sim +10.0\%t$
≥ 40	协议

7.11.4.2 购方有特殊要求时，可按照订货要求执行。

7.11.5 直度

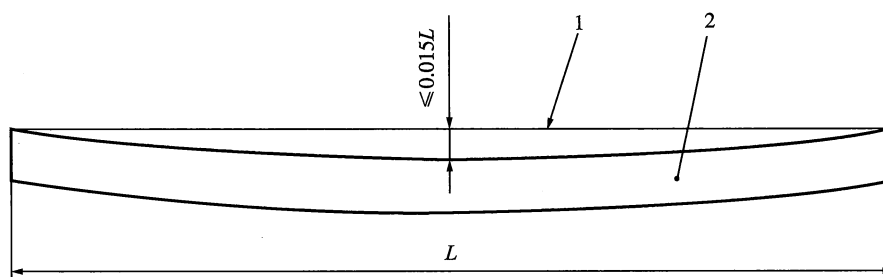
7.11.5.1 钢管直度偏差应不大于钢管长度的0.15%，如图1所示。

7.11.5.2 在每个管端1000mm长度上相对于直线的局部直度应不大于3.0mm，如图2所示。

7.11.6 管端加工

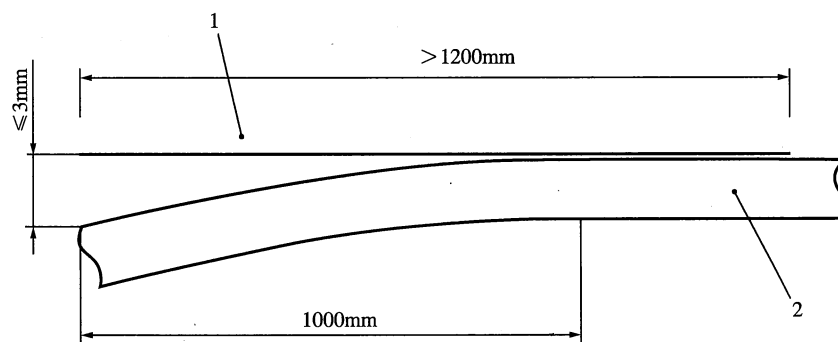
7.11.6.1 所有管端均应切成直角，且无有害毛刺。

7.11.6.2 如图3所示测量的切斜应不超过1.6mm。



1—拉紧的线或者金属丝；2—钢管

图 1 钢管全长直度测量示意图



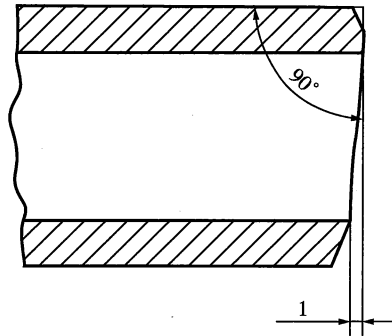
1—直线；2—钢管

图 2 局部直度测量示意图

7.11.6.3 除非另有规定，壁厚小于或等于3.2mm的钢管端面应切直。

7.11.6.4 除非另有规定，壁厚大于3.2mm的钢管端面应加工焊接坡口。以钢管轴线的垂线为基准测量，坡口角度应为 $30^\circ (+5^\circ)$ ，钝边宽度应为 $1.6\text{mm} \pm 0.8\text{mm}$ 。

7.11.6.5 如果协议，可加工其他形式的坡口。



1—切斜度

图3 管端切斜示意图

7.11.6.6 当进行内表面加工或修磨时，以纵向轴线为基准测量的内锥角应不大于表 11 规定的适用值。

表 11 钢管的最大内锥角

规定壁厚 t mm	最大内锥角 (°)
<10.5	7.0
$10.5 \leq t < 14.0$	9.5
$14.0 \leq t < 17.0$	11.0
≥ 17.0 mm	14.0

7.11.7 质量偏差

7.11.7.1 单根钢管的质量应不得超过按 7.10.2 规定的计算质量的 +10% 和 -3.5%。

7.11.7.2 如果订单规定的壁厚负偏差小于 7.11.3 中给出的适用值，那么质量正偏差应增加一定的百分数，该百分数与壁厚负偏差减少的百分数相等。

7.11.7.3 对于每个质量为 18t 或以上的订货批，每个订货批质量与其理论质量的相对偏差应不超过 -1.75%。理论质量为每个订货批的钢管总长度乘以钢管单位长度质量。

8 检验

8.1 检验文件

8.1.1 应采用规定的检验来检查按本标准制造的产品是否满足合同要求。

8.1.2 本标准涉及的所有无损检测 (NDT) 操作人员应按照 GB/T 9445, ISO 11484 或 ASNT SNT-TC-1A 进行资格鉴定及认证合格。

8.1.3 购方应考虑以下内容，并应注明要求下列哪一种检验文件：

- a) ISO 10474: 2013 - 3.1. A。
- b) ISO 10474: 2013 - 3.1. B。
- c) ISO 10474: 2013 - 3.1. C。
- d) ISO 10474: 2013 - 3.2。

当购方进行选择时，若有必要，可考虑相关标准或法律法规对输送钢管的要求。

8.1.4 检验文件应是打印格式或电子格式，电子格式作为 EDI 传输文件应符合供需双方协商达成的

任一 EDI 协议。

8.1.5 适用时，每一个订单应提供下列信息：

- a) 规定外径、规定壁厚、钢级、钢管类型和交货状态。
- b) 化学成分（熔炼和产品）和碳当量（产品分析和验收标准）。
- c) 拉伸试验的结果以及试样的类型、尺寸、位置和取向。
- d) 夏比 V 型缺口冲击试验结果，试样尺寸、取向和位置，试验温度，所用的试样尺寸的验收标准。
- e) 硬度试验结果。
- f) 金相试验结果（若适用）。
- g) CTOD 试验结果。
- h) 落锤撕裂（DWTT）试验结果（若适用）。
- i) 对于酸性服役的特殊要求，HIC 和 SSC 试验结果（若适用）。
- j) 规定的最小静水压试验压力和保压时间。
- k) 使用的无损检测方法（超声、电磁或磁粉），以及所用的参考标样的类型和尺寸。
- l) 对于淬火 + 回火的钢管，回火处理的最低温度。
- m) 在订单中规定的任何附加试验的结果。

8.2 检验要求

8.2.1 检验的种类和频次

对于海底管道用大口径无缝钢管，试验种类和试验频次应符合表 12 的规定。

表 12 试验种类及频次

代号	试验种类		试验要求	试验频次		
1	熔炼分析		强制	1 次/熔炼批		
2	产品分析		强制	2 次/熔炼批（取自不同件的产品）		
3	拉伸试验		强制	钢管应按下列规定组批进行试验： ——同一熔炼炉次、同一生产工艺； ——同一规格；及不多于 50 根钢管。 每 1 试验批应取 1 次试样	每次取 样数量	2 次
4	夏比（V 型缺口） 冲击试验		强制			1 次
5	金相检验		协商	每试验批 1 次		
6	硬度试验		强制	每试验批 1 次		
7	CTOD 试验		强制	只在制造工艺评定时，1 次		
8	落锤撕裂（DWTT）试验		强制	止裂特殊条件适用（每试验批 1 次）		
9	静水压试验		强制	每根钢管均应试验		
10	外观检验		强制	每根钢管均应检验		
11	尺寸检验	管体外径及椭圆度	强制	1 次/每班每 4h，当班中钢管尺寸发生任何变化时加作 1 次		
		管端内径及椭圆度	强制	1 次/每班每 4h，当班中钢管尺寸发生任何变化时加作 1 次		
		壁厚	强制	每根钢管均应检验		
12	其他尺寸检验		强制	随机检验，制造商确定具体细节		

表 12 (续)

代号	试验种类	试验要求	试验频次
13	称重	强制	每根钢管或每批均应称重
14	长度	强制	每根钢管应测量, 钢管长度差统一在 30mm 以内的不需要单独测量, 只要至少每班每 4h 对长度准确性验收一次
15	无损检测	强制	执行附录 D 的规定
16	氢致开裂 (HIC) 试验	强制	酸性服役条件适用 (前 3 炉每 1 炉 1 次, 后每 10 炉 1 次)
17	硫化物应力开裂 (SSC) 试验	强制	酸性服役条件适用 (只在制造工艺评定时, 进行 1 次)

8.2.2 产品分析的试块和试样

试块的截取和试样的制备应符合 GB/T 20066 或 ASTM E1806 的规定。试样应取自钢管。

8.2.3 力学性能试验取样和试样

8.2.3.1 总则

拉伸试验、冲击试验、硬度试验、金相试验、CTOD 试验、DWTT 试验、HIC 试验、SSC 试验应在扩径和/或热处理试验后的钢管上进行取样。

各种试验类型的试块和试样应取自如图 4、图 5 所示位置, 见表 13, 以适用的为准, 并考虑 8.2.3.2~8.2.3.8 的补充要求。

表 13 力学性能试验试样的数量和取向

钢管类型	取样位置	试验类型	试样的数量、取向和位置 ^a
无缝钢管, 未冷定径	管体	拉伸	1T&1L
		CVN 冲击	3T
		硬度	1T
		CTOD	3T&3L
无缝钢管, 冷定径	管体	拉伸	1T&1L ^b
		CVN 冲击	3T
		硬度	1T
		CTOD	3T&3L
^a “L” 代表纵向, “T” 代表横向, 具体如图 4 所示。 ^b 若协商同意, 可以按照 ASTM A370 的规定取环形试样用液压涨环试验测定横向屈服强度。			

对于任何力学性能试验, 只要发现试样有加工缺陷或与相应力学试验无关的材料缺欠, 无论是在试验前发现还是在试验后发现, 该试样应作废, 并应从同一根钢管上另取试样代替。

适用时, 下列试验用试验试块的截取和相应试样的制备应按照适用的引用标准执行:

- a) 拉伸试验。
- b) 夏比 V 型缺口冲击试验。
- c) 硬度试验。
- d) 金相试验 (若适用)。

- e) 裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验。
- f) 落锤撕裂 (DWTT) 试验 (若适用)。
- g) 氢致开裂 (HIC) 试验 (若适用)。
- h) 硫化物应力开裂 (SSC) 试验 (若适用)。

8.2.3.2 拉伸试验用试样

代表钢管全壁厚的矩形试样的取样应符合 GB/T 228.1 或 ASTM A370 和图 4 的规定。

对于热处理无缝钢管, 横向试样应为圆棒试样。其他所有钢管试样应为圆棒试样或矩形压平试样。

可选择使用圆棒试样, 圆棒试样取自未压平的试块。对于 $t \geq 19.0\text{mm}$ 钢管的纵向拉伸试验试样直径应为 $\phi 12.7\text{mm}$ 。横向拉伸试验用试样的直径应为 $\phi 12.7\text{mm}$, $\phi 8.9\text{mm}$ 或 $\phi 6.4\text{mm}$, 制造商应优先选择使用邻近的较大直径。

若协商同意, 可使用环扩试样测定横向屈服强度。

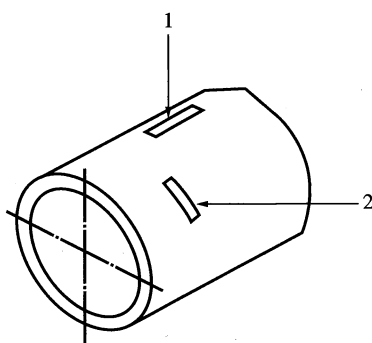
8.2.3.3 夏比 V 型缺口冲击试验用试样

除在订单合同中规定了锤头半径 (2mm 或 8mm) 外, 夏比 V 型缺口冲击试样的制备应符合 GB/T 229 或 ASTM A370 的规定。缺口轴向应垂直钢管表面。

经协议, 横向试样可采用图 5a) 中位置 2 和图 5b) 包含部分原始外表面的替代试样。制备冲击试样用样坯不应压平。

试样的取向及尺寸应符合下列规定:

- 横向试样宽度应尽可能加工成 10mm 与 5mm 之间的最大尺寸;
- 如无法获得允许使用的最小横向试样, 则应使用宽度在 10mm 与 5mm 之间的最大可能尺寸的纵向试样。



1—纵向试块; 2—横向试块

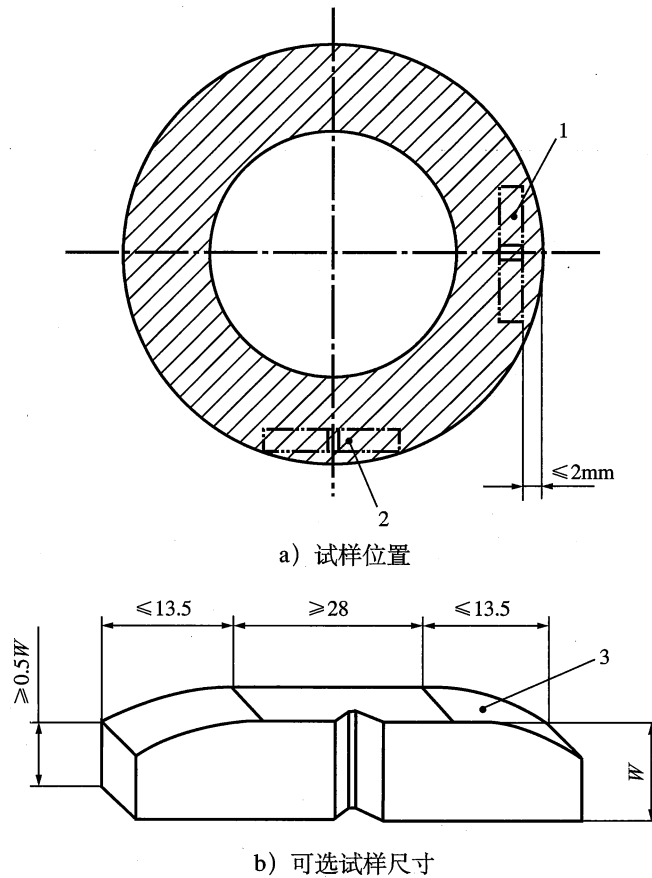
图 4 试块和试样的方向和位置

8.2.3.4 硬度试验用试样

硬度试验用试样应从钢管端部截取。试样应按照 GB/T 4340 或 ISO 6508 的规定制备。

8.2.3.5 裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验用试样

试样应按照 ISO 12135 或 ASTM E1290 的规定, 从钢管管端截取。样品加工程序应协商确定。



1—标准试样；2—可选试样；3—钢管原始外径弧度

图5 冲击试样位置

8.2.3.6 金相试验用试样

全截面的金相试验试样应按照 GB/T 13298 的规定截取及加工。

8.2.3.7 落锤撕裂 (DWTT) 试验用试样

落锤撕裂 (DWTT) 试验用试样应按照 SY/T 6476 的规定截取及加工。

8.2.3.8 氢致开裂 (HIC) 试验用试样

氢致开裂 (HIC) 试验用试样应按照 GB/T 8650 或 NACE TM 0284 的规定截取。

8.2.3.9 硫化物应力开裂 (SSC) 试验用试样

硫化物应力开裂 (SSC) 试验用试样从进行制造工艺评定中的一根受测试钢管上截取，每组样品应包括 3 个试样。每个试样尺寸应为 115mm (长) × 15mm (宽) × 5mm (厚)。试样坯料应取自钢管内表面，在加工之前应压平。

8.2.4 试验方法

8.2.4.1 产品分析

除非另有协议，制造商可决定选择一个适用的物理或化学分析方法进行产品分析测定。有争议时，产品分析应在双方同意的实验室进行。在此情况下，双方应协商确定分析方法，宜参考 GB/T

4336。产品分析结果的有效数值位应与成品的标准或本标准所给出的数值位相同。

8.2.4.2 拉伸试验

拉伸试验应按照 GB/T 228.1 或 ASTM A370 的规定进行。

应报告标距长度为 50mm 的拉伸断裂后伸长率。如采用标距长度小于 50mm 的试样，测得的断后伸长率应按照 GB/T 17600.1 或 ASTM A370 的规定转化为 50mm 标距长度下相应的伸长率。

注：当试验结果在正常分散带内，认为 $R_{m,5}$ 的值相当于屈服点 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 的值。

经协议，屈服强度可按照 ASTM A370 的规定进行液压环向膨胀试验测定。

8.2.4.3 夏比 V 型缺口冲击试验

除订货合同中规定了锤头半径（2mm 或 8mm）外，夏比 V 型缺口冲击试验应按照 GB/T 229 或 ASTM A370 的规定进行。试验温度应符合表 6 的规定。

夏比 V 型缺口冲击性能试验若采用厚度小于 10mm 的试件时，应对测定的冲击功 KV_m 和试件缺口的横截面积 A (mm^2) 进行报告。为了与表 6 中的值作比较，测定的冲击功应按公式 (5) 转化为以焦耳为单位的冲击功 KV ：

$$KV = \frac{8 \times 10KV_m}{A} \dots\dots\dots (5)$$

8.2.4.4 硬度试验

钢管的硬度试验应按照 GB/T 4340 使用维氏测试法进行，或按照 ISO 6508 使用洛氏试验 HR 15N 进行，由制造商选择。有争议时，应采用维氏试验方法。硬度测量位置如图 6 所示。

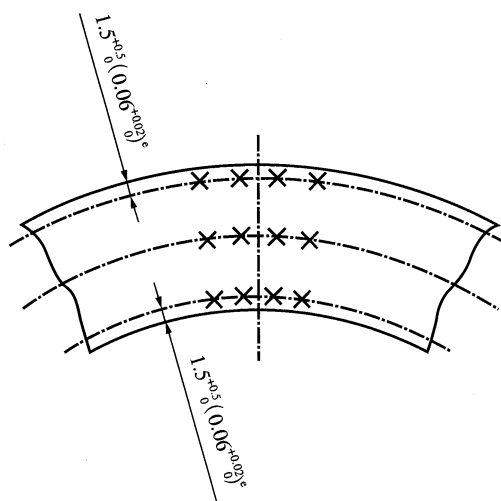


图 6 硬度检测位置

若单个硬度读数超过相应验收极限时，但其临近处 6 个加试点的硬度读数的平均值不超过相应验收极限，且各单个读数分别不比规定值高 10HV10 或 2HRC（选两者中适用者），则该处应判定合格。

外观检查发现可疑硬块时，应按照 GB/T 4340 或 ISO 6508 使用便携式硬度仪进行硬度试验。

8.2.4.5 裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验

裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验应按照 ISO 12135 的规定进行。试验温度应为询价或订货合同中表明的最低设计温度。

8.2.4.6 金相检验

经协议, 应对钢管的整个壁厚截面进行金相检验, 按 GB/T 13298 的规定进行。

在最终热处理之后放大 100 倍下观察, 试验材料应无晶粒边界碳化物、氮化物和金属间化合物。

8.2.4.7 落锤撕裂 (DWTT) 试验

落锤撕裂 (DWTT) 试验应按 SY/T 6476 的规定进行试验和报告。

8.2.4.8 氢致开裂 (HIC) 试验

氢致开裂 (HIC) 试验应按照 GB/T 8650 或 NACE TM 0284 的规定进行试验和报告。

除非另有协议, 氢致开裂 (HIC) 试验应在符合 NACE TM 0284 规定的 A 溶液介质中进行。

经协议, 氢致开裂 (HIC) 试验可按下列要求进行:

- a) 在包括 NACE TM 0284 标准的 B 溶液的替代介质中。
- b) H₂S 分压要与服役条件适应, 且
- c) 验收标准与 7.8.1.3 规定一样或比 7.8.1.3 规定更严格。

试验后应报告裂纹敏感率 (CSR)、裂纹长度率 (CLR) 和裂纹厚度率 (CTR)。经协议, 任一值得报出的裂纹照片应与报告一起报出。

8.2.4.9 硫化物应力开裂 (SSC) 试验

硫化物应力开裂 (SSC) 试验应按照 GB/T 4157 或 NACE TM 0177 中 A 试验溶液的规定执行。应使用 GB/T 15970 或 ASTM G39 规定的四点弯曲试样, 试验时间应为 720h。

试样加载应力应为规定最小屈服强度的 0.72。

经协议, 可使用替代 SSC 的试验方法, 替代的环境和相关验收标准。如果进行这样的试验, 试验环境和试验条件的全部细节应与试验结果一起报出。

8.2.5 静水压试验

8.2.5.1 除 8.2.5.3 外, 静水压试验压力 p 应按照公式 (6) 计算, 计算结果应圆整到最邻近的 0.1MPa:

$$p = \frac{2S \cdot t}{D} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

S ——环向应力, 单位为兆帕 (MPa), 其值等于钢管规定最小屈服强度的百分数, 见表 14;

t ——规定壁厚, 单位为毫米 (mm);

D ——规定外径, 单位为毫米 (mm)。

8.2.5.2 在必须使环向应力达到规定最小屈服强度的 95% 时, 确定静水压试验压力的计算方法应取决于所采用的设备。

制造商应注明采用的是下列哪一种方法 (A 或 B)。

- a) 方法 A: 钢管采用内外径向密封时, 公式 (7) 适用:

$$p = \frac{2S \cdot t_{\min}}{D} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

p ——静水压试验压力，单位为兆帕（MPa）；

D ——规定外径尺寸，单位为毫米（mm）；

S ——应力，单位为兆帕（MPa），等于相应钢级规定最小屈服强度的 95%（见 8.2.5.1）；

t_{\min} ——规定最小壁厚，单位为毫米（mm）。

表 14 确定 S 的规定最小屈服强度百分数

钢管级别	规定外径 mm	确定 S 的规定最小屈服强度百分数，%	
		标准试验压力	替代试验压力
L245NO/BNO L245QO/BQO	任意	60 ^a	75 ^b
L290NO/BNO L290QO/BQO	≤508	85 ^a	85 ^b
到 L690QO/X100QO	>508	90 ^a	90 ^b

^a 试验压力不可以超过 20.5MPa。
^b 试验压力不可以超过 25.0MPa。

b) 方法 B：借助工作油缸采用端面密封时，会产生纵向压应力。考虑此因素，公式（8）适用：

$$p_1 = \frac{S - \frac{p_R \cdot A_R}{A_P}}{\frac{D}{2t_{\min}} - \frac{A_1}{A_P}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

p_1 ——静水压试验压力，单位为兆帕（MPa）；

A_1 ——钢管内径横截面面积，单位为平方毫米（mm²）；

A_P ——钢管管壁横截面面积，单位为平方毫米（mm²）；

A_R ——端面密封水压试验机工作油缸横截面面积，单位为平方毫米（mm²）；

D ——规定外径，单位为毫米（mm）；

p_R ——端面密封水压试验机工作油缸内压力，单位为兆帕（MPa）；

S ——应力，单位为兆帕（MPa），等于相应钢级规定最小屈服强度的 95%（见 8.2.5.1）；

t_{\min} ——规定最小壁厚，单位为毫米（mm）。

8.2.5.3 经协议，可采用根据钢管规定最小壁厚计算的试验压力。

8.2.5.4 试验压力保持时间应不小于 10s，并记录试验压力与时间曲线，且该记录可提交购方代表检查。

8.2.6 外观检查

应对每根钢管的整个外表面进行外观检查。内表面应按以下规定进行外观检查：

a) 外径小于 $\phi 610\text{mm}$ 的钢管应从两端进行外观检查。

b) 外径不小于 $\phi 610\text{mm}$ 的钢管应对整个内表面进行外观检查。

外观检查应由视力良好且受过培训的检验人员，在充足光线，照度至少为 500lx 条件下进行，以检查钢管是否符合 7.9 的要求。

应对冷成型钢管的表面进行检查，以检查钢管轮廓几何形状偏差。当检查发现不规则表面不是由于机械损伤造成的，而可能是由于硬块造成的，应测量该部位的尺寸，如有必要时，该部位的硬度应按照 GB/T 4340 或 ISO 6508 的规定进行测定。试验方法的选择可由制造商确定。如尺寸和硬度不符合 7.9.9 规定的验收标准，则应根据附录 C 去除硬块。

8.2.7 尺寸检验

8.2.7.1 每工作班的每 4h 应测量一次钢管的直径。由制造商选择，既可采用测径卷尺，也可采用测径规或千分尺测量。经协议，也可使用其他认可的测量器具。

8.2.7.2 每工作班的每 4h 应测量一次钢管的椭圆度。椭圆度 (O) 应采用公式 (9) 计算：

$$O = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

O ——椭圆度，用百分数表示；

D_{\max} ——钢管的最大外径（或内径），单位为毫米（mm）；

D_{\min} ——钢管的最小外径（或内径），单位为毫米（mm）；

D ——钢管的规定外径（或由规定外径和壁厚计算得到的内径），单位为毫米（mm）。

计算椭圆度时，最大和最小外径或内径应分别在管体和管端同一横截面测量。

8.2.7.3 应测量每根钢管的壁厚，以判断是否符合规定壁厚的要求。壁厚测量应采用机械卡尺或经适当校准、具有相应精度的无损检测装置。

8.2.7.4 应采用模板测量扁平斑或凸起处与钢管原始表面之间的最大距离。模板应垂直于钢管轴向，长度应为钢管规定外径的四分之一，但最长应为 200mm。

8.2.7.5 应采用适当的方法验证 7.11 规定的钢管尺寸及几何形状的符合性。除订货合同另外规定了特殊方法外，由制造商决定选择何种方法。

8.2.8 称重

制造商应选择逐支钢管称重或以一个方便的钢管组称重。

8.2.9 无损检测 (NDT)

无损检测 (NDT) 应符合附录 D 的规定。

8.2.10 重新处理

如果一批钢管的任何力学性能试验结果不符合要求，制造商可按照表 2 的要求进行热处理，并作为一个新的试验批，按适用于订货批的 8.2.3 和 8.2.4 的所有要求进行试验，且按照本规范的适用要求进行处理。经过一次重新热处理后，任何其他的再处置热处理应经购方同意。

对于非热处理钢管，任何热处理应经购方同意。对于热处理钢管，任何不同类型的再处置热处理（见表 2）应经购方同意。

8.2.11 复验

8.2.11.1 产品分析复验

若代表一炉的 2 个试块的产品分析都不满足规定要求，则由制造商选择，或整炉判废，或对该炉

剩余产品逐个试验，以判定其是否合格。如果代表一炉的 2 个试块中仅有 1 个试块不满足规定要求，则由制造商选择，或整炉判废，或在同炉中另取 2 个试块进行复验。若 2 个复验试块均满足规定要求，则除初始不合格的取样钢管外，该炉合格。若复验中的 1 个试块不合格或 2 个试块均不合格，则由制造商选择，或整炉判废，或对该炉剩余产品逐个试验，以判定其是否合格。

逐个试验时，应分析不合格元素或需确认的元素。

复验所有试块应取自与产品分析试块相同的规定位置。

8.2.11.2 拉伸试验复验

若代表一个试验批的拉伸试验不满足规定要求，则制造商可选择从同一试验批中另抽取 2 根钢管进行复验。如果 2 个复验试样均满足规定要求，则除初始不合格试样的取样钢管外，该试验批所有钢管应判定合格。如果 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支检验。复验试验取样方法应与不合格试样的取样方法相同。

若适用，重新处理应按 8.2.10 的定义。

8.2.11.3 冲击试验复验

若一组夏比冲击试样的试验结果不符合验收标准，制造商可选择替换本试验批涉及的材料，或从该批中另取 2 根钢管进行复验。如果 2 个新试验都符合验收标准，则除初始选取的样管外，该试验批所有钢管应判定合格。如果 2 个试验中任一试验不合格，则应对该批剩余钢管逐支检验。复验试验取样方法应与不合格试样的取样方法相同。

若适用，重新处理应按 8.2.10 的定义。

8.2.11.4 硬度试验复验

若代表一个试验批的硬度试样不满足规定要求，则制造商可选择从同一试验批中另抽取 2 根钢管进行复验。如果 2 个复验试样均满足规定要求，则除初始不合格试样的取样钢管外，该试验批所有钢管应判定合格。如果 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支检验。复验试验取样方法应与不合格试样的取样方法相同。

若适用，重新处理应按 8.2.10 的定义。

8.2.11.5 落锤撕裂 (DWTT) 试验复验

若一组落锤撕裂 (DWTT) 试验试样不满足验收要求，则制造商可选择替代本试验批涉及的材料，或从该试验批中再抽取 2 根钢管进行复验。如果 2 个复验试样均满足规定要求，则除初始不合格试样的取样钢管外，该试验批所有钢管应判定合格。如果 1 个或 2 个复验试样不满足规定要求，则应对该批试验批的剩余钢管逐根验收。复验试验取样方法应与不合格试样的取样方法相同。

若适用，重新处理应按 8.2.10 的定义。

9 标识

9.1 通用标识

9.1.1 钢管标识至少应包括下列内容：

- a) 钢管制造商名称或标识 (X)。
- b) 产品在符合本标准，或者适当的附录部分时，应标记“SY/T 7044”。当产品满足多个兼容标准时，可标识每个标准的编号。
- c) 规定外径 (单位为 mm)，标识时可不带单位。

- d) 规定壁厚 (单位为 mm), 标识时可不带单位。
- e) 长度 (单位为 mm), 标识时可不带单位, 圆整到 1mm。
- f) 质量 (单位为 kg), 标识时可不带单位, 圆整到 1kg。
- g) 钢级, 包括代表交货状态及用途的字母。
- h) 钢管种类 (SMLS)。
- i) 检验代表的标识 (Y) (若适用)。
- j) 表明产品或交货单元 (如打捆钢管) 与相关的检验文件之间相互关系的识别代号 (Z) (若适用)。

示例:

X SY/T 7044 508.0 20.62 12200 3027 X65QO SMLS Y Z

9.1.2 协议采用字模压印方法 (见 9.1.3) 除外, 按 9.1.1 强制性标志应具有持久性, 并从距管端一端 450mm~750mm 之间的一点开始在外表面作模板漆印标志。

9.1.3 在距管端 150mm 范围内, 经协议可采用低应力字模压印或振动刻蚀法在钢管表面作标志, 也可在坡口上进行字模压印。

对随后不进行热处理的钢管, 仅当有特殊协议时, 才允许采用冷态字模压印 (温度低于 100℃) 方法作标志, 在这种情况下, 应采用圆头或钝头字模。

9.1.4 经购方和制造商协议, 随后要涂层的钢管, 标识可在钢管加工厂喷印, 也可在涂敷厂喷印。在这种情况下, 应确保追溯性, 如采用唯一的号码 (管号)。

9.1.5 如做外涂层, 涂层后, 外标志应仍可辨认或转印到涂层上。

9.1.6 若协商同意, 制造商可在每根钢管的内表面涂刷直径大约 50mm 的颜色标识。若钢级适用, 涂料颜色应符合表 15 的规定; 所有其他钢级的涂料颜色应在合同中注明。

9.2 特殊标识

任何附加标识、特殊标识位置或标志方法应经协议确定。

表 15 涂料颜色

钢级	涂料颜色
L320/X46	黑色
L360/X52	绿色
L390/X56	蓝色
L415/X60	红色
L450/X65	白色
L485/X70	紫罗兰色
L555/X80	黄色
L625/X90	棕色
L690/X100	橙色

10 涂层

除非另有规定, 钢管应以光管 (不带临时性保护涂层) 交货。

若协商同意, 钢管应以临时性外涂层方式交货, 防止在运输和储存过程中的锈蚀。涂层应硬实且

光滑，没有多余的流挂。

若协商同意，钢管应以特殊涂层交货。

若协商同意，钢管应加内衬交货。

11 记录的保存

若适用，下列检验记录应由制造商保存，从交货之日起三年内，如购方有要求，制造商应向购方提供以下记录：

- a) 熔炼和成品分析。
- b) 拉伸试验。
- c) 夏比冲击试验。
- d) 硬度试验。
- e) 金相检验（若适用）。
- f) CTOD 试验。
- g) DWTT 试验（若适用）。
- h) 氢致开裂（HIC）试验（若适用）。
- i) 硫化物应力开裂（SSC）试验（若适用）。
- j) 静水压试验机自动记录图或电子版文件。
- k) 无损检测。
- l) 无损检测人员资质证书。
- m) 附录或订货合同中规定的任何其他试验记录。

12 购方检验

12.1 制造商应提供检验工艺文件和检验人员资质证书，并提交按 ISO 9001 要求制定的有关文件供审查使用。

12.2 购方应指定检验人员进入工厂，作为生产期间有关检查和验收等事务的代表。

12.3 购方代表认为有必要时应进行审核检查，确认是否符合本标准要求。

12.4 制造商应允许购方审查制造商在生产钢管期间作为生产控制所作的所有试验报告和试样。

12.5 如果购方发现试验方法和检验方法存在问题，有权拒绝接受钢管的最终检查结果，直到满足本标准为止。

12.6 如果钢管内外表面上粘有油脂、腐蚀物和低熔点金属污染，则购方应不接收这些钢管。钢管上的油脂可采用购方认可的办法予以除去。在进行清除异物的作业中，要保留熔炼炉次和钢管的编号。

12.7 购方授权的检验代表有权拒收不符合本标准的任何钢管。

13 运输、储存和质量证明书

13.1 搬运

在车间和发货场的搬运应采用尼龙吊带或不能够造成低熔点金属污染的软布垫的吊钩或真空吸盘。制造商应向购方提交书面的搬运方法供购方认可。搬运时应防止损伤。

13.2 存放

制造商应提交准备采用的存放（堆放和固定钢管）的方法及其图纸供购方认可。成品钢管存放

时，应防止变形、损坏和腐蚀。

13.3 装运

制造商应在装运之前提交完整的装运方法说明供认可之用。铁路运输时应符合 SY/T 6577.1 的规定，公路运输和海运时应分别符合 SY/T 6577.3 和 SY/T 6577.2 的规定。所提出的方法应包括必要的计算方法并表示出堆放布置图、承重带位置、垫块和系紧链带等。在钢管与钢管之间，钢管与系紧链带之间或钢管与隔板之间不应有直接的硬接触，以防止管端损害、擦伤、碰伤和产生疲劳裂纹。

附 录 A
(规范性附录)
制造工艺规范 (MPS)

制造商在生产开始之前应向购方提交制造工艺规范 (MPS)。MPS 应描述制管全过程中所有连续的步骤和与检测相关的流程, 并提交给购方以在生产前获得认可。只有在购方对 MPS 认可后才能进行钢管的生产。

MPS 应至少包括 (但不限于) 所有的管线钢管制造的详细过程和工艺、主要质量控制措施和控制指标和检验方法。主要信息如下:

- a) 制造商名称。
- b) 钢管规格、钢级。
- c) 原材料检验方法及验收标准。
- d) 钢管生产及检验工艺流程 (包括钢管生产以及检验工序)。
- e) 追溯性。
- f) 计算机钢管跟踪系统简介。
- g) 成型、定径、倒棱、测长、称重、标记等设备情况简介。
- h) 无损检测 (超声波、电磁、磁粉等) 设备简介、探伤人员资质情况、探伤工艺。
- i) 水压试验等在线检测设备简介。
- j) 生产工艺 (按照生产步骤详述)。
- k) 检验工艺 (包括在线生产检验和实验室检验方法和控制目标值)。
- l) 钢管的标记方法、内容。
- m) 钢管保护、运输、储存、交付方法和控制。

附 录 B
(规范性附录)
制造工艺评定 (MPQT)

B.1 总则

B.1.1 制造工艺评定 (MPQT) 应在购方代表或购方委托的监督人员在场的情况下进行。制造工艺评定试验样管应由购方代表或购方委托的监督人员在首次生产的成品钢管中抽取。

B.1.2 若制造工艺评定试验的结果不符合要求, 则应另取同炉双倍钢管进行复验。若复验合格, 则制造工艺评定试验应判定合格。若复验仍不合格, 则制造工艺评定前的所有钢管应拒收或者每根进行试验, 并根据合格与否进行验收; 同时制造商应对工艺进行必要的审查和调整, 并重新进行合格认证, 直到达到本文件要求方可正式生产, 并提供最终制造工艺评定报告。

B.1.3 钢管制造工艺发生较大变化或者钢管出现重大质量问题时, 制造商应重新进行制造工艺评定。

B.2 制造工艺评定

B.2.1 抽样

从首次生产的熔炼炉次的钢管中抽取 3 根钢管。

B.2.2 检验项目

抽取的 3 根钢管均应进行下列 i), j), k) 项目的检验; 抽取 1 根钢管进行 a) ~h) 项目的检验; 抽取 1 根钢管进行规定的最小屈服强度 100% 的补充水压试验。

- a) 化学分析。
- b) 拉伸试验, 提供拉伸试验曲线。
- c) 夏比冲击, 在规定温度下进行试验; 另外, 制造商应提交管体夏比冲击试验冲击吸收能的韧脆转变曲线, 韧脆转变曲线至少应包含下列试验温度: 0℃, -20℃, -40℃, -60℃。
- d) 维氏硬度。
- e) 金相检验。
- f) CTOD 试验。
- g) HIC 和 SSC 试验 (若适用)。
- h) 落锤撕裂 (DWTT) 试验 (若适用)。
- i) 外观质量及尺寸。
- j) 无损检测。
- k) 静水压试验。

附 录 C
(规范性附录)
表面缺欠和缺陷的处理

C.1 表面缺欠的处理

钢管上未判为缺陷的缺欠允许不经修整而存在,也允许进行局部修磨。

C.2 可修磨的表面缺陷的处理

所有可修磨的表面缺陷应采用修磨法去除。修磨时应使修磨后的区域与钢管原始轮廓平缓过渡。采用局部肉眼检测方法检查缺陷是否完全去除,必要时,可借助适当的无损检测(NDT)方法检查缺陷是否完全清除。修磨后,应检查修磨处的剩余壁厚是否符合 7.9.3 的规定。

C.3 不可修磨的表面缺陷的处理

带有不可修磨的表面缺陷的钢管应按照下列方法之一处理:

- a) 带有上述表面缺陷的管段应切除,切除后钢管的最小长度应在规定范围内。
- b) 整根钢管判不合格。

C.4 缺陷的补焊

钢管不允许补焊。

附 录 D
(规范性附录)
无损检测 (NDT)

D.1 范围

本附录规定了海底管道用大口径无缝钢管的无损检测要求和验收等级，见表 D.1。

表 D.1 无损检测方法一览表

序号	NDT 检测	试验要求	试验类型、要求和验收等级
1	管端剩磁	强制项	最大为 3.0mT
2	管端分层缺欠的 超声波检测	强制项	超声波检测应执行 SY/T 6423.4, ISO 10893-8 的规定。验收等级见 D.4.2.2
		可选择项	磁粉检测应执行 ISO 10893-5 的规定，环向最大为 6.4mm
3	纵向缺欠的超声波检测	强制项	超声波检测应执行 ISO 10893-10 的规定，验收等级按 U2
4	管体分层缺欠的 超声波检测	强制项	超声波检测应执行 SY/T 6423.4, ISO 10893-8 的规定，验收等级按表 D.2 所列内容
5	最小壁厚检测	强制项	超声波检测应执行 ISO 10893-12 的规定，覆盖率最小为 25%
6	横向缺欠的超声波检测	强制项	超声波检测应执行 ISO 10893-10 的规定，验收等级按 U2
7	纵向和/或横向缺欠的 漏磁检测和/或涡流检测	协议项	漏磁检测应执行 ISO 10893-3 的规定，验收等级按 F2；涡流检测按 ISO 10893-2 的要求，验收等级按 E2 的要求
8	外表面缺欠的磁粉检测	协议项	磁粉检测应执行 ISO 10893-5 的规定，每试验批取 1 根钢管或每生产 50 根进行 1 次（取最小者）

D.2 人员资质

D.2.1 从事手动或半自动 NDT 以及对检测结果进行解释的人员应按照 ISO 11484, GB/T 9445, ASNT SNT-TC-1A 的要求取得资格并具有有效的证书。证书应说明资格等级以及方法类别。

D.2.2 NDT 程序的准备和所有 NDT 的操作应由 3 级人员审核批准，NDT 操作应由具有 2 级资格等级的人员完成，或者由具有 1 级资格的人员在 2 级人员的直接监督下进行。

D.2.3 在制管过程中操作自动设备的无损检测人员，除了取得资格证书外，还应具备检测设备故障处理以及设备标定的操作能力，同时应具备在生产场地/现场条件下进行操作检测和进行缺陷尺寸及缺陷位置估算的能力证明。

D.3 检测标准

本附录引用以下规范和标准：

——GB/T 9445 无损检测人员资格鉴定与认证；

——SY/T 6423.4 石油天然气工业 钢管无损检测方法 第 4 部分：无缝和焊接钢管分层缺欠的自动超声波检测；

- JB/T 10061 A型脉冲反射式超声波探伤仪通用技术条件；
- ASNT SNT-TC-1A 无损检测人员资格鉴定与认证推荐方法 (Recommended practice for qualification of nondestructive examination personnel)；
- ISO 2400 非破坏性测试 超声测试 1号校准块规范 (Non-destructive testing—Ultrasonic testing—Specification for calibration block No. 1)；
- ISO 10893-2 钢管的无损检测 第2部分：用于缺陷探测的无缝和焊接钢管（埋弧焊除外）自动涡流检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 2: Automated eddy current testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for the detection of imperfections]；
- ISO 10893-3 钢管的无损检测 第3部分：用于纵向和/或横向缺陷探测的无缝和焊接铁磁性钢管（埋弧焊除外）自动全周磁漏检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 3: Automated full peripheral flux leakage testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) ferromagnetic steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections]；
- ISO 10893-5 钢管的无损检测 第5部分：用于表面缺陷探测的无缝和焊接铁磁性钢管的磁粉检查 (Non-destructive testing of steel tubes—Part 5: Magnetic particle inspection of seamless and welded ferromagnetic steel tubes for the detection of surface imperfections)；
- ISO 10893-8 钢管的无损检测 第8部分：用于层状缺陷检测的无缝和焊接钢管的自动超声波检测 (Non-destructive testing of steel tubes—Part 8: Automated ultrasonic testing of seamless and welded steel tubes for the detection of laminar imperfections)；
- ISO 10893-10 钢管的无损检测 第10部分：用于纵向和/或横向缺陷探测的无缝和焊接钢管（埋弧焊除外）的自动全周边超声波检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 10: Automated full peripheral ultrasonic testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes for the detection of longitudinal and/or transverse imperfections]；
- ISO 10893-12 钢管的无损检测 第12部分：无缝和焊接钢管（埋弧焊除外）的自动全周边超声测厚度检测 [Non-destructive testing of steel tubes—Part 12: Automated full peripheral ultrasonic thickness testing of seamless and welded (except submerged arc-welded) steel tubes]；
- ISO 11484 钢产品 无损检测 (NDT) 人员的雇主资格制度 [Steel products—Employer's qualification system for non-destructive testing (NDT) personnel]。

D.4 检测项目

D.4.1 通则

所有钢管应在冷矫、成型、热处理和扩径之后按表 D.1 给出的适用方法进行全长 (100%) 无损检测。

D.4.2 管体检测

D.4.2.1 纵向和横向缺欠的超声波检测

钢管应按照 ISO 10893-10 的规定，对整根钢管纵向和横向缺欠进行超声波检测，验收等级按 U2。

D.4.2.2 管体分层缺欠检测

D.4.2.2.1 对酸性条件,应按照 SY/T 6423.4 或 ISO 10893-8 的规定,采用超声波检测方法进行分层检验。单个分层或分层密度不允许超过表 D.2 中酸性条件时规定的验收极限。自动检测的覆盖面积应不小于 100% 的钢管表面。

D.4.2.2.2 对非酸性条件,应按照 SY/T 6423.4 或 ISO 10893-8 的规定,采用超声波检测方法进行分层检验。单个分层或分层密度不允许超过表 D.2 中非酸性条件时规定的验收极限。自动检测的覆盖面积应不小于 25% 的钢管表面。

表 D.2 分层缺欠验收标准

钢管服役条件	单个最大缺欠		考虑的最小缺欠尺寸			最大分布密度 (小于最大尺寸和大于最小尺寸的缺欠个数)
	面积, mm ²	长度, mm	面积, mm ²	长度, mm	宽度, mm	
非酸性	1000	无规定	300	35	8	10 (每 1m×1m 正方形)
酸性	500		150	15	8	10 (每 1m×1m 正方形)
可协议	100		30	5	5	5 (每 1m×1m 正方形)
注: 大于最小缺欠尺寸的缺欠是指其面积、长度和宽度都超过规定的管体缺欠的最小面积、最小长度和最小宽度。						

D.4.3 管端检测**D.4.3.1 未检测的管端 (盲区)**

当使用自动无损检测设备时,钢管两端较短的部分通常不能被检测到。未被检测到的管端或是被切除,或是使用适当的技术并且使用至少能达到相同灵敏度的检测参数和相同方法或其他可能的方法对管端进行手动/半自动无损检测。

D.4.3.2 管端分层缺欠

沿圆周方向长度大于 6.4mm 且面积超过 100mm² 的分层缺欠不允许存在。

壁厚不小于 5mm 的每根钢管距管端 50mm 范围内应按照 SY/T 6423.4 或 ISO 10893-8 的规定用超声波方法检测分层缺欠。

特殊用途经协议,需检测的管端长度可延长至 100mm。另外,经协议,对每根钢管管端表面/坡口面应按照 ISO 10893-5 的规定用磁粉方法检测分层缺欠,沿圆周方向不允许存在大于或等于 6.4mm 的缺欠。

D.4.4 壁厚超声波检测

按照 ISO 10893-12 的规定应对钢管全管体进行超声波检测,以验证其壁厚符合规定最小壁厚限定。最小检测范围应为钢管表面的 25%。经协议,检测范围可大于最小检测范围。

D.4.5 可疑钢管

在任何情况下,由检验钢管导致自动无损检测设备发出的信号大于或等于启动或警报等级时,该钢管应视为可疑钢管。可疑钢管可根据下列方案之一处理:

- 钢管可被判废；
- 可疑的部分可被切除。

钢管可疑的部分可以用不同于原方法的适当的补充方法进行再检验。此方法应使用达到相同灵敏度试验参数的不同技术。通过这些检测的钢管应视为是可接受的。

D.4.6 补充操作

D.4.6.1 本操作仅在有关协议时进行。

D.4.6.2 钢管应进行纵向和/或横向缺欠的漏磁探伤，检测按照 ISO 10893-3 的规定，验收等级为 F2。

D.4.6.3 钢管应按照 ISO 10893-2 的规定进行全管体涡流探伤，验收等级为 E2。

D.4.6.4 钢管应按照 ISO 10893-5 规定的方法以每试验批或每不超过 50 根钢管（较小者）取 1 根钢管进行随后的无损检测（NDT）、外观检查、全管体磁粉检查，以证实符合 7.9 的要求。

D.5 超声波和电磁检测

D.5.1 设备

任何利用超声波原理或电磁原理，并能够连续不断地检测钢管外表面和/或内表面的自动检测设备均可使用。

自动超声波和电磁检测设备系统的有效性，应经业主委托的具有相应资质的专业无损检测机构对其检测能力及其有效性进行评审，评定合格后，方可进行钢管制造检测。正常检测时，检测设备应采用对比标样进行标定，每工作班开始及以后每 4h 应至少进行一次，以证实检测设备及检测程序的有效性。

自动超声波和电磁检测设备系统应配有喷标、声光自动报警系统及缺陷自动记录系统。

D.5.2 超声波和电磁检测参考标样

每个参考标样的外径和壁厚应在被检成品钢管规定的公差范围内，在材料、声学特性、表面粗糙度上应与被检测的管子相似，其长度应由制造商视方便而定。

在生产检验中相同速度下和相同条件下，参考标样应具有允许动态校验的尺寸。

参考标样应包括表 D.3 规定的人工缺陷，可以是一个或多个刻槽，或一个或多个径向钻孔。

表 D.3 人工缺陷对比用刻槽和钻孔制作要求

项目	对比用刻槽和钻孔							
	刻槽位置		刻槽方向		刻槽尺寸 ^c			通孔直径 ^c mm
	外壁	内壁	纵向	横向	深度 ^a %	长度 ^b mm	宽度 ^b mm	
管体	R	R	R	R	5.0	≤50	≤1	1.6
注 1: R——如果用刻槽确定拒收界限，要求。 注 2: 刻槽为矩形或 U 形，见 ISO 10893-10。								
^a 深度，用规定壁厚百分比表示，最小规定刻槽深度 0.3mm。深度允许偏差应为规定刻槽深度的 ±15% 或 ±0.05mm，取较大者，指定的刻槽类型为 N5。 ^b 刻槽全深度处尺寸。 ^c 通孔直径是以标准钻头尺寸为基础确定的，如果用刻槽建立拒收界限，不要求通孔。								

参考标样上的人工缺陷之间应有间隔，以便足以产生分离且可辨别的信号。

参考标样应标识。人工缺陷的尺寸和类型应按照文件化程序进行验证。

D.5.3 设备校准

D.5.3.1 制造商应采用文件化的程序确定超声波和/或电磁检测的拒收界限。设备的校准，应准备和使用一个或多个参考标样。在正常操作条件下，应能检测出相应人工缺陷。设备对人工缺陷的检测能力应进行动态验证，采用在线或离线验证由制造商选择，验证时传感器和钢管表面之间所使用的移动速度应与成品钢管检测时所采用的速度相同。

D.5.3.2 检测设备应采用适当的参考标样进行校准，每工作班至少进行两次，第二次校准应在第一次校准之后不超过 4h 进行，以便验收设备的有效性及其检测程序的有效性。在检测周期结束、设备关机之前，应进行设备校准。

D.5.3.3 当使用参考标样调整检测设备时，应使人工缺陷产生清晰可辨的信号。

D.5.3.4 如果使用钻孔确定钢管的电磁检测拒收界限，应对该设备进行附加验证，使来自参考标样内、外表面刻槽的信号幅度大于或等于用钻孔确定的拒收界限。

D.5.4 验证系统能力的记录

D.5.4.1 用人工缺陷确定设备检测灵敏度时，制造商应保存验证系统能力的无损检测（NDT）系统的记录。作为验证性记录至少应包括如下内容：

- a) 覆盖率计算（即扫描方案）。
- b) 预计壁厚的检测能力。
- c) 重复性。
- d) 提供检测生产过程中典型缺陷的探头的方法。
- e) 采用 D.5 所述的适用的无损检测（NDT）方法，检测出生产过程中的典型缺陷的证明材料。
- f) 检测拒收界限的设定参数。

D.5.4.2 制造商应保留无损检测（NDT）系统标定和操作系统、设备说明书、人员资格信息和证明无损检测系统/运行能力的动态检测数据。

D.5.5 验收极限

人工缺陷产生的信号验收极限应符合表 D.4 的规定。

在动态模式下，如果缺陷产生的信号大于表 D.4 中给出的验收极限的任何缺欠应判为缺陷，除非产生信号指示的缺欠为表面缺欠，不是 7.9 所述的缺陷。

表 D.4 验收极限

种类	刻槽类型	钻孔的尺寸 mm	验收极限（最大） ^a %
管体	N5	1.6	100

^a 表示由人工缺陷产生的信号的百分数。拒收界限不应超过适用的验收极限。

D.5.6 超声波和电磁检测过程中发现的缺陷的处理

含缺陷的钢管应按照 D.9 规定的任何一种方法处置。

D.5.7 超声波分层检测

D.5.7.1 分层检测设备

任何利用超声波原理，并能够连续不断地检测钢管的超声波自动检测设备系统均可使用，自动化超声波检测系统应配有喷标及声、光自动报警系统，并具备记录功能。

探伤系统探头布局和探头扫查间距应至少能覆盖管体表面的 100%。可依照 ASTM A435 或等效标准规定选择扫查方式。

D.5.7.2 分层检测方法

分层检测方法应按照 SY/T 6423.4，ISO 10893-8 或等效超声波检测标准执行。

D.5.7.3 验收标准

按照表 D.2 的要求，并做以下补充：

管体部位的分层限值为：任何方向不允许存在长度超过 50mm 的分层；长度在 30mm~50mm 的分层相互间距应大于 500mm；长度小于 30mm、相互间距小于钢管壁厚的若干小分层构成连串性分层，该连串性分层中的所有小分层长度总和不得大于 80mm。

D.6 手动超声波检测

使用手动超声波检测方法时，不要求特定过程评定试验，检测程序应当服从于协议。

手动超声波检测设备应：

- a) 采用脉冲反射技术或其他经验证的技术。
- b) 手动超声波仪器应按 JB/T 10061 的规定进行定期检定，检定周期最多不超过 12 个月，检定结果应保存。
- c) 超声波探头的频率范围为 2MHz~6MHz。
- d) 超声波设备，包括探头应要有与设备特性一致的校准。电缆的特性也要熟悉并有文件证明。

扫描范围的校准和角度的测定应使用 IIW/ISO 标准块（见 ISO 2400）。

接触表面应清洁、光滑。没有可能影响检测结果的脏物、氧化物、锈斑。

应采用水、柔性洗洁剂、甘油等易于去除且不会对钢管表面造成损害的耦合剂进行耦合。

探伤操作人员应能确定缺陷的当量尺寸和位置。对于缺陷的当量尺寸的评估，应使用“6dB 法”或“半波高法”。

手动超声波检测应进行纵向和/或横向扫查，以可靠检出钢管上不同方向的缺陷。

手动超声波检测每两次扫查的间距应不大于探头的尺寸，以保证对钢管进行 100% 扫查。

手动超声波检测的扫查速度应不超过 150mm/s。

手动超声波检测时，检测设备应采用表 D.3 规定的对比标样进行标定，每工作班开始及以后每 4h 应至少进行一次，以证实检测设备及检测程序的有效性。无论何时及何种原因，包括开机和停机在内，只要超声波设备已经出现功能故障，或者对设备正常功能有任何怀疑都应进行校准。

手动超声波检测的验收标准应与自动探伤验收标准相同。

D.7 磁粉检测

D.7.1 检测方法

管端磁粉执行 ISO 10893-5 或等效标准的规定。磁粉检测应根据认可的文件化程序进行，应包

含以下内容：

- 磁化类型；
- 设备类型；
- 表面预处理；
- 湿法或干法；
- 磁粉的制作和类型以及对比显示；
- 磁化电流；
- 去磁；
- 检测方法的描述。

被检测的表面应当是清洁和干燥的，不能有脏物，即油漆、油脂、油迹、纤维屑、氧化皮等干扰检测的脏物。

优先采用荧光性湿磁粉检测的方法。

提供的无荧光的湿的或干的粉末应与背景环境或被检测表面形成适当的对比。

为保证检查任意方向的不连续性，在每个区域的检测，应采用沿大约相互垂直的两个方向变换的磁场并充分覆盖此检测区域。

荧光性磁粉检测应在黑暗的地方，使用波长范围为 3200Å~3800Å 的滤光紫外灯进行。操作员/解释员应给予充分的时间让视觉适应黑暗的环境，磁粉检测人员不能戴有彩色影像的辅助物。

磁粉检测不应在表面温度超过 300℃ 的工件上进行，在 60℃ 和 300℃ 之间只可使用干磁粉检测。

D.7.2 设备

设备应进行定期检定，检定周期最多不超过 12 个月，检定结果应保存。

探头应是软的且表面是用铅之类物质包覆的，应避免在探头和所检测的材料之间的电火花。

交流电磁轭在最大跨度下要产生最小 5kg 的提升力。提升力在开始任何检测之前应被核查，并在检测过程中定期检查。

不允许使用永久性磁铁。如果国家规定需要，直流磁轭仅用于特殊的应用中。

磁粉检验设备应能产生足够强度的磁场，以指示钢管表面具有下列特征的缺欠：裂纹（cracks）、发裂（seams）和重皮（slivers）。

磁粉检测应采用 A300/100 灵敏度试片进行校验，两次校验的间隔不大于 4h。

D.7.3 验收要求

检测时不允许存在电弧烧伤。

检测的表面不允许存在裂纹型缺陷。

经协议对钢管管端表面/坡口面采用磁粉方法检测分层缺欠时，沿圆周方向不允许存在大于或等于 6.4mm 的分层缺欠。

D.8 剩磁测量

D.8.1 剩磁测量的要求仅适用于在钢管制造商的工厂内进行测量。

注：钢管离开制造商的工厂后，钢管剩磁测量可能会受到测量程序以及钢管装运过程中及钢管发运后钢管状态的影响。

D.8.2 应采用按文件化程序检定和校准的霍尔效应高斯计或其他类型已按文件化程序检定和校准的仪器测量剩磁。但有争议时，应以霍尔效应高斯计的测量为准。

D.8.3 每班每 4h 应至少抽取 1 根钢管，对钢管两端进行测量。

D.8.4 应在任何一种利用磁场检测后、钢管从制造商装运前进行钢管磁性测量。对测量剩磁后采用电磁设备搬运的钢管，应证实搬运方式不会产生超过 3.0mT (30Gs) 剩磁。

D.8.5 钢管每一端沿圆周方向每相距 90°应读取一个读数。当采用霍尔效应高斯计或其他类型测量仪器测量时，4 个读数的平均值应不超过 3.0mT (30Gs)，且任一读数不应超过 3.5mT (35Gs)。

D.8.6 不满足 D.8.5 要求的任何钢管应视为有缺陷的钢管。除非 D.8.7 允许，有缺陷的钢管和最后一根合格钢管之间生产的所有钢管应逐根测量。

D.8.7 如钢管生产顺序有记录文件可查，可从有缺陷的钢管前面生产的那根钢管开始反向测量，直到至少 3 根连续生产的钢管符合要求为止。

注：不需要继续测量该 3 根合格钢管前生产的钢管。

D.8.8 有缺陷钢管后面生产的钢管应逐根测量，直至至少连续 3 根钢管符合要求。

D.8.9 所有有缺陷钢管应进行全长退磁，并应进行测量直到至少连续 3 根钢管符合 D.8.5 的要求。

D.9 含缺陷钢管的处理

含缺陷钢管处理应按下述一种方法处置：

- a) 应按照附录 C 的规定，采用修磨方法去除缺陷。
- b) 应按照附录 C 的规定，缺陷不允许补焊。
- c) 在标准规定的长度范围内，应将缺陷的管段切除。
- d) 整根钢管拒收。

中华人民共和国
石油天然气行业标准
海底管道用大口径无缝钢管
SY/T 7044—2016

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京中石油彩色印刷有限责任公司排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

880×1230 毫米 16 开本 3 印张 83 千字 印 1—800
2016 年 5 月北京第 1 版 2016 年 5 月北京第 1 次印刷
书号：155021·7404 定价：36.00 元
版权专有 不得翻印