

国际标准分类号 ICS
中国标准文献分类号 CCS

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

T/HGJXXXXX—202X

化学工业炉轧制炉管弯制技术标准

Technical Specification of bending forrolling tubes of

Chemical Industry Tubular Furnace

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国石油和化工勘察设计协会发布

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

化学工业炉轧制炉管弯制技术标准

Technical Specification of bending for rolling tubes of

Chemical Industry Tubular Furnace

T/HGJ XXXXX—202X

主编单位：中国寰球工程有限公司北京分公司

批准部门：中国石油和化工勘察设计协会

实施日期：202X年XX月XX日

XXXX出版社

202X XX

前言

本标准是根据中石化勘设协[2020]_19号关于印发2020年第一批团体标准制修订和项目计划的通知的要求，由中国石油和化工勘察设计协会为主编部门，委托全国化工工业炉设计技术中心站负责组织，中国寰球工程有限公司北京分公司、岳阳筑盛阀门管道有限公司为主编单位，会同参编单位编制完成。

编制组经广泛的调查研究，认真总结了国内化学工业管式炉轧制炉管弯制、检验及验收、包装及防护过程中的经验，结合了国外引进的各种型式管式炉轧制炉管弯制的技术规定和要求，并广泛征求了有关方面的意见后编制完成了本标准，最后经审查定稿。

本标准共分为X章X节，本标准的主要技术内容：总则、术语和定义、弯制前准备、弯制、检验、试验、标记、包装与防护、质量证明文件等。

本标准由中国石油和化工勘察设计协会负责管理，由全国化工工业炉设计技术中心站负责日常管理，由中国寰球工程有限公司北京分公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见和建议，请与中国寰球工程有限公司北京分公司联系（地址：北京市朝阳区来广营高科技产业园创达二路1号E座，邮政编码：100012，电话：010-58676044），以供今后修订时参考。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主编单位： 中国寰球工程有限公司北京分公司

岳阳筑盛阀门管道有限责任公司

参编单位： 宁波连通设备集团有限公司

江苏省靖江市宏达管业有限公司

江苏焱鑫科技集团公司

天津辰创环境工程科技有限责任公司

主要起草人：

主要审查人：

目次

1	总则.....	1
2	术语和定义.....	2
3	弯制前准备.....	3
3.1	原材料预检和验收	3
3.2	弯制工艺评定（BPS）	4
4	制造.....	10
4.1	弯制	10
4.2	弯制后热处理	10
4.3	管端及坡口	14
5	检验和试验.....	15
5.1	外观及尺寸	15
5.2	硬度	19
5.3	无损检测	19
5.4	耐压试验	20
6	标记、包装与防护.....	22
6.1	标记	22
6.2	包装与防护	22
7	质量证明文件.....	23
	附件 A 弯制工艺评定记录.....	24
	本标准用词说明	27
	引用标准名录	28
	条文说明	29

Contents

1	General provisions.....	1
2	Terms and definition.....	2
3	Preparation before bending.....	3
3.1	Inspection and acceptance of raw materials	3
3.2	Bending procedure specification (BPS)	4
4	Fabrication.....	10
4.1	Bending	10
4.2	Heat treatment after bending	10
4.3	Tube end and bevel	14
5	Inspection and Tests.....	15
5.1	Visual and size inspection	15
5.2	Hardness test	19
5.3	Nondestructive tests	19
5.4	Pressure tests	20
6	Marking, packaging and protection.....	22
6.1	Marking	22
6.2	Packaging and protection	22
7	Certification.....	23
	Appendix A: Record of bending procedure specification (BPS).....	24
	Explanation of Wording in this code	27
	Referenced Standards	28
	Addition A: Explanation of provisions	29

1 总则

1.0.1 为促进化学工业管式炉轧制炉管弯制技术的进步，规范化学工业管式炉轧制炉管的弯制、检验、试验等，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于直接火焰加热的化学工业管式炉轧制炉管，采用感应加热弯制或冷加工工艺弯制，提出弯制前准备、弯制、检验及试验、标记、包装及防护、质量证明文件要求。

1.0.3 本标准不适用于采用推制、模压、锻制等加工工艺成形的急弯弯管和弯头。

1.0.4 化学工业管式炉轧制炉管的弯制前准备、弯制、弯管的检验、试验、标记、包装、防护及质量证明文件等，除应符合本标准外，还应符合国家及行业现行有关标准的规定。

2 术语和定义

2.0.1 炉管弯制 furnace tubes bending

采用冷加工或者热加工的方法使炉管在外力作用下发生塑性弯曲变形的过程。炉管宜采用感应加热弯制。

2.0.2 冷弯成形 cold formed bending

钢管在环境温度（但不低于 5℃）或被加热温度在再结晶温度以下，在外力作用下发生塑性弯曲变形的过程。

2.0.3 热弯成形 hot formed bending

钢管被加热温度在再结晶温度以上，在外力作用下发生塑性弯曲变形的过程。

2.0.4 感应加热弯制 induction heating bending

采用感应加热方法，在钢管周向形成一条均匀的环形加热带，在外力的作用下，钢管匀速、持续地发生塑性弯曲变形的过程。

2.0.5 弯制工艺评定 bending procedure specification (BPS)

为使所采用的弯管工艺满足弯管外观、表面、几何尺寸、力学性能、宏观或显微组织及晶粒度等相关质量标准的要求，对拟定的弯制工艺进行验证性试验，并对试验和结果进行评价的过程。

2.0.6 壁厚减薄率 wall thinning rate

弯制前钢管实测壁厚最小值和弯制后弯管外弧侧（受拉侧）壁厚最小值之差，与弯制前钢管实测壁厚最小值之比，用百分比表示。

$$\text{壁厚减薄率} = \frac{\text{钢管实测壁厚最小值} - \text{弯管外弧侧壁厚最小值}}{\text{钢管实测壁厚最小值}} \times 100\%$$

2.0.7 波高 vertical height of wave

弯管内弧面两相邻波峰波顶（或褶皱峰顶）处管外径的平均值与该两波峰之间波谷谷底处管外径的差值，用 h 表示。

2.0.8 波距 distance between the wave crests

弯管内弧面两相邻波峰波顶（或褶皱峰顶）之间的最短距离，用 A 表示。

2.0.9 波浪度 wave degree

波高 h 与钢管外径 Do 之比，用百分比表示。

2.0.10 弯制工艺试件 bending procedure test component

按照拟定的弯制工艺制成，用以验证弯制工艺是否满足弯管质量标准的试制弯管。

3 弯制前准备

3.1 原材料预检和验收

3.1.1 弯管制造厂应对原材料钢管进行质量检查和验收。当存在下列条件之一者应进行材料复验，复验结果应符合相应材料标准和设计文件的规定。

- 1 质量证明文件的内容或检验项目不完整；
- 2 对材料的质量有疑义；
- 3 用户/买方要求增加检验的项目；
- 4 设计压力大于等于 10.0MPa；
- 5 设计文件有规定。

3.1.2 管内介质为锅炉给水、蒸汽的炉管应符合《水管锅炉第 2 部分：材料》GB/T16507.2 和设计文件的规定。

3.1.3 原材料质量证明文件至少应包含如下内容：制造厂名称及商标、买方名称、合同号、产品标准号、钢牌号、炉（批）号、交货状态、重量、数量、产品名称、规格及质量等级、产品标准和订货合同规定的检验结果（如化学成分、力学性能、无损检测、热处理状态、晶间腐蚀试验（如需要）、显微组织、晶粒度等）、质量监督部门或认证机构标记、签发日期或发货日期。

3.1.4 不锈钢管应采用机加工或等离子方法切割，若采用等离子切割，切割后应采用机加工或打磨方法消除熔渣和氧化皮。

3.1.5 进口钢管除应符合材料标准的规定外，还应具有原产地证明及入境货物检验检疫证明。

3.1.6 钢管在下料时应保存材料的原始标记，无法保存原始标记时应进行标记移植，标记至少应包含钢号、炉（批）号及规格尺寸，标记移植应符合下列规定：

- 1 管内介质为锅炉给水、蒸汽的炉管，标记移植应符合《水管锅炉第 5 部分：制造》GB/T16507.5 的规定。
- 2 奥氏体不锈钢钢管材料应采用色码标记，标记用墨水应为非水溶性墨水，墨水不含 S、P、Cl、Pb、Zn、Sn 等有害元素。
- 3 移植的标记应位于便于识别的位置，弯管内外弧区不应用钢印标记。

3.1.7 钢管应进行外观检查，检查结果应符合相应材料标准及下列规定：

- 1 钢管内外表面不应有裂纹、折叠、结疤、轧折、离层。这些缺陷应完全清除，缺陷清除深度应不超过壁厚的 10%，缺陷清除处的实际壁厚应满足材料标准及设计文件规定的最小值。
- 2 钢管内外表面直道（含非尖锐芯棒擦伤）允许的应符合如下规定：
 - 1）冷拔（扎）炉管：不大于壁厚的 4%，且最大为 0.2mm；
 - 2）热轧（挤压、扩）炉管：不大于壁厚的 5%，且最大为 0.4mm。
- 3 不超过壁厚允许负偏差的其他局部缺陷允许存在。
- 4 对钢管内表面进行检查，必要时可采用内窥镜检查或按设计文件规定执行。

5 钢管内外表面不得存在铜、铝、锡、铅、锌等低熔点金属污染物，对表面油污杂质应彻底清除。

3.1.8 炉管宜采用壁厚正偏差钢管弯制，成形后的壁厚应满足材料标准及设计文件规定的最小值要求。

3.1.9 低合金钢管应进行表面硬度试验，硬度应满足表 3.1.9 及设计文件的规定：

表 3.1.9 低合金钢管硬度

钢管材料	硬度 (HBW)
C-Mo 钢 (P1、15MoG、16Mo3、20MoG)	125~180
1Cr-0.5Mo 钢 (P12、15CrMo、15CrMoG)	125~170
1.25Cr-0.5Mo-Si 钢 (T11、P11、12CrMo、12CrMoG)	125~170
2.25Cr-1Mo 钢 (T22、P22、12Cr2Mo、12Cr2MoG、)	125~180
5Cr-0.5Mo 钢 (T5、P5、12Cr5MoNT)	≤163
9Cr-1Mo 钢 (T9、P9、12Cr9MoNT)	≤179
9Cr-1Mo-V 钢 (T91、P91、10Cr9Mo1VNbN)	185~250

3.1.10 炉管宜采用整管弯制。如需拼接后弯制，应事先征得买方书面认可，并提供弯制后合格的焊接工艺评定。炉管拼接应满足以下要求：

- 1 拼接接头宜位于直管段处；
- 2 拼接接头距离弯曲起点宜不小于 200mm；
- 3 拼接接头距炉管支架边缘宜不小于 200mm；
- 4 相邻两排管的拼接接头应错开至少 200mm；
- 5 拼接接头无损检测应满足本标准第 5.3 条的规定。

3.2 弯制工艺评定 (BPS)

3.2.1 通用要求

- 1 制造厂应根据炉管材料、规格、弯曲半径、弯管形状和弯管设备选择合理的弯制工艺。
- 2 碳素钢和低合金钢管可采用热弯成形或冷弯成形。
- 3 不锈钢炉管宜采用冷弯成形或火焰辅助加热成形，采用热弯成形时应避免加热时渗碳，且应避开引起晶间腐蚀的敏化温度区。
- 4 制造厂应至少制备一件用于弯制工艺评定的弯制工艺试件，弯制工艺评定合格后，完成炉管弯制工艺评定报告。未经评定的弯制工艺，不得用于炉管弯制。
- 5 如果需要，弯制工艺评定应由具有资质的第三方检验机构进行现场见证。

6 冷弯成形及感应加热弯制工艺评定（BPS）和弯管产品（P）的检验、试验项目及要求应按照本标准第 3.2.4 条执行。

3.2.2 冷弯成形工艺评定

- 1 采用冷弯成形时应考虑所用钢材的冷脆性。
- 2 采用温弯成形时应避开钢材的回火脆性温度区。
- 3 炉管弯制成形应变率应按照公式 3.2.2-1 和公式 3.2.2-2 计算，取两者中取较大值。

$$\text{应变率 } \sigma (\%) = \frac{50D_0}{R} \quad (3.2.2-1)$$

$$\text{应变率 } \sigma (\%) = \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1} \right) \times 100 \quad (3.2.2-2)$$

式中： D_0 ——炉管外径，mm；

R ——弯曲半径，mm；

T_1 ——炉管初始平均壁厚，mm；

T_2 ——成形后炉管最小壁厚，mm；

- 4 钢管成形工艺应考虑材料的应变率，冷弯成形应变率控制指标按照表 3.2.2-1 的规定。

当应变率超过允许值时，应进行成形后热处理。常用炉管冷弯成形后热处理条件应符合本标准第 4.2.2 条及设计文件的规定。

表 3.2.2-1 冷弯成形应变率控制指标

材料	碳钢、低合金钢及其他材料	奥氏体型不锈钢
应变率（%）	≤5	≤15

5 评定的有效范围：

- 1) 应在同一工厂用于弯制该弯管的同类型设备进行评定试验。
- 2) 同类别、同级别的钢管材料（包括轧制、拉拔，见表 3.2.2-2）视作等效。
- 3) 同类别、同级别、同弯曲倍率（ R/D_0 或 R/DN ， DN 为钢管公称直径）的其它材料；
- 4) 在同类别号中，高级别材料的评定可覆盖同倍率低级别的材料；
- 5) 同类别、同级别，较小倍率的弯管评定结果可适用于较大倍率的弯管。

表 3.2.2-2 常用钢管材料分类分级表

类别	级别	钢号		
		国家标准	ASTM 标准	EN 标准
I	1	20、20G、20MnG	A106Gr.B	P235GH
II	1	15MoG、20MoG	A209T1、 A335P1	16Mo3
	2	12CrMo、12CrMoG、 15CrMo、15CrMoG	A213T2、T12、T11 A335P2、P12、P11	10CrMo5-5. 13CrMo4-5
IV	1	12Cr2Mo、12Cr2MoG	A213T22、T21 A335P22、P21	10CrMo9-10、 11CrMo9-10
V	1	07Cr2MoW2VNbB	A213T23、A335P23	7CrWVMoNb9-6
VI	1	12Cr5MoNT、 12Cr9MoNT	A213T5、T9 A335P5、P9	—
	2	10Cr9Mo1VNbN	A213T91 A335P91	X10CrMoVNB9-1
VII	1	07Cr19Ni10、 07Cr19Ni11Ti 07Cr18Ni11Nb	A213 TP304H、TP321H、 TP347H A312 TP304H、TP321H、 TP347H	X6CrNi18-10 X6CrNiTi18-10 X6CrNiNb18-10

注：

未列入表 3.2.2-2 的钢号，其评定规则如下：

1. 已列入国家标准、行业标准的钢号，可根据其化学成分、力学性能和热弯曲性能确定列入相应的类、级中，或另外进行单独分类、分级；未列入国家标准、行业标准的钢号，应单独进行弯制工艺评定。
2. 国外钢管材料首次使用时应按其钢号、UNS 号或统一数字编号（按相应标准规定命名）进行弯制工艺评定。

3.2.3 感应加热弯制工艺评定

1 评定的有效范围：

- 1) 应在同一工厂用于弯制该弯管的同类型设备进行评定试验。
- 2) 同类同级的钢管材料（包括轧制、拉拔，见表 3.2.2-2）视作等效。在同类钢管材料中，高级别材料的评定可覆盖低级别材料。
- 3) 同类别、同级别、同弯曲倍率（ R/D_o 或 R/DN ， DN 为钢管公称直径）的其它材料；
- 4) 在同类别号中，高级别材料的评定可覆盖同倍率低级别的材料；

5) 工艺评定的几何准则如下:

- a. 较小倍率的弯管的合格评定结果适用于较大倍率的弯管。
- b. 评定的钢管壁厚 S 的有效范围为 $0.7S \sim 1.5S$ 。
- c. 评定的钢管外径的有效范围为:

$$D_o \leq 50\text{mm};$$

$$50\text{mm} < D_o \leq 150\text{mm};$$

当 $D_o > 150\text{mm}$ 时, 外径有效范围为 $0.5D_o \sim 1.8D_o$ 。

6) 改变弯制工艺参数 (感应加热温度、冷却方式、变形速度) 时, 应重新评定。

7) 改变热处理工艺类型 (如正火、回火或正火加回火等) 时, 应重新评定。

3.2.4 检验、试验项目及要求

1 除非可提供成熟可靠、工艺评定有效范围内的、合格的炉管弯制工艺评定报告, 否则, 制造厂应针对每组 “材料-直径-壁厚-弯曲半径” 制备一个弯制工艺试件。

2 弯制工艺评定 (BPS) 和弯管产品 (P) 的检验、试验项目及要求至少应满足表 3.2.4 的规定。

3 弯制工艺评定 (BPS) 和弯管产品 (P) 的检验与试验结果应完整准确记录, 炉管弯制工艺评定记录详见附录 A, 并编制炉管弯制工艺评定报告及质量证明文件。

表 3.2.4 检验、试验项目及要求

序号	项 目	时机 ^{注1}	试样数量	取样部位	验收
1	外观	BPS、P	—	—	第 5.1 条
2	无损检测 ^{注2}	BPS、P	—	—	第 5.3 条
3	弯管减薄率、内外侧最小壁厚	BPS、P	—	—	第 5.1 条
4	圆度	BPS、P	—	—	第 5.1 条
5	弯曲角度	BPS、P	—	—	第 5.1 条
6	弯曲半径	BPS、P	—	—	第 5.1 条
7	波浪度	BPS、P	—	—	第 5.1 条
8	平面度	BPS、P	—	—	第 5.1 条
9	硬度 ^{注3}	BPS、P	—	—	第 5.2 条
10	显微组织 ^{注5}	BPS	1 个 ^{注6}	直管段 (GB/T 2975)	GB/T 13298

			1 个 ^{注6}	弯管受拉侧	
11	晶粒度 ^{注4、5}	BPS	1 个 ^{注6}	直管段（GB/T 2975）	GB/T 6394
			1 个 ^{注6}	弯管受拉侧	
12	冲击试验 ^{注5}	BPS	1 组 ^{注7}	直管段（GB/T 2975）	GB/T 229
			各 1 组 ^{注7、9}	弯管段	
13	室温拉伸试验 ^{注5}	BPS	1 个	直管段	GB/T 228.1
			各 1 个 ^{注9}	弯管段	
14	高温拉伸试验 ^{注5、8}	BPS	1 个	直管段	GB/T 228.2
			各 1 个 ^{注9}	弯管受拉侧	
15	耐压试验	BPS、P	—	—	第 5.4 条

注：

1. 检验与试验时机分为弯制工艺评定（BPS）及弯管产品（P）检验与试验。
2. 对弯制工艺试件（BPS）及产品（P）的全部弯曲表面进行磁粉或渗透检测。对弯制工艺试件（BPS），弯管产品（P）总数的 10%，且不少于 1 件的受拉侧进行超声检测（UT），满足本标准 5.3.3 节的规定。
3. 按照 GB/T231.1、GB/T 17394.1 分别在弯管前和热处理后对管子弯曲部分均匀取 5 个截面进行硬度试验，每个截面沿圆周方向至少测 3 点，且其中 1 点位于弯管受拉侧。
4. 适用于不锈钢。
5. 适用于感应加热弯管。
6. 分别对弯管的直管段和弯管的受拉侧进行放大倍数不小于 400 倍的金相组织分析：
当壁厚 $S \geq 10\text{mm}$ 且外径 $Do > 100\text{mm}$ 时，取纵向试样；
当壁厚 $S \geq 10\text{mm}$ 且外径 $Do > 250\text{mm}$ 时，取横向试样；
7. 一组冲击试样包括 3 个试样。
8. 当设计温度高于 450℃时，应进行设计温度下的拉伸试验。
9. 试样的取样位置按照本标准第 3.2.4 条中 4 技术要求的规定。

4 技术要求

- 1) 弯管相关部位取样的力学性能试验值应符合相应钢管材料标准和设计文件的规定。
- 2) 弯管显微组织、晶粒度应符合钢管材料标准和设计文件的规定，在大于等于 400 倍金相组织照片中，不应发现晶间裂纹。
- 3) 力学性能试验取样位置及试样制备应符合 GB/T 2975 的规定，取样位置应满足以下要求：
 - a. 弯管受拉侧的起弯部；
 - b. 弯管受拉侧的中部；
 - c. 弯管受拉侧的终弯部。

注：当取样位置无法满足上述要求时，制造厂可以书面形式提出替代取样方式供买方/用户

批准。

3.2.5 炉管弯制工艺评定报告

炉管弯制工艺评定报告应至少包括如下内容：

- 1 原材料质量证明书；
- 2 外观检查和无损检测报告；
- 3 弯管几何尺寸、壁厚检测记录及弯管结构尺寸图；
- 4 硬度试验报告；
- 5 试件取样位置示意图和各试样标记说明；
- 6 显微组织与晶粒度检验报告，包括显微组织照片（如果需要）；
- 7 冲击试验报告（如果需要）；
- 8 室温拉伸试验报告（如果需要）；
- 9 焊接工艺评定（如果采用拼接后弯制）；
- 10 设计温度下的拉伸试验报告（如果需要）；
- 11 弯管工艺卡、热处理工艺卡及弯管、热处理工艺记录。

4 制造

4.1 弯制

- 4.1.1 在弯制成形前，应对弯制用直管的受拉区进行目视检查和表面无损检测。
- 4.1.2 弯制过程中，钢管内外表面不得有黄铜、紫铜、铝、锡、锌等低熔点金属污染物。
- 4.1.3 钢管不应与腐蚀性介质或有害物质接触。
- 4.1.4 炉管内介质为锅炉给水、蒸汽的炉管弯制应符合现行国家标准《水管锅炉第 5 部分：制造》GB/T 16507.5 和设计文件的规定。
- 4.1.5 弯管两端应有直管段，直管段长度应符合下列规定：
- 1 冷弯成形的弯管两端直管段、两个连续弯之间的直管段长度应大于等于 100mm，且不小于钢管外径 D_o 的 2 倍。
 - 2 感应加热弯制直管段长度宜满足表 4.1.5 的要求：

表 4.1.5 感应加热弯制直管段长度

钢管外径 D_o	≤ 114.3	$114.3 < D_o \leq 219.1$	> 219.1
直管段长度 L	$\geq 100\text{mm}$ ，且不小于 D_o	$\geq 200\text{mm}$ ，且不小于 D_o	$\geq 300\text{mm}$ ，且不小于 D_o

- 4.1.6 感应加热弯制后不应进行再次加热或热定径，对弯管进行超过管材相变温度的整体热处理除外。
- 4.1.7 允许对热弯成形的弯管进行冷整形，冷整形的永久变形量应不大于冷整形前外径的 1.5%，计算方法按公式 4.1.7。对于需要进行热处理的弯管，冷整形应在热处理之前完成。

$$\left(\frac{D_a - D_b}{D_b}\right) \times 100\% \leq 1.5\% \quad (4.1.7)$$

式中： D_a ——冷整形后外径，mm；

D_b ——冷整形前外径，mm；

- 4.1.8 除炉管拼接接头外，不得对弯管进行焊接修补或返修。
- 4.1.9 弯制成形后，应对每件弯管的外观及尺寸进行检查，结果应符合本标准第 5.1 条和设计文件的规定。
- 4.1.10 弯制成形后，应对弯管进行硬度检测，检测应符合本标准第 5.2 条和设计文件的规定。
- 4.1.11 弯制成形后，应对弯管进行无损检测，检测应符合本标准第 5.3 条和设计文件的规定。

4.2 弯制后热处理

- 4.2.1 需要弯制后热处理的弯管宜采用整体热处理。
- 4.2.2 常用炉管冷弯成形后热处理条件按照表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 常用炉管冷弯成形后热处理条件

材料 组别	钢号	应变率 σ (注 1)	热处理条件		
			热处理温度(℃)	保温时间 (hr)	冷却方式
Fe-1	20、20G、 20MnGA106Gr. B	$\delta \leq 20\text{mm}$	不进行热处理		
		$\delta > 20\text{mm}$	595~650	Max($\delta/25$, 最 少 0.25hr)	315℃以下静止 空气中冷却
Fe-3 Fe-4 Fe-5 Fe-6	12CrMo 15CrMo	$< 0.5A$	不进行热处理		
		$\geq 0.5 A$	650~680 退火	Max($\delta/25$, 不少于 0.5hr)	315℃以下静止空 气中冷却
	12Cr1Mo 12Cr1MoV 12Cr2Mo	$< 0.5 A$	不进行热处理		
		$\geq 0.5 A$	680~730 退火	Max($\delta/25$, 不少于 0.5hr)	315℃以下静止空 气中冷却
	12Cr5MoI 12Cr5MoNT 12Cr9MoI 12Cr9MoNT	$< 0.5 A$	不进行热处理		
		$\geq 0.5 A$	700~750 退火	Max($\delta/25$, 不少于 0.5hr)	315℃以下静止空 气中冷却
Fe-8	S30409 S31609 S32169 S34779	任意	不进行热处理		

	S31008 S33010	任意	1100~1150 固溶	Max(δ /25, 不少于 1hr)	水急冷 (注 2)
	Incoloy800H/800HT	任意	1100 ~1150 固溶	Max(δ /25, 不少于 1hr)	水急冷 (注 2)

注:

1 应变率 σ 的计算方法按照本标准第 3.2.2 条的规定, A-原材料相应技术条件、等级和厚度所规定的材料最小伸长率, δ -钢管壁厚。

2 当设计温度低于 816℃时, S31008, Incoloy800H/800HT 可不进行热处理。

3 对碳钢、碳锰钢、铬钼合金钢、马氏体不锈钢材料, 冷弯成形应变率超过该材料标准所规定的最小伸长率的 50%时, 应进行热处理。如能证明所选用的管子冷弯成形后应变最大的材料仍保持有至少为 10%的伸长率, 则可不进行热处理。

4 制造厂也可根据各自的工艺确定是否进行热处理, 但要保证不损害材料的使用性能。

4.2.3 常用炉管热弯成形后热处理条件按照表 4.2.3 的规定。

表 4.2.3 炉管热弯成形后热处理条件

材料组别	钢号	热处理条件		
		热处理温度 (℃)	保温时间 (hr)	冷却方式
Fe-1	20	不进行热处理		
Fe-3 Fe-4 Fe-5 F3-6	12CrMo 15CrMo	900~960 正火	Max(δ /25, 不少 于 0.5hr)	315℃以下静止空气中 冷却
	12Cr1Mo 12Cr1MoV 12Cr2Mo	900~960 正火+680~730 回火	Max(δ /25, 不少 于 0.5hr)	315℃以下静止空气中 冷却
	12Cr5MoI 12Cr5MoNT 12Cr9MoI 12Cr9MoNT	900~960 正火+720~800 回火	Max(δ /25, 不少 于 0.5hr)	315℃以下静止空气中 冷却
	S30409 S31609 S32169	热轧 (挤压), $\geq 1050^\circ\text{C}$, 水急冷 冷拔 (轧) $\geq 1100^\circ\text{C}$, 水急冷		

	S34779			
	S31008 S33010	1100~1150 固溶	Max (δ /25, 不少于 1hr)	水急冷
Ni-5	Incoloy800H /800HT	1100~1150 固溶	Max (δ /25, 不少于 1hr)	水急冷
注：特殊要求的钢管热弯成型后，材料应通过热处理恢复到出厂供货状态。				

4.2.4 弯制炉管的交货状态除满足本标准规定外，还应满足设计文件的要求。

4.2.5 设计文件注明有抗应力腐蚀要求的碳钢、低合金钢弯管均应进行消除应力热处理。

4.2.6 对于介质毒性程度高度、极度危害的炉管应按照设计文件要求进行恢复材料的性能热处理。

4.2.7 对蠕变强度增强型铁素体钢 10Cr9MoVNbN（相近材料 P91），弯制成形后应按下列要求进行热处理：

- 1 热弯成形的弯管应按相应钢管材料标准要求进行正火加回火处理。
- 2 冷弯成形的弯管应按表 4.2.7 的规定进行热处理。

表 4.2.7 蠕变强度增强型铁素体钢管冷弯后热处理规定

材料牌号	设计温度 t ℃	应变率 σ ^{注 1} %	热处理要求
10Cr9MoVNbN (P23、T23)	≤480	—	不强制进行热处理
	>480	>20	正火+回火 ^{注 2}
		>5~20	消除应力热处理
10Cr9MoVNbN (P91、T91)	540< t ≤600	>25	正火+回火 ^{注 2}
		>5~25	消除应力热处理
	>600	>20	正火+回火 ^{注 2}
		>5~20	消除应力热处理

注：

1. 应变率 σ 的计算方法详见本标准第 3.2.2 条。

2. 正火加回火热处理制度应与相应钢管材料标准要求一致。

4.2.8 对于材料或应变率在上述规定之外的弯管，其热处理要求应由供需双方协商确定。

4.2.9 热处理后，当弯管角度超出允许偏差值时，对碳素钢及合金钢管（蠕变强度增强型铁素体钢除外）可采用低于该钢种回火温度 30℃ 的温度进行校正；对 10Cr9MoVNbN 钢管，校正

加热温度不应高于 675 ℃。

4.3 管端及坡口

4.3.1 弯管管端及坡口应采用机械加工，坡口型式及尺寸精度应符合设计文件或相关标准的规定。未注明的自由尺寸公差按现行国家标准《一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差》GB/T 1804 规定中的 m 级精度。

4.3.2 当弯管壁厚大于与之相焊接的直管壁厚 2mm 时，应采用削边，内径对齐。

4.3.3 坡口及相邻表面应清洁，无油污、铁锈和其它影响焊接质量的杂物。

5 检验和试验

5.1 外观及尺寸

5.1.1 弯制成形后，弯管应逐件进行外观及尺寸检查，检查结果应符合本标准和设计文件的规定。弯管表面应不低于现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理表面清洁度的目视评定第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1 规定的 Sa2 级。

5.1.2 热弯弯管应在弯管冷却到室温后进行检查。成形后需要进行热处理的弯管应以热处理后的检测结果进行最终判定。

5.1.3 弯制成形后，弯曲部分不应有裂纹、折皱、扭结、重皮、尖锐划痕等缺陷。如果有上述缺陷，应逐步修磨且边缘圆滑过渡，采用表面无损检测的方法确认缺陷已完全消除，修磨后的实测壁厚应满足本标准第 5.1.4 条的要求。

5.1.4 尺寸和形状检查

1 壁厚

- 1) 同种规格、同种材料的首件弯管应进行检测，其余抽检 20%，但不应少于 3 件。当抽检发现不合格时，应进行 100% 检测。
- 2) 采用超声波测厚仪在弯管外弧面（受拉侧）中心线上至少均匀取 5 点进行检测，需要时，在内弧面（受压面）和中性层中心线上各取 3 点进行检测，例如 90° 弯管，15°、45° 和 75° 位置，检测结果应符合本标准的规定。
- 3) 弯管壁厚减薄率不应大于 10%。
- 4) 炉管弯制成形后的实测壁厚不得小于材料标准及设计文件规定的最小厚度要求。

2 弯曲角度

- 1) 同种规格、同种材料的首件弯管进行检测，其余抽检 20%，但不应少于 3 件。当抽检发现不合格时，应进行 100% 检测。
- 2) 同一平面上弯曲角度 α 的偏差为 $\pm 0.5^\circ$ ，见图 5.1.4-1 (a)。
- 3) 不在同一平面上空间夹角 θ 的偏差为 $\pm 1.0^\circ$ ，见图 5.1.4-1 (b)。

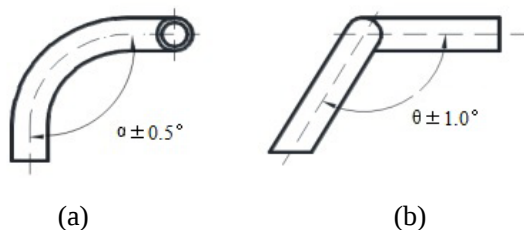


图 5.1.4-1 两弯管空间夹角偏差

3 圆度

- 1) 同种规格、同种材料的首件弯管进行检测，每批每种规格抽检 20%，但不应少于 3 件。当抽检发现不合格时，应进行 100% 检测。

- 2) 用外卡尺或卡规、直尺在弯管弯曲部分至少均匀取 5 个截面进行检测, 测量时沿弯管水平方向和垂直方向测量, 同一截面测量结果应符合本标准的要求。
- 3) 弯管两端部的圆度应满足相关钢管材料标准的要求。
- 4) 弯管弧面位置圆度按本标准公式 5.1.4-1 计算。热弯成形的弯管的圆度不应大于 4%; 冷弯成形的弯管的圆度不应大于 7%。

$$\beta = 2 \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max} + D_{\min}} \times 100\% \quad (5.1.4-1)$$

式中: β ——弯管圆度;

$D_{\max}$ ——测量截面的最大外径, mm;

$D_{\min}$ ——在 $D_{\max}$ 同一横断面上测得的最小外径, mm。

4 弯曲半径 R

- 1) 同种规格、同种材料的首件弯管进行检测, 其余抽检 20%, 但不应少于 3 件。当抽检发现不合格时, 应进行 100% 检测。
- 2) 弯曲半径允许偏差为 $\pm 0.5\%R$, 且不应超过 $\pm 5\text{mm}$ 。

5 波浪度

- 1) 同种规格、同种材料的首件弯管进行检测, 其余抽检 20%, 但不应少于 3 件。当抽检发现不合格时, 应进行 100% 检测。
- 2) 热弯成形的弯管的波浪度 h/D_0 不应大于 2%, 冷弯成形的弯管的波浪度不应大于 3%, 且波距 A 与波高 h 之比应大于 12, 波高 h 计算按照公式 5.1.4-2, 波距 A 详见图 5.1.4-2。

$$h = \left(\frac{D_2 + D_4}{2} \right) - D_3 \quad (5.1.4-2)$$

式中: D_2, D_4 ——两个相邻波峰的外径, mm;

D_3 ——两个相邻波峰之间的波谷外径, mm;

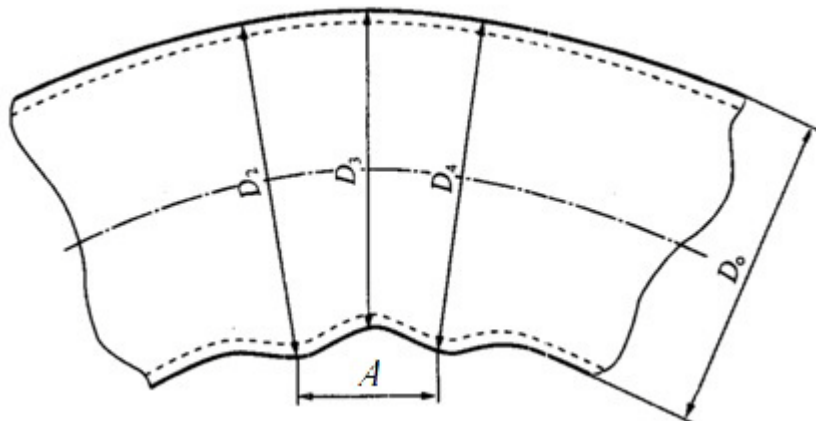


图 5.1.4-2 弯管波距示意图

6 平面度

- 1) 同种规格、同种材料的首件弯管进行检测, 其余抽检 20%, 但不应少于 3 件。当抽检

发现不合格时，应进行 100% 检测。

2) 弯管的平面度 Δa 详见图 5.1.4-3。

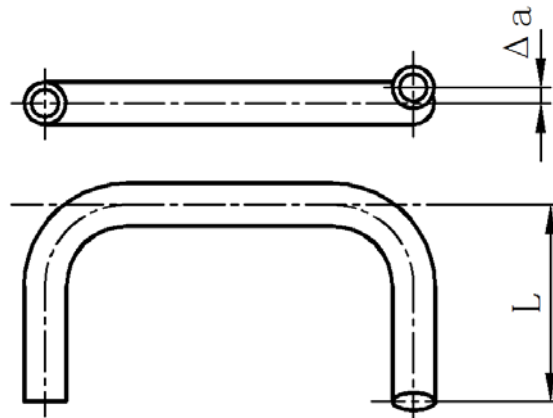


图 5.1.4-3 弯管的平面度偏差

3) 同一平面上弯管的平面度应符合本标准表 5.1.4-1 的规定。

表 5.1.4-1 弯管的平面度

结构尺寸, mm	$L \leq 500$	$500 < L \leq 1000$	$1000 < L \leq 1500$	$L > 1500$
平面度 Δa , mm	≤ 3	≤ 4	≤ 5	≤ 6

7 其它弯曲尺寸偏差

1) 同种规格、同种材料的首件弯管进行检测，其余抽检 20%，但不应少于 3 件。当抽检发现不合格时，应进行 100% 检测。

2) 弯曲尺寸允许偏差值 Δf 为 $\pm 1.5\text{mm/m}$ ，最大为 $\pm 3\text{mm}$ （图 5.1.4-4）。

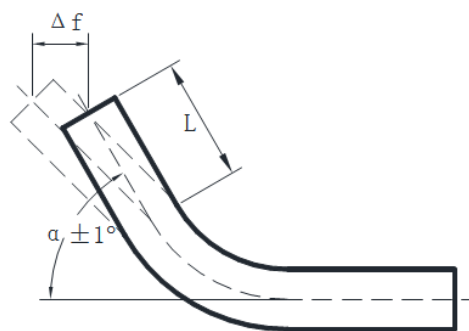


图 5.1.4-4 弯曲偏差

8 蛇形盘管尺寸偏差

蛇形盘管（弯制）尺寸偏差（图 5.1.4-5）应满足下列规定：

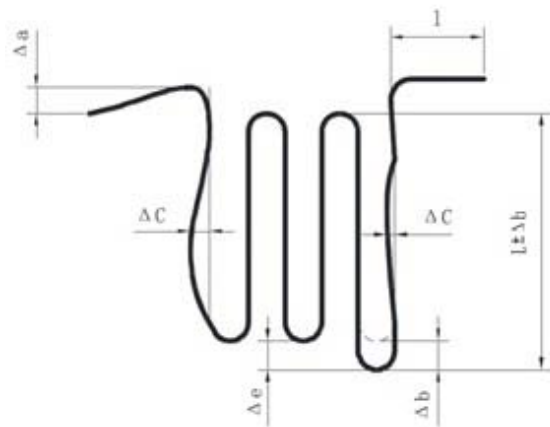


图 5.1.4-5 蛇形盘管的尺寸偏差

- 1) 管端偏差 Δa : 当 $l \leq 400\text{mm}$ 时, $\Delta a \leq 2\text{mm}$ 。当 $l > 400\text{mm}$ 时, $a \leq \frac{l}{200}$ 。
- 2) 最外边炉管的管段沿宽度偏移 ΔC 不应大于 5mm 。
- 3) 弯管沿长度方向偏移应符合表 5.1.4-2 的规定。
- 4) 相邻弯头或任意两层蛇形盘管弯头沿长度方向偏移 Δe 不应大于 $D_o/4$ (D_o 为炉管外径), 且不应大于 8mm 。

表 5.1.4-2 弯管沿长度方向偏移

蛇形盘管长度 L , mm	$L \leq 6000$	$6000 < L \leq 8000$	$L > 8000$
$\Delta b \leq$, mm	6	8	10

9 螺旋盘管尺寸

螺旋盘管尺寸偏差 (图 5.1.4-6) 应符合下列规定。

- 1) 盘管外径偏差: ΔD_c 为 $\pm 10\text{mm}$ 。
- 2) 相邻管圈间距偏差: Δb 为 $\pm 3\text{mm}$ 。
- 3) 盘管高度偏差 ΔH 每米允许 3mm , 总高度偏差不应大于 6mm 。
- 4) 盘管的个别管圈与炉管内外表面的偏差 Δf 不应大于 5mm 。
- 5) 盘管偏移 Δa 、管端长度偏差 Δl 按 1) 及 2) 条规定。

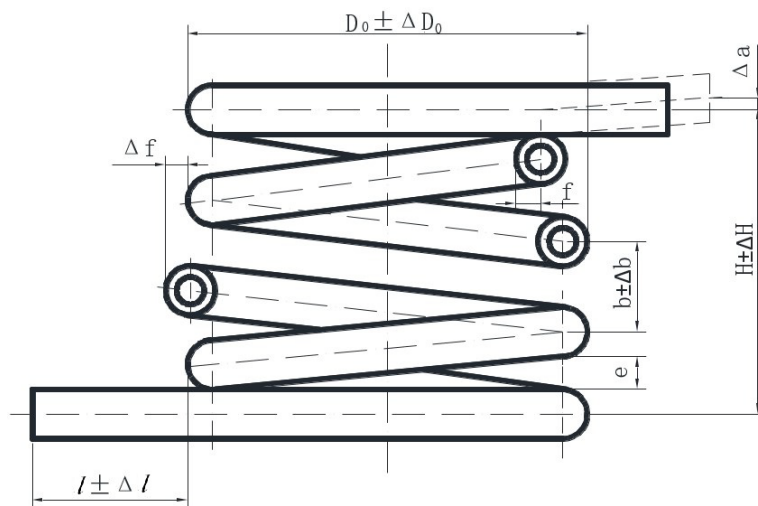


图 5.1.4-6 螺旋盘管的尺寸偏差

5.1.5 通球试验

炉管弯制成形后应进行塞规或通球试验检查，塞规或通球的直径按照表 5.1.5-1 或表 5.1.5-2 的要求。当弯管有拼接接头时，通球直径选取下列两表中的较小值。通球直径偏差为-0.2mm。

表 5.1.5-1 弯管通球直径

R/D	$1.0 \leq R/D < 1.4$	$1.4 \leq R/D < 1.8$	$1.8 \leq R/D < 2.5$	$2.5 \leq R/D < 3.5$	$R/D \geq 3.52.5$
通球直径	$\geq 0.70d$	$\geq 0.75d$	$\geq 0.80d$	$\geq 0.85d$	$\geq 0.90d$
注： 1 R 为炉管中心线弯曲半径， D 为炉管公称直径或外径， d 为炉管内径，mm。 2 若按理论内径通球受阻，则按照炉管实测内径计算通球直径。					

表 5.1.5-2 有对接接头炉管通球直径

炉管内径，mm	$d \leq 25$	$25 < d \leq 40$	$40 < d \leq 50$	$d > 55$
通球直径	$\geq 0.75d$	$\geq 0.8d$	$\geq 0.85d$	$\geq 0.9d$

5.2 硬度

5.2.1 弯管应逐件进行硬度检测，检测应按照《金属材料布氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》GB/T 231.1 的规定进行，检测结果应满足相应材料标准或设计文件的规定。

5.2.2 硬度检测应在弯管最终热处理后或不需要热处理的成形后进行。

5.2.3 硬度检测位置为管子弯曲部分均匀取 5 个截面，每个截面沿圆周方向至少测 3 点，且其中 1 点位于弯管受拉侧，每个测点取 5 个读数的平均值作为该测点的硬度，检测结果应满足本标准或设计文件的规定。

5.3 无损检测

5.3.1 表面检测

- 1 弯制成形后，弯管应逐根进行表面检测，检测范围至少应包括含弯管外表面、缺陷修磨后的表面、坡口及端部。
- 2 碳钢、合金钢炉管应按照现行行业标准《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》NB/T 47013.4 进行 100%磁粉检测，质量等级 I 级为合格。
- 3 不锈钢及镍基合金应按照现行行业标准《承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测》NB/T 47013.5 进行 100%渗透检测，质量等级 I 级为合格。
- 4 拼接接头应满足设计文件的要求。

5.3.2 射线检测

- 1 除另有注明外，弯管弯制成形且热处理后，所有对接接头应进行 100%射线检测，检测应符合国家现行标准《压力容器第 4 部分：制造、检验和验收》GB /T 150.4 和现行行业标准《承压设备无损检测第 2 部分：射线检测》NB/T 47013.2 的相关规定，技术等级 AB 级，合格级别不低于 II 级。
- 2 当焊接接头因结构上难于实现 100%射线检测时，每条焊接接头的射线检测比例不得低于 50%，未检测到部分应进行磁粉或渗透检测，质量等级 I 级为合格。

5.3.3 超声检测

- 1 除设计文件另有规定外，同种材料、相同规格尺寸的弯管产品（P）总数的 10%，且不少于 1 件的受拉侧进行超声检测（UT）。
- 2 弯制成形后应按照现行行业标准《承压设备无损检测第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3 进行 100%超声检测，质量等级 I 级为合格。凡超声检测发现内部缺陷的弯管应予以拒收。
- 3 超声检测范围为弯曲起点、中点和弯曲末端各取不小于 200mm 长度，或弯曲部分受拉侧中心线上下 45° 区域进行超声检测。
- 4 若有一件弯管不合格时，检测比例加至 50%，仍出现不合格时，则 100%检测。

5.4 耐压试验

5.4.1 液压试验

- 1 除弯制工艺试件、拼接后弯制的弯管产品或设计文件规定进行液压试验的弯管外，弯管可不单独进行液压试验。
- 2 液压试验应在炉管弯制成形并检验合格后进行。
- 3 需要单独对弯管进行压力试验时，宜预留至少 50mm 长度用于焊接试压板。
- 4 液压试验应符合下列规定：
 - 1) 管内介质为锅炉给水、蒸汽的炉管水压试验按现行国家标准《水管锅炉第 6 部分：检验、试验和验收》GB/T 16507.6 或设计文件的规定。其它炉管试验压力应按设计文件的要求进行。
 - 2) 试验液体一般采用水，试验合格后应立即将水排净、吹干；无法完全排净吹干时，对奥氏体钢制受压元件，应控制水的氯离子含量不超过 25mg/L。

- 3) 需要时, 也可采用不会导致发生危险的其他试验液体, 但试验时液体的温度应低于其闪点或沸点, 并应有可靠的安全措施。
- 4) 碳钢和低合金钢炉管液压试验时, 液体温度不得低于 15℃, 其余材料液体温度不得低于 5℃, 且应保证试验温度(管壁金属温度)比其金属无塑性转变温度至少高 30℃。
- 5) 试验前应当排净管内气体并充满液体, 试验过程中应保持弯管观察表面的干燥。
- 6) 当弯管管壁金属温度与液体温度接近时, 方可缓慢升压至设计压力, 确认无泄漏后继续升压至规定的试验压力, 保压时间一般不应少于 30min; 然后降至设计压力, 保压足够时间进行检查, 检查期间压力应保持不变。
- 7) 试验过程中, 无渗漏, 无可见的变形和异常声响为合格。
- 8) 试验完毕后, 应将液体排尽并用压缩空气将内部吹干。

5.4.2 气密性试验应符合下列规定:

- 1 气密性试验压力应在图样上注明, 当未注明则应为设计压力。
- 2 气密性试验应在耐压试验合格后进行。
- 3 气密性试验所用的气体应为干燥、洁净的空气、氮气或其它惰性气体。
- 4 气密性试验压力应缓慢上升, 达到规定试验压力后保压保持足够长的时间, 应对所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查。小型弯管亦可浸入水中检查。当有泄漏时, 应在修补后重新进行试验。

6 标记、包装与防护

6.1 标记

- 6.1.1 每个弯管经检验合格后必须逐件标记，标记宜在距离管端约 100mm 处。
- 6.1.2 所有标记应使用非水溶性墨水，且墨水不含 S, P, Cl, Pb, Zn, Sn 等有害元素。管子应避免涂刷在高温操作下产生腐蚀的墨水或涂料。飞溅到管上的墨水或涂料在炉管运输前应去除。
- 6.1.3 标记内容应醒目地标示出弯管直径、壁厚、材质、弯曲半径、弯曲角度等信息，或以供需双方商定的内容进行标志。
- 6.1.4 采用钢印标记时，应采用低应力钢印标记，不得产生尖锐状及危害弯管设计厚度的深坑。
- 6.1.5 弯管包装前须按第 5.1.5 条再次进行通球试验，通球试验合格后方可对管口进行防护包装。

6.2 包装与防护

- 6.2.1 表面除锈检验合格后，方可进行涂装。
- 6.2.2 弯管的存放应防止变形、损坏和腐蚀。弯管不得露天存放，不得接触水和腐蚀性介质。
- 6.2.3 弯管包装前应清除干净，除去内外表面的油物和杂质。弯管表面不得有黄铜、紫铜、铝、锡、铅、锌等低熔点金属污染物。
- 6.2.4 不同材料牌号的化学工业炉弯管应分别包装。不锈钢弯管不得与碳钢或非不锈钢材料相接触。
- 6.2.5 弯管端部机加工坡口应采用特制的木盖或不含氯的塑料管帽密封，在运输和储存过程中不得脱落。
- 6.2.6 除不锈钢弯管外，其余材质弯管出厂前应涂刷防锈漆，防锈至少在 6 个月以上。
- 6.2.7 弯管可采用柔性材料裹包、捆扎。
- 6.2.8 包装箱内应包含产品合格证、质量证明书和装箱单等。
- 6.2.9 运输过程中应设有防止振动或碰撞造成产品或包装箱损坏的措施。
- 6.2.10 需方对包装材料和包装方式有特殊要求时，应在合同中注明。

7 质量证明文件

弯管出厂质量文件至少应包括以下：

- 1 原材料质量证明文件；
- 2 弯管厂名称（适用时）；
- 3 需方名称（适用时）；
- 4 合同号（适用时）；
- 5 外观检查报告；
- 6 弯管几何尺寸检测记录及结构尺寸图；
- 7 合金钢弯管的硬度和显微组织检验报告；
- 8 晶粒度检验报告（包括显微组织照片）（适用时）；
- 9 热处理报告（适用时）；
- 10 无损检测报告；
- 11 耐压试验报告（适用时）。

附件 A

(资料性附录)

A. 弯制工艺评定记录

A.0.1 冷弯工艺评定记录见表 A.0.1

表 A.0.1 冷弯工艺评定记录

制造厂名称/ 项目名称		文件编号/ 弯管编号		
原材料及标准号		炉管规格 (mm)		
弯管机 (设备)	制造商		型号	
弯管尺寸	弯曲半径 R (mm)		弯曲角度 α	
检验与试验	外观检查			
	壁厚减薄率 (%)		通球直径 (mm) 及 检测结果	
	圆度 β (%)		交货状态	
	弯曲角度偏差		硬度 (HBW)	
	弯曲半径 R 偏差 (mm)		表面检测 (100%PT)	
	波浪度 (%)		射线检测 (如需要) (100%RT)	
	平面度 Δa (mm)		耐压试验 (如需要) (MPa)	
	其它弯曲尺寸偏差			
操作人/负责人		年 月 日		
检验员/试验员		年 月 日		

A.0.2 热弯工艺评定记录见表 A.0.2-1

表 A.0.2-1 热弯工艺评定记录

制造厂名称/ 项目名称			文件编号/ 弯管编号			
原材料及标准号			炉管规格 (mm)			
弯管机 (设备)	制造商			型号		
弯制工艺参数	加热温度 ()		冷却方式		变形速度	
弯管尺寸	弯曲半径 R (mm)			弯曲角度 α		
检验和试验	外观检查					
	壁厚减薄率 (%)			交货状态		
	圆度 β (%)			硬度 (HBW)		
	弯曲角度偏差			显微组织		
	弯曲半径 R 偏差 (mm)			晶粒度 (如需要)		
	波浪度 (%)			表面检测 (100%PT)		
	平面度 Δa (mm)			射线检测 (如需要) (100%RT)		
	其它弯曲尺寸偏差			超声检测 (如需要) (100%UT)		
	通球直径 (mm) 及检 测结果			室温拉伸试验		
	休氏试验 (如需要)			室温冲击试验		
	耐压试验 (如需要) (MPa)			高温拉伸试验 (如 需要)		
操作人/负责人			年 月 日			
检验员/试验员			年 月 日			

A.0.3 壁厚及圆度测量位置示意图 A.0.3，壁厚测量记录见表 A.0.3-1，圆度测量记录见表 A.0.3-2。

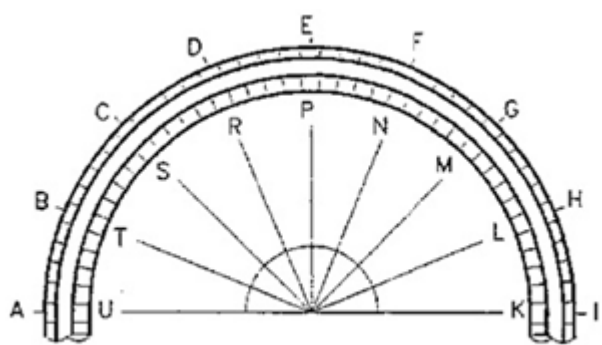


图 A.0.3 壁厚及圆度测量示意图

表 A.0.3-1 壁厚测量记录

项目	测量点								
	A/U	B/T	C/S	D/R	E/P	F/N	G/M	H/L	I/K
直管壁厚（mm）									
外侧壁厚（mm）									
内侧壁厚（mm）									
壁厚减薄率（%）									

表 A.0.3-2 圆度测量记录

项目	测量点								
	A/U	B/T	C/S	D/R	E/P	F/N	G/M	H/L	I/K
Dmax. （mm）									
Dmin. （mm）									
圆度β %									

本规范用词说明

1. 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”

2. 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”

引用标准名录

- 《压力容器第 4 部分：制造、检验和验收》GB /T 150.4
- 《金属材料拉伸试验第 1 部分：室温试验方法》GB/T 228.1
- 《金属材料 拉伸试验 第 2 部分：高温试验方法》GB/T 228.2
- 《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》GB/T 229
- 《金属材料布氏硬度试验第 1 部分:试验方法》GB/T 231.1
- 《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》GB/T 2975
- 《一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差》GB/T 1804
- 《金属平均晶粒度测定方法》GB/T 6394
- 《金属显微组织检验方法》GB/T 13298
- 《水管锅炉第 2 部分：材料》GB/T16507.2
- 《水管锅炉第 5 部分：制造》GB/T16507.5
- 《水管锅炉第 6 部分：检验、试验和验收》GB/T16507.6
- 《承压设备无损检测第 2 部分：射线检测》NB/T 47013.2
- 《承压设备无损检测第 3 部分：超声检测》NB/T 47013.3
- 《承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测》NB/T 47013.4
- 《承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测》NB/T 47013.5

中国石油和化工勘察设计协会团体标准

化学工业炉炉管弯制技术标准

Technical Specification of bending of furnace tubes for
Chemical Industry Tubular Furnace
T/HGJ XXXXX—202X

条文说明

目次

1	总则.....	31
2	术语和定义.....	32
3	弯制前准备.....	33
3.1	原材料预检和验收	33
5	检验、试验	34
5.3	无损检测.....	34

1 总则

1.0.1 本条说明编制本规范的目的和原因。

1.0.2 钢管弯制包括热弯成形及冷弯成形工艺，其中热弯成形包括感应加热弯制、推制、模压或锻制成形等，本标准仅适用于轧制炉管采用感应加热弯制及冷加工工艺的弯制，其中冷弯成形钢管弯曲半径 R 应宜大于等于 $1.5D_o$ ， D_o 为钢管外径。

2 术语和定义

2.0.1 冷弯成形 cold formed bending

钢管在环境温度（不低于 5℃）下或被加热温度满足下列条件下的弯制：

——对铁素体钢，蠕变强度增强型铁素体钢 10Cr9Mo1VNbN（相近材料 P91、T91）、07Cr2MoW2VNbB（相近材料 P23、T23）等除外，钢管弯曲成形温度 $t < (A_{c1} - 56)^\circ\text{C}$ 。

——对蠕变强度增强型铁素体钢 10Cr9Mo1VNbN，钢管弯曲成形温度 $t < 705^\circ\text{C}$ ；对 07Cr2MoW2VNbB 钢，弯曲成形温度 $t < 605^\circ\text{C}$ 。

——对奥氏体钢，弯曲成形温度 $t < 300^\circ\text{C}$ 。

2.0.2 热弯成形 hot formed bending

——对铁素体钢，蠕变强度增强型铁素体钢 10Cr9Mo1VNbN、07Cr2MoW2VNbB 等除外，弯曲成形温度 $t \geq (A_{c1} - 56)^\circ\text{C}$ 。

——对蠕变强度增强型铁素体钢 10Cr9Mo1VNbN，弯曲成形温度 $t \geq 705^\circ\text{C}$ ；对 07Cr2MoW2VNbB 钢，弯曲成形温度 $t \geq 605^\circ\text{C}$ 。

——对奥氏体钢，弯曲成形温度 $t \geq 300^\circ\text{C}$ 。

注： A_{c1} 为钢管材料的下临界温度，单位为℃；

钢管材料的下临界温度 A_{c1} 近似值见表 2.0.3。

表 2.0.3 钢管材料的下临界温度 A_{c1} 近似值

钢管材料	A_{c1} 近似值
碳素钢（20、20G、A106B）	725
C-Mo 钢（15MoG、P1、16Mo3）	730
1Cr-0.5Mo 钢（15CrMoG、P12）	745
1.25Cr-0.5Mo-Si 钢（T11、P11）	775
2.25Cr-1Mo 钢（12Cr2MoG、T22、P22）	805
5Cr-0.5Mo 钢（T5、P5）	820
9Cr-1Mo 钢（T9、P9）	810
9Cr-1Mo-V 钢（10Cr9Mo1VNbN、T91、P91）	810
注：表中数据仅供参考，对括号内的具体材料，应采用该材料的相应温度代替表中数值。	

3 弯制前准备

3.1 原材料预检和验收

3.1.8 炉管宜采用壁厚正偏差钢管弯制，弯制前钢管（直管）的壁厚推荐值可按照表 3.1.8 取值。

表 3.1.8 弯制前钢管（直管）的壁厚推荐值

弯曲半径 R	壁厚推荐值 t
$R \leq 4 D_o$	$1.16 t_{min}$
$4 D_o < R \leq 6 D_o$	$1.14 t_{min}$
$R \geq 6 D_o$	$1.06 t_{min}$
注： 1. D_o 为钢管外径； 2. t_{min} 为钢管材料标准中规定的公称壁厚减去壁厚负偏差、与弯管相连的直管最小壁厚、设计文件规定的弯管最小壁厚，取三者中的较大值。	

5 检验、试验

5.3 无损检测

5.3.3 超声检测

对于公称直径小于 DN150 的钢管可免做超声检测。