

ICS 23.040.01

H 48

备案号: 14626-2004



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 515 — 2004

代替 DL/T 515 — 1993

电 站 弯 管

Pipe bends for power station

2004-10-20 发布

2005-04-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 工艺分类、规格与表示方法 1

4 技术要求 3

5 检验方法 5

6 检验规则 6

7 标志、包装、贮存 6

8 出厂文件 6

附录 A（资料性附录） 弯管加工推荐数据 7

附录 B（资料性附录） 电站弯管常用管材化学成分、力学性能及钢管热处理制度 9

附录 C（资料性附录） 弯管弯制前的直管壁厚要求 16

附录 D（规范性附录） 感应加热弯管工艺评定 17

前 言

根据原国家经济贸易委员会《关于下达 2001 年度电力行业标准制修订计划项目的通知》（电力[2001] 44 号文）的安排，电力工业产品质量标准研究所组织行业内有关单位组成标准修订小组，对电力行业标准 DL/T 515—1993《电站弯管》进行了修订。

DL/T 515—1993 实施十余年来，对提高电站弯管质量，促进电站弯管行业的规范发展起到了重要的指导作用。随着电站单机容量的增大和机组参数的提高，对弯管要求越来越高，与之相应的电站管道材料与弯管工艺也有很大发展，因此，对该标准进行修订非常必要。

本标准主要修订内容包括：

——增加冷弯弯管内容；

——增加弯管工艺评定内容；

——补充电站弯管常用材料；

——补充技术要求的内容；

——删去原附录 A（参考件）弯管壁厚减薄量；对原附录 B（参考件）电站弯管常用材料及其热处理规范进行了补充和修改；增加附录 A 弯管加工推荐数据，增加附录 C 弯管弯制前的直管壁厚要求，增加附录 D 感应加热弯管工艺评定。

本标准自实施之日起，代替 DL/T 515—1993。

本标准的附录 D 是规范性附录。

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业金属材料标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：电力工业产品质量标准研究所、江苏苏源电力装备有限公司、天津电建公司修造厂、西北电建三公司咸阳秦昌管道公司、华电管道工程技术有限公司。

本标准主要起草人：郭延军、张洪祥、柳智明、沈寿林、何汉民、吕继祖。

电 站 弯 管

1 范围

本标准规定了电站弯管的技术要求、试验方法和检验规则。

本标准适用于电站主蒸汽、再热蒸汽、主给水管道及一般钢制汽水管道弯管。其他钢制管道的弯管可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法
- GB/T 229 金属夏比缺口冲击试验方法
- GB/T 231.1 金属布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 2975 钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备
- GB 3087 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 4338 金属材料 高温拉伸试验
- GB 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
- GB/T 13298 金属显微组织检验方法
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB/T 17394 金属里氏硬度试验方法
- DL/T 652 金相复型技术工艺导则
- DL/T 869—2004 火力发电厂焊接技术规程
- DL 5031—1994 电力建设施工及验收技术规范（管道篇）
- DL/T 5054—1996 火力发电厂汽水管道设计技术规定
- JB 4730—1994 压力容器无损检测
- ASTM A106 高温用无缝碳钢公称管
- ASTM A312 无缝和焊接奥氏体不锈钢公称管
- ASTM A335 高温用无缝铁素体合金钢公称管
- DIN 17175 无缝耐热钢管交货技术条件
- VdTÜV 377/2 15NiCuMoNb5 钢管规范

3 工艺分类、规格与表示方法

3.1 工艺分类

电站弯管分为热弯弯管和冷弯弯管。

热弯弯管指在加热温度 $T \geq (T_c - 56)^\circ\text{C}$ 的条件下弯制的弯管。热弯弯管宜采用感应加热方法进行弯制。

冷弯弯管指在加热温度 $T < (T_c - 56)^\circ\text{C}$ 的条件下弯制的弯管。螺旋焊管和直缝焊管不宜用作冷弯

弯管。

注： T_c 为钢管材料的下临界温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ； T_c 值参见附录 A 中表 A.1。

3.2 规格

电站弯管的规格范围如下：

- 钢管外径 OD ： $OD \leq 1220\text{mm}$ 。
- 钢管壁厚 S ： $S \leq 120\text{mm}$ 。
- 弯曲半径 R ： 碳钢管 $R \geq 2.5OD$ ； 合金钢管和奥氏体不锈钢管 $R \geq 3.0OD$ 。
- 弯曲角度 θ ： $\theta \leq 100^{\circ}$ ， 如图 1 所示。

注： 当弯管规格超出上述范围时， 弯管检验标准由供需双方协商确定。

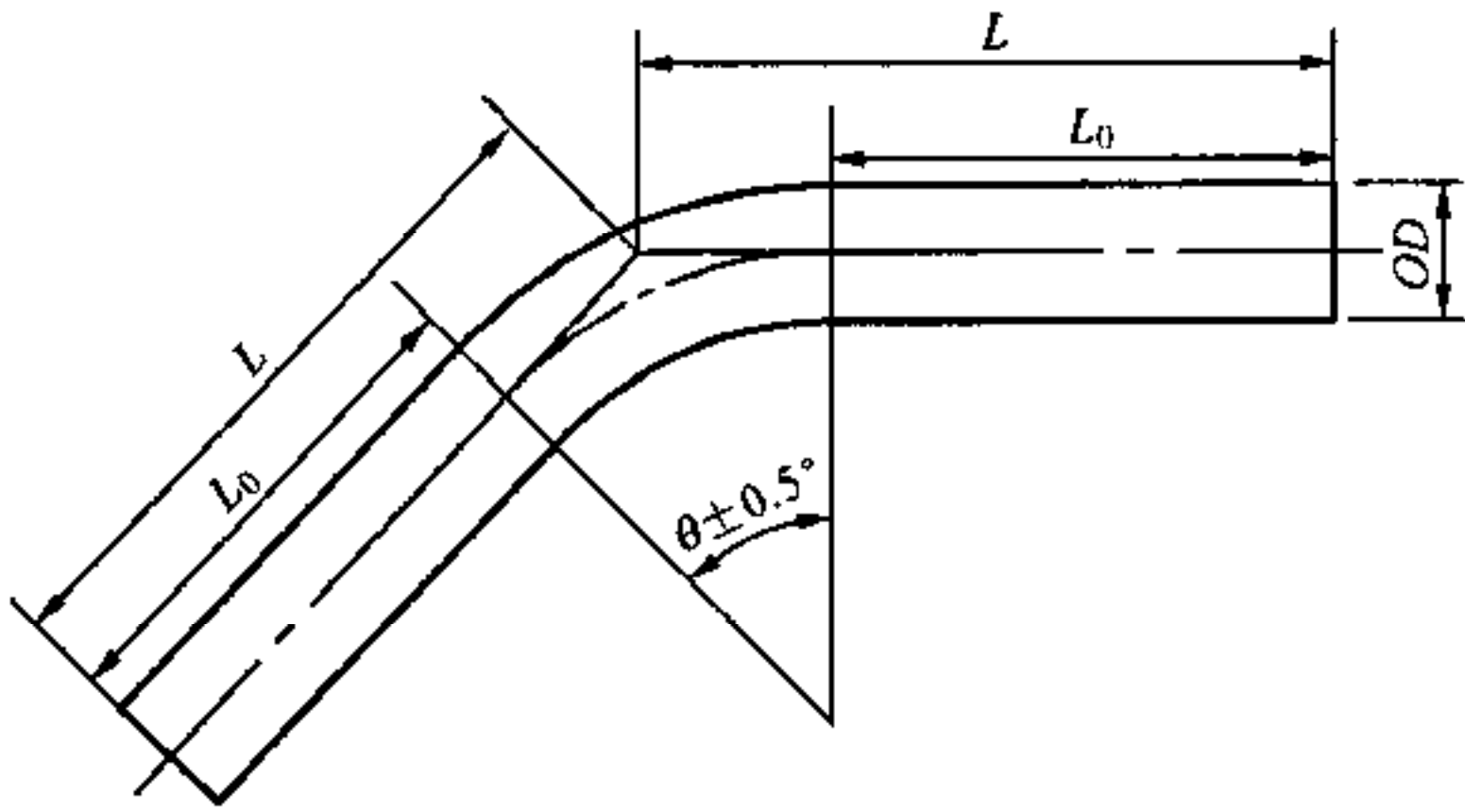
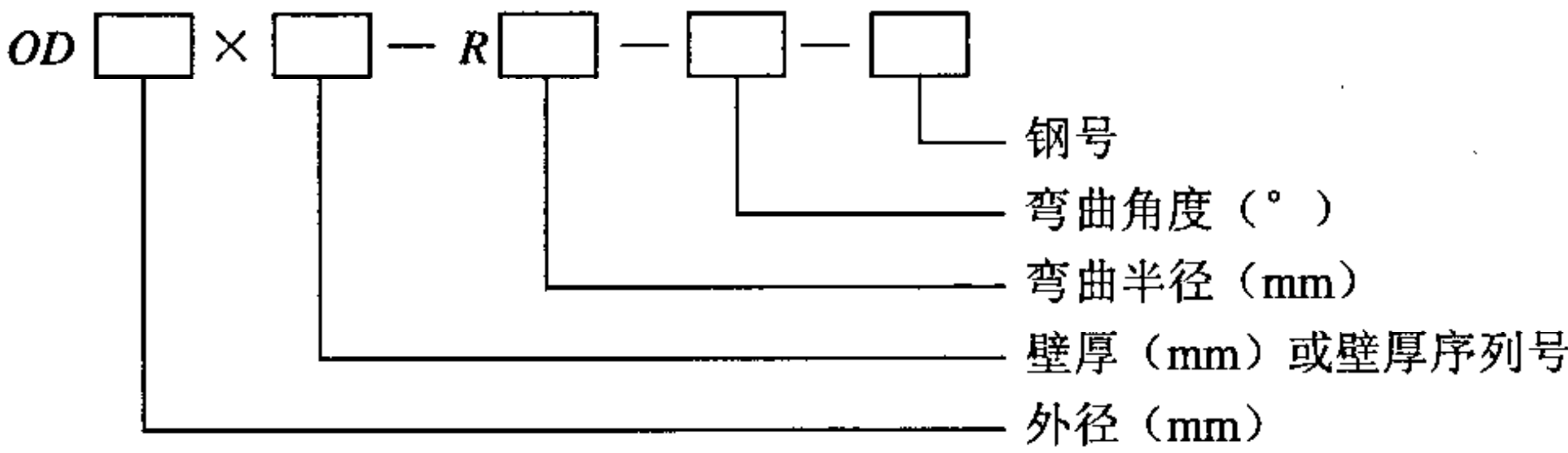


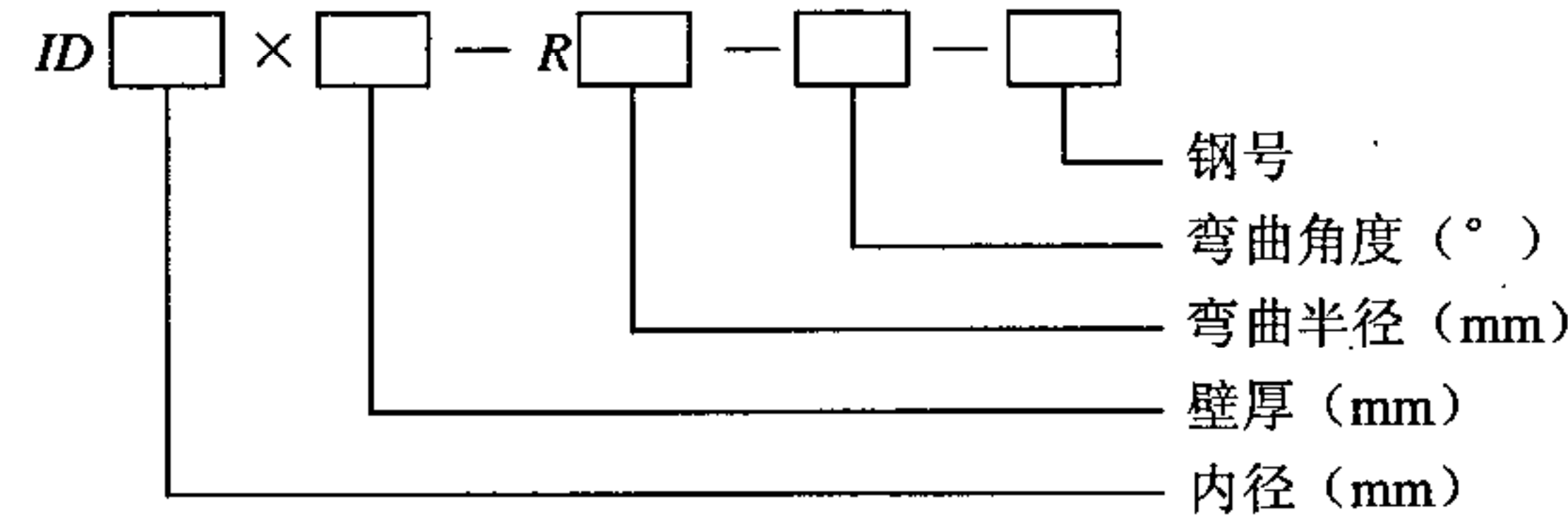
图 1 平面弯管弯曲角度允许偏差

3.3 表示方法

对于外径管， 弯管表示方法如下：



对于内径管， 弯管表示方法如下：



示例 1： 外径 OD 为 325mm， 壁厚 S 为 30mm， 钢号为 12Cr1MoV， 弯曲半径 R 为 1300mm， 弯曲角度 θ 为 90° 的弯管表示为： $OD325 \times 30 - R1300 - 90^{\circ} - 12Cr1MoV$

示例 2： 外径 OD 为 168mm， 壁厚序列号为 Sch40， 钢号为 A106B， 弯曲半径 R 为 900mm， 弯曲角度 θ 为 90° 的弯管表示为： $OD168 \times Sch40 - R900 - 90^{\circ} - A106B$

示例 3： 内径 ID 为 370mm， 壁厚 S 为 40mm， 钢号为 A335P91， 弯曲半径 R 为 1800mm， 弯曲角度 θ 为 90° 的弯管表示为： $ID370 \times 40 - R1800 - 90^{\circ} - A335P91$

4 技术要求

4.1 钢管入厂验收的基本要求

4.1.1 钢管应有钢号及标准代号印记，钢管质量应符合相应的钢管技术标准要求。

4.1.2 钢管材料应按质量合格证书或质量保证书进行质量验收。质量合格证书或质量保证书应标明钢号、化学成分、力学性能（常用管材化学成分及力学性能参见附录 B 中表 B.1～表 B.4），以及必要的热处理工艺等。数据不全的应进行补检，补检的方法、范围、数量应符合国家标准或行业标准。进口钢管除应符合合同规定的有关国家的技术标准外，还应有入境货物检验检疫证明。

4.2 弯制前准备

4.2.1 钢管在弯制前应验证其钢号，钢管直径和壁厚应符合相应的钢管技术标准及设计要求。

4.2.2 合金钢管弯制前应进行光谱分析和硬度试验。

4.2.3 钢管在弯制前应作宏观检查，外观质量应符合 DL5031—1994 中 3.1.3 条的要求。经检查发现有重皮、裂纹、划痕、凹坑等局部缺陷的钢管，应逐步修磨直至缺陷完全消除，修磨后的实际壁厚仍应符合其相应的钢管技术标准要求或设计要求。

4.2.4 用作弯管的直管，其最小壁厚的选择参见附录 C。弯制时应将直管较厚的一侧置于弯管的受拉侧。

4.2.5 钢管在下料时应进行钢管材料标记（包括钢号和钢管炉批号）移植。对于主蒸汽管道、再热蒸汽管道和高压给水管道，宜进行钢印标记移植，钢印标记应清晰完整，其字体大小不应小于 3.5 号。钢印标记宜采用低应力钢印——钝头连续点字模或钝头断续点字模，可用“圆头”或“球形”冲头打印。每一字模不应呈现尖锐状和危及钢管设计厚度的深坑。移植的标记应位于便于识别的直管段上。对于其他管道，材料标记移植方法由供需双方协商确定。

4.3 弯管工艺评定

4.3.1 弯管加工企业应进行弯管工艺评定。

4.3.2 弯管工艺评定应按附录 D 的规定进行。

4.3.3 弯管工艺评定应由具备资质的第三方检验机构进行见证。

4.4 弯管技术要求

4.4.1 弯管每端应有直管段，直管段长度一般不应小于管子的外径。对于感应加热弯管，推荐的直管段长度参见附录 A 表 A.2。

4.4.2 弯管时，管子不应与腐蚀性介质或有害物质接触。

4.4.3 应按评定合格的弯管工艺进行弯管，不应弯制评定范围以外的钢管。

4.4.4 热弯弯管推荐的加热温度及冷却方式参见附录 A 表 A.3。

4.5 热处理要求

4.5.1 公称壁厚大于 19.0mm 的碳钢管，若弯制温度低于 900℃，弯后应对弯管进行回火热处理。

4.5.2 公称直径小于 DN100 或公称壁厚小于 13.0mm 的铁素体合金钢管，热弯后应进行回火热处理。公称直径大于或等于 DN100 或公称壁厚大于或等于 13.0mm 的铁素体合金钢管，都需要在弯曲后按下述要求进行热处理：

1) 对于热弯弯管，推荐的热处理制度参见附录 B 表 B.5；

2) 对于冷弯弯管，推荐的热处理制度参见附录 A 表 A.4。

4.5.3 其他规格、材料（包括奥氏体不锈钢管）弯管的热处理由供需双方协商确定。

4.5.4 热处理后，当弯管角度超出允许偏差值时，可采用低于该钢种回火温度 30℃ 的温度进行校正。

4.6 成品质量要求

4.6.1 弯管表面不应有裂纹、折叠、重皮、凹陷、尖锐划痕等缺陷。表面发现裂纹、重皮等缺陷，应逐步修磨直至缺陷完全消除，修磨后的实际壁厚应符合 4.6.3 条要求。

- 4.6.2 弯管不应有过烧组织，不应出现晶间裂纹。
- 4.6.3 弯管任何一点的实测壁厚不应小于管系直管最小壁厚 S_m 。
- 4.6.4 热弯弯管的圆度（弯曲部分同一圆截面上最大外径与最小外径之差与最大外径之比）不应大于 7%；冷弯弯管的圆度不应大于 8%；对于主蒸汽管道、再热蒸汽管道及设计压力 $>8\text{MPa}$ 的管道，弯管圆度不应大于 5%。弯管两端直管段端部的圆度应符合相应钢管技术标准要求。
- 4.6.5 平面弯管弯曲角度的允许偏差为 $\pm 0.5^\circ$ （如图 1 所示）；不在同一平面上两个连续弯空间夹角 β 的允许偏差：当夹角成 90° 时，允许偏差为 $\pm 1^\circ$ ；当夹角不成 90° 时，允许偏差为 $\pm 1.5^\circ$ （如图 2 所示）。

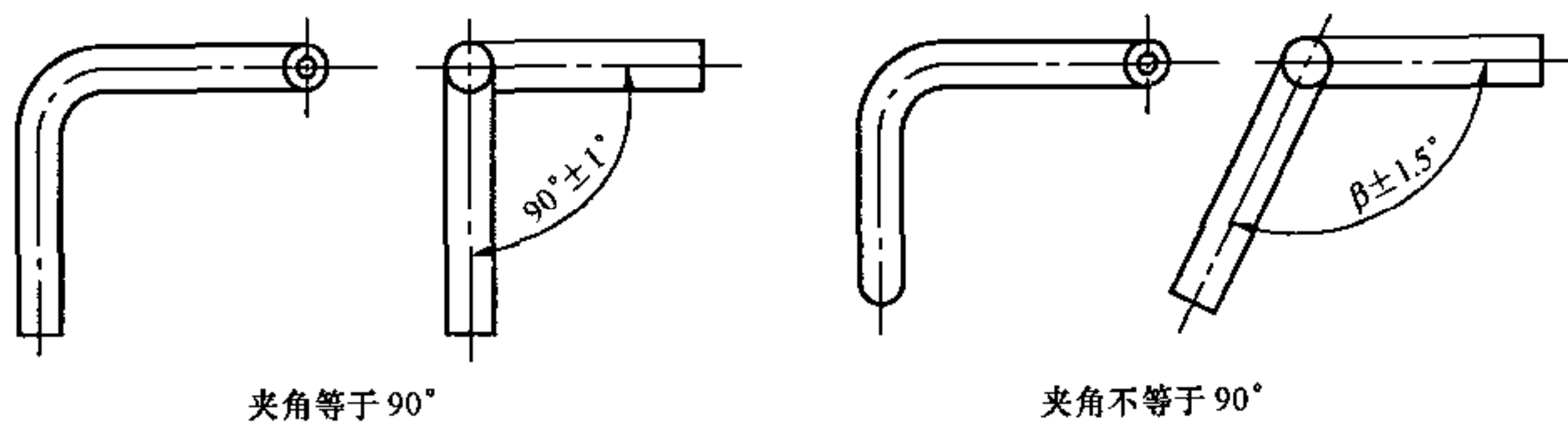


图 2 不在同一平面上两个连续弯的空间夹角允许偏差

- 4.6.6 弯管的弯曲半径允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ 。
- 4.6.7 热弯弯管的波浪率（波高 h 与外径 OD 之比）不应大于 2%，冷弯弯管的波浪率不应大于 3%，且波距 A 与波高 h 之比应大于 12（如图 3 所示）。

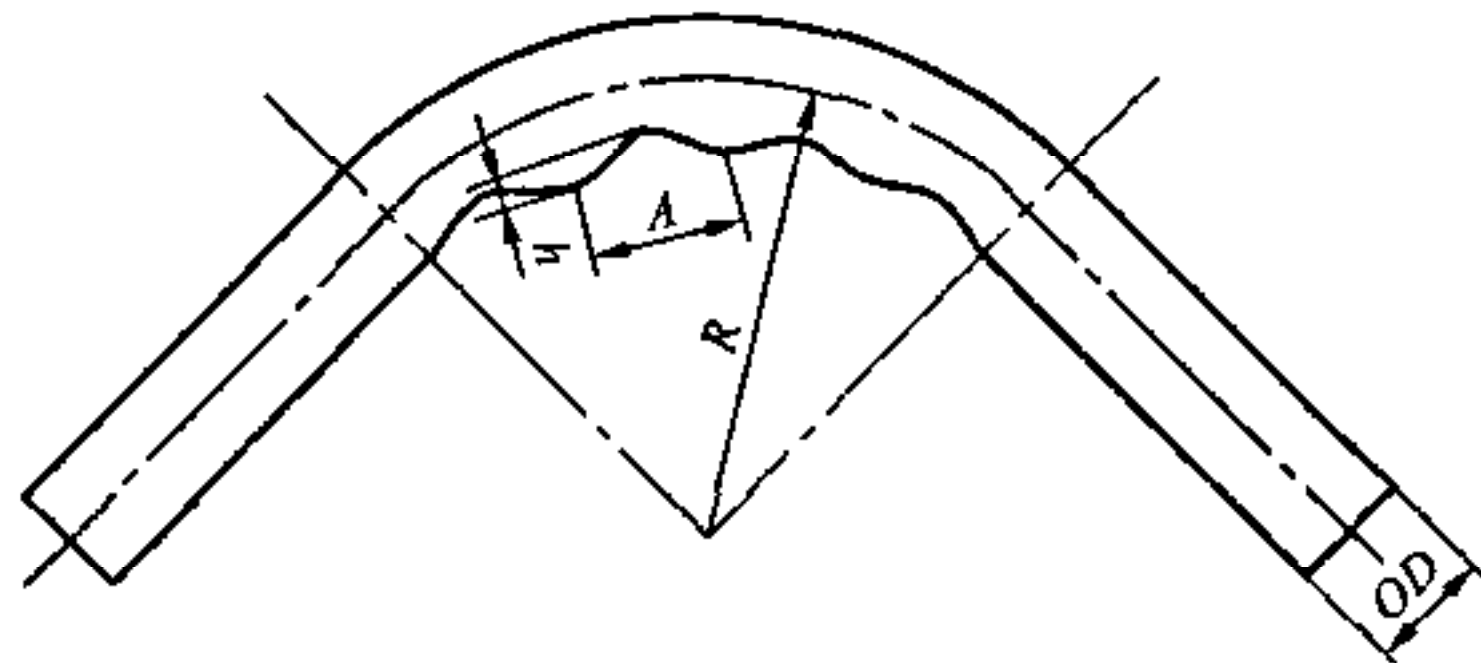


图 3 弯管波浪率示意图

- 4.6.8 同一平面上的弯管（包括两个连续弯）的平面度应符合表 1 规定。

表 1 同一平面上弯管的平面度				mm
结构尺寸 L	≤ 500	$> 500 \sim 1000$	$> 1000 \sim 1500$	> 1500
平面度	≤ 3	≤ 4	≤ 6	≤ 10
注：结构尺寸 L 如图 1 所示。				

- 4.6.9 弯管两端坡口应符合设计图纸或 DL/T 869—2004 中 4.2.1 条的要求。
- 4.6.10 弯管两端坡口加工后的结构尺寸 L （如图 1 所示）的允许偏差 ΔL 见表 2。

表 2 结构尺寸允许偏差				mm
结构尺寸 L	≤ 1000	$> 1000 \sim 3000$	> 3000	
允许偏差 ΔL	± 3	± 4	± 5	

4.6.11 合金钢弯管热处理后的硬度值、金相组织和晶粒度应符合相应的钢管技术要求。

4.6.12 弯管应清除内外壁杂物，并按供需双方协议规定的方法清除弯管的氧化皮。

5 检验方法

5.1 检验条件

采用加热弯曲的弯管，应在弯管冷却到室温后方可检验；弯后需进行热处理的，应以热处理后的检验结果进行最终判定。

5.2 外观检查

采用目测或借助放大镜、照明工具对弯管表面进行检查。

5.3 无损检测

弯管弯曲部分的受拉侧中心线上下各 45° 区域应进行磁粉或渗透检测，检测方法按 JB 4730—1994 第四篇的规定进行。

5.4 壁厚检验

用测厚仪在弯管受拉侧中心线上至少均匀取 5 点进行检验。

5.5 圆度检验

用外卡尺在弯管弯曲部分至少均匀取 5 个截面进行检验。

5.6 弯曲角度检验

5.6.1 平面夹角 θ 可采用放样检查，或通过测量以弯管两端直管段中心线为两边的三角形的三个边长 a 、 b 、 c （如图 4 所示），用式（1）及式（2）进行计算：

$$a \neq b \text{ 时,} \quad \theta = 180^\circ - \arccos[(a^2 + b^2 - c^2)/(2ab)] \quad (1)$$

$$a = b \text{ 时,} \quad \theta = 2\arccos(0.5c/a) \quad (2)$$

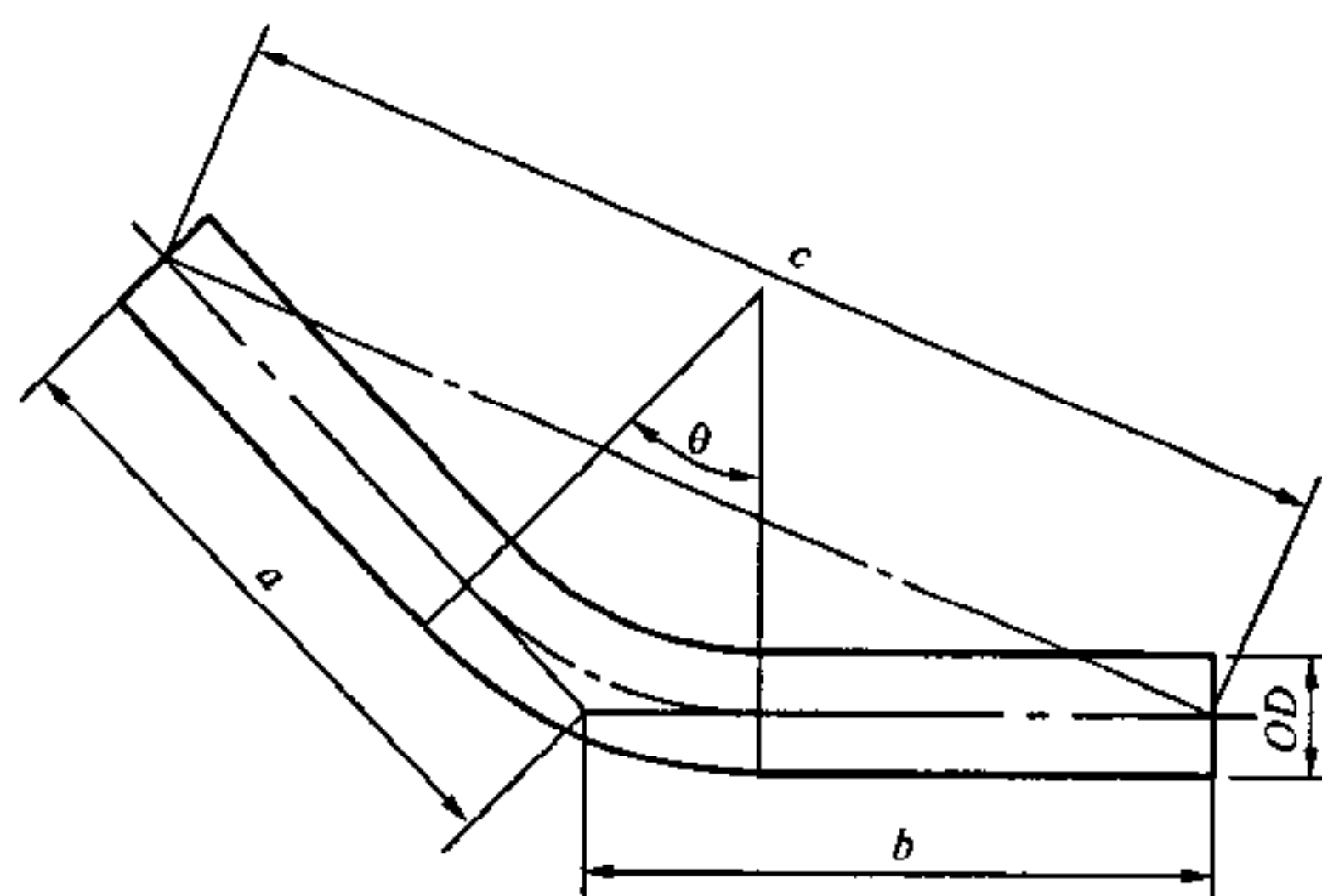


图 4 弯曲角度计算示意图

5.6.2 空间夹角通过放样测量。

5.7 弯曲半径检验

采用放样检验弯曲半径。

5.8 波高 h 和波距 A 检验

用卡尺和直尺在目测波浪率最大处检验波高 h 和波距 A 。

5.9 弯管平面度检验

将弯管放置在平台上，以塞尺、内卡和直尺检验弯管平面度。

5.10 坡口尺寸检验

用游标卡尺、万能角度尺或角度样板尺检验坡口尺寸。

5.11 结构尺寸检验

用长度尺检验结构尺寸 L (如图 1 所示)。

5.12 硬度检验

按照 GB/T 231.1 或 GB/T 17394 用硬度计分别在弯曲部分的受拉侧和中性侧各检验 3~5 点, 每点取 5 个读数的平均值作为该测点的硬度。

5.13 金相组织检验

用复型金相法 (按照 DL/T 652 的规定) 或大工件金相仪在弯曲部分中性侧检验金相组织。

6 检验规则

6.1 外观、结构尺寸、坡口尺寸

应对每根弯管的外观、结构尺寸及坡口尺寸进行检验。

6.2 弯曲半径

应对弯曲半径相同的同种规格、同种材料的首根弯管进行检验。

6.3 壁厚、圆度、弯曲角度、平面度、波浪率

对主蒸汽管道、再热蒸汽管道和主给水管道的弯管应逐根进行检验。对其他管道的弯管按每批或每种规格抽检 20%, 但不应少于 1 根。当抽检发现不合格项目时, 应对该项目进行 100% 检验。

6.4 硬度

合金钢弯管应在热处理后逐根进行硬度检验。

6.5 金相组织

对主蒸汽管道和高温再热蒸汽管道的弯管应逐根进行金相组织检验。对其他管道的弯管按每炉或每批抽检 20%, 但不应少于 1 根。当抽检发现 1 根不合格时, 应将该炉 (批) 抽检改为逐根检验。

6.6 无损检测

对于设计温度大于 450℃ 的主蒸汽管道和高温再热蒸汽管道, 以及 300MW 及以上机组的低温再热蒸汽管道和主给水管道的, 应逐根进行表面无损检测。

7 标志、包装、贮存

7.1 标志

在弯管直管段上应醒目地标示出直径、壁厚、钢号、弯曲半径、弯曲角度 (或以供需双方商定的内容进行标记), 以及制造厂名、制造日期等内容。主蒸汽管道、再热蒸汽管道和主给水管道的弯管还应在直管段上用钢印作材料标记 (包括钢号和钢管炉批号)。

7.2 包装

弯管两端坡口应采取防锈措施, 并用木制、金属、塑料或橡胶封盖予以保护。不锈钢弯管不应采用对其有危害的材料进行包装。

7.3 贮存

弯管贮存期间不应与腐蚀性介质或有害物质相接触。

8 出厂文件

弯管出厂文件应包括:

- a) 外观检查及表面无损检测报告;
- b) 弯曲角度和尺寸 (包括弯曲半径、壁厚、圆度、平面度和波浪率) 检验报告;
- c) 合金钢弯管的硬度和金相组织检验报告;
- d) 热处理报告。

附录 A
(资料性附录)
弯管加工推荐数据

A.1 钢管材料的下临界温度 T_c 的近似值见表 A.1

表 A.1 钢管材料的下临界温度 T_c 的近似值

钢 种	T_c 的近似值 ℃
碳素钢 (A106B, A106C, A369FPA, A369FPB)	725
C-Mo 钢 (A335P1, A335P2, A369FP1, A369FP2)	730
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢 (15NiCuMoNb5)	725
1Cr-0.5Mo 钢 (A335P12, A369FP12)	745
1.25Cr-0.5Mo 钢 (A335P11, A369FP11)	775
2.25Cr-1Mo 钢 (A335P22, A369FP22) 3Cr-1Mo 钢 (A335P21, A369FP21)	805
5Cr-0.5Mo 钢 (A335P5, A369FP5)	820
9Cr-1Mo 钢 (A335P9, A369FP9) 9Cr-1Mo-V 钢 (A335P91)	810
注: 表中数据仅作参考, 使用者可采用具体材料的温度代替这些数值。	

A.2 采用感应加热弯曲时, 弯管两端直管段长度 L_0 的推荐值见表 A.2

表 A.2 弯管两端直管段长度 L_0 的推荐值 mm

公称直径 DN	DN ≤ 200	200 < DN ≤ 300	300 < DN ≤ 500	DN > 500
直管段长度 L_0	500	800	1200	1500

A.3 热弯弯管推荐的加热温度及冷却方式见表 A.3

表 A.3 热弯弯管推荐的加热温度及冷却方式

钢 种	加热温度 ℃	冷却方式
碳素钢 (C ≤ 0.35%)	≤ 1000	S ≤ 25mm: 喷水冷却 S > 25mm: 强迫风冷
C-Mo 钢	≤ 1000	强迫风冷
1.15Ni-0.65Cu-Mo-Nb 钢	≤ 950	强迫风冷
1Cr-0.5Mo 钢	≤ 900	强迫风冷
1Cr-0.5Mo-V 钢		
1.25Cr-0.5Mo 钢		
2.25Cr-1Mo 钢		
9Cr-1Mo-V 钢	≤ 810	强迫风冷
18Cr-8Ni 钢	1050 ~ 1100	喷水冷却
16Cr-12Ni-2Mo 钢	≤ 1050	强迫风冷

A.4 冷弯弯管推荐的热处理制度见表 A.4

表 A.4 钢管冷弯后推荐的热处理制度

钢种	保温温度 ℃	保温时间
C-Mo 钢 0.5Cr-0.5Mo 钢	600~650	按壁厚, 2.4min/mm, 但至少 15min
1Cr-0.5Mo 钢 1Cr-0.5Mo-V 钢 1.25Cr-0.5Mo 钢	700~750	按壁厚, 2.4min/mm, 但至少 15min
2.25Cr-1Mo 钢 3Cr-1Mo 钢 9Cr-1Mo 钢 9Cr-1Mo-V 钢	700~760	按壁厚, 2.4min/mm, 但至少 15min

附录 B
(资料性附录)
电站弯管常用管材化学成分、力学性能及钢管热处理制度

B.1 化学成分

B.1.1 电站弯管常用国产管材的化学成分见表 B.1。

表 B.1 电站弯管常用国产管材的化学成分

钢 号	标准号	化学成分 %														
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ti	B	W	Ni	Al	Nb	N	S	P
															不大于	
10	GB3087	0.07~0.13	0.35~0.65	0.17~0.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035
20	GB3087	0.17~0.23	0.35~0.65	0.17~0.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035
20G	GB5310	0.17~0.24	0.35~0.65	0.17~0.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
20MnG	GB5310	0.17~0.24	0.70~1.00	0.17~0.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
25MnG	GB5310	0.22~0.30	0.70~1.00	0.17~0.37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
15MoG	GB5310	0.12~0.20	0.40~0.80	0.17~0.37	—	0.25~0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
20MoG	GB5310	0.15~0.25	0.40~0.80	0.17~0.37	—	0.44~0.65	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
12CrMoG	GB5310	0.08~0.15	0.40~0.70	0.17~0.37	0.40~0.70	0.40~0.55	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
15CrMoG	GB5310	0.12~0.18	0.40~0.70	0.17~0.37	0.80~1.10	0.40~0.55	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
12Cr2MoG	GB5310	0.08~0.15	0.40~0.70	≤0.50	2.00~2.50	0.90~1.20	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
12Cr1MoVG	GB5310	0.08~0.15	0.40~0.70	0.17~0.37	0.90~1.20	0.25~0.35	0.15~0.30	—	—	—	—	—	—	—	0.030	0.030
12Cr2MoWVTiB	GB5310	0.08~0.15	0.45~0.65	0.45~0.75	1.60~2.10	0.50~0.65	0.28~0.42	0.08~0.18	0.002~0.008	0.30~0.55	—	—	—	—	0.030	0.030
12Cr3MoVSiTiB	GB5310	0.09~0.15	0.50~0.80	0.60~0.90	2.50~3.00	1.00~1.20	0.25~0.35	0.22~0.38	0.005~0.011	—	—	—	—	—	0.030	0.030

表 B.1 (续)

钢 号	标准号	化学成分 %														
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ti	B	W	Ni	Al	Nb	N	S	P
															不大于	
10Cr9Mo1VNb	GB5310	0.08~0.12	0.30~0.60	0.20~0.50	8.00~9.50	0.85~1.05	0.18~0.25	—	—	—	≤0.40	≤0.040	0.06~0.10	0.030~0.070	0.010	0.020
1Cr18Ni9	GB5310	≤0.15	≤2.00	≤1.00	17.00~19.00	—	—	—	—	—	8.00~10.00	—	—	—	0.030	0.035
1Cr19Ni11Nb	GB5310	0.04~0.10	≤2.00	≤1.00	17.00~20.00	—	—	—	—	—	9.00~13.00	—	Nb+Ta≥0.80~1.00%	—	0.030	0.030
0Cr18Ni9	GB/T14976	≤0.07	≤2.00	≤1.00	17.00~19.00	—	—	—	—	—	8.00~11.00	—	—	—	0.030	0.035
0Cr18Ni10Ti	GB/T14976	≤0.08	≤2.00	≤1.00	17.00~19.00	—	—	≥5C%	—	—	9.00~12.00	—	—	—	0.030	0.035
0Cr18Ni11Nb	GB/T14976	≤0.08	≤2.00	≤1.00	17.00~19.00	—	—	—	—	—	9.00~13.00	—	≥10C%	—	0.030	0.035
1Cr18Ni9Ti	GB/T14976	≤0.12	≤2.00	≤1.00	17.00~19.00	—	—	5(C%-0.02)~0.80	—	—	8.00~11.00	—	—	—	0.030	0.035
1Cr19Ni9	GB13296	0.04~0.10	≤2.00	≤1.00	18.00~20.00	—	—	—	—	—	8.00~11.00	—	—	—	0.030	0.035
1Cr18Ni11Ti	GB13296	0.04~0.10	≤2.00	<0.75	17.00~20.00	—	—	4C%~0.60	—	—	9.00~13.00	—	—	—	0.030	0.030

注 1: 钢号 10 的残余元素含量要求: Cu≤0.25%、Cr≤0.15%、Ni≤0.30%; 钢号 20 的残余元素含量要求: Cu≤0.25%、Cr≤0.25%、Ni≤0.30%。
注 2: 钢号 20G、20MnG、25MnG 的残余元素含量要求: Cu≤0.20%、Cr≤0.20%、Ni≤0.25%、V≤0.08%、Mo≤0.15%; 表中 GB5310 的其余钢号: Cu≤0.20%、Cr≤0.30%、Ni≤0.30%。

B.1.2 电站弯管常用国外管材的化学成分见表 B.2。

表 B.2 电站弯管常用国外管材的化学成分

钢 号	标准号	化学成分 %													
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ti	Cu	Ni	Al	Nb	N	S	P
														不大于	
A106 B*	ASTM A106	≤0.30	0.29~1.06	≥0.10	≤0.40	≤0.15	≤0.08	—	≤0.40	≤0.40	—	—	—	0.035	0.035
A106 C*	ASTM A106	≤0.35	0.29~1.06	≥0.10	≤0.40	≤0.15	≤0.08	—	≤0.40	≤0.40	—	—	—	0.035	0.035
St35.8	DIN17175	≤0.17	0.40~0.80	0.10~0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.040	0.040
St45.8	DIN17175	≤0.21	0.40~1.20	0.10~0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.040	0.040
P1	ASTM A335	0.10~0.20	0.30~0.80	0.10~0.50	—	0.44~0.65	—	—	—	—	—	—	—	0.025	0.025
P5	ASTM A335	≤0.15	0.30~0.60	≤0.50	4.00~6.00	0.45~0.65	—	—	—	—	—	—	—	0.025	0.025
P11	ASTM A335	0.05~0.15	0.30~0.60	0.50~1.00	1.00~1.50	0.44~0.65	—	—	—	—	—	—	—	0.025	0.025
P12	ASTM A335	0.05~0.15	0.30~0.61	≤0.50	0.80~1.25	0.44~0.65	—	—	—	—	—	—	—	0.025	0.025
P22	ASTM A335	0.05~0.15	0.30~0.60	≤0.50	1.90~2.60	0.87~1.13	—	—	—	—	—	—	—	0.025	0.025
P91	ASTM A335	0.08~0.12	0.30~0.60	0.20~0.50	8.00~9.50	0.85~1.05	0.18~0.25	—	—	≤0.40	≤0.04	0.06~0.10	0.030~0.070	0.010	0.020
15Mo3	DIN17175	0.12~0.20	0.40~0.80	0.10~0.35	—	0.25~0.35	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035
13CrMo44	DIN17175	0.10~0.18	0.40~0.70	0.10~0.35	0.70~1.10	0.45~0.65	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035
10CrMo910	DIN17175	0.08~0.15	0.40~0.70	≤0.50	2.00~2.50	0.90~1.20	—	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035
14MoV63	DIN17175	0.10~0.18	0.40~0.70	0.10~0.35	0.30~0.60	0.50~0.70	0.22~0.32	—	—	—	—	—	—	0.035	0.035
X20CrMoV121	DIN17175	0.17~0.23	≤1.00	≤0.50	10.00~12.50	0.80~1.20	0.25~0.35	—	—	0.30~0.80	—	—	—	0.030	0.030
15NiCuMoNb5	VdTUV377/2	0.10~0.17	0.80~1.20	0.25~0.50	≤0.30	0.25~0.50	—	—	0.50~0.80	1.00~1.30	≤0.05	0.015~0.045	≤0.020	0.030	0.030

表 B.2 (续)

钢 号	标准号	化学成分 %													
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ti	Cu	Ni	Al	Nb	N	S P	
														不大于	
TP304	ASTM A312	≤0.08	≤2.00	≤0.75	18.0~20.0	—	—	—	—	8.00~ 11.0	—	—	—	0.030	0.040
TP304H	ASTM A312	0.04~0.10	≤2.00	≤0.75	18.0~20.0	—	—	—	—	8.00~ 11.0	—	—	—	0.030	0.040
TP304L	ASTM A312	≤0.035	≤2.00	≤0.75	18.0~20.0	—	—	—	—	8.00~ 13.0	—	—	—	0.030	0.040
TP316	ASTM A312	≤0.08	≤2.00	≤0.75	16.0~18.0	2.00~3.00	—	—	—	11.0~ 14.0	—	—	—	0.030	0.040
TP316H	ASTM A312	0.04~0.10	≤2.00	≤0.75	16.0~18.0	2.00~3.00	—	—	—	11.0~ 14.0	—	—	—	0.030	0.040
TP316L	ASTM A312	≤0.035	≤2.00	≤0.75	16.0~18.0	2.00~3.00	—	—	—	10.0~ 15.0	—	—	—	0.030	0.040
TP321	ASTM A312	≤0.08	≤2.00	≤0.75	17.0~20.0	—	—	5C%~ 0.70	—	9.00~ 13.0	—	—	—	0.030	0.040
a 对 A106B 和 A106C 材料，化学成分中 Cr、Cu、Mo、Ni、V 五种元素的总含量不应超过 1%。															

B.2 力学性能

B.2.1 电站弯管常用国产管材的室温力学性能见表 B.3。

表 B.3 电站弯管常用国产管材的室温力学性能

序号	钢 号	标准号 ^b	壁厚 mm	纵向力学性能 ^c				横向力学性能 ^c			
				σ_b MPa	σ_s MPa	δ_5 %	A_{kv} J	σ_b MPa	σ_s MPa	δ_5 %	A_{kv} J
					不小于			不小于			
1	10	GB3087	—	335~475	195	24	—	—	—	—	—
2	20	GB3087	<15	410~550	245	20	—	—	—	—	—
			≥15		225						
3	20G	GB5310	—	410~550	245	24	35	400	215	22	27
4	20MnG	GB5310	—	≥415	240	22	35	—	—	—	27
5	25MnG	GB5310	—	≥485	275	20	35	—	—	—	27
6	15MoG	GB5310	—	450~600	270	22	35	—	—	20	27
7	20MoG	GB5310	—	≥415	220	22	35	—	—	—	27
8	12CrMoG	GB5310	—	410~560	205	21	35	—	—	—	27
9	15CrMoG	GB5310	—	440~640	235	21	35	440	225	20	27
10	12Cr2MoG ^a	GB5310	—	450~600	280	20	35	—	—	18	27
11	12Cr1MoVG	GB5310	—	470~640	255	21	35	440	255	19	27
12	12Cr2MoWVTiB	GB5310	—	540~735	345	18	35	—	—	—	27
13	12Cr3MoVSiTiB	GB5310	—	610~805	440	16	35	—	—	—	27
14	10Cr9Mo1VNb	GB5310	—	≥585	415	20	35	—	—	—	27
15	1Cr18Ni9	GB5310	—	≥520	205	35	—	—	—	—	—
16	1Cr19Ni11Nb	GB5310	—	≥520	205	35	—	—	—	—	—
17	0Cr18Ni9	GB/T14976	—	≥520	$\sigma_{0.2}$ ≥205	35	—	—	—	—	—
18	0Cr18Ni10Ti	GB/T14976	—	≥520	$\sigma_{0.2}$ ≥205	35	—	—	—	—	—
19	0Cr18Ni11Nb	GB/T14976	—	≥520	$\sigma_{0.2}$ ≥205	35	—	—	—	—	—
20	1Cr18Ni9Ti	GB/T14976	—	≥520	$\sigma_{0.2}$ ≥205	35	—	—	—	—	—
21	1Cr19Ni9	GB13296	—	≥520	$\sigma_{0.2}$ ≥205	35	—	—	—	—	—
22	1Cr18Ni11Ti	GB13296	—	≥520	$\sigma_{0.2}$ ≥205	35	—	—	—	—	—
<p>a 用 12Cr2MoG 钢制造的钢管，当壁厚不大于 3mm，且外径不大于 30mm，或当壁厚大于 16mm~40mm 时，屈服点允许降低 10MPa；当壁厚大于 40mm 时，屈服点允许降低 20MPa。</p> <p>b GB/T14976 和 GB13296 热挤压不锈钢管的抗拉强度允许降低 20 MPa。</p> <p>c 一组 3 个冲击试样中允许其中一个试样的冲击功比表中规定的最小值低 30%，但 3 个试样的算术平均值不小于表中的规定值。</p>											

B.2.2 电站弯管常用国外管材的室温力学性能见表 B.4。

表 B.4 电站弯管常用国外管材的室温力学性能

序号	钢 号	标准号	壁厚 mm	力学性能					
				σ_b MPa	σ_s MPa	δ (%)		A_{kv} (J)	
						纵向	横向	纵向	横向
						不小于		不小于	
1	A106 B	ASTM A106	—	≥ 415	240	22	12	—	—
2	A106 C	ASTM A106	—	≥ 485	275	20	12	—	—
3	St35.8 ^a	DIN 17175	≤ 16	360~480	235	25	23	48	34
			$> 16 \sim 40$		225				
			$> 40 \sim 60$		215				
4	St45.8 ^a	DIN 17175	≤ 16	410~530	255	21	19	41	27
			$> 16 \sim 40$		245				
			$> 40 \sim 60$		235				
5	P1	ASTM A335	—	≥ 380	205	22	14	—	—
6	P5	ASTM A335	—	≥ 415	205	22	14	—	—
7	P11	ASTM A335	—	≥ 415	205	22	14	—	—
8	P12	ASTM A335	—	≥ 415	220	22	14	—	—
9	P22	ASTM A335	—	≥ 415	205	22	14	—	—
10	P91	ASTM A335	—	≥ 585	415	20	13	—	—
11	15Mo3 ^a	DIN 17175	≤ 40	450~600	270	22	20	48	34
			$> 40 \sim 60$		260				
12	13CrMo44 ^a	DIN 17175	≤ 40	440~590	290	22	20	48	34
			$> 40 \sim 60$		280				
13	10CrMo910 ^a	DIN 17175	≤ 40	450~600	280	20	18	48	34
			$> 40 \sim 60$		270				
14	14MoV63 ^a	DIN 17175	≤ 40	460~610	320	20	18	55	41
			$> 40 \sim 60$		310				
15	X20CrMoV121 ^b	DIN 17175	≤ 60	690~840	490	17	14	48	34
16	15NiCuMoNb5 ^c	VdTÜV 377/2	—	610~780	440	19	17	51	35
17	TP304	ASTM A312	—	≥ 515	205	35	25	—	—
18	TP304H	ASTM A312	—	≥ 515	205	35	25	—	—
19	TP304L	ASTM A312	—	≥ 485	170	35	25	—	—
20	TP316	ASTM A312	—	≥ 515	205	35	25	—	—
21	TP316H	ASTM A312	—	≥ 515	205	35	25	—	—
22	TP316L	ASTM A312	—	≥ 485	170	35	25	—	—
23	TP321	ASTM A312	≤ 9.5	≥ 515	205	35	25	—	—
			> 9.5	≥ 485	170				
注：拉伸试样标距长度为 2 in 或 50mm。									
a 对于 St35.8、St45.8、15Mo3 和 14MoV63 钢管，当壁厚 $S > 60\text{mm}$ 时，其 σ_s 由协议确定；对于 13CrMo44 和 10CrMo910 钢管，当壁厚 $60\text{mm} < S \leq 80\text{mm}$ 时，其 σ_s 的最小值为 270MPa 和 260MPa；对于 X20CrMoV121 钢管，当壁厚 $60\text{mm} < S \leq 80\text{mm}$ 时，其 σ_s 的最小值为 490MPa。对于 15Mo3 和 13CrMo44 钢管，当壁厚 $S \leq 10\text{mm}$ 时，其 σ_s 的最小值可提高 15MPa。									
b 对于 X20CrMoV121 热挤压钢管，横向试样 A_{kv} 最小值可降低至 27J。									
c 对于 15NiCuMoNb5 钢管，单个冲击试样的 A_{kv} 值：纵向不小于 36J，横向不小于 25J。									

B.3 钢管热处理制度

B.3.1 电站弯管常用钢管的热处理制度见表 B.5。

表 B.5 电站弯管常用钢管的热处理制度

序号	钢号	标准号	热处理制度
1	10	GB 3087	930℃正火。热轧状态可代替正火
2	20	GB 3087	910℃正火。热轧状态可代替正火
3	20G	GB 5310	900℃~930℃正火。热轧管的终轧温度≥900℃时，可代替正火
4	20MnG 25MnG	GB 5310	900℃~930℃正火。热轧管的终轧温度≥900℃时，可代替正火
5	15MoG 20MoG	GB 5310	910℃~940℃正火
6	12CrMoG	GB 5310	900℃~930℃正火。670℃~720℃回火，保温时间：周期式炉大于 2h，连续炉大于 1h
7	15CrMoG	GB 5310	930℃~960℃正火。680℃~720℃回火，保温时间：周期式炉大于 2h，连续炉大于 1h
8	12Cr2MoG	GB 5310	900℃~960℃正火，700℃~750℃回火。 也可进行加热至 900℃~960℃，炉冷至 700℃保温 1h 以上，空冷
9	12Cr1MoVG	GB 5310	980℃~1020℃正火，保温时间按壁厚每毫米 1min 计，但不少于 20min；720℃~760℃回火，保温时间，周期式炉大于 2h，连续炉大于 1h，当壁厚>30mm~40mm 时宜进行强制冷却；当壁厚>40mm，应进行调质处理，淬火温度 950℃~990℃，回火温度 720℃~760℃，保温时间：周期式炉大于 2h
10	12Cr2MoWVTiB	GB 5310	1000℃~1035℃正火，保温时间按壁厚每毫米 1.5min 计，但不少于 20min；760℃~790℃回火，保温时间：周期式炉大于 2h，连续炉大于 1h
11	12Cr3MoVSiTiB	GB 5310	1040℃~1090℃正火，保温时间按壁厚每毫米 1.5min 计，但不少于 20min；720℃~770℃回火，保温时间：周期式炉大于 2h，连续炉大于 1h
12	10Cr9Mo1VNb	GB 5310	1040℃~1060℃正火，保温时间按壁厚每毫米 1.5min 计，但不少于 20min；770℃~790℃回火，保温时间：周期式炉大于 2h，连续炉大于 1h
13	1Cr18Ni9	GB 5310	固溶处理：固溶温度≥1040℃
14	1Cr19Ni11Nb	GB 5310	固溶处理：热轧（挤、扩）管固溶温度≥1050℃；冷拔（轧）管固溶温度≥1095℃
15	15NiCuMoNb5	VdTÜV 377/2	900℃~980℃正火（空冷）；580℃~660℃回火，回火保温时间最少 30min
16	St35.8	DIN 17175	900℃~930℃正火
17	St45.8	DIN 17175	870℃~900℃正火
18	15Mo3	DIN 17175	910℃~940℃正火
19	13CrMo44	DIN 17175	910℃~940℃正火；660℃~730℃回火
20	14MoV63	DIN 17175	950℃~980℃正火；690℃~730℃回火
21	10CrMo910	DIN 17175	900℃~960℃正火；700℃~750℃回火
22	X20CrMoV121	DIN 17175	1020℃~1070℃正火；730℃~780℃回火
注 1：当热轧 15MoG、20MoG、12CrMoG、15CrMoG、12Cr2MoG、12Cr1MoVG 钢管的终轧温度符合表中规定的正火温度时，可以热轧代替正火。			
注 2：热弯弯管也可按评定合格的弯管热处理工艺进行热处理。			

附录 C
(资料性附录)

弯管弯制前的直管壁厚要求

- C.1 为补偿弯制过程中弯管外弧侧受拉引起的减薄量，弯制弯管用的直管壁厚应符合本附录的规定。
C.2 对于感应加热弯管，弯制前的直管壁厚应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 感应加热弯管弯制前的直管壁厚要求

弯曲半径 R	弯制前要求的直管壁厚
$R \geq 6OD$	$\geq 1.06 S_m$
$R = 5OD$	$\geq 1.08 S_m$
$R = 4OD$	$\geq 1.14 S_m$
$R = 3OD$	$\geq 1.25 S_m$
注 1: S_m 为管系中直管最小壁厚，按 DL/T 5054—1996 中 3.2 条式 (3.2.1-1) 或式 (3.2.1-2) 计算确定。 注 2: 弯曲半径为中间值的弯管，弯制前要求的直管壁厚采用内插法计算。	

- C.3 对于冷弯弯管，弯制前的直管壁厚应符合表 C.2 的规定。

表 C.2 冷弯弯管弯制前的直管壁厚要求

弯曲半径 R	弯制前要求的直管壁厚
$R \geq 6OD$	$\geq 1.09 S_m$
$R = 5OD$	$\geq 1.14 S_m$
$R = 4OD$	$\geq 1.20 S_m$
$R = 3OD$	$\geq 1.28 S_m$
注 1: S_m 为管系中直管最小壁厚，按 DL/T 5054—1996 中 3.2 条式 (3.2.1-1) 或式 (3.2.1-2) 计算确定。 注 2: 弯曲半径为中间值的弯管，弯制前要求的直管壁厚采用内插法计算。	

附录 D
(规范性附录)
感应加热弯管工艺评定

D.1 评定的目的

用评定的弯管验证所采用的弯管工艺是否符合弯管的质量标准。

D.2 评定的有效范围

D.2.1 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。

D.2.2 同类同级的钢管材料（包括轧制、拉拔或锻造钢管，见表 D.1）视作等效。同类钢管材料中，高级别材料的评定可覆盖低级别材料。

表 D.1 常用钢管材料分类分级表

类	级	牌 号
I	1	10, 20, 20R, 20G, 20MnG, A53B, A106B, St45.8, STPT38, STPT42
	2	16Mn, A106C, STPT49, 15MnV, 25MnG
II	1	A335P1, 15MoG, 15Mo3, 16Mo, 20MoG, STPA12
	2	A335P2, 12CrMoG, 15CrMoG
III	1	15NiCuMoNb5
IV	1	A335P11, A335P12, STPA22, STPA23, 13CrMo44
	2	12Cr1MoVG, 15Cr1Mo1V
V	1	A335P22, STPA24, 10CrMo910, 12Cr2MoG
	2	A335P5, STPA25, 1Cr5Mo
	3	A335P9, STPA26, A335P91, 10Cr9Mo1VNb, X10CrMoVNb91, STPA28
VI	1	0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti, A312TP304, A312TP304L, A312TP316, A312TP316L, A312TP321

D.2.3 未列入表 D.1 的钢号，其评定规则如下：

- a) 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，或另分类、级；未列入国家标准、行业标准的钢号，应分别进行工艺评定；
- b) 国外钢管材料首次使用时应按每个钢号（按该国家标准规定命名）进行工艺评定。当已掌握该钢号热弯曲性能，其化学成分、力学性能与表 D.1 中某钢号相当，且某钢号已进行过工艺评定时，该进口钢管材料可免做弯管工艺评定。

D.2.4 工艺评定的几何准则如下：

- a) 较小 R/OD 的弯管的评定结果适用于较大 R/OD 的弯管；
- b) 评定的壁厚有效范围为 $0.5S \sim 2S$ ；
- c) 下列范围的钢管外径视为等效：
 - 1) $OD \leq 50\text{mm}$ ；
 - 2) $50\text{mm} < OD \leq 150\text{mm}$ ；
 - 3) $OD > 150\text{mm}$ 。

注：当需要对设备负荷进行验证时，应选用最大规格的钢管进行评定。

D.2.5 改变弯制工艺参数（感应加热温度、冷却方式、变形速度）时，需重新评定。

D.2.6 改变热处理类型（如正火、回火或正火加回火等）时，需重新评定。

D.3 试验内容

D.3.1 弯曲角度

弯曲角度应大于或等于 30°，并能满足试验取样所需要的长度。

D.3.2 检验与试验项目

D.3.2.1 检验与试验项目、要求和试验方法见表 D.2。

表 D.2 检验与试验项目

序号	检验与试验项目	要求	试样数量	取样部位	检验与试验方法
1	外观	4.6.1	—	—	5.2
2	无损检测	4.6.1	—	—	5.3
3	晶间裂纹	4.6.2	1 个	弯管受拉侧	D.4.3
4	壁厚	4.6.3	—	—	5.4
5	圆度	4.6.4	—	—	5.5
6	弯曲角度	4.6.5	—	—	5.6
7	弯曲半径	4.6.6	—	—	5.7
8	波浪率	4.6.7	—	—	5.8
9	平面度	4.6.8	—	—	5.9
10	硬度 ^a	4.6.11	—	—	见脚注 a
11	金相分析	D.4.3	1 个 ^b	直管段	GB/T 13298
			1 个 ^b	弯管受拉侧	
12	室温拉伸试验	D.4.2	1 个	直管段 (GB/T 2975)	GB/T 228
			各 1 个 ^c	D.4.5 (GB/T 2975)	
13	室温冲击试验	D.4.2	1 组 ^c	直管段 (GB/T 2975)	GB/T 229
			各 1 组 ^{c, e}	D.4.5 (GB/T 2975)	
14	高温拉伸试验 ^d	见脚注 d	1 个	直管段	GB/T 4338
			1 个	弯管受拉侧	
注：外径 $OD\geq 219\text{mm}$ 且壁厚 $S\geq 25\text{mm}$ 的钢管，可做横向力学性能试验代替纵向力学性能试验。					
a 按照 GB/T 231.1 或 GB/T 17394 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三点，且其中一点位于弯管受拉侧。					
b 分别对弯管的直管段和弯管的受拉侧作放大倍数为 400 倍的微观金相分析： ——取纵向试样，如果壁厚 $t\geq 10\text{mm}$ 且外径 $OD>100\text{mm}$ ； ——取横向试样，如果壁厚 $t\geq 10\text{mm}$ 且外径 $OD>250\text{mm}$ 。					
c 一组冲击试样包括 3 个试样。					
d 如果工作温度高于 450°C ，应作系统设计温度下的拉伸试验。					
e 见 D.4.5。					

D.3.2.2 在成形前，应对试件的受拉区进行目视检查和表面无损检测。

D.4 技术要求

D.4.1 弯管的成品质量要求应符合本标准 4.6 条的规定。

D.4.2 机械性能试验值应符合相应钢管技术标准要求。

D.4.3 金相组织、晶粒度应符合相应钢管技术标准要求，在 400 倍金相照片中，不应发现晶间裂纹。

D.4.4 不允许对弯管进行焊接修复或返修。

D.4.5 试验用试样的取样位置：

- 弯管受拉侧的起弯部；
- 弯管受拉侧的中部；
- 弯管受拉侧的接火点（需要时）；
- 弯管受拉侧的终弯部。

D.5 文件

弯管工艺评定文件包括：

- a) 原材料质量保证书；
 - b) 硬度检验报告；
 - c) 室温拉伸试验报告；
 - d) 设计工作温度下的拉伸试验报告；
 - e) 夏比冲击试验报告；
 - f) 金相分析报告（包括金相照片）；
 - g) 外观检查及无损检测（MT 或 PT）报告；
 - h) 尺寸检验报告及弯管的结构尺寸图；
 - i) 弯管工艺卡、热处理工艺卡及弯管、热处理工艺记录；
 - j) 取样位置示意图和各试样标记说明。
-

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
电 站 弯 管
DL/T 515 — 2004

*

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
航远印刷厂印刷

*

2005年1月第一版 2005年1月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.5印张 39千字
印数 0001—3000册

*