

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20008. 34—2018

压水堆核电厂用其它材料 第 34 部分：蒸汽发生器用 NS3105 合金 U 形管

**Other material for pressurized water reactor nuclear power plants
—Part 34: Alloy NS3105 U-bending tube used for steam generator**

2018 - 12 - 10 发布

2019 - 04 - 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 制造	1
4 化学成分	5
5 力学性能和工艺性能	6
6 晶间腐蚀试验	7
7 金相检验	7
8 无损检测	8
9 缺陷的清除与修整	9
10 水压试验	10
11 尺寸和外形检查	11
12 标志、清洁、包装和运输	11
13 质量证明文件	12
附录 A（规范性附录） 预制批	13
附录 B（规范性附录） 超声检测	14
附录 C（规范性附录） 涡流检测	17

前 言

NB/T 20008《压水堆核电厂用其他材料》与NB/T 20005《压水堆核电厂用碳钢和低合金钢》、NB/T 20006《压水堆核电厂用合金钢》、NB/T 20007《压水堆核电厂用不锈钢》和NB/T 20009《压水堆核电厂用焊接材料》共同构成了压水堆核电厂核岛机械设备用材料系列标准。

NB/T 20008《压水堆核电厂用其他材料》分为若干部分，本部分为NB/T 20008的第34部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本部分由核工业标准化研究所归口。

本部分由上海核工程研究设计院有限公司负责起草，宝银特种钢管有限公司、中国核动力研究设计院、中广核工程有限公司、上海电气核电设备有限公司、浙江久立特材科技股份有限公司和国核电站运行服务技术有限公司参加起草。

本部分主要起草人：王永东、李辉、张丽艳、杨义忠、张立红、何戈宁、兰银辉、夏炎鑫、蔡志刚、邓黎、师绍猛。

压水堆核电厂用其它材料

第 34 部分：蒸汽发生器用 NS3105 合金 U 形传热管

1 范围

本部分规定了压水堆核电厂蒸汽发生器用NS3105合金无缝U形传热管的制造、检验和验收等要求。

本部分适用于压水堆核电厂蒸汽发生器用NS3105合金无缝U形传热管(传热管外径16 mm~24 mm,壁厚0.9 mm~2.0 mm)。

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 223 钢铁及合金化学分析方法

GB/T 228.1—2010 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法(ISO 6892-1:2009, MOD)

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分:高温试验方法(GB/T 228.2—2015, ISO 6892-2:2011, MOD)

GB/T 241 金属管 液压试验方法

GB/T 242 金属管 扩口试验方法(GB/T 242—2007, ISO 8493:1998, IDT)

GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 10561—2005 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法(ISO 4967:1998, IDT)

GB/T 15260—2016 镍基合金晶间腐蚀试验方法(ISO 9400:1990, IDT)

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 20066—2006, ISO 14284:1996, IDT)

GB/T 20123 钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)(GB/T 20123—2006, ISO 15350:2000, IDT)

GB/T 20124 钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法(常规方法)(GB/T 20124—2006, ISO 15351:1999, IDT)

NB/T 20003.7—2010 核电厂核岛机械设备无损检测 第7部分:目视检测

NB/T 20328.2—2015 核电厂核岛机械设备无损检测另一规范 第2部分 超声检测

NB/T 20328.6—2015 核电厂核岛机械设备无损检测另一规范 第6部分 涡流检测

3 制造

3.1 预制批

在批量生产之前,传热管制造厂应按附录A的要求进行预制批的制造和评定。

3.2 制造文件

传热管制造前，制造厂应编制一份说明冶炼、成形、热处理、弯管、无损检测等操作的文件。

3.3 冶炼

合金应采用电炉加炉外精炼（氩氧脱碳法AOD或真空吹氧脱碳法VOD）加电渣重熔法ESR冶炼。在达到相同或更好冶金质量，且得到采购方批准的前提下，也可采用其它工艺进行冶炼。

3.4 锻造（或热轧）

3.4.1 锻造（或热轧）

合金锭头尾应有足够的切除量，以确保无缩孔或严重偏析等缺陷。

锻造（或热轧）棒材的总变形比应不小于3.0。

3.4.2 热挤压

母管应由锻造（或热轧）棒材热挤压成形。

3.4.3 成形

传热管由管坯经一系列的冷加工（冷轧和/或冷拔）至最终尺寸。

最终冷加工后，管子通常需要进行固溶处理、矫直、带式修磨、特殊热处理、冷弯、去应力处理（如要求）等操作。

3.5 交货状态和热处理

3.5.1 交货状态

传热管应以固溶处理加特殊热处理状态交货。小弯曲半径的传热管应在弯管后进行去应力热处理。

3.5.2 中间退火处理

传热管中间冷轧后，下一道冷加工前，应进行中间退火处理。

传热管制造厂应编制中间退火处理程序。

3.5.3 固溶处理

传热管加工至最终尺寸后，应进行固溶处理。

传热管制造厂应编制固溶处理程序。此程序应包括所用的设备，工艺参数及控制措施，并应至少包括以下内容：

- a) 热处理炉的炉温分布、校验周期和方法；
- b) 管子保温温度、保温时间，加热速率和冷却速率；
- c) 管子金属温度（以下简称管子温度）的测量方法；
- d) 装载量和送料速度；
- e) 管子内外表面的气氛控制；
- f) 氢气露点及其测量方法和测量位置；
- g) 氢气流量；
- h) 记录保存。

固溶处理应满足下列要求：

- 应在露点不超过-40℃的氢气保护气氛炉内进行，炉内气氛不应造成管子内外表面渗碳、脱碳或渗氮；
- 最低固溶温度应不低于 1085℃，在最低固溶温度以上应至少保温 2 min，且从最低保温温度到 500℃的冷却时间应小于 5 min；
- 管子温度应通过管子中放置的热电偶测量；
- 保温期间，炉内管子温度最高的管子和管子温度最低的管子的温度峰值之差应不超过 20℃；
- 每批管子温度应至少记录一次；
- 应连续记录多个位置的炉温；
- 不准许进行重新固溶处理。

3.5.4 特殊热处理

传热管在固溶处理、矫直并带式修磨以后，应进行特殊热处理。

传热管制造厂应编制特殊热处理程序。此程序应包括所用的设备，工艺参数和控制措施，并应至少包括以下内容：

- a) 特殊热处理前的清洁控制；
- b) 固定工装；
- c) 仪表；
- d) 管子保温温度、保温时间，加热速率和冷却速率；
- e) 加热方法；
- f) 保护气氛控制；
- g) 炉子和仪表的标定；
- h) 炉内装载量；
- i) 记录保存。

特殊热处理应满足下述要求：

- 特殊热处理应在真空或保护气氛中进行，保护气氛应为干燥且至少 99.95%化学纯的氢气和/或氮气，炉内气氛不应造成管子表面渗碳、脱碳或渗氮；
- 保温温度为 715℃～740℃，保温时间不小于 10 h；
- 加热过程中，升温速度最慢的管子从 550℃升至 715℃所用的时间不应超过 8 h；
- 冷却过程中，在 300℃以上时，冷却速度最慢的管子的冷却速度应不小于 30℃/h；
- 为避免出现超标的变色，管子应在真空或保护气氛中充分冷却；
- 放置热电偶的管子应至少放置在炉内最热和最冷的区域；
- 特殊热处理累积保温时间，包括重新特殊热处理，并加上去应力热处理的时间，应不超过 30 h；
- 重新特殊热处理应不超过一次或对直管的消除应力热处理应不超过一次；
- 未经采购方批准，不准许进行重新特殊热处理。

3.5.5 去应力热处理

3.5.5.1 采购方规定的小弯曲半径的传热管，在弯曲后应进行去应力热处理。

3.5.5.2 除了保温时间为至少 2 h 外，去应力热处理的其它要求（包括应编制去应力热处理程序）与 3.5.4 中特殊热处理要求相同。

3.5.5.3 未经采购方批准，不准许进行重新去应力热处理。

3.6 矫直

管子在固溶处理后，应进行矫直。

传热管制造厂应编制矫直程序（包括重新矫直）。此程序应包括控制措施，验收标准，以及重新矫直的原因和次数。

矫直应满足下述要求：

- 矫直后传热管的直线度应满足采购图样规定的最低直线度要求；
- 传热管因矫直而增加的室温规定塑性延伸强度不应超过 90 MPa；
- 设定初始矫直参数和中途调整矫直参数后，应通过拉伸试验验证前三根矫直的管子在矫直前、后室温规定塑性延伸强度的变化；
- 每批传热管应至少进行一次室温规定塑性延伸强度编号的验证试验；
- 拉伸试验结果和重新矫直记录（如果有）应记入质量证明文件。

3.7 带式修磨

管子在矫直以后，每根管子外表面均应进行带式修磨。

传热管制造厂应编制带式修磨程序。

带式修磨应满足下述要求：

- 所使用的砂带此前不应用于非 NS3105 合金材料；
- 管子外表面应均匀修磨，管子壁厚去除量应不小于 0.013 mm。

3.8 弯管

特殊热处理后，检验合格的直管应按订货图样的要求在水平面内逐根弯制成180°的U形管。

传热管制造厂应编制包含检验方法的弯管程序。

3.9 污染物控制

3.9.1 传热管制造过程中，应进行污染物控制。

3.9.2 传热管制造厂应编制污染物控制程序。

3.9.3 污染物控制应满足下述要求：

- a) 应保证能够控制来自设备和贮存格架等的污染物；
- b) 应包括传热管可能接触到的所有非产品材料的清单；
- c) 非产品材料应以名称或牌号，以及使用阶段进行标识；
- d) 非产品材料应满足下述一项或更多要求：
 - 通过化学成分分析证明非产品材料中有害物质含量符合表 1 的规定；
 - 非产品材料不会转移到传热管表面；
 - 转移到传热管表面的非产品材料在其使用后、进行热处理前将被完全清除；
 - 采购方批准使用。
- e) 有害物质含量不符合表 1 规定的非产品材料不得与管子接触；如采购方批准使用的非产品材料中有害物质含量不符合表 1 的规定，应按照清洁程序中擦拭试验法进行控制；
- f) 不得让红铅石墨矿物油、二硫化钼润滑剂及金属铅、水银、镉和其它低熔点金属及其合金接触管子；
- g) 最终清洁和水压试验用水应符合表 2 的规定，并采用电导计实时监控，且每周至少检查一次；
- h) 热处理时，油类燃料中硫的含量不应超过 0.5 %（质量百分数）；气体类燃料中硫的含量不应超过 0.68 g/m³；
- i) 用于包装的干燥剂，包括袋子材料，硫含量应不超过 0.25 %（质量百分数）。

表1 有害物质

有害物质	最大容许含量（质量百分数）（%）
氯离子	200×10^{-6}
氟离子	200×10^{-6}
硫	200×10^{-6}
磷	250×10^{-6}
铅	1×10^{-6}
汞	1×10^{-6}
锑、砷、铋、镉、镓、铟、镁、银、锡、锌	每种 200×10^{-6} 合计 500×10^{-6}
铝、铜	合计 250×10^{-6}

表2 水质要求

项目	规定值（质量百分数）（%）
钠离子	$\leq 0.05 \times 10^{-6}$
氯离子	$\leq 0.05 \times 10^{-6}$
氟离子	$\leq 0.05 \times 10^{-6}$
硫酸根离子	$\leq 0.05 \times 10^{-6}$
电导率	$\leq 2.0 \mu\text{S}/\text{cm}$
pH 范围	6.0~8.0
总悬浮固体	$\leq 0.10 \times 10^{-6}$
目视透明度	无浑浊，油污和沉积物

4 化学成分

4.1 规定值

合金的化学成分（熔炼分析和成品分析）应符合表3的规定。

表3 化学成分

类别	化学成分（质量百分数）（%）							
	Ni	Cr	Fe	Mn	Si	C ^a	Al	Ti
熔炼分析	≥ 58.0	28.5~31.0	9.0~11.0	≤ 0.50	≤ 0.50	0.015~0.025	≤ 0.40	≤ 0.35
成品分析	≥ 58.0	28.5~31.0	9.0~11.0	≤ 0.50	≤ 0.50	0.015~0.025	≤ 0.40	≤ 0.35
类别	化学成分（质量百分数）（%）							
	N	S	P	Cu	Mo	Co ^b	B	Nb-Ta
熔炼分析	≤ 0.050	≤ 0.003	≤ 0.015	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.016	≤ 0.002	≤ 0.10
成品分析	≤ 0.050	≤ 0.003	≤ 0.015	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.016	≤ 0.002	≤ 0.10
^a 目标值为 0.020 %； ^b 熔炼分析和成品分析中，Co 含量不得超过 0.016%。每台蒸汽发生器的所有管子测得的 Co 含量的加权平均值不应超过 0.014 %。								

4.2 化学成分分析

- 4.2.1 化学成分分析试样的取样和制样方法按本部分和 GB/T 20066 的规定执行，分析方法按 GB/T 223 适用部分、GB/T 20123 和 GB/T 20124 的有关规定执行，仲裁分析应按 GB/T 223 适用部分执行。碳元素的分析应采用 GB/T 20123 中的红外吸收法。
- 4.2.2 制造厂应提供熔炼分析和成品分析的化学成分分析报告。熔炼分析应在每炉浇注合金锭时取样，对于重熔材料应在每个重熔锭端部取样。每批传热管进行一次成品分析，成品分析试样应取自拉伸试样的邻近部位，也可取自试验后的室温拉伸试样的端部。
- 4.2.3 测定碳元素时，应通过全壁厚钻孔制取试样。
- 4.2.4 传热管制造厂应编制化学成分分析程序。

5 力学性能和工艺性能

5.1 规定值

交货状态传热管的拉伸性能应满足表4的规定。

表4 拉伸性能

试验项目	试验温度 ℃	拉伸性能	规定值
拉伸试验	室温	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	276~380
		抗拉强度 R_m (MPa)	≥586
		断后伸长率 $A_{0.5g}$ (%)	≥30
	350	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	≥215
		抗拉强度 R_m (MPa)	≥533
		断后伸长率 A (%)	提供数据

5.2 取样

- 5.2.1 特殊热处理后，应在每批直管中随机抽取一根管子截取试料。
- 5.2.2 试料、试样均应采用机加工方法截取。

5.3 试验

5.3.1 批的定义

在本部分中，同一批是指在24 h或更短的时间周期内进行固溶处理，且数量不超过200根的管子。另外，同一批管子还应满足下述要求：

- a) 同一熔炼炉号；
- b) 采用相同型号的设备 and 同种工艺加工至规定尺寸；
- c) 经历相同的中间轧态退火处理；
- d) 经历相同的固溶处理处理，即相同的炉温、加热速度、炉内气氛和冷却速度，相同的管子装载量（管子数量和通过炉子的布置），所有管子的时间-温度曲线满足 3.5.3 的规定；
- e) 经过相同的特殊热处理操作；
- f) 采用相同的矫直参数且过程中矫直参数无调整。

5.3.2 试验项目和数量

从5.2所述试料上截取如下试样：

- 1个室温拉伸试样；
- 1个高温拉伸试样；
- 晶间腐蚀试验试样（如要求）；

应在每根特殊热处理状态的管子一端取样进行扩口试验。

5.3.3 试验方法

5.3.3.1 拉伸试验

传热管制造厂应编制拉伸试验程序。

拉伸试验应满足下述要求：

- 拉伸试样应采用 GB/T 228.1—2010 中 S8 试样；
- 室温拉伸试验应按 GB/T 228.1—2010 的规定执行；
- 高温拉伸试验应按 GB/T 228.2 的规定执行。

5.3.3.2 扩口试验

传热管制造厂应编制扩口试验程序。

扩口试验应满足下述要求：

- 扩口试验应按 GB/T 242 的规定执行；
- 进行扩口试验的顶芯角度应为 60°，试样外径扩大至 30%；
- 扩口后的试样应无肉眼可见的裂纹、裂缝或其它有害缺陷。

5.4 复试

如果拉伸试验的结果不符合规定要求，允许在拉伸不合格试样的邻近部位截取双倍拉伸试样进行试验，仅当所有的复试试验结果均满足规定要求时，可予以验收。

6 晶间腐蚀试验

当采购合同规定时，应在5.2所述的试料上截取试样进行晶间腐蚀试验。

传热管制造厂应编制一份描述晶间腐蚀试验的书面程序。

晶间腐蚀试验按GB/T 15260—2016中方法D进行，试样不需进行敏化，按如下公式计算的试样腐蚀速率（平均值）应小于0.083 g/(m²·h)。

腐蚀速率计算公式如下：

$$\text{腐蚀速率} = \frac{W_{\text{前}} - W_{\text{后}}}{S \times t} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $W_{\text{前}}$ ——试验前试样重量的数值，单位为克（g）；
- $W_{\text{后}}$ ——试验后试样重量的数值，单位为克（g）；
- S ——试样总表面积的数值，单位为平方米（m²）；
- T ——试验时间的数值，单位为小时（h）。

7 金相检验

7.1 试样

除非金属夹杂物外,金相检验试样应在5.2所述的管子上截取。

7.2 非金属夹杂物

本部分中3.4.1所述棒材应按GB/T 10561—2005方法A(最恶劣视场法)进行非金属夹杂物检测。

传热管制造厂应编制非金属夹杂物检验程序。

应在棒材相当于每个合金锭头部和尾部的位置分别截取试料,并分别在棒材1/2半径和边缘位置取样检测,试验结果应符合如下要求:

- A类:粗系小于或等于0.5级,细系小于或等于1.0级;
- B类:粗系小于或等于1.0级,细系小于或等于3.0级;
- C类:粗系、细系分别小于或等于0.5级;
- D类:粗系小于或等于1.0级,细系小于或等于1.5级。

还应按照检测GB/T 10561—2005中附录A的ISO评级图中的B类和D类评级图对上述棒材中的碳氮化钛进行评定,评定结果应符合下述要求:

- B类:粗系、细系分别小于或等于3.0级;
- D类:粗系小于或等于3.0级,细系小于或等于4.0级。

7.3 晶粒度

传热管纵剖面按GB/T 6394评定的晶粒度应为5级或更细,同一台蒸汽发生器传热管管束中不同批次的晶粒度级差应不超过2级。

7.4 显微组织

传热管制造厂应编制显微组织检验程序。

显微组织检验应满足下述要求:

- 应选用合适的蚀刻剂(推荐溴甲醇或甘油-热草酸)蚀刻传热管纵剖面制备试样,试样应包括近内表面区域,近外表面区域和二分之一壁厚区域;
- 应使用扫描电镜进行显微组织观察;
- 检验程序中应提供一套描述显微组织验收标准的照片;
- 显微组织上,晶界上的碳化物应是连续或近连续析出,晶内的碳化物应是少量析出;
- 500倍放大率的显微照片(或相当质量的复制品)应得到采购方批准,并列入质量证明文件。

7.5 浸蚀试验

应在5.2所述的试料上截取1个试样进行浸蚀试验。

传热管制造厂应编制一份描述浸蚀试验的书面程序。

- 应选用合适的蚀刻剂浸蚀试样;
- 应在200倍放大倍率下对试样横截面的近内表面和近外表面做全周检验;
- 200倍放大率的照片(或相当质量的复制品)应得到采购方批准,并计入质量证明文件。

8 无损检测

8.1 目视检测

每根传热管均应按照NB/T 20003.7的要求对全部外表面进行目视检测。

传热管制造厂应编制目视检测程序。目视检测程序中应包括目视检测验收标准和对比试样。

成品管因热处理而造成的变色不应超过采购方批准的目视检测对比试样：

- 应沿整个长度方向检测所有成品管子外表面的变色情况；
- 特殊热处理后传热管内表面的变色情况应通过对扩口试验试样进行目视检测来评定，也可通过对传热管两端内表面进行目视检测来评定；
- 应从每批交货状态的直管中取 1% 的管子进行全内表面检测；
- 去应力热处理后传热管内表面的变色情况应通过对传热管两端内表面进行目视检测来评定，也可通过 U 形管定切时截取下的管端件进行目视检测来评定，如有必要，可将截取下来的管端件纵向剖开进行评定；
- 应从去应力处理的弯管中取 1% 的管子进行直管段全内表面检测。

传热管的表面缺陷，包括划痕，应满足采购方批准的目视检测对比试样。

8.2 超声检测

所有传热管在特殊热处理前或特殊热处理后，应在管子全长上进行超声检测。超声检测的检测方法和验收标准应按采购合同的规定执行。当采购合同未规定时，应按照附录B的要求执行。

传热管制造厂应编制超声检测规程。

8.3 涡流检测

所有传热管在特殊热处理前或特殊热处理后，应采用外穿过式线圈在其全长上进行涡流检测。涡流检测的检测方法和验收标准应按采购合同的规定执行。当采购合同未规定时，应按照附录C的要求执行。

所有传热管完成U形弯曲并进行去应力热处理（如果有）后，应采用轴绕式探头在其全长上进行涡流检测。涡流检测的检测方法和验收标准应按采购合同的规定执行。当采购合同未规定时，应按照附录C的要求执行。

传热管制造厂应编制涡流检测规程。

8.4 直管的背景噪声水平检测

所有传热管在特殊热处理后，应采用内穿过式线圈按照在其全长上进行涡流检测，以检测管子背景噪声水平。直管的背景噪声水平检测的检测方法和验收标准应按采购合同的规定执行。当采购合同未规定时，应按照附录C的要求执行。

传热管制造厂应编制背景噪声水平检测的书面程序。

8.5 对比样管

传热管制造厂应永久标识一套NS3105合金材料的用于弯管后涡流检测的对比样管（按照8.3要求），并提交采购方。

传热管制造厂应按采购方的要求，保存直管涡流检测和超声检测及弯管后涡流检测的对比样管。

9 缺陷的清除与修整

- 9.1 管子不准许焊接或焊接修补。
- 9.2 应对无损检测不合格的管子进行标识。
- 9.3 缺陷清除后应采用最初发现该缺陷的检测方法进行重新检验，以验证缺陷去除情况。
- 9.4 缺陷清除工艺不应在管子表面引入外来物质。

9.5 无损检测后的直管，如需进行重新矫直和/或重新带式修磨，则在重新矫直和/或重新带式修磨后应按本部分的规定重新进行无损检测。

9.6 特殊热处理后的直管，如需进行重新矫直和/或重新带式修磨，则在重新矫直或重新带式修磨后，应进行重新特殊热处理或去应力热处理，并在重新特殊热处理或去应力热处理之前或之后重新进行无损检测。质量证明文件应标识所有进行重新特殊热处理或去应力热处理的传热管。

9.7 如管子的弯曲半径大于要求去应力热处理 U 形管的最大弯曲半径，且传热管无扭折或局部塌陷，则传热管在进行局部直线度手工修整后可不进行去应力热处理。

9.8 如因热处理而导致的表面氧化使变色超过了本部分规定的，可通过以下方法或由采购方批准的其它方法去除：

- a) 直管外表面：
 - 按照 9.6 的要求重新带式修磨；
 - 进行手工抛磨或机械抛磨；
 - 或采用采购方批准的等效工艺。
- b) U 形弯管外表面：
 - 进行手工抛磨；
 - 或采用采购方批准的等效工艺。
- c) 直管和 U 形弯管内表面——由固溶处理或特殊热处理造成的直管内表面氧化物可通过采购方批准的低压喷砂工艺清除：
 - 不得对 U 形管进行喷砂处理；
 - 喷砂用砂应为氧化锆砂，且所用的砂不得用于其它非 NS3105 合金材料；
 - 每批用砂应检验合格，不得含有油、铁、碳钢或其它外来金属颗粒或材料等污染物；
 - 质量证明文件应标识所有经喷砂处理的传热管；
 - 对于有经喷砂处理传热管的批次，清洁后应在该批进行喷砂处理的传热管中随机抽取一根管子，并在其一端截取一个试料，试料应沿轴向剖开，并用体视显微镜在至少 60 倍放大倍率下进行检验，以保证传热管内表面没有镶嵌砂粒。

9.9 在传热管生产过程中，传热管制造厂可按采购方批准的程序对管子外表面上的划痕、毛刺、斑点、局部变色及其它类似的缺陷进行抛磨清除。

9.10 特殊热处理后，未经采购方批准，传热管制造厂不应应对直管进行全长度的抛磨。

9.11 传热管去应力热处理后，局部表面缺陷只允许用砂纸进行手工抛磨去除。

9.12 最终涡流检测以后，未经采购方批准，传热管外表面不得进行任何机械加工（如抛磨或抛光）。

9.13 采用抛磨或打磨方法去除局部表面缺陷时，还应满足以下要求：

- a) 传热管剩余壁厚应不小于订货图样规定的最小壁厚；
- b) 清除缺陷后的凹陷处应为近圆形，并平滑过渡到周围表面，且不得在表面留下可辨别的边缘；
- c) 缺陷清除后，此区域应采用发现该缺陷的方法重新检验，以确保缺陷被完全清除。

9.14 传热管制造厂应编制重新加工和缺陷清除程序。

10 水压试验

所有传热管完成 U 形弯曲并进行去应力热处理（如果有）后，应按 GB/T 241 进行水压试验。

传热管制造厂应编制水压试验程序。

水压试验还应满足下述要求：

- 水压试验用水水质应满足表 2 的要求；
- 试验压力和保压时间应满足采购合同要求；

——管子不应出现渗漏；

——水压试验后，应立即去除传热管上残留的水并进行干燥。

11 尺寸和外形检查

带式修磨后的直管，应采用超声法或采购方批准的其它方法连续测量每根管子的壁厚和外径。

U形管的尺寸、外形及其公差，应满足订货图样的要求。

应从每批成品管中随机抽一根管子检测其内、外表面粗糙度，传热管的表面粗糙度应满足订货图样的要求。

不准许为了达到U形管椭圆度、波浪度或过渡区管子变形等要求而进行重新加工。

传热管制造厂应编制尺寸检验程序。

12 标志、清洁、包装和运输

12.1 标志

每根传热管应采用管套或拴挂标签的方式进行标识。不得在成品管表面直接使用墨水，印章，胶粘标签等进行标识。

标识内容应包括订单号、本部分编号（NB-XXXX）、排号和列号、合金牌号（NS3105）、批号和管号，并且能够保证和质量证明文件中的检测结果相关联。

传热管制造厂应编制标识程序。程序中应包括标识方法，以及用于追溯相关制造，试验和检验记录的系统。

12.2 清洁

在传热管整个制造过程，至包装之前，每根传热管均应进行清洁操作。

传热管制造厂应编制清洁程序，清洁程序中应包括最终清洁后取样方案和检验方法。

固溶处理后不得酸洗。

传热管外表面应采用丙酮（或等效物）浸润过的布擦拭，然后用干净且干燥的白布擦干，直到最后用于擦干的白布满足采购方批准的目视检测对比试样的要求。

传热管内表面应采用干燥无油的空气或氮气将丙酮（或等效物）浸润过的无毛毡塞或布条吹过管孔，然后将干净且干燥的无毛毡塞或布条吹过管孔，直到毡塞或布条满足采购方批准的目视检测对比试样的要求，且应保证使用的塞子和布条已被完全清除。

最终清洁以后，每批成品管应随机抽取一根管子检测其内外表面的氯离子、氟离子、钠离子和硫酸根离子含量，其含量均不应超过 0.1 mg/dm^2 ；成品管外表面二氧化硅的含量不应超过 0.25 mg/dm^2 。

氯离子、氟离子和硫酸根离子推荐采用离子色谱法进行检测；钠离子、二氧化硅的推荐采用电感耦合等离子体原子发射光谱法进行检测。

选用检验的管子在包装之前应重新清洁。

传热管在使用前不应粘有金属屑、污染物、颗粒物或其它异物。

12.3 包装

传热管在最终检查后应进行包装，以保证在储存和运输期间，传热管内外表面得到保护。

传热管进行内表面最终清洁后，应立即用塑料塞塞住管子两端。塑料塞的详细设计应提交采购方批准。

传热管应按照采购方给出的排列顺序排放在包装箱内。

传热管包装箱的设计和制造应满足传热管的尺寸，并可以在运输、吊装和存储中提供机械和环境保护。传热管应包装牢固，并密封好，确保传热管不会移动且传热管之间没有接触。出货包装应清晰地标记合金牌号和订单号、管子数量、尺寸、长度和相应的排号或弯曲半径。应在包装和出货之前检查包装箱，以排除可能损伤管子的隐患。

管子制造厂应编制箱子设计和包装的程序。

12.4 贮存和运输

在贮存和运输过程中，应保持包装箱水平放置。

在海上运输时，应防止传热管受潮。

不得露天贮存包装箱。

13 质量证明文件

在传热管交货的同时应提交材料质量证明文件，其内容至少包括：

- a) 化学成分（熔炼分析和成品分析）分析报告；
- b) 热处理报告（包括重新热处理，如果有）；
- c) 力学性能试验报告（包括复试，如果有）；
- d) 扩口试验报告；
- e) 晶间腐蚀试验报告（如果有）；
- f) 金相检验报告（包括显微组织、晶粒度、非金属夹杂物和浸蚀试验）；
- g) 无损检测报告；
- h) 水压试验报告；
- i) 尺寸和外形检查报告；
- j) 未曾焊补的声明；

以上报告应至少包括：

- 传热管制造厂名称或代号；
- 采购合同号；
- 材料标准编号和牌号；
- 熔炼炉号、热处理炉号、批号和管号；
- 材料识别标记（如果有）；
- 检验机构名称（如适用）；
- 各种试验结果（包括复试，如果有），以及相应的规定值。

附 录 A
(规范性附录)
预制批

A.1 范围

在以下情况应进行预制批的制造和评定：

- 传热管制造厂按照本部分的要求第一次生产蒸汽发生器传热管；
- 传热管制造厂希望改变工业生产中使用的制造文件中的任一主要参数¹。

如果传热管制造厂能够提供已经完成的预制批评定报告，或之前制造相同产品的试验结果，且所有相关的试验项目及其结果均满足本部分的要求，则可向采购方申请取消或修改预制批的制造和评定。

注：主要参数包括冶炼工艺、所用钢锭的类型和重量、钢锭头尾切除率、按先后顺序的制造变形阶段（包括直径和壁厚）、热处理（包括预清洗）、精加工（包括精整、矫直、带式修磨、抛光、弯制、脱脂、清洁等）、验收试验试样的取样位置、取样、选定的无损检测和相关检测程序、标定和选用的阈值等。

A.2 内容

传热管制造厂应至少按照本部分和下述补充要求（制造、检验和试验）预制一批（至少50根）传热管。该批预制管的所有试验项目及其结果均应满足本部分的要求。

应对至少15根管子进行弯曲。并至少包括5根最小弯曲半径，5根为不借助芯棒的最小弯曲半径，以及5根不需去应力热处理的最小弯曲半径。

应按照本部分中9.3和9.4的要求对上述弯管进行检测。

应使用旋转扁平线圈检测最小规定弯曲半径和不借助芯轴的最小弯曲半径传热管的弯管段和至少50 mm的直管段。

所有超过噪声水平的显示都应报告采购方进行评定。

应评定固溶处理炉内温度分布的均匀性，并保证温度均匀性符合本部分的要求。

在预制批状态为a) 固溶处理状态，b) 固溶处理、矫直及带式修磨状态，以及c) 特殊热处理的50根管子中最冷和最热管子的任一端和中部的取样进行如下试验：

- a) 室温拉伸试验；
- b) 检测传热管内、外表面和管壁横截面的显微硬度（提供数据）；
- c) 采用开口环法测传热管残余应力，并用下述公式确定（提供数据）：

$$S = 1.10Et \frac{(D_f - D_o)}{(D_f D_o)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

E ——弹性模量；

t ——壁厚；

D_f ——开口后直径；

D_o ——开口前直径

- d) 进行显微组织和晶粒度的检验，并确定管子不存在加工缺陷，腐蚀开裂和镶嵌砂粒等；
- e) 传热管内、外表面的表面粗糙度。

附 录 B
(规范性附录)
超声检测

B.1 范围

本附录适用于蒸汽发生器用NS3105合金U形传热管的超声检测。

B.2 一般要求

B.2.1 人员资格

超声检测人员应符合NB/T 20328.2的规定。

B.2.2 检测技术

超声检测采用液浸法，扫查方式为自动扫查。

B.2.3 检测文件

检测文件及规程验证应符合NB/T 20328.2的规定。

B.2.4 检测设备

B.2.4.1 检测仪器

应采用超声自动检测装置，装置应至少连接有4个相互独立的通道以便可以同时周向和轴向扫查，且应具备准确标记可能被拒收的缺陷位置和自动报警的功能，并具有自动记录功能。

应使用A型脉冲反射式超声探伤仪，频率范围一般为1 MHz～10 MHz。

仪器应选用合适的脉冲重复频率。

仪器的示波屏高度方向的线性（即垂直线性）应在示波屏满幅度75%范围内，超声探伤仪应提供误差不超过满屏±5%的垂直显示，仪器的水平线性误差不超过1%。

B.2.4.2 探头

检测探头应为水浸式点聚焦或线聚焦探头。

探头频率应不低于5 MHz。探头晶片的最大尺寸或直径一般不超过10 mm。

B.2.4.3 耦合剂

应采用符合表2规定的水作为耦合剂。在校准时和检测时应采用相同的耦合剂。

B.2.5 温度要求

校准用耦合剂与检测用耦合剂的温差应不超过14℃。

B.2.6 表面准备

传热管表面应清洁,无锈皮、污物、油漆和其它可能干扰检测结果的外来物。用于超声检测的表面清洗和制备方法,应不损害传热管表面粗糙度。

B.2.7 检测系统的校准和复核

检测系统的校准和复核应符合NB/T 20328.2中的规定。

B.2.8 数据记录

记录所有的超声检测信号,在相应的记录数据中应能识别已检测的每一根传热管。
所有的检测数据文件应记录在电子记录介质中。

B.3 校准样管

校准样管应有足够的长度,用来模拟受检产品通过检测设备时的操作,并应与被检管子具有相同的公称直径、公称壁厚、材料、表面粗糙度及热处理工艺。

校准样管的内外表面上应制备周向和轴向矩形切槽。切槽的长度不超过12.70 mm,深度不超过0.08mm,宽度不超过0.20 mm。

切槽距离端部的距离以及多个切槽之间的间距应足够以避免产生干扰和造成解释上的困难。
切槽附近的金属毛刺、金属屑应全部去除。

B.4 检测灵敏度

B.4.1 基准灵敏度

利用校准样管上的内、外壁切槽调节基准灵敏度,调节仪器和探头使校准样管上内、外壁切槽的反射回波高度近乎相等,将较小信号调至仪器的80%满屏高,此即为基准灵敏度。

B.4.2 扫查灵敏度

扫查灵敏度应至少在基准灵敏度基础上提高3dB。

B.5 扫查方式

B.5.1 一般要求

应沿着传热管外表面周向正反两个方向和轴向正反两个方向对传热管进行100%斜射波扫查。

B.5.2 扫查速度

被检测的传热管与探头应能相互做转动平移的相对运动,实现探头在传热管外表面上作螺旋扫查路线的运动。转动和平移的速度应保持恒定,误差应在10%以内。

应控制探头与传热管的相对运动速度,以保证螺旋形运动检测区的覆盖率应至少达到20%。

B.5.3 无法检测区域

传热管两个端部无法实施自动检测的区域应补充手动或半自动检测。补充检测区域的长度应为无法自动检测区域长度的1.1倍。若该区域不进行补充检测，应切除该区域管端，切除长度应为补充检测区域的长度，或无法检测区域长度至少加上15 mm。

B.5.4 一致性校准

自动检测设备应进行一致性校准。推荐的校准方法是将校准样管连续三次通过检测设备，灵敏度变化在2 dB以内。

在静态调节检测灵敏度后，应将校准样管以生产检测时的速度穿过检测设备，保证动态检测灵敏度不低于扫查灵敏度。

B.6 验收准则

不允许存在任何回波幅度大于等于校准样管切槽回波幅度的显示。

B.7 检测报告

检测报告应至少包括下列内容：

- a) 制造厂名；
- b) 管子的牌号、规格尺寸、炉批号等；
- c) 检测时机；
- d) 检测规程及其编号、版本；
- e) 仪器名称、型号和编号；
- f) 探头型号，尺寸，频率；
- g) 样管型号、编号；
- h) 检测灵敏度；
- i) 耦合剂；
- j) 表面条件；
- k) 检测区域和检测方向、检测面；
- l) 检测日期；
- m) 检测结果及其示意图；
- n) 检测人员签名、资质及签字日期；
- o) 报告编号。

附 录 C
(规范性附录)
涡流检测

C.1 范围

本附录适用于蒸汽发生器用外径17.48 mm，壁厚1.01 mm的NS3105合金U形传热管的涡流检测。其他规格传热管的涡流检测根据合同双方约定，可按照本附录执行。

C.2 一般要求

C.2.1 人员资格

涡流检测人员应符合NB/T 20328.6的规定。

C.2.2 检测单位

检测单位应按照有关规定取得相应的资质。

检测单位出具的检测文件、记录和报告应真实、准确和完整，并经相应责任人签字认可。检测文件、记录和报告（包括电子文档及其他记录媒介）的保存应按合同双方的约定执行。

C.2.3 检测文件

检测文件及规程验证应符合NB/T 20328.6的规定。

弯管后的涡流检测还应编制检测技术规格书（ETSS）。

ETSS中应至少包含以下内容：

- a) NB/T20328.6 规定的重要变素和非重要变素；
- b) 采集设置，包括涡流仪器驱动电压、增益设置、扫查速度和采样要求等；
- c) 分析设置，包括幅值和相位设定、显示增益、混频、滤波、信号深度评定曲线等；
- d) 信号显示记录要求；
- e) 数据分析流程图。

C.2.4 检测技术

直管涡流检测应采用外穿过式线圈、单频技术。

直管背景噪声水平检测应采用内穿过式线圈。

弯管后的U形管涡流检测应采用内穿过式线圈、多频检测技术，应符合检测技术规格书（ETSS）和检测规程的要求。

C.2.5 检测范围

所有传热管应在其全长度上进行涡流检测。应记录端部检测不到的长度。

C.2.6 表面准备

管子表面应清洁,无涂层,无疏松氧化皮,没有任何干扰涡流环流或影响检测线圈与管子相对运动的表面沉积物和表面不规则状态。

C.3 检测系统

C.3.1 检测设备

涡流仪器、检测线圈、辅助装置、数据采集和分析软件等应符合NB/T 20328.6的规定。

检测线圈还应符合下列要求:

- 对于直管涡流检测,外穿过式线圈的填充系数应不小于0.7。
- 对于直管背景噪声水平检测和U形管涡流检测,内穿过式线圈的填充系数应不小于0.8,且不大于0.88。差分线圈应有1.5 mm宽度和1.5 mm间距,检测线圈应有足够的带宽覆盖,至少覆盖160 kHz~630 kHz。

C.3.2 对比样管

C.3.2.1 一般要求

对比样管应与被检管子具有相同的公称直径、壁厚、材料、表面粗糙度、加工工艺及热处理工艺。

对比样管应有永久标识。所有的人工不连续之间及其与管子端部应保持足够的间距,以使它们的响应信号互不影响。当对比样管因机械、冶金性能或其它损伤而影响其使用时,应更换。

应计量并核实对比样管上人工不连续的尺寸。除另有规定外,人工不连续中心部位的深度应精确到规定深度的 $\pm 20\%$ 之内或 ± 0.08 mm之内,取两者中较小值,其它所有尺寸都应精确到规定值 ± 0.25 mm之内。

C.3.2.2 用于直管涡流检测的对比样管

对比样管上应含有下列4种人工缺陷:

- a) 内外表面均应有长度不大于12.70 mm、深度不大于0.08 mm、宽度不大于1.0 mm的矩形周向槽;
- b) 3个在同一轴向位置沿周向间隔 120° 分布、直径不大于0.78 mm、深度不大于0.78 mm的外壁平底孔;
- c) 1个直径1.57 mm的贯穿单侧管壁的通孔;
- d) 3个直径为0.78 mm贯穿单侧管壁的通孔,沿管子周向 120° 分布,用于调整检测线圈与对比样管的同心度。通孔轴向间距应使其产生的涡流信号互不干扰。

C.3.2.3 用于直管背景噪声水平检测的对比样管

对比样管应包含4个在同一轴向位置沿周向间隔 90° 分布、直径为 $0.66\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$ 贯穿单侧管壁的通孔。

C.3.2.4 用于U形管涡流检测的对比样管

对比样管上应含有下列人工不连续:

- a) 1个直径为1.32 mm的贯穿单侧管壁的通孔,或4个直径为0.66 mm的贯穿单侧管壁并且在同一轴向位置沿周向间隔 90° 分布的通孔;
- b) 1个直径为2.80 mm的外壁平底孔,深度为公称壁厚的60%;
- c) 1个直径为4.80 mm的外壁平底孔,深度为公称壁厚的40%;

- d) 4个直径为4.80 mm的外壁平底孔，在同一轴向位置沿周向间隔90°分布，深度为公称壁厚的20%。

C.4 设备校准和校验

涡流检测设备校准和校验应符合NB/T 20328.6的规定。

C.5 检测

C.5.1 检测频率

检测频率应根据被检管子材质和规格进行选择。

对于直管涡流检测，检测频率应为15 kHz~550 kHz或管子生产厂推荐并得到采购方认可的频率。选择的相位应使检测系统获得尽可能高的信噪比。

对于直管背景噪声水平检测，检测频率应为630 kHz，执行差分模式。

对于U形管涡流检测，检测频率应为630 kHz（检测主频）、320 kHz、160 kHz、35 kHz，执行差分模式和绝对模式。

C.5.2 系统灵敏度

涡流检测系统的灵敏度应足以使对比样管上的通孔响应信号的最小垂直幅度达到整个仪器显示屏高度的50%。

C.5.3 检测速度

应使用机械传动单元，以保证检测速度稳定。

检测速度不应超过能对对比样管人工不连续提供足够的灵敏度的速度值，且速度变化率应在其标称值的±10%范围内。

C.5.4 采样要求

探头沿管子轴向移动，每毫米采样应不低于2次。

C.5.5 数据记录

检测前应录入传热管编号，记录下检测线圈通过传热管时所有检测频率的涡流信号数据，在相应的记录数据中应能识别已检测的每一根管子。

包括校验数据文件在内，所有的检测数据文件应记录在电子记录介质中。

C.5.6 数据分析

U形管涡流检测应执行三道数据分析，即一次数据分析、二次数据分析和决议数据分析。

C.6 验收准则

C.6.1 直管涡流检测

应记录大于等于对比样管上4种人工不连续（内壁槽、外壁槽、平底孔和通孔）中最小幅值的显示，并拒收。

C.6.2 直管背景噪声水平检测

以对比样管上4个直径为0.66 mm的通孔所产生信号的峰-峰值为基准，任意0.5 m长度直管段上信噪比（基准信号幅值与管子噪声幅值之比）的平均值小于20的管子应记录，并拒收。

C.6.3 U形管涡流检测

U形管涡流检测信号显示包括磨痕（MBM，Manufacturing Burnish Mark）、凹痕（DNG，Ding）、鼓包（BLG，Bulge）、皮尔格漂移（PDS，Pilger Drift Signal）、差分自由段显示（DFI，Differential Freespan Indication）、壁厚减薄（TWD，Through Wall Degradation）、不能定量的显示（NQI，Non Quantifiable Indication）、磁导率变化（PVN，Permeability Variation）、噪声（NOS，Noise）和正切信号（TAS，Tangent Signal）。

在630kHz差分通道上将对比样管上4个20%外壁平底孔所产生信号的峰-峰值定义为4V，归一化到其他所有通道。U形管涡流检测记录和验收要求见表C.1。

表C.1 记录和验收准则

显示		记录		拒收	备注
		皮尔格轧制管	拉拔管		
TWD	壁厚减薄	高于噪声	≥0.2 V	全部	—
DFI	差分自由段显示	高于噪声	≥0.2 V	全部	—
NQI	不能定量的显示	高于噪声	≥0.2 V	全部	—
MBM	磨痕	高于噪声	≥0.2 V	≥0.5 V	记录项个数（每台）≤100
PVN	磁导率变化	高于噪声	≥0.2 V	≥1.0 V	记录项个数（每台）≤10
BLG	鼓包	≥0.5 V	≥0.5 V	≥2.0 V	BLG 和 DNG 记录项合计个数（每台）≤500
DNG	凹痕	≥0.5 V	≥0.5 V	≥2.0 V	
PDS	皮尔格漂移	630 kHz 差分通道≥0.5 V		≥1.0 V	不计个数
		160 kHz 绝对通道≥1.0 V		≥2.0 V	
NOS	噪声	直管段整体≥0.4 V		全部	—
		直管段局部≥0.5 V			
		弯管段≥2.0 V			
TAS	正切信号	第1行至18行 ≤15.0 V 第19行至34行 ≤10.0 V 第35行及以上 ≤5.0 V		—	—

表C.1具体内容如下：

- TWD、DFI 和 NQI：在 630 kHz 差分通道上，对于皮尔格轧制管子记录所有高于噪声水平的 TWD、DFI 和 NQI，并拒收；对于拉拔管子记录所有大于等于 0.2 V 的 TWD、DFI 和 NQI，并拒收。
- MBM：在 160 kHz 绝对通道上，对于皮尔格轧制管子记录所有高于噪声水平的 MBM，对于拉拔管子记录所有大于等于 0.2 V 的 MBM。每台蒸汽发生器允许的 MBM 记录项个数应小于等于 100。拒收 MBM 大于等于 0.5 V 的管子。
- PVN：在 630 kHz 差分通道上，对于皮尔格轧制管子记录所有高于噪声水平的 PVN，对于拉拔管子记录所有大于等于 0.2 V 的 PVN。每台蒸汽发生器允许的 PVN 记录项个数应小于等于 10。拒收 PVN 大于等于 1.0 V 的管子。

- d) BLG 和 DNG: 在 630 kHz 差分通道上, 记录所有大于等于 0.5 V 的 DNG 或 BLG。每台蒸汽发生器允许的 BLG 和 DNG 记录项个数合计应小于等于 500。拒收 BLG 或 DNG 大于等于 2.0V 的管子。
- e) PDS: 在 630 kHz 差分通道上, 记录所有大于等于 0.5V 的 PDS, 拒收所有大于等于 1.0V 的 PDS。在 160 kHz 绝对通道上, 记录所有大于等于 1.0V 的 PDS, 拒收所有大于等于 2.0V 的 PDS。
- f) NOS: 在 630 kHz 差分通道上, 对于直管段存在整体噪声的管子, 记录大于等于 0.4V 的 NOS, 并拒收; 对于直管段存在局部噪声的管子, 记录大于等于 0.5V 的 NOS, 并拒收; 对于弯管段, 记录大于等于 2.0V 的 NOS, 并拒收。
- g) TAS: 在 630 kHz 差分通道上, 记录符合表 C.2 的要求。

表C.2 630 kHz 差分通道记录要求

行号	TAS 上限
第 1 行至 18 行	15.0 V
第 19 行至 34 行	10.0 V
第 35 行及以上	5.0 V

存在TAS记录项的管子应使用经生产厂或采购方批准的其它文件进行检查和评定。

若频率630 kHz和320 kHz的差分通道, 以及频率160 kHz的绝对通道存在干扰缺陷识别的干扰信号、漂移信号等, 应拒收。

C.7 检测报告

检测报告应至少包括下列内容:

- a) 生产厂;
- b) 被检管子的标识, 包括牌号、规格尺寸和批号等;
- c) 检测时机;
- d) 检测规程及其编号、版本;
- e) 仪器名称、型号和编号;
- f) 检测线圈的类型、尺寸;
- g) 对比样管的编号;
- h) 检测参数: 频率、速度、采样点等;
- i) 检测结果;
- j) 检测单位名称;
- k) 检测日期;
- l) 检测人员签名、资质及签字日期;
- m) 报告编号。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂用其它材料
第 34 部分:蒸汽发生器用 NS3105 合金
U 形管

NB/T 20008.34—2018

*

核工业标准化研究所出版发行

北京海淀区骚子营 1 号院

邮政编码: 100091

电 话: 010-62863505

原子能出版社印刷

版权专有 不得翻印

*

2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—50

定价 48.00 元