ICS 25.040.40；75.200
CCS G33；E98

T/ZJAA

团 体 标 准

T/ZJAA XXXX —2026

柔性输氢管道自动化生产设计规范

Specification for automated production design of flexible hydrogen transmission pipeline

（征求意见稿）

2026－XX－XX 发布　　2026－XX－XX 实施

浙江省自动化学会　　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 1
4 总则 1
5 自动化生产线总体工艺设计 2
6 各工序自动化工艺专项设计 2
7 在线自动化检测系统设计 3
8 仿真辅助生产设计 3
附　录　A　（规范性）　柔性输氢管道生产仿真设计交付规范 4
附　录　B　（资料性）　生产线关键工艺参数清单及确定方法 5
附　录　C　（资料性）　自动化装备与传感检测相关技术文件 6
参　考　文　献 7

前　言

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

本文件由浙江省自动化学会提出。

本文件由浙江省自动化学会归口。

本文件起草单位：舟山市质量技术监督检测研究院、浙江海洋大学、浙江恒安泰石油工程有限责任公司、浙江省质量科学研究院。

本文件主要起草人：洪炳沅、吴泽南、刘岱卫、施浩磊、陈志伟、王海荣、孟宇、郝华东、陈贤雷、陈舒炯、谢意蔚、沈正千、陆叶、王科伟、贺庭锦、刘进宝、蔡前超、童奇正。

本文件为首次发布。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

柔性输氢管道自动化生产设计规范

1 范围

本文件规定了柔性输氢管道自动化生产线的总体工艺设计、各工序自动化工艺专项设计、在线自动化检测系统设计、仿真辅助生产设计等要求。

本文件适用于公称内径不大于 150 mm、设计温度 -40℃～60℃、公称压力等级不大于 10 MPa、以纯氢为输送介质的柔性输氢管道自动化生产线的设计、建设与改造。氢气纯度及杂质指标按 GB/T 3634.2-2025《氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢》确定。

本文件不适用于金属管、非连续成型软管的生产线。

2 规范性引用文件

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

GB 4962-2008 氢气使用安全技术规程

GB 50058-2014 爆炸危险环境电力装置设计规范

GB/T 34068-2017 物联网总体技术 智能传感器接口规范

GB/T 35319-2017 物联网 系统接口要求

GB/T 3634.2-2025 氢气 第2部分：纯氢、高纯氢和超纯氢

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

柔性输氢管道 flexible hydrogen transmission pipeline

以热塑性塑料内衬层作为氢气阻隔主体，以增强材料承担内压载荷，外覆保护层，可盘卷运输、适用于氢气输送的复合管道。

3.2

自动化生产线 automated production line

按工艺顺序由自动化设备、控制与检测系统组成，能够在无需人工逐件干预的条件下自动完成物料输送、成型、检测、标识与收卷等工序的生产系统。

3.3

氢阻隔层 hydrogen barrier layer

在管材结构中承担氢气渗透阻隔功能的层体。

4 总则

4.1 生产线设计应满足适用产品标准规定的氢阻隔、耐压、抗疲劳等管材性能要求；本文件不另行规定产品性能限值，设计文件应识别并引用适用的产品标准、规格范围及对应检验要求。

4.2 工艺方案应结合柔性复合管材的多层结构及连续成型特点，控制分层、气泡、残余应力等制造风险。采用数值仿真辅助工艺方案设计或验证时，应按第 8 章及附录 A 执行。

4.3 设计文件应明确生产线适用的规格、压力等级、材料与结构、额定速度及换型条件；超出已验证范围时，应重新进行工艺验证。

4.4 生产线应具备安全性和可追溯性，宜具备可靠性和可扩展性；安全功能及触发条件、保护动作、故障响应和验证方法应根据风险分析确定。

5 自动化生产线总体工艺设计

5.1 生产线宜采用分层架构，包括设备、控制、数据平台和应用功能。设计文件应明确各层功能、系统接口、数据采集、时间同步及产品质量追溯方式。

5.2 生产线宜按典型工序流程进行连续化设计，典型工序包括原料输送、混料挤出、纤维缠绕、包覆定型、在线检测、定长裁切、标识、成品性能检测与收卷；工序配置和顺序应结合产品结构、检测方式及设备布置确定，并区分在线检测、整管/整盘检测与批次或型式试验。

5.3 生产线布局及工序衔接应满足连续成型要求，控制牵引、转运和节拍，避免管材拉伸、弯折造成损伤，并保证内衬（阻隔）层、纤维增强层、外保护层连续成型。

5.4 涉及氢气介质试验、置换、排放等工位，应开展风险分析并设置适用的可燃气体检测报警、联锁和通风措施，符合 GB 4962 和 GB 50058 的规定。设计文件应给出安全联锁表，至少包括触发条件、动作、故障响应及复位条件；耐压或气密试验工位应采取人员隔离和防护措施。

5.5 生产线宜配置数据采集与监控功能；需要生产计划、批次和质量追溯管理时，可配置 MES 或具备相应功能的系统。系统接口应符合 GB/T 35319 的规定。

6 各工序自动化工艺专项设计

6.1 原料配比

原料系统应具备输送、计量及按工艺要求的干燥与混配能力；连续增强材料应具备放卷、导向、张力控制及断料/断纤识别能力，实现稳定供料并防止错用。

6.2 挤出成型

挤出工序应对挤出温度、熔体压力、螺杆转速等关键参数实施自动控制。设计文件应明确控制范围、允许偏差、测量与控制能力及超限处置。

氢阻隔层成型应采用适合产品结构的成型工艺，保证其厚度均匀、连续无断点；具备可行检测条件时宜进行在线厚度检测。检测方法及能力应经验证并在设计文件中明确。

6.3 纤维缠绕

缠绕系统应对缠绕角度、张力、铺层和速度等关键参数进行设定与控制，协调缠绕速度与牵引速度；应具备断纤/缺带识别、异常报警及受影响管段追溯功能。

6.4 管材包覆与定型

包覆与定型工序应对影响成型质量的关键参数实施控制；采用冷却定型时，应根据工艺需要控制冷却介质温度、流量或其他相关参数，降低成型残余应力。

6.5 牵引与收卷

收卷参数应满足产品规定的最小弯曲半径及防压伤、防扭转要求，并对牵引速度和收卷张力进行协调控制。

6.6 定长裁切与标识

裁切装置应满足产品设计要求的裁切长度精度。产品应具有唯一、清晰、耐久且不损害产品性能的标识，可采用经验证的喷码、标签或其他方式。

标识宜采用二维码/RFID 电子标签；标识单元及分切后的关联规则应在设计文件中明确。

标识记录应与原材料批次、关键工艺参数、适用的检测结果及放行状态关联，具体数据项和数据粒度应结合产品设计及已配置检测项目确定，并在设计文件中明确。

6.7 成品性能检测

成品性能检测工位应按适用产品标准和产品检验方案配置。设计文件应明确试验条件、判定规则、自动记录、量值溯源及放行关联要求；破坏性抽样或型式试验应与常规生产检测分开。

7 在线自动化检测系统设计

7.1 一般要求

检测设备应按适用要求进行校准、检定或核查，测量结果应具有可追溯性；对缺陷检出能力有要求的，应使用适当试样或方法进行验证。传感设备通信接口宜符合 GB/T 34068 的规定。

7.2 成型尺寸在线检测

宜根据产品质量控制要求配置在线尺寸检测。设计文件应明确检测项目、工位、测量范围与能力及判定依据；无法直接测量的尺寸，可采用经验证的前置或间接测量方法；超差结果应报警并关联受影响管段。

7.3 外观缺陷在线检测

宜采用机器视觉等自动检测方式，按产品质量要求识别表面破损、褶皱、划痕、缺料等缺陷并标记位置。

7.4 内部缺陷在线检测

应根据管材材料、结构、目标缺陷类型及生产线速度选择经验证的无损检测方法，明确最小可检缺陷、覆盖范围及判据；对非粘结结构应区分设计界面与制造分层缺陷。

注：涡流、超声等方法的适用性见附录 C 或经验证的技术资料。

7.5 工艺参数在线监测

关键工艺参数应自动采集，并与批次及管段建立关联。设计文件应规定采集周期、时间同步及异常数据处理规则，工艺数据应能对应到具体管段。

7.6 氢阻隔层连续在线检测

生产线应根据氢阻隔层结构和可检测条件，配置经验证的连续性在线检测方案，并明确检测覆盖范围、目标缺陷、检出能力及判据。检出缺陷的管段应予以标记、隔离并按规定处置，检测结果应与产品标识关联；该检测不能替代产品氢渗透性能验证。

8 仿真辅助生产设计

8.1 基本要求

采用数值仿真时，应说明模型适用范围、材料参数及边界条件来源、验证方法和结果适用性；影响关键结论的模型应通过试验或可信基准进行验证。仿真交付文件应符合附录 A 的规定。

8.2 成型工艺仿真

应根据材料、工艺风险和设计目标确定仿真项目（如挤出流场、温度场、纤维缠绕铺层仿真）并说明选择依据，用于评估和优化相关工艺参数。

8.3 管材结构仿真校核

根据设计目标和风险，可开展必要的结构承载、残余应力或疲劳分析；涉及氢渗透评价时，应采用适用模型并以相应试验验证。不同性能应分别对应模型、指标和误差范围。

8.4 工艺工况仿真验证

必要时可模拟参数波动或工况扰动，评估其对成型质量的影响，辅助确定工艺控制阈值。

附 录 A
（规范性）
柔性输氢管道生产仿真设计交付规范

A.1 仿真交付文件应至少包含：模型及其简化假设、材料参数及来源、边界条件、网格或离散信息（适用时）、计算结果（必要的结果图表或数据）、验证/对比、结论及适用限制。

A.2 仿真模型应说明模型简化假设，边界条件应与生产线实际工况保持一致。

A.3 仿真结果宜与试样试验数据进行比对，验证模型可靠性。

A.4 仿真报告应包含工艺优化建议，作为生产线工艺设计参考。

附 录 B
（资料性）
生产线关键工艺参数清单及确定方法

本附录为资料性示例，参数不构成统一限值。表中项目参数应结合材料、规格和设备能力，通过试验、计算或验证确定；采用仿真时，应说明其适用范围。

工序	关键工艺参数	确定方式
混料挤出	挤出温度（各段）/ ℃	试验（必要时辅以仿真）
混料挤出	熔体压力 / MPa	试验（必要时辅以仿真）
混料挤出	螺杆转速 / r/min	试验（必要时辅以仿真）
纤维缠绕	缠绕张力 / N	试验（必要时辅以仿真）
纤维缠绕	缠绕角度 /（°）	设计计算
包覆定型	冷却介质温度 / ℃	试验
包覆定型	冷却介质流量 /（m³/h）	试验
定长裁切	裁切长度精度 / mm	设备能力

附 录 C
（资料性）
自动化装备与传感检测相关技术文件

本附录列出与正文条款相关的自动化装备与传感检测技术文件及其主要用途，供生产线在线检测系统设计时选用。

文件编号	文件名称	主要用途/关联条款
GB/T 33905.1	智能传感器　第1部分：总则	智能传感器总则、术语、性能评定与检验
GB/T 33905.3	智能传感器　第3部分：术语	
GB/T 33905.4	智能传感器　第4部分：性能评定方法	
GB/T 33905.5	智能传感器　第5部分：检查和例行试验方法	
GB/T 34068	物联网总体技术　智能传感器接口规范	智能传感器接口、特性分类与可靠性设计
GB/T 34069	物联网总体技术　智能传感器特性与分类	
GB/T 34071	物联网总体技术　智能传感器可靠性设计方法与评审	
GB/T 35319	物联网　系统接口要求	系统接口要求

参 考 文 献

[1] GB/T 1.1-2020 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则
[2] GB/T 41004.1-2021 智能管网系统 第1部分：总则