ICS 91.200
CCS P 20

T/CS

团 体 标 准

T/CS 269—2026

工业装置模块化建造技术规范

Technical specification for modular construction of industrial installations

2026-02-27 发布 2026-02-27 实施

中国商品学会 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　材料选用 1
5　所用设备 1
6　模块预制和组装 2
6.1　项目启动与设计 2
6.2　材料与设备采购 3
6.3　钢结构预制 4
6.4　钢结构安装 4
6.5　设备安装 5
6.6　管道预制 5
6.7　管道安装 6
6.8　电气施工 6
6.9　仪表施工 9
6.10　伴热 12
6.11　油漆和防火 13
6.12　管道和设备保温 13
7　机械竣工 14

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。

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。

本文件由江苏利柏特股份有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：江苏利柏特股份有限公司、南通利柏特重工有限公司、上海利柏特工程技术有限公司。

本文件主要起草人：王飞、李亚飞、杨龙龙、姜远声、何仲、谭茹馨、陆文龙。

工业装置模块化建造技术规范

1 范围

本文件规定了工业装置模块化建造过程中的材料选用、所用设备、模块预制和组装、机械竣工。

本文件适用于化工、能源、水处理、矿业等行业的工业装置的模块化建造工作。

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/T 700 碳素结构钢

GB/T 706 热轧型钢

GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓连接副

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 6728 结构用冷弯型钢

GB/T 8162 结构用无缝钢管

GB/T 11263 热轧H型钢和剖分T型钢

GB/T 33814 焊接H型钢

YB/T 4001（所有部分） 钢格栅板及配套件

YB/T 5309 不锈钢热轧等边角钢

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业装置模块化 modularization of industrial equipment

将化工、能源、水处理、矿业等行业所需的工艺设备预制为各类工艺模块，并根据生产需求对模块进行相应选择，将各类模块通过标准接口按照工艺流程相连接，实现单体模块制造到大型装置集成的技术。

4 材料选用

工业装置模块化建造所用材料应符合 GB/T 700、GB/T 706、GB/T 1231、GB/T 1591、GB/T 6728、GB/T 8162、GB/T 11263、GB/T 33814、YB/T 4001（所有部分）、YB/T 5309 等的相关规定。

5 所用设备

工业装置模块化建造所用设备包括。

a) 加工成型设备：
   1) 切割设备：等离子切割机、激光切割机、火焰切割机、锯床等，用于金属的精准切割；
   2) 成型设备：折弯机、卷板机、压力机等，用于板材、型材的弯曲、卷圆等成型加工；
   3) 机加工设备：车床、铣床、镗床等，用于模块零部件的精密加工。
b) 焊接设备：
   1) 焊接设备：手工电弧焊机、埋弧自动焊机、熔化极气体保护焊机、钨极氩弧焊机、螺柱焊机等，用于金属连接；
   2) 焊接辅助设备：焊接变位机、滚轮架、焊剂回收机等，用于提高焊接效率和质量。
c) 起重搬运设备：
   1) 桥式起重机、门式起重机，用于车间内模块组件的吊装、移位；
   2) 叉车、平板车，用于小型零部件或轻型模块的短途搬运；
   3) 履带式起重机、汽车起重机，用于模块室外整体组装或出厂时的吊装；
   4) 液压升降平台，用于模块装配时人员和物料升降。
d) 检测设备：
   1) 无损检测设备：超声波探伤仪、射线探伤机、磁粉探伤仪等，用于检测焊缝内部和外部缺陷；
   2) 尺寸检测设备：全站仪、经纬仪、激光扫描仪等，用于确保模块几何尺寸符合设计精度；
   3) 压力、泄漏检测设备：水压试验机、气密性检测仪等，用于模块的压力和气密性测试。
e) 辅助设备：
   1) 涂装设备：喷砂设备、喷漆房、烘干设备等，用于钢结构和管道表面除锈、防腐涂装；
   2) 脚手架、高空作业平台：为模块高处作业提供支撑与人员操作平台；
   3) 临时供电、供气设备：发电机、空压机、配电柜等，用于保障施工过程中的能源供应；
   4) 除尘、通风设备：工业吸尘器、轴流风机等，用于改善作业环境，保障施工人员健康。
f) 运输与称重设备：
   1) 特种运输车辆：自行式模块运输车（SPMT）、重型拖车等，用于大型模块制作过程的倒运，模块从工厂到码头的长途运输以及码头到安装现场的运输；
   2) 称重设备：称重传感器，用于模块称重。

6 模块预制和组装

6.1 项目启动与设计

6.1.1 需求分析与概念设计

概念性设计是模块设计的起点，确定模块功能定位、整体布局、初步尺寸和重量范围，验证技术可行性和经济性，主要工作包括：

——需求输入与分析：梳理工艺要求、产能指标、场地条件、运输限制、合规标准；

——方案构思与比选：提出 2～3 套模块划分方案，对比各方案的运输难度、安装效率、成本预算；

——初步布局设计：确定模块内设备、结构、管道、电气的大致位置，绘制简化布置图；

——关键参数估算：估算模块尺寸、重量、重心高度，初步核算结构承载能力和运输可行性；

——概念设计输出：编制概念设计报告，组织工艺、结构、运输、安装等专业评审，通过评审后启动基础设计。

6.1.2 基础设计

基础设计是在概念设计基础上的深化，用于固化模块划分方案、关键设备选型、结构体系、接口标准，为详细设计提供依据，主要工作包括：

——详细需求细化：明确工艺参数、设备清单、材料标准、安全环保要求；

——设备选型与定位：确定模块内主要设备的型号、规格、安装位置，核算设备荷载和接口尺寸；

——结构体系设计：确定模块主体结构形式，进行荷载计算，完成结构初步建模；

——专业接口协调：协调工艺、结构、管道、电气、仪表等专业，明确各系统的接口位置、尺寸、连接方式；

——基础设计输出：编制基础设计说明书、设备清单、结构布置图、接口数据表、成本概算，通过评审后启动详细设计。

6.1.3 详细设计

详细设计是设计的最终阶段，提供完整的制造图纸、安装规程、材料清单，确保模块能精准预制、顺利运输和现场拼装，主要工作包括：

——各专业详细建模：利用三维设计软件完成结构、设备、管道、电气、仪表的全专业精细化建模，进行碰撞检查；

——结构详细设计：绘制钢结构加工图、基础连接件图纸，完成结构强度、稳定性详细计算，满足材料标准和施工规范；

——系统详细设计：细化管道走向、管径、阀门位置，绘制电气接线图、仪表安装图，明确保温、防腐、防火的具体要求；

——制造与运输细节设计：确定模块分段/分块方案、吊点位置、运输固定方式，满足 SPMT 运输的尺寸、重量限制；

——详细设计输出：编制全套制造图纸、安装说明书、材料采购清单（BOM）、质量检验标准，通过工厂、施工方联合评审后交付生产。

6.1.4 设计整体评审与审批

组织工艺、结构、管道、电气、仪表、施工和安全专业的技术人员对设计方案进行评审，验证设计和施工的可行性。评审通过后提交客户和第三方审批，确认图纸和技术文件合规性。

6.2 材料与设备采购

6.2.1 采购计划与供应链管理

6.2.1.1 应根据材料清单制定采购计划，区分长周期设备和短周期材料。

6.2.1.2 应选择合格供应商，并要求其提供完整的材料质量证明。

6.2.2 关键设备与材料进厂检验

6.2.2.1 关键设备进场后应检查外观、尺寸、附件完整性，并核对铭牌参数，确保设备质量合格。

6.2.2.2 管道、阀门、钢材等材料进场后，应验证材质证明、规格型号及表面质量，必要时进行硬度测试或金相分析。

6.3 钢结构预制

6.3.1 构件加工制作

钢结构构件加工制作按以下步骤进行。

a) 切割下料：根据深化图尺寸，采用激光切割、等离子切割或锯切，确保钢材切割面平整，板材切割前应先进行矫平处理。
b) 组装：将零件组装成构件，使用夹具固定，严格控制组装偏差，重要构件应采用胎架定位，保障组装精度。
c) 焊接：按工艺方案选择合适的焊接方法，焊前做好预热处理，焊后进行缓冷；焊接完成后及时清理焊渣，检查焊缝外观，重要焊缝应进行无损检测。
d) 矫正：对焊接后的构件进行矫正处理，确保矫正后偏差符合相关规范要求。
e) 制孔：采用数控钻床加工螺栓孔，确保孔径、孔距偏差满足设计要求，不准许采用气割扩孔。

6.3.2 除锈与涂装

6.3.2.1 采用喷砂除锈或抛丸除锈，彻底去除构件表面的氧化皮、铁锈等杂质。

6.3.2.2 除锈处理完成后 4 h 内完成涂装，按设计要求涂底漆和中间漆，面漆通常在模块组装完成后涂刷。

6.3.3 预制构件验收

6.3.3.1 对预制构件的尺寸精度、焊接质量、涂装厚度、螺栓孔位置等关键指标进行全面检查，并出具正式验收报告。

6.3.3.2 合格构件应标注清晰的编号信息，按安装顺序有序堆放，运输过程中采用垫木分隔，确保绑扎牢固，防止构件损坏或变形。

6.4 钢结构安装

6.4.1 组装场地准备

应根据模块的重量和地面承载力，设计并计算模块组装所需的临时支撑，确保组装场地安全可靠。

6.4.2 构件安装准备

构件安装前，核对构件编号、规格，仔细检查运输过程中是否出现变形，对轻微变形构件及时进行矫正，对破损涂层进行补涂处理。

6.4.3 吊装施工

6.4.3.1 根据构件重量和安装高度选择吊机类型，精准确定吊点位置，并设置可靠的临时支撑，保障吊装安全。

6.4.3.2 根据模块的节点设计形式，选择结构的安装顺序，采用门式框架或压型钢板（DECK 板），安装顺序应确保结构能快速形成稳定单元。

6.4.4 连接与固定

6.4.4.1 螺栓应符合规范规定的扭矩值，使用扭矩扳手进行检测；螺栓穿入方向应保持一致。

6.4.4.2 连接焊缝应根据设计要求的焊接标准和工艺进行施工，焊接完成后应进行焊缝探伤检测。

6.4.5 尺寸检查

6.4.5.1 每安装完成一批构件，应使用全站仪、水准仪、线锤等专业工具进行尺寸检查。

6.4.5.2 尺寸检查完成后，通过临时支撑或永久连接方式固定构件，保障钢结构安装精度。

6.5 设备安装

6.5.1 使用行车、平衡梁等将各类设备吊装至框架预定位置，通过临时支撑进行固定。

6.5.2 使用水平仪校准设备水平度，使用激光对中仪调整转动设备的对中偏差，确保设备安装精度符合要求。

6.5.3 通过地脚螺栓或焊接支架将设备与框架连接，对于振动较大的设备，应加装减震垫或弹簧减震器，减少振动影响。

6.6 管道预制

6.6.1 前期准备

6.6.1.1 对设计图进行图纸深化，应明确管线拆分方案，标注预制管段长度、接口类型及安装方向，避免现场拼接冲突。

6.6.1.2 材料进场应核查规格、材质证明，管材表面不应有锈蚀、划痕，管件（弯头、法兰）型号应与设计一致。

6.6.1.3 预制场地应平整，划分材料堆放区、加工区、检测区，配备通风、防火等措施。

6.6.1.4 不锈钢、有色金属管材应避免与碳钢接触，加工工具应单独存放，防止铁离子污染。

6.6.2 切割与坡口加工

6.6.2.1 优先采用机械切割，不锈钢管不准许用氧气-乙炔切割，避免材质损伤。

6.6.2.2 切割端面垂直度偏差应不大于 1 mm/m，不应有毛刺、飞边，应打磨光滑，防止影响焊接质量。

6.6.2.3 坡口角度应按焊接工艺要求加工，坡口表面不应有裂纹、夹层，应对油污杂质进行清理。

6.6.3 焊接施工要点

6.6.3.1 焊接前应编制焊接工艺卡，明确焊接材料、电流、电压、焊接速度等参数。

6.6.3.2 管道组对时，内壁应齐平，错边量应不大于管材壁厚的 10% 且不超过 2 mm，间隙应符合焊接要求。

6.6.3.3 优先采用自动焊接，若手工焊接应控制层间温度，避免未焊透、气孔等缺陷。

6.6.3.4 焊缝外观不应有咬边、夹渣、裂纹，余高应符合规范，焊后应及时清理焊渣。

6.6.4 检测与验收要点

6.6.4.1 无损检测按设计要求执行，对接焊缝优先采用射线检测或超声波检测，检测比例应符合相关规定。

6.6.4.2 压力试验针对预制管段整体进行时，试验介质按管材和介质特性选择，压力值为设计压力的 1.5 倍，稳压 30 min 应无泄漏。

6.6.4.3 外观验收应检查并确认法兰密封面应无损伤，螺纹接口不应有断丝、乱丝。

6.6.4.4 采用符合精度要求的量具测量管段尺寸偏差。

6.6.5 编号、标识与运输要点

6.6.5.1　每个预制管段应标注唯一编号并与安装图纸对应，编号可采用油漆涂刷或悬挂不锈钢牌来标识，以便现场安装时可以快速查找。

6.6.5.2　管段两端应采用盲板或封堵帽密封，防止运输过程中杂质进入管内。

6.6.5.3　运输时应采用专用支架固定，避免管段碰撞、变形，防腐层应包裹保护，不锈钢管应避免阳光暴晒。

6.7　管道安装

6.7.1　安装前准备

6.7.1.1　核对预制管段编号与现场安装图纸，确认管段走向、接口类型完全匹配。

6.7.1.2　清理现场安装区域，保证作业空间充足，支架、支座已按设计位置固定到位。

6.7.1.3　检查预制管段状态，确保密封端无破损、内部无杂物，防腐层、保温层完好。

6.7.2　现场组对与连接

6.7.2.1　管段组对前清理接口表面，去除油污、铁锈、焊渣，确保密封面洁净。

6.7.2.2　法兰连接时，螺栓应对称均匀紧固，垫片型号与介质、压力应匹配，无偏斜、压溃。

6.7.2.3　焊接连接应延续预制时的焊接工艺，露天作业应做好防风、防雨措施，避免焊缝受潮。

6.7.2.4　螺纹连接时，应缠绕生料带或均匀涂抹密封胶，避免涂抹过量导致堵塞管道，紧固力度应适中。

6.7.3　安装精度控制要点

6.7.3.1　管道坡度应符合设计要求，不应有倒坡现象，确保介质流动顺畅。

6.7.3.2　水平管道直线度偏差和垂直管道垂直度偏差应符合设计要求。

6.7.3.3　管道与设备接口采用避免强力组对，避免安装应力传递至设备，影响设备运行。

6.7.4　支架与固定

6.7.4.1　支架间距应按设计要求设定，避免管道悬空过长变形。

6.7.4.2　不锈钢管道支架应加设橡胶垫或不锈钢垫，防止碳钢与不锈钢接触产生腐蚀。

6.7.4.3　伸缩节、补偿器应按设计位置安装，预留足够伸缩量，固定端、导向端应安装正确。

6.7.5　系统试验与清理

6.7.5.1　试压前应进行尾项检查，并跟踪班组落实情况。试压应经过业主的批准，试压需要的材料应提前进行准备。

6.7.5.2　安装完成后进行系统压力试验，试验压力、稳压时间应符合相关规定，不应泄漏。

6.7.5.3　管道冲洗应采用洁净水或压缩空气，去除内部焊渣、杂物，直至排出介质洁净。

6.7.5.4　气体管道应进行气密性试验，确保无泄漏，试验合格后及时置换管道内空气。

6.8　电气施工

6.8.1　施工准备

施工前应进行以下准备工作：

——熟悉施工图纸，做好技术交底与准备工作；

——准备齐全所需工机具和标准仪表；
——调集专业施工人员，明确岗位职责；
——合理规划施工场地，确保电源供应稳定；
——对进场材料、设备进行严格检验，合格后方可使用。

6.8.2 穿线管的安装

6.8.2.1 安装前仔细检查管材质量，确保满足施工质量要求。
6.8.2.2 安装前勘察实际现场位置，规划合理的电线管安装路径，确保安装路径正确、布局合理、美观。
6.8.2.3 电线管需要弯管时，弯曲处不应出现折皱、凹缝和裂缝，弯扁程度应不大于管外径的 10%；明配时，弯曲半径应不小于管子外径的 6 倍。
6.8.2.4 配管时各固定点间距应均匀，安装牢固，表面敷设应横平竖直，2 m 管长内允许偏差为 3 mm，全长偏差应不超过管子内径的 1/2。
6.8.2.5 钢管沿结构、柱配置至接线盒内时，应将管子弯曲过渡，不应将管子直接插入接线盒内。
6.8.2.6 管卡与终端、转弯中点、电气器具或接线盒边缘的距离应控制在 250 mm～500 mm 之间。

6.8.3 桥架安装

6.8.3.1 安装前应与工艺、设备、管道等专业图纸进行会审，避免安装冲突。
6.8.3.2 电缆桥架转弯处的转弯半径，应不小于该桥架上电缆的最小允许弯曲半径。
6.8.3.3 所有桥架均应可靠接地，每节桥架与桥架内接地线应有效相连。
6.8.3.4 桥架切割不应使用气割方式，桥架加工件应焊接牢固，保证机械强度，切割处应打磨去除毛刺，防止划伤电缆。
6.8.3.5 桥架连接应使用厂家的配套连接片通过螺栓连接，螺栓应配备平垫片和防松垫片。
6.8.3.6 安装结束后，桥架不应出现明显的波形弯或蛇形弯，确保安装平整。
6.8.3.7 电缆敷设完成后，盖板应固定牢固，特殊危险区应对盖板进行加固处理。

6.8.4 盘、柜安装

6.8.4.1 盘、柜在运抵现场进行安装前应进行开箱检查，检查内容包括：
——盘、柜的规格、型号与设计图纸是否一致；
——盘、柜有无机械损伤，外观是否良好；
——备品、备件是否完整，相关技术文件是否齐全；
——柜内的电器有无损坏、受潮。
6.8.4.2 盘、柜单独或成列安装时，其垂直度、水平偏差以及盘、柜面偏差和盘、柜间接缝的允许偏差应符合表 1 的规定。

表 1　盘、柜允许偏差

项目		允许偏差/mm
垂直度（每米）		＜1.5
水平偏差	相邻两盘顶部	＜2
	顶部成列盘	＜5
盘面偏差	相邻两盘边	＜1
	成列盘面	＜5
盘间缝隙		＜2

6.8.4.3　二次回路接线应符合以下要求：

——严格按图施工，接线正确、牢固；

——盘、柜内导线无接头，导线芯线无损伤；

——电缆芯线和所配导线端部正确标明其回路编号，编号字迹清晰且不脱色；

——配线整齐、清晰、美观，导线绝缘良好，无损伤。

6.8.5　照明安装

6.8.5.1　核对模块尺寸、内部结构与照明设计图纸，确认灯具安装位置不遮挡模块内设备、管线，预留检修空间。

6.8.5.2　模块内线路应提前规划路径，避开强电回路、信号线路。

6.8.5.3　导线沿模块内部桥架或穿管敷设，固定应牢固，无悬空、缠绕，转弯处采用圆弧过渡，避免折损。

6.8.5.4　照明系统应安装灯杆及支架，灯杆安装应严格按照图纸尺寸预制安装，确保安装规范、美观。

6.8.6　电缆敷设

6.8.6.1　电缆敷设前进行以下检查工作：

——通道状况检查：确保电缆通道畅通，无积水，敷设实际路径与设计一致，危险区域和场所采取相应安全防护措施；

——电缆检查：电缆型号规格、电压等级符合设计要求，电缆外观完好无损伤；一般情况下需对电缆进行绝缘性检查。

6.8.6.2　电缆完成敷设后，重新校正无误，在起、终点分别挂电缆牌，电缆牌标识应正确、字迹清晰、不易褪色。

6.8.6.3　电缆终端制作应严格按制作程序进行，有接地要求的确保接地良好，终端制作后的相序相色应正确。

6.8.7　支架制作和安装

6.8.7.1　现场所有电气支架、托架应符合设计要求。

6.8.7.2　如需在镀锌部分进行焊接并获得认可后，应将焊点部分的锌层磨掉，并进行焊后修补处理。

6.8.7.3　结构钢支架的焊接应按照批准的焊接工艺进行。

6.8.7.4　接地安装

6.8.7.4.1　由接地干线引出的接地线，依次连接各类用电设备，确保接地连贯。

6.8.7.4.2　所有正常不带电的用电设备金属外壳及配线钢管和桥架均应可靠接地，并与主接地干线有效相连。

6.8.7.4.3　桥架的接地材料应符合设计要求。

6.8.7.4.4　施工完毕后实测接地电阻，保护接地电阻应不大于 1 Ω。

6.9　仪表施工

6.9.1　施工准备

仪表施工前应进行以下准备工作：

——熟悉图纸，做好技术准备；

——准备齐全工机具和标准仪表；

——调集专业施工人员，明确工作分工；

——合理规划施工场地，确保电源、气源供应稳定；

——对进场材料、设备进行严格检验，合格后方可使用。

6.9.2　现场仪表安装

6.9.2.1　仪表在安装前应检查位号、规格型号、安装配件的尺寸和材质与设计是否相符。

6.9.2.2　仪表安装应按照仪表安装图施工，分析仪表安装应遵循专门的安装图要求。

6.9.2.3　在线仪表的安装由工艺专业完成，仪表专业负责仪表检查和仪表回路检查工作。

6.9.2.4　在线流量仪表外壳上箭头的指向应与被测介质的流向一致，安装前清理干净管口焊渣和其他杂质。仪表法兰和管道对中，消除安装应力。

6.9.2.5　仪表安装过程中不应敲击及振动，安装后确保牢固可靠。

6.9.2.6　所有仪表不使用的进线口应用永久性堵头封堵，防止杂物进入。

6.9.2.7　现场仪表安装高度应符合中心线在平台上和地面上约 1.5 m 处，安装位置应便于观察和日常维护。

6.9.2.8　温度仪表的安装位置应选在介质温度变化敏感且具有代表性的地方，不宜选在阀门、焊缝等阻力部件的附近和介质流束呈死角处。

6.9.2.9　测温元件如热电阻、双金属温度计等，应安装在能准确反映介质温度的位置，与管道中心线垂直或倾斜 45°，插入深度应大于 250 mm 或处于管道中心，插入方向宜与被测介质逆向或垂直；管道公称直径小于 80 mm 时，可安装在弯头处或加扩大管，双金属温度计安装时刻度盘面应便于观察。

6.9.2.10　对有特殊要求的仪表设备，安装时应按产品说明书进行。

6.9.2.11　直接装在工艺设备或管道上的仪表，应随同工艺系统一起试压，试压前应获得技术人员确认和同意。需要拆除的仪表，试压完成后应进行复位。

6.9.3　仪表测量管线压力试验

6.9.3.1　压力试验前应断开与仪表的连接，避免仪表受损。

6.9.3.2　试验压力小于 1.6 MPa 且介质为气体的管路可采用气体试验，其他管路宜采用液压试验。

6.9.3.3　气体试验宜用净化空气或惰性气体，试验压力为设计压力的 1.15 倍，停止加压 5 min 后压力下降不超过 1% 为合格。

6.9.3.4　液压试验应选用清洁水，试验压力为设计压力的 1.5 倍，停压 5 min 无泄漏为合格。

6.9.3.5　高压管线可随同工艺管线一同进行压力试验。

6.9.3.6　现场仪表就位后应采取必要的防护措施，防止损坏。

6.9.4　分析仪表安装

6.9.4.1　分析仪表取样点位置应根据设计要求设置在无层流、涡流、无空气渗入、无化学反应过程的区域。

6.9.4.2　分析仪表取样系统安装时，应核查样品的除尘、除湿、减压以及对有害和干扰成分的处理系统是否完善。

6.9.4.3　分析仪表和取样系统的安装位置应尽可能靠近取样点，并符合使用说明书要求。

6.9.4.4　分析仪及电气附件结构的防爆等级应符合设计规定。

6.9.4.5　检测器探头的安装位置应根据所测气体密度确定，检测密度大于空气的气体检测器，应安装在距地面 0.3 m～0.6 m 处；检测密度小于空气的气体检测器，应安装在可能泄露区域的上方位置或按设计要求确定。

6.9.5　仪表的盘、箱安装

6.9.5.1　仪表的盘、箱应安装在光线充足、通风良好、操作维修方便的地方，如有振响，应采取减振措施。

6.9.5.2　盘、箱安装应连接紧密、牢固，安装用紧固件应有防锈层。安装在室外时，应采用不锈钢材质或镀锌的紧固件。

6.9.5.3　仪表盘、箱在安装前应进行检查，并应符合以下要求：

——盘面平整，内外表面漆层完好；

——盘、箱的外形尺寸和仪表安装孔尺寸，以及盘上安装的仪表和电气设备的型号及规格符合设计规定；

——控制室内盘、箱、柜和操作台的安装位置符合设计规定；

——盘、箱、柜和操作台的外形尺寸及仪表开孔尺寸符合设计要求。

6.9.5.4　仪表盘安装应垂直、平整、牢固，垂直允许偏差为 3 mm；盘高度大于 1.2 m 时，垂直允许偏差为 4 mm；水平的倾斜度允许偏差为 3 mm。

6.9.5.5　成排的盘、箱、柜、操作台的安装应符合以下要求：

——相邻两盘、柜顶部允许偏差为 2 mm，当连接超过两处时，顶部高度最大偏差不大于 5 mm；

——相邻两盘、柜正面接缝处的平面允许偏差为 1 mm，当连接超过 5 处时，正面的累计平面最大偏差不大于 5 mm；

——相邻两盘、柜间接缝的间隙不大于 2 mm。

6.9.5.6　在振动区域安装的仪表盘，应有防震措施。

6.9.6　仪表气源系统安装

6.9.6.1　安装前应对所有管材、阀门、管件进行清扫并脱脂处理，确保无油垢、水分、锈蚀等杂物。

6.9.6.2　仪表空气管线安装应横平竖直、整齐美观，避免交叉敷设。

6.9.6.3　气源分配站在安装完成后应悬挂铭牌，不使用的支路应用堵头封上。

6.9.6.4　管道系统安装完毕后应进行吹扫、试压，吹扫前应断开与仪表的接口，敞口进行吹扫。

6.9.6.5　吹扫用压缩空气压力应控制在 0.5 MPa～0.7 MPa 之间，空气质量应符合相关要求。

6.9.7　支架制作和安装

6.9.7.1　现场所有电气支架、托架应符合设计要求。

6.9.7.2　如需在镀锌部分进行焊接且获得认可后，应将焊点部分的锌层磨掉，并进行焊后修补处理。

6.9.7.3　结构钢支架的焊接应按批准的焊接工艺进行。

6.9.8　仪表桥架和电线管的安装

6.9.8.1　仪表桥架应按照设计要求选择桥架并配备盖板，强电电缆、弱电电缆、信号电缆按设计要求分桥架敷设。

6.9.8.2　每节桥架之间按设计要求接地跨接，桥架每 30 m 做一处保护接地。

6.9.8.3　采用穿线管安装时，主要采取明配方式，中间连接可采用穿线盒或分线盒，终端采用金属软管与仪表或接线箱连接，电线管全长应保证良好的电气连接。

6.9.8.4　管子支架固定应牢固、横平竖直、间距均匀，不准许在工艺管道上焊接支架，采用 U 型螺栓固定，所有管子及电缆桥架的支架材料应符合设计要求。

6.9.8.5　桥架应平整、内部光洁无毛刺，加工尺寸应准确。

6.9.8.6　电缆保护管内部应清洁无毛刺，管口应光滑圆润。

6.9.8.7　在户外和潮湿场所敷设保护管，应采取以下防雨或防潮措施：

——在可能积水的位置或最低处，安装排水三通；

——保护管引入接线箱时，从底部进出；

——朝上的保护管末端封闭，电缆敷设后，在电缆周围充填密封填料。

6.9.9　仪表用电气线路敷设

6.9.9.1　电缆敷设前应进行外观及导通检查，并测量绝缘电阻应大于 5 MΩ，当有特殊要求时按规定执行。

6.9.9.2　线路按最短途径集中敷设，横平竖直，整齐美观，避免交叉。

6.9.9.3　线路敷设完毕，接线前应进行校线、标号、测量绝缘电阻，并做好详细记录。

6.9.9.4　电缆敷设时，弯曲半径为电缆外径的 6～10 倍。

6.9.9.5　电缆敷设后，两头应制作电缆头，确保连接可靠。

6.9.9.6　屏蔽电缆的屏蔽层应在仪表接线箱内和控制室盘内连接在一起，但最终仅在控制室内一侧接地。

6.9.10　仪表接地

6.9.10.1　仪表的接地系统分为系统接地、屏蔽接地、保护接地，具体的要求见仪表接地系统图。

6.9.10.2　仪表接地线路的安装应符合电气安装相关规范。

6.9.10.3　每节桥架之间按设计要求接地跨接，桥架每 30 m 做一处保护接地。

6.9.10.4　现场仪表接地电缆沿仪表桥架敷设至控制室内的保护接地极。

6.9.10.5　接地电缆的颜色为黄、绿色，便于识别。

6.9.11　仪表保护

6.9.11.1.1　仪表在现场安装后，做好成品保护工作，防止灰尘、水汽进入及意外碰撞造成损坏。

6.9.11.1.2　相关管路应做防火处理，确保安全。

6.9.12　仪表单体检查

6.9.12.1　应检查核实仪表的型号规格、测量范围等与设计是否相符，并做好相应的位号标识。

6.9.12.2　仪表安装前应进行外观检查、性能校验和实际测量范围的检查，并做好单体检查记录。

6.9.12.3　所使用的标准设备应在有效的检定周期内，且具备有效的检定合格证标识，根据被校表的精度选择满足调试精度要求的标准表。

6.9.12.4　标准表的基本误差应不超过被校表基本误差绝对值的 1/3。

6.9.12.5　压力变送器、液位变送器的校验点应在全量程的 0%、25%、50%、75%、100% 选取。

6.9.12.6　压力变送器的单体调试应根据设计给定的测量范围核实变送器的量程，并按照仪表说明书进行单体调试，调试结束后应做好位号标识。

6.9.12.7　液位变送器的迁移量应根据设计提供的介质比重和现场实际液位高度计算确定。

6.9.12.8　调节阀的泄漏量实验按照设备厂家提供的技术要求进行。

6.9.12.9　检测系统调试时，在信号发生端输入信号，检查系统误差，确保符合规定，当超差时，应校准系统内仪表，并对线路、管路进行检查，直至合格。

6.9.12.10　调节系统调试应符合以下要求：

——检查并确定调节器及执行器的动作方向；

——在系统信号发生端加信号，检查调节器的误差及其性能；

——手动输出信号，检查执行器的全过程动作，连同阀门定位器一起验证。

6.10　伴热

6.10.1　施工准备

6.10.1.1　核对模块内管道、设备的尺寸、介质温度需求，选择适配的伴热类型，伴热带、伴热管规格应匹配热量需求。

6.10.1.2　检查伴热材料外观有无破损，电伴热应附带绝缘测试报告，绝缘电阻应不小于 20 MΩ，蒸汽伴热管应无锈蚀、漏点。

6.10.1.3　清理模块内管道、设备表面，去除油污、锈蚀、尖锐凸起，确保伴热材料与被伴热体紧密贴合。

6.10.1.4　规划伴热路径，避开模块内强电回路、信号线路和易碰撞区域，预留检修空间，确保不影响模块拼接或移动。

6.10.2　伴热材料选型与固定

6.10.2.1　电伴热的选型应符合设计要求，蒸汽伴热应选用无缝钢管，管径应不大于 DN20 以适配紧凑空间。

6.10.2.2　伴热材料缠绕、敷设时，应紧贴被伴热体表面，电伴热缠绕间距应均匀，通常为 50 mm～100 mm，按热量需求调整；蒸汽伴热管应平行敷设，固定点间距应不大于 1.5 m。

6.10.2.3　采用铝箔胶带或专用扎带固定，不准许使用铁丝等尖锐件，避免刺破伴热材料绝缘层或管壁。

6.10.2.4　电伴热接线盒、蒸汽伴热阀门应集中安装在便于操作和维护的区域。

6.10.3　保温与密封

6.10.3.1　伴热层外侧包裹保温材料的保温层厚度应按模块内环境温度和介质保温需求计算。

6.10.3.2　保温层接缝处用密封胶密封，模块内为潮湿环境时外层缠防水布密封，防止水汽进入影响传热和防腐。

6.10.3.3　保温层不应挤压伴热材料，预留伴热材料伸缩空间，避免模块移动时拉扯导致保温层破损。
6.10.3.4　电伴热温控器探头应固定在被伴热体表面，嵌入保温层内，确保温度检测精准，探头与伴热带距离应不小于 5 cm。

6.10.4　接线与管路连接

6.10.4.1　电伴热接线应区分正负极，电源引线选用阻燃导线，截面应不小于 1.5 mm^2，接线处应用防水接线盒密封，远离易燃易爆介质。
6.10.4.2　蒸汽伴热管应采用焊接或卡套连接，接口应无渗漏，并安装疏水阀（最低点）和排气阀（最高点），确保管内应无积水、气堵。
6.10.4.3　伴热系统应按照回路设计，各自独立控制，避免相互影响。

6.10.5　安全与调试

6.10.5.1　电伴热安装后应再次检测绝缘电阻，蒸汽伴热管道应进行压力试验，一般为气压试验，试验压力为设计压力的 1.1 倍。
6.10.5.2　检查伴热材料与模块内其他设备的安全距离，电伴热与易燃物之间距离应不小于 10 cm，金属伴热管道、接线盒应可靠接地。
6.10.5.3　模块移动或拼接后，复查伴热层、接线和管路连接，应无松动、破损，确保长期运行稳定。

6.11　油漆和防火

6.11.1　油漆施工

油漆施工应符合以下要求：
——基层处理：按照设计要求对金属表面进行除锈；
——涂层配套：按照油漆系统选择对应油漆型号，同品牌同体系涂料避免混用，底漆涂刷后 4 h～8 h 内涂中间漆，防止返锈；
——施工环境：温度控制在 5 ℃～35 ℃，相对湿度 ≤85%，避免雨天、大风天施工，室外施工需做好防雨防尘措施；
——涂刷操作：采用刷涂、滚涂或喷涂，涂刷均匀无流挂、漏涂，每遍涂层厚度符合设计要求，两遍涂刷间隔不少于产品规定时间。

6.11.2　防火施工

防火施工应符合以下要求：
——基层要求：基层干燥、洁净，无油污、疏松物，金属基层先涂防锈底漆；
——材料选用：防火涂料与基层材质匹配，进场核对合格证及耐火极限检测报告；
——涂层施工：采用喷涂、抹涂或刷涂，钢结构防火涂料厚度按设计耐火极限确定，薄涂型 3 mm～7 mm，厚涂型 7 mm～45 mm，分层施工，每层干燥后再涂下一层；
——特殊部位处理：梁柱节点、焊缝、螺栓连接处重点涂刷，涂层完整无漏涂，转角处涂层厚度不小于设计值，避免空鼓、开裂。

6.12　管道和设备保温

6.12.1　根据介质温度、环境湿度选保温材料，低温工况应搭配防潮层，高温工况应优先选耐高温、导热系数低的材料。

6.12.2 管道保温采用对接或搭接方式，搭接宽度应不小于 50 mm；设备异形部位采用分片拼接，缝隙用专用填料填充密实。

6.12.3 水平管道每 3 m～5 m 设支架固定保温层，垂直管道每 2 m～3 m 设支撑环（螺栓连接），避免保温层下滑。

6.12.4 所有拼接缝、孔洞应用密封胶封严，室外或潮湿环境应加设防潮层，防潮层搭接方向应顺介质流向，搭接宽度应不小于 100mm。

6.12.5 阀门、法兰处采用可拆卸式保温结构，预留检修空间，接缝处用弹性密封材料密封。

6.12.6 管道弯头、三通按实际角度切割保温材料，分片拼接，确保无空隙，避免局部散热。

6.12.7 在管道伸缩节、膨胀节处，保温层应预留伸缩间隙，用柔性保温材料填充，适应热胀冷缩。

6.12.8 当保温层厚度大于 100 mm、保冷层厚度大于 80 mm 时，绝热层施工应采用分层错缝方式进行，各层厚度应尽量保持接近。

7 机械竣工

机械竣工主要包括以下工作：

——检查所有设备安装及冷对中工作的完成情况；

——检查所有成功完成的压力测试的管道系统的安装工作，以及所有必要的仪表安装与拆卸/重新安装均包含在内；

——检查所有电气系统的成功通电工作完成情况，包括电机旋转检查；

——检查仪表（包括成套设备）的所有成功回路测试及校准工作完成情况；

——检查其他设施的成功功能测试完成情况，如通信系统、火灾报警系统、消防系统等；

——检查钢结构的完成情况，包括所有螺栓的正确紧固，以及偏差和挠度检查；

——检查所有涂漆和绝缘工作的完成情况；

——检查并确认所有影响冷调试的尾项清单均已清理完毕。