

团 体 标 准

T/JSSES XXXX—XXXX

双相双循环厌氧反应器技术规范

Technical specifications of Dual-phase dual-cycle anaerobic reactor

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

江苏省环境科学学会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 反应器组成 3

5 技术要求 4

 5.1 设计要求 4

 5.2 要求 5

 5.3 安全要求 5

6 运行管理 5

 6.1 启动前准备 5

 6.2 污泥接种 6

 6.3 进水水质 6

 6.4 启动与相分离 6

 6.5 日常运行监控 6

 6.6 故障处理与应急预案 7

 6.7 记录与报告 7

7 检验与验收 7

 7.1 检验要求 7

 7.2 验收要求 7

8 标志、包装及运输 8

 8.1 标志 8

 8.2 包装 8

 8.3 运输 8

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。

本文件由江苏省科学学会环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：南京大学、扬子江生态文明创新中心、南京大学盐城环保技术与工程研究院、河南君和环保科技有限公司、南京环保产业创新中心有限公司、江苏南大华兴环保科技股份有限公司、南京理工大学。

本文件主要起草人：李爱民、李俊、邢立群、李燕、潘旻、高小娟、陈讯、姜笔存、代吉华、戴建军、杨峰、于伟华。

双相双循环厌氧反应器技术规范

1 范围

本文件规定了双相双循环厌氧反应器的结构、技术要求、相分离流程、以及包装运输要求，适用于高浓有机废水的处理装置设计、制造、验收及运行。

本文件适用于化工、制药、食品等行业的高浓有机废水处理工程。

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/T191—2008 包装储运图示标志
GB 8978 污水综合排放标准
GB 12801 生产过程安全卫生要求总则
GB 3836.1—2000 爆炸性环境 第1 部分：设备 通用要求
GB 18918 城镇污水处理厂污染物排放标准
GB 50014 室外排水设计规范
GB 50017 钢结构设计规范
GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范
GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范
GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
AQ 3009—2007 防爆电气设备安全检查规范
CJJ 60 城市污水处理厂运行、维护及安全技术规程
HJ 576 厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范
HJ 2013 升流式厌氧污泥床反应器污水处理工程技术规范
HJ 2023 厌氧颗粒污泥膨胀床反应器废水处理工程技术规范
HJ 2024 完全混合式厌氧反应池废水处理工程技术规范
JB/T 10669 上流式厌氧反应器
NY/T 1220 沼气工程技术规范

3 术语和定义

3.1 双相 two-phase

双相是指在同一个厌氧反应装置内，同时具备产酸相和产甲烷相。

3.2 双循环 dual-cycle

在同一个厌氧反应装置内，同时具备内循环系统和外循环系统。

3.3 高浓有机废水 high-concentration organic wastewater

化学需氧量浓度高于2000 mg/L的工业或生活废水。

3.4 三相分离器 three-phase separator

安装于厌氧污泥床上部，收集反应区产生的沼气，并使悬浮物沉淀、出水排放，实现气体、固体、液体分离的装置。

4 反应器组成

反应器从底部到顶部依次为进水管、产酸区、产酸区布水系统、产酸区三相分离器、两相连接单元、产甲烷区、产甲烷区布水系统、产甲烷区三相分离器、沉淀区、出水收集系统、气液分离器。

气液分离器与产甲烷区之间设有内循环系统，产甲烷区与产酸区内部分别设有外循环系统。反应器结构示意图如图1 所示。

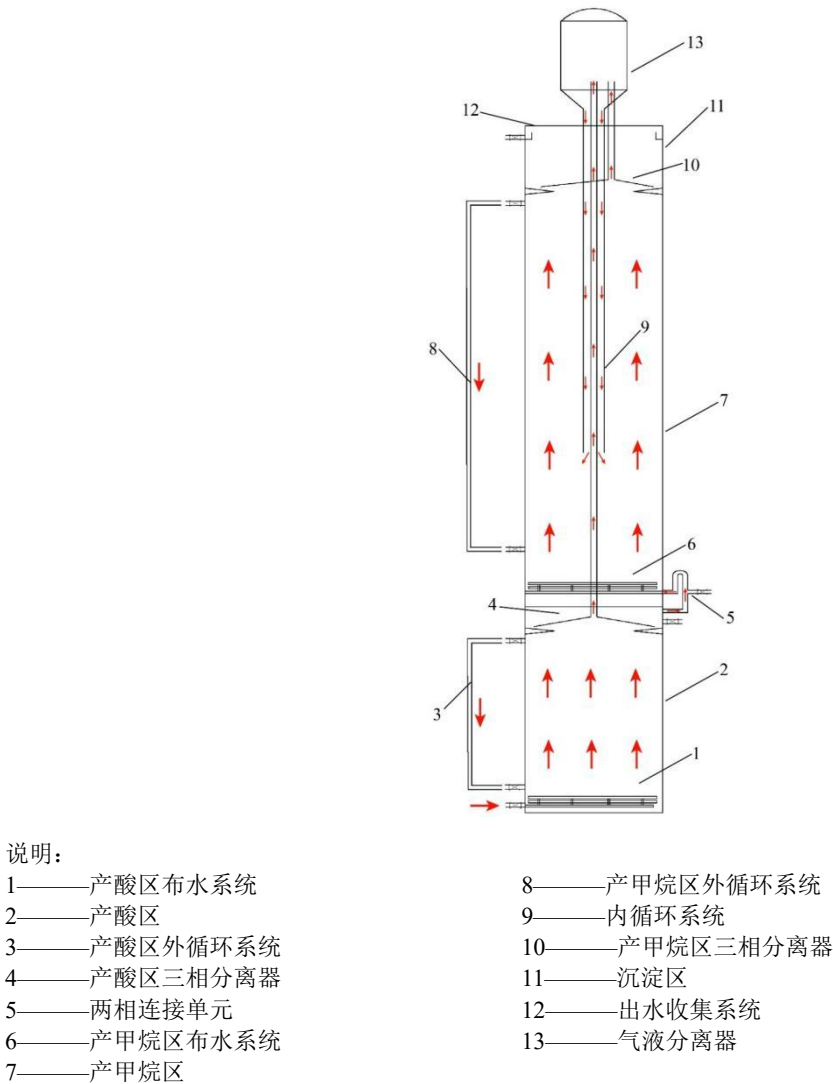


图 1 双相双循环厌氧反应器结构示意图

5 技术要求

5.1 设计要求

- 5.1.1 装置本体分为产酸区、产甲烷区、沉淀区，体积比为 2：3~6：1~1.5。反应器的结构设计应符合 HJ 2013、HJ 2023、HJ 2024 等相关工程技术规范。
- 5.1.2 进水 COD 维持在 2000 mg/L 至 15000 mg/L 之间。大于 2000 mg/L 以保证系统负荷，高于 15000 mg/L 建议进行预处理。
- 5.1.3 产酸区顶部设置三相分离器，产甲烷区与沉淀区之间设置二级三相分离器。
- 5.1.4 气液分离器连接产酸区升流管、产甲烷区升流管及回流管，上升管内气提流速 1 m/s-5 m/s。

- 5.1.5 产酸区和产甲烷区均设有外循环系统,配有外循环泵,控制产甲烷区上升流速 0.8 m/h–1.2 m/h。
- 5.1.6 U 型管道设置 pH 调节口,可投加碳酸氢钠或氢氧化钠。
- 5.1.7 沉淀区溢流堰高度为反应器总高度的 1/10–1/8,出水口设置悬浮物拦截装置。
- 5.1.8 反应器的总体布置、管道设计等应符合 GB 50014 的相关规定。
- 5.1.9 反应器的钢结构设计应符合 GB 50017 的相关规定。
- 5.1.10 反应器及附属构筑物的防腐蚀设计应符合 GB 50046 的相关规定。

5.2 要求

- 5.2.1 三相分离器焊接需无缝隙,倾斜角度 $>50^{\circ}$,防止污泥堆积。
- 5.2.2 内循环管路需气密性测试(压力 ≥ 0.3 MPa,保压 30 分钟无泄漏);
- 5.2.3 正式运行前进行 72 小时清水试运行,检测循环系统稳定性及密封性;
- 5.2.4 外表面的漆膜应平整、光滑、无气泡,色泽应均匀一致。
- 5.2.5 反应器的尺寸按照规定程序批准的图纸及文件制造,并符合本标准的规定。
- 5.2.6 装置本体采用耐腐蚀不锈钢(如 316L)或碳钢防腐(如碳钢衬塑);

5.3 安全要求

- 5.3.1 安装气体泄漏检测报警装置,实时监测 H_2S 和 CH_4 浓度,并联动通风系统。排气管需采用耐腐蚀、密封性良好的材质,定期检查管道连接处,防止气体泄漏。
- 5.3.2 反应器、气液分离器及沼气管道等区域必须按 GB 50058 划定爆炸危险区域,并在此区域内全面采用符合 GB 3836.1 和 AQ 3009 的防爆电气设备。必须设置固定的甲烷、硫化氢气体浓度监测与报警装置,并配备阻火器、防爆膜及可靠的防雷防静电接地。
- 5.3.3 在反应器顶部、沼气柜等爆炸危险区域范围内的封闭或半封闭建(构)筑物(如操作间、巡检通道、设备层)内,必须配备强制通风系统。该区域空气中有害气体浓度必须持续低于安全限值: $\text{H}_2\text{S} \leq 10$ ppm, $\text{CH}_4 \leq$ 爆炸下限(LEL)的 10%。通风系统的设计换气次数不得低于 12 次/小时,且通风进气口应设置在远离沼气释放源的安全位置。
- 5.3.4 操作区域需配备强制通风系统,确保气体浓度低于安全限值($\text{H}_2\text{S} \leq 10$ ppm, CH_4 爆炸下限的 10%)。生产过程安全卫生要求应符合 GB 12801 的相关规定。
- 5.3.5 壳体内部的保温层及热水循环系统需确保温度稳定在 $30^{\circ}\text{C} \sim 37^{\circ}\text{C}$,避免温度波动影响微生物活性。
- 5.3.6 投加的碱液需储存在专用防泄漏容器中,标明化学品名称及危险性。
- 5.3.7 操作人员在接触或处理本反应器系统涉及的化学品时,必须根据化学品的危害特性佩戴相应的个人防护装备。处理腐蚀性化学品时(如在配制与投加 氢氧化钠、碳酸氢钠 等 pH 调节药剂,或 盐酸、柠檬酸 等清洗药剂时),必须佩戴防化学飞溅护目镜、防腐蚀手套(如丁基橡胶手套)和防护服;进行污泥采样或设备检修时,应佩戴防化学品手套,以避免接触可能含有高浓度硫化物和未知有害成分的废水与污泥。
- 5.3.8 外循环泵及管道需定期维护,确保无泄漏、堵塞或机械故障,泵体需接地防静电。
- 5.3.9 操作人员需接受专业培训,熟悉装置流程、应急预案及防护措施,持证上岗。装置周边需设置安全警示标识(如“易燃气体”“腐蚀性物质”),并配备紧急停机按钮。运行、维护及安全技术规程参照 CJJ 60 的相关规定。
- 5.3.10 配套的电气设备应采用防爆电气设备,并符合 GB 3836.1—2000 第 4 章和 AQ 3009—2007 的相关规定。
- 5.3.11 应设有防雷、接地措施,并符合 GB 50057—2010 第 4 章的相关规定。
- 5.3.12 制定气体泄漏、火灾、化学品泄漏等专项应急预案,定期演练。配备灭火器(CO_2 或干粉型)、防毒面具、急救箱等应急设备,并确保易取用。

6 运行管理

6.1 启动前准备

启动前确认装置各模块（进水管、三相分离器、气液分离器、循环泵等）安装完整，管道无泄漏，电气设备接地可靠。检查保温系统、温度传感器及热水循环管路功能正常，确保反应器内温度可稳定在 $30^{\circ}\text{C}\sim 37^{\circ}\text{C}$ 。启动前的检查程序参照 CJJ 60 和 JB/T 10669 的相关规定。

6.2 污泥接种

产酸区接种来自城市污水处理厂或工业废水处理系统的厌氧污泥，接种量占反应区体积的20%~40%。

产甲烷区接种优选颗粒化厌氧污泥（粒径 $\geq 1.5\text{mm}$ ，MLVSS $\geq 20\text{g/L}$ ），接种量占反应区体积的30%~50%，对低浓度废水（COD $< 3000\text{ mg/L}$ ），可酌情减少至25%。接种时需分层填充，避免污泥堆积或短流。污泥接种参照 HJ 2013 和 HJ 2024 的相关方法。

6.3 进水水质

6.3.1 pH 值宜为 5.0~8.0；

6.3.2 营养组合比(COD_{Cr}:氨氮:磷)宜为 100~500:5:1；

6.3.3 进水中悬浮物含量宜小于 1500 mg/L；

6.3.4 进水中氨氮浓度宜小于 2000 mg/L；

6.3.5 进水中 COD_{Cr} 浓度宜大于 2000 mg/L；

6.3.6 严格控制进水重金属、氰化物、酚类物质浓度分别小于 10 mg/L, 2 mg/L 和 200 mg/L，其限值应符合 HJ 576 的相关规定。对重金属、氰化物、酚类浓度超标的废水进行源头控制与预处理，即对上游生产工艺提出清洁生产要求，减少有毒物质排放。对已进入废水系统的有毒物质，应根据其特性采用相应的预处理工艺，如化学沉淀法、离子交换法（重金属）；碱性氯化法、臭氧氧化法（氰化物）；高级氧化法、溶剂萃取法（酚类）。对于浓度接近限值但可生物降解的物质（如酚类），可通过逐步提高负荷的长期驯化，培养出具有特异降解能力的污泥群落。

6.3.7 严格控制进水中盐分含量（以氯离子 Cl^- 计）在 10000 mg/L 以内。

6.4 启动与相分离

6.4.1 采用 pH 调控和动力学控制相结合的方法进行相分离。装置接种污泥性状好，颗粒化程度高的颗粒污泥。首先在 HRT=48 小时的驯化污泥，待装置取得稳定的 COD 去除和硫酸盐还原效果之后，通过逐渐缩短 HRT 的方式提升进水 OLR，依次缩短 HRT 至 40 小时、32 小时、24 小时、18 小时、14 小时和 10 小时。持续检测装置产酸区的 pH，当 pH 降至 4.5~6.0 之间时，维持 pH 在此区间。若 pH 低于 4.5，进水中增加碳酸氢钠和氢氧化钠（1:1）的浓度以缓冲产酸相过量的酸性，同时，通过两相连接单元阀门 pH 调节口向产甲烷区通入含 20/20 g/L 的碳酸氢钠/氢氧化钠溶液，维持产甲烷区的 pH 值在 7.0~8.0，完成产酸区和产甲烷区的两相分离。启动方法参照 HJ 2013、HJ 2023 中的相关规定。

6.4.2 若启动过程出现挥发酸积累（浓度 $> 2000\text{ mg/L}$ ）或 pH 异常波动，需暂停负荷提升，投加碱度并延长 HRT 至恢复稳定。

6.5 日常运行监控

6.5.1 每日检测进水及出水 COD、硫酸盐浓度、pH、硫化物含量（产甲烷区 $\leq 100\text{ mg/L}$ ）。

6.5.2 实时监测 H_2S 浓度（ $\leq 10\text{ ppm}$ ）、 CH_4 浓度（ $< \text{爆炸下限的 } 10\%$ ），联动报警系统。

6.5.3 确保反应器内温度波动 $\leq \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，热水循环系统压力 $\leq 0.3\text{ MPa}$ 。

6.5.4 内循环气提量通过产气量自动调节，外循环流量控制产甲烷区内泥水混合物上升流速在 $0.8\text{ m/h}\sim 1.2\text{ m/h}$ 。

6.5.5 定期清理外循环泵滤网，防止堵塞。

6.5.6 每月检查污泥回流缝（宽度 $250\text{ mm}\sim 300\text{ mm}$ ）是否堵塞，清理沉积物。

6.5.7 每季度拆卸清洗，检查密封性及防爆膜完整性。

6.5.8 每半年进行耐压及泄漏检测，更换老化密封圈。

6.5.9 每 3 个月检测污泥活性（比产甲烷活性 $\geq 0.2\text{ gCOD}/(\text{gVSS}\cdot\text{d})$ ），及时补充或更换失活污泥。

6.5.10 沉淀区的溢流堰需设置液位监控，防止溢流引发环境污染。

6.5.11 定期检查电缆绝缘性能，防止短路或漏电。

6.6 故障处理与应急预案

6.6.1 出现污泥流失时，降低外循环流量，检查三相分离器回流缝，补充接种污泥。出现硫化氢超标时，投加铁盐（如 FeCl_3 ）沉淀硫化物，加强气体收集系统密封性。

6.6.2 气体泄漏时立即启动强制通风，疏散人员，使用便携式检测仪定位漏点并封堵。火灾风险区域配备 CO_2 灭火器，禁止使用水基灭火设备。

6.7 记录与报告

6.7.1 每日填写《运行日志》，记录负荷、去除率、气体浓度等数据。

6.7.2 每季度提交《运行评估报告》，分析能效比、故障率及优化建议。

7 检验与验收

7.1 检验要求

7.1.1 检查壳体、进水管、三相分离器、气液分离器等核心部件安装是否牢固，无变形或破损。

7.1.2 验证管道连接处（如排气管、循环管路）密封性，采用 0.2 MPa 水压测试，保压 30 分钟无渗漏。

7.1.3 确认接触废水及气体的部件（壳体、管道）材质为耐腐蚀材料（如 SS316 不锈钢或增强 PVC），并提供材质证明文件。

7.1.4 保温层材料需符合阻燃标准（氧指数 $\geq 28\%$ ），并提供第三方检测报告。

7.1.5 启动气提装置，监测内循环系统下降管流量是否稳定，气提效率需达到设计值的 $\pm 5\%$ 。

7.1.6 运行外循环泵，验证外循环系统的流量调节范围（ $0.5 \text{ m}^3/\text{h} \sim 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$ ），误差 $\leq 5\%$ 。

7.1.7 向产酸区和产甲烷区注入模拟废水，检测一级三相分离器和二级三相分离器的污泥截留率 $\geq 95\%$ ，气体分离效率 $\geq 90\%$ 。性能检验方法应符合 JB/T 10669 中的相关规定。污泥截留率检测方法：在稳定运行状态下，分别取样测定反应区（产甲烷区）混合液悬浮固体（MLSS）浓度与出水悬浮固体（ESS）浓度，按公式 $(\text{MLSS} - \text{ESS}) / \text{MLSS} \times 100\%$ 计算，其值应 $\geq 95\%$ 。检测方法可参照 HJ 2013 的相关规定。气体分离效率检测方法：采用湿式气体流量计分别计量三相分离器收集的总沼气体量与被出水携带、在气液分离器处释放的残余气体量，按公式 $\text{收集的沼气体量} / (\text{收集的沼气体量} + \text{残余气体量}) \times 100\%$ 计算，其值应 $\geq 90\%$ 。气体计量方法可参照 NY/T 1220。

7.1.8 启动热水循环系统，验证反应器内温度在 $30^\circ\text{C} \sim 37^\circ\text{C}$ 范围内波动 $\leq \pm 1^\circ\text{C}$ ，温度传感器校准误差 $\leq 0.5^\circ\text{C}$ 。

7.1.9 模拟 H_2S 泄漏（浓度 $\geq 20\text{ppm}$ ），验证报警系统响应时间 ≤ 10 秒，联动通风系统启动。

7.1.10 检查排气管阻火器、防爆膜安装合规性，符合 AQ 3009—2007 防爆标准。

7.1.11 测试所有电气设备接地电阻 $\leq 4\Omega$ ，绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，并通过防爆认证（Ex d IIB T4）。

7.2 验收要求

7.2.1 连续运行 72 小时，进水 COD $2000 \text{ mg/L} \sim 15000 \text{ mg/L}$ ，验证处理效率，出水需满足：COD 去除率 $\geq 90\%$ ，出水 COD $\leq 600 \text{ mg/L}$ ；产甲烷区硫化物浓度 $\leq 100 \text{ mg/L}$ ，沼气中 H_2S 含量 $\leq 4\%$ 。硫酸盐耐受浓度 $\geq 10000 \text{ mg/L}$ 。出水水质最终应符合 GB 8978 或 GB 18918 等排放标准的要求。

7.2.2 在额定负荷（ $812\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d}) \sim 12\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ）下运行 30 天，去除率波动范围 $\leq \pm 5\%$ ，无污泥流失或酸化现象。污泥流失的判断方法：出水持续浑浊，沉淀区出水有明显污泥絮体流出；反应区（产甲烷区）的污泥床高度下降超过初始高度的 20%，或混合液悬浮固体（MLSS）浓度下降超过 15%；出水悬浮物（ESS）浓度持续高于 150 mg/L 。符合上述任一情况即可判定为发生了影响系统稳定性的污泥流失。酸化现象的判断方法：产甲烷区 pH 值持续低于 6.5，且挥发酸（以乙酸计）浓度高于 2000 mg/L ；碱度与 VFA/ALK 比值：挥发性脂肪酸浓度与总碱度（以 CaCO_3 计）的比值（VFA/ALK）持续大于 0.5；沼气产气量显著下降，且沼气中 CO_2 含量异常升高（如持续高于 50%）。符合上述第一种或同时符合第二第三种情况即可判定为发生了酸化现象。

- 7.2.3 检测排气管出口 H_2S 浓度 ≤ 10 ppm, CH_4 泄漏浓度 $<$ 爆炸下限的 10%, 符合 GB 14554《恶臭污染物排放标准》。
- 7.2.4 出水 pH 6.5~8.5, 悬浮物 (SS) ≤ 50 mg/L, 符合 GB 8978《污水综合排放标准》。
- 7.2.5 提供完整的《装置操作手册》《维护规程》《安全应急预案》及《出厂检验报告》等技术文件。
- 7.2.6 验收期间需提交 72 小时连续运行的《水质检测记录》《气体监测日志》《设备运行参数表》。
- 7.2.7 委托具备 CMA 资质的检测机构对处理效率、气体排放等关键指标进行抽样检测, 并出具检测报告。
- 7.2.8 由设计单位、施工方、使用单位共同签署《装置验收确认书》, 明确责任与保修条款。
- 7.2.9 吨水处理能耗 ≤ 0.8 kWh。
- 7.2.10 沼气系统的验收应符合 NY/T 1220 的相关规定。

8 标志、包装及运输

8.1 标志

设备的外部应有明显标志。注明装置型号、重量、尺寸、生产日期及联系方式, 附《装箱清单》及《安全操作指南》。

8.2 包装

- 8.2.1 装置包装应符合 GB/T191—2008 中第 4 章的规定。
- 8.2.2 三相分离器的污泥回流缝、溢流堰等易变形部件需加装硬质防护罩 (如 ABS 塑料罩)。
- 8.2.3 设备附属配件、备用部件及随行技术文档须统一装箱储运, 其中技术资料需采用防水袋包装进行防潮密封处理。
- 8.2.4 随货技术文档应完整包含以下文件材料:
- a) 设备质量检验合格证书;
 - b) 设备操作与维护指南;
 - c) 货物装箱明细表;
 - d) 关键配套组件的资质文件及操作说明。

8.3 运输

- 8.3.1 装置在运输时应严格执行规范装卸操作, 轻装轻卸, 严禁出现拖拽、抛掷等行为, 并采用遮蓬覆盖。
- 8.3.2 装置在运输过程中应做好防潮、防雨等措施。
- 8.3.3 运输中需实时监控温湿度及震动情况, 异常时立即停运检修。
- 8.3.4 装置整体或分装模块需用绑带或支架固定在运输工具上, 避免滑动或倾倒。
- 8.3.5 使用叉车或吊装设备时, 需按包装标注的受力点操作, 严禁直接钩挂管道或传感器。