

团 体 标 准

T

T/TMAC ×××—202X

疏浚吹填 管道加气助推浆体输送技术规 范

Dredging and hydraulic reclamation—Technical specification for pipeline gas
injection assisted slurry transportation

(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。
已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217 室。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 定义和术语	1
4 基本规定	2
4.1 设计原则:	2
4.2 设备技术要求:	2
4.3 施工环境要求:	3
5 成套设备组成	3
5.1 设备组成	3
5.2 供气系统要求	4
5.3 射流加气专用管道要求	4
5.4 控制系统要求	5
6 施工质量监督与检测	6
6.1 施工前设备检查	6
6.1.1 设备参数核查	6
6.1.2 运行状态测试	6
6.1.3 安全装置检查	6
6.2 加气过程中监测	6
6.2.1 核心参数监测	6
6.2.2 数据记录与分析	6
6.3 排泥口流量监测	6
6.3.1 监测方法	6
6.3.2 异常处理	6
6.4 能耗监测	6
6.4.1 能耗监测	6
6.4.2 产能计算	7
7 安全与环保	7
7.1 安全要求	7
7.2 环保要求	7
8 效果检验	7
8.1 检验内容	7
8.2 检验方法	8
8.3 验收标准	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。

本文件中交上航(福建)交通建设工程有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会提出并归口。

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX、XXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

射流加气助推管道浆体输送施工

1 范围

本文件规定了射流加气助推管道浆体输送施工的术语定义、基本规定、设备组成、质量控制、安全环保措施及效益分析等内容。

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 150（所有部分） 压力容器

GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件

JTS 181-5-2012 疏浚与吹填工程设计规范

JTS 207-2012 疏浚与吹填工程施工规范

SL 17-2014 疏浚与吹填工程技术规范

3 定义和术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

射流加气助推技术 Jet Aeration Boosting Technology

通过射流器将压缩气体注入排泥管道，利用气体膨胀动能和减阻效应提升浆体输送排距的工艺。

3.2

加气专用管道 Aeration Pipeline Section

集成射流器、压力测点、密度测点等监测装置的特制管段，采用法兰连接方式，可快速替换常规排泥管道。

3.3

临界流速 Critical Velocity, $V_{c\sim}$

浆体在管道中保持悬浮状态的最小流速。

3.4

增压减阻比 Boost-Drag Reduction Ratio

评价加气效果的核心指标，是加气后的压力提升值（MPa）除加气后的阻力降低值（MPa）的值。

3.5

射流器 Jet Injector

实现气体高效注入的核心装置

3.6

有效增排距 Effective Discharge Increase, EDI

加气工艺实现的排距净增加值。

3.7

气含率 Gas Void Fraction

管道横截面上气体所占体积百分比。

3.8

水气膜 Air-Water Lubrication Layer

在管壁边界形成的低摩擦阻力层。

3.9

加气点优化间距 Optimal Aeration Spacing, OAS

相邻加气装置的最大允许距离。

3.10

系统能效比 Energy Efficiency Ratio, EER

评价能量利用效率的指标。

4 基本规定

4.1 设计要求

4.1.1 分段加气优化符合以下要求：

- a) 加气点间距应通过水力计算确定，一般控制在 300~500m 范围内；
- b) 对于复杂地形（如起伏段、弯管段），需适当缩短间距至 200~300m；
- c) 加气点宜设置在管道高程较高位置，以充分利用气体膨胀做功。

4.1.2 射流器选型符合以下要求：

- a) 根据管径匹喷射流器规格（DN300 管道配 DN20 射流器，DN500 配 DN32）；
- b) 优先选用可调式射流器，注气角度调节范围 0~15°；
- c) 射流器安装位置距上游弯头 $\geq 10D$ （D 为管径），距下游弯头 $\geq 5D$ 。

4.1.3 系统冗余设计符合以下要求：

- a) 供气系统应配置备用空压机（N+1 原则）；
- b) 关键监测点（压力、流量）采用双传感器配置；
- c) 供电系统设置自动切换装置（市电/发电机）。

4.2 设备技术要求

4.2.1 供气系统应符合表 1 要求。

表 1 供气系统

设备类型	技术参数	备注
空压机	排气量 $\geq 11\text{m}^3/\text{min}$ ，工作压力 1.0~1.2MPa	宜选用变频螺杆式
储气罐	容积 1~2 m^3 ，设计压力 1.5MPa	需特种设备监检
气体处理	含油量 $\leq 5\text{ppm}$ ，露点 $\leq -20^\circ\text{C}$	配置三级过滤器

4.2.2 管道系统应符合以下要求：

- a) 材质：Q355B 无缝钢管，壁厚 $\geq 10\text{mm}$ ；
- b) 内防腐：采用聚氨酯涂层（厚度 $\geq 1\text{mm}$ ）或陶瓷衬里；
- c) 法兰连接：螺栓预紧力控制在 120~150N·m，使用金属缠绕垫片。

4.2.3 控制系统应符合以下要求：

- a) 采集参数：压力（01MPa）、流量（03m/s）、密度（1.0~2.5g/cm³）；
- b) 控制精度：压力调节 $\pm 0.05\text{MPa}$ ，流量调节 $\pm 2\%$ ；
- c) 通信协议：支持 MODBUS RTU/TCP、PROFIBUS-DP。

4.3 施工环境要求

4.3.1 气候条件：

- a) 工作温度： -10°C ~ 45°C （低于 0°C 需防冻措施）；
- b) 相对湿度： $\leq 90\%$ （无凝露）；
- c) 风速： ≥ 6 级风时停止高空作业。

4.3.2 地质条件：

- a) 适用土质：淤泥、粉土、细砂（ $d_{50} \leq 0.1\text{mm}$ ）；
- b) 不适用情况：含卵石（ $> 10\text{mm}$ ）或有机质（ $> 5\%$ ）土质。

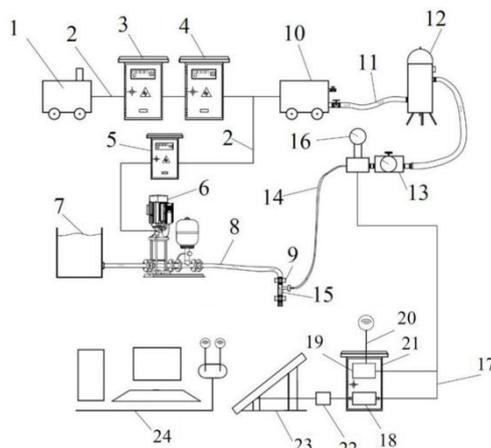
4.3.3 安全间距：

- a) 储气罐距明火 $\geq 15\text{m}$ ，距配电设施 $\geq 5\text{m}$ ；
- b) 高压气管 1m 范围内禁止交叉作业。

5 成套设备组成

5.1 设备组成

5.1.1 射流加气助推管道输送成套设备连接布置如图 1 所示，该射流加气助推管道浆体输送成套设备主要由供气系统、射流加气专用管道、加气增排效果监控仪器组成。



注释：1 发电机；2 强电缆线；3 一级配电箱；4 二级配电箱；5 开关箱；
6 变频式稳压水泵；7 水源；8 高压水管；9 球阀；10 空压机；11 大口径风炮管；
12 储气罐；13 调压阀；14 小口径高压气管；15 射流器；16 气量计；17 弱电缆线；
18 蓄电池；19 转换器；20 DTU无线通讯模块；21 集成箱；22 控制器；
23 太阳能电池板；24 接收终端。

图1 设备连接布置

5.2 供气系统要求

5.2.1 供气系统主要由压缩空气输出设备和变频射流泵组成。

5.2.2 压缩空气输出设备主要包括空压机、储气罐、大口径风炮管和调压阀。其中空压机作为压缩气体原动机，通过风炮管与储气罐进气口相连接；通过风炮管将储气罐出口与射流加气专用管道上的射流器加气口连接，其中设置有调压阀和气量计，从而实现加气压力和加气量的精确控制。

5.2.3 射流泵为变频式稳压水泵，其上有变频控制面板可调节射流水压与流量，使高压水稳定输出至射流器的注水口。

5.3 射流加气专用管道要求

5.3.1 射流加气专用管道主要由钢质排泥管、加气口、射流器、压力测点和密度测点构成。其结构布置如图2所示，通过法兰与排泥管实现串联，主要用于加气及加气效果监测仪器安装。

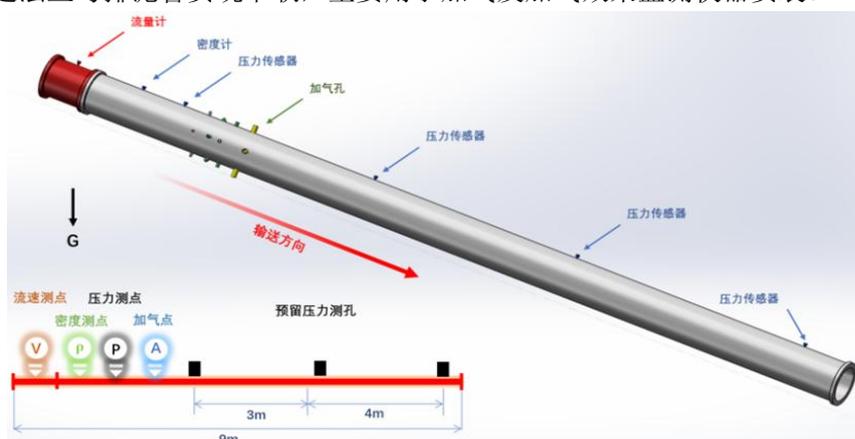


图2 射流加气专用管道结构布置

5.3.2 射流器通过球阀与加气口连接，并通过快接口与供气系统的风炮管和变频稳压水泵高压水管连接，以此实现压缩气体和稳压水源的注入。压力计和密度计通过预留测量孔安装，流量计通过串联方式连接，

以此实现加气助推浆体输送过程中的压力、流量和密度变化情况的实时监测。

5.3.3 射流器为本工艺技术的核心部件，其主要包括混合室、注水口和注气口三部分，如图5.3-2所示。



图3 射流器结构

5.3.4 射流器安装在加气专用管道正上方的加气口；其注水口和注气口分别与供气系统的风炮管和变频稳压水泵高压水管连接，从而通过射流加气或者纯加气的方式将压缩气体注入排泥管。

5.4 控制系统要求

5.4.1 数据采集及监控系统

5.4.1.1 应配备数据采集及监控系统、安装检测仪器，实时掌握射流加气设备的生产运行状态。

5.4.1.2 通过所安装的监测仪器获取管道加气输送特性参数，将这些数据通过远程网络发送至加气效果监测分析软件。辅助操作人员基于监测数据的实时分析计算，判断管道的加气输送状态，从而对施工工艺提出有效调整。该加气效果监测分析软件界面如图5.4-1所示。

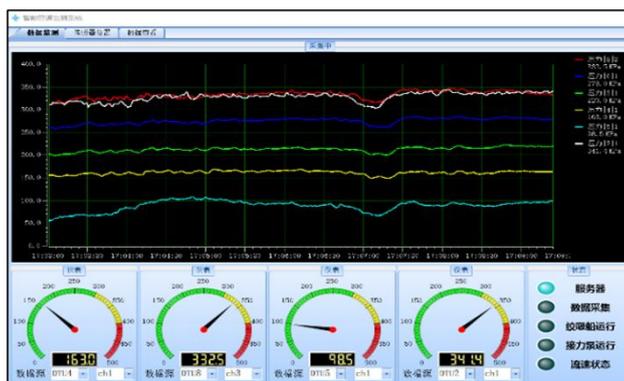


图4 监测系统页面

5.4.1.3 监测系统性能要求应满足以下条件：

- a) 系统界面数据刷新 ≤ 1 秒；
- b) 下发命令延迟 ≤ 200 毫秒；
- c) 软件支持100以上的用户并发数。

5.4.2 监测设备定位系统

5.4.2.1 定位方式应满足精准地定位射流加气装置位置，以满足施工控制中的需求。

5.4.2.1.1 定位方式在技术上应满足以下要求：

- a) 支持C++、Python脚本语言；
- b) 支持ROS系统；
- c) 支持串口、TCP通讯协议；

5.4.2.1.2 定位方式在性能上应满足以下要求：

- a) 无GNSS相对定位精度： $\leq 7\%/m$ 。
- b) GNSS系统定位精度： $\leq \pm 5cm$ 。
- c) 定位速率： $\geq 2Hz$ 。

6 施工质量监督与检测

6.1 施工前设备检查

6.1.1 设备参数核查如下：

- a) 检查空压机排气量($\geq 11m^3/min$)、储气罐压力(1.0~1.2MPa)、射流器规格(DN25/DN32)是否符合设计要求。
- b) 验证监测仪器(压力计、流量计、密度计)的校准有效期及精度(压力 $\pm 0.5\%$ 、流量 $\pm 1\%$)。

6.1.2 运行状态测试如下：

- a) 空载运行空压机10分钟，观察压力稳定性（波动 $\leq \pm 0.05MPa$ ）；
- b) 模拟注气测试射流器，检查混合室是否堵塞（注气压力4.5bar时流量 \geq 设计值90%）。

6.1.3 安全装置检查如下：

- a) 储气罐安全阀手动泄压测试（启跳压力1.3MPa）；
- b) 高压管路气密性检测（肥皂水涂抹接口，无气泡产生）。

6.2 加气过程中监测

6.2.1 核心参数监测如下：

- a) 压力：沿程每200m设压力测点，记录加气前后压差（目标增压 $\geq 0.3bar$ ）；
- b) 流量：电磁流量计实时监测浆体流速，确保 ≥ 1.2 倍临界流速（ $V_{c\sim}$ ）；
- c) 密度： γ 射线密度计检测浆体浓度(1.0~2.5g/cm²)，异常时触发报警。

6.2.2 数据记录与分析如下：

- a) 监控系统每分钟存储一次数据，生成压力、流量趋势图；
- b) 当气含率 $>8\%$ 或压降异常时，自动调节注气量(PID控制算法)。

6.3 排泥口流量监测

6.3.1 监测方法如下：

- a) 采用超声波流量计(精度 $\pm 1.5\%$)每小时记录排泥口瞬时流量；
- b) 对比加气前后流量变化率(目标增幅 $\geq 8\%$)。

6.3.2 异常处理如下：

- a) 流量下降 $>5\%$ 时：检查射流器堵塞或管道泄漏；
- b) 流量波动 $>10\%$ 时：调整注气压力（ $\pm 0.1MPa$ 梯度）。

6.4 能耗监测

6.4.1 电耗和油耗监测如下：

- a) 电耗监测:电能表记录空压机、水泵单耗($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$), 目标 $\leq 0.8 \text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$;
- b) 油耗监测:柴油发电机每小时油耗记录(L/h), 对比加气/非咖气工况差异。

6.4.3 产能计算如下:

- a) 每日清淤量=排泥口流量 \times 有效作业时间(扣除故障停机);
- b) 产能提升率=(加气后产能-基准产能)/基准产能 $\times 100\%$ (目标 $\geq 9\%$)。

7 安全与环保

7.1 安全要求

7.1.1 进行安全技术交底工作,加强对施工作业人员的培训与教育,不断提升全员的安全意识;同时对射流加气助推管道浆体输送成套设备进行全面安全检查。

7.1.2 按射流加气助推管道浆体输送成套设备参数及施工要求,使用前对射流加气助推管道浆体输送整体设备进行全面检查,消除安全隐患。

7.1.3 保持与项目部、业主、相关部门的联系,以便能够及时获取和处理相关信息,提前做好安全防范措施。

7.1.4 施工操作人员严格执行安全操作规程和安全规章制度施工,施工作业时必须正确穿戴规定的劳防用品;

7.1.5 定期不定期对射流加气助推管道浆体输送设备进行巡回检查,按照规程及施工要求做好设备的管、用、养、修。

7.2 环保要求

7.2.1 设备安装前应做好设备和扬尘可能对周围环境、居民、工程、设施设备和生产造成的影响及风险的评估,并与当地环保部门沟通联系和备案,并制定防护措施。

7.2.2 适当的进行围挡作业,减少发电机和空压机产生噪音对周边环境的影响,密切关注设备情况,防止设备油类物质流出。

7.2.3 制定详细的试验流程,减少试验过程疏浚物质流出,定期进检查输送管道及时发现和处理管道泄漏。

7.2.4 试验场地远离居民、工程、设施设备,减少场地的磨损及破坏,机械转场和安装应避免绿化破坏。

7.2.5 试验场地过程中产生的垃圾和污染应当及时处理,保持试验场地的干净整洁。

8 效果检验

8.1 检验内容

8.1.1 有效增排距(EDI)

通过对比相同工况(土质、浓度、流量)下加气与未加气时的最大输送距离,计算EDI。

8.1.2 增压减阻比(h_k)

在关键加气点前后测量压力,计算实际增压值和根据水力模型估算或实测的阻力降低值,计算比值。

8.1.3 产能提升率

统计对比加气工况与非加气工况下（或相同排距下）的单位时间平均排泥量（ m^3/h ），计算提升率。

8.1.4 系统能效比（EER）

计算有效增排距（或增加的输送量）与额外消耗的压缩空气能量（空压机、水泵能耗）的比值。

8.1.5 能耗指标

核查单位排方量电耗（ $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ）或油耗（ L/m^3 ）是否达到目标值（如 $\leq 0.8 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ）。

8.2 检验方法

8.2.1 数据采集

效果检验应基于施工质量监测与检测中系统、完整记录的数据（压力、流量、密度、气量、时间等）。

8.2.2 对比分析

采用加气前后对比、或设置对照段（部分管道加气，部分不加气）的方式进行效果分析。分析应排除其他干扰因素（如泵性能变化、土质显著变化）。

8.2.3 计算验证

利用采集的数据，按照第3章定义的术语和公式（EDI、增压减阻比、EER等）进行计算验证。

8.2.4 报告编制

形成包含检验数据、计算过程、结果分析、与目标值对比、结论和建议的效果检验报告。

8.3 验收标准

效果检验结果应满足设计要求或合同约定的技术经济指标（如EDI目标值、产能提升率目标、能耗上限）。主要指标（如EDI、增压减阻比）未达标时，应分析原因并制定改进措施。