

《列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业安全规范》（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况

1、任务来源

烟台熙盛环保科技有限公司在高压水射流清洗作业采用了机械化的清洗技术，在工作的实践中，发现机械化高压水射流清洗作业相较于 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》，需要关注到更多的作业安全要求，将现有的应用经验进行总结归纳，经烟台熙盛环保科技有限公司组织专家研讨，形成了标准建议书，并报中国工业清洗协会标准化技术委员会。

2、标准编写工作过程

本标准于 2023 年 10 月开始着手资料收集、施工技术总结、现场试验研究和验证等工作，2023 年 12 月完成文件的架构搭建，2023 年 12 月完成初稿的编制并通过标准立项的会议答辩，获得立项批准。

2024 年初，相关研究成果进一步成熟，根据主要起草单位的建议，启动标准的编制工作。

2024 年 4 月，形成了标准草案第一稿，并重新在起草单位施工现场进行梳理和实践检验。

2024 年 5 月，经起草组讨论，形成了标准草案。

2024 年 7 月，经起草组讨论，形成了标准工作组讨论稿。

2024 年 8 月，由中国工业清洗协会组织线下专家评审会，会上对工作组讨论稿进行了逐字逐句的讨论，汇总了 21 条主要意见。

2024 年 8 月-2025 年 3 月，针对协会标委会秘书处反馈的专家意见，起草组对标准进行修改，经过反复多轮讨论，形成标准征求意见稿（现稿）及编制说明。

3、主要参加单位和工作组成员及其所做的工作等

本标准在协会标委会秘书处的协调下，召开了标准编制启动会，中国工业清洗协会、烟台熙盛环保科技有限公司、北京焦阳清洗工作室、北京蓝星清洗有限公司、上海水威环境技术股份有限公司、广州凌杰流体科技有限公司、山东泰丰清洗科技有限公司组成标准起草组。

二、标准编制原则和主要内容

1、标准编制的工作原则和依据

本标准将在充分总结、吸收国内列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业安全要求的基础上，结合 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》的要求，在总结常规清洗作业和高处清洗作业安全的基础上，编制完成文件的内容大纲、章节、分支条目，组织人员编制完成文件的各项内容，形成标准文件。

本标准包含列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的清洗设备分类及

安全要求、清洗作业队、作业前的准备、作业实施等内容，为列管式换热器机械化高压水射流清洗作业提供作业过程中的安全注意事项以及与安全有关的操作要求。

本标准以 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》为基础，在术语和定义、清洗作业队、培训、可能的伤害形式、清洗过程安全要求上部分参考和引用了 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》的相关内容，并结合列管换热器管束机械化清洗作业的特殊性，给出了适应机械化清洗作业的安全相关要求：

1) 适用范围：设备类型：仅针对列管式换热器，不适用于板式、螺旋板式等其他类型换热器，聚焦机械化清洗，涵盖自动与半自动两种操作模式，而 GB/T 26148—2010 未明确机械化设备的分类。

2) 规范性引用文件：在引用 GB/T 26148—2010 的基础上，新增电气安全、高处作业、防爆要求以适应机械化作业需求。

3) 术语和定义：新增 7 项术语，补充 GB/T 26148—2010 未涵盖的机械化作业核心概念。

4) 设备分类：明确将清洗设备分为自动机械化清洗设备和半自动机械化清洗设备（含固定式、行走式）。

5) 安全参数：细化电气安全指标（绝缘电阻 $\geq 5 \times 10^5 \Omega$ ，接地电阻 $\leq 10 \Omega$ ）、外壳防护等级（IPX6）的具体技术参数。新增防爆安全条款。

6) 人员配置：明确作业队至少需 3 人（队长、安全员、机械操作者），较 GB/T 26148—2010 的通用要求更具体。

7) 培训内容：新增机械化设备操作、程序化控制、偏置调整、设备的故障排除和检查维护等专项培训，针对机械化清洗较 GB/T 26148—2010 可能造成的其他危害做出安全培训要求，以及防护用品的使用相关知识。

8) 事故处理：列举 7 类事故，较之 GB/T 26148—2010 仅规定了射流伤害，增加了机械伤害、火灾爆炸、触电、化学灼伤、换热器损坏的专项处理方案。

9) 作业前的准备：作业前检查清单，附录 B 包含 23 项检查内容，其中 9 项（3、6、7、14、18、19、20、21、23）为新增机械化作业专项要求。

10) 作业实施：新增设备调试步骤（如偏置校准、孔间距设定），要求需试车后方可正式运行。高处作业规定脚手架搭设需符合 GB 55023，并增加污水导流措施（铺设塑料薄膜），较 GB/T 26148—2010 更注重环境保护。

2、标准结构框架

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，根据标准起草组对列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业实际经验的总结和梳理，按照列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的实际过程，本标准共设 7 章：

- (1) 范围
- (2) 规范性引用文件
- (3) 术语和定义
- (4) 清洗设备分类及安全要求
- (5) 清洗作业队
- (6) 作业前的准备
- (7) 作业实施

3、标准适用范围

为便于本标准的推荐使用,根据本标准中列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的特点,给出了如下的适用范围:“本标准规定了列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的清洗设备分类及安全要求、清洗作业队、作业前的准备、作业实施。本标准适用于列管换热器管束内部高压水射流的机械化清洗作业。”

其中,标准的作业实施又细分为“一般作业”“高处作业”2个作业方式,“一般作业”又细分为“清洗设备搬运”“清洗设备安装”“喷嘴配件检查”“设备调试”“试车运行”“清洗作业”“作业过程中的检查”“停止作业”“清场”步骤和内容,“高处作业”给出了除一般作业外的高处作业技术、脚手架的搭设、使用与拆除、检查与验收等要求,还对高处作业可能存在的污水排放造成的危害给出了预防性措施,即铺设塑料薄膜。

此外,由于列管换热器的种类较多,考虑到高压水射流清洗在作业过程中的高压水射流可能对设备的损伤,目前技术不能完全避免损伤问题,因此,本着科学谨慎的原则,标准对适用的换热器类型进行了限定,只适用于列管换热器管束的高压水射流清洗。

4、规范性引用文件

在列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业中,清洗设备及附属装置的电气安全、脚手架的使用、高处作业安全,现行的标准中已对这些要求进行了比较详细的规定,且经过了实践验证,本标准的相关作业和操作中按照协调一致原则,对相关标准进行了规范性引用:

GB/T 3608 高处作业分级

GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP 代码)

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件

GB/T 26148—2010 高压水射流清洗作业安全规范

GB 30871 危险化学品企业特殊作业安全规范

GB 55023 施工脚手架通用规范

JGJ 80 建筑施工高处作业安全技术规范

5、术语和定义

本标准的相关术语和定义按照协调一致原则,对 GB/T 3608、GB/T 26148 中进行了术语和定义的引用,此外,为便于标准的理解和执行,标准定义了 7 个术语:

(1) 自动清洗 automatic cleaning

自动机械化清洗设备安装并设定程序后,按程序自动进行清洗作业的工作方式。

(2) 自动机械化清洗设备 automated mechanized cleaning equipment
安装并设定程序后能自动完成整个清洗作业的高压水射流装置。

(3) 半自动清洗 semi automatic cleaning

半自动机械化清洗设备安装后,由机械操作者远程控制进行清洗作业的工作方式。

(4) 半自动机械化清洗设备 semi automatic mechanized cleaning equipment

安装后需要机械操作者人工对枪调试后,通过操作台控制清洗装置完成整个清洗作业的高压水射流装置。

(1) - (4) 依靠机械化设备进行高压水射流清洗，以半自动或全自动方式进行。目前应用于列管换热器管束清洗的机械化设备，主要分为半自动或自动方式两种，半自动方式为人工操作控制装置控制喷枪的启闭、运行，全自动方式为清洗流程为程序全部自动控制，操作人员在控制台进行监督，排除作业过程中的故障和意外情况。

(5) 作业人员 operation personnel

经培训和考核合格，持有相应岗位上岗证书的专职人员。

为了规范特种作业人员的安全技术培训考核工作，提高特种作业人员的安全技术水平，防止和减少伤亡事故，因此，作业人员应经培训并经考核，合格并持有相应岗位上岗证书。其中，《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》自 2010 年 7 月 1 日起施行。

(6) 偏置 bias

换热器列管的倾斜角度。

自动化设备在横向运行过程中由于换热器非标或安装原因导致水平问题产生的偏移，在自动化运行时进行调整的角度称为偏置。为排除清洗时偏置导致的高压水射流对换热器的损伤，应在清洗前调整好调整偏置参数。

(7) 孔间距 hole spacing

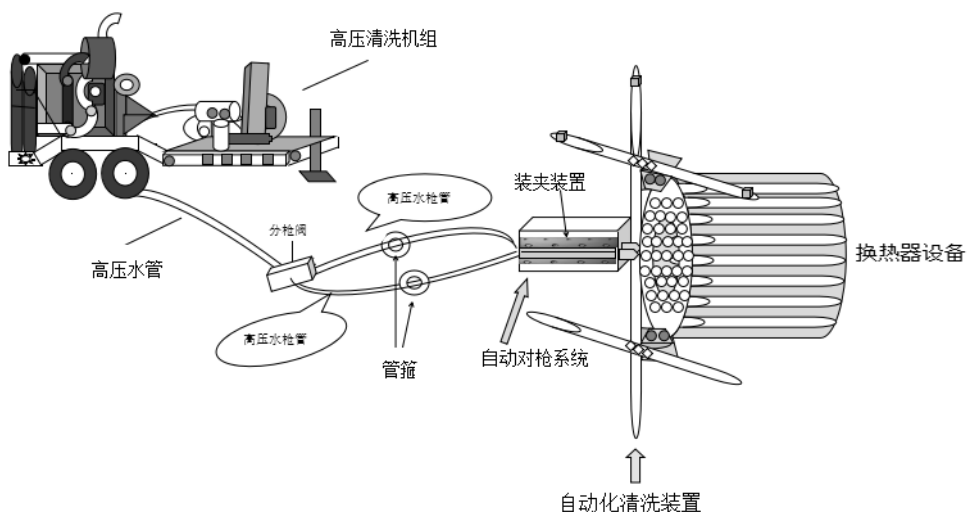
换热器列管中心点的距离，也是相邻列管间的距离。

孔间距涉及清洗设备的调试，同样考虑到作业过程中可能造成的损伤，以及设备的运行要求。

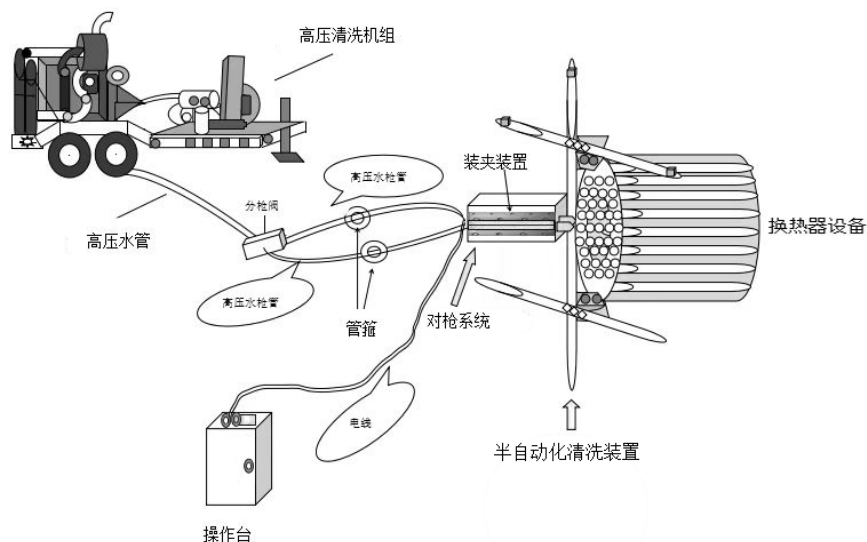
6、清洗设备分类及安全要求

清洗设备按操作方式分为自动机械化清洗设备、半自动机械化清洗设备，并根据目前清洗设备的主要组成结构给出示意图。

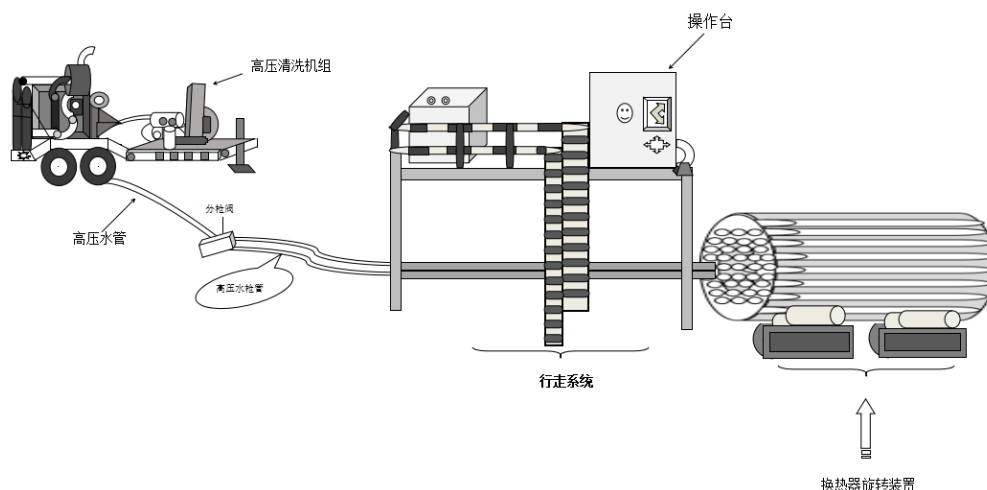
自动机械化清洗设备：



固定式半自动机械化清洗设备：



行走式半自动机械化清洗设备：



半自动机械化清洗设备的操作方式为人工操作控制装置控制喷枪的启闭、运行，全自动机械化清洗设备的操作方式为清洗流程为程序全部自动控制，操作人员在控制台进行监督，排除作业过程中的故障和意外情况。

清洗设备的安全，主要从人身安全、操控安全、外壳防护、电气安全方面规定，另外，考虑到清洗对象所处环境，如化工厂等，增加了防爆安全的规定。

7、清洗作业队

参考 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》提出，并在其基础上提出列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的特殊要求。

应持有《安全生产许可证》或《企业安全作业证书》，从作业源头控制作业安全，此外，对管理体系、作业人员的证书做出规定。

作业人员方面对清洗作业队的组成、职责分别做出规定，包括队长、安全员、机械操作者，考虑到高压水射流清洗可能的危险性，对人员的身体状况做出了规定。

培训方面，对作业人员的作业资质、可能的伤害形式、防护用品、清洗设备的运行和故障排除、清洗设备检查和维护做出培训的要求。特殊考虑了清洗设备对人的伤害、清洗设备对换热器的伤害、换热器拆卸安装过程对人的伤害、人对换热器的伤害及高处作业的可能伤害。

事故的应对与处置方面，对作业事故处理应对方法做了补充，参考 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》给出了射流伤害的处理。此外，还给出了清洗设备对换热器的伤害、换热器拆卸安装过程对人的伤害、人对换热器的伤害及高处作业的伤害出现的原因和应对方法，考虑到不同伤害形式、不同人员应对的方式不同，本着科学严谨的原则，以资料性附录的形式给出。

环境保护方面，也是从作业开始前就尽量避免污染的发生，因此在作业开始前就应明确防止污染的方法。

“机械化执行机构转动部位、枪头附近 0.5 m 内不应有人员站立”。GB/T 26148—2010 虽未明确具体距离，但要求“作业人员应远离射流危险区”。本标准通过量化 0.5 米，填补了原标准的操作性空白。该条要求的制定主要考虑以下方面：

1) 机械化执行机构的转动部位（如传动轴、齿轮、链条等）在高速运转时可能产生夹击与卷入风险、碰撞风险，对于旋转部件的安全距离通常基于人体肢体可达范围及设备运动速度综合计算。0.5 米的安全距离可有效防止操作人员在正常作业中无意触及危险区域。

2) 枪头附近的高压水射流具有直接射流冲击、反射飞溅危险，建议人员与射流作业区保持至少 0.5 米的安全距离。该距离基于射流冲击力衰减实验数据，当距离 ≥ 0.5 米时，射流能量显著降低，可减少致命伤害风险。

3) 实验与事故案例分析：在压力为 120 MPa 的射流测试中，0.5 米外水射流对模拟人体组织的穿透深度仅为 5 mm（属可控伤害），而 0.3 米内穿透深度可达 20 mm（致命风险）。国内某石化企业曾因操作人员距枪头 0.3 米站立，导致高压水射流穿透防护服造成重伤。事故后分析表明，0.5 米距离可规避此类风险。

4) 实际操作与人体工程学考量：0.5 米可兼顾操作人员正常作业时的移动需求，同时避免因紧急避让空间不足导致二次伤害。

8、作业前的准备

大致框架、内容参考 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》，其他内容的填充主要参考列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的经验总结。作业计划应明确作业场地、清洗对象和选用清洗设备、分析场地对清洗作业有无影响、作业可能带来的环境问题、作业的安全问题，并制定安全应急预案、作业程序、设备清单和作业前准备检查方案。作业工况、作业空间、点火危险、信号均应在作业前确定，最大程度地防止作业事故。在附录给出了作业开始前的检查事项，确保作业的顺利开展。

9、作业实施

参考 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》提出，并在其基础上提出列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的特殊要求

列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业分为一般作业、高处作业 2 种作业方式。高处作业在一般作业基础上开展，因此，本部分对一般作业展开进行了详细的说明。高处作业安全应符合建筑施工高处作业的规定。

一般作业对清洗设备搬运、清洗设备安装、喷嘴配件检查、设备调试、试车运行、清洗作业、作业过程中的检查、停止作业、清场做出了详细的规定，对全部清洗过程的安全、操作均做出了较为全面的规定，且内容为实际作业经验总结得来，可操作性强。

半自动清洗作业中，要求“清洗作业过程中操作者应离清洗设备 1.5 m 以上”。该条要求与“机械化执行机构转动部位、枪头附近 0.5 m 内不应有人员站立”不

冲突,半自动采用遥控方式进行,该距离确保操作人员能清晰观察设备运行状态,并在紧急情况下迅速控制设备或撤离。1.5 m 为作业中的实际操作要求,在各清洗项目中采用 1.5 m 的安全距离未发生人身安全事故。

10、附录的说明与应用

附录 A（资料性附录）清洗设备结构示意图

给出了自动机械化清洗设备结构示意图、固定式半自动机械化清洗设备结构示意图和行走式半自动机械化清洗设备结构示意图。

附录 B（资料性附录）清洗作业准备操作清单

GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》中附录 B 给出了清洗作业准备操作清单,本附录在其基础上,给出列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的操作清单的特殊要求,主要区别体现在第 3、6、7、14、18、19、20、21、23 项。

附录 C（资料性附录）作业事故及处理方法

针对作业过程中可能出现的危险情形给出处理方案,危险情形包括但不限于射流伤害事故、机械伤害、高空坠落、砸伤事故、火灾爆炸事故、触电事故、化学灼伤事故以及被清洗换热器操作损坏。其内容为作业前的安全应急预案的经验总结,供作业单位进行参考。

三、相关试验方法的确定及验证过程

本标准无试验方法,所有内容均根据 GB/T 26148—2010《高压水射流清洗作业安全规范》和实际作业经验总结所得。本标准作业技术目前已经成熟且已在中国石油天然气股份有限公司独山子石化分公司加氢装置换热器清洗项目等多个清洗工程中使用,具备编制条件。

现场施工展示



四、标准中涉及专利情况

本标准项目不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益等情况

本标准的制定将带来显著的社会效益，全面提升列管换热器管束高压水射流机械化清洗作业的安全性、效率和环保水平。通过规范操作流程和安全管理要求，有效降低作业过程中的安全风险，减少因误操作或设备故障导致的事故，切实保障作业人员的人身安全。同时，机械化清洗技术的推广能够提高作业效率，减少停机时间，优化设备维护管理，确保换热器长期稳定运行，从而提升企业的生产连续性和经济效益。此外，标准的实施有助于减少化学清洗剂的使用，降低对环境的污染，推动行业向绿色、环保方向发展。

本标准将促进行业的规范化、专业化进程，提高从业人员的技能水平，推动企业采用更加先进的清洗技术，提升行业整体竞争力。在降低安全事故和设备损耗的同时，也能够有效降低企业的运营成本，提升能源利用效率，最终实现安全、环保、经济效益的多重提升。

本标准的编制完成和实施将会提高列管换热器管束机械化高压水射流清洗水平；提升我国在机械化高压水射流清洗领域的技术地位。

六、采用国际标准和国外先进标准情况

本标准没有采用国际标准。

本标准制定过程中未查到同类国际、国外标准。

本标准水平为国内先进水平。

七、在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准是统一的，协调一致的。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准编制过程中无重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

建议本标准为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准是新制定的标准，目前没有相应的国家标准或行业标准。

本标准颁布后，为推进列管换热器管的机械化高压水射流清洗，还需要标准起草组、中国工业清洗协会在行业内进行标准宣贯，提供操作视频及讲解，建议进行现场施工指导培训。

因此，希望本标准能尽快颁布与实施。并希望在应用中提出宝贵的意见。

十一、废止现行相关标准的建议

无。

十二、其他应予说明的事项

无。