

Physical Cleaning Technology
and Application Examples

物理清洗 技术及应用实例

郭 健 等编著



化学工业出版社

Physical Cleaning Technology
and Application Examples

物理清洗 技术及应用实例

郭健 等编著



化学工业出版社

北京

为更好地、有效地推进物理清洗技术与应用的发展,本书重点介绍了高压水射流清洗工艺技术与设备、高压水射流清洗技术在各行业的应用与实例、高压水射流切割设备管理与操作等;阐述了激光清洗技术;爆炸与爆破清洗技术;超声波清洗技术;清管器清洗技术;物理清洗技术及应用领域实例。

本书可供所有从事物理清洗工作的人员阅读,也可作为物理清洗技术研究、生产以及使用物理清洗技术的企事业单位工程技术人员、管理人员使用,可作为大专院校学生及其他相关专业的工程技术人员参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

物理清洗技术及应用实例/郭健等编著. —北京:化学工业出版社, 2017. 8
ISBN 978-7-122-30174-1

I. ①物… II. ①郭… III. ①物理处理-清洗技术
IV. ①TB4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 165376 号

责任编辑:夏叶清
责任校对:边涛

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市瞰发装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张10 1/4 字数180千字 2017年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

工业物理清洗行业作为新兴的工业服务领域，伴随我国国民经济的发展而不断壮大，在节能降耗、安全稳产、提高产品质量、提高生产效率、降低环境污染、减少污染物排放，以及保持设备外表美观和提高人类的卫生健康水平等方面发挥了重要作用。

物理清洗是专业清洗的一种方法，是从材料表面除去污垢的物理方法。物理清洗方式具有如下共同点：高效、无腐蚀、安全、环保，因此对物理清洗的研究越来越受到人们的重视。发达国家中现在大部分的清洗工程都采用物理清洗方式。同时，物理清洗技术广泛用于石油领域、食品领域、冶金领域、城市管理、汽车、航空、船舶、水泥等众多领域。物理清洗法在这些行业中也产生着丰厚的经济效益。

2015年，我国工业清洗与服务的产值超过200多亿元人民币，占全球工业清洗与服务的市场的18.2%左右。全国从事工业清洗与服务的科研院所、高等院校近100多家，工业清洗与服务的生产企业达900余家，工程公司超过300多家，已初步建立了较完整的新兴的工业服务领域创新链和产业链。

本书为更好地、有效地推进物理清洗技术与应用的发展，重点介绍了高压水射流清洗工艺与设备、高压水射流清洗技术在各行业的应用与实例、高压水射流切割设备管理与操作等，阐述了①激光清洗技术；②爆炸与爆破清洗技术；③超声波清洗技术；④清管器清洗技术；⑤物理清洗技术及应用领域实例。

本书可供所有从事物理清洗工作的人员阅读，也可作为物理清洗技术研究、生产以及使用物理清洗技术的企事业单位工程技术人员、管理人员使用，是相关大专院校师生及其他相关专业的工程技术人员的参考资料。

本书编写过程中，参考了一些国内外有关文献，陈羽、高洋、王瑜、朱美玲、高新、童凌峰、王月春、耿鑫、王辰、韩文彬、方芳、黄雪艳、杨经伟、周雯、耿鑫、董

桂霞、杜高翔、丰云、王素丽、王瑜、王月春、荣谦、范立红、韩文彬、周国栋、陈小磊、安凤英、来金梅、王秀凤、周木生、沈永淦、吴宝兴、刘正耀、李力、付扬、梁仕宝、冯路、刘晖等同志为本书的资料收集和编写付出了大量精力，在此一并致谢！

由于编者水平所限，书中不足之处恐在所难免，敬请各位专家、读者赐教为盼。

编著者
2017年3月

目录

CONTENTS

第一章 高压水射流清洗技术

1

第一节	概述	1
	一、高压水射流清洗的原理	1
	二、高压清洗机的组成及分类	1
	三、高压水射流主要优势	2
	四、清洗范围	3
第二节	高压水射流清洗工艺、技术与设备	3
	一、高压水射流清洗工艺、技术	3
	二、高压水射流清洗泵的基本部件与设备	4
	三、高压水射流清洗参数的选择与分析	5
第三节	在石油石化行业中的应用	7
	一、脉冲射流清洗	7
	二、空化射流清洗	8
	三、磨料射流清洗	8
	四、带电气溶性射流清洗	9
	五、射流与机械刀具联合清洗	9
	六、射流清洗推荐参数	9
第四节	高压水枪在城市环卫保洁中的重要作用	10
	一、高压清洗机及高压水射枪	10
	二、地面油污的清理	10
	三、城市牛皮癣的清理	10
	四、城市环卫保洁辅助产品	10
第五节	管道自进式高压水射流清洗技术	11

一、自进式高压水射流清洗技术	11
二、自进式高压水射流清洗机构	12
三、高压水射流工艺参数	12
四、自进式高压水射流清洗的应用	13
五、安全措施	13
六、自进式高压水射流管道清洗技术评价	13
第六节 高压水射流清洗技术在重点工程中的应用	13
一、高压水射流清洗技术的优点	14
二、清洗大型罐的旋转喷射清洗技术	15
三、冷热水高压水清洗机的使用	15
第七节 高压水射流清洗设备管理与操作	16
一、高压水射流清洗设备维护	16
二、高压水射流清洗的操作安全规程	16
三、高压清洗机作业时的防护工作	17

第二章 激光清洗技术

19

第一节 概述	19
一、激光清洗本质	19
二、激光清洗原理	20
三、激光清洗技术特点	21
四、激光清洗分类	22
第二节 激光清洗的方法与优点	22
一、激光清洗的方法	23
二、激光表面清洗的优点	23
第三节 激光清洗设备与装置	24
一、激光清洗机分类	24
二、激光清洗装置	24
三、激光器的选择	25
第四节 激光清洗技术在文物保护领域的应用	25
一、激光在文物清洗与保护方面的意义	25
二、激光清洗技术的应用	26
三、石质文物的激光清洗与保护	26

第五节	粘接前碳纤维增强复合材料(CFRP)的准分子激光清洁	27
一、	黏结剂连接	27
二、	激光表面处理	28
三、	准分子激光器	29
四、	准分子激光器清洁 CFRP	30
五、	准分子激光测试结果	31
第六节	激光食品生产使用的烤盘清洗应用	32
一、	烤盘表面清洗	32
二、	应用特征	32
三、	经典应用	32
第七节	激光清洗的应用实例	33
一、	模具的清洗	33
二、	武器装备的清洗	34
三、	飞机旧漆的清除	34
四、	楼宇外墙的清洗	34
五、	电子工业中的清洗	34
六、	精密机械工业中的精确去脂清洗	34
七、	核电站反应堆内管道清洗	35

第三章 爆破清洗技术

36

第一节	炸药爆炸清洗技术	36
一、	炸药爆炸功(explorative energy)	36
二、	炸药的爆炸作用	36
三、	爆炸材料	37
第二节	精细爆破清洗技术	38
一、	精细爆破清洗的概念	38
二、	精细爆破清洗的含义	38
三、	精细爆破清洗体系的组成	39
第三节	空气爆破清洗技术	41
一、	空气爆破清洗技术的特点	41
二、	空气爆破清洗技术的工作原理	41
三、	空气爆破清洗使用的设备	42

四、微气泡爆破技术	46
-----------------	----

第四章 超声波清洗技术

48

第一节 超声波清洗基础	48
一、概述	48
二、超声波的组成及简单的工作原理	48
三、超声波清洗换能器及发生器工作原理	50
四、超声波清洗机换能器频率、功率及清洗剂的选择	57
第二节 超声波清洗技术与质量问题	59
一、概况	59
二、超声波清洗的技术特点	59
三、超声波工业清洗技术分类	60
四、超声波清洗器选择、使用与技术质量问题	61
五、超声波清洗应注意的技术问题	64
六、超声波清洗机与超声波清洗技术举例	65
第三节 超声波清洗设备与装置及清洗剂	67
一、超声波清洗设备与装置	68
二、超声波辅助装置	68
三、超声波清洗装置结构功能简介及安装方法	69
四、典型的超声波清洗机	70
五、典型的超声波清洗剂	74
第四节 超声波的清洗作用	77
一、概述	77
二、超声波发生器的种类与核心功能	77
三、超声波发生器发展的几个阶段	78
四、超声波在媒液中的传播	79
五、超声波的清洗原理	79
六、超声波实际完成清洗工作的作用过程	80
第五节 超声波的清洗应用	81
一、概述	81
二、超声波清洗机在换热器除垢的实际应用与优点	82
三、超声波清洗技术应用实例及清洗剂的选择	83

四、超声波清洗的重要性	85
五、超声波清洗设备的发展	85
六、超声波清洗特点与主要参数	87
七、超声波清洗在电子行业的应用	88
八、超声波清洗在电镀前处理的应用实例	89
九、超声波清洗在机械行业的应用实例	90
十、超声波清洗在机电行业中的应用	94
十一、超声波清洗在表面处理行业的应用	94
十二、超声波清洗技术在磷化处理中的应用	95

第五章 清管器清洗技术 96

第一节 清管器清洗	96
一、清管器 (PIG) 的定义	96
二、清管器的作用	96
三、清管器的工作	97
四、清管器的类型和优点	97
五、清管器的分类及其用途	98
六、清管器清洗的特点	99
第二节 PIG 系统与检测设备	100
一、PIG 清洗系统的组成	100
二、清管器的工作设备与检测设备	101
第三节 PIG 清洗的原理及运行过程与清洗操作步骤	103
一、清管器清洗的原理	103
二、清管器的运行过程	103
三、PIG 清洗工艺过程与操作步骤	104
第四节 PIG 清洗方案与注意事项	105
一、PIG 清洗方案编制要点	105
二、管路清洗方案实例	106
三、制订管道清洗方案及注意事项	107
第五节 海绵橡胶球清管技术应用及实例	109
一、概述	109
二、海绵橡胶球清管器的应用及其特点	110

三、海绵橡胶球清管作业的基本操作要领和程序	110
四、海绵橡胶球清管器的接收	111
五、海绵橡胶球清管器常见的问题	111
六、海绵橡胶球清管器应用总结	111
七、汽轮机胶球清洗装置	112

第六章 物理清洗技术设计及应用领域典型实例 115

第一节 高压水射流清洗技术设计	115
一、高压清洗机在清洗作业前的技术参数确定	115
二、高压水射流油管清洗喷头旋转动密封设计	116
三、油管清洗专用高压水射流清洗喷头阻尼机构设计	117
四、高压水射流凝汽器铜管刮削式清洗塞的设计	117
五、高压清洗机清洗过程中需注意的五个主要参数	118
六、高压清洗机之高压胶管的理论计算分析	120
七、高压清洗机管路总水头损失 ΣH 的计算方法	121
八、远程自动控制调压溢流阀的控制设计	123
九、高压清洗机的作业参数选取	125
十、高压清洗机主要部件之高压管的选用分析	126
十一、高压水射流管式空气预热器清洗方案——射流作用力 与射流直径参数计算	128
十二、高压清洗机清洗机理分析之最大清洗宽度的计算	129
第二节 工业清洗设备在食品行业清洗应用分析	130
一、清洁设备在食品机械行业的应用分析	130
二、设备清洗法与清洁设备工艺的需求应用分析	131
三、食品发酵罐的清洗	132
第三节 汽车空调系统清洁与清洗应用的典型实例	133
一、汽车空调清洗	133
二、汽车空调蒸发器清洗剂操作方法	134
三、汽车空调蒸发器清洗详细步骤与注意事项	134
第四节 高压水射流技术在炼油化工设备清洗中应用的典型实例	136
一、在 COW 原油储罐清洗中用物理清洗方法	136
二、高压清洗机的清洗参数优选	138

	三、炼油化工设备清洗中的问题	138
第五节	高压清洗机在管道疏通清理中应用的典型实例	139
	一、概述	139
	二、高压清洗疏通管道优点	140
	三、高压清洗机清洗的主要对象	140
	四、管道清洗装置的空蚀射流清洗技术	141
	五、管道堵塞的原因分析与解决堵塞问题的方法	142
第六节	高压清洗机对油罐车及储油罐的应用及典型实例	142
	一、高压清洗机清洗装置	143
	二、储油罐清洗除锈方法	143
	三、蒸汽射流清洗罐车	144
第七节	其他应用领域中的清洗方案与工艺流程及典型实例	145
	一、换热器的高压水清洗及典型实例	145
	二、高压水射流清洗机在水井管修复中的应用的典型实例	146
	三、电厂输灰管道清洗方案及工艺流程	147
	四、高压清洗机清理注塑螺杆的工艺装置和清理工艺的 典型实例	148
	五、高压清洗机设备的选配和选型要求	149

第一章

高压水射流清洗技术

高压水射流清洗是目前国际上占绝对优势的一项清洗技术。随着现代社会对清洗行业提出的效率、洁净率及环保要求的不断提高，高压水射流清洗技术的普及应用是必然趋势，在石油、化工、天然气、电力、市政等领域已经开始取代化学清洗。

第一节 概述

一、高压水射流清洗的原理

高压水射流清洗是使用高压泵打出高压水，并经过一定管路到达喷嘴，再把高压、低流速的水转换为低压高流速的射流，然后射流以其很高的冲击动能，连续不断地作用在被清洗表面，从而使垢物脱落，最终实现清洗目的。凡是水流能直射到的部位，不管是管道和容器内腔，还是设备表面，也不管是坚硬结垢物，还是结实的堵塞物，皆可使其迅即脱离母体，彻底清洗干净，此种清洗方法对设备材质、特性、形状及垢物种类均无特殊需求，只需能够直射，故其应用十分广泛。

一般低压水通过高压清洗机加压形成高压水，再经过增压的高压管传输到高压管末端的特定旋转喷头。一般选用防爆高压清洗机，这种高压清洗机的最大特点是防爆，地下油库、运输油罐都属于高防爆等级的地方，不允许明火，一旦产生火花进而可能导致火灾甚至爆炸。

二、高压清洗机的组成及分类

高压清洗机主要是由增压泵和动力驱动两部分组成，水流增压泵动力装置是高压柱塞泵，用以产生高压水。目前市面上的高压清洗机可分为冷水高压清洗机、热

水高压清洗机、电机驱动高压清洗机、汽油机驱动高压清洗机等。一般主要视清洗机的压力大小来选择。

(1) 从高压清洗机的出水温度来分, 高压清洗机分为冷水清洗机和热水清洗机两大类。两者的区别在于热水清洗机里加了一个加热装置, 一般会利用燃烧缸余热把水加热。热水清洗能迅速冲洗净冷水清洗过程中不容易冲洗掉的污垢和油渍, 令清洁效率得到大幅度提高。

(2) 从用途来分, 有家用、商用和工业用三种类型。家用高压清洗机, 一般流量、压力和寿命比较低一些, 但具有携带轻便、操作简单、移动灵活等特点。而商用高压清洗机相对于家用的清洗机而言, 对参数的要求更高, 且使用次数频繁, 使用时间长, 寿命比较长, 但次于工业清洗机。工业用的高压清洗机, 除了高配置高性能的要求外, 往往还会有一些特殊要求, 例如水切割等特殊要求。

(3) 按驱动引擎来分, 有电机驱动高压清洗机、汽油机驱动高压清洗机和柴油机驱动清洗机三大类。这三种清洗机都配有高压泵, 不同的是高压泵运行的驱动机不同, 分别采用的是电机、汽油机或柴油机。汽油机驱动和柴油机驱动清洗机的优点, 是这两种驱动的高压清洗机是不需要电源的, 适合于野外作业。

三、高压水射流主要优势

与化学清洗相比, 高压水射流清洗技术具有如下优点。

(1) 清洗质量好。高压水射流清洗管道及热交换器内孔时, 能将管内的结垢物和堵塞物全部剔除干净。具有巨大的能量且以超音速运动的高压水射流, 完全能够破坏坚硬结垢物和堵塞物, 但对金属没有任何破坏作用。同时又由于高压水的压力小于金属或钢筋混凝土的抗压强度等级, 高压水射流清洗不会损伤被清洗基体。

(2) 清洗速率快。由于水射流的冲刷、楔劈、剪切、磨削等复合破碎作用, 可迅速将结垢物打碎脱落, 比传统的化学方法、喷砂抛丸方法、简单机械及手工方法清洗速率快几倍到十几倍。采用高压水射流清洗后的部件, 无需进行二次洁净处理; 而化学清洗后, 则需用清水将表面的化学药剂清洗掉。

(3) 无环境污染。由于高压水射流清洗是以清水为介质, 因而水射流清洗不像喷砂抛丸及简单的机械清洗那样产生大量粉尘, 污染大气环境, 损害人体健康; 也不像有些化学清洗那样, 产生大量废液污染河道、土质和水质。以清水为介质的水射流, 无臭、无味、无毒, 喷出的射流雾化后, 还可降低作业区的空气粉尘浓度, 降低到国家规定的安全标准以下, 因此不会造成任何污染。此外, 高压水射流清洗液的回收在技术上也相对容易实现。

(4) 适用范围广。高压水射流清洗能清洗形状和结构复杂的零部件,能在空间狭窄复杂和操作环境较差的条件下进行清洗,对设备材质、特性、形状及垢物种类均无特殊要求,只要求能够直射,故其应用十分广泛。

(5) 易于机械化、自动化。

(6) 节能、省水、清洗成本低。

四、清洗范围

(1) 各类规格的上下水管道、工业用水管道、工矿企业及居民区排污管道、排水渣管、雨水管、煤气管道、烟道、输油管道及两相流输送管道的堵塞物;

(2) 各种热交换器、冷凝器、空气预热器、制冷机、复水器、除尘器、蒸发罐、反应釜、加热装置等结垢物;

(3) 各类锅炉、罐体、容器的水垢、盐垢、碱垢及物料;

(4) 暖气系统、空调设备的水垢(需特殊处理);

(5) 各种大型楼房、建筑物及设备内外表面的附着物。

第二节 高压水射流清洗工艺、技术与设备

一、高压水射流清洗工艺、技术

高压水射流清洗工艺、技术是一项新型清洗技术,该技术具有高效、节能、无污染、无腐蚀,设备通用性强,清洗成本低等特点。

高压水射流技术指利用高压水泵产生高压水,通过相应的管路后在出口喷嘴处将压力变为高度聚集的各种形状的高速高能水流,实现清洗、切割或破碎等工艺的技术。这项技术,从20世纪80~90年代开始在我国的一些特殊行业中应用并得到快速普及。作为一种物理清洗方法,高压水射流技术在清洗过程中的应用日益得到重视,不论从技术研发、设备制造还是应用范围的拓展,都在飞速发展之中。高压水射流清洗在我国的清洗行业中占比已超过10%,在国外清洗行业中的应用要远高于这个比例,并且正在呈迅速增长的态势。

高压水射流技术在清洗行业的广泛应用,和它本身固有的特点是分不开的。同时也和国家相关的产业政策息息相关。实践证明,和化学清洗相比,高压水射流清洗具有很多优点,但也有它的缺陷,那就是对不规则形状的被清洗物容易有死角,对软质污垢的洗滌效果稍差,清洗过程有大量的污水产生,混有污垢的污水不易回

收, 会给污水处理增加负担, 高压或超高压的设备购置和维护保养都需要较高的费用, 使用不当还可能造成伤人、伤设备的安全事故。

水射流设备在工业应用中通常按压力大小分类: 低压 0.5~35MPa, 中压 35~140MPa, 高压 140~420MPa, 超高压 400MPa 以上的。国内市场上生产销售的高压水设备厂家很多, 质量也是良莠不齐。但总的来说, 低压的水射流设备技术要求不高, 国产的比较多。中压水射流设备国产的有, 但基本都是从国外进口主要部件国内组装, 有一部分直接从国外进口的。高压和超高压水射流设备基本都是国外垄断的。罐箱清洗一般常用的水射流设备都集中在低压部分, 很少有使用中压以上的。

任何事物都具有两面性, 高压水射流在给清洗带来便利的同时, 也带来一些新的问题, 主要是安全方面的。水射流造成的安全问题包括: 射流直接射击人体, 对人体造成伤害; 射流喷溅到人体, 对人体脆弱部位造成伤害; 过高的压力, 会对被清洗物造成破坏性伤害; 射流会将清洗物上附着的不牢固的部件撞飞, 伤害到人; 在清洗时形成的静电可能引燃被清洗物内易燃的气体; 在密闭的容器内, 高压水雾会稀释氧气, 造成工作人员的窒息; 电机漏电等。这些问题, 都可以通过加强工作现场管理, 做好人员的培训等来解决。

二、高压水射流清洗泵的基本部件与设备

主要的高压清洗泵是一种高效、高压、节能的清洗设备, 用于化工厂、热电厂、糖厂、造纸厂等行业热交换器或反应釜和各种管道的清污, 也可用于铸件清砂, 各种车辆、飞机、轮船、屠宰场等清洗, 通过配置附件又可作水喷砂, 从而克服高压清洗泵所造成的环境污染、影响人身健康等缺点, 为环境保护工作创造了条件。

该泵配有各种喷嘴以适应各种不同用途, 并装在有四个轮子的平板车上或小艇上以适应各种不同场合的需要, 整机装在拖板车上用人力即可拖动, 车上除泵外, 还有电机, 电控箱, 滚动架和高压软管, 在防爆场合可配防爆电器设备。

高压清洗泵配件有: 高压水枪, 脚踩阀, 三维旋转喷头, 高压树脂管, 高压橡胶管, 多孔喷嘴。

高压水射流使用的介质是自来水, 它来源容易, 普遍存在。在清洗过程中, 由于能量强大, 不需加任何填充物及洗涤剂, 即可清洗干净, 故清洗成本低, 大约只有化学清洗的 1/3 左右。其次, 水射流清洗方法与消防用水炮不同, 属细射流喷射, 所用的喷嘴直径只有 0.5~2.5mm, 故耗水量少, 所用动力的功率为 37~90kW, 故属节水节能设备。

三、高压水射流清洗参数的选择与分析

随着高压水射流清洗的应用领域日益广泛，如何提高射流清洗能力成了提高清洗效率，增大射流清洗应用的关键。具体地说就是如何选择合理的水射流清洗参数和研制新型高效的清洗水射流构件。

高压水射流的清洗参数包括压力和流量、高压胶管管径与长度、喷嘴的形状和尺寸以及横移速率、靶距和射流冲击角等，合理选择这些参数以及优化它们的组合是提高水射流清洗效率，降低能耗的重要手段之一。

(1) 压力和流量的选择

泵压的大小对清洗效果有着直接影响，它主要与附着层能否被有效破坏有关。压力小了不能将附着层去掉，压力大了就可能破坏基体，而且也使能量损耗加大。因此要根据被清洗附着层及其黏附强度进行综合考虑。附着层可分：①硬脆性附着层；②延性附着层；③黏弹性附着层。附着层的黏附方式：①机械黏附，黏附强度低；②特殊黏附（范德华力），黏附强度中等；③化学黏附（离解力），黏附强度非常大。射流清洗一般主要应用于机械黏附和特殊黏附的附着层，很少用于化学黏附的附着层。

对清除基体上坚硬而脆的附着层（锈、陶瓷等无机物附着层），必须使其破裂产生裂缝。当多条裂缝扩大而交叉时，就会有碎粒剥落下来。在脆性材料中，裂缝的产生几乎不产生塑性变形，因此裂缝产生后只需较小的压力就能使其扩大，继而使附着层与基体间裂开，附着层剥落。对延性附着层（大多数塑料、各种橡胶和金属），因其产生裂缝的同时，在裂缝的尖梢要出现明显的塑性变形，这就使得裂缝扩大时所需的压力比脆性材料大，并且附着层的延性越大，所需的压力越大。对黏弹性附着层（沥青、硫化橡胶、润滑脂），因这种附着层性能近似极黏的液体，所以轻微的加载就会引起不可逆的变形，并且准静态加载足以使基体与附着层分离。因此清洗时无需多大压力。

泵流量选择的恰当与否将影响到清洗速率的快慢，从而对清洗效率产生影响。因此在选择清洗设备时，泵的压力与流量的合理选择与匹配是很重要的。对清洗一些常见对象时，所采用清洗设备的压力与流量的合理匹配见表 1-1。

表 1-1 清洗压力与流量的合理匹配

被清洗设备	压力/MPa	流量/(L/min)
机器设备的外表	35~50	70~100
大型排污管道	30~50	150~200