

# 喷射技术理论及应用



武汉大学学术丛书  
WUHAN UNIVERSITY ACADEMIC LIBRARY

陆宏圻 等●编著



全国优秀出版社  
武汉大学出版社

武汉大学学术丛书  
WUHAN UNIVERSITY ACADEMIC LIBRARY

责任编辑/李汉保 责任校对/王健 版式设计/支笛 封面设计/马重慧

ISBN 7-307-04074-3



9 787307 040748 >

定价: 80.00元

ISBN 7-307-04074-3 / TP·145

华北水利水电学院图书馆



206383395

TP6

L840



武汉大学学术丛书

# 喷射技术理论及应用

陆宏圻 等 编著



武汉大学出版社

638339

QA133/57

## 图书在版编目(CIP)数据

喷射技术理论及应用/陆宏圻等编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2004. 6  
(武汉大学学术丛书)

ISBN 7-307-04074-3

I. 喷… II. 陆…[等] III. 射流技术 IV. TP6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 095933 号

责任编辑: 李汉保      责任校对: 王 健      版式设计: 支 笛

---

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 武汉中远印务有限公司

开本: 787×1092 1/16 印张: 40.25 字数: 970 千字 插页: 3

版次: 2004 年 6 月第 1 版      2004 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04074-3/TP·145      定价: 80.00 元

---

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。



武汉大学学术丛书  
自然科学类编审委员会

- 主任委员 ▶ 刘经南
- 副主任委员 ▶ 卓仁禧 李文鑫 周创兵
- 委员 ▶ (以姓氏笔画为序)
- |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 文习山 | 石 兢 | 宁津生 | 刘经南 |
| 江建勤 | 李文鑫 | 李德仁 | 吴庆鸣 |
| 何克清 | 杨弘远 | 陈 化 | 卓仁禧 |
| 易 帆 | 周云峰 | 周创兵 | 庞代文 |
| 谈广鸣 | 蒋昌忠 | 樊明文 |     |

武汉大学学术丛书  
社会科学类编审委员会

- 主任委员 ▶ 顾海良
- 副主任委员 ▶ 胡德坤 黄 进 周茂荣
- 委员 ▶ (以姓氏笔画为序)
- |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 丁俊萍 | 马费成 | 邓大松 | 冯天瑜 |
| 江建勤 | 汪信砚 | 陈广胜 | 陈传夫 |
| 尚永亮 | 罗以澄 | 罗国祥 | 周茂荣 |
| 於可训 | 胡德坤 | 郭齐勇 | 顾海良 |
| 黄 进 | 曾令良 | 谭力文 |     |
- 秘书长 ▶ 江建勤



**陆宏圻** 1937年出生,1964年研究生毕业于武汉水利电力学院机电排灌专业。1987~1988年在美国明尼苏达大学进修,任名誉研究员。现任武汉大学学位委员会咨询委员,职称评审委员会委员,发展与规划咨询委员会委员。历任武汉水利电力大学机电排灌研究所所长,校学术委员会副主任委员,中国机械工程学会流体工程学会常务理事,喷射技术专业委员会主任委员,中国水利学会泵站工程专业委员会委员,湖北省水利学会水力机械专业委员会主任委员等职。现为武汉大学教授、博士生导师,武汉大学博士点“流体机械及工程”学科的学术带头人。在“喷射技术”的理论与应用研究及学科建设方面作出了重要贡献,取得了许多重大成果和发明创造,是我国喷射技术工程科技领域的主要开拓者之一。主持及参加国家自然科学基金项目3项,国家“七五”、“八五”、“九五”、“十五”重点科技攻关项目5项,三峡、葛洲坝及龙羊峡水利枢纽等重大工程科研设计项目4项,获发明专利3项。发表研究报告及论文90余篇,出版科技专著及教材3本,主编论文集及译著3本,参编教材及设计手册5本。其中主要研究成果《液体射流泵理论研究》、《射流泵的汽蚀机理及计算理论》先后在代表我国科学水平的刊物《中国科学》上发表。《液气两相流射流泵理论》等论文参加了“多相流体力学”、“亚洲流体机械”及“水力机械及汽蚀”等国际会议,并被收入美国EI《工程索引》,及英国的《泵文摘》等权威检索工具,受到国内外同行专家的高度评价。先后获科技成果奖20余项,其中部省级以上奖8项。

## 内 容 提 要

喷射技术是以射流泵、喷射器及喷头组成流程系统方面的技术。该项技术广泛应用于动力、机械、农业、水利、建筑、给排水及暖通、电力、交通、环保、化工、航空及航天等国民经济各行业。喷射技术的理论涉及液、气、固等多相流体的传能、传质及化学反应等过程。它是一门覆盖面大,应用范围广的学科。本书阐述了作者建立的喷射技术理论新体系,及研制的系列新型喷射技术装置等新成果,并对国内外学者的相关研究工作及发展动向,作了介绍与评述。

# 前 言

喷射技术是以射流泵、喷射器与喷头组成流程系统方面的技术。该项技术包括喷射输送、喷射切割、喷射燃烧、喷射传质与混合、喷灌、喷涂、喷射推进、喷射纺织、射流控制等工艺流程。喷射技术广泛应用于动力、机械、农业、水利、建筑、给排水及暖通、电力、交通、环保、化工、航空及航天等国民经济各行业,并开始形成高新科技产业。

本书总结了作者四十多年来的研究成果,阐述了作者建立的喷射技术理论新体系,及研制的系列新型喷射技术装置,并对国内外学者的相关研究工作及发展动向,进行了介绍与评述。

全书共 17 章。第一、二章介绍了喷射技术应用发展概况及理论基础。第三章至第十一章阐述了稳定与非稳定多相流射流泵(液—液、液—固、液—气等)喷射传质的设计理论和应用。第十二章至第十四章阐述了多相流喷射器(气—气、气—固、气—液等)的设计理论和应用。第十五章至第十六章介绍了高压水射流及脉冲喷射技术。第十七章介绍了喷射技术设备的流场数值模拟。参考文献达二百余种。本书内容丰富,理论联系实际,可供相关专业的科技工作者与高等学校师生参考使用。

1989 年作者出版了专著《射流泵技术的理论及应用》,该书出版后得到学术界、工程界的重视与好评。由于最近十多年来国内外在喷射技术的理论及应用方面又有了很大的发展,为了提高理论研究的深度与广度,加速其在我国的推广应用,作者在该书的基础上,结合近年来的研究成果,进行了全面的扩展和补充,从而撰写了本书。

参加本书撰写工作的有姚凯文副教授(第十一章 § 11.1, § 11.2, § 11.5),朱劲木副教授(第十五章与第十七章 § 17.4),龙新平副教授(第十七章 § 17.1, § 17.2, 与 § 1.2 第一章 § 1.2 与第四章 § 4.6 等)。作者指导的博士与硕士研究生参加了本书相关成果的研究工作,美国明尼苏达大学圣安东尼水力学研究所宋杰祥教授,对射流泵流场数值模拟研究给予了很大的帮助,特此表示衷心地感谢!作者在 20 世纪 60 年代的早期研究工作中,曾得到已故导师童咏春副教授的指导,在此表示深切地怀念。本书错误和不妥之处敬请读者批评指正。

陆宏圻  
2003 年 10 月

# 目 录

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一章 绪 论               | 1   |
| § 1.1 喷射技术的工作原理、分类与特点 | 1   |
| § 1.2 喷射技术的应用         | 2   |
| § 1.3 喷射技术发展概况        | 13  |
| 第二章 喷射技术的理论基础         | 16  |
| § 2.1 流体力学基本理论        | 16  |
| § 2.2 射流理论            | 30  |
| § 2.3 数值计算方法          | 42  |
| 第三章 液体射流泵概述           | 49  |
| § 3.1 液体射流泵的基本参数与相似律  | 49  |
| § 3.2 液体射流泵装置类型       | 51  |
| § 3.3 液体射流泵的构造        | 53  |
| 第四章 液体及液固射流泵设计理论      | 56  |
| § 4.1 稳定液体及液固射流泵基本方程  | 56  |
| § 4.2 脉冲液体射流泵基本方程     | 75  |
| § 4.3 射流泵温度性能方程       | 90  |
| § 4.4 射流泵全特性方程        | 93  |
| § 4.5 液体射流泵汽蚀性能       | 100 |
| § 4.6 液体射流泵的最优参数      | 118 |
| § 4.7 液体射流泵装置性能       | 133 |
| § 4.8 射流泵装置流体过渡过程     | 153 |
| § 4.9 有限空间水射流噪声       | 162 |
| 第五章 液体射流泵性能试验与理论验证    | 169 |
| § 5.1 液体射流泵试验装置       | 169 |
| § 5.2 试验仪表与误差分析       | 172 |
| § 5.3 液体射流泵基本性能试验     | 175 |
| § 5.4 汽蚀性能试验          | 188 |
| § 5.5 射流泵反常性能试验       | 190 |
| § 5.6 装置性能试验          | 193 |

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| § 5.7 复杂射流泵系统装置试验 .....          | 197        |
| § 5.8 射流泵装置过渡过程试验 .....          | 200        |
| <b>第六章 液体射流泵装置的设计与应用 .....</b>   | <b>203</b> |
| § 6.1 射流式井泵装置 .....              | 203        |
| § 6.2 射流泥浆泵装置及射流式挖泥船 .....       | 209        |
| § 6.3 水电站机组技术供水可调式射流泵装置 .....    | 215        |
| § 6.4 射油器装置 .....                | 225        |
| § 6.5 集鱼船射流泵水力系统 .....           | 232        |
| § 6.6 离子交换器再生用射流泵 .....          | 242        |
| § 6.7 离心射流超吸程泵装置 .....           | 245        |
| § 6.8 喷射混合注入装置 .....             | 253        |
| § 6.9 硝化甘油的喷射输送 .....            | 257        |
| § 6.10 航空用燃油射流泵 .....            | 263        |
| § 6.11 喷射井点系统降水 .....            | 268        |
| <b>第七章 液气射流泵的设计理论与应用 .....</b>   | <b>272</b> |
| § 7.1 液气射流泵的工作原理与分类 .....        | 272        |
| § 7.2 液气射流泵装置与结构 .....           | 275        |
| § 7.3 液气射流泵的基本参数与相似律 .....       | 277        |
| § 7.4 稳定与非稳定液气射流泵基本性能方程 .....    | 278        |
| § 7.5 液气射流泵极限状态方程 .....          | 297        |
| § 7.6 液气射流泵最优参数方程与结构 .....       | 302        |
| § 7.7 液气射流泵装置设计 .....            | 310        |
| § 7.8 射流式真空泵与压缩机 .....           | 313        |
| § 7.9 水射流泵自吸装置 .....             | 315        |
| § 7.10 离心喷射真空泵装置 .....           | 318        |
| <b>第八章 液气射流泵的试验与理论验证 .....</b>   | <b>327</b> |
| § 8.1 液气射流泵试验装置 .....            | 327        |
| § 8.2 试验仪表与方法 .....              | 329        |
| § 8.3 液气射流泵设计理论的验证 .....         | 333        |
| <b>第九章 液气—液射流泵的设计理论与应用 .....</b> | <b>354</b> |
| § 9.1 液气—液射流泵的工作原理与装置 .....      | 354        |
| § 9.2 液气—液射流泵的性能理论 .....         | 355        |
| § 9.3 液气—液射流泵装置的试验与应用 .....      | 361        |
| § 9.4 射流曝气污水处理技术 .....           | 363        |
| § 9.5 射流曝气除铁 .....               | 367        |

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| § 9.6 喷射脱硫装置 .....                 | 369        |
| § 9.7 鱼塘及活鱼车射流增氧装置 .....           | 372        |
| <b>第十章 液—液气射流泵的设计理论 .....</b>      | <b>377</b> |
| § 10.1 液—液气射流泵的工作原理与装置 .....       | 377        |
| § 10.2 液—液气射流泵基本性能方程 .....         | 378        |
| § 10.3 液—液气射流泵极限性能方程 .....         | 386        |
| § 10.4 液—液气射流泵的试验与理论验证 .....       | 388        |
| § 10.5 深井采油液—液气射流泵 .....           | 393        |
| <b>第十一章 喷射传质和混合装置设计理论及应用 .....</b> | <b>398</b> |
| § 11.1 喷射传质机理与发展概况 .....           | 398        |
| § 11.2 喷射传质理论 .....                | 401        |
| § 11.3 液气喷射吸收装置的设计理论与试验 .....      | 409        |
| § 11.4 新型水喷射制冷装置的设计理论与试验 .....     | 424        |
| § 11.5 新型喷射除氧装置的设计理论与试验 .....      | 430        |
| § 11.6 喷射混合装置的设计理论与试验 .....        | 440        |
| <b>第十二章 气体喷射器的设计理论与应用 .....</b>    | <b>458</b> |
| § 12.1 气体喷射器设计理论概述 .....           | 458        |
| § 12.2 大气喷射器 .....                 | 465        |
| § 12.3 燃气射流自吸装置 .....              | 468        |
| § 12.4 新型可调脱碳喷射器的设计与应用 .....       | 473        |
| § 12.5 蒸汽喷射器及其在制冷中的应用 .....        | 479        |
| <b>第十三章 气固喷射器的设计理论与应用 .....</b>    | <b>486</b> |
| § 13.1 概述 .....                    | 486        |
| § 13.2 气固喷射器的设计理论 .....            | 487        |
| <b>第十四章 气液喷射器的设计理论与应用 .....</b>    | <b>491</b> |
| § 14.1 概述 .....                    | 491        |
| § 14.2 气液两相流喷射器的设计理论 .....         | 493        |
| § 14.3 蒸气喷射热水供暖系统 .....            | 494        |
| § 14.4 气液雾化喷射器 .....               | 502        |
| <b>第十五章 高压水射流技术 .....</b>          | <b>504</b> |
| § 15.1 概述 .....                    | 504        |
| § 15.2 气穴高压水射流装置的设计理论与试验 .....     | 509        |
| § 15.3 磨料高压水射流装置的设计理论与试验 .....     | 513        |

---

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 第十六章 脉冲喷射技术                    | 524 |
| § 16.1 概述                      | 524 |
| § 16.2 脉冲喷射装置的设计理论             | 527 |
| § 16.3 脉冲喷射装置的设计方法             | 542 |
| § 16.4 脉冲喷射装置试验                | 545 |
| § 16.5 脉冲喷射装置设计理论的验证           | 554 |
| 第十七章 喷射技术设备流场的数值模拟             | 558 |
| § 17.1 喷射技术设备流场的计算理论与方法        | 558 |
| § 17.2 单相液体射流泵流场的数值模拟          | 562 |
| § 17.3 液气两相射流泵的数值模拟            | 571 |
| § 17.4 液—固两相射流泵流场的数值模拟         | 587 |
| § 17.5 弱可压缩流体理论在喷射技术设备流场计算中的应用 | 596 |
| 附录一                            | 617 |
| 附录二                            | 619 |
| 参考文献                           | 620 |

# 第一章 绪 论

## § 1.1 喷射技术的工作原理、分类与特点

### 一、工作原理

喷射技术是以射流泵、喷射器和喷头为主体组成的各种喷射装置及流程系统方面的技术。喷射技术包括:流体(液体、气体及散状固体)的喷射输送、喷射燃烧、喷射传质、喷灌、喷注、喷涂、喷射切割、喷射推进、喷射纺织、射流控制等装置及工艺流程。喷射技术的理论涉及液、气、固等多相流体的传能传质及化学反应等过程。它与多门学科交叉,是一门覆盖面大,应用范围广的学科。

“喷射”是一定压力的流体通过喷嘴及孔板等,以一定速度射出并引射(卷吸)周围流体的流动现象。喷射技术的主要部件:射流泵、喷射器及喷头等就是根据这一喷射原理设计制成的。随着近代流体力学、空气动力学、传热及传质学的进步,近年来喷射技术在国内外发展很快,现已普遍应用于国民经济各行业。目前我国在水利、电力、交通、化工、轻工、冶金、石油、矿山、环境保护、核工业、航空及航天等行业正在逐步推广使用,取得了很大的经济效益。

射流泵及喷射器是利用射流紊动扩散作用,进行传质传能的流体机械和混合反应设备。该装置由喷嘴、喉管、扩散管及吸入室组成,其工作原理如图 1-1-1 所示。一定压力的流体

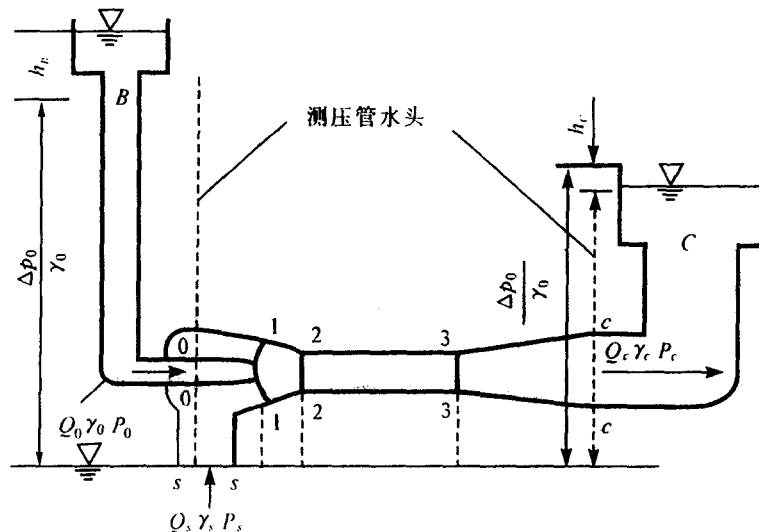


图 1-1-1 工作原理图

通过喷嘴及孔板等,以一定速度射出,在射流紊动扩散作用下,吸入(引射)低压流体,两股不同压力的流体,在混合室(喉管)内产生能量和质量交换,工作流体速度及压力减少,被吸流体速度增加,在混合室出口处两股流体的流速渐趋均匀,混合流体流经扩散管将部分动能转换为压能,增压后输出。

## 二、射流泵与喷射器的分类及特点

射流泵与喷射器的名称和种类很多,目前还没有统一的分类方法。常用的有三种方法;第一种是按工作与被吸流体的性质和物理状态分类;第二种是按工作与被吸流体混合过程的热力学特点分类;第三种是按用途与结构分类。本书将采用第一种分类方法。工作流体是液体(不可压缩流体)的称为射流泵,工作流体是气体(可压缩)的称为喷射器。根据被抽介质的物理状态,其分类如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 射流泵与喷射器分类表

| 类 别 | 介 质 状 态  |            | 名 称                   | 附 注         |
|-----|----------|------------|-----------------------|-------------|
|     | 工 作 流 体  | 被 吸 流 体    |                       |             |
| 射流泵 | 液 体      | 液 体        | 射流式水泵<br>燃油喷射泵        | 单 相         |
| 射流泵 | 液 体      | 散状固体或泥浆    | 射流泥浆泵                 | 两 相         |
| 射流泵 | 液 体<br>水 | 气 体<br>水蒸汽 | 液气射流泵(射流式真空泵<br>及压缩机) | 两 相         |
| 射流泵 | 水        | 水蒸汽        | 加热喷射泵                 | 变 相         |
| 射流泵 | 液气混合流体   | 液 体        | 液气—液射流泵               | 两 相         |
| 喷射器 | 气 体      | 气 体        | 真空及压缩喷射器              | 单相(亚音速及超音速) |
| 喷射器 | 气 体      | 散状固体       | 气力输送喷射器               | 两 相         |
| 喷射器 | 气 体      | 液 体        | 蒸汽热水喷射器               | 变 相         |

射流泵与喷射器的主要优点是结构简单,加工容易,工作可靠,安装维护方便,密封性好。主要缺点是传能效率较低,为改善射流泵与喷射器的传能及传质效率,研制了新的结构型式,如多喷嘴、可调喷嘴、脉冲式射流泵与喷射器等。由于射流泵与喷射器本身结构上的优越性,利用它可使整个工艺流程和设备大为简化,并提高工作可靠性,尤其是在高温、高压、真空、放射和水下等特殊工作条件下,采用它更显示出其独特的优越性,故该工艺逐渐发展成为一门新的学科——喷射技术。

## § 1.2 喷射技术的应用

近年来喷射技术在国内发展很快,现已普及到国民经济各行业,并发展成为新兴的高新科技产业。喷射技术按其用途可分为如下九大类:(1) 喷射输送;(2) 喷射切割、焊接及喷涂;(3) 喷射燃烧及冶炼;(4) 喷射传质、制冷及干燥;(5) 喷灌、喷洒及消防;(6) 喷射钻探及固结;(7) 喷射推进;(8) 喷射纺织;(9) 射流控制。

## 一、喷射输送

### (一) 农牧供水及井灌

射流泵适用于井径 80mm 以上,井动水位 10~150m 深井提水。若采用射流式井泵装置井面出口压能作为供水和喷灌用,它的装置效率可以达到 45%~60%,与长轴离心式深井泵装置效率接近,而重量比后者少 1/3,成本低 1/3~1/2。射流式井泵结构简单、工作可靠,可以在含沙的水井中工作,便于推广。

### (二) 鱼类输送和增氧

由于射流泵内没有运动部件,不会损伤鱼类,所以可以作为渔泵。捕鱼作业时,用它把鱼群从围堰中抽送到船上或岸上,从而提高鲜鱼的成活率。改善渔民的劳动条件,射流泵还可作为渔业养殖用的增氧机,提高养殖密度。在活鱼运输车中,可以使鱼成活率达到 95%。

### (三) 泵站工程

在下游水位变幅较大的泵站,采用离心泵与射流泵串、并联,可以增加离心泵的吸程。它降低工程造价,并提高可靠性。对水位变幅较大、扬程较低而流量较大的泵站,采用轴流泵与射流泵并联以增加泵站的流量。这种装置的单位提水成本低于单独采用离心泵或轴流泵。射流泵也可用于对离心泵抽气充水和对轴流泵虹吸式出水管抽气辅助起动,泵房排水,前池及取水口清淤等。为了解决大型泵站的单泵流量测量,目前国内采用了食盐浓度法,这种方法的关键设备之一就是射流混合注入装置。

### (四) 船闸及过鱼设备

采用射流泵充水系统,利用水库上游压力水,通过射流泵抽吸下游尾水,对船闸充水。它可以缩短充水时间、提高船闸通过能力。由于减少了水库通过船闸的下泄流量,增加了水电站的发电量。此外它还减少了船闸充水廊道的消能防冲设备,提高了设备运行的可靠性。

在河流上筑闸、坝,拦断了鱼类回游通道。为了保证鱼类的繁殖,必须建造升鱼机、鱼梯、鱼闸和集运鱼船等过鱼设备,这些设备都需要补水诱鱼。设备补水要求大流量低扬程的泵,射流泵容易满足这一要求,特别在径流水电站射流泵可以利用弃水作动力,不占用发电水能。在集运鱼船上应用离心—射流泵系统进行鱼道补水,具有设备简单、工作可靠等优点。

### (五) 灌溉和排水

在井渠结合的灌区,以井泵出口的剩余水头为动力。用射流泵来提高渠道水位,以满足高地灌溉的要求。这种装置结构简单、投资小。

在基坑排水中以上游围堰水头作为动力,利用射流泵排水,基本上不耗用电力或燃料,能连续工作,保持基坑干燥。

### (六) 水力发电站

在水电站厂房内,射流泵是一种重要的辅助设备。它用于对水轮机和发电机进行技术供水(冷却与润滑)。实践表明,它比水泵供水更为可靠和节省费用。它适用的水头范围为 50~250m,特别是对大容量的机组和电站。采用喷嘴面积可调的射流泵供水可以得到更好的经济效益。射流泵还可用于水轮机顶盖和集水井排水,对水轮机虹吸进水管抽气起动和对尾水管进行强制补气以减少机组的振动和汽蚀等。

### (七) 火力发电站

在火电站中射流泵应用于各个系统,在燃料燃烧系统作为喷射燃烧器,在锅炉给水系统

中作为增压泵,提高锅炉给水泵的吸程,以防止汽蚀发生。射流泵也可直接用蒸汽作为动力吸水向锅炉注水。在汽轮机冷凝器中抽不凝气,汽轮发电机组轴承和调节系统的供油,锅炉的排渣,水处理以及在交流加热系统中作喷射加热器等。

#### (八) 核动力工程

为了提高设备的安全性和经济性,射流泵被用于大型沸水反应堆流量再循环系统。它减少了外部冷却剂的管路、阀门和水泵,由于冷却剂回路的减少和射流泵布置在压力容器内,使反应堆地下室缩小。这样可以使一次和二次防护外壳设计得更加紧凑,而且简化了布置,使工厂建筑成本降低。由于采用射流泵再循环系统,当发生意外管路破裂事故时,可以保持冷却剂在反应堆内流动,主喷嘴对压力容器的冲蚀量降低,循环能力增大,这样提高了设备工作的可靠性。

在反应堆乏燃料的后处理工艺中,利用脉冲液体射流泵输送各种中、高放射性溶液,具有免维修,密封性好,可远距离自动控制等优点。

#### (九) 磁流体发电

磁流体发电效率高、污染少,是一项很有发展前途的发电技术,为了使高温的电离气体具有良好的导电性能,必须加入钾等金属离子。利用射流泵输送这种高温而且腐蚀性很强的钾盐溶液是很理想的。目前,一种用输送  $1600^{\circ}\text{K}$  以上熔化钾盐的伺服控制脉冲式射流泵已研制成功。它结构简单,抗腐蚀性能好,而且能远距离控制。

#### (十) 河道与海港疏浚施工

在河道与海港疏浚施工中,装有射流式泥浆泵的挖泥船目前在推广使用。它的优点是开挖深度大,最深可达一百多米,可以抽吸砾石粗沙。它与离心式泥浆泵相比,有效作业时间长。

#### (十一) 船舶上的应用

射流泵作为舱底排水泵,在船舶上已被广泛应用,因为它耐磨损,设备更换方便,可以直接排除污水和泥浆。在舰船与潜艇上,喷射器被用于冷凝器抽气和排热。

#### (十二) 石油、天然气开采与勘探

当油井压力下降不能自喷时,可以使用深井射流泵采油。它与井上高压油泵串联,采油深度可达数千米。近年来,国外的石油开采,正是由喷射泵替代活塞泵进行采油的,美国的用量已达水力活塞泵的一半。它对井深、井温、含砂及游离气体等无特殊要求,直井和斜井都能使用。它的结构简单、无运动件、工作可靠、换修方便、产量较高,虽效率较低,但仍得到发展。在我国,华北、胜利等油田已设计和研制一些采油喷射泵。

在天然气开采中,利用喷射器以高压井天然气为动力,抽取与输送低压井的天然气,经济效果非常显著。

在钻探机内射流泵与环孔钻头装在一起,将钻孔中的泥浆提升到井面,使钻机的钻探深度与速度提高了很多。

#### (十三) 给排水、供热与采暖工程

在给排水工程中,射流泵用于投药进行水净化消毒和沉淀,利用液气射流泵对水进行充氧除铁。在水力加速澄清池中它作为加速水循环用泵,也可用于给水泵站大、中型水泵启动前抽气充水。还可作为下水道排污用泵,厕所内节水型便器水气冲洗装置等。

在供热和采暖方面,射流泵用于调节室内外热力网的温度,将汽暖改为水暖,节能效果

显著。此外,该装置还被用于抽吸冷凝器集水系统积水,提高热力锅炉的供热蒸汽压力等。

#### (十四) 消防工程

用液气射流泵吸入泡沫剂和空气后再喷射,可以产生大量泡沫,达到灭火的目的,特别适用于油库消防系统。

#### (十五) 建筑施工

沉井及顶管施工采用射流泥浆泵进行开挖和输送作业,对加速沉井的下沉和顶管推进速度,实现施工机械化和自动化,改善劳动条件具有重要作用。在软地基的基础开挖施工中,采用射流泵井点系统排水来降低地下水位,具有操作灵活、排水深度大,工作可靠、成本低等优点。

#### (十六) 矿业开采

由于射流泵可以吸入空气和沙石,能直接起动,保证及时排干矿井内积水。因此它常用于矿井排水。此外利用它进行水力输送,运输各种精矿。

#### (十七) 冶金工业

真空冶炼技术在提升、循环、除气、冶炼和浇铸等工艺流程,都采用蒸汽喷射器作为主要真空装置,因为它具有效能高,排气量大,维护方便和工作可靠等优点。此外利用气体喷射器与液环真空泵串联作为高真定制氧机,可为转炉炼钢提供氧气。

#### (十八) 轻工与化工

在轻工化工行业中,用串联不同级数的喷射器及射流泵,来替代不同真空度的机械泵,用于真空干燥、升华、蒸馏、结晶、提纯、过滤、运输、浓缩、灭菌、回潮等工艺过程。它具有以下优点:(1) 能抽吸干的、湿的或有腐蚀性气液混合物,甚至带有尘粒的混合物;(2) 能产生工业操作上所需的任何真空度,产品规格可满足不同抽吸量的要求;(3) 无运动部件和密闭式的结构,因而,结构简单、操作和维修方便、噪音和腐蚀影响小;(4) 与机械真空泵相比,设备费用低,占地面积小,效率也不低。

在合成氨生产中,其原料气需要净化,脱除二氧化碳。在脱碳工艺中利用大型可调脱碳喷射器,可以大大减少外加蒸汽量,达到节能增产的目的。

#### (十九) 硝化甘油输送

喷射器是良好的乳化器,同时又可兼作输送设备。硝化甘油与惰性液体水形成乳状液时,感度大大降低。喷射输送正是利用了喷射水能使硝化甘油乳化,形成水是连续相,硝化甘油是分散相的水包油型乳状液,使硝化甘油成为微小的粒子,分散在大量的水中。据研究,硝化甘油被不少于1.5倍的水乳化后,硝化甘油液滴直径小于0.08mm的约占30%,直径为0.1~1mm的约占45%,而直径为1~1.5mm的约占25%。若油滴比更大,则使硝化甘油液滴间的距离更远。这样的分散体系,作为外相的惰性物质水来说,可以吸收硝化甘油分解时放出的能量,从而降低了硝化甘油的起爆敏感度,使之难以爆炸,保证了硝化甘油输送的安全性。

#### (二十) 航空与航天

在喷气式飞机发动机的喷管内增加喷射器,可以加大发动机的推力,供垂直起飞用。此外飞机上的燃油供输油系统已广泛采用射流泵。在火箭发动机内射流泵与高速高压的燃料泵串联,可以改善后者的吸入性能,防止汽蚀的产生,人造卫星上的空间发电装置也采用射流泵作为增压泵。