

YUSHUI SHUJIAN XIEBO FENLI
YUANLI JI YINGYONG

油水水击谐波分离 原理及应用

刘 阁 陈 彬 著



化学工业出版社

油水水击谐波分离 原理及应用

刘 阁 陈 彬 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书将水击谐波理论应用于传质分离领域来解决油水分离问题。书中综合应用水击谐波理论、传质分离技术、流体动力学以及模糊数学等方面的最新研究成果,探讨水击谐波油水分离的内在机理,建立典型系统水击谐波油水分离的综合数学模型,进行油水分离的综合模拟、水击谐波分离机理的研究;通过试验分析了油中水滴的微观运动特征,构建了科学合理的水击谐波作用下的高效油水分离的方法体系。

本书可作为高等学校开设有关油水污染处理、两相分离等专业的研究生教材,也可作为相关领域科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

油水水击谐波分离原理及应用/刘阁,陈彬著. —北京:化学工业出版社,2016.11

ISBN 978-7-122-25466-5

I. ①油… II. ①刘…②陈… III. ①油水分离-研究 IV. ①TE624.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 245703 号

责任编辑:邹宁
责任校对:吴静

文字编辑:向东
装帧设计:关飞

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)

印装:北京京华虎彩印刷有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张12½ 字数246千字 2016年7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:68.00 元

版权所有 违者必究

前言

油液在使用和存放时会不可避免地受到水分的污染，极易形成油包水型乳化液，使油液的理化性能降低，造成油液的报废，会对环境产生严重的污染。因此，对油水分离处理技术的研究具有较为重要的理论意义和实际工程应用价值。目前有多种油水分离方法，可分为物理破乳法、化学破乳法以及生物破乳法。由于这些方法都存在着一定的选择性和可靠性问题，应用方面受到一定的限制。

在化工机械、石油储运以及工程机械中，水击谐波是一种有害的现象，它是由于油液流速发生急剧变化而引起系统内压强大幅度波动的现象，属于非恒定流问题。与系统的流速、压强、油液的密度和时间有关，会导致系统强烈振动、噪声和空蚀。随着科学技术的不断发展，水击谐波的分析理论也不断得到完善和进步，应用水击谐波理论解决油水分离问题就是一种尝试。

油水分离问题涉及机械学流体传动及控制领域、化工过程的传质理论以及振动学科领域的前沿，是机械学科和化工学科的综合交叉，具有较强的学科创新性、前瞻性和广阔的应用发展前景。着眼于高效清洁的油水分离技术、主动控制技术的研究，从根本上提高用油系统的可靠性，是油水分离技术支持国民经济持续高速发展的必由之路。

有鉴于此，作者在结合研究成果的基础上撰写了本书，将水击谐波理论应用于传质分离领域来解决油水分离问题。书中综合应用水击谐波理论、传质分离技术、流体动力学以及模糊数学等方面的最新研究成果，探讨水击谐波油水分离的内在机理，以模糊优化和遗传算法优化等技术为基础，建立典型系统水击谐波油水分离的综合数学模型，重点进行油水分离的综合模拟、水击谐波分离机理、实验验证等方法体系的研究。本书主要从水击谐波场的形成原理出发，针对油液中分散相液滴运动的特点建立运动模型，推导了分散相液滴在水击谐波场中的运动特性。同时，根据流体力学中分散相液滴的受力分析，本书对油水两相流连续方程和动量方程进行了推导，描述了在水击谐波场内的非恒定流特点，利用水击谐波的变化规律对油液中水滴运动的影响进行模型分析，深入研究了水击谐波分离的机理。本书利用水击谐波场作用下油中水滴会在波节（或波腹）处聚集的特性，搭建实验平台、编写数据采集程序以及构建图像采集系统，分析油中水滴的微观运动特征，进而提出一种科学合理的新型油水分离方法，从而实现高

效的油水分离，恢复油液的使用性能，延长油液的使用寿命，进而达到循环利用的目的。本书的出版对解决我国资源与环境问题，推行可持续发展战略有着重要的影响，为相关行业提供有力的技术支持，为我国经济发展提供新的经济增长点，使我国水击谐波理论、油水分离技术等领域在国际前沿占据应有的位置做出贡献。

本书共分8章。第1章介绍了国内外的油水分离、分散相动力学以及油水分离装置研究的现状，提出一种科学合理新型油水分离方法。

第2章主要对处于水击驻波场下的液滴进行了受力分析，并建立了液滴运动轨迹模型与液滴在驻波场中运动的速度变化模型，为分散相液滴运动的轨迹以及运动速度的仿真提供了理论依据。

第3章从油中水分的迁移、聚集、碰撞和聚结等几个方面阐述在水击驻波场中液滴在波腹（或波节）处聚集，致使液滴产生变形和碰撞，以至最终聚结的分离机理。

第4章通过对液滴在谐波场中的运动规律分析、液滴初始位置、粒径、油液的运动黏度、谐波频率对液滴聚结时间的影响以及谐波频率、液滴粒径、不同位置的液滴对其运动速度的影响分析，揭示了水击谐波场油水分离的规律。

第5章对系统由于控制阀启闭产生的水击振动进行了主动控制研究，通过非线性优化得到阀的优化启闭规律，验证了控制阀启闭动作的优化能有效地降低压力峰值。

第6章对激振力产生的水击过程进行了分析，并据此构建了水击谐波油水分离实验平台，对实验条件下采集的物性信号进行了小波降噪、小波包分析和HHT分析。

第7章利用2DPIV技术对水击谐波场作用下油水分离的水滴粒子的运动特性进行了研究，从不同激振力下的粒子运动速度、粒子平均粒径、粒子湍流动能、耗散率等方面进行分析。

第8章对油水水击谐波分离的研究结果进行了总结。

本书除可作为高等学校开设有关油水处理、两相分离等课程的教学用书外，也可作为涉及油液污染控制研究的科技人员的参考资料。

本书第1~4章及第7、8章由刘阁撰写，第5、6章由陈彬撰写，全书由刘阁进行统稿和定稿。

本书所引用的参考文献，作者尽最大可能注明出处，并同时向这些文献的作者致以真诚的谢意。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请各位同行与读者批评指正。

刘 阁

2015年7月

目 录

1 绪论 /1

1.1 研究的意义	1
1.2 油水分离技术的国内外研究现状	5
1.2.1 物理油水分离法	5
1.2.2 化学油水分离法	10
1.2.3 生物油水分离法	12
1.3 油水动力学国内外研究现状	12
1.3.1 分散相液滴的变形研究	13
1.3.2 分散相液滴的聚集、碰撞研究	13
1.3.3 分散相液滴碰撞后聚结与破裂研究	14
1.4 油水分离装置的国内外研究现状	15
1.4.1 对油液施加外力进行油水分离装置	15
1.4.2 对油液施加场能进行油水分离装置	17
1.5 小结	19

2 水击驻波场中分散相的运动模型 /20

2.1 油水的基本物理参数	20
2.1.1 水击谐波的波速	20
2.1.2 油水的体积弹性模量 E_m	22
2.2 液滴在水击驻波场中运动模型的建立	23
2.2.1 自由振动下液滴运动模型	25
2.2.2 水击谐波作用下液滴运动模型	26
2.3 分散相液滴在水击谐波场中运动特点分析	32
2.4 小结	36

3 油水水击谐波分离机理研究 /37

3.1	水击谐波场的特性对油水分离的作用	37
3.2	水击谐波油水分离机理的研究	38
3.2.1	水击谐波场中分散相液滴的变形	38
3.2.2	水击谐波场中分散相液滴的聚集	39
3.2.3	水击谐波场中分散相液滴的碰撞	40
3.2.4	水击谐波场中分散相液滴的聚结	41
3.3	在水击谐波场中影响油水分离的因素	41
3.4	水击谐波油水分离机理分析	43

4 油水水击谐波分离的影响因素分析 /44

4.1	分散相液滴的运动分析	45
4.2	初始位置对液滴聚结时间的影响分析	46
4.3	物性参数对液滴聚结时间的影响分析	47
4.3.1	谐波频率对液滴聚结时间的影响分析	47
4.3.2	运动黏度对液滴聚结时间的影响分析	48
4.3.3	液滴粒径对聚结时间的影响分析	48
4.4	谐波场中液滴的速度影响分析	49
4.4.1	位置对液滴运动速度的影响分析	49
4.4.2	粒径对液滴速度的影响分析	50
4.4.3	频率对液滴速度的影响分析	51
4.5	油水水击谐波分离模型优化	53
4.6	小结	54

5 油液流速引起的水击谐波分析 /56

5.1	控制阀水击振动的最优启闭规律	56
5.2	分段式启闭规律对水击的影响	59
5.3	控制阀启闭规律对系统的水击振动影响实验	61
5.4	小结	63

6 激振力形成水击谐波分析 /64

6.1	激振力产生水击谐波过程分析	66
6.2	水击谐波油水分离实验装置和方法	69
6.3	实验管道内水击谐波的数学模型	75

6.4 油液物性采集信号分析 80

6.4.1 激振力作用下油液压力信号的小波降噪 81

6.4.2 12N 激振力作用下油液压力信号的小波包分析 87

6.4.3 12N 激振力作用下油液压力信号的 HHT 分析 100

6.5 小结 102

7 水击谐波场中液滴运动特性分析 /104

7.1 液滴粒子图像分析方法 104

7.1.1 粒子平均速度 106

7.1.2 粒子的平均粒径 106

7.1.3 粒子的湍动能 106

7.1.4 粒子的湍流动能耗散率 107

7.2 12N 激振力作用下粒子的运动特性 108

7.2.1 粒子的流场分布 108

7.2.2 粒子的瞬态速度分布 123

7.2.3 粒子的平均速度 133

7.2.4 粒子的平均粒径 134

7.2.5 粒子的湍流特性 135

7.3 10N 激振力作用下粒子的运动特性 136

7.3.1 粒子的流场分布 136

7.3.2 粒子的瞬态速度分布 161

7.3.3 粒子的平均速度 167

7.3.4 粒子的平均粒径 169

7.3.5 粒子的湍流特性 170

7.4 8N 激振力作用下粒子的运动特性 170

7.4.1 粒子的流场分布 170

7.4.2 粒子的瞬态速度分布 171

7.4.3 粒子的平均速度 173

7.4.4 粒子的平均粒径 174

7.4.5 粒子的湍流特性 175

7.5 6N 激振力作用下粒子的运动特性 176

7.5.1 粒子的流场分布 176

7.5.2 粒子的瞬态速度分布 177

7.5.3 粒子的平均速度 179

7.5.4 粒子的平均粒径 181

7.5.5 粒子的湍流特性	181
7.6 小结	181

8 结论 /183

参考文献 /186

1.1 研究的意义

随着我国工业的快速发展,不同产业都会使用到各种矿物油,因油液污染而造成用油系统失效带来的损失日趋严重。油污染不仅影响系统的工作性能和元件的使用寿命,而且直接关系到系统能否正常工作。日本对液压设备的故障调查研究表明,因工作介质污染而造成的故障达80%,机械故障与电气故障只占20%。美国流体协会的调查结果也进一步证实,系统的故障至少有75%是由工作介质的污染而造成的。油液污染是指油中污染物的浓度、大小、硬度超量超标,可根据污染物形态分为固体、液体和气体三种形式。油液污染主要是指水分、清洗液、化学溶剂、表面活性物以及其他种类的油液等。据有关资料表明,当油液中混入的水分超过0.05%时,随着油液流动,在水分、胶质、能量作用下极易形成乳化液,油液就会浑浊,转变为乳化油。在乳化油破乳方面的研究,远不如污染颗粒的研究开展得深入和广泛。这其中的原因如下。

(1) 对乳化的危害认识不足 当油液中水含量较低时,尚不足以引起卡死等突发事故。而事实上,水污染引起油液性能的恶化导致元件的磨损(包括化学腐蚀,生成影响工作的物质)与颗粒污染对系统的影响相比并不逊色。颗粒污染严重的油可以通过过滤净化处理回收利用,而乳化液滴引起的油的变质,不仅使液压元件内部生锈,同时降低其润滑性能,使零件的磨损加剧,系统的效率降低,而且水还会与油中的某些添加剂作用产生沉淀和胶质等污染物,加速油的恶化,最终导致液压元件堵塞或卡死,引起系统动作失灵、配油管堵塞、冷却器效率降低以及滤油器堵塞等一系列故障,从而使大批的油品报废。

(2) 技术上的难度 颗粒污染处理属固液分离技术,而破乳属液液分离技术,因此二者在技术处理上难度差异很大。另外,由于黏度、油水界面张力等物理

参数，使得从乳化油中除去水分的工作十分困难。基于以上原因，极大地限制了乳化油破乳技术的理论研究和实用技术的开发。可以说，对于油液经济高效的脱水净化技术至今还是空白。油中水分的存在，在外加能量的作用下，由于这些油液油水分离困难，会造成各种问题。如在液压设备中的油液由于长时间的使用会产生大量的水分，从而使得这些油液的性能大幅下降，导致设备运行不流畅或产生爬移，影响设备的精度；在变压器运行时对变压器油的要求非常高，如果变压器油中产生了水分，很可能会导致变压器被电击穿从而产生很大的危险；在机械设备中的润滑油中含有超标的水分会导致油液加速氧化，同时会锈蚀设备，影响设备的使用寿命。所以如何处理这些油液成为了以上这些行业所关注的问题。

资料表明，前苏联空军某种机型用航空油液在加油时有 $3/4$ 含水量在 $(300 \sim 500) \times 10^{-6}$ ； 2% 超出 700×10^{-6} 。美国联合航空公司对空运货物地面支持设备进行的调研情况（见表 1.1），说明这些设备中的水污染是十分严重的。

表 1.1 初始油液取样中的水含量及其推荐值范围

装置的名称	含水量/ $\times 10^{-6}$	推荐值范围/ $\times 10^{-6}$
飞机过桥装置	1000	200~400
集装箱回转装置	8000	
运动式装货机	2000	
座舱维护车	1000	
燃油维护车	2500	
MOBILE DTE-13 新油	600	

表 1.2 水和颗粒污染物共存对油氧化的影响

序号	颗粒	水	运行时间/h	酸值变化
1	无	无	3500	0
2	无	有	3500	+0.73
3	铁	无	3500	+0.43
4	铁	有	400	+7.93
5	铜	无	3000	+0.72
6	铜	有	100	+11.03

注：当酸值变化超过 0.5 时，表示油质恶化。

表 1.3 含水量对轴承疲劳寿命的影响

油液	含水量/ $\times 10^{-6}$	寿命比
SAE20	25	4.98
SAE20	100	1.92
SAE20	400	1.00

表 1.2、表 1.3 从不同角度分别说明了水污染的危害性。在我国，虽未见类似的调研报告，但现场和许多研究表明，油液的水污染程度也是十分严重的。油液内的水分，即使是微量都会对其性能产生严重的影响，在使用中产生不良后果。

乳化油液的危害日益引起重视。我国从 20 世纪 80 年代初在各工业部门逐步推行液压污染控制技术和管理措施，在液压污染控制方面取得了一定成效。但是，与

美国、加拿大、德国、英国、法国、日本等西方发达国家相比,还有相当的差距。例如,在这期间国外液压设备油液的平均污染度等级降低了约 5 个等级 (ISO 4406),相当于油液中的污染物含量减少到原值的 $1/32$,液压系统污染得到了有效控制,工作可靠性显著提高,从而进一步促进了液压技术的发展和應用。目前我国液压设备的油液污染度一般比国外要高 3~4 倍,因而设备故障率高,元件寿命短,严重影响设备效能的充分发挥。我国油液污染控制仍然是一个薄弱环节,亟待加强和完善。为缩小与西方发达国家的差距,必须更新系统污染控制、维护的观念,加强与之相关的高新技术研究,全方位、多角度、有针对性地落实系统污染防治的有效措施,特别是加强油水分离技术的应用基础研究,为用油系统的可靠运行提供保障。

油水混合液在系统运行过程中施加的能量(油液在压力作用下的流动)作用下,游离水分以液滴形式分散在其不相溶的油液之中,构成分散体系,其分散相液滴直径约在 $0.1\sim 10\mu\text{m}$,是粗分散体系的胶体。油乳化的形成与油液的组分(游离水、胶质等)、温度、运动状态以及运动时间都是密切相关的,在一定温度和运动状态下,它是一个增加水分的界面能、形成分散相液滴的耗能过程,这个能量来自于油液本身动能的转化,转化量的大小决定了形成分散相液滴即油乳化的程度。

无论是油水的组分、温度、运动条件还是外界能量的转化条件,从它们产生的时间、频度和来源来看,都是与系统的规定工作功能,即控制阀的启闭动作密切联系在一起的,由于阀的作用时间极短,关阀(开阀)时压力很快达到波动最大值,会产生相应的水击振动谐波,改变油液的运动参数以及分散相液滴的稳定性,从而使油的乳化程度发生变化。从定量分析来看,由于系统的特殊性,缺乏有效的测量手段和充分的测量数据,油的乳化程度不可能客观地、准确地表达出来;虽然根据油液离线理化检测的结果,可以简单地类比和估算出一定时间内分散相液滴的比率、油液的乳化率等,但仍然只能用水击谐波作用下的油液参数来表示,采用合理的控制规律可以改变油的乳化条件、降低乳化液的稳定性,这从本质上讲仍然是系统的控制策略问题。因此,油水分离问题是关于控制阀的启闭动作控制,即水击谐波控制问题。

控制阀启闭动作和作用条件自始至终伴随着系统而存在,是不可避免的,并且由于系统是封闭的,不可能直接观察到油液的乳化过程,只有通过外部的信息获取和其他技术手段才能对系统的乳化机理进行深入了解。因此,如何定量地分析和反映上述乳化特征,进而获得合理的破乳方法是一个困难但又非常重要的科研命题。由于系统油液乳化条件与控制动作的相关性,系统故障的表现也大部分都具有偶然性和间歇性,故障现象时隐时现,这给故障的分析、诊断和排除带来了极大的困难,往往要耗费大量的人力和财力。显然,如果缺乏对乳化油液这些复杂特征关系的透彻分析和了解,将直接威胁、影响系统的有效控制、管理、可靠性运行和故障

的科学排除。因此,迫切需要从理论高度来剖析乳化油液的形成机理和特征,提出科学合理的破乳方法,从而为系统故障的分析、诊断、排除甚至预防控制奠定基础。

总之,对乳化油液的破乳处理是一个涉及很多方面理论(如分离热力学、流体力学、水击振动理论、传质理论及系统优化理论等)和技术(如软计算、破乳机理、传输模式及水分测定研究等)的系统工程,研究内容繁多而复杂。因而本书拟通过深入探讨系统油中分散相液滴的迁移特征,构建系统分散相迁移动力学模型和控制阀启闭动作时油液水击振动的数学模型,重点研究油液水击谐波分离机理、阀的启闭规律优化等问题。由于阀的启闭动作产生的水击谐波作用使油液中的分散相液滴与油液一起振动,可使油液中的胶质、沥青质等分散均匀,增加其溶解度,且由于大小不同的水珠具有不同的相对振动速度,将相互碰撞、黏合,使其体积和重量均增大;另外,油液吸收部分振动能转化成的热能,可降低油-水界面膜的界面强度,有利于界面膜的破裂和降低油液的黏度,有利于分散相的重力沉降分离。在考虑诸多破乳过程影响因素(如油液乳化度、允许的水分含量、油液的允许温度、系统的输入能量等)影响的基础上,以水击谐波破乳后油液中水分含量为目标函数;以阀的启闭曲线关键控制点能否工程实现的状态值为决策变量;以阀的规定动作、油液乳化度等为约束条件,建立水击谐波油水分离动态的、实时性的优化决策模型,并以模糊优化、随机优化、遗传算法优化分析等优化理论与方法为基础,求得实际问题的通解。通过对这些关键技术进行研究,建立和形成水击谐波油水分离方法的综合模拟、分散相液滴的聚合等研究体系和油水分离优化决策系统。

水击谐波理论是目前航空航天、石油化工、水利电力、液压传动等众多的工业领域中研究的前沿性课题。近年来,人们对水击这种特殊的水力现象的认识也随着科学技术的进步不断发展开拓,分析理论也不断完善和进步。本书将水击谐波理论的思想应用于油液领域来解决油水分离问题,国内外还没有这方面的研究报道。针对油水分离和控制阀的启闭规律互为约束的内在机制,从典型系统的水击谐波油水分离数值仿真入手,对油水分离过程进行分析,将油水分离条件的多样性问题通过对控制阀启闭动作全面系统地规划、设计得以控制。本书旨在降低典型用油系统的油液乳化度,利用系统控制阀的控制动作解决系统的油水分离问题,尤其对影响国计民生的冶金行业、海洋工程、航空航天等行业而言有鲜明的经济效益和社会效益。

本书的研究内容和研究目标涉及机械学流体传动及控制领域、化工过程的传质理论以及振动学科领域的前沿,是机械学科和化工学科的综合交叉,具有较强的学科创新性、前瞻性和广阔的应用发展前景。着眼于系统油液水击谐波油水分离技术、主动控制技术的研究,从根本上提高用油系统的可靠性,是油水分离技术支持国民经济持续高速发展的必由之路。

有鉴于此,作者结合研究成果撰写了本书。本书综合应用水击谐波理论、传质

分离技术、流体动力学以及模糊数学等方面的最新研究成果,探讨水击谐波油水分离的内在机理,以模糊优化和遗传算法优化等技术为基础,建立典型系统水击谐波油水分离的综合数学模型,重点进行油水分离的综合模拟、水击谐波分离机理、控制阀启闭规律优化等方法体系的研究。研究主要是从水击谐波场的形成原理出发,针对油液中分散相液滴运动的特点建立运动模型,推导了分散相液滴在水击谐波场中的运动特性。同时,根据流体力学中分散相液滴的受力分析,对油水两相流连续方程和动量方程进行了推导,描述了在水击谐波场内的非恒定流特点,利用水击谐波的变化规律对油液中水滴运动的影响进行模型分析,深入研究了水击谐波分离的机理。希望通过理论创新并在油水分离研究的基础上,较好地解决典型系统水击谐波油水分离主动控制的关键技术问题,可以从根本上提高油液的工作寿命以及系统的工作可靠性,以便满足我国国民经济各部门对系统可靠运行的迫切要求,同时对解决我国资源与环境问题、推行可持续发展战略有着重要的影响,为在相关行业提供有力的技术支持,为我国经济发展提供新的经济增长点,使我国水击谐波理论、油水分离技术等领域在国际前沿占据应有的位置。

1.2 油水分离技术的国内外研究现状

油水分离技术研究的目的是使油液的性能保持在关键元件许可的水分控制要求之内,以保证系统的工作可靠性和元件的使用寿命。目前,油水分离的方法主要有物理油水分离法、化学油水分离法和生物油水分离法等,每种油水分离方法所涉及的内容是极其广泛的,主要包括油水分离机理的研究、油水分离程度的测定和评价研究、油液组分和数量对油水分离影响的研究、油水分离参数优化决策研究等,国内外许多学者做了许多有益的探索。

1.2.1 物理油水分离法

物理油水分离法主要是通过对乳化液施加外力或依靠乳状液内部分子之间的力,导致液滴发生碰撞,使油水界面膜破裂,释放出来的水相互接触聚集,并最终使油水分离。常见的物理破乳技术大致分为两种类型:一类是对乳状液液滴施加一定的外力或依靠乳状液内部分子之间的力实现油水分离,如重力和离心法以及膜破乳法等;另一类是通过电磁学原理,使液滴上浮或下沉,发生聚结,达到油水分离的目的,常见的有电破乳法、超声波破乳法、微波破乳法等。

(1) **重力和离心法** 重力法是根据 Stokes 公式,液滴在重力场中将受一静力 $F=V(\rho-\rho_0)g$ (式中, V 为液滴的体积; ρ 、 ρ_0 分别为油液和液滴的密度) 的作用。在此力的作用下,液滴将下沉或上浮,导致液滴发生聚集、聚并和油水分离。对于油水密度差大、连续相黏度较小的体系多采用此方法进行油水分离,而且

此法脱水效率较低。离心法是将重力加速度 g 改为向心加速度 a ， a 可达 $10^4 g$ ，加快液滴下沉或上浮，从而提高了分离速度。用于离心分离的常用设备是旋液分离器，如图 1.1 所示。

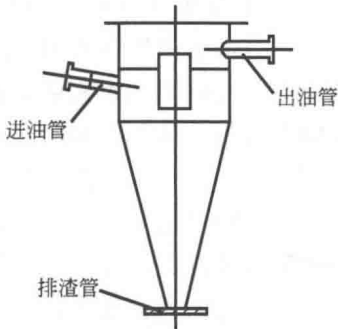


图 1.1 旋液分离器

工作时油水通过泵进入进口并沿切线方向进入圆筒部分，形成螺旋状向下的旋流，粒子受到离心力作用移向器壁，随旋流下降到锥形筒体底部的出口，由出口排出浓稠混合油，使之落入浸出器的料层上，自行过滤。澄清或含有较细较轻微粒的混合油则形成螺旋上升的内层旋流，由上部溢流管溢出。离心分离效果的好坏与许多因素有关，如混合油进口的压力、混合油的性质、回流量的大小、设备的加工精度等。其中有一因素发生变化，分离效果都会

发生变化，所以生产时要不断观察，不断调整混合液的进口速度，超过一定速度范围，分离效率反而降低。开发高效低阻具有普遍实用性的气液分离技术和多种分离技术的组合应用，以及研究分离机理将是今后旋液分离技术的研究重点。

因此，对于油液结构和化学组成较简单的乳化油，在要求脱水效率较低的情况，都可以采用离心法和重力法完成油水分离。对于油液结构和化学组成复杂的情况，必须考虑其他各种技术辅助的分离方法。

(2) 膜分离法 膜分离法是材料科学与化工分离技术交叉而产生的一种分离技术，主要通过过滤作用实现油水分离。膜分离是指油水在压力作用下通过有机/无机微孔膜时，分散相发生聚结，从而使油、水两相分离的方法，具有能耗低、操作费用低、通用性强等特点。

膜在分离过程中主要起分散相絮凝聚结介质的作用。虽然分散的水滴易于在亲水性膜表面上吸附，并有铺展趋势，但是由于表面活性剂的存在，水滴并不会在膜表面直接发生聚并，而是在压力的驱动下进入膜孔。如果水滴粒径大于膜孔径，进入膜孔时发生强制变形，原表面活性剂排列紧密的界面膜结构受到破坏而破裂，水相被释放并与膜孔壁面接触。油水不断流经孔道，水滴界面膜不断破裂，释放出的水逐渐汇聚，当汇聚到一定程度后流出膜孔到达膜的另一侧，实现油水分离。

目前膜法分离技术的研究尚处于起步阶段。分离膜的应用领域拓展远未达到预期的要求，主要原因如下。

- ① 膜应用成本过高，导致很多应用过程从技术上是完全可行的，但经济不占优势，限制了这一新技术的推广应用。
- ② 有限的膜品种与复杂的应用过程的匹配问题，导致膜污染严重，单位膜面积的处理能力有限。
- ③ 应用体系的复杂性和处理要求的苛刻性，导致单一膜过程难以达到要求，

也限制了其进一步的推广应用。

因此降低成本、提高技术水平已成为促进膜发展的重要课题。

(3) 电分离技术 电分离法是 20 世纪 80 年代发展起来的油水分离方法，它是利用电流产生高频振荡电磁场具有的位移效应、热效应和电中和作用来改变油水的性质，使液滴在电场中被极化，产生电聚结力，以克服液滴之间的排斥力作用，使液滴产生絮凝、聚结、凝并，进而使油水实现分离。常见的电破乳技术有静电分离、电脉冲分离和涡旋电场分离技术等。

① 静电油水分离技术 静电油水分离技术的基本原理是使处于高压静电场中的油水产生旋流运动，在离心力、静电力和重力的综合作用下改变液滴表面的带电性和使其在静电场中产生极化变形，来实现油水分离。

静电场中，带电的液滴能沿电场方向，向与自身电荷相反的电极运动，运动到距离电极一定的区域时，该区域内液滴数量剧增，使液滴间产生相互挤压，当这种挤压作用能够克服液滴间的斥力位能时，液滴发生聚集，并进一步破裂，实现油水分离。同时处于静电场中的油液，由于受到静电作用，液滴表面上电荷进行重新排列，使液滴间由电性相斥转变为电性相吸，液滴沿电场方向发生变形，当这种变形作用能够克服液滴间的斥力位能时，液滴即发生破裂，实现油水分离，如图 1.2 所示。正是由于液滴表面所带的电荷，使油液处于静电场时会沿静电场方向聚集成链，实现油水分离。静电油水分离技术的局限在于它必须在不击穿油液的安全电场下进行，耗电量大、成本高。

静电法只能处理含水量小的油液，同时静电油水分离技术还要辅助于过滤法和干燥法处理油液，而过滤法和干燥法的处理量很小，所以这些方法在工业上均未得到广泛的应用。

② 电脉冲油水分离技术 静电油水分离法耗电量大、成本高。而采用电脉冲脱水能耗要低得多，主要是脉冲电对水珠的聚结既有直流电的偶极聚结作用，又有突变强电场的冲击作用，加速水珠间的凝并。油液在电场作用下完全被极化，形成链而后聚结，各大液滴靠重力沉降至油水界面，凝聚并进入水相，在脉冲电场的作用下，油液中的水滴由于极化作用而变形，并沿电场方向排列成链。当脉冲截止时，液滴间的偶极力消失，变形液滴将逐渐恢复而使水链消散。脉冲电场条件的选择主要以水链形成和消散的时间为依据，通常脉宽不应超过水链形成时间，脉冲间隔不少于水链消散时间。利用脉冲电场使油液获得瞬间高压而油水分离，能及时促使水链消散而避免能量的损失，这是脉冲电油水分离的关键。脉冲电场是原油电脱

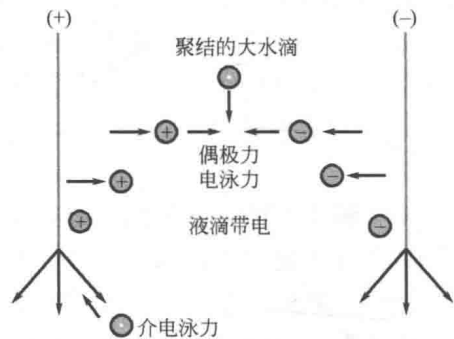


图 1.2 液滴在电场影响下受到的作用力

水中最为常用的电场形式，文献研究表明电场强度的高低决定着液滴聚结的效率，过低不能有效聚结，过高则产生电分散，聚结后液滴的大小还决定了重力沉降的效率。所以要完成油水分离需选择确定最佳脉冲重复频率和脉冲峰值，但不同的油液由于化学组成不同，黏度亦不一样，其最佳脉冲频率也许不一样，只能由现场试验来决定。所以电脉冲油水分离只有采用高压、低频、窄脉冲电场时，其效果才最佳。

③ 涡旋电场油水分离技术 涡旋电场油水分离是油液在涡旋电场作用下，液滴内电解质缔合体发生极化，界面双电层被破坏，电偶极矩增大，离子电泳速度加快，液滴相互碰撞的概率增加，从而加速了分散相的聚结，导致油水分离。

李可彬研究发现，在涡旋电场作用下 W/O 乳状液的油水分离机理。此外，涡旋电场的形成还使非极性油分子磁化，形成与油分子轴线成一定角度的涡旋电场，该电场减弱分子间的引力，降低油的黏度，增大油水密度差，使油水分子能有效地碰撞聚结，实现油水分离。但流体在涡旋电场中流动时会产生一定的剪切作用，易将液滴打碎乳化而使分离过程恶化。图 1.2 示出了液滴在电场影响下受到的作用力。

(4) 超声波油水分离法 超声波原油油水分离主要是利用超声波的机械振动作用和热作用使油液中的“水粒子”和“油粒子”在超声波辐射下产生位移效应，由于位移效应的存在，“水粒子”和“油粒子”将不断向波腹或波节运动、聚结并发生碰撞，生成直径较大的水滴和油滴，并在重力作用下达到油水分离。

国外对超声波用于油水分离的研究开展得比较早，20 世纪 80 年代就有相关的报道。Stefaescu Aurelian 和 Amilcar Vladimir 开发了用超声波使原油脱盐脱水装置，原油通过一旁路管道（旁路管道有超声波作用），然后回到主管道。日本专利报道采用超声波来处理切削废油和船用废油。Davis Robert Michael 等用超声波处理原油乳状液，当频率为 1.25kHz 时配合油水分离剂 AQUANOX 272 处理后，用 Basic Sediment and Water 法分析含水量为 0。美国 Teksonix 公司超声波原油脱水处理装置及工艺，在 1982~1985 年间在美国的 8 家工厂进行试验，均取得了良好的效果。

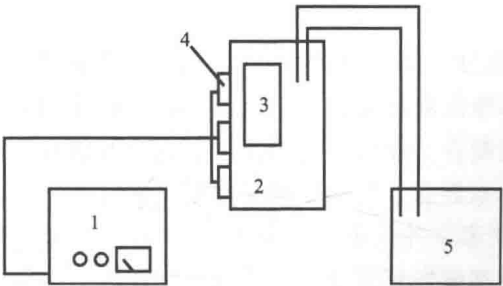


图 1.3 原油油水分离实验装置

1—超声波发生器；2—清洗槽；3—容器；
4—压电陶瓷换能器；5—恒温水浴

国内在超声波油水分离方面研究也取得了许多进展。如图 1.3 所示为超声波原油油水分离实验装置，运用此装置使得油水分离效率有很大的提高。孙宝江等研究了超声波油水分离的作用机理。在进行了大量的室内实验并取得初步成功的基础上，在孤岛采油厂模拟现场条件进行了实验，油样综合含水率