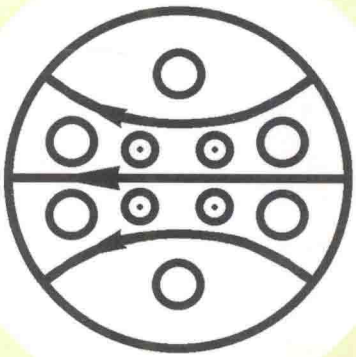
中国工程热物理学会

多相流学术会议

论 文 集（下册）

二〇〇六　　重庆

中国工程热物理学会编



多相流学术会议论文集（下册）目录

四．石油工程多相流

066021 钢管和有机玻璃管内摩擦压降特性比较的实验研究……
……周云龙　赵雪峰　武茂松　文　鹏　孙　斌(603)
066022 EMD 与神经网络在气液两相流流型识别中的应用……
……王　强　周云龙　陈　飞　张永刚　孙　斌(610)
066027 高速流动效应对凝析气藏渗流特征的影响研究……
……石德佩　李相方　许寒冰　缪　晟　覃　斌(616)
066034 水平管油气水三相流气相流量增加瞬变过程试验研究……曹学文　周　鹏(625)
066035 油气水三相段塞流的压降研究……曹学文　周　鹏(631)
066043 影响气体水合物诱导时间因素的实验研究……
……杨群芳　刘道平　谢应明　胡汉华　钟栋梁(637)
066056 砂粒与复杂流体压裂液在裂缝中的流动特性研究……
……刘　磊　廖红伟　周芳德　刘通义(644)
066057 颗粒材料特性对水力旋流器分离效率的影响……杨　茉　朱佳奇　孙佳明(649)
066058 剪切流中液滴变形断裂机理的实验研究……林长志　郭烈锦　夏均贵(655)
066062 基于小波变换的两相流流型特征提取……吴萌萌　齐国华　董　峰(661)
066063 基于双流体模型的管内气液两相流稳态计算模型研究……
……齐建波　何利民(670)
066064 三相分离器内部聚结构件分离特性研究……何利民　王　涛　王天祥(676)
066065 水平管段塞流持液率波动规律研究……王海琴　何利民　罗小明(683)
066066 天然气水合物降压开采的数值模拟研究……
……唐良广　冯自平　李小森　杜　燕(691)
066067 海洋渗漏型天然气水合物气力提升开采方法的数值模拟……
……沈志远　冯自平　唐良广　李小森(699)
066071 气体水合物在水-气体界面的生长模型……钟栋梁　刘道平　邬志敏(705)
066075 排气管斜切结构对旋风分离器性能的影响……
……杨成禹　鲁佳易　陈继辉　刘汉周　卢啸风(709)
066080 柱型水力旋流器多相流场数值模拟……杜　扬　欧益宏　吴　英(715)
066082 高含水后期水平集输管道内油气水流型……
……刘晓燕　张　艳　刘立君　赵　波(722)

066092 离心-沉降式除污器结构设计及模拟分析 ……李魁山　赵　华　张　旭(728)
066102 泡沫压裂液的两相欧拉颗粒流数值模拟……沈林华　王树众　段百齐(734)
066115 油水两相分散流的界面浓度输运方程理论研究 ……
……赵冬建　郭烈锦　胡晓玮(741)
066169 轮式流动模拟器在水合物预测及控制中的应用 ……杨学军　宋承毅(750)

五．多相流测量技术

066014 离心泵叶轮内部伴有盐析流场的 PIV 实验研究……
……杨敏官　刘　栋　康　灿　李　辉　杨　波(754)
066018 新型主动式竖直集沙仪的风洞实验研究……
……顾正萌　郭烈锦　张西民　亢力强(759)
066032 油气两相流动态监测系统 ……丁　浩　黄志尧　李海青(765)
066033 基于文丘里管和涡轮流量计的液液两相流测量 ……
……黄志尧　李　霞　李海青(769)
066039 应用分时分流原理测量两相流体的流量……
……王　栋　梁法春　张修刚　林宗虎(773)
066060 超声法测量高浓度水煤浆若干问题研究……
……薛明华　苏明旭　董黎丽　尚志涛　蔡小舒(779)
066061 基于 V 形内锥流量计的气/水两相流流量测量的研究……胡　俊　董　峰(785)
066076 多相流不分离在线计量的研究……
……李玉星　杨慧敏　周付现　董守平　张　建(792)
066101 可吸入颗粒物在驻波声场中运动的可视化研究 ……
……冷　吟　赵　兵　姚　刚　沈湘林(801)
066155 基于消光起伏信号的颗粒测量技术……沈建琪　蔡小舒　于　彬　许亚敏(808)
066160 气粉混合物固相浓度的声速法测量……刘心志　王益祥　朱曙光　李光辉(817)
066167 加压密相气力输送煤粉颗粒荷电特性研究……
……许传龙　杨道业　汤光华　周　宾　王式民(823)

六．反应堆热工水力

066038 蒸汽发生器热工水力稳态特性计算分析……姚彦贵　唐琦琳　王　经(833)
066091 窄间隙矩形光通道临界热流密度解析模型初步研究……
……黄　军　王秋旺　黄彦平　王　令　白博峰(840)
066098 含内热源多孔结构局部换热特性实验研究……
……昝元峰　肖泽军　王　飞　闫　晓　黄彦平(844)

066108 摇摆对竖直管内气-水两相流流型的影响分析……
……栾 锋 阎昌琪 曹夏昕 张金红(849)
066112 蒸汽排放系统三维流场的数值模拟研究……张 雷 乔志强 李香梅(854)
066113 冷态条件下二次携带现象的数值模拟……
……李 嘉 王晓墨 黄素逸 朱俊杰(859)
066123 棒束通道 CHF 预测方法研究……王小军 陈炳德 黄彦平(864)
066129 竖直矩形窄缝内流动沸腾换压降的实验与模型研究……
……潘良明 陈德奇 袁德文 季洪春(873)
066132 熔融液滴冲击冷却剂界面的运动特性实验研究……
……李良星 李会雄 陈听宽(881)
066148 锆银熔融物冷却特性实验研究……苏光辉 杉山宪一郎(893)
066150 水平矩形窄缝通道内水沸腾换热特性实验研究……
……杨晓强 秋穗正 贾晓鸿 尹海峰 贾斗南 卢冬华(898)
066151 水平矩形窄缝通道内水沸腾流动特性实验研究……
……贾晓鸿 秋穗正 杨晓强 尹海锋 贾斗南 聂常华(904)
066168 燃料与冷却剂相互作用细粒化混合过程的数值模拟……林 千 曹学武(910)

七．两相流相变传热强化和节能

066005 倾斜均质表面上等径水滴聚合过程的可视化实验……
……廖 强 邢淑敏 朱 恂(915)
066009 喷雾冷却中液滴冲击壁面的流动和换热……高 珊 曲 伟 姚 伟(922)
066010 液滴蒸发过程理论分析及非稳态过程数值求解……刘乃玲 张 旭(928)
066013 自然循环回路系统内芯片强化沸腾换热的实验研究……
……魏进家 权晓波 本田博司(935)
066023 纳米铜在水溶液中分散性研究……李新芳 朱冬生 李 华(942)
066024 低温纳米复合相变蓄冷材料热物性研究……
……刘玉东 李夔宁 何钦波 童明伟(947)
066036 蜂窝型金属热防护板细观热分析……马玉娥 孙 秦(954)
066052 蒸汽喷入过冷液面接触冷凝实验研究……李夔宁 刘玉东 童明伟(962)
066068 高效平板式两相回路热管的实验研究……莫冬传 陈 粤 吕树申(968)
066072 蒸发式冷凝器管间下降液膜研究……
……唐广栋 蒋 翔 张景卫 王 威 朱冬生(974)

066078 变截面 U 形通道内肋高对换热特性影响的实验研究……
……刘湘云　丁水汀　陶　智　徐国强(982)
066086 蒸汽压力对竖直管外 Marangoni 凝结换热的试验研究 ……
……乔　磊　李　杨　严俊杰　胡申华(988)
066087 酒精浓度对竖直管外 Marangoni 凝结换热影响的实验研究……
……李　杨　乔　磊　严俊杰　胡申华(993)
066088 流速对混合蒸汽 Marangoni 凝结换热影响的实验研究 ……
……杨豫森　武心壮　严俊杰　刘继平(999)
066119 方形小通道内高参数下煤油传热特性研究……罗毓珊　王海军　陈听宽(1004)
066120 超临界煤油在带环形肋小通道内的传热特性研究……
……王海军　罗毓珊　陈听宽(1011)
066142 高效微射流阵列冷却热沉传热特性 ……张忠江　夏国栋　马晓雁(1018)
066152 增压换热器的设计与分析 … 赵良举　袁悦祥　李德胜　王　飞　李　斌(1023)
066162 特种煤油在传热通道内的结焦模型研究……崔馨元　李会雄　胡金峰(1029)

八．高新技术中的两相流与传热传质及其它

066008 牛血清蛋白膜的流变特性研究……王海民　马建敏　张　文(1039)
066012 PEM 燃料电池内液态水和温度分布特性……孙　红　吴玉厚　刘洪潭(1043)
066016 低温液体无损贮运压力升高规律模拟及实验研究……
……陈叔平　谢高峰　李秋英　昌　锟　陈光奇(1049)
066041 钢结构构件热响应的研究现状……刘　朝　黎　明(1055)
066051 生物质超临界水制氢的数值模拟……胥　凯　卢文强(1065)
066059 微细通道内甲烷湿空气催化重整多元气体组分生成特性 ……
……冉景煜　胡建红　张　力　唐　强(1071)
066074 机械泵驱动两相冷却系统的工质研究 ……
……刘　杰　裴念强　李廷勋　郭开华　顾建明(1079)
066093 VRF 空调系统在列车卧铺车厢的应用研究……朱　春　胡松涛　张　旭(1087)
066103 微型燃烧器预混腔内带有催化重整及积碳反应的三维流动模拟……
……闫云飞　张　力　冉景煜　唐　强　邱　赟　马　盟(1095)
066106 HgCdTe 液相外延薄膜组分分布和内波的产生 ……
……黄为民　王亚敏　魏彦锋(1103)
066157 介电泳细胞分离流动过程的数值模拟 ……陈振乾　刘　升　施明恒(1109)
066163 矩形腔内纯水凝固过程实验研究……白博峰　李　恒　王跃社　郭烈锦(1116)

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

中国工程热物理学会
学术会议论文

多相流
编号：066021

钢管和有机玻璃管内摩擦压降特性比较的实验研究

周云龙，赵雪峰，武茂松，洪文鹏，孙斌
（东北电力大学 能源与机械工程学院 吉林 132012）
Tel:0432-4806655 E-mail:zyl@mail.nedu.edu.cn

摘要：对水平放置的内径为40mm的钢管和有机玻璃管内的油水两相流动摩擦压降的变化进行了详细的实验研究。实验工质为46#机械油（20℃时，粘度为9.705×10^{-2}kg/ms，密度为881kg/m^3）和自来水，油相和水相折算速度分别为0.13~1.2m/s 和0.11 ~1.38 m/s，含水率为6%~85.8%，实验在常温常压下进行。从实验方面分别对含水率和混合流速等因素对油滴分散流下钢管和有机玻璃管摩擦阻力压降规律的影响进行细致分析。实验表明：含水率和混合流速是影响压降的主要因素；在本实验范围内，除了分层流区域以外有机玻璃管内的摩擦阻力压力梯度大于钢管内的摩擦阻力压力梯度。

关键词：油滴分散流型；压降；钢管；有机玻璃管

一、引言

油水混合物在管内的流动广泛存在于石油、化工以及食品加工等工业过程中。在石油工业中，通常油和水同时产出并以混合物的形式输送。水平圆管内油水两相流动的摩擦阻力压降的准确预测对石油输送管线的设计十分重要，只有正确预测出石油输送过程中的摩擦阻力压降，才能为整个输送系统选用合适的输油泵，为输送管线的设计提供可靠依据。

实际应用中油水两相混合输送都是在钢管中进行的，但实验室中许多油水两相、油气水三相流动都是在有机玻璃管中模拟的，因为有机玻璃管的可视性使得管道中的流动易于观察。有机玻璃管和钢管的管壁粗糙度差别很大，因此这两种管内流体的流动特性可能也存在一定差异，这些差异会影响压降损失等参数，所以有必要就有机玻璃管与钢管内流动差别问题进行研究，这也有利于探讨不同管壁材料对管内流动的影响。Valle 和 Kvandal[1]在长为 10 米，内径为 37.5mm 的玻璃管内进行了油水两相流的试验，观察到了光滑分层（SS），波状分层（SW），有夹带的波状分层（SWE），存在水分散层的波状分流层（SWWD）和存在油分散层的波状分层流（SWOD）。Andreini 等人[2]在内径为 3mm 和 6mm 的小管径水平管内研究了油水两相流的流型，油水粘度比范围从 560 到 1300。并对不同材料的管道进行了比较（玻璃，不锈钢，铜以及 PVC 管）。观察到了分散流、间歇流和环状流。在多数情况下都是油在管道的核心区流动的，水贴管壁流动。在较低的含水率下（小于 0.2~0.3），管道材料对流型有影响。P.Angli[3]的实验结果表明：有机玻璃管和钢管内的油水两相流的流型图和压降都存在较大的差异，这一结论说明以前在有机玻璃管内得出的结论，不适合直接应用到现场钢管内的油水两相流。

迄今为止，油水两相流的研究落后于气液两相流，一般文献只是在某一混合流速和某一含水率下的钢管和有机玻璃管摩擦压降的对比，而针对具体的流型，尤其是油滴分散流流型的钢管和有机玻璃管摩擦压降的对比有关文献较少，而且由于实验系统的管材、结构差别较大，实验数据缺乏可比性。面对工业生产发展的迫切要求，更为全面、深入地了解掌握水平管内油水两相流动和摩擦阻力的特性具有重要意义。

二、实验系统与实验方法

本实验是在油气水三相流实验台上进行的，如图 1 所示，主要包括油路、气路和水路三部分，油路和水路分别用齿轮油泵（Model: KCB483.3）和离心水泵（Model: 98A-9）将工质泵入实验系统。本实验采用 46#机油和自来水的混合物作为实验工质。实验参数范围是，油相和水相折算速度分别为 0.13~1.2m/s 和 0.11~1.38 m/s，含水率为 6%~85.8%，实验在常温常压下进行。

实验的具体流程如下：在本实验中气路关闭，首先启动水泵，水从水箱由水泵 12 打出后进入管路，经电磁流量计（Model: NT546E）15 计量后进入混合器 18，从而将实验段冲洗干净并使导压管充满水。然后启动油泵，油被齿轮油泵 2 从油箱打入管路，再经孔板流量计 5 后进入混合器 18。从混合器 18 流出的油水混合物经过稳定段后进入由有机玻璃管段和钢管段串联组成的实验段（如图 2 所示）。钢管和有机玻璃管的绝对粗糙度分别为 0.19mm 和 0.01mm。在有机玻璃管和钢管上分别安装 ROSEMOUNT 3051S 型电容式差压变送器，测压差段长度均为 1.5m。改变油水两相的流量使之达到要求的流量比，待两相流量基本稳定之后开始采集数据，同时还要观察并记录每个工况下的流型。然后再改变油水两相的流量重复实验。最后从钢管实验段流出的油水混合物经过一段管路后进入旋风式气液分离器 20，分离出的气体排入大气，液体工质进入油水分离箱进行分离，分离出来的油和水分别引入油箱和水箱，以供循环使用。本实验的测量系统由 ROSEMOUNT 3051S 型电容式压力变送器、3144P 温度变送器、NT546E 型电磁流量计、孔板流量计、35951C 型 IMP 采集板、数字化采集和计算机处理系统组成。

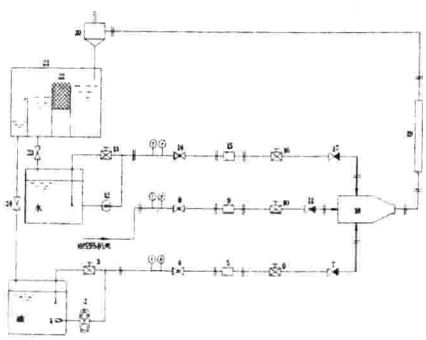


图 1 油气水三相流实验系统

1-油过滤器 2-齿轮油泵 3-调节阀 4-球阀 5-孔板流量计 6-调节阀 7-逆止阀 8-球阀 9-空气孔板流量计 10-调节阀 11-逆止阀 12-水泵 13-调节阀 14-球阀 15-电磁流量计 16-调节阀 17-逆止阀 18-混合器 19-试验段 20-气液分离器 21-油水分离箱 22-波纹板组件 23-截止阀 24-截止阀 Ⓣ 热电偶 Ⓟ 数字式压力表

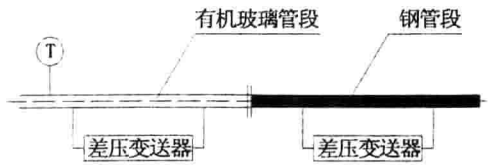


图 2 油水两相流实验段结构简图

三、实验结果与分析

流体流过直管段的总压降由摩擦阻力压降、重位压降和加速压降三部分组成，其表达式如下：

$$-\frac{dP}{dz}=\frac{dP_f}{dz}+\frac{dP_g}{dz}+\frac{dP_a}{dz} \tag{1}$$

式中：$-\frac{dP}{dz}$ 为总压降，$\frac{dP_f}{dz}$ 为摩擦压降，$\frac{dP_g}{dz}$ 为重位压降，$\frac{dP_a}{dz}$ 为加速压降

由于本实验中的油水两相均为不可压缩流体，并且管道不受热、混合物处于等温状态，因此不存在相变问题，可不考虑加速压降；另外本实验限于研究水平管中的流动，可忽略重位压降。因而近似有：$\frac{dP_g}{dz}=0$，$\frac{dP_a}{dz}=0$。因此，总摩擦压降可以表示为：

$$-\frac{dP}{dz}=\frac{dP_f}{dz} \tag{2}$$

实验结果发现，该流型压降规律与 J.Lovick(2004)[4]的数据关系曲线趋势比较类似。因此，可以使用实验中的测量数据来进行统计分析，找出压降的统计特性。

图 3~图 5 描述了不同含水率下，钢管和有机玻璃管内油水两相油滴分散流流动的摩擦阻力压力梯度随混合流速的变化规律。从图中可以看出：有机玻璃管内的摩擦阻力压力梯度大于钢管内的摩擦阻力压力梯度。在含水率分别为 0.18、0.50 和 0.80，钢管和有机玻璃管内油水两相流动的摩擦压力梯度随混合流速的增大而递增，在低含水率（0.18）时和高含水率（0.80）时，钢管和有机玻璃管内的摩擦压力梯度差值随混合流速的变化不大，但在中等高含水率（0.50）时，则差值变化较大。

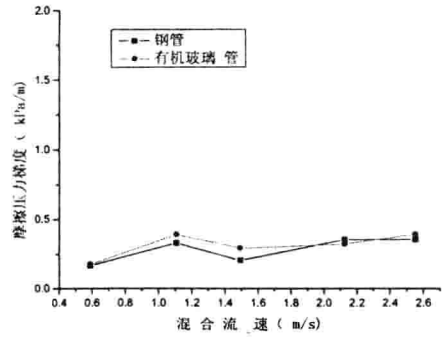


图 3 钢管和有机玻璃管内摩擦压力梯度随混合流速的变化曲线
（含水率为 0.18）

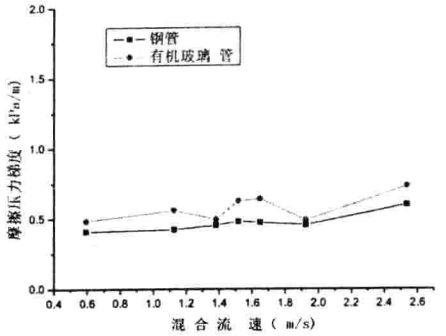


图 4 钢管和有机玻璃管内摩擦压力梯度随混合流速的变化曲线
（含水率为 0.5）

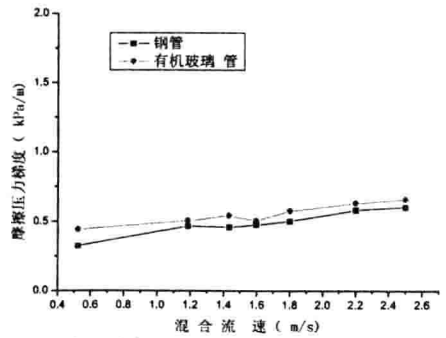


图 5 钢管和有机玻璃管内摩擦压力梯度随混合流速的变化曲线
（含水率为 0.8）

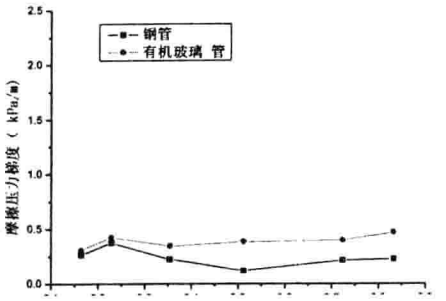


图 6 钢管和有机玻璃管内摩擦压力梯度随含水率的变化曲线
（混合流速为 0.6m/s）

本文观察到在油滴分散流型范围内，有机玻璃管内的摩擦阻力压力梯度大于钢管内的摩擦阻力压力梯度，这与吴铁军[5]的实验发现相同。但与张修刚[6]实验观察不同：当含水率较小（小于 0.35）时，有机玻璃管内摩擦压降比相同流动条件下钢管内的摩擦压降大；当含水率再继续增大时，钢管内的摩擦压降则会大于有机玻璃管内的摩擦压降。

图 6~图 8 给出了不同混合流速下，钢管和有机玻璃管内油水两相油滴分散流流动的摩擦阻力压力梯度与含水率的变化关系。混合流速分别为 0.60m/s、1.4m/s 和 2.45m/s，有机玻璃管和钢管内的摩擦阻力压力梯度变化趋势相似，但有机玻璃管内的摩擦阻力压力梯度大于钢管内的摩擦阻力压力梯度。当混合流速较小（0.6m/s）和混合流速较大（2.45m/s）时，钢管和有机玻璃管内的摩擦压力梯度差值随含水率的变化较大，但在中等混合流速（1.4m/s）时，钢管和有机玻璃管内的摩擦压力梯度差值随含水率的变化不大。

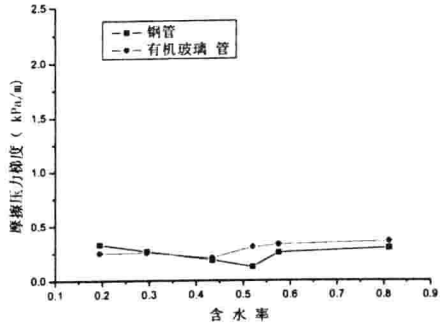


图 7 钢管和有机玻璃管内摩擦压力梯度随含水率的变化曲线
（混合流速为 1.4m/s）

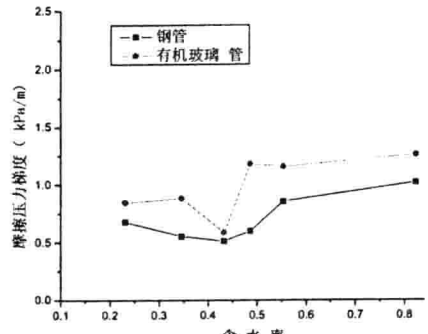


图 8 钢管和有机玻璃管内摩擦压力梯度随含水率的变化曲线
（混合流速为 2.45m/s）

图 9~图 11 分别为油水比 1：1、1：2 和 2：1 时的摩擦阻力压降随两相混合流速的变化规律。从变化趋势上看，在分层流区域，两种管子内的压降变化趋势类似，都是随混合流速的增大而升高。在三层流区域，两者的变化趋势不同：有机玻璃管内的压降并没有随混合流速的增大而增大，而是保持不变或略有减小。原因是两种管道材料不同的润湿性，有机玻璃管的润湿性好，因而有机玻璃管内的油更易粘在管壁上，使得油层破碎对压降的影响不大。在分散流区域，由于影响摩擦阻力压降的主要因素是混合物流速，因此摩擦阻力压降都随着混合物流速的增大而升高。

从大小上来看，除了分层流区域以外，有机玻璃管内的压降总是比钢管内的压降大，分析认为这一现象的发生是由于有机玻璃管壁面受到污染致使有机玻璃管壁面的粗糙度较大而造成的。在分层流区域钢管内的压降比有机玻璃管内的压降大，可能是因为油与两种管道壁面的润湿性不同有关。

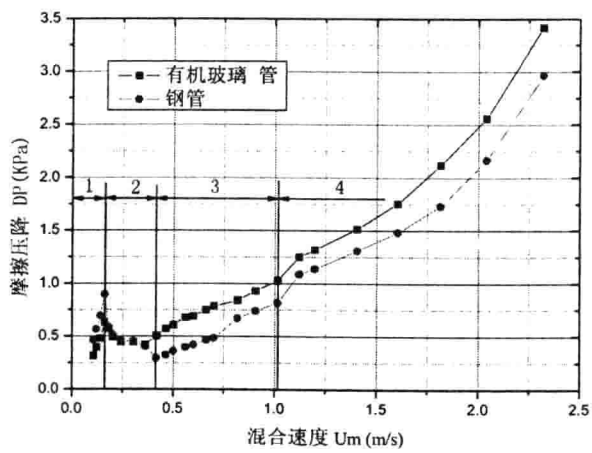


图 9 油水比 1：1 时的有机玻璃管和钢管摩擦阻力压降对比

流型：1.分层流；2.三层流；3.油滴分层流；4.油滴分散流

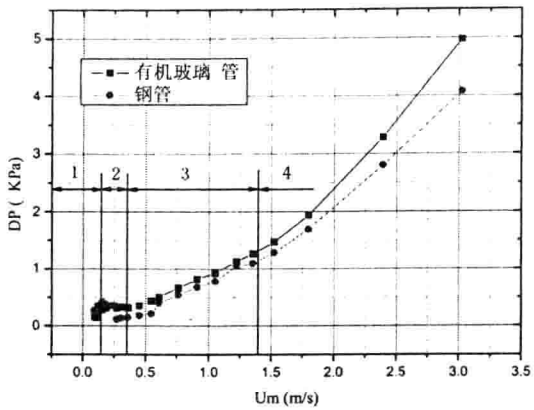


图 10 油水比 1：2 时的有机玻璃管和钢管摩擦阻力压降对比

流型：1. 分层流；2. 三层流；3. 油滴分层流；4. 油滴分散流

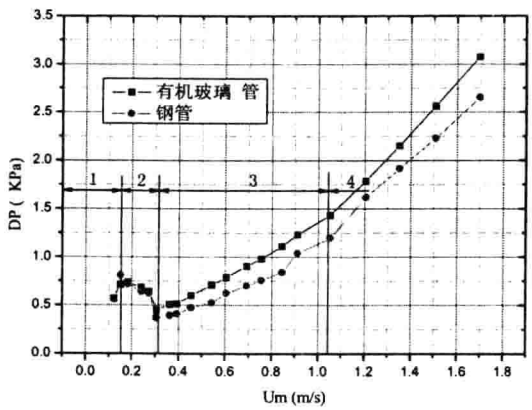


图 11 油水比 2：1 时的有机玻璃管和钢管摩擦阻力压降对比

流型：1. 分层流；2. 三层流；3. 油滴分层流；4. 油滴分散流

四、结论

1. 在本文的实验范围内，除了分层流区域以外，有机玻璃管内的摩擦阻力压力梯度大于钢管内的摩擦阻力压力梯度。

2. 在含水率分别为 0.18、0.50 和 0.80，钢管和有机玻璃管内油水两相流动的摩擦压力梯度随混合流速的增大而递增，在低含水率（0.18）时和高含水率（0.80）时，钢管和有机玻璃管内的摩擦压力梯度差值随混合流速的变化不大，但在中等高含水率（0.50）时，则差值变化较大。

3. 当混合流速较小(0.6m/s)和混合流速较大(2.45m/s)时，钢管和有机玻璃管内的摩擦压力梯度差值随含水率的变化较大，但在中等混合流速(1.4m/s)时，钢管和有机玻璃管内的摩擦压力梯度差值随含水率的变化不大。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

参考文献

1. Valle A.,Kvandal H.K.,Pressure Drop and Dispersion Characteristics of Separated Oil/Water Flow, Two -PhaseFlow Modeling and Experimentation,1995
2. Andreini P.A., Greeff P.De, Oil-Water Flow in Small Diameter Tubes, Int. Symposium on Liquid-Liquid Two-Phase Flow and Transport Phenomena, Antalya, Turkey, Nov. 3rd-7th, 1997
3. Angli P. Pressure Gradient in Horizontal Liquid-Liquid Flows International Journal of Multiphase Flow, 1998, 24:1183-1203
4. J.Lovick, P.Angeleli, Experimental Studies on the Dual Continuous Flow Pattern in Oil-Water Flows, International Journal of Multiphase Flow. 2004,30,139-157
5. 吴铁军.水平管内油水两相流动特性研究.[硕士学位论文].西安：西安交通大学，2001. 67～68
6. 张修刚，牛冬梅，苏新军等.水平管内油水两相流动摩擦压降的试验研究，油气储运.2003，22（2）：47-50

中国工程热物理学会
学术会议论文

多相流
编号：066022

EMD 与神经网络在气液两相流流型识别中的应用

王强[1]，周云龙[1]，陈飞[1]，张永刚[2]，孙斌[1]

([1]东北电力大学，吉林省 吉林市，132012；[2]山东凤凰制药股份有限公司，山东省 东营市，257400)

Tel：0432-4806655　E-mail：zyl@mail.nedu.edu.cn

摘要：本文提出了 EMD 与 Elman 神经网络相结合的气液两相流流型识别的新方法。将压差波动信号经验模态分解（EMD）后的固有模态函数（IMF）进行分析、提取 IMF 能量作为 Elman 神经网络的输入特征向量，对水平管内的气液两相流流型进行识别。实验结果表明：该方法优于 BP 网络且稳定、识别率高，具有可行性。

关键词：气液两相流；流型识别；经验模态分解（EMD）；Elman神经网络

1　引言

目前气液两相流流型的识别方法主要有两种：一种是人为观察的方法；另一种是利用已有的流型转变准则或流型图判断的方法。这两种方法都不可避免地要受主观因素的影响，难以实现流型的客观识别。不同的特征提取对神经网络的识别效果有很大影响，因此，如何寻找各流型的特征是一个很关键的问题。

EMD是分析非线性、非平稳信号的方法[1-3]。它的特点是通过EMD对非线性、非平稳的数据进行线性和平稳化处理，得到IMF分量，并在分解过程中保留数据本身的特性。该方法吸取了小波变换的多分辨的优势，同时克服了小波变换中需要选取小波基的困难，从信号本身的尺度特征出发对信号进行分析，因而能尽快地分析出信号的特征，具有良好的局部适应性。气液两相流由于流动的复杂性，其压差波动信号表现出非平稳性，本文对压差波动信号EMD分解后的IMF分量进行分析、提取IMF能量作为特征提取，取得了很好的效果。

神经网络作为一种智能技术已经在流型识别中得到了应用[4-8]，但大多都集中在BP 神经网络。王妍芃等将BP神经网络应用于气液两相流流型的识别中[9]，而BP神经网络的样本训练过程相当复杂而且极不灵活。而Elman神经网络是一种典型的动态神经元网络，它具有动态特性好、逼近速度快、预测准确可靠等特点。本文针对压差波动信号的非平稳特性，尝试运用EMD分解进行特征提取，再与Elman网络结合，形成一种新的流型识别方法。

2　EMD分解过程

基金项目：吉林省科技发展基金资助项目（20040513）

HHT[10]假设任一信号都是由许多IMF组成，任意时刻，一个信号都可以包含许多固有模态信号，其中固有模态信号应满足以下两个条件：

（1） 在整个数据中极值的个数必须与过零点的个数相等或至多相差1；

（2） 在任何一点，由局部极大值确定的信号包络和局部极小值确定的包络的平均值为零。具体的处理方法是：

先根据信号 $s(t)$ 的极大点和极小点求出其上包络 $v_1(t)$ 及下包络 $v_2(t)$ 之平均值

$$m=\frac{1}{2}[v_1(t)+v_2(t)] \tag{1}$$

然后考察 $s(t)$ 与 m 之差 h，即

$$s(t)-m=h \tag{2}$$

将 h 视为新的 $s(t)$ 重复以上操作，直到 h 满足IMF条件时，记

$$c_1=h \tag{3}$$

c_1 视为一个足IMF。作

$$s(t)-c_1=r \tag{4}$$

视 r 为新的 $s(t)$，重复以上过程，依次得到 $c_2,c_3,\ldots$，直到 $r(t)$ 基本呈单调趋势或 $|r(t)|$ 很小视为测量误差时即可停止。于是

$$s(t)=\sum_{i=1}^{n} ci+r \tag{5}$$

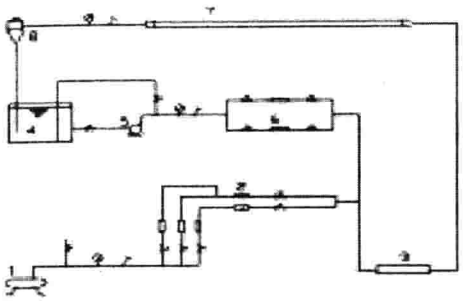
即把原信号分解成 n 个IMF即 $c_1,c_2,\ldots,c_n$，和一个剩余分量 r。式（5）表明了EMD分解的完备性。

3 实验系统与实验数据

实验工质采用空气和水，空气经空压机升压后，经转子流量计计量后进入气液两相混合器，水由水泵抽出，用孔板流量计计量后到气液两相混合器，从气液两相混合器出来的气水混合物，流经实验段进行各项数据测量后，进入旋风分离器，将空气分离出来并排入大气，剩下的水流回水箱供循环使用。实验系统如图 1 所示。

气-液两相流压差信号由 PD-24 型差压变送器进行测量，并由 IMP3595 数据采集板进行采集。压差信号的采样频率为 256Hz，采样点数为 2048。实验过程的参数范围：压力 0.1-0.5MPa；工质温度：3-42℃；实验中空气流量为 0-25m^3/s，水的流量为 0-4.5m^3/s。

本文在实验中共观察到四种流型即，泡状流、间歇流、层状流、环状流，各种流型对应的差压波动信号如图 2 所示。



1-空压机 2-气路孔板 3-两相混合器 4-水箱
5-离心式水泵 6-水路孔板 7-实验段 8-旋风分离器

图 1 实验系统

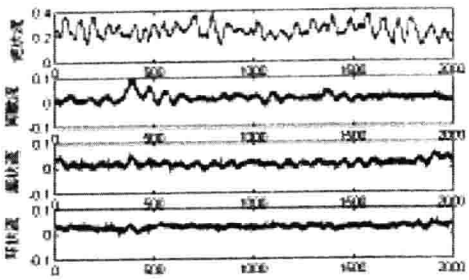


图 2 流型的压差信号

4 流型识别方法的建立

4.1 流型的IMF能量特征提取

本文对泡状流和间歇流差压信号进行 EMD 分解结果如图 3 和图 4 所示， 通过比较图 3 和图 4 可以发现差压信号经 EMD 分解后得到的 IMF 分量个数是不固定的，经过大量的数据验证得知差压信号经 EMD 分解后的 IMF 分量为 8 个到 11 个不等，本文定义了差压信号经 EMD 分解后得到 8 个 IMF 分量加 1 个 r 分量，即信号经 EMD 分解后 IMF 分量多于 8 个的都加到 r 分量上作为 1 个 r 分量。为了利用神经网络进行训练，定义了 IMF 能量：即选取各 IMF 能量和 r 能量作为流型的特征提取。为了避免在数据分析上带来的不便，对特征向量进行归一化处理，部分归一化检测样本数据见表 2。

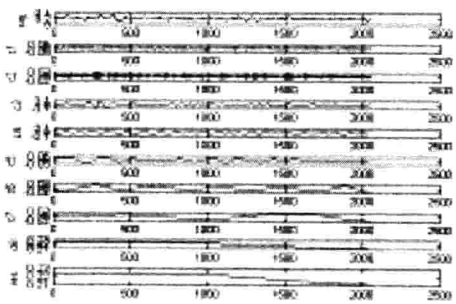


图 3 泡状流EMD分解

图 4 间歇流EMD分解

另外，通过大量的数据验证得知，即选取各 IMF 能量和 r 能量也可以简单的把泡状流给区分出来，部分数据如表 1 所示，泡状流信号的 r 能量远远大于其它信号的 r 能量。泡状

流即气相以细小的气泡形式分散在液相中流动，由于重力的作用气泡多集中在管道上部。典型的泡状流动发生在气相折算速度较低而液相折算速度较高的工况下。

图1　各层能量表

	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	r
泡状流	0.04827	0.078151	0.088297	3.9062	1.9927	0.40444	1.0262	0.10959	***125.99***
泡状流	0.05606	0.084389	0.10656	5.0167	0.48753	0.48943	0.10169	0.34669	***140.28***
间歇流	0.06224	0.038369	0.03319	1.2337	1.0417	1.0188	0.21732	0.35146	5.5684
间歇流	0.06201	0.026678	0.030647	0.1765	1.5625	0.23476	0.84067	0.22536	5.8476
层状流	0.03571	0.014753	0.009421	0.0079	0.06361	0.006158	0.00685	0.00791	0.67129
层状流	0.03601	0.01121	0.012499	0.0038	0.05312	0.012509	0.00743	0.00829	0.78756
环状流	0.05904	0.015542	0.007142	0.0187	0.04801	0.010948	0.00991	0.00351	2.1162
环状流	0.05802	0.016568	0.008078	0.0251	0.07368	0.023536	0.01251	0.02013	2.2386

4.2　Elman 神经网络模型的建立

Elman 型回归神经元网络一般分为 4 层：输入层，中间层（隐含层），承接层和输出层，如图 5 所示。其输入层，隐含层和输出层的连接类似于前馈网络，输入层的单元仅起信号传输作用。隐含层单元的传递函数可采用线性或非线性函数。承接层又称上下文层或状态层，它用来记忆隐含单元前一时刻的输出值，可以认为是一个一步延时算子。其特点是隐含层的输出通过承接层的延时与存储，自联到隐含层的输入，这种自联方式使其对历史状态的数据具有敏感性，内部反馈网络的加入增加了网络本身处理动态信息的能力，从而达到了动态建模的目的。

神经网络的输入与输出是由所研究的具体问题决定的。本文中气液两相流流型识别是利用各 IMF 能量和 r 能量作为流型识别的特征量。而网络的输出为泡状流（1000），间歇流（0100），层状流（0010），环状流（0001），所以 Elman 网络的输出节点的个数为四个。

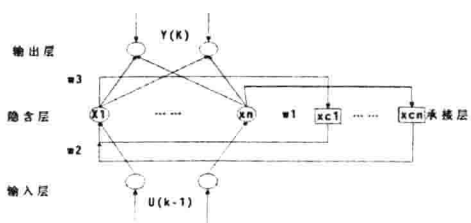


图 5　Elman 神经网络模型

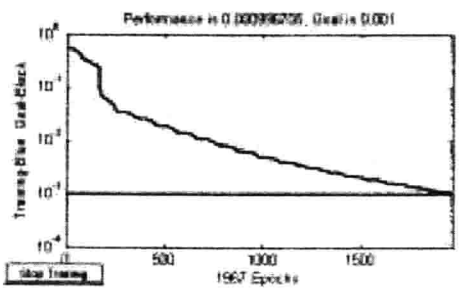


图 6 Elman 网络训练误差曲线

5 识别结果及分析

以实验工况中的 80 个样本(泡状流、间歇流、层状流、环状流各 20 组)作为训练样本,网络训练完毕后,再另外选取 80 组数据(泡状流、间歇流、层状流、环状流各 20 组)作为测试样本进行仿真，结果表明：网络正确识别样本为 76 例，误识别样本为 4 例（其中泡状流 1 例、间歇流 2 例、环状流为 1 例），整体识别率达到 95%；本文换用 BP 神经网络对以上数据进行处理，检测结果表明：网络正确识别样本为 60 例，误识别样本为 20 例（其中泡状流 2 例、间歇流 8 例、层状流 4 例、环状流 6 例），整体识别率为 75%。表 2 给出四种流型的部分检测样本数据及分类结果。通过以上实验得知：Elman 网络不但具有更高的准确性，而且在训练中发现 BP 网络对初值比较敏感，每次训练的结果不尽相同，而 Elman 网络每次训练的结果很稳定，其训练误差曲线如图 6 所示。

表 2 四种流型的部分检测样本数据及分类结果

各 IMF 能量和 r 能量特征									实际流型	Elman 网络识别	BP 网络识别
0.84342	0.54267	0.85199	0.24927	0.74911	0.55657	0.20683	0.99861	0.72458	B	B	**I**
0.75675	0.57691	0.40246	0.34888	0.93412	0.39697	0.61124	0.13527	0.75843	B	B	B
0.97224	0.19694	0.13969	0.01576	0.76277	0.23042	0.50075	0.27816	0.03526	I	I	I
0.93224	0.19935	0.10957	0.14162	0.13387	0.15395	0.10796	0.098078	0.03216	I	I	I
0.87897	0.62296	0.48571	0.44806	0.22885	0.4804	0.06057	0.42793	0.84397	B	B	B
0.56457	0.08275	0.056968	0.00034	0.02494	0.01228	0.004423	0.010227	0.00474	S	S	S
0.57615	0.08619	0.055035	0.000811	0.00431	0.00897	0.002539	0.00379	0.00836	S	S	**A**
0.85951	0.1188	0.038712	0.000375	0.01397	0.01456	0.00935	0.022616	0.01394	A	A	A
0.89587	0.11637	0.035788	0.000424	0.05693	0.03408	0.031111	0.020694	0.01516	A	A	A

注：B 为泡状流；I 为间歇流；S 为分层流；A 为环状流．黑体显示为误识别结果．

6 结论

（1）定义了IMF能量和r能量对差压信号进行特征提取，实验结果证明了IMF能量能够很好的提取不同流型的特征；

（2）Elman神经网络实现了对流型的智能识别，通过大量的实验数据证明，该方法优于BP网络且稳定、识别率高，具有可行性。

参考文献：

[1] Rilling G, Flandrilin P, et al. On Empirical Mode Decomposition and its algorithms [A]. IEEE EURASIP Workshop nonlinear Signal and Image Processing [C]. NSIP 03, Grado(I): June 2003

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com