

Study on characteristics of liquid film in upward annular two-phase flow

張, 華誠

<https://hdl.handle.net/2324/7157347>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏名：張華誠

論文名：Study on characteristics of liquid film in upward annular two-phase flow (環状上昇気液二相流における液膜特性に関する研究)

区分：甲

論文内容の要旨

環状流は、原子炉、冷凍システム、蒸気ボイラーなど、多くの実用的なアプリケーションで見られる重要な流動様式の一つで、中心部に連続的に流れる気相部と、流路壁面上を流動する液膜で構成される。さらに、その液膜部では、基底液膜と呼ばれる薄い液膜上をじょう乱波と呼ばれる液塊が高速で流動している。加熱系の場合、この液膜がドライアウトすると熱伝達率が急激に劣化し壁温が急上昇する。そのドライアウトは、じょう乱波の通過間隔が大きくなったときに、連続する2つのじょう乱波間の薄い基底液膜部で常に発生する。したがって、液膜の特性、すなわち、じょう乱波と基底液膜の挙動の把握は、液膜ドライアウトの高精度予測に重要と言える。そこで、環状流に関して、液膜厚さ(最大、最小、平均の膜厚)、波高、波速度、波の通過頻度、などの液膜特性は、過去数十年にわたって研究されてきた。一方、多くの研究は、大気圧下の空気や水を用いて行われており、流体物性の影響が明確になったとは言いがたく、圧力に関する普遍的な相似則は確立されていない。

以上のような研究背景の下、本研究では作動流体に窒素ガス、HFC134aガス、水、95vol%エタノール水溶液を用い、内径5mmの管内流で0.2MPaから0.7MPaまで圧力を変化させ、気液密度比と表面張力が液膜特性に及ぼす影響を実験的に検討した。

まず第1章では、気液二相流の基本的な流動様式について概説し、実用的な適用先に関わる環状流の重要性について紹介した。さらに、環状流の液膜流れに関する先行研究をレビューし、本研究の目的を述べた。

第2章では、気液密度比と表面張力が最大膜厚、最小膜厚、平均膜厚、さらにはじょう乱波波高に及ぼす影響を検討した。その結果、同じ液体流量条件下で気体のウェーバー数でプロットすると、最大膜厚、最小膜厚、平均膜厚、およびじょう乱波波高がそれぞれ一本の線で整理される、という興味深いことが明らかになった。特に、じょう乱波波高に関して、その理由を説明するため、じょう乱波に掛かる力の釣り合いを考慮したモデルから、じょう乱波波高が気体ウェーバー数の関数になることを明らかにした。さらに、実験条件だけから平均膜厚を予測するため、普遍速度分布を考慮したアンダーソンモデルを基に液滴の効果も加味した新たなモデルを構築した。加えて重回帰分析により、平均膜厚に関して無次元数から構成される実用的な実験相関式を提案し、本研究の実験データだけでなく過去のデータベースをよく予測できることを示した。

第3章では、気液密度比、表面張力がじょう乱波速度、じょう乱波波長、じょう乱波の通過頻度に及ぼす影響を検討した。一般に、じょう乱波速度は、みかけの液相速度およびみかけの気相速度の増加とともに増加する。液膜にかかる界面せん断力と壁面せん断力の釣り合いに基づく波速度モデルを検討し、界面と壁面の摩擦係数の比を予測する実験相関式を作成し、それにより、じょう乱波速度を広い実験範囲で予測できることを示した。また、じょう乱波の波高と波長の比が、気液密度比、液体のレイノルズ数、気体のウェーバー数の関数になっていることも明らかとなった。じょう

う乱波の通過頻度は、みかけの液相速度およびみかけの気相速度の増加とともに増加する。これは、界面せん断力の増加に伴いじょう乱波波高が低くなり、連続の式を満たすようにじょう乱波通過頻度は高くなるためである。その通過頻度を予測するために、従来から提案されている手法、すなわちストロハル数をマルチネリパラメータの関数として与える実験相関式をすべてのデータベースを包含するように再作成し、幅広い流動条件で予測することが示された。

第4章では、環状流の圧力損失に及ぼす表面張力と気液密度比の影響について検討した。単相流の摩擦係数の予測に用いられるムーディー線図を気液二相流の界面摩擦係数の予測へ適用したところ、ムーディー線図で用いられている等価砂粒粗さが、環状流のじょう乱波波高と直接相関があることが、明らかとなった。そこで界面摩擦係数を予測するため、チャーチルが提案する式の形で相関関係を検討し、良好な予測性能が得られた。さらにこの界面摩擦係数を用いて算定される圧力損失を過去に提案されている典型的なモデルを用いて7MPaの高温・高圧の実験データから大気圧下の空気・水系の実験データまで、極めて幅広い流動条件の実験データベースと比較を行ったところ、従来式よりも予測精度が高いことが示された。

最後に第5章にて本研究によって得られた知見をまとめ、結論を述べた。