



测量技术



新疆石油管理局油田工艺研究所

1983·4·

国外稠油开采技术译文集第三集

测 量 技 术

新疆石油管理局油田工艺研究所

一九八三年五月

国外稠油开采技术
译文集
第三集

测量技术

编 译：油田工艺研究所情报室
清华大学核能技术研究所
编辑出版：油田工艺研究所情报室
地 址：新疆克拉玛依市
印 刷：沈阳市第十三印刷厂

印数—3000

1983.8

编译出版说明

在研究关于新疆克拉玛依油田稠油注蒸汽开采的物理模拟和数学模拟课题中，我们调研了一些国外发表的有关资料。为了便于更多的同志较快地了解到这方面的情况，作为工作中的借鉴，我们对收集到的资料进行了选择，并拟大致按四方面内容分集刊出：（1）蒸汽驱采油物理模拟研究；（2）蒸汽驱采油数学模拟研究；（3）测量技术；（4）油藏模拟。

《测量技术》为这套译文集的第三集。所选的内容都是在国外研究、实验得较多，且技术上较为成熟以便将来在油田开发中应用的测量难题——水—汽两相流的流量测量。由于时间仓促，水平有限，虽经校对，审核，仍难免存在错误之处，衷心希望各方面的同志提出宝贵意见。

新疆石油管理局油田工艺研究所
清华大学核能技术研究所

一九八三年五月

目 录

编译出版说明

一、国外蒸汽——水两相流测量技术综述	(1)
二、两相(气——液)系统中的流量测量	(14)
引言	(14)
流量测量的实用方法	(15)
空气份额测量	(15)
差压测量方法	(16)
涡轮流量计	(17)
阻力网板	(17)
数据处理	(17)
正在研究中的方法	(18)
真实质量流量计	(18)
脉冲中子活化	(18)
环状流中的分项流量测量	(19)
液膜流量	(19)
夹带的液体流量和气体流量	(19)
结论	(20)
符号说明	(20)
参考文献	(21)
三、现有用美国机械工程师协会标准锐缘孔板测量两相流的关系式的评价	(26)
引言	(26)
两相流关系式	(27)
实验数据基础	(28)
评价方法	(29)
结果	(30)
结论	(34)
符号说明	(34)
参考文献	(35)
四、用孔板测量两相流	(36)
引言	(36)
设备和步骤	(37)
数据来源	(37)

流量计.....	(37)
流体特性.....	(37)
船舶锅炉和透平实验室的试验.....	(38)
奥斯本实验室的常压试验.....	(38)
奥斯本的现场压力试验.....	(39)
数据处理.....	(41)
分析.....	(41)
讨论.....	(43)
结论.....	(46)
符号说明.....	(46)
附录 I: 基本公式的推导.....	(53)
A. 理想的两相流动.....	(53)
B. 通过孔板流量计的实际两相流动.....	(53)
附录 II: 利用 ASME 数据计数两相流.....	(55)
A. 两相流通过孔板流量计的实用公式.....	(55)
B. 利用 ASME 流量计〔8〕的数据计算两相流的实例.....	(55)
附录 III: 利用 AGA 法计算两相流.....	(58)
A. 把用 ASME “流量计”符号表示的两相流公式转换成用 AGA 3 号报 告“天然气的孔板测量”符号表示的公式.....	(58)
B. 利用 AGA 3 号报告的方法和公式计算天然气两相流的实用公式的推导.....	(60)
C. 用于计算 h_{fg} 的系数的推导.....	(60)
实例.....	(61)
参考文献.....	(63)
五、利用锐缘孔板测量汽——水两相流.....	(64)
引言.....	(64)
目前实验原因.....	(65)
设备.....	(66)
实验步骤.....	(67)
汽——水混合物的密度.....	(73)
与奇斯霍姆的结果比较.....	(77)
与默道克的结论比较.....	(78)
结论.....	(83)
附录 I.....	(84)
附录 II.....	(85)
符号说明.....	(87)
参考文献.....	(88)
六、蒸汽——水两相流通过锐缘孔板.....	(89)
绪言.....	(89)

定义.....	(90)
结果和讨论.....	(90)
计算说明.....	(97)
分析.....	(98)
附录A: 干度和空泡份额之间关系.....	(103)
附录B: 汽——水孔板流动资料.....	(104)
术语表.....	(109)
参考文献.....	(111)
七、用文丘里管和孔板测量自下而上流动的两相流的干度.....	(116)
引言.....	(116)
试验所用的文丘里管和孔板.....	(116)
流量系数的标定.....	(117)
两相流实验装置.....	(119)
热损失的标定.....	(121)
两相流实验数据处理.....	(121)
推荐的干度测量关系式.....	(123)
孔板上游稳定段长度.....	(126)
孔板试验结果同默道克和詹姆斯数据的比较.....	(126)
本文作者的实验结果同奇斯霍姆、沃特森和比任数据的比较.....	(127)
两相流结果总结和结论.....	(129)
今后的工作.....	(130)
附录: 基本方程的推导.....	(130)
符号说明.....	(131)
参考文献.....	(132)
八、用涡轮流量计和文丘里管测量质量流量和干度.....	(133)
符号说明.....	(133)
引言.....	(133)
实验装置描述.....	(134)
涡轮流量计的研究和校准.....	(135)
文丘里管标准.....	(136)
在 OMEGA 迴路中质量流量的计算.....	(137)
质量流量与干度的计算.....	(138)
结论.....	(138)
参考文献.....	(139)
九、用阻力元件和 γ 密度计测量空气——水混合物的质量流量.....	(143)
引言.....	(143)
实验描述.....	(143)
阻力元件.....	(144)

解析模型.....	(146)
均匀密度计模型.....	(146)
泡状分层密度计模型.....	(147)
简单分层密度计模型.....	(148)
连续分层密度计模型.....	(148)
阻力网状板—— γ 密度计模型.....	(150)
结果.....	(151)
结论.....	(157)
符号说明.....	(158)
参考文献.....	(159)
十、用文丘里管作千度计.....	(160)
十一、用皮托管测量蒸汽——水两相流的质量流速.....	(163)
实验.....	(163)
结果.....	(165)
讨论.....	(166)
符号说明.....	(166)
参考文献.....	(167)

(本集责任编辑、杨立强)

一、国外蒸汽——水两相流 测量技术综述

此文是根据清华大学核能所热工实验室研制组《气（汽）——液两相流研究报告》和查关生同志编译、徐元辉同志审核的《国外蒸汽——水两相流测量技术概况》一文整理而成。该文主要反映了国外的研究情况，也介绍了国内部分单位的研究动向，并提出了该项技术目前存在的问题。由于时间和水平有限，该文反映的国外研究情况不一定全面，仅供大家阅读文集时参考。

——编者

一、前 言

目前，在我国石油工业上，稠油开采技术正在迅速地发展，在蒸汽驱采油工艺中，由于工艺的需要，注入油井中的蒸汽含有一定量的水，因此，必须测量注入油井中的蒸汽的流量和干度，这也是汽——水两相流的测量问题。

在气（汽）——液两相流体流动中，流型是多种多样的。影响流型的因素也很多。它不象单相流体那样只考虑流量、压力、温度就行了。因为单相流体的重度值是根据压力，温度确定的。而两相流体要复杂得多。除了上述参数外，干度是一个重要的参数。随着干度变化，流型也会发生变化（当干度逐渐增高时，流型有从泡状流，层状流，块状流，环状流到雾状流的变化）。两相流体的气（汽）——液相间存在相对速度，使两相流体的空泡与干度之间的关系变得很复杂。因此，气（汽）——液两相流的流动规律是极其复杂的。

蒸汽——水两相流流量、干度等参数的测量是一个崭新的测量领域。最近几十年来，国外已有许多研究单位和实验室用相当大的力量进行两相流的测量技术的研究（见表1），有的已取得了可喜的成果。但由于上述原因，研究仅处于实验阶段，并且还存在不少问题有待于进一步研究解决。

表1. 国外几家研究单位对两相流的研究情况
(用于稳态两相流)

项 目	回 路 参 数	两 相 流 测 量 技 术
德 国 卡 尔 斯 鲁 (KARLSRUHE)	介质: 汽——水 或空气——水 压力: 2250磅/时 ² 温度: 350°C 质量流量: 5公斤/秒 水平试验段	①阻力体。 ②真实质量流量计。 ③放射性原子示踪。 ④核磁共振。 ⑤阻力体、涡轮流量计和γ—射线密度计组合体。 ⑥流量测定: 高速摄影 阻抗探针 多束γ—密度计
意 大 利 CISE	介质: 汽——水 压力: 3680磅/时 ² 温度: 300°C 质量流量: 大于25公斤/秒 垂直试验段	①快速开闭阀 ②阻抗探针 ③压力
加 拿 大 WCL	介质: 汽——水 压力: 900磅/时 ² (绝对) 温度: 350°C 质量流量: 22公斤/秒 水平或垂直试验段	①快速开闭阀 ②多束γ—射线密度计 ③涡轮流量计 ④皮托管
法 国	介质: 氟里昂—12 氟气——水	①微型热电偶 ②光学探针 ③热线或热膜风速仪 ④电探针 ⑤涡轮流量计 (水力学轴承) ⑥文丘利管——孔板 ⑦中子束衰减法 ⑧多束γ—射线密度计 ⑨快速开闭阀
美 国 INEL	介质: 空气——水 压力: 130磅/时 ² 温度: 60°F 质量流量: 22公斤/秒	①涡轮流量计 ②阻力体 (盘、屏) ③多束γ—射线密度计 ④高速摄影 ⑤压差

二、气(汽)、液两相流的测量方法及国内外对气(汽)、液两相流的研究情况

测量气(汽)、液两相流各相流量,一般需要测量两个参数,即气(汽)相流量和液相流量,或者两相总流量及干度。因此有下列两种情况:

1、用分离方法,将气(汽)、液两相分离,分别测出各相流量,这种方法设备多,成本高,而且测量精度低,是一种老式的测量方法。

2、测量气(汽)、液总流量及干度,从而知道各相流量。在有的场合,总质量流量用常规方法可测量,只需测干度。有的场合总质量流量和干度都需测量。

从测量方法上看,对气(汽)、液两相流的测量,国内外科研工作者使用了不同的测量仪器,从现有资料看,归结如下三种方式:

1. 用皮托管和 γ -射线密度计测量气(汽)、液两相流流量。
2. 用涡轮流量计和 γ -射线密度计测量气(汽)、液两相流流量。
3. 用节流元件测量气(汽)、液两相流流量。

下面分别介绍这三种测量方式:

I. 皮托管和 γ -射线密度计测量气(汽)、液两相流流量

这是由加拿大麦克斯特(McMaster)大学工程物理系班纳基(Banerjee)等人做的试验。他们采用五支皮托管插在管道的同一截面上测量气(汽)、液两相流体的平均动压,在皮托管下游用 γ -射线密度计测量两相流体的密度(注:这是按均相流体考虑的,实际测得的是空泡成份),从而得到气(汽)、液两相流体的质量流速。班纳基的实验是在下列情况下做的,

皮托管外径: 6.35mm

全压孔直径: 3.2mm

工作压力: 3500KPa ~ 5500KPa

皮托管前直管段: $L/D = 50$

空泡成份: 0—1

质量流量 $\rho_w = 1100 \sim 4200 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{s}$

试验管线水平放置, 试验数据按下式整理:

$$\rho_w = C \sqrt{\Delta p \cdot \rho}$$

式中: ρ 是 γ -射线密度计测得的平均密度

Δp 是由五支皮托管测得的动压算术平均值

C 是皮托管的流量系数, 按 $\psi = 0$ 时标定, $C = 0.74$

班纳基按上式求得的两相流质量流量与实际质量流量偏差并不大, 但是这种测量方法不能得到气(汽)、液各相流量, 因为 γ -射线测得的实际是空泡成份, 并不是两相混合流体的干度, 两相混合流体空泡成份与干度之间存在着复杂关系。因此这种测量方法没有更多的人进行研究。

II、用涡轮流量计和 γ -射线密度计测量气(汽)、液两相流流量。

格林(Green)、鲍伯(Popper)和劳兰(Roulhani)等人根据分相流模型,根据涡轮转子与气体、液体之间的动量平衡建立了汽、液两相流中转子频率、质量流量、干度和空泡率之间关系式:

$$f = \lambda_{2\phi} M \left[\frac{X^2}{\alpha \rho_g} + \frac{(1-X)^2}{(1-\alpha)\rho_L} \right] = \lambda_{2\phi} \frac{M}{\rho_{2\phi}} \quad (2-1)$$

式中, $\lambda_{2\phi}$: 是涡轮流量计在两相流中的流量系数

M : 是两相流质量流量

X : 干度

α : 空泡份额;

ρ_g : 汽相密度;

ρ_L : 液相密度;

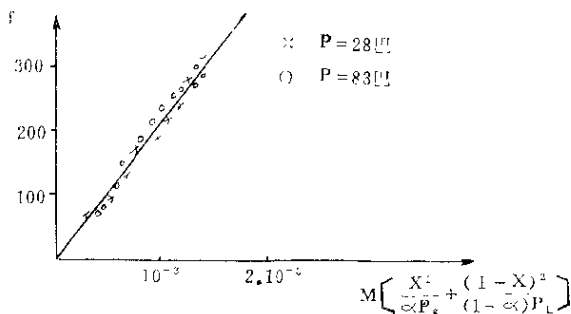
f : 涡轮转子频率

$\rho_{2\phi} = \left[\frac{X^2}{\alpha \rho_g} + \frac{(1-X)^2}{(1-\alpha)\rho_L} \right]^{-1}$ 两相流体动量密度。对于均相模型, 上式简化

为:

$$f = \lambda_{2\phi} \cdot M \left(\frac{X}{\rho_g} + \frac{(1-X)}{\rho_L} \right) \quad (2-2)$$

为了验证(2-1)中 $\lambda_{2\phi}$ 是否为常数, 佛朗克(R.F. Frank)等人根据他们的试验结果, 画出不同压力下, 流量计转子频率和两相流体积流量曲线, 结果表明, 所有试验点基本上在一条直线上, 直线的斜率即为流量系数 $\lambda_{2\phi}$



涡轮流量计和 γ -射线空泡比份测量计测量气(汽)、液两相流流量。

涡轮流量计在汽、液两相流中有(2-1)关系式, 根据(2-1)式, 先由试验标定曲线:

$$\alpha = \alpha(X, P) \quad (2-3)$$

式中 α_T 是涡轮流量计的空泡份额。结合(2—1)、(2—3)式可知,由涡轮流量计测出转子频率 f ,和 γ -射线空泡率计测得 α_T ,就能计算两相流体的质量流量 M 。

标定曲线(2—3)式在测量前是不可少的工作,它决定了 $\alpha_T \sim X$ 的关系,测得了 α_T 即知道了干度 X 。由(2—1)可知,当涡轮流量计测出转子频率后,即知道了两相流体的质量流量。

由于现有涡轮流量计都是采用电磁转换原理测量涡轮转速,电磁线圈不能耐高温,因此,首先从测量原理上对涡轮流量计作了改进,采用 γ -射线测取涡轮转子的转速。同时又利用测量涡轮转速的 γ -射线源测量汽、水两相混合物的空泡份额。这样,一块一次仪表可测出两个参数(f, α),即测出了汽、水两相流的质量流量。

这种测量方法需要事先在两相流试验回路上标定 $\alpha_T = \alpha(X, P)$ 曲线,试验中发现曲线的重复性很差,测量精度低。同时,涡轮流量计中石墨轴能否长期耐高温也是一个问题。因此用涡轮流量计和 γ -射线空泡率计测量汽、水两相流还有很多工作要做。

(Ⅲ) 用节流元件测量气(汽)、水两相流

这种方法是科研工作者研究得最多的方法。所采用的节流元件有孔板、喷嘴、文丘里管等,其中以用孔板研究的最多。

在两相流总质量流量已知的情况下,只有测出两相混合物的干度才能求得各相流量。所以干度是气(汽)、液两相流中的一个很重要参数。国内外科研人员多年的研究也主要是设法建立两相混合物通过节流元件时的总质量流量、差压与干度的关系。为此,他们把两相流动的复杂流动模型假定为气(汽)、液分相流动模型和均相流动模型,从而得到两相流的质量流量、差压与干度的关系。

(一) 分相流动模型

美国船舶锅炉和燃气轮机实验室和英国国家工程实验室在这方面做了长期的理论和实验研究工作,默道克(Murdock)和奇斯霍姆(Chisholm)分别独立发表了他们的论文。

对于分相流动模型,一般假定气(汽)、水各相在流过节流元件时各占有一部分面积(f'', f'),假定两相流流过节流元件时产生的压降 ΔP_{Tp} 相等。当气(汽)、液两相同时流过节流元件时,则流量表达式为:



$$G'' = G_{Tp} X = \alpha'' \epsilon'' f'' \sqrt{2g\gamma'' \Delta P_{Tp}} \quad (1)$$

$$G' = G_{Tp} (1 - X) = \alpha' f' \sqrt{2g\gamma' \Delta P_{Tp}} \quad (2)$$

由(1)(2)式得:

$$f'' = \frac{X \cdot G_{Tp}}{\alpha'' \epsilon'' \sqrt{2g\gamma'' \Delta P_{Tp}}} \quad (3)$$

$$f' = \frac{(1-X) \cdot G_{TP}}{\alpha' \sqrt{2g \gamma' \Delta P_{Ti}}} \quad (4)$$

式中 ϵ ：膨胀系数，

α'', α' ：气（汽）相和液相的流量系数

γ'', γ' ：气（汽）相和液相的重度。

$$f = f'' + f' = \frac{G_{TP}}{\sqrt{2g \Delta P_{Ti}}} \left[\frac{X}{\alpha'' \epsilon'' \sqrt{\gamma''}} + \frac{(1-X)}{\alpha' \sqrt{\gamma'}} \right] \quad (5)$$

默道克在处理试验数据时，先设两相流中气相部分单独流过孔板时的流量为：

$$G_1'' = G \cdot X = \alpha'' \epsilon'' \sqrt{\gamma''} \sqrt{\Delta P_{TP}} \quad (6)$$

两相流中液相部分单独流过孔板时的流量为：

$$G_1' = G(1-X) = \alpha' \sqrt{\gamma'} \sqrt{\Delta P_{TP}} \quad (7)$$

(5)、(6)式合并得：

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P''}} = \frac{\epsilon \alpha}{\epsilon'' \alpha''} + \frac{\alpha}{\alpha'} \left[\left(\frac{1-X}{X} \right) \sqrt{\frac{\gamma''}{\gamma'}} \right] \quad (8)$$

(6)、(7)式合并，得：

$$\sqrt{\frac{\Delta P'}{\Delta P''}} = c \left[\left(\frac{1-X}{X} \right) \sqrt{\frac{\gamma''}{\gamma'}} \right] \quad (9)$$

则(8)式为：

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P''}} = \frac{\alpha}{\epsilon'' \alpha''} + \frac{\alpha}{\alpha'} \sqrt{\frac{\Delta P'}{\Delta P''}} \quad (10)$$

假定： $\epsilon \doteq \epsilon''$ ， $\alpha \doteq \alpha''$ ，则上式成为：

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P''}} = 1 + K \sqrt{\frac{\Delta P'}{\Delta P''}} \quad (11)$$

默道克的大量试验数据，确定 $K=1.26$ ，即：

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P''}} = 1 + 1.26 \sqrt{\frac{\Delta P'}{\Delta P''}} \quad (12)$$

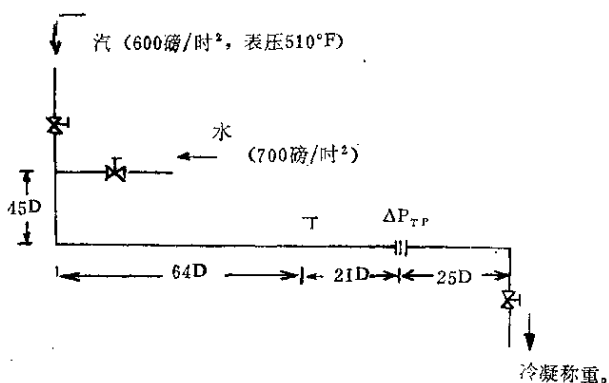
将(6)、(7)式代入上式：

$$G_{TP} = \frac{\epsilon \cdot \alpha \cdot f \sqrt{2g \Delta P_{TP}}}{\sqrt{1 + 1.26(1-X) \epsilon \sqrt{\frac{\gamma''}{\gamma'}}}} \quad (13)$$

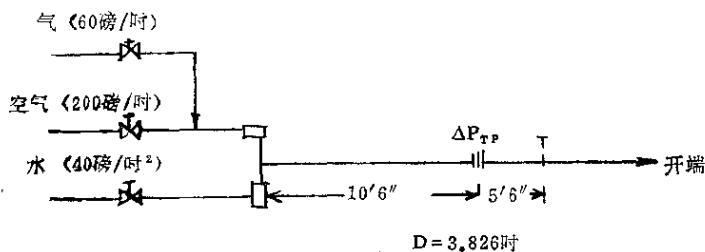
上式中含有单相流体孔板的流量系数 α 及膨胀系数 ϵ ，默道克推导的(13)式将两相流量孔板与单相流量孔板建立了联系，上式表明了两相流孔板的压差、干度、流量之间的关系。

默道克在两相流试验回路上做了90个试验点，选用的试验管径 $D=2.5$ 吋、3吋、4吋，做了三组独立试验。

下面是默道克的试验系统：



汽—水测量系统
(试验)



常压气(空气)、水系统

默道克试验是在下列条件下做的：取压方式：径向取压和法兰取压，孔板 β 值：0.25~0.5；压力范围：从大气压到920磅/时²，其中汽、水两相流试验为580磅/时²；孔板差压：10—500吋水柱；温度：50—600°F；液相雷诺数50—50000，汽相雷诺数为：15000—1000000；干度 X ：0.062—0.976，

从默道克经验式(12)可看到，当 $X=1$ 时， $\Delta P' = 0$ ，则 $\Delta P_{Tp} = \Delta P''$ ，这是符合实际的，但当： $X=0$ 时， $\Delta P''$ 为0， $\Delta P_{Tp} = 1.26^2 \cdot \Delta P'$ ，这就不符合实际了。事实上默道克建立的公式在 $X \geq 0.1$ 时，均方偏差较小，在 $X < 0.1$ 时均方偏差较大。

另一个具有代表性的处理分相流动模型方法是由英国国家工程实验室奇斯霍姆(Chisholm)等人研究的，他与默道克的区别是在气、液两相间引入了一个切应力，奇斯霍姆提出了他的经验关系式：

$$\frac{\Delta P_{Tp}}{\Delta P''} = 1 + C \sqrt{\frac{\Delta P'}{\Delta P''}} + \frac{\Delta P'}{\Delta P''} \quad (14)$$

当不计切应力时，⑬式与默道克的⑫式相似，这时的C为2，但奇斯霍姆认为C不是常数，在低X区，（在 $\sqrt{\frac{\Delta P'}{\Delta P''}} > 1$ 的区域）：

$$C = \left(\frac{\rho'}{\rho''} \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^{\frac{1}{2}}$$

在高X区（在 $\sqrt{\frac{\Delta P'}{\Delta P''}} < 1$ 的区域）：

$$C = \left(\frac{\rho'}{\rho''} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^{\frac{1}{4}}$$

式中 ρ 是两相流密度：

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\lambda}{\rho''} + \frac{1-\lambda}{\rho'}$$

关于分相流动模型，史密斯（Smith）等人还提出了另一种观点，他在两相流流量表达式中引入了一个阻塞系数，即：

$$G_{1p} = G'_{1p} (BF) \quad \frac{(BF)}{\lambda} \sqrt{2g\rho''\Delta P_{TP}} \quad (Kg/m^2 \cdot s) \quad (13)$$

阻塞系数（BF）是干度的函数，在高干度区BF可能是线性的，但在低干度区时，阻塞系数并不是线性的。他认为：

$$(BF) = C_1 + C_2\lambda + C_3\lambda^2 \quad (16)$$

其中中间项表示线性度，第三项表示干度 λ 低下一个拐点时对阻塞系数的影响，史密斯得出：

$$(BF) = 0.637 + 0.421\lambda - 0.00183X^2$$

（二）均相流动模型

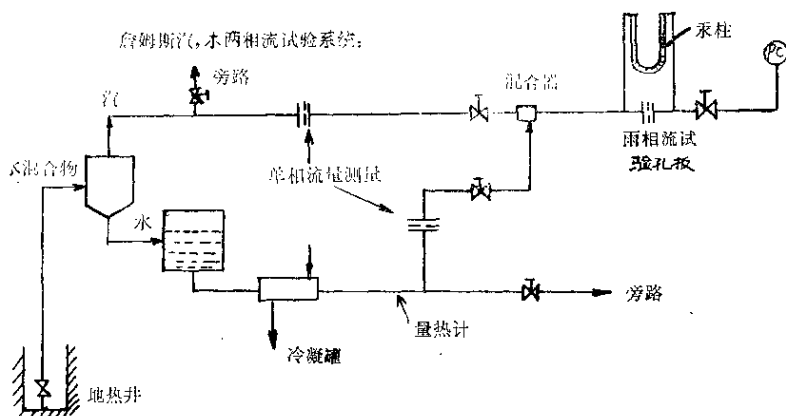
均相流动模型是把两相混合流体看作具有单一密度的均质混合物，即把两相流体看作“单相流体”，因此，有如下关系式：

$$G_{1p} = \alpha f_e \sqrt{2g\rho\Delta P_{TP}} \quad (16)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\lambda}{\rho''} + \frac{1-\lambda}{\rho'} \quad (17)$$

巴琳（Paryuh）曾用上两式整理过两相流体通过孔板的试验数据。帕特赫（Pathep）也按均相流动模型整理过在高压下汽、水两相流流过文丘里管的试验数据。但是，气、液两相流并不是单相流体，按⑩、⑪两式计算气、液两相流质量流量误差会很大。因此，新西兰科学和工业研究所的詹姆斯（James）通过整理他的实验数据认为对干度 λ 必须进行修正，⑫式变为：

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\lambda}{\rho''} + \frac{1-\lambda}{\rho'} \quad (18)$$



詹姆斯试验是在下列条件下做的：

干度范围：1~56%、前孔板压力：75~275磅/时²；两相流孔板差压 ΔP_{TP} ：15~763mmHg、孔板 β 值、0.707；0.837，（即孔板直径5.591吋，6.615吋）、试验段管径7.9吋、取压方式：径向取压。为了验证两相流质量流量，詹姆斯采用临界流法按下经验式验算：

$$G_{TP} h_0^{1.102} = 11400 P_c^{0.96}$$

式中： h_0 为两相流总焓， P_c 为管道临界出口压力。通过整理试验数据，詹姆斯认为由孔板测量 ΔP_{TP} 而计算的干度（称孔板测量干度）不是汽、水两相流混合物的实际干度，它们之间的关系应为：

$$X_m = X^{1.5} \quad (19)$$

其中， X_m 为孔板测量干度， X 是两相流实际干度。将（16）、（18）、（19）式合并，则两相流质量流量表达式为：

$$G_{TP} = \alpha \cdot \epsilon \cdot f \sqrt{\frac{2gY'\Delta P_{TP}}{1 + \left(\frac{Y'}{Y''} - 1\right) X^{1.5}}} \quad (20)$$

（20）式是詹姆斯根据均相流动模型建立的两相流质量流量表达式，它表达了两相流质量流量、通过孔板的差压、两相混合物干度之间的关系。

对于均相流动模型，苏联科研工作者КремреБсКа采用了与James不同的修正方法，他在（16）式之前乘了一个修正系数 K ，即：

$$G_{TP} = K \cdot \alpha \cdot \epsilon \cdot f \sqrt{2gY'\Delta P_{TP}} \quad (21)$$

并认为 K 是干度 X 的函数，