

# 圆管内流场显示法

夏生杰 吴宝根

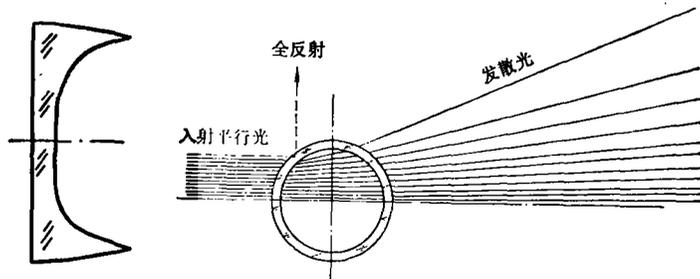
(中国科学院力学研究所)

**摘要** 本文对圆管内流场的显示研究提出了一种近似光学补偿法。在超音速风洞中纪录到了管内超音速流场的冲击波形象。

## 一、引言

目前对圆管内流场显示的研究还未见到很满意的试验结果。因而受到许多研究者的关心。

在用光学显示方法的内流场试验中，如何去处理模型特殊的光学性质是一个很关键的问题。例如，圆管状模型的内流场显示就十分复杂。按常规的显示方法是无法得到内流场显示结果的。常规光学显示法是用一束平行光或稍有汇聚或发散的光通过试验区，用阴影法或纹影法显示出试验区的结果来。但是，管状模型本身将等效为一个非圆柱面



(a) 模型等效柱面镜 (b) 管模型

图1 管模型的光学特性

凹透镜。如图1所示。如果用一束平行光去照明，模型使得平行光变为非均匀柱面大角度发散的光束。这给圆管内流场显示带来极大的困难。我们提出了“近似光学补偿法”。通过初步试验，成功地看到了内流场中的激波。

## 二、原理

近似光学补偿法的原理如图2所示。一束平行光通过圆管模型左半部分被发散后，经过管内流场到达管的右半部分，在此，光束被再次发散。管体等效于图1a中的非圆柱面凹透镜。这样，如果在试验区的另一端光路上，例如风洞窗外面，加一块一定焦距的圆柱面凸透镜作为近似的补偿元件。如图2所示。使被发散的內流场信息经由圆柱凸面透

本文于1981年5月收到。

镜再次汇聚回来。虽然这种补偿是近似的，但是这样可以得到管内流场的阴影图。而管中激波等现象的真实位置，只在管体边缘部分与得到的阴影图有些差异。不过，可以作一次位置标定来得到修正。

圆管模型应是光学透明的。由于管体的光学加工比较困难，容易出现沿管轴方向的不均匀性，从而带来了折射的不均匀。这样，在阴影图上将出现垂直于轴向的不均匀明暗条纹，使没有扰动存在时的阴影图有噪音。如图版 II 照片 1a 所示。有激波存在时，由于激波信息很强，仍能清楚地透加于噪音之上。如图版 II 照片 1b。激波的位置很容易判别出来。改善模型的加工方法，噪音是可以大大降低的。

由于光学补偿的近似性及管模型光学质量差，用干涉法是不理想的，最好用阴影法。图版 II 照片 1 是一组直径 30 毫米圆管模型在  $M = 2.5$  超音速风洞中内流场激波系的局部照片。应该指出，试验中用了一块仅  $20 \times 50$  毫米<sup>2</sup> 小面积补偿镜。按计算，外径直径 30 毫米厚 2 毫米的圆管将平行光发散后在离管轴约 140 毫米处的补偿镜尺寸，宽度应大于 140 毫米，长度至少应与模型相等。这样才能得到全内流场图。用小补偿镜可以看到内流场波系的局部。上述照片证实了这一近似光学补偿法对显示圆管内流场的可行性。针对不同模型设计全尺寸补偿镜，是能得到完善的全内流场显示照片的。

与其它研究内流场的方法，如全息法相比较，全息法存在着暗区，其面积往往在  $2/3$  以上，可视区太小。如图版 I 照片 2 所示。无法显示全内流场。而近似光学补偿法比较简单，可以显示整个内流场。因此，它是观测内流场的较好方法之一。

### 三、全内流场静标定

为了对全内流场图作出正确的位置修正，以便得到真实流场图，必须将管模型与近似光学补偿元件按试验时的组合进行静标定。图 3 为静标定方案。例如，对外径 65 毫米厚 3 毫米的圆管模型，设计出双凸柱面透镜，曲率半径小于 150 毫米，外廓尺寸  $140 \times 140$  毫米<sup>2</sup>。在管模型中放置一个平行于管轴并垂直于光轴的等间距丝网。在距模型 140 毫米处置一屏幕。用一束平行光照明管体。屏幕上得到经管模型发散而畸变的丝网象。如图版 I 照片 3a。由于模型是轴对称的，照片中只表示对称轴上半部分。从图版 I 照片 3a 可以看出，距轴愈远，畸变愈大。作标定时，须在上述位置放上补偿透镜。畸变的象被补偿，并使其成象在与模型等尺寸的位置上，

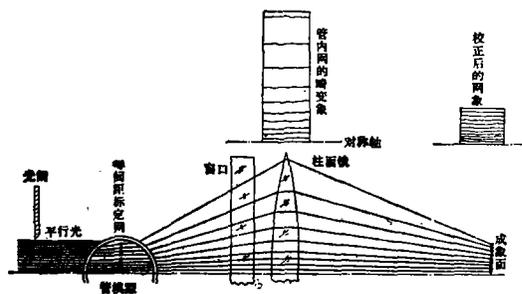


图 3 近似光学补偿法的静标定

得到被补偿后的丝网象。如图版 I 照片 3b。它近似而不等于原网尺寸。从补偿照片上

的丝网距离和真实丝网距的比较就可标定出补偿照片上不同位置的修正量。并以此来修正同一模型试验时获得的照片。虽然管模型加工不理想,但从图版 I 照片 3a 到图版 I 照片 3b 比较来看,补偿效果是好的。

#### 四、结 语

近似光学补偿法在圆管内流场显示中,可以认为是完全可行的。至于圆管内流场的干涉显示,由于对模型的加工条件要求太高,目前还难以实现。如果能加工非圆柱面全补偿透镜是可以得到完全真实的内流场图的。模型的加工还有赖于改善,以便得到低噪音的内流场显示图。

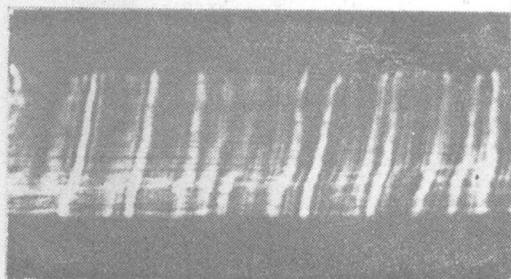
## A METHOD OF VISUALIZATION OF INTERNAL FLOW FIELD FOR STUDING CIRCULAR PIPE

Xia Shengjie Wu Baogen

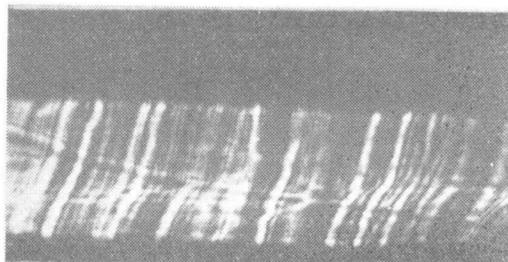
(*Institute of Mechanics, Academia Sinica*)

#### Abstract

In this paper, a method of approximate optical-compensation was suggested for the visualizations of the internal flow field of the circular pipe. The shock-wave structure inside the pipe has been recorded.



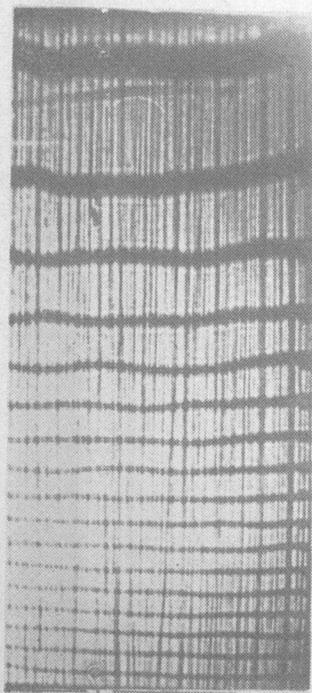
照片 1a 未建立激波时的内流场



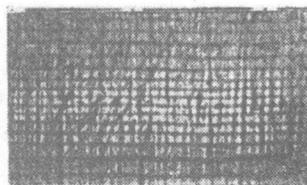
照片 1b 建立激波后的内流场



照片 2 用全息法显示内流场时可视区较小



(a) 畸变的丝网象



(b) 补偿后的丝网象

照片 3 全内流场静标定