

文杜利-毕托管性能的实验研究*

陈章昭 胡腾章

(中国科学院地球物理研究所) (中国科学技术大学)

提 要

本文对控制文杜利-毕托管的增益与方向性的因子、以及增益与方向性之间的关系进行了一系列实验研究。

一、引 言

文杜利-毕托管(以下简称文-毕管)可以作为感应元件制成风速模量脉动仪。

C. Salter^[1] 于1938年对控制文-毕管增益的因子进行了实验研究,他得到如下一些结果:

- (1) 进口形状以直圆锥形的增益最大;
- (2) 进口收缩比至少应大于3;
- (3) 扩散段长度对增益影响很大,扩散段愈长,增益愈大;
- (4) 扩散角为 8° 时,增益最大。

此外,进口收缩角等也对增益有影响。

但是,Salter的文章中没有关于方向性的讨论,而在野外使用条件下,方向性是个很重要的因子。用于观测风速模量,选用对方向不敏感的文-毕管更为合适。为了设计各种风速仪器的感应元件,我们对控制文-毕管增益和方向性的因子、以及增益与方向性的关系进行了实验。

二、实验装置

我们使用了开路台式小风洞,风洞实验段的尺寸为 $\phi 200 \times 200$ (单位毫米)。在实验段内可造成1.3到13.5米/秒的稳定风速。实验段内风速分布的平直部分有16厘米。

与所测定的文-毕管相比,这风洞的实验段是小了,但我们只对控制文-毕管增益与方向性的因子进行实验研究,在文-毕管原有大小的基础上改变它的某些尺寸(如加长扩散段等),不会使实验段内的流场情况发生过分的改变。因此,这风洞是满足我们实验要求的¹⁾。

压差测量使用了倾斜压力计,管内装水,倾斜增益为3,读数可到0.1毫米。

* 本文于1964年10月8日收到。

1) 以下将会看到,只有当文-毕管的扩散段太长时,风洞洞壁对文-毕管的方向性有显著影响。

三、控制增益与方向性的因子

1. 进 口 形 状

采用同一个扩散段(扩散角为 12° , 长 70 毫米), 由四种不同进口形状的文-毕管头与它相连, 组成四种文-毕管(见图 1), 分别测定了它们的增益与方向性。结果见图 2 和图 3。

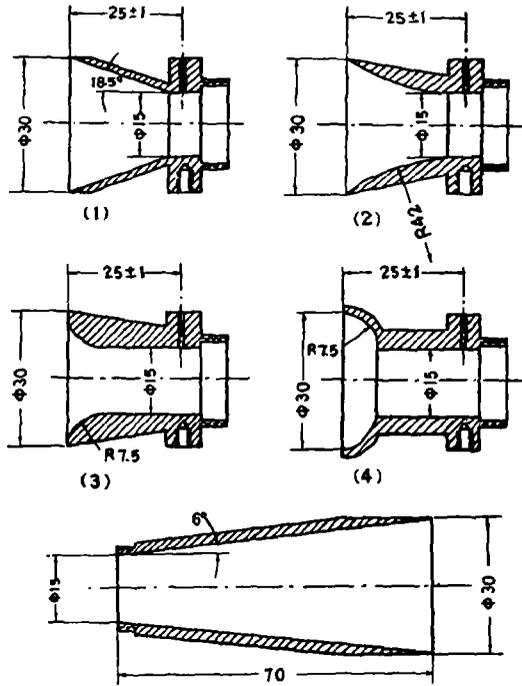


图 1 文-毕管扩散段与四种进口部分
(长度单位: 毫米)

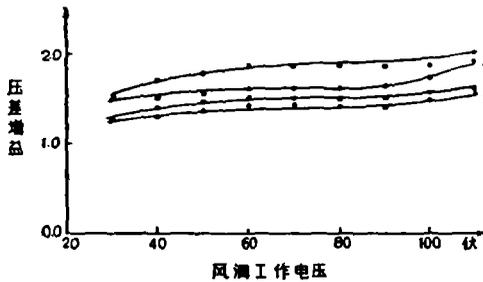


图 2 不同进口形状对文-毕管增益的影响
(编号见图 1)

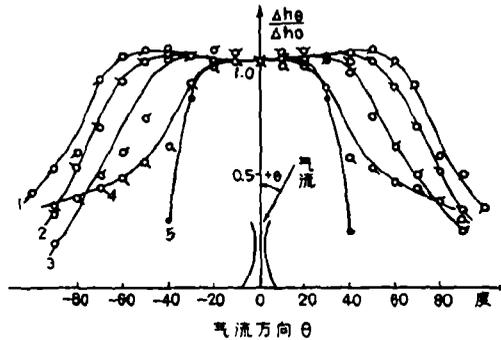


图 3 不同进口形状对文-毕管方向性的影响
(编号意义: 1—4号说明见图 1, 5号为毕托管方向性)^[2]

在测定方向性时的测定条件如右下表所示。

图 2 为各文-毕管的压差增益随风速变化的关系,可以看到,具有直圆锥形进口的文-毕管(1号)增益最大,其次为4号,2号与3号。

型 号	Δh_0 (毫米)	外风速(米/秒)
1	6.0	9.5
2	4.5	7.5
3	4.0	7.5
4	4.5	7.0

图 3 为四种文-毕管的方向性曲线,可以看到文-毕管的进口形状对方向性的影响相当大,而以1号的方向性最好,看来气流由自由空间到文-毕管测量段所走的轨迹愈简单,方向性愈好。在图上同时画出了毕托管的方向性^[2]。可见直圆锥进口的文-毕管方向性比毕托管好得多,而具有凹形进口的4号在方向性方面比毕托管没有什么改善。

我们认为,文-毕管的进口部分作成直圆锥形最好,并且这种形状也最容易加工。

2. 静压孔的位置

分别用三个不同位置的静压孔(上孔,左下孔,右下孔)作实验,发现用不同静压孔时,增益是相同的而其方向性则显著不同。使用上孔时方向性曲线是对称的,使用左下,右下两孔时便不对称了。产生这一现象的原因可能是当气流来向改变时,在侧面的静压孔有时对着气流、有时背着气流。

可见,静压孔的位置对文-毕管方向性的对称性有显著影响,为了使文-毕管的方向性在水平面和垂直面内都对称,估计将静压孔作成环形槽可以消除这种影响。

3. 扩散段长度

采用1号进口,扩散角保持为 12° 不变,改扩散段长度 l ,分别对 $l = 70, 80, 90, 100, 110$ 毫米的五种文-毕管进行了实验,结果见图4和图5。

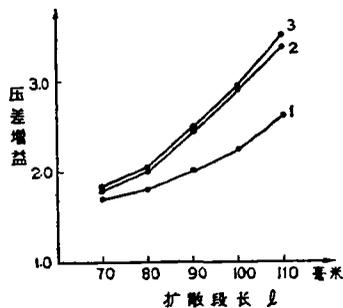


图 4 文-毕管增益与扩散段长度的关系

[1号进口,扩散角 12° 。测定时外风速: 1) 4.0米/秒; 2) 8.0米/秒; 3) 12.0米/秒]

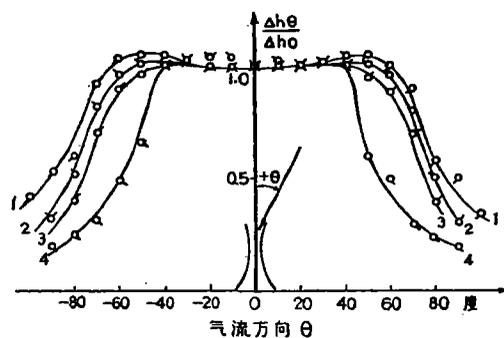


图 5 文-毕管方向性与扩散段长度的关系 (1号进口,扩散角 12°)

图 5 中文-毕管方向性与扩散长度的关系,在测定时的条件,如下表所示。

序 号	l (毫米)	Δh_0 (毫米水柱)	外风速(米/秒)
1	70	6.0	9.5
2	90	5.0	6.0
3	100	5.0	5.7
4	110	5.0	5.5

图 4 为保持风速不变 (分别等于 4.0, 8.0, 12.0 米/秒), 文-毕管增益随扩散段长度 l 的变化。由图可见, 扩散段愈长, 增益愈大, 以风速 8.0 米/秒为例, l 等于 110 毫米的文-毕管压差增益为 l 等于 70 毫米时的 1.8 倍(达 3.35), 可见加长扩散段对提高增益很有作用。

图 5 画出了 $l = 70, 90, 100$ 及 110 毫米时, 文-毕管的方向性曲线。在解释结果之前, 我们需要先讨论一下风洞壁的影响。我们所用风洞的实验区大小, 比起实验模型来说并不很大, 在测定方向性时, 风洞壁会对结果产生影响 (参看图 6)。可以预期 θ 角的绝对值愈接近 90 度, 影响愈大; 扩散段愈长, 影响也愈大。这种洞壁影响在研究方向性与扩散段长度的关系时, 必须予以澄清。而在讨论别的因子影响时, 可以不予考虑。当然, 实际仪器的方向性还应当更大的风洞里进行测定。

我们看图 5, $l = 110$ 毫米时, 方向性突然大为变坏, 而四种模型的 l 是逐渐增大的。可见风洞壁的影响不是随离壁距离减小而逐渐增大的, 而可能是当 D (参考图 6) 大于某一临界值后风洞洞壁的影响就大为增大。经简单三角运算, 我们发现临界 D 值为 10 厘米左右。这时 $l = 110$ 毫米时, 临界 θ 角为 59° ; $l = 100$ 毫米时, 临界 θ 角为 84° 。因而我们认为图 5 上 1, 2, 3 三条曲线还是基本可信的。从这三条线来看, 扩散段的加长对文-毕管的方向性稍有害处。

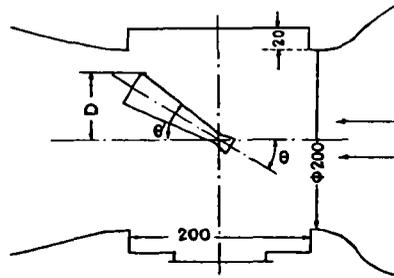


图 6 文-毕管在风洞实验区内的位置

4. 扩 散 角

进口部分采用 1 号, 保持扩散段长度为 70 毫米, 改变扩散角 α 。对 α 为 4, 8, 10⁰, 12 和 14 度的五种文-毕管进行了实验。

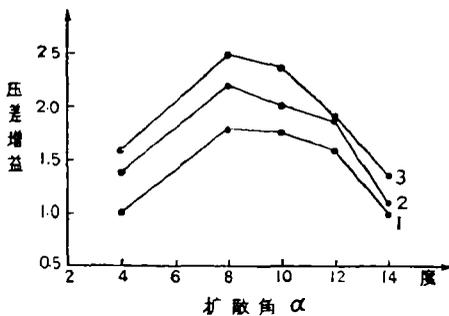


图 7 文-毕管的增益与扩散角的关系

[1 号进口, 扩散段长 70 毫米。

- 1) 外风速 4.0 米/秒, 2) 外风速 8.0 米/秒,
- 3) 外风速 12.0 米/秒]

图 7 上给出了在三种风速情况下, 压差增益随扩散角 α 的变化关系。当 α 为 8 度左右时, 文-毕管增益最大。

图 8 给出了 α 等于 4, 8, 10, 12, 14 度的五种文-毕管的方向性, 其实验条件如下表所示。从 $\alpha = 4, 8, 10, 12$ 度的四条曲线 (1 至 4) 看出, 扩散角在一定范围内改变, 不会对方向性产生显著的影响。而在 $\alpha = 14$ 度时, 压力差很不稳定, 这可能是因为扩散段完全用纸作的, 不够坚固, 也可能是扩散角太大, 造成湍流过强的缘

1) α 等于 4, 8, 10 度的扩散段, 是用纸作的小圆锥加在原来的扩散段 ($\alpha = 12$ 度) 内而成的。

故。但我们仍可以认为， $\alpha = 8$ 度是个较适当的扩散角。

序号	扩散角 α (度)	Δh_0 毫米水柱	外风速 米/秒
1	4	5.0	8.0
2	8	3.0	5.0
3	10	3.0	5.4
4	12	6.0	9.5
5	14	3.0	6.8

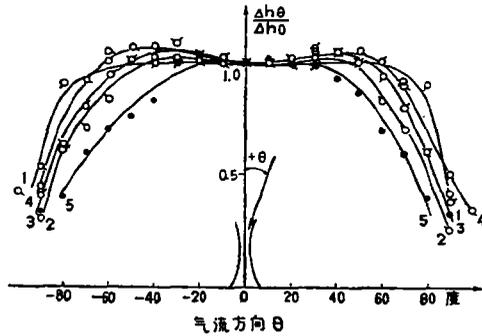


图 8 文-毕管扩散角对方向性的影响
(1号进口, 扩散段长 70 毫米)

5. 外 形

进口部分采用 1 号, 扩散角 α 为 12 度, 扩散段长度分别等于 70 和 110 毫米, 在原型文-毕管 (图 9) 的基础上, 改变了整个文-毕管的外形, 作成了 A 型 (平直外形) 及 B 型 (流线型外形) 的文-毕管。

图 9 中原型文-毕管型号与规格如右下表所列。

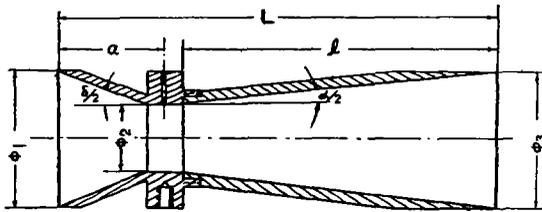


图 9 原型文-毕管

型号	L	l	α	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	δ	α
1 ₇₀	100	70	25	30	15	30	37°	12°
1 ₁₁₀	140	110	25	30	15	39	37°	12°

(长度单位: 毫米)

我们分别对 1₇₀, 1₁₁₀, A₇₀, A₁₁₀, B₇₀, B₁₁₀ 等六种文-毕管进行了实验, 所得结果见图 10 和图 11。

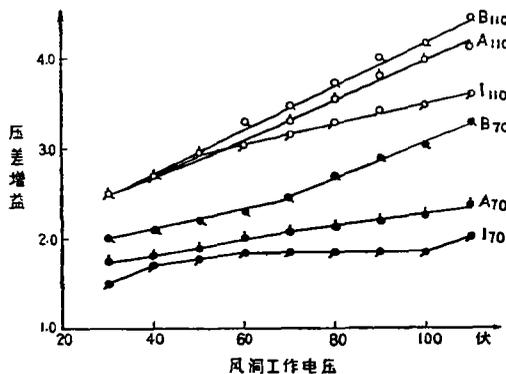


图 10 文-毕管的外形对增益的影响

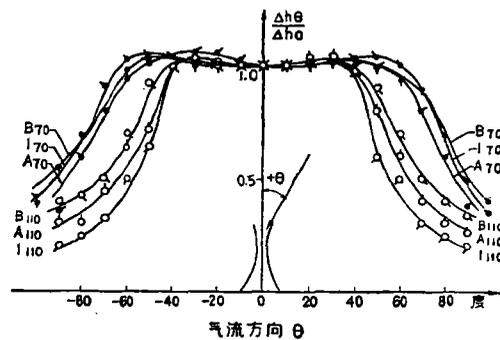


图 11 不同外形的文-毕管的方向性

在图 10 上给出了 $l = 70$ 和 110 毫米, 三种不同外形的文-毕管的两组增益曲线。从

两组曲线都可看出,具有“流线型”外形的文-毕管增益最大,原型的最小。但当扩散段较长而风速在 7 米/秒以下时外形对增益的改善并不大。

图 11 给出了 l 分别为 70 与 110 毫米的两组不同外型文-毕管的方向性。从两组曲线都可以看出,外形的改变对文-毕管的方向性不起显著影响¹⁾。

6. 收 缩 比

用 1 号进口,保持进口收缩角 $\delta = 37$ 度不变,改变收缩比分别为 4 比 1, 6 比 1 及 9 比 1, 扩散段长 70 毫米,扩散角 12 度。测定了文-毕管收缩比对增益与方向性的影响。

在图 12 上,给出了文-毕管在不同收缩比下的压差增益曲线。可以看到,总的趋势是收缩比愈大增益也愈大,但在风速小于 8 米/秒时,收缩比的增加对增益的加大并无多大作用,甚至当收缩比为 9 比 1 时,反而比 6 比 1 时的增益减小了。这可能是由于在保持收缩角不变的情况下,加大收缩比就使得进口截面加大,因而对外部流场改变太大而引起的。

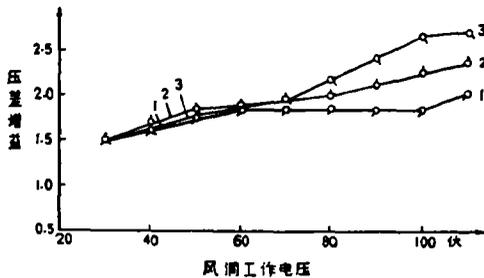


图 12 不同进口收缩比的文-毕管的增益

[1号进口,收缩角 37 度;扩散段长 70 毫米,扩散角 12 度。1) 收缩比 4 比 1, 2) 收缩比 6 比 1, 3) 收缩比 9 比 1]

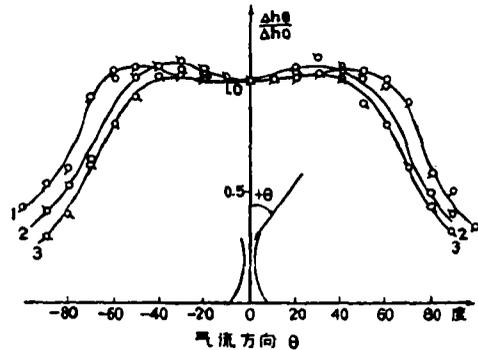


图 13 不同进口收缩比的文-毕管的方向性
(说明与图 12 相同)

在图 13 上给出了在不同收缩比下,文-毕管的方向性曲线。可以看到适当地增大收缩比,不会对方向性产生过分有害的影响(比较曲线 1 和 2),但过多地增大收缩比将大为损害文-毕管的方向性(比较曲线 1 和 3)。

7. 进 口 收 缩 角

采用长 70 毫米,扩散角为 12 度的扩散段,保持 1 号文-毕管的进口收缩比为 4 比 1,改变进口收缩角 δ ,对 $\delta = 20^\circ$, 25° ²⁾ 及 37° 的三种文-毕管进行了实验。当 $\delta = 25^\circ$ 时,增益最大,其次为 $\delta = 20^\circ$ 及 37° ,但它们之间的差别不大。方向性随 δ 减小而逐渐变坏。因此,我们认为保持 δ 在 30 度以上是适当的。

8. 风 速

对于每一种文-毕管,其增益及方向性都与风速有关。由实验得到的全部压差增益随

- 1) 在 $l = 110$ 毫米时,方向性曲线的两端附加了风洞壁的影响,但对三种文-毕管都有同样影响,故仍可以将它们进行比较。
- 2) 在 $\delta = 20^\circ$ 及 25° 时,是在原来 $\delta = 37^\circ$ 的文-毕管进口内加纸作的小圆锥。

风速变化的曲线都可以看出,风速愈大,增益也愈大。

在不同风速下测量文-毕管的方向性发现,风速愈大,方向性愈差,这可由图 14 看出。

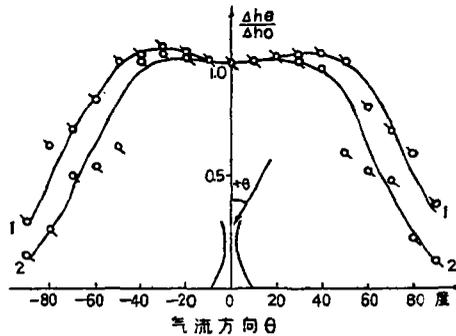


图 14 在不同外风速下文-毕管的方向性

[l_{90} 文-毕管, 扩散角 8° . 1) 风速 5.0 米/秒,
2) 风速 12.0 米/秒]

四、结 论

基于上列实验结果,我们认为:

1. 控制增益的主要因子为:

- i) 进口形状,以直圆锥形的增益最大;
- ii) 扩散段长度,对增益影响显著,扩散段愈长,增益愈大;
- iii) 扩散角在 8 度左右增益最大;
- iv) 收缩比,应在 4 比 1 至 6 比 1 之间;
- v) 外形,以流线型外形增益最大;
- vi) 风速愈大增益愈大。

2. 控制方向性的主要因子为:

- i) 进口形状对方向性影响显著,以直圆锥形进口的方向性最好;
- ii) 静压孔位置影响方向性的对称,估计将静压孔作成环形槽可消除这种影响;
- iii) 收缩比超过 6 比 1 时,方向性大为变坏;
- iv) 进口收缩角 δ 小于 25 度之后,方向性大为变坏,因此将 δ 保持在 30 度以上较为适当;
- v) 大风速下,方向性将变坏。

为了综合考查文-毕管各控制因子之间的关系,我们选取适当的参数制作了一个文-毕管,检定了它的增益与方向性。

图 15 为所检定的文-毕管,其参数为:

1. 进口形状为直圆锥形,收缩比为 4 比 1,进口收缩角为 37 度;
2. 扩散段长度 110 毫米,扩散角 8 度;
3. 静压孔打在顶部,单孔;
4. 外形是平直的(如 A 型);

5. 进出口截面都是 $\phi 30$, 喉部直径 $\phi 15$.

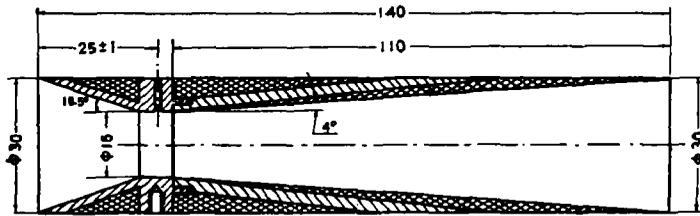


图 15 C型文-毕管

图 16 为 C 型文-毕管的压差随风速变化的曲线,同时绘出了毕托管的对应曲线.

图 17 为 C 型文-毕管的增益曲线 (1a, 1b), 同时绘出了用文-毕管所作测风仪上的对应曲线 (2a, 2b), 由图可见 C 型文-毕管在增益方面有所改善,但仍然在风速约为 8 米/秒处有一转折点,风速小于 8 米/秒后,增益将迅速减小.

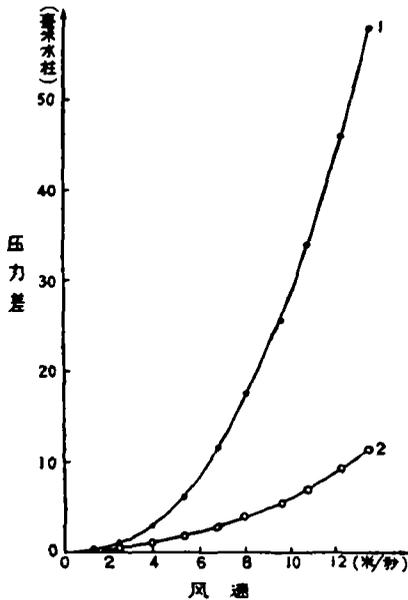


图 16 C型文-毕管特性曲线

[在标准大气密度下; 1) C型文-毕管, 2) 毕托管]

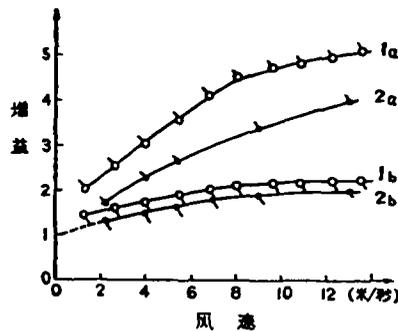


图 17 C型文-毕管的增益

[1) C型文-毕管, 2) 作成测风仪的某一文-毕管, a) 压差增益, b) 风速增益]

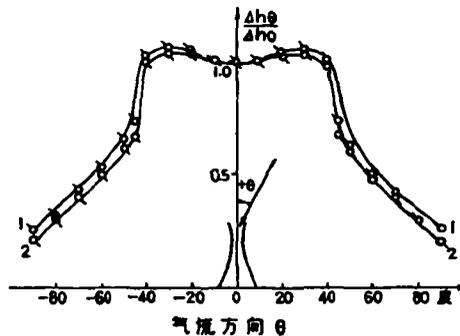


图 18 C型文-毕管的方向性

[1) 风速 5.4 米/秒, 2) 风速 12.2 米/秒]

将 C 型文-毕管的增益与改变单个控制因子 (如只加长扩散段等) 的文-毕管增益相比, 可以看到, 各控制因子之间没有相互抵消的作用, C 型文-毕管的增益比前面所用的任何一个文-毕管都大.

图 18 为 C 型文-毕管的方向性. 应当指出, 这一曲线在 ± 45 度以外, 可能附加了风

洞洞壁的影响。但与扩散段长度相同的别种文-毕管(如 A_{110}) 相比, 方向性并没有变坏。但 C 型文-毕管及其他文-毕管在风速小于 8 米/秒时, 增益迅速降低, 是一个缺点, 如何提高文-毕管在低风速下的增益有待进一步研究。

致谢: 本实验中所用到的金属模型是由宁天山等同志设计并绘制加工图纸, 由牛文孝等同志加工制作的。在论文出版时由刘元壮同志协助描图。为此作者向他们表示感谢。

另外, 周明煜同志曾对本实验工作提供了有益的意见。

参 考 文 献

- [1] Salter, C., *Phil. Mag.*, **26** (1938), 272—289.
[2] A. K. 马尔丹诺夫等, 空气动力学实验指导书, 高等教育出版社, 1959 年。

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE PROPERTIES OF THE VENTURI-PITOT HEAD

CHEN CHANG-CHAO

(*Institute of Geophysics and Meteorology, Academia Sinica*)

HU TENG-CHANG

(*Institute of Geophysics and Meteorology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

This paper deals with a series of experiments designed to study the factors controlling the gain and azimuthal effect of the Venturi-Pitot head.