

关于突然起动时圆柱尾流中形成的二次涡

M. Coutanceau et R. Bouard

前文〔1, 2〕已指出, 利用我们改进过的显示技术, 能确定速度场和附体尾流的主要几何特征, 此尾流是产生在圆柱(直径 D)下游, 圆柱在流体中突然起动并以常速 V_0 在垂直于母线方向上运动。雷诺数 $Re (=V_0 D/\nu, \nu$ 为动粘性系数)为5—40之间。不论对于定常流动或对于非定常流动(即圆柱是突然起动)情况, 我们的测量都是足够准确的, 他们与理论结果比较都是符合的。这样便首次证实了〔3〕的预计。

mm, muet, 5 mn, en noir et blanc).

[68] Film O.N.E.R.A. n° 621 - *Recherches sur les pales d'hélicoptères* (1970) (16 mm, muet, 11 mn, en couleur).

[69] Film O.N.E.R.A. n° 647 - *Simulation < courant plan > de l'écoulement autour d'une pale d'hélicoptère* (1970) (16 mm, muet, 3 mn, en couleur).

[70] Film O.N.E.R.A. n° 174 - *Quelques exemples d'écoulements visualisés au tunnel hydrodynamique* (1958) (16 mm, sonore, 14 mn, en couleur).

[71] Film O.N.E.R.A. n° 412 - *Simulation de l'effet de sol* (1971) (16 mm, sonore, 20 mn, en couleur).

[72] Film O.N.E.R.A. n° 485 - *Écoulement autour d'un avion delta en virille* (1964) (16 mm, sonore, 6 mn 1/2, en couleur).

[73] Film O.N.E.R.A. n° 605 - *Écoulement autour de rotors d'hélicoptères* (1969) (16 mm, sonore, 15 mn, en couleur).

[74] Film O.N.F.R.A. n° 432 - *Visualisations d'écoulements hydrauliques* (1963) (16 mm, sonore, 16 mn 1/2, en couleur).

[75] Film O.N.E.R.A. n° 333 - *Effet de sol sur une plate-forme à hélice* (1960) (16 mm, sonore, 10 mn 1/2, en couleur).

译自: Henri Werlé, *Visualisation hydrodynamique d'écoulements instationnaires*, Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales, O.N.E.R.A., Note Technique N° 180 (1971).

(栗小华译 黄瑞新校)

本文讨论非定常情况,研究的雷诺数范围扩大到5000的量级,对于无量纲时间 $0 < t^* \leq 3.5$ ($t^* = tV_0/D$) 的情况作了更详细的研究。

实验方法 在〔1〕和〔2〕中已描述了所用的方法,得到了相当细致的流动显示。从曝光时间内轨迹的长度推算出了速度场,对所得的照片做出了正确的判读。

为了得到所希望的雷诺数,在矩形截面槽中灌满适当粘性系数 ν ($30cSt \leq \nu \leq 1cSt$) 的液体(我们考虑用石蜡油,水-丙三醇混合物和纯水等);圆柱作垂直运动,其轴是水平的。

为了减小壁面和端部(底部和自由面)的影响,我们用一个水槽($56 \times 46 \times 100\text{cm}$),在圆柱处于半高时拍下照片。

圆柱和拍照仪器的移动用T形支架耦联,并用滑轮和平衡体实现协调运动。起动可以说是瞬时的,经过一个合适的时间间隔后拍下照片。

为了得到一个理想的流场,我们所用圆柱的直径尽可能大些,这样就可忽略壁面效应。正如我们在〔2〕中所指出的,这些效应既依赖于时间又依赖于雷诺数值。这里我们感兴趣的只是流场建立的初始情况。我们所研究的雷诺数为30—5000之间,直径变化保持在3—9cm之间。

为了尽可能真实反映流动的实际情况,用固体反射颗粒(镁粉),即用流体所能容许的相当细小的扩散物(把它们连续地撒在实验流体中)来实现流体显示。

结果介绍 图1和图3介绍了我们的显示照片的一些例子。

对附体涡旋随着 t^* 和 Re 演化的简单的定性研究表明,当这些参数在一定范围内时,在主尾流中,分离点(指主要流动离开壁面的那点)不远处出现流线的局部“鼓包”,而后形成一个、两个或更多的二次涡。这种现象在照片上很明显,照片为 $t^* = 2.5$ 时的情况。

图1给出了 $Re = 3000$ 时尾流的整体结构,图2和图3示明了分离区的流动细节。在本文中,考虑到对称性,我们只研究尾流的一部分即所拍的照片是尾流的上半部分。流动是从左向右的。

在图2上($Re = 300$)可以看到,在分离点和下游驻点之间,流线在圆柱壁面附近呈现出一个“鼓包”。这说明流体颗粒的运动在局部地方相当缓慢。此现象随雷诺数的增大而扩大,在雷诺数从100到400时是很明显的。

对于更大的雷诺数,大约到800,这种“鼓包”必然导致封闭流线的形成,即形成“二次涡”,它迫使周围的流体微团为了绕过它而沿着很弯曲的轨迹运动。图3相当于 $Re = 550$ 的情况。

此外,有两个尺寸和强度都相等的二次涡(都是在 $t^* = 2.5$ 时观察到的)。图1照片是 $Re = 3000$ 的情况,可以看出,在分离点周围又形成了一些其它更小的涡旋。

回流区内的结构变化表明各种流动状态的存在。为了弄清这一事实,我们对速度场和附体尾流的各种几何特征做了细致的研究。我们给出了一些颇有意义的最初结果。例如,我们注意的时间 t_i^* 随 Re 的变化。 t_i^* 是在给定的雷诺数下,使回流区的长度达到圆柱直径的 L 时(即 $L/D = 1$)所需的时间。把时间 t_i^* 表示为 Re 的函数,相应的曲线在图4上,它有两个显著的坡度变化:开始时 $Re \leq 60$ 时,曲线下降很快,然后它突然上升,直到 $Re \approx 500$;接着,虽然还随 Re 增加而上升,但变化显然平缓多了;而且雷诺数越大,变化就越趋平缓。 t_i^* 值并不是特殊的,对于 t_i^* 的实验值来说上述现象继续存在,有时候,因 i 很小,坡度的第二个变

化更不明显了，特别是对应于主尾流 ($L = 0$) 出现的时刻 t_0^* ，它随 Re 的增大先迅速下降，然后不断增大。

实际上，对于给定的雷诺数来说，一般情况下，当下降的时间 t^* 加大时，尾流也变大，这大约在 $Re = 60$ 时最早出现，发展也最快。

所做的这些观察，对于固定的 t^* (小于主尾流“崩溃”的开始时刻) 来说，回流区长度可能在 Re 数增大时反而缩短，比如 $t^* = 2.5$ 时对应于 $Re = 60$ 和 5000 时的 L/D 分别是 1.1 和 0.7 。

图 4 曲线的坡度变化和我们见到的现象一致，当 Re 在 4.4 (此时主尾流出现) 和 5000 (我们实验的最大值) 之间变化时，出现三种流动状态：即： $Re \leq 60$ 时，主尾流的发展没什么异常，在 $60 < Re < 500$ 时，在下游，流线在壁面附近呈现出局部的“鼓包”；而在 $500 < Re < 5000$ 时，出现一个或更多的二次涡。看起来，这种很不稳定的单个二次涡的出现，必然会迅速导致“一对”涡的出现，而涡对结构是稳定的。

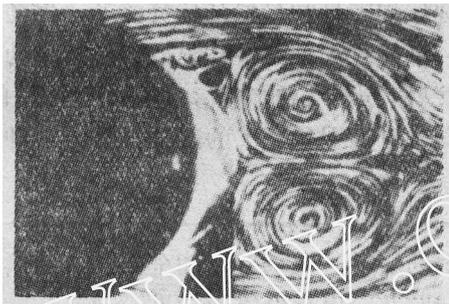


图 1 $t^* = 2.5$; $Re = 3000$

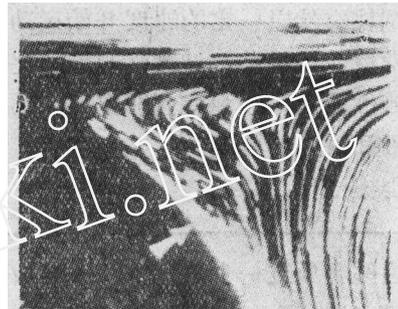


图 2 $t^* = 2.5$; $Re = 300$
箭头指出“鼓包”，它表明二次涡的产生

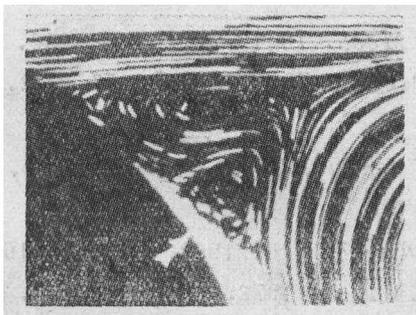


图 3 $t^* = 2.5$; $Re = 550$
箭头指出单个的二次涡

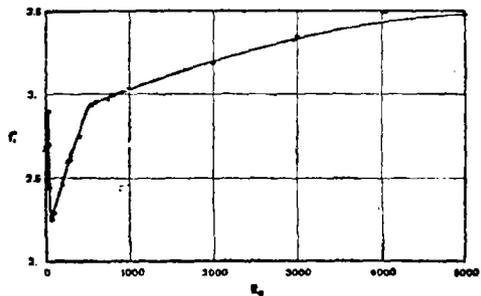


图 4 对应于尾流形成的单位长度 ($L/D = 1$) 的时间 t_0^* 的变化，它是 Re 的函数

与其他结果比较 与已有的实验工作相比，Taneda 和 Honji^(5, 6) 虽然已经明白指出在 $Re > 550$ 时会出现一对二次涡，但是他们没有提到中间结构的存在以及关于这些结构的一些很重要的结果，特别是回流区的长度随 Re 而变化。另一方面，对于两个二次涡的出现，尽管已在 $Re = 40,000$ ⁽⁷⁾ 的计算中指出来了，但对于我们这里所考虑的雷诺数范围，还没有计算结果；在 [8—10] 中只提到了“一个简单的流线鼓包” (人们可以将曲线缩短而给出圆柱的涡量) 和“单个二次涡”这两种结构。

我们的研究明显地证实了上述这些现象的存在，而这些现象在以往的工作中还尚未曾观

关于以冲击方式开始运动的 圆柱周围的速度场

I. 位势流区域的流动

永田拓 松井辰弥 安田治夫

1. 引言

在圆柱突然以一定的速度开始运动的情况下,圆柱周围最初虽然是位势流动,但随着边界层的发展,经过某一过渡性的流动之后,便成为一种伴有周期性地放出分离涡的流动。从这种过渡性流动可以观察到非定常流动中边界层的发展,边界层的分离,以及分离涡的形成、发展和破裂的状况。在工程学里,与非定常流动中分离现象有关的问题甚多,这种流动历来就引人注目。

察到。这些现象进一步证实和补充了数值计算所提供的资料。流场显示和全面的“判读”实验结果正在进行中。我们希望能提出有关这方面的问题并给出有价值的结果。

参 考 文 献

- [1] M. Coutanceau et R. Bouard, *J. Fluid Mech.*, 79, 1977, P. 231—256.
- [2] M. Coutanceau et R. Bouard, *J. Fluid Mech.*, 79, 1977, P. 257—272.
- [3] M. Van Dyke (non publié).
- [4] M. Payard et M. Coutanceau, *Comptes rendus*, 278, Série B, 1974, P. 369.
- [5] H. Honji et S. Taneda, *J. Phys. Soc. Japan*, 27, n°6, 1969, P. 1668—1677.
- [6] S. Taneda, Symposium 1971, I.U.T.A.M., 2, 1972, P. 1165—1215.
- [7] D. C. Thoman et A. A. Szewczyk, *Phys. Fluids Suppl.*, 12, II, 1969, P. 76—86.
- [8] J. S. Son et T. J. Hanratty, *J. Fluid Mech.*, 35, 1969, P. 369—386.
- [9] W. M. Collins et S. C. R. Dennis, *J. Fluid Mech.*, 60, 1973, P. 105—127.
- [10] V. A. Patel, *Computers and Fluids*, 4, 1976, P. 13—27.

译自: Madeleine Coutanceau et Roger Bouard, Sur la formation de tourbillons « secondaires » dans le sillage d'un cylindre soumis à un départ impulsif, *Comptes Rendus des Séances de L'Académie des Sciences*, 288, 3 (22 Janvier 1979), Série B45—48.

(栗小华译 黄瑞新校)