

离心泵和轴流泵中 的汽蚀现象

[苏] 弗·亚·卡列林 著

机械工业出版社

离心泵和轴流泵中 的汽蚀现象

[苏] 弗·亚·卡列林 著
吴达人 文培仁 译
姚兆生 校



机械工业出版社

内 容 简 介

本书是论述离心泵和轴流泵中汽蚀现象的著作，内容丰富全面。本书对水力机械中汽蚀理论的基础作了详细论述，对离心泵、轴流泵中的汽蚀现象作了详细分析，并对泵中零件的汽蚀侵蚀、材料选择等作了详细的介绍。最后对试验室条件下的汽蚀试验和泵的实物试验作了介绍。可供从事水力机械中汽蚀现象研究工作人员参考，也可供从事离心泵和轴流泵的设计、运行及教学工作的技术人员和教师参考。

本书从前言到第四章是吴达人译的，从第五章到第九章是文培仁译的，全书由姚兆生校订，照此一并说明。

КАВИТАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В центробежных и осевых насосах

В. Я. Карелин (2-е изд.)

«МАШИНОСТРОЕНИЕ»

1975

* * *

离心泵和轴流泵中的汽蚀现象

[苏] 弗·亚·卡列林 著

吴达人 文培仁 译

姚兆生 校

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张 11 字数 295 千字

1985年12月重庆第一版·1985年12月重庆第一次印刷

印数 0.001—3,330·定价2.35元

*

统一书号：15033·5871

译 者 的 话

汽蚀现象最初是在十九世纪末期，当提高船舶螺旋桨的转速时发现的，从此开始了对这一现象的研究。在二十世纪初期，研究尚局限在材料的破坏以及汽蚀现象的基本物理特征上；到二十年代开始研究汽蚀的相似原理，并提出了有明确物理意义的无量纲系数；三十年代开始，逐渐重视汽蚀的基础物理学的研究。第二次世界大战以后，资本主义国家由于掠夺的需要，大力发展水下武器，对汽蚀现象的基础研究就更为重视，建造了不少水洞等大型试验设备以供研究之用。汽蚀核子、汽泡动力学以及汽泡的不稳定性质等，都是在四十年代末到五十年代逐渐发展起来的。进入宇航时代以来，汽蚀问题就更为尖锐。在此期间，提出了水以外的其他液体问题，出现了诱导轮离心泵和超汽蚀泵等。

汽蚀现象不仅在离心泵等水力机械中存在，在水工建筑物、流量计、阀门、管道以及内燃机气缸冷却水套壁面上，也都会发生汽蚀。可以毫不夸张地说，凡是与液体有关的各种设备中都存在着汽蚀问题。

八十多年来，汽蚀研究的文献浩瀚如海，已经积累了大量的研究成果，并且形成为流体动力学的一个分支。但是，综合性论述汽蚀现象的书籍却为数甚少。本书是论述离心泵和轴流泵中汽蚀现象的著作，虽然不能说是唯一的论著，但内容却是比较丰富全面的。我们根据该书1975年的第二版译出，该版较之十多年前的第一版已作了大量的修改和订正。

本书前言到第四章由吴达人译出，第五章到第九章由文培仁译出。限于我们的外文和业务水平，不妥和疏误之处，幸希读者不吝指正。

译 者

一九八三年九月

前 言

随着我国新工业区、新农业区的创建和现有工业、农业区的扩大，以及东、南地区干旱面积的开拓，就使得工、农业与生活用水量不断地增长。

苏联拟定了建设运河的远大计划，以便把水调运到遥远地区。为此，建设了和正在建设象额尔齐斯-卡拉干达(Иртыш-Караганда)、卡尔申(Каршин)、阿穆布哈尔(Амубухар)、德聂伯-顿巴斯(Днепр-Донбасс)等许多大型运河，这些运河的水泵站都装备了大功率、大流量的离心泵和轴流泵。

对这些泵所提出的基本要求，是运转可靠和经久耐用。可是，泵通流部分有些部件中发生的汽蚀现象，对泵的运转质量产生不利影响的因素。

对于在可能发生汽蚀的条件下工作的水力机械和水工建筑物的设计基本原理已由古宾(Ф.Ф.Губин)、格里申(М.М.Гришин)、克维亚特科夫斯基(В.С.Квятковский)和沙波夫(Н.М.Шапов)等人作了深入的研究。

机器汽蚀参数的有效计算方法，已由鲁德涅夫(С.С.Руднев)、洛马金(А.А.Ломакин)、列索欣(А.Ф.Лесохин)、普罗斯库拉(Г.Ф.Проскура)、弗莱特勒(К.Пфлейдерер)和斯捷潘诺夫(А.И.Степанов)等人作了详尽的研究，这些计算方法，可以用来估计汽蚀对其不同发展阶段的影响。

在全苏水力机械制造科学研究所(ВНИИГ гидромаше)、莫斯科包曼工学院(МВТУ им. Н. Э.Бауман)、列宁格勒加里宁工学院(ЛПИ им. М. И. Калинин)、莫斯科奥尔忠尼启则航空学院(МАИ им. С. Орджоникидзе)以及其他国内外的科研机构和生产机构中所进行的大量理论研究和实验研究，揭示了各

种结构上的改变对轴流泵和离心泵汽蚀特性的影响，这就使泵的现有汽蚀计算方法更加准确了。

谢多夫(Л. И. Селов)、佩尔尼克(А. Д. Перник)、沙利涅夫(К. К. Шальнев)、罗扎诺夫(Н. П. Розанов)、迪利(Д. Дейли)、纳普(Р. Кнапп)、沼知福三郎(Ф. Нумачи)等人的著作，探讨了液流中促使汽蚀发生的条件，并且研究了液体的物理性质和状态、温度、杂质的存在、可溶气体和不可溶气体的含量以及液流限定表面的几何尺寸和特征等许多因素对汽蚀发展的影响。

在许多著作中，曾对水力机械中汽蚀研究的结果，作出了一些总结和分析^[20, 29, 47, 48, 58]。可是，在技术文献中，关于离心泵和轴流泵中汽蚀发生和发展问题的系统阐述，却一直都没有。

自从本书第一版问世以来，十几年已经过去了。由于苏联和国外的学者和工程师们的努力，在此时期内，创造了新的、结构更加完善的水力机械。可是，增大离心泵和轴流泵的流量，势必导致流速的急剧增大，而提高扬程，也必定要增大叶轮的外形尺寸，这样，汽蚀问题就显得比以前更加尖锐了。过去十年内，在此领域中所完成的很有价值的研究，揭示了许多有意义的事实，这就不得不对某些事实重新作出估计，因而也拟定了进一步研究的方向。

所有这些，都需要根据苏联和国外学者在叶片泵汽蚀现象研究领域中的最新成就，对本书作重大的修改，并对本书的许多篇章作大量的增补。在准备这一版时，除了本人过去几年中的研究成果之外，还采用了作者直接参与的莫斯科古比雪夫建筑工程学院(МИСИ им. В. В. Куйбышев)水能利用教研室科研工作的最新成果。

目 录

译者的话

前 言

第一章 水力机械中的汽蚀	1
§ 1 汽蚀现象的本质	1
§ 2 压力系数和汽蚀数	7
§ 3 确定汽蚀数应用的因素及其计算方法	12
第二章 液体的流体动力学特性、液体的物理性质和状 态对汽蚀发生和发展的影响	19
§ 4 液体的体积强度和汽蚀核子	19
§ 5 液体的物理性质	29
§ 6 液体中含有的气体杂质的存在	35
§ 7 液体的温度	44
§ 8 液流的流体动力学特性	57
第三章 叶片泵中汽蚀的理论基础	74
§ 9 泵的吸上高度	74
§ 10 汽蚀裕量和汽蚀系数	80
§ 11 汽蚀比转数	88
第四章 离心泵中的汽蚀现象	93
§ 12 汽蚀的可能形状	93
§ 13 汽蚀工况	97
§ 14 汽蚀工况的确定方法	110
§ 15 抽送液体的温度对泵汽蚀特性的影响	128
§ 16 抽送水以外的其他液体时离心泵中的汽蚀现象	141
§ 17 防止或者减轻汽蚀的方法	153
第五章 轴流泵中的汽蚀现象	171
§ 18 几种可能的汽蚀形状	171
§ 19 汽蚀特性曲线	180

§ 20	汽蚀工况的确定方法	189
§ 21	防止或者减轻汽蚀的方法	207
第六章	汽蚀特性对泵的安装和运转的影响	221
§ 22	要求泵无汽蚀运转的泵站结构特点	221
§ 23	泵的特殊工作条件	229
第七章	离心泵和轴流泵零件的汽蚀侵蚀	242
§ 24	汽蚀侵蚀的机理	242
§ 25	水力机械制造中应用的各种抗汽蚀材料	257
§ 26	汽蚀条件下工作的泵零件的材料选择	267
第八章	试验室条件下泵的汽蚀试验	278
§ 27	试验室试验的目的和任务	278
§ 28	泵试验时的模拟和相似定律	280
§ 29	汽蚀现象和汽蚀工况的模拟	289
§ 30	试验室试验的试验装置、设备和方法	304
第九章	泵的实物汽蚀试验	318
§ 31	实物试验的目的与任务	318
§ 32	在水力机械中发现汽蚀的方法	320
§ 33	实物试验的设备与方法	328
参考文献	338

第一章 水力机械中的汽蚀

§ 1 汽蚀现象的本质

汽蚀乃是流体流动连续性的破坏，它发生在压力下降到某一临界值的流动区域中。随同这种过程形成了大量的汽泡，汽泡中主要充满着液体的蒸汽以及从溶液中析出的气体。当汽泡进入压力较低的区域时，就开始增长并变为较大的汽蚀汽泡——汽穴。然后，汽泡被流动的液体带到压力高于临界值的区域，由于汽泡中蒸汽的凝缩，汽泡实际上就在那里破灭得无影无踪。这样，液体中就形成了充满着运动汽泡的、范围清晰的狭小的汽蚀区。

从发生汽蚀的观点来看，临界压力取决于液体的物理性质，同时根据液体的状态，可以在很大的范围内变化。但是，在同水力机械汽蚀工况研究有关的实际计算中，却常常取给定温度下的液体饱和汽化压力 p_{vap} 作为汽蚀初生的临界压力。

在被研讨的机器中，引起汽蚀发生的压力降，可以由各种原因造成，并且根据运转条件和流通部分的结构特点，这种压力降可以是局部的或者是全面的。

在液体流经有局部收缩的管子（文吐利流量计、喷嘴）的示例中，可以很好地显示汽蚀区的形成。增大收缩截面上的流速，就会减小该处的静压力。因此，逐渐增加液体的流量，当流速足够大的时候，会使收缩截面上的压力降低到临界值，并从而发生汽蚀（图1）。

在被液体绕流的翼型上所发生的汽蚀，是另一个典型示例

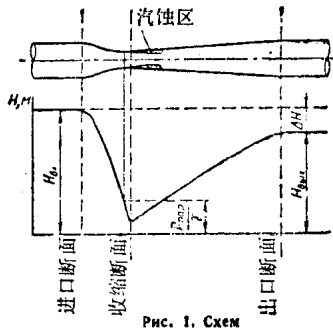


图 1 文吐利流量计中发生汽蚀的原理图

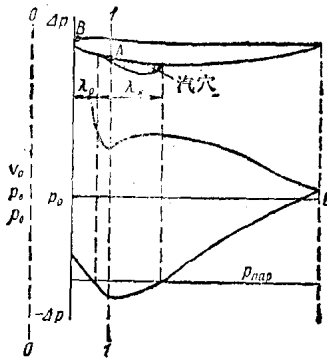


图2 沿翼型表面压力分布的特征和汽蚀区的形成简图

(图2)。由流线的偏转引起的、翼型背面A点区压力的降低,会导致汽蚀区的形成。汽蚀区的长度与未受扰动流中的压力 p_0 和速度 v_0 、翼型的形状以及冲角有关。

液流急剧转弯时,以及液流脱离绕流表面时,低压区的形成和汽蚀的发生简示于图3, a)、b)。

在研讨的全部示例中,汽蚀区都紧靠液流绕流的部件的表面,

所以,通常把这种型式的汽蚀称为表面汽蚀。在远离绕流表面的地方也可能形成宽广的汽蚀区。与表面汽蚀不同,这种汽蚀可以称之为脱流汽蚀 \ominus 。造成脱流汽蚀的原因是自由旋涡或涡索和涡层,它们是由于液流绕流翼型的脱流或不同速度的液流紊流混合时,在交界面上形成的。汽蚀发生在旋涡内部的可能性,取决于液体在旋涡中运动的特点。这种特点是:液体速度与离开旋涡中心的距离成反比。由此可知,当接近旋涡中心时,速度趋近于无穷大。可是,由于在局部静压力低于临界值时就开始发生汽蚀,所以实际上不会发生这种情况。

上述情况,不论是表面汽蚀还是脱流汽蚀都是稳定的流动所特有的。这时,液流中所形成的汽蚀区是稳定的,在水力机械的工况不变的情况下,汽蚀区的尺寸也是相对稳定的。在不稳定工况下(开车、停车、非常运转或发生事故而工况急剧改变时),

\ominus 关于汽蚀型的分类,目前还没有统一的观点,有些文献分类如下: 1. 移动汽蚀(Traveling Cavitation); 2. 固定汽蚀(Fixed Cavitation); 3. 旋涡汽蚀(Vortex Cavitation); 4. 振动汽蚀(Vibratory Cavitation)等。我们认为,按这种分类方法,物理概念比较清楚。事实上,所谓表面汽蚀就包括上面的1、2、4三种型式在内。详见R. T. Knapp 等所著:“Cavitation”一书,1970年版,第一章。——译者

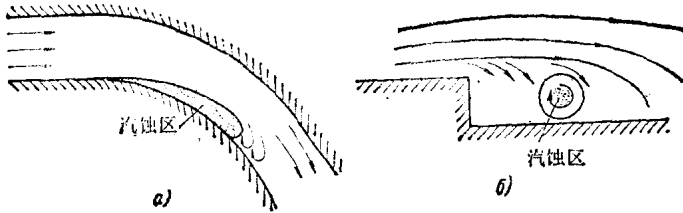


图3 液流中汽蚀区的形成
a) 液流转弯时 b) 液流脱离绕流表面时

液流中的不稳定现象也可能是发生汽蚀的原因。在此工况下，汽蚀的发生并不总是同压力下降到低于临界值有关系。由于切应力大或者压力梯度大，就是在液流中绝对压力较高的情况下，也可以看到发生汽蚀的情况^[37]。此时，汽蚀区的尺寸、汽蚀区在液流中的分布位置、发生的周期性和存在的持续时间等，都取决于压力和速度脉动的大小和特征。

汽蚀引起的液流结构的变化，可以改变水力机械的工况。工况的这种改变，通常称为汽蚀的影响。

水力机械的通流部分，是由限定液流的导流表面组合而成的。发生在这些导流表面上的汽蚀区，可以改变它的有效形状，因而也就可以改变液流的通路。实际上，在任何情况下，这种改变都是不良的，并且还会伴随着附加的能量损失。由于汽蚀气泡的形成、发展和破灭要消耗能量，因此必定会造成能量参数（流量、扬程）的降低和效率的减小，这是任何水力机械中发生汽蚀的直接后果。

汽蚀区的不稳定性，以及由它引起的二次流的出现，会在液流中造成很大的压力脉动，而压力脉动则对液流的导流表面产生动力作用。各种水力设备大量试验研究的结果和运转经验都表明，当发展着的汽蚀是造成液流特性变化的唯一原因时，就会出现强烈的振动。

汽蚀气泡被液流带到压力高于临界值的区域中时，汽蚀气泡就很快地破灭，并且伴随着发出特有的啞啞声，而这种声音总是与汽蚀同时发生的。因此，随着汽蚀的发生，噪声就会增强。随

着设备的型式和用途的不同，汽蚀的这种影响的大小在很宽的范围内变化。

水力机械叶轮流道中形成的汽蚀区，以及由它引起的工质密度的变化，在许多情况下会导致发生不平衡、轴的变形和导向轴承不均匀的磨损。在这些情况下，不可避免地会增大旋转叶轮和外壳静止部件间的间隙，这就引起了容积损失的增大和机器能量参数的降低。

在长度较大的复杂的水力系统中，汽蚀区的形成过程、特别是汽蚀区的破灭过程，都会导致发生水锤，此时，瞬时压力可能超过该系统设计值的几倍。

最后，在绝大多数情况下，汽蚀还伴随着材料表面的破坏。在这些表面上存在着汽蚀气泡。这种破坏称为汽蚀侵蚀，这是一种最危险的汽蚀影响。由于汽蚀侵蚀引起的水力机械工作构件的机械损坏，在较短时期后可以使机器难于正常运转，甚至达到机器不可能工作的程度。

汽蚀对水力机械工作的影响不是固定不变的，这种影响同汽蚀的发展阶段有关。把汽蚀的发展过程划分为不同的阶段，在一定程度上是有条件的，可是，通常把它分为初生汽蚀、部分发展汽蚀和完全发展汽蚀三种。

初生汽蚀的特征是：微弱的噪声强度、出现少量的汽蚀气泡，并由之形成了不稳定的汽蚀区。通常，在汽蚀的初生阶段，水力机械的外特性曲线实际上并不改变。

部分发展汽蚀的特点，是具有一定尺寸的稳定汽蚀区，这种汽蚀区可以改变导流表面的有效形状，并且缩小了液流的有效断面。这样，局部流速就增大，并且出现了液体的二次流。由于能量损失增加，机器的外特性曲线就变坏了。此时，噪声大大加剧，同时出现振动。

在完全发展汽蚀的情况下，该水力机械的工作就开始“断裂”。此时，机器的外特性曲线变得完全不可容许。机器在完全发展汽蚀的情况下工作时，伴随着噪声和强烈的振动，因而通常是无法

操纵的。

现在，我们来研讨文吐利喷嘴中所发生的过程，以及这些过程对喷嘴通流能力的影响，以作为各种汽蚀发展阶段的示例。喷嘴的 $\Delta H = f(Q)$ 特性曲线示于图4，式中 ΔH 为喷嘴中的水力损失， Q 为流量。在喷嘴正常工作条件下，流量增加到 $Q_H = 2.4$ 升/秒时并不会发生汽蚀，曲线具有平滑的特征。当流量 $Q = Q_H$ 时，收缩断面上的压力就下降到与汽蚀初生相应的数值 \ominus 。刚发生的汽蚀以环形区的形式出现，由于紊流流动所特有的某种压力脉动，使得环形汽蚀区以相当高的频率周期地发生和消失。可是，这种不稳定汽蚀区的存在并不会影响喷嘴的特性。

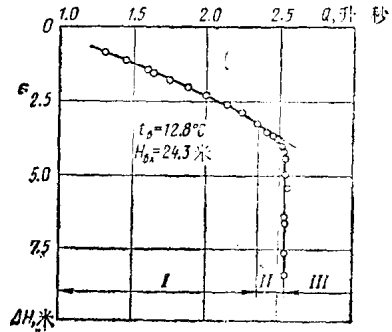


图4 汽蚀对文吐利喷嘴通流能力的影响

I—无汽蚀的工况 II—部分发展汽蚀的工况 III—完全发展汽蚀的工况

继续增加流量到 $Q > Q_H$ 时，汽蚀区就变得稳定起来，并且由于朝流动方向伸长和朝液流中心扩展而使其体积增大。图4上曲线陡度的增加，表明了水力损失的急剧增大。这种工况相应于部分发展汽蚀。

当 $Q_{max} = 2.55$ 升/秒时，就相当于完全发展汽蚀工况。汽蚀区占据了液流的整个有效断面，并且沿着流动方向远远向下传播。喷嘴工作开始“断裂”，说明在流量大小不变的情况下，水力损失增大。

使绕流物体具有特殊的形状，就可以得到特别形式的汽蚀

\ominus 根据一般的说法，在木流中出现刚好能发现的第一批汽蚀气泡时，才称之为汽蚀初生。这里，作者把汽蚀初生到压力开始下降的整个发展过程统称之为汽蚀初生，严格说来是不正确的。在以后的行文中亦然，今姑存之。——译者

流，这种汽蚀流叫做超汽蚀。发生于绕流元件的汽蚀区，离开元件表面，并且沿流动方向向下传播，然后在液流中闭合(图5)。超汽蚀物体在原理上不同于以完全发展汽蚀工作的普通物体是：尽管能量损失较大，但超汽蚀物体的特性却始终稳定的。此外，超汽蚀物体较少受到通常由汽蚀所引起的振动和破坏，从而基本上保证了工作有较高的可靠性。

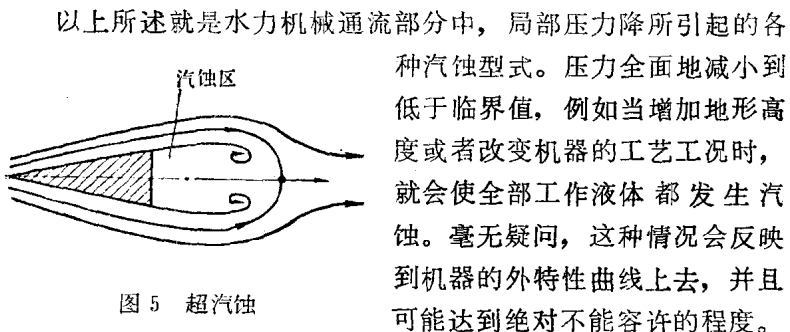


图5 超汽蚀

以上所述就是水力机械通流部分中，局部压力降所引起的各种汽蚀型式。压力全面地减小到低于临界值，例如当增加地形高度或者改变机器的工艺工况时，就会使全部工作液体都发生汽蚀。毫无疑问，这种情况会反映到机器的外特性曲线上，并且可能达到绝对不能容许的程度。

因此，这种条件应该划在事故范畴，在所有情况下都必须避免之。

液体中的汽蚀并非仅仅是由液流水力学特性的变化所引起的。例如，由于液温增高所造成的饱和汽化压力的增大，实际上可以使液体在任意高的工作压力下，在液流中形成汽蚀区。另外，潜没在液体中的物体以足够高的频率振动时，也会在物体表面上出现汽蚀气泡。在振动使靠近物体表面的压力降低的那一段时间内，汽蚀气泡就增长，在压力增高时，汽蚀气泡就破灭[⊖]。

当一定频率的弹性波通过液体时，可以在液体中看到类似的现象。严格地说，此时（特别是最后两种情况）所发生的饱和蒸汽泡的形成过程，同由于液流中压力降低所引起的，叫做流体动力学的汽蚀是不一样的，可是，它们有许多共同之处。

在汽蚀领域内所进行的一切研究，其主要目的几乎都在于研

⊖ 这就是所谓“振动汽蚀”，通常在内燃机气缸外的冷却水套中会出现这种现象。——译者

究它发生和发展的条件，以及估计它对水力机械的外特性曲线、可靠性和寿命的影响。

1917年，曾经作了第一次尝试，想从数学上来表明球形汽蚀汽泡形成和破灭时，在液体中所发生的压力变化的特性。从那时开始，在出版物上就经常出现大量的文献，专门研讨汽蚀和与之一一起发生的现象。目前，某些型式汽蚀流的流体动力学特性已经从理论上确定了。

遗憾的是，在实践中所遇到的流动，远远并不总是满足势流条件的。因而，在诸如离心泵和轴流泵、水轮机、螺旋桨等这些复杂的水力机械上，为了得到汽蚀特性而进行的研究，基本上都是些试验研究。这些研究的最后成果，通常都是确定汽蚀发展的许可范围。此时，在每种具体情况下，机器可以接受的汽蚀特性都同机器的工作条件有关。例如，现代火箭发动机的供给泵所许可的汽蚀，对于灌溉渠道上的农用泵来说，却是完全不能允许的。

§ 2 压力系数和汽蚀数

把汽蚀划分为初生汽蚀、部分发展汽蚀和完全发展汽蚀，只是从定性方面说明所发生的现象，在它们与系统的外特性曲线之间不可能建立任何定量的关系。为了建立这种定量关系，必须有某种数值指标或者汽蚀参数。

目前，采用几种这样的指标来表征无粘性、不可压缩液体的平面稳定流动。其中，最简单并且也最充分地体现实际情况的是汽蚀数 k 。汽蚀数 k 可以根据下面的论述来确定。

静止孤立翼型表面上的压力分布特征示于图 2，绕流液体的重度为 γ ，密度为 ρ 。对断面0-0和1-1应用伯努利方程：

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

经过变换后，可得

$$c_p = \frac{p_1 - p_0}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} = 1 - \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^2 \quad (1)$$

在实用空气动力学和流体动力学中，用类似方式确定的量 c_p 称为压力系数。在 $v_1=0$ 的滞止区中，压力系数等于 1，在速度最大的液流区域中，则具有最小值

$$c_{p_{\min}} = \frac{p_{\min} - p_0}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} \quad (2)$$

可以用类似方法从伯努利方程求得汽蚀数

$$k = \frac{p_0 - p_1}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} \quad (3)$$

当压力 p_1 减小到给定温度下液体的饱和汽化压力 p_{HAP} 时，翼型表面上就开始了汽蚀。同初生汽蚀工况相应的汽蚀数为

$$k_{\text{HAP}} = \frac{p_0 - p_{\text{HAP}}}{\frac{1}{2} \rho v_0^2} \quad (4)$$

因此，联立方程(2)和(4)，就可以从数学上表达出汽蚀初生的条件

$$k_{\text{HAP}} = -c_{p_{\min}} \quad (5)$$

等式(5)乃是确定汽蚀初生的基本方程式，而汽蚀数可以用来定量地估计其发展的程度。把汽蚀数 k 应用于这一目的之所以方便，是由它的结构得出的，因为 k 的结构反映了影响汽蚀发生的液流的全部特征参数，并且可以以翼型升力随汽蚀发展的变化为例来加以说明。

升力系数的已知表达式为

$$C_Y = \frac{Y}{\rho \frac{v_0^2}{2} lb} \quad (6)$$

式中 Y ——升力,

l 和 b ——分别为翼型的翼弦和翼展。

分析该表达式的量纲表明, 当无粘性液流绕流翼型时, 此系数只是汽蚀数的函数

$$C_Y = \psi(k) \quad (7)$$

这一理论假设的正确性已被许多试验结果所证实。图 6, a 表明了关系式 (7) 的线图, 它是对示于图 2 上的翼型绘制的。升力随 k 值的减小而减小, 这是因汽蚀区的增长而造成的, 由图 6, b 可知, 汽蚀区的长度也是汽蚀数的函数。因此, 当然就不能按照外特性曲线的变坏、或者按照汽蚀区的尺寸来确定每个汽蚀发展阶段。可是, 每个汽蚀发展阶段都相应于一定的汽蚀数 k , 这样就提供了定量估计所发生现象的可能性。

以方程 (3) 的形式表明的汽蚀数, 可以用来定量地估计各种水力机械中汽蚀发生和发展的条件。例如, 在确定前面所研讨的、通过文吐利喷嘴的流动 (见图 1) 的汽蚀数 k 时, 通常把导管进口处的压力 $p_{вх}$ 作为 p_0 , 而把收缩断面处的压力 $p_{сж}$ 作为 p_1 。公式 (3) 分母中的速度可以取得不一样: 可以取导管进口处的平均速

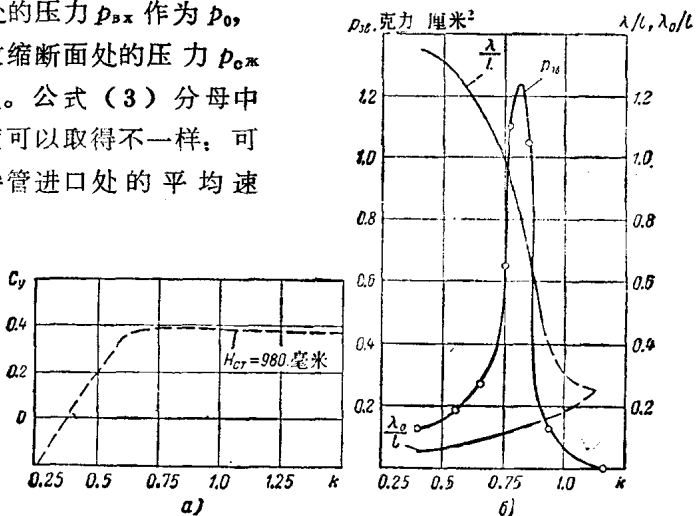


图 6 不同汽蚀数下, 翼型上汽蚀的发展
a) 升力的变化 b) 汽蚀区长度和声压 $p_{сж}$ 的变化