

## 化工原理教学随笔之四:

# 离心泵

陈 敏 恒

▲离心泵是作为流体力学应用的一个实例而安排的,因此在讲解及选择推导方法时,应尽可能与流体流动章保持一致,不宜另起炉灶、另搞一套。

▲管路特性曲线,反映了管路对输送机械的要求。讲授流体输送,应从此处着手。

▲为了启发与诱导学生的思维能力和创造能力,就要从几类不同结构的泵的作用原理比较中,让学生体察到如何依据一定的物理原理、发展有效的过程、调用可靠的机械手段、以达到一定的工程目的,从而避免给学生的枯燥、烦琐的知识灌输的错觉。

流体输送这一章的内容,是以离心泵作为重点的。根据学生今后的工作去向,很少会直接进行离心泵的设计,多数情况下,只是进行泵的选择和了解泵的操作。从实用观点看,原本没有必要进行详细的理论推导和定量分析。在化工原理课程教学中,安排对离心泵作较为深入讨论的教学目的,在于是作为流体力学应用的一个实例。因此,在讲解中或是在选择推导方法时,应当尽可能地运用流体运动章中已讲述过的原理和公式,而不宜另起炉灶、另搞一套。

流体输送这一章是将“输送”作为一

种单元操作看待的,这就要求我们在讲授时,应当从分析流体输送的工程目的着手分析。为了达到这一工程目的所能调用的工程手段,探讨为了实现这一过程需用的设备或机械的结构及其操作性能。

### 管路对输送机械的要求

任何单元操作的讲解都应从工程目的着手。液体输送的工程目的,在于将低能位的液体自供液点输送到高能位的受液点。在这个过程中,管路是既定的,因此最好首先分析在给定管路的情况及规定输

送任务的前提下,将对泵的操作提出的要求。运用伯努利定律不难得出液体在泵前和泵后所应有的机械能位的提高,这就是管路的特性曲线所决定的。所以我认为,流体输送这一章应从管路的特性曲线开始,它反映了管路对泵提出的要求。同时,运用伯努利定律也不难发现,液体能位的提高,主要是静压能的提高。换言之,在规定的输送任务下,输送机械所给予液体的能量,最终必须以静压能的形式而不是其它形式的能量。

## 可调用的工程手段

为了给液体以机械能量,可供采用的工程手段很多。最常用的是旋转运动和往复运动,由此引出了往复式输送机械和旋转式输送机械。当然,最均衡的运动方式是旋转运动。但是,同样是进行旋转运动,仍然可以有多种形式的结构、采用不同的作用原理,如离心泵、轴流泵、齿轮泵、涡轮泵……等等,各自依据不同的作用原理,相应地具有不同的结构。在化工原理课程中进行流体输送的教学,就要善于从这几类泵的作用原理的比较中,让学生体察到在工程实际中,人们是如何依据一定的物理原理,发展有效的过程,调用有效的机械,以达到一定的工程目的的。这样的分析比较,既有助于启发学生的思维,诱导学生的创造能力,也可避免给学生以枯燥的灌输的错觉。

## 离心泵的工作原理和理论推导

离心泵的工作原理的讲授,应当紧扣工程目的而展开。我在进行这一部分内容的教学时,先是提出了一系列问题。离心泵的叶轮迫使液体作旋转运动,在旋转中给液体以机械能。问题是旋转机械给流体

以什么形式的能量,是以动能为主,还是以静压能为主呢?

为了简化起见,在回答这一问题时,先考察简化的情况,即假设流体流量为极小时的极限情况,亦即为零流量的情况。此时可认为流体只作旋转运动,径向运动可以忽略。如果考察者以同样的角速度作旋转运动,那末,叶轮里的液体是相对静止的。这样,我们所考察的问题就可以用静力学的原理加以解决,这就使得问题得到大大简化了,即所待处理的问题是离心力场下的静力学问题,之所以这样处理,主要在于启发学生如何对复杂问题进行简化,如何选择恰当的考察点。比如这里通过取极限的情况,使得本来是二维的平面运动的动力学问题,变成简单的静力学问题。

运用在流体力学章中已学过的重力场下的静力学方程的推导方式,不难导出离心力场下的静力学方程。如果在教学上作好安排,那末,在静力学的习题中可以给出一道习题,让学生们自己去推导离心力场下的静力学方程,训练学生举一反三的能力。

从离心力场下的静力学方程可以看出,叶轮外缘的液体较之叶轮内缘的液体在静压能方面有所提高。从简单的运动学可以得出叶轮外缘液体的动能较之内缘液体的动能也有所提高。而且,静压能的提高值和动能的提高值恰好相等。由此可以看出,迫使液体作旋转运动,叶轮既给液体以动能也给液体以静压能,不分主次,两者并重。

从零流量转到正常输送时,仍可应用伯努利定律,同样可以得知,静压能的增值有所增大,动能的增值有所减少。

从以上定量的分析可以得出结论:离心泵内叶轮给液体的机械能中,静压能占一半甚至更多一些,决不是象有些学生直

觉感到的以动能为主那样的错觉。尽管如此，动能所占的份额仍不小。但是，如前所述，管路对泵的要求是给液体以静压能，因此，泵体内除叶轮外，必须有能量转换装置，使液体获得的动能转化为静压能。由此可以引出结论：离心泵必须由两部分组成——给能和转能。这就决定了离心泵壳体形状和出口位置与方向。

这样，离心泵公式的推导，紧紧扣住一个主题，离心泵的叶轮给液体以何种形式的能量，是以动能为主还是以静压能为主，使得推导过程具有强烈的针对性，把定性分析和定量的分析结合起来，在推导过程中培养学生运用已学过的流体力学原理回答问题和解决问题的能力，而决不仅仅是为推导而推导。

### 离心泵的效率

离心泵作为一种机械，自然有能力的问题。但是作为一种工程机械，还存在有效率的问题。应当让学生明确离心泵的能力和效率是两个不同的概念，不能混淆，在日常用语中这两个词都经常被混淆。

在工程问题中能力固然重要，但效率尤为重要。在离心泵的结构设计中，能力和效率往往是矛盾的，在处理这一对矛盾时，需要兼顾，而且往往以效率为主。采

用后弯叶片显然就是为了照顾效率而牺牲了一些能力的一种考虑。

离心泵的效率曲线是两头低中间高，即在某特定流量下效率最高。在讲解效率问题时紧紧抓住这一主题：为什么在特定流量下效率最高，流量过大或过小，都使效率降低。

解决这一问题时，着重的是泵的水力效率和水力损失。解决这一问题的途径，是弄清液体的运动轨迹。在叶轮区，液体在作旋转运动的同时作径向运动，由于不同半径处液体的切向速度必须加大，而加速又需要一定的时间，因此，液体向外缘运动达到一定半径位置时，总不能达到应有的切向速度，这样，在叶轮区，相对于叶轮其轨迹是后弯的。为了减少液体和叶轮间的碰击，以减少水力损失，叶片也应取后弯的形式。但在不同的流量时，其轨迹的形状是不同的，故在设计时必须先规定一个流量即额定流量作为基准，然后设计叶片的形状以适应该流量时的轨迹形状。这样，叶片的形状只适应于额定流量，这就不难理解在额定流量时效率最高，而其它流量时其水力损失必然较大，效率相应降低。

叶轮区如此，转能区也必然如此。涡壳的形状，导轮的形状，都是按照额定流量下的液体轨迹设计的，因而也只能是在额定流量下转能效率最高。

---

## 化工原理教学随笔1986年将继续刊登

由华东化工学院院长、化工原理教学科研组主任陈敏恒教授撰写的化工原理教学随笔之五、六、七、八，本刊1986年的第一、二、三、四期将继续连载。陈敏恒教授多年来致力于化工原理课程的教学改革与课程建设，他在繁忙的学校行政领导工作中，仍然抽出时间，坚持化工原理教学第一线工作，亲自进行教学改革试点，因此，化工原理教学随笔，显示出较高的水平，传递了较多的改革信息，受到了广大读者的欢迎。

尚未办理本刊1986年订阅的读者，请速与本刊发行组联系。（本刊编辑部）