



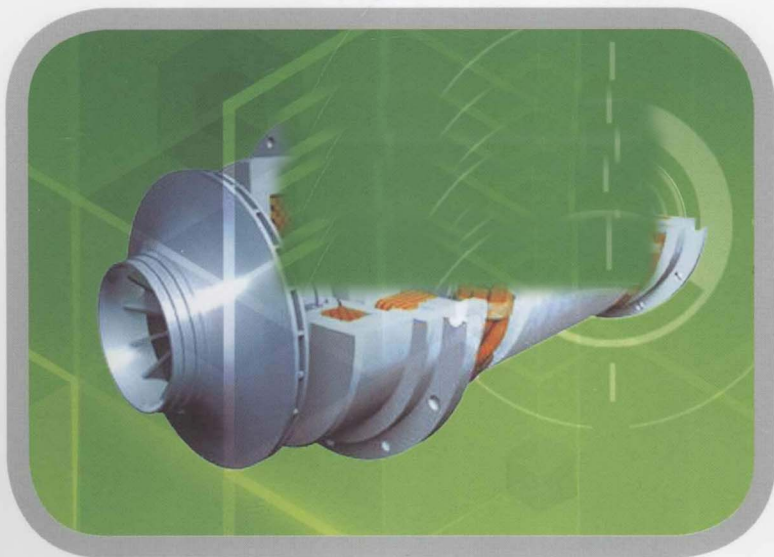
从校园到职场

离心压缩机

入门与精通

主 编 钟 浩

副主编 孙忠良 印明洋 石雪松



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



从校园到职场

离心压缩机入门与精通

主 编 钟 浩

副主编 孙忠良 印明洋 石雪松



机 械 工 业 出 版 社

本书是针对大学生初入职场进入专业化工作的入门与精通图书，是《校园到职场》丛书的一本。本书从离心压缩机的级、叶轮、固定元件、中间冷却等几个方面，介绍了离心压缩机的基本工作原理和结构；给出了离心压缩机各种损失及轴向推力的计算方法；以例题的形式阐述了离心压缩机的设计计算步骤及各种系数的选取原则；并以实践经验讨论了离心压缩机性能试验与换算的基本准则；最后以附录的方式列出了空分设备用的离心压缩机的典型结构和氧气压缩机的计算标准。

本书供风机、压缩机行业的技术人员及院校相关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

离心压缩机入门与精通/钟浩主编. —北京：机械工业出版社，2014.9
(从校园到职场)

ISBN 978-7-111-48106-5

I. ①离… II. ①钟… III. ①离心式压缩机 IV. ①TH452

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 224483 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：沈 红 责任编辑：沈 红 杨 茜

版式设计：霍永明 责任校对：张 薇

封面设计：路恩中 责任印制：乔 宇

山东鸿杰印务集团有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·11.25 印张·223 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-48106-5

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 ·封面无防伪标均为盗版

前 言

离心压缩机广泛应用于冶金、化工、气体工业、石油工业、石化工业、煤气输送、氧气及天然气输送、实验研究等各个领域。

本书介绍了离心压缩机的基本原理和离心压缩机级的基本结构。通过具体的例题说明级内各个元件的损失，通流部分主要几何参数对性能的影响；分析比较了不同形式叶轮的特点及应用；介绍了离心压缩机的设计原理，压缩机的气体冷却器、模型研究和实际机器的试验；压缩机性能试验方法等。

本书可作为大专院校有关专业教材和教学参考书，也可供从事离心压缩机设计、试验研究及使用单位的工程技术人员入门与精通提供参考。

本书由钟浩任主编，孙忠良、印明洋、石雪松任副主编，徐常武先生审定并做了全书的整理工作。

本书如有不妥之处，敬请批评指正。

作 者

2014. 4

寄语刚参加工作的大学毕业生

当你大学毕业后，无论是在工厂、企业、公司、事业单位从事何种工作，都将发生角色转变，将从一名学生变成一名工程师、设计师、规划师、经济师，等等。可大多数大学生刚毕业时，还不能马上树立比较正确的人生目标，缺少生活经验、工作技能。为了帮助各位学子能尽快转变角色，少走弯路，尽快成为企事业单位的骨干、社会的栋梁，机械工业出版社组织编写出版了“从校园到职场”系列丛书，以“学校送一程、企业接一程”的理念，架起从校园到职场的桥梁。

1. 从学生到工程师的心理转变

学生，从小学到大学毕业，经过了16年的历程，已经有了一定的生活经历、生活观念与价值标准。学生成功与否的标准就是看考试成绩，生活的主体就是读书。人与人的关系是靠纯洁的友谊与真理的对错，人和人都是平等的，信念是理想的。但是，参加工作后，理想会有很多与现实不太吻合的东西。首先，判断一个人的成功，不再仅是考试成绩了，不是光靠用功读书就能成功的。工作后，完整地干好领导交给你的事情：修理好一台机器、设计好一个产品、组织一个活动、写一个工作方案等，你的工作结果是否符合实际要求、是否令同事与领导满意，就是一个判断标准了。

工作成功的标准，就是要把交给你的工作先是干完，然后是干好，之后是干精，最后是干出特色与创新。这样，才能逐渐适应工作、熟悉环境、赢得同事与领导的信任，承认你的工作能力，从而把更为复杂、重要的任务交给你，从而得到更多的锻炼，得到重用与提升。所以，进入社会后，首先要降低身份，以平等的地位同一切人交往，向周围的同事、工作人员、领导学习。要做到四勤：手勤、腿勤、嘴勤、脑勤。要做一个为人随和的人、积极向上的人、工作踏实的人。这样你就可以更快、更好地赢得尊重，获得成功。

2. 从学生到工程师的能力转变

一个大学毕业生到了工作岗位，首先要学习基本的技能、知识，熟悉环境、熟悉单位的工作流程，逐渐掌握基本技能。当你能够处理一个环节、一个工序或工艺中的问题，维护生产的正常运行时，你就成为一名初级工程技术人员了；当你能够独立主持一件小产品的开发或大型产品里一个部件的开发工作，能把产品设计并制造出来，达到合格的技术要求后，你就是一名工程师了；当你要考虑如何把产品做好、如何把产品做精、如何把产品做出创新时，你就逐渐成为工程师中的高手了；当你可以主持一个大型产品的研发时，你就具有高级工程师的水平了；再继续发展，当你具有把握企业技术发展方向、具有组织大型产品的研发能力时，就是总工

程师的水平了。当然，还需要有足够的经历、资历与机会。一名大学生的技术水平就是这样逐渐提高的。

3. 从学生到工程师的专业知识积累

关于专业的问题，一个大学毕业生，是有一个专业特长的，如机械类、电气类、计算机、管理类，等等。在企业，首先要延伸学习你自己的专业知识，在学校所学仅仅是其皮毛而已，其次要注意学习其他专业的知识。因为，到工作岗位后，领导交给你的任务可能是多个专业交叉的问题，不一定是你很熟悉的内容，企业也更需要能为企业提供全面解决方案的综合型人才。此时就要自己学习了，找到有关的书籍，先学习基础理论，再通过网络学习、杂志学习、参观学习较新的知识，了解有关的知识与技能，你就可以获得更宽广的专业知识。此时要有信心，因为学过一个专业后，再学另一个专业，是比较容易的。再者，大学只有四年，工作可能要有四十年，补充新知识是必然的，学习新知识是工作后经常要做的事。

4. 从学生到工程师的成长建议

判断与取舍：如果做一件事情是自己不擅长的，肯定做不好。只有放弃不适合的，才能在自己更适合的领域内投入做自己更擅长的事业。无法判断该放弃什么的人，也无法判断该干什么。让鸭子学短跑，让兔子学游泳，即使练一辈子，也难以有好的结果。一个技术问题也一样，如果不具有可行性，那就要放弃。对任何一件事，要预估其最好和最坏的程度，如果最坏的结果也能承受，就可以去干了。

主动与闯劲：性格决定命运，主动的人比被动的人会有更多机会。要有主动精神与百折不挠的劲头、有闯出新天地的勇气，才有成功的可能。被动、胆小是成功的大敌。

水平与脾气：真正的高手是很谦虚的，因为他知道还有更多的未知。不必要的脾气在与别人沟通时会设置障碍，失去获得知识、提高自己的机会。

继承与创新：科技中继承是大多数，创新是一点点，所以先要学会继承并掌握，才能在其基础上提出改进、有所创新。创造条件是创新的基础，只有达到某种条件后，可能才会出现，第一个发现机会并克服困难而成功实践的人，才是真正的高手。

坚持与规划：做事要坐得住，凡是心中长草到处乱跑的人，难以干好一件事情。做人要有规划，做事要有计划。要有近期规划和长远规划，否则极易随波逐流，人生的志向和成功的希望也就消失在烦琐的日常生活中了。

最后，希望各位学子能尽快适应新的工作岗位，事业顺利，找到自己的发展空间。做人低调，做事认真，忍得住寂寞，受得了批评。还要记住：对于不断追求进步的人，学习是终生的任务和义务。在充满未知与新奇、平淡与辉煌、快乐与痛苦、成功与失败的人生道路上永远向前！向前！当我们年迈时，回首曾经的岁月，不一定有多大的成功，但我们可以说：“我认真努力过了，我不后悔。”这就足够了。

目 录

前言

寄语刚参加工作的大学毕业生

第 1 章 离心压缩机简图及基本工作原理	1
1.1 离心压缩机基本工作原理	1
1.2 压缩机级的典型结构型式	2
第 2 章 离心压缩机级的基本工作情况	4
2.1 实际叶轮叶片对气体的做功	4
2.2 离心压缩机级的实际耗功和功率	8
2.3 离心压缩机级的多变功 h_{db} 和多变效率 η_{db}	11
2.4 压缩机级的各截面气体状态参数（温度、压力、比体积和体积流量）的变化	14
2.5 压缩机级的性能曲线	22
第 3 章 叶轮	26
3.1 叶轮的典型结构	26
3.2 叶轮的主要结构参数	28
3.3 叶轮主要参数的确定及其相互关系	33
3.4 叶轮的设计计算	50
第 4 章 固定元件	61
4.1 无叶扩压器	61
4.2 叶片扩压器	66
4.3 直壁扩压器	74
4.4 弯道与回流器	81
4.5 蜗壳	87
4.6 吸气室	97
第 5 章 压缩机的中间冷却	100
5.1 中间冷却的目的	100
5.2 压缩机段数的确定	101
5.3 压缩机各段压力比的分配	103
第 6 章 压缩机的漏气损失、轮阻损失及轴向推力的计算	106
6.1 压缩机的漏气损失	106
6.2 叶轮的轮阻损失	112
6.3 叶轮的轴向推力及平衡盘的计算	114
第 7 章 离心压缩机设计	118
7.1 离心压缩机的设计任务	118

7.2 压缩机的分段和中间冷却	119
7.3 压缩机段的计算	119
7.4 压缩机的逐级计算	124
7.5 压缩机内功率 $P_{\text{内}}$ 、轴功率 $P_{\text{轴}}$ 及等温效率 η_{dw}	125
7.6 离心压缩机的相似模化设计计算	134
第8章 离心压缩机的性能试验与换算	139
8.1 离心压缩机气体动力性能试验	139
8.2 离心压缩机性能的换算	148
附录	161
附录 A 空分设备用的离心压缩机结构介绍	161
附录 B DA500-41 型氧气压缩机计算	165
参考文献	172

第1章 离心压缩机简图及基本工作原理

1.1 离心压缩机基本工作原理

在大中型低压流程空分设备中，一般都采用了离心压缩机来压缩原料气体——空气和压缩产品气体——氧气等，空气压缩机的压力比一般为6~8；氧气压缩机的压力比为6~30或更高。

首先对DA350-61型离心压缩机进行介绍：DA350-61型离心空气压缩机的设计流量为 $370\text{m}^3/\text{min}$ ，出口压力为 720kPa ($7.35\text{kgf}/\text{cm}^2$)，由 2500kW 电动机驱动，通过增速齿轮增速到 $8600\text{r}/\text{min}$ 。整个压缩机由一个带有六个叶轮的转子及与其相配合的固定元件组成。为了节省压缩机的损耗和不使气体温度过高，整个压缩机被分为三段，每段由两个叶轮及与其相配合的固定元件组成，空气经过第一段压缩后，由蜗壳把空气从压缩机中引出，引向中间冷却器进行冷却，冷却以后，再由吸气室进入第二段。与第一段相同，继续进行增压和压缩后的中间冷却。然后空气再通到第三段进行最后的增压，空气压力升高到所需要的压缩机出口压力，即 $p_c = 720\text{kPa}$ 。

在压缩机的每个段里，常常是由几个或一个压缩机级组成的。这种“压缩机级”简称为“级”，由一个叶轮及与其相配合的固定元件所构成。这些固定元件一般由吸气室、扩压器、弯道回流器及蜗壳等组成。因此，对于任何复杂结构型式的离心压缩机都可以认为是由级所组成的。下面介绍级中的叶轮及与其相配合的固定元件的作用与原理。

1. 吸气室

吸气室是用于把所需压缩的气体，由进气管道或中间冷却器的出口，均匀地引入叶轮去进行增压。因此，在每段压缩机的第一级进口都设置了吸气室。

2. 叶轮

叶轮也称为工作轮，它是压缩机中的一个最重要的部件。气体在叶轮叶片的作用下跟着叶轮做高速的旋转。而气体由于受旋转离心力的作用，以及在叶轮里的扩压流动，使气体通过叶轮后的压力得到了提高。此外，气体的速度能也同样是在叶轮里得到提高的。

3. 扩压器

气体从叶轮流出时，它具有较高的流动速度，为了充分利用这部分速度能，常常在叶轮之后设置通流截面逐渐扩大的扩压器，用以把速度能转化为压力能，以提

高气体的压力。

4. 弯道与回流器

为了把扩压器后的气体引导到下一级叶轮继续提高压力，在扩压器后面常设置使气流拐弯的弯道及将气体引入下一级叶轮进口的回流器。

5. 蜗壳

蜗壳的主要作用是把扩压后或叶轮后面的气体汇集起来，并把气体引到压缩机外部，使它流向气体输送管道或流到冷却器进行冷却。此外，在汇集气体的过程中，在大多数情况下，由于蜗壳外径的逐渐增大和通流截面的渐渐扩大，也对气流起到一定的降速扩压作用。

在离心压缩机中，除了级的组成部分外，为了减少压缩机外部和内部的漏气，在压缩机的机壳两端设置了前轴封和后轴封。在主轴和叶轮轮盖进口端设置了轴封和密封。此外，为了减少叶轮作用到推力轴承上的轴向推力，通常还设置有平衡盘。

1.2 压缩机级的典型结构型式

任何复杂结构型式的离心压缩机都是由级组成的。对于离心压缩机级来说，即使级的形式很多，但从基本结构上来看，通常分为中间级和末级两种。

图 1-1 所示为中间级的形式，它由叶轮 1、扩压器 2、弯道 3 和回流器 4 等组成。气体经过中间级后，将直接流到下一级继续进行增压。在离心压缩机的每一个段里，除了段中的最后一级外，都属于这种中间级。图 1-2 所示为末级的形式，它

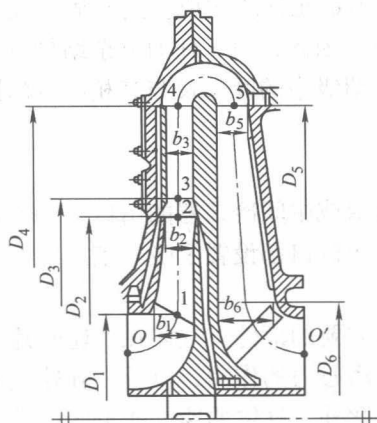


图 1-1 离心压缩机的中间级

1—叶轮 2—扩压器 3—弯道
4—回流器 5—蜗壳

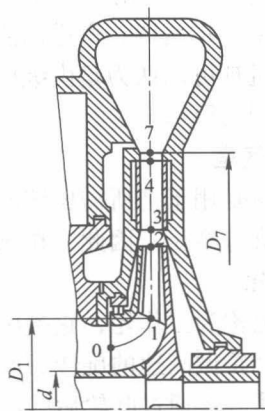


图 1-2 离心压缩机的末级

1—叶轮 2—扩压器 3—蜗壳

由叶轮 1、扩压器 2、蜗壳 3 等组成，气体经过这一级增压后，将排出机外，流入冷却器进行冷却或送往使用单位。

对于这两种级的结构型式来说，叶轮 1 是这两种级所共同具有的，只是在固定元件上有所不同。对于末级来说，它是以蜗壳 3（图 1-2）取代中间级的弯道 3 和回流器 4（图 1-1），有时还取代了级中的扩压器 2（图 1-1）。

在离心压缩机级的设计中，应首先解决这两种典型级的设计问题。

第2章 离心压缩机级的基本工作情况

对于离心压缩机级的设计工作来说,为了便于理解和掌握,首先要对级的整体及其基本工作情况有比较周密的了解,这对于掌握级的各组成部分的具体设计和计算是有意义的。

2.1 实际叶轮叶片对气体的做功

离心压缩机是通过叶轮叶片对气体进行做功的,同时也就使气体提高了能量。这种功的大小,按照动量矩定理,在一般情况下,可由叶轮出口气流圆周分速度 c_{2u} 和叶轮外缘的圆周速度 u_2 的乘积来决定,即叶轮叶片对于 1kg 气体所做的叶片功(能量头,也称扬程) $h_{\text{叶片}}$ (m) 为

$$h_{\text{叶片}} = \frac{c_{2u} u_2}{g} \quad (2-1)$$

由图 2-1 所示的叶轮出口速度三角形可以看出,在圆周速度 u_2 和气流径向分速度 $c_{2r} = w_{2r}$ 不变的条件下,气流的圆周分速度 c_{2u} 是随着气流出口角的减小(由图 2-1 中的 β_{2A} 减小到 β_2) 而使圆周分速度下降的(由图 2-1 中的 c'_{2u} 下降到 c_{2u}),即叶轮叶片对气体的做功将随着叶轮气流的出口方向角 β_2 的减小而降低。

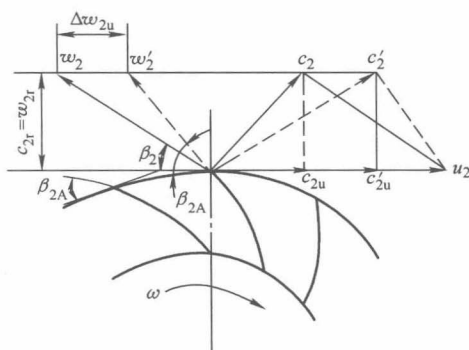


图 2-1 叶轮出口速度三角形

气体在实际叶轮中流动时,气流并不是完全沿着叶片出口安装角 β_{2A} 方向流出去的。气流除了具有图 2-2a 所示的从内径流向外径的流动外,还同时在叶片处具有图 2-2b 所示的轴向旋涡流动。这种轴向旋涡流动是由于气体本身具有惯性;而且气体的黏性又很小,当叶轮旋转时,气体不能跟着叶轮一起旋转而产生的。这样,相对于叶轮来说,气体在叶轮里就会出现一个与叶轮旋转方向相反的轴向旋涡。人们对于叶轮里的轴向旋涡的认识,也是从实践中得出来的,对于这种现象可以用下列实验来加以证实。

如图 2-3 所示,在一盆水上浮起一片纸标。纸标的尖头 N 指向盆的 A 点,然后把水盆放在旋转圆盘上绕 O 点从位置①转到②、③、④,做顺时针方向旋转,



图 2-2 叶轮叶道中的气流流动

a) 径向流动 b) 轴向旋涡流动

这时就可以发现浮在盆上的纸标尖头 N 没有跟着水盆的 A 点一起绕圆心 O 点转动, 而是基本上保持纸标的方向不变, 这说明由于盆中液体惯性的原因, 在水盆绕 O 点旋转时, 盆中的液体只是绕 O 点做平移运动。同时, 也可以看出, 这时盆内的液体相对于水盆来说, 则在做与圆盘旋转方向相反的旋转流动。这也就是叶轮在旋转时, 气体在叶道中将产生与叶轮旋转方向相反的轴向旋涡流动的原因。

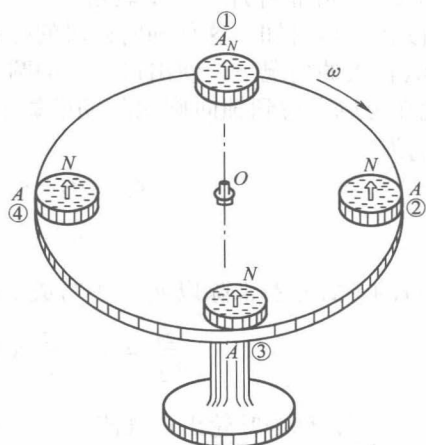


图 2-3 轴向旋涡实验

如图 2-2 和图 2-3 所示, 在实际工作中, 由于叶轮中轴向旋涡所产生的附加速度, 使叶轮出口相对速度的圆周分速度引起了 Δw_{2u} 的变化, 同时也使气流出口角度 β_2 减少。这种圆周分速度的变化 Δw_{2u} , 可以大致按照这样的一个旋转速度来计算, 其旋涡速度等于叶轮转速, 旋涡直径等于叶轮的叶道出口有效宽度。这时 Δw_{2u} 可写成 (由斯托陀拉推论)

$$\begin{cases} D_{\text{涡}} = t \sin \beta_{2A} = \frac{\pi D_2}{z} \sin \beta_{2A} \\ u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \end{cases}$$

$$\Delta w_{2u} = \frac{n_{\text{涡}} \pi D_{\text{涡}}}{60} = \frac{n \pi}{60} \left(\pi D_2 \sin \beta_{2A} / z \right) = \frac{u_2 \pi}{z} \sin \beta_{2A}$$

式中 Δw_{2u} ——叶轮出口相对运动速度的圆周分速度变化 (m/s);

$n_{\text{涡}}$ ——叶轮转速 (r/min), $n_{\text{涡}} = n$;

n ——叶轮转速 (r/min);

D_2 ——叶轮直径 (m);

z ——叶轮出口叶片数;

β_{2A} ——叶轮叶片出口安装角 ($^\circ$);

u_2 ——叶轮圆周速度 (m/s)。

在 Δw_{2u} 的影响下, 叶轮气流出口角 β_2 将向着减小的方向偏斜。而叶轮的气流

出口圆周分速度 c_{2u} 也将由于上述原因而减小 Δc_{2u} ，这一项圆周分速度的减小，从叶轮速度三角形之间的相互关系可以看出， $\Delta c_{2u} = \Delta w_{2u}$ ，因此，由于轴向涡流存在使 c_{2u} 下降， Δc_{2u} 可写成：

$$\Delta c_{2u} = \Delta w_{2u} = u_2 \frac{\pi}{z_2} \sin \beta_{2A} \quad (2-2)$$

式中 u_2 ——叶轮圆周速度(m/s)；

z_2 ——叶轮出口叶片数；

β_{2A} ——叶轮叶片出口安装角($^\circ$)。

由式(2-2)可知，这种轴向旋涡的存在，将在叶片数 z_2 较小和叶轮叶片出口安装角 β_{2A} 较大的情况下，使出口气流的圆周分速度 c_{2u} 显著减小。

现在可以考虑到轴向旋涡流动的影响 Δc_{2u} ，找到实际叶轮气流的出口圆周分速度 c_{2u} 为

$$\begin{aligned} c_{2u} &= u_2 - c_{2r} \cot \beta_{2A} - \Delta c_{2u} \\ &= u_2 - c_{2r} \cot \beta_{2A} - u_2 \frac{\pi}{z_2} \sin \beta_{2A} \end{aligned} \quad (2-3)$$

式(2-3)的等式左右都除以 u_2 ，可写成下列形式：

$$\frac{c_{2u}}{u_2} = 1 - \frac{c_{2r}}{u_2} \cot \beta_{2A} = \frac{\pi}{z_2} \sin \beta_{2A} \quad (2-4)$$

令 $\varphi_{2u} = \frac{c_{2u}}{u_2}$ ，称为叶轮出口气流的圆周分速度系数，简称周速系数；

$\varphi_{2r} = \frac{c_{2r}}{u_2}$ ，称为叶轮出口气流径向分速度系数，也称为流量系数。

可将式(2-4)写成：

$$\varphi_{2u} = 1 - \varphi_{2r} \cot \beta_{2A} - \frac{\pi}{z_2} \sin \beta_{2A} \quad (2-5)$$

在实际叶轮中，叶片对于 1kg 气体所做的叶片功 $h_{\text{叶片}}$ 按动量矩定理，有限叶片数理论的能量头 ($\text{kg} \cdot \text{m/kg}$) 为

$$h_{\text{叶片}} = \frac{u_2 c_{2u}}{g} = \frac{u_2^2 \varphi_{2u}}{g} = \frac{u_2^2}{g} \left(1 - \varphi_{2r} \cot \beta_{2A} - \frac{\pi}{z_2} \sin \beta_{2A} \right) \quad (2-6)$$

现在，只要知道下列四项数据，即可计算出叶轮叶片在旋转时对 1kg 气体的做功 $h_{\text{叶片}}$ 。

- 1) 叶轮轮缘圆周速度 u_2 (m/s)；
- 2) 叶轮叶片出口安装角 β_{2A} ($^\circ$)；
- 3) 叶轮出口叶片数 z_2 ；
- 4) 叶轮流量系数 $\varphi_{2r} = \frac{c_{2r}}{u_2}$ 。

下面举例应用上述所讨论的理论方法，来计算压缩机的级。

[例题 2-1] DA350-61 型压缩机 (图 2-4) 第一级叶轮的外径 $D_2 = 600\text{mm}$ ，

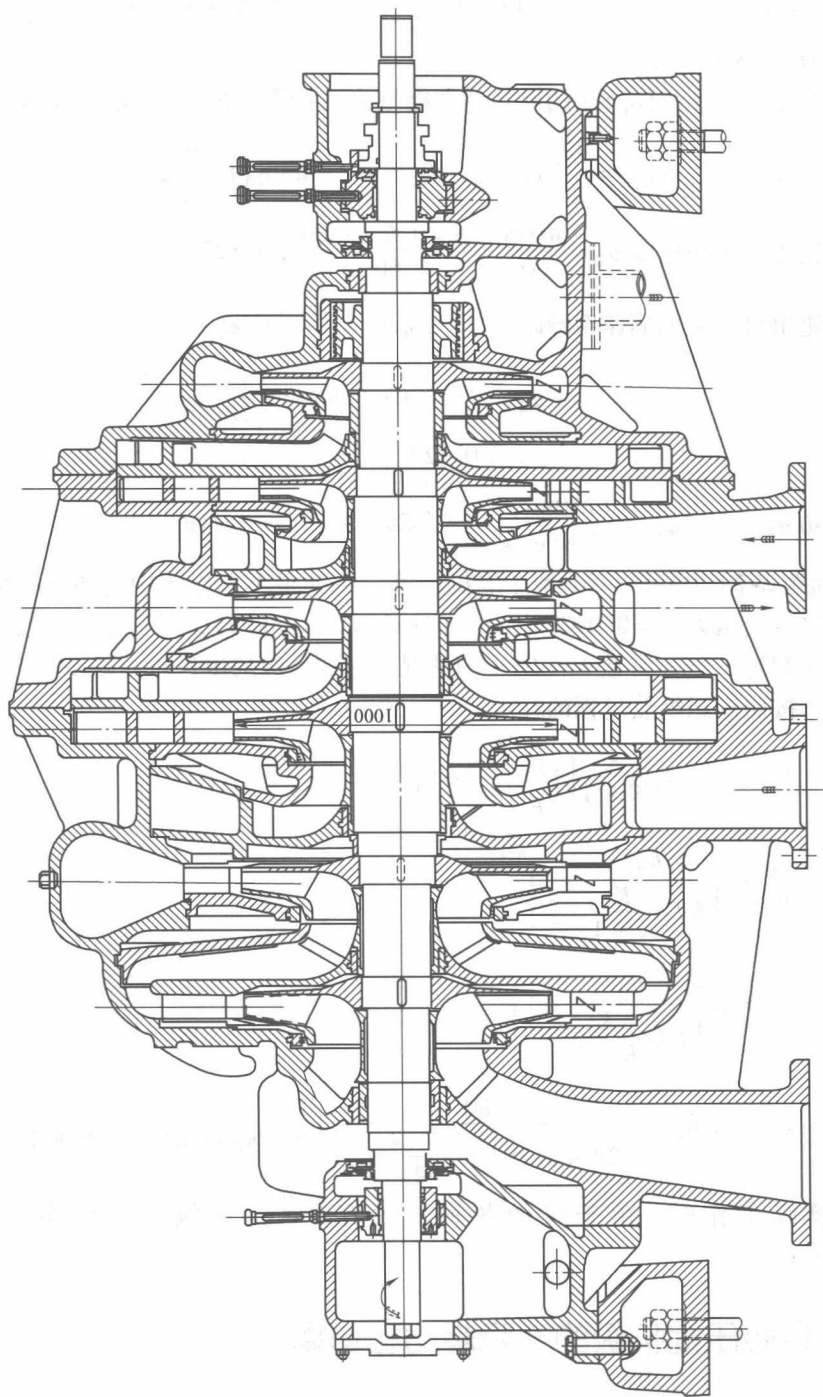


图 2-4 叶轮的漏气损失

叶片出口安装角 $\beta_{2A} = 45^\circ$, 出口叶片数 $z_2 = 18$, 叶轮流量系数 $\varphi_{2r} = \frac{c_{2r}}{u_2} = 0.248$, 叶轮转速 $n = 8600 \text{ r/min}$ 。

求叶轮对 1 kg 气体所做的叶片功即能量头 (扬程) $h_{\text{叶片}}$ 。由式 (2-6)

$$h_{\text{叶片}} = \frac{u_2^2}{g} \left(1 - \varphi_{2r} \cot \beta_{2A} - \frac{\pi}{z_2} - \sin \beta_{2A} \right) = \frac{u_2^2}{g} \varphi_{2u}$$

$$\text{叶轮轮缘圆周速度 } u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{\pi \times 0.6 \times 8600}{60} \text{ m/s} = 270 \text{ m/s}$$

$$\text{叶轮出口气流的周速系数 } \varphi_{2u} = 1 - \varphi_{2r} \cot \beta_{2A} - \frac{\pi}{z_2} \sin \beta_{2A}$$

$$\begin{aligned} \varphi_{2u} &= 1 - 0.0248 \cot 45^\circ - \frac{\pi}{18} \sin 45^\circ \\ &= 0.629 \end{aligned}$$

$$\text{则叶片功 } h_{\text{叶片}} = \frac{u_2^2}{g} \varphi_{2u} = \frac{(270 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \times 0.629 = 4680 \text{ kg} \cdot \text{m/kg}$$

[例题 2-2] DA350-61 型压缩机的第一级如果不考虑级中的各种损失, 已知级的进口空气压力 $p_j = 0.097 \text{ kgf/cm}^2$ ($1 \text{ kgf/cm}^2 = 98 \text{ kPa}$), 进口空气温度 $t_j = 20^\circ \text{C}$ ($T_j = t_j + 273$), 气体常数 $R = 29.4$ 的情况, 求这一级的出口压力是多少?

解 按照理想绝热过程的耗功计算公式:

$$h_{\text{绝热}} = RT_j \frac{K}{K-1} \left[\left(\frac{p_c}{p_j} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

$$\frac{p_c}{p_j} = \left[\frac{h_{jr}}{RT_j \frac{K}{K-1}} + 1 \right]^{\frac{K}{K-1}}$$

$$p_c = p_j \left[\frac{h_{jr}}{RT_j \frac{K}{K-1}} + 1 \right]^{\frac{K}{K-1}}$$

$$p_c = 0.97 \times \left(\frac{4680}{29.4 \times 293 \times \frac{1.4}{1.4-1}} + 1 \right)^{\frac{1.4}{1.4-1}} \text{ kgf/cm}^2 = 1.61 \text{ kgf/cm}^2$$

在实际工作时, 由于级的各种损失存在, 这一级出口的实际压力为 1.46 kgf/cm^2 。

2.2 离心压缩机级的实际耗功和功率

压缩机级是通过叶轮来给气体传递能量的。因此, 级的功和功率的消耗也都在

叶轮上反映出来。叶轮除了通过叶片对气体施加叶片功 $h_{\text{叶片}}$ 外, 还存在叶轮的轴盘、轮盘的外侧面及轮缘与周围气体的摩擦所产生的轮阻损失, 也存在图 2-5 所示的叶轮出口高压气体通过轮盖气封漏回到叶轮进口的低压端的漏气损失。

在不考虑轮阻损失和漏气损失时叶轮的耗功和功率可表示为

$$\begin{aligned} & 1\text{s 叶轮流量为 } q_m (\text{kg}) \text{ 时的耗功 } (\text{kg} \cdot \text{m/s}) \text{ 为} \\ & q_m h_{\text{叶片}} = q_m \frac{u_2^2}{g} \left(1 - \varphi_{2r} \cot \beta_{2A} - \frac{\pi}{z_2} \sin \beta_{2A} \right) \end{aligned} \quad (2-7)$$

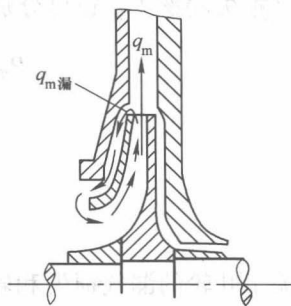


图 2-5 漏气损失

1s 叶轮流量为 q_m (kg) 时的功率消耗为 $P_{\text{叶片}}$, 可表示为

$$P_{\text{叶片}} = \frac{q_m h_{\text{叶片}}}{102} \quad (2-8)$$

对于实际叶轮来说, 都存在着漏气损失和轮阻损失, 由于漏气的存在, 叶轮中的工作流量 $q_{m\text{工作}}$ 为有效流量 q_m 与漏气流量 $q_{m\text{漏}}$ 之和, 记为 $q_{m\text{工作}}$ (kg/s) 为

$$q_{m\text{工作}} = q_m + q_{m\text{漏}}$$

因此, 在考虑到漏气损失和轮阻损失的实际条件下, 叶轮在 1s 有效流量为 q_m (kg) 气体时, 其实际功率 $P_{\text{实}}$ 为

$$P_{\text{实}} = \frac{(q_m + q_{m\text{漏}}) h_{\text{叶片}}}{102} + P_{\text{轮阻}} \quad (2-9)$$

式中 $P_{\text{轮阻}}$ ——叶轮轮阻损失 (kW)。

这样, 叶轮相对于 1kg 有效气体流量来说, 实际消耗的功 $h_{\text{实}}$ 为

$$h_{\text{实}} = \frac{q_m + q_{m\text{漏}}}{q_m} h_{\text{叶片}} + \frac{102 P_{\text{轮阻}}}{q_m} \quad (2-10)$$

令 $\beta_{\text{漏}} = \frac{q_{m\text{漏}}}{q_m}$, 称为漏气损失系数;

$\beta_{\text{阻}} = \frac{102 P_{\text{轮阻}}}{q_m h_{\text{叶片}}}$, 称为轮阻损失系数。

则叶轮对于 1kg 有效气体的实际耗功 $h_{\text{实}}$ 、漏气损失 $h_{\text{漏气}}$ 和轮阻损失 $h_{\text{轮阻}}$ 可分别表示为

$$h_{\text{实}} = (1 + \beta_{\text{漏}} + \beta_{\text{阻}}) h_{\text{叶片}} \quad (2-11)$$

$$h_{\text{漏气}} = \beta_{\text{漏}} h_{\text{叶片}} \quad (2-12)$$

$$h_{\text{轮阻}} = \beta_{\text{阻}} h_{\text{叶片}} \quad (2-13)$$

叶轮在有效流量为 q_m (kg/s) 时, 叶轮的功率 $P_{\text{实}}$ 、轮阻损失功率 $P_{\text{轮阻}}$