

华东电业管理局 林启华 主编

泵与风机的变速节能

水利电力出版社

泵与风机的变速节能

华东电业管理局 林启华 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 13印张 290千字 3插页

1987年8月第一版 1987年8月北京第一次印刷

印数0001—7250册 定价 2.75 元

书号 15143·6449

内 容 提 要

本书是一本介绍泵与风机节约用电技术的实用性读物；在介绍泵与风机的各种节电措施的基础上重点讨论变速节能的问题。全书共分五章，第一章介绍泵与风机的节电措施，第二章扼要讲述了泵与风机的工作原理、结构、工作特性和调节性能，第三章介绍液力耦合器的结构、设计、安装调试以及运行注意事项，第四章着重介绍单绕组双速电动机的基本原理以及绕组改绕的具体做法，第五章主要介绍异步电动机晶闸管串级调速的有关问题。书中讲述的各种变速节能措施，均附有实例，可供各工业企业在节能技术改造工作中参考。

前 言

党的十二大提出了要在本世纪末，全国工农业年总产值翻两番的战略目标，并把能源列为发展经济的战略重点之一，这对我国全体能源工作者来说，是一项振奋人心的、光荣而又艰巨的任务。

电力工业是能源工业的重要组成部分。我国电力工业和其他工业一样，建国以来发展的速度是相当快的。1985年全国发电量 $407.3 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，为1949年的 94.68 倍；全国拥有的发电设备容量 86290MW，为1949年的 46.6 倍。发电量已由建国初期居世界第二十五位上升到第五位；发电设备容量从世界第二十一位上升到第八位，接近于美国1949年、苏联1963年和日本1970年的水平。

水利电力部初步测算，工农业年产值翻两番，发电量和发电设备容量至少要翻两番，分别达到 $1300 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$ 和 240000 MW 以上。为了实现这个目标，电力工业已经确定的发展重点是：加速建设煤矿坑口火电厂和靠近负荷中心的港口、路口火电厂，大力建造长江中上游、黄河上中游和红水河等水系的梯级水电厂。在缺电的广东、华东和东北地区，加快建设核电厂。而在新建的火电厂中将普遍采用 200、300MW 的机组，力争多装 500~600MW 的火电机组。因此火电厂的辅机，如给水泵、循环水泵和送吸风机也将相应增大，它们配套用的高压电动机或汽轮机的容量，一般都在二、三千千瓦以上，大的将达五、六千千瓦，甚至于一万千瓦以上。

现有的冶金、化工、煤炭、石油等各个工业企业也将进行技术改造和扩建，它们和新建的项目一样，要采用节约能源的新工艺、新技术、新设备和新材料，合理使用能源；这些企业使用的泵和风机配套的高压电动机也必然是大容量的。因此，同样存在着这类大容量的泵与风机如何节约用电的问题。

考虑到泵与风机的用电量在电力工业自身用电量中约占75%以上；在其他各工业部门的总用量中平均占40~50%；节约泵与风机的用电量，显然对促进四化建设具有重大的现实意义，因而不揣鄙陋，根据华东电网和我们所了解的上海市泵与风机的节电经验，编写了这本书。

本书共分五章。第一章叙述泵与风机的各项节电措施，这些措施都是从实际出发，根据少花钱多办事的精神提出的，在技术上则本着先易后难的原则，充分考虑到目前的设备供应条件和可靠性，尽可能做到投资少、完成快、节电多、经济效益大、回收期限短。并希望能有利于促进企业形成节电能力，以缓和目前电力供需不平衡的突出矛盾。

在这些措施中，我们把变速节能作为重点，介绍了十四种变速措施的主要原理、优缺点和适用的范围，而把近期内拖动泵与风机的高压大容量电动机适宜采用的液力偶合器、双速电动机和晶闸管串级调速安排在第三、第四和第五章专门介绍。

第二章扼要地介绍泵与风机的工作原理、结构分类和工作特性及调节性能。内容以和它们变速有关的部分为限，注意理论联系实际，力求深入浅出讲明主要概念，使读者阅读本书时感到方便。

第三章介绍国内外液力偶合器的结构、设计计算、制造

工艺要点、安装调试的技术要求和具体步骤，以及运行中应注意的事项；并附有设计、制造CO-46型、YOTC-800型和YOTC-1000型耦合器的实例。

第四章主要阐明单绕组双速电动机绕组改绕的基本原理，改绕的具体步骤和做法；阐明谐波产生的原因及其影响，减小或消除谐波的措施。最后附有大、小容量电动机的改造实例。

第五章介绍绕线式异步电动机晶闸管串级调速系统的构成，并对其中整流器与逆变器的换流过程，和提高功率因数与消除谐波的措施，有比较详细的叙述，使刚接触这方面内容的读者易于了解，并能立即着手开展工作。

关于交流电力电子变速技术，目前国内还处于在小容量电动机上研究试验阶段，在电厂高压大容量电动机上还缺乏具体应用的实践经验，等成熟后再予以修订补充。

本书由林启华同志担任主编，并编写了第一、第二两章，第三章由曹甫祥、黄载勋同志编写，第四章由施韵和同志编写，第五章由秦长松同志编写。在编写过程中得到了水利电力出版社和华东电业管理局各级领导的大力支持，有关的同志为我们提供了有价值的参考资料，并对本书的编写提了许多宝贵的意见。张菁同志协助绘制前三章的插图。对此，编者谨致衷心的感谢。

限于编者的学识水平，书中错误疏漏之处，在所难免，敬希读者批评指正。

编 者

1986年5月于上海

目 录

前 言	
绪 论 泵与风机节约用电的重大意义	1
第一章 泵与风机节约用电的措施	4
第一节 泵与风机节约用电的措施	4
第二节 泵与风机的第一类变速拖动	25
第三节 泵与风机的第二类变速拖动（一）	40
第四节 泵与风机的第二类变速拖动（二）	59
第二章 泵与风机的工作原理、结构分类和工作特性	99
第一节 泵与风机的工作原理	99
第二节 相似理论与比转数	108
第三节 泵与风机的结构和分类	117
第四节 泵与风机的工作特性	143
第三章 液力耦合器变速装置	173
第一节 调速型液力耦合器的构造	173
第二节 调速液力耦合器的设计计算与制造工艺	179
第三节 调速液力耦合器的安装	239
第四节 液力耦合器的调整试验	242
第五节 液力耦合器调速给水泵组（应用实例一）	251
第六节 液力耦合器调速的送风机和吸风机（应用实例二）	256
第四章 交流电动机的变极调速	260
第一节 变极调速的基本原理	260

第二节	单绕组多速电动机性能的估算	291
第三节	谐波磁场对电动机性能的影响	295
第四节	单绕组双速电动机改绕的实例	302
第五章	绕线式异步电动机的串级调速	339
第一节	晶闸管电路的换流	339
第二节	晶闸管串级调速系统	355
第三节	晶闸管串级调速装置的功率因数及高次 谐波	372
第四节	晶闸管串级调速系统的调试	386
第五节	晶闸管串级调速的应用	394
参考文献		404

绪 论

泵与风机节约用电的重大意义

本世纪末，我国国民经济的总产值，预定要比1980年翻两番。为了实现这个宏伟的目标，有关部门测算，在本世纪末我国能源的产量大约只能翻一番，因此国民经济翻番所需要的能源，约有一半要依靠节约能源来解决。节约能源已成为我国实现四化的基本国策，也是我国长期的战略任务。

1980年以来，我国在加强开发能源的同时，实行能源开发与能源节约并重的方针，而在近期内把节约能源放在优先的地位。近几年来，我们在加强节能工作的组织领导，调整我国国民经济的结构，加强节能的科学管理和开展节能的技术改造等方面，采取了一系列措施，取得了一定的成效。从1979年到1983年的五年中共节约能源1.25亿吨标准煤，平均每年节能率达4.9%。这个数字已比许多工业发达的国家从1960年到1980年的平均节能率2%左右为高。但是在我国节约的能源中，有70%属于调整国民经济结构的间接节能，而属于企业降低产品单耗的直接节能仅占30%左右。今后，随着国民经济结构的逐步调整理顺，轻重工业的比例将逐步趋于协调；与此同时，在轻重工业内部，各个行业之间的结构经过调整后，也将逐步趋于合理。所以，依靠经济结构调整而得到的间接节能量在总节能量中的比重，势必逐步下降，期望达到30%，而依靠技术进步、技术改造以及科学管理而获得的直接节能量在总节能量中的比重能够相应地上升到

70%左右。因此，大力推进技术进步和技术改造，加强科学管理，是今后节约能源的主要途径。

电力工业是能源工业的组成部分。我国电力工业所消耗的能源，在全国消耗的一次能源中的比重，1970年约占20.72%，1975年占21.48%，而1982年已达23%，逐年上升。随着工业、农业、国防和科学技术的现代化和人民生活水平的提高，电力工业所消耗的能源的比重，将继续上升，预计到本世纪末，可能达到30%~33%左右。所以，电力工业节能在整个节能工作中占有十分重要的地位，特别是当前发电设备容量短缺，电网结构薄弱，火力发电厂所需的能源运输紧张，电力供需的矛盾十分突出的情况下，尤其具有重大的意义。

泵与风机以及拖动它们的电动机，是全国通用的耗电设备。它们的数量众多，分布面极广，耗电量巨大。国家经委能源局组织的1983年全国风机水泵用电调查的结果表明，1979年全国发电量 $276.2 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 中，工业用电为 $184.636 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，占全国用电量的66.8%，约为2/3；而风机水泵用电约占全国用电量中的31%，将近1/3，约占全国工业用电量的一半。上海市经委能源办公室1982年调查的资料表明，全市5.5kW以上的风机、水泵共35689台，总容量为1281MW，年耗电量为 $4.5 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，约占工业用电量的40%。全国调查的资料还表明在工农业各个部门中，风机和水泵的用电量在各部门的总用电量中所占的比重，虽然并不一致，但是，大多数都在60%以上（见表0-1），其中农业排灌的用电量高达89%，而在电力工业和化肥工业中，风机、水泵的用电量约占总用电量的四分之三以上。这些统计数字充分说明节约风机、水泵用电是目前工农业中节约电力的

表 0-1 风机水泵用电量在部门总用电量中所占的比重

国民经济部门		风机用电量占 总用电量的 比例(%)	水泵用电量占 总用电量的 比例(%)	风机、水泵用 电量占总用电 量的比例(%)
电 力 工 业		22.7	49.73	72.43
化 肥 工 业		12	64	76
石油工业	炼 油	13.42	44.73	58.15
	油 田	—	63.3	63.3
煤 炭 工 业		10.05	23.53	33.58
农业(排灌用)		—	89	89

注 表中数据为1981年数据或1979年数据。

关键所在。

因此，首先抓紧实现泵与风机的实用节电措施，对缓和目前电力供需之间不平衡的突出矛盾，推进我国四化建设，有着极其重大的现实意义。现有的泵或风机，绝大多数由于容量偏大，压头偏高或者是不经常满负荷运行，不得不依靠闸阀或风门进行节流调节，浪费掉大量宝贵的电力。泵与风机的耗电量是与转速的立方成正比的，如果把节流调节改为转速调节，其耗电量便可按其转速立方的比例降低下来，节电的效果将非常显著。因此，本书将详细论述泵与风机的各项行之有效的节电措施，并以其中节电效果最为显著的泵与风机的变速运行作为重点，着重介绍适合于高压、大容量电动机采用的液力耦合器（连同水泵改造为高效的）、双速电动机和晶闸管串级调速系统的设计、制造、施工、运行调试和投产等，并附有实例。这些措施都是技术上成熟，运行上安全可靠，而且调节使用方便，维护检修容易。

第一章 泵与风机节约用电的措施

第一节 泵与风机节约用电的措施

节约泵与风机的用电量，首先要调查清楚企业中泵与风机本身的设计效率，测试它们实际运行的效率，并根据生产工艺过程和工序，测算与统计它们的用电单耗和在企业总用电量中所占的百分率。计算单耗的单位视具体行业的生产技术过程而异，主要要求是，要便于进行技术分析和在同行业中进行分析对比，一般由主管部统一规定。再就是要检查管道系统的布置是否合理，有无多余的阀门（或风门）、弯头和大小接头，以及泵与风机的调节方式和使用情况是否经济合理等。

我国目前使用中的泵与风机，一小部分是三、四十年代的产品，大部分是五、六十年代初期从苏联、东欧国家进口的设备，以及五十年代后期以来的国产仿制设备。这些泵与风机的设计效率只有60%~70%，本来就不高，在运行中又由于电动机配套不当，或者泵与风机的主要参数选择不当，水管或风道系统布置不合理等种种原因，实际运行效率就更低，差的仅有30%~40%，一般在50%~60%左右。所以，应当尽快地按照国家节约能源的具体规定，把运行效率低于60%的水泵和运行效率低于70%的风机，改造为高效水泵和高效风机，这样可节电5%~10%，全国每年约可节电 $4 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，若进一步把耗能型的节流调节方式，改为省能型的高效变速调节方式，则每年节电可以增加至 $9 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$

左右。按我国当前生产水平，以每度电的工业产值 $3 \sim 4$ 元计，这 $9 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电每年可增加国民经 济产值约 $270 \sim 300$ 亿元。这个潜力是非常可观的。

为了做好泵与风机的节电工作，应当采取以下措施。

一、电能平衡和定额管理

电能平衡和定额管理是科学管理的基础。凡泵与风机台数不多的企业，可以通过安装的专用电度表和测试时安装的流量计、压力表、毕托管、差压计与温度计等仪器，测算泵与风机的效率，计算它们的用电单耗及百分率，以便同本行业的先进用电定额和一般的标准定额进行分析对比。泵与风机台数多（几百台及千台以上）、用电量大的企业，除了应当调查清楚安装的台数，实际运行的台数，它们的设计效率与运行效率，泵与风机的主要参数（流量、压头、用电功率和转速），配套的电动机容量（是否存在“大马拉小车”情况），运行方式（是间歇运行或者连续运行，它们的平均负荷和负荷变动情况、周期）之外，还要进行一次全企业的电能平衡。所谓电能平衡，即由合理布位、安装的电度表的抄见电量，核算整个企业的、分车间的（车间分工段的）泵与风机和其他主要用电设备（或设备群）的电量的收支是否平衡[文献1,2]。例如，火力发电厂计量所有发电机的发电量与互馈线输入电厂电量的所有电度表的抄见电量之和，与同一统计期内（每月一次），计量电厂厂用电量、直供厂外用户的电量、互馈线输出电量以及电厂输送给各级电压电网的供电量的所有电度表的抄见电量之和，应当接近或相等（一般计量管理正常时，两者之间的差值不会大于1.0%）。否则，就应查明原因，及时查出不准确的电压互感器、电流互感器与电度表，予以校准。根据电能平衡，绘出电能的流

向图；掌握有效电能和损失电能的分布情况；了解各台变压器的铜损、铁损，以及企业内部的线路损失；了解泵与风机和其他主要用电设备的效率和单耗及其所占的百分率等；编制企业每日、每旬（或每周）、每月的用电平衡报表，进行监督和分析。对耗电量大的企业，必要时还可选定代表日，在高峰负荷期间，用电度表、秒表与钳式电流表进行负荷潮流实测，核算电能平衡情况。

利用长期积累下来的泵与风机的用电统计资料和经过多次试验测定下来的泵与风机的特性曲线，便能计算出它们的效率、用电单耗及其所占的百分率，参照本行业的对应的泵与风机的平均先进定额，制订出泵与风机的运行定额，与岗位责任制结合起来，实行定额管理和节约用电的奖惩制度；在分析它们用电定额完成情况时，还可同本企业过去的历史最佳水平，同国内、国外同行业的最佳水平进行对比，从而有目的地采取针对性的技术对策和技术改造措施。

二、泵与风机及其配套电动机的合理容量

1. 合理选择泵与风机的流量和压头

在选择或设计泵与风机时，由于种种原因，往往事先无法正确确定出它们的主要参数及其富裕量，因此多数情况是所选择的泵或风机的流量过大、压头过高，远远超过了实际的需要量，以致运行中不得不依靠关小闸阀或风门来进行节流调节，造成无谓的节流损失，浪费了大量的电力。这个现象是相当普遍的。所以当闸阀或风门的开度经常小于35%~40%时，就应当深入地研究在满足生产工艺要求的条件下，对单级的泵或风机，采取最方便而又十分有效的切削叶轮外径的措施来减小流量。对多级的泵或风机，则先采取抽去一、二级叶轮，以降低扬程，减少节流损失。在抽去泵的叶

轮的部位，加装主轴的护套。同时为了减少多级水泵切削叶轮后的漏流量，可保留前后盘，仅切削其中的叶片。切削叶轮的外径不宜过多，一般在10%~15%以内。否则，泵与风机的效率下降太多。同时还要保持适当的压头余量3%~5%，使得泵或风机在一个大修间隔内，运行效率与流量稍为下降后，仍旧保留有压头余量，防止出现流量不足的现象，影响生产。

对于中、高比转数的泵或风机，当切削叶轮的外径 D_2 不多时，它们的流量 Q ，同叶轮外径成正比；其压头 H 同叶轮外径的平方成正比；消耗的功率 N ，同叶轮外径的立方成正比。这三个比例关系是由泵或风机的相似定律求得的，构成所谓切削定律（参看第二章第二节）。这样，已知切削前叶轮的外径、流量、压头和管道的阻力特性，在确定好叶轮外径切削应达到的流量和压头之后，就可由切削定律确定出其切削量。

对比转数高的水泵，叶轮的前后轮盘可以切削成不同直径，以防止二次回流（见图1-1），而对于比转数高于350（公制，使用国家法定计量单位时应除以985.49）的水泵，则不宜采取切削叶轮的方法。离心泵叶轮允许的切削量，请参看表1-1。切削叶轮后所节约的电力，可以通过实测值对比求得，也可按下式估算：

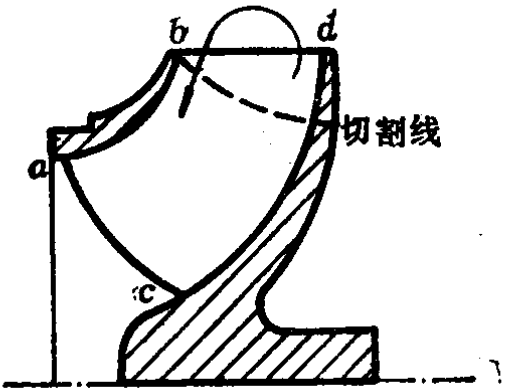


图 1-1 二次回流示意图

$$\Delta N = \frac{\gamma Q \cdot \Delta H}{1000 \eta_H \cdot \eta_M \cdot \eta_T} \text{ kW} \quad (1-1)$$

式中 ΔN ——节约的电力, kW;
 Q ——泵或风机的流量, m^3/s ;
 γ ——流体的重度, N/m^3 ;
 ΔH ——节流阀门(风门)减小的扬程, m;
 η_H 、 η_M 及 η_T 分别为泵(或风机)、电动机和传动装置的效率。

表 1-1 离心泵叶轮允许的切削量

比转数 n_s	60	120	200	300	350
$\frac{\Delta D_1}{D_1}$	0.2	0.15	0.11	0.09	0.07

注 (1) $n_s < 60$ 的水泵, 少量切削叶轮外径, 有时能使泵的效率提高;
(2) $\Delta D_1 < 0.10 D_1$ 时, $n_s < 200$ 的水泵按上表切削叶轮外径时, 泵效率基本上不变;
(3) $\Delta D_1 = (0.10 \sim 0.20) D_1$ 时, 效率下降约 1%。 $n_s = 300 \sim 350$, 按上表切削叶轮外径时, 效率明显下降。 $n_s > 350$ 时, 不宜切削叶轮;
(4) 离心式水泵的合理运行范围:

$n_s < 100$ 的水泵

$\frac{Q_{\max}}{Q_{\text{设计}}} = 1.2 \text{ 时, } \frac{H_{\min}}{H_{\text{设计}}} = 0.9,$
 $\frac{Q_{\min}}{Q_{\text{设计}}} = 0.6 \text{ 时, } \frac{H_{\max}}{H_{\text{设计}}} = 1.1,$

$n_s > 100$ 的水泵

$\frac{Q_{\max}}{Q_{\text{设计}}} = 1.2 \text{ 时, } \frac{H_{\min}}{H_{\text{设计}}} = 0.8,$
 $\frac{Q_{\min}}{Q_{\text{设计}}} = 0.65 \text{ 时, } \frac{H_{\max}}{H_{\text{设计}}} = 1.15.$

必须着重指出, 在泵与风机本身改造为高效的型号之前, 切削叶轮或者抽去一、二级叶轮是非常有效的节能措施。

2. 正确选用拖动泵与风机的电动机

电动机容量选择过大，“大马拉小车”，空载损失所占比重太大，一般应调换小容量电动机，最好是调换低耗的新系列(如Y系列)电动机，或者在本行业普查时互相调换，做到容量配套。有时把电动机的绕组接线改接，使极数增多，转速降低，也可以减少其所消耗的电力，这时泵或风机的出力将同时降低，应当注意既要保证正常生产工艺的要求，又能达到节电的目的。此外，降低异步电动机的电耗，还有以下一些措施：

(1) 更换封闭型电动机的叶板风扇和端风罩

二极或四极的高速电动机的叶板风扇改为带型线的桨式风扇，并为此改造端风罩，可提高效率1%~2%；改造费用很少。北京某电厂对22~100kW的五十台低压电动机调换了桨式风扇，投资6000元，不到8个月即可回收全部投资，每年节电 $15.65 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

(2) 采取磁性槽楔

高压异步电动机定子是开口槽的，齿形谐波的附加损耗占有很大比重，采用磁性槽楔可以减少这些损耗。但应注意把它和定子线圈及铁芯粘牢固，防止以后松动脱出。适当增加气隙和采取斜向转子槽，斜度相当于一个齿槽距，也能降低这些齿谐波损耗，可提高电机效率0.56%~2%，对560~750kW的电动机，每年可节电 $3 \sim 8 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

(3) 铝线定子绕组改绕时更换为铜线

铜线的电阻率约为铝线的一半，改绕时截面和匝数不变，定子铜耗可以减小为原来的一半。同时线圈温升降低，铜耗更小。如槽满率不高，还可增大铜线截面。

(4) 调节电压