

水泵的节能技术

张文钢 黄刘琦 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

水泵的节能技术

张文钢 黄刘琦 编 著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书的中心内容是水泵的节能技术,主要包括流体力学的基础知识、水泵的分类、叶片泵的基本性能参数及基本方程、相似定律、基本性能曲线、通用性能曲线、综合性能图、水泵的调速节能原理、调速泵的最佳调节范围、水泵的联合运行、水泵并联工作的图解法和数值解法、调速泵与定速泵的并联运行、调速泵与定速泵优化配置、泵站的设计概论、水泵的选型、调速装置的选型、液力耦合器、液粘调速离合器、变频调速及其控制等。

本书可作为从事水泵及泵站设计和运行管理相关人员的技术参考书,也可作为大专院校相关专业的教学参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

水泵的节能技术/张文钢,黄刘琦编著. —上海:上海交通大学出版社,2010

ISBN 978-7-313-06456-1

I. 水... II. ①张... ②黄... III. 水泵-节能
IV. TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 080485 号

水泵的节能技术

张文钢 黄刘琦 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

昆山市亭林印刷有限责任公司 印刷 全国新华书店经销
开本:787mm×960mm 1/16 印张:17.75 字数:329 千字

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-313-06456-1/TH 定价:70.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

本书是上海宝山钢铁股份有限公司和上海交通大学在水泵和风机的节能技术方面长期合作的经验总结。对于定叶片水泵和风机来说,其节能主要是通过调速的方式来实现的,我国在过去的三十多年中,大功率的水泵和风机主要是用液力耦合器来调速,也有用液粘调速离合器的。近几年变频调速迅猛发展,有逐步替代液力耦合器和液粘调速离合器的趋势。宝钢选用过国外所有知名品牌的液力耦合器、液粘调速离合器和变频调速电机,为本书提供了丰富的实际资料和经验。

本书着力于理论和实践相结合,探索水泵节能的最佳效果。本书第1章是绪论,概述水泵节能的意义;第2章是流体力学的基础知识,这是本书的理论基础,无论是水泵及泵站,还是液力耦合器和液粘调速离合器都是液体机械,流体力学是其共同的理论基础;第3、4、5章介绍水泵的分类、基本原理和性能;第6、7章论述水泵和泵站的节能原理,并探求最佳的节能效果;第8章围绕节能谈泵站的设计及优化运行;第9、10、11章介绍三种最常用的水泵调速装置;液力耦合器、液粘调速离合器和变频技术,这三种调速装置各有其优缺点,各有其适用范围,供读者参考。

本书可作为从事水泵及泵站设计和运行管理相关人员的技术参考书,也可以作为大专院校相关专业的教学参考书籍。

在本书的编辑过程中,得到了宝钢有关专家和现场技术人员的大力支持和帮助,他们为本书的编写提供了大量宝贵的意见和素材,交大师生也参与了本书的编写工作,在此一并表示感谢。

限于作者水平和时间有限,书中错误之处欢迎广大读者批评指正。

赵周礼

2010年4月

目 录

1 绪论	1
1.1 水泵及水泵站在给水排水事业中的作用和地位	1
1.2 调速节能的意义	2
2 流体力学的基础知识	9
2.1 流体的主要物理力学性质	9
2.1.1 流体的密度和重度	9
2.1.2 流体的黏性	12
2.2 流动阻力和能量损失	15
2.2.1 流动阻力与水头损失的两种形式	17
2.2.2 粘性流体的两种流动状态	19
2.2.3 紊流运动	25
2.2.4 流动的局部损失	32
2.3 不可压缩流体的管道流动	38
2.3.1 简单管道	38
2.3.2 管网计算基础	45
3 泵的分类	48
3.1 泵的分类	48
3.2 叶片式泵	50
3.2.1 离心泵的工作原理与基本构造	51
3.2.2 离心泵的主要零件	56
3.2.3 轴流泵的工作原理和基本构造	63
3.2.4 混流泵	68

4 叶片式泵的基本性能及基础理论	71
4.1 叶片泵的基本性能参数	71
4.2 叶片式泵的基本方程	76
4.2.1 流体在叶轮中的运动	76
4.2.2 基本方程式的推导	79
4.2.3 基本方程式的讨论	81
4.3 叶片泵的吸水性能	83
4.3.1 吸水管中压力的变化及计算	83
4.3.2 泵内气穴和气蚀	85
4.3.3 水泵最大安装高度	86
4.3.4 气蚀余量	89
4.4 叶片泵的相似律和比转速	91
4.4.1 相似条件	92
4.4.2 相似律公式	93
4.4.3 比例律	95
4.4.4 比转数	95
5 叶片泵的性能	98
5.1 叶片泵的基本性能曲线	98
5.1.1 流量——扬程曲线	98
5.1.2 流量——轴功率曲线	101
5.1.3 流量——效率曲线	101
5.1.4 流量——允许吸上真空度(气蚀余量)曲线	101
5.1.5 理论特性曲线的定性分析	102
5.2 叶片泵的试验性能曲线	105
5.2.1 叶片泵的试验性能曲线	105
5.2.2 实测特性曲线的讨论	108
5.3 叶片泵的通用性能曲线	110
5.4 叶片泵的综合性能图	113
6 水泵的调速节能原理	115
6.1 泵定速运行工况点的确定	116
6.1.1 管路系统特性曲线	116

6.1.2	水泵工况点的求解	117
6.1.3	水泵的调节	123
6.2	水泵调速运行工况点的确定	127
6.2.1	水泵的变速调节原理	127
6.2.2	调速泵最佳调流范围的确定	129
6.2.3	水泵调速节能原理	130
6.3	水泵调速节能效果举例	131
6.3.1	电力行业	131
6.3.2	钢铁行业	132
6.3.3	石油化工行业	132
7	水泵的联合运行	133
7.1	水泵并联运行工况	133
7.1.1	并联工作的图解法	133
7.1.2	并联工作的数值解法	139
7.2	串联运行工况	147
7.3	运行的优化调度	148
7.3.1	基本概念	148
7.3.2	调速泵最佳台数的确定	149
7.3.3	调定混合泵站优化调度	150
8	泵站的设计概论和运行管理	153
8.1	泵站的分类与特点	153
8.1.1	取水泵站(也称一级泵站)	153
8.1.2	送水泵站	154
8.1.3	加压泵站	156
8.1.4	循环水泵站	156
8.2	水泵的选型	157
8.2.1	选泵的主要依据	157
8.2.2	选泵的方法与要点	159
8.2.3	选泵时尚需考虑的其他因素	170
8.2.4	选泵后的校核	171
8.3	电动机与水泵的配套	172
8.3.1	电动机类型的选择	172

8.3.2	电动机的配套功率	173
8.3.3	电动机转速	174
8.4	水泵调速装置的选配	174
8.4.1	调速装置的概述	174
8.4.2	液力偶合器调速	175
8.4.3	液粘调速离合器调速	176
8.4.4	变频调速	176
8.4.5	无换向器电机调速	177
8.4.6	调速装置的选配要点	177
8.5	管路及其附件的配套	178
8.5.1	管路配套	178
8.5.2	管路附件配套	179
9	液力偶合器	183
9.1	液力偶合器的工作原理	183
9.2	液力偶合器的力矩方程	184
9.3	液力偶合器的特性	186
9.3.1	液力偶合器的外特性曲线	187
9.3.2	液力偶合器的原始特性曲线	188
9.4	液力偶合器的调速原理	188
9.4.1	液力偶合器基本调速原理	188
9.4.2	液力偶合器调速方式	189
9.4.3	进口调节式调速型液力偶合器	191
9.4.4	出口调节式调速型液力偶合器	193
9.4.5	液力偶合器的调节特性	196
9.5	调速型液力偶合器的最新发展	199
9.6	液力偶合器的控制	199
9.6.1	偶合器的控制框图	200
9.6.2	偶合器的控制系统	203
10	液粘调速离合器	221
10.1	液粘传动的工作原理	221
10.2	液粘传动的摩擦状态	222
10.3	摩擦片和对偶片间的传动力矩	224

10.4	油膜压力和流量分析	226
10.5	带油槽的摩擦片	227
10.6	液粘调速离合器	230
10.6.1	液粘调速离合器的概况	230
10.6.2	液粘调速离合器的结构	230
11	电气调速装置	244
11.1	交流电机调速基本原理及主要类型	244
11.2	鼠笼式异步电动机的变极调速	246
11.2.1	变极调速的原理	246
11.2.2	变极调速的优缺点及其在水泵调速节能中的应用	248
11.3	鼠笼式异步电动机的变频调速	249
11.3.1	变频调速的基本原理	249
11.3.2	变频器的分类及各种形式变频器的特点	250
11.3.3	变频器的基本构成	254
11.3.4	变频调速的优缺点及其在水泵调速节能中的应用	255
11.4	自控式同步电机变频调速	258
11.4.1	系统组成	258
11.4.2	自控式同步电机变频调速原理	261
11.4.3	自控式同步电机的工作特性	263
11.4.4	自控式同步电机在泵调速节能中的应用	264
11.5	绕线式异步电动机转子串电阻调速	265
11.6	变频调速节能改造实例	266
11.6.1	华能某电厂引风机变频调速节能改造实例分析	266
11.6.2	华能某电厂锅炉给水泵变频调速节能改造实例分析	268
11.6.3	对电厂采用高压变频调速技术的建议	269
	参考文献	270

1 绪 论

1.1 水泵及水泵站在给水排水事业中的作用和地位

在工程术语中,(水)泵站是大家所熟悉的名词。水泵是属于通用性的机械类而广泛地被应用于国民经济的各个部门。随着现代工业的蓬勃发展,采矿、冶金、电力、石油、化工、市政以及农林等部门中,各种形式的泵站很多,其规模和投资越来越大,功能分类也越分越细。

以采矿工业而言,矿山中竖井的井底排水,大型矿床的地表疏干以及掘进斜井的初期排水等技术设施,都需要建造一系列相应的泵站来满足整个采矿工程的需求。在电力部门中,无论是火力或原子能发电系统,从高压锅炉给水泵站起,一直到冷热水的循环泵站、水力清渣除灰的高压泵站以及冷却水的补给泵站等都是必不可少的。它们在整个系统中,常常是规模大、投资大、地位重要的工程项目。

在市政建设中,泵站也是城市给水和排水工程中必要的组成部分。它们通常是整个给水排水系统正常运转的枢纽。图 1-1 为城市给水排水系统工艺基本流程。由图可知,城市中水的循环都是借一系列不同功能的水泵站的正常运行来完成的。原水由取水泵站从水源地抽送至水厂,净化后的清水由送水泵站输送到城市管网中去,其流程如图 1-1 中实线所示。

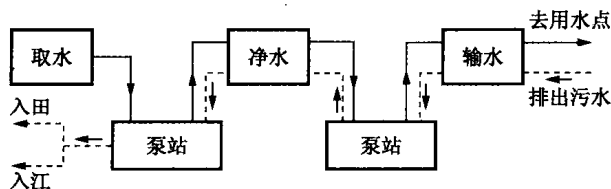


图 1-1 城市给水排水系统工艺基本流程

在我国许多大型的城市给水工程中,水泵站起了非常重要的作用。如“引滦入津”工程,该工程是一项较大规模的跨流域引水工程,该工程全长 234km,全年引水量达十亿余 m^3 。全部工程中修建了四座大型泵站,分别采用了多台叶片可调型的大型轴流泵和高压离心泵进行抽升工作。此外,对于城市中排泄的生活污水和工业废水,经排水管渠系统汇集后,也必须由排水泵站将污水抽送至污水处理厂。经过处理后的污水再由另一个排水泵站(或用重力自流)排放入江河湖海中去,或者

排入农田作为灌溉之用,其流程如图 1-1 中虚线所示。实际上,在排水管渠系统中使用泵站的场合是相当多的。除抽送污水和工业废水的泵站外,还有专门抽送雨水的泵站,用来抽送整个城市排水的总泵站和仅用来抽送地势低洼区排水的区域性泵站。在污水处理厂内,需要从沉淀池把新鲜污泥抽送到污泥消化池、从沉砂池中排除沉渣、从二次沉淀池中提送回流活性污泥等等,这些都要用各种不同类型的泵和泵站来保证运行。

除此以外,在农田灌溉、防洪排涝等方面,水泵站经常作为一个独立的构筑物而服务于各项事业的。特别是随着社会主义农业的现代化,在农田基本建设、抽升黄河水引向西北高原的大型灌溉工程中均需建造很多大型、巨大型的泵站。在这方面有大流量、低扬程的轴流泵站,也有大流量、高扬程的离心泵站。至今,我国已拥有大型泵站三百余座,在我国大型泵站比较集中的湖北、江苏、安徽、湖南、广东等省份,已初步形成了以大型泵站为骨干的防洪排涝以及跨流域调水工程体系,以重点中型泵站为主体的流域性调水、排灌工程体系和以中小型泵站为主导地位的地区性排涝、灌溉工程网络。

从经济性的角度来看,城市供水企业一般都是用电大户,而在整个给水工程的用电量中,95%~98%的电量是用来维持水泵的运转,其他 2%~5%用在制水过程中的辅助设备上(如电动阀、排污泵、真空泵、机修及照明等)。以一般城镇水厂而言,泵站消耗的电费,通常占自来水制水成本的 40%~70%,甚至更多。就全国水泵机组的电能消耗而言,它占全国电能总耗的 21%以上。因此,通过科学优化调度,提高机泵设备的运行效率;采用调速水泵机组,扩大水泵机组的高效工作范围;对役龄过长、设备陈旧的机泵,及时采取更新改造等措施,都是合理降低泵站电耗,提高经济性的重要途径。例如,上海市吴淞水厂,自 1981 年将一台 55kW 电机采用可控硅串级调速运行以来,一直运行良好,每年节电约 90 万 kW·h(度);北京市水源九厂一期工程中两台取水泵和两台配水泵均采用了从德国引进的变频式电机调速装置,这是国内水厂首先采用变频调速的机组,每年的节电效果是十分可观的。除此以外,泵站中还有多种形式的节电措施,例如,采用液压自控蝶阀,各种微阻缓闭止回阀,取消止回阀等措施均能达到良好的节电效果。

1.2 调速节能的意义

首先,节能是保障国家经济安全,实现可持续发展的必然选择。我国正处于经济高速发展的工业阶段,一方面能源资源相对不足;另一方面能耗高、浪费大、效率低下。我国要在 21 世纪中叶达到中等发达国家的水平,必须两条腿走路,一靠开发;二靠节约。

其次,节能是治理污染、改善环境的最有效的途径。我们不仅要解决现实污染问题,还要解决经济发展对能源需求的增长给环境带来的潜在的巨大压力。

第三,节能降耗是提高企业经济效益,增强企业竞争力的重要措施。加入世贸组织后,我国国际贸易的迅速发展,节能对产品进出口乃至国际贸易的影响日益增加,能效标准、标识已成为国际贸易中的“绿色通行证”,我国作为机电产品出口大国,对市场的这种变化必须高度重视,及早研究和采取措施。

在新形势下全面推进节能工作,大力宣传党和国家关于节能的方针,“资源开发和节约并重,把节约放在首位”;依法保护和合理使用资源,保护环境,提高资源的利用效率,实现可持续发展。

我国“十一五”规划建议中唯一的两个量化指标:“实现 2010 年人均国内生产总值比 2000 年翻一番”与“单位国内生产总值能源消耗比‘十五’期末降低 20% 左右”,给人的感受是截然不同的。习惯在 GDP 翻番指标面前为之一振的人们,面对后一个指标,或多或少地会为之一惊。将节能降耗目标与经济增长目标放在同等重要的位置,并列摆在全国的社会经济发展总目标中,尚属首次。20% 的节能目标是根据 2004 年制定的国家《节能中长期专项规划》提出的。国家发改委能源研究所所长周大地说,“《规划》提出要争取 2020 年 GDP 翻两番,而能源消耗只能翻一番。如果能在‘十一五’和下两个五年计划都实现 20% 的降耗目标,每单位 GDP 就可以降耗 50% 左右,实现用增一番的能源消耗支持翻两番的经济增长。”国家发改委能源研究所能源效率中心主任郁聪更详细地解析 20% 的由来:“‘十一五’期间,按降低 20% 的规划,平均下来,每年要降耗 4.4%,比原来《节能规划》拟定的 3% 略有提高。”她分析说,1980 年到 2000 年的 20 年里,我国 GDP 增长与能源消耗增长之比,平均为 1:0.5 左右,也就是用一番的能源消费保证了两番的经济增长。事实上,中国在节能降耗上有着很大潜力。这从数字比较上可以看出,我国生产 1 美元国内生产总值的单位能源消耗,是日本的 11.5 倍,法国和德国的 7.7 倍,英国的 5.3 倍,美国的 4 倍以上。周大地说:“20% 是‘十一五’的死任务,绝不是没有根据,更不是玩数字游戏”。“十一五”规划特别凸显了节能和环保目标,节能目标首次作为国家目标,这充分说明了节能任务的重要性和艰巨性。

据有关资料报道,我国风机、水泵、空气压缩机总量约 4200 万台,装机容量约 1.1×10^8 kW。但系统实际运行效率仅为 30%~40%,其电能损耗占总发电量的 38% 以上。这是由于许多风机、水泵的拖动电机处于恒速运转状态,而生产中的风、水流量要求处于变工况运行;还有许多企业在进行系统设计时,容量选择得较大,系统匹配不合理,往往是“大马拉小车”,造成大量的能源浪费。具体来说,我国风机、水泵在运行中普遍地存在着四大问题:

1) 单机效率低

国内产品比国外产品效率约低 5%~10%。我国大量风机、水泵设备陈旧,结构落后,效率低。例如,20 世纪 70 年代以前装机运行的风机,其效率大多低于 75%,而近年研制的新型风机,其效率多在 80%~90%(如 4-72 型为 91%,9-26 型为 83%)。20 世纪 70 年代以前装机运行的锅炉给水泵,其设计效率多在 70%以下(如 5U-10 型为 60%),而近年来引进和研制的新型泵,其效率多在 80%左右(如 DG400-140 为 79%,DG680-180 为 81%)。目前我国火(热)电厂中正在运行的风机,水泵约有半数以上属低效能设备。

2) 系统实际运行效率低

据调查,某钢铁公司的风机、水泵实际运行效率仅为 6%。那么何以至此呢?这是由系统选型和匹配不当、参数余度过大,以及不合理的运行方式所造成的。

余度过大表现在两个方面:一是工作机选型过大,由于常用设计余量系数过大使设计容量本已很大,加之“靠挡选择”等层层加码,使工作机容量远远大于需要量;二是电机选型过大,由于对工作机负载状况不能准确掌握和按传统匹配方式考虑大惯量工作机的带负载启动以及电机对负载启动时间的限制等,人为地加大了机座号,形成欠载运行的不合理的配套(或匹配)。

设计余度是要有的,但要给定得合理。而采用调速装置,可以改善系统的匹配

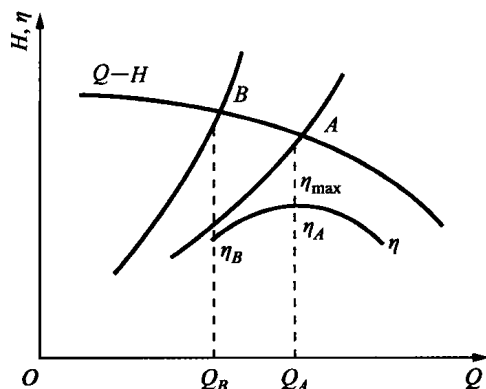


图 1-2 风机、水泵运行偏离额定工况点时的效率

状态及运行工艺性,从而使系统随时运行在最佳工况,使系统获得良好的技术经济效益。

合理的匹配应使风机、水泵的额定流量和压力尽量接近工艺要求,使设备运行时的工况点(装置性能曲线与风机水泵性能曲线的交点)保持在高效区,如图 1-2 所示。图中 A 点是运行时的高效点,如果选择不当,余量太大,使图中实际运行点 B 点偏离高效区,则造成风机、水泵效率下降,浪费能源。

3) 大多数仍在沿用落后技术——管道闸阀节流

由于工程设计人员对管路阻力计算不准确,以及选用过大的安全容量,而在选用设备时又担心计算压力和流量不能满足工况需要,或无适宜规格可选,只好从高

档规格或高压中选用,结果由于层层加码,造成选用设备的额定流量超过实际所需流量;或因工艺要求而不断变更流量,现场操作人员只有采用阀门(或挡板)来增加管路阻力,以求减少流量,使流量符合工艺要求。这种节流方法会人为地增大阻力,使风机、水泵的使用效率降低,造成能源浪费。

节流损失与流量的额定值比例有关。例如,一台 40kW 的离心风机运行在额定流量 70% 的情况下,由于节流而造成压头调节损失,其功率损耗达 15kW 左右。又如,某炼油厂共有 471 台离心泵,阀门节流损失占电机功率的 30%~40%。根据全国 21 个炼油厂统计,仅水泵在一年里消耗在调节阀门压头的损耗就有 $3.75 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

由于节流后运行点偏离高效区,使风机、水泵长期处于低效区运行,造成电能浪费,电费急剧增长。表 1-1 列出的是一台国产 200MW 火力发电机组配 2 台 DC400-180 型电动定速给水泵后,在各种负载下调节阀门的节流损失、运行效率的下降情况及所造成的综合损失。

表 1-1 国产 MW200-130/130 型机组配 DC400-180 型给水泵在各种负荷下的效率和损失

负荷 MW	流量 /(t/h)	单位阻力 /MPa	给水泵 台数	DC400-180 给水泵特性		效率 下降值 /%	在调节阀上 的损失 /MPa	综合损失	
				出口损失 /MPa	η /%			每年多 耗电 /(kW·h)	每年多用 运行费 /万元
100	315	17.10	1	21.10	70.5	7.5	3.633	4 457 000	17.83
120	345	17.6	1	21.09	71.5	6.5	3.03	4 615 316	18.46
140	410	17.7	1	20.20	72.5	5.5	2.06	3 824 273	15.36
160	470	18.5	1	19.20	71.8	0.2	0.605	717 338	3.67
180	535	19.0	2	21.20	60	18	2.25	8 838 882	35.36
200	616	19.4	2	21.10	69	9	1.482	5 549 110	22.20

对于可变流量或间歇性的负荷宜采用调速方式以节能;对于固定流量的负荷,使风机、水泵及所配用的电动机与负荷情况相近,就可以在高效区运行。

4) 运行管理粗放

风机放空、水泵回流、跑冒滴漏等现象随处可见,使能源白白浪费掉。专家认为,通过加强管理,可以拿回 10% 的能源。

根据上述分析,本书重点论述的是如何提高水泵机组的运行效率以及泵站中水泵机组的匹配问题,而怎样选用先进的调速节能技术及实现其优化控制是节能

技术的关键,这两个问题的解决,常可使效率大幅度提高,获得显著的节能效益。

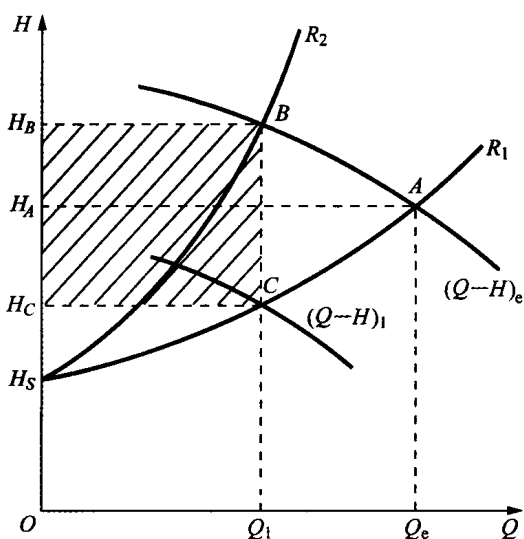


图 1-3 离心泵调速节能原理图

下面以离心泵为例进行说明。离心泵调速节能基本原理可通过扬程与流量的变化关系曲线说明,如图 1-3 所示。图中 $(Q-H)_e$ 为泵在额定转速下扬程-流量的变化曲线; $(Q-H)_1$ 为泵在调速运行时的扬程-流量变化曲线; R_1 为使出口阀门全部放开时的管道阻力曲线; R_2 为关小泵出口阀门节流控制时的管道阻力曲线; H_e 、 Q_e 为泵的额定扬程和额定流量; H_B 为阀门节流控制时的泵的扬程; H_C 为全部放开泵出口阀门调速调流量对泵的扬程; Q_1 为泵的调节后流量; H_S 为水网系统的静扬程。

当改变泵出口阀门开度调节流量时,流量由 Q_e 变为 Q_1 ,管道阻力曲线由 R_1 变为 R_2 ,扬程由 H_e 变为 H_B ,此时泵的轴功率可由面积 OH_BQ_1 表示。当放开泵出口阀门,改变泵的转速调流量时, $(Q-H)_e$ 曲线则平行下移至 $(Q-H)_1$,与管道阻力曲线 R_1 相交在 C 点,这时泵的轴功率可由面积 OH_CQ_1 表示。由此可以看出,调节泵的流量由 Q_e 变为 Q_1 ,不同的调节方式,泵的轴功率不同,调泵转速比调泵出口阀门时轴功率小很多,面积 $H_C H_B B C$ 即为节省的功率。实际上节省的能量还要多,因为调速泵在 C 点的运行效率比定速泵在 B 点的效率要高。根据离心泵相似定律,泵流量与转速成正比,扬程与转速平方成正比,轴功率与转速三次方成正比,可见,在泵转速下降 $1/2$ 时则流量下降 $1/2$,扬程降为 $1/4$,轴功率降为 $1/8$ 。随着泵转速的下降,轴功率成三次方关系下降。因此,通过改变泵转速来调节泵的流量,节能效果是非常显著的。

风机、水泵绝大多数配用不变转速的交流电机,为调节转速就必须配用机械的或电气的调速装置。下面分析实现交流电机调速的几种途径。

对于交流电机拖动的负载,其转速表达式一般为

$$n = n_D \cdot i_c \cdot i \quad (1-1)$$

式中: n_D 为电机转速(r/min);

i_c 为定传动比机械传动装置的输出/输入转速比;

i 为调速装置的输出/输入转速比;

同时,式中的 n_D 、 i 可分别写成如下表达式

$$n_D = \dot{n}_0 (1 - S) = (60f/p) \cdot (1 - S) \quad (1-2)$$

式中: n_0 为电机同步转速(r/min);

S 为电机转差率;

f 为电机用电频率(Hz);

p 为电机极对数(对);

$$i = n_T/n_B = 1 - S_T \quad (1-3)$$

式中: n_T 为调速装置输出转速(r/min);

n_B 为调速装置输入转速(r/min);

S_T 为调速装置转差率。

将式(1-2)、式(1-3)代入式(1-1),负载转速可表达为

$$n = (60f/p) \cdot (1 - S) \cdot i_c \cdot (1 - S_T) \quad (1-4)$$

由此可以看出,交流电机拖动的负载转速调节途径的方式有:

(1) 改变电机用电频率 f 。

(2) 改变电机极对数 p 。

(3) 改变电机转差率 S 。

(4) 改变调速装置转差率 S_T 。

由上述四种途径入手,产生了多种调速技术。表 1-2 按技术成熟情况将几种主要调速方式分为三类。

表 1-2 各种调速技术分类表

分类	调速技术	配用电机型式	技术状态	指导性意见
第一类	变极调速(有级)	笼型三相异步电机	技术成熟可靠	目前正在推广应用
	液力偶合器调速	笼型三相异步电机、同步电机		
	串级调速	绕线型电机		
	电磁调速电机调速	绕线型电机		
第二类	中小容量变频调速	笼型三相异步电机	380V 产品已批量生产	今后应着重研究提高可靠性和降低造价的问题
	液粘调速离合器调速	笼型三相异步电机、同步电机	已小批量生产	要积累使用经验、增加产品系列
第三类	大容量变频装置调速	笼型三相异步电机	高电压、大容量产品,目前尚处于开发研究阶段	今后要注意元器件、装置系统、电机等方面的一体化研究,使整体技术达到较高水平

液力耦合器产品已按系列批量生产,可以保证随时供应。变频调速技术是我国当前快速发展的新技术,但在下述两方面难以与液力耦合器(以及液粘调速离合器)相比。一是产品售价,一般在相同功率时,变频调速价格是液力耦合器价格的5~10倍,常使用户承受不起;二是在高电压(3kV, 6kV, 10kV)中大容量领域的调速,几乎完全被液力耦合器及液粘调速离合器所占领。目前我国变频调速绝大部分为低电压(380V)、小容量,高电压直接变频尚在发展中。即使以后我国生产高电压直接变频装置,其高昂的价格难以使用户承受。因此,液力耦合器在风机、水泵调速节能中,富有很强的生命力。