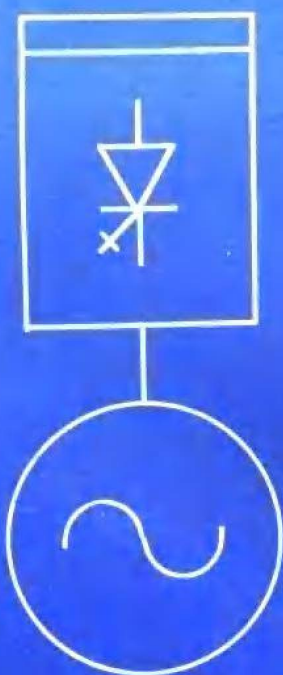


风机水泵交流调速 节能技术

中国电工技术学会 编著
电控系统与装置专业委员会



机械工业出版社

本书以工程实用为主,将风机水泵、交流调速及节能技术作为一个整体予以介绍。首先介绍了风机水泵的基本特性,调速运行的节能原理,风机水泵的传动电机——交流电动机各种调速方式的原理、特性、系统构成、适用范围、实用节能举例,然后介绍风机水泵调速节能装置的选择原则和功率因数补偿、谐波抑制问题,并给出选择实例。书末附录给出各种交流调速装置生产厂的产品系列、规格,供读者选用。

本书可供从事风机水泵节能和交流调速工作的管理干部、工程技术人员及大专院校师生参考。

风机水泵交流调速节能技术

中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会 编著

*

责任编辑:陈瑞藻

封面设计:范培彦

*

机械工业出版社出版(北京阜城门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版营业许可证出字第117号)

天津电气传动设计研究所服务公司印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 15 $\frac{1}{4}$ ·字数 365千字

1990年6月北京第一版·1990年6月天津第一次印刷

印数0,001—5,000·定价9.50元

*

ISBN-7-111-02353-6/TH·387(X)



前 言

党的十二大提出,到本世纪末实现工农业总产值翻两番的宏伟目标。能源是实现这一目标的重要条件,被列为发展国民经济战略重点之一。多年来能源生产赶不上经济,尤其是加工工业的发展,赶不上经济增长需要。目前缺电、缺油严重,煤炭供应紧张,因此节能是当务之急,节约电能是节能的重要内容。

风机水泵是应用量大面广的通用机械,是耗能大的设备,其用电量占全国耗电量的31%,占工业用电的40%~45%,传统的节流运行过多地消耗了电能。实践证明风机水泵变速运行是节能的有效途径,特别是采用以先进的电子技术为基础的交流调速设备,节能效果显著,对促进国民经济的发展有重要作用。为贯彻国务院二号节能指令,宣传、普及、推广风机、水泵调速节能技术,我专业委员会在原国家经委能源局、机械电子部科技司、第一装备司指导下,决定组织编写本书。

本书以工厂企业、事业单位、设计院、所从事机械、电气设备的管理、选型、设计和从事节能工作的有关人员为主要对象,也可作为高等学校、中等专业学校工业企业电气化、通用机械和企业管理等专业的教学参考书。

本书深入浅出,理论与实践结合,传统技术与先进技术相结合,阐明了风机水泵的基本参数、特性和调速运行节能的基本原理;着重分析了各种交流调速传统方式的基本原理、特性、系统组成、合理控制方式、优缺点、适用范围及其节能应用实例;综合分析了各种调速传动方案的选择实例。书后还附有一些主要生产厂的产品系列、规格,为新设计和改造现有设备时选用调速装置提供方便。

本书曾于1985年5月以中国电工学会电控系统与装置专业委员会名义内部发行,曾在全国各地举办几十次风机水泵交流调速节能学习班,对工矿企业现有风机水泵节能技术改造工作,起到了普及宣传与促进作用。现根据作者在学习班讲课和使用出现的问题以及现代交流传动新技术发展状况,对本书初稿作了较大的补充、修订与完善,由机械工业出版社正式出版。为配合本书正式出版,本专业委员会组织本书作者亲自讲授录制了30学时的《风机水泵调速节能技术》电视教学片供全国各地为进一步普及节能技术举办学习班使用。

本书由佟纯厚教授主编并负责编写绪论、第一、五、六章,胡慎敏副教授编写第二章,吕家元教授编写第三、四章,周得贤高级工程师、朱稚清高级工程师编写第七章。郭保良高级工程师提供应用实例并编写了附录,本书由陈伯时教授主审,喻士林高级工程师等参加了审定工作,提出了不少宝贵意见,在此一并致谢。

本书在编写过程中,原国家经委能源局、机械电子部第一装备司、天津电气传动设计研究所和中国电工技术学会给予了大力支持,有关企业提供了产品资料,在此表示衷心感谢。

由于本书编写时间过早，虽经多次修改补充，不当之处仍在所难免，敬请同志提出宝贵意见，以供再版时修正，来信请寄天津市津塘公路二号桥天津电气传动设计研究所转中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会（邮政编码300180）。

中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会
一九八九年六月

目 录

绪 论

一、风机水泵在生产中的应用特点	1
二、风机水泵在目前运行中存在的主要问题及节能的主要措施	2
三、风机水泵的调速控制是节能的有效途径	3
四、风机水泵节能技术的推广与发展趋势	3

第一章 风机水泵调速控制节能技术的一般基础

第一节 风机参数和特性	5
一、风机的基本参数	5
二、风机的特性曲线	5
三、管网风阻特性曲线	6
四、电动机容量的计算	7
第二节 风机的节电方法及节能原理	7
第三节 风机风量的调速控制方法及其效率	10
一、风机恒速时的风量调节	10
二、风机的调速控制	10
第四节 典型负载图及其合理控制方式	11
一、连续风量状态	11
二、断续风量状态	12
第五节 水泵的节电技术特点	12
一、水泵的一般基础	12
二、水泵的节电方法	14

第二章 鼠笼型异步电动机的调速控制

第一节 概述	16
第二节 鼠笼型异步电动机的运行特性和调速方法	16
第三节 调压调速	21
一、调压调速的工作原理	21
二、三相交流调压电路分析	23
三、三相调压电路的比较	26
四、三相交流调压调速系统应用举例	27
五、调压调速的功率损耗	29

六、调压调速的优缺点及节能应用范围	32
第四节 电磁调速电动机调速	32
一、电磁调速电动机调速的工作原理及特性	32
二、电磁调速电动机调速的控制线路	36
三、电磁调速电动机调速的优缺点	40
四、电磁调速电动机带风机水泵负载调速的节能应用	40
第五节 变极对数调速	42
一、变极调速工作原理及特性	43
二、变极调速的控制线路	45
三、变极与调压配合调速	45
四、变极与电磁转差离合器的配合调速	51
五、变极调速的优缺点及节能应用	54
第六节 变频调速	56
一、变频调速的原理和特性	57
二、变频调速的分类	59
三、变频调速的优缺点及节能应用	59

第三章 绕线型异步电动机的调速控制

第一节 概述	60
第二节 转子串电阻调速控制	61
一、转子串接对称电阻的机械特性及其调速控制	61
二、起动与调速电阻的计算	65
三、转子串接不对称电阻的计算	67
四、转子串频敏变阻器的特性	68
五、转子串电阻调速控制的能量损耗与优缺点	69
六、转子电阻斩波法调速	69
第三节 串级调速控制	73
一、串级调速工作原理	73
二、串级调速分类	75
三、串级调速的机械特性	76
四、优缺点及节能适用范围	81
第四节 绕线型异步电动机的同步化	82
一、异步电动机同步化的节能作用	82
二、绕线型异步电动机同步化的工作原理	83
三、异步电动机同步化运行时的过载能力	85
四、直流励磁电流和电压的计算	86
五、实例	87

第四章 同步电动机的调速控制

第一节 概述	90
第二节 无换向器电机调速控制原理	91
一、无换向器电动机的工作原理	91
二、无换向器电动机的换流	95
三、无换向器电动机的机械特性	97
四、改变 γ_0 时的工作特性	99
五、位置检测器及其信号处理	103
第三节 无换向器电动机调速控制系统	106
一、控制系统的基本特点	106
二、直流式无换向器电动机调速控制系统	106
三、交流式无换向器电动机调速控制系统	108
第四节 无换向器电动机调速控制的优缺点及适用范围	109
一、优缺点	109
二、适用范围	110
三、应用实例	111

第五章 串级调速控制

第一节 串级调速的调速特性	113
第二节 串级调速的电感指标	114
一、串调系统的总效率	114
二、串调系统的功率因数	116
第三节 串级调速控制系统	117
一、主电路	117
二、控制回路	118
三、串联逆变器的组合控制系统	119
第四节 晶闸管串调系统设计的几个问题	120
一、串调异步电动机容量的选择	120
二、逆变变压器容量的计算	121
三、起动方式的选择及合闸顺序	121
四、转子感应过电压保护	123
第五节 串级调速装置节能应用实例	123
一、给水厂配水泵的调速控制	123
二、纺织厂通风机的调速控制	125

第六章 变频装置的调速控制

第一节 交-直-交变频器的工作原理	131
一、180°通电型	131
二、120°通电型	133
三、晶闸管逆变器的换流方式	133
四、电压控制方式	135
第二节 交-直-交电压型变频器	136
一、串联电感式电压型变频器	136
二、带有辅助晶闸管换流的电压型变频器	139
三、电压型变频调速的控制系统	140
第三节 交-直-交电流型变频器	141
一、电流型变频器的主电路	141
二、电流型变频器的换流	143
三、低频换流	145
四、参数计算及元件选择	146
五、电流型变频器的控制系统	147
六、电流型变频器的特点	149
第四节 脉宽调制(PWM)型变频器	150
一、控制方式	150
二、脉冲宽度调制方法	151
三、PWM型逆变器的主电路	153
四、脉宽调制(PWM)变频调速控制系统	156
第五节 交-交变频器	157
一、直接变频器的工作原理	157
二、触发脉冲的控制方法	158
三、交-交变频调速系统	160
四、交-交直接变频器与交-直-交变频器调速的比较	160
第六节 矢量变换控制概念	161
一、基本想法	161
二、工作原理	162
三、交流异步电动机的滑差频率矢量控制	164
第七节 变压变频(VVVF)控制及其切换	166
一、VVVF控制	167
二、切换方法	167
三、切换功率特性	167
第八节 变频装置节能应用实例	168

一、应用实例一·····	168
二、应用实例二·····	168
三、应用实例三·····	169

第七章 风机、水泵调速装置的选择原则与注意事项

第一节 各种调速装置的特点·····	171
一、风机、水泵用交流调速装置分类·····	171
二、各种交流调速装置的特点·····	171
三、高效、低效调速装置用于风机水泵时的输入功率、效率的比较·····	173
第二节 选择调速方案时应考虑的几个问题·····	175
一、风机水泵系统不同点和水泵系统的三种类型·····	175
二、风机水泵的运行状况·····	178
三、风机水泵容量的大小·····	179
四、调速装置的投资·····	179
五、调速装置的可靠性及维修水平·····	180
六、功率因数及高次谐波对电网的干扰·····	180
第三节 无功功率的影响及改善对策·····	184
一、无功功率的影响·····	184
二、串级、变频、调压及电磁滑差离合器调速装置功率因数的比较·····	185
三、改善功率因数的对策·····	186
第四节 谐波影响与抑制措施·····	190
一、高次谐波的产生及其影响·····	190
二、高次谐波电压、电流的允许值·····	191
三、抑制和消除谐波的措施·····	192
第五节 风机水泵交流调速装置选择举例·····	196
一、调速装置方案的选择和电机选型·····	197
二、选用晶闸管串级调速装置应注意的几个问题·····	198
参考文献·····	200

附录 交流调速控制装置产品介绍

一、晶闸管串级调速装置·····	202
二、交流变频调速装置·····	216
三、电磁调速装置·····	222
四、变极变速控制装置·····	229
五、绕线电机转子斩波调阻变速装置·····	233
六、无换向器电机调速装置·····	234

绪 论

一、风机水泵在生产中的应用特点

风机、水泵、压缩机等泵类机械设备在国民经济各部门中占有重要地位，它广泛用于冶金、化工、纺织、石油、化肥、煤炭、电力、轻工、机械、建材、国防和农业等生产部门，以及生活设施，家庭日用电器。由于风机水泵、压缩机等属于通用流体机械，因而其应用特点之一是它在国民经济各部门和生活中应用面十分广泛。

根据1988年国家有关部门统计，全国风机、水泵和压缩机占全国用电量的比例，如表1所示。其中，风机、水泵的总耗电量占全国工业用电量的31%左右，因此，风机、水泵等流体机械在国民经济各部门中使用数量之大又是其应用特点之二。

表1 风机、水泵、气体压缩机拥有量和耗电量

装备名称	装备台数 (万台)	估计装备功率 (万kW)	估计耗电量 (亿kW·h)	估计占全国用电量 (%)
风机	3000	6000	1100	21
水泵	700	3000	550	10
压缩机	500	2000	400	7.28

根据1981年的调查统计资料，风机、水泵的耗电量如表2所示。

表2 风机、水泵耗电量

工农业部门	全国风机用电量 (亿度)	全国水泵用电量 (亿度)	整个部门用电量 (亿度)	风机水泵用电所占比例 (%)
电力工业	36.5	80	160.87	72.5
化肥工业	29.1	155	242	76
煤炭工业	17.0	39.78	169.03	33.6
石油工业*炼油	4.5	15	33.53	58
石油工业*油田	—	45.8	72.45	63
农业排灌	—	155.33	183	89

从一些重点企业和部分经济区来看，风机、水泵等耗电量所占的比例数也非常高，其年耗电量约占全国发电总量的40%左右，可见风机、水泵等通用机械是全国耗电最大的工业装备，消耗电能之多是其应用特点之三。

立足当前，展望未来我国能源，特别是电能的供需形势是十分严峻的。而另一方面，我国能源使用不合理和浪费现象又十分严重，节约的潜力很大。我国能源总量，虽然比较丰富，

生产量占世界第二位，但人口众多，能源资源和生产量的人均占有量大大低于世界水平。例如：发电装机容量我国人均不到 0.1kW ，只为发达国家的百分之几。产品单耗和发达国家比较，要高过国外30%~90%，加权平均高40%，据初步测算，其节能潜力约为3亿吨标准煤，而作为对产品单耗起主要影响因素的通用机械——风机、水泵、压缩机等的运行效率比国外低10%~30%，初步测算，其节电潜力约为300~400亿度。

正是由于风机、水泵等在我国国民经济生产各部门中具有应用面广、应用量大，耗电多和节电潜力大的突出特点，因此，首先在风机水泵上实行节能、节电、降耗是一个紧迫的任务，它对推进我国四化建设和缩小我国和发达国家的差距，缩小先进地区和落后地区的差距具有非常现实和深远的意义。

二、风机水泵在目前运行中存在的主要问题及节能的主要措施

八十年代初期，国家有关部门曾作出规定，对现有的通风机、鼓风机、离心机械一类通用机械进行一次电能利用效率的普查，对其效率低于规定值的应分期分批地改造或更换。各工业部门调查资料的大量数据表明，风机、水泵等运行中普遍存在着下述问题：

(1) 大量设备陈旧，设备运行效率低。目前我国使用的风机、水泵的效率比国外同类产品的效率低5%~10%。

(2) 设计中过多的考虑建设前后期工艺要求的差异，选型裕量过大，使设备长期在低负荷、低运行效率下工作。如东北、华北34个矿务局328个矿井486台主风机及辅助风机实际运行情况表明，其负荷率(电动机输入功率/电动机铭牌功率)在76%以上者仅占15.1%，低于60%者占65.3%。

(3) 需要调节流量的地方，绝大部份采用挡板或阀门来调节风量或流量，节流功率损失非常大。

(4) 流体输送管网设计和匹配不尽合理，管道流阻很大，例如：依据管道阻力计算方法的计算值比实际值大10%以上。

(5) 管理制度不完善。

各地在普查的基础上，采取了许多措施，主要有如下几方面：

(1) 改造或更换旧设备，推广高效风机水泵。我国近年引进的风机效率一般80%~90%而我国五十年代装备的风机设备效率大都低于70%。就泵类来说，据统计，我国生产的几种典型泵的效率与国外同类产品相比普遍低。因此现在机电部门正在积极研制和推广高效泵和风机的新产品。当今更新、改造旧有设备，首要的是提高风机、水泵本身的效率。

(2) 在选型、配套方面力求合理。无论泵或风机均要求选型合理，使风机水泵的额定流量和工作压力尽量接近生产工艺要求值，这样泵与风机的工况点会经常保持在高效区。如果选型不当，余量太大，将造成运行效率下降，浪费能源。造成选型不当的原因是风机水泵型谱与规格不合理，电机的规格与风机水泵配套功率差别较大，常配用高档额定功率的电机，造成大马拉小车，降低了电机的负载率；其次是各产业部门的设计规范不合理，要根据节约能源的需要制定新的设计规范。

(3) 采用间歇运转和台数控制。对于能够明显区分需要和不需要风量流量的场合宜采用断续运转。按照要求的不同风量流量，还可采用停止若干台设备的台数控制。这种台数控制也称之为经济调度。一方面满足了工艺要求，而又节约了能源，停开的机台还可做为备用设备。

(4) 采用各种调速方式, 减少节流损失。由于对管网阻力计算误差(这些年来我国的设计规范中给出的管网阻力计算公式大都与实际相比偏大10%以上), 又担心计算压力和流量满足不了工艺要求, 或无适宜规格泵风机及电机, 只好从高选择, 层层加码, 造成我国现行运转的多数水泵风机的工作流量远低于额定流量, 工作压力远高于额定压力, 因此现场多采用挡板或阀门来调节流量, 以满足那些不断变更流量的要求。这就是至今为止, 习惯应用的节流运行方式。这种节流运行方式, 据统计至少浪费了20%以上的能源, 是一种不经济的运行方式。国内外的经验告诉我们采用调速控制是避免节流损失的最好方法。

三、风机水泵的调速控制是节能的有效途径

理论和实践经验告诉我们, 对于大量要求调节流量的单台风机水泵采用调速控制是既能方便地满足生产工艺要求, 又能大量节约能源的最优方案。对多台风机或水泵共同承担同一负载时, 按照工艺要求采用台数控制与调速控制相结合方式可以达到更好的节电效果, 不过此时注意在总流量需求中, 调速泵或风机提供的流量不能过小, 否则系统不能稳定工作, 也影响节能效果。

从流体机械力学知道, 理论上风量与转速一次方成正比, 风压与转速二次方成正比, 轴功率与转速三次方成正比。当风量减少或风量下降时, 其轴功率按速度的三次方下降。例如风量减少到80%, 速度下降到80%, 则轴功率将下降到额定功率的51%, 如风量减少到1/2, 轴功率则减少到额定功率的1/8。当然实际还要考虑转速下降引起流体机械等效率的下降及附加调速装置的损耗, 但这些损耗都是不大的。

四、风机水泵节能技术的推广与发展趋势

风机水泵压缩机的节能工作涉及到管理、风机水泵等本身效率提高, 设备选型, 电机与机械设备的配套, 风机等的合理运行和新技术开发、应用等多方面问题。1987年国家发布了《关于进一步加强节约用电的若干规定》。在规定中对如何做好风机水泵压缩机的节能工作提出了要求, 这些要求是:

1. 做好节电管理工作

做好节电管理工作的中心是, 由国家标准局会同有关部门抓紧制定风机、水泵、变压器、电动机经济运行标准、家用电器耗电标准、宾馆、饭店合理用电标准, 重点耗电设备电平衡测试标准, 节约用电经济效益计算和评价等国家标准, 加强产品用电定额管理, 各行业规划部门应按照国家关于企业等级的规定和国家标准局《产品单耗定额制定和管理导则》的要求, 组织制定主要产品或设备的分类单耗定额。现在这些法规、标准正在制定中, 将使我国的风机水泵节能工作走上依法可依的轨道。

2. 认真推广节电技术措施

规定中指出, 认真推广风机水泵压缩机的经济运行, 采用交流电机调速节电, 低效风机、水泵要更新改造, 提高系统效率。

目前估计, 若将在节流情况下运行的风机水泵(例如按照可改造的风机水泵占全国拥有量的50%)改为调速控制, 以平均节电20%计, 则全年节电400亿度以上。采用对流量调节范围较大的风机水泵等调速控制是节能的有效途径。

调速控制方法有很多种, 诸如调压、变极、调阻、电磁调速电机及变频、串级调速、无换向器电机调速等, 选哪种调速方案都应该按具体情况, 具体分析, 因地制宜, 通过技术、经济、使用维护等方案比较后决定。

目前,在一般情况下,对于容量不大,调速范围较小的风机水泵,宜采用技术成熟、设备简单、投资较少和较易维护的调速方法,即使性能指标差一些,只要能取消节流,调低转速,功率就成三次方地降低,就能节能,哪种方法都会有节能经济效益。

在选择调速控制方案时,必须根据具体条件综合分析比较,其一般考虑条件是:

- (1) 设备可靠性;
- (2) 节能效果与投资回收时间;
- (3) 调速范围和容量大小;
- (4) 设备改造投资和运行费用;
- (5) 易维修和使用部门维修能力;
- (6) 其他指标(如 $\cos\varphi$,谐波对电网的污染)等。

当今由于有了调速控制,可进一步实现工艺参数的合理控制(如压力,流量等)从而可从系统角度出发实现节能控制,除节约能源外,还可降低物耗,提高生产率。

3.加强节能装备的研制、生产、供应和产品的质量监督及售后服务工作,推广新产品,淘汰能耗高的老产品。

规定指出,要发展高效省能设备,加快淘汰设备的更新。国家已决定在今后的国民经济发展规划中,将节约能源工作纳入技术改造范围内。对企业在用淘汰设备应分期分批地制定规划,限期更新改造。

(1) 研制高效风机、水泵。研制、生产高效风机、水泵,首先满足新增风机水泵需要同时逐步更新、改造老设备。如果全国的风机、水泵效率提高5%,则配套功率就能减少450万kW,总耗电可减少近100亿度。

(2) 开发、推广以电子控制为核心的高效调速装置。高效的电子控制调速装置主要包括各类变频调速和无换向器电机调速;采用的元件有普通晶闸管,特殊晶闸管(GTO和IGBT管)和功率晶体管。当前国家正在采取倾斜政策大力支持高等学校、设计研究部门和工矿企业研制上述类型新产品,力图降低成本,提高可靠性,经过试点逐步推广应用。

经过几年摸索,可提出一套完整的技术政策。这一政策的核心是:有比较成熟运行经验、运行可靠、可及时供货、节电效益2~3年可回收成本的技术,应按各自适用的领域立即推广应用,如串级调速设备,多速电机调速设备,电磁调速电机及控制设备;对那些技术成熟,有比较好的应用价值,但目前应用尚不广泛,产品未系列化的要积极试点,降低成本,提高可靠性,做好三化(标准化,系列化,通用化),争取在较短时期内,在较广的范围内推广应用,如中小功率变频调速(包括GTR—PWM产品电流型变频调速装置等);对那些技术上是发展方向,有比较好的应用价值,但目前实际还有些问题的,要积极组织产品开发,创造条件,进行中间试验,如无换向器电机调速装置,绕线式电机双馈调速、交-交变频调速等。

经过三十年技术发展后,随着电力电子成本降低和系统性能改善以及新型电力电子元件的问世与发展,机电一体化基础技术——微型计算机、数字信号处理器以及半专用甚大规模集成电路芯片的出现正在意义深远地影响着电气传动自动化技术的发展。因此开发绝缘门极双极型晶体管(IGBT),高频大功率静电感应式晶体管(SIT),静电感应式晶闸管(SITH),MOS控制的晶体管(MCT),绝缘门极晶体管(IGT),绝缘门极可关断晶闸管(IGTO),智能功率集成电路(Smart Power)和光控晶闸管等元件组成的新型交流传动装置是风机、水泵交流调速今后5~10年的发展方向。

第一章 风机水泵调速控制

节能技术的一般基础

近些年来, 采用调速控制对风机水泵进行调节风量(或流量)的方法, 已在工业获得普遍的实际应用。这对节约能源提高经济效益具有重要意义。在电力拖动的领域里, 从节约能源的观点也在重新评价各种拖动方式。节约能源特别有潜力的一个方面就是过去被认为没有必要进行速度控制的领域, 在这些领域中, 经过调查研究就会发现有不少浪费能源的实例, 譬如风机水泵的风量流量控制, 过去很少有采用调速控制方式的, 多是鼠笼式异步机拖动, 进行恒速运转, 当需要调节风量或流量时, 实际采用的方法是调节挡板或节流阀, 这种控制当然简便, 但从节省能源的观点来看, 就不能认为是好的控制方法。本章介绍风机水泵调速控制节能技术的一般基础。

第一节 风机参数和特性

风机是传送空气的装置, 水泵是传送水或液体的装置, 就其结构和工作原理来讲基本相同, 这里以风机为例加以说明。

一、风机的基本参数

风机工作的基本参数有风量、风压、功率和效率, 它们共同表达风机的规格和特性。

(1) 风量 Q ——表示单位时间流过风机的空气量(m^3/s , m^3/min , m^3/h)。

(2) 风压 H ——当空气流过风机时, 风机给予每立方米空气的总能量($\text{kg} \cdot \text{m}$)称为风机的全压 H_t ($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{m}^3$), 它总是由静压 H_s 和动压 H_d 所组成, 即

$$H_t = H_s + H_d \quad (1-1)$$

(3) 功率 N ——风机工作有效的总功率(或称空气功率)为

$$N_t = \frac{QH_t}{102} \quad (\text{kW}) \quad (1-2)$$

如果风机风压是用有效静压 H_s 表示时, 则有效的静功率为

$$N_s = \frac{QH_s}{102} \quad (\text{kW}) \quad (1-3)$$

(4) 效率 η ——风机轴上的功率 N 因有部分损失而不能全部传给空气, 可用效率这一参数来表示风机工作的优劣, 按风压参数形式的不同, 效率分别有

$$\text{全压效率} \quad \eta_t = \frac{QH_t}{102N} \quad (1-4)$$

$$\text{静压效率} \quad \eta_s = \frac{QH_s}{102N} \quad (1-5)$$

下面分析上述参数间的关系及其表达的风机性能。

二、风机的特性曲线

表示风机性能的特性曲线常用的有:

(1) $H-Q$ 曲线: 当转速为恒定时, 表示风压与风量间的关系特性。

(2) $N-Q$ 曲线: 当转速为恒定时, 表示功率与风量间的关系特性。

(3) $\eta-Q$ 曲线: 当转速为恒定时, 表示风机的效率特性。

常用的离心式风机, 其工作特性与叶片出口角 β 有关, 图1-1a、b、c分别表示叶片后倾式 $\beta > 90^\circ$; 叶片径向式 $\beta = 90^\circ$; 叶片前倾式 $\beta < 90^\circ$ 离心式风机的运转特性曲线。

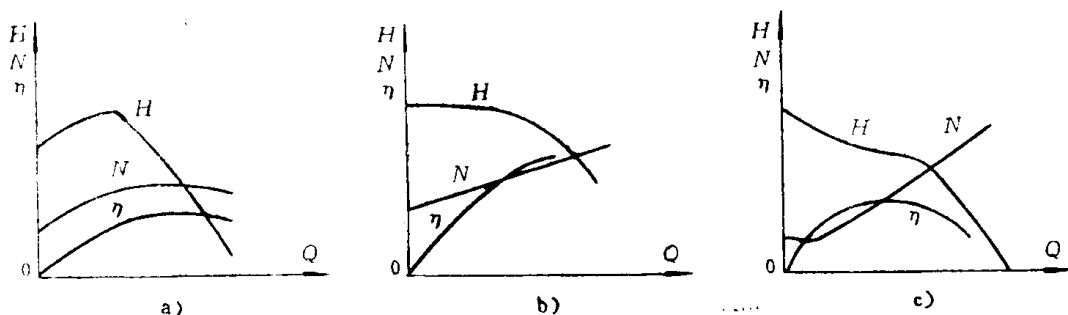


图1-1 离心式风机的运转特性曲线

a) 叶片后倾式 b) 叶片径向式 c) 叶片前倾式

根据同类型风机参数的比例定律, 对不同转速控制时的 $H-Q$ 、 $\eta-Q$ 关系曲线如图1-2所示。当风机转速从 n 变到 n' 后, 风量 Q 、风压 H 及轴功率 N 的变化关系如下式:

$$Q' = Q \left(\frac{n'}{n} \right) \quad (1-6)$$

$$H' = H \left(\frac{n'}{n} \right)^2 \quad (1-7)$$

$$N' = N \left(\frac{n'}{n} \right)^3 \quad (1-8)$$

即风量与转速成正比, 风压与转速平方成正比, 轴功率与转速立方成正比。以上三式在转速变化范围较大时有一定误差。当转速变化时, $\eta-Q$ 效率曲线相当于向左平移, 如图1-2所示。

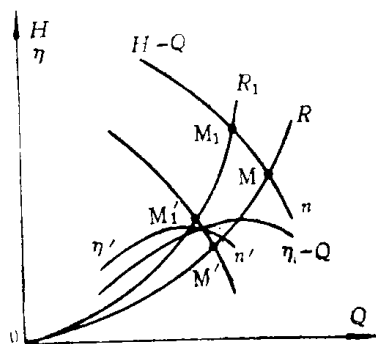


图1-2 不同转速的 $H-Q$ 曲线

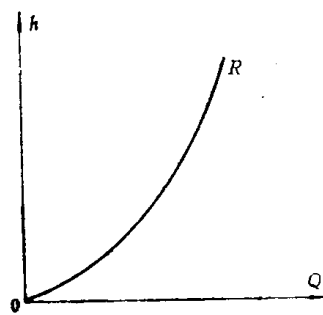


图1-3 风阻特性曲线

三、管网风阻特性曲线

当管网的风阻 R 保持不变时, 风量与通风阻力之间的关系是确定不变的, 即风量 Q 与通风阻力 h 按阻力定律变化, 即

$$h = RQ^2 \quad (1-9)$$

式中 h ——通风阻力, 用风压表示, 毫米水柱 mmAg ($1\text{ mmAg} = 1\text{ kg/m}^2$);

Q ——风量 (m^3/s);

R ——风阻, 单位为千缪, ($1\text{ 千缪} = 1\text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^3$).

h - Q 间的抛物线关系曲线称为风阻特性曲线, 如图1-3所示。显然, 风阻 R 越大, 曲线越陡。

风机的 H - Q 曲线与管网的阻力曲线相交的工作点 M , 在图1-2中表示的同一风机二种不同转速 n 、 n' 时 H - Q 曲线与 R 风阻特性曲线相交的工况点分别为 M 及 M' , 与 R_1 风阻曲线相交的工况点为 M_1 及 M_1' 。

风机在小风量工作时, 相当于工作在 H - Q 曲线的左侧部分, 这时风压脉动, 使风量断续产生噪声, 并引起振动, 这种现象称为喘振, 故在风量控制时, 必须避开这个喘振区域。

四、电动机容量的计算

风机电动机所需的输出轴功率(kW)可按下式计算:

$$P = \frac{QH}{102\eta_T\eta_F} \quad (1-10)$$

式中 η_F ——风机效率;

η_T ——传动装置的效率;

102——由 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 变换为 kW 的单位变换系数。

第二节 风机的节电方法及节能原理

风机的有关节电要点, 可用流程

图示于图1-4, 其基本节电方法有:

(1) 减少运行时间;

(2) 采用高效机器及设备(包括控制装置、电动机、传动装置、风机等);

(3) 减少空气动力。

风机的具体节电方法列于表1-1。

对风机进行调速控制属于减少空

气动力节电方法, 是一种较好的节电方式。它和一般常用的调节风门控制风量方法比较, 有着明显的节电效果。通过图1-5可说明其节电原理。图中曲线1为风机在恒速下风压-风量(H - Q)特性, 曲线2为恒速下功率-风量(N - Q)特性, 曲线3为管网风阻特性(风门开度全开)。假设风机在设计时工作在 A 点效率最高, 输出风量 Q_1 为100%, 此时轴功率 N_1 与 Q_1 、 H_1 的乘积面积 AH_1OQ_1 成正比。根据生产工艺要求, 当风量需从 Q_1 减少到 Q_2 (例如50%风量)时, 如采用调节风门方法相当于增加管网阻力, 使管网阻力特性变到曲线4, 系统由原来的工

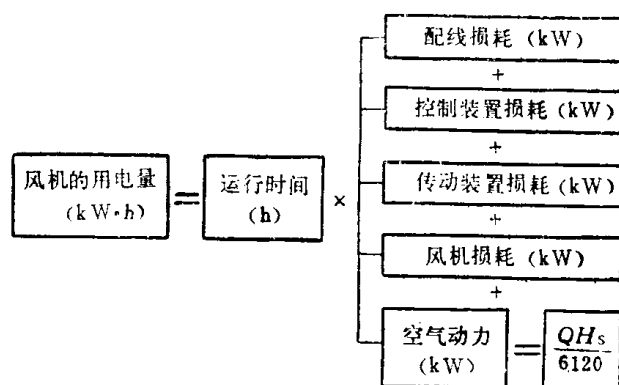


图1-4 风机用电流程图

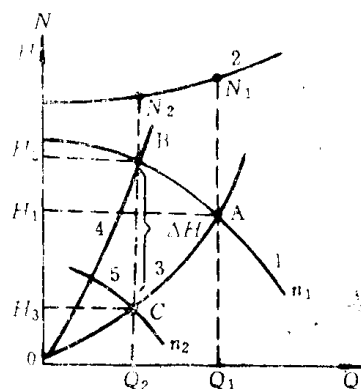


图1-5 风机的特性曲线

表1-1 风机的节电方法

分 类	措 施	节 电 方 法
减少运行时间	电动机的通断	直接起动、电抗器起动、转子回路串电阻起动(绕线式电动机)、变压变频(VVVF)起动
	传动装置的通断	液压离合器, 无级变速机
采用高效机器	高效传动装置	直接连接型联轴器、齿轮、皮带、液压联轴器、液压离合器、无级变速机
	高效电动机	绕线式、鼠笼式
	风 机	轴流、径流、涡轮
减少空气动力	降低风机风量	电动机换多极的、电动机与风机间加齿轮、皮带传动时换皮带轮、加工叶轮使外径减小、风门开度减小
	风量控制	出口风门、入口风门、入口叶片
	调速控制	液压联轴器、无级变速机、变极数、转子回路串电阻、串级调速、VVVF控制、无换向器电机

况点A变到新的工况点B运行, 图中看出, 风压反而增加, 轴功率 N_2 与面积 BH_2OQ_2 成正比, 减少不多。如果采用调速控制方式, 风机转速由 n_1 降到 n_2 , 根据风机参数的比例定律, 画出在转速 n_2 下的风压-风量($H-Q$)特性如曲线5所示, 可见在满足同样风量 Q_2 的情况下, 风压 H_3 大幅度降低, 功率 N_3 (相当于面积 CH_3OQ_2)随着显著减少, 节省的功率损耗 $\Delta N = \Delta H Q_2$ 与面积 BH_2H_3C 成正比, 节能的经济效益是十分明显的。

由流体力学知道, 风量 Q 与转速的一次方成正比, 风压 H 与转速的平方成正比, 轴功率 N 与转速的三次方成正比, 当风量减少, 风机转速下降时其功率降低很多。譬如风量下降到80%, 转速也下降到80%时, 则轴功率 N 将下降到额定功率的51%, 如果风量下降到50%, 功率 N 可下降到额定功率的13%, 当然还需考虑由于附加控制装置的效率影响等, 即使这样, 这个节电数字也是很可观的。因此, 在设有风机水泵的机械中, 采用调速控制方式来调节风量或流量, 这在节能节电上是个有效的方法。

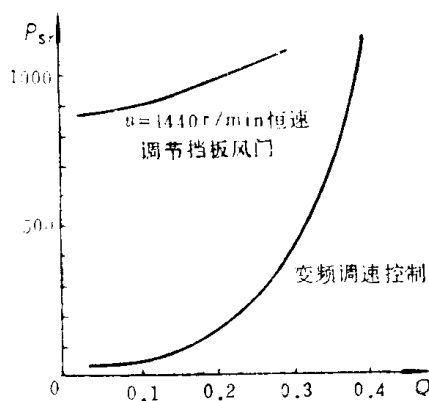


图1-6 输入功率 P_s 与风量 Q 的关系曲线

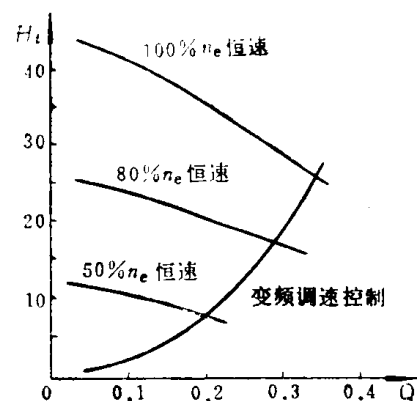


图1-7 恒速与调速时的全风压 H_t 与风量 Q 的关系曲线