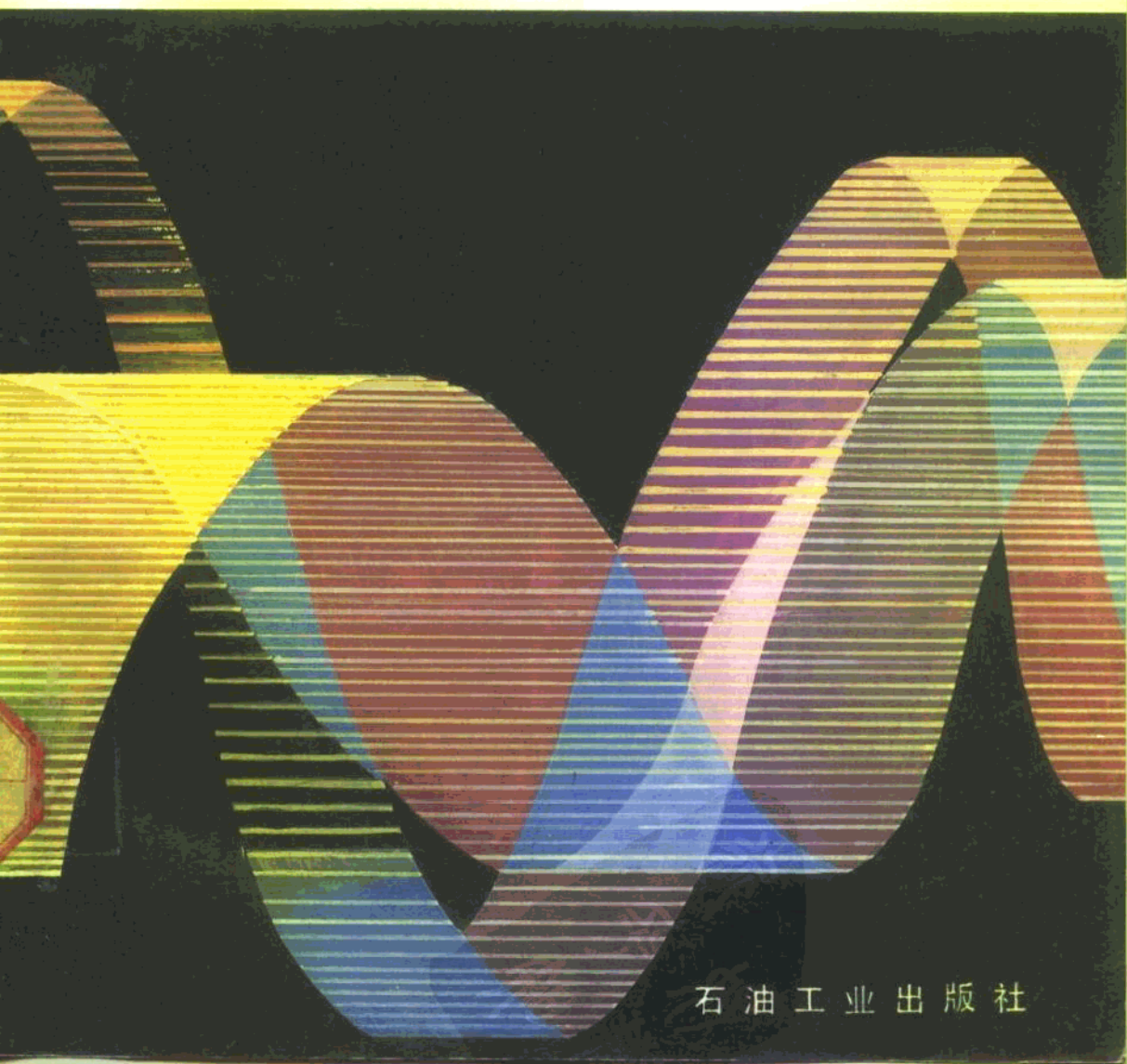


中国石油天然气总公司装备局 编

变频调速应用技术



石油工业出版社

TN773

Z70

355412

变频调速应用技术

中国石油天然气总公司装备局 编



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

EA14/42
03
内 容 提 要

本书简单介绍了风机和油、水泵节能基础；异步电动机转速调节和微型计算机及电子技术等基础知识。详细介绍了变频调速装置主电路和控制保护系统的基本原理，变频调速装置的结构、操作、调试检测、故障诊断及维护保养。

本书适合于从事变频调速技术研究工作的工程技术人员以及变频调速装置运行管理人员阅读。



变频调速应用技术

中国石油天然气总公司装备局 编

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版

中国石油报社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16 开本 9 印张 218 千字 印 1—6,000

1992 年 1 月北京第 1 版 1992 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0712-6/TE·674

定价: 3.05 元

前 言

党的十一届三中全会以来,我国电力行业发展速度相当可观,发电量1980年为3006亿千瓦时,到了1990年增加到6180亿千瓦时,增加了106%,在世界上由第六位升至第四位。虽然我国的电力工业有了长足的发展,而且在今后的数年中发电量还会有很大的提高,但是随着我国国民经济的进一步发展,电力供应不足这样一个突出的矛盾还将在一个相当长的时期内继续下去。石油工业是用电大户,据统计,1990年石油行业耗电186.9亿千瓦时,但同时期国家计划下达的用电指标仅为83.2亿千瓦时,占总用电量的44.5%,尚有55.5%的用电量需要自筹解决(包括议价电)。随着东部老油田相继进入油田的后期开采,油田的含水率逐年上升,用电量还将进一步增加,采油成本逐年递增。预计油田系统今后每年用电量将以10%的速度递增,电的供需矛盾将更加突出。仅以大庆油田为例,到“八五”计划末期用电负荷将增至120万kW,仅增容一项就要投资10亿元,这样巨大的用电耗资将是一个很大的负担。

李鹏总理在《关于国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要的报告》中指出:我国能源工业要“坚持开发与节约并重的方针,把节约放在突出位置。”“五年内,全国共节约和少用能源1亿吨标准煤。”“每万元国民生产总值消耗的能源,要由1990年的9.3吨标准煤下降到1995年的8.5吨,平均每年的节能率为2.2%。大中型企业主导产品的能源、原材料的单耗,要达到国际同行业八十年代的平均先进水平。”节约能源,特别是节约用电,不仅是石油行业提高经济效益的需要,更是发展石油生产建设所必须。

在油田生产中,油气集输,油气加工,含油污水处理,供水、排水,油田注水等主要生产工艺都是通过各种泵、压缩机来完成的,其用电量占油田总用电量的80%以上。目前,这些油泵、水泵和压缩机大都处于电动机驱动恒速运转状态。由于设计时考虑到油田发展的需要,选型时一般选择容量较大,另外很大一部分油、水泵处于变工况下运行,因此,在运行中普遍存在着离心泵节流,往复泵打回流的现象,造成很大的电能浪费。如果采用交流电动机调速驱动泵或压缩机,用转速控制来调节流量,代替用阀门、挡板节流调节,将产生显著的节电效果,是一条有效的节电途径。二年前,中国石油天然气总公司组织辽河油田开展了在交流电动机上采用变频调速技术驱动油、水泵的应用试验。经在部分采油厂和水电厂安装25台(1818.2kW)富士变频器的应用表明,年节电量约602万千瓦小时,平均节电率在35%以上,不但取得了明显的节电效果,还改善了操作工人的工作环境,降低了劳动强度和维修次数,综合经济效益十分可观。

为落实十年规划和“八五”计划纲要精神,解决油田生产建设用电矛盾,以及积极贯彻采用高新技术改造传统产业的方针,中国石油天然气总公司于今年初决定成立节能改造领导小组,并采取有力措施大力推广变频调速技术。将有计划、有步骤、有组织地对各油田的风机和油、水泵等进行技术改造。为配合推广工作,我们依据所选用的FRENIC5000P7型富士变频器的有关资料编写了这本《变频调速应用技术》。内容包括变频调速装置主电路和控制保护系统的基本原理,装置结构,操作程序,调试检测,故障诊断,维护检修等。并希望此书的出版能对推广交流变频调速技术应用起到推动作用。

本书主要由下面几个单位编写：第一、二、四章由中国石油天然气总公司东北输油管理局张风哲同志编写；第三、六、七章和第八章的第二、三、四节由大连特种装备有限公司山厚升同志编写；第五章由中国石油天然气总公司物探局微机中心蒋海田、张增华同志编写；第八章第一、五节，第九章由辽河石油勘探局郭无禧、李敬通、周绪臣同志编写。参加审稿的有：北京理工大学的彭志瑾副教授、叶梅龙副教授；承德高等石油专科学校的张克庸教授、王守元副教授；物探局顾顺华同志，和中国石油天然气总公司装备局张德录、张文学、孙祖臣、刘红强等同志。在此对参加编写和审定的所有同志表示感谢。

由于编写的时间仓促，我们对富士变频器的了解还不够深入，加上水平有限，书中难免存在缺点和错误，希望广大读者提出宝贵意见。

1991 年

目 录

第一章 风机和油、水泵调速节能基础知识	(1)
1.1 风机参数和特性	(1)
1.2 风机的节电方法及节能原理	(3)
1.3 风机风量的调速控制方法及其效率	(6)
1.4 典型负载区及其合理控制方式	(7)
1.5 油、水泵的节电技术特点	(9)
第二章 异步电动机转速调节	(12)
2.1 异步电动机调速方法	(12)
2.2 异步电动机等效直流模型及坐标变换与矢量控制	(20)
第三章 富士变频器基本构造	(24)
3.1 基本电路及工作原理	(24)
3.2 标准规格	(26)
3.3 外形构造与外形尺寸	(30)
第四章 富士变频器主电路	(32)
4.1 整流器和滤波器	(33)
4.2 逆变器	(35)
第五章 微型计算机及电子技术基础	(40)
5.1 微处理器和微型计算机	(40)
5.2 计算机的应用	(40)
5.3 电子计算机系统的组成	(41)
5.4 计算机的运算基础	(43)
5.5 基本逻辑门	(49)
5.6 微型计算机的存储器	(53)
5.7 输入/输出设备及接口	(56)
5.8 变频器中控制器的主要控制功能	(61)
第六章 富士变频器的控制与保护电路	(66)
6.1 控制与保护电路的工作原理	(66)
6.2 控制与保护电路接线	(68)
6.3 变频器接线端子的使用方法	(72)
6.4 变频器的用户程序与编程方法	(75)
6.5 变频器的故障诊断	(90)
第七章 调节器和传感器的基本原理与调试方法	(98)
7.1 闭环控制系统的构成	(98)
7.2 调节器的基本原理和调试方法	(98)
7.3 传感器的基本原理和调试方法	(101)

第八章 富士变频器的选型原则、安装、调试、验收和维护·····	(115)
8.1 变频器的选型原则·····	(115)
8.2 变频器的安装、调试规则·····	(117)
8.3 变频器的工程验收规则·····	(119)
8.4 变频器的维护·····	(119)
8.5 安全操作规程及注意事项·····	(121)
第九章 变频调速装置在油田上的应用·····	(122)
9.1 变频调速装置在原油集输系统中的应用·····	(122)
9.2 变频调速装置在供水系统中的应用·····	(124)
9.3 变频调速装置在锅炉采暖供热系统中的应用·····	(126)
9.4 变频调速装置在机加工系统中的应用·····	(127)
9.5 变频器在多台设备中的应用·····	(130)
9.6 微机在变频调速技术中的应用·····	(130)

第一章 风机和油、水泵调速节能基础知识

近些年来,采用调速控制系统对风机和油、水泵类机械进行转速控制来调节风量(或流量)的方法,已在工业上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。过去风机和油、水泵类机械的风量(流量)控制很少采用转速控制方式,多是鼠笼式异步电机拖动,进行恒速运转。当需要调节风量和流量时,采用的办法只调节挡板或节流阀。这种控制简便,但浪费能源。石油工业大量应用风机和油、水泵,如应用调速控制,来代替挡板和节流阀,将产生良好的节能效果,本章将对风机和油、水泵的调速节能技术加以简介。

1.1 风机参数和特性

风机是传送空气的装置,油水泵是传送水或油品的装置,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。

1.1.1 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 ——单位时间流过风机的空气量 (m^3/s)。

(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 ,它总是由静压 H_s 动压 H_d 所组成,即

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

(3) 功率 P_t ——风机工作有效的总功率(或空气功率)为

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

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

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

(4) 效率 η ——风机轴上的功率 P 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

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

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

1.1.2 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) $P-Q$ 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。

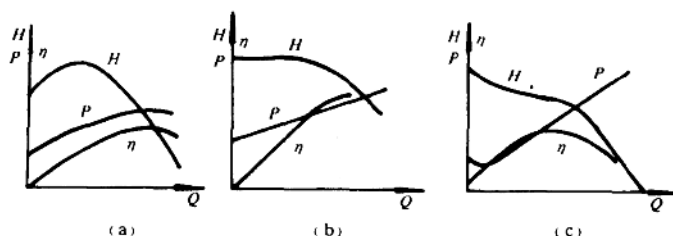


图 1-1 离心式风机的运转特性曲线

(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 P 的变化关系如下式:

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

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

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

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。当转速变化范围较大时上面三式有一定误差。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。

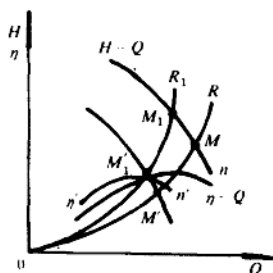


图 1-2 不同转速的 $H-Q$ 曲线

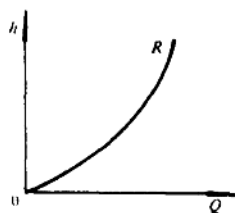


图 1-3 风阻特性曲线

1.1.3 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, mmH_2O ($1\text{mmH}_2\text{O} = 1\text{kg}/\text{m}^2$);

Q ——风量, m^3/s ;

R ——风阻, 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。

风机的工作点 M 为 H - Q 曲线与管网的阻力曲线相交点。在图 1-2 中, 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。

1.1.4 电动机容量的计算

风机电动机所需的输出轴功率 P (kW) 可按式计算:

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

式中 η_F ——风机效率;

η_T ——传动装置的效率。

1.2 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。

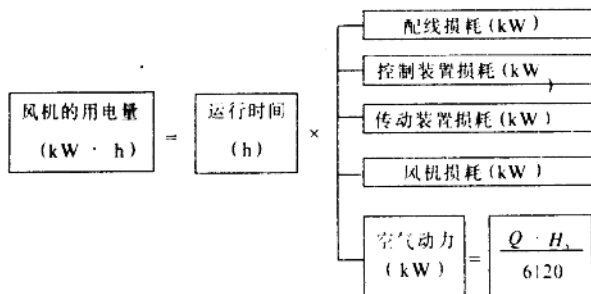


图 1-4 风机用电流程图

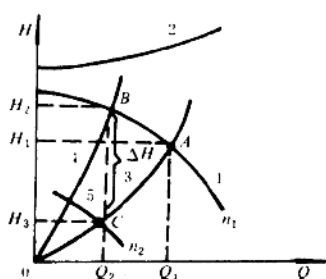


图 1-5 风机的特性曲线

对风机进行调速控制属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，曲线 2 为恒速下功率风量 ($P-Q$) 特性曲线，曲线 3 为管网风阻特性曲线 (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 P_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，系统由原来的工况点 A 变到新的工况点 B 运行，从图中看出，风压反而增加，轴功率 P_2 与 H_2 、 Q_2

乘积 (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，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 P_3 (相当于面积 CH_3OQ_2) 随着显著减少，节省的功率损耗 $\Delta P = \Delta HQ$ 与面积 BH_2H_3C 成正比，节能的经济效益是十分明显的。

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
	传统装置的通断	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、小门开度减小
	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

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 P 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。比如风量下降到 80%，转速也下降到 80% 时，则轴功率 P 将下降到额定功率的 51%，如果风量下降到 50%，功率 P 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，对风机和油、水泵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。

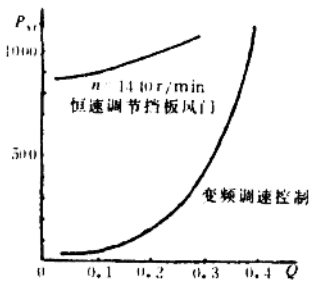


图 1-6 输入功率 P_{sr} 与风量 Q 的关系曲线

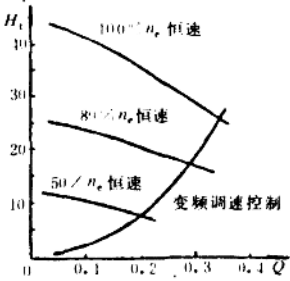


图 1-7 恒速与调速时的全风压 H_t 与风量 Q 的关系曲线

在实验室风机进行运行测试实验，其测试数据及计算数据如表 1-2，表 1-3 所示。

表 1-2 变频调速控制方式时的测试计算数据

序号	测 试 数 据				计 算 数 据			
	静压读数 H_{sit} (mmH ₂ O) (kg/m ²)	风 速 V (m/s)	转 速 n (r/min)	输 入 电 功 率 P_{sr} (w)	静 压 $H_s = H_{sit}$ × 校正系统 (mmH ₂ O)	动 压 $H_d = (V \times$ 速度分布系 统) ² × $\gamma / 2g$ (mmH ₂ O)	全 压 $H_t = H_s +$ H_d (mmH ₂ O)	风 量 $Q = V \times$ 速度 分布系统 × 断面 (m ³ /s)
1	1.5	0.6	160	37	0.306	0.0175	0.3235	0.03888
2	6.5	1.2	320	55	1.326	0.07	1.396	0.07776
3	14.5	2.0	490	65	2.958	0.1945	3.153	0.1296
4	29.5	2.6	700	92	6.018	0.3287	6.347	0.1685
5	47.0	3.4	880	150	9.588	0.562	10.15	0.2203
6	66.5	4.0	1050	266	13.57	0.778	14.34	0.2592
7	84.0	4.5	1170	365	17.14	0.985	18.12	0.2916
8	115	5.2	1370	650	23.46	1.315	24.78	0.3870
9	120	5.2	1440	1060	24.48	1.315	25.78	0.3370

原始技术数据：实验电机，鼠笼式 1.6kW、1430r/min、380v；试验温度 22℃，大气压 753mmHg；空气重率 $\gamma = 0.461 \frac{P}{T} = \frac{753}{22 + 273} = 1.1767$ ；风压量计校正系数 0.204，速度分布系数 0.9，断面积 0.072m²。

图 1-6 为实验测出的变频调速控制和恒速调节挡板时风机的输出风量 Q 与输入功率 P_{sr} 的关系曲线。图 1-7 为恒速（转速为 100% n 、80% n 、50% n ），变频调速控制时的风量 Q 与全风压 H_t 的关系曲线。

实验结果表明，当取 $Q = 0.4\text{m}^3/\text{s}$ 、 $P_{sr} = 1100\text{W}$ 为 100%时，则用变频调速控制在

$Q=80\%$ 时, 输入功率节省 46%; 在 $Q=50\%$ 时, 节省 77%。尽管试验风机容量较小, 电机风机效率较低以及测试计算数据有误差等, 但其节电趋势是十分明显的, 节能效果是相当可观的。

表 1-3 恒速时调节挡板风门时的测试计算数据

序号	测试数据				计算数据			
	静压读数 H_s 读 (mmH ₂ O)	风速 V (m/s)	转速 n (r/min)	输入电功 率 P_{st} (w)	静压 H_s (mmH ₂ O)	动压 H_d (mmH ₂ O)	全压 H_t (mmH ₂ O)	风量 Q (m ³ /s)
1	120	5.5	1440	1060	24.48	1.471	25.95	0.356
2	115	5.2	1440	1120	23.46	1.315	24.78	0.337
3	117	5.0	1340	1140	23.87	1.216	25.09	0.324
4	137	4.75	1440	1060	27.95	1.097	29.05	0.308
5	150	4.1	1480	1020	30.6	0.817	31.42	0.266
6	171	3.0	1490	980	34.88	0.438	35.32	0.195
7	193	1.9	1520	900	39.37	0.176	39.55	0.123
8	213	0.55	1525	860	43.45	0.015	43.47	0.036

1.3 风机风量的调速控制方法及其效率

风机调节的基本原理是通过改变风机本身的特性曲线, 或外部管网特性曲线, 或两者同时改变之, 以得到所需要工况。风量调节的具体方法可以分为两大类, 一是风机恒速的调节, 一是风机调速的调节。

1.3.1 风机恒速时的风量调节

(1) 改变风机工作轮叶片的安装角。这是轴流式风机调节的基本方法。在一定风量之下, 增大叶片的安装角可增大风机的压力, 其特性曲线的变化和改变转速特性很相似。

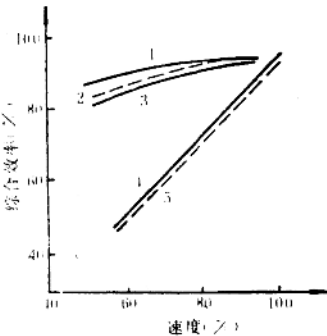


图 1-8 各种调速控制方法的效率比较

1—无换向器电机；2—串级；3—电流型变频器；4—转子串电阻；5—液力偶合器

(2) 前导流器的调节。这是离心式风机调节的基本方法, 轴流式亦可用之。前导流器放在风机工作轮的前面, 其作用是使气流在工作轮之前发生旋转, 造成扭曲速度, 从而影响风机的压头。前导流器使气流旋转的方向与工作轮转动方向相同时, 则可使压头降低, 多用于阶段式调节。

(3) 风门(挡板)调节。它是靠改变管网特性曲线来达到调节的目的。风门调节是利用风门来增大风道阻力, 以减少风量, 这种调节是最不经济的, 人为地增加网路的阻力也就增大了每立方米空气所消耗的电能。当然这比不进行调节而供给过多的风量还是有利的(对功率曲线在调节范围内随风量的增加而上升的风机而言)。

除上述调节方法之外, 也可采用更换工作轮的方法, 以及改变叶片数目等方法进行调节。

1.3.2. 风机的调速控制

在风量随时间变化较大的负载图中, 选用风机的调速控制方式是节电的有效措施。一般选用效率不高而简单的调速控制方法时, 初投资费小而运行费高; 当选用效率高而复杂的调速控制方法时, 则与此相反。从节电的观点来看, 应着眼于高效率但须兼顾初投资。选用合理的调速控制方法, 其节电经济效益补偿初期投资可在 1~3 年内回收。

风量的调速控制方法常用的有下列几种:

种:

(1) 转子回路串电阻控制 (绕线式异步机);

(2) 转子斩波调速控制 (绕线式异步机);

(3) 液力偶合器控制;

(4) 流体滑差离合器控制;

(5) 电磁滑差电机控制;

(6) 涡流制动器 (感应制动器) 控制;

(7) 调压控制;

(8) 串级调速控制 (绕线式异步机);

(9) 调压变频 (VVVF) 控制;

(10) 无换向器电机控制 (同步电动机);

(11) 变极对数控制。

各种调速控制方法的效率比较如图 1-8 所示, 从图中看出, 液力偶合器和转子回路串电阻控制方法效率最低, 速度愈低效率愈小, 而无换向器电机控制效率最高, 串级调速和电流型变频器控制方式效率也很高。

风机风量不同控制方法的电动机电力消耗特性曲线如图 1-9 所示, 在输出同样风量的情况下, 变极对数、串级调速和变压变频 (VVVF) 控制的电力消耗最小。转子回路串电阻和液力偶合器控制方式的电力消耗较大, 流体滑差离合器方式因有滑差存在, 最高转速比输入侧低百分之几, 其电动机的电力消耗比液力偶合器增加 $1/\eta \cdot \tau_{\max}$ 倍 ($\eta \cdot \tau_{\max}$ 为最高转速时的传动效率)。从图中还可见, 用调出口风门来调节风量的办法其电力消耗是最大的。

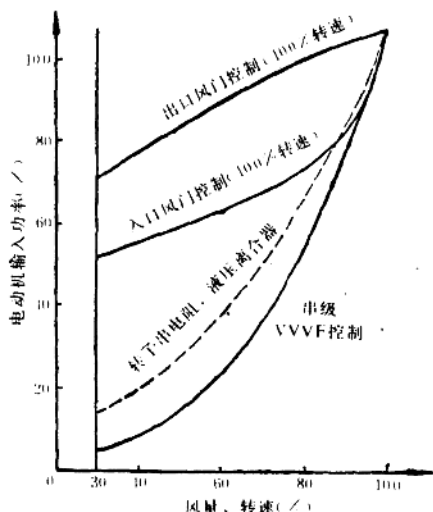


图 1-9 风机电动机的电力消耗特性曲线

1—出口风门控制 (100% 转速); 2—入口风门控制 (100% 转速); 3—转子串电阻液力偶合器;
4—串级 VVVF 控制

1.4 典型负载区及其合理控制方式

根据风机负载图 (风量对时间的关系曲线) 的不同要求, 可以采取不同的控制方式, 图 1-10 是风机几个典型风量曲线的示例。对这些风量曲线采用调速来控制整个速度范围是可能的, 但却不一定是经济的和合理的。应该按照风量曲线的不同情况进行具体分析和区别对待。

风机的风量曲线即电动机的负载图同样有连续风量状态和断续风量状态, 分别讨论如下。

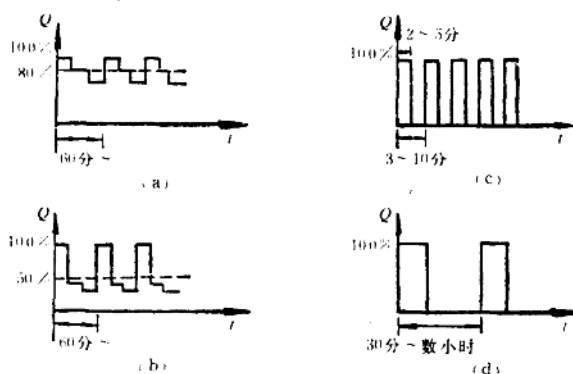


图 1-10 典型风量曲线

1.4.1. 连续风量状态

图 1-10 中 (a)、(b) 两种风量曲线变化情况属于连续风量状态，它可分为高风量区 (a) 和低风量区 (b)。对于高风量区曲线 (a)，如果在风量小于 80% 时用调速控制，在大于 80% 时用工频电源恒速运转，同时配以小范围内的风门调节风量，这样调速装置的容量仅为电动机额定功率的 51%，从而可获得用较小容量的设备节省较多能源的经济效果。对低风量区曲线 (b)，当风量小于 50% 时，用调速装置供电，大于 50% 时，用工频电源供电，其调速装置所需的容量更小，为电机额定功率的 13%（这是理想化数字），可见具有明显的节电效果。

1.4.2. 断续风量状态

通常风机是一种惯性很大的负载，对大容量鼠笼式异步机的频繁起动几乎是不可能的。图 1-10 中 (c)、(d) 两种风量变化情况属于断续风量状态，可区分为短周期 (c) 和长周期 (d)。当风量从零到 100% 变化时，过去有的风机设备，即使所需风量为零，风机照常空转，浪费了大量能源，如以调速装置加速，一直到 100% 转速后再切换到工频电源上。由于在加速时关闭了风机的风门，所以调速装置的容量约为电机额定功率的 50%。对长周期 (d) 的断续风量状态，可先用调速装置加速到 50% 速度时，切换到工频电源继续加速到 100% 速度，这样调速装置的容量可为电机额定功率的 13%，这是一种经济的控制方法。

当风机的风量曲线在全速范围内频繁变化时（如图 1-11a 所示），可以采用调速装置在全风量范围内进行转速控制。

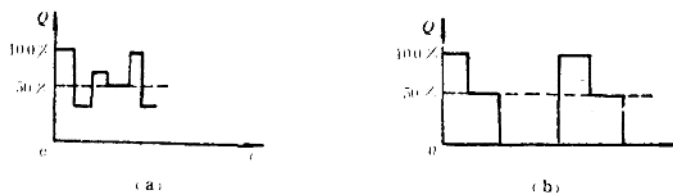


图 1-11 风量曲线
(a) 全风量区; (b) 三段式

如果风机的负载恰为图 1-11b 那样的三段式风量曲线时, 采用变极对数的调速控制方案则是最适合的。

1.5 油、水泵的节电技术特点

1.5.1. 油、水泵的一般基础

油水泵的任务是传送液体, 由于液体和气体同属于流体, 因此, 风机的节电方式基本上可适用于油、水泵上, 其分析方法也很相似, 但与气体相比, 液体的相对密度及输送压力都较高, 也存在某些不同的特点。

(1) 油、水泵的种类

油、水泵的种类一般分为离心式、混流式和轴流式及往复式四种。离心泵主要是由于叶轮的离心作用, 给予液体一定的压力和动能。轴流泵是由于液体按轴方向流动而得名, 它是靠叶轮的推力, 给液体以一定的压力和动能。混流泵则是介于离心泵和轴流泵之间的泵型, 由于叶轮内的液流与轴是倾斜着的, 因此又称为斜流泵。

(2) 油、水泵的一般特性 (往复泵除外)

油、水泵的特性和风机一样, 都是用横坐标表示流量 Q , 纵坐标表示全扬程 H , 效率 η 及轴功率 P 的关系曲线, 如图 1-12 所示。油、水泵的特性比较用百分比标么值表示, 常取泵的最高效率点的流量、全扬程、效率和轴功率作为基值 100%。

这里表示的全扬程为:

$$\begin{aligned} \text{全扬程} &= \text{吸入全扬程} + \text{排出全扬程} \\ &= \text{实际扬程} + \text{管理损失水位差} \end{aligned}$$

(3) 油、水泵的异常现象

①汽蚀作用 由于油、水泵的吸入压力逐渐下降, 比较容易产生汽蚀作用, 它使液流中局部产生高真空, 部分液体被汽化, 产生蒸汽多为细小的气泡, 当气泡被压碎时将使泵产生振动和噪声, 长时间后, 金属表面就会被腐蚀, 对此要采取措施。对于运动时扬程变化大的情况要给予注意, 应避免在吸入侧用阀门调节流量。

②水击现象 这是在管路中因某种原因使流速急剧变化, 管内压力有瞬变时发生的现象。在开泵、停泵、转速变化以及开闭阀门时有可能发生水击现象, 停电时最为严重。在水

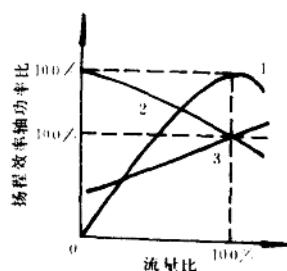


图 1-12 油、水泵的特性曲线
1—效率曲线; 2—扬程曲线;
3—轴功率曲线

击现象最严重的情况下，会使管路损坏。一般采取的措施是：

a、在油水泵开始启动时，从吸入管到叶轮之间要充满液体，关上排液阀后启动油、水泵，然后再慢慢打开排液阀。

b、停泵时先关闭排液阀后再停泵。停电时采取的措施有安装自锁式逆止阀及调压油箱等。

c、喘振：和风机相同，在流量和压力相当激烈地发生周期性变化时就会断续发生喘振现象。应避免在流量 Q —扬程 H 特性曲线的左侧部位运行。

(4) 油、水泵的运转特性

油、水泵的工作点（工况点）和风机一样，由泵的扬程曲线和管路阻力曲线的交点求得。管路阻力曲线是由实际扬程加上损失液位差画出，如图 1-13 所示，一般不通过原点，这是和风机管网阻力曲线不同的地方。

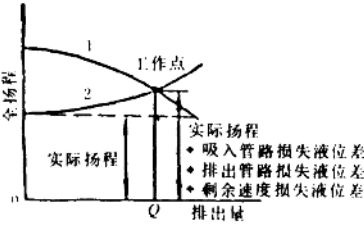


图 1-13 管路阻力曲线
1—扬程曲线；2—管路阻力曲线

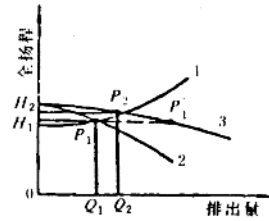


图 1-14 油、水泵的并联特性
1—管路阻力曲线；2—单台时扬程曲线；3—两台并联时扬程曲线

多台泵和多条管路的合成曲线如图 1-14~图 1-16 所示，工作点从单台时的 P_1 移到两台时的 P_2 ，如果是并联，就在流量方向上把各个特性曲线相加；如果是串联就在水位差的方向上，把各个特性曲线相加。

(5) 油、水泵的调节方法

油、水泵的调节方法通常有：①调节排出管道上的闸阀；②变更多级泵的工作轮数目；③改变油、水泵的转速；④削短工作轮的叶片等。

前两种属于恒圆周速度的调节方法，后两种属于变圆周速度的调节方法。

改变油、水泵转速调节方法的基本原理是改变油、水泵压头特性曲线来改变工况点，为了得到需要的流量，在计算所需的转速时，不能直接利用比例定律，因为排出管路曲线有测地高度，特性不通过原点。决定转速的方法（参看图 1—17）可首先在 Q — H 特性上按要求的流量 Q_2 和管道特性曲线得出要调整到的工况 M_2 ，而后通过 M_2 点作一条通过坐标原点的二次抛物线与压头曲线相交得 M_1 点，最后根据点 M_1 所表示的流量 Q_1 ，再借比例定律计算应调节到的转速。即