

第32篇 电力传动

主 编	馬 場 準 一	(三 菱 電 機)
执笔者	市 原 群 之	(東 京 芝 浦 電 氣)
	今 井 利 秀	(日 立 製 作 所)
	入 江 一 彦	(明 電 舍)
	白 田 泰 人	(安 川 電 機 製 作 所)
	小 川 耕 二	(東 京 芝 浦 電 氣)
	河 野 哲 雄	(安 川 電 機 製 作 所)
	河 原 四 良	(三 菱 電 機)
	金 東 海	(上 智 大 学)
	草 柳 延 雄	(富 士 電 機 製 造)
	木 暮 宏 政	(日 立 製 作 所)
	小 寺 昭 紀	(富 士 電 機 製 造)
	近 藤 貞 雄	(東 京 芝 浦 電 氣)
	斉 藤 奎 二	(日 立 製 作 所)
	館 野 晶 雄	(明 電 舍)
	茶 谷 三 郎	(三 菱 電 機)
	辻 順 一	(三 菱 電 機)
	富 永 隆 弘	(三 菱 電 機)
	西 島 勁 次	(東 京 芝 浦 電 氣)
	西 橋 淳 一	(日 立 製 作 所)
	広 豊	(日 立 製 作 所)
	藤 井 清 光	(富 士 電 機 製 造)
	星 野 慶 信	(明 電 舍)
	真 柄 正 昭	(日 立 製 作 所)
	宮 野 光 男	(東 京 芝 浦 電 氣)
	森 勲	(東 京 芝 浦 電 氣)
	山 本 利 雄	(三 菱 電 機)
	米 田 耕 三	(富 士 電 機 製 造)
译 者	万 里 雄 赵 秀 芬	李 玉 明 周 修 龙
校 者	杨 竞 衡	

目 录

第1章 电力传动一般情况	32-1	5.5 附属装置	32-29
1.1 概述	32-1	5.6 联合控制	32-30
1.2 电力传动方式	32-1	第6章 泵	32-30
1.3 负载特性和电动机特性	32-2	6.1 泵的种类和选择	32-30
1.4 操作、控制方式	32-3	6.2 特性曲线和工作点	32-31
1.5 电动机的调速	32-5	6.3 所需功率	32-32
1.6 电动机的转速自动控制	32-7	6.4 电动机	32-33
1.7 选择电动机的原则	32-9	6.5 控制装置	32-33
1.8 动力传递机构	32-10	第7章 压缩机和风机	32-34
第2章 起重机	32-11	7.1 压缩机和风机的电力传动	32-34
2.1 起重机的种类	32-11	7.2 压缩机和风机的种类	32-34
2.2 所需功率	32-13	7.3 压缩机和风机的所需功率	32-36
2.3 电动机	32-14	7.4 压缩机和风机的特性	32-36
2.4 控制方式	32-15	7.5 压缩机和风机的传动电动机	32-37
2.5 其他机械	32-17	7.6 压缩机和风机的控制方式	32-38
第3章 提升机	32-18	7.7 与工作环境和输送气体有关的 注意事项	32-39
3.1 提升机的种类	32-18	第8章 矿山和煤矿	32-40
3.2 所需功率	32-18	8.1 矿山电力传动	32-40
3.3 电动机	32-19	8.2 运输机械用电气设备	32-40
3.4 控制方式	32-19	8.3 工作面电气设备	32-40
3.5 安全装置	32-20	8.4 选煤、选矿用电气设备	32-40
3.6 提升机控制方式实例	32-20	8.5 自动运转控制方式	32-41
第4章 电梯和自动扶梯	32-21	第9章 石油和煤气工业	32-41
4.1 构造与分类	32-21	9.1 石油钻井	32-41
4.2 曳引电动机	32-21	9.2 管线	32-42
4.3 控制方式	32-22	9.3 石油精炼	32-42
4.4 操作方式	32-24	9.4 煤气工业	32-43
4.5 电源设备	32-25	第10章 钢铁和有色金属工业	32-44
4.6 应急发电机	32-26	10.1 生产过程	32-44
4.7 用电量	32-26	10.2 采用的电气设备概况	32-45
4.8 输送能力	32-26	10.3 主要电动机	32-46
4.9 自动扶梯	32-27	10.4 所需能源和厂内配电设备	32-47
第5章 输送机	32-27	10.5 原料处理和炼铁设备	32-48
5.1 输送机的种类	32-27	10.6 炼钢和铸造设备	32-49
5.2 所需功率	32-27	10.7 可逆热轧设备	32-50
5.3 电动机	32-28	10.8 热连轧设备	32-51
5.4 驱动方式	32-29		

10.9 冷轧设备	32-53	18.2 化学工业用电气设备的特殊要求	32-84
10.10 精整加工线	32-54	18.3 防爆电气设备	32-84
10.11 钢管和线材制造设备	32-55	18.4 各种机械用电动机	32-86
10.12 电子计算机在生产管理和信息处 理方面的应用	32-57	第19章 食品工业	32-87
10.13 防止环境污染的设备	32-58	19.1 食品工业概况	32-87
第11章 水泥和玻璃制造业	32-58	19.2 贮粮立筒仓库	32-87
11.1 水泥制造业	32-58	19.3 面粉厂	32-87
11.2 水泥工业的机械设备和电动机	32-59	19.4 饲料加工厂	32-88
11.3 玻璃工业用电气设备	32-61	19.5 其他食品加工厂	32-88
第12章 橡胶和塑料工业	32-62	第20章 制冷工业	32-90
12.1 橡胶加工机械概况	32-62	20.1 制冷工业	32-90
12.2 塑料加工机械概况	32-63	20.2 冷冻、冷藏和制冰	32-90
12.3 主要机械设备和电动机	32-64	20.3 制冷机的种类	32-90
12.4 控制装置	32-65	20.4 电动机的种类	32-91
第13章 机械工业	32-65	20.5 控制装置	32-92
13.1 机械的种类和动力	32-65	第21章 上下水道	32-93
13.2 机床电气设备的特点	32-66	21.1 上水道工程	32-93
13.3 塑性变形加工用机械的电气设备	32-66	21.2 上水道的运行控制	32-94
13.4 机床的控制方式	32-67	21.3 上水道的电气设备	32-94
13.5 机床的数控装置	32-67	21.4 下水道工程	32-95
第14章 木材工业	32-68	21.5 下水道的运行控制	32-97
14.1 木材加工机械	32-68	21.6 下水道的电气设备	32-97
14.2 木材加工机械用电动机	32-69	21.7 其他水处理设备	32-98
14.3 木材加工机械用控制装置	32-69	第22章 工业废物处理设备	32-98
第15章 造纸工业	32-70	22.1 垃圾处理设备的概况	32-98
15.1 概述	32-70	22.2 工业废物处理设备的概要	32-99
15.2 备料、蒸解、打浆工序的电力传动	32-70	22.3 机械设备和电动机	32-100
15.3 造纸机的电力传动	32-71	22.4 控制设备	32-100
15.4 完成工程的电力传动	32-73	第23章 船舶	32-101
15.5 造纸过程的电子计算机控制	32-74	23.1 概述	32-101
第16章 印刷工业	32-76	23.2 发电和配电装置	32-101
16.1 印刷机的种类	32-76	23.3 动力装置	32-102
16.2 报纸轮转印刷机(凸版方式)	32-76	23.4 电力推进	32-104
第17章 纺织工业	32-79	23.5 特殊船舶的电气设备	32-106
17.1 棉纺	32-79	23.6 自动化装置	32-106
17.2 毛纺	32-80	第24章 建筑电气设备	32-107
17.3 合成纤维纺丝	32-81	24.1 一般情况	32-107
17.4 织机	32-82	24.2 电力设备	32-107
17.5 染整	32-82	24.3 动力设备	32-108
第18章 化学工业	32-82	24.4 弱电设备	32-108
18.1 化学工业的分类和电力传动设备	32-82	第25章 物料搬运及工厂自动化 设备	32-109

32-IV 目 录

25.1 物料搬运途径概况.....	32-109	26.2 冷气、暖气、换气、调湿用器具...	32-114
25.2 原料装卸.....	32-109	26.3 烹饪、厨房用器具.....	32-115
25.3 制造厂中的装卸.....	32-111	26.4 清洁卫生器具.....	32-117
25.4 产品装卸.....	32-112	26.5 整容、保健器具.....	32-118
25.5 保管场所中的装卸.....	32-112	26.6 作业用器具.....	32-119
第26章 家用电器	32-114	26.7 其他.....	32-119
26.1 分类.....	32-114	参考文献	32-120

第1章 电力传动一般情况

1.1 概 述

从许许多多发电厂发出的强大电力,目前主要用于照明、电热、化工和电力传动等各个方面。其中,尤以电力传动应用领域的形式最多、范围最广。特别是,近年来随着工业的迅速发展和在节省人力方面的努力,使电力传动技术的质量提高了,数量也增加了。而在采用新的电子技术和自动控制技术后,电力传动技术的发展之快,更令人惊叹不已。相信,今后随着生产设备的大型化、复杂化、精密化,电力传动技术会有进一步的发展。

电动机是钢铁、化工、纺织、造纸、矿山、冶金、水泥、船舶、起重装卸等一系列工业部门和电气化铁道的最重要的动力源。而且,随着人们生活水平的提高,家庭日常生活中也用上了多种电动器具。还有,为了避免公害和节省人力,又出现了电动汽车和工业机器人等,电力传动的应用领域还在继续扩大。

电力传动技术的进展,体现在哪些方面呢?首先,作为驱动力发生装置的电动机本身有了进步。在新型绝缘材料和硅钢片等材质方面发展的基础上,改进了设计技术,研制出体积小、重量轻、可靠性高、快速响应性好的电动机,还研制了一些更新型的电动机,如:直线电动机,无换向器电动机等,并已用于生产。其次,控制技术方面也有显著进步。晶体管、硅晶闸管(又称可控硅整流元件)和集成电路的出现,使控制装置和控制技术相应改观。控制装置的半导体化,给电力传动技术带来根本性的变化。例如,虽然以前就有无换向器电动机的概念,但是,只有在硅晶闸管出现之后,才开始得到实际应用。如今,一向认为难以调速的异步电动机,已能作为可调速电动机而发挥其优点。再有,由于计算机的发展,在控制方面也大量引用了计算机,可以快速进行复杂而精密的控制。这样,不只是改进了原有的技术,并且产生许多新技术。例如,在钢铁厂,可逆轧机上所采用的预设定控制和卡片编程控制,热轧机上所采用的厚度自动控制等。而

机床方面,仿形控制与数字控制则正方兴未艾。

新技术正在发展,并且日益繁多,对其选择也就变得困难。必须对基本特性、操作和控制性能、维护及可靠性以及经济性等进行综合判断后,才能选出最佳的方案。

1.2 电力传动方式⁽¹⁾

1.2.1 电源方式 可分为直流传动和交流传动。除特殊情况外,交流传动均采用50或60Hz交流电源;直流传动则要直流电源。交流-直流的变流装置中,虽然也还留有以前的汞弧整流器、电动发电机组和硒整流器等,但新安装的却几乎都采用硅整流器或硅晶闸管。

交流传动不仅利用电能方便,而且电动机价格低廉、牢固,也容易维护。可是,在控制性能上,则不如直流传动。不过近几年来交流电动机的控制方法已有了进步,如果用交流传动也能满足负载要求时,则可不用直流传动,转而采用交流传动。目前,虽然要求高精度控制时仍多采用直流电动机,然而,基于维护简便的观点,即使要求高精度控制时,用无换向器电动机或异步电动机的交流传动也正在日益增加。

1.2.2 传动方式 一个工厂里的动力如何取得,一台机器的各部分动力如何取得、如何分配,称为工厂或机器的传动方式,它大体上可分为成组传动、单电动机传动、多电动机传动等三种方式。

(a) 成组传动 这是通过皮带轮和皮带等,用一台或几台电动机使一个工厂中的多台机器分别进行成组传动的方法。这种传动方式存在许多缺点。因此,随着大量生产而价格低廉的通用电动机的广泛应用,目前这种传动方式正在逐步被淘汰。

(b) 单电动机传动 由一台电动机传动一台机器的方式称为单电动机传动。它与成组传动相比,有较多优点,如动力传递装置损耗小,机器可以任意安装,所以便于生产设备的布局等。

(c) 多电动机传动 若一台机器有多根转轴,当希望获得任意的转速关系时,只需把这些轴

分开,各自配以相应的电动机。这种方式称为多电动机传动。特别是方向成直角或偏角场合,能省掉价格昂贵的动力传递装置,损耗小,较经济。此外,要想对生产过程进行自动控制时,这种方式具有对各种动作能分别控制的优点,对生产率和加工精度的要求越高,则采用这种方式越有利。

1.3 负载特性和电动机特性⁽¹⁾⁽²⁾

选用电动机的一条重要原则是,要弄清楚负载装置的转矩特性,并选择特性与之相匹配的电动机。

1.3.1 负载转矩和电动机转矩 传动负载所需要的转矩包括以下几个方面:

(a) 惯性力 因物体储存着与其运动速度相对应的动能,所以在加减速时应加上可克服其惯性作用的力。

(b) 摩擦力 轴和轴承之间由于滑动面的摩擦(包括静摩擦、动摩擦、滚动摩擦)而产生的阻碍运动的力。

(c) 空气阻力 当物体运动时,其周围的空气也跟着在运动,但空气并未与物体固定在一起,因此空气和物体间存在着相对的速度差。故物体承受着包括惯性力和摩擦力在内的复杂阻力,这个阻力在一定速度范围内,大致与速度的平方成正比。

(d) 工作力 负载机械做功所需的力叫工作力。就是诸如机床在进行切削、研磨、钻孔、折弯、剪切等工作时所需的力。此外,水泵抽水,运输机械克服摩擦而搬运、提升和放下重物等也需要力。

传动负载所需的力,通常用转矩对转速的变化来表示,称为负载的转速-转矩特性(见图1)。转速-转矩特性只表示在某一特定转速下所必需的转矩,并不包括惯性力部分。与此相应,电动机的转矩也

可用电动机的转速-转矩特性来表示。但是,若考虑惯性力等,则必须产生一个比负载的转速-转矩特性更大的转矩。当负载由电动机进行加速并达到电动机与负载的转矩平衡的某一转速时,便在此转速下稳定运行。

在多数情况下,电动机的转速-转矩特性可通过调节电压、频率或用其他控制方法来加以改变。特别是由于近来控制技术的发展,甚至可以得到就某种程度说来是任意的转速-转矩特性。

1.3.2 起动、加速和转动惯量 电动机传动负载机械时,由于上述各种力的作用使运动受到限制。现在,设换算到电动机轴上的转动惯量为 J ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$),电动机轴的角加速度为 α (rad/s^2),则惯性转矩为 $J\alpha$ ($\text{N}\cdot\text{m}$);又设摩擦转矩为 T_μ ($\text{N}\cdot\text{m}$)、风压转矩为 T_w ($\text{N}\cdot\text{m}$)、工作转矩为 T_f ($\text{N}\cdot\text{m}$),则它们之和($T_\mu + T_w + T_f$)即为负载转矩 T_l ($\text{N}\cdot\text{m}$)。设电动机产生的转矩为 T_m ($\text{N}\cdot\text{m}$),则下式成立:

$$T_m = J\alpha + T_l = J\alpha + T_\mu + T_w + T_f \quad (\text{N}\cdot\text{m})$$

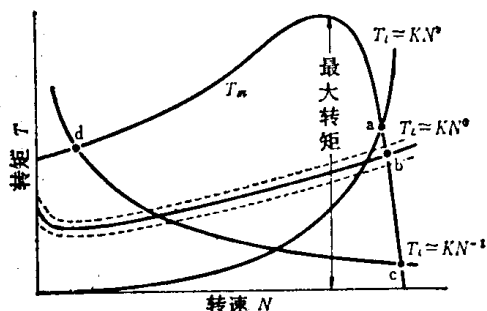
为了使电动机能带动负载,电动机转矩必须大于负载的起动转矩。特别在起动时,因要克服作为负载转矩的静摩擦作用,需要更大的起动转矩。当这个条件得到满足时,就能起动负载,使转速随着时间而增加。小功率电动机起动时,大多一开始就加上额定电压,但大、中功率电动机如果这样做,则会使起动电流很大,造成电源电压下降等恶果,并对其他装置带来恶劣影响。为了避免产生这种情况,用下述办法进行起动,即起动时,降低外加电压或串入阻抗来减小起动电流,起动后,再使电压升高或切除阻抗。

起动,就是使静止物体运动起来,因此,必须供给动能。此外,在调速时,要有转矩来适应动能的过剩或不足,这种转矩称为加(减)速转矩。前式中的 $J\alpha$ 就相当于加(减)速转矩。当每分钟转速由 N_1 (rpm)变为 N_2 (rpm)时,若换算到电动机轴上的飞轮转矩 $GD^2 = 4J$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) (G 为全部质量(kg), D 为等效旋转体直径(m)),角速度由 ω_1 (rad/s)变到 ω_2 (rad/s),则动能变化量 ΔE (J)由下式表示:

$$\Delta E = J(\omega_1^2 - \omega_2^2)/2 \approx GD^2(N_1^2 - N_2^2)/730$$

(J)

为了积蓄或释放这一部分动能,在起动、停车



T_m :电动机转矩; T_l :负载转矩

图1 负载和电动机的转速-转矩特性

或调速等过程中,会产生时间迟延。再有,若转动惯量大,则所需的起动转矩,即加速转矩也要相应增大。通常,都把起动时速度上升曲线的时间常数叫做起动时间常数,用它来判断起动的快慢。一般情况下所说的起动时间,是指速度达到最终速度的90%或95%时所需的时间。

1.3.3 负载变动和最大转矩 起动后,在电动机输出转矩与负载转矩达到平衡时,进入稳定运转。以图1来说,交点a、b、c就是工作点。在这些工作点上,即使因负载变动,偏离了工作点,但很快又能回到原工作点上。这是因为电动机输出转矩与负载转矩的差值正好起到使电动机返回到原工作点的作用。这样的工作点叫稳定工作点。与此相反,像d这类的交点叫不稳定工作点,因为电动机并不能在这些工作点上保持稳定工作状态。在选择电动机时,对于预定转速,应有稳定工作点,这是十分重要的。

由于负载种类不同,在运转中往往会出现瞬时高过载。如果过载转矩比电动机的最大转矩还大时,那就会越过最大转矩而进入不稳定区。故对此类负载,要十分慎重地选择电动机的最大转矩。负载冲击特别严重时,利用飞轮缓冲也是一种办法。

图1是以异步电动机为例,至于同步电动机,则应考虑牵入转矩和失步转矩。就是说,对于泵、风机之类负载转矩随着转速增加而增加的,应选用牵入转矩大的电动机;对于破碎机、冲剪机、轧机等有时有瞬时过载的,从安全考虑则应选用失步转矩大的电动机。

1.3.4 制动、停车、正转、反转 要想把负载停下来,即使把电动机电源切断,但由于存在惯性,并不能使负载立即停住。为了减少动能,应加上一个与旋转方向相反的制动力(见1.4.6节)。不需要快速停车时,也可靠轴承的摩擦和空气阻力等自然地产生的制动力而停车。

设电动机通常的运行状态为正转,则方向与其相反的运行状态为反转。若要从正转变到反转,有下列方法:

(i) 待电动机停住后,再反向起动;

(ii) 正转中切断电源,在停住前加反向转矩(电压)等。

近来,用电动机组成自动控制装置的情况增多了,故要求缩短加减速和正反转的时间。若被传动

机械的转动惯量 J 及所需转矩 T 一定,电动机输出转矩越大,转子转动惯量越小,则上述动作时间越短。因此,电动机的 T/J 越大越好, T/J 的比,即所谓转矩-转动惯量比,往往成为衡量控制用电动机性能的一个指标。

1.4 操作、控制方式^{(3)~(5)}

(见第18篇)

1.4.1 操作、控制设备的用途 要开动电动机,就需要操作、控制设备。它们应能发挥以下作用:(i)可任意地进行电动机的起动、停车、正反转;(ii)限制起动电流;(iii)在停车时进行制动;(iv)控制转速和转矩;(v)限制电动机负载;(vi)当发生故障或事故时能起保护作用。

1.4.2 操作、控制方式 电动机的操作、控制有手动、半自动、自动三种方式。此外,还有单独控制、联合控制和远距离控制等各种分类方法。略述于下:

(a) 手动操作 用手动开关(刀开关、用按钮操作的电磁开关等)接通或断开电动机的电源,手动切换起动和调速用电阻器。其特点是简易、价廉。

(b) 集中控制、联合控制 将多台电动机的控制,集中在一个房间内进行控制的方法,叫做集中控制。集中控制而同时又在各台机器近旁设置控制开关,但为了不致与集中控制室发生矛盾,又能做到把当前各机器处在怎样的运行状态相互加以显示和确切了解,这样的控制方法称为联合控制。

(c) 自动控制 当需要经常保持转速恒定或使数台电动机的转速保持协调时,往往采用自动反馈控制方法(见第7篇及后述),使自动控制装置工作,这就是自动控制。与此相对应的是按照一定顺序,依次进行操作的一般控制,称为顺序控制。

(d) 自动操作 例如,一个生产过程,其各工序的生产机械、运输机械、检测装置皆能按顺序准确地自动进行工作,这便是顺序的自动操作。通常根据需要把自动控制的机械和没有进行自动控制的机械配置组合起来,或进行自动控制,或进行顺序的自动操作,或者把这两者结合起来自动地进行操作,这些都叫自动操作。所谓自动化也是其中的一种。为了接收复杂的信息,辨别信息,从而向控制系统发出指令,也引进了计算机,称为计算机

控制。

(e) 顺序控制的各种方式^{(3)~(5)} 包括有下列各种方式: (i) 直接控制式; (ii) 电气远程控制式, 如: 一般电控式、复合电控式、联合控制式、单人控制式、远距离监控式、无人全自动控制式、计算机控制式(见第18篇)。

1.4.3 控制电器^{(3)~(5)} 控制电动机时需采用各种控制电器, 用于顺序控制的电器主要有以下几类:

(1) 控制用电器 这种电器能进行若干种操作, 是控制用的主要电器。

(i) 主电路 隔离开关、刀开关、电磁接触器、硅晶闸管等。

(ii) 控制电路 控制继电器、调整继电器、辅助继电器、无触点继电器、可变电阻器等。

(iii) 检测 电平开关、限位开关、光电装置、无触点开关等。

(2) 操作用电器[⊖] 进行操作的电器。

(i) 主电路 直接控制器、控制电路、操作开关等。控制器是指改变电阻值或者改变连接方法的装置。

(3) 保护用电器 它们在检测到电动机或电路中发生的故障时才动作, 是为把损害限制在最小程度的保护装置。

(i) 主电路 断路器、熔断器、自动开关。

(ii) 控制电路: 保护继电器、机械式保护装置。

上述控制电器大多装于钢结构的屏上, 采用各电器相互间配线连接的配电屏形式, 通常把控制和监视电动机用的屏叫做控制屏, 也有的把只装上由人操作的电器的屏叫做操作屏。

进行自动控制时, 要有检测器、放大器、数控装置、操作装置等。这方面大量采用了半导体装置。即除用作脉冲电路、放大电路、触发电路等外, 尚用作正反转切换用无触点开关, 在顺序控制等电路中用作开关元件、逻辑元件。在复杂的控制装置中, 也有用小型电子计算机、超小型电子计算机等来组成控制装置。

1.4.4 直流电动机的起动方式 直流电动机多用于要求调速的场合, 但在重载、频繁、快速等运动场合, 用直流电动机也比交流电动机好。直流

电动机常用以下两种起动方法: (i) 电枢串电阻起动(也有并用调磁升速控制); (ii) 列奥纳德(Leonard)起动(适于平滑起动及频繁起动)(见第17篇第7章)。这些方式都能借自动起动装置来实现自动起动。

1.4.5 交流电动机的起动方式 起动方式因电动机种类而异。异步电动机的起动方式有:

(1) 直接起动 直接加全电压的起动, 此时应考虑起动电流过大所造成的不良影响。

(2) 限流起动 对起动电流加以限制的起动。该方法仅在起动时使外加电压降低。它有串入阻抗(电阻、电抗器)法、Y- Δ 切换法、起动补偿器法、改进自耦变压器法等方式。

(3) 延时起动 按一定起动时间进行起动。

(4) 转子串电阻起动 适用于绕线型异步电动机, 其优点是可选择任意起动转矩(见第14篇第4章)。

同步电动机的起动方法, 因负载种类、惯性大小、电源的容量和种类等不同而异。它有异步起动法、用起动电动机起动法, 低频起动法。异步起动法采用和异步电动机大致相同的起动方法(见第13篇第6章)。

自然换相型无换向器电动机不能自起动。其起动方法有: (i) 电流断续起动; (ii) 像同步电动机那样用起动变压器的阻尼起动; (iii) 用起动换相变压器的电网换相起动等。

1.4.6 制动的种类 因目的不同, 制动分以下两种: (i) 以停车或减速为目的; (ii) 一方面制动, 一方面继续运行。前者吸收负载和电动机的动能, 后者吸收负载产生的能量。吸收能量的方法有机械方法(通过机械的摩擦转矩制动)和电气方法。电制动法有以下几种:

(a) 能耗制动 也称电阻制动, 使电动机工作在发电机状态, 将其输出功率消耗在电阻上。

(b) 反接制动 是将正转中的电动机切换成反转接线进行制动的办法。这种方法若不能检测出停车信号而及时切断电源, 就会反转, 故应有适当的检测继电器。

(c) 涡流制动 是用涡流损耗来吸收能量的方法。如异步电动机用直流励磁, 或另接一个涡流制动器。

⊖ 本项原文只有(i), 无(ii)。——译者注

(d) 再生制动 是使电动机作发电机运行并使其电能向电网回馈的方法。适用于减速时的过渡制动状态和提升机下放重物等正常运行状态。

1.5 电动机的调速

1.5.1 调速的一般情况⁽³⁾ 当力求通过改变电动机的输出转矩来改变负载的转速时,就应对电动机进行控制,使电动机的转速-转矩特性发生变化,这就是电动机的调速。调速虽以转速为被调量,但根据生产机械的要求,也有以张力、长度、厚度、位置等作为被调量。因此,重要的是,应根据负载的要求来选择最适当而又经济的方法。

调速方法大致分为两类:一类是用电阻等简单的附属装置来进行调速的(直流并励电动机、绕线型异步电动机等);另一类是把电动机和其他电气设备组合在一起来进行调速的(如:列奥纳德(Leonard)方式、谢尔必斯(Scherbius)方式、克莱玛(Kraemer)方式^①、逆变器或周波变流器控制方式等)。它们的调速特性分以下几种(见图2):

(1) 多级恒速特性 可切换成数级恒速特性(如变极异步电动机等)。

(2) 可调恒速特性 能在宽调速范围内得到许多恒速特性。表1列举了其实例和控制范围。

(3) 可调非恒速特性 能在宽调速范围内得到许多非恒速特性(如用转子电阻控制的绕线型异步电动机、电枢串电阻控制的直流串励电动机等)。

(4) 可调恒转矩特性 能在宽调速范围内,

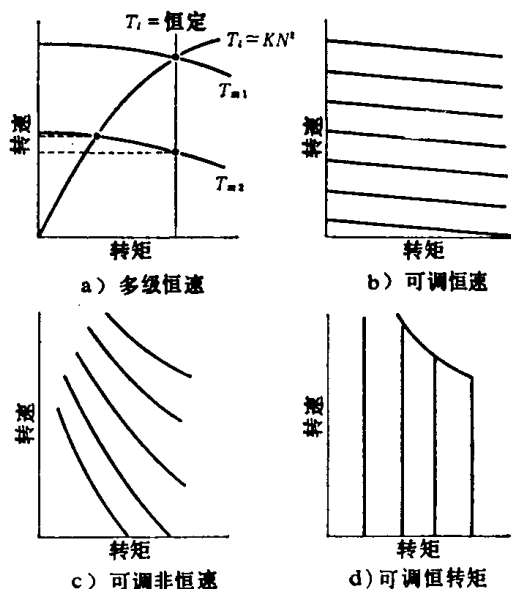


图2 各种调速特性

表1 调速范围举例

0 ~ 全速	列奥纳德方式、谢尔必斯方式、周波变流器控制的无换向器电动机或异步电动机 (V/f 恒定控制)
1:6 ~ 1:10	电磁离合器、三相异步换向器电动机 (Schrage-Motor) ($\omega_c/\omega_2 = 0.7 \sim 0.9$)、调励磁的直流电动机(串联)(恒功率)
1:3 ~ 1:4	三相异步换向器电动机 ($\omega_c/\omega_2 = 0.5$), 调励磁的直流电动机(恒功率)
1:2 以下	克莱玛方式(恒功率)

得到恒转矩特性(如以恒电流和恒转差频率控制的逆变器供电的异步电动机等)。恒转矩特性的输出功率与转速成正比增加,电动机的感应电势也与转速成正比增加,所以,有时当感应电势与电源电压相等时,恒转矩特性会过渡成为非恒速特性(如恒电压控制时)。

1.5.2 直流电动机的调速^{(1)~(4)} (见第12篇第7章)

(a) 励磁调节 调节并励或复励电动机的励磁电流,可以改变转速,从而获得恒功率特性。调节励磁电流除用电阻器外,他励电动机还可用磁放大器或硅晶闸管等性能优良的静止励磁器来调节。

(b) 电枢电压调节 若他励励磁恒定,改变电枢电压,则转速大致与电压成正比地变化。这样,就得到可调恒速特性。对于任意转速,此法均可经常保持必要的恒定转矩,故称之为恒转矩传动。根据向电枢供电的调压直流电源的种类不同而可分成种种方式。

调压直流电源有以下几种方式:用直流发电机并调节其励磁的渥特·列奥纳德(Ward-Leonard)方式;用晶闸管变流器等组成调压直流电源的静止列奥纳德(Static Leonard)方式;在恒压直流电源和电动机之间接入升压机进行控制的升压机方式;用电阻分压的电阻分压式。

借助于调压直流电源和电动机的设计配合,既可达到从零到最高转速的平滑调节,还适用于要求正反转、再生制动等各种控制。因此,它非常广泛

① 列奥纳德方式又称直流发电机-电动机组或硅晶闸管变流器-电动机方式;谢尔必斯方式又称电气串级方式;克莱玛方式又称电机串级方式。——译者注

地用于起重装卸机械、轧机、造纸机、提升机等机械上,特别是用于大、中容量电机要求快速响应性好的控制中。再有,为了进行再生制动,除要有调压整流电源外,还必须设有逆变装置。三相桥式线路可逆运转方式就是其中一例,它有对称反并联和非对称反并联两种接法。按图3接法,电动机正转时,正向组晶闸管运行于整流器状态,反向组晶闸管运行于逆变器状态。应该哪一组变流器对电动机起作用,要由受门极控制的正反两组晶闸管的输出电压和电动机的感应电势来决定。可逆冷轧机等在轧制中虽然要求加减速,但有时并不要求正反两方向转矩相等。此时,可根据反向转矩来决定反向组晶闸管的容量。可把它接成非对称反并联接线。

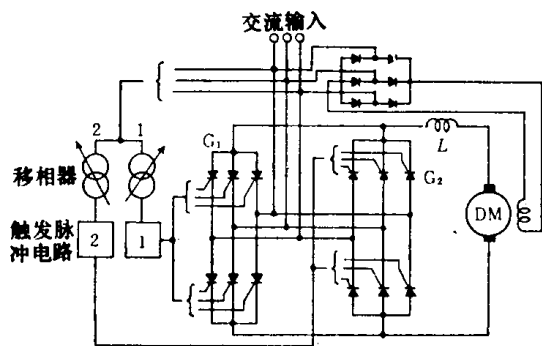


图3 三相桥式电路可逆运转方式

上述可逆运转有两种控制方式,即:保持整流器和逆变器输出电压大致相等方式和预先设定对应于不通电侧变流器最高电压的控制角方式。前者几乎没有切换时间,但缺点是有环流,后者有少量时间延迟,但没有环流。

(c) 改变电枢回路串联电阻调速和斩波器调速 改变电枢回路串联电阻调速是通过增减电枢电路串联电阻来进行调速的方法。适于电车用串励电动机、提升机用复励电动机等(电车用串励电动机还用其他串并联接线和弱磁等方法)。

斩波器调速是用晶闸管斩波器进行通断控制,以调节加于电动机上的平均端电压的方法。它用以取代电阻的调节,是一种高效率的控制方法,多用于发热成问题的地下铁道电动机的调速。

(d) 调压调磁联合控制 当调速范围内的一部分要求调速中保持恒功率时,或者多台电动机接到公共电源母线上进行列奥纳德方式控制,并要求各台电动机转速相互配合、能灵活调节时,例如,像速度协调控制、速度差控制等那样,均可采用调

压调磁联合控制。如前例,当要求 N_r 转速以下为恒转矩控制, N_r 以上为恒功率控制时,则在恒转矩范围内可调节电枢电压,在恒功率范围内可调节励磁,这样,就形成了宽调速范围的控制[见图2(d)]。

1.5.3 异步电动机的调速^{(1)~(4)}(见第14篇第5章) 可采用下列几种方法:极数变换法、转子串电阻控制法、转子励磁控制法(克莱玛方式、谢尔必斯方式等);此外还有:电磁离合器调速法、用饱和电抗器或晶闸管调节定子电压的方法以及调节定子频率方法等等。还有一些非常特殊,但不大常用的方法,如:定子线圈特殊接线法,旋转外壳法,和与液压变速器联用等。

极数变换法常用于电梯和卷扬机等,能得到多级恒速特性。绕线型电动机常用调节转子回路电阻的方法,很简便,也有采用借晶闸管斩波器的通断来调节的等效电阻控制法。电阻控制法在低速时效率低、转速变化率大,所以,大、中容量电动机的调速,不采用转子回路电阻法,而采用外加与转子电压相平衡的电压,改变该电压的大小和相位等来进行调速的方法。以异步电动机的转子电功率为动力,反馈到主轴,得到恒功率特性的方法称为克莱玛调速法。把转子电功率反馈到电源的方法称为谢尔必斯调速法,它能得到恒转矩特性。通常,这些方法都要用旋转电机,而近来,则发展到采用静止的晶闸管逆变器。需要反转时,则有在两相电源上跨接饱和电抗器或反并联晶闸管的桥式接法,以及通过上述相同的可控器件与变压器组合加给反相电压的方法等。

由于电力电子技术的发展,已能很容易地制成逆变器或周波变流器了。作为调速电动机,定子变频控制的异步电动机显示出优良的控制性能和经济性。逆变器分为电压型和电流型两种⁽⁶⁾⁽⁷⁾。电压型逆变器是其输出电压可以直接调节的一种逆变器,若用它作为异步电动机的电源,当控制逆变器,使其输出电压 V 与输出频率 f 成正比变化时,就能得到图2(b)的可调恒速特性。这种调速方法,称为 V/f 恒定控制法或气隙磁通恒定控制法。电压型逆变器常用的是带脉冲宽度调制(PWM—Pulse Width Modulation)控制的桥式逆变器线路。用PWM控制法可灵活地调节输出电压。

与电压型逆变器不同,电流型逆变器是其输出

电流可直接调节的一种逆变器,它较电压型逆变器研制得晚一些,只部分得到实际应用。若用电流型逆变器作为异步电动机电源,当保持其输出电流恒定,并控制与电动机转速相应的转差频率恒定时,便能得到如图2(d)所示的恒转矩特性。这种方法称为恒电流-恒转差频率控制法,其运行效率最高,恒转矩特性的调速范围取决于电源电压的大小。当电动机感应电势和电源电压相等时,输出功率最大。为得到最大输出功率,应采取恒电压、可调转差率控制。串联二极管式电容换相逆变器是电流型逆变器的一个实用例子。当然,对电压型逆变器采取恒电流控制,对电流型逆变器采取 V/f 恒定控制也是可能的,但控制复杂。还有,无论采用哪一种逆变器,都能在原有线路基础上进行再生制动。

由于异步电动机的价格低廉,因而经常采用使用异步电动机作恒速运行,而通过适当的离合器实现调速的方法。用电磁转差离合器调速的方法,是在异步电动机和负载之间安装一台电磁离合器,通过滑环,改变电磁离合器的励磁电流,所得到的调速特性与采用转子电路串电阻控制的绕线型异步电动机大致相同。因离合器内部损耗大,应加强冷却,效率虽然不高,但简单。因为通常要求恒速特性,故往往附加由磁放大器或晶闸管组成的自动调速装置,与电磁离合器配套使用。另外,有时也使用磁粉离合器等来调速,这种离合器是在输入侧和输出侧之间的气隙里加入磁粉,靠励磁把输入与输出侧结合在一起。另外,若要求制动时,可采用推杆、涡流离合器、直流发电机串级、能耗制动等方法。

1.5.4 无换向器电动机的调速⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 无换向器电动机是随着电力电子技术发展而产生的新型电动机。其概念以前就有了,但实际应用是在晶闸管技术发展之后。从原理上看,它是由变频电源供电的同步电动机,而其控制特性却几乎与直流并励电动机一样。因此,控制方法原则上也与直流电机相同。无换向器电动机有两种供电方式,一种是由晶闸管列奥纳德与逆变器组合供电的直流式;另一种是采用周波变流器供电的交流式,两者基本特性一致。另外,逆变器换相方式有自然换相式和强迫换相式之分。自然换相式逆变器虽然非常简单,但对运行条件有各种限制,特别是存在不能自起动的困难。由于无换向器电动机可靠、维护方便,所以,在许多部门中取代直流电机,即使像造纸机和轧机

等也用上了无换向器电动机。

1.5.5 交流换向器电动机的调速(见第14篇第10章) 三相并励式交流换向器电动机的实例是三相异步换向器电动机;单相串励式则多用于交直流两用电动机和家用电器用电动机中。这种电动机是通过改变外加电压和移动电刷的方法来调速的。大、中容量电动机制成定子供电型式,并用感应调压器调节,产生与转子励磁法相等效的作用,这种有宽调速范围的电动机也正在得到实际应用。

1.6 电动机的转速自动控制⁽³⁾⁽⁴⁾ (见第7篇)

1.6.1 转速自动控制的一般情况 当负载变化时,电动机转速沿着转速-转矩特性而变化;另外,当电源电压、频率以及温度变化时,转速也会发生变化。虽然生产机械中存在着各种影响转速的因素,但是,有许多生产机械要求经常准确地保持速度恒定,这就必须对电动机进行恒速自动控制。图4是直流电动机转速自动控制的三种原理图。

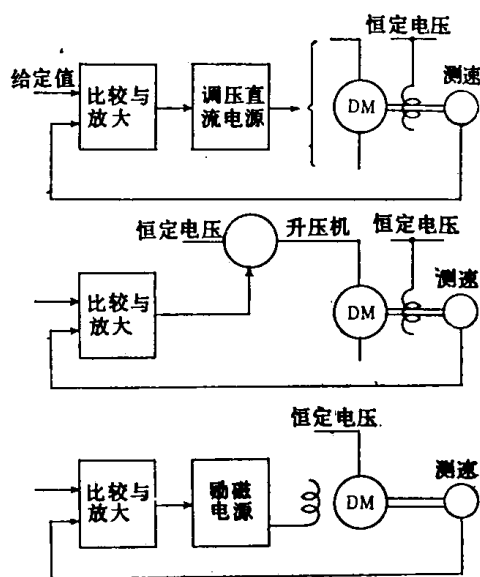


图4 转速反馈自动控制实例

上述三例都是按下述方法来保持转速恒定的。即:首先用测速发电机测量转速实际值,将实际值与给定值比较,若有偏差,则经放大器把偏差放大后,输入到电枢、升压机、励磁绕组等能实现调速的部分,从而使转速改变,最后消除实际值与给定值的偏差或将偏差限制在允许值之内,保持转速恒定。上述过程构成了一个从检测转速到与给定值比较、最后修正偏差的闭环回路,发挥了控制作用,

所以称为反馈自动控制或简称自动控制。

反馈自动控制除了有检测转速的转速自动控制外,还可以根据需要检测电流、张力、长度、厚度、位置等,并对这些量进行自动控制。此外,按给定值的不同施加方法,又可分为恒值控制、随动控制、程序控制等。虽然图4所示的电路只用了模拟量,但还有一种称为数字控制或计算机控制的方法,它是在控制闭环中的某一部分,把模拟量变成数字量,并对该数字量进行数据处理后,再变回到模拟量而构成控制闭环。电力传动应用领域中的自动控制,除转速恒值调节外,电流、转矩、功率等的自动调节也用得很多。

1.6.2 电动机的转速检测⁽⁴⁾ 转速检测方法大致有以下几类:

- (1) 测速发电机法
 - 永磁直流发电机
 - 他励直流发电机(一般型和单极型)
 - 交流发电机
 - 同步发电机(一般为旋转变磁型)
 - 异步发电机(转速表用的两相发电机等)
- (2) 频率、脉冲法
 - 电磁式交流波发生器(一般为脉冲波)
 - 电路通断法(以与转速相对应的频率使触点和电路接通或断开)
 - 光电法(频闪观测法、光断续法)
- (3) 反电势法(用直流电动机端电压来测量的简易方法)
- (4) 离心力法(用碳堆等把压力变换成电阻变化或其他量变化的方法)
- (5) 转速差检测法
 - 相位差法(用交流发电机的方法)
 - 自动同步机法(用自动同步机代替交流发电机)
 - 用差动齿轮机构的方法

最常用的方法有:要求精度为 $\pm 0.1 \sim 0.5\%$ 时,可用上述(1)的测速发电机法(永磁式或他励式)。要求精度比前者高时,用上述(2)的频率、脉冲法,靠数字检测。若用作转速数字控制,则可采用:(i)通过齿轮形转盘改变磁通,在线圈中感应出脉冲波;(ii)使有刻槽或光刻槽的圆盘旋转,利用光的断续来测量的方法等。

1.6.3 直流电动机的自动控制⁽³⁾⁽⁴⁾ 直流电动机控制性能优越。根据控制电动机的目的和所要求性能的不同,广泛采用列奥纳德控制、励磁控制、升压机控制、恒压运行的简单控制等各种方法。如果使这些方法的控制装置电子化,就能提高快速响应性,满足目前各种生产机械的要求,所以,广泛采用晶闸管、晶体管与集成电路等。

直流电动机适于作各种复杂控制,如通过检测电压取代检测转速而进行转速控制;通过测量电流来进行恒电流、恒转矩、恒张力控制;自动卷取控制;附加堵转特性;过电流和转矩限制;负荷平衡控制等。还可以通过测量加工件的状况进行进给量、质量等控制。

1.6.4 异步电动机的自动控制⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 用晶闸管进行电压控制的调速方式和用电磁离合器的调速方式,其固有特性为非恒速特性,故通常皆为带有闭环控制的恒速装置。尽管转子励磁法能得到恒速特性,但要求精度高时,多采用静止克莱玛方式和静止谢尔必斯方式。对于起重机下放重物等运转控制,可采用下述方式:和制动器相配合,在检测出转速后再进行比较放大的推杆电动机控制;涡流制动器和制动发电机的励磁电流控制等。

变频调速有气隙磁通恒定控制和电流-转差频率控制两种方式。前者可通过测量感应电压并使其与频率之比 V/f 保持一定的原则来控制电源电压和频率,或者装上一个测量气隙磁通的装置,按保持磁通恒定来控制电源电压或电流,这种方法具有良好的暂态响应特性,适用于精密调速。另一方面,对于电流-转差频率控制,若使电动机电流与转差频率之间保持一定的函数关系,则效率最高;若按恒电流控制,则可得恒转矩特性。在控制性能方面,还能得到与直流并励电动机相等效的特性。图5是电流-转差频率方式控制的一个例子。

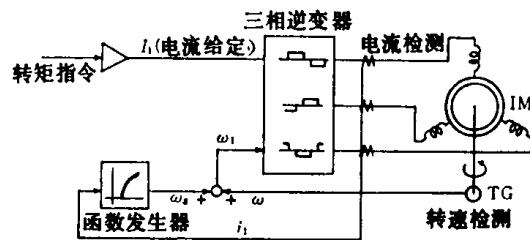


图5 电流-转差频率方式控制结构图

i_1 : 定子电流测量值; ω_s : 转差角速度;

ω_1 : 定子输入角速度

1.6.5 无换向器电动机的自动控制⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 无换向器电动机的原理与直流电动机相同,所以两者自动控制方式也大体一样。可通过改变电枢电压进行调速。当然,从原理上讲进行励磁控制也是可能的,但因有阻尼线圈,响应慢;另外,在自然换相式中,如果弱磁,存在最大输出功率显著下降等问

题,故一般不采用。再有,自然换相式无换向器电动机还必须进行确保换相裕度角的控制。

1.6.6 交流换向器电动机的自动控制⁽³⁾ 用伺服电动机移动电刷,同时自动控制感应调压器的三相异步换向器电动机正在推广使用。定子供电式三相异步换向器电动机只靠感应调压器进行自动控制。其自动控制回路为积分控制方式,即,检测转速值,经比较放大后,再控制伺服电动机。

1.6.7 转速协调控制⁽³⁾⁽⁴⁾ 随着近代工业的发展,许多生产过程变成了一条长长的连续性流水作业线,因各道工序的各个部分是由单独电动机传动的,为此采用转速协调控制,把它们有机地结合起来,使之联合运转,这一控制方式正在得到广泛应用。

若按传动方式分,转速协调控制有以下几种:

(i) 交流变频电源供电的交流电动机传动方式;

(ii) 直流电动机的调压、调磁控制方式;

(iii) 异步电动机转子励磁法方式;

(iv) 大功率自动同步机方式。

若按转速协调的精度分,转速协调控制有:

(甲) 近似转速协调 允许有百分之几的相关转速偏差,因此只靠电动机固有的恒速特性即可,不必进行转速自动控制;

(乙) 精密转速协调 要求精度为0.5~1%,要进行转速自动控制;

(丙) 同步运行 完全同步运行。

(1) 交流变频方式 这种方式是把相同的三相笼型电动机或三相反应式电动机多台并联,接到变频电源上,调节电源频率就能同时调节全部电动机的转速。因为异步电动机的转速只比同步转速低转差转数部分,故为近似转速协调。它可用于轧制自动线或生产自动线的辊道成组传动等。反应式电动机用于化纤的加拈卷绕装置等要求完全同步的机械上。

(2) 直流电动机的方式⁽³⁾⁽⁴⁾ 包括公共母线方式和单独电源方式。其最大特点是,可通过整定不同的给定值来得到各电动机间的任意转速差。故用于下述控制:造纸机分部传动的速度差控制、布料精织机的松紧辊控制、长料缓冲用的活套前后电动机相关控制,此外还有按张力、转矩、功率、电流等进行的转速协调控制,用于可逆轧机、卷取机等。

(3) 异步电动机的方式⁽³⁾⁽⁴⁾ 若用转子励磁法,其励磁方法和给定值可以和直流电动机一样地进行。图6所示的谢尔必斯方式中,共用一台电能回馈电动发电机组,调节该发电机的电压,就能使所有电动机协调运行,获得与公共母线的列奥纳德控制相同的效果。此外,还有过去就有的大功率自动同步机方式以及公共转子回路电阻的同步运行方式等。

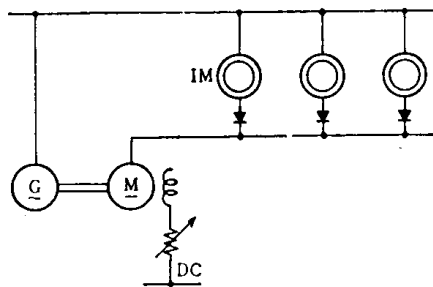


图6 谢尔必斯方式的转速协调控制

(4) 无换向器电动机的方式⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 除了原理上能得到与直流电动机相同的特性外,还具有能无维护、高转速、高电压、低惯量的特点,故正逐渐进入采用直流电动机的领域。无换向器电动机已在一部分造纸机和轧机上开始使用。

1.7 选择电动机的原则⁽¹⁾

(见第15篇)

(1) 应选择对负载具有最佳转速-转矩特性而且容量合适的电动机,还应考虑电源条件(变动范围、容量大小、功率因数等)。

转速和转矩的关系在起动、停车和运行时各不相同,但首先应考虑起动和停车时的情况,即:

(i) 起动时的负载转矩;(ii) 负载的 GD^2 ;(iii) 起动时间的限制和快速加速减速的要求;(iv) 起动电流的限制;(v) 起动时的冲击;(vi) 停车时的制动方法和制动时间;(vii) 起动、停车、正反转的频繁程度等。因这些要求对选定电动机、控制装置、附属装置影响大,故设计者必须作充分的了解。

其次,对运行中的特性应考虑下述几点:(i) 什么样的转速-转矩特性是合适的;(ii) 调速范围;(iii) 负载的最大转矩和转矩的变动;(iv) 对转矩和功率有无限制;(v) 是否要求制动或反转,在制动、反转过程中是否要把能量回馈给电源,即再生制动;(vi) 转速等特性是如何随温升或周围温

度而变化的;(vii)有无自动控制的需要,控制量是什么,控制方式和控制性能的关键等均应加以考虑。

额定功率不要裕量过大,否则,轻载运行时往往功率因数很低、损耗大,电刷等的消耗品多,换向器表面粗糙,起动时冲击大等。由于这些影响很大,所以决定额定功率时要充分注意。

(2) 应联系温升及使用环境,选择具有适当额定参数和通风冷却方式的电动机。温升极限由绝缘材料的寿命等决定,为了不致超出温升极限,有种种通风冷却方式。根据电动机是长时间连续运行,还是短时间运行,温升情况也不同,因此,必须根据温升和转矩两项条件,选定能满足要求的额定参数与型式的电动机。

在负载变动大的情况下,应根据平均损耗法确定额定参数,在考虑发热的同时,还要考虑能否承受最大转矩、最大功率等。

(3) 应有与使用现场环境相适应的外壳与防护形式。要了解使用现场的情况(温度、湿度、灰尘、油气、雨水、日照、煤气、化学性、烟火等)及其变化范围,而且,要考虑到通风、冷却以及冷却水是否受到限制。当空气污染严重时,必须考虑增设空气过滤装置等。

(4) 要考虑使用现场的状况和被传动机械的情况来决定其机械结构形式与安装方法,如:(i) 轴的方向和轴伸(单轴伸还是双轴伸)、轴的长度;

(ii) 怎样安装,是机座底脚安装,还是凸缘安装;是挂在墙壁上,还是吊装在顶棚上;(iii) 与被传动机械的连接方法(直接连接、齿轮箱、皮带传动、链条传动等);(iv) 是否要考虑轴向推力和弯曲转矩;(v) 对安装场所有无限制;(vi) 被传动机械有无振动和冲击,要注意轧机、起重装卸机械、船用机器等情况;(vii) 注意电动机的振动。还要注意基础是否不牢和不稳定。

(5) 应尽量选用可靠性高、互换性好、维护方便、具有标准功率的标准型电动机。要充分注意电动机在生产过程中所处的地位。

(6) 应根据电动机设备的价格和对其他方面的影响等重要程度来决定保护装置和控制方式。特别是与人员运送有关的机械,必须选择绝对可靠的设备和方案,而且应预先考虑好万一发生故障时的停车顺序。

(7) 选定方案时,不仅要考虑初期投资,而且要考虑运行费用。调速范围和控制性能也应不超出负载所要求的必须限度。长时间连续运转时,要选择效率高的方案。经济方面应考虑以下几点:

(i) 电动机设备的总价格比较;(ii) 效率、功率因数和电费;(iii) 全部设备的年维护费等。总之,应从设备合理化、科学管理的观点出发进行选择。

1.8 动力传递机构⁽¹⁾⁽¹⁰⁾

(见第35篇)

1.8.1 离合器和制动器 离合器是用来联接或脱开电动机与负载之间、电动机与电动机之间或负载与负载之间的联系的装置,而其动作是由电磁铁的吸引或脱开来完成的,称为电磁离合器。有通过离合器表面摩擦片的摩擦来作用的摩擦片式离合器,还有依靠齿形等结构互相啮合结为一体的牙嵌式离合器,而以摩擦片式的用得较广泛。

电磁离合器有许多种。例如,有在摩擦面上涂油润滑的湿式;有在摩擦面之间什么也不涂,能在空气中使用的干式;有摩擦面只一块的单片式和两块以上的多片式;线圈有转动的或是静止不动的等等。

制动器是利用旋转部分与静止部分之间的摩擦来进行制动的器具。有用电磁铁使两部分接触或分开的电磁制动器,也有用电动油压取代电磁力的电动液压制动器。电磁制动器有a、b两类,a类是通电起制动作用的,用于以控制为主的场合;b类通电则松开,适用于那些为了安全希望在停电等情况下能进行制动的场合。

另外,还有一种制动电动机,它把盘式制动器等制动装置和电动机组装在一起形成一个整体。

1.8.2 联轴器 联轴器的用途是把负载机械和电动机机械地直接联接起来。按其联接的固定程度可分为:刚性联轴器、弹性联轴器、万向联轴器等。

1.8.3 电磁转差离合器 电磁转差离合器是装于电动机和负载之间,通过磁场把它们联接起来的器具。电磁转差离合器与异步电动机不同,异步电动机是由多相交流电产生的旋转磁场带动转子旋转,而电磁转差离合器是由主动轴转动直流励磁的磁极,产生旋转磁场,带动从动轴旋转。

因结构不同,电磁转差离合器分为:鼓型、笼型、高阻笼型、绕线型等。除鼓型的转矩和转速关系为

堵转特性外,其他型式的转矩和转速关系与同名的异步电动机特性很相似。无论哪一种型式都是经滑环通入励磁电流并加以调节来进行调速的。

还有一种磁粉离合器,在其输入侧和输出侧的旋转圆盘间充填磁粉,通过磁场把两者结合起来,可得到恒转矩特性。

1.8.4 机械传动装置 有摩擦轮、齿轮、皮带传动、链条传动等。

1.8.5 机械变速装置 有的用齿轮箱、锥形皮带轮等变速,有的用液压设备变速(液压联轴器、液压变速器、液压马达),有的用电磁液压设备和磁粉设备变速等。

第2章 起重机

2.1 起重机的种类^{(11)~(15)}

起重机是依靠取物装置的上、下及水平(左右、前后或回转)运动,即三维空间的运动来搬运物料的机械装置。按结构可分类如下:

2.1.1 桥式起重机 在工厂、发电厂等厂房上部,或室外建筑物的上面铺设轨道,在轨道上行走进行装卸作业的起重机称为桥式起重机。它由大车和能移动起升机构的运行小车两部分组成。

小车运行方式有自行式、钢丝绳牵引式、人力操纵式等。按取物装置的形式来分类,有吊钩式、抓斗式以及带爪和夹钳等特殊取物装置的。通常的桥式起重机以带吊钩的自行式起重小车为最多。

桥式起重机按用途分,大致有一般工厂用桥式起重机、冶金专用桥式起重机(铸造起重机、钢锭起重机、加料起重机等),及其他特种桥式起重机。

在JIS B 8801(1974)中,把带吊钩的自行式起重小车的桥式起重机,分成高速型、普通型和低速型,并规定了200 t以下桥式起重机的主要部件、精度和功能等。

(a) 一般工厂用桥式起重机 根据起升机构形式、用途等可分成:(i)修理及小规模装卸用的电动葫芦式桥式起重机;(ii)机械工厂、装配工厂等的产品搬运,装配作业用的带吊钩的自行小车式普通型桥式起重机;(iii)煤、水泥等散装物料装卸用的抓斗式桥式起重机。

(b) 冶金专用桥式起重机

(1) 铸造起重机 这是带有特殊吊钩以吊运钢水包(或铁水罐)的桥式起重机,用于搬运钢水和浇注。钢厂的环境条件恶劣,温度高,粉尘多,而且吊运的对象都是铁水、钢水等。因此起重机的

设计和方式要能适应这种恶劣环境,尤其要重视安全和可靠性。

(2) 钢锭起重机 这是带有脱锭或搬运钢锭的特殊装置的起重机。例如,有能把钢锭从钢锭模中脱出来再搬运的脱锭起重机;有不进行钢锭的脱模,而是将钢锭在均热炉处进行装入、取出、搬运等工作的夹钳起重机,以及整理和搬运锭模的锭模起重机等。这些起重机使用特别频繁,几乎在满负荷下连续反复运转,冲击大,而且都在高温下工作(图7)。

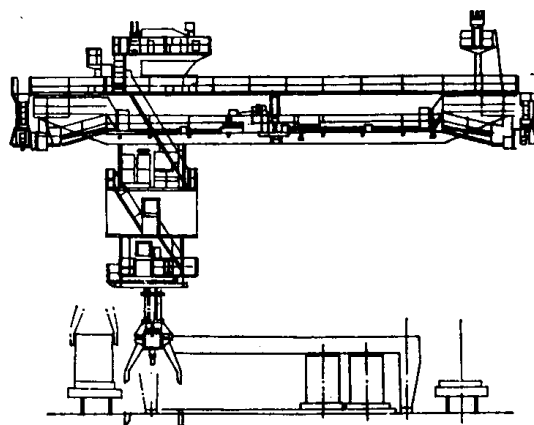


图7 钢锭起重机

(3) 加料起重机 是具有特殊的料斗,用于向平炉、转炉装废钢料及主炉料的起重机。此外,还有原料场处理原料用的料场起重机、带翻动锻件的翻料器的锻造起重机、带有淬火所需的快速下放装置的淬火起重机等。

(c) 特种桥式起重机 这是为特殊用途、具有特别结构和功能的起重机。例如,有带回转起重小车和辅助梁的桥式起重机,还有带货叉装置的桥式堆垛起重机,货叉装置可在从起重小车悬挂下来

的导轨架上下移动。

2.1.2 臂架式起重机 这是港口装卸货物及建筑工程和其他场合所使用的起重机。在结构上具有一个从回转部分伸出的叫做臂架或者臂杆的伸臂，通常能回转 360 度。这类起重机总称为臂架式起重机，有下面几种：

(a) 悬臂起重机 悬臂起重机是最普通的机种，有不带支座的，也有带塔形、门形、半门形支座的等，分别称为低架式、塔式、门座式、半门座式悬臂起重机。

(b) 水平变幅起重机 这是以做水平变幅动作为主的臂架式起重机，它装有连杆或杠杆等机构，使臂架无论是做起伏或者伸缩运动时，吊运负载的移动都保持水平状态，变幅时不浪费动力，工作性能良好。

(c) 塔式悬臂起重机 这是运行小车能在塔架伸出的水平悬臂上横行的一种臂架式起重机。由于提升高度大，工作幅度大，在大范围起重作业中能运用自如，故被用于造船或高大建筑物等的建设方面。

此外，还有安装在建筑物的柱子上或墙壁上的壁行起重机；仅用支柱支撑回转机构的定柱式回臂起重机；把臂架起重机装在船体上的浮式起重机；能在铁轨上行走的铁路起重机；配备有轮胎或履带，不用铁轨也能行走的移动式起重机；以及各种各样的转臂起重机等。

2.1.3 龙门起重机 这种起重机，有一根主梁，该主梁装有可在轨道上行走的支腿，在主梁上装有起重小车或带悬臂的起重吊。依据起重物品的不同，分成吊钩式和抓斗式两类。起重小车有自行式、钢丝绳牵引式和人力操纵式等三种。此外，作为复合型，还有人操纵回转起重小车式、滑出式、悬臂式、水平变幅式等各种龙门起重机。

吊钩式，用于工厂以及造船厂等户外一般装卸作业和钢铁厂等装载产品。抓斗式用于煤、矿石等散装物料的装卸作业上。

2.1.4 集装箱起重机 这是集装箱专用码头装卸用的高效能起重机。具有集装箱专用吊具，一般为移动式龙门起重机结构。起重小车采用动载荷小的钢丝绳牵引方式。根据安装地点，可分成船上装载型和码头设置型，而以后者居多。此外，为了缩短吊运时间，在仅有空集装箱、吊具的轻载荷时，

通常要求能加快提升速度的轻载荷增速运转（图 8）。

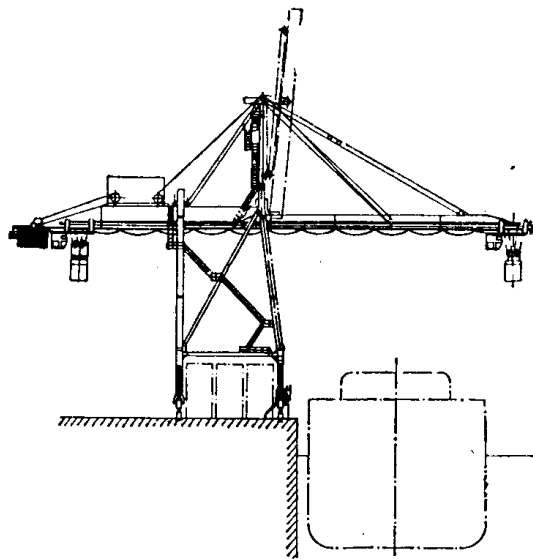


图 8 集装箱起重机

2.1.5 装卸桥 这是把矿石、煤之类的散状物料从船舶向陆上卸货专用的高效能起重机。带有料斗、给料器、输送机等设备。一般不把它叫作起重机而称之为装卸桥。从基本形态看，可分为悬臂俯仰式和门式等型式（图 9）。而门式装卸桥，按照其起重小车形式，又可分为钢丝绳牵引式、人力操纵式以及自行式等。按行走方式，可分成固定式和移动式。但除小容量的特殊场合外，一般都是移动式。其装卸能力从 300t/h 级的小容量到 2000~2500t/h 级的大容量都有。

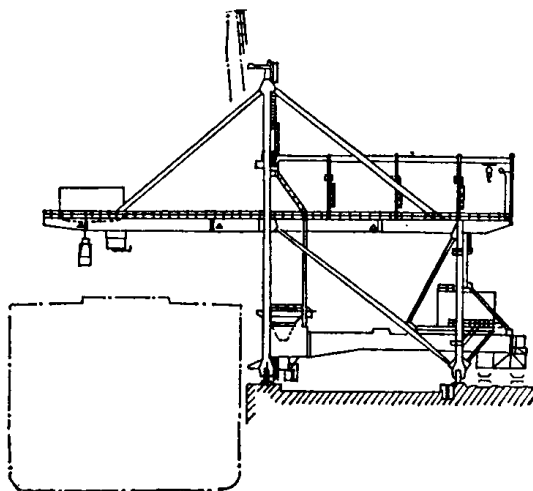


图 9 龙门式(起重机式)装卸桥

另一方面，为适应卸货设备的大容量化，需将散装货物连续地卸货。例如，多斗提升机式的大容

量连续运转的装卸桥已正在设计并拟付诸实际应用之中。

2.1.6 缆索起重机 这是在发电厂、堤坝等建造以及贮木场等地进行大面积地上装卸作业时所使用的起重机。小车在以两个塔架之间张紧的钢索作的轨道上行走。按照使用目的和地形等,可采用固定式和移动式(单侧移动式、双侧移动式)。

2.2 所需功率^{(11)~(13)(16)(18)}

2.2.1 所需功率 一定速度下所需要的功率,可按下述方式估算。

(a) 起升用功率

$$L_1 = \frac{w_1 v_1 \times 10^3}{6120 \times \eta_1} \quad (\text{kW})$$

式中 w_1 :起升载荷(t); v_1 :起升速度(m/min); η_1 :起升装置总效率(通常为0.67~0.8)。

(b) 小车运行用功率

$$L_2 = \frac{r_2 w_2 v_2}{6120 \times \eta_2} \quad (\text{kW})$$

式中 w_2 : w_1 +起重小车自重(t); v_2 :小车运行速度(m/min); r_2 :小车运行阻力(kg/t); η_2 :小车运行机构的机械效率(通常为0.75~0.8)。

用钢丝绳牵引小车时,要加上将钢丝绳的阻力。

(c) 大车运行用功率

$$L_3 = \frac{r_3 w_3 v_3}{6120 \times \eta_3} \quad (\text{kW})$$

式中 w_3 : w_2 +桥架重量(t); v_3 :大车运行速度(m/min); r_3 :大车运行阻力(kg/t); η_3 :大车运行机构的机械效率(通常为0.67~0.75)。

户外作业时,还要附加风载荷。

注:(b)和(c)项的运行阻力,滚动轴承为7.5~10kg/t,滑动轴承为12~15kg/t,实际的运行阻力应将歪斜运行的附加阻力估计在内,取为此值的120~150%,估算时取作20kg/t。

另一方面,加速时所需的功率 L_a 如下式所示:

$$L_a = \frac{r_a w v}{6120 \times \eta} \quad (\text{kW})$$

式中 w :加速部分的全部重量(t); v :速度m/min; r_a :加速阻力(kg/t), $r_a = (1000/60g) \times (v/t_a) \cong 1.7 \times v/t_a$ (kg/t); t_a :加速时间(s); η :机械效率。

2.2.2 负载持续率(%ED)、起动频度 通常的起重机,其使用状态极不规则,负载持续率和起动频度,是在调查起重机的用途和使用目的以后,根据经验规定下来的。作为使用频度的参考资料,有美国钢铁工程师协会(AISE) No 6及电气学会装卸机械用电气产品专门委员会的调查报告等。

进行有规律作业的抓斗桥式起重机及龙门式起重机,可按照作业线图决定负载持续率及起动频度等。

2.2.3 电动机输出功率的确定 为克服负载转矩,应选择可满足下面两个条件的电动机,一是根据进行规定运动所需的转矩而确定的额定转矩,另一是根据连续使用所需的热容量而确定的额定温升。通常的起重机,如前项所述,使用条件不能确定,可以由最大载荷和速度所求出的一定转速下所需的功率来确定电动机的输出功率。但是当使用频度高时,或者小车与大车高速运行、回转时,则必须求出包括传动系统在内的加、减速时所需的动力,最后校验所选电动机的最大转矩。并且,一般视负载持续率的裕度情况,可以不校验额定温升。但当使用频度很高时或者进行特殊控制时,则要在指定条件下,对额定温升进行校验。

大容量的缆索起重机、装卸桥、集装箱起重机等,以有规则的重复作业为主来决定其作业线图。这类起重机一般都采用直流电动机,如下述那样,假定按额定转矩选定了电动机,则可以根据“方均根值”(RMS)法校验电机容量是否过大或不足,从而选定合适的输出功率及额定值的电动机。

$$L_{rms} = L \sqrt{\frac{\tau_a^2 t_a + \tau_r^2 t_r + \tau_d^2 t_d}{c_a t_a + c_r t_r + c_d t_d + c_s t_s}} \quad (\text{kW})$$

式中 L_{rms} :按“方均根值”法确定的功率(kW); L :假定的电动机额定输出功率(kW); τ_a 、 τ_r 、 τ_d :分别为加速转矩、额定转矩、减速转矩对额定转矩的比值; c_r :额定转速下的冷却系数(1); c_a 、 c_d 、 c_s :分别为加速、减速和停车状态下的冷却系数; t_a 、 t_r 、 t_d 、 t_s :分别为加速、全速、减速及休止的时间(s)。

“方均根值”法是根据电动机电流与转矩成正比、温升取决于铜耗来考虑的。如果这种考虑难以成立时,例如,采用异步电动机的晶闸管控制方式时,温升的校验就必须按照“平均损耗”法(%ÄED)来进行。