

矿山固定机械的自动控制

杨惠文 编

中国矿业大学自动化系
一九九六年十二月

矿山固定机械的自动控制

杨惠文 编

中国矿业大学自动化系
一九九六年十二月

前 言

《矿山固定机械的自动控制》主要是研究矿山固定机械的电力拖动及其对控制系统的要求,课程内容的重点主要是介绍矿井提升机的拖动及控制问题。学习本课程的目的为了加强对学生在专业知识方面的培养,提高实际工作能力。

本教材的特点是选择材料比较新颖,注意先进性,同时也注意与我国工程实际结合,其中有不少是我们在这个领域的科研成果和实际经验。

本教材是在谢桂林教授所写的初稿基础上,由杨惠文副教授编写,刘允斌副教授审阅。

绪 论

矿山机械的分类及对控制系统的要求

一、矿山生产机械的分类:

矿山生产机械种类繁多,根据生产机械的电动机容量以及工作性质可分为固定机械和移动机械两大类。

1. 固定机械:

煤矿企业中,使用的大型固定生产机械,主要包括提升机、通风机、压气机,以及水泵,俗称四大件,它们在矿井生产中占有很重要的位置。

提升机是联系井上下的咽喉,其主要任务是提升煤炭、矿石和矸石,下放材料,升降人员和设备。

通风机是为矿井通风安全服务的,特别是在有瓦斯沼气矿井中,风量不足会引起沼气积聚乃至发生沼气爆炸。

压气机是为风动工具提供动力,煤矿生产中有很多生产机械采用压气做为动力,如风镐、风钻等采掘生产机械。

水泵是为了防止矿井被水淹没,将井下涌水汇集到井底车场水仓,再用水泵排到地面。

2. 移动生产机械:

矿井用移动生产机械指的是经常移动的机械,如电机车,综采机组,链板及皮带输送机、装载机。移动机械是为采掘和运输服务的。

电机车主要用于井下大巷运输,将煤或矸石运往井底车场,通过提升机提到地面。在地面工业广场上也采用电机车运输。

综采机组用于井下回采工作面,它可将工作面上的煤采出。

链板运输机和皮带运输机是将综采机组开采出来的煤,通过它们和电机车送到井底车场,再通过提升机或大胶带输送机提升到地面。

装载机是将掘进出来的岩石装入矿车,通过电机车运出。

二、矿山机械的电力拖动及对自动控制系统的要求:

1. 固定机械工作特点及对自动控制系统要求:

前面我们讲到的四大件生产机械,按照电力拖动及控制系统的复杂性来讲,莫过于提升设备,因为提升机要求往复、周期性地按照给定的速度图运行,即需要经常起动、制动、停车、反转,因此需要精度较高的调速系统和位置控制,同时还需要有完善的安全保护系统。

由于矿山机械种类繁多,我们不能把所有的生产机械都拿来研究,因此在讨论中不能不有所侧重,由于矿井提升机的控制系统具有典型意义,因此本课程的侧重点主要就是研究矿井提升机的自动控制系统,如果我们搞清了提升机的控制系统,其它的生产机械也就容易理解了,这样就可做到举一反三,事半功倍的效果。

下面简单的叙述其它生产机械工作特点及对控制系统的要求:

(1)通风机:又称主扇,在我国多用轴流式,拖动方式多采用不调速的同步电动机或异步电动机,过去大多采用开环控制,即通风机都是恒速工作,因此一般都是不调速系统,随着科学技术的发展,和节能要求,近来很多矿井都在实现通风系统的闭环调节,因为通风网络参数经常变化,由于采掘工作面的推进,巷道网络形状的改变,向更深水平开采时,瓦斯涌出量及湿度的提高,使通风阻力、通风量,和矿井负压等通风网络的主要参数发生变化,因此希望通风机的工况点也能相应改变,就需要构成闭环调速系统,近年来异步电动机的可控硅串级调速系统已在通风机中得到应用。

通风机自动化的要求:

主扇应有记录通风量和负压的自动记录仪器,当主扇偏离给定参数时,向控制台发出信号。

应对主扇电动机实现远距离控制,并在必要时实现反风。

目前研究的课题是通风系统的综合自动化,其中包括研制检测瓦斯,一氧化碳,煤尘,风速,负压等参数的传感器,通过电子计算机对数据进行处理,然后发出指令对通风网络和通风机进行参数调整。

(2)水泵:设在井下中央水泵房的排水设备台数和容量,应根据矿井涌水量来选择,水泵的容量最好按一、二台水泵就能将全矿井涌水量排出,这样排水系统和控制系统比较简单。

排水设备都采用离心式多级水泵,其扬程根据排水高度而定,流量根据矿井最大涌水量来确定。

排水设备拖动电动机多采用双鼠笼电动机,控制系统一般采用开环控制,水泵自动化的问题主要是应根据水仓水位自动开、停水泵,各台水泵轮换工作,以保证各台水泵磨损一致,能自动切除有故障的水泵并投入备用泵,有必要的保护和监视系统,如流量保护、轴承过热保护、不上水报警等。

水泵自动化还要考虑程序控制,在起动电动机时,排水管的主阀门应先不打开,(停泵时关闭),使电动机空载起动,当电动机起动后缓缓打开主阀门,可采用电动阀门望负开闭阀门的任务。停泵时应先关闭主阀门,然后停泵,否则会发生水锤现象,打坏水泵轮叶。

(3)压气机:压气机的拖动采用同步电动机或异步电动机,采用同步电动机拖动可提高电网功率因数,同步电动机可采用可控硅自动励磁装置。压气机的自动化在于根据矿井需用压气量来改变压气机运行台数,当气压达到一定压力时,应能自动停机。

2. 移动机械的停点及对控制系统的要求:

(1)电机车的拖动采用直流串励电动机,以获得良好的牵引停性,对电机车调速的要求并不高,所以不采用闭环控制,但电机车起动、停止频繁,采用起动电阻起动,消耗大量能量,目前采用可控硅脉冲调速是很有益的。

井下电机车的调度,采用信集闭系统,可缩短作业时间,避免撞车和追尾事故,并可提高电车的利用率和生产率。

(2)综采机组用于井下回采工作因,进口机组容量可达 300kW,国产机组达 170kW,目前正在研究综采机组全部自动化问题。

(3)井下链板和胶带输送机及装载机都采用异步电动机拖动,链板和胶带输送机主要是集中控制问题,为了节省人员和实现多台运输机的联锁控制,采用集中控制具有很大优点。

矿山固定机械的自动控制

目 录

绪论.....	(4)
第一章 矿井提升系统.....	(1)
§ 1-1 矿井提升机.....	(1)
§ 1-2 矿井提升系统的组成.....	(1)
§ 1-3 提升机的运行特点及对拖动控制的要求.....	(4)
§ 1-4 提升系统的速度图和力图.....	(6)
§ 1-5 提升机的制动保护装置.....	(19)
第二章 提升机的交流拖动系统.....	(21)
§ 2-1 交流拖动控制系统的种类和功能.....	(21)
§ 2-2 交流拖动控制系统电气控制线路图.....	(22)
§ 2-3 起动电阻的计算.....	(40)
§ 2-4 转子电阻的控制原则及整定方法.....	(56)
§ 2-5 动力制动控制系统.....	(60)
§ 2-6 低频控制系统.....	(63)
§ 2-7 电气限速保护装置.....	(76)
第三章 提升机交流拖动系统的自动控制.....	(86)
§ 3-1 自动化提升的优点及其要求.....	(86)
§ 3-2 减速阶段的自动控制.....	(87)
§ 3-3 低速爬行阶段的控制.....	(92)
第四章 交流拖动系统的调试.....	(94)
§ 4-1 参数测定.....	(94)
§ 4-2 电阻的调整.....	(95)
§ 4-3 继电器的整定.....	(95)
§ 4-4 限速保护回路的整定.....	(99)
§ 4-5 可调闸控制器回路的调试.....	(100)
§ 4-6 动力制动回路的调试.....	(101)
§ 4-7 低频电源的调试.....	(102)
第五章 交流拖动提升机的现代化.....	(104)
§ 5-1 交流拖动提升机现代化的背景.....	(104)
§ 5-2 提升机的监视及保护系统.....	(104)
§ 5-3 交流拖动控制系统的改进.....	(108)

第一章 矿井提升系统

§ 1-1 矿井提升机

一、矿井提升设备的作用与任务：

矿井提升机是矿井生产的重要环节，矿井提升的主要任务是将有用矿物或矸石从井下提到地面，将材料、设备和人员运往井下，或从井下运到地面。它在矿井生产中占有极其重要的地位。

二、矿井提升设备的特点及要求：

矿井提升是井上下运输的咽喉，为了保证生产和人员的安全，提升系统设备和运行必须安全可靠，一旦发生故障，不仅使全矿生产陷于停顿，而且可能造成严重的人身事故。

一般提升设备是非连续运行的，即需要经常起动、停车、反向运行，要保证设备以较高的速度安全的往返运行。要求提升系统的控制性能好，应有较高的调速性能和位置控制，同时具有可靠的安全保护。

矿井提升设备是矿山大型设备之一，其功率大，耗电也大，应尽量发挥设备能力，减小提升循环时间，以减小吨煤电耗，矿井提升设备的造价以及运转费用，也就成为影响矿井生产技术经济指标的重要因素之一。

§ 1-2 矿井提升系统的组成

一、提升设备的组成：

矿井提升设备是由提升容器、提升钢丝绳、滚筒、减速器、井架以及装卸载设备等组成。

二、提升类型：

1. 按结构和传动方式分：有缠绕式和摩擦式之分，缠绕式的主要工作机械是滚筒，有单滚筒、双滚筒，圆柱形和圆锥形滚筒之分，目前均为圆柱形。摩擦式中分单绳 Koepe 式和多绳滚筒式。常用的是单绳缠绕式和多绳摩擦式两种。

(1) 单绳缠绕提升机：

单绳缠绕式提升机如图 1-1 所示，是将钢丝绳的一端固定到提升机的滚筒上，另一端绕过井架上的天轮与提升容器相连接，利用两个滚筒上钢丝绳的缠绕方向的不同，当提升机转动时，使两个容器一个向上、一个向下，以完成提升任务，目前我国浅井及中等深度的矿井多使用单绳缠绕式双滚筒提升机。其为不平衡提升系统。

(2) 多绳摩擦式：可分塔式和落地式二种：

由于单绳缠绕式受滚筒容绳量的限制，提升能力又受单根钢丝绳强度的限制，因此在井较深年产量大的矿井多采用多绳摩擦系统，多绳提升由于使用数根钢丝绳代替一根钢丝绳，

并将钢丝绳搭放在主导轮上,提升容器悬挂在钢丝绳的两端,靠摩擦力实现容器的提升与下放运动。

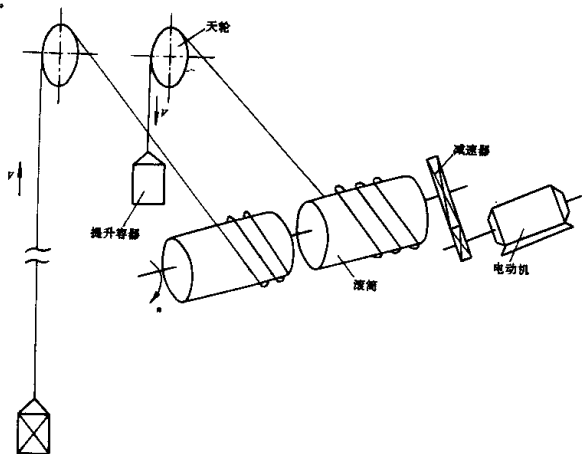


图 1-1 单绳缠绕式提升系统

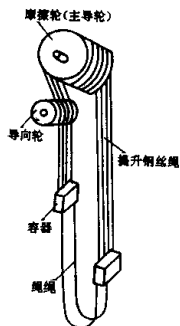


图 1-2 多绳摩擦提升示意图(塔式)

图 1-2 为多绳摩擦提升系统示意图,图中提升钢丝绳用四根,这样钢丝绳的直径变小了,摩擦轮直径因而也变小,与单绳提升比较,钢丝绳与摩擦轮的直径均减为一半,因为多绳

提升采用有尾绳提升系统,(静负载基本保持不变),为平衡提升系统。由于多绳提升系统具有突出的优点,目前被广泛采用。

2. 按提升容器的种类分:

(1)箕斗提升设备:用于主井提升,采用箕斗提升,由于装卸载快,所以生产率高,一般都采用底卸式,当箕斗运行到卸载曲轨时,通过装在扇形闸门上的导轮,将扇形闸门打开,煤自动从箕斗底部流入煤仓。

(2)缶笼提升设备:大型矿井用于副井提升,小型矿井也可兼作主井提升,它是将矿车推入其中,需设井底车场和地面车场。缶笼主要用于上下人员,材料,设备或矸石,也可用来提升有益矿物。

3. 按井筒的角度分:

(1)立井提升:提升容器在井筒中,作上下往复运行,负载具有位势负载性质。

(2)斜井提升:可采用斜井串车提升,即采用矿车做为提升容器。也可采用斜井箕斗提升,其具有生产能力大,装卸载自动化等优点。还可采用斜井胶带运输机提升,其具有安全可靠,运输量大优点。

4. 按用途和任务分:

(1)主井提升:用来提升有益矿物。

(2)副井提升:用来升降人员、材料、设备和矸石、副井也称辅助提升设备。

三、拖动动力:

提升机需要原动机进行拖动,原动机可用下面几种形式:

1. 蒸气动力:热效率低,已被淘汰。

2. 压气动力:用于需要防爆的场合,效率低。

3. 液压传动:防爆,体积小但效率低,噪声大。

4. 电力拖动:效率高,电能传输方便,电力机械的控制性能好,而且具有电气制动功能,是目前用的最多的一种传动方式。

四、电力拖动的主要形式

1. 按电流的种类分:

按电机的电流,可分为交流拖动和直流拖动两大类。交流拖动主要采用绕线型感应电动机,用改变转子回路的电阻来控制转矩或转速,也有采用饱和电抗器或串级调速方式进行转矩或速度控制的,小容量的绞车也有采用鼠笼型电动机拖动的,为了满足调速要求,可采用改变极对数,改变定子电压或采用各种联轴器或离合器。由于电力电子技术的发展,交流调速系统越来越受到人们的重视,如交流直接变频的变频调速系统和大型无整流子电机用于矿井提升机的拖动。

直流拖动有直流发电机——电动机组和可控硅供电两种形式,主要用于大型提升机的拖动。

2. 按电机的数量分:有单机和双机拖动之分。

3. 按连接形式分:有带减速器的和直连式两种。由于提升机大多选用高速电动机,所以需经减速器进行减速,达到所需设计的提升速度,但为了提高传动效率和工作的可靠性,可以不用减速器,而采用低速电机与提升机主轴直联,虽然低速电机造价较高,且效率稍低,但如采计及可以免除减速器的损失,综合考虑还是合算的。我国已开始生产低速直流直连电机

提升机。

五、拖动形式的选择：

矿井提升设备的选型是否合理，直接影响矿井的基建投资、生产能力、安全可靠以及吨煤成本，在选型时主要考虑以下几个因素：

1. 初期投资费用：一般交流拖动系统，初投资较直流拖动系统便宜，但控制性能和调速性能不如直流拖动系统。

2. 运行费用（包括维护费用）：交流拖动调速、起动需用转子附加电阻，特别是在爬行二次给电阶段大部分能量消耗在电阻中，运行费用较高，直流系统调速性能好，运行费用比较低。

3. 控制性能：如前所述，直流电机的起动和调速性能优于交流电机。但随着电力电子技术的发展，采用可控硅变频的交流拖动系统，也具有调速性能好等优点，目前很有发展前途。

4. 容量的限制，目前我频交流拖动受容量的限制，我国生产的磁力控制站最大额定电流为 900 安，电压为 900 伏，拖动最大容量为 1000 千瓦，双机拖动可达 2000 千瓦。

拖动容量大于 1000 千瓦和提升速度 10m/s 以上时，一般采用直流拖动比较合适。直流拖动中，用发电机——电动机组拖动系统的运行效率低，金属消耗量大、建筑费用高，限制了它的发展，而可控硅供电的直流拖动系统已得到广泛的应用。

§ 1-3 提升机的运行特点及对拖动控制的要求

一、提升机的运行特点：

1. 具有周期性：

提升机的运行情况，如图 1-3 所示，在 t_1 时刻，提升机开始起动，到 t_2 时刻提升机由静止加速到最高运行速度 V_m ，当运行到 t_3 时刻，提升机开始减速，到 t_4 时刻速度降至爬行速度，爬行速度是为了容器准确停在需要的位置而设置的。当达到 t_5 时刻，容器到达最终位置，提升机停车，而容器 B 到达井底，下一次提升就是容器 B 按照上述速度图运行，如此按一定规律，往返周期运行。

2. 电动机的两种工作状态：

根据电动机负载情况不同，电动机轴上受的力方向有时与容器的运动方向相反，如向上提升重物，就需要电动机发出拖动转矩，即为电动状态，我们称之为正力。有时轴上受力的方向与容器运动方向相同，如提升机下放重物，此时为了限制下放重物的速度，可采用制动状态，使电动机发出转矩的方向与重物方向相反，我们称之为负力。

3. 减速阶段电动机的运行状态：

可能有三种情况：自由滑行、负力减速、正力减速。

(1) 自由滑行：减速时，电动机从电网断开，电动机的拖动转矩为零，系统在阻力下逐渐减速。

(2) 负力减速：减速时，使电动机产生力矩的方向与运动方向相反，此时电动机工作在制动状态，保证系统按要求的减速度进行减速。

(3) 正力减速：此时电动机仍处于电动状态，只不过产生的转矩小于负载转矩，这样才能使提升系统按要求的减速度减速，否则减速度将过大。

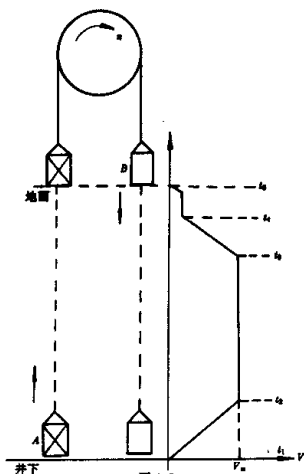


图 1-3

4. 加速度、减速度的限制：

由于提升系统存在有绳索(弹性环节)，多数情况下还存在着减速器的齿轮间隙，加速度过大，则会产生过大的机械动应力，对机械有害。煤矿安全规程规定，当升降人员时，加速度不得大于 0.75m/s^2 ，而在主井提升中，一般根据设计规范的规定，加、减速度也最好不大于 1.2m/s^2 。

近年来，为了改善钢丝绳在起动、制动过程可能出现的动态张力，采用变加速度控制，或称加速度变化率限制，这样可以在加、减速阶段减小冲击，同时也可减小钢丝绳的摆动。

在这种控制方式下的速度、加速度和加速度变化率的图形示于图 1-4。

二、提升机对拖动系统的控制性能要求：

1. 调速范围较宽，可达 100 以下。
2. 箕斗容器出卸载曲轨的速度要受到限制，一般不得超过 1.5m/s ，否则冲击大。
3. 升降人员时，加、减速度受到限制，与升降货载时速度图不同。
4. 起动和制动过程实现加、减速度的自动控制。
5. 便于实现自动、半自动控制，以减轻工人的劳动强度，避免由于人为错误操作造成的事故，提高运行安全性，充分发挥提升设备的能力。
6. 各种保护要完善。

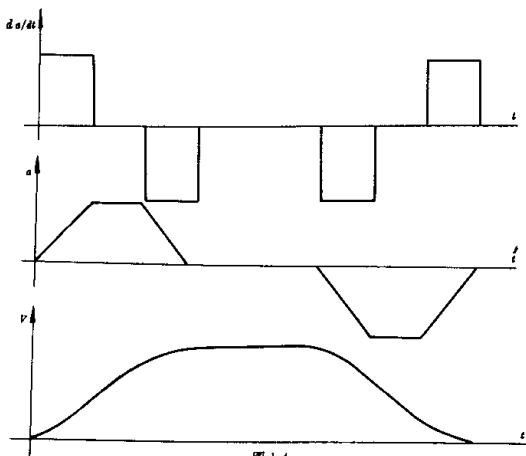


图 1-4

§ 1-4 提升系统的速度图和力图

一、速度图的确定

根据不同使用条件和要求,可选用不同的速度图,应用较多的有三阶段速度图和五阶段速度图,如图 1-5 所示。

1. 三阶段速度图:如图 1-5(a)

用于缶笼提升系统,缶笼提升无卸载曲轨,可只设一个主加速级,加速度为 a_1 。

2. 五阶段速度图:如图 1-5(b)

用于箕斗提升系统,其特点设有初加速级和爬行阶段。

初加速阶段 t_0 :初加速度 a_0 较小,主要是箕斗受出卸载曲轨的速度不大于 1.5m/s 的限制,这样可减小对井架的冲击。

主加速阶段 t_1 :空箕斗出卸载曲轴后,为了缩短起动时间,将加速度提高为 a_1 ,直至最大提升速度 V_m 。

等速阶段 t_2 :此阶段,提升容器以不变的速度 V_m 在井筒中运行。

减速阶段 t_3 :此时重载箕斗已接近井口,空箕斗接近装载点,应减速,减速度为 a_3 ,直至速度降为 V_k 。

爬行阶段 t_4 :此时重载箕斗进入卸载曲轨,为了减少冲击,容器应以低速爬行,爬行速度 V_k 一般不超过 0.5m/s。

停车休止阶段:此时提升机停止运转,井口箕斗卸载,井底箕斗装载。

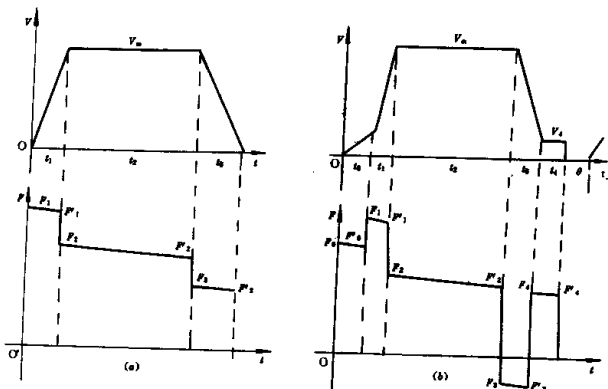


图 1-5

二、力图的计算:

提升力图是验算提升电动机和计算起动电阻的依据,根据运动方程式可计算出提升各阶段所需要的力矩(或力)。

1. 运动方程式:根据“拖动与控制”中所述拖动系统的运动方程式为:

$$M - M_s = M_j$$

式中 M_s 为负载转矩, M_j 为惯性力矩,上式也可用力来代替:

$$F - F_s = F_j$$

式中 F 为作用在滚筒圆周上的拖动力; F_s 为静阻力; F_j 为惯性力, F_j 可表示为:

$$F_j = \sum ma$$

式中 $\sum m$ 为系统总的折算质量。

2. 静阻力 F_s :

根据提升系统示意图 1-6 可知,提升系统的静阻力包括静力和阻力,是由有益载重,容器自重,钢丝绳重以及矿井阻力等组成。我国矿山立井多用双容器提升,此时提升静阻力即为重载侧静阻力与空载侧静阻力之差。矿井阻力包括井筒气流和缶道对容器运动的阻力。

图 1-6 为缠绕式提升机,现在研究容器已运行了 h 米时的提升静阻力,此时重载侧的静阻力为:

$$F_s = Q + Q_0 + P(H - h)$$

式中 Q ——有益载重, N;

Q_0 —— 容器自重, N;
 P —— 钢丝绳每米重力, N/m;
 H —— 提升高度, m;
 h —— 已运行的距离, m。

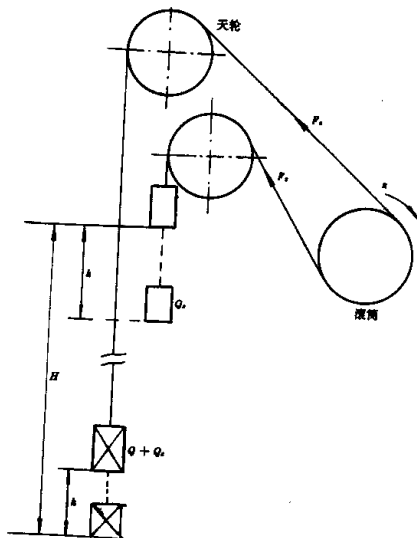


图 1-6

空载侧的静阻力为

$$F_1 = Q_0 + Ph$$

提升系统的静阻力, 为二根钢丝绳的静张力差

$$F_s = F_1 - F_2 = Q + P(H - 2h)$$

系统中, 井架高度那部分钢丝绳重力和钢丝绳弦长的重力互相抵消。上式中未考虑矿井阻力的影响, 为了计算方便, 目前通常是将其数值以有益载荷的百分数来估算, 对箕斗提升取 $0.15Q$, 对缶笼提升取 $0.2Q$ 。考虑矿井阻力系数后, 提升系统的静阻力可用下式表示

$$F_s = KQ + P(H - 2h)$$

式中 K —— 矿井阻力系数, 箕斗提升取 1.15, 缶笼取 1.2。

3. 惯性力 F_i ;

提升系统值性力的大小可用下式表示

$$F_j = \sum ma$$

式中 $\sum m$ ——提升系统各运动部分变位到提升机滚筒上的质量之和,称为总的变位质量,kg。

a ——提升容器的加(减)速度, m/s^2 。

系统总的变位质量可由总的变位重量求得

$$\sum m = \frac{\sum G}{g}, \text{kg}$$

式中 $\sum G$ ——总的变位重量,对于图 1-6 系统

$$\sum G = Q + 2(Q_c + Q_r + Q_i) + G_s + G_e$$

式中 Q ——负载重, N;

Q_c ——容器自重, N;

Q_r ——绳重, N;

Q_i ——天轮重, N;

G_s ——提升机重(包括滚筒、主轴减速器重), N;

G_e ——电动机转子折算到滚筒上的值。

$$G_e = \frac{(GD_1)^2 \times i^2}{D^2}, \quad \text{N}$$

式中 GD_1^2 ——电动机转子的飞轮惯量, Nm^2 ;

i ——减速器的减速比;

D ——滚筒的直径, m。

4. 提升系统动力学计算:

动力学计算,主要是计算各阶段的拖动力,作出力图,由此计算电动机的容量和电耗,根据运动学方程式,可得到计算动力学的公式:

$$F = F_s + F_j = KQ + P(H - 2h) + \sum ma$$

将运动学参数按不同阶段依次代入上式,可求出各阶段所需的拖动力,我们仍以五阶段速度图为例可求出:

提升开始时: $h = 0, a = a_0$, 拖动力 F_0 为

$$F_0 = KQ + PH + \sum ma_0$$

箕斗出卸载曲轨时: $h = h_0, a = a_0$, 拖动力 F'_0 为

$$F'_0 = KQ + P(H - 2h_0) + \sum ma_0 = F_0 - 2Ph_0$$

主加速阶段开始时: $h = h_0, a = a_1$, 拖动力 F_1

$$F_1 = KQ + P(H - 2h_0) + \sum ma_1 = F'_0 + m(a_1 - a_0)$$

主加速阶段结束: $h = h_0 + h_1, a = a_1$, 拖动力 F'_1

$$F'_1 = KQ + P(H - 2h_0 - 2h_1) + \sum ma_1 = F_1 - 2Ph_1$$

等速阶段开始时: $h = h_0 + h_1, a = 0$, 拖动力为 F_2

$$F_2 = KQ + P(H - 2h_0 - 2h_1) = F'_1 - \sum ma_1$$

等速阶段终了: $h = h_0 + h_1 + h_2, a = 0$, 拖动力为 F'_2

$$F'_2 = KQ + P(H - 2h_0 - 2h_1 - 2h_2) = F_2 - 2Ph_2$$

减速阶段开始时: $h = h_0 + h_1 + h_2, a = -a_3$, 拖动力为 F_3

$$F_3 = KQ + P(H - 2h_0 - 2h_1 - 2h_2) - \sum m a_3 = F'_2 - \sum m a_3$$

减速阶段終了: $h = h_0 + h_1 + h_2 + h_3, a = -a_3$, 拖动力为 F'_3 ,

$$F'_3 = KQ + P(H - 2h_0 - 2h_1 - 2h_2 - 2h_3) - \sum m a_3 = F_3 - 2Ph_3$$

爬行阶段开始时: $h = h_0 + h_1 + h_2 + h_3, a = 0$, 拖动力为 F_4 ,

$$F_4 = KQ + P(H - 2h_1 - 2h_2 - 2h_3 - 2h_4) = F'_3 - \sum m a_3$$

爬行阶段終了: $h = H, a = 0$, 拖动力为 F'_4 ,

$$F'_4 = KQ - PH = F_4 - 2Ph_4$$

5. 力图上的正力和负力:

提升重物时一般都为正力, 所谓正力是指电动机发出转矩的方向与转速 n 方向相同, 在起动阶段和爬行阶段一般为正力。

负力指电动机发出转矩方向与运动方向相反, 如减速阶段为获得较大的减速度, 可采用制动减速, 下放重物时电机也可处于制动状态。

减速阶段电动机运行状态可能有三种状况:

电动状态: 为正力减速, 此时电机仍接入电网但电动机转矩小于负载转矩, 故要减速。

自由滑行状态: 电动机从电网断开, 在阻力作用下, 系统自由滑行减速。

制动状态: 为负力减速, 电动机产生转矩方向与运动方向相反, 一般采用动力制动或发电制动。

三、最大提升速度、加(减)速度的确定:

1. 最大提升速度:

最大提升速度根据投资和运转费用, 可按下式估算最大经济速度

$$V_m = 0.4 \sqrt{H}, \text{ m/s}$$

H —— 为提升高度。

上式计算的速度, 必须符合提升机减速比与电动机 n 算出的实际速度。煤矿安全规程规定, 立井升降人员时, 最大提升速度不得超过 $0.5 \sqrt{H}$, m/s; 立井升降物料时, 最大速度不得超过 $0.6 \sqrt{H}$, m/s。

2. 加速度的确定:

提升主加速度受到电动机能力, 减速器能力及煤矿安全规程的限制:

煤矿安全规程规定: 立井升降人员的加(减)速度不得大于 0.75 m/s^2 , 设计规范建议箕斗提升加速度不宜大于 1.2 m/s^2 。

由电动机能力计算允许最大加速度: 一般按电动机最大拖动力的 0.75 倍考虑, 设电动机的额定功率为 P , 则电动机作用于提升机卷筒上最大拖动力为 λF_e , 其中 F_e 为电机额定力:

$$F_e = \frac{1000P}{V_m \eta}$$

λ —— 电机过载倍数。

写出此时的提升动力方程为

$$0.75\lambda F_e \geq KQ + PH + \sum m a_1$$

则电动机能力允许的最大加速度 a_1 为

$$a_1 \leq \frac{0.75\lambda F_e - KQ - PH}{\sum m}, \text{ m/s}^2$$

由减速器能力确定最大加速度: 根据减速器最大允许输出扭矩计算, 令其为 $M_{j,m}$ (可由

提升机或减速器规格表中查出), 则提升系统加速阶段的总阻力应小于此值, 由此确定加速度 a_1

$$a_1 \leq \frac{\frac{2M_{\text{电}}}{D} - KQ - PH}{\sum m - m'_e}, \text{ m/s}^2$$

式中 m'_e ——为电动机的变位质量。

3. 减速度的确定: 减速方式可有以下三种

自由滑行减速: 提升容器到达减速点时, 将电机从电网断开, 根据提力方程

$$KQ + P(H - 2h) - \sum ma = 0$$

为简化计算一般取 $h = H$, 则自由滑行减速度

$$a_1 = \frac{KQ - PH}{\sum m}, \text{ m/s}^2$$

制动方式减速: 如果矿井很深, 钢丝绳的重力影响很大, 自由滑行减速度可能会很小, 减速时间长, 影响提升能力, 为此可采用制动减速, 制动减速度应大于自由滑行减速度, 可由设计者选取。

电动方式减速: 在有尾绳提升系统中, 自由滑行减速度可能很大, 这时就需要采用电动方式减速, 电动机在减速阶段仍给出一定的拖动力, 为了易于控制, 拖动力一般不小于 $0.35F_e$, 此时减速度为

$$a_2 \leq \frac{KQ - PH - 0.35F_e}{\sum m}, \text{ m/s}^2$$

总之, 减速度的确定可作如下考虑, 首先可采用自由滑行减速方式, 若需要较大的减速度可采用电气制动方式, 多绳提升及付井提升, 有时采用电动方式减速, 电动机拖动力不小于 $0.35F_e$ 。

四、各阶段运行时间及运行距离的计算

初加速阶段: 空箕斗离开卸载曲轨的速度 V_0 不应大于 1.5m/s , 卸载曲轨的行程为 h_0 , (一般可取 2.13m 或 2.35m) 所以初加速度 a_0 为

$$a_0 = \frac{V_0^2}{2h_0}, \text{ m/s}^2$$

容器在曲轨中加速时间 t_0 为

$$t_0 = \frac{V_0}{a_0}, \text{ s}$$

主加速阶段: 其加速度为 a_1

主加速时间 t_1 为

$$t_1 = \frac{V_m - V_0}{a_1}, \text{ s}$$

式中 V_m ——最大提升速度;

V_0 ——出卸载曲轨速度。

主加速阶段行程 h_1 为:

$$h_1 = \frac{V_m + V_0}{2} t_1, \text{ m}$$

爬行阶段: 重箕斗进入卸载曲轨前要以低速运行, 对箕斗来讲爬行速度 V_c 不大于 0.5m/s , 爬行距离 h_c 应大于卸载曲轨的长度, 一般爬行距离可取 $2.5\text{m} \sim 3.5\text{m}$, 爬行时间 t_c 为