

矿山固定机械设备的 电力拖动系统和自动化

〔苏〕B. M. 切尔马雷赫等著

煤炭工业出版社

矿山固定机械设备的 电力拖动系统和自动化

〔苏〕 B.M.切尔马雷赫等著

谢桂林 许世范 黄章 姚承三译

煤炭工业出版社

内 容 简 介

本书主要讨论有关矿山固定机械设备使用大功率半导体变流装置实现自动化的问题,对某些有发展前途的电力拖动和自动化系统做了较详尽的分析,并对其应用的前景进行了评价。该书强调在分析自动化拖动系统时必须把工艺装备和供电系统的相互影响统一起来考虑,并提供了机电系统工作状态和参数最佳化的方法。

本书可供从事矿山自动控制的科研人员和工程技术人员,以及有关专业的大专院校师生参考。

В.М.Чермалых Д.И.Родькин В.В.Каневский
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И АВТОМАТИКИ
РУДНИЧНЫХ
СТАЦИОНАРНЫХ МАШИН И УСТАНОВОК
Москва «Недра» 1976

矿山固定机械设备的电力拖动系统和自动化

谢桂林 许世范 黄章 姚承三译

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平北路16号)
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本 $850 \times 1168^{1/8}$ 印张 $12^{1/16}$
字数319千字 印数1—5,020
1980年9月第1版 1980年9月第1次印刷
书号15035·2305 定价1.65元

译 者 的 话

随着采掘工作综合机械化程度的提高，矿井井型和开采深度日益增大，矿山固定设备的重要性就日益明显，因此迫切需要改善设备的工作效能，提高其运行的可靠性，以适应生产发展的要求。

目前有关矿山固定机械设备的电力拖动和自动化方面的文献资料虽多，但综合论述这方面的书籍很少。本书以不太大的篇幅概括地介绍了当前苏联在这方面的研究以及装备情况，对我们有一定参考价值。缺点是：该书对有些问题的阐述不够清晰，连贯性差，某些内容又过于繁琐，阅读起来比较吃力。由于条件限制，译时对本书从文献中引用的公式、曲线和线路图没有进行仔细校核，仅对明显的错误作了修正。

本书的第一、二、三章由许世范译出，第四、五章由黄章译出，第六、七、八章由谢桂林译出，第九、十、十一章由姚承三译出，全书由谢桂林统一校阅。白忠贤等同志曾对译稿提出宝贵意见，谨此致谢。

译 者 1979.4.

目 录

第一章 矿山固定设备的特点及其对电力拖动	
和控制系统的要求	1
1.1 矿山固定设备的用途和分类	1
1.2 提升设备的工作方式及其对自动化电力拖动的要求	3
1.3 提升输送机的应用	10
1.4 主扇的工作特点及其对电力拖动与控制系统的要求	13
1.5 矿山排水设备的特点及其对自动控制系统的要求	18
1.6 矿井供气和矿山压气设备的工作特点	23
第二章 用变流装置的交直流自动化电力拖动的现状	27
2.1 大功率变流装置的现状及发展远景	27
2.2 半导体整流元件的参数和分类	29
2.3 可控硅电力拖动系统的分类	33
2.4 变流装置的主线路和工作状态	42
2.5 采用配合控制的可控硅直流拖动的静态特性与动态特性	52
2.6 采用单独控制的可控硅变流装置的静态特性与动态特性	57
2.7 用作自动调节系统一个元件的可控硅变流器	61
2.8 对用于矿山固定设备上的可控硅电力拖动系统 的分析比较	63
第三章 可控硅变流装置的控制及自动调节系统	68
3.1 对可控硅变流器控制装置的要求	68
3.2 电磁式控制系统	71
3.3 晶体管控制系统	74
3.4 变流装置的合理控制方法	79
3.5 传感器和测量线路	84
第四章 矿井提升设备的直流自动化电力拖动	92
4.1 矿井提升的拖动自动控制系统	92
4.2 提升容器运动的行程控制系统	97

4.3	以数字计算技术为基础的行程控制装置	101
4.4	发电机-电动机组的参数型自动控制系统的计算	111
4.5	磁场反向的可控硅直流自动化电力拖动系统	121
4.6	可控硅变流装置的脉冲-相位控制线路СИФУ-1	130
4.7	提升机拖动系统在停车时的位置控制	138
第五章	矿井提升机控制中带变流装置的交流电力拖动系统	144
5.1	异步电动机拖动的矿井提升设备自动化的发展方向	144
5.2	提升设备的交流拖动系统	146
5.3	矿井提升交流拖动自动控制系统的结构和静态分析	160
5.4	带变流装置的交流拖动系统的动态分析	169
5.5	带变流装置的异步电动机控制线路	176
第六章	深井多绳提升设备的拖动及控制系统	186
6.1	深井提升系统的特点	186
6.2	提升设备机械传动部分的系统结构图	188
6.3	提升设备的运动和动力参数最佳化	196
6.4	滚筒式双拖动提升系统的特点	203
6.5	多机拖动的多绳摩擦提升系统的发展前景	210
6.6	可变程序的行程程序控制	219
6.7	数-模转换器——自动调整系统的元件	223
6.8	带行程校正环节的拖动控制系统	227
第七章	胶带输送机的电力拖动与自动化	232
7.1	大型胶带输送机的电力拖动系统的现状和发展方向	232
7.2	不调速的双电机拖动输送机中的负载分配	235
7.3	多电机可调速拖动系统中的负载分配	240
7.4	转子回路带有相位控制整流器的异步拖动的工作状态	246
7.5	重型输送机控制系统中的拉紧装置	249
7.6	输送机线的电力拖动控制	254
第八章	矿山通风设备的电力拖动与自动化	261
8.1	矿井通风的特点和主扇设备的工作	261
8.2	扇风机工作的有效性及其风量控制方法	264
8.3	扇风机异步串级拖动电气设备参数的最佳化	267
8.4	扇风设备的风量闭环调节系统的分析	280

8.5	扇风机风量控制程序的计算特点	284
8.6	主扇设备的基本控制线路	287
第九章	矿山压气机站和水泵站的参数调节与自动化	300
9.1	运行于有反压管路的涡轮机械的拖动装置的工作特点	300
9.2	具有可调拖动的压气和排水设备最佳参数的确定	304
9.3	压气机站的参数调节	306
9.4	K-500 型压气机的调节和保护系统	309
9.5	带调速的涡轮机械的控制和参数调节装置	312
9.6	矿山压气机和压气站的自动化	317
9.7	矿山排水设备的自动化	320
第十章	可控硅变流装置对供电电网的影响	325
10.1	利用复杂控制方法改善变流装置的动力指标	326
10.2	复杂控制的变流装置一次电流中的谐波成分	333
10.3	在拖动的非稳态下变流装置需求功率的特点	337
10.4	变流装置无功功率的补偿	346
第十一章	调度、遥控、遥信及通讯	348
11.1	联系提升系统和井底车场的 ГСМ扩音电话装置	348
11.2	ТСД-1调度遥信装置	352
11.3	ГИС-1扩音通讯装置	357
11.4	从罐笼内控制提升的 УКП-СС 装置	361
11.5	斜井提升的遥控装置(УПН-ТУ)	369
	参考文献	373

第一章 矿山固定设备的特点及其 对电力拖动和控制系统的要求

1.1 矿山固定设备的用途和分类

连接井下与地面运输环节的钢丝绳提升设备（箕斗式和罐笼式）和输送机提升设备，以及通风、排水和压气设备都属于矿山固定设备。这些系统都是很复杂而且用电量很大的。现代化的提升设备和压风设备的传动功率已超过 10000 千瓦。在苏联煤矿仅是压风设备就消耗全矿用电量的 25% 左右。在开采急倾斜中厚和薄煤层的矿井，以及用打眼放炮方法开采的金属矿中，用于产生压缩空气所消耗的电量约达总耗电量的 50~60%。因此，在金属矿几乎所有的用电量（每年数以百万千瓦小时计）都是固定设备和综合装置消耗的。

扇风设备是用来进行不间断的通风以便在井下巷道中保持正常的大气条件（足够纯净、一定温度和湿度的空气）的。

矿山所用的现代化扇风设备，与其它工业部门所用的扇风设备相比是最大的（国产矿用扇风机单台的风量可达 600 米³/秒，而其拖动电机的容量达 4000 千瓦）。

总的耗电量约占苏联总发电量的 1.5%。

随着矿井的延深和井下巷道的增加，为确保井下正常通风所遇到的困难也随之增加。近年来虽然用具有高静态效率的新型扇风机矿山，但仍不能完全保证所需的通风状况。为此，必须采用扇风设备参数可调的那种经济的和灵活的系统，以便获得较高的技术经济指标。

应当特别注意采用可调节的电力拖动，这种拖动不仅能提高扇风设备的经济效益，而且可以在爆破后加强巷道通风以缩短通

风时间，从而使工作面的产量大大地提高。

在开采有益矿物时将有大量的地下水涌出。为了将井下水排出需要专设的排水设备，特别是在开采含水矿层和深水平的条件下，它是一个复杂的综合性工程设施。为了设置排水设备要掘出专门的水泵峒室、水仓，以及安装复杂的管路系统、电气设备和自动控制装置。

在露天和地下开采时，涌水量一般为 20至 20000米³/小时之间，因此排水设备要用各种不同类型的水泵。

矿藏开采的强化使矿井井深增长很快。目前很多矿井的深度已达800~1500米，即将要建设 1500~2000 米的更深矿井，因此固定设备的作用就更加重要了。

对目前所采用的固定设备可根据它们的用途和结构特点进行分类（见图1.1）。

提升设备起着很重要的作用。现代化矿井常有几套提升设备，每一套都有各自的用途。有的用于沿井筒运输矿物、有的用于运输其它载荷以及升降人员。

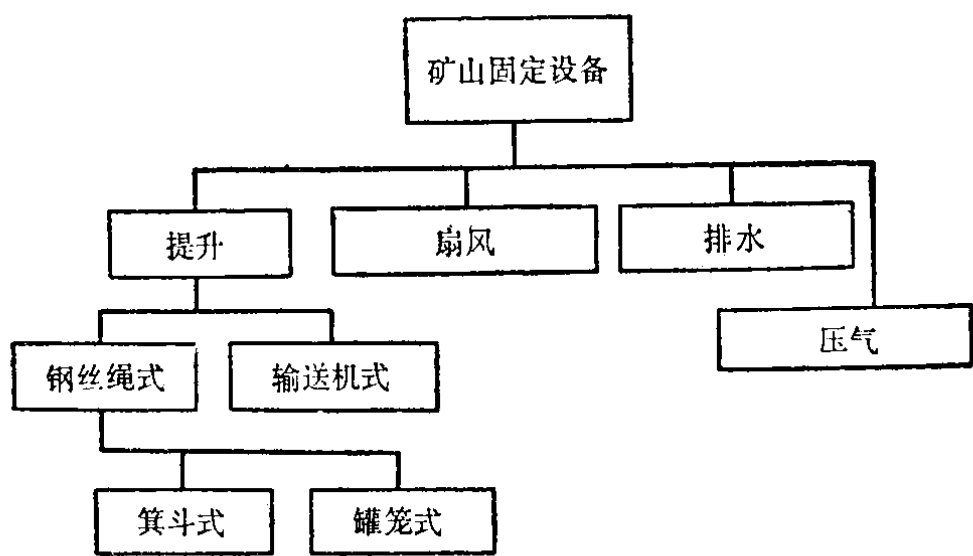


图 1.1 矿山固定设备的分类

钢丝绳提升设备可按下列特征进行分类：

- 1. 按用途分类：主井提升设备——运输有益矿物；副井提升设备——升降人员，运输矸石、材料等；人货混合提升设备；

检查用提升设备——检查井筒，非常情况时下放工程技术人员；
凿井提升设备——在凿井和延深井筒时运输矸石、各种重物以及升降人员。

2. 按提升容器的运动方向分类：立井提升和斜井提升。

3. 按提升容器的形式分类：箕斗提升、罐笼提升、吊桶提升。

4. 按提升钢丝绳根数分类：单绳提升和多绳提升。

5. 按提升钢丝绳的缠绕方式分类：固定半径缠绕式（圆柱型滚筒；摩擦轮型）和变半径缠绕式（双圆柱-圆锥滚筒）。

6. 按平衡方法分类：不平衡系统和静力平衡或动力平衡系统。

7. 按提升高度分类：浅井用提升设备——500米以下；中等深度矿井用的提升设备——500至1000米；深井用提升设备——1000至1500米和超深井用的提升设备1500米以上。

近年来大型矿井也有采用斜井固定式胶带输送机作为主提升系统的。

1.2 提升设备的工作方式及其对自动化电力拖动的要求

对提升设备的电力拖动及控制系统的要求决定于设备的工作方式，所谓工作方式是指保证完成某一给定循环（如升降人员、设备、货载等）的整个工艺过程。确定控制系统的形式还取决于提升高度，提升机和提升容器的类型，工作水平的数目及其相互间的距离〔1、2〕。

目前采用最广泛的提升系统有两种：一种是提升机放在井塔上的多绳静力平衡的提升系统（见图1.2a），另一种是提升机装在地面上的单绳不平衡提升系统（见图1.2b）。此外，多绳静力平衡的提升系统也可以是落地式的。当井深超过了滚筒的容绳量时就要考虑将单绳滚筒式提升系统（见图1.2b）改为多绳静力平衡提升系统，并利用滚筒做为摩擦轮。

箕斗提升设备工作方式是最简单的。它的用途是按照给定的

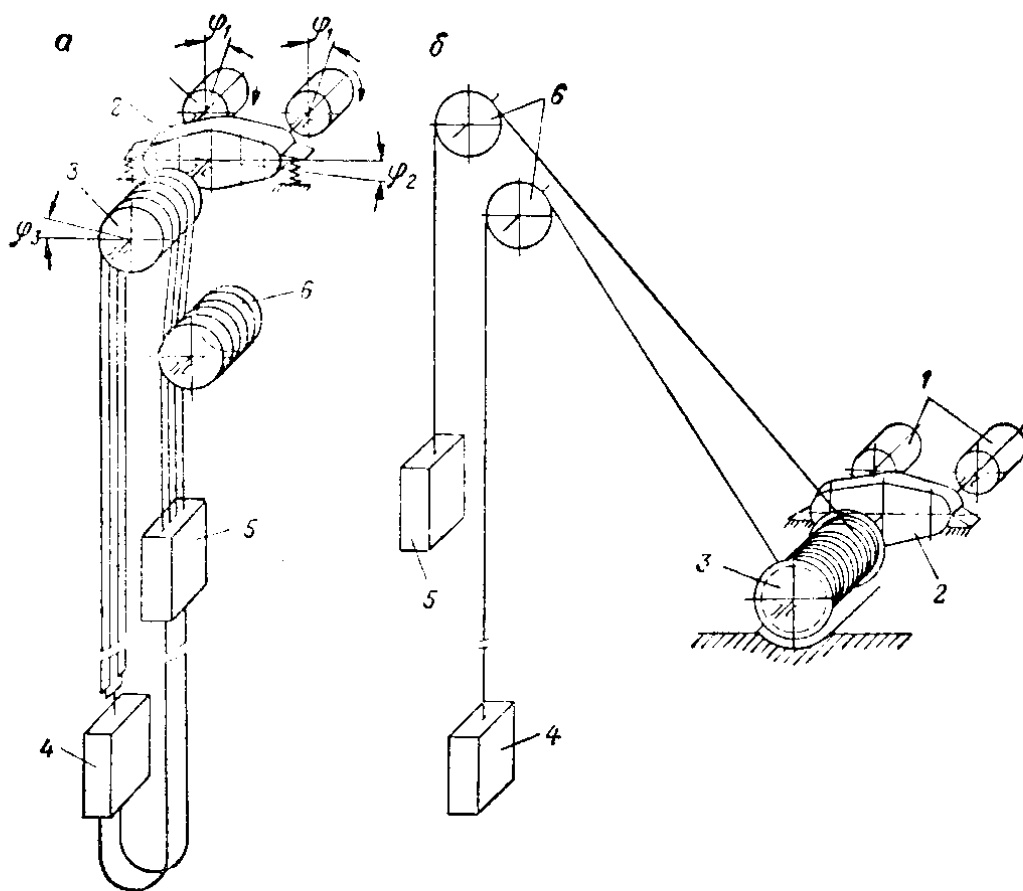


图 1.2 摩擦轮多绳提升系统(a)和单绳滚筒式提升系统(b)

1—提升电动机；2—减速器；3—主导轮（滚筒）；4、5—提升容器；6—偏导轮

速度图将货载提升到一定的高度。在金属矿一般每经过三、四年就要改变一次提升高度，这取决于每一水平的开采速度。对大多数煤矿而言，其特点是提升高度在较长的时间内保持不变。不论是箕斗提升还是罐笼提升都是如此。

在整个提升运输系统中，除提升设备外还包括井底煤仓设备和地面的破碎-分选厂，在综合自动化的情况下，对货载(箕斗)的提升实现自动控制，即在无人干预下按照给定的速度图运行，将取得显著的效果。不仅需要保证提升设备本身工作的可靠性，还必须保证井底煤仓设备和地面破碎-分选厂的工作的可靠性。对克利夫巴斯(Кривбасс)* 的提升设备运行中断原因的分析表明，由于破碎-分选厂及井底煤仓设备的不正常造成提升设备运行中

* 苏联南部克里沃罗格铁矿区的简称——译注。

断所占的比重很大(前者约占30~50%，后者近20%)。

铁矿的箕斗提升的工时损失是很大的(占整班的20~40%，而提升的机电设备的故障停车时间只占全部故障停车时间的6~16%)。因此必须对箕斗提升运输综合系统中所有的机电设备提出更高的要求。

对自动控制的箕斗提升，每一提升循环开始时的起动脉冲由箕斗装卸载的检测装置发出，但也可由装载信号工手动发出。

金属矿的罐笼提升设备常常是同时为几个水平服务的。在这种情况下，罐笼的运动路线即使在短时间内也是不固定的。对大型的工作种类繁多并且运动路线不固定的罐笼提升，为了提高其提升能力可以装设两套单罐笼提升设备。两套设备的工作是相互独立的，并且为所有的水平服务。

罐笼提升设备是辅助的提升设备并用来升降人员、坑木、设备、各种材料及炸药等。在准备新水平的紧张工作期间，罐笼提升机的负担将急剧加重。在很多大型矿井中常将一套罐笼提升设备临时划归基本建设部门使用。

罐笼提升可分为主提升和辅助提升。罐笼在规定的两个装卸平台之间运行是主提升。所有其它的提升都是辅助提升。辅助提升的自动化比主提升更加困难。

下放吊在罐笼下面的长材料或大件设备是最复杂的工作方式。此时调度作业要占去很多时间并且要求提升机与辅助机械(绞车或电机车)之间的配合准确，以便将垂直的重物放倒在水平巷道上。

由于提升机司机与绞车或电机车司机的动作不协调；或者协调两方面司机动作的信号工指挥不当，都会使时间拖长或打乱所要求的工作方式。

经验表明，在井口平台进行调罐操作的最有效和最安全的方法是从井口对提升机进行远距离控制。为此对罐笼设备应当在地面井口车场设置远距离控制台。

在采用多绳罐笼提升时，要能做到根据从井口或罐笼里发出

的起动脉冲来开停提升机或使之自动地以最大提升速度或低速运行。

当用罐笼提升设备运送货载、人员、材料及设备时，主要采用远距离控制和从罐笼内进行控制的方法。

罐笼提升设备的工作方式可以分成以下几个主要操作：发出预备或执行信号；提升机的机械闸松开；加速；等速运行；减速；机械制动停车。罐笼提升的计算速度图有三个阶段。能否准确

地实现计算速度图则决定于自动控制系统的完善程度和反映罐笼在井筒中位置的检测方法的准确性。

箕斗提升与罐笼提升不同，它的工作程序变化不多，但是它的工作速度图却比较复杂。对箕斗提升和翻转罐笼提升，在整个加速和减速期间加速度是不可能维持不变的，这是因为提升容器在卸载曲轨上运行时必须把它的速度限制到0.6米/秒。到一个提升循环的末尾在实际的速度图上有一个低速运行阶段，因此它的速度图是五阶段或六阶段的（图1.3 a 和 b）。计算速度图各阶段的速度变化通常都是采用直线变化的，而实际速度图与计算速度图不同，是平缓过渡的（这是由于加速度的变化率是有限的）。

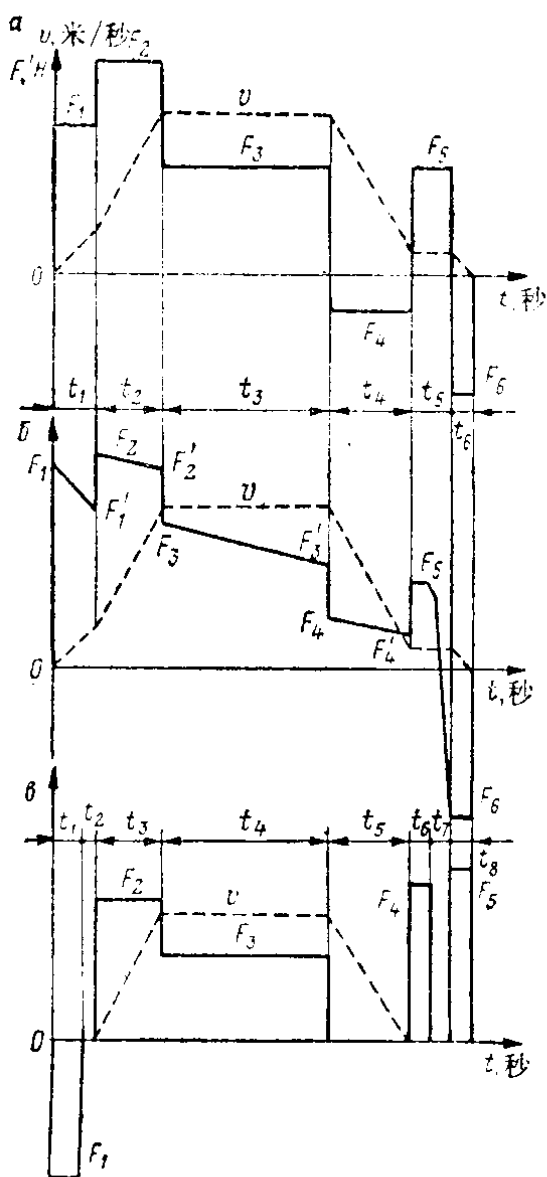


图 1.3 速度(v)图和力(F)图

在确定速度图的合理参数（如运动规律，最大速度和加速度等）时，不仅要以生产能力和提升高度为依据，而且也应考虑到

提升的工艺特点，传动的性能，以及系统各个零件和部件所允许的动载荷。

实现计算速度图的准确程度决定于司机的熟练程度。在自动控制情况下，这种准确性将大大提高。采用交直流电动机调速方面的现代技术手段可以对任何提升系统实现自动控制和远距离控制。

提升容器在等速运行时加到设备上的只有由提升载荷，钢丝绳重量和运动阻力所决定的静态力。在加速和减速阶段还有系统的运动部分的惯性力。

力图的形状决定于提升设备的特点：速度图的形式，工作方式，系统的平衡程度，提升容器和提升机工作机构的形式。

在图 1.3a 中给出了带不翻转箕斗的平衡提升设备在正常的重载提升时的力图。这个力图是对应六阶段速度图的，它的速度在加减速运行阶段是按直线规律变化的。

在选择提升机的电力拖动时，电动机的过载能力不得小于加速时所需要的力。对摩擦轮式提升机，其加速阶段的最大加速度，也即力的大小，不仅受电动机过载能力的限制，而且也受钢丝绳在主导轮上不发生滑动这个条件的限制。

矿井提升机的减速过程有以下几种方式：制动方式（见图 1.3a）此时，在主减速阶段 t_4 需要在滚筒轮缘上施加制动力；自由滑行方式（见图 1.3b）在减速阶段不需要加制动力或电力；电动方式（见图 1.3c）。

由图 1.3a 可以看出，对不翻转的箕斗或罐笼的平衡提升设备，在提升容器趋向卸载处的阶段 t_5 内，一直是需要电力的。

在图 1.3c 中给出了翻转箕斗或翻转罐笼的不平衡提升设备在额定负载时的力图。与采用不翻转容器的提升系统相比，这种提升设备在提升开始时所需要的力矩要更大些，因为在翻转时提升容器的部分重量转移到曲轨上，因而增加了系统的不平衡，而这种不平衡的程度在卸载时（爬行阶段的终了）变成最大。这就需要当容器翻转时在提升机的轴上施加很大的制动力。带翻转罐笼

的提升设备在提升货载时，其力图与带翻转箕斗的设备是一样的。但是在升降人员时它的力图与单层罐笼提升设备是近似的。

当单层和多层罐笼提升设备采用罐座时，它们的力图（图1.36为单层罐笼提升的力图）与箕斗提升力图的主要区别在于它在地面井口平台和井下各水平的平台有比较复杂的调罐作业。多绳提升设备也可以采用刚性承接装置——罐座。但是在这种情况下它们都是用有活动框架的特殊罐笼，以便将钢丝绳的静张力差保持在不使之发生打滑的极限范围内。对滚筒提升设备，当将罐笼提离罐座时，在滚筒上需要加以最大的力，因为这时除货载重量之外还要加上罐笼的重量。这一点在确定其拖动功率和过载能力时是必须加以考虑的。

当在所有水平和井口平台都装有摇台或利用拖动系统使提升容器浮悬在某一水平时，提升系统的力图以及速度图都具有简单的形式而与提升机的型式无关。

当罐笼提升设备下放重物时，它的力图多半是有负力出现的。

在井口平台和井下各水平上进行调罐的操作较复杂，终端负荷变化的范围很大，以及罐笼提升设备的工作方式经常变化，所有这些使得交流异步电动机拖动的罐笼提升很难实现自动化。

在静力不平衡的提升系统（见图1.26）中，当两个空容器的重量相同时，则钢丝绳两侧的终端负荷是相互平衡的。但是在提升过程中，在钢丝绳上升侧与下降侧上部的静张力差是连续变化的，并在提升的开始时达到最大值，而在提升的末尾达到最小值。钢丝绳两侧的静张力差在提升开始时可能大大超过载荷的重量，而在提升末尾不仅会低于有益载荷的重量，甚至会得到负值。静张力差的数值决定于钢丝绳的重量和井深。

在静力平衡的提升系统中（见图1.2a），每侧钢丝绳重量变化对静张力差的影响为吊挂在提升容器下面的专门的平衡钢丝绳所补偿。

对选择矿井提升设备的电力拖动及其控制系统来说上述特点是有决定性意义的。矿井提升设备的电力拖动及其控制系统必须

满足经济性的要求，并且保证对所有工作方式提升设备都能高度可靠、安全和足够准确地实现给定的提升速度图。

从经济的观点看，要求所选的电力拖动与其它可能采用的电力拖动方式相比，能保证在最短时间内回收投资费用，即决定于初期基建投资和维护运转的费用。

提升设备的电力拖动应该满足下列要求：

容器以低速（0.3~1米/秒）离开罐座或罐座梁；

对各种类型的竖井及斜井（30°以上）提升设备，其提升容器的减速度不得超过1米/秒²（巷道的倾角在30°以下时，减速度不得超过0.7米/秒²）；

在升降人员时竖井和斜井（30°以上）的加速度限制在1米/秒²以下（提升货物时的加速度由设计确定）；

对摩擦提升，在整个工作过程中要避免钢丝绳发生打滑现象；

在等速运行时的稳定的最大速度，其值应与电动机轴上的负载变化及运动方向无关；

在提升的最后阶段容器以低速爬行来补偿调节系统工作的误差；

能够实现准确停车以及在不采用机械制动的情况下使提升容器停在某一给定的水平上。

对卷筒式的罐笼提升设备，其爬行距离仅决定于减速过程中行程调节偏差的绝对值，而对箕斗提升设备，则决定于减速行程偏差和箕斗在卸载曲轨中的运行距离。

对多绳摩擦提升，当提升容器为罐笼时其爬行距离决定于减速行程偏差和钢丝绳最大可能的弹性蠕动，而提升容器为箕斗时，由于容器在卸载曲轨中也要以低速运行，故其爬行距离就增长了。

因此，对卷筒式罐笼提升，其爬行距离应取0.5~1.0米；对摩擦轮式罐笼提升取1.0~1.5米；对卷筒式箕斗提升取2.5~3.5米；对摩擦轮式箕斗提升取3~5米。

在确定爬行距离时，确保提升设备工作的最大的安全性常常

是主要的要求。

在采用自动直流电力拖动的提升设备中，控制系统应保证在最大速度下有 $\pm 1\%$ 的准确度，而在检查井筒时的低速下有 $\pm 10\%$ 的准确度。

对矿井提升设备来说最好的控制系统是带有限制加速度和初加速度的系统。在这种情况下，系统的过载能力和摩擦轮的牵引力（在多绳提升时）才能得到充分的发挥。提升机的行程调节系统应保证实现需要的速度图，而不受负载在规定的范围内的变化的影响，同时速度偏差不应达到使保护装置动作的数值。

所有的自动化提升设备还应考虑有手动控制以便检查井筒和钢丝绳，以及修理井筒设施。

提升设备应设有保护和闭锁装置以监视设备的某些元件的状态是否正常，以及保安规程和技术规范所要求的正常工作方式是否遭到破坏。

1.3 提升输送机的应用

随着矿井和露天矿生产能力的加大，需要寻找新的提升方法，因为现有的竖井提升设备不能满足矿井产量的需要。一种新的、有发展前途的提升形式就是输送机。

提升输送机既可用于地下开采，也可用于露天开采的矿山。在克利夫巴斯和乌拉尔的一些矿山上已经有了使用提升输送机的工作经验，这些设备安装在暗斜井里，其提升高度为150~160米。在多数情况下提升输送机用于井深较大，且单靠箕斗提升不足以将全部有益矿物直接从最低水平运出的矿山。采用输送机做为第一级提升，将有益矿物沿斜井运到箕斗提升仓，这样就可以提高箕斗-输送机的综合提升能力。

根据对矿井提升输送机工作的分析表明，为了保证胶带输送机的正常运转，就必须：将矿石破碎然后再供给输送机；建造辅助矿仓以便在运输事故停车期间能容纳送来的矿石。

在苏联、瑞典、加拿大、英国、法国、西德和其它国家的一