

高等学校试用教材

# 矿山提升机械设计

东北工学院 彭兆行 主编

GAO DENG XUE  
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

TD534

3

高等学校试用教材

# 矿山提升机械设计

东北工学院 彭兆行 主编

bx11/18



机械工业出版社

622748



## 前 言

本书是根据全国高等工业学校工程机械教材编审委员会矿山机械编审小组制订的本课程教学大纲和本教材编写大纲编写的。

本书由绪论,提升机的参数选择及外载荷的确定,单绳缠绕式提升机卷筒的设计计算,主轴及离合器的设计计算,多绳摩擦轮提升机的设计,塔式多绳摩擦轮提升的振动及其控制,矿井提升机制动装置的设计计算和结语等八大部分组成。其重点为论述矿山提升机械的参数选择,主轴装置和制动装置的设计计算。为了便于学习和掌握有关计算,在每章中均附有相应的例题。本书的编写在符合教学要求的基础上,适当采用和吸取了近年来提升机械设计计算的新方法和新技术。

本书由东北工学院彭兆行(第一、二、五、六各章及结语)、于忠升(第三章)、重庆大学姚裕贤(第二、四章)、吉林工业大学逯殿科(第五、七章)共同编写。彭兆行为主编。教材经东北工学院及吉林工业大学试用,并经中南工业大学李仪钰教授(主审)、昆明工学院关文符副教授、西安冶金建筑学院陆鸿生副教授、江西冶金学院何正慧副教授共同审定。

本书在编写过程中得到洛阳矿山机械研究所、洛阳矿山机械厂、锦州矿山机械厂、重庆矿山机械厂、上海冶金矿山机械厂等单位以及东北工学院于国安老师等人的大力协助,在此一并致谢。

限于编者水平,如有错误遗漏之处,希读者不吝赐教。

1988年1月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1	§ 3-4 主轴的缺陷及其寿命问题 .....	100
参考文献 .....	9	§ 4-5 离合器的设计计算 .....	105
第二章 提升机械的参数选择 及外载荷的确定 .....	10	参考文献 .....	110
§ 2-1 提升机械性能参数及能效型谱 .....	10	第五章 多绳摩擦轮提升机的设计 .....	111
§ 2-2 提升机械运行参数的计算 .....	18	§ 5-1 摩擦衬垫 .....	111
§ 2-3 提升机械动载荷的计算 .....	19	§ 5-2 防滑问题 .....	112
参考文献 .....	25	§ 5-3 多绳摩擦轮提升机各钢丝绳张 力的均衡问题 .....	114
第三章 单绳缠绕式提升机卷筒 的设计与计算 .....	26	§ 5-4 多绳摩擦轮提升机的外载荷 .....	116
§ 3-1 卷筒的结构及其失效形式 .....	26	§ 5-5 多绳摩擦轮提升机主轴装置的 结构 .....	117
§ 3-2 提升机卷筒的外载荷及筒壳 变形的微分方程式 .....	31	§ 5-6 多绳摩擦轮提升机主导轮的强 度计算 .....	119
§ 3-3 与筒壳计算有关的引性基 础梁、圆环与面板的计算 .....	34	§ 5-7 高强度螺栓的应用与计算 .....	133
§ 3-4 缠入卷筒之后钢丝绳拉力的降低 .....	45	参考文献 .....	134
§ 3-5 筒壳的应力校核 .....	43	第六章 塔式多绳摩擦轮提升 的振动及其控制 .....	135
§ 3-6 支轮计算 .....	55	§ 6-1 塔式井架的振动原因 .....	135
§ 3-7 卷筒强度的有限元分析 .....	66	§ 6-2 井塔的结构和振动特性的分析 .....	135
§ 3-8 筒壳的稳定性校核 .....	76	§ 6-3 塔式多绳提升机的驱动特性 .....	140
§ 3-9 制动盘强度分析的简介 .....	78	§ 6-4 提升机及井塔振动的控制 .....	144
§ 3-10 卷筒强度及稳定性的电子计 算机辅助设计 .....	79	参考文献 .....	149
参考文献 .....	80	第七章 矿井提升机制动装置 的设计计算 .....	150
第四章 缠绕式提升机主轴及离合器 的设计计算 .....	81	§ 7-1 概述 .....	150
§ 4-1 主轴的结构 .....	81	§ 7-2 块式制动装置基本参数计算 .....	154
§ 4-2 主轴的强度计算 .....	82	§ 7-3 盘式制动器的设计计算 .....	158
§ 4-3 提升机主轴工况分析及电子 计算机辅助设计 .....	97	§ 7-4 液压站的设计计算 .....	170
		参考文献 .....	176
		第八章 结语 .....	177

# 第一章 绪 论

不少作者把提升机械定义为联系矿井下与矿井上的一种机械设备。有的人更具体地说，提升机械是用作沿井筒提升或下放矿物、人员和设备的一种机械。

我国把缠绕直径在2m以上的提升设备称为提升机械；缠绕直径在2m以下（不包括2m）的称为绞车（尽管这两者的结构基本相同）。有的国家（例如德意志联邦共和国），把最大提升速度大于4m/s的提升设备称为提升机械；小于4m/s的称为绞车。

这些说法，都从一个侧面或一定程度上说明了提升机械的功能和特征。但是，这些说法并没有给提升机械以严格的定义。因为提升机械的功能不仅可以联系井上、井下之间，而且也可以联系井下之间。另外，联系井上、井下间的机械也不限于提升机械，胶带输送机也可以作为联系井上、井下之间的搬运机械。

为了叙述和分析的方便，本书把“提升机械”限制在一定范围内，即侧重叙述和分析矿井正式生产时使用的单绳缠绕式和多绳摩擦式提升机及其所采用的设计方法。因为这两类提升机械不仅常见、通用，而且在结构和性能上都具有较好的典型性。至于其他类型的提升机械（绞车），由于其使用场合不同（如凿井提升），在结构和参数上可能有所出入。对这些类型的提升机械的设计方法，可以大体参考本书的叙述和分析。

单绳缠绕式提升机的工作原理图见图1-1，布置图见图1-2。

单绳缠绕式提升机的适用范围较广，无论竖井或斜井均可使用。它的最大提升高度和最大载荷等，受现有钢丝绳能力和卷筒容绳量的限制。一般而言，当钢丝绳直径大于60mm，钢丝强度超过1700MPa时，制造较困难。同时，也会使提升机械庞大。因此，一般载重量不超过20t，一层缠绕时的提升高度不超过600m。

根据多绳摩擦轮提升机安装在井塔上或地面，分为塔式或落地式两种。它们的工作原理分别见图1-3、图1-4。它们的布置图分别见图1-5、图1-6。

多绳摩擦轮提升机是靠多根钢丝绳（通常是4根，也有6根和2根的）与主导轮衬垫间的摩擦力来传动动力的。历史上曾经出现过单绳摩擦轮提升机（或称戈培式提升机），但由于它的设备较大，安全性不如多绳摩擦轮提升机，因此，现在已是绝无几有了。

在相近的承载能力下，多绳摩擦轮提升机的机重较单绳缠绕式为轻。以2JK-3/11.5A单绳缠绕式提升机为例，它的最大静张力为130kN，最大静张力差为80kN，机重为74.11t。而多绳摩擦轮提升机JKM-2.8/4(I)，最大静张力为300kN，最大静张力差为90kN，机重才为49.2t。

塔式多绳提升机安装在井塔顶部。它不受矿井地形的限制，紧凑省地，钢丝绳可免受外界气候的影响。落地式多绳摩擦轮提升机安装在地面机房内有利于提高抵抗地震的能力。

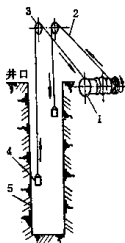


图1-1 单绳缠绕式提升机工作原理图  
1—提升机 2—提升钢丝绳 3—天轮 4—提升卷筒 5—井筒

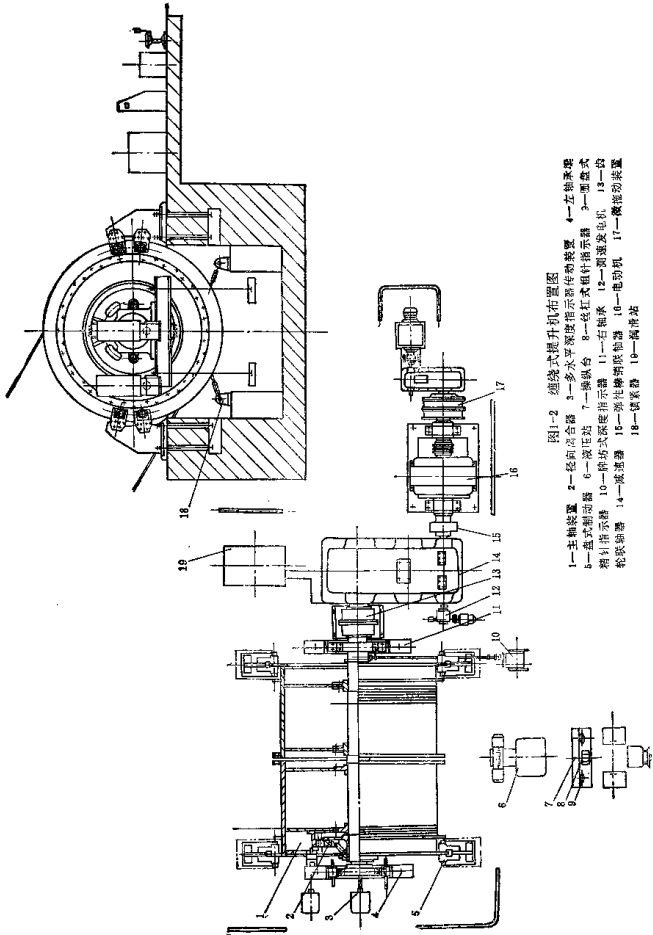


图1-2 细线式棉升机布置图

- 1—主轴承装置 2—经向离合器 3—多水平深度指示器传动装置 4—左轴承架  
 5—盘式制动器 6—深压站 7—操纵台 8—经红式指针指示器 9—圆盘式  
 指针指示器 10—牌坊式深度指示器 11—右轴承 12—副速发电机 13—仿  
 形联轴器 14—减速机 15—限位开关装置 16—电动机 17—微动开关  
 18—镇流器 19—调音站

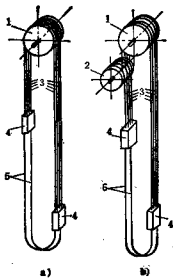


图1-3 塔式多绳摩擦轮提升机工作原理图

- a) 无导向轮系统 b) 有导向轮系统  
 1—主导轮 2—导向轮 3—提升钢丝绳  
 4—提升容器 5—尾绳

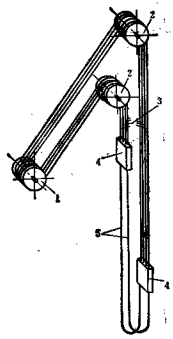


图1-4 落地式多绳摩擦轮提升机工作原理图

- 1—主导轮 2—天轮 3—提升钢丝绳  
 4—提升容器 5—尾绳

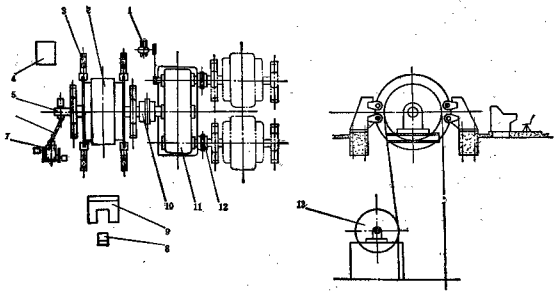


图1-5 塔式多绳摩擦轮提升机布置图

- 1—调速发电机 2—主轴装置 3—盘式制动器 4—液压站 5—精针发送器 6—万向联轴器 7—深度指示器  
 8—司机椅子 9—操纵台 10—齿轮联轴器 11—减速机 12—弹性联轴器 13—导向轮

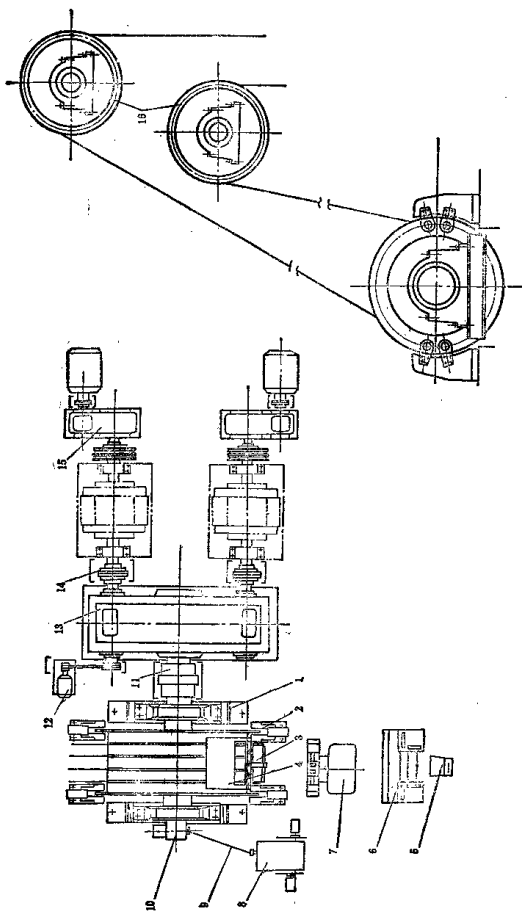


图1-6 落别式多级摩擦轮提升机布置图

1—主轴装置 2—盘形制动器 3—车槽装置 4—主号轮齿圈 5—印刷符号 6—螺旋台 7—液压站 8—深度指示器 9—万向接头 10—精柱及送器 11—齿形联轴器 12—细速空电机 13—减速机 14—弹簧联轴器 15—微推动装置 16—天轮



由于动力是靠钢丝绳与衬垫间的摩擦力来传递的，因此，它的最小提升高度受钢丝绳的防滑能力所限（详见第五章）。它的最大提升高度除受钢丝绳的强度所限外，还受衬垫容许比压及钢丝绳与容器联接处钢丝绳中的应力变化值 $\Delta\sigma$ 所限。一般认为 $\Delta\sigma$ 不应大于165MPa。以避免影响钢丝绳的合理使用寿命。此外，当井深超过某一定值后，尾绳在运行中容易扭成“8”字形而造成故障。故目前认为，对于多绳摩擦轮提升机，最大载荷不宜超过50t，最大提升高度一般不超过1200~1300m。

单绳缠绕式和多绳摩擦式提升机的使用范围，定性地表示于图1-7的ABCD和AEG-HO的两区域。由图1-7可见，浅井大载荷及超深井区为“空白”，即在此区内目前尚无合用的提升设备。

超深井提升在我国尚无现实意义。根据我国对矿物资源开采的“有水快流”的方针，浅井大载荷提升有现实意义。采用多绳缠绕式提升机，可以填补提升机械使用范围中的“空白”。它的示意图如图1-8。

多绳缠绕式提升机与单绳缠绕式的结构相近，不同点在于载荷由多根（一般为2根）钢丝绳所承担，因而可以增加载荷量。它的使用范围为图1-7点划线内的区域。

常常碰到这样的问题：怎样才能搞好提升机械的设计？什么样的提升机械才算是一个好的提升机械？好的设计方法、正确的设计观点和好的

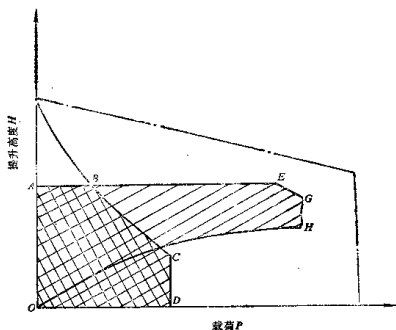


图1-7 提升机械的使用范围

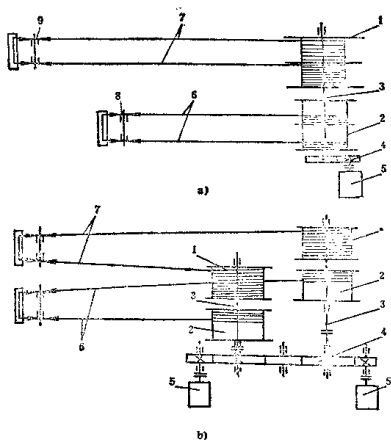


图1-8 多绳缠绕式提升机示意图

a) 同轴式 b) 平行轴式

1, 2—卷筒 3—主轴 4—减速器 5—测速装置 6, 7—钢丝绳 8, 9—导向轮

产品，已不能从朴素的直观，天才的猜想和零星的经验积累得来了。而必须系统地，全面地研究提升机械设计这一特定事物的矛盾，从中找出解决问题的方法。

随着科学技术的发展，机械设计的范畴和概念也随之变化。对于那种机械只需要完成既定的功能，不易损坏，便于维修安装和制造的传统观念，已被大大地扩展了。当然，对提升机械的传统要求也是应当满足的。但是，现代提升机还需要满足，甚至是首先需要满足经济性、可靠性和生态学（人机关系、环境污染）等方面的要求。

应该如何评价一个提升机械的设计？评价的指标应该包括哪些方面？各指标在评价中占有什么地位？等等。这些问题都还很难找到一个标准的答案。表1-1提出了评价提升机械“好坏”的一组指标。当然，作者并不认为这个表和表中所提出的各项指标都是完美无缺的，它还将在实践中不断得到修改和完善。

表1-1 提升机械产品综合评价指标

序号	指标名称	说明	所含子指标(举例)
1	功能参数	提升机所具有的能力	最大静拉力、最大静拉力差、最大提升速度、容绳量、电机功率
2	运行性能	提升机对工作过程的适应性	运行的可靠性、大修期、可维护性、自动化程度、制动系统及制动器的可靠性、深度指示器的可靠性
3	人机关系	提升机对人的影响和提升机的操作条件	操作的安全性、舒适性、对操作者的注意力的要求、造型、色泽、装潢
4	经济性	提升机工作过程和加工过程的经济性	制造成本、运行成本、能耗、机重
5	结构工艺	提升机怎样实现其功能和对加工过程的适应性	结构合理性、选材的合理性、工艺设计合理性、零件合格率、对短缺资源的消耗、零件加工质量
6	标准化程度	提升机符合标准规范程度	标准件比例、采用标准水平、系列产品通用件比例
7	服务性与成套性	保证提升机正常运行的服务性工作及所需辅助设备(包括软件)	附件齐全性、易损件供应、资料齐全性、人员培训、在规定期内的包修包换
8	安全性	保证提升机运行的安全程度	防爆、故障监控、预测和诊断、防止误操作设施
9	环境保护与社会性	提升机对社会的环境影响	噪声、振动

提升机械设计的步骤与其他机械类似。都要经过现状分析，未来预测，编制技术任务书，在满足产品基本要求和基本功能的条件下，对产品的各种设计方案进行经济技术分析；根据综合评价指标，分别分析评价。通过计算对比，最终确定最佳方案。然后进行技术设计，施工图设计，试验、鉴定和信息反馈等阶段。

为了对所设计产品的评价尽量客观，评价应采用信息化和定量化的方法。

在设计提升机械时，要把安全可靠性和经济性（在完成功能的前提下）放在重要地位来考虑。

突出提升机械设计中的安全观点，是根据以下的客观要求和条件：

1) 根据统计，在各行业的工伤事故中，以矿业中的工伤事故发生率最高，而提升和运输的事故约占总数的1/6（视各国情况不同而有所差异）；

2) 提升机械的设计除了应符合一般的机械设计规范和规程外，还需要符合矿山安全规

程规定的有关条款；

3) 提升机械的安全运行，不仅是人身和设备安全所需，而且也是提高矿山经济效益的主要手段之一。

怎样才能保证其安全可靠呢？这也很难开出一个万应的药方。考虑以下几点总是有益的：

1) 尽量采用成熟的结构和标准部件。对新结构的采用，既要积极又要慎重稳妥；  
2) 不要以为采用了“大”的安全系数，计算粗糙一些也可以满足要求。例如块式制动器的拉杆，尽管采用的安全系数为8~10，如果仅采用静载荷计算法校核强度，仍然会出现

在螺纹处断裂的事故；  
3) 机械的安全装置和措施，既要见“物”，又要见“人”，因为，归根结底，提升机械

总是要靠人操作的，而人体的静态尺寸、动态尺寸和官能是有一定的限度的；  
4) 要有能自动防止故障和避免误操作的装置；  
5) 要采用零部件早期故障诊断和监测技术；  
6) 对主要零部件要有安全使用期限的计算和规定；  
7) 要设计易于修理（损坏后）的结构。

由于对上述观点的理解和认识往往会因人而异，因而，还需要对上述中的每一项，具体化为若干子项。例如关于避免误操作装置的设计，可以具体化为：

- 1) 不按规定程序操作，原来静止的提升机械不应运动；
- 2) 操作顺序对，但操作快慢不对时，不应造成人员和设备的损伤；
- 3) 未按规定操作，原来运动着的提升机械，应该仍按照既定的规律运行等等。

至于提升机械设计中的经济观点，则比较容易为设计人员所接受。因为提升机械是矿山机械中机重较大、耗能较多的设备。因此，降低机重，减少电耗当然是设计人员面临的主要课题之一。

在提升机械设计中，贯彻“三化”（标准化、系列化和通用化），也是一个很重要的问题。

标准化不仅是组织现代化工业生产和科学管理的一个重要手段，也是提高产品经济效益和社会效益的重要手段。产品品种规格系列化和零部件通用化，在标准化中占有十分重要的地位，因此，习惯上把系列化和通用化突出出来，与产品其他方面的标准化并列，统称为“三化”。

标准化是指形成、贯彻和实施标准的过程。标准和指导性技术文件则统称为标准。

标准分为：

- (1) 物品标准（或称产品标准） 例如单绳缠绕式提升机的形式，基本参数及尺寸标准等；
- (2) 方法标准 例如提升机械的试验标准等；
- (3) 基本标准 例如机械设计中的优先系数、公差标准等。

按标准制定和颁布的部门来分，有

- 1) 国际标准 ISO；
- 2) 国家标准 GB；
- 3) 部门标准 例如冶金工业部标准YB，机械工业部标准JB等；
- 4) 行业标准 例如重型矿山机械行业标准ZB等；
- 5) 企业标准 如某一工厂的厂标准等。

上述5类标准中，顺序靠后的相对于顺序靠前的称为下级标准，反之则称为上级标准。为了保证产品有竞争能力，使企业立于不败之地，下级标准应高于上级标准。但在某些地方往往相反。

我国的不少标准是参考国外先进标准而制定的。如国际标准ISO；苏联国家标准ГОСТ；美国国家标准ASA；英国国家标准BS；联邦德国标准DIN；日本国家标准JIS等。

标准化的作用是：

- 1) 使制造、使用和管理部门有衡量质量的统一尺度；
- 2) 有利于缩短技术准备周期，加快产品开发的速度和提高产品质量；
- 3) 为组织专业化生产和协作创造条件；
- 4) 有利于设备维修、配套和备品备件的储备，给用户也带来经济效益；
- 5) 有利于开展对外贸易和技术交流；
- 6) 有利于现有企业的革新、挖潜、改造，充分发挥老企业的作用。

标准必须随科学技术水平的发展而不断修订和完善，例如，ISO标准每5年就要重新审定一次，罗马尼亚的产品标准中的64%，寿命少于5年。但是，标准又要有相对的稳定性，以利于继承和扩大重复利用的效果。

评价产品标准化程度指标的意见还不一致，例如，可以采用下面的公式：

$$\text{产品标准化系数} \quad K_s = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{N_0} \times 100\%$$

式中  $N_1$ ——信用件数；

$N_2$ ——标准件数；

$N_3$ ——通用件数；

$N_0$ ——产品零件总数。

用上述公式计算的缺点是：

- 1) 把小零件（如垫圈、螺帽等）与大零件（如主轴等）相提并论；
- 2) 有的零件同一品种的数量甚多（如螺栓），在计算时重复计算。

因此，也可以用件数及品种两种指标来衡量标准化程度，例如洛阳矿山机器厂生产的2JK-3/20A型矿井提升机的标准化统计资料如表1-2。

表1-2 2JK-3/20A标准化统计表

类别	代号	品种数	件数	类别	代号	品种数	件数	
零件	专用件	$N_1$	120	部	专用件	$N_1$	20	
	标准件	$N_2$	420		标准件	$N_2$	6	21
	通用件	$N_3$	967		通用件	$N_3$	143	259
件	外购件	$N_0$	98	外购件	$N_0$	114	324	
	总计	$N_0$	1702	总计	$N_0$	283	626	

件数标准化系数：

$$\text{零件} \quad K_{j1} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{N_0} = \frac{5381 + 2543 + 1667}{9983} = 96\%$$

$$\text{部件} \quad K_{j2} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{N_0} = \frac{21 + 259 + 324}{626} = 96.5\%$$

品种标准化系数:

$$\text{零件 } K_{s1} = \frac{N_s + N_t + N_m}{N_e} = \frac{420 + 867 + 96}{1503} = 92\%$$

$$\text{部件 } K_{s2} = \frac{N_s + N_t + N_m}{N_e} = \frac{6 + 143 + 114}{283} = 92.9\%$$

严格的说,哪些是外购件,哪些是标准件、哪些是通用件,各厂的情况不同,数量也不相同,即使对同一零件,有的厂是外购件,有的厂则可自己生产。因此,统一的标准系数法的计算方法还有待于实践。

应该注意到:

- 1) 通用化的零件和部件并不是越多越好,因为当通用的零部件达到100%时,产品就成为一种规格;
- 2) 不同零部件的通用,经济效果并不相同;
- 3) 系列品种愈少,生产管理愈容易,生产成本也低。但品种太少时,不利于用户。因此,在产品的系列化中,要求基型少而变型多,以适应市场多变的要求;
- 4) 不应片面追求“三化”而影响产品性能和妨碍必要的创新。应该在满足各种产品需要的前提下,把专用部件压缩到最低程度,实行积木式或组合式设计。

#### 参 考 文 献

- (1) 《机械工程手册,电机工程手册》编辑委员会:《机械工程手册》,第二卷,第10篇,机械工业出版社,1982,第一版。
- (2) 洛阳矿山机械研究所编:《国内外矿山机械发展概况》,第二集(上册),1978。

## 第二章 提升机械的参数选择 及外载荷的确定

### §2-1 提升机械性能参数及参数型谱

设计提升机械系列参数的出发点是用较少规格的提升机去满足最广泛的使用需要,当然,也可以不设参数系列,而完全根据用户的需要。但是,在本书中侧重说明系列参数的制定方法。

反映提升机械性能的参数很多,如卷筒直径、宽度、最大提升速度、容绳量和电动机功率等等。根据这些参数间的相互关系,可把它们分为:

1) 条件参数 它是作为限制条件而预先给出的参数,是提升机参数所应满足的先决条件。包括其他标准已作了规定的参数,如优先数系,电动机的同步转数和额定转数等;

2) 主参数 在提升机的性能参数中,有一个(或最多两个)参数是主要的。它代表了提升机械的主要性能特征,称为主参数。它是提升机械设计的主要依据,其他参数均从属于主参数;

3) 次要参数 它是由主参数决定的,与主参数有某种依赖关系。有的可表示为某种确定的函数关系,如卷筒直径与最大静张力之间的关系。有的则有一定的相关关系。

当然,主参数并不能完全代替其他参数,但只要选择得当,就可以最大限度地代表该提升机械的性能。

主参数的基本特征是:

- 1) 能反映产品的基本特性;
- 2) 最稳定的参数。

此外,主参数要便于使用。

确定主参数的步骤是:

- 1) 选择主参数;
- 2) 确定主参数的上下限;
- 3) 确定主参数系列。

提升机械的主参数选择方法,可采用主成分分析法,即分析所有性能参数间的关系,只要它们不相互独立,总有可能从中找出一个或两个作为主要性能的特征参数。

现以缠绕式提升机械为例,说明主参数与次要参数的关系。

提升机械的容绳量与卷筒直径、宽度及缠绕层数有关。根据安全规程,缠绕层数因不同的提升条件而有具体规定。因而,容绳量这一参数就有着固定的、可以计算的关系。

卷筒直径与钢丝绳最大静张力之间也有着大致固定的关系。因为根据安全规程规定,卷筒直径与钢丝绳直径之比为60~80,只要钢丝绳的型式、规格和使用条件一旦确定,卷筒直径和钢丝绳最大静张力这两个参数间的关系就可以确定。

提升最大速度这一参数与提升工作的经济性及其安全性有关。当卷筒直径确定后，最大提升速度就确定了卷筒的转数，或者说，当卷筒转数在某一范围时，最大提升速度为卷筒直径的函数。

至于卷筒的宽度，看来似乎与卷筒直径没有什么关系。但是，考虑到实际情况，例如卷筒过宽时容易造成钢丝绳偏角超限，也容易造成主轴挠度超限等问题，而这些问题又都与卷筒直径及钢丝绳直径有关，因而卷筒宽度与卷筒直径两参数间也就有了一定的关系，而并不相互独立。

至于多绳摩擦轮提升机，它的主导轮直径与钢丝绳直径之比为80~100，它的绳间距约为200~300mm，其他的参数分析与缠绕式提升机相似。

从以上分析可以看出，卷筒（主导轮）直径或钢丝绳最大静张力是提升机械的主要参数，其他参数都可以根据这参数去制定。

主参数的范围（即上、下限），则是根据实际调查统计来确定。提升机械钢丝绳的最大静张力（或卷筒直径）可根据以下情况确定：

- 1) 现有矿井的深度范围；
- 2) 一次提升量的大小；
- 3) 现有提升容器的质量；
- 4) 现有钢丝绳的型式及规格。

根据对上述情况的调查统计，并参照国外先进标准，就可以初步确定最大静张力（或卷筒直径）的范围。

主参数的分档可以根据不同的原则，但应尽量作到既满足用户不同的要求，又有利于降低生产成本。人们不难理解，分档宽则产品品种简化，单位产品成本低，标准化效果好。但用户选择余地少，用户有时还要多付出一定的费用；分档密则不利于制造。因而，可以找到一个“最优”分档距离。

如果品种变化前单位生产成本为 $B_0$ ，变化后为 $B_1$ 。 $B_0$ 为简化前的品种数， $B_1$ 为简化后的品种数，则有

$$\frac{B_1}{B_0} = f_1 \left( \frac{B_0}{B_1} \right) \text{或写为}$$

$$y = f_1(x)$$

由于品种简化，用户多付出的费用为 $B'$ ，显然，它与简化比 $B_0/B_1$ 有关，设有

$$B' = f_2(x)$$

就整个社会而言，执行标准后，单位生产费与用户多付出的费用之和应为最小，即

$$B'' = B_1 + B' = B_0 f_1(x) + f_2(x) \text{为最小}$$

令 $dB''/dx = 0$ ，即可求出简化比 $x$ 。

以上的分析只是从原则上说明品种简化比应有最佳值，但存在的问题是：

- 1) 函数 $f_1(x)$ 及 $f_2(x)$ 不易确定，尤其是在产品生产前，这些函数难以求出；
- 2) 上述分析只是确定了简化比，即品种数，但还不能求出每个品种所应有的参数。

在产品生产前，制定系列参数的方法，比较实用的是“提升能力覆盖法”。它是参考国内、外已有的产品品种，初步拟定参数及其分档，然后将这些品种的使用范围绘成一组曲线。曲线绘制后还需按以下要求加以修改：

- 1) 设备参数应满足主参数的范围;
- 2) 各档设备能力可以而且需要有某些重叠, 但重叠部分不宜过大;
- 3) 各档参数分布比较均匀。

这个方法的特点是:

- 1) 简单易行, 可以满足实际使用的要求, 但不一定能保证有好的经济效益;
- 2) 这个方法可以在产品生产前进行, 也可以在产品生产后进行。

图2-1为用此法绘制的双卷筒缠绕式提升机的使用范围和参数分档。

图中 $m_{01}$ 、 $m_{02}$ ... $m_{08}$ 分别表示提升重量为1t、2t、...6t。标有(单层)、(双层)字样的各曲线, 表示该规格的提升机采用不同直径的钢丝绳时, 根据容绳量所能满足的提升高度的上限。平行于横坐标的虚线表示相应的钢丝绳直径 $d$ , 单位为mm。

如果产品已经使用一段时间后, 需要修改和整顿产品的参数及其分档时, 当然仍旧可以用上述的方法, 例如, 对于图2-1, 可能觉得 $2 \times 4 \times 1.8$ 与 $2 \times 6 \times 2.3$ 的规格间分档的均匀性不够好, 可以适当增加4m提升机的宽度来解决这一问题。也可以采用某些计算办法, 来确定“最优”的参数分档。现举其中一种方法的原理和步骤如下:

1) 根据历年对系列中各品种需求量的统计直方图, 用回归分析的方法进行光顺化, 求出需求函数。

设以最大静张力 $P$ 作为主参数, 可以把总需求函数 $f(P)$ 表示为

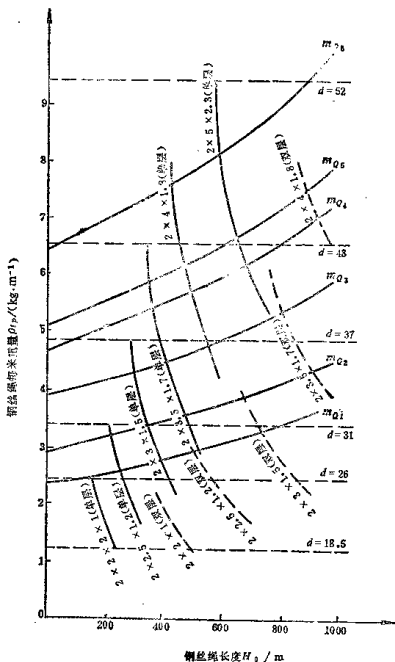


图2-1 双卷筒缠绕式提升机的使用范围

$$f(P) = \begin{cases} 0, & \text{当 } P > P_{\max} \text{ 及 } P < P_{\min} \\ f(P) & \text{当 } P_{\min} \leq P \leq P_{\max} \end{cases}$$



式中 $P_{\max}$ 与 $P_{\min}$ 分别为提升机械最大静张力的上、下界限值。

2) 根据提升机械的价格 $U_i$ 与最大静张力 $P$ 之间的关系, 求出

$$U_i = F(P)$$

如果认为提升机械的运行费用远小于其价格时, 可不计入运行费用。

3) 一个型号的总费用为

$$U_i = F(P_i)[f(P_i) - f(P_{i-1})]$$

整个系列的总费用为

$$U = \sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n F(P_i)[f(P_i) - f(P_{i-1})]$$

$n$ 为系列中的品种数。

4) 为使总费用最少, 则应

$$\frac{\partial U}{\partial P_i} = 0, \quad i=1, 2, \dots, n。$$

将上式具体化, 可以写成

$$F'(P_1)[f(P_1) - f(P_0)] + F(P_1)f'(P_1) - F(P_1)f'(P_1) = 0$$

$$F'(P_2)[f(P_2) - f(P_1)] + F(P_2)f'(P_2) - F(P_2)f'(P_2) = 0$$

⋮

$$F'(P_{n-1})[f(P_{n-1}) - f(P_{n-2})] + F(P_{n-1})f'(P_{n-1}) - F(P_{n-1})f'(P_{n-1}) = 0$$

式中 $P_0 = P_{\min}$ ,  $P_n = P_{\max}$ 。

当然, 计算所得值还需修改, 使之符合优先系数。

为说明上述方法, 举一计算实例如下:

设以钢丝绳最大静张力作为多绳摩擦滑轮提升机的主参数, 为方便起见钢丝绳最大静张力的符号改用 $P$ , 积累销售量符号为 $Y_i$ 。各已知数的计算表见表2-1。

表2-1 已知数据计算表

编号	钢丝绳最大静张力 ( $P_i/10^4 N$ )	销售量 /台	积累销售量 $Y_i$ /台	$Y_i' = \ln Y_i$	$(Y_i' - \bar{Y}')^2$	$(P_i - \bar{P})^2$	$(P_i - \bar{P})(Y_i' - \bar{Y}')$
0	20	20	20	2.996	1.605	535.40	29.859
1	24	30	50	3.212	0.140	366.34	7.162
2	30	30	90	4.582	0.002	172.65	-1.247
3	45	16	96	4.564	0.077	3.46	0.516
4	55	14	110	4.700	0.171	37.22	4.077
5	60	2	112	4.718	0.186	254.26	7.271
6	80	2	114	4.736	0.202	1368.66	16.567
$\sum_{i=0}^6$	302			50.007	2.446	2818.06	64.205

$$\text{表中 } \bar{P} = \frac{\sum P_i}{N_0} = \frac{302}{7} = 43.14$$

$$\bar{Y}' = \frac{\sum Y_i'}{N_0} = \frac{50.007}{7} = 4.287$$