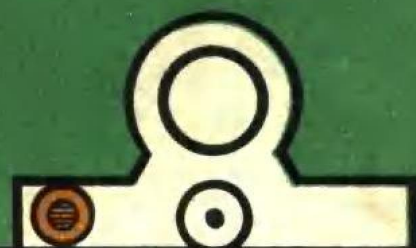


起重运输机械



陈道南 过玉卿 周培德 盛汉中 编

机械工业出版社

前 言

随着生产的不断发展，在现代化的工矿企业、车站港口、料场仓库、建筑工地、林区农场、食品加工和国防建设等国民经济各部门，越来越广泛地使用各种起重运输机械，进行装卸、运转、输送、分配等生产作业。例如一个年产1200万吨钢的钢铁联合企业，仅运进物料就有2380万吨（焦炭680万吨，矿砂1600万吨，废钢100万吨）；再加上生产作业过程中的转运（例如，由最先炼成的1060万吨生铁，再炼成1200万吨粗钢，最后轧成1080万吨钢材），没有现代化、高效率的起重运输机械是无法进行生产的。在起重运输机械中有些是不可缺少的运转设备，但更多的起重运输机械，其作用早已超出单纯搬运的辅助设备范围，它们被直接应用于生产工艺过程中，成为生产流水作业线上主体设备的组成部分。钢铁联合企业如此，其他国民经济部门也是如此。为促进社会主义建设事业的发展，提高劳动生产率，充分发挥起重运输机械的作用是具有重要意义的。

本书以桥式起重机、龙门起重机和带式输送机三大通用设备为中心内容，因而各章节中又多以这三大设备的常用零部件和机构为重点。

本书主要内容：1）起重运输机械的主要零部件（钢丝绳、吊钩、制动装置等）的构造、工作原理、计算和选择；2）主要机构（起升、运行、旋转、变幅机构等）的组成和设计计算；3）典型通用设备（桥式起重机、龙门起重机、带式输送机）的整体构造、参数特性、设计原则和使用维修。

参加本书编写工作的有北京钢铁学院陈道南（编写一、三、五、十四、十五、十六章）、盛汉中（编写第十章前七节、十一、十三章）、东北工学院周培德（编写第二、四、六、七、八、九章）、武汉钢铁学院过玉卿（编写第十章第八节、第十二章）。

本书由陈道南主编，过玉卿主审。

在本书编写过程中还得到太原重型机器厂、一机部起重运输机械研究所、以及很多高等院校有关同志的帮助和指导，在此表示感谢。

编者 1981年3月

目 录

前言

第一章 起重机械概论	1
一、起重机械的分类	2
二、起重机械的基本参数	4
三、起重机械的工作类型	5
四、起重机械的计算载荷	7
第二章 滑轮组、钢丝绳与卷筒	9
一、滑轮组	9
二、钢丝绳	13
三、滑轮和卷筒	19
第三章 取物装置	26
一、通用的取物装置	26
二、专用的取物装置	33
第四章 制动装置	37
一、停止器	37
二、制动器	39
三、复合制动装置	56
第五章 车轮与轨道	58
一、车轮	58
二、轨道	59
三、车轮和轨道的选择计算	60
第六章 起升机构	63
一、起升机构的组成	63
二、起升机构的计算	64
第七章 运行机构	74
一、运行机构的组成和主要型式	74
二、运行机构的计算	77
第八章 旋转机构	87
一、旋转机构的组成和主要型式	87
二、旋转机构的计算	89
第九章 变幅机构	95
一、变幅机构的组成和主要型式	95
二、变幅机构的计算	96
第十章 起重机金属结构的力学基础	100
一、结构计算简图的概念及结构的分类	100
二、结构的几何构造分析	103
三、静定平面桁架的受力分析	109
四、影响线及其应用	117

五、静定结构的位移计算	131
六、超静定结构的内力分析(力法)	146
七、超静定结构的内力分析(位移法)	166
八、杆系结构的有限单元法	176
第十一章 桥式起重机	202
一、桥式起重机的类型和主要参数	202
二、起重小车的构造	208
三、桥架金属结构	212
四、桥架运行机构	218
第十二章 龙门起重机	223
一、龙门起重机的分类和构造	224
二、龙门起重机的主要参数和工作类型	228
三、龙门起重机的起重小车	229
四、龙门起重机的运行机构	231
五、夹轨器	234
六、箱形结构龙门架内力计算	236
七、龙门起重机轮压的计算	248
八、龙门起重机的稳定性计算	250
第十三章 旋转起重机	251
一、固定转柱式旋转起重机	251
二、固定定柱式旋转起重机	254
三、固定转盘式旋转起重机	260
四、平衡吊臂式旋转起重机	264
第十四章 运输机械概论	268
一、连续运输机械的分类和主要参数	268
二、物品的分类和特性	270
第十五章 带式输送机	272
一、带式输送机的工作原理及其主要类型	272
二、带式输送机主要零部件	272
三、带式输送机的设计计算	279
第十六章 链式及无挠性牵引件类型运输机	288
一、链式类型运输机	288
二、无挠性牵引件类型运输机	295
参考资料	299

第一章 起重机械概论

起重机械是现代化生产的重要机械设备。是减轻体力劳动，提高劳动生产率，实现生产过程机械化和自动化不可缺少的机械设备。

随着生产的不断发展，在国民经济各部门中越来越广泛地使用各种型式的起重机械。

为了对起重机械有一个整体的概念，下面先介绍一台桥式起重机（见图1-1）。

构成桥式起重机的主要金属结构部分是桥架，它横架在车间两侧由立柱支撑起来的轨道上，并能在其上作前后运行。除桥架外的组成部分，还有小车，小车上带有起升机构和运行机构，可以带着吊起的物品沿桥架上铺设的轨道左右运行。小车的左右运行、桥架

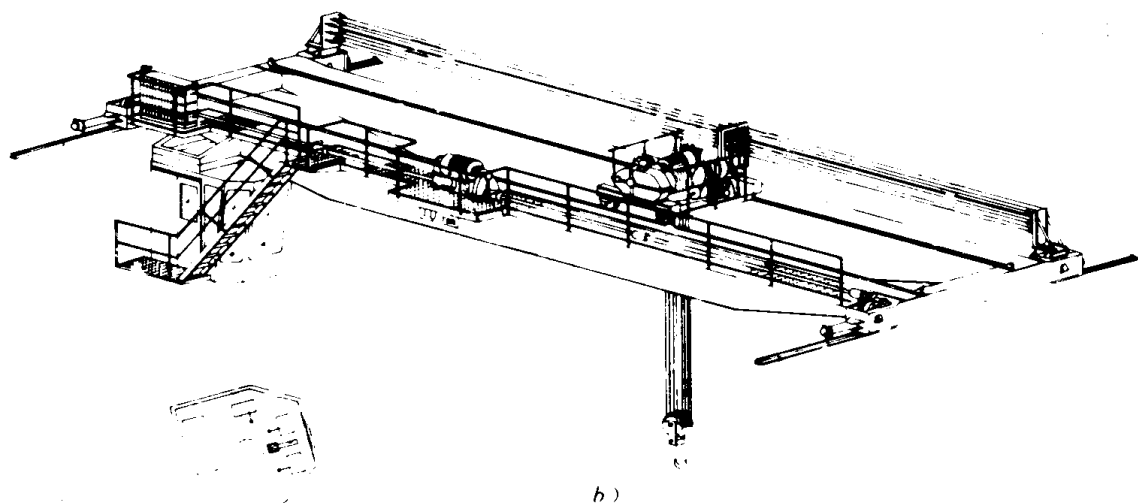
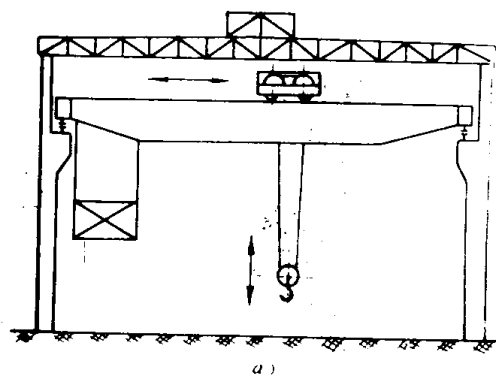


图1-1 桥式起重机

a) 桥式起重机示意图 b) 桥式起重机构造

的前后运行以及起升机构的升降动作，这三者所构成的立体空间范围是桥式起重机吊运物品的服务空间。

普通桥式起重机，一般都具有三个机构：即起升机构、小车运行机构和大车运行机构。按照正常工作程序，首先开动起升机构，使空钩下降，钩住物品再回升到适当高度，然后开动小车运行机构和大车运行机构到指定位置停止；又开动起升机构降下物品后使空钩上升，再开动小车运行机构和大车运行机构使起重机回到原来位置，准备第二次吊运工作。每运送一次物品，就要重复一次上述的过程，这个过程通常称为一个工作周期。在一个周期内，各个机构不是同时工作的。有时这个机构在工作，别的机构在停歇，但每个机构都至少作一次正向运转和一次反向运转。由于具有这样的工作特征，所以起重机械是一种周期性间歇工作的机械。

一、起重机械的分类

如上所述，按照起重机械具有机构的多少、动作繁简的程度以及工作性质和用途，可把起重机械归纳为以下三大类：

(1) 简单起重机械 一般只作升降运动或一个直线方向移动，只需要具备一个运动机构，而且大多数是手动的，这种单动作起重机械，称为简单起重机械，如各种千斤顶（见图1-2a）、绞车（见图1-2b）和电葫芦（见图1-2c）等。

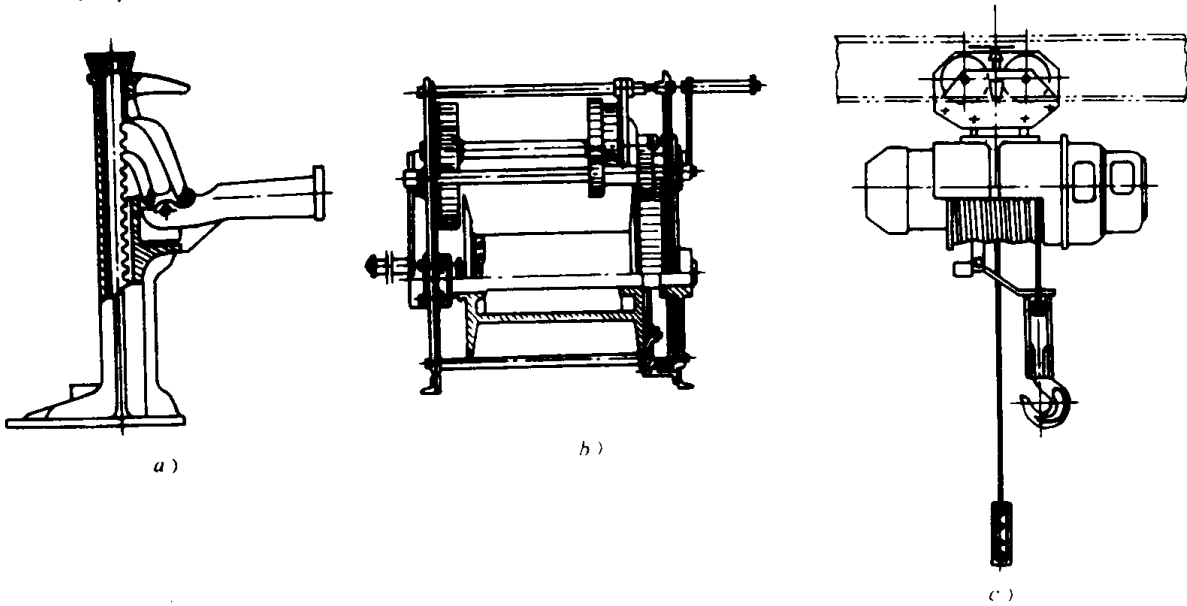
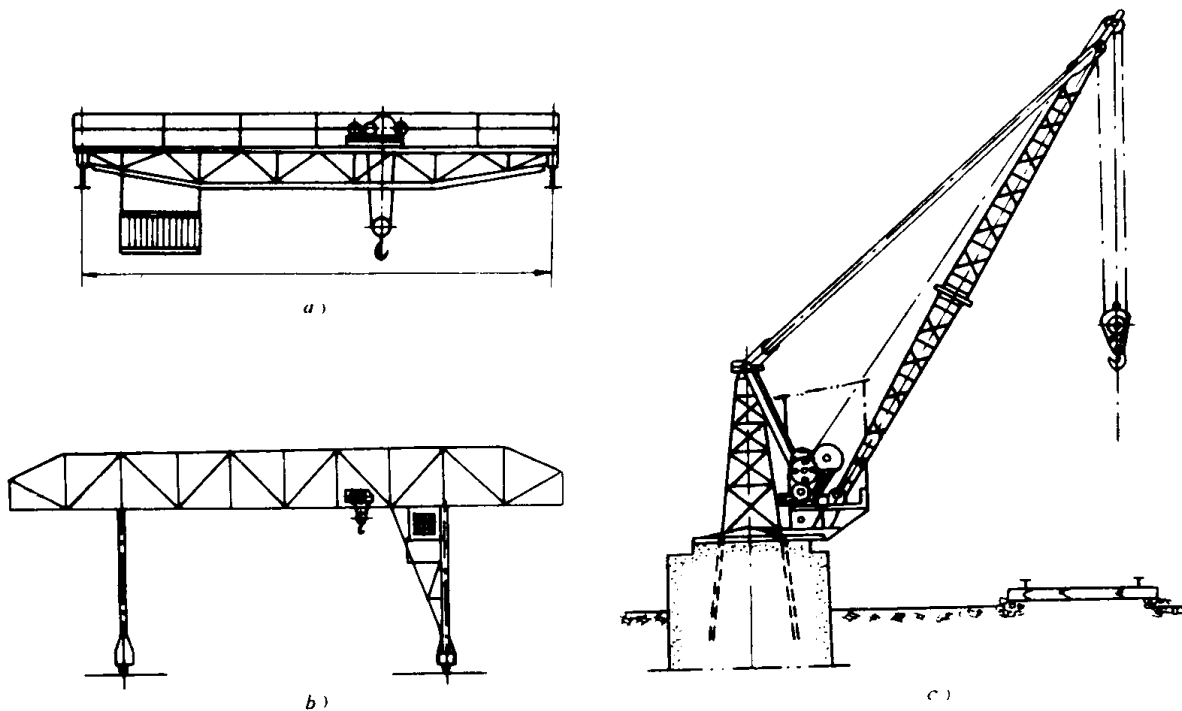


图1-2 简单起重机械

a) 千斤顶 b) 绞车 c) 电葫芦

(2) 通用起重机械 除需要一个使物品升降的起升机构外，还有使物品作水平方向的



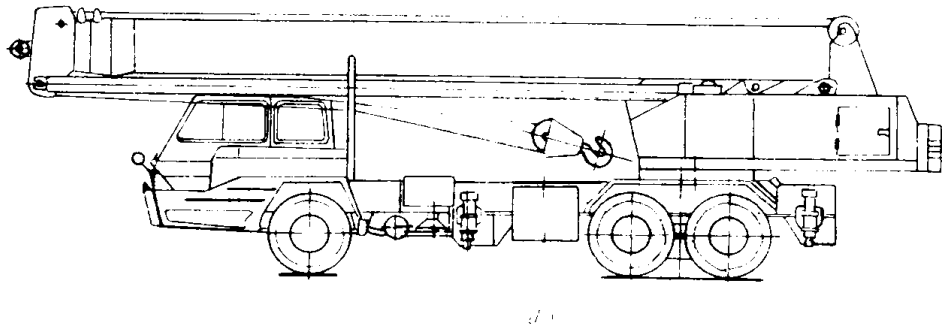


图1-3 通用起重机械

a) 桥式起重机 b) 龙门起重机 c) 固定旋转起重机 d) 汽车起重机

直线运动或旋转运动机构。这种起重机是一种多动作起重机械。这类起重机械一般都是用吊钩工作, 间或配合使用各种辅助吊具, 用来搬运各种物品(成件、散粒和液状物体)。“通用”的含意, 不仅指搬运物品的多样性, 而且也包括使用场所的广泛性。这类起重机械通常都用电力驱动或其它动力驱动, 一般只作物品的搬运, 不直接参与生产工艺过程。属于这类起重机械的有: 通用桥式起重机(见图1-3a), 龙门起重机(见图1-3b), 固定旋转式起重机(见图1-3c) 和行动旋转式起重机(见图1-3d的汽车起重机)等。

(3) 特种起重机械 也是具备二个以上机构的多动作起重机械, 专用于某些专业性的工作, 构造比前述两类起重机械更为复杂, 如各种冶金专用起重机(见图1-4a)、建筑专用起重机(见图1-4b) 和港口专用起重机(见图1-4c)等。

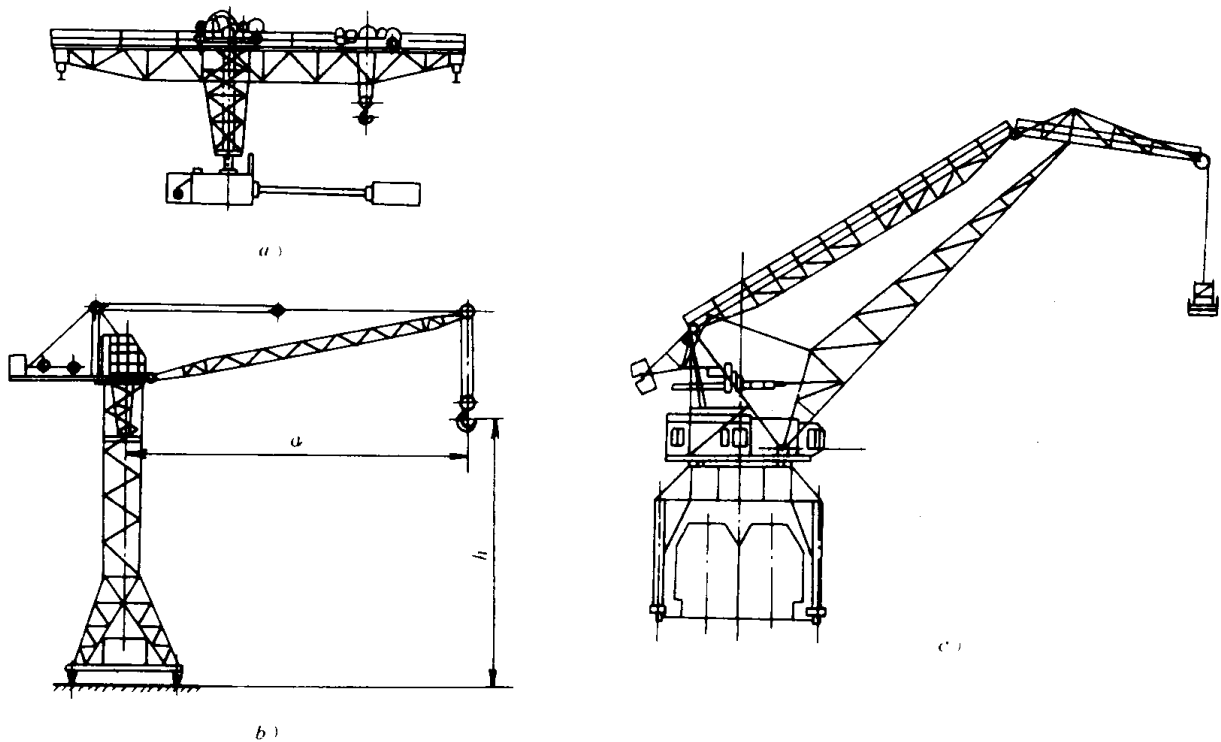


图1-4 特种起重机械

a) 冶金起重机 b) 建筑起重机 c) 港口起重机

本书主要介绍通用起重机械, 通过对它的构造、动作原理和设计计算方法的介绍, 为进一步学习专业机械设备打下基础。

二、起重机械的基本参数

起重机械的基本参数是用来说明起重机械的性能和规格的一些数据，也是提供设计计算和选择使用起重机械的主要依据。起重机械的基本参数包括如下几项：

(1) 额定起重量 Q (tf) 吊钩所能吊起的最大重量。如使用其它辅助取物装置和吊具（如抓斗、电磁盘、夹钳和盛钢桶等）时，这些装置的自重应包括在额定起重量内。根据我国国家标准（GB783-65）起重机的起重量系列为：0.05、0.1、0.25、0.5、0.8、1.0、1.25、1.5、2、2.5、3、4、5、6、8、10、12.5、16、20、25、32、40、50、63、80、100、125、140、160、180、200、225、250、280、320、360、400、450、500。当决定起重机的额定起重量时，应符合标准规定的数值。因为起重量的数值对大多数起重机的自重有决定性的作用，因此在确定时应按照生产实际情况考虑，过小不能满足生产要求，过大会造成基建投资的浪费。

(2) 起升高度 H (m) 吊钩最低位置到吊钩最高位置之间的垂直距离，此参数在标准中没有规定，可根据工作需要来定。

(3) 跨度 L (m) 和幅度 a (m) 都是表示起重机工作范围的参数。跨度是指桥式类型起重机大车运行轨道中心线之间的距离；幅度是指旋转起重机的旋转中心线到吊钩中心线之间的水平距离。

(4) 工作速度 v (m/min) 包括起升、运行、变幅和旋转速度，但旋转速度用 n (rpm) 表示。

- ① 起升速度——起升机构电动机在额定转速下吊钩上升的速度；
- ② 运行速度——运行机构电动机在额定转速下，大车或小车直线运行的速度；
- ③ 变幅速度——吊钩从最大幅度到最小幅度的平均线速度；
- ④ 旋转速度——旋转机构电动机在额定转速下，起重机的转速。

(5) 生产率 Q_h (tf/hr) 说明起重机装卸或吊运物品的工作能力的综合指标。常由综合起重量、工作行程及工作速度等基本参数决定，即：

$$Q_h = n_o Q_p \quad (\text{tf/hr}) \quad (1.1)$$

式中 Q_p ——每次吊运物品的平均起重量 (tf)；

n_o ——起重机每小时的工作循环数。

如用辅助取物装置（抓斗或桶）吊运散粒或液状物品时，则生产率应按下式计算，即：

$$Q_h = n \cdot V \cdot \gamma \cdot \psi \quad (\text{tf/hr}) \quad (1.2)$$

式中 V ——容器或抓斗的有效容积 (m^3)；

γ ——散粒或液状物体的容重 (tf/m^3)；

ψ ——满载率。

起重机每小时工作循环数 n 应按下式计算，即：

$$n = \frac{3600}{T} \quad (1.3)$$

式中 T ——工作循环时间 (sec) = $\sum t + t_f$ (sec)；

$\sum t$ ——在一个工作循环中机构的运转时间 (sec)。

t_f ——物品挂钩和脱钩等辅助工作时间 (sec)。

(6) 自重及外形尺寸 这是任何一种机器都应有的技术经济指标, 它不仅是说明起重机械本身性能优劣的数据, 而且直接影响基建费用的投资, 因此, 应十分重视减轻自重和减小外形尺寸。

起重机械的基本参数, 一般在设计前根据使用单位提出的要求合理选定。起重量及表示工作范围的参数, 根据吊取物品的最大重量及工作场地的尺寸决定。速度参数与生产率有关, 一般对生产率要求高的大量装卸工作, 取较高速度; 对大件物品装卸或安装工作, 取较小速度。有关基本参数的具体数据, 可参考六、七、八、九各章。

三、起重机械的工作类型

起重机械是一种间歇动作的机械。其工作特点具有周期性。在每一工作循环中, 它的主要机构作一次正向及反向运动, 每次循环包括物品的装载及卸载, 搬运物品的工作行程和卸载后的空钩回程, 前后两次装卸之间还有包括辅助准备时间在内的短暂停歇。

在一个工作循环中, 起重机各机构一般不同时开动, 而是根据工作需要彼此协同工作的。但在一个循环中各机构都有自己的动作延续时间。此外, 即使在开动阶段, 机构的负载情况有带载和空载之分; 即使是带载, 载荷大小也有变化。另外操作熟练程度对机构构件的受力情况也有影响, 操作不平稳会使构件带来冲击载荷, 加剧疲劳、磨损或发热, 严重的甚至会导致事故。除上述工作条件外, 还须考虑起重机的工作环境, 如在高温车间, 酸碱车间都会影响机械的强度。为了充分估计这些情况和避免产生意外的后果, 在设计、选择或核验起重机以及选择电动机和电气设备时, 必须从实际出发, 根据不同的工作情况, 应用不同的安全系数和许用应力。为此, 要把起重机械根据忙闲程度和负荷情况分为不同的工作类型。但起重机械是由各机构组成的, 起重机械在工作, 也就是它的机构在运动。因而必须考虑到各个机构的工作类型。由于这些机构用途不同, 工作时间长短也不相同 (例如起升机构在装卸物品时, 其它机构停歇不动)。而且在工作过程中, 各机构运转速度和所承受的载荷也不同。所以在同一起重机械中, 各机构的工作类型可以不同。但机构又是由零部件组成的, 当各机构工作类型不同时, 它们的零部件工作情况当然也就不相同。因此, 在设计计算各机构零部件时, 应根据各机构的工作类型分别进行。整体起重机械和金属结构的工作类型是根据主起升机构决定的, 而且与它属于同一种工作类型。

根据上述理由, 对于人力驱动的起重机械, 因为工作过程的停歇时间长, 工作速度小, 没有必要区别工作等级, 所以统称为人力驱动工作类型。对于机械驱动的起重机械, 其机构的工作类型取决于下列因素:

(1) 负荷率 按额定起重量设计的起重机械的机构和金属结构承受的载荷接近额定起重量或最大起重量的程度。负荷率分为小、中、大三类, 见表1-1。

(2) 工作的忙闲程度 工作的忙闲程度对整台起重机械来说, 就是指在一年总时间 (约8700小时) 中, 起重机的实际运转时数; 对机构来说, 则是指在一年中机构实际运转时数。因为在起重机械一个工作循环周期中, 某一机构仅在某一段时间内运转, 而在其余时间中停歇, 所以机构实际运转时间比整个起重机的实际运转时间少。一台起重机械的忙闲程度决定于机构运转时间的长短。机构忙闲程度分类及其大约的年运转小时数见表1-2。

表1-1 机构负荷率分类

负荷率	起升机构	旋转、运行、平衡变幅机构
小	常吊额定起重量的 $\frac{1}{3}$ (即 $\frac{Q}{3}$)，偶尔吊额定起重量 Q	$\frac{t_q}{t_k} = 0.15$
中	常吊 $(\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3})Q$	$\frac{t_q}{t_k} = 0.15 \sim 0.25$
大	常吊 $\frac{2}{3}Q$ 以上	$\frac{t_q}{t_k} = 0.25$

注： t_q ——机构平均起动时间；

t_k ——机构开动一次的运转工作时间（包括起动、制动和稳定运动时间）。

表1-2 机构忙闲程度分类

忙闲分级	轻 闲	中 等	繁 忙
特 征	运转时间短，停歇时间长	不规则地间断运转	接近连续地运转
年运转时间（小时数）	$t_{zn} < 500$	$t_{zn} = 500 \sim 2000$	$t_{zn} > 2000$

注： $t_{zn}(t_{总})$ ——运转和停歇时间的总和。

根据负荷率及忙闲程度将起重机械的机构工作类型分为：轻级、中级、重级和特重级四种，见表1-3。

表1-3 起重机工作类型分类

负荷率	忙闲等级		中 等	繁 忙
	轻	闲		
小	轻	级	轻 级	中 级
中	轻	级	中 级	重 级
大	中	级	重 级	特 重 级

四种级别的工作情况大致如下：

① 轻级——这类机构在工作过程中停歇时间长，很少起重到额定起重量，速度低，接电次数少，一班工作制。如检修用的起重机和机器房用的起重机的起升和运行机构；装卸桥、塔式起重机和缆索起重机的运行机构等。

② 中级——这类机构常在各种不同大小的起重量下工作，中等速度，中等开动次数，三班制工作。如中批生产的机械加工车间、装配车间和机修车间的起重机的起升和运行机构；建筑起重机的旋转机构，电动葫芦等。

③ 重级——这类机构经常在接近额定起重量下工作，速度大，开动次数多，两班制工作。如大批生产工厂中的机械车间、铸造车间和仓库用的工艺起重机；建筑起重机的起升机构；冶金工厂的运行式电动葫芦等。

④ 特重级——这类机构经常在额定起重量下工作，速度高，开动次数多，环境温度高，三班制工作。如工艺用的冶金起重机的机构，冶金企业的抓斗、电磁铁起重机和仓库的起重机的各机构，装卸桥的起升和运行机构。

设计计算起重机零件和金属结构时，其寿命和应力循环次数，依工作类型按表1-4确定。

表1-4 寿命和应力循环次数

工 作 类 型		轻 级	中 级	重 级	特 重 级
起重机总循环次数		6.3×10^4	2×10^5	6.3×10^5	2×10^6
传动零件 工作总时数	一般件	4500	10000	24000	42000
	易损件	2300	5000	12000	21000
滚动轴承寿命(时)		1000	4000	8000	16000
机构每小时起动次数		30/20	60/40	120/80	240/160

注：“机构每小时起动次数”一栏中：① 分子数字用于起升机构，分母数字用于运行机构；

② 起动次数包括全起动和点动折算成的起动次数。

选择电动机、电气元件和验算制动器时，需验算机构的运转持续率 $JC\%$ （表1-5）和环境温度（一般工作条件下环境温度为 $-25 \sim 40^\circ\text{C}$ ）。

表1-5 机构运转持续率 $JC\%$ 的规定值

工 作 类 型	轻 级	中 级	重 级	特 重 级
$JC\%$	15	25	40	60

机构运转持续率系指起重机在一个工作循环周期中，某一机构持续接电时间占整个工作循环时间的百分比($JC\%$)。即

$$JC\% = \frac{\Sigma t}{T} 100 \quad (1-5)$$

式中 Σt ——在一个工作循环中机构的运转时间；

T ——起重机一个工作循环的总时间（起重机开始提升某物品到开始提升下一个物品之间的时间），在确定 $JC\%$ 值时，所计算时间间隔，对电动机来说应不大于10分钟；对机构零部件来说应按实际循环定。

机构的 $JC\%$ 值不一定等于电动机的 $JC\%$ 值。对于那些在电动机断电后仍能依靠惯性运转的机构，例如采用可操作开式制动器的运行机构或旋转机构等，机构的 $JC\%$ 值比电动机的 $JC\%$ 值要大得多。

初步设计时，如果缺乏有关资料，难于通过计算来确定 $JC\%$ 值时，一般可根据同类起重机在相同或近似工作条件下的实践经验来定。

机构工作时间率的主要指标是机构一年工作总时数 t_{zn} ，按下式求出后，由表1-2和表1-3确定其分类。

$$t_{zn} = T_{zn} \frac{JC}{100} \quad (1-6)$$

式中 T_{zn} ——起重机一年工作总时数，应根据起重机的具体使用条件来定。

四、起重机械的计算载荷

作用在起重机上的外载荷有：起升载荷、起重机自重载荷、不稳定运动时的动载荷、风载荷、坡度载荷、通过不平的轨道接头时的冲击载荷、车轮侧向载荷、碰撞载荷、安装和运

输载荷以及某些工艺性载荷等。

由于作用在起重机上的外载荷的种类很多，而且变化不定，因此设计计算时只能选择与起重机零部件或结构破坏形式有关的、具有典型性的载荷作为依据，这种载荷通常称为计算载荷。

在起重机设计计算方法中，对于起重机的零部件或结构需进行以下三类计算：

- 1) 疲劳、磨损和发热计算；
- 2) 强度计算；
- 3) 强度验算。

与这三类计算相适应，起重机的计算载荷有下列三种组合：

1. 寿命（耐久性）计算载荷（或称第Ⅰ类载荷）

这是用来计算零部件或金属结构的疲劳（耐久性）、磨损或发热的计算载荷，在确定这类载荷时，只需考虑正常工作状态下的载荷即可。这种载荷不仅要计及载荷的大小，还要计及它们的作用时间。

2. 强度计算载荷（或称第Ⅱ类载荷）

这是用来计算零部件或金属结构的强度、稳定性以及起重机的整体稳定性与轮压的计算载荷，通过计算，可使起重机在工作时不致破坏或翻倒。强度计算载荷是起重机在正常条件下可能产生的最大载荷。确定强度计算载荷时，应选取可能出现的最不利的载荷组合。

3. 验算载荷（或称第Ⅲ类载荷）

验算载荷是指起重机处于非工作状态时可能出现的最大载荷（如暴风载荷），或工作时发生的事故载荷，这种载荷用来验算起重机的固定设备（如夹轨器）、变幅机构、支承旋转装置的某些零件或金属结构的强度以及起重机的整体稳定性。

产生这类载荷时，起重机是不工作的（例如龙门起重机非工作状态时承受暴风载荷），因此按此类载荷验算静强度时，可取较小的安全系数。

第二章 滑轮组、钢丝绳与卷筒

滑轮组、钢丝绳与卷筒是起重机的主要零部件,它直接承担起重任务使物品作升降运动。以下分别讨论这三种零部件的构造与设计计算。

一、滑 轮 组

滑轮组是绳索和一定数量的定滑轮与动滑轮的组合体,多作为起升机构中的一个组成部分,但也可单独作为起重装置使用。

1. 滑轮组的组成型式

按使用的目的分,滑轮组可分为省力滑轮组和增速滑轮组两类(见图2-1)。在起重机中应用最普遍的是省力滑轮组,应用这种滑轮组后,当起重量一定时,绕入卷筒的绳索分支张力比不用滑轮组而直接绕入卷筒的绳索分支张力要小,但这时物品的升降速度却比不用滑轮组而直接绕入卷筒的速度降低了。速度降低的倍数在理论上正好等于省力的倍数。其数值决定于滑轮组的型式及定滑轮与动滑轮的数量。

滑轮组的倍率 i_h 是用来表征滑轮组减速(或省力)的大小的。通常等于卷筒圆周速度 V_j 与物品的起升速度 V 之比。也等于滑轮组中承载绳索分支数 Z_c 与绕入卷筒的绳索分支数 Z_j 之比,即

$$i_h = \frac{V_j}{V} = \frac{Z_c}{Z_j} \quad (2-1)$$

省力滑轮组中常用的有单联滑轮组和双联滑轮组两种。单联滑轮组(图2-2)的特点是绕入卷筒的绳索分支数为一根,即 $Z_j = 1$;而双联滑轮组绕入卷筒的绳索分支数有两根,即 $Z_j = 2$ (见图2-3)。

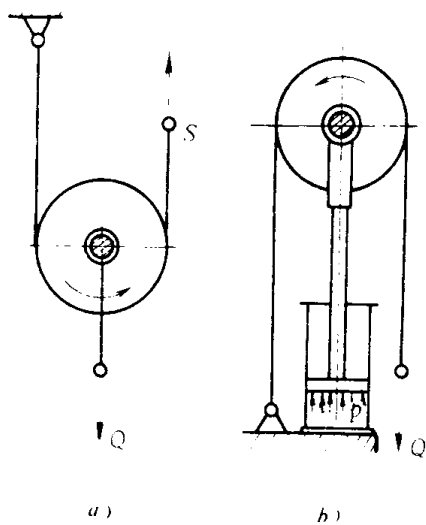


图2-1 滑轮组型式
a) 省力滑轮组 b) 增速滑轮组

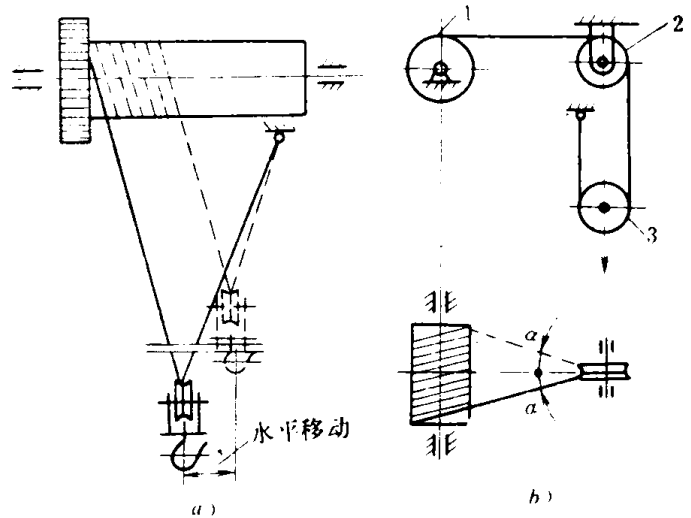


图2-2 单联滑轮组
a) 绳直接绕上卷筒 b) 绳经导向轮后绕上卷筒
1—卷筒 2—导向滑轮 3—动滑轮

单联滑轮组的缺点是当物品升降时，还发生水平移动（见图2-2a）。如升降速度很快，必将引起物品在空中摇晃，不利于机器安装等工作，使起重机操作不便。为了消除这种影响，在绳索绕入卷筒之前，可以先经过一个固定的导向滑轮（见图2-2b），这样，物品就不会发生水平移动或摇晃了。

在不能设置导向滑轮的起重机中，广泛采用双联滑轮组，它的特点是物品作垂直升降时没有水平移动。双联滑轮组（见图2-3）是由两个倍率相同的单滑轮组并联而成的，绳索两端都固定在带有左右螺旋槽的卷筒上。为了使绳索由一边的单联滑轮组过渡到另一边的单联滑轮组，中间应用了一个平衡滑轮（或平衡杠杆）来调整两边滑轮组的绳索张力和长度。在正常情况下，平衡滑轮是不转动的，只有在张力不等时才会有一些转动。因而绕在它上面的绳索几乎相当于固定。故平衡滑轮的直径没有必要做得很大，一般取为工作滑轮直径的0.6倍。

在双联滑轮组中，除常采用平衡滑轮（图2-3b, c, d）外，也有采用平衡杠杆的（图2-3a, e）。采用平衡杠杆的优点是能用两根长度相等的短绳来代替平衡滑轮中所用的一根长绳。这样，便于更换和安装绳索，特别是在大起重量起重机中，绳索分支数较多的情况下，这种优点更为显著。

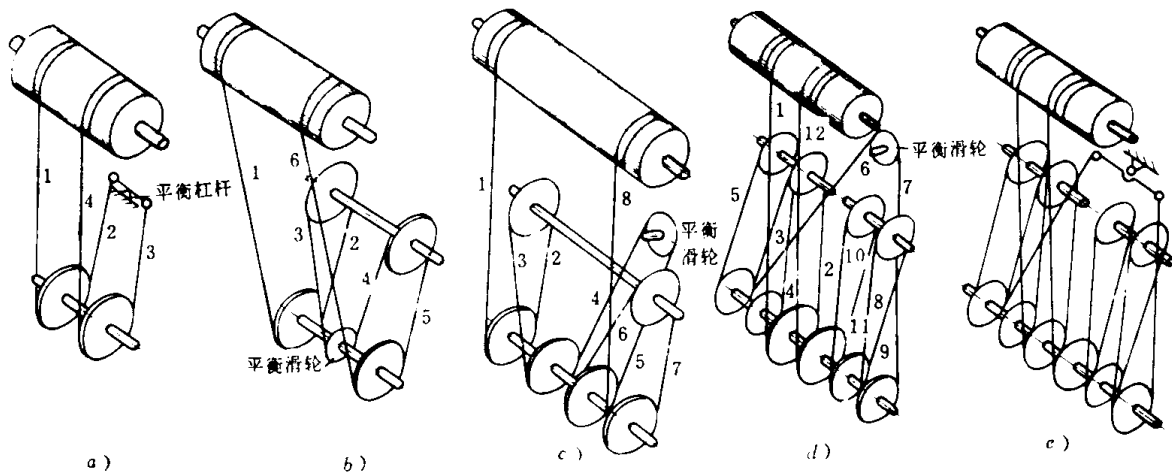


图2-3 双联滑轮组

图2-3所示为具有二倍率、三倍率、四倍率和六倍率型式的双联滑轮组。当滑轮组的承载绳索分支数不超过八根时，绕入卷筒的两根绳索分支一般都是与最外边两个动滑轮相联的。随着滑轮数目的增加，最外边两个动滑轮的距离逐渐增大，因而卷筒左右螺旋槽之间的距离，即光滑部分的长度也随之加大，结果会使卷筒长度增加，造成机构不紧凑。因此，当承载绳索分支数达到12根以上时（见图2-3d, e），绕入卷筒的两个绳索分支都改为与中间两个加大直径的动滑轮相联。这两个动滑轮直径的加大，是为了使绕入卷筒的绳索不致碰到其余的绳索。滑轮组的倍率与起重量有关，一般5~30t起重量时，取 $i_h = 2 \sim 4$ ；30~100t时，取 $i_h = 4 \sim 6$ ；而100~250t时取 $i_h = 6 \sim 12$ 。

2. 滑轮的阻力系数

绕过滑轮之绳索两端的张力，实际上不仅方向不同，且大小也不相等。绕出端张力 S_c 要比绕入端张力 S_r 为大（见图2-4）。因为绕出端张力除了要平衡绕入端张力之外，还要克服绳索绕过滑轮时的附加阻力，这些附加阻力有：

(1) 绳索僵性阻力 绳索在进入滑轮时由直变弯, 离开滑轮时由弯变直, 克服绳索的僵性阻力, 需要附加的作用力。

(2) 轮轴阻力 滑轮在轴上转动时, 滑轮轴承的摩擦阻力, 即为轮轴阻力。

以上两种阻力合成后的总附加阻力以 F 表示, 则

$$S_c = S_r + F \quad (2-2)$$

滑轮的总附加阻力 F 可写成

$$F = \beta S_r \quad (2-3)$$

式中 β ——由实验决定的系数, 于是

$$S_c = S_r + \beta S_r = (1 + \beta) S_r = k S_r \quad (2-4)$$

式中 $k = (1 + \beta)$ ——滑轮的阻力系数。

对于钢丝绳滑轮, 当滑轮用滑动轴承时, 一般取阻力系数 $k = 1.05$; 而用滚动轴承时, $k = 1.02$ 。

3. 滑轮组的一般计算

由于滑轮组中各个滑轮阻力的影响, 使得物品重量不能均匀地分配到各绳索分支上, 因而各分支绳张力不相等。为了计算和选择钢丝绳, 需先求出绳索分支中的最大张力。如图2-5 a所示之滑轮组, 其倍率 $i_h = 4$ (即绳索分支数等于4), 而最大张力必在最后绕入卷筒的绳索分支 (即 S_4) 上。根据所有分支张力之和应等于所吊的物品重量 Q 与取物装置自重 G_0 之和, 可求出绳的最大张力 S_{max}

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = Q + G_0$$

而

$$S_2 = k S_1; \quad S_3 = k S_2 = k^2 S_1; \quad S_4 = k S_3 = k^3 S_1,$$

于是

$$S_1 (1 + k + k^2 + k^3) = \frac{S_4}{k^3} (1 + k + k^2 + k^3) = Q + G_0$$

故

$$S_{max} = S_4 = \frac{k^3 (Q + G_0)}{1 + k + k^2 + k^3}$$

对于倍率为 i_h 的任意滑轮组, 绳索分支最大张力的一般计算公式为

$$S_{max} = S_{i_h} = \frac{k^{i_h-1} (Q + G_0)}{1 + k + k^2 + \dots + k^{i_h-1}} = \frac{k^{i_h-1} (k-1) (Q + G_0)}{k^{i_h} - 1} \quad (2-5)$$

如绳索分支张力 S_{i_h} 在绕入卷筒之前尚须经过导向滑轮 (见图2-5 b), 则每经过一个导向滑轮应另外乘以一个阻力系数 k 。如仅有一个导向滑轮, 则绳索的最大张力为

$$S_{max} = S = k S_{i_h} = \frac{k^{i_h} (k-1) (Q + G_0)}{k^{i_h} - 1}$$

滑轮组的效率 η_h , 可由绕入卷筒的绳索分支的理想张力 (即不计绳索在滑轮上的阻力) 与

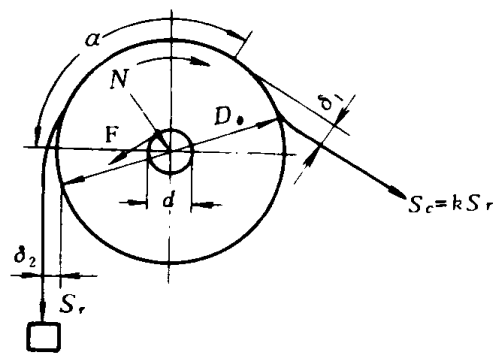


图2-4 滑轮阻力的计算简图

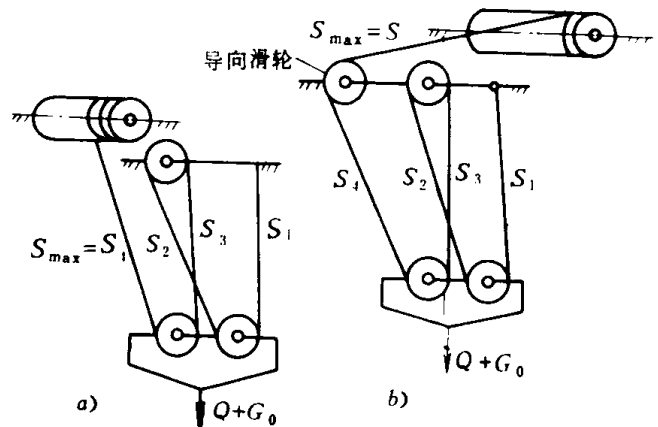


图2-5 滑轮组计算简图

S_1, S_2, S_3, S_4 —各绳索分支的张力

S_{max} —绳索分支的最大张力

S —经过导向滑轮后的绳索分支张力

实际张力之比来确定。在图2-5a所示之滑轮组中, 绳索的理想张力为 $S_0 = \frac{Q + G_0}{4} = \frac{Q + G_0}{i_h}$,

实际张力为 S_{i_h} (见公式2-5), 则绳索由动滑轮绕入卷筒的滑轮组效率的一般公式为

$$\begin{aligned} \eta_h &= \frac{S_0}{S_{i_h}} = \frac{Q + G_0}{i_h} \bigg/ \frac{k^{i_h-1}(k-1)(Q + G_0)}{k^{i_h-1}} \\ &= \frac{k^{i_h-1}}{i_h k^{i_h-1}(k-1)} \end{aligned} \quad (2-6)$$

同理, 在图2-5b所示之滑轮组中, 绳索由一个导向定滑轮绕入卷筒时, 其效率为

$$\eta_h = \frac{S_0}{S} = \frac{k^{i_h-1}}{i_h k^{i_h}(k-1)}$$

上述公式表明: 效率只与滑轮组的倍率有关。只要单联或双联滑轮组的倍率相同, 则它们的效率就相同。

将公式(2-6)的结果 $\left(\frac{1}{\eta_h} = \frac{i_h k^{i_h-1}(k-1)}{k^{i_h-1}} \right)$ 代入公式(2-5), 则绳索分支的最大张力亦可写成:

$$S_{\max} = \frac{Q + G_0}{i_h \eta_h} \quad (2-7)$$

上式是求单联滑轮组绳索最大张力的计算公式; 对于双联滑轮组, 可视为由两个倍率相同的单滑轮组共同承受载荷重量, 故绳索最大张力为

$$S_{\max} = \frac{(Q + G_0) \cdot 2}{i_h \eta_h} = \frac{Q + G_0}{2i_h \eta_h} \quad (2-8)$$

综合(2-7), (2-8)式, 对于滑轮组的计算通式可写成

$$S_{\max} = \frac{Q + G_0}{a i_h \eta_h} \quad (2-9)$$

式中 G_0 ——取物装置重量 (kgf);

a ——滑轮组型式的系数, 当为单滑轮组时 $a = 1$;

双联滑轮组时 $a = 2$;

η_h ——滑轮组的效率, 可由表2-1中查出。

表2-1 钢丝绳滑轮组效率 (图2-5a)

轴承型式	滑 轮 组 效 率 $\eta_h = \frac{k^{i_h-1}}{i_h k^{i_h-1}(k-1)}$						
	滑 轮 组 倍 率 i_h						
	2	3	4	5	6	8	10
滑 动	0.975	0.95	0.925	0.90	0.88	0.84	0.80
滚 动	0.99	0.985	0.975	0.97	0.96	0.945	0.915

二、钢 丝 绳

钢丝绳是起重机的重要零件之一。它具有强度高、自重轻（与链条相比）、弹性较好、极少骤然断裂和应用在机构上运行平稳、适用于高速传动等优点。不仅用于起升机构，也用于变幅、牵引及旋转机构中。起重机捆扎物品亦采用钢丝绳。此外，钢丝绳还用作桅杆起重机的桅杆张紧绳，缆索起重机与架空索道的支承绳。

钢丝绳的钢丝要求有很高的强度，通常由含碳量0.5~0.8%的优质碳素结构钢制成，其强度限达140~200kgf/mm²（普通3号钢强度限只有38kgf/mm²）。

钢丝有光面和镀锌的两种，镀锌钢丝多用于露天或具有腐蚀性气体的场所。

钢丝的韧性根据耐弯曲次数和扭转次数的多少可分为：特号、I号和II号三种。起重机多采用I号，特号用于升降人员和大型浇铸用的钢丝绳，II号用于系物等次要用途。

1. 钢丝绳的种类

1) 根据钢丝绳的捻绕次数分类

(1) 单绕绳 是由钢丝一次绕捻成绳的（图2-6）。这种绳的刚性大，不宜用作起重绳，适用于作起重机的桅索，不运动的拉索以及架空索道的承载索。对于用作索道的钢丝绳，为了使表面光滑耐磨，增加承载能力，专门制造一种如图2-7所示的封闭型钢丝绳。

(2) 双重绕绳 先由钢丝捻成股，再将各股捻成绳。双重绕绳的挠性和耐磨性适中，故在起重机械中应用最广。

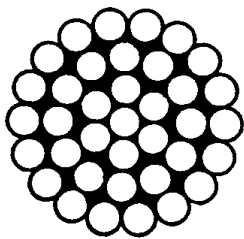


图2-6 单绕钢丝绳

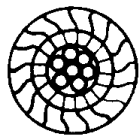


图2-7 封闭型钢丝绳

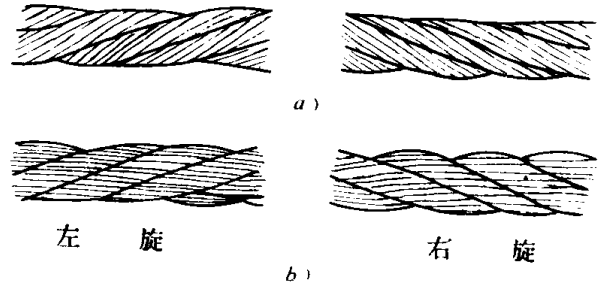
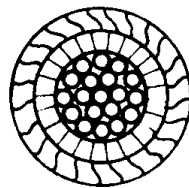


图2-8 双绕钢丝绳

a) 同向捻 b) 交互捻

2) 按钢丝绳绕制方向分类

(1) 同向捻钢丝绳（图2-8 a）是指由钢丝捻成股和由股捻成绳的方向相同。虽然这种绳的挠性很大，且表面平滑，钢丝磨损小，但它有自行扭转和松散的缺点，当自由悬挂物品在绳索的一端时，会使物品在空中旋转。因此，只有在具有刚性导轨悬挂的情况下（如电梯）才使用。

(2) 交互捻钢丝绳（图2-8 b）它的特征是由钢丝捻成股和由股捻成绳的方向相反，因而绳和股的自行松散的趋势相反，互相抵消，不致旋转松散，在起重机中用得较多。它的缺点是挠性小和寿命较短。

上述二种双绕绳，按由股捻成绳的方向，又可分为左旋和右旋两种，如图2-8左右两边所示。若没有特殊要求，一般多用右旋绳。

近年来在制绳工艺上采用预变形的办法，在成绳之前，用几个导轮使绳股得到弯曲的形