

# 第二章载荷计算及结构设计准则

## ■ 结构

金属结构的重要作用就是骨架作用。所以保证机械工作安全、可靠和良好的工作性能是结构设计的终极目标，合理分析和计算载荷、确定设计计算准则就是首先关注的问题。

## ■ 本章学习的重点

- 1) 载荷计算
- 2) 载荷组合
- 3) 强度、刚度和稳定性设计总则

# §2.1 载荷种类

一，根据载荷的性质分

- 1.重力载荷（自身重量、起升货物的重量）
- 2.惯性载荷和振动载荷（由于运动产生的附加载荷
- 3.自然载荷（环境载荷，如风、雪、冰、地震和温度等）
- 4.其他载荷（偏斜运行、运输、安装等）

二，根据载荷作用的概率分

- 1.基本载荷——经常性、始终作用在起重机结构上的载荷。
- 2.附加载荷——非经常性的载荷。
- 3.特殊载荷——偶然作用的载荷。

# §2.2 载荷的确定和计算

## 一、自重载荷 $P_G$ 及其动载效应

### 1. $P_G$ 的估算（设计前无法知道）

- 1) 参考技术参数相近的同类产品
- 2) 利用手册、样本、参考书和文献中的经验公式
- 3) 逐步逼近法（初步内力计算、选择截面、计算重量）

### 2. 其动载效应

1) 起升冲击系数 $\varphi_1$ ——描述起升质量突然离地起升或下降制动时自重载荷产生的沿其加速度相反方向的冲击作用。（ $0.9 < \varphi_1 < 1.1$ ）

2) 运行冲击系数 $\varphi_4$ ——起重机或部分质量路径不平路面或轨道接头时，使自重质量产生沿铅垂方向的冲击作用。

## §2.2 载荷的确定和计算

可根据经验、试验和采取适当理论模型分析得到。也可按照以下数据计算：

1) 对于轮胎式和汽车式起重机

——运行速度 $\leq 0.4\text{m/s}$ ， $\varphi_4=1.1$ ；

——运行速度 $> 0.4\text{m/s}$ ， $\varphi_4=1.3$ ；

2) 对于履带式起重机；

——运行速度 $\leq 0.4\text{m/s}$ ， $\varphi_4=1.0$

——运行速度 $> 0.4\text{m/s}$ ， $\varphi_4=1.1$

3) 对于轨道式起重机

——轨道接头状态良好， $\varphi_4=1.0$ ；

——轨道接头状态一般，

$$\varphi_4 = 1.1 + 0.058v_y\sqrt{h}$$

$V_y$ ——运行速度，单位 $\text{m/s}$ ；

$h$ ——轨道接头处的高度差，单位 $\text{mm}$ ；

## §2.2 载荷的确定和计算

二，起升载荷 $P_Q$ 及其动载效应

### 1. $P_Q$ 的计算

吊钩式:  $P_Q = Q + G_{he} + G_r$

$G_{he}$ ——取物装置的重量;

$G_r$ ——悬挂长度大于50m时起升钢丝绳重量;

$Q$ ——起升货物的额定重量;

抓斗式:  $P_Q = Q + G_r$

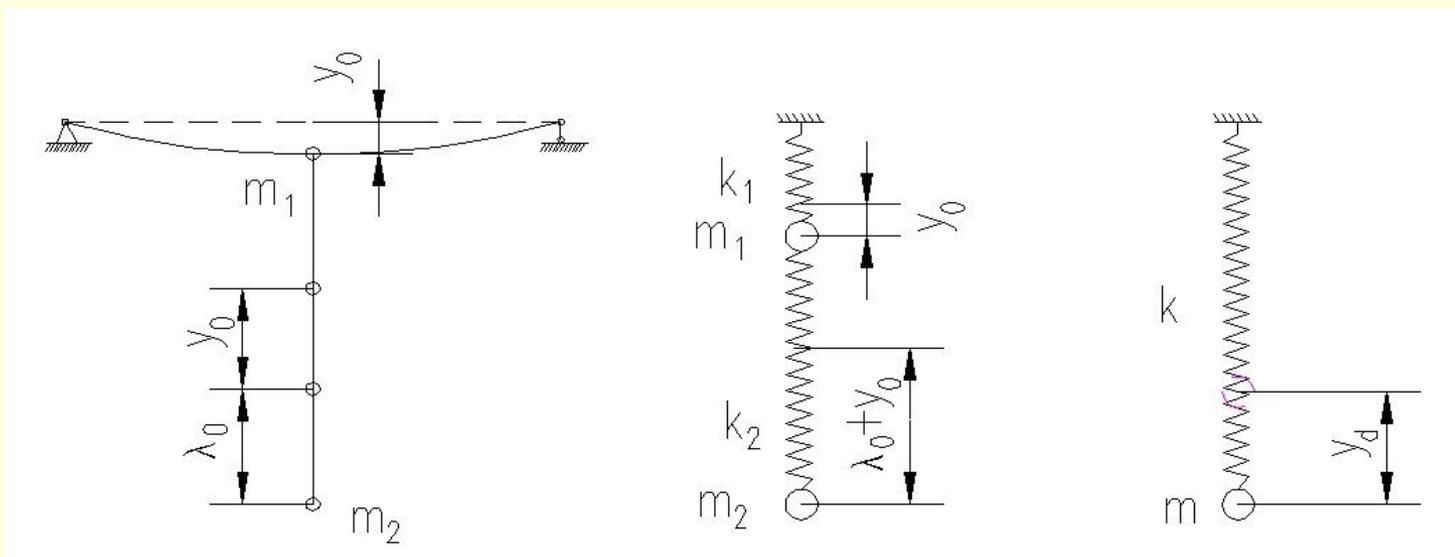
对于抓斗、电磁吸盘或容器式等作为取物装置时， $Q$ 中包含有 $G_{he}$ 。

# §2.2 载荷的确定和计算

## 2. 起升载荷的动载效应

1) 起升载荷的动载系数 $\varphi_2$ ——起升质量离地起升或下降制动过程中的动载效应。

其理论分析的简化模型：



## §2.2 载荷的确定和计算

- $m_1$ 、 $k_1$ ——分别表示主梁及小车在悬挂处的换算质量及刚度系数
- $m_2$ 、 $k_2$ ——分别表示起升质量和钢丝绳滑轮组的刚度系数
- $y_0$ ——在起升载荷作用下，起升质量悬挂点处的静挠度（位移）
- $\lambda_0$ ——在起升载荷作用下，钢丝绳滑轮组的静挠度（位移）

## §2.2在起重机械中的应用

- 静位移： $y_s = y_0 + \lambda_0$
- 动位移，则由简化后的动力学模型并考虑操作因素的影响后求得：

$$y_d = \frac{cv}{\delta} \sqrt{\frac{\delta(y_0 + \lambda_0)}{g}}$$

- $C$ —操作参数； $\delta$ —结构质量影响参数。

$$1 + \frac{m_1}{m_2} \left( \frac{y_0}{y_0 + \lambda_0} \right)^2$$

- $\Phi_2$ 的定义计算的

$$\Phi_2 = y/y_s = 1 + y_d/y_s = 1 + cv \sqrt{\frac{1}{\delta g(y_0 + \lambda_0)}}$$

## §2.2 载荷的确定和计算

规范推荐的计算方法：

$$\phi_2 = \phi_{2\min} + \beta_2 V_q$$

- $\phi_{2\min}$ 、 $\beta_2$ ——与起升状态级别有关的系数；取值见表10（P10）
- 起升状态级别分为HC1、HC2、HC3、HC4四个级别，规范附录C（P132）。
- $V_q$ ——稳定起升速度；取值见表11（P11）
- 对于建筑塔式起重机和港口臂架起重机不超过2.2，其他起重机不超过2.0。

## §2.2 载荷的确定和计算

2) 运行冲击系数 $\varphi_4$ ——考虑运行机构路径不平路面或轨道接头时所造成的起升载荷的动载效应。

与自重载荷 $\varphi_4$ 的相同处理方法。

3) 突然卸载冲击系数——起升质量部分或全部脱卸时、对结构产生的动态减载作用。

$$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m_2}{m_2}(1 + \beta_3)$$

- $\Delta m_2$ ——突然脱卸质量；
- $m_2$ ——起升质量；
- $\beta_3$ ——类别系数：抓斗起重机 $\beta_3=0.5$   
电磁起重机 $\beta_3=1.0$

## §2.2 载荷的确定和计算

### 三，惯性载荷 $P_i$ 及其动载效应

——指运行、旋转和变幅机构作刚体变速运动或刚体回转运动所产生的水平惯性力。

1，运行惯性力  $P_i = \phi_5 ma$

$m$ ——运行部分的质量；

$a$ ——运行起、制动的平均加速度；

$\phi_5$ ——为考虑猛烈起、制动的动载效应；

对于自行式的运行机构，运动惯性力的最大值不大于主动轮与轨道之间的静摩擦力；

## §2.2 载荷的确定和计算

对于自行式的运行机构，运动惯性力的最大值不大于主动轮与轨道之间的静摩擦力；

$$P_i \leq \mu P_z$$

$P_z$ ——运行机构主动轮的总静态轮压；

$\mu$ ——静摩擦系数；

室外： $\mu=0.12$

室内： $\mu=0.15$

轨道抛沙： $\mu=0.25$

## §2.2 载荷的确定和计算

### 2, 回转惯性力

当回转机构做瞬时角速度和平均角加速度运动时, 将产生起升质量和自重质量的法向惯性力和切向惯性力。

$$\text{法向: } P_{in} = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (\text{N})$$

$\omega$ —角速度;

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad \text{其中 } n \text{ 为旋转速度. 转/分}$$

$$\text{切向: } P_{it} = m \cdot \xi \cdot r \quad (\text{N})$$

$\xi$ —平均角加速度.  $\xi = \frac{\omega}{t}$

## §2.2 载荷的确定和计算

以上是计算法向惯性力和切向惯性力的通式。

所有法向惯性力的合力称为法向惯性力的主矢。其大小等于总质量与其质心法向加速度的积；切向惯性力的主矢等于回转部分的总质量与质心的切向加速度的积。

$$\begin{aligned}\sum P_{in} &= - \sum mr\omega^2 = - Mr_c\omega^2 \\ \sum P_{it} &= - \sum mr\varepsilon = - Mr_c\varepsilon\end{aligned}$$

必须指出，切向主矢的作用点并不在质心处。因而切向惯性力对于回转轴的合力矩（主矩）并不等于切向惯性力与质心半径的乘积

$$\begin{aligned}P_{it}r &\neq Mr_c^2\varepsilon \\ &= - \varepsilon \sum m \cdot r^2 = - \varepsilon J\end{aligned}$$

## §2.2 载荷的确定和计算

计算起重机回转的下部支撑结构，知道主矢主矩就够了，而对于上部结构而言就必须惯性力的分布情况了。下面讨论工程上的实际处理方法：

### 1) 集中质量的处理方法

其惯性力的计算为：

$$P_{in} = -mr\omega^2 \approx -0.01mrn^2$$

$$P_{it} = -mr\varepsilon \approx -0.1mr\frac{n}{t}$$

注意挠性悬挂的起升质量，回转半径 $r$ 的确定，应考虑在法向力作用下的偏摆影响。

## §2.2 载荷的确定和计算

$$P_{in} \approx -\frac{P_Q n^2 R}{980 + n^2 y}$$

$$P_{it} \approx -\frac{P_Q n}{90t} \left( R - \frac{n^2 R y}{980 + n^2 y} \right)$$

### 2) 分布质量的处理方法

$$P_{in} = -mr\omega^2 = -m(a + s\cos\theta)\omega^2$$

$$P_{it} = -mr\varepsilon = -m(a + s\sin\theta)\frac{\omega}{t}$$

## §2.2 载荷的确定和计算

### 3, 变幅运动惯性力

1) 采用变幅小车进行变幅, 作用在小车和起升质量上的惯性力按照运行惯性力计算。

2) 摆动臂架类变幅, 不计臂架轴线的法向惯性力, 只计及切向惯性力, 货物的水平运动, 在货物偏摆角中考虑。

3) 注意同样不要忘记考虑1.5的动载系数。

### 四, 碰撞载荷及其动载效应

计算依据: 刚性假定。

#### 1, 碰撞轨道终端缓冲器

$$E_c = \frac{1}{2}mV_c^2$$

## §2.2 载荷的确定和计算

### 2, 互撞情况

$V_{c1}$ 、 $V_{c2} \rightarrow V$

$$E_c = \frac{1}{2}m_1V_{c1}^2 + \frac{1}{2}m_2V_{c2}^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)V^2$$
$$\frac{m_1m_2(|V_{c1}| + |V_{c2}|)^2}{2(m_1 + m_2)}$$

理论上的碰撞力  $P_{ci}$

1) 线性特性的缓冲器

$$P_{ci} = \frac{2E_c}{nS} = \sqrt{\frac{2E_c \cdot C}{n}}$$

## §2.2 载荷的确定和计算

### 2, 常力特性

碰撞速度的确定  $v_{ci} = \frac{E_c}{mS}$

- 1) 无可靠限速和减速安全装置时, 85%的大车速度, 100%小车速度。
- 2) 实际碰撞速度 > 50% 的额定速度  
动载效应系数  $\varphi_7$  见规范 P22

## §2.2 载荷的确定和计算

### 五，风载荷及风振

已知风速或风压条件下，风载荷的计算：

$$q = \frac{\gamma v^2}{2g} = 0.625v^2$$
$$P_w = CqA$$

q——风压；

C——风力系数；依据物体的外形而定；

A——有效的迎风面积；

$\gamma$ ——空气的密度；

## §2.2 载荷的确定和计算

风压

工作风压——允许起重机工作的风压

非工作风压——不工作情况下承受的最大风压。

如考虑风压的高度变化系数，则：

$$P_w = CK_h qA$$

$K_h$ ——分段计算。数值见表P21

风力系数

- 1) 单片结构或构件，规范P18
- 2) 多片结构，取第一片结构的风力系数，

## §2.2 载荷的确定和计算

$$A = (1 + \eta + \eta^2 + \dots + \eta^{n-1})\phi A_{01}$$

$\eta$ ——结构挡风系数；见P20

$\phi$ ——第一片结构的充实率；实体面积与结构轮廓面积之比。

风振

当自振周期 $T \geq 0.5s$ 时的高耸塔桅结构，增大45%；

结构自振周期 $T$ 与相应的风振系数参见《工业与民用建筑载荷规范》

## §2.2 载荷的确定和计算

### 六，温度载荷和冰雪载荷

仅产生于超静定结构内，除用户特别要求外，一般不予考虑。

冰雪载荷无任何规定，需要时参见相应归家规范。

### 七，地震载荷

不予考虑。

### 八，偏斜运行侧向力 $P_s$

引起偏斜运行的原因：

- 1) 两侧电机不同步；
- 2) 车轮四支点的制造安装误差；
- 3) 轨道不直、不平等。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/106002005110010141>