

起重机设计和计算

国防科委工程设计所

76·10·

~~□89/15~~ TH=1/3

前 言

为了我们工作之便，我们编写了《起重机设计和计算》。

《起重机设计和计算》共分五章，第一章叙述起重机设计的一般问题；第二章介绍起重机主要零部件的计算方法；第三章和第四章分别叙述了通用桥式起重机和旋转起重机的设计计算方法。在叙述时是按照设计的前后步骤进行的，因此比较容易理解。第五章介绍了起重机的稳定性。

由于我们水平有限，又缺乏经验，在编写中错误可能不少，诚恳欢迎同志们批评和指正。

编者

目 录

第一章 起重機设计的一般問題	1
§ 1-1 起重機主要参数的选择	1
§ 1-2 计算载荷和冲击应力	7
第二章 起重机的通用零部件	25
§ 2-1 钢丝绳的计算和选择	
§ 2-2 绳索滑轮和滑轮组	28
§ 2-3 绳索卷筒	32
§ 2-4 吊钩和吊环	45
§ 2-5 齿轮传动及其减速器	65
§ 2-6 蜗杆传动	81
§ 2-7 心轴和转轴	82
§ 2-8 花键和键连接	89
§ 2-9 联轴器	91
§ 2-10 轴 承	93
§ 2-11 制动装置	93
§ 2-12 车轮和轨道	111

§ 2-13	缓冲器	117
§ 2-14	走边机的选择和验算	123
第三章 通用桥式起重机		130
§ 3-1	通用桥式起重机概述	130
§ 3-2	小车的组成和布置	133
§ 3-3	起升机构的设计计算	136
§ 3-4	小车运行机构的设计计算	144
§ 3-5	桥式起重机的桥架	151
§ 3-6	桥式起重机桥架运行机构	154
§ 3-7	技术条件	157
第四章 旋转起重机		165
§ 4-1	旋转起重机典型结构简介	165
§ 4-2	旋转起重机的起升机构	173
§ 4-3	旋转机构的计算	173
第五章 起重机稳定性的计算		179
主要参考书和资料		183

第一章 起重机设计的一般问题

§ 1-1 起重机主要参数的选择

起重机的主要参数是：额定起重量 Q_n ，跨度 L_k （或幅度 R ），起升高度 H ，工作速度 v （或 n ）和工作类型等。

这些参数的选择要根据工作需要来选择，但是，为了尽可能减少同类起重机的型式尺寸的数量，同时为了在不同起重机中能采用相同的标准零部件，在设计起重机时，主要参数应按一定的系列选取。

一、额定起重量

额定起重量是指取物装置（吊钩装置、承架、起重电葫芦和抓斗等）重量在内的起重物品的重量。

额定起重量应按标准系列选取。我国所有新设计的起重机的额定起重量参数，均需符合表 1-1 规定的数值（GB 783-65）。

表 1-1 (单位：吨)

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-
0.1	-	-	-	-	-	-	0.25	-	-	-	-	-	0.5	-	0.8
1	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	-	-

二、跨度 L_k 和幅度 R

桥式起重机两端车轮垂直中心线间的距离称为跨度。桥式起重机的跨度决定了起重机的工作范围。通用桥式起重机的跨度由厂房的跨度（厂房柱子纵向定位轴线间的距离）决定。

额定起重量为 3~250 吨电动桥式起重机（包括吊钩桥式起重机、抓斗桥式起重机、电葫芦桥式起重机、两用桥式起重机、三用桥式起重机、低速桥式起重机、防爆桥式起重机和双小车桥式起重机等八种型式的电动桥式起重机）跨度值应符合表 1-2 的规定（GB 770-65）。

表 1-2 (单位：米)

厂房跨度 L		9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
起重 机 跨 度 L_k	起重量	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	-
	3~50吨	7	10	13	16	19	22	25	28	31	-
	起重量 80~250吨	-	-	-	16	19	22	25	28	31	34

- 注：1、表内起重机跨度 L_k 的数值，也适用于露天装设的电动桥式起重机；
- 2、在同一轨道上同时装设起重量为 50 吨以下和 80 吨以上的两种起重机时，起重机的跨度值应按 80 吨以上的起重机选取；
- 3、同一跨间内装设两层起重机时，表内的跨度值只适用于上层起重机，下层起重机的跨度值为 0.5 米的倍数；
- 4、3~50 吨起重机两种跨度系列的选用：当厂房吊车梁上需要留有安全走道时，跨度值按 7~31 米系列选用，否则按 7.5~31.5 米系列选用。

在特殊情况下经用户与制造厂协商，可采用表 1-2 以外的跨度值。

旋转类型起重机的幅度系指臂架在最大幅度时起升机构滑轮组中心线到起重机旋转中心线的水平距离，幅度的大小系根据工作要求和机器结构上的可能性而定。

三、起升高度

起升高度一般是指起重机工作场地地面或起重机运行轨道面到取物装置最高位置（吊钩中心）的距离，对某些特种起重机（如门座起重机），如果取物装置深入到起重机运行轨道以下，则起重机的总扬程应包括起升高度和下降深度。起升高度主要根据工作需要确定。

额定起重量为 3~250 吨的电动桥式起重机（包括吊钩桥式起重机，电葫芦桥式起重机，两用桥式起重机，三用桥式起重机，低速桥式起重机，防爆桥式起重机和双小车桥式起重机等七种型式电动桥式起重机）的起升高度值应符合表 1-3 的规定（GB 791-65）。

表 1-3

主钩起重重量(吨)		3~50		80		100		125		160		200		250	
起升高度(m)	主钩	12	16	20	30	20	30	20	30	24	30	19	30	16	30
	付钩	14	18	22	32	22	32	22	32	26	32	21	32	18	32

注：本标准规定的起升高度是指取物装置上极限位置与下限位置之间的距离。

抓斗桥式起重机的起升高度值为 16 米和 22 米。

在特殊情况下经用户与制造厂协商，可采用表1-3以外的升高度值。

四、工作速度

工作速度根据生产率要求、工作行程及起重机的型式而定。直线运动的工作速度的单位通常以米/分表示，旋转速度的单位通常以转/分表示。

起升速度数值范围很广，从6~40米/分，视生产率要求和起升高度而定。在一般的机械制造厂车间和仓库中使用的桥式起重机的起升速度，一般从6~20米/分间，工作类型越繁重，起升速度也越高。在港口中作为大量货物装卸的内座起重机，起升速度可达40米/分。

下降速度视起升高度大小而定。在起升高度较小的起升机构中，下降速度小于起升速度（反接制动）；在起升高度较大的起重机中，为了提高生产率，下降速度比起升速度大（发电制动或用离心制动器制动）。

当运行距离较大，生产率要求越高时，运行速度也越大。在桥式起重机中，桥架的运行速度达100~120米/分，小车运行速度一般在35~50米/分之间。在装卸桥中，小车运行速度可达120米/分。

旋转速度一般在0.5~3转/分之间，很少超过4.5转/分。非工作性的旋转取较小的速度。

五、工作类型

起重机机构的工作类型，是表明起重机工作的繁忙程度和工作条件的参数，是表明起重机工作特性的重要标志。因此，在设计起重机的零部件、金属结构、选择它的驱动装置和电气设备时，必须首先考虑它的工作类型。

起重机的机构分为人力驱动和机械驱动，根据工作条件的

不同，机械驱动的机构又分为五类（见表 1-4）。分类的依据是下列因素。

1) 起重重量利用系数

$$K_q = \frac{Q_p}{Q_e} \quad (1-1)$$

式中 Q_p —— 在一年内起重机构所吊运的载荷的平均重量（公斤）；

Q_e —— 起重机构的额定起重重量（公斤）。

2) 起重机构每年利用系数

$$K_n = \frac{\text{一年中的工作日数}}{365} \quad (1-2)$$

3) 起重机构日利用系数

$$K_{24} = \frac{\text{每昼夜工作小时数}}{24} \quad (1-3)$$

4) 操作时间的百分数（ $\Pi B \%$ ）

$$\Pi B \% = \frac{\sum \tau}{T} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 $\sum \tau$ —— 在一个工作循环中总的工作时间（包括机构启动，稳定运动和制动时间）；

T —— 一个工作循环总时间（包括停歇时间）。

起重机构一年的工作小时数。

$$T_n = 365 \times 24 \times K_n \times K_{24} = 8760 K_n \cdot K_{24} \quad (1-5)$$

5) 电动机每小时的开动次数 n_K

开动次数 n_K 与起重机构每小时工作循环数 n_x 有关。对起升机构，一个工作循环的开动次数 n_K 不小于四次，对运行和旋转机构 n_K 不小于两次。

6) (起重機) 工作环境的平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

表 1-4 起重機的工作类型

工作类型的级别	机构的平均利用系数			$\Pi\text{B}\%$	周围温度 $^{\circ}\text{C}$	开动次数 n_k	$K = \frac{N_{e25}}{N_{\alpha}}$
	K_f	K_n	K_{zy}				
轻级	0.5	0.25	0.33	15	25	< 60	0.5
中 级	0.5	0.5	0.67	25	25	< 120	0.75
重 级	0.75	0.75	0.67	40	25	< 240	1.0
特重级	1.0	1.0	1.0	40	45	< 300	1.5
连续特重	1.0	1.0	1.0	60~80	45~60	< 720	2.25

说明: ① 表中 K 为选择电动机用的计算系数;

N_{e25} — 电动机在 $\Pi\text{B} = 25\%$ 时的额定功率

N_{α} — 在一个工作循环中, 不计停歇阶段, 而只按工作阶段计算的等效功率, 其值为:

$$N_{\alpha} = \gamma \cdot N_j$$

γ — 与 $\frac{\tau_q}{\tau_g}$ 有关的系数 (见表 2-37);

N_j — 满载下的静功率 (不计惯性力);

τ_q — 启动时间;

τ_g — 一个工作循环内平均工作时间。

② 在人员上空运输物品或运送易爆、易燃、有毒、酸类、熔融或赤热金属等危险品的起重机的起升机构一律作为重级。

同一起重机中，各机构的工作类型可以不同。整个起重机的工作类型由其主起升机构来决定。

起重机生产率是一个综合指标，在设计时，有时是以生产率这一综合指标提供给设计者，这时就须对工作速度和额定起重量作合适的选择。

§ 1-2 计算载荷和许用应力

起重机的自重及其工作可靠性在很大程度上决定于计算载荷和许用应力确定的准确性。所以，在计算起重机的零件时，必须考虑载荷的实际数值和作用情况，并应该根据零件的具体工作条件来确定许用应力。

一、起重机的作用载荷

随着起重机的种类和工作条件的不同，在机械上所受载荷情况也不同，但是一般所用的载荷不外有下面几种：

1. 机械自重 G

这类载荷是经常作用的，它包括机械、金属结构和电气设备的重量。

一般说来，在设计计算某种起重机之前，这一载荷是未知的，通常可采用估算法或参考现有同类型的起重机的数据进行假定，最后再进行检查和修正。

表 1-5 列入了若干通用桥式起重机的重量（吨），仅供参考。

表 1-5 通用桥式起重机总重量 (中型、大连起重机器厂)

起重量 (吨)	跨 度 (米)							
	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5
5	11.6	13.4	15.7	18.7	21.2	26.2	29.6	32.7
10	14.3	16.2	18.6	21.3	24	29.3	32.8	36
15/3	20.3	22.0	24.4	28.5	31.2	36.1	39.7	43.2
20/5	20.9	22.8	25.3	29.6	32.4	37.4	41.5	45
30/5	26.8	29.6	32.7	37.3	40.9	46.2	49.7	54.1
50/10	37	40	44.3	48.5	52.4	58.4	62.5	67.9

注：表中数据系室内用起重机，露天使用的起重机，总重量需增加 5%。

2. 额定载荷

额定载荷应包括起重物品和取物装置 (吊钩装置、承架、起重电砵铁和抓斗等) 的重量。

3. 由惯性力和钢丝绳上物品摆动引起的载荷。

惯性载荷发生在：

- a) 机构起动的和制动时；
- b) 电动机稳定运转时，机构以变速移动 (如臂架摆动) 或由于电动机转速变化使载荷值发生波动 (电动机具有软特性) 时；
- c) 在不平整的道路上运行时；
- d) 当海船颠簸时。

机构起动和制动时引起的惯性力的作用可以是静力的（平滑地）和动力的（急剧地）。如是动力的，则产生引起载荷增大的弹性振动，最大可增加一倍

连接和传动的间隙，将产生冲击，增加惯性载荷。

（详见〔14〕 P 30~ P 36）

4. 风载荷

a) 分类

- ① 工作状态下的正常风载；
- ② 工作状态下的最大风载；
- ③ 非工作状态下的最大风载。

b) 计算公式

对在露天工作的起重机械进行计算时，应计其风载荷的作用，其值为：

$$P_f = P_f \cdot F = K \cdot q \cdot F \quad (1-6)$$

式中 P_f — 计算风压（公斤/米²）；

K — 空气动力系数（体形系数）；

桁架和整体梁 $K = 1.4$

司机室、对重等 $K = 1.2$

缆索、桅杆起重机的缆索 $K = 1.2$

直径为 300~500 毫米的管子 $K = 0.9$

直径为 500 毫米以上的管子 $K = 0.7$

q — 意义风压，它与风速及地区（纬度、海拔高度等）有关，全国分区采用三个不同的公式求取（公斤/米²）；

沿海地区 $q = \frac{v^2}{17}$

一般内陆地区 $q = \frac{v^2}{16}$

青康藏高原地区 $q = \frac{v^2}{18}$

其中 v 为据气象记录所得的10分钟的平均最大风速(米/秒)

F — 起重机和被起升物品垂直于风向的迎风面积(米²)，如起重机系实体板结构，其迎风面积应为起重机轮廓所含的面积，若系桁架结构，则还应乘以填充系数 α ， $\alpha = 0.25 \sim 0.5$ 。

当起重机具有几片并列的等高平面梁(或桁架)时，其迎风面积

- ① 如果梁间的距离小于前梁的高度，则等于前梁的迎风面积；
- ② 如果梁间的距离等于或大于梁的高度，但小于二倍梁高，则等于前梁的全面积加上随后每一片梁的迎风面积一半；
- ③ 如果梁间的距离等于或大于二倍梁高，则应取所有梁的全面积。

计算时，所有后梁未被前梁复盖的部分均应全部计入。

被起升物品所受的迎风面积可由实际的外形尺寸决定，也可参考表1-1中的数据。

表 1-1 物品迎风面积

物品重量(吨)	1	2	3	5	10	20	30	50	75	100	150	200	250	300
迎风面积(米 ²)	2	3.5	5	8	11	15	20	25	30	35	45	55	65	75

(2) 起重机的截面的选择

① 起重机工作状态下的正常风载

A组(港口、码头、船厂和浮吊起重机)

$W = W_0 = 25 \text{ 公斤/米}^2$

B组 (其他地区起重机)

$$P_f = K \cdot q = 15 \text{ 公斤/米}^2$$

在这种风压下进行疲劳、磨损、发热和发动机功率等计算。

② 起重机工作状态下的最大风载

A组起重机 $P_f = K \cdot q = 40 \text{ 公斤/米}^2$

B组起重机 $P_f = K \cdot q = 25 \text{ 公斤/米}^2$

在这种风压下进行强度和有载稳定性计算，启动和制动时间的验算。

③ 非工作状态下的最大风载

一般地区起重机的名义风压 $q = 70 \text{ 公斤/米}^2$ ；对港口起重机，取 $q = 100 \text{ 公斤/米}^2$ ，浮船起重机 $P_f = 200 \text{ 公斤/米}^2$ 。

计算装卸桥、龙门起重机和门座起重机的防风装置时，取计算风压 $P_f = K \cdot q = 200 \text{ 公斤/米}^2$ 。

这种最大风压用来计算起重机的防风装置、行车的制动装置、起重机的自身稳定性等。

起重机高度越高，则受到的风力越大。在非工作状态下的最大风压的计算中，20米以上，每增高1米， q 值增加1公斤。

5. 冰雪载荷

a) 雪载荷

雪载荷等于承雪面积的水平投影乘以雪的单位压力 q 。我国东北地区， q 可取 100 公斤/米^2 。

通常对于起重机不考虑雪载荷。

b) 冰载荷

气温在 $0 \sim -5^\circ\text{C}$ 之间，出现冰冻，它依附在挠性物件（如索索和钢丝绳）上，有时也冻结在桁架物件上，厚度可达1-2厘米，冰的比重为 $\gamma = 0.9 \text{ 克/厘米}^3$ 。

6. 坡道载荷

在室外运行的一些起重机，如铁路、塔式、内式起重机等，由于轨道的建造误差，不可避免地将引起起重机的倾斜。对于在平地上作永久性轨道倾斜角 $\alpha \leq 1^\circ$ ，对于临时性轨道 $\alpha \leq 3^\circ$ 。对于汽车、履带起重机，最大倾角可达 11° 。

坡道载荷，视实际工作情况确定。

(参见 [3] P10)

7. 地震载荷

将很高的起重机安装在易受地震的区域，应考虑水平地震力 P_d 的作用：

$$P_d = K_1 G \quad (1-7)$$

式中 G — 起重机或其计算部分的重量

K_1 — 地震系数，当地震级别为 7、8、9 时，分别为 $1/40$ ， $1/20$ ， $1/10$ 。

应该按空载不运动的起重机，承受工作状态风压一半的情况，验算地震力的作用。

参见 [14] P 39.

8. 温度效应载荷

仅对露天工作，且支承反力是静不定的金属结构才考虑温度效应。当温度发生变化时，由于结构元件的长度改变而引起的载荷。

$$P = \delta \frac{EF}{l} \quad (1-8)$$

式中 l — 构件长度 (厘米)；

E — 材料弹性模数 (公斤/厘米²)；

F — 构件断面积 (厘米²)；

δ — 由于温度变化引起的构件伸长 (或缩短) 其值为：

$$\delta = \alpha l (t_1 - t_2)$$

$$\therefore P = EF\alpha (t_1 - t_2) \quad (1-9)$$

式中 $(t_1 - t_2)$ — 温度差 ($^{\circ}\text{C}$)

α — 伸长系数, 对钢 $\alpha = 1.18 \times 10^{-5}$

9. 由缓冲器冲击引起的载荷

起重机或小车的缓冲器的冲击力可按下列式求得:

$$\frac{Gu^2}{2g} = (W_K + W_T)S + \int p ds \quad (1-10)$$

式中 G — 起重机或小车的重量 (公斤);

u — 起重机或小车碰撞时的速度 (米/秒);

g — 重力加速度 (米/秒²);

W_K — 运行阻力 (公斤)

W_T — 作用在车轮上的制动力 (公斤);

S — 缓冲器的行程 (厘米);

P — 缓冲器的冲击力 (公斤), 对弹簧缓冲器和弹

簧-摩擦缓冲器: $\int p ds = 0.5 P_{max} \cdot S$;

对液力缓冲器: $\int p ds = P_{max} \cdot S$

公式 (1-10) 来自 [17] P 136.

10. 安装载荷

起重机结构在安装时产生的载荷值是在安装设计的基础上确定的, 设计中应指明允许安装工作进行时的最大风速。

安装过程中所使用的起重机的均是按轻级工作类型以最大安装载荷进行计算的。

运输准备工作中作用在起重机上的载荷 (例如浮吊起重机臂架安装), 可以看作安装载荷。