

第16篇 物料搬运及其设备

主 编 裘家驹 (机械电子工业部北京起重运输机械研究所)

编 写 人 周显德 (机械电子工业部北京起重运输机械研究所)

黄文林 (机械电子工业部北京起重运输机械研究所)

陈树国 (机械电子工业部北京起重运输机械研究所)

陈宏勋 (交通部交通科学研究院水运研究所)

审 稿 人 洪致育 (上海交通大学)

责任编辑 王光大

张树济

辛 宁

1 概 述

在生产和消费活动中，物料搬运设备除了作为传统的装卸、输送和仓储等手段外，还能同时完成物品的分拣、计量、堆码、保管等功能。物料搬运技术与系统工程、人机系统、环保等新兴科学紧密相关。它不仅对提高生产能力、保证产品质量、减轻劳动强度、加快物资周转等方面有重要的影响，而且也有益于安全生产。物料搬运技术是现代工业中重要的但又是较薄弱而应予重视的领域之一，也是降低产品成本最有潜力的途径之一。物料搬运技术包括单台的设备和成套的搬运系统。

2 起重机械

起重机械是一种以间歇，重复工作方式起升和运移重物的机械设备。它应根据生产工艺要求、载荷特点、作业环境等条件来选择机型。起重机的设计和使用应符合《起重机设计规范》GB3811—83及《起重机安全规范》GB6067—85的规定。

2.1 起重机械的主要类型和基本参数

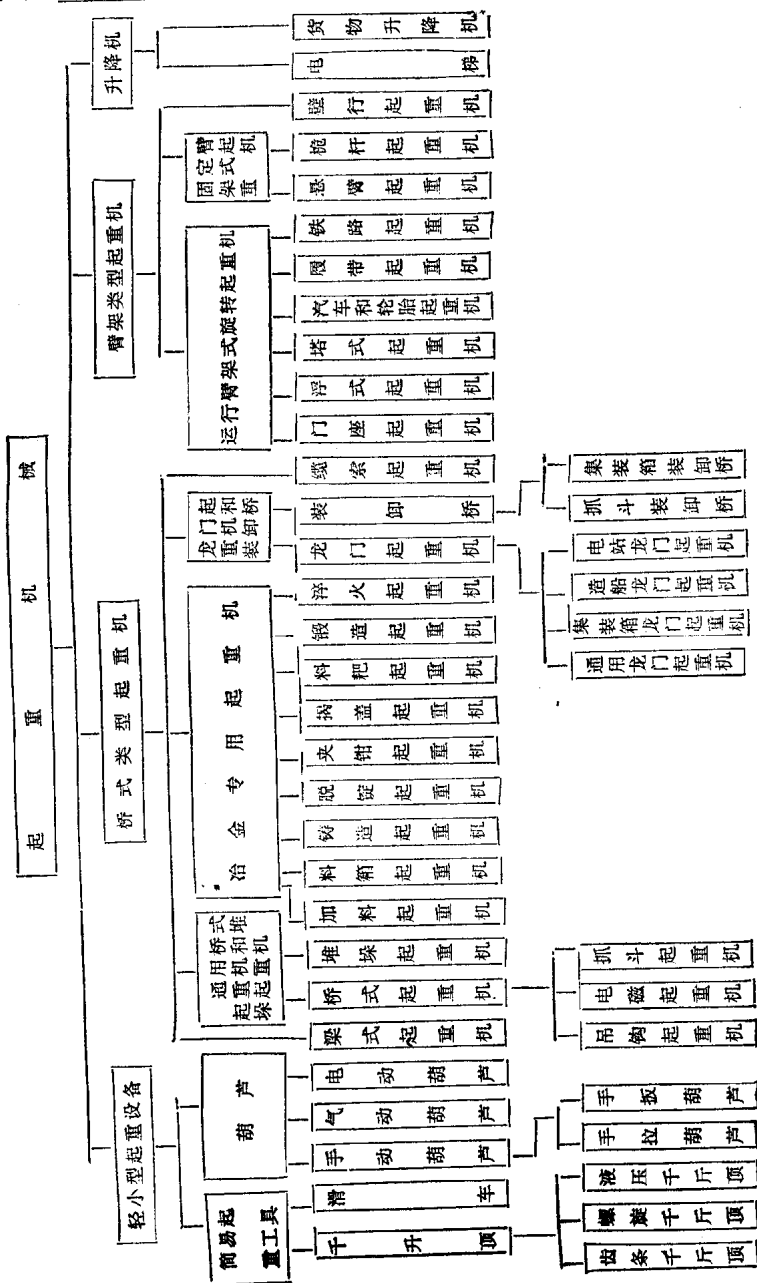
2.1.1 起重机械的主要类型（见表16-1）

2.1.2 起重机械的基本参数

a. （额定）起重量 Q 指起重机械在正常工作情况下，容许起升的最大成件物品（简称件物）和取物装置（吊钩、吊环之类的吊具除外）的质量之和。变幅起重机的（额定）起重量通常是指臂架处于最小幅度位置时主钩的（额定）起重量。

b. 起升高度 H 指起重机工作场地地面或起重机运行轨面到吊具上极限位置的垂直距离。对吊钩或货叉计算到它们的承重表面；对

表16-1 起重机械主要类型



其他吊具计算到吊具的底面。当吊具可以放到地面或轨面以下时，其下放距离称为下降深度。起升高度和下降深度之和称为总起升高度。

c. 跨度 L_K 和轨距 l 桥式类型起重机运行轨道中心线之间的水平距离称跨度。起重小车运行轨道中心线之间的水平距离称轨距。

d. 幅度 R 旋转臂架式起重机旋转中心线与吊具铅垂线之间的距离称为幅度。

e. 额定工作速度 v

额定起升速度指起升机构在额定起重量下吊具的上升速度；

额定运行速度指在额定起重量下起重机或小车的运行速度；

额定旋转速度指起重机在最大幅度及额定起重量时起重机绕其旋转中心的旋转速度；

变幅速度指臂架式起重机的吊具从最大幅度到最小幅度沿水平方向移动的平均速度。

f. 额定生产率 Q_r 是表征起重机械装卸能力的综合指标。它根据起重量、工作速度、工作行程及机构重叠工作程度进行计算。实际生产率还取决于生产条件和操作者的熟练程度。 Q_r 以 t/h 表示。

g. 挠度 f 指额定载荷下，梁或构件产生的垂直弹性变形量。桥式起重机主梁的允许挠度一般为跨度的 $\left(\frac{1}{700} \sim \frac{1}{1000}\right)$ 。

表16-2至表16-7为几种起重机的常用基本参数。

表16-2 起重量系列标准 (GB783—85)

t

0.1	1	10 (11.2)	100 (112)	0.32	3.2	32 (36)	320 (360)
0.125	1.25	12.5 (14)	125 (140)	0.4	4	40 (45)	400 (450)
0.16	1.6	16 (18)	160 (180)	0.5	5	50 (56)	500 (560)
0.2	2	20 (22.5)	200 (225)	0.63	6.3	63 (71)	630 (710)
0.25	2.5	25 (28)	250 (280)	0.8	8	80 (90)	800 (900)

注：括号中的最大起重量参数应尽量避免选用

表16-3 3~250t电动桥式起重机跨度系列(GB790—65) m

厂 房 跨 度		9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
起 重 机 跨 度 L_K	3~50 t	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	—
		7	10	13	16	19	22	25	28	31	—
	80~25 t	—	—	—	16	19	22	25	28	31	34

注：3~50t起重机两种跨度系列的选用：当厂房吊车梁上需留有安全走道时，跨度值按7~31m系列选用，否则按7.5~31.5m系列选用。

表16-4 3~250t电动桥式起重机起升高度系列
(GB791—65) m

Q t (主钩)		3~50		80		100		125		160		200		250	
起 升 高 度 H	主钩	12	16	20	30	20	30	20	30	24	30	19	30	16	30
	副钩	14	18	22	32	22	32	22	32	26	32	21	32	18	32

注：抓斗起重机的起升高度值为16m和22m。

表16-5 港口门座起重机的幅度 R 、起升高度 H 和
轨距 l 值 (摘自JT5001—75) m

Q		t	3	5		10		16	25
工作幅度 R	最大	25	25	30	25	30	30		
	最小	7	8	9	8	9	9		
起升高度 H	轨面上	22	22	25	22	28	28		
	轨面下	15							
轨 距 l	跨单轨	22		—					
	跨双轨	18	20	23	22(18)	23	24	25	

表16-6 港口浮式起重机的幅度 R 和起升高度 H

(摘自JT5004—75)

m

Q t	主钩	3		5	10	32	63	100	200
	副钩	—				10	16	25	50
护木外最大工作 幅度 $R \geq$	主钩	12	18	22		14		12	
	副钩	—				31			
最大工作幅度时 主钩起升高度 $H \geq$	水上	10	14	20		28	32		
	水下	5							

表16-7 其他起重机的常用跨度 L 和幅度 R 值

m

通用龙门起重机跨度 L	18 22 26 30 35									
装卸桥跨度 L	40 50 60 70 80									
门座起重机幅度 R	22 25 30 35 40 45 50 70 80									

h. 工作循环及工作周期 T 起重机一个工作循环指包括装载、带载移动、卸载、空载移动及装卸辅助准备工作在內的一次总的工作过程。相应的总的工作时间称为工作周期。在一个工作循环中, 某机构的运转时间 t 与周期 T 之比称为该机构运转时间率(在电气上称接电持续率) $JC\%$ 。

1. 使用寿命 在设计载荷下起重机允许的总工作时间。

2.2 起重机的工作级别

起重机工作级别是设计和选用起重机的基本根据。工作级别依据利用等级和载荷状态来决定。

2.2.1 起重机的利用等级

起重机的利用等级, 按起重机设计寿命内的总工作循环次数 N , 分为10级, 见表16-8。

表16-8 起重机的利用等级

利用等级	总工作循环次数 N	附 注
U_0	1.6×10^4	不经常使用
U_1	3.2×10^4	
U_2	6.3×10^4	
U_3	1.25×10^5	
U_4	2.5×10^5	经常轻闲地使用
U_5	5×10^5	经常中等地使用
U_6	1×10^6	不经常繁忙地使用
U_7	2×10^6	繁忙地使用
U_8	4×10^6	
U_9	$> 4 \times 10^6$	

2.2.2 起重机的载荷状态

载荷状态表明起重机受载的轻重程度。它与两个因素有关：a) 实际起升载荷 p_i 与额定起升载荷 P 之比 (p_i/P)；b) p_i 的作用次数 n_i 与各种实际起升载荷总的作用次数 N 之比 (n_i/N)。表示 p_i/P 与 n_i/N 关系的图形称为起重机的载荷谱。载荷谱系数 K_p 按下式计算

$$K_p = \Sigma \left[\frac{n_i}{N} \left(\frac{p_i}{P} \right)^m \right] \quad (a)$$

式中 m ——材料疲劳曲线指数，可取 $m = 3$

名义载荷谱系数是指 K_p 为 0.125, 0.25, 0.5, 1.0 值的系数。按名义载荷谱系数将起重机的载荷状态分为轻、中、重、特重 4 级。

2.2.3 起重机工作级别的划分

按起重机利用等级和载荷状态，起重机的工作级别分为 $A_1 \sim A_8$ 级，见表 16-9。

表16-9 起重机工作级别的划分

载荷状态	名义载荷谱 系数 K_p	利 用 等 级									说 明	
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8		U_9
Q_1 -轻	0.125			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	很少起升额定载荷， 一般起升轻微载荷
Q_2 -中	0.25		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈		有时起升额定载荷， 一般起升中等载荷
Q_3 -重	0.5	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈			经常起升额定载荷， 一般起升较重载荷
Q_4 -特重	1.0	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈				频繁地起升额定载荷

表16-10 机构的利用等级

利用等级	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
设计寿命 h	200	400	800	1600	3200	6300	12500	25000	50000	100000
说明	不经常使用				经常轻闲使用	经常中等使用	经常繁忙使用	繁忙使用		

表16-11 机构工作级别的划分

载荷状态	名义载荷谱 系数K _m	利 用 等 级								说 明
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
L ₁ -轻	0.125			M ₁	M ₂	M ₁	M ₄	M ₅	M ₆	经常轻载荷, 偶尔承受最大载荷
L ₂ -中	0.25		M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	经常中等载荷, 较少承受最大载荷
L ₃ -重	0.5	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	经常较重载荷, 也经常受最大载荷
L ₄ -特重	1.0	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈		经常受最大载荷

表16-12 起重机械及其机构的常用工作级别参考表

起重机械型式	起重机械			主起升机构			副起升机构			小车运行机构		
	起重量 级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态
一、吊钩式 (一般用途)	电站安装及检修	A ₁ ~A ₃	T ₂	L ₁ , L ₂	M ₁ , M ₂	T ₃	L ₁	M ₂	T ₂	L ₁ , L ₂	M ₁ , M ₂	
	车间和仓库	A ₃ ~A ₅	T ₃ , T ₄	L ₁ , L ₂	M ₂ ~M ₄	T ₄ , T ₅	L ₁ , L ₂	M ₃ ~M ₅	T ₄ , T ₅	L ₁ , L ₂	M ₃ ~M ₅	
	繁重工作车间和仓库	A ₆ ~A ₇	T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M ₅ ~M ₇	T ₅	L ₃	M ₆	T ₄ , T ₅	L ₃	M ₅ , M ₆	
	间断装卸	A ₆ ~A ₇	T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ , M ₇				T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ ~M ₈	
桥式	连续装卸	A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃	M ₇ , M ₈				T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ , M ₇	
	吊料箱	A ₇ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃	M ₇ , M ₈				T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ , M ₇	
冶金	加料用	A ₈	T ₇ , T ₈	L ₃	M ₈	T ₇ , T ₈	L ₃	M ₈	T ₇ , T ₈	L ₃	M ₈	
	铸造用	A ₆ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈	T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈	T ₆	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈	
	锻造用	A ₇ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃	M ₇ , M ₈	T ₆	L ₃	M ₇	T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ , M ₇	
	淬火用, 夹钳式	A ₈	T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ , M ₇	T ₇ , T ₈	L ₃	M ₇ , M ₈	T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ , M ₇	
专用	脱锭用	A ₈	T ₇ , T ₈	L ₃ , L ₄	M ₈	T ₅ , T ₆	L ₂	M ₅ , M ₆	T ₆ , T ₇	L ₄	M ₆	
	揭盖用	A ₇ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃	M ₇ , M ₈							
	料耙式	A ₈	T ₇	L ₄	M ₈				T ₆ , T ₇	L ₄	M ₈	
	电磁铁式	A ₇ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃	M ₇ , M ₈				T ₅ , T ₆	L ₃	M ₆ , M ₇	

(续)

起 重 机 型 式	起 重 机 工 作 级 别		主 起 升 机 构		副 起 升 机 构		小 车 运 行 机 构					
	利用等级	载 荷 状 态	工作级别	载 荷 状 态	利用等级	载 荷 状 态	工作级别	载 荷 状 态				
龙 门 起 重 机	一般用途(吊钩式)	A ₅ ~A ₆	T ₅	L ₂ , L ₃	M ₅ , M ₆	T ₅	L ₂ , L ₃	M ₅ , M ₆	T ₅	L ₃	M ₅	
	装卸用(抓斗式)	A ₇ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈				T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈	
	电站用(吊钩式)	A ₂ ~A ₃	T ₃	L ₁ , L ₂	M ₂ , M ₃	T ₃	L ₂	M ₃	T ₃	L ₂	M ₃	
	造船安装(吊钩式)	A ₄ ~A ₅	T ₄	L ₂ , L ₃	M ₄ , M ₅	T ₄	L ₂ , L ₃	M ₄ , M ₅	T ₅	L ₂ , L ₃	M ₅ , M ₈	
	装卸集装箱	A ₆ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₂ , L ₃	M ₆ ~M ₈				T ₆ , T ₇	L ₂ , L ₃	M ₆ ~M ₈	
装 卸 桥	料场装卸(抓斗式)	A ₇ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈				T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈	
	港口装卸(抓斗式)	A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈				T ₆ , T ₇	L ₃ , L ₄	M ₇ , M ₈	
	港口装卸集装箱	A ₆ ~A ₈	T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M ₅ ~M ₇				T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M ₅ ~M ₇	
	安装用(吊钩式)	A ₃ ~A ₅	T ₅	L ₁ , L ₂	M ₄ , M ₅	T ₅	L ₁ , L ₂	M ₄ , M ₅				
门 座 起 重 机	装卸用(吊钩式)	A ₆ ~A ₇	T ₅	L ₂	M ₅							
	装卸用(抓斗式)	A ₇ ~A ₈	T ₆ , T ₇	L ₃	M ₇ , M ₈							
	建筑施 工 安 装	H < 60 m H > 60 m	A ₂ ~A ₄ A ₂ ~A ₄	T ₃ ~T ₄ T ₄ , T ₅	L ₂ L ₂	M ₂ ~M ₄ M ₄ , M ₅				T ₃ T ₃ ~T ₅	L ₁ , L ₂ L ₂	M ₃ M ₃
塔 式 起 重 机	输 送 混 凝 土	H < 60 m H > 60 m	A ₁ ~A ₆ A ₁ ~A ₆	T ₃ , T ₄ T ₄ , T ₅	L ₂ , L ₃ L ₂ , L ₃	M ₄ , M ₅ M ₄ ~M ₆				T ₅ T ₅	L ₃ L ₃	M ₅ , M ₆ M ₆

(续)

起重机型式	起重机械运行机构				回转机构		变幅机构	
	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态	工作级别	利用等级	载荷状态
龙门起重机	一般用途(吊钩式)	T ₅	L ₃	M ₅				
	装卸用(抓斗式)	T ₆	L ₂ , L ₃	M ₆ , M ₇				
	电站用(吊钩式)	T ₃	L ₂	M ₃				
	造船安装(吊钩式)	T ₅	L ₂ , L ₃	M ₅ , M ₆				
	装卸集装箱	T ₅ ~T ₇	L ₂ , L ₃	M ₅ ~M ₈				
装卸桥	料场装卸(抓斗式)	T ₅	L ₂ , L ₃	M ₅ , M ₆			T ₄	L ₁
	港口装卸(抓斗式)	T ₆	L ₂ , L ₃	M ₆ , M ₇			T ₄	L ₁
	港口装卸集装箱	T ₅ , T ₆	L ₂ , L ₃	M ₅ ~M ₇			T ₄	L ₁
门座起重机	安装用(吊钩式)	T ₃ , T ₄	L ₂	M ₃ , M ₄	T ₄	L ₃	T ₄	L ₃
	装卸用(吊钩式)	T ₃	L ₂	M ₃	T ₄	L ₃	T ₄	L ₃
	装卸用(抓斗式)	T ₄	L ₂	M ₄	T ₅ , T ₆	L ₃	T ₅	L ₃
塔式起重机	建筑施 工安装	T ₂	L ₃	M ₃	T ₂ ~T ₄	L ₃	M ₃ ~M ₅	T ₂ , T ₃
	编送组	T ₃	L ₂	M ₃	T ₂ ~T ₄	L ₃	M ₃ ~M ₅	T ₂ , T ₃
	H < 60 m	T ₂ ~T ₆	L ₃	M ₃ ~M ₆	T ₄ , T ₅	L ₃	M ₅ , M ₆	T ₄ , T ₅
	H > 60 m	T ₃	L ₂	M ₃	T ₄ , T ₅	L ₃	M ₅ , M ₆	T ₄ , T ₅

当起重机实际载荷变化已知时, 可先按 2·2·2 节计算出实际载荷谱系数, 并取不小于但又最接近计算值的名义载荷谱系数, 然后按表 16-9 定起重机工作级别。如尚未知实际载荷变化, 则可根据经验从表 16-9 说明栏选定。

起重机金属结构的工作级别与起重机的工作级别划分相同。

2·2·4 机构的工作级别

机构的工作级别类似于起重机的工作级别, 见表 16-10 及 16-11。

机构的载荷谱系数 K_m 按下式计算

$$K_m = \Sigma \left[\frac{t_i}{\Sigma t_i} \left(\frac{p_i}{P_{max}} \right)^m \right]$$

式中 p_i ——机构在工作时间内承受的各个载荷

P_{max} —— p_i 中的最大值

t_i ——各个载荷的持续时间

m ——零件材料的疲劳试验曲线指数

图 16-1 为相应的机构标准载荷谱图。

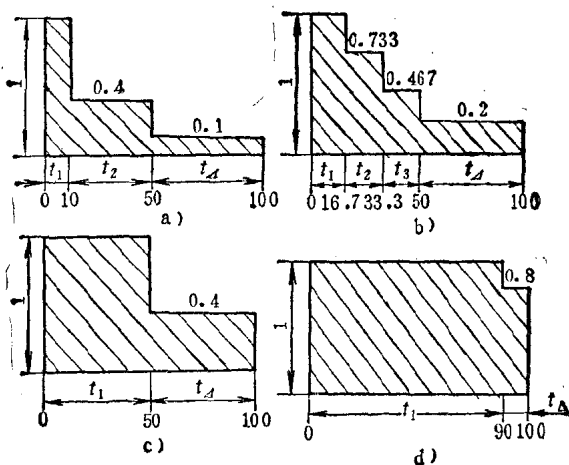


图 16-1 机构的标准载荷图

a) L_1 -轻 b) L_2 -中 c) L_3 -重 d) L_4 -特重

表16-12可供确定起重机及其机构的常用工作级别参考。

2.3 起重机计算载荷

2.3.1 自重载荷 P_G

P_G 包括起重机自重及附设在起重机上的设备（包括其上物料）的重力，但不包括2.3.2的起升载荷。

2.3.2 起升载荷 P_Q

P_Q 是指起升质量的重力。考虑动载荷应将 P_Q 乘以动载荷系数 φ_2 。 φ_2 值一般为1.0~2.0，起升速度越大，系统刚度越大，操作越猛烈， φ_2 值也越大。表16-13是 φ_2 值的参考计算式。

表16-13 φ_2 值的计算式

起重机类别	φ_2 的计算式	适用的例子
1	$1 + 0.17v$	作安装用的，使用轻闲的臂架起重机
2	$1 + 0.35v$	作安装用的桥式起重机，作一般装卸用的吊钩臂架起重机
3	$1 + 0.70v$	机加工车间和仓库的吊钩桥式起重机、港口抓斗门座起重机
4	$1 + 1.0v$	抓斗和电磁桥式起重机

注：计算出的 φ_2 值大于2时，取 $\varphi_2 = 2$ ； v —速度 m/s 。

2.3.3 水平载荷 P_H

a. 运行惯性力 P_{H1} $P_{H1} = 1.5ma$

m 为起重机自身质量与起升质量之和，挠性悬挂的起升质量按与起重机刚性连接对待。运行加（减）速度 a 及其相应的时间 t 无特殊的要求时，可参见表16-14。 P_{H1} 值不应大于主动车轮与钢轨的粘着力。

“1.5”是考虑起重机驱动力突加及突变时结构的动力效应。

b. 回转和变幅运动的水平力 P_{H2} 包括风力、变幅和回转起、制动时产生的惯性力和离心力。起重机自身质量的离心力可忽略不计。起升质量产生的水平力按吊重绳索相对于铅垂线的偏摆角所引起的水