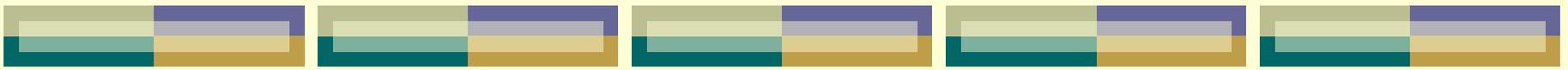


第三篇

铁路和港口常用起重运输机 金属结构的设计计算



第八章 偏轨箱形龙门起重机的金属结构

第一节 偏轨箱形龙门起重机金属结构的形式

第二节 偏轨箱形主梁的内力分析

第三节 薄壁箱形梁的约束扭转和约束弯曲

第四节 偏轨箱形主梁的设计计算

第五节 偏轨箱形龙门起重机支腿的设计计算

第八章 作业

第一节 偏轨箱形龙门起重机金属结构的形式

龙门起重机金属结构由主梁和支腿两大部分组成。

按主梁数目龙门起重机可分为：

单主梁龙门起重机

双主梁龙门起重机

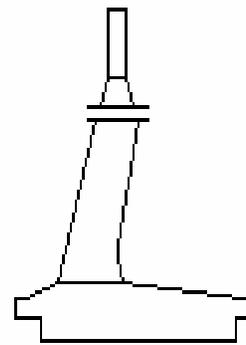
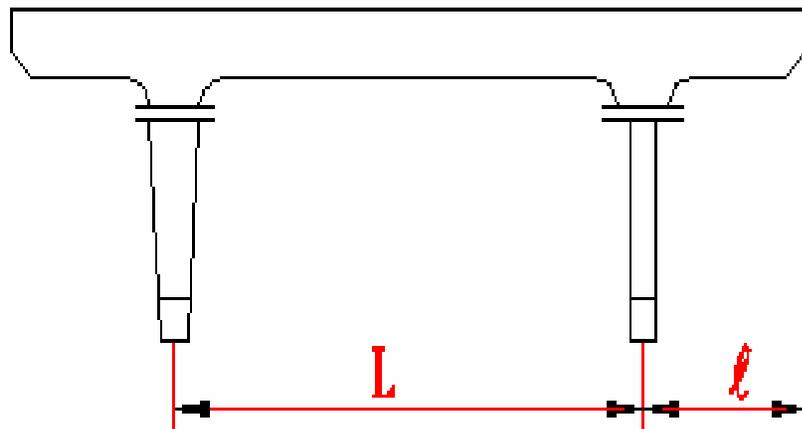


一、单主梁龙门起重机

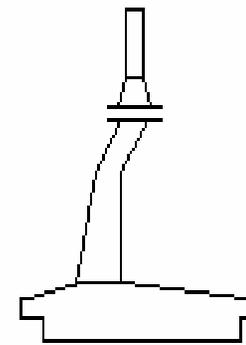
1. 带悬臂的单主梁龙门起重机

(1) 结构型式

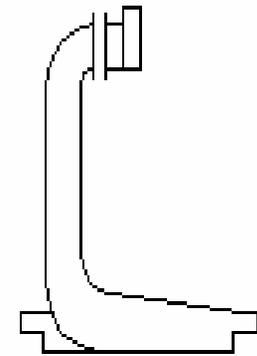
- L型单主梁龙门起重机
- C型单主梁龙门起重机



L 型



L 型



C 型

单主梁龙门起重机

L型单主梁龙门起重机

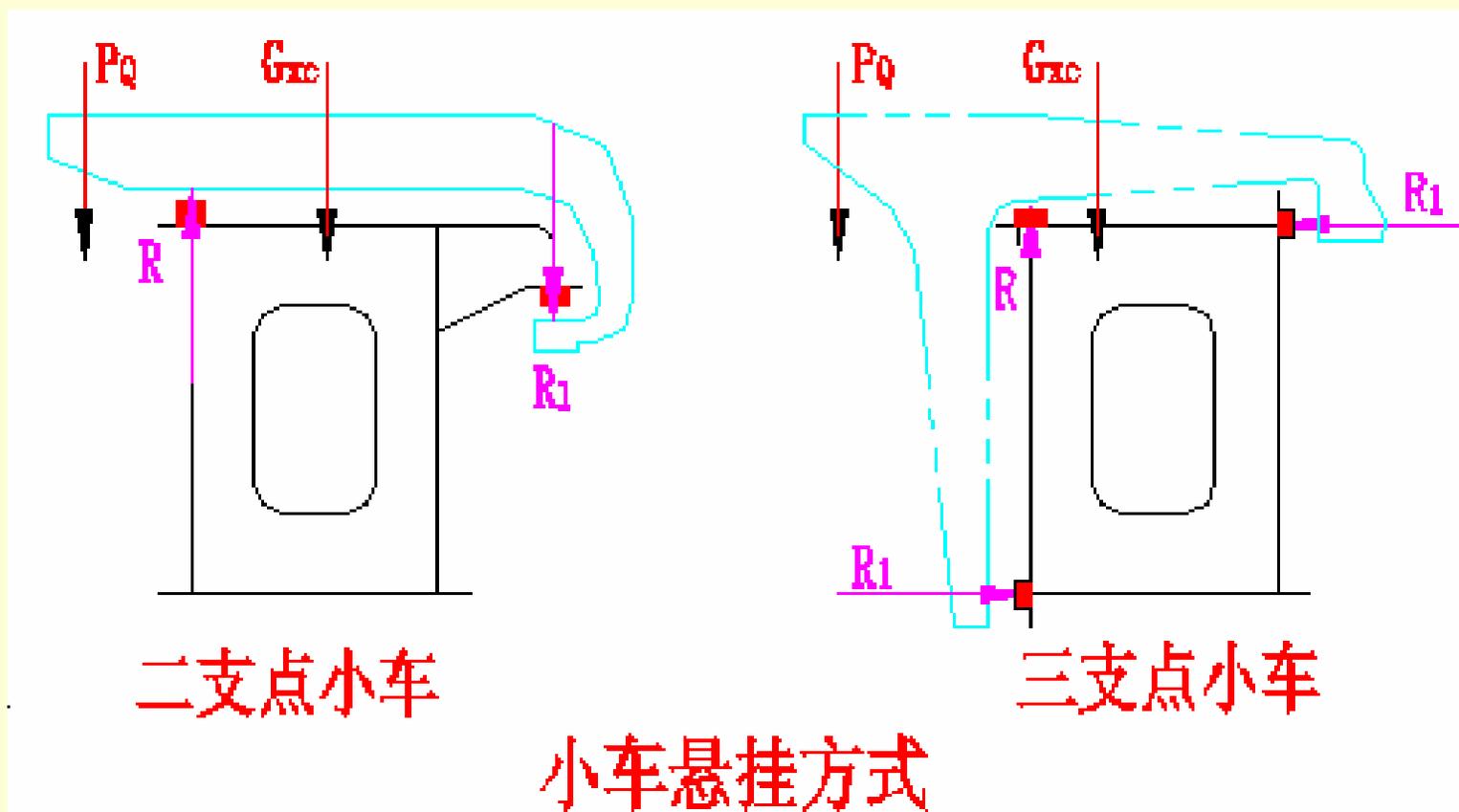


C型单主梁龙门起重机

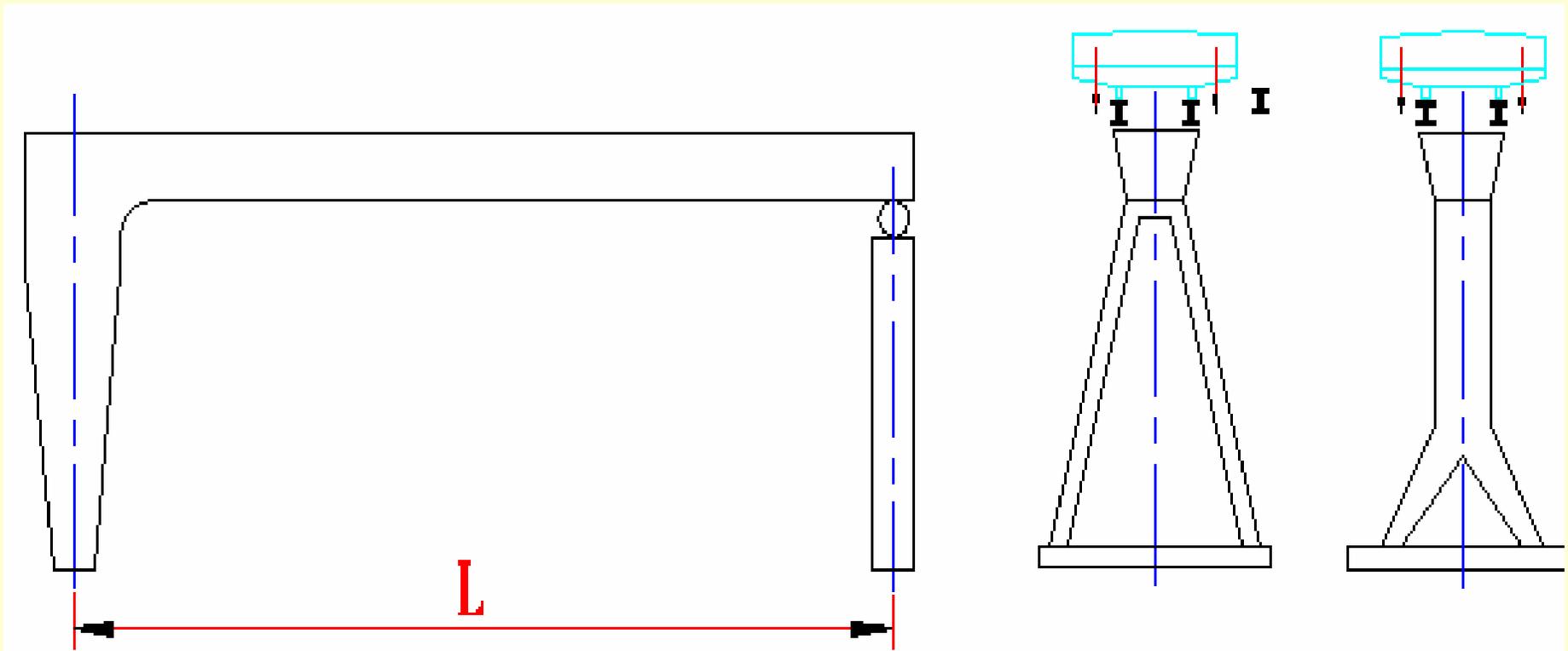


(2) 起重小车

- 二支点小车：适用于 $Q = 5 \sim 20\text{t}$ 的起重机。
- 三支点小车：适用于 $Q = 20 \sim 50\text{t}$ 的起重机。



2. 无悬臂的单主梁龙门起重机



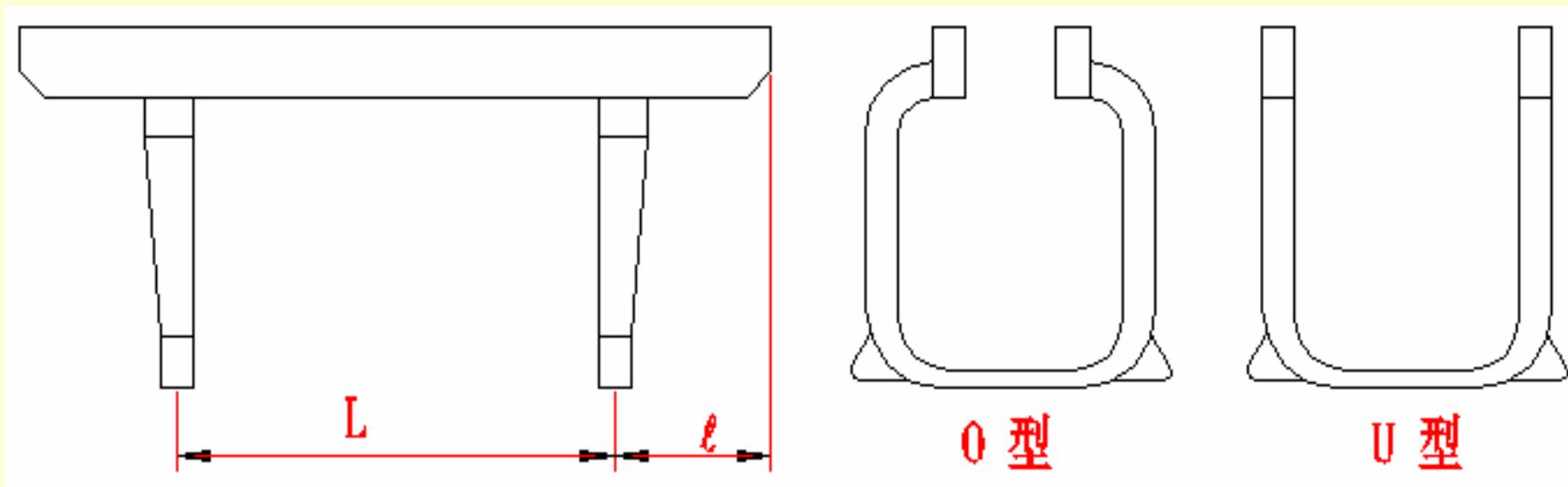
无悬臂单主梁龙门起重机



二、双梁龙门起重机

1. 无马鞍双梁龙门起重机

- 型双梁龙门起重机
- U型双梁龙门起重机



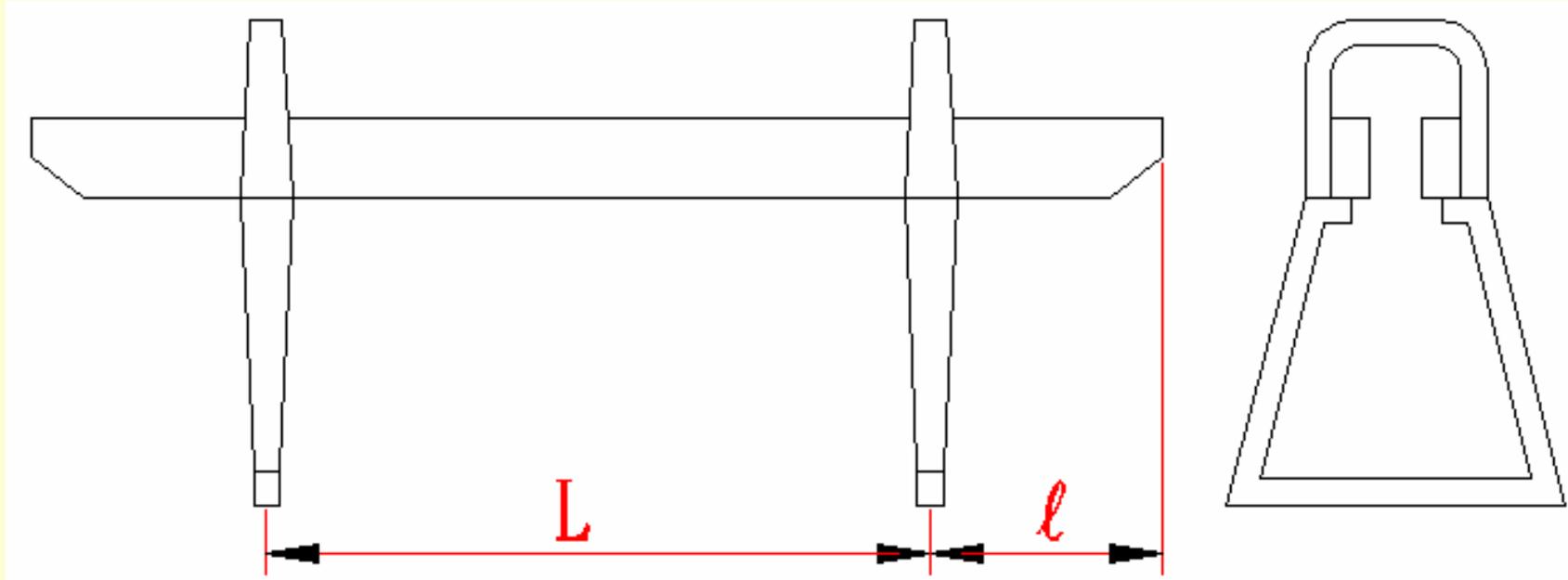
U型双主梁龙门起重机



2. 带马鞍双梁龙门起重机

马鞍的作用：

防止两根主梁向中间并，提高桥架的水平刚度。



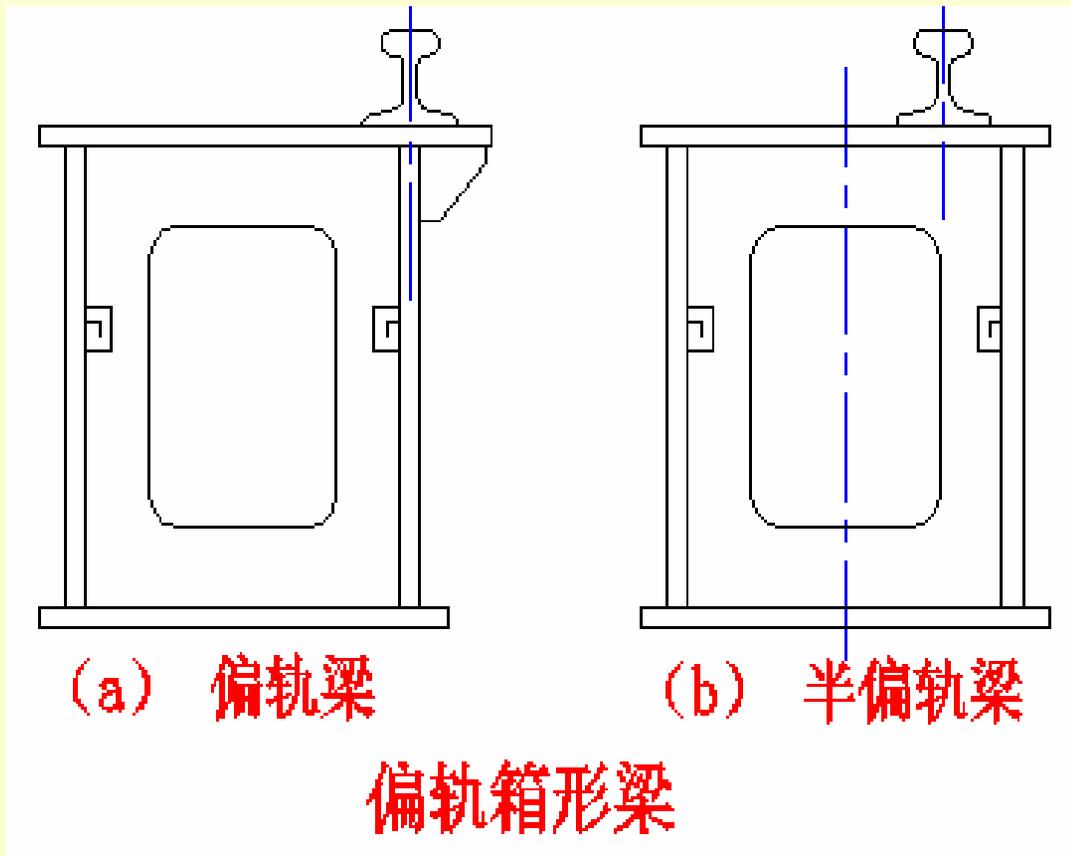
带马鞍双梁龙门起重机



三、偏轨箱形梁

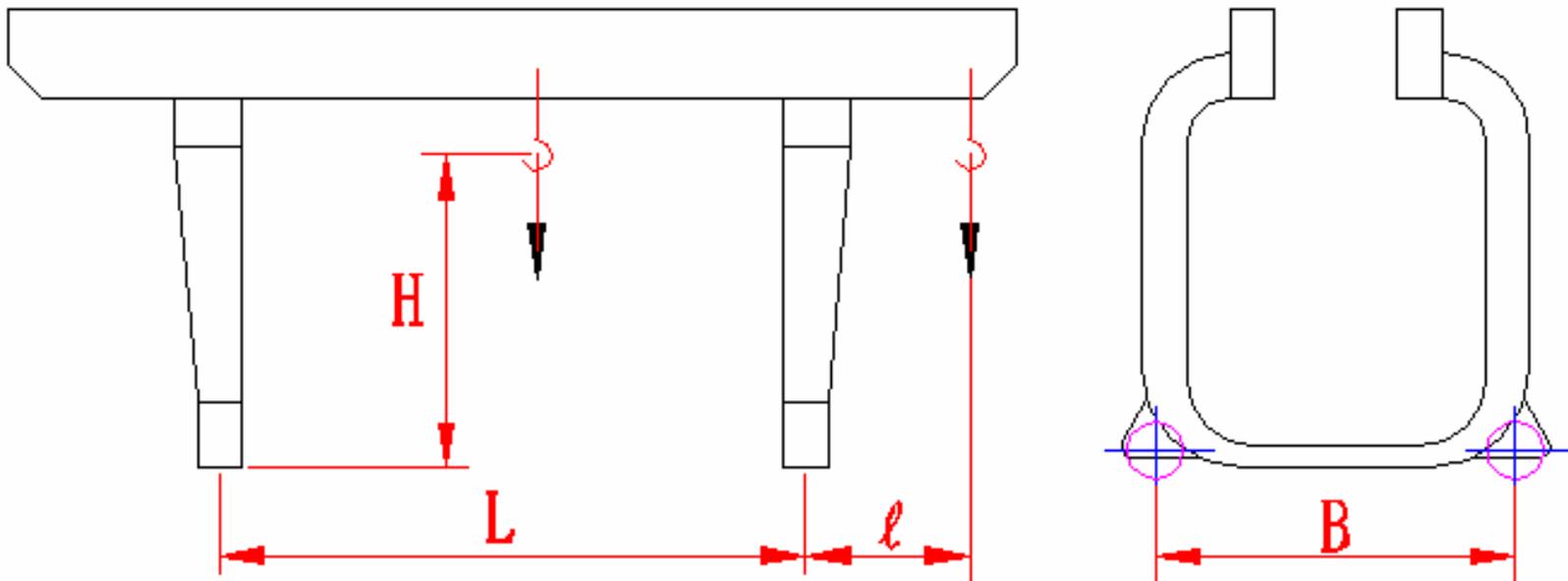
偏轨箱形梁的特点:

不需设置短横向加劲板;但要设置支承悬伸翼缘的三角筋板。



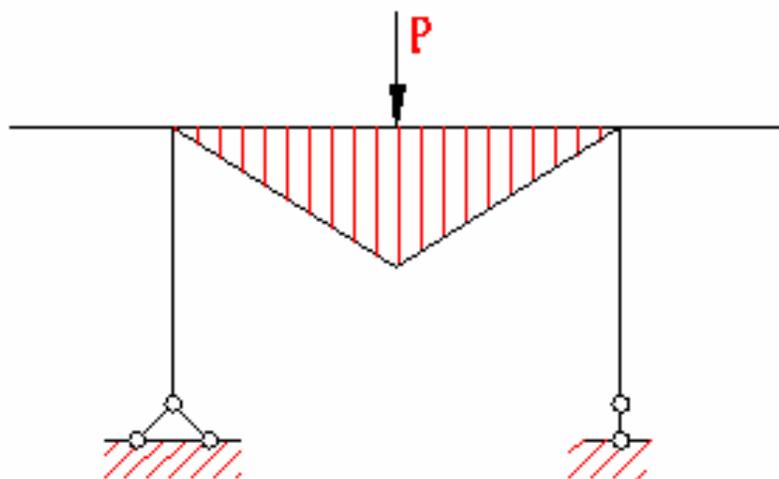
四、龙门起重机的主要参数

- 跨度L：标准跨度系列 18m、22、26、30、35m
- 有效悬臂长 l ： $l=(0.3\sim 0.4)L$ 或由使用要求决定。
- 起升高度H： $H=(8\sim 12)m$ ，或由使用要求决定
- 大车轴距B： $B=(\frac{1}{4}\sim \frac{1}{6})L$ （由过腿空间决定）

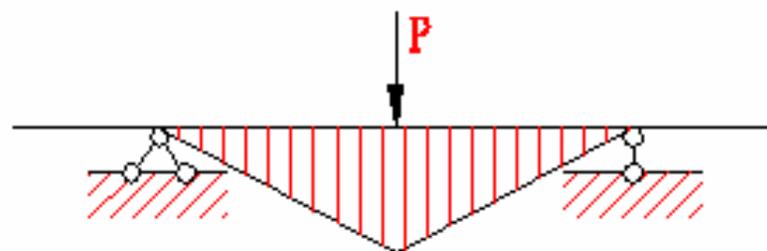


第二节 偏轨箱形主梁的内力分析

主梁的计算简图

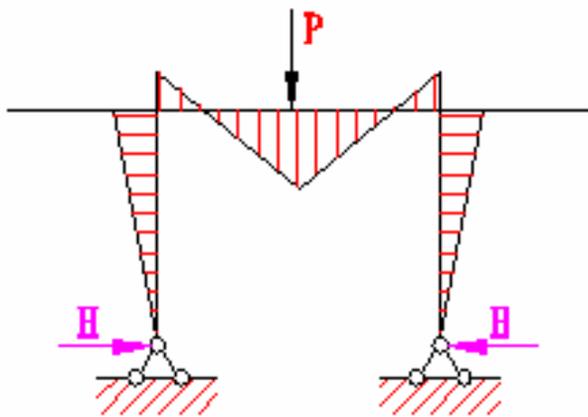
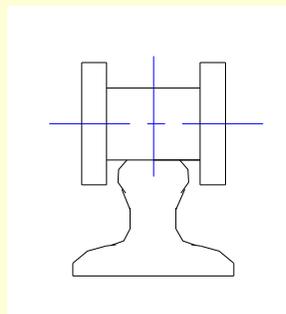
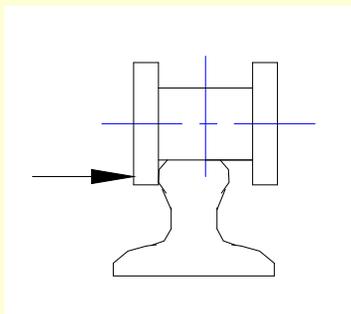


(a) 主梁垂直平面的计算简图

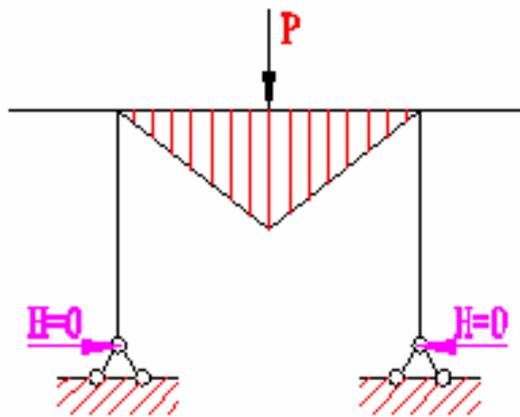


(b) 主梁水平平面的计算简图

带一个柔性支腿的龙门起重机主梁的计算简图



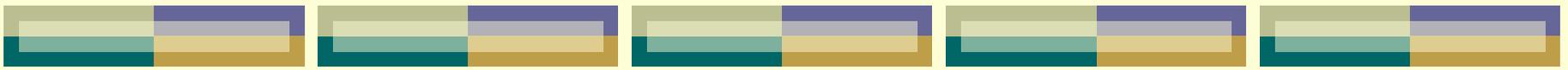
(a) 主梁垂直平面的计算简图



(b) 主梁水平平面的计算简图

带两个刚性支腿的龙门起重机主梁的计算简图

主梁的最不利计算简图是按两端简支的外伸梁计算，不因其结构型式和支承情况而改变。



- **主梁上的作用载荷**

按CH3 表3-14或表3-15的载荷组合。

- **主梁的危险截面**

小车在跨中时的跨中截面：计算 M^Z 、 Q^Z

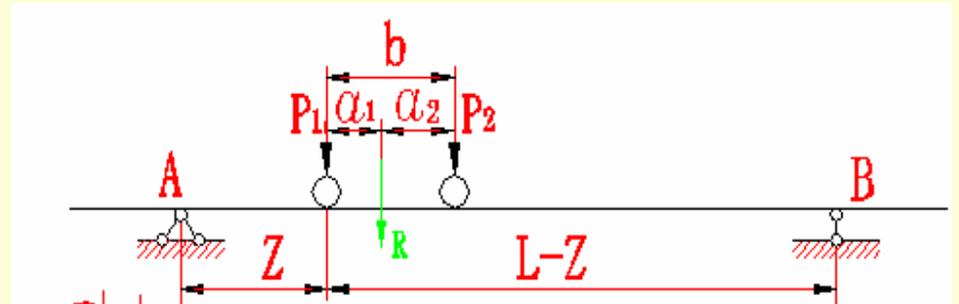
小车在悬臂端极限位置时的支座截面：计算 M^A 、 Q^A

一、垂直平面内的载荷引起的主梁内力

1. 移动载荷引起的主梁内力

一根主梁上总的小车轮压为

$$R = \frac{j_i G_{xc} + j'_i Q}{n}$$



设小车车轮轮压为 P_1 和 P_2 ， $R = P_1 + P_2$ ，当 $P_1 > P_2$ 时，

R 距 P_1 、 P_2 的距离：

$$a_1 = \frac{P_2 b}{R}$$

$$a_2 = \frac{P_1 b}{R}$$

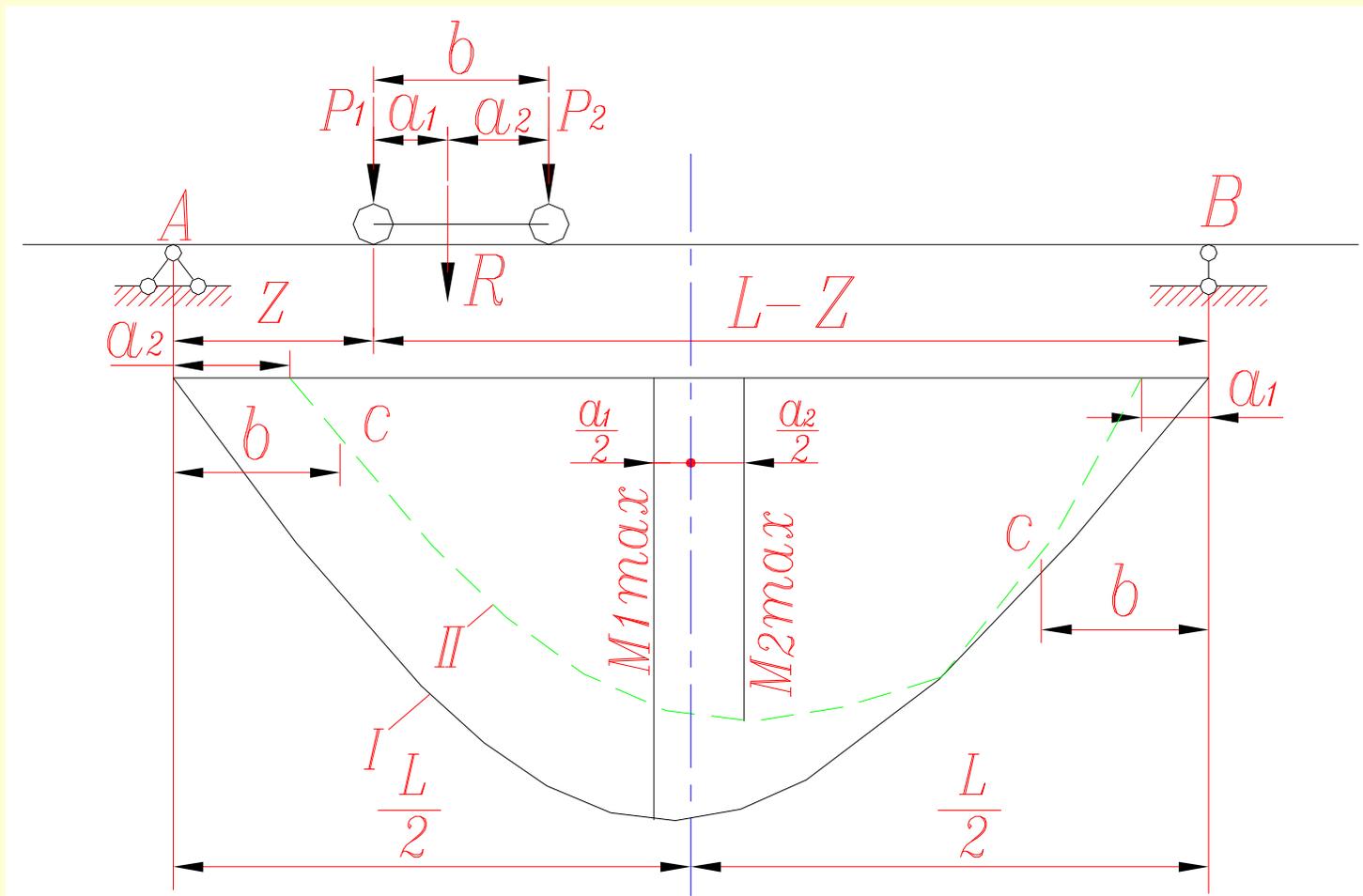
若 $P_1 = P_2$ ，则：

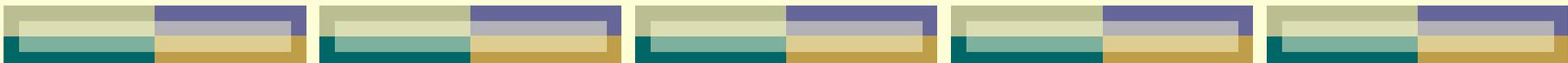
$$a_1 = a_2 = \frac{b}{2}$$

(1) 小车在主梁跨间运行时

轮1下的弯矩方程式为：

$$M_1 = R_A Z = R \frac{L - Z - a_1}{L} Z$$





由
$$\frac{dM_1}{dZ} = R \left(1 - \frac{2Z}{L} - \frac{a_1}{L} \right) = 0$$

得
$$Z_1 = \frac{L - a_1}{2}$$

即主梁最大弯矩发生在距跨中截面 $\frac{a_1}{2}$ 处

$$M_{1\max} = R \left(Z_1 - \frac{Z_1^2}{L} - \frac{a_1 Z_1}{L} \right) = R \frac{(L - a_1)^2}{4L}$$

近似取跨中截面弯矩

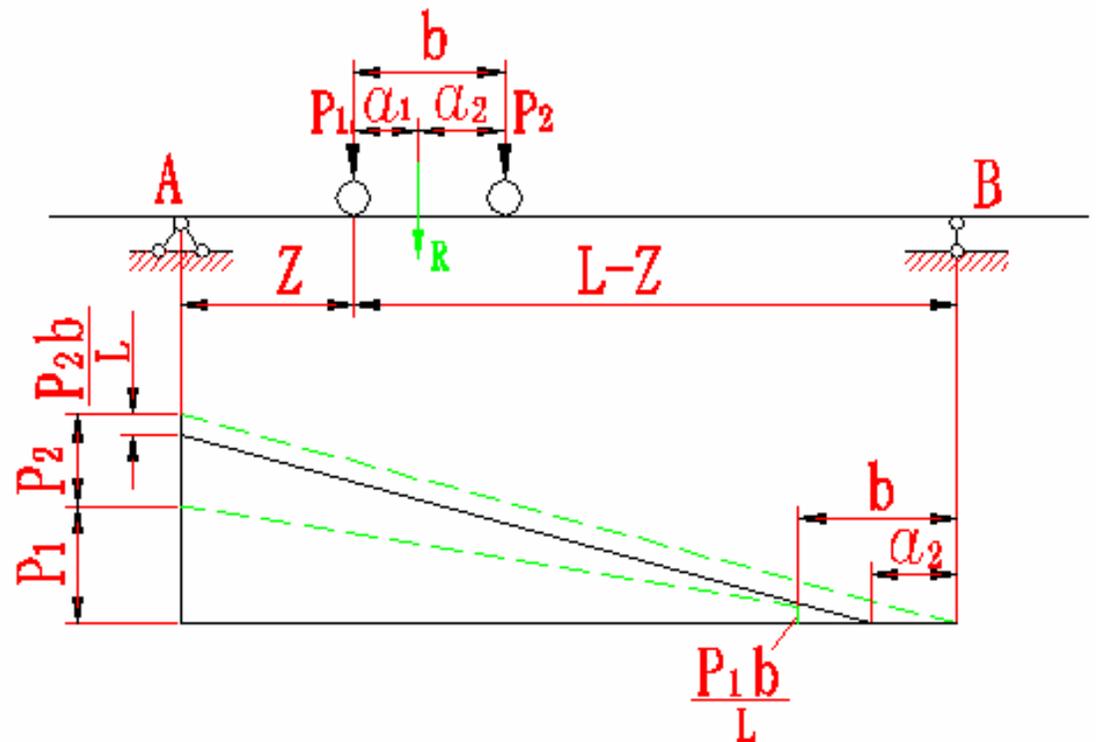
$$M_P^Z = M_{1\max}$$

小车在主梁跨间运行时，剪力方程为

$$Q = P_1 \left(1 - \frac{Z}{L} \right) + P_2 \left(1 - \frac{Z}{L} - \frac{b}{L} \right)$$

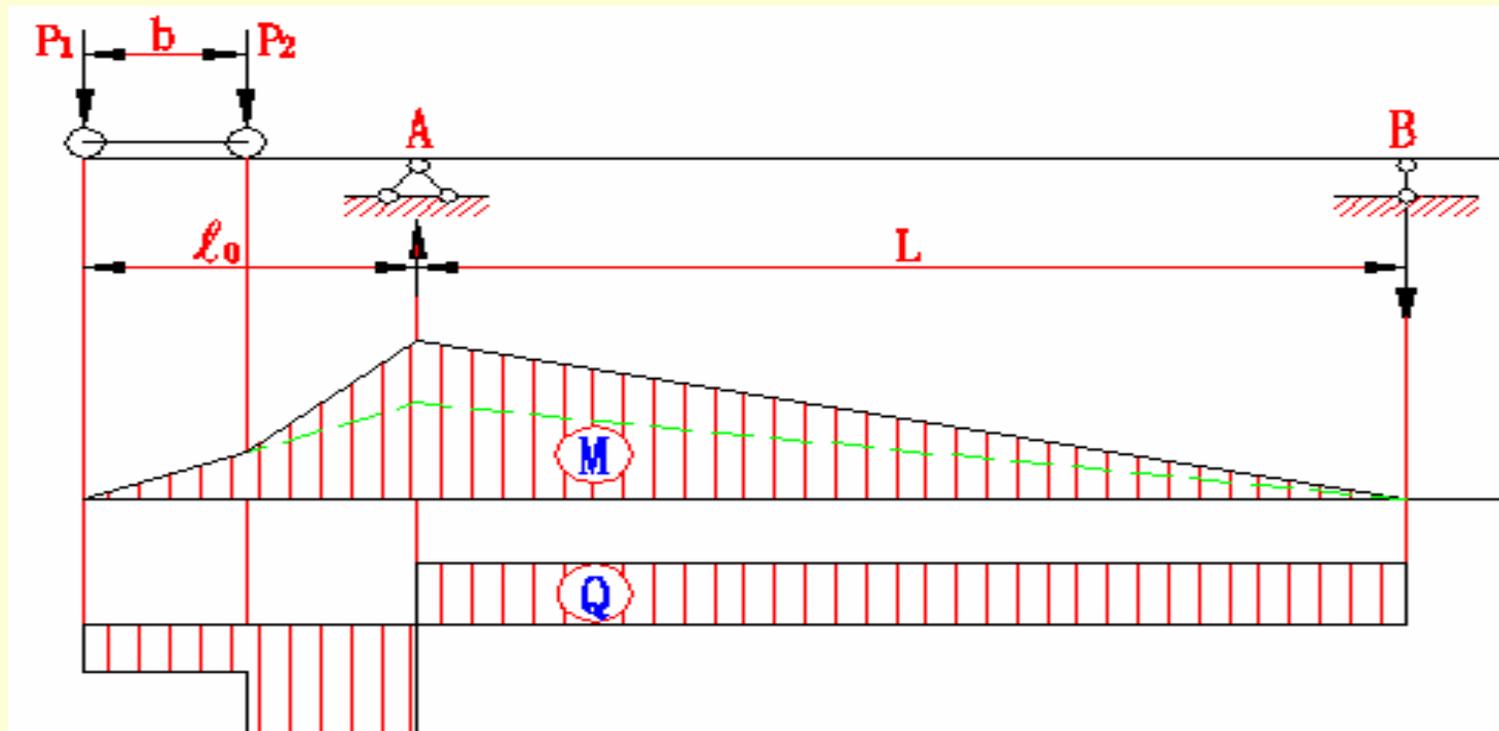
当 $Z = 0$ 时

$$Q_{\max} = P_1 + P_2 - \frac{P_2 b}{L}$$



(2) 小车在主梁悬臂段运行时

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{支承A处的弯矩: } M_P^A = M_{\max} = -[P_1 l_0 + P_2 (l_0 - b)] \\ \text{支承A处的剪力: } Q_P^A = -(P_1 + P_2) \end{array} \right.$$



小车位于悬臂端时的弯矩及剪力图

2. 固定载荷引起的主梁内力

(1) 匀布固定载荷引起的主梁内力

自重均布载荷: $q = \frac{j_i G_z}{L_0}$

跨中截面弯矩

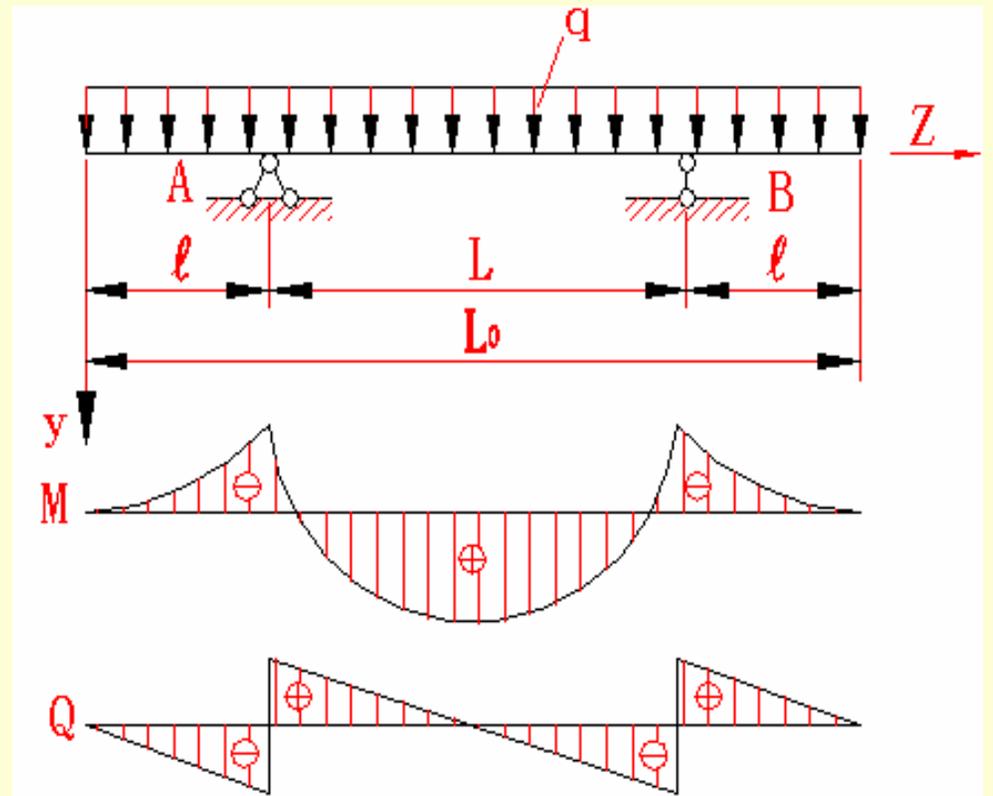
$$M_q^Z = M_{\max} = \frac{qL_0}{8} (2L - L_0)$$

支座截面弯矩

$$M_q^A = -\frac{ql^2}{2}$$

支座截面剪力

$$Q_q^A = -ql$$



(2)集中固定载荷引起的主梁内力

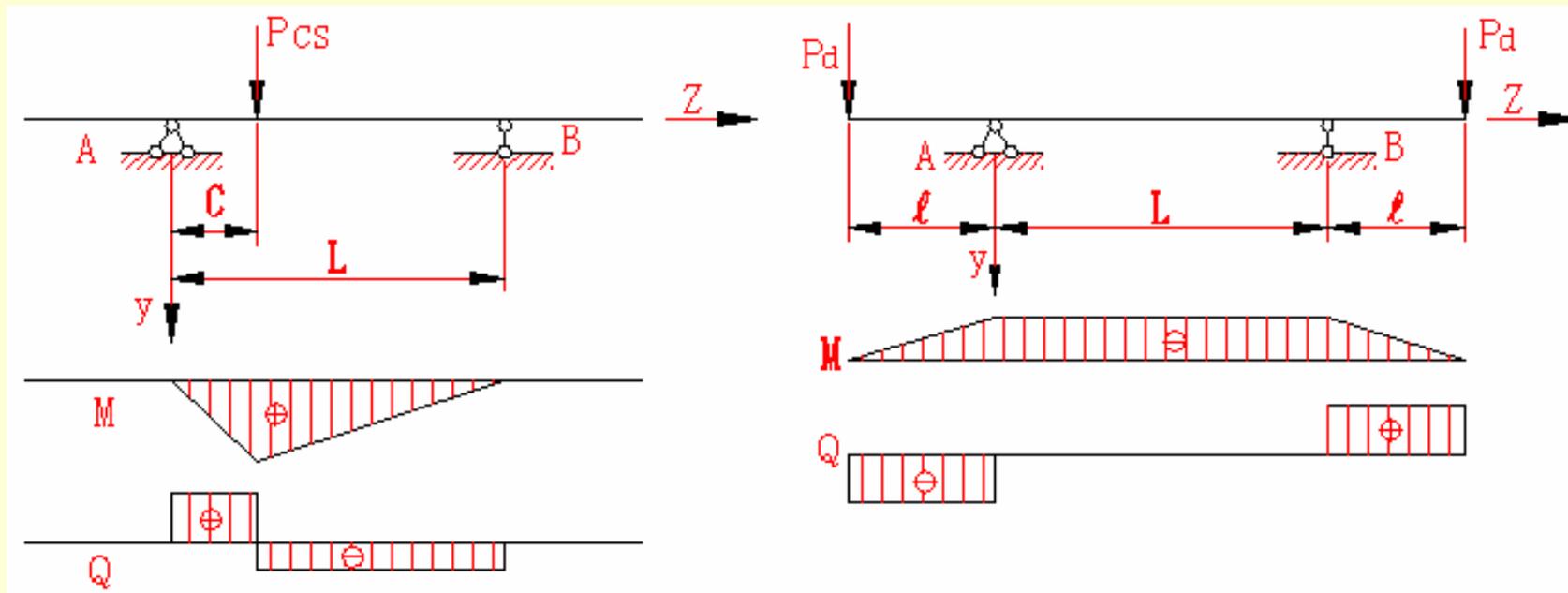
司机室重力 $P_{cs} = \phi_i G_s$ 引起的跨中截面弯矩: $M_{cs}^Z = \frac{1}{2} P_{cs} C$

端梁重力 $P_d = \phi_i G_d$ 引起的跨中截面弯矩: $M_d^Z = -P_d l$

端梁重力 $P_d = \phi_i G_d$ 引起的主梁支座截面的弯矩及剪力为:

$$M_d^A = -P_d l$$

$$Q_d^A = -P_d$$



3. 移动载荷与固定载荷在主梁危险截面引起的内力和

跨中截面 弯矩: $M_x^Z = M_P^Z + M_q^Z + M_{cs}^Z + M_d^Z$

支座截面 { 弯矩: $M_x^A = M_P^A + M_q^A + M_d^A$

剪力: $Q^A = Q_P^A + Q_q^A + Q_d^A$

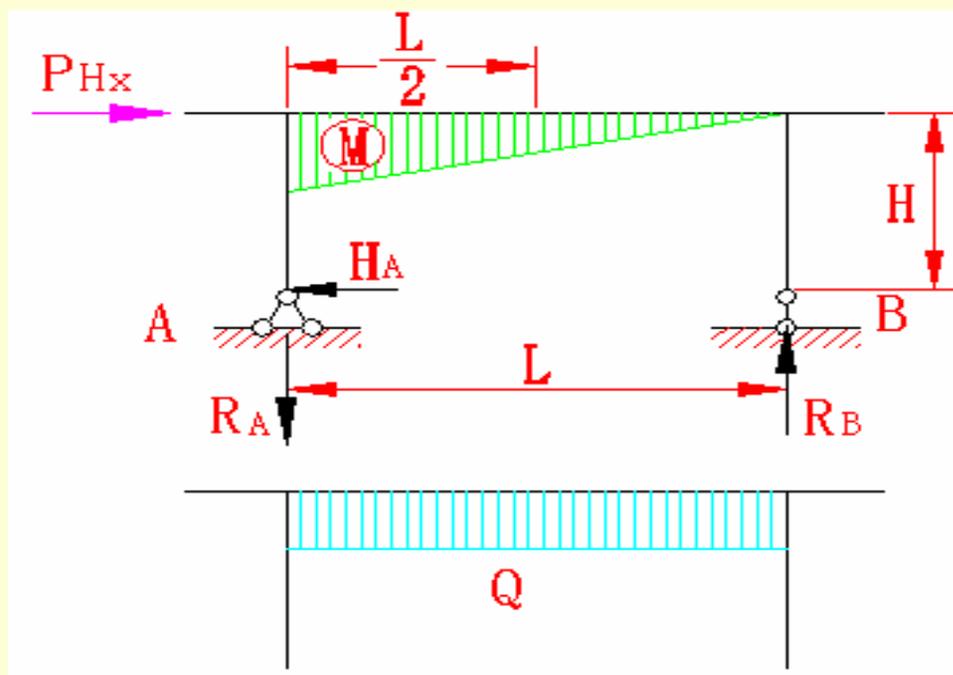
4. 小车制动惯性力 P_{Hx} 引起的主梁内力

跨中截面弯矩:

$$M_{Hx}^Z = \frac{1}{2} P_{Hx} H$$

跨中截面剪力:

$$Q_{Hx}^Z = -P_{Hx} \frac{H}{L}$$



二、水平载荷引起的主梁内力

1. 大车制动惯性力引起的主梁内力

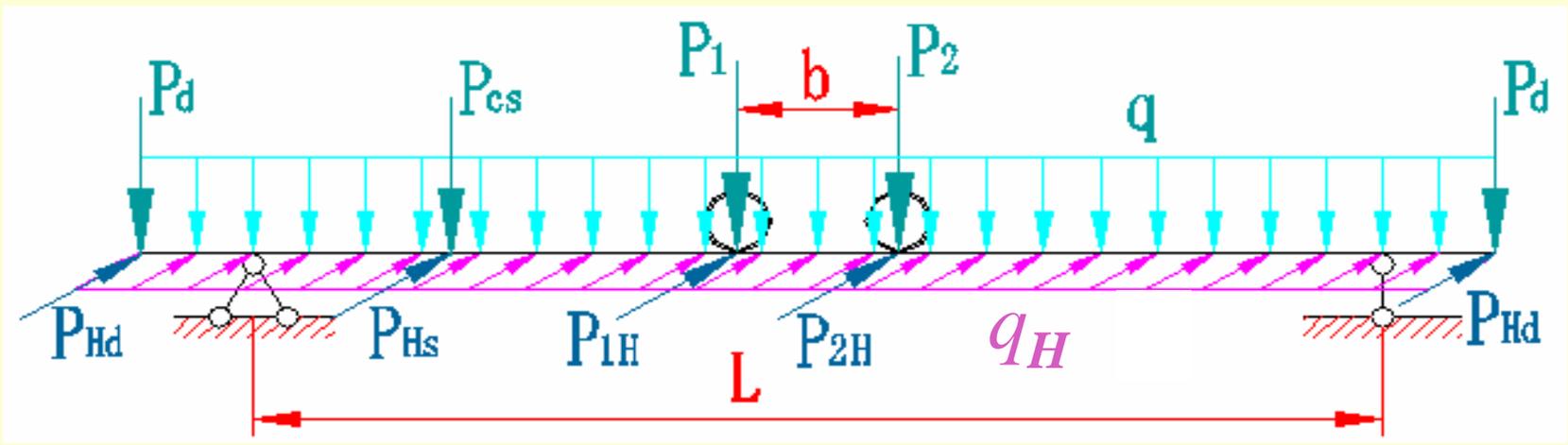
惯性力 $P_H = j_5 ma = \left(j_5 \frac{a}{g} \right) G = KG$

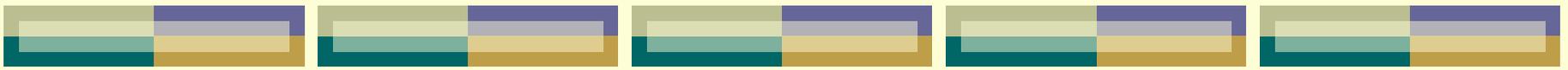
桥架惯性力 $q_H = K \frac{G_Z}{L_0}$

小车惯性力 $R_H = KR_j = \frac{1}{n} (G_{xc} + Q)$

司机室惯性力 $P_{Hs} = KG_s$

端梁惯性力 $P_{Hd} = KG_d$





惯性载荷引起的主梁危险截面的水平弯矩为：

跨中截面水平弯矩：
$$M_{Hs}^Z = M_{HP}^Z + M_{Hq}^Z + M_{Hcs}^Z + M_{Hd}^Z$$

支座截面水平弯矩：
$$M_{Hs}^A = M_{HP}^A + M_{Hq}^A + M_{Hd}^A$$

2. 风载荷引起的主梁内力

主梁均布风载荷: $q_w = CK_h q A_z / L_0$

小车及货物风载荷: $P_{Wxc} = CK_h q A_{xc}$ $P_{Wh} = CK_h q A_h$

水平轮压

$$R_W = \frac{P_{Wh} + P_{Wxc}}{n}$$

司机室风载荷: $P_{Ws} = CK_h q A_s$

风载荷引起的主梁危险截面的水平弯矩为

跨中截面弯矩: $M_{Ws}^Z = M_{WP}^Z + M_{Wq}^Z + M_{Wcs}^Z$

支座截面弯矩: $M_{Ws}^A = M_{WP}^A + M_{Wq}^A$

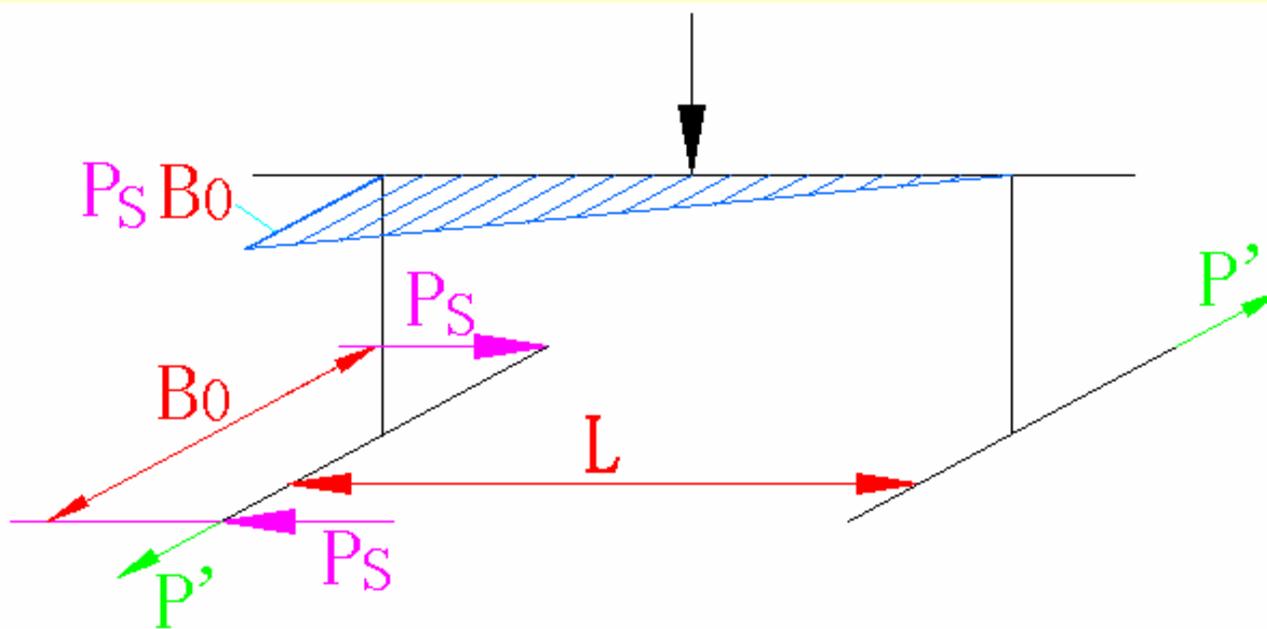
3. 大车偏斜运行侧向力引起的主梁内力

侧向力计算式:

$$P_S = \frac{l}{2} \sum P$$

侧向力引起的主梁跨中截面的水平弯矩为

$$M_S^Z = \frac{P_S}{2} B$$



三、主梁承受的扭矩

1. 外扭矩

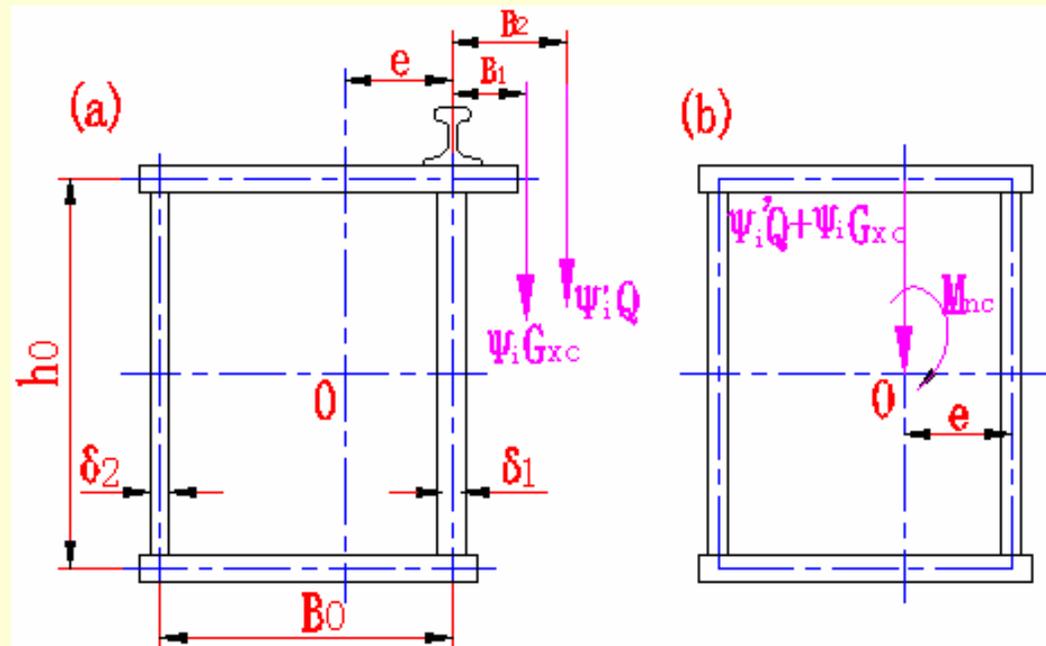
(1) 垂直载荷引起的扭矩

单梁: $M_{nc} = j_i G_{xc} (B_1 + e) + j'_i Q (B_2 + e)$

双梁: $M_{nc} = R \cdot e$

对偏轨箱形梁

$$e \approx \frac{d_2}{d_1 + d_2} B_0$$



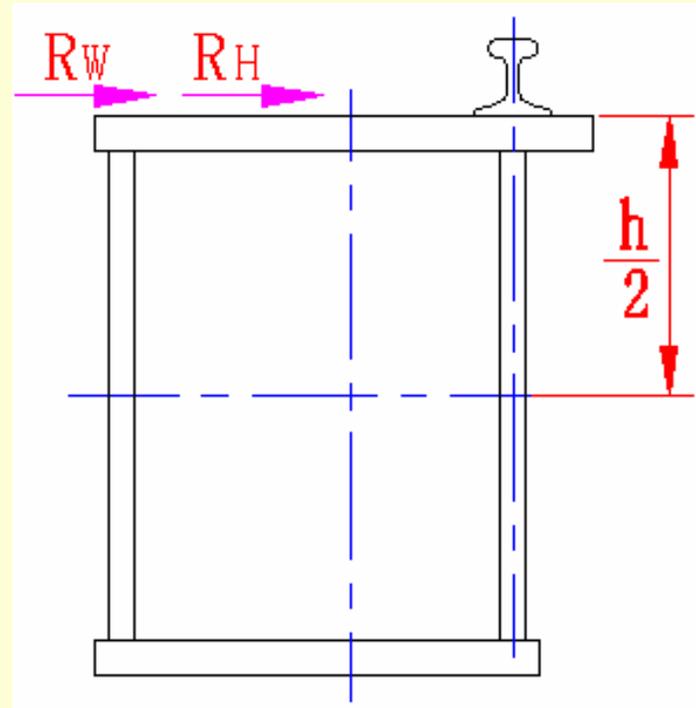
单主梁外扭矩计算简图

(2) 水平载荷引起的扭矩

$$M_{ns} = (R_H + R_W) \frac{h}{2}$$

(3) 总外扭矩

$$M_n = M_{nc} + M_{ns}$$



2. 扭矩在主梁上的分布

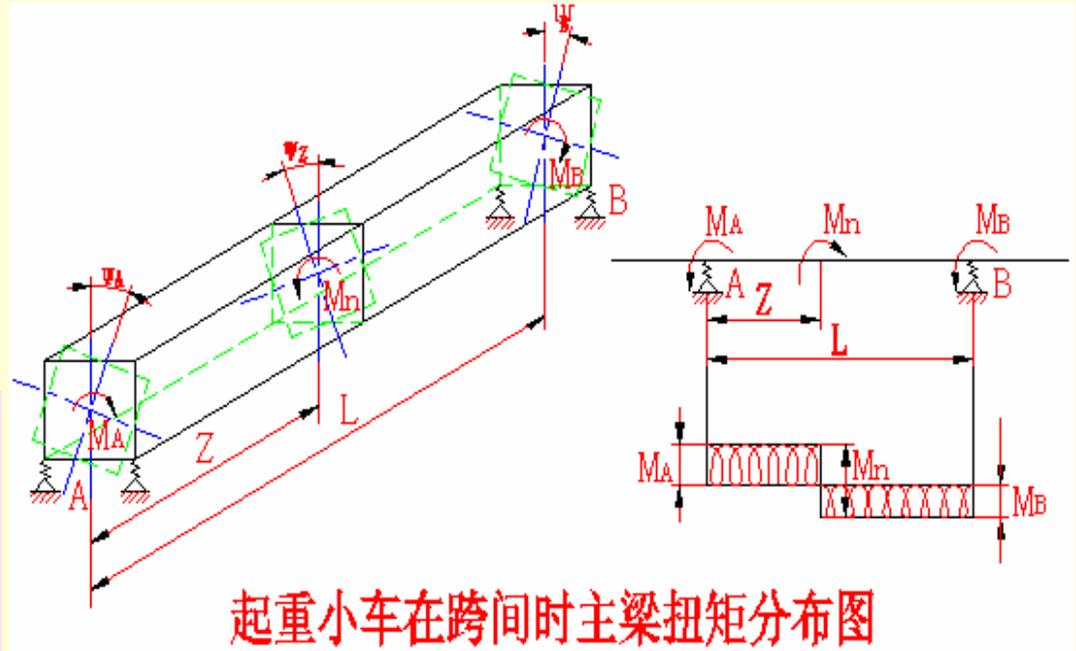
(1) 小车在跨间运行

● 两刚性支腿时

由 $M_n = M_A + M_B$

$$M_A = \frac{L-Z}{L} \cdot M_n$$

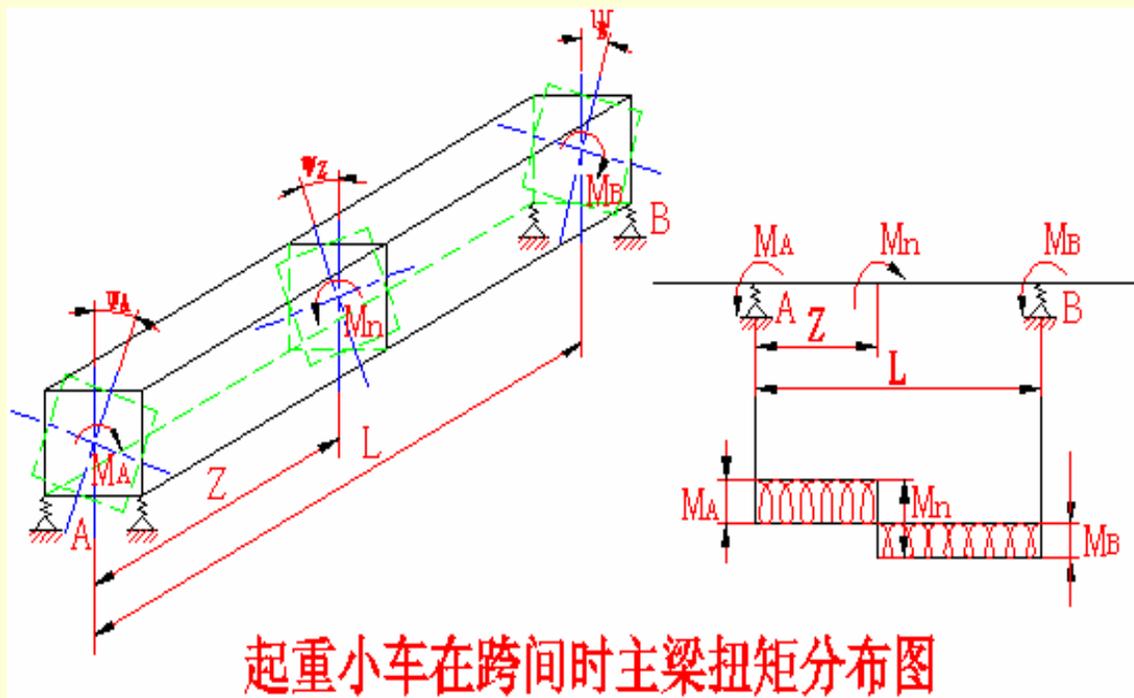
$$M_B = M_n - M_A = \frac{Z}{L} \cdot M_n$$



$$Z = \frac{L}{2} \text{ 时, } M_A = M_B = \frac{M_n}{2}$$

- 一条刚性腿（支腿A）一条柔性腿时

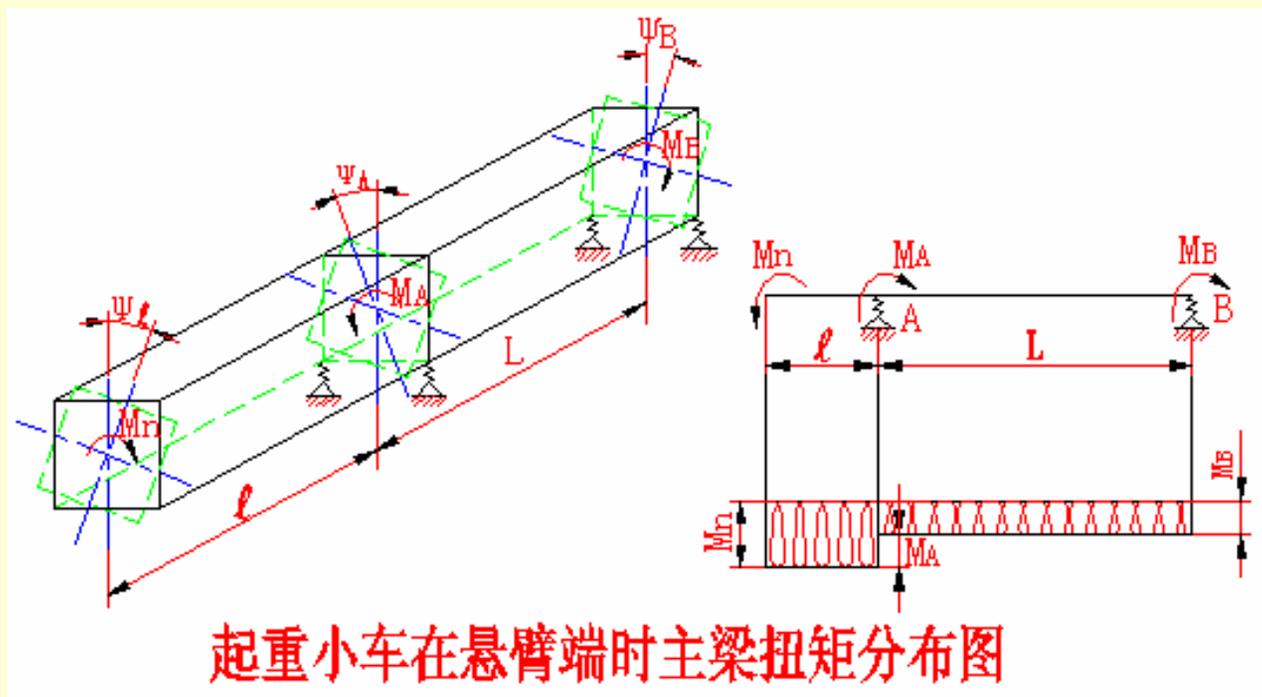
$$\left. \begin{array}{l} M_A \approx M_n \\ M_B \approx 0 \end{array} \right\}$$



(2) 起重小车在悬臂端运行时

由 $M_n = M_A + M_B$

- 支腿A为刚性腿时，有 $M_A \approx M_n$
 $M_B \approx 0$



四、主梁危险截面的内力总和

以荷载组合 II_b 为例： $\varphi_4 P_G$ 、 $\varphi_2 P_Q$ 、 P_H 、 $P_{W,i}$ 、 P_S

1. 小车在跨中时，跨中截面的内力

垂直荷载引起的弯矩： $M_x^Z = M_P^Z + M_q^Z + M_{cs}^Z + M_d^Z$

水平荷载引起的弯矩： $M_y^Z = M_{Hs}^Z + M_{Ws}^Z + M_S^Z$

扭矩：
$$\begin{cases} M_n^Z = \frac{M_n}{2} & \text{(两刚性腿时)} \\ M_n^Z = M_n & \text{(一刚一柔时)} \end{cases}$$

2. 小车在悬臂端时，支座截面的内力

垂直载荷引起的弯矩： $M_x^A = M_P^A + M_q^A + M_d^A$

垂直载荷引起的剪力： $Q^A = Q_P^A + Q_q^A + Q_d^A$

水平载荷引起的弯矩： $M_y^A = M_{Hs}^A + M_{Ws}^A$

扭矩： $M_n^A = M_n$

第三节 薄壁箱形梁的约束扭转和约束弯曲

一、薄壁箱形梁的约束扭转

1. 约束扭转正应力 $S_{\hat{w}}$

$$S_{\hat{w}} = \frac{B \cdot W}{I_{\hat{w}}}$$

约束扭转正应力的简化计算：

}	对宽翼缘箱形梁	$\frac{b}{h} = 0.8 \sim 1.0$	$S_{\hat{w}} = (2\% \sim 5\%) S_W$
	对窄翼缘箱形梁	$\frac{b}{h} = 0.4 \sim 0.6$	$S_{\hat{w}} = 8\% S_W$

式中 σ_W —— 自由弯曲正应力。

二、薄壁箱形梁的约束弯曲正应力

约束弯曲正应力 σ_φ 的简化计算:

$$\text{对宽翼缘箱形梁} \quad \frac{b}{L} = \frac{1}{14} \sim \frac{1}{17} \quad S_j = 10\% S_W$$

$$\text{对窄翼缘箱形梁:} \quad \frac{b}{L} = \frac{1}{30} \sim \frac{1}{50} \quad S_j = 6\% S_W$$

三、跨中截面的总应力

约束弯曲和约束扭转正应力之和可近似取为

$$S_{\hat{w}} + S_j \approx 15\% S_W$$

所以跨中截面总应力为

$$S = S_W + S_{\hat{w}} + S_j \approx 1.15 S_W$$

第四节 偏轨箱形主梁的设计计算

- 一、确定计算载荷及其组合（见第三章）。
- 二、主梁的内力计算（见本章第二节）。
- 三、主梁的截面选择（见第六章）。
- 四、主梁的强度校核

工作级别 $\geq A6$ 时，按载荷组合I校核**疲劳强度**；
按载荷组合II校核**静强度**；
工作级别 $< A6$ 时，按载荷组合II校核**静强度**。

危险截面

满载小车在跨中时的**跨中截面**
满载小车在有效悬臂端时的**支座截面**

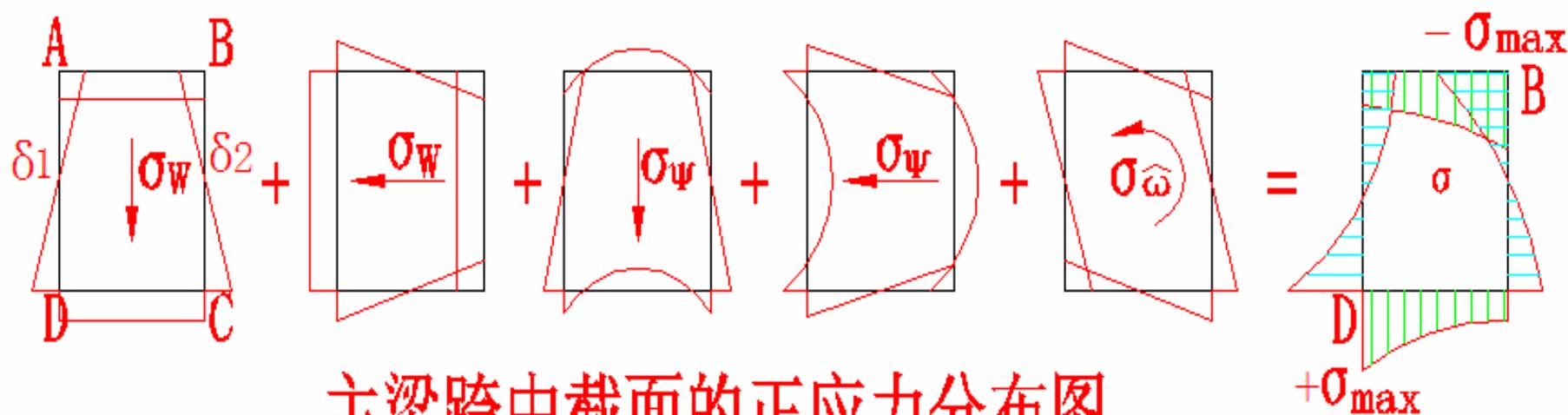
1. 满载小车位于跨中时主梁跨中截面强度校核

(1)正应力

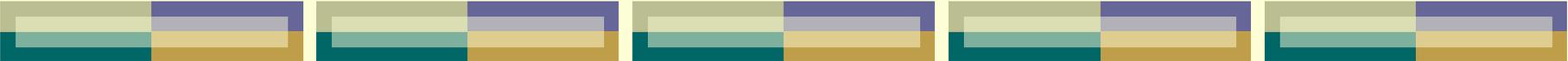
$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} + \sigma_{\hat{w}} + \sigma_j \leq [\sigma]$$

或

$$\sigma = 1.15 \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \leq [\sigma]$$



主梁跨中截面的正应力分布图



(2)平均挤压应力
$$s_m = \frac{P}{(2h_y + 50)d_1} \leq [s]$$

(3)复合应力
$$\sqrt{s^2 + s_m^2 - ss_m + 3t^2} \leq 1.1[s]$$

2. 满载小车位于悬臂端时主梁支承处截面强度校核

(1)正应力
$$s = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq [s]$$

(2)剪应力
$$t = \frac{Q_x S_x}{I_x (d_1 + d_2)} + \frac{M_n}{2A_0 d_1} \leq [t]$$

(3)复合应力
$$\sqrt{s^2 + 3t^2} \leq 1.1[s]$$

五、主梁的局部稳定性校核（见第六章）。

六、主梁的刚度校核

1. 主梁的静刚度校核

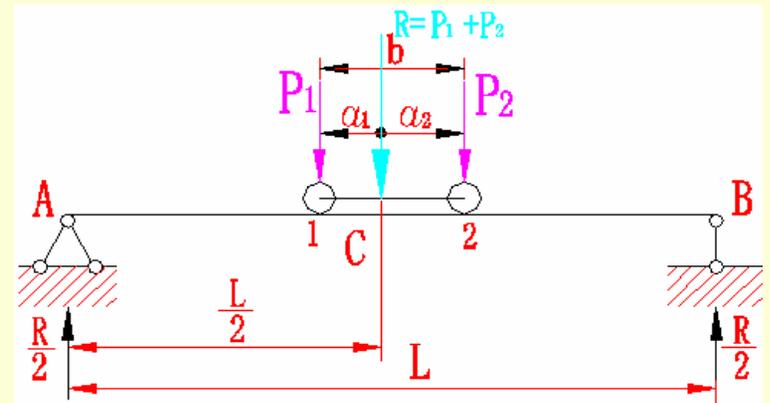
满载小车在跨中时的**跨中重直静挠度**；
满载小车在有效悬臂端时，**有效悬臂处重直静挠度**

- **支腿一刚一柔**：按简支外伸梁计算跨中、悬臂端挠度；
- **二刚性腿、小车在跨中**：按简支外伸梁计算跨中挠度；
- **二刚性腿、小车在悬臂端**：按一次超静定计算悬臂端挠度。

(1)按静定简支外伸梁计算静挠度

① 满载小车位于跨中时的跨中挠度

$$f = \frac{(P_1 + P_2)L^3}{48EI} \cdot C_2 \leq [f] \quad (8-66)$$



式中
$$C_2 = 4 \left\{ \frac{P_1}{R} \left(\frac{1}{2} - \frac{a_1}{L} \right) \left[\frac{3}{4} - \left(\frac{1}{2} - \frac{a_1}{L} \right)^2 \right] + \frac{P_2}{R} \left(\frac{1}{2} - \frac{a_2}{L} \right) \left[\frac{3}{4} - \left(\frac{1}{2} - \frac{a_2}{L} \right)^2 \right] \right\}$$

当 $P_1 = P_2$, $a_1 = a_2 = \frac{b}{2}$, $\frac{P_1}{R} = \frac{P_2}{R} = \frac{1}{2}$, 令 $\frac{L}{2} - a_1 = \frac{L}{2} - a_2 = \frac{L}{2} - \frac{b}{2} = l_1$

则
$$f = \frac{(P_1 + P_2)l_1}{12EI} (0.75L^2 - l_1^2) \leq [f] \quad (8-65)$$

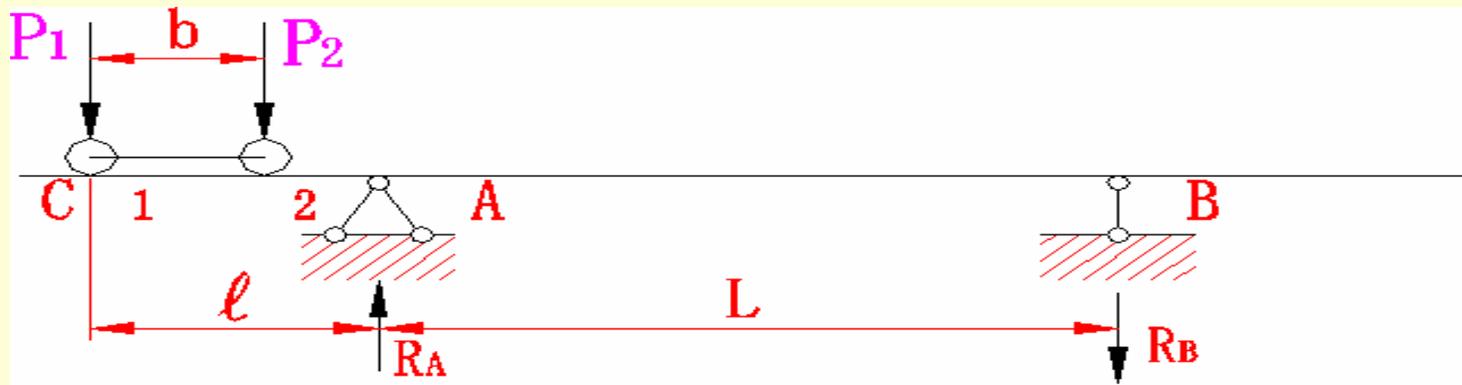
式中 $[f]$ ——静刚度容许值，见第三章表3-24。

② 满载小车位于有效悬臂端时悬臂端的挠度

$$f = \frac{(P_1 + P_2)}{3EI} l^2 (L + l) \cdot C_3 \leq [f] \quad (8-68)$$

式中 $C_3 = 1 - \frac{P_2}{P_1 + P_2} \left[\frac{b}{l} \left(\frac{3}{2} + \frac{L}{l} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{b}{l} \right)^3 \right] \cdot \frac{l}{L + l}$

[f]——主梁有效悬臂端的许用挠度，取 $[f] = \frac{l}{350}$

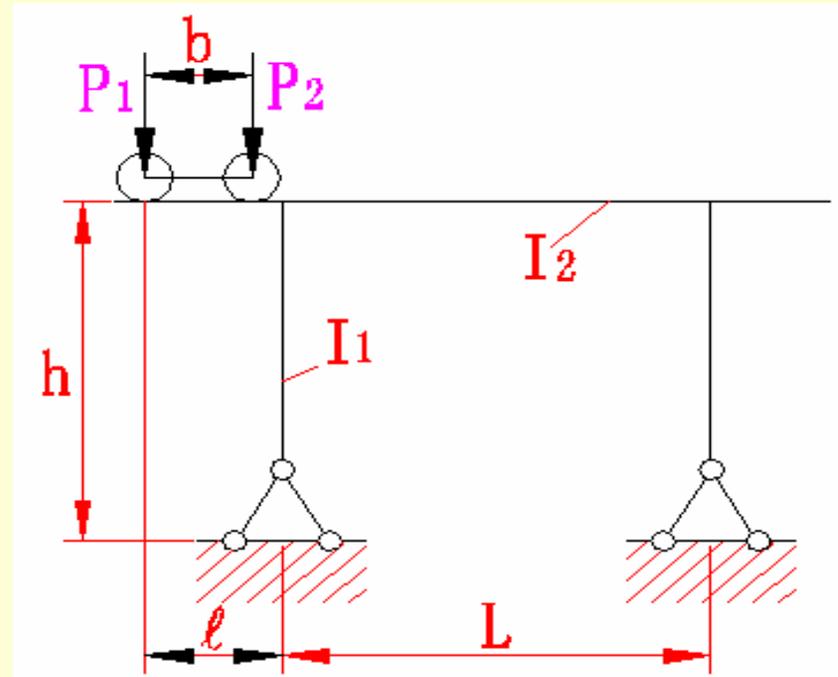


(2) 按一次超静定龙门架简图计算静挠度
小车位于有效悬臂端时，悬臂端挠度为

$$f = \frac{(P_1 + P_2)l^2 C_3}{3EI_2} \left(l + L \frac{8k + 3}{8k + 12} \right) \leq [f] \quad (8-73)$$

式中

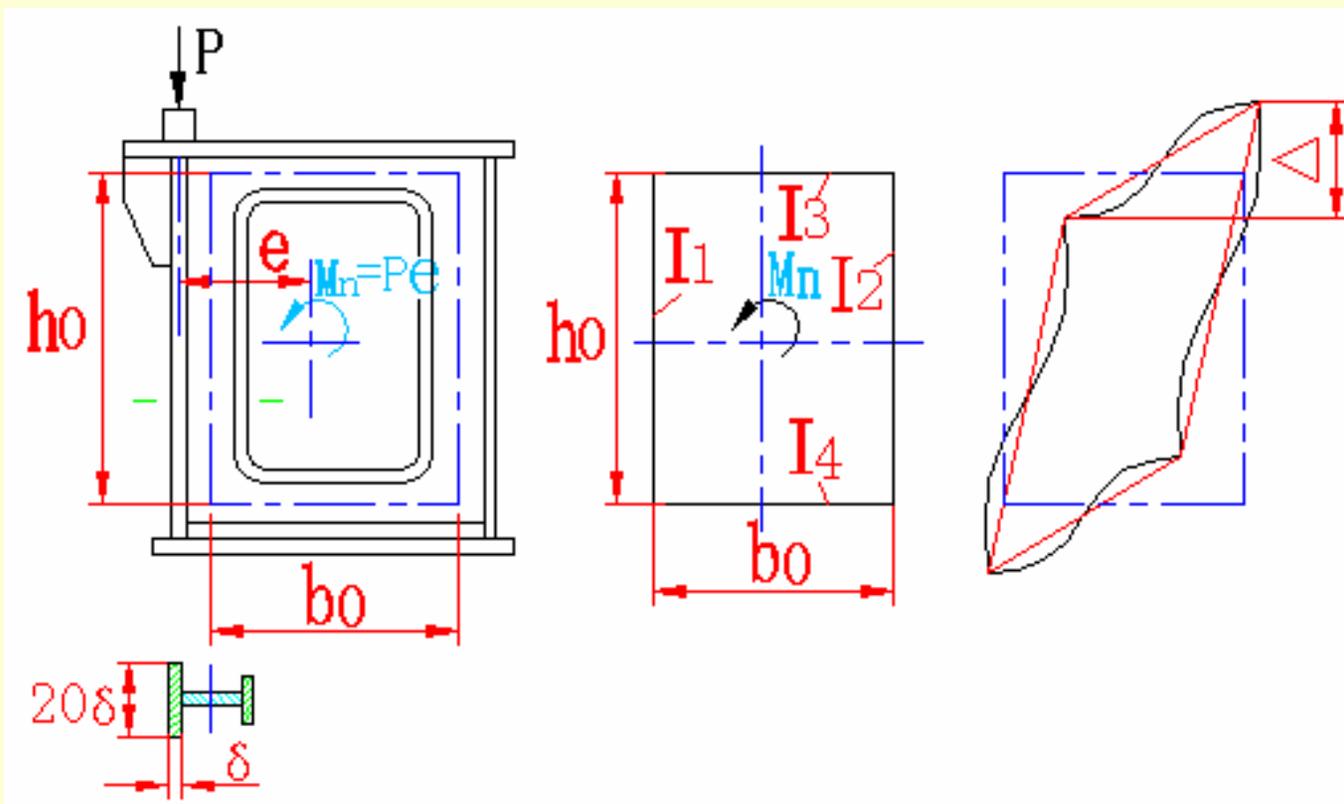
$$k = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{h}{L}$$



2. 横向框架抗扭刚度校核

横向框架抗扭刚度用两竖杆相对错移量 D 来表示:

$$\Delta = \frac{M_n b_0^2}{96E} \left[\left(\frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2} \right) \frac{h_0}{b_0} + \left(\frac{1}{I_3} + \frac{1}{I_4} \right) \right] \leq (0.001 \sim 0.002) b_0$$



3. 主梁的动刚度校核

GB/T3811-83《起重机设计规范》：“起重机作为振动系统的动态刚性，以满载情况下钢丝绳绕组的下放悬吊长度相当于额定起升高度时，系统在垂直方向的最低阶固有频率（简称为满载自振频率）来表征。”

$$f_1 = \frac{1}{2p} \sqrt{\frac{g}{(1+b)(y_1 + I_0)}} \geq [f] = 2Hz$$

式中
$$b = \frac{m_1}{m_2} \left(\frac{y_1}{y_1 + I_0} \right)^2$$

其中 m_1 ——桥架换算质量与小车质量之和，见表3-1；
 m_2 ——吊重质量。

第五节 偏轨箱形龙门起重机支腿的设计计算

一、确定计算载荷及其组合（见第三章）

二、支腿的内力分析

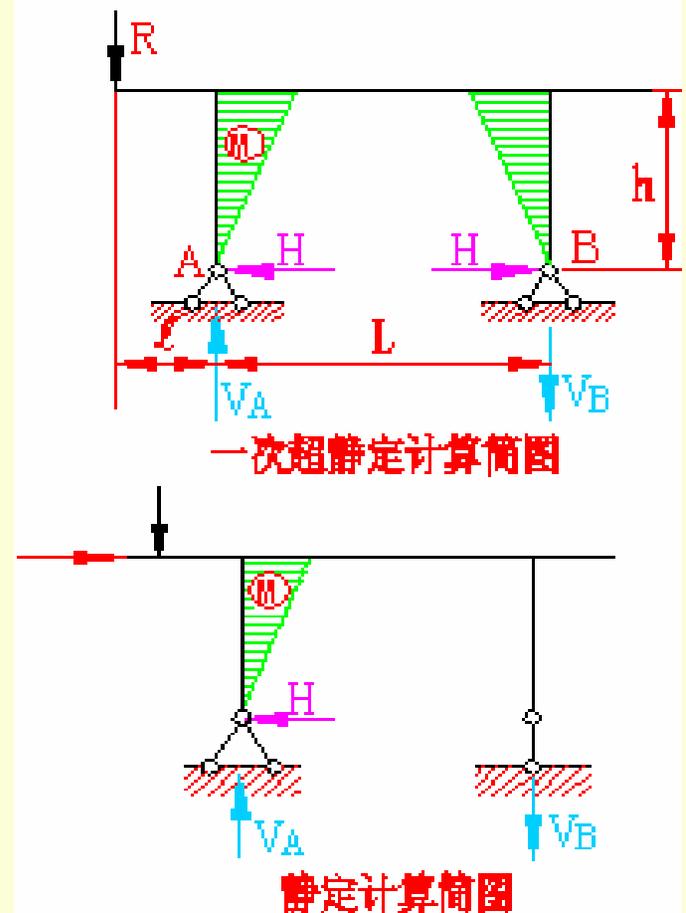
1. 支腿的计算简图

(1) 龙门架平面

- 跨度 $L < 35m$ 时：两刚性腿，按一次超静定计算简图；
- 跨度 $L \geq 35m$ 时：支腿为一刚一柔，按静定计算简图。

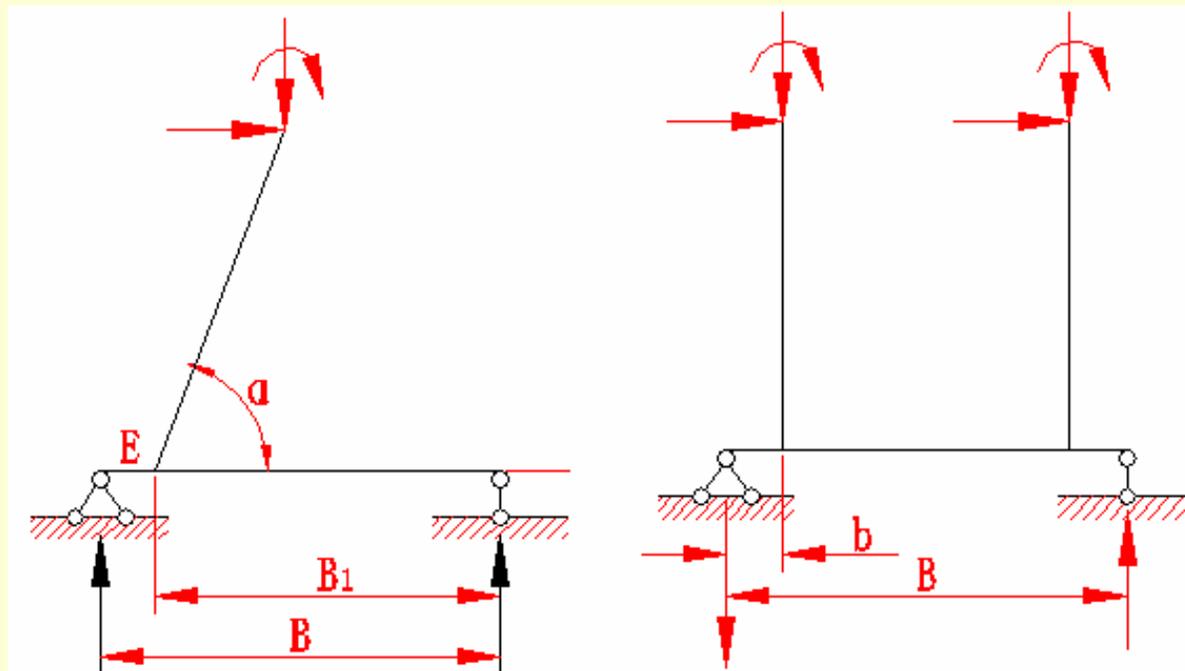
柔性支腿的作用：

消除温度和吊重引起的横推力。



(2)支腿平面

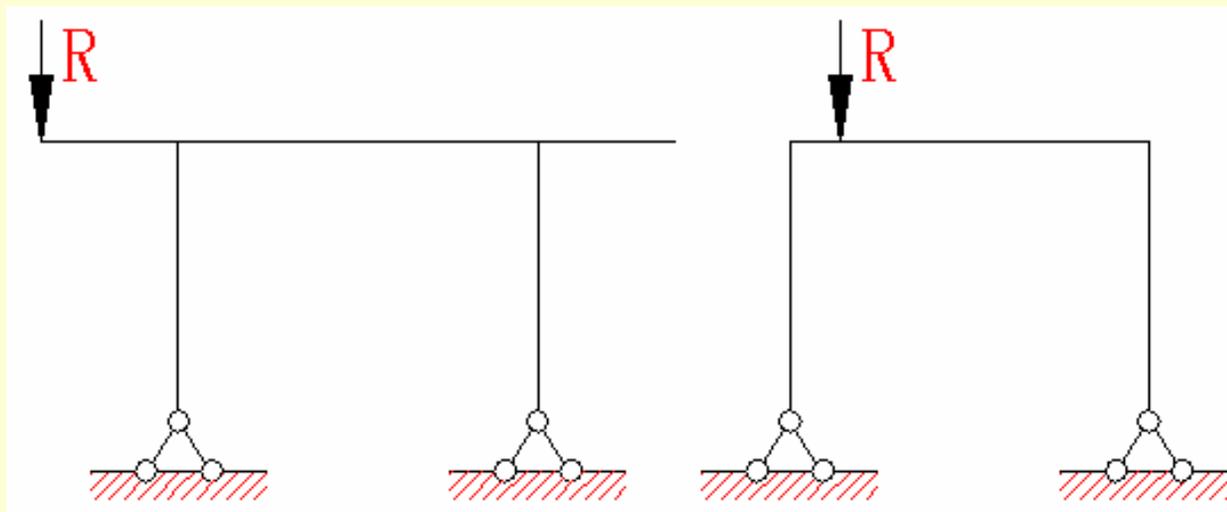
按静定简图计算。



支腿平面计算简图

2. 支腿计算工况

- 带悬臂的龙门起重机：小车位于有效悬臂端。
- 不带悬臂的龙门起重机：小车靠近一条支腿处。



支腿最不利计算工况

3. 龙门架平面的支腿内力

计算载荷:

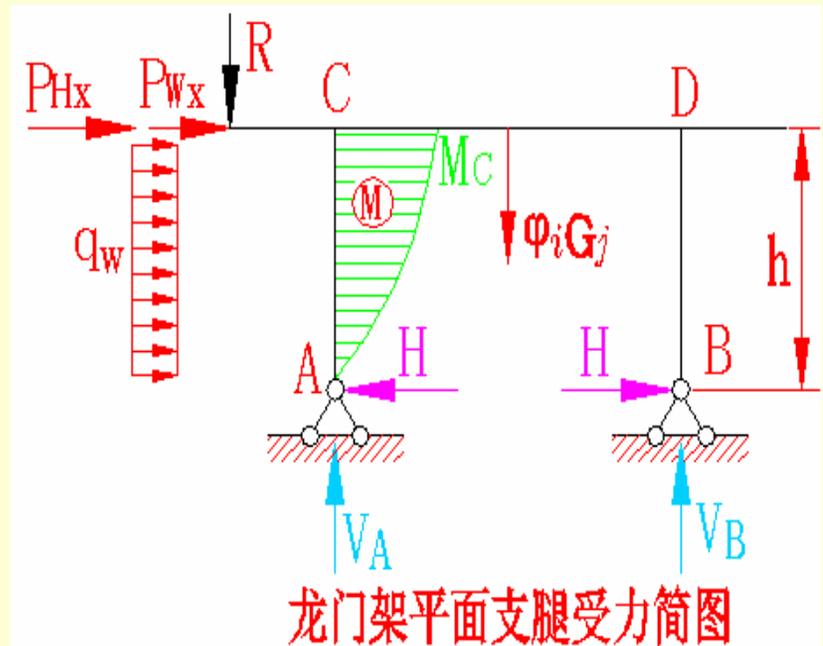
$\varphi_i G_j$ ——桥架结构自重;

R ——小车轮压;

P_{Hx} ——小车制动惯性载荷;

P_{Wx} ——小车和货物引起的风载荷;

q_w ——支腿承受的均匀风载荷。



横推力 H 、支反力 V 及最大弯矩 M_C 的计算见表8-5。

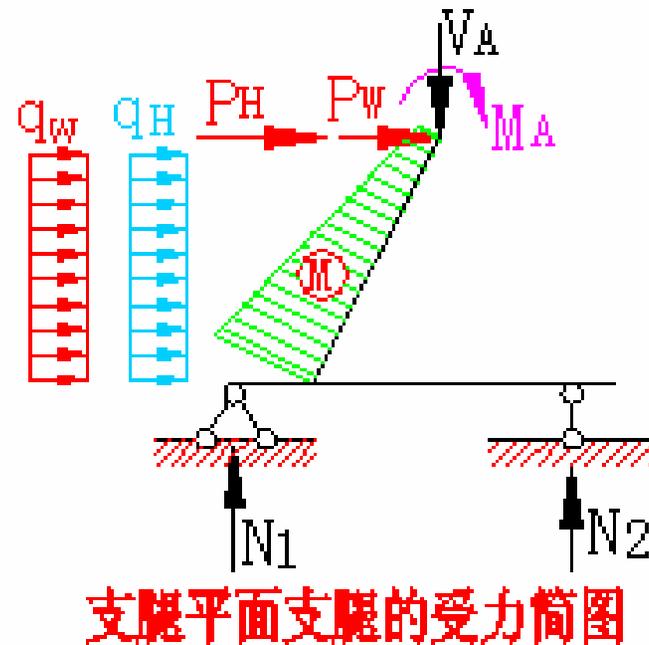
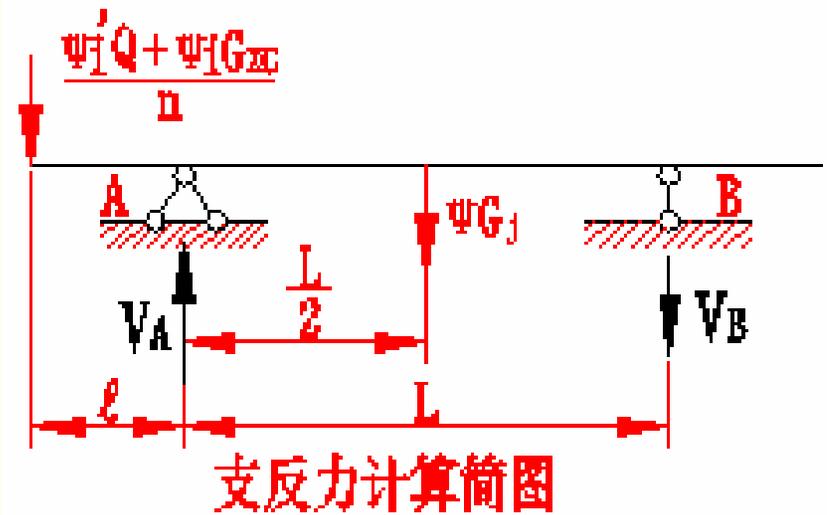
危险截面：支腿上端

按等强度原则龙门架平面支腿形式为上大下小。

4. 支腿平面的支腿内力

计算载荷:

- V_A ——主梁上的垂直载荷引起的支腿顶部的作用力;
- M_A ——主梁上的扭矩引起的支腿顶部的力矩;
- P_H ——主梁自重及满载小车引起的水平惯性力;
- P_W ——主梁自重及满载小车引起的风载荷;
- q_H ——支腿自身质量引起的均布水平惯性载荷;
- q_W ——支腿所受的均布风载。



支腿截面内力:

轴力 N 、弯矩 M 、扭矩 M_n 按表8-6计算。

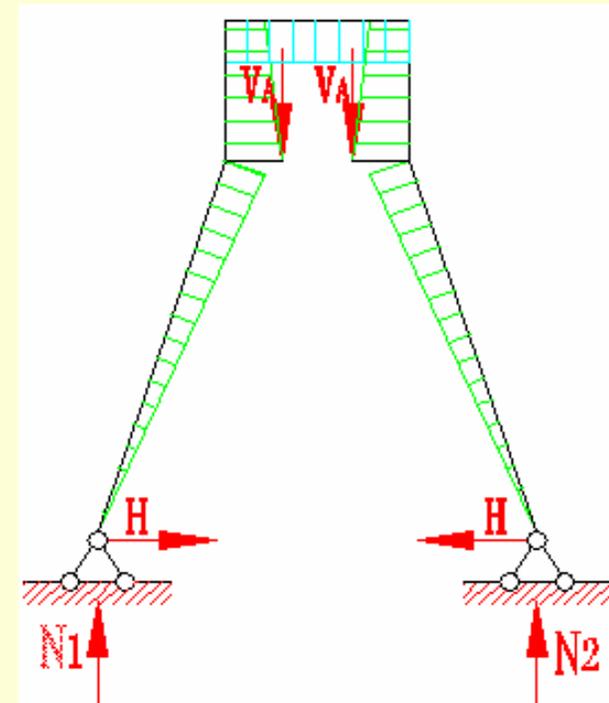
危险截面: 支腿下端

按等强度原则支腿平面支腿形式为上小下大。

带马鞍龙门起重机

支腿平面的计算简图: 一次超静定

按等强度原则, 支腿在两个平面都做
成上大下小的结构形式。



三、支腿截面选择

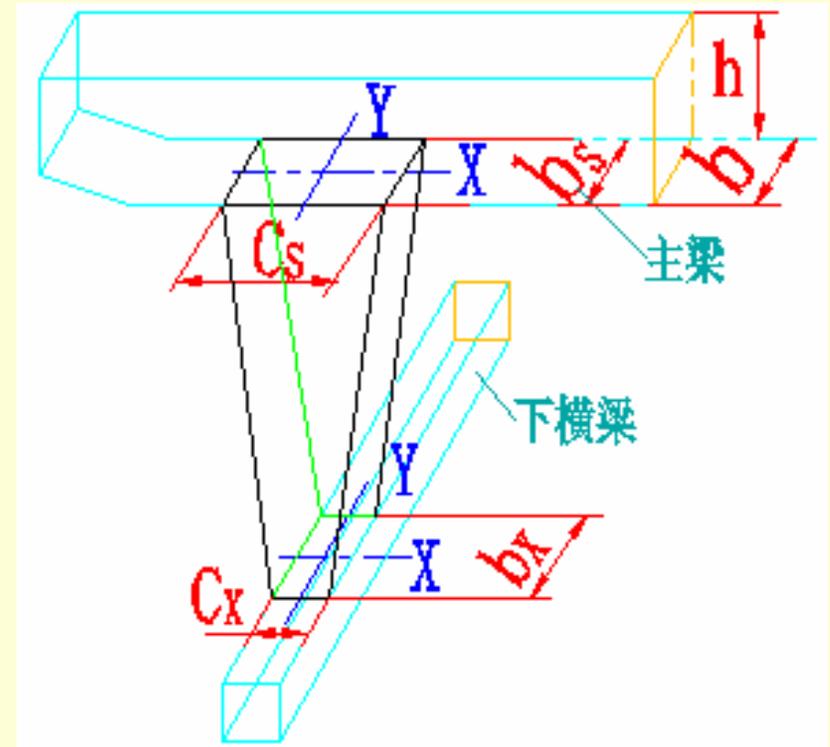
龙门架平面：支腿上宽下窄，
支腿平面：支腿上窄下宽。

$$b_s = b$$

$$c_s = (1.38 \sim 1.8) b_s$$

$$c_x > (400 \sim 700) \text{mm}$$

$$b_x > (2.9 \sim 3.7) c_x$$



带马鞍的龙门起重机：根据受力情况，支腿的两个平面内都制成上宽下窄。其尺寸宽差率为

$$\frac{b_s - b_x}{b_s} \approx 0.7 \quad \frac{c_s - c_x}{c_s} \approx 0.7$$

四、强度校核

1. 支腿的强度校核

龙门架平面：支腿上端截面

支腿平面：支腿下端截面

$$s = \frac{V}{A} + \frac{M}{W} \leq [s]$$

式中 V ——支腿的轴向压力，由垂直载荷和水平载荷引起的支腿垂直支反力($V = \sum V_{\underline{A}}$ 或 $V_{\underline{A}-}$)；

M ——计算截面的弯矩；

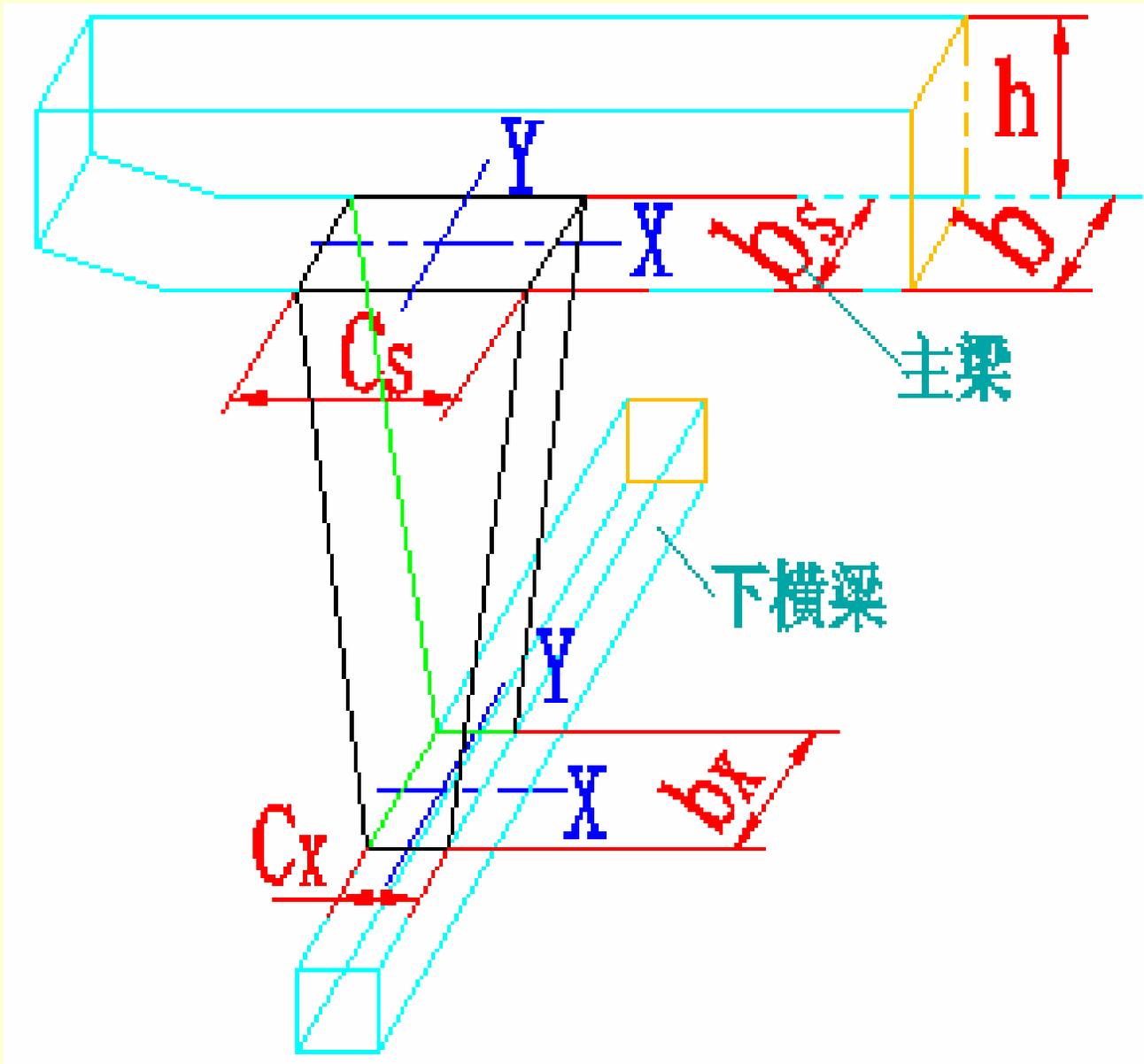
A ——计算截面的支腿截面积；

W ——计算截面的支腿截面抗弯模数；

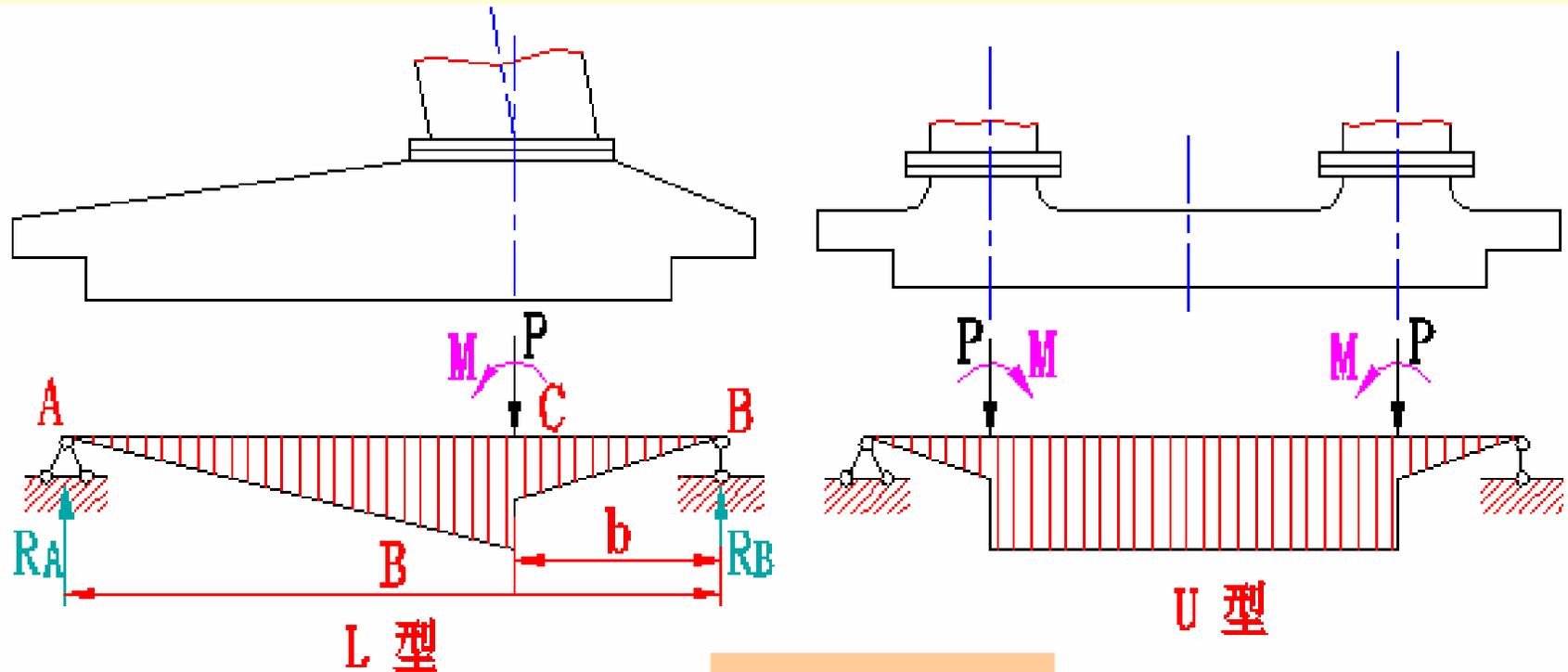
支腿中间截面：

应力由轴力及二个方向的弯矩产生：
(V 按表8-5，但应加上 $\varphi_i G_j / 2$)

$$S = \frac{V}{A^z} + \frac{M_x^z}{W_x^z} + \frac{M_y^z}{W_y^z} \leq [s]$$



2. 下横梁的强度校核



下横梁简图

根据 $R_A = R_B$ 确定支腿支承点 C 的位置

则：

$$b = \frac{B}{2} - \frac{M}{P}$$

下横梁的计算载荷：

支腿平面内支腿承受的载荷及相应的载荷组合。

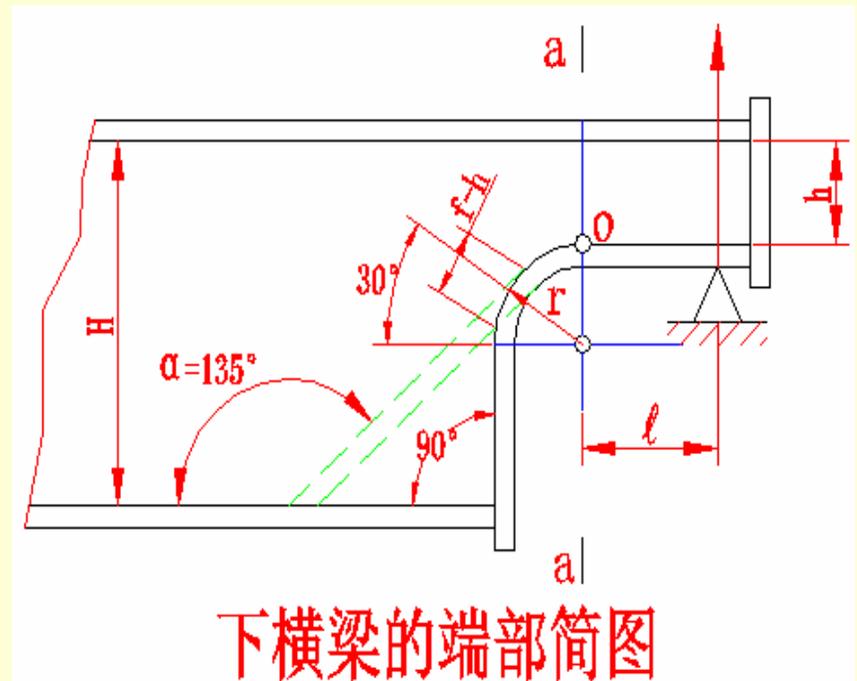
下横梁的强度校核包括：

- 最大弯矩所在截面的弯曲强度
- 弯矩较大而截面有削弱处的弯曲强度
- 圆弧 $f-h$ 区段的疲劳强度

疲劳强度按下式校核

$$k_h k_r \sqrt{S_R^2 + S_Q^2 - S_R S_Q + 3t_{QR}^2} \leq 1.1 [S_r]$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{径向正应力 } S_R = k_R S_0 \\ \text{切向正应力 } S_Q = k_Q S_0 \\ \text{切应力 } t_{QR} = k_t t_0 \end{array} \right\}$$



五、支腿的整体稳定性校核

刚性支腿是双向压弯构件，柔性支腿是单向压弯构件，
按下面的简化计算式验算：

$$s = \frac{N}{j A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq [s]$$

式中 M_x 、 M_y ——龙门架平面和支腿平面的计算弯矩（常取距支腿小端 $0.45h$ 处截面的弯矩）；

A 、 W_x 、 W_y ——计算截面的断面积和截面抗弯模量；

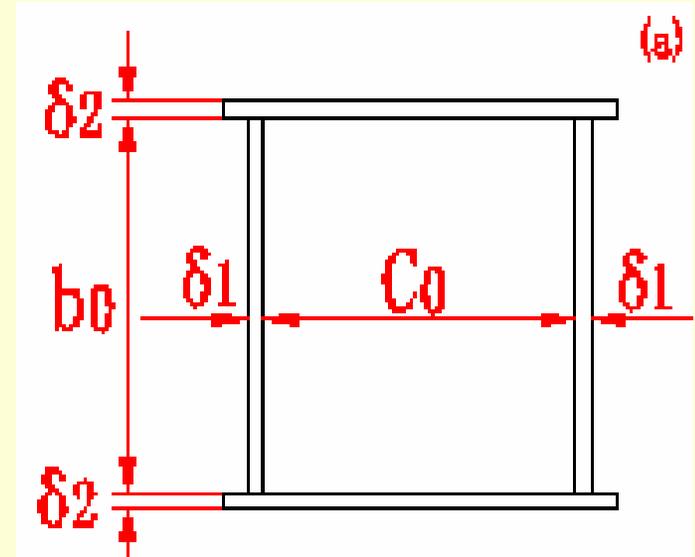
j ——轴心压杆稳定系数，根据支腿长细比

$$l = \frac{m_1 m_2 h}{r_{\min}} \quad \text{查表。}$$

六、支腿的局部稳定性校核

(1)轴心受压时

$$\left. \begin{array}{l} \text{腹板} \\ \text{翼缘板} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{b_0}{d_1} \leq 50 \sqrt{\frac{235}{S_s} + 0.1l} \\ \frac{c_0}{d_2} \leq 50 \sqrt{\frac{235}{S_s} + 0.1l} \end{array}$$



(2)偏心受压时

$$\left. \begin{array}{l} \frac{b_0}{d_1} \leq 100 \sqrt{\frac{\lambda}{S_{\max}}} \\ \frac{c_0}{d_2} \leq 100 \sqrt{\frac{\lambda}{S_{\max}}} \end{array} \right\}$$

式中 ξ ——系数，根据 $a = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S_{\max}}$ 值，按表8-7查取。

其中 σ_{\max} 、 σ_{\min} ——腹板计算高度（或翼缘板计算宽度）两边缘上的最大、最小应力。

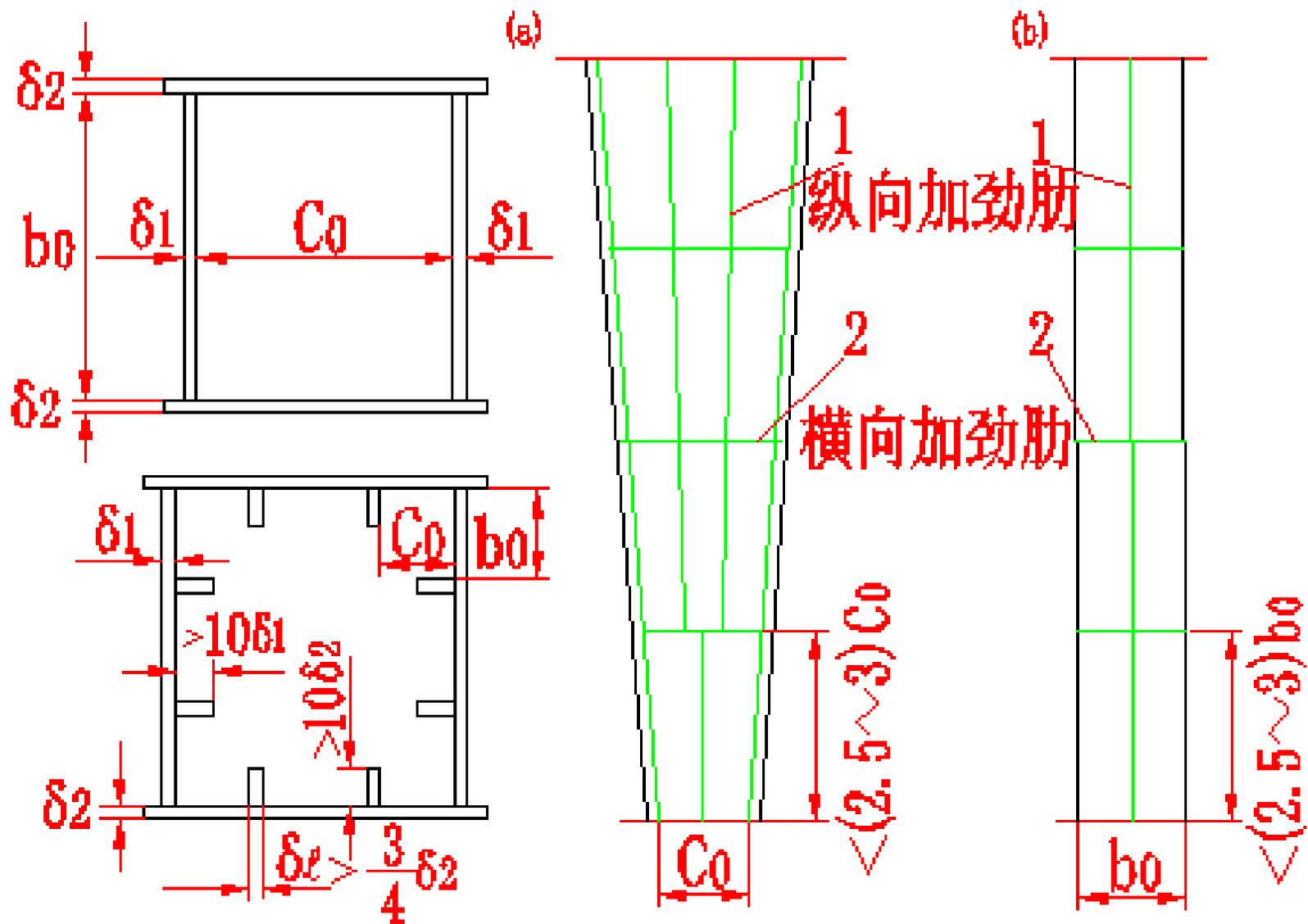
若局部稳定不满足要求，应设纵向加劲肋。

加劲肋尺寸要求：

- 纵向加劲肋应成对布置，其宽度 $b_l > 10d$ ，厚度 $d_l > \frac{3}{4}d$ 。
- 横向加劲肋间距通常为 $(2.5 \sim 3) b_0$ （或 c_0 ），如图；

横向加劲肋宽度

$$\left. \begin{array}{l} b_l \geq \frac{b_0}{30} + 40\text{mm} \\ \text{或} \\ b_l \geq \frac{c_0}{30} + 40\text{mm} \end{array} \right\} \text{厚度 } d_l \geq \frac{b_l}{15}$$



支腿加劲肋布置简图

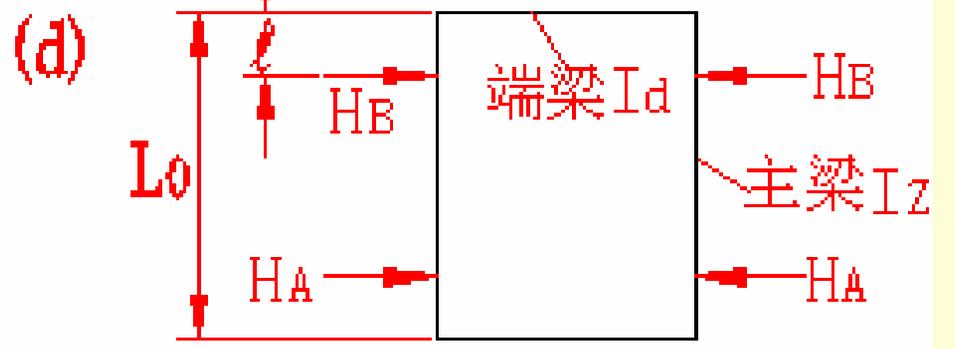
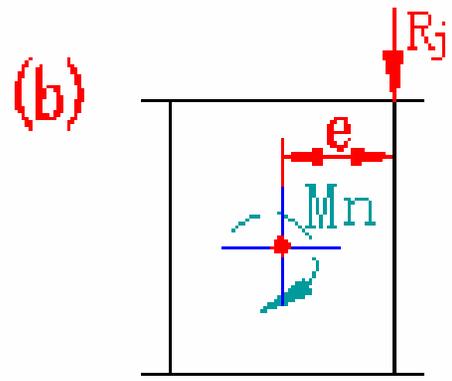
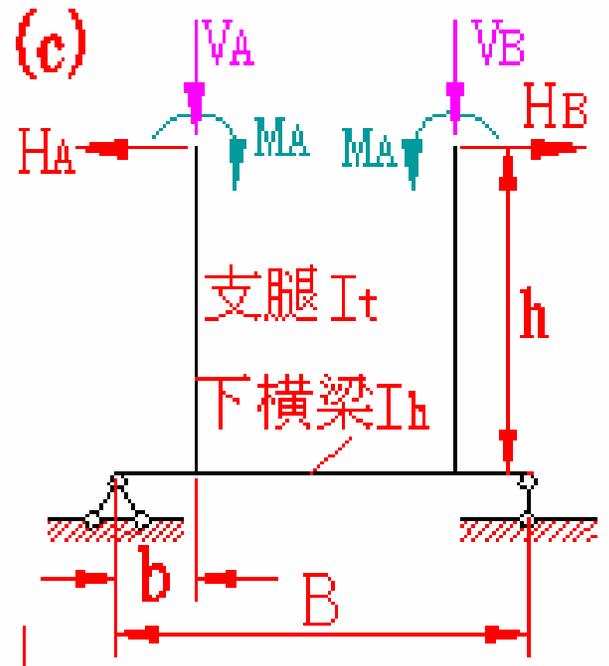
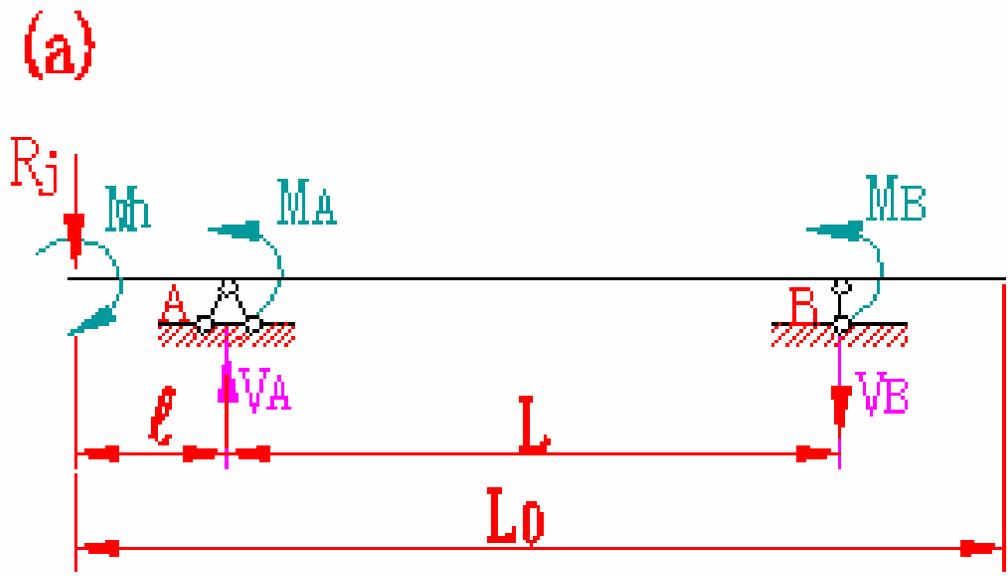
七、双梁龙门起重机桥架水平刚度校核

控制水平刚度目的：防止两根主梁向中间并拢，避免小车发生卡轨现象。

- 计算工况：满载小车位于有效悬臂端。
- 计算载荷：静移动载荷 R_j ，不计动力系数。

$$R_j = \frac{G_{xc} + Q}{2}$$

R_j 引起 V_A 及扭矩 M_n



支腿水平刚度计算简图

① R_j 引起的支腿上端的垂直压力 V_A 为:

$$V_A = \frac{1}{2}(Q + G_{xc}) \frac{L+l}{L}$$

② R_j 偏心使主梁产生的扭矩为

$$M_n = R_j e = \frac{G_{xc} + Q}{2} e$$

支反扭矩为 $M_A + M_B = M_n$

③ 平面框架水平支反力 H_A 、 H_B

支腿上端的水平变位为

$$f_A^t = \frac{2h^2}{EI_t} \left(\frac{1}{2} M_A - \frac{1}{3} hH_A \right) + \frac{h(B-2b)}{EI_h} (V_A b + M_A - hH_A)$$

平面框架在支腿A处的水平变位为

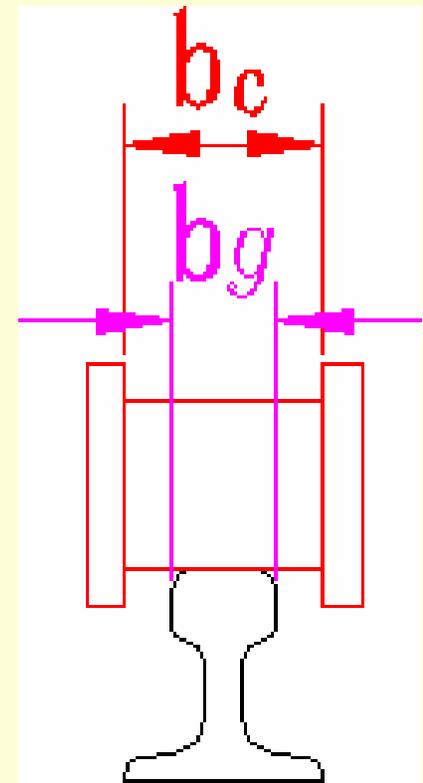
$$f_A^k = \frac{H_A L_0^2}{EI_z} \cdot \frac{l^2}{2} \left\{ \frac{2}{3} l + \frac{H_B}{H_A} \left(\frac{2}{3} l + m \right) - \frac{x_1}{L_0 H_A} - \left(1 - \frac{l}{3} \right) \frac{x_2}{H_A} + \frac{K}{l} \left[l + \frac{H_B}{H_A} (l + m) - \frac{x_1}{L_0 H_A} - \frac{x_2}{H_A} \right] \right\}$$

根据 $f_A^t = f_A^k$ ，求出 H_A 。将 H_A 代入 f_A^t ，求出 f_A^t 。

桥架水平刚度校核：

$$f_A^t < \Delta = b_c - b_g$$

式中 b_c ——小车车轮踏面宽度；
 b_g ——小车轨道头部宽度。

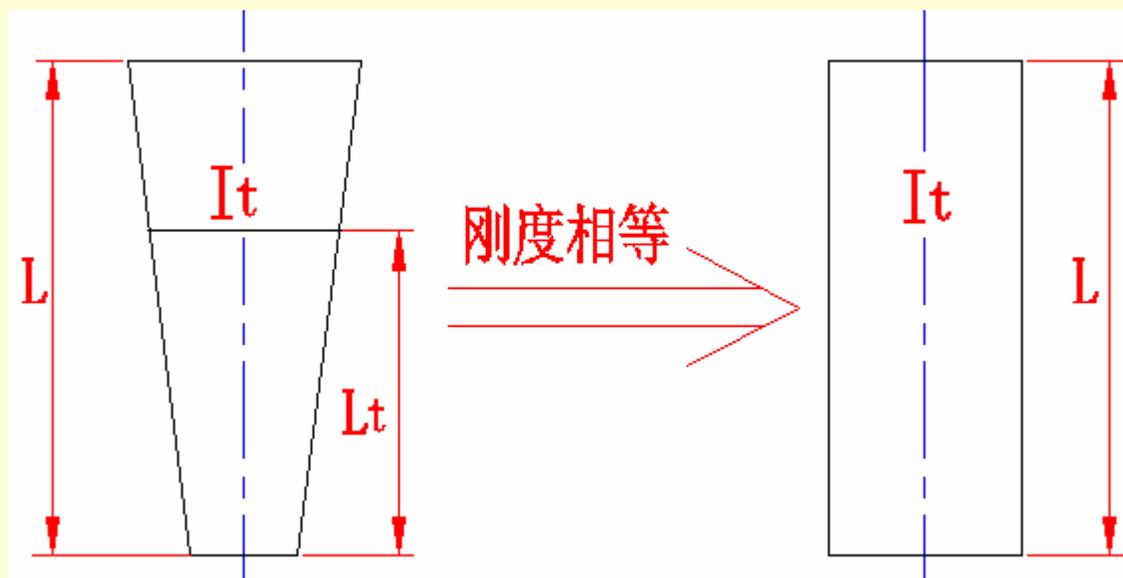


八、支腿与主梁及下横梁的连接计算(见第四章)

九、变截面支腿的折算惯性矩 I_t 和长度系数 m_2

1. 变截面支腿的折算惯性矩 I_t

计算 I_t 的原则:



(1)用折算惯性矩所在截面位置 L_t 求 I_t

$$L_t = x_t \cdot L$$

式中 x_t 由 $h = \frac{I_{Z \min}}{I_{Z \max}}$ 查表8-8。

初步计算时可取近似值:

带马鞍的桁架式和箱形龙门起重机: $x_t \approx \frac{2}{3}$

不带马鞍的龙门起重机: $x_t \approx 0.72$

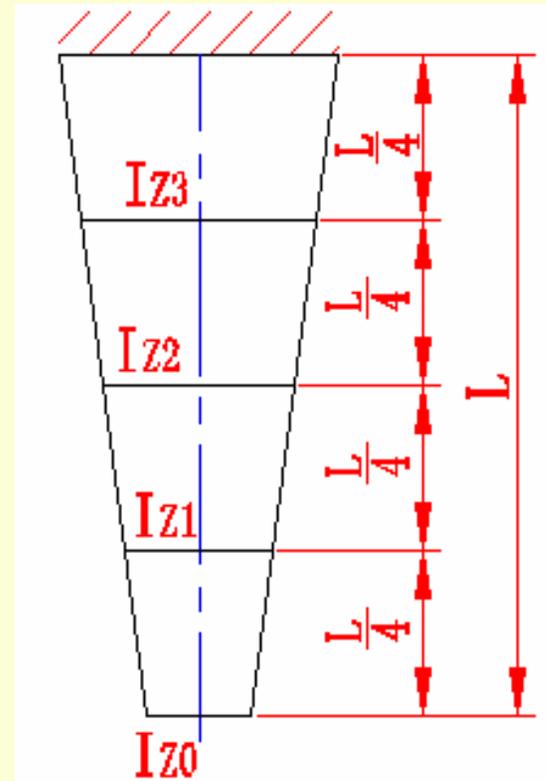
(2) 用辛普生数值积分公式求折算惯性矩 I_t

将支腿长度分为四等分，各等分处截面惯性矩为：

$$I_{z0}、I_{z1}、I_{z2}、I_{z3}、I_{z4}$$

由辛普生数值积分公式可求得

$$I_{Zt} = \frac{16}{\frac{1}{I_{Z1}} + \frac{2}{I_{Z2}} + \frac{9}{I_{Z3}} + \frac{4}{I_{Z4}}}$$

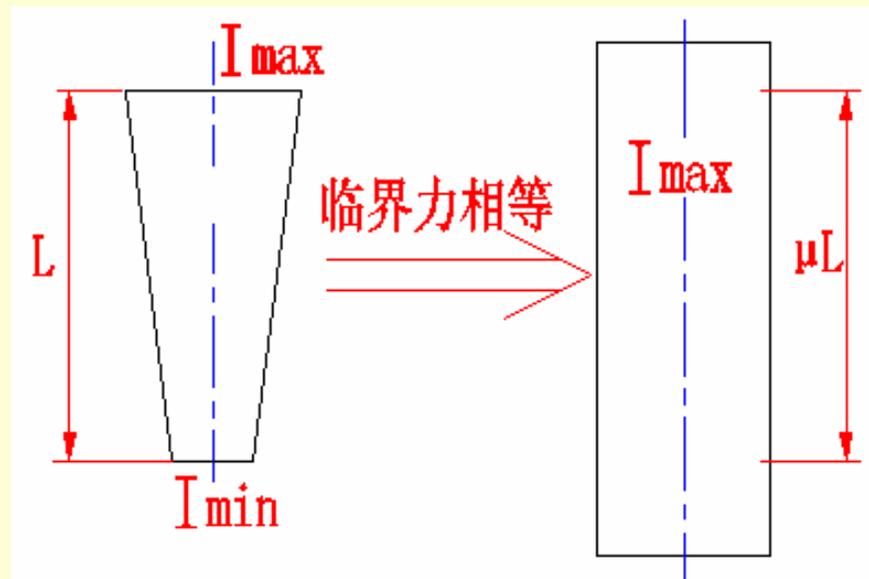


2. 变截面支腿的长度系数 m_2

折算原则：根据变截面支腿与等截面支腿临界力相等的条件将变截面支腿折算为等截面支腿。由此可求得：

$$m_2 = \frac{2p}{(1 - \sqrt{h}) \sqrt{\left(\frac{2p}{\ln \sqrt{h}}\right)^2 + 1}}$$

m_2 亦可由 $h = \frac{I_{Z \min}}{I_{Z \max}}$ 查表8-9。



第八章 作业

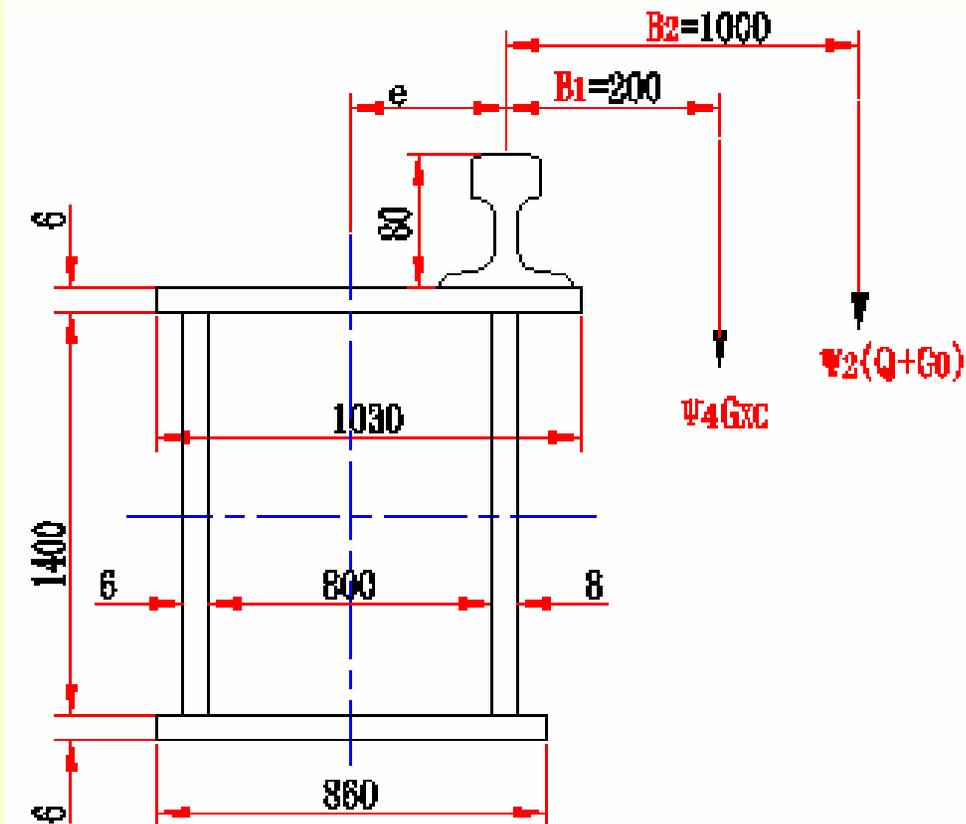
8-1 龙门起重机主梁的强度、刚度计算时的计算简图是怎样的？支腿在龙门架平面和支腿平面的计算简图又是怎样的？

8-2 L 型偏轨箱形龙门起重机主梁截面如图8-46所示, 已知起重量 $Q=100\text{kN}$, 跨度 $L=22\text{m}$, 有效悬臂长 $l_0=5\text{m}$, 主梁总长 $L_0 = 35.2\text{m}$,

小车轴距 $b = 2.1\text{m}$, 大车轴距 $B = 7\text{m}$, 吊钩重力 $G_0 = 2.5\text{kN}$, 小车重力 $G_{xc} = 41\text{kN}$, 桥架重力 $G_j = 164.8\text{kN}$, 整机钢结构自重 $G_z = 200\text{kN}$, 司机室重力 $G_s = 18\text{kN}$, 司机室距某一支腿中心线距离 $c = 3\text{m}$, 大车运行速度 $V_d = 1.3\text{m/s}$, 大车总轮数 $n_z = 4$, 动力系数 $\phi_2=1.15$, $\phi_4=1.1$ 。该机在内陆工作, 小车迎风面积 $A_{xc} = 5\text{m}^2$,

忽略司机室所受风力。跨中许用静刚度 $[f] = L/1000$, 主梁材料 Q235。试计算。

- (1) 验算主梁跨中静刚度；
- (2) 按载荷组合 Π_b （表3-15, $\varphi_4 P_G$ 、 $j_2 P_Q$ 、 P_H 、 $P_{W,i}$ 、 P_S ）验算小车在跨间及悬臂端时，主梁跨中截面及支座处的强度。

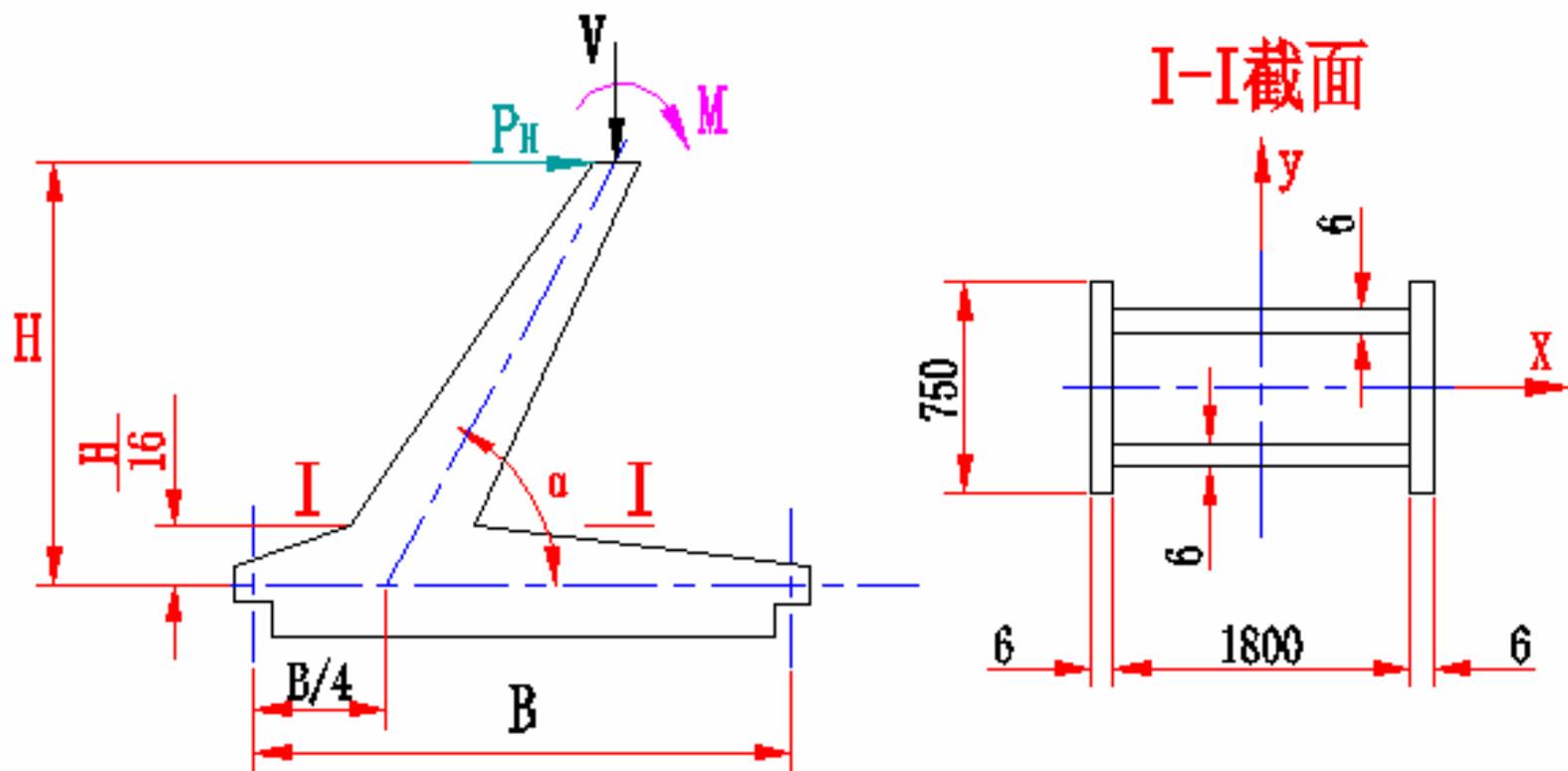


习题8-2用图

8-3 校核图8-47所示单梁龙门起重机L型支腿在支腿平面的强度。

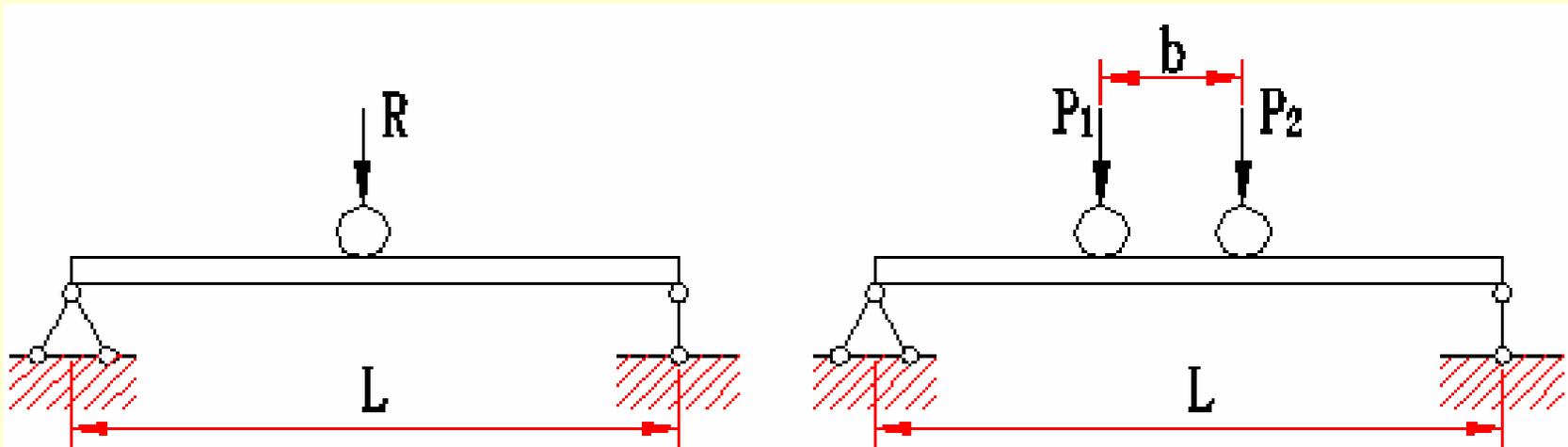
已知 $M=58\text{kN}\cdot\text{m}$, $V=200\text{kN}$, $P_H=18\text{kN}$, $H=10\text{m}$, $B=7\text{m}$,

$\alpha =$



习题8-3用图

8-4 已知小车轮压 $P_1 = P_2 = R/2$ ，试以解析式说明：用移动载荷 R （此时 $b = 0$ ， b 为两轮间距）作用下所确定的简支梁最大弯矩 $M_{(b=0)}$ 和用 P_1 、 P_2 （此时 $b \neq 0$ ）确定的最大弯矩 $M_{(b \neq 0)}$ 的相对误差是多少？设 $b/L = 0.1$ ，计算简图见图8-48。



习题8-4用图