

建筑结构按新规范设计资料

工业厂房结构按新规范设计要点

(TJ—8)

中国力学学会衡阳分会

一九九一年七月

第一章 排架内力分析

§ 1-1 排架的作用和内力分析的目的

单层工业厂房是由各种构件：屋架、柱子、吊车梁等组成的复杂的空间骨架，这个结构骨架，作为一个整体抵抗各种外力。一般为了使计算工作简化，从抵抗外力的方向来看，这个结构骨架可以横向和纵向二个方向来分析。横向的称为横向排架，纵向的称为纵向排架。

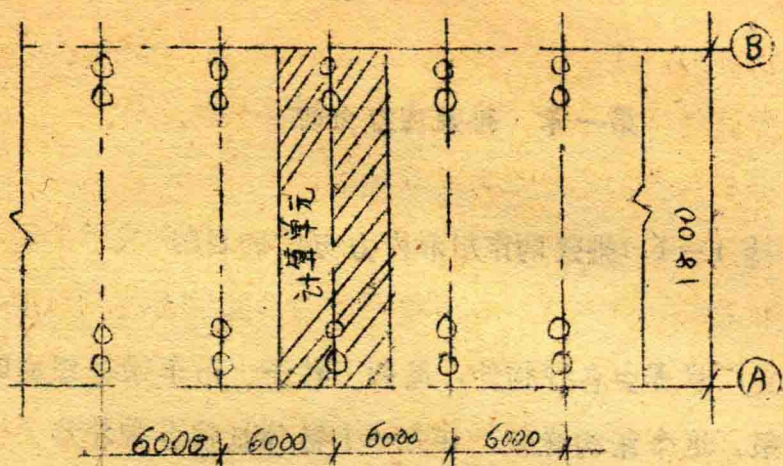
横向排架：

取厂房的横剖面看，是由屋架、柱子、基础所组成的一个平面承重骨架，如图 1-1 (b) 所示，它承担着厂房的主要荷载，包括屋盖荷载、吊车垂直和水平荷载、横向风载、外墙荷载等。

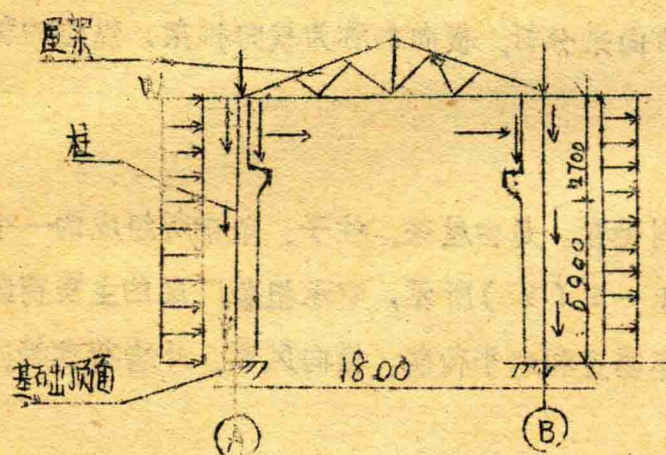
纵向排架：

取厂房的纵剖面看，是由一系列等距离排列的柱，通过吊车梁和连系梁联结起来的一个平面骨架，如图 1-1 (c) 所示。纵向骨架主要承担由山墙传来的风荷载、吊车纵向刹车力，以及动力管道的胀缩力等。

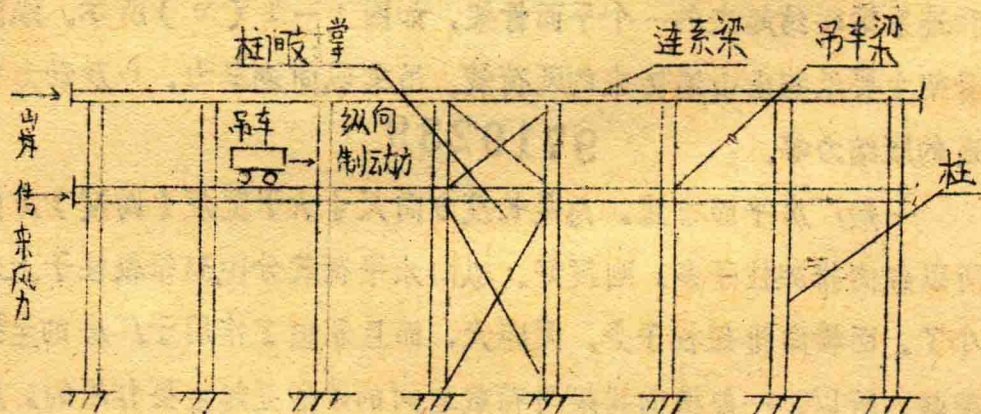
一般厂房平面布置，总是长度方向尺寸大于宽度（跨度）方向，所以纵向排架柱子多，刚度好。纵向水平荷载分配到每根柱子上就小了，而横向排架柱子少，间距大，而且承担了作用于厂房的主要荷载，所以，一般横向排架与荷载之间的矛盾是起主要作用的。厂房结构是否安全，主要取决于横向排架是否具有足够的承载能力。因此，厂房设计时一定要进行横向排架的内力分析。然而，如果厂



(a) 计算单元



(b) 横向排架



(c) 纵向排架

图 1-1 汉阳预制厂新结构金工车间排架

房平面接近于正方形，纵向柱又很少，则纵向排架的分析也就不能忽略了。一般所说的排架分析，通常是指横向排架的分析。

排架内力分析的目的主要解决两个问题：

(1) 求出排架柱子在各种荷载作用下，起控制作用截面的最不利内力（弯矩 M 及轴向力 N ），作为柱子配筋计算以及验算刚度的依据。

(2) 求出柱子传给基础的最不利的内力（弯矩 M ，轴向力 N 及剪力 V ），作为设计基础的依据。

§ 1-2 排架的设计假定和计算简图

1-2-1：排架计算 单元的确定

厂房沿垂直长度方向，每一列柱就是一个横向排架，有多少列柱就有多少个排架。在分析排架内力时，一般可按平面排架计算。

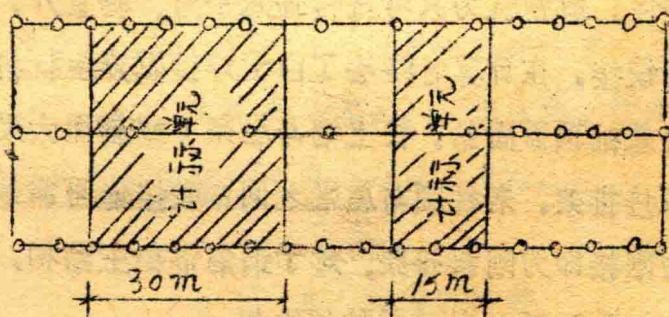


图 1-2

这是偏于安全的。如 6 m 柱距，一般取 6 m 为计算单元，如图 1-1 (a) 所示。遇抽柱情况时，则按柱受力最不利的情况划取计算单元，如图 1-2 所示但计算单元长度不得超过 30 m。

根据承受荷载的情况有两种排架，一种是中间排架，荷载范围

为6 m (不抽柱的情况)。另一种是厂房端墙处或温度伸缩缝处的排架,其受荷载范围只有3 m。一般为了简化和施工方便,对吊车吨位不大的中小型厂房,这两种排架柱的配筋相差不多,故端部排架按中间排架处理,也就是只要计算一个排架就行了。

我们对厂房结构进行计算时,不可能也没有必要将错综复杂的原结构原原本本地进行分析,而应对结构进行处理,略去次要的影响不大的因素,而反映本质的东西,从而绘出计算过程中所需要的计算简图,使其既能接近工程实际,又能计算简便。下面来谈谈在排架分析时的一些假定。

1-2-2: 排架计算的简化和计算简图

为了简化计算,在排架内力分析时,我们作以下几点假定:

(1) 由于柱子插入基础杯口有一定的深度,并且混凝土紧紧浇灌在一起,二者之间通常认为可以传递水平力、垂直力及弯矩,也就是可以作为固定端考虑。柱顶处构造上做法是将屋架搁在柱顶上,并用预埋钢板焊住,通常认为只考虑传递水平力、垂直力,柱顶与屋架的连接视为铰接,在计算时略去了由于焊接而产生抵抗转动的能力。柱下端与基础顶面固结,柱上端与屋架(或屋面大梁)铰接,这种排架称为铰接排架,若柱顶与屋梁之间的联接能可靠地传递弯矩,则可以作为刚接即为刚接排架。对于钢筋混凝土结构,一般是铰接排架,我们所要讨论的也就是铰接排架。

(2) 对于一般钢筋混凝土屋架,预应力钢筋混凝土屋架和薄腹梁,通常认为它们的刚度很大,受力后的长度变化很小,可以忽略不计,视为不变形的刚性杆件处理。即排架受力后大梁两端的两个柱子的顶柱水平位移是相等的,但对于下弦由圆钢或小角钢,上弦为钢筋混凝土组成的组合屋架,由于它的刚度很小,计算时应根据

厂房荷载的大小考虑屋架下弦变形对排架的影响，即作为可以变形的弹性杆件考虑，不宜作为刚性杆件处理。排架横梁的跨度以轴线为准，两轴线距离多少，排架跨度也就是多少。

(3) 屋架下弦没有可靠的下弦支撑，计算时可不考虑排架的整体空间作用。

(4) 牛腿仅作为传递荷载的结构，忽略它对柱子在该表面处的加强作用。

根据以上假定，图 1-1 (b) 的横向单跨排架的计算简图如图 1-3 所示。因为排架计算主要是计算柱的内力，此时横梁（或屋架）只起将两柱连在一起的作用，因此画计算简图时，可用一条线来代替。柱的总高度一般由基础顶面（杯形基础的杯口面）算至柱顶。

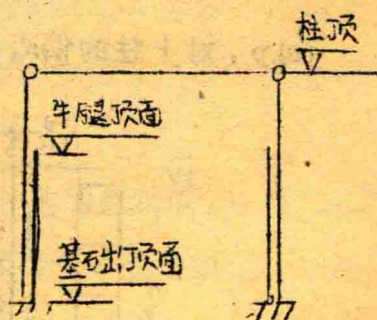


图 1-3

应该指出的是，计算排架时要事先知道柱型及柱的几何尺寸等。设计时，柱型已经选定。柱的几何尺寸可以参考已建的类似车间的柱估算（柱型及几何尺寸的确定见第二章）。应该注意，假定的截面惯性矩和设计柱最后的惯性矩的差值不超过 30%。

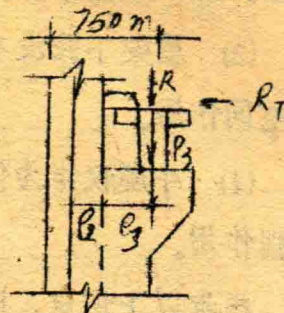
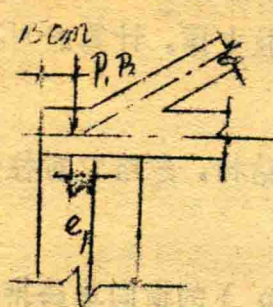
§ 1-3 排架的荷载

1-3-1: 排架的基本荷载

在排架计算时，必须弄清作用在上面的荷载有多大，作用在什么地方，然后才可能进行排架内力计算，作用在厂房排架上的基本荷载有（图 1-4 (c) 所示）：

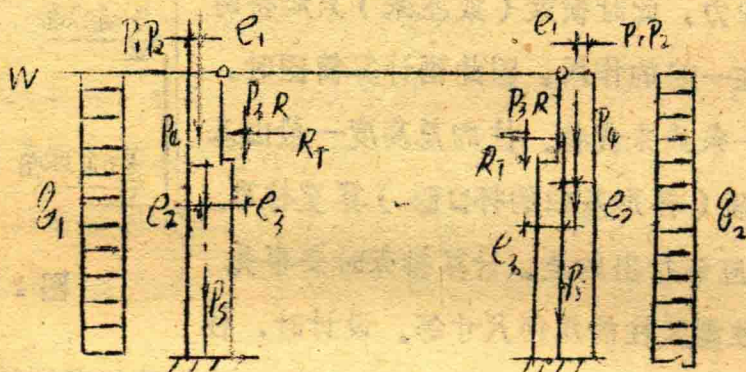
一、结构的静荷载

1. 屋盖荷载：包括屋面、屋架、天窗架及支撑等自重，屋盖荷载通过屋架作用于柱顶，如图 1-4(a)、(c)之 p ，所示。



(a) p ，对上柱的偏心距

(b) p ， R 对下柱的偏心距



(c) 排架上的基本荷载

图 1-4

2. 柱自重：上柱自重 p ，及下柱自重 p ，。

3. 吊车梁及轨道等的自重：作用在柱的牛腿上，如 p ，。

二、吊车荷载

1. 吊车的垂直荷载：吊车的轮压由吊车梁传到牛腿上，如 R 或 R' （ R 或 R' 为吊车梁在牛腿上的最大或最小反力），如图 1-4(c)所示。

2. 吊车的水平荷载：吊车小车刹车产生的水平制动力，通过

吊车梁传到柱上，如图 1-4(b)、(c)的 R_T 所示。

三、雪载及其它屋面活荷载

作用于屋面上，通过屋架作用于柱顶，如图 1-4(a)、(c)之 p_z 所示。雪荷载与屋面施工活荷载，二者不得同时考虑，应取较大值设计。

四、风荷载

风荷载作用在厂房的外表面。柱顶以上屋盖部分的风力，通过屋架以集中力的形式作用于柱顶，如图 1-4(c)之 W 所示，外墙上的风力以均布荷载的形式作用于排架边柱上，如图 1-4(c)之 q_1 及 q_2 所示。

除了这些基本荷载外，有时还要考虑一些特殊的荷载，如地震荷载（设计烈度为 8 度以上时考虑），温度荷载（温度很大，车间伸缩区段长度又大大超过规范允许的伸缩缝最大间距的厂房）等。

荷载考虑过大，造成浪费，考虑过小，则安全度不够，设计时应当通过调查研究，根据生产工艺和施工现场的实际情况，参照荷载规范具体确定。

对排架内力影响较大的是屋盖荷载、吊车荷载及风荷载三项。排架屋盖静载的计算与一般混合结构没有多大区别。吊车荷载及风荷载的计算都有其特殊性，所以下面仅对风荷载与吊车荷载的计算加以具体说明。

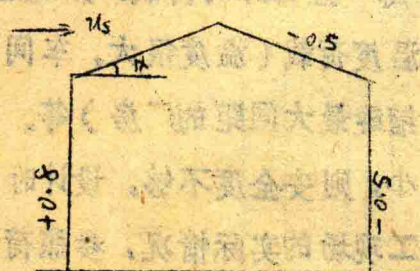
1-3-2 风荷载

作用在排架上的风荷载，与厂房的高低和厂房外表形状有关。其作用方向垂直于建筑物的表面。有压力和吸力两种，沿表面分布。当厂房较高又有天窗时，风荷载将是影响排架内力的一项主要因素。作用在建筑物上的标准风载按下式计算：

$$W = \mu_s \mu_z W_0$$

W_0 。——基本风压值 (KN/M^2)，是离地面10m高，30年一遇的10分钟平均最大风速 V_m/s 为标准，并按 $W_0 = V^2 / 16$ 确定的值，它与建筑所在地和环境有关，可按《建筑结构荷载规范》采用，但不得小于 $0.25 \text{ KN}/\text{M}^2$ 。如排架方向与当地主风向垂直或周围有障碍物挡风时，基本风压值 W_0 可适当降低，山岭峡谷及其他风口地区，基本风压 W_0 应按实际情况提高。

μ_s ——建筑物风载体型系数。它与建筑物的外形有关，可以参考《建筑结构荷载规范》典型车间体型系数决定。图1-5中给出了单跨双坡屋面的风载体型系数，正号表示压力，负号表示吸力。



α	μ_s
$\leq 15^\circ$	-0.6
30°	0
$\geq 60^\circ$	+0.8

图1-5

注：中间值按插入法计算

风载体型系数

μ_z ——风压高度变化系数。可由《建筑结构荷载规范》查得。柱顶以下的风压取一种高度变化系数，为简化计算即取在顶离地面的高度选取 μ_z 。柱顶以上作用于屋架及天窗架的集中风荷，可根据屋架及天窗架的平均离地面高度来选取 μ_z 。

计算风荷载时的假定

1. 屋顶部分：作用在屋顶部分的风荷载，为简化计算只考虑风载的水平分力，并且将它的合力以集中力的形式作用在排架的柱

顶。

2 · 高低跨排架，高差不超过 3 m 时，则高低跨相交处作用于高跨封墙上的均布风荷载，可以用作用于高跨屋架下弦的集中风载代替。

3 · 柱子部分风荷载：为简化计算通常以均布荷载代替梯形荷载。风压高度变化系数以柱顶标高为准。

排架上风荷载的计算，现以汉阳预制厂新结构金工车间单跨厂房排架（图 1-6）为例说明如下。

例 1-1 厂房排架尺寸及建筑物体型系数见图 1-6，基本风压 $W_0 = 0.25 \text{ KN/M}^2$ ，排架间距为 6 m，求作用于排架上的风荷载。

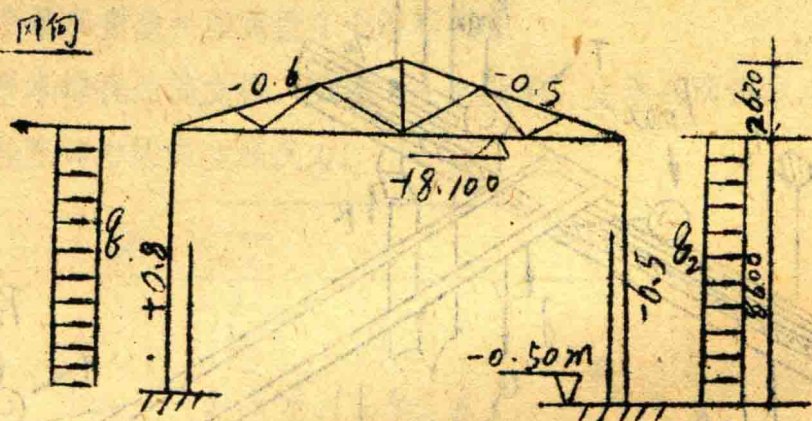


图 1-6

解：风压高度变化系数取 $\mu_z = 1.0$ ，

建筑物体型系数 μ_s 如图 1-6 所示。

$$\text{故 } W = r_w \mu_s \cdot \mu_z W_0 h \cdot S$$

$$= 1.4(0.6 - 0.5) \times 1.0 \times 0.25 \times 2.62 \times 6$$

$$= 0.55 \text{ KN}$$

注：上式 h 为屋架高度， S 为排架间距。

$$q_1 = 1.4 \times 0.8 \times 0.25 \times 6 = 1.63 \text{ kN/m},$$

$$q_2 = 1.4 \times 0.5 \times 0.25 \times 6 = 1.05 \text{ kN/m}$$

1-3-3：吊车垂直荷载

1. 吊车的最大轮压 $P_{\max}$ 及最小轮压 $P_{\min}$

吊车最大轮压系指起重小车开至极限位置时，大车上靠近小车一侧的一只轮子的压力即为最大轮压 $P_{\max}$ ，可从吊车规格中查得，相应靠另一柱的大车轮压为最小轮压 $P_{\min}$ ，如图 1-7 所示。

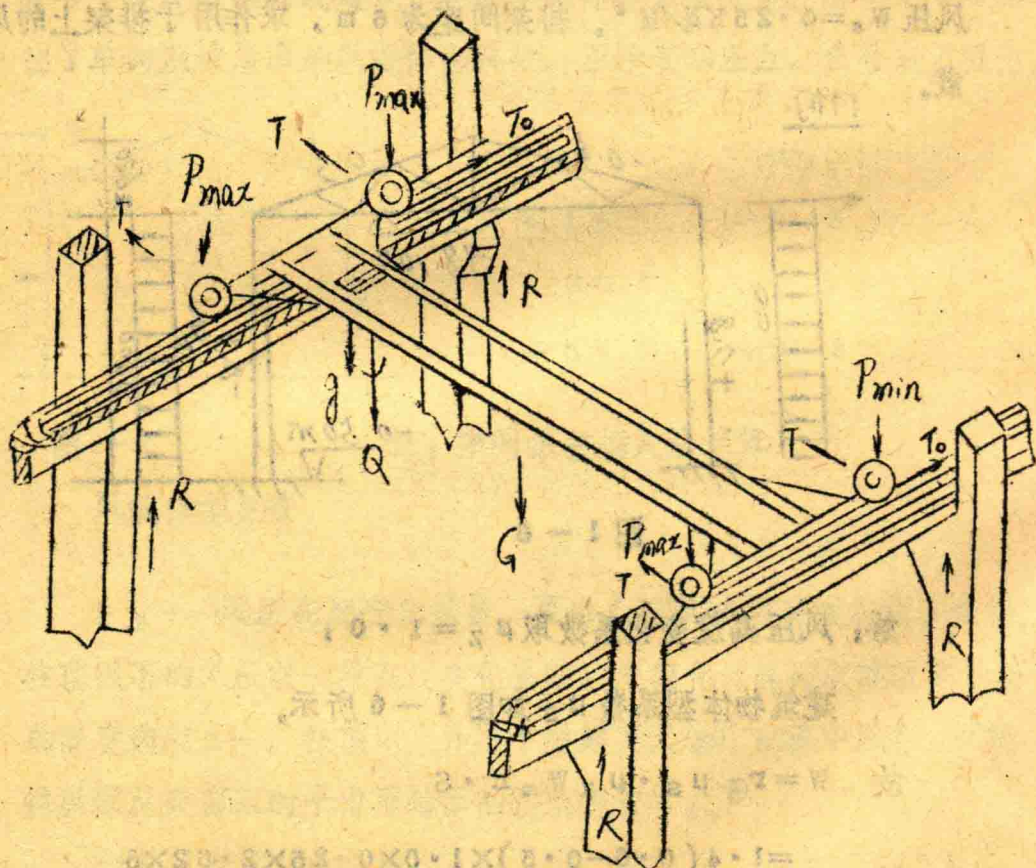


图 1-7

注: P_{max} ——最大轮压;

P_{min} ——最小轮压;

T ——横向制动力;

T_z ——纵向制动力;

G ——吊车桥架自重;

g ——卷扬机小车自重;

Q ——额定起重量;

R ——吊车梁支座反力。

有时最小轮压也可以从吊车规格上直接查到,有时查不到,要自行计算。

整个吊车重量=起重量 Q +吊车总量

把吊车桥视为简支梁,如图1-8所示,支承在两侧吊车梁上,则一侧轮压即为梁的支座反力。



图1-8

根据静力平衡方程: $\Sigma Y = 0$, 得:

$$P_{max} \times 2 + P_{min} \times 2 = Q + W$$

(2——指吊车一侧轮子的数目)

则最小轮压

$$P_{min} = \frac{Q + W}{2} - P_{max}$$

2 · 吊车垂直荷载

因为吊车轮压通过吊车梁传到柱的牛腿上，吊车最大轮压在吊车梁上位置不同，通常吊梁传到牛腿的反力也不同，因为，要作出牛腿处的反力影响线，然后确定使其产生最大影响量的轮子位置，求出影响量，即为牛腿处的最大反力，也就是吊车对柱产生的最大垂直荷载。

当厂房设有多台吊车时，各台吊车都满载，小车都处在柱边极限位置，而且多台吊车紧紧在一起并列工作，而使柱牛腿上的吊车垂直荷载达到最大值，这种情况实际是很少可能发生的，因此，计算吊车垂直荷载时，对设有多台吊车的厂房，单跨排架一般考虑不多于两台，多跨排架一般按不多于四台计算。

我们求吊车对柱产生的最大垂直荷载，计算方法通过下面例题说明如下。

例 1-2 汉阳××厂新结构金工车间排架，柱距为 6 m，设计考虑有二台起重量 $Q = 50 \text{ KN}$ 的中级工作制吊车，求柱承受最大垂直荷载。

解：由机械工业部起重运输机械专业标准查得起重量 $Q = 50 \text{ KN}$ 吊车资料如下：

吊 车 资 料

起重量 (KN)	跨度 L K (m)	B (mm)	K (mm)	H (mm)	B ₁ (mm)	小车 总重 (KN)	起重机 总量 (KN)	最大轮 压 $P_{\max}$ (KN)	最小轮 压 $P_{\min}$ (KN)
50	16.5	4650	3500	1870	230	21	164	7.6	3.1

柱子承受的最大(或最小)垂直荷载为(吊车最不利位置如图 1-9 所示)为:

$$R_{\max} = 1.4 \times 76 \times \left(1 + \frac{2.5}{6} + \frac{4.85}{6} + \frac{1.35}{6} \right) \\ = 260.4 \text{ kN}$$

$$R_{\min} = 1.4 \times 31 \times \left(1 + \frac{2.5}{6} + \frac{4.85}{6} + \frac{1.35}{6} \right) \\ = 106.4 \text{ kN}$$

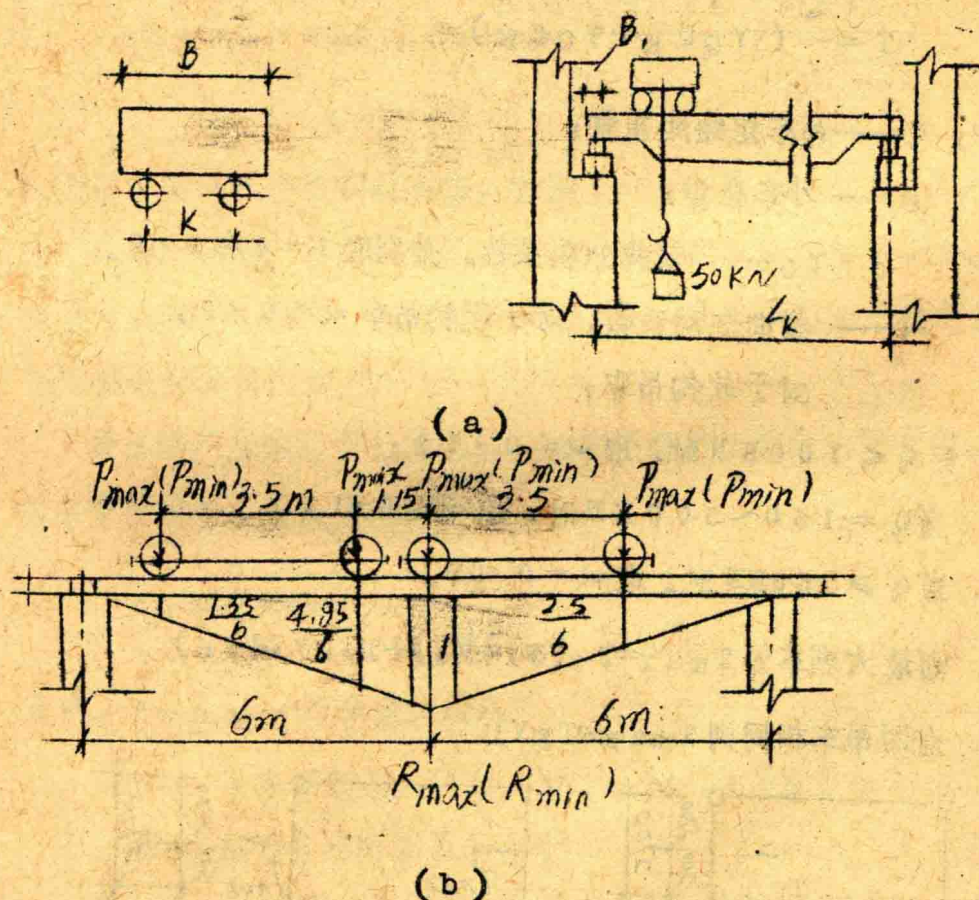


图 1-9

3 · 吊车水平荷载

吊车水平荷载分横向和纵向两种。横向水平荷载是由卷扬机小车刹车所产生，纵向水平荷载是由吊车桥（大车）刹车所产生。因为大车、小车往返移动，两个方向都可能刹车，因此，往返两个方向都可能产生水平荷载。

对于四轮吊车，当满载运行时，每个轮子产生的横向水平制动力 T 可按下式计算《荷载规范》规定多台吊车的水平荷载，对单跨或多跨厂房最多考虑两台。

$$T = \frac{\alpha}{4} (\gamma_Q Q_K + \gamma_G G_K)$$

式中： Q —— 吊车额定起重量，

G —— 小车自重，

$\gamma_Q \cdot \gamma_G$ —— 荷载分项系数，分别取 1.4 和 1.2。

α —— 横向制动系数。对于硬钩吊车 $\alpha = 0.2$ ，

对于软钩吊车，

当 $Q \leq 100 \text{ kN}$ 时，取 $\alpha = 0.12$ ，

当 $Q = 150 \sim 500 \text{ kN}$ 时，取 $\alpha = 0.1$ ，

当 $Q \geq 750 \text{ kN}$ 时，取 $\alpha = 0.08$ 。

则最大刹车力 $T_{\max} = T_1(y_1 + y_2) + T_2(y_3 + y_4)$

若两吊车相同则 $T_{\max} = T \sum y_i$

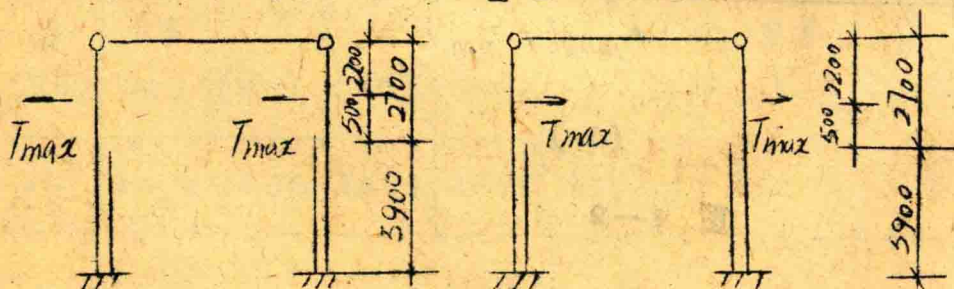


图 1-10

例 1-3 吊车资料同例 1-2，求柱承受的最大水平荷载 T_{max} 。

解：吊车每只轮子的水平制动力：

$$T = \frac{\alpha}{4} (\gamma_Q Q_K + \gamma_G G_K) = \frac{0.12}{4} (1.4 \times 500 + 1.2 \times 21) \\ = 2.86 \text{ kN}$$

柱子所承受的最大水平荷载 T_{max} 。

$$T_{max} = 2.86 \times \left(1 + \frac{2.5}{6} + \frac{4.85}{6} + \frac{1.35}{6} \right) \\ = 7.01 \text{ kN}$$

因为吊车梁与柱子用钢板联接，如图 1-4(b)所示，所以吊车横向水平荷载由轨道、吊车梁顶面，再通过联结钢板传给柱子。 T_{max} 力作用在柱上的位置，就是吊车梁的顶面，吊车横向水平荷载作用下的排架计算简图如上图 1-10 所示。

吊车沿厂房纵向开行时刹车，对柱子将产生纵向水平荷载，纵向水平荷载 T 。可按下列式计算：

$$T = \gamma_Q m T = \gamma_Q m \frac{n P_{max}}{10}$$

式中： P_{max} ——吊车最大轮压；

n ——吊车每侧制动轮数，对于一般四轮吊车， $n=1$ ，

m ——起重量相同的吊车台数。

吊车纵向水平荷载的作用点位于吊车刹车轮与轨道的接点，方向与轨道一致。由于厂房纵向刚度较大，在排架计算中一般不考虑吊车纵向水平荷载，只在厂房特别短，厂房纵向刚度特别弱时才考虑。设计柱间支撑时，要用到吊车纵向水平荷载。

§ 1-4 等高排架的内力计算

排架内力的分析，可以根据建筑力学中解超静定的方法求解，由于工程中经常应用，因此各单位有不少图表和计算公式供设计时参考。这些手册都是从力学基本原理推导出来的。本节结合常用手册的图表和公式，从基本原理出发，通过具体实例加以说明排架的力的计算方法。

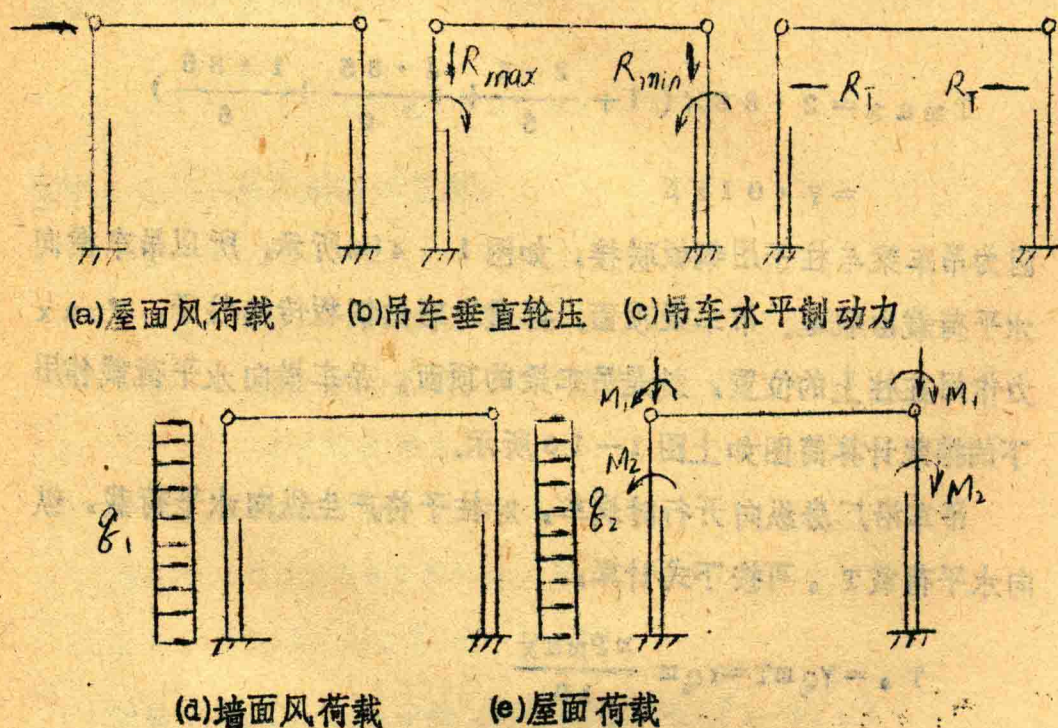


图 1-11

排架所受的荷载（图 1-4 (c)），从排架计算的角度来看，不外两类：一类是作用在柱顶的水平集中力，如屋面风荷载，另一类是作用在柱上的其它荷载，如吊车的垂直轮压、吊车的水平制动力、墙面风荷载及屋面荷载等。计算简图如图 1-11 所示。下面分别对这两类荷载作用时的计算，进行详细的分析。