

摘 要

工程建设有一个显著的特点——材料用量特别大、质量特别重，对于高层建筑或大型的建筑更是明显。就这一个因素便可以决定在工程建设中，要提高效率就必须发展用于运输的机械。塔式起重机（以下简称塔机）作为建筑施工现场的主要建筑机械，因其起升高度大，覆盖面广等特点而被广泛使用于建筑施工现场，担负着主要的垂直运输任务，塔式起重机是各种工程建设中广泛应用的重要起重设备，吊臂作为塔式起重机金属结构的主要部件，其设计计算方法将直接影响整台塔机的设计质量和塔机运行的安全可靠。而随着塔机向大型、重载和超高超长的方向发展，吊臂的设计尤其显得重要。

吊臂结构形式选择桁架水平压弯式臂架。吊臂的截面采用正三角形。上弦杆用圆管，两下弦通常采用角钢焊接而成的方钢，并兼作载重小车的轨道，腹杆（斜腹杆，水平腹杆）采用圆管。吊臂采用等强度变截面设计，两个侧面桁架采用三角式体系，水平桁架采用带竖杆的三角式体系。需要计算吊臂各种情况所受的风载荷，自重时的各种载荷，以及各个受力点的主要受力计算，并进行整体的验算。

【关键词】塔式起重机 吊臂

1.1 概述

塔式起重机是动臂装在高耸塔身上部的旋转起重机。作业空间大，主要用于房屋建筑施工中物料的垂直和水平输送及建筑构件的安装。由金属结构、工作机构和电气系统三部分组成。金属结构包括塔身、动臂和底座等。工作机构有起升、变幅、回转和行走四部分。电气系统包括电动机、控制器、配电柜、连接线路、信号及照明装置等。

1.2 本论文所要研究的问题

吊臂是属于塔机的金属结构部分，是除塔身外另一重要受力部分，而且主要的工作单元都在安装在吊臂上。受力大，受力形式多。在工作中承受着压力、弯矩，回转时还受到惯性力。而且在有风的环境下还要受到风力作用。主要解决的问题是吊臂在各种情况下的受力问题。

2. 吊臂的设计计算

2.1 吊臂的结构设计

2. 起重臂的构造

1. 桁架压杆式臂架

桁架压杆式臂架，臂架在起升平面的受力情况相当与一根两端简支梁，在回转平面内相当于一根悬臂梁。起升平面内臂架中间部分通常采用等截面平行弦杆，两端为梯形。在回转平面内，臂架通常做成顶部尺寸小，根部尺寸大的形式。为方便运输、安装和拆除，以及满足不同施工对相对塔机最大工作幅度的不同要求，臂架通常制成若干段臂架节，其中中部的几节制作成可以互换的便准节，以实现臂架长度的不同组合。

臂节之间采用螺栓或销轴连接。臂架结构的根部和顶部都需要加强，一般采用钢板代替幅杆体系。

2. 桁架水平压弯式臂架

桁架水平压弯是臂架亦称小车变幅式臂架，其截面多为三角形的空间桁架结构，以正三角形最为常见。上弦杆多用圆管、方管（常用角钢拼成），两下弦通常采用方管、槽钢，并兼作载重小车的轨道，腹杆（斜腹杆，水平腹杆）多采用圆管。

同样，为了方便运输、安装和拆除，满足不同的施工对象对塔机最大工作幅度的不同要求，以及减轻起重臂结构自重，臂架通常制成若干段臂架节，其中几节制作成可以互换的标准节，以实现臂架长度的不同组合。各种规格的臂架节的上、下弦杆和腹杆的截面尺寸根据其所处的位置受力状况而有所不同，各臂架节在整个臂架中的位置是固定的。因此，在安装时要严格遵守安装使用说明中的规定，严禁将臂架节装错位置，以免发生重大生产安全事故。

3. 起重臂结构的选择

臂长 40 米，臂端吊重量 0.7 吨，最大吊重量 3 吨。此吊臂采用桁架水平压弯式臂架，截面采用正三角形。上弦杆用圆管，两下弦通常采用角钢焊接而成的方钢，并兼作载重小车的轨道，腹杆（斜腹杆，水平腹杆）采用圆管。吊臂采用等强度变截面设计，两个侧面桁架采用三角式体系，水平桁架采用带竖杆的三角式体系。

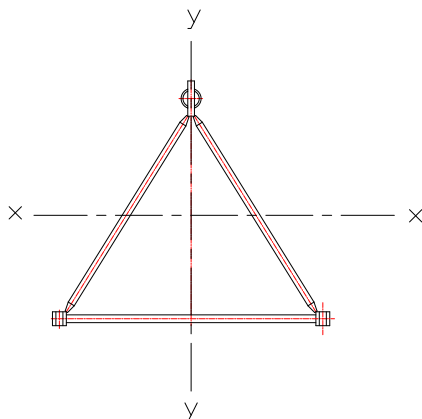


图 2-1 吊臂截面图

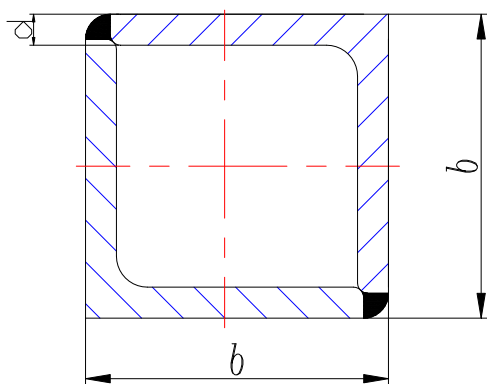


图 2-2 吊臂下轩杆截面图

吊臂主要部件材料的选用:

表 2.1 各种材料许用应力表

材料	σ_s	工作状态			工作状态			说明
		$[\sigma]$	$[\sigma_n]$	$[\tau_n]$	$[\sigma]$	$[\sigma_n]$	$[\tau_n]$	
A ₃	230	173	138	98	200	160	115	
16Mn	330	248	198	140	287	230	166	
20Cr	400	300	240	170	348	278	201	调质
40Cr	500	376	301	213	435	348	251	调质
20	240	180	174	123	218	174	110	
45	360	270	216	153	313	250	181	调质
35	270	203	162	115	235	188	135	
暂取								
上弦杆			下弦杆		缀条			
20			Q235		20			

2.1.2 吊臂的主要尺寸

表 2.2 参照 WK43SLC 塔机的主要参数

Lmax/m	Q/t	Qmax/t:L/m	B/m	H/m
--------	-----	------------	-----	-----

表 2.3 暂定 c4007 塔机的主要参数

Lmax/m	Q/m	Qmax	Qmax/t:L/m	B/m	H/m
40	0.7	3.0	3:14.25	1.1	1.14

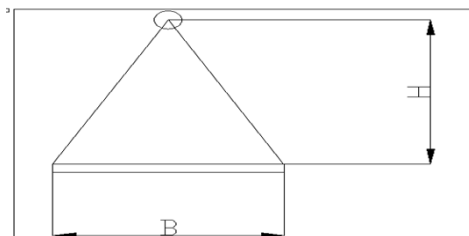


图 2-3 吊臂截面尺寸

Lmax-最大幅度；B-截面高度；H-截面高度；Q-最大幅度起重量；
Qmax-最大起重量

2.1.3 吊臂的吊点位置确定

本吊臂长度为 40m，根据塔式起重机设计规范，采用双吊点吊臂设计。双吊点的结构可以有效的减轻吊臂的自重。

吊点将臂架分为三部分,由经验公式，初选 $l_1 = 0.23, l_2 = 0.74$ 。（如图 1—2）。

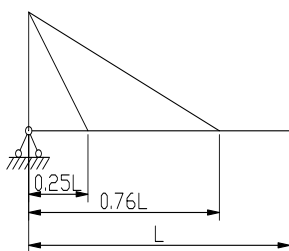


图 2-4 吊点位置

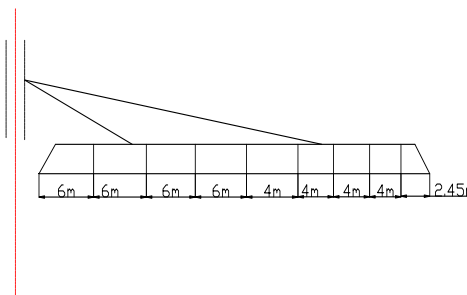


图 2-5 吊臂运输单元

2.1.4 运输单元

考虑到运输条件和原材料长度限制，将起重臂做成各个节段，即运输单元。见图（吊臂总装图）。各节段在工厂制成后，运到工地，在现场将各节段用销轴相连，拼装成整体起重臂，然后再和塔身等其他部件装配成塔吊。考虑到标准化，将起重臂中间段做成若干标准节段，以利加工制造。所以将吊臂划分为 9 个运输单元。

图 2-5 吊臂运输单元

2.2 吊臂受力计算

2.2.1 吊臂所荷载荷组合

起重机臂架采用下列三种载荷组合

- 1.自重+等级吊重+工作状态风载荷+平稳惯性力或其他水平力；
- 2.自重+最大额定吊重+工作状态风载荷+急剧惯性力或其他水平力；
- 3.自重+非工作状态风载荷+起重小车及吊钩重。

由于 1、3 种组合对本起重臂不起控制作用，因此可仅按第②种载荷组合进行设计在和确定。

2.2.2 初估臂架自重和小车移动机构的重量

臂架自重 初估定臂自重为 2560kg，变幅机构重 260kg，力矩传感器装置重 10kg。

$$\Sigma G = (2560 + 260 + 10) * g = 28300N$$

吊臂自重可以看成沿吊臂全长均匀载荷

$$q_{\text{自}} = \frac{28300N}{40m} = 707.5N/m$$

小车移动机构重量 初估为 0.25t

吊重

包括起重小车、吊钩及吊重。吊重是移动载荷，起重起重小车重量和吊钩重量是沿臂架移动但数值不变的载荷，初估起重小车为 0.78t。吊钩重为 0.42t。

2.2.3 吊臂所受的风载荷

按照我国《塔式起重机设计规范》(GB/T13752—92) 进行计算。

臂架受风载荷 F_w

$$F_w = C_w P_w A$$

式中 C_w ——风力系数，臂架为三角形结构，取 1.3；

P_w ——计算风压，工作状态取 250Pa；

A ——迎风面积。

$$A = A_1 + \eta A_2$$

其中 A_1 ——前片结构迎风面积，(m^2)， $A_1 = \omega_1 A_{L1}$ ， ω_1 为结构充实率，对于桁架取 0.4；

A_2 ——后片结构迎风面积，(m^2) $A_2 = \omega_2 A_{L2}$ ， ω_2 为结构充实率，对于桁架取 0.4；

A_{L1} 或 A_{L2} 为前后外形轮廓尺寸，即 $A_L = HL$ (图 1—4)。

η ——为前片对后片的挡风折减系数，与前片桁架充实率 ω 以及两片桁架间隔比 B/H 有关，查表得本塔吊 η = 取 0.40。

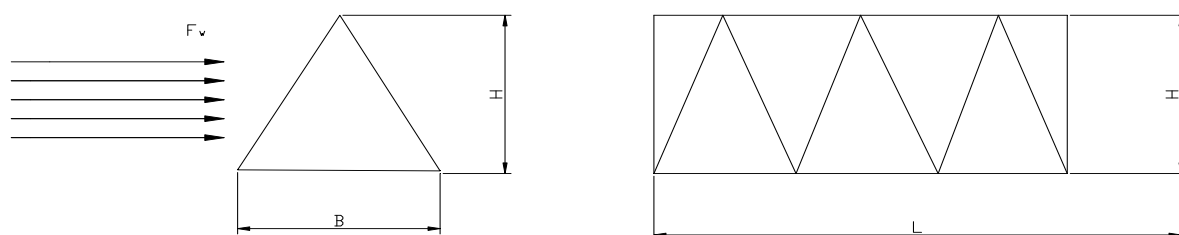


图 2—5 桁架挡风折简系数

由上所述，在回转平面内，本塔吊起重臂风载荷

$$F_w = 1.3 \times 250Pa \times (0.4 \times 40 \times 1.151 + 0.4 \times 0.4 \times 40 \times 1.151) = 837928N$$

吊重受风载荷 F_w'

F_w' 按额定起重量重力的 3% 计算，且不得小于 500N，由于各种工况吊重不同所以吊重风载分工况分别进行计算。

其他水平力

作用在臂架回转平面内 R 除风载荷外，还有回转惯性力以及起吊时由于钢丝绳倾斜引起的水平力等，可近似地取 $T=0.1Q$ (Q 为吊重)，并且按所吊货物为 8t 和 1.5t 分别计算。

2.2.4 吊臂自重及小车变幅机构自重产生的内力

1. 选择工况

由于吊重是移动载荷，因此首先要确定小车在什么位置是臂架所产生的内力为最大。以下三种工况可能对臂架产生最不利的影响：

工况 1 最大幅度 $R_{max} = 40m$ ，所吊货物为 0.7t，（即吊重作用在 D 处，图 2—6）

工况 2 幅度 $R \leq 20m$ ，所吊货物为 1.5t，（即吊重作用在 E 处，图 2—7）。

工况 3 最小幅度 $R=3m$ ，所吊货物为 3t，（即吊重作用在 G 处，图 2—8）。

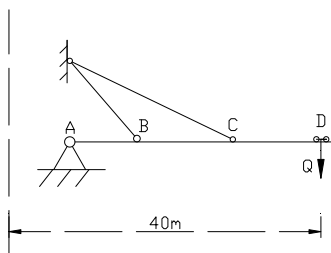


图 2—6 吊重在 D 处

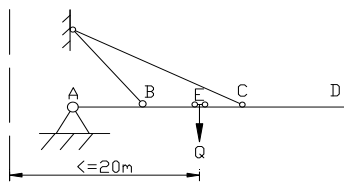


图 2—7 吊重在 E 处

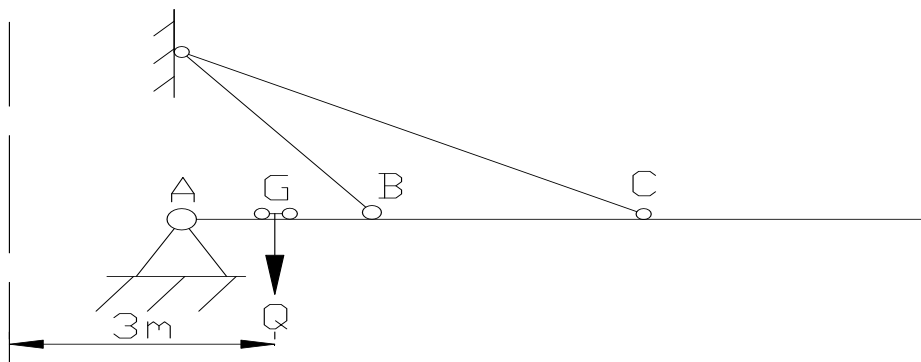


图 2—8 吊重在 G 处

计算的截面为：

- 1，吊臂根部截面 A；
- 2，根部到第一个吊点的截面 E；
- 3，第一个吊点到第二个吊点的截面 F；
- 4，第二个吊点的截面 C。

各截面图 2-9 所示：

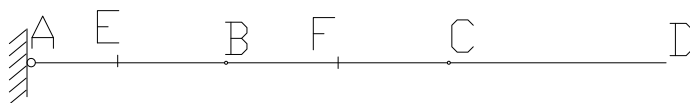


图 2-9 吊臂计算截面位置

在起升平面内（即竖直平面内）作为伸臂梁计算，如下图示：

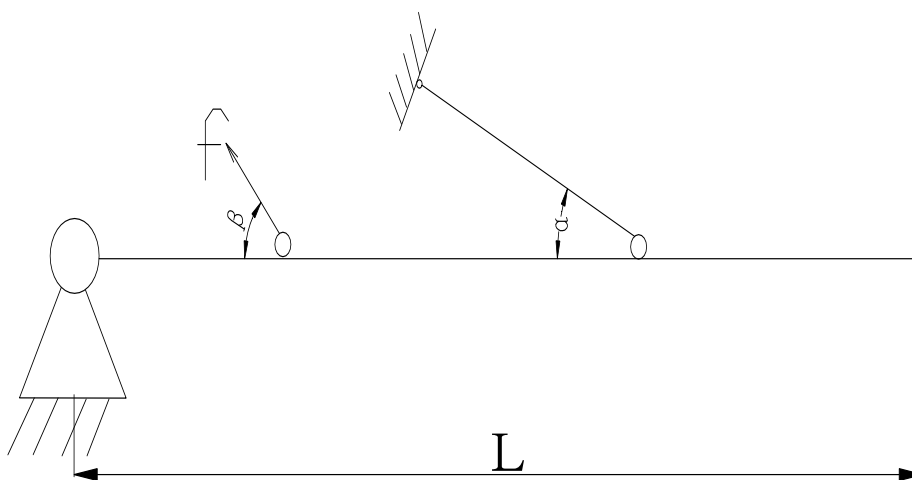


图 2-10 起升平面计算简图

在回转平面（即水平平面）内，作为悬臂梁计算，如图 2-11 所示：



图

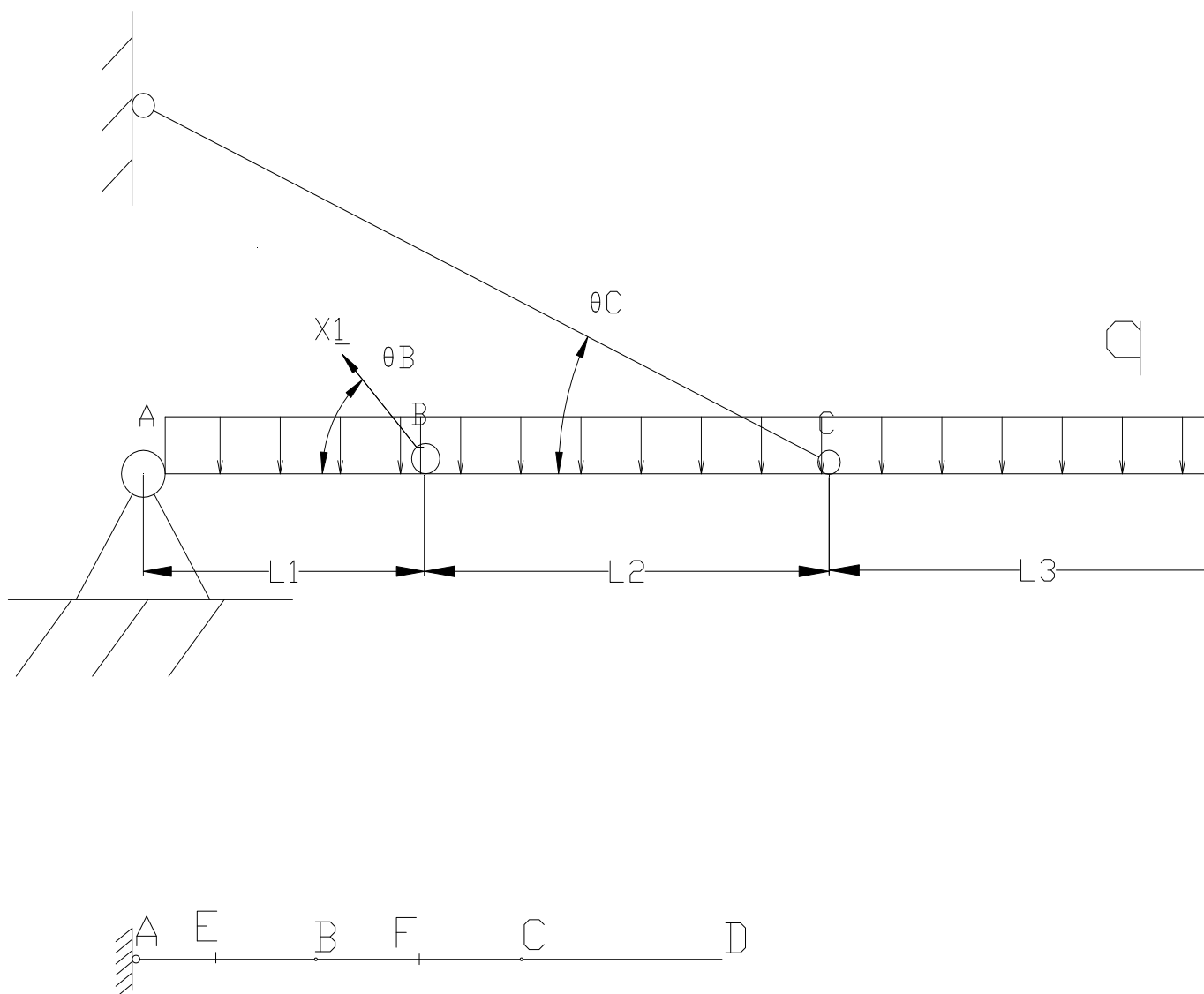
2-11 回转平面计算简图

载荷组成：自重+吊重+工作状态风载（风向垂直吊臂）+其他惯性力。

计算中忽略离心力的影响，因为塔式起重机的工作级别为 A4，所以不验算钢结构的疲劳强度。

2. 自重载荷引起的内力计算

双吊点吊臂为一次超静定结构，解除多余约束，得到静定组合，如图 2—12 所示。



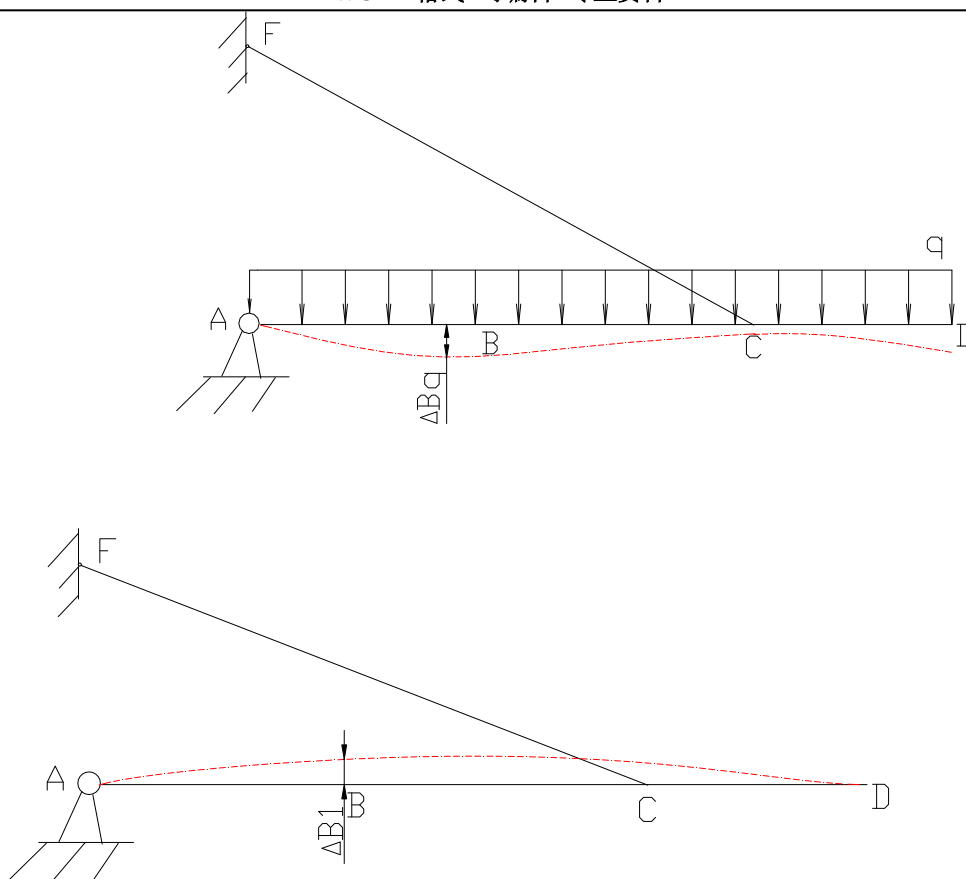


图 2—12 吊臂计算简图

由叠加原理，B 点竖向位移 $\Delta_B = \Delta_{Bq} + \Delta_{B1}$ ，（ Δ_{Bq} 为臂架自重载荷在 B 点产生的竖直位移， Δ_{B1} 为未知力 X_1 产生的竖直位移。）

$$\Delta_B = \frac{N_B l_B}{EA_B \sin \theta_B} = \frac{X_1 l_B}{EA_B \sin \theta_B}$$

所以 $\delta_{B1} X_1 + \Delta_{Bq} = \frac{X_1 l_B}{EA_B \sin \theta_B}$

$$\Delta_{Bq} = \frac{ql_1 l_2 (l_1^2 + l_1^2 + 3l_1 l_2)}{24EI} - \frac{ql_1 l_2 l_3^2 (2l_1 + l_2)}{12EI(l_1 + l_2)} + \frac{ql_1 l_C (l_1 + l_2 + l_3)^2}{2EA_C (l_1 + l_2)^2 \sin^2 \theta_C}$$

$$\delta_{B1} = \frac{-l_1^2 l_2^2 \sin \theta_B}{3EI(l_1 + l_2)} - \frac{l_1^2 l_C \sin \theta_B}{EA_C (l_1 + l_2)^2 \sin^2 \theta_C}$$

$$X_1 = \frac{\Delta_{Bq}}{\frac{l_B}{EA_B \sin \theta_B} - \delta_{B1}}$$

式中 l_1 、 l_2 、 l_3 —吊臂根部铰点到第一吊点、第一吊点到第二吊点、第二吊点到吊臂端部最大幅度处的距离

A_B 、 A_C —拉杆 BF 和 CF 的截面积

θ_B 、 θ_C —拉杆 BF 和 CF 与吊臂间的夹角

q —臂架自重均布载荷

l_B 、 l_C —拉杆 BF 和 CF 的长度。

吊臂在自重载荷作用下的内力，就是自重载荷 q 单独作用下的内力和 X_1 单独作用产生的内力之和。吊臂上到根部铰点距离为 x 的任一点弯矩为：

$$M_{xq}(z) = \begin{cases} \frac{qz^2}{2} + \frac{2X_1 l_2 \sin \theta_B - q(l_1 + l_2 + l_3)(l_1 + l_2 - l_3)}{2(l_1 + l_2)} z & (z \leq l_1) \\ \frac{qz^2}{2} + \frac{2X_1 l_2 \sin \theta_B - q(l_1 + l_2 + l_3)(l_1 + l_2 - l_3)}{2(l_1 + l_2)} z - X_1 \sin \theta_B (z - l_1) & (l_1 \leq z \leq l_1 + l_2) \\ \frac{q}{2}(l_1 + l_2 + l_3 - z)^2 & (z > l_1 + l_2) \end{cases}$$

支反力：

$$R_{Aq} = \frac{-2X_1 l_2 \sin \theta_B + q(l_1 + l_2 + l_3)(l_1 + l_2 + l_3)}{2(l_1 + l_2)}$$

$$S_{Cq} = \frac{q(l_1 + l_2 + l_3)^2 - 2X_1 l_1 \sin \theta_B}{2(l_1 + l_2 + l_3) \sin \theta_B}$$

轴向力：**AB 段** $N_q = -S_B \cos \theta_B - S_C \cos \theta_C$

BC 段 $N_q = -S_C \cos \theta_C$

由吊重引起的臂架内力

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/196101234030011024>