

船用起重机回转支承选型要点分析

工程设计所 何广宽

摘要: 本文通过对起重机的回转支承在不同的工况和载荷组合条件下的力学计算, 结合回转支承的承载特点, 并以 3 吨 10m 起重机为例, 拟定出合理的选型计算方法。以便选取恰当的型号和结构回转支承, 满足起重机经济、安全、可靠的要求。

关键词: 起重机、回转支承、当量载荷、接触角。

一、概述

在现代工程机械中回转支承已被普遍采用, 而在相关的手册和设计资料上, 对老式的回转结构描述得很多, 那种结构现在几乎全部淘汰。对轴承式回转支承的选用计算要点反而介绍的不多。因此, 多数情况下为安全考虑, 选用过于保守, 造成不必要的浪费。如何选择比较合理的工况、载荷组合和计算方法, 是起重机设计的关键之一。

二、回转机构设计工况和载荷组合

在回转起重机结构中, 回转支承装置是必不可少的部件。它不但承载着整个起重机回转部份的质量载荷和全部负载载荷, 而且还是回转机构的重要组成部份并直接决定了塔身和基柱部分结构件尺寸的大小, 选择恰当的承载能力和使用寿命的回转支承是起重机设计的关键。由于船用起重机具有数量少、批量小的特点, 不可能通过型式试验或通过大量的试验数据的比较分析来确定最佳选择参数。有效的方法是根据相关标准和起重机设计规范要求计算, 取得可靠数据, 对照回转支承生产厂家提供的承载能力曲线 ($M-F$ 曲线) 图表进行选型。根据《起重机设计手册》回转机构的负载工况有四种情况, 而对于吨位较小的普通船用起重机来说, 选取工况 A (无风状态, 125% 起升额定载荷) 和工况 C (起升额定载荷, 工作状态最大风力) 进行计算更能符合实际情况。

载荷组合内容见下表:

工况	自重载荷	起升载荷	绳索偏摆水平力 (货物最大偏摆)	回转部分风力 (最大风力时)	倾斜水平力 (最大船倾角)
A	G	1.25Q	—	—	—
C	$\varphi_1 G$	$\varphi_2 Q$	F_w	F_w	F_Q

下面以 3 吨 10m 起重机为例, 表中的字母含义及数据如下:

G --- 自重载荷, 塔身 $G_t=20962\text{N}$; 臂架 $G_b=16660\text{N}$;

φ_1 --- 起升冲击系数, $\varphi_1=1.05$

φ_2 --- 起升载荷动载系数, (见计算说明)

Q -- 起升载荷, $Q=Q_0+q_0$;

Q_0 -- 货物载荷, $Q_0=29400\text{ N}$;

q_0 -- 吊具载荷, $q_0=1470\text{ N}$

α_2 -- 货物最大偏摆角, $\alpha_2=12^\circ$

β -- 船倾角,

$FW\text{ II}$ -- 工作状态下的最大计算风压下的风力; $FW\text{ II}=q \times (A1+A2)$

q -- 最大工作时风压力: $q=250\text{ N/m}^2$;

$A1$ -- 塔身迎风面积; $A1=7.8\text{ m}^2$;

$A2$ -- 臂架迎风面积, $A2=2\text{ m}^2$, (形心位置 4 m)

FQ -- 船舶最大倾斜时, 自重和货物的水平力;

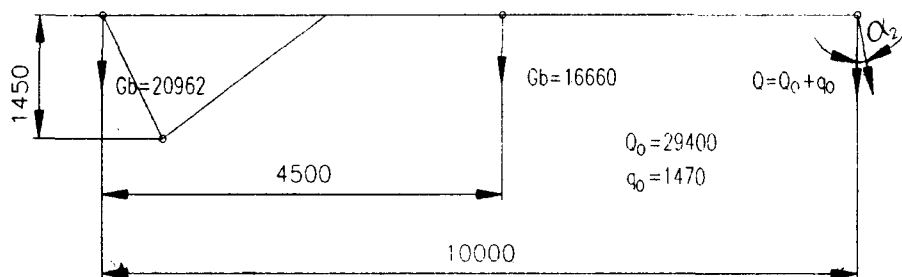
本起重机为液压控制, 所有动作可无级变速, 操作平稳, 根据《规范》起升载荷动载系数为 $=1+1.35v=1+0.35 \times 0.3333=1.12$, (另据《起重机设计手册》规定, 在确定回转支承上的总轴向力、总水平力和合力矩时可以不考虑和因素。而在计算当量载荷时以工况系数考虑)。

三、起重机受力计算

根据《起重机设计手册》和《起重机设计规范》进行选型计算和分析。

3 吨 10m 起重机受力图及主要参数如下:

见图 1:



起升速度 $v=20\text{ m/min}=0.333\text{ m/s}$; 回转速度 $\omega=1\text{ r/min}$; 启、制动时间为 1.5 s 。

1、工况 A, 无风状态, 125%起升额定载荷。

总轴向力: $Pa=Gt+Gb+1.25 Q_0+q_0$

$=20962+16660+1.25 \times 29400+1470=75842\text{ N}$

总倾覆力矩: $M=(1.25 \times 29400+1470) \times 10+16660 \times 4.5=457170\text{ Nm}$

2、工况 C, 在起升额定载荷, 工作状态最大风力, 并考虑起升冲击系数, 起升载荷动载系数, 船舶倾斜, 货物偏摆以及臂架部份质量惯性切向力 P_g 的影响因素, 计算轴向力 Pa , 水平力 Ph 和倾覆力矩 M 。

总轴向力: $Pa= \times (Gt+Gb)+ (Q_0+q_0)$

$=1.05 \times (20962+16660)+1.12 \times (29400+1470)=74078\text{ N}$

x 方向总水平力: $Ph_x=FW \alpha +FQ +PF +FW\text{ II} +P_g$

y方向总水平力: $P_y = P_n$

$$\text{偏摆水平力: } F_{W_0} = (Q_0 + q_0) \times \tan \alpha_0 = (29400 + 1470) \times \tan 12^\circ = 6562 \text{ N} \quad (\alpha_0 = 12^\circ)$$

$$\text{倾斜水平力: } F_Q = \sin \beta \times (G_1 + G_0 + Q_0 + q_0) = \sin 5.38^\circ \times (20962 + 16660 + 29400 + 1740) = 6447 \text{ N}$$

$$\text{最大风力: } P_F = q (A_1 + A_2) = 250 \times (7.8 + 2) = 2450 \text{ N}$$

$$\text{臂架质量启、制动惯性力: } P_g = m \times \frac{\omega}{t} \times r = 16660 \times \frac{1 \times 2\pi}{60 \times 1.5} \times 4.5 = 5234 \text{ N}$$

$$x \text{ 方向总水平力: } P_{hx} = 2450 + 6562 + 6447 + 5234 = 20693 \text{ N}$$

$$\text{起升载荷离心力: } P_n = Q \times \omega^2 \times r = (16660 + 29400 + 1740) \times \left(\frac{2\pi}{60}\right)^2 \times 4.5 = 4267 \text{ N}$$

$$\text{总水平力: } P_h = \sqrt{20693^2 + 4267^2} = 21392 \text{ N}$$

四、计算两种工况下的静容量当量载荷

回转支承在承受垂直力 P_a 、水平力 P_h 和倾覆力矩 M 的共同作用时,滚动体上出现最大载荷,其合力方向(滚球与轨道接触点的法线)和回转支承的轴线形成一个接触角,滚球式回转支承的接触角可随外载荷的不同匹配在 450~600 之间变化,应对两种角度分别进行计算。在计算承受复合载荷时,还应按下式计算当量载荷:

$$\text{当量轴向力: } F_a'' = f \times (k_a \times F_a + k_r \times F_r)$$

$$\text{当量倾覆力矩: } M'' = f \times k_a \times M$$

上面两式中系数 f 为工况参数,其数值与安装条件、作业系数有关,甲板起重机取 $f=1.0$ 。

1、 工况 A, 无风状态, 计算 25% 的试验载荷。

450 接触角时 $k_a=1.225$; $k_r=2.676$,

$$F_a'' = f \times (k_a \times F_a + k_r \times F_r) \\ = 1.0 \times (1.225 \times 75842 + 2.676 \times 0) = 92906 \text{ N}$$

$$M'' = f \times k_a \times M = 1.225 \times 457170 = 560033 \text{ Nm}$$

600 接触角时 $k_a=1.0$; $k_r=5.046$

$$F_a'' = f \times (k_a \times F_a + k_r \times F_r) = 1.0 \times (1.0 \times 75842 + 5.046 \times 0) = 75842 \text{ N}$$

$$M'' = f \times k_a \times M = 1.0 \times 457170 = 457170 \text{ Nm}$$

2、 工况 C, 计算工作状态最大风力、倾斜、偏摆和惯性力的作用。

450 接触角时: $k_a=1.225$; $k_r=2.676$,

$$F_a'' = f \times (k_a \times F_a + k_r \times F_r) \\ = 1.0 \times (1.225 \times 74078 + 2.676 \times 21392) = 147991 \text{ N}$$

$$M'' = f \times k_a \times M = 1.0 \times 1.225 \times 383670 = 46996 \text{ Nm}$$

60° 接触角时, $k_a=1.0$; $k_r=5.046$

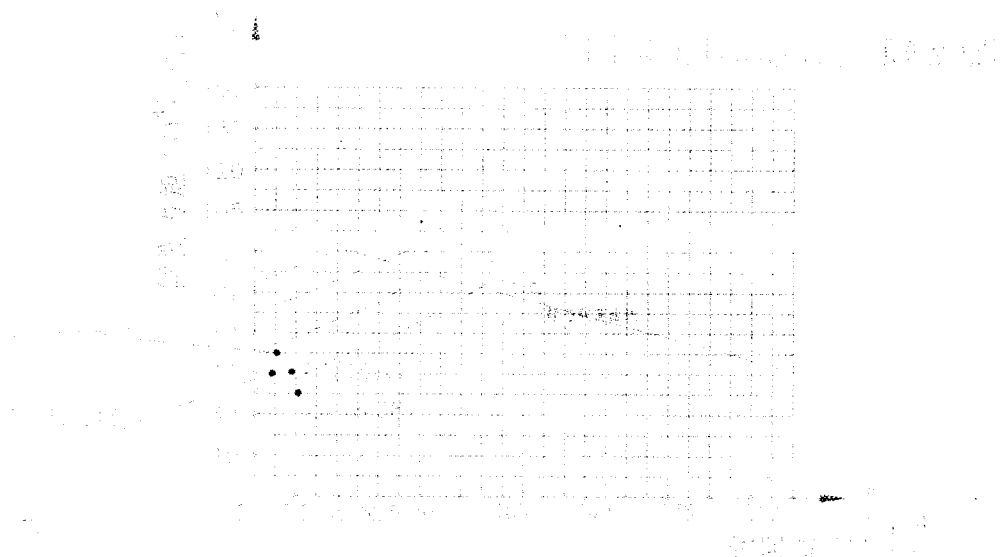
$$F_a'' = f \times (k_a \times F_a + k_r \times F_r) = 1.0 \times (1.0 \times 74078 + 5.046 \times 21392) = 182022 \text{ N}$$

$$M'' = f \times k_a \times M = 1.0 \times 383670 = 383670 \text{ Nm}$$

五、选择回转支承型号

从使用要求和经济角度考虑,两种计算中只要有一种符合曲线即可,也就是将工作状态设定在计算通过的接触角下工作。对照生产厂家提供的承载曲线图($M-F$ 曲线)分析可知:回转支承可承受较大的轴向力(轴向当量载荷)而对倾覆力矩的承受能力相对较小。

根据计算结果,得出的四点坐标 $A1(9.3,56)$; $A2(7.6,45)$; $C1(15,47)$ $C2(18,38)$ 由下图可知, $C2$ 坐标点的轴向力最大而倾覆力矩最小,并在 8.8 级安装螺栓曲线和静态承载曲线以下,选取 014.40.1000.001 型号回转支承可以满足要求。(见图 2)。



六、结束语:

通过对以上计算结果分析,在方案设计时,起重机的结构尺寸及重量未确定,缺少详细数据,选取工况 A 进行估算其结果略偏保守,但简便可靠。选型时可取 $A2$ 点落在($M-F$ 曲线)图的上限位置即可。而设计完工进行校核计算时应选取工况 C 计算,选取 $C2$ 点,应能落在($M-F$ 曲线)图的静载荷曲线及相应的连接螺栓承载曲线的下方就能够满足要求。

另外,在不同用途的起重机的工况系数是不同的,如普通船用起重机的工况系数 $f=1.0$,平台起重机的工况系数则为 $f=2.5$,以上的计算结果 $C2$ 和 $A1$ 当量倾覆力矩分别为 959175 Nm 和 1400083 Nm 相差 440908 Nm 达到 40%。可见载荷组合及计算方法选取不当对整个起重机结构尺寸影响是很大的。