

单桅杆钻塔的稳定性计算

王宇平

(郑州煤田职工地质学院, 450053)

摘 要 从强度的观点,对在钻探生产中日益广泛应用的单桅杆钻塔,进行稳定性性能的分析、探讨。其中分析了桅杆的结构特点,受力状况,而且对整体和前大腿两种结构情况进行了讨论,推导出实用计算公式,为在实际中安全生产提供了理论依据。

关键词 单桅杆钻塔; 强度; 稳定系数; 应力

中图分类号 TB301

钻塔是钻探设备的重要组成部分,在钻进过程中,其主要用途是安放天车、悬挂滑车系统、起、下钻具和套管,此外钻塔还是升降工序用的工作台和立根束的靠架。

钻塔的种类很多,其中单桅杆钻塔(简称桅杆),由于其结构简单,成本低廉,且整体竖立而无需高空作业,及装拆、运移、使用均方便等特点,得到了广泛应用。尤其是近年来,石油勘探系统从美国LTV公司引进了65B型车装钻机,因其具有的上述优点,在勘探业发挥了很好的作用,其经济价值已得到充分验证^[1]。

在本文中,笔者仅就此类单桅杆钻塔的稳定性能及稳定强度计算问题,作一扼要分析、探讨。

1 桅杆的受力分析

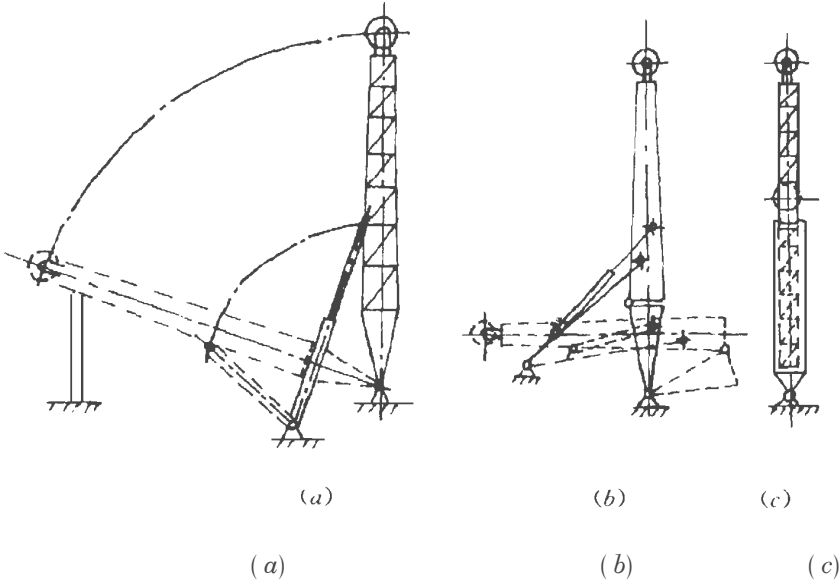


图1 桅杆钻塔的形式
a) 整体竖立式 b) 折叠式 c) 伸缩式

1.1 结构特点

桅杆大多固定在汽车上,利用液压缸或卷扬机整体起放。桅杆的形式有多种,常见的有整体竖立式、折叠式和伸缩式,如图1所示。

桅杆的构件组成多为整体焊接结构,为了避免因内部空间狭小而造成游动滑轮系统上下运行不方便,常将桅杆前部作成敞开的结构。即两个前大腿间没有腹杆连接,主要靠前大腿的刚性和每层腹杆构成的框架来维持稳定。

桅杆上部安装滑车,为了与孔口对正,便于升降钻具,一般桅杆在工作时要向孔口方向前倾(与铅垂线交角在 7° 以内)。另外,为了工作稳定,必须安放绷绳。

1.2 受力分析

据上述桅杆的结构与工作特点,其受力简图如图2所示。考虑到实际因素,图中诸力均按最大载荷计。

其中包括:绷绳拉力 T ,快绳拉力 P (即绞车牵引力),死绳拉力 P_l (当定、静滑轮使用滚动轴承时, $P_l = P$),轴向压力 N ,及垂直载荷 G ($G = Q_m + W$,即为大钩最大负荷 Q_m 和天车、游动系统及桅杆重量的一半 W 之和)^{[2][4]}。

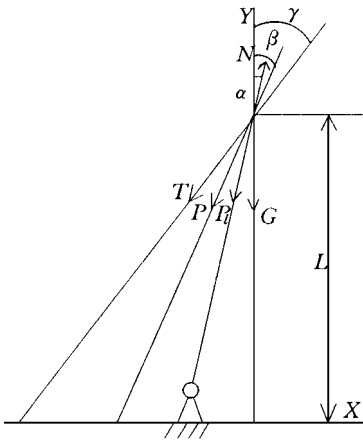


图2 桅杆的受力简图

2 整体桅杆的稳定性计算

将桅杆框架结构作为一个整体,当作用于此上的载荷达到某一数值时,桅杆将作为一个复合断面的压杆而丧失稳定性。这种破坏形式与桅杆内个别杆件丧失局部稳定性有较大区别,对钻进影响较大。因此,对长细比较大的桅杆钻塔进行稳定性校核十分重要。

2.1 计算公式

根据稳定等效原理,可将桅杆视为两端铰支的变截面组合杆体,据《材料力学》中“折减系数法”进行稳定校核计算。

计算公式为:

$$\sigma = \frac{N}{A \cdot \phi} \leq [\sigma] \quad (1)^{[3]}$$

式中: N ——整体桅杆所受轴向压力, N ; A ——桅杆主腿截面面积之和, mm^2 ; ϕ ——压杆稳定系数(即折减系数); $[\sigma]$ ——材料的许用应力, MPa 。

2.2 计算轴向力 N

根据图2,平衡方程式为:

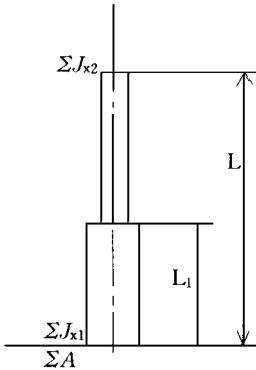


图3 桅杆设为两段式的示意图

$$\sum M_A = 0 \quad \text{则} \quad -T \sin \gamma - P \sin \beta - P_l \sin \alpha + N \sin \alpha = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_y = 0 \quad \text{则} \quad -T \cos \gamma - P \cos \beta - P_l \cos \alpha + N \cos \alpha - G = 0 \quad (3)$$

两式整理后得:

$$N = [(G + P \cos \beta + P \cos \alpha \cdot \tan \gamma - P \sin \beta - P_l \sin \alpha) / (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \gamma)] \quad (4)$$

式中: α ——桅杆前倾角; β ——快绳与铅垂线夹角; γ ——绷绳与铅垂线夹角。

2.3 确定稳定系数 ϕ

Φ 的大小主要取决于桅杆的材料及长细比（柔度） λ 。桅杆可视为变截面的细长受压杆，考虑到伸缩式桅杆日趋广泛，故设为两段式如图3所示。其长细比由下式进行折算：

$$\lambda = \sqrt{(\mu\lambda)^2 + \frac{n}{2}\lambda^2}$$

(5)^[3]

其中：长度系数 $\mu = \frac{\lambda}{m_3}$ ；基本长细比 $\lambda = \frac{l}{i}$ ；附加长细比 $\lambda = 6.3 \frac{\sqrt{J_{x1} + J_{x2}}}{A_1}$ 。

式中： m_3 ——因数，可根据 $\frac{J_{x1}}{J_{x2}}$ 值从《石油钻采机械》图9-47查得； n ——桅杆中有
效压杆数，根据其前敞结构，选取 $n=2$ ； J_{x1} 、 J_{x2} ——桅杆下、上段4条大腿惯性矩之和，
 mm^4 ； A_1 ——各斜杆截面积之和^[4]。

由于桅杆前、后大腿的截面积相同，故不考虑轴向载荷的偏心因素。根据计算的 λ 值和桅杆材料，查《石油钻采机械》图9-43，可得出稳定系数 Φ 值。

2.4 校核桅杆整体稳定性

根据 (1) 式计算出桅杆上、下段的应力值，若均符合 $\frac{\sigma_t}{\sigma_s} \leq [\sigma]$ ，则桅杆处于稳定状态。

3 桅杆前大腿的稳定性计算

桅杆为前部敞开结构，即两个前大腿间无腹杆连接，主要靠前大腿的刚性及桅杆侧筋的刚性来维持稳定，故有必要对单根前大腿的稳定性进行校核。图4为桅杆横断面示意图，阴影部分为前大腿截面。

3.1 基本受力分析

单个前大腿受力简图如图5所示，其上受有偏心的轴向压力 N 和
横向往风载，可视为沿高度均匀分布的均布载荷 q_0 。

按组合变形公式计算出桅杆横截面上的正应力 σ ：

$$\sigma = \frac{N}{A_1} + \frac{M_{max}}{J_V}$$

(6)^[3]

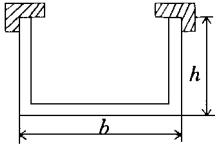


图4 桅杆横断面示意图

式中： A_1 ——单个前大腿截面积， mm^2 ； M_{max} ——前大腿所受
最大弯矩， NM ； J_V ——桅杆下段截面矩之和， mm^3 。

3.2 稳定性计算

将前大腿简化为在连续性介质上受有轴向力的压杆，可使用一般压
杆稳定公式进行稳定性计算。

计算公式为： $\sigma = \frac{\sigma}{\Phi} \leq [\sigma]$

(7)

确定稳定系数 Φ ：
 Φ 须根据前大腿长细比 λ 和材料查表得到。
长细比： $\lambda = \mu \lambda$

其中：基本长细比 $\lambda = \frac{l_1}{i_x}$ ；压杆长度系数 μ ，据 $\frac{\beta l_1^4}{16EJ_x}$ 查表； β 为

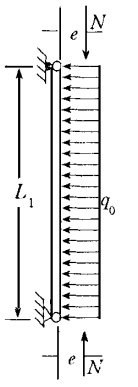


图5 前大腿受力简图

刚性系数, $\beta = \frac{E}{S_0 \left(\frac{h^3}{3J_{x侧}} + \frac{h^2b}{J_{x后}} \right)}$ 。

式中: E ——前大腿材料的弹性模量, GP_a ; S_0 ——桁架每层栅格高度, mm; h 、 b ——桅杆横断面的侧、后外形尺寸, mm; $J_{x侧}$ 、 $J_{x后}$ ——桅杆横断面侧筋、后筋的惯性矩, mm^4 。

将 Φ 代入 (7) 式计算, 若 $\sigma \leq [\sigma]$, 则前大腿处于稳定状态。

4 桅杆扭转稳定性说明

桅杆断面似同槽钢, 结构上不对称, 加上各种可能的偏心载荷, 因此存在着产生扭转的可能性, 如图6所示。

如果这种可能性发生, 则会造成构件内部如拉筋及大腿的变形和内力分配上的变化, 从而引起整个桅杆的破坏。所以对整个桅杆进行扭转稳定性的校核十分必要。但因本文篇幅有限, 在此不再赘述。

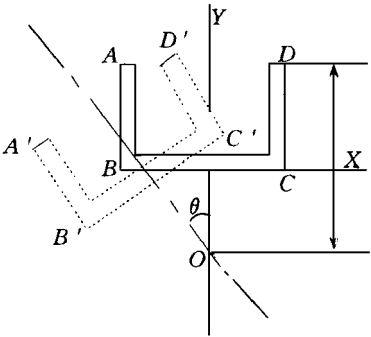


图6 桅杆受扭后的变形示意图

5 安全系数

为了保证整个结构的强度和稳定, 合理地选择安全系数至关重要。据有关资料推荐, 选取的大致范围为: 桅杆强度安全系数1.3~2.0; 整体稳定安全系数2~2.5; 前大腿稳定安全系数不小于3; 整体扭转安全系数不小于3。可根据实际情况酌情选择。

参 考 文 献

1 薛智武. WKC-50S 型汽车钻机 Foreign Geoexploration Technology. 1995. 6
2 周幼宗. 对液压伸缩式钻架的分析与研究. 探矿工程. 1992. 1
3 单祖辉. 材料力学. 国防工业出版社. 1983.
4 黄建欣等. 钻探设备. 煤炭工业出版社. 1993. 3

Calculation of Stability on the Single-mast Derrick

Wang Yuping

(Zhengzhou Geological Institute of coalfield Staff and workers, 450053)

Abstract The stability of the Single-mast derricks, which are widely used in drilling work, is discussed in respect of strength in this article. In addition to analysis of structural and mechanical characteristics, a practical calculational formula is presented for reference so as to be made sure of safe drilling work.

Keywords the single-mast derrick; strength; coefficient of stability; stress.