

浙江大学



螺旋式起重器设计说明书

姓 名	方天润
指导教师	顾大强
年级专业	机械工程 2205
所在学院	机械工程学院
提交日期	2024. 10. 9

目录

1. 引言	3
1.1. 螺旋式起重器简介	3
1.2. 螺旋式起重器的结构和功能	3
1.2.1. 工作原理	3
1.2.2. 主要零件	3
1.3. 设计要求	3
1.4. 设计内容	3
1.4.1. 设计参数	3
1.4.2. 设计方案	3
2. 材料选择	4
2.1. 螺杆材料选择	4
2.2. 螺母材料选择	4
2.3. 手柄材料选择	4
2.4. 其他部件材料选择	5
3. 设计计算	5
3.1. 螺杆设计与计算	5
3.2. 螺母设计与计算	5
3.3. 杯托设计与计算	6
3.4. 手柄设计与计算	6
3.5. 手柄座设计与计算	7
3.6. 底座设计与计算	7
3.7. 挡圈设计与计算	7
3.8. 检验	7
(1) 螺母螺纹圈数验算	7
(2) 自锁验算	7
(3) 螺杆强度检验	7
(4) 螺纹强度计算	8
(5) 螺杆稳定性计算	8
4. 效率计算	8
5. 参考文献	8

1. 引言

1.1. 螺旋式起重器简介

螺旋式起重器是手动起重工具种类之一，其结构紧凑，合理的利用摇杆的摆动，使螺杆旋转，推动升降套筒，从而重物上升或下降。^[1]

1.2. 螺旋式起重器的结构和功能

1.2.1. 工作原理

螺旋式起重器是一种利用螺旋原理进行起重的简单机械。常见的螺旋式起重器通过转动手柄，使螺杆转动并沿着螺母上下移动，从而带动托杯升降，实现重物的升降。这种起重器结构简单，易于制造，且具有自锁功能，能够在任意位置停留，不会自行下降。

1.2.2. 主要零件

螺杆：与螺母组成螺旋副，是起重器的主要动力部件。

螺母：与螺杆配合，通常固定在底座上。

托杯：直接顶住重物，通过螺杆的移动来升降重物。

底座：支撑整个起重器并固定螺母。

手柄：用户操作部件，通过转动手柄来驱动螺杆转动。

紧定螺钉：提高螺杆与螺母连接的可靠性。

1.3. 设计要求

最大起重量 $Q=20\text{kN}$ 。最大升举高度 $L=120\text{mm}$ 。

螺纹采用梯形螺纹、单线 GB5796-86。

1.4. 设计内容

1.4.1. 设计参数

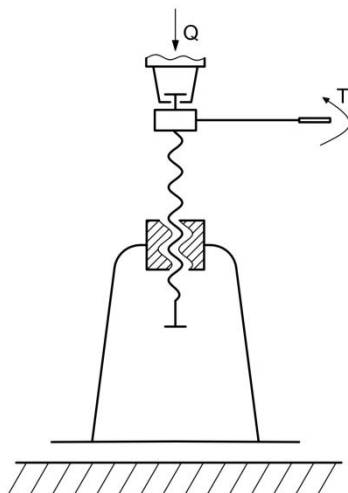
螺杆材料、长度、型号等信息；

螺母材料、尺寸、型号等信息；

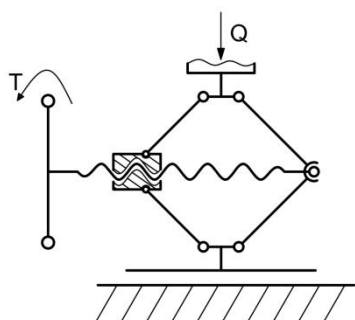
手柄材料、尺寸等信息。

1.4.2. 设计方案

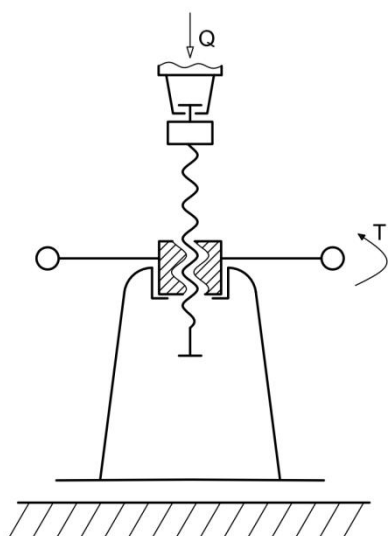
(1) 方案一（选定方案）



(2) 方案二



(3) 方案三



2. 材料选择

2.1. 螺杆材料选择

螺杆是千斤顶的主要承载部件，需要承受较大的轴向力，因此选用 45 号钢，经过调质后可以获得良好的综合机械性能，包括高强度和足够的韧性。

在《机械设计》中查表 1-4 可得 45 号钢主要力学性能：

抗拉强度 $\sigma_b=600\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_s=355\text{MPa}$ 。^[2]

2.2. 螺母材料选择

螺母与螺杆配合使用，需要承受螺杆传递的力，且处于重载低速状态，因此选择无锡青铜 ZCuAl9Mn2。抗拉强度 $\sigma_b=390\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_s=330\text{MPa}$ 。^[3]

2.3. 手柄材料选择

手柄是千斤顶的手动操作部件，只需要有良好的强度和韧性即可，同时考虑到成本和加工工艺，可以采用普通碳钢 Q235。

在《机械设计》中查表 1-4 可得 Q235 钢主要力学性能：

抗拉强度 $\sigma_b=375\sim460\text{MPa}$ ，屈服强度 $\sigma_s=235\text{MPa}$ 。^[2]

2.4. 其他部件材料选择

杯托材料选用铸铁。

底座材料选用铸铁。

3. 设计计算

3.1. 螺杆设计与计算

因为最大升举高度 $L=120\text{mm}$ ，则令升到最高时，螺柱螺纹高于螺母距离 $L_{\text{螺纹1}}=120\text{mm}$ ，则 $L_{\text{螺纹}}=L_{\text{螺纹1}}+H$ 。

滑动螺旋的磨损与旋合螺纹工作面上的压强、滑动速度、表面粗糙度及润滑状态等因素有关。压强过大，将接触表面的润滑油挤出，加速螺纹牙的磨损。为了防止出现过度磨损，保证螺旋传动有一定的工作寿命，除了选择合适的表面粗糙度和润滑剂、润滑方式外，必须限制螺纹工作表面的压强 p 使之不超过螺旋传动副的许用压强 $[p]$ 。即

$$p = \frac{QP}{\pi d_2 h H} = \frac{Q}{\pi d_2^2 \phi \psi} \leq [p]$$

式中： Q 为轴向载荷， P 为螺距， d_2 为螺纹中径， h 为螺纹接触高度， H 为螺母高度， $\phi=h/P=0.5$ ， $\psi=H/d_2=1.2\sim 2.5$ ，则取 $\psi=1.5$ ， $[p]$ 为螺旋传动副的许用压强。

在《机械设计》中查表 5-2 可得此情况下 $[p]=18\sim 25\text{MPa}$ ，取 $[p]=21\text{MPa}$ 。^[2]

$$\text{解得 } d_2 \geq \sqrt{\frac{Q}{\pi \phi \psi [p]}} = 20.10\text{mm}$$

查阅国家标准梯形螺纹尺寸表^[4]，取 $d=28\text{mm}$ ， $P=5\text{mm}$ ， $d_2=25.5\text{mm}$ ， $d_1=22.5\text{mm}$ 。

在《机械设计课程设计》中查表 8-47 得此情况下退刀槽尺寸：^[5]

$b=15\text{mm}$ ， $d_3=21\text{mm}$ ，倒角 $C=3.5\text{mm}$ 。

3.2. 螺母设计与计算

螺母高度 $H = \psi d_2 = 38.25\text{mm}$

螺纹工作圈数 $Z = \frac{H}{P} = 7.65$ ，则取螺纹实际工作圈数 $Z' = 9$

螺母实际高度 $H' = Z' P = 45\text{mm}$

螺母外径 $D_1 = d + 2a_c = 28.5\text{mm}$

螺母内径 $D_2 = d - P = 23\text{mm}$

考虑到螺旋副摩擦力矩的作用，螺母悬置部分危险截面的拉伸强度条件：

$$\sigma = \frac{(1.2\sim 1.3)Q}{\frac{\pi}{4}(D_{\text{下}}^2 - D_1^2)} \leq [\sigma] = 0.83[\sigma_b]$$

解得 $D_{\text{下}} \geq 30.24\text{mm}$ ，取 $D_{\text{下}} = 42\text{mm}$

凸缘与底座的接触表面的挤压强度条件：

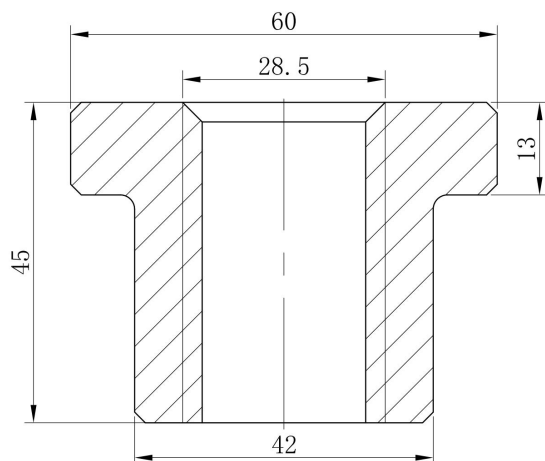
$$\sigma_p = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D_{\text{上}}^2 - D_{\text{下}}^2)} \leq [\sigma_p] = (1.5\sim 1.3)[\sigma_b]$$

解得 $D_{\text{上}} \geq 42.59\text{mm}$ ，取 $D_{\text{上}} = 60\text{mm}$

凸缘根部的弯曲强度条件：

$$\sigma = \frac{(D_{\text{上}} - D_{\text{下}})Q/4}{\pi D_{\text{下}} H_1^2 / 6} \leq [\sigma_b]$$

解得 $H_1 \geq 3\text{mm}$ ，取 $H_1 = 13\text{mm}$



3.3. 杯托设计与计算

为了使其与重物接触良好和防止与重物之间出现相对滑动，在托杯上表面制有切口。为了防止托杯从螺杆端部脱落，在螺杆上端应装有螺母作为挡块。当螺杆转动时，托杯和重物不作相对转动，因此在起重时，托杯底部与螺杆和接触面间有相对滑动。

壁厚 $\delta = 9\text{mm}$

高度 $h_{\text{托杯}} = 35\text{mm}$

中间通孔 $D_3 = 16.5\text{mm}$

外径 $D_4 = 44\text{mm}$

锥度 10°

切口尺寸宽 8mm，深 6mm

3.4. 手柄设计与计算

扳动手柄的力矩：

$$KL_1 = T_1 + T_2$$

式中：K 为施加在手柄上的力， T_1 为螺旋副间的摩擦阻力矩， T_2 为托杯与轴端支承面的摩擦力矩。

$$K \approx 200\text{N}$$

$$T_1 = Q \tan(\lambda + \varphi_v) \frac{d_2}{2} = 42.59\text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_2 = \frac{(D_3 + D_4)fQ}{4} = 30.25\text{N} \cdot \text{m}$$

因此 $L_1 \geq 364.2\text{mm}$ ，取 $L_1 = 370\text{mm}$

由手柄弯曲强度条件：

$$\sigma_b = \frac{T}{W} = \frac{T_1 + T_2}{\frac{\pi}{32} * d_{手柄}^3} \leq [\sigma_b]$$

$$\text{则 } d_{手柄} \geq \sqrt[3]{\frac{32(T_1 + T_2)}{\pi[\sigma_b]}} = 12.55\text{mm}, \text{ 取 } d_{手柄} = 15\text{mm}$$

3.5. 手柄座设计与计算

高度 $h_1 = 30\text{mm}$

直径 $d_{手柄座} = 48\text{mm}$

3.6. 底座设计与计算

壁厚 $\delta = 9\text{mm}$

底端厚度 $S = 16\text{mm}$

顶端外径 $D_{顶外} = 70\text{mm}$

底端内圈直径 $D_{底内} = 94\text{mm}$

底端外圈直径 $D_{底外} = 140\text{mm}$

高度 $H_{底座} = 180\text{mm}$

紧定螺钉选用 M6×16 内六角锥端紧定螺钉^[6]

3.7. 挡圈设计与计算

外径 30mm，厚度 5mm，用 M6×16 内六角圆柱头螺钉与螺杆连接。

3.8. 检验

(1) 螺母螺纹圈数验算

$Z = H/P = \psi \times d_2 / P = 7.65 \leq 10$ ，满足要求。

(2) 自锁验算

钢对青铜的摩擦系数 $f = 0.1 \sim 0.15$ ，取 $f = 0.1$ 。

当量摩擦角 $\varphi_v = \arctan \frac{f}{\cos \gamma} = 5.91^\circ$

螺纹升角 $\lambda = \arctan \frac{nP}{\pi d_2} = 3.57^\circ < \varphi_v$ ，满足自锁条件。

(3) 螺杆强度检验

螺杆工作时承受轴向力 Q ，又承受扭矩 T 的作用，使得螺杆危险截面上有正应力又有剪应力。因此，校核螺杆强度时应按第四强度理论求出危险截面上的当量应力 σ_e ，使其小于或等于许用应力 $[\sigma]$ 。

$$\text{扭矩 } T = Q \tan(\lambda + \varphi_v) \frac{d_2}{2} = 42.59\text{N} \cdot \text{m}$$

$$\text{当量应力 } \sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \frac{4}{\pi d_1^2} \sqrt{Q^2 + 3\left(\frac{4T}{d_1}\right)^2} = 60.15 \text{ MPa}$$

$$\text{螺杆许用应力 } [\sigma] = \frac{\sigma_s}{(3 \sim 5)}, \text{ 取 } [\sigma] = \frac{\sigma_s}{5} = 71 \text{ MPa}$$

则 $\sigma_c < [\sigma]$, 满足强度要求。

(4) 螺纹强度计算

一般螺母的材料强度低于螺杆, 故只校核螺母螺纹牙的强度。

$$\text{螺纹牙的剪切强度条件为: } \tau = \frac{Q}{\pi D_4 b Z} \leq [\tau] = 30 \sim 50 \text{ MPa}$$

式中: Z 为螺纹工作圈数, b 为螺纹牙根部厚度, $[\tau]$ 为螺母材料的许用剪切应力。

梯形螺纹 $b = 0.65P = 3.25 \text{ mm}$, 则 $\tau = 7.64 \text{ MPa} \leq [\tau]$, 满足要求

(5) 螺杆稳定性计算

$$\text{螺杆受压不失稳的条件式为: } \frac{Q_c}{Q} \geq S_s$$

式中: Q_c 为螺杆失稳时的临界载荷, S_s 为保证螺杆不失稳的最小安全系数, 传力螺杆 $S_s = 3.5 \sim 5.0$ 。

$$\lambda_s = \frac{\mu l}{i} = \frac{4\mu l}{d_1}$$

千斤顶可看作一端固定、一端自由, 取 $\mu = 2$

$$\text{最大工作长度 } l = L_{\text{螺纹1}} + \frac{H}{2} + h_1 + b = 187.5 \text{ mm}$$

$$\text{则 } \lambda_s = 66.67$$

由于 $40 < \lambda_s < 100$, 对于 45 号钢

$$Q_c = (461 - 2.57\lambda_s) \frac{\pi d_1^2}{4} = 115.17 \text{ kN}$$

$$\text{则 } \frac{Q_c}{Q} = 5.76 \geq S_s, \text{ 满足稳定性要求}$$

4. 效率计算

$$\eta = \frac{QP}{2\pi(T_1 + T_2)} = 21.85\%$$

5. 参考文献

- [1] 郝子军.螺旋千斤顶的设计计算[J].筑路机械与施工机械化,1998,(02):2-4+44.
- [2] 陈秀宁,顾大强.机械设计[M].浙江大学出版社,2017.
- [3] GB 1176-1987,铸造铜合金技术条件[S].
- [4] GB/T 5796.3-1986,梯形螺纹 基本尺寸[S].
- [5] 陈秀宁,施高义.机械设计课程设计[M].浙江大学出版社,2012.
- [6] GB/T 78-2007,内六角锥端紧定螺钉[S].
- [7] GB/T 70.1-2000,内六角圆柱头螺钉[S].