

自卸运砂船皮带运输机设计分析

鲁世军

(重庆市船舶检验中心有限公司, 重庆 400000)

摘要:为了保证河砂供货需求,船舶具有装载量大,运输成本低的优势,故研制开发载重量大,投资成本低,高效卸货能力的自卸运砂船迫在眉睫。本文根据自身工作经验,结合实际情况,就自卸运砂船皮带运输机的受力计算进行分析。

关键词:运砂船;皮带运输机;设计

中图分类号:TD634.1

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2022)36-0127-03

0 引言

顺应时代的发展,高速公路、房地产的建设也跨入了一个新时代,河砂作为基础建设的主要材料,需求量日益巨增。河砂运输过去大多数采用重型卡车运输方式,此运输方式成本高,还容易出现砂石泄漏造成二次污染^[1]。为了保证河砂供货需求,船舶具有装载量大,运输成本低的优势,故研制开发载重量大,投资成本低,高效卸货能力的自卸运砂船迫在眉睫。该船的技术难点在于皮带运输机的设计,本人曾经从事过皮带运输机的设计、施工、实船回访等相关工作^[2]。现将本人曾经为实船设计过的自卸运砂船皮带运输机的设计思路做如下分析。

本皮带运输机系统由两部分组成,分别为底舱皮带运输机和通岸皮带运输机,先由底舱皮带运输机将河砂由舱底输出,运送到通岸皮带运输机上,再运送到岸上运砂车,其原始参数及物料特性如下:介质为河砂,松散密度 $\rho=1800\text{kg/m}^3$, 输送能力要求 $Q\geq 150\text{t/h}$, 安息角 $\alpha=40^\circ$ 。

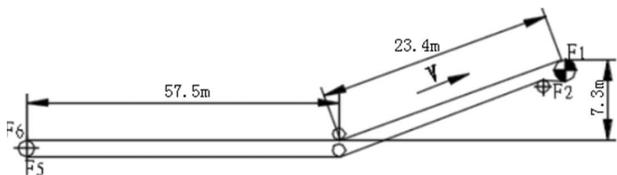


图1 舱底皮带运输计算

1 底舱皮带运输机的计算

1.1 初始设计参数

机长 $L=80.9\text{m}$, 其中水平段 $L=57.5\text{m}$; 倾斜段 $L=23.4\text{m}$, 高差 $H=7.3\text{m}$ 。

传动滚筒取 $\phi 500$, 电机转速为 1460r/min , 减速机

速比为 31.50 , 由此得带速 $v=(1460/31.50)\times 0.5\pi=46.35\times 0.5\times 3.14\text{m/min}=1.21\text{m/s}$ 。

带宽 $B=800\text{mm}$, 上托辊间距 $a_0=1\text{m}$, 下托辊间距 $a_u=3\text{m}$, 上托辊槽角 $\lambda=35^\circ$, 下托辊槽角 0° 。

1.2 由带宽、带速验算输送能力

$$Q=3.6Svk\rho$$

式中: S ——输送带上物料的最大横截面积, m^2 ; 由 $\theta=(0.5\sim 0.75)\alpha$, 取 $\theta=23^\circ$, 查得 $S=0.0714$; k ——输送机的倾角(取大倾角) $\delta=\arcsin\frac{H}{L}=18.2^\circ$, 查得系数为 0.84 。

最大输送能力 $Q_{\text{max}}=3.6\times 0.0714\times 1.21\times 0.84\times 1800=470.3\text{t/h}$, 满足输送能力要求, 实船输送能力取 $Q=200\text{t/h}$ 。

1.3 驱动力及所需传动功率计算

1.3.1 圆周驱动力

$$\text{由式: } F_u=CfLg[q_{\text{RO}}+q_{\text{RU}}+(2q_b+q_c)]+q_cHg+F_{s1}+F_{s2}$$

C ——查得为 2.0 ; f ——模拟摩擦系数, 查得为 0.025 ; L ——输送机长度 80.9m ; H ——输送机高度差 7.3m 。

查得上托辊 $\phi 108\text{mm}$, $L=315\text{mm}$, 轴承 $4G205$, 单个上辊转动部分质量 $q'_{\text{RO}}=3.53$ 。

$$q_{\text{RO}}=\frac{q'_{\text{RO}}}{a_0}=\frac{3\times 3.53}{1}=10.59(\text{kg/m})$$

查得下托辊 $\phi 108\text{mm}$, $L=950\text{mm}$, 轴承 $4G205$, 单个下辊转动部分质量 $q'_{\text{RU}}=8.74$ 。

$$q_{\text{RU}}=\frac{nq'_{\text{RU}}}{a_u}=\frac{1\times 8.74}{3}=2.91(\text{kg/m})$$

计算 q_b 。初选输送带棉帆布 $CC-56$, $Z=8$ 层。通过查询, $CC-56$ 输送带的每层质量 1.36kg/m^2 , 上胶厚 $\delta_1=$

3.0mm, 下胶厚 $\delta_2=1.5\text{mm}$ 。每毫米厚胶料质量 1.19kg/m^2 , 带宽 0.80m^3 。

$$q_B=[8 \times 1.36+(3.0+1.5) \times 1.19] \times 0.80=12.99\text{kg/m}。$$

计算 q_G , 由公式可得:

$$q_G=\frac{Q}{3.6v}=\frac{200}{3.6 \times 1.21}=45.91\text{kg/m}。$$

计算 F_{S1} 、 F_{S2} 。由于无导料槽和清扫器, $F_{S1}=0$ 、 $F_{S2}=0$ 。将上述数值代入公式中得:

$$F_U=2.0 \times 0.025 \times 80.9 \times 9.81 \times [10.59+2.91+(2 \times 12.99+45.91)]+45.91 \times 7.3 \times 9.81=6676.2(\text{N})。$$

1.3.2 传动功率计算

$$\text{由公式 } P_A=F_U v=6676.2 \times 1.21=8078.2\text{W}。$$

$$\text{由公式 } P_M=\frac{P_A}{\eta_1}=\frac{8078.2}{0.80}=10097.75\text{W}=10.1\text{kW}。$$

式中: η_1 ——传动滚筒及联轴器效率, 取 0.80。

1.4 输送带张力计算

1.4.1 限制输送带下垂度的最小张力

$$\text{按公式得承载分支 } F_{\min} \geq \frac{a_0(q_B+q_G)g}{8(h/a)_{\max}}$$

$$\text{取 } (h/a)_{\max}=0.01, a_0=1\text{m}。$$

$$F_{\min} \geq \frac{1 \times (12.99+45.91) \times 9.81}{8 \times 0.01}=7222.6(\text{N})。$$

按公式得回程分支 ($a_u=3.0\text{m}$)。

$$F_{\min} \geq \frac{a_u q_B g}{8(h/a)_{\max}}=\frac{3 \times 12.99 \times 9.81}{8 \times 0.01}=4778.7(\text{N})。$$

1.4.2 输送带工作时不打滑需保持的最小张力

$$\text{由公式得 } F_{2\min} \geq F_{U,\max} \frac{1}{e^{\mu\phi} - 1}$$

按公式求起动时传动滚筒上最大圆周力。

$$F_{U,\max}=F_U K_A。$$

式中: K_A ——起动系数, 取 1.5。

$$F_{U,\max}=F_U K_A=6676.2 \times 1.5=10014.3(\text{N})。$$

$$e^{\mu\phi} \text{——尤拉系数, 取决于 } \mu, \phi, \text{查得 } e^{\mu\phi}=1.39。$$

其中: μ ——传动滚筒和输送带之间的磨擦系数, 取 0.10; ϕ ——传动滚筒的围包角, 取 190° 。

$$\text{则 } F_{2\min} \geq 10014.3 \times \frac{1}{1.39-1}=25677.7(\text{N})。$$

由 $F_{2\min}=25677.7(\text{N})$, 计算输送机各点张力, 忽略附加阻力, 可得 F_6 点张力。

$$\begin{aligned} F_6 &= F_2 - q_B H g + F_r + f L g (q_{R0} + q_B) \\ &= 25677.7 - 12.99 \times 7.3 \times 9.81 + 0 + 0.025 \times 80.9 \times 9.81 \times \\ &\quad (10.59 + 12.99) \end{aligned}$$

$$= 25215.29(\text{N}) \geq 7222.6(\text{N})。$$

则取 $F_2=25677.7(\text{N})$, 可得稳定工况下 $F_{1\max}=F_2+F_U=25677.7+6676.2=32353.9(\text{N})$ 。

1.4.3 输送带层数计算

$$\text{由公式得 } Z=\frac{F_{1\max}}{B\sigma}=\frac{32353.9 \times 11}{800 \times 56}=7.9。$$

式中: n ——稳定工况下输送带静安全系数, 取 11; σ ——输送带纵向扯断强度, 取 56, 取 8 层, 与初选相同^④。

底舱皮带运输机部分实际选用情况如下: 电动机转速 1460r/min, 功率 15kW 为宜。

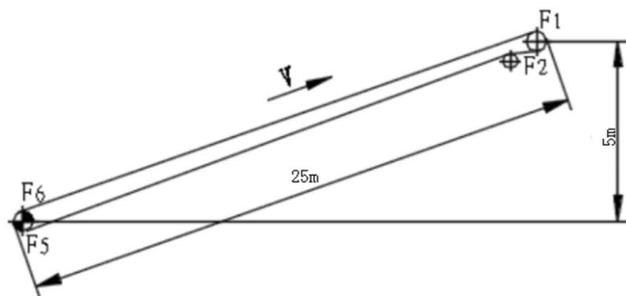


图2 通岸皮带运输机精算

传动滚筒选用 $\phi 500$ 传动滚筒, 滚筒表面为光面; 减速器选用 JZQ400-4-1, 速比 31.50。

2 通岸皮带运输机的计算

2.1 初始设计参数

机长 $L=25\text{m}$, 高度差 $H=5\text{m}$ 。

传动滚筒取 $\phi 320$, 电机转速为 1460r/min, 减速机速比: 20.49, 由此得带速 $v=1460/20.49 \times 0.32\pi=71.3 \times 0.32 \times 3.14\text{m/min}=1.193\text{m/s}$ 。

带宽 $B=650\text{mm}$, 上托辊间距 $a_0=1\text{m}$, 下托辊间距 $a_u=3\text{m}$, 上托辊槽角 $\lambda=35^\circ$, 下托辊槽角 0° 。

2.2 由带宽、带速验算输送能力

$$Q=3.6Svk\rho。$$

式中: S ——输送带上物料的最大横截面积, m^2 ; 由 $\theta=(0.5\sim 0.75)\alpha$, 得 $\theta=20^\circ$, 查得 $S=0.0433$; k ——输送机的倾角 $\delta=\arcsin\frac{H}{L}=11.5^\circ$, 查得系数为 0.935。

最大输送能力 $Q_{\max}=3.6 \times 0.0433 \times 1.193 \times 0.935 \times 1800=313.0\text{t/h}$, 满足输送能力要求, 实船输送能力取 $Q=200\text{t/h}$ 。

2.3 驱动力及所需传动功率计算

2.3.1 圆周驱动力

$$\text{由式 } F_U=CfLg[q_{R0}+q_{RU}+(2q_B+q_G)]+q_G H g+F_{S1}+F_{S2}。$$

C ——查得为 3.2; f ——模拟摩擦系数, 查得为 0.025;

L——输送机长度 25m; H——输送机高度差 5m。

查得上托辊 $\phi 89\text{mm}$, $L=250\text{mm}$, 轴承 4G204, 单个上辊转动部分质量 $q'_{RO}=2.15$ 。

$$q_{RO} = \frac{nq'_{RO}}{a_0} = \frac{3 \times 2.15}{1} = 6.45 \text{ (kg/m)}。$$

查得下托辊 $\phi 89\text{mm}$, $L=750\text{mm}$, 轴承 4G204, 单个下辊转动部分质量 $q'_{RU}=5.79$ 。

$$q_{RU} = \frac{nq'_{RU}}{a_u} = \frac{1 \times 5.79}{3} = 1.93 \text{ (kg/m)}。$$

计算 q_B 。初选输送带棉帆布 CC-56, $Z=5$ 层。通过查询, CC-56 输送带的每层质量 1.36kg/m^2 , 上胶厚 $\delta_1=3.0\text{mm}$, 下胶厚 $\delta_2=1.5\text{mm}$ 。每毫米厚胶料质量 1.19kg/m^2 , 带宽 0.65m 。

$$q_B = [5 \times 1.36 + (3.0 + 1.5) \times 1.19] \times 0.65 = 7.9 \text{ kg/m}。$$

计算 q_G , 由公式得:

$$q_G = \frac{Q}{3.6v} = \frac{200}{3.6 \times 1.194} = 46.5 \text{ kg/m}。$$

计算 F_{S1} 、 F_{S2} 。由于无导料槽和清扫器, $F_{S1}=0$ 、 $F_{S2}=0$ 。将上述数值代入公式中得:

$$F_U = 3.2 \times 0.025 \times 25 \times 9.81 \times [6.45 + 1.93 + (2 \times 7.9 + 46.5)] + 46.5 \times 5 \times 9.81 = 3667.6 \text{ (N)}。$$

2.3.2 传动功率计算

$$\text{由公式 } P_A = F_U v = 3667.6 \times 1.193 = 4375.4 \text{ W}。$$

$$\text{由公式 } P_M = \frac{P_A}{\eta_1} = \frac{4375.4}{0.80} = 5469.3 \text{ W} = 5.5 \text{ kW}。$$

式中: η_1 ——传动滚筒及联轴器效率, 取 0.80。

2.4 输送带张力计算

2.4.1 限制输送带下垂度的最小张力

$$\text{按公式得承载分支 } F_{\min} \geq \frac{a_0 (q_B + q_G) g}{8 (h/a)_{\max}}$$

取 $(h/a)_{\max}=0.01$, $a_0=1\text{m}$ 。

$$F_{\min} \geq \frac{1 \times (7.9 + 46.5) \times 9.81}{8 \times 0.01} = 6670.8 \text{ (N)}。$$

按公式得回程分支 ($a_u=3.0\text{m}$)。

$$F_{\min} \geq \frac{a_u q_B g}{8 (h/a)_{\max}} = \frac{3 \times 7.9 \times 9.81}{8 \times 0.01} = 2906 \text{ (N)}。$$

2.4.2 输送带工作时不打滑需保持的最小张力

$$\text{由公式得 } F_{2\min} \geq F_{U, \max} \frac{1}{e^{\mu\phi} - 1}。$$

按公式求起动时传动滚筒上最大圆周力:

$$F_{U, \max} = F_U K_A。$$

式中: K_A ——起动系数, 取 1.5。

$$F_{U, \max} = F_U K_A = 3667.6 \times 1.5 = 5501.4 \text{ (N)}。$$

$e^{\mu\phi}$ ——尤拉系数, 取决于 μ , ϕ , 查得 $e^{\mu\phi} = 1.42$ 。

其中: μ ——传动滚筒和输送带之间的摩擦系数, 取 0.10; ϕ ——传动滚筒的围包角, 取 200° 。

$$\text{则 } F_{2\min} \geq 5501.4 \times \frac{1}{1.42 - 1} = 13098.6 \text{ (N)}。$$

由 $F_{2\min}=13098.6 \text{ (N)}$, 计算输送机各点张力, 忽略附加阻力, 可得 F_6 点张力。

$$\begin{aligned} F_6 &= F_2 - q_B H g + F_r + f L g (q_{RO} + q_B) \\ &= 13098.6 - 7.9 \times 5 \times 9.81 + 0 + 0.025 \times 25 \times 9.81 \times (6.45 + 7.9) \\ &= 12799.1 \text{ (N)} \geq 6670.8 \text{ (N)}。 \end{aligned}$$

则取 $F_2=13122.9 \text{ (N)}$, 可得稳定工况下 $F_{1\max}=F_2+F_U=13098.6+3667.6=16766 \text{ (N)}$ 。

2.4.3 输送带层数计算

$$\text{由公式得 } Z = \frac{F_{1\max}}{B\sigma} = \frac{16766 \times 11}{650 \times 56} = 5。$$

式中: n ——稳定工况下输送带静安全系数, 取 11; σ ——输送带纵向扯断强度, 取 56, 取 5 层, 与初选相同^[8]。

3 结语

综上所述, 通岸皮带输送机推荐选用如下: 电动机转速 1460r/min , 功率 7.5kW 为宜。传动滚筒选用 $\phi 320$ 传动滚筒, 滚筒表面为光面。减速器选用 JZQ350-5-1, 速比 20.49 (四川资阳市光达减速机制造有限公司)。该船出厂后运行情况良好, 特别是皮带运输装置各项技术指标令船东满意, 运营成本低、卸载砂石效率高、具有很强的市场竞争力。

参考文献

- [1] 王平. DT II 型固定带式输送机设计与计算[J]. 中国西部科技, 2013(2): 56-57.
- [2] 陈苏明. 气垫带式输送机机理及应用研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2002.
- [3] 王小周. 皮带输送机设计[J]. 现代经济信息, 2018(21): 386.
- [4] 李东君. 皮带运输机的 PLC 控制系统设计[J]. 机械研究与应用, 2005, 18(6): 79-80.
- [5] 杨静萍. 装板皮带运输机的研究设计[J]. 林业机械与木工设备, 2010, 38(6): 32-33.

作者简介: 鲁世军(1978—), 男, 汉族, 重庆人, 本科, 高级工程师, 主要从事船舶轮机方面工作。