

关于单螺杆泵输送脱水污泥的选型探讨

黄声志

斐柯机电工程(上海)有限公司 上海 201201

摘要: 由于单螺杆泵的工作特性,自身不产生任何压力,是靠克服管道阻力进行工作的,因此,输送管道阻力计算的准确与否,对螺杆泵的选型至关重要,管道阻力计算过小会导致单螺杆泵无法工作,管道阻力计算过大会导致能耗上升,造成能源浪费。本文针对脱水污泥的输送管道阻力进行展开,选用合适的电机功率,以期单螺杆泵在输送脱水污泥选型时提供理论设计基础,从而达到单螺杆泵泵送的最大效率及节能减排的目的。

关键词: 脱水污泥;单螺杆泵;管道阻力;电机功率

引言:

目前应用的主要机械污泥脱水技术,泥饼含水率可达75~80%左右,不仅减量化效果受到限制,也不能达到与后续处理处置过程有效衔接的要求,还需进行后段的深度污泥脱水,如污泥干化、焚烧等^[1]。由于单螺杆泵输送脱水污泥可实现密闭输送,不会形成二次污染;可以转弯、提升、布置方便;占地面积小,结构简单,易于维护和保养,因此,常用单螺杆泵将机械脱水后的污泥运至进入下一工艺段的污泥料仓。迄今为止,对单螺杆泵输送脱水污泥应用的文献较多,文献[2]只是从理论角度对单螺杆泵应用进行了分析,本文主要结合经验公式对单螺杆泵的选型及应用进行建议和探讨。

1 输送脱水污泥单螺杆泵的选型

常规输送脱水污水时单螺杆泵均采用矩形入口且配有进料螺旋进行辅助进料,由于脱水污泥的高磨损性,泵的转速在选型时应尽可能的慢,转速过快会导致定子急剧升温而发生损坏。由于脱水污泥属于复杂的非牛顿流体,其复杂多样的流变特性直接影响了污泥在管道运输及泵送过程中的流动特性^[3]。工作压力及电机功率是单螺杆泵的选型重点。

1.1 管道阻力计算

脱水污泥通过单螺杆泵做功在输送管道内流动时,由于介质与输送管道会有摩擦及介质自身的内部阻力而造成的能量损失,即沿程阻力损失。同时,当介质在经过在有阀门和弯头等管件时,也会有能量损失,即局部

阻力损失。管道阻力损失为沿程阻力损失和局部阻力损失之和,其大小要根据管道长度、管径、弯曲半径、流量及介质粘度来确定。

1.1.1 沿程阻力损失计算

机械脱水后的污泥运至进入下一工艺段的污泥料仓,介质从输送泵出口到污泥料仓入口之间的能量损失为沿程阻力损失,采用达西公式计算介质在管道中流动的压力损失,计算公式为:

$$H_f = f \frac{L}{D} \rho \frac{V^2}{2} \quad (1)$$

公式(1)中 H_f 为沿程阻力损失、 f 为摩擦系数、 L 为管道长、 D 为管道直径、 ρ 为介质密度、 V 为介质的平均流速。其中 f 摩擦系数为变化值,根据雷诺数的变化而变化。当流体状态为层流即 $Re < 2300$ 时, f 计算公式为: $f = 64 / Re$ (2)

公式(2)中, Re 为雷诺数,摩擦系数 f 与雷诺数 Re 成反比,雷诺数越小,摩擦系数越大;雷诺数越大,摩擦系数越小。雷诺数的计算公式为: $Re = \rho v D / \mu$ (3)

公式(3)中 ρ 和 μ 分别表示介质的密度和动力粘度。

1.1.2 局部阻力损失计算

为了检修及管路走向需要,输送管路不可避免的需要安装阀门、弯头等管件。当介质通过阀门、弯头等管件时,介质形态将发生变化,为了克服这种变化而引起的能量损失称之为局部阻力损失。与局部阻力损失相关的因素大致为以下二类:

(1) 由于闸阀的管道截面同输送管道的管径相比存在差异,介质通过闸阀时会因截面积的变化而导致能量损失。

(2) 在实际项目中需要安装弯头以匹配现场需求,由于介质的流动方向产生变化,将引起额外的能量损失。

作者简介: 黄声志,男,汉,生于1986年9月,本科毕业,就职于斐柯机电工程(上海)有限公司,担任技术主管,工程师,研究方向:单螺杆泵,邮箱:sosd0110@163.com。

文献[2]建议弯头的管道的弯曲半径要大于等于4-5倍的管道直径。根据试验数据以相关资料,弯头半径的阻力系数参考表1。

表1 90度弯头弯曲半径阻力系数表

弯头半径	3D	4D	5D
阻力系数	2	0.8	0.2

为了计算方便,局部阻力损失继续采用达西公式进行计算,将介质通过的管件根据经验值换算成当量长度,当量长度系数参考表2。

表2 当量长度系数参考表

当量长度	数量
球阀当量长度系数(k1)	30
闸阀当量长度系数(k2)	8
90°弯头当量长度系数(k3)	16
45°弯头当量长度系数(k4)	4

当量长度计算公式参考 $Le = k \cdot D$ (4)

公式(4)中k为当量长度系数,D为管道直径。将Le代入公式(1)中得出局部阻力损失。计算公式为:

$$H_j = f \frac{Le}{D} \phi \frac{V^2}{2} \quad (5)$$

1.2 流量和转速

脱水污泥因含固量高,泵选型时应将定子、转子相对滑移速度控制在0.5m/s以下,以防定转子磨损过快,扬程下降而导致不能将脱水污泥输送至预定位置的情况发生。一般输送脱水污泥时推荐单螺杆泵的转速不超过130rpm。

滑移速度可通过公式进行计算:

$$v_g = \frac{n \cdot U}{60 \cdot 1000} < 0.5 \text{ m/s} \quad (6)$$

公式(6)中 v_g 为滑移速度,年n为泵的转速,U为定子型腔的截面周长。

泵的流量可通过公式进行计算:

$$Q_{ih} = 4 \times e \times d \times 2s \times n \times 60 \quad (7)$$

公式(7)中 Q_{ih} 为泵每小时的流量,e为泵的转子偏心距、d为泵的转子直径、s为转子的螺旋导程,n为泵的转速。

1.3 工作压力

根据本文1.1的要求对管道阻力进行核算,确认好单螺杆泵的工作压力,由于脱水污泥的高磨损性,不建议按计算的实际计算压力进行选型,否则单螺杆泵的寿命会很低,建议预留至少1/3的压力余量进行选型设计。

1.4 电机功率

由于脱水污泥粘度高,且在停泵一段时间后管道内

脱水污泥局部结块,在次启动时管道阻力将大大增加,因此电机功率应至少是计算的实际功率的两倍。

$$电机实际功率计算公式为: P_B = \frac{Q_{th} \cdot \eta_{vol} \cdot \Delta p}{36 \cdot \eta_{ges}} \quad (8)$$

公式(8)中 P_B 为泵的运行功率, Q_{th} 为泵的每小的流量, η_{vol} 为泵的容积效率, Δp 为泵的压差, η_{ges} 为泵的总效率。

2 工程实例

某污水厂拟采用单螺杆泵将含水率为80%的脱水污泥输送至固定位置的污泥料仓,输送管路内径为DN300,输送量要求为10m³/h,水平输送距离为50米,爬高距离为10米,90度弯头数量为3个,闸阀数量为1个,污泥密度假定为1.2kg/dm³,脱水污泥动力粘度根据经验为 $\mu=0.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 。计算管道阻力由此来确定单螺杆泵的选型。

沿程阻力损失计算:

首先计算介质的平均流速:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3600}{0.3^2 \times \frac{3.14}{4}} = 0.0393 \text{ m/s}$$

$$雷诺数 Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1.2 \cdot 0.0393 \cdot 0.3}{0.5} = 0.02829$$

$$摩擦系数 f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{0.02829} = 2261.9$$

根据公式(1)得出沿程阻力损失

$$H_f = f \frac{L}{D} \phi \frac{V^2}{2} = 2261.9 \times \frac{50}{0.3} \times 1.2 \times \frac{0.0393^2}{2} = 350 \text{ J/kg}$$

局部阻力损失计算:

闸阀当量长度计算: $Le1 = k \cdot D = 30 \cdot 0.3 = 9\text{m}$

由于4D的弯头变径的阻力系数为0.8,弯头当量长度计算: $Le2 = k \cdot D \cdot 0.8 = 16 \cdot 0.3 \cdot 0.8 = 11.5\text{m}$

当量总长度为: $Le = Le1 + Le2 = 9 + 11.5 = 20.25\text{m}$

根据公式(5)得出沿程阻力损失

$$H_j = f \frac{Le}{D} \phi \frac{V^2}{2} = 2261.9 \times \frac{20.25}{0.3} \times 1.2 \times \frac{0.0393^2}{2} = 144 \text{ J/kg}$$

爬高阻力损失计算:

由于爬高为10米。我们近似的认为爬高阻力损失为: $\Delta P3 = \rho \cdot g \cdot H = 12\text{m}$

总阻力损失

$$\Delta P = \frac{H_f}{g} + \frac{H_j}{g} + \Delta P3 = \frac{350}{9.8} + \frac{144}{9.8} + 12 = 65.4\text{m} = 6.54\text{Bar}$$

泵的工作压力必需大于7Bar,考虑还需预留压力余量,因此选用工作压力为12Bar的单螺杆泵,即2级泵。

确认好泵的工作压力后,根据泵厂家的产品数据进行定转子间的相对滑移速度核算,如1.2中的公式(6)所述,相对滑移速度 $v_g \leq 0.5$ m/s即符合要求,以此来确认泵型。

将 ΔP 代入公式(8)中得出电机的实际功率 P_B ,选用的电机功率应为 $P = 2 \times P_B$ 。

3 单螺杆泵运行中需要注意的问题

(1) 由于单螺杆泵定子和转子的配合为过盈配合,需要介质进行润滑及带走运行过程中产生的热量。因此,螺杆泵在运行过程中禁止在未进料的情况下运行,否则,定子会因为无润滑产生干磨而迅速升温,损坏定子。一般推荐在定子的进料侧安装干运行保护器,当定子温度升至设定温度时,泵停止工作,防止定子因温度过高导致橡胶老化。

(2) 对于污泥输送管道,如果管径过小,会引起阻力的增加;如果管径过大,管壁与介质的接触面积会增加,也会引起阻力的增加。建议结合介质在管道内的流速和管道阻力的理论计算进行选择合理管径。

4 结语

单螺杆泵的工作压力受管道直径的影响很大,在前期选型时,应采用不同的管径对管道阻力进行多次复核,选用经济性最高的管道直径。一般而言,更大的管道直径可以降低泵的工作压力。本文提出的管道阻力计算方法为理论计算方法,为单螺杆泵的工作压力选用提供理论支持。

参考文献:

- [1]高超,杨彪.污泥深度脱水技术在市政污泥处理中的应用[J].环境与发展,2020:98-99.
- [2]蔡芝斌,李再澄,杨平昌,杨玲.单螺杆泵输送脱水污泥的应用探讨[J].给水排水,2011.
- [3]刘青青.基于污泥流变特性的管道运输摩阻的研究[J].中国设备工程,2013(11):47-48.
- [4]王泉,饶杰,王弼.管道阻力计算[J].压缩机技术,2018(6):26-29.
- [5]中国石化兰州设计院, HG/T 20570.7-95 管道压力将计算