

钢丝绳承载受力特性分析及计算

王宏武,魏发孔

(兰州理工大学 舞台设备研究所,甘肃 兰州 730050)

摘要:对钢丝绳的挠特性及其结构特点进行了分析,对其承载受力及破坏形式作了介绍。进一步探讨了钢丝绳安全性、耐久性设计的相关因素。为正确设计及使用维护关键部位的钢丝绳承载结构提供依据。

关键词:钢丝绳;弯曲;应力;安全性;耐久性

中图分类号:TH213

钢丝绳是机械设备中常用的零件,也是舞台机械设备中的重要零件之一,主要用于起升机构、牵引机构、旋转机构以及其它需要变向的传力机构等,当作为起升机构时成为关键零件,特别是用在舞台上。因此,有必要对其承载受力特性进行分析,以便更好地设计计算及维护使用。

钢丝绳是一种挠性零件,具有强度高、自重轻、弹性好、运行平稳适合于高速、远距离、换向传力以及极少突然破断的优点。

1 钢丝绳的挠特性分析及其结构特点

钢丝绳的挠性即易弯曲特性通过直梁弯曲的挠曲线微分方程证明,当单根钢丝受力弯曲时,其挠曲线微分方程为

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M(x)}{EI} \text{ 由此得出}$$
$$M(x) = \frac{EI}{\rho} = \frac{E}{\rho} \frac{\pi \delta^4}{64} \quad (1)$$

式中

$M(x)$ —单根钢丝弯曲的弯矩

E —钢丝材料的弹性模量

ρ —弯曲时的曲率半径

$$I = \frac{\pi \delta^4}{64} \text{— 钢丝截面的惯性矩}$$

δ —钢丝直径

由(1)式看出,单根钢丝弯曲时的弯矩 M 与 ρ 成反比、与 δ^4 成正比,故钢丝直径的大小对弯矩最为敏感,直径愈小,所需弯矩愈小,也更易于弯成较小的曲率半径。

基于上述原理,钢丝绳则由许多直径很小的细钢丝组成,因此而具有挠性好、强度及韧性高的特

性。

细钢丝制成钢丝绳的工艺过程是先将其捻制成股,再将若干股围绕绳芯捻制成绳。结果其中的多根钢丝都成螺旋形,如此,在钢丝绳弯曲时,每根钢丝处在外侧的一段受拉伸长,处在内侧的一段受压缩短,则综合起来拉压相抵补偿,对弯曲产生很小的阻碍。因此,弯曲时各钢丝之间相对滑动,补偿抵消了各钢丝的伸长与缩短量,使其在高强度、高韧性下具有更大的挠性或曲率。

组成钢丝绳的钢丝在反复冷拔和热处理的过程中变形强化达到了很高的强度,其抗拉强度在 1400~2000MPa 之间。远远高出普通机械零件。但是,为了获得理想的挠性,单根钢丝的直径很小,通常为 $(\varphi 0.5 \sim 2)$, 设计及使用若不遵循钢丝绳的结构特点,将难于达到理想的使用结果,甚至会造成安全隐患。

2 钢丝绳的受力分析及破坏形式

钢丝绳中的钢丝在承载时受力情况十分复杂,其应力计算比较繁琐。通常,工程研究中概略地考查所受的几种主要应力。

1) 拉应力 σ

$$\sigma_l = k \frac{F}{i \frac{\pi}{4} \delta^2} = k \frac{F}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (2)$$

式中

F —钢丝绳的拉伸载荷

i —钢丝绳中钢丝的根数

d —钢丝绳的直径

$$\varphi = \frac{i \pi \delta^2}{4 \frac{\pi}{4} d^2} \text{— 充满率 (根据股数不同,}$$

可在有关资料中查得)

k - 不均匀系数

其余符号同前。

由式(2)看出,钢丝绳的拉应力计算与整体圆杆拉应力计算的差别在于要考虑多根成股的影响因素。

其中,充满率是钢丝的合成截面在钢丝绳截面中所占比例的影响程度,与钢丝成股的方式及股数有关,其值一般不大于 0.5。不均匀系数是考虑钢丝有一定的螺旋角,并且应力分布不匀,一般为 1.2。

2) 弯曲应力 σ_w

当钢丝绳绕过卷筒或滑轮转向时,钢丝受到弯曲,其弯曲应力由经验公式给出:

$$\sigma_w \approx 0.4 \frac{\sigma_b}{D} \quad (3)$$

D - 卷筒或滑轮的直径

其余符号同前。

由(3)式看出,钢丝绳绕在卷筒或滑轮上时的弯曲应力比直钢丝绕在卷筒或滑轮上时的要小,前者约为后者的 40%,这是由于钢丝绳受到弯曲时,是在螺旋状态下。

3) 挤压应力 σ_j 由钢丝绳在圆筒上受挤压时钢丝的微分压力推得,钢丝与绳槽接触点之间的最大挤压载荷为

$$P = \frac{8FL}{nmD} \quad (4)$$

L - 股中外层钢丝的螺旋导程

n - 钢丝绳外层的股数

m - 股中外层钢丝的根数

其余符号同前。

由(4)式看出:

(1) 钢丝绳的拉伸载荷—此处为张力 F 愈大,接触点的挤压载荷就愈大;

(2) 股的捻距(螺旋导程) L 愈长,挤压载荷愈大。故在制造工艺中规定一定的捻距,使其尽可能短;

(3) 外层股数 n 愈多,挤压载荷愈小;

(4) 在保证磨损寿命的钢丝直径限定条件下,股中外层钢丝根数愈多,挤压载荷愈小;

(5) 卷筒或滑轮的直径愈大,挤压载荷愈小,同时由(3)得出其弯曲应力也小。因此,增大卷筒或滑轮的直径有利于延长钢丝绳的寿命。

在挤压载荷 P 作用下所产生的钢丝与绳槽接

触点之间的挤压应力为

$$\sigma_j = 0.3883 \sqrt{\frac{PE_z^2}{\rho_z^2}} \quad (5)$$

ρ_z - 接触折合曲率半径

$$E_z = \frac{2EE_1}{E + E_1} - \text{折合弹性模量}$$

E_1 - 卷筒或滑轮槽材料的弹性模量

其余符号同前。

由(5)式计算的挤压应力没有考虑材料接触处塑性变形及磨损的因素,当塑性变形及磨损使接触面积增大时,接触应力将大大降低。

同时,由(5)式看出,卷筒或滑轮槽材料的弹性模量对钢丝绳的使用寿命有显著的影响。采用低弹性模量的绳槽材料,可以降低挤压应力,延长钢丝绳的使用寿命。因此,采用铸铁卷筒或滑轮有利于钢丝绳的寿命。

由(5)式粗略计算的 σ_j 只是钢丝与绳槽接触点之间的挤压应力概值,在实际承载中,还存在钢丝之间的挤压应力,由于其过于复杂难以计算,这里不作太多探究。但是,参考(5)式可以对其做出初步的分析,推出概略的结论,满足工程中的使用。

根据对钢丝绳的承载受力和使用过程的经验证明,钢丝绳在要求的标准范围内正常使用过程中很少突然破断。其破坏主要是在长期使用中,外层钢丝由于磨损与疲劳逐步断折。随着断丝根数的增加,破断的速度也逐渐加快。当断丝根数达到一定程度后,使实际安全系数急剧降低,此时若继续承载将有突然破断的可能。

钢丝的断折主要是由于钢丝绳绕过滑轮时,钢丝在强大拉应力下,反复弯曲与反复挤压引起金属疲劳。当反复弯曲挤压达到一定次数,加上磨损,钢丝就会断折。断折的钢丝达到一定的根数,钢丝绳就应该报废,更换新绳。

钢丝绳的结构形式及种类较多,根据不同的用途,可在有关手册或样本中选用。对于舞台设备用钢丝绳通常都设计与选择不低于起重用的钢丝绳,上空吊挂设备或重要承载设备用的钢丝绳最好选载客电梯用钢丝绳。

3 钢丝绳的受力计算

钢丝绳在工作中大部分承受静载荷,在启动、停止时还承受动载荷(惯性载荷)。但是,为了简化计算,目前大都采用静力计算,并将安全系数放大,以

满足实际工程的安全需要。

按静力计算法选用钢丝绳直径时,要满足安全系数 K 及卷筒或滑轮的直径 D 的要求:

$$K = \frac{F_p}{F_{\max}} \geq [K] \quad (6)$$

$$D \geq (e-1)d \quad (7)$$

式中

F_p - 钢丝绳的破断拉力

F_{\max} - 钢丝绳的最大静拉力

$[K]$ - 安全系数,由有关标准规定

e - 可在手册中查到

其余符号同前。

由(6)、(7)式表达的計算式是最常规的静力计算方法,被广泛使用。但这种方法还不能充分地计算钢丝绳的安全性与耐久性。应当在充分试验的基础上建立更合理的计算方法。

比较合理的安全系数应为

$$K' = \frac{F_p'}{F_{\max}} \geq [K'] \quad (8)$$

F_p' - 钢丝绳达到报废标准时的破断拉力

对于耐久性演算,还需要做进一步地研究。

4 结论

(1)钢丝绳的挠特性及结构特点决定了它在承载受转向力时的应力状况。即,与圆直杆相比,它的

拉应力大、弯曲应力小、挤压应力复杂。

(2)在设计选择时,不宜为减小结构而选用破断拉力很高的钢丝绳,应该选择破断拉力适中、股数较多的规格,可提高使用寿命。

(3)钢丝绳绕过滑轮所受的损伤比绕入绕出卷筒的损伤强烈一倍,当安装条件允许时,放大滑轮直径对延长钢丝绳寿命显著有利。

(4)滑轮槽半径 R 的设计对钢丝绳寿命也有明显影响。 R 太大,钢丝绳接触应力增大;太小则夹绳。

(5)传力的结构布置对钢丝绳寿命也影响较大,应尽可能减少弯折次数;尤其尽可能避免反向弯折。

(6)使用过程的维护保养也至关重要。

(7)应严格按照报废标准及时更换处于危险的钢丝绳;按舞台设备的有关安全标准设计承载结构。

(8)安全性、耐久性设计的问题有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] 徐灏. 机械设计手册. 机械工业出版社, 2006. 6 第1卷 4-32~4-74.
- [2] 段慧文. 舞台机械的安全性、可靠性与安全防护装置. 演艺设备与科技, 2006(6): 46~50
- [3] 徐灏. 机械设计手册. 机械工业出版社, 2006. 6 第3卷 27-3~27-23.
- [4] 陈知泰, 余跃庆, 杜兆才等. 柔顺机构的传力效益分析. 起重运输机械, 2007(1): 26~27

(上接第94页)面位置进行探测,因为在不同地段地下介质的电性差异变化很大。采用SEEKER SPR探地雷达进行探测时,选用250MHz天线。

3.3 地下电缆线探测

因SEEKER SPR型探地雷达使用无屏蔽天线,而空中电缆发射的电磁波在空气中衰减很小,因此其干扰一般强度大,影响范围较宽,一旦与有效异常叠加,便影响探测效果。但这也给了我们启发,利用探地雷达的这种特性来探测地下电缆线。电缆线为了屏蔽外界干扰及减少电阻等原因一般都在其四周加钢丝绳,外面再加防水、防导电绝缘层,通电后产生的电磁波信号为电缆线的探测提供了可能。

4 结束语

最近几年,探地雷达探测技术令人满意的适应

了快速、准确探测地下目标体的要求,特别是对地下管线有着独特的优势。它的硬件设备不断更新,数据处理软件功能也不断强化。这为我们创造了优良的客观条件。在大量地下管线的探测的实践工作中,我们不断的总结反思,积累了大量的宝贵经验。探地雷达是基于介质的电性差异工作的,这一点尤为重要。同时,对原始数据的处理也是获得探地雷达良好应用效果的重要手段。

参考文献:

- [1] 李大心. 探地雷达方法与应用[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- [2] 张鸿升, 王万顺, 杨凤召, 王润环等编. 地下管线探测原理、方法与技术. 北京:中国矿业大学出版社, 1998.
- [3] 王兴泰主编. 工程与环境物探新方法新技术. 北京:地质出版社, 1996.