

文章编号: 0451—0712(2005)10—0073—05

中图分类号: U445. 38

文献标识码: B

缆索吊的设计安装及使用

李宝东

(路桥集团第一公路工程局一公司 北京市 102205)

摘 要: 在受施工场地、施工环境,以及其他外部条件限制时,无法使用吊车进行吊装,而又必须进行吊装作业的情况下,可以使用缆索吊进行吊装。缆索吊一般适用于垂直高度较大的垂直吊装和架空纵向运输。起吊重量可以从几吨到几十吨。其使用的塔架可以自行设计,就地制作安装。本文结合云南三界怒江大桥的施工特点,介绍缆索吊的设计、安装及使用过程中的一些注意事项。

关键词: 缆索吊; 设计; 安装; 使用

1 工程概况

云南三界怒江大桥,全桥长 357 m,主桥长 288 m,全桥位于直线段内。上部采用挂篮悬臂施工,最大悬臂长为 88 m,悬浇箱梁最高 9.5 m。0 号台位于怒江东岸的高坡上,1 号墩在怒江江边,其余墩台在怒江西岸(六库岸),地势落差大,东岸无便道可通,2 号墩墩身最高,为 34 m。怒江江中明、暗礁密布,江水湍急,平时江水流速为 5~6 m/s,下雨或洪水期流速达到 8~9 m/s,为不通航河道,平时只有小船摆渡过江,在涨水或风大时,小船便停止摆渡。在这种情况下,我们选用缆索吊进行吊装作业。

缆索吊的总体布置见图 1 所示。

2 缆索吊的设计及验算

2.1 几个参数的确定

缆索吊装系统是由主索、主索跑车、起重索、起重滑车组、牵引索、起重及牵引卷扬机、锚碇、塔架、风缆组成。

(1)根据地势及桥型的实际情况,确定塔架的间距为 407 m,即 $L=407\text{ m}$;进行单点起吊。

(2)桥上的挂篮及混凝土浇注时块件的最大重量为 7.5 t,所以缆索吊设计的最大起重吨位为 8 t,即 $G=8\text{ t}$ 。

(3)两岸设计塔架的顶面高程相等,西岸塔架高为 37 m,东岸塔架高为 29 m。主索最大垂度的位置

收稿日期:2005—09—14

气举反循环钻进正常工作状态下的操作要点基本上与泵吸式的相同,需注意的是空压机送风需与钻锥回转同时进行。接钻杆时,需将钻杆稍提升 30 cm 左右,先停止钻锥回转,再送风数分钟,将孔底钻渣吸尽,再放下钻锥,进行拆装钻杆工作,以免钻渣沉淀而发生埋钻事故。

3 结语

采用上述气举反循环工艺成孔的 130 m 超深桩施工,垂直度均符合 1/300 的质量要求,成桩经超声波检测均为 I 类桩,说明采用的施工工艺和措施是成功的,为同类型超深钻孔桩在黄河流域顺利施工取得了新的经验。但在施工中也出现了以下较难解

决的问题,需要在今后的工程实践中作进一步的研究探讨。

(1)施工地层为几百年来沉积而成,地层相对比较复杂,即容易缩径,又容易扩孔。由于桩孔很深,钻进时间相对较长,最后提钻时在缩径处由于孔壁被提起钻头的刮擦,掉下的护壁泥块在孔底形成较厚的沉渣,最厚达 2~4 m,较浅时也在 40 cm 左右,如沉渣厚达 2~4 m,需回钻并清孔,达到设计孔深和沉渣厚度后再提钻。

(2)由于有老粘土地层,钻头糊钻时候较多,施工中钻进本身转速较慢,采取的减压高转速钻进同时投放碎石效果不明显。

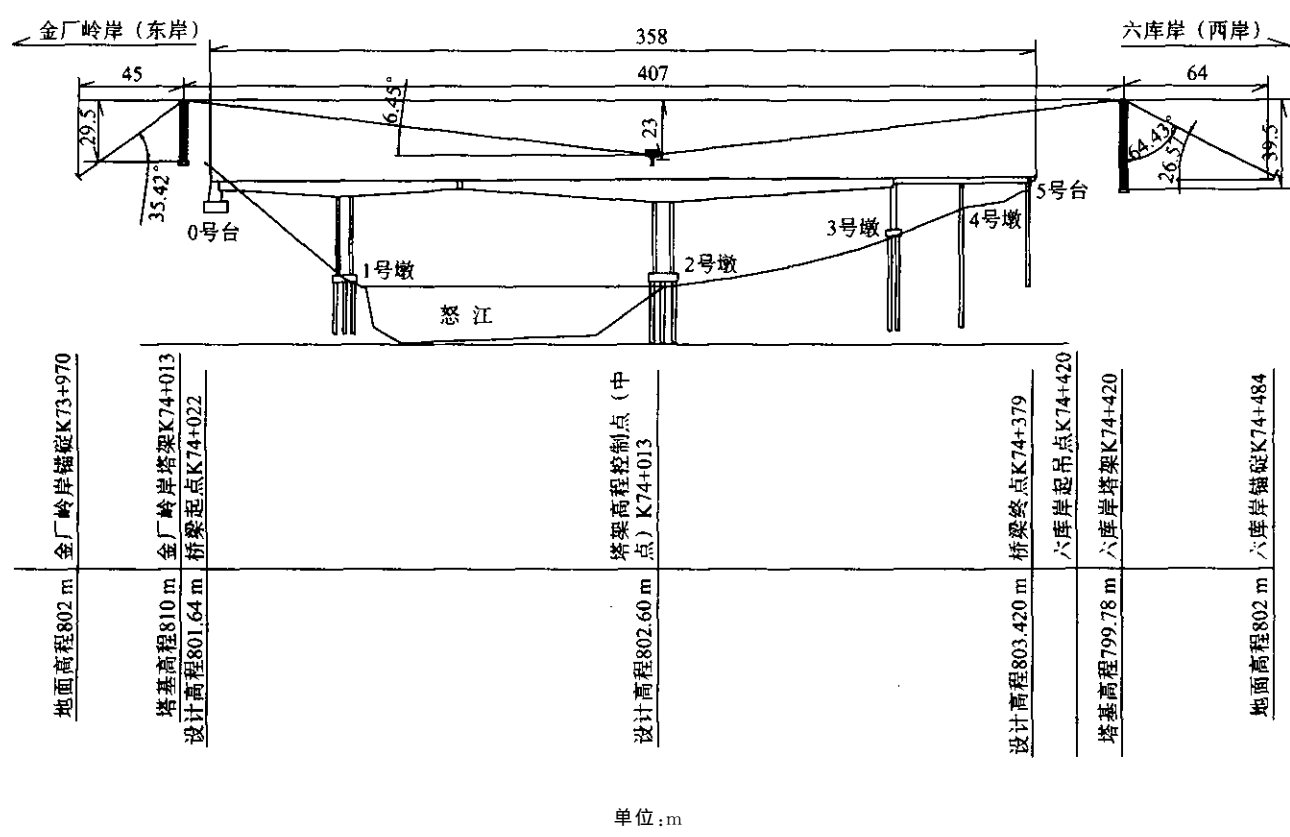


图 1 三界怒江大桥缆索吊总体布置

在主索的中间,设计最大工作垂度 $f_{\max} = L/18 = 22.61\text{ m}$,取 23 m ,当最大垂度 $f_{\max} = 23\text{ m}$ 时,主索到桥面的距离为 9.2 m ,减去滑轮和起吊重物的高度 (3 m),再减去挂篮的高度 (4.2 m)。吊装的最大安全距离为 3 m ,满足要求。

- (4) 钢丝绳的弹性模量取 $75\ 600\text{ MPa}$ 。
- (5) 缆索用各种钢丝绳的规格见表 1。

表 1 缆索用钢丝绳规格

项目	主索	起重绳	牵引绳	工作索
钢绳型号(6×37)	φ=42(ZS)	φ=17.5	φ=19.5	φ=28
截面积 A/mm²	649.7	111.53	141.16	294.52
单位重 q/(kg/m)	5.308	1.048	1.327	2.768
钢丝直径 d/mm	2.0	0.8	0.9	1.3
钢丝抗拉强度/MPa	1 670	1 670	1 670	1 670
破断拉力/t	1 085	18.70	23.95	482.1

2.2 主索的验算

本缆索主索由 2 组组成,每组 2 根。

2.2.1 主索的最大拉力和安全系数的验算

主索在自重 q 和集中荷载 Q 共同作用下(两支座等高, $\beta=0$):

$G_{\text{吊具配置}} = g_{\text{料斗}} + g_{\text{滑车组}} + g_{\text{跑车}}$

$$= 0.5\text{ t} + 0.25\text{ t} + 0.25\text{ t} = 1\text{ t}$$
$$Q = G_{\text{最大净吊装重}} + G_{\text{吊具配置}} = 8\text{ t} + 1\text{ t} = 9\text{ t}$$
$$q = q_{\text{主索}} + q_{\text{起重索}} + q_{\text{牵引索}} = (5.308 + (1.048 + 1.327)/2)/1\ 000 = 0.006\ 495\ 5\text{ t/m}$$

主索最大水平拉力 $H = \frac{qL^2}{8f} + \frac{QL}{4f} = 25.76\text{ t}$ (单根主绳 $Q = 4.5\text{ t}$)。

主索最大竖向拉力 $V = \frac{qL}{2} + \frac{Q}{2} = 3.57\text{ t}$ (单根主绳 $Q = 4.5\text{ t}$)。

单根主索最大拉力 $T = \sqrt{H^2 + V^2} = 26\text{ t}$ 。

主索安全系数,取吊重冲击影响的动载系数为 1.2,吊装跨度 $L = 407\text{ m}$, $\phi 42$ 钢绳破断拉力 108.5 t ,则 $K = \frac{P}{1.2T} = \frac{108.5}{1.2 \times 26.0} = 3.47$ 。

2.2.2 主索的最小垂度

主索与两塔架顶部连线的夹角 α 决定主索的垂度及受力,如果夹角 α 过小,主索将产生过大的力,当 $\alpha=0^\circ$ 时,主索的力为无穷大。所以必须控制 α 的大小,既控制最小垂度。因吊装时最大的重物是从 5 号台吊往最低处,所以只考虑冲击系数不考虑安全系

数,则主索的允许张力和跨中吊重后的垂度为:

$$\text{主索允许张力 } T_{\max} = \frac{T_N}{1.2} = \frac{108.5}{1.2} = 90.42 \text{ t}$$

$$H \approx T_{\max}$$

$$f_{\max} = \frac{qL^2}{8H} + \frac{QL}{4H} = 12.43 \text{ m}$$

既主索在吊设计吨位重物时的最小垂度不得小于 12.43 m,否则将发生安全事故。

2.2.3 主索的接触应力 σ 与安全系数 K

$$\sigma = \frac{T/2}{A} + E_K \times \frac{d}{D_{\min}} = 805 \text{ MPa}$$

$$K = \frac{[\sigma]}{\sigma} = 2.07 \quad ([K] \geq 2 \sim 3)$$

式中: D_{\min} 为跑车平滑最小直径, 250 mm; E_K 为钢丝绳弹性模量, $E_K = 75\,600 \text{ MPa}$; d 为主索的钢丝直径, 2.0 mm; $[\sigma]$ 为钢丝抗拉强度, 1 670 MPa; A 为起重绳面积, 649.7 mm^2 。

2.3 起重索的验算

本缆索主索由 2 组组成, 每组 2 根。

2.3.1 起重绳最大拉力 ($T_{\text{起}}$) 与安全系数 ($K_{\text{起}}$)

$$T_{\text{起}} = \frac{Q}{n\eta_1^m\eta_2^u} = 2.54 \text{ t}$$

$$K_{\text{起}} = \frac{T_{\text{破}}}{T_{\text{起}}} = 7.36 \geq [K_{\text{起}}] = (5 \sim 6)$$

式中: Q 为集中荷载, 9 t; n 为起重索工作绳线数, 4; η_1 为滑轮组工作效率, 取 0.96; η_2 为转向滑轮效率, 取 0.96; m 为滑轮组轮数, 为 2; u 为转向滑轮组轮数, 为 1。

2.3.2 起重绳接触应力 ($\sigma_{\text{起}}$) 与安全系数 ($K_{\text{起}}$)

$$\sigma_{\text{起}} = \frac{T_{\text{起}}}{A_{\text{起}}} \times E_K \times \frac{d}{D_{\min}} = 529.7 \text{ MPa}$$

$$K_{\text{起}} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{起}}} = 3.15 \quad ([K] \geq 2 \sim 3)$$

式中: d 为起重绳钢丝直径, 0.8 mm; D_{\min} 为起重滑车组的最小滑轮直径, 200 mm; $[\sigma]$ 为钢丝抗拉强度, 1 670 MPa; $A_{\text{起}}$ 为起重绳面积, 111.53 mm^2 。

2.4 牵引索的验算

牵引索的牵引力 W , 一般由跑车运动阻力 W_1 , 起重索运动阻力 W_2 和后牵引索自然松弛拉力 W_3 等三部分组成。在跑车运动到塔架时的牵引力为最大, 可以按照下面的公式进行近似计算:

$$W = Q \sin \theta + 0.15Q = 3.334 \text{ t}$$

$$\text{其中: } \tan \theta = 4f/L = 0.226$$

式中: W 为牵引拉力; Q 为集中荷载, 9 t; f 为工作垂度, 23 m; L 为牵引索两岸定滑车的距离, 为 407 m。

2.4.1 牵引索的最大拉力 $T_{\text{牵}}$

$$T_{\text{牵}} = (W + 2Lq)(2 - \eta^n) = 4.58 \text{ t}$$

式中: q 为牵引索的单位重量; η 为起重索穿过滑车的效率, 查表为 0.98; n 为牵引索穿过的滑车数, 为 2。

2.4.2 牵引索安全系数 $K_{\text{牵}}$

$$K_{\text{牵}} = \frac{T_{\text{破}}}{T_{\text{牵}}} = \frac{23.95}{4.58} = 5.23 \quad ([K_{\text{牵}}] = 3 \sim 4)$$

2.4.3 牵引索拉应力 $\sigma_{\text{牵}}$ 和安全系数 $K_{\text{牵}}$

$$\sigma_{\text{牵}} = \frac{T_{\text{牵}}}{A_{\text{牵}}} + E_K \times \frac{d}{D_{\min}} = 664.6 \text{ MPa}$$

$$K_{\text{牵}} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{牵}}} = 2.51 \quad ([K_{\text{牵}}] = 2 \sim 3)$$

式中: d 为牵引绳钢丝直径, 0.9 mm; D_{\min} 为最小滑轮直径, 200 mm; $A_{\text{牵}}$ 为牵引绳截面面积, 141.16 mm^2 。

2.5 塔架验算

塔架由六四军用梁拼装而成, 六四军用梁俗称三角架, 是全焊构架、销接组装、双层多片式, 由于西岸的塔架高 36 m, 而东岸的塔架高 28 m, 塔架顶部横梁高均为 1.5 m。而且牵引索及起重索的卷扬机都设在西岸, 所以只对西岸的塔架进行验算。塔架按照门字框架组成, 中间设置横向风构, 以增强整体的稳定性。一般三角桁架拼装的塔架内部有足够的刚度及稳定性, 因此验算应以销接节点控制设计。

2.5.1 塔架受力计算

西岸单根主绳对塔顶产生的水平力 H 和竖向力 V , 起重绳对塔顶产生的水平力 H 和竖向力 V 及牵引索对塔顶产生的水平力 H 和竖向力 V , 各力的角度见图 1。

经计算在最不利情况下, 4 根主索对塔顶产生向河侧水平力 $H = 10.36 \text{ t}$, 对塔顶竖向力 $V = 58.2 \text{ t}$; 在最不利情况下, 牵引索对塔顶产生向河侧的水平力 $H = 5.04 \text{ t}$, 对塔顶产生的竖向力 $V = 5.64 \text{ t}$ 。

2.5.2 西岸单根塔柱最不利情况

经计算在最不利情况下, 牵引索对塔顶产生向河侧水平力 $H = 7.54 \text{ t}$, 对塔顶产生竖向力 $V = 12.596 \text{ t}$ 。

2.5.3 销节点计算

销节点的受力图示如图 2 所示。

$$\text{计算式为: } N = \pm \frac{\sum M}{b} = \pm \frac{Qh + Pe}{b}$$

式中: N 为销节点的轴向力; M 为销节点的弯矩; Q 为塔顶所受的总水平力; P 为塔顶所受的总竖

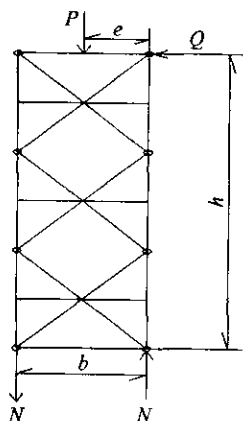


图2 销节点受力图式

向力,包括塔架自重; $P=V+G=40.69+0.45\times 18=48.79\text{ t}$; b, e, h 为力臂,其中 $b=3\text{ m}$, $e=1.5\text{ m}$, $h=37\text{ m}$ 。

$$N = \frac{12.7 \times 37 + 48.79 \times 1.5}{3} = 181\text{ t}$$

查得单根钢销抗剪强度取 585 MPa , 则:

$$S = 3.14 \times \left(\frac{4.85}{2} \right)^2 = 1\,847\text{ mm}^2$$

单颗钢销抗剪力为 108 t , 所以单侧塔架底部销子承受的剪力为 $108 \times 2 = 216\text{ t}$, 满足销子抗剪的要求。塔架在使用过程中, 大部分水平力已由抗风缆索承担, 塔架的控制除满足销子抗剪要求外, 还应控制顶部的纵向位移。

2.6 工作索的验算

工作索采用 $\phi 28$ 的钢丝绳, 它的主要作用是检查和处理吊装设施时载人、吊运工具、焊接接头设备等用, 安装前期可以用作主索的过江索。它一般不与主索同时使用, 所以在验算塔架的受力时可以不考虑, 但必须验算它载人的抗拉强度, 计算方法同主索。

2.7 抗风缆索的验算

两岸均采用 $\phi 28$ 钢绳作为前抗, 每塔架前抗各设 2 根, 对称分布, 前抗锚碇采用混凝土基础, 预埋 $\phi 32$ 的钢筋。每个塔架设 2 组后抗, 每组采用 4 线 $\phi 17.5$ 的钢丝绳并采用链滑车连接, 用以调节塔架水平受力, 后抗与主索在同一锚碇上锚固。

2.8 锚碇的验算

经计算, 锚碇所受的力, 包括水平力 $= 19.63\text{ t}$, 竖向力 $= 11.35\text{ t}$, 锚碇自重为 190 t 。

因锚碇自重较大, 足以满足受力要求, 所以只进行锚桩主筋的抗剪计算:

单根锚桩受的最大水平力为 9.815 t 。

考虑锚桩配筋受剪(主筋为 $\phi 22$, 20 根, 截面积 $3.799 \times 20\text{ cm}^2$), 锚桩钢筋可抗剪为 $3.799 \times 20 \times 1.2 = 91\text{ t} > 9.815\text{ t}$, 满足要求。

3 缆索吊的制作和安装过程

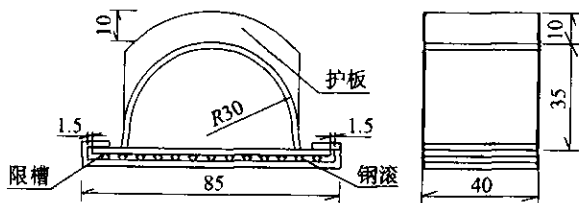
3.1 塔架的安装

塔架由基座、塔身、塔顶和索鞍等几部分组成。

基座采用 C25 混凝土, 在浇筑混凝土时要预埋与塔身连接的钢板, 并要焊好锚固筋, 混凝土一定要密实。基座与塔身的连接采用销接, 采用六四军用梁的专用销子。塔身采用逐段拼装, 即在已拼装好的塔身基础上, 设置一独脚扒杆, 用扒杆提升桁节进行拼装。拼装时要注意两侧塔架同时进行, 安装到一定高度时横向要设置风构, 纵向要设置临时抗风缆索。安装完毕后, 设置永久抗风缆索。

塔顶纵向用 2 根 I56 工字钢并排焊接, 工字钢底部焊接 2 cm 厚的钢板, 与塔身用销子连接, 在纵向工字钢的上面架设 2 根 I56 工字钢, 纵横向的工字钢要焊接牢固, 要进行满焊, 保证横梁不会翻转。

为保证主索平地地通过索鞍, 索鞍顶部做成半弧形, 半径为 30 cm。底部放置 13 根可以自由滚动的 $\phi 20$ 的钢滚, 见图 3 所示, 底板与横梁焊接要牢固, 底板用反扣的形式与索鞍连接, 每侧留有 15 mm 自由滚动的空间。这样在吊重及温度的影响下索鞍有 30 mm 的位移, 减少索鞍与主索间的摩擦损失。



单位: cm

图3 钢滚

3.2 缆索安装

3.2.1 主索安装

由于两岸不通航, 所以先用船将一根 2 cm 粗的尼龙绳渡过河, 用尼龙绳带 $\phi 15$ 的钢丝绳, 这样, 要逐级替换, 最后把主索拉过河。拉主索过河时, 为减少卷扬机的受力, 一定要保证一定的垂度, 垂度的计算可以根据卷扬机的功率, 利用计算主索水平受力的公式进行计算, 既: $H = \frac{gL^2}{8f} + \frac{QL}{4f}$, 其中 $H = 5\text{ t}$,

$Q=0$, 计算结果 $f=25\text{ m}$, 实际控制为 $35\sim 40\text{ m}$ 。

为使主索在使用过程中尽可能达到受力均匀, 2 根主索并在一起在地锚上绕 2 圈, 主索可根据垂度和受力状况进行调节。主索的安装垂度应符合设计值, 若小于或过分小于设计值, 造成主索、地锚、索塔等重要部件超载或严重超载, 这是十分危险的。相反, 若缆索安装垂度大于设计值, 则会增大工作垂度, 从而增大构件吊运时的上下坡度, 增大牵引力。若增值过大, 则需要设置辅助牵引, 甚至还不能满足跨越已安装好的桥跨结构物的安全高度, 就要使构件安装工作量增大, 以致造成安装困难。安装主索之前, 必须对安装时的控制应力及初始垂度进行计算。

初始垂度的控制可以利用全站仪采用坐标仰角控制。采用全站仪控制时, 提前把跨中的坐标算好, 拨角对准跨中, 利用竖直仰角进行控制。测站条件允许时, 尽量垂直缆索跨中。测设示意如图 4 所示。

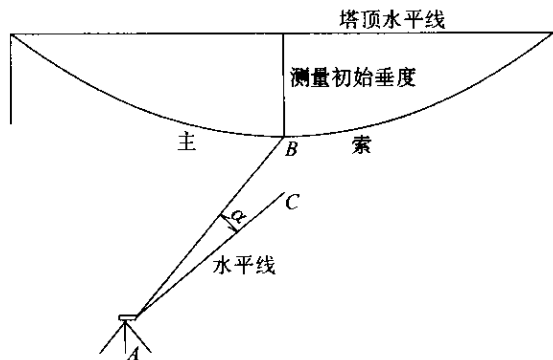


图 4 测设示意

3.2.2 起重索的安装

滑轮(车)组采用上 3 轮下 2 轮, 组成 4 线的滑轮组, 为避免缠绞现象, 下面的 2 轮采用分离式轮组。起重索采用 $\phi 17.5$ 的钢丝绳, 起重索的一端固定在卷扬机上, 另外一端绕过吊钩固定在跑车上。要保证起重索的长度, 在起吊最远处时, 保证卷扬机上的钢丝绳不少于 6 圈。

3.2.3 牵引索的安装

牵引索采用 $\phi 19.5$ 的钢丝绳, 采用串联滚动的方式牵引。牵引索的一端固定在跑车上, 然后绕过河对岸的主索及锚碇上的定滑轮, 再绕过该岸主塔及定滑轮, 为增加牵引索与卷扬机的摩擦力, 钢丝绳在

卷扬机上要缠绕 6 圈, 最后绕过主塔的定滑轮仍固定在跑车上。

3.2.4 主索跑车及起重钩的安装

主索跑车采用 2 门自制跑车, 与主索接触滑轮轮径为 25 cm , 定滑轮直径为 34 cm 。

4 缆索吊的使用注意事项

缆索吊与普通的吊车吊装有相同之处, 也有不同之处。在使用过程中应注意以下几点。

(1) 作为带状的起吊设备, 缆索吊由许多小部件组成, 有时其中的任何一个部件出现故障, 都有可能造成缆索吊整个体系的瘫痪或出现安全事故。尤其是钢丝绳必须定期检查, 发现有断丝时, 若是重要部位必须立即更换, 非重要部位也要折减系数使用。缆索吊作为机械设备, 必须进行经常的检修和养护。

(2) 缆索在使用前必须进行试运行, 卷扬机安装应牢固、稳定, 防止受力时有位移和倾斜; 操作时视野必须开阔, 联系要方便。使用卷扬机前应检查钢丝绳、离合器、制动器、保险制棘轮、传动滑轮等, 发现故障应立即排除。通过滑轮的钢丝绳不得有接头、结节和扭绕。钢丝绳在卷扬机上排列必须整齐, 作业中最少保留 3 圈; 操作人员不得擅自离岗, 操作中如突然停电, 应立即拉开闸刀并将运送物放下; 各种滑轮在使用前, 要检查是否灵活, 绳槽是否平滑。滑轮组应共同承受荷载, 受力不均匀时, 应进行调整; 在使用过程中, 所吊的货物不得超过设计重量, 塔架顶部要注意观察纵向位移, 防止位移量过大时发生安全事故; 吊装时的垂度应控制在最大垂度和最小垂度之间; 抗风缆索必须经常拉紧, 使后抗风缆索始终处于受力状态。吊运货物时要平稳, 起降时速度要均匀, 严禁起重物自由下落。禁止主索与工作索运送人员时同时进行工作。

(3) 缆索吊装与吊车吊装有不同之处, 缆索吊装货物时, 吊装的货物必须完全放松后, 缆索不受力后, 方可卸掉货物, 否则当卸掉货物时, 吊钩会因为主索的弹性, 发生突然反弹, 一是造成安全事故, 二是会造成顶部钢丝绳的脱槽或缠绕。

(4) 制定有效的检修、使用、保管及安全制度, 做好防护措施。