

桥梁拉索热铸锚结构设计探讨

苏强 黄芳玮 严军 张日亮

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要: 本文通过分析现有桥梁拉索热铸锚的有关情况, 结合所做的试验与工程应用, 提出一些在结构设计中应注意的事项, 以供大家分析探讨。

关键词: 热铸锚 灌铸 结构设计 防腐

1 前言

在国内, 桥梁热铸锚拉索的应用已有较长的历史, 早期以钢丝绳索体为主, 如上世纪70年代建成的重庆朝阳大桥的承重钢丝绳主缆, 锚头内灌铸纯锌。后来随着灌铸工艺日趋成熟, 平行钢丝束热铸锚拉索应用越来越多, 并以灌铸锌铜合金为主。在国外, 热铸锚拉索应用已相当广泛, 索体材料主要是钢丝绳、钢绞线与平行钢丝。热铸锚制锚工艺要求很高, 但制锚过程相对简单, 可以实现锚具结构多样化。所以各种结构形式的热铸锚非常多, 一些厂家已形成系列化。以下是一些常用的热铸锚结构(图1)。热铸锚的基本结构是索体端头在锚具内腔内均布散开, 用热熔合金灌铸锚固。当索体承受张拉力时, 合金与钢丝之间的粘结力及合金锥体对钢丝产生楔紧作用来锚固索体。各种锚具结构是在一般锚具基本特征基础上, 根据使用要求而应用不同的结构, 主要是便于拉索的张拉、调整和传递荷载。当索长不需要调整时, 两端锚具可采用相同的无调整结构的锚具, 当索长需要调整时, 一般一端采用无调整结构的锚具, 另一端采用有调整结构的锚具。根据传递荷载的特点, 结构上可划分为支承型、螺母型、叉耳销接型、拉杆型等。

目前平行钢丝束索体应用非常广泛, 所应用的锚具有冷铸锚、热铸锚、镦头锚、夹片锚等。对于平行钢丝束热铸锚拉索, 应用历史并不长, 虽然厂家已有外形系列化参数, 但各个厂家的尺寸不尽相同, 有的还差别很大。本文是在设计、试验后对热铸锚拉索结构设计的一些经验总结, 借以供大家探讨。

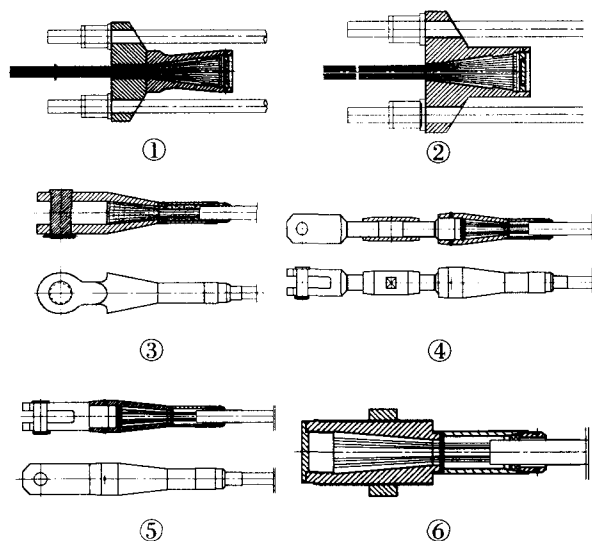


图1 热铸锚结构

2 结构设计

2.1 主缆索股热铸锚设计

主缆是悬索桥的生命线, 现在国内工程一般采用PPWS预制平行钢丝索股。索体主要规格是正六边形排布的91根或127根5mm钢丝的索股, 每隔1.5米用绑带定型。锚具在结构上有分体式与整体式两种结构, 如图1中①、②号两种锚具。整体式锚具结构简单, 重量轻; 分体式锚具考虑锚头与锚碇拉杆连接时方便; 目前锚碇上的连接器平板一般设在构件外, 可通过调整连接器平板的方位实现拉杆连接, 这种情况多采用结构简单的整体式锚具。对于自锚式悬索桥主缆锚具多采用图1中⑥号螺母型锚具结构。

锚具的主要结构参数如下图2所示。这些参数主要有: (1) 合金铸体长度 L_1 , 主要是满足钢丝锚固长度的要求, 由于密实的钢丝伸入锚杯

的区段内各根钢丝间的间隙不可能被完全填实,故锚杯内的有效长度小于 L_1 ,一般取为 $2/3L_1$ 。

(2) 锚杯内锥孔径 d_1 、 d_3 及内锥角 β ,主要根据索力大小、合金体的承压强度、锚固长度来确定;一般地 $\tan \beta = 1/8 \sim 1/12$,对于冷铸锚锥度取小值,热铸锚锥度取大值。此外按摩阻系数 $\mu = \tan \psi$,合金铸体上的压力与锚杯壁内表面成 ψ 角,有关文献表明对于合金浇铸材料 $\tan \psi$ 之值常取0.2,而对于环氧基浇铸材料 $\tan \psi$ 之值常取0.45。(3) 合金的锚杯外径 d_2 及平均壁厚 t ,主要是保证合金体对锚杯壁作用产生的环向拉应力。

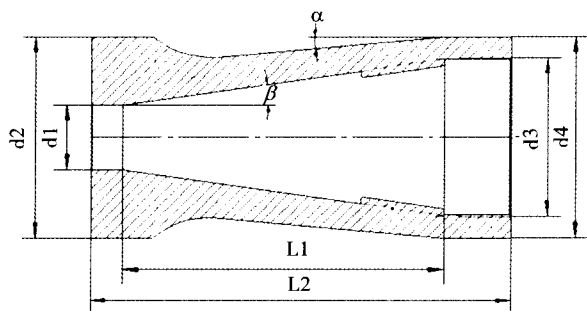


图2 主缆索股热铸锚

以下以5-127锚杯为例进行理论公式受力验算,供参考。

计算条件如下:

※锚杯材料为ZG310-570, $\sigma_s \geq 310\text{MPa}$ 。

计算时以屈服强度 σ_s 为设计依据。

※钢丝公称直径(d)为5mm,钢丝强度等级(f_{pk})为1670MPa,钢丝索最小破断力(P_b)为4164kN。

※灌铸材料为锌铜合金,其粘结强度(σ_{bh}) $\geq 20\text{MPa}$,压缩强度(σ_{cb}) $\geq 110\text{MPa}$ 。

i 合金对钢丝的粘结应力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{(\pi/4) \times d^2 \times f_{pk}}{\pi \times d \times 2/3L_1} = \frac{d \times f_{pk}}{4 \times 2/3L_1}$$

$$= \frac{5 \times 1670}{4 \times 252} = 8.3\text{MPa} \leq \sigma_{bh} = 20\text{MPa}$$

式中锚杯锥体长度 $L_1=387\text{mm}$

ii 合金压缩应力 σ_c

合金锥体外形见图3

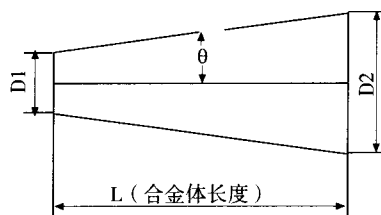


图3 合金锥体外形

$$\sigma_c = \frac{P_b \times \cos \rho}{A_e \times \sin(\theta + \rho)}$$

$$= \frac{4164\text{kN} \times \cos 11.3^\circ}{162309\text{mm}^2 \times \sin(8.16^\circ + 11.3^\circ)}$$

$$= 76\text{MPa} \leq \sigma_{cb} = 110\text{MPa}$$

其中:合金锥角 $\theta = 8.16^\circ$

合金对钢的摩擦角 $\rho = 11.3^\circ$

合金体表面面积 $A_e = 162309\text{mm}^2$

iii 锚具环向应力 σ_r

$$\sigma_r = \sigma_c \frac{D_i^2 + D_j^2}{D_i^2 - D_j^2} = 186\text{MPa} \leq \sigma_s = 310\text{MPa}$$

其中:平均外径 $D_i = (D_3 + D_4)/2 = 206\text{mm}$

平均内径 $D_j = (D_1 + D_2)/2 = 133.5\text{mm}$

锚具尺寸大,安全系数也大,但锚具不是越大越好、越长越好,锚具过大会造成材料浪费,而且影响结构外观。按经验一般锚具外径是索体外径的2.5-3倍,锚具锥体高度是索体外径的4-5倍。锚具的制造现在多采用铸钢件,其屈服强度大于300MPa,加工过程中必须进行材料理化性能检测和成品的无损检测。

为防止合金冷却收缩后合金锥体在锚杯内转动和退出锚杯,在锚杯内设止转退肋。对于内锥孔需进行机加工的锚杯,为方便加工,设一止退环槽即可或焊接止转退肋。合金灌铸时要使用分丝板对钢线进行分丝,分丝板的设计是非常重要的,分丝板要能方便合金灌铸与排气,并且能实现钢丝束的定位和不影响顶压效果。另外,因为合金灌铸是要安装密封定位夹具,所以端部的细节构造要方便夹具的安装与拆卸。

2.2 吊杆热铸锚设计

现在悬索桥吊杆多采用销接型的锚具,因为热铸锚相对冷铸锚其防腐性能较好,且结构型式

多样,所以热铸锚吊杆在悬索桥中得到大量采用。图4、图5是销接型叉耳锚具典型结构。

与主缆索股锚具一样,锚杯部份的设计遵循相同的原则。其中特别要注意合金锥体尺寸的设计,锚杯内容积最小应为设计容积的97%以上。如果锥体尺寸过小,其承受的压力过大,这可能会导致顶压时索体外移量超标,且影响锚固效果。同时还要注意对耳板、轴销的强度校核。锚具的叉形耳板部份多做成如图4的椭圆形,但锚具机加工与装夹都很困难。如果铸造后不作机加工,则对铸造表面外观、尺寸公差都要求较高。因此,建议改为如图5方形耳板的结构形式以方便机加工,只是此结构锚具的重量有所增加。

在锚杯后端的密封延长筒内灌铸环氧填料,最后用密封圈与热缩套密封,这种结构可以得到较高的动载性能和端口防腐效果。

热铸锚有一道特殊的合金顶压工艺,顶压时如果由锚杯小端面承受力,这要保证小端面有足够的承压强度,所以延长筒的外径不能过小。如外锥面受顶压支承力,则需制作有足够承载力的U形垫座,且这很容易损伤锚杯表面的镀锌层,所以建议不采用锥面来承受顶压力。

合金灌铸前有清洗钢丝、分丝板分丝、镦头钢丝等工序,索体要穿过锚杯进行操作,索体端头削PE的长度要满足以上工序的操作要求,所以延长筒的长度不能太短,且锚杯小端孔口尺寸应大于含PE的索体外径。

叉耳锚杯的制造现在也多采用铸钢件,其屈服强度大于300MPa,加工过程中也必须进行材料理化性能检测和成品的无损检测。

锚具外表面建议采用喷锌处理,锌层厚度大于100 μ m,螺纹除外,现场安装后按要求涂刷各种防腐材料。

为防止索体PE在短时间内开裂和有效提高索体的防腐性能及耐久性,建议采用PES(FD)低应力防腐索体。为防止人为损坏、撞、烧伤索体

及紫外线和雨水对索体的影响,建议在靠近桥面端的PE索体外安装不锈钢套管。

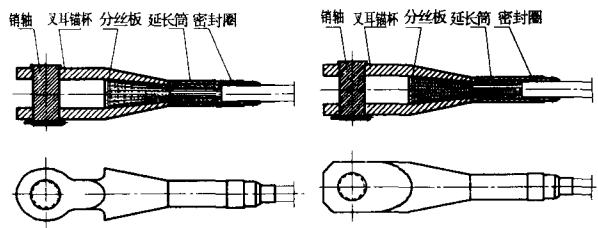


图4 椭圆形耳板吊杆热铸锚 图5 方形耳板吊杆热铸锚

3 结束语

综上所述,我们认为热铸锚在设计过程中应注意以下一些问题:

(1) 合金锥体、锚杯的受力验算,要注意合金与钢丝的粘结性能、合金抗压强度、合金与锚杯壁的摩擦系数与冷铸锚的差别。

(2) 各零件的设计要考虑合金灌铸工艺。合金灌铸是热铸锚制作非常关键的工序,无论锚具结构如何,必须确保合金灌铸顺利进行,确保灌铸效果和顶压效果。

(3) 锚具的安全系数合理。

(4) 叉耳销接型吊杆耳板尽可能采用方形结构,以方便机加工。

目前热铸锚拉索应用广泛,新技术、新材料不断开发应用,新的锚具结构也不断涌现,但如果对新结构缺少深入研究与试验,可能会出现意想不到的问题。所以对于重要结构、改动较大的结构,一定要专业人员、专业单位去设计、生产,并严格执行工艺规程,保证拉索安全可靠。

参考文献

- [1] 《国外缆索承重桥梁》.第六章.缆索的锚固和联结
- [2] 叶觉明,陈婉霞.缆索用热铸锚锚具和灌铸.《桥梁建设》,2004,1
- [3] 金平,陆剑锋.建筑结构用特种拉索的研制与开发.《中国公路学会桥梁和结构工程学会.2002年全国桥梁学术会议论文集》.2002,10