

中国工程建设标准化协会标准（CECS G）
《公路悬索桥密封钢丝绳吊索技术标准》制订

征求意见稿

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

贵州钢绳股份有限公司

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

湖北省交通规划设计研究院股份有限公司

上海浦江缆索股份有限公司

中交第二航务工程局有限公司

巨力索具股份有限公司

二〇二五年七月

目 录

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 吊索	4
3.1 材料	4
3.2 构造	4
3.3 性能要求	7
3.4 选型	9
4 设计	10
4.1 设计准则	10
4.2 索体结构计算	10
4.3 锚头验算	11
4.4 构造设计	12
5 施工	15
5.1 施工准备	15
5.2 进场检验	15
5.3 预安装	16
5.4 正式安装	17
6 质量控制	18
6.1 吊索质量	18
6.2 施工质量	18
7 检查与养护	20
附录 A	21
附录 B	26

1 总则

1.0.1 为指导密封钢丝绳吊索在公路悬索桥中的设计、施工、质量控制以及检查与维护，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于公路悬索桥销接式密封吊索。

1.0.3 公路悬索桥密封钢丝绳吊索的设计、施工、质量控制以及检查与维护除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

GB/T 8706-2017 和 JT/T 449-2021 界定的术语和定义适用于本文件。

2.1 术语

2.1.1 吊索 suspender

由索体和锚具等零部件组成，用于连接悬索桥主缆索夹与加劲梁的组装件。

2.1.2 密封钢丝绳 full-locked coil rope

外层由全密封钢丝（Z 形）捻制而成的单捻钢丝绳。

[来源：GB/T 8706-2017，2.6.3.4]

2.1.3 密封吊索 full locked cable

采用密封钢丝绳作为索体的悬索桥用吊索。

2.1.4 锚具 anchorage

索体端部用于与相邻构件锚固并传递索力的连接装置。

2.1.5 索体公称直径 nominal diameter of cable

索体外接圆直径的名义尺寸。

[来源：JG/T 330-2011，3.1.14]

2.1.6 钢丝绳级 rope grade

用数值表示的要求达到的钢丝绳破断拉力水平。

注：这并不意味着钢丝绳中所有钢丝的实际抗拉强度级必须就是该级别。

[来源：GB/T 8706-2017，2.10.11]

2.1.7 不圆度 out of roundness

吊索索体同一截面测量的最大差值与索体公称直径之比。

2.2 符号

M ——索体单位长度的参考重量，单位：kg/100m；

W ——某一结构类别索体公称长度参考重量系数，单位：kg/100m $\cdot$ mm²， W 值见表 1 给出的系数。

$F_{\min}$ ——索体最小破断拉力，单位：kN；

D ——索体公称直径，单位：mm；

R_o ——索体级强度别；

K ——与索体类别对应的最小破断拉力系数， K 值见表 1；

l_{sae} ——钢丝在锚杯内的锚固长度（mm）如图 12 所示；

f_k ——密封绳 Z 形钢丝抗拉强度标准值（MPa）

λ ——单根钢丝与铸体材料在单位面积上的附着强度；

d_w ——钢丝直径（mm）

γ_o ——结构重要性系数，按 JTG D60 要求选取；

σ_t ——锚杯的环向应力设计值（MPa）；

f_d ——锚杯材料的抗拉强度设计值（MPa）。

l_{sc} ——锚杯内铸体材料的有效长度（mm），；

F_t ——锚杯环向拉力设计值（N）；

t_{sm} ——铸体材料有效长度锚杯的平均壁厚（mm）；

N_d ——吊索拉力组合设计值（N）；

φ_{sc} ——锚杯内铸体上压力线与锚杯内锥面母线的夹角；

β_s ——锚杯内锥面母线与轴线的夹角，

3 吊索

3.1 材料

3.1.1 索体材料指标要求应符合 YB/T 5295 的规定，其他应符合附录 A 的规定。

3.1.2 索体钢丝镀层宜采用锌铝稀土合金或锌铝镁。索体内的钢丝应全部具有相同镀层。

3.1.3 叉耳、销轴、调节螺杆、调节套筒、螺母等采用锻件，锚杯采用铸件，其余零件采用优质碳素结构钢。采用优质碳素结构钢制作的锚具，其材料性能应符合 GB/T 699 中的规定；采用合金结构钢的，其材料性能应符合 GB/T 3077、GB/T 1591 中的规定；采用不锈钢的，其材料性能应符合 GB/T 1220 中的规定；采用铸钢件的，其材料性能应符合 GB/T 14408、JB/T 6402 中的规定；采用锻件的，其材料性能应符合 GB/T 33084 中的规定；材料硬度符合 GB/T 1172 中的规定。

3.1.4 密封索吊索集成时填料材料宜采用热铸固填料，热铸固填料为锌铜合金，其中锌含量为 $(98 \pm 0.2)\%$ ，应符合 GB/T 470 的规定；铜含量 $(2 \pm 0.2)\%$ ，应符合 GB/T 467 的规定。也可采用无固体填充物的环氧树脂浇铸。

3.1.5 锚具保护罩宜采用碳素结构钢或不锈钢制作，材质应符合 GB/T 700 或 GB/T 4237 的规定；防护罩宜采用铸铁或不锈钢，材质应符合 GB/T 9439 或 GB/T 4237 的规定；密封罩宜采用优质碳素钢或不锈钢，材质应符合 GB/T 699 或 GB/T 4237 的规定；采用橡胶缓冲器时，应符合 GB/T 14647 的规定。

3.2 构造

3.2.1 密封钢丝绳吊索根据工程实际用途和与梁端的联接结构型式可分为套筒组合式吊索、橡胶阻尼式吊索、螺母调节式吊索和套筒调节式吊索，其结构组成示意图见图 1。

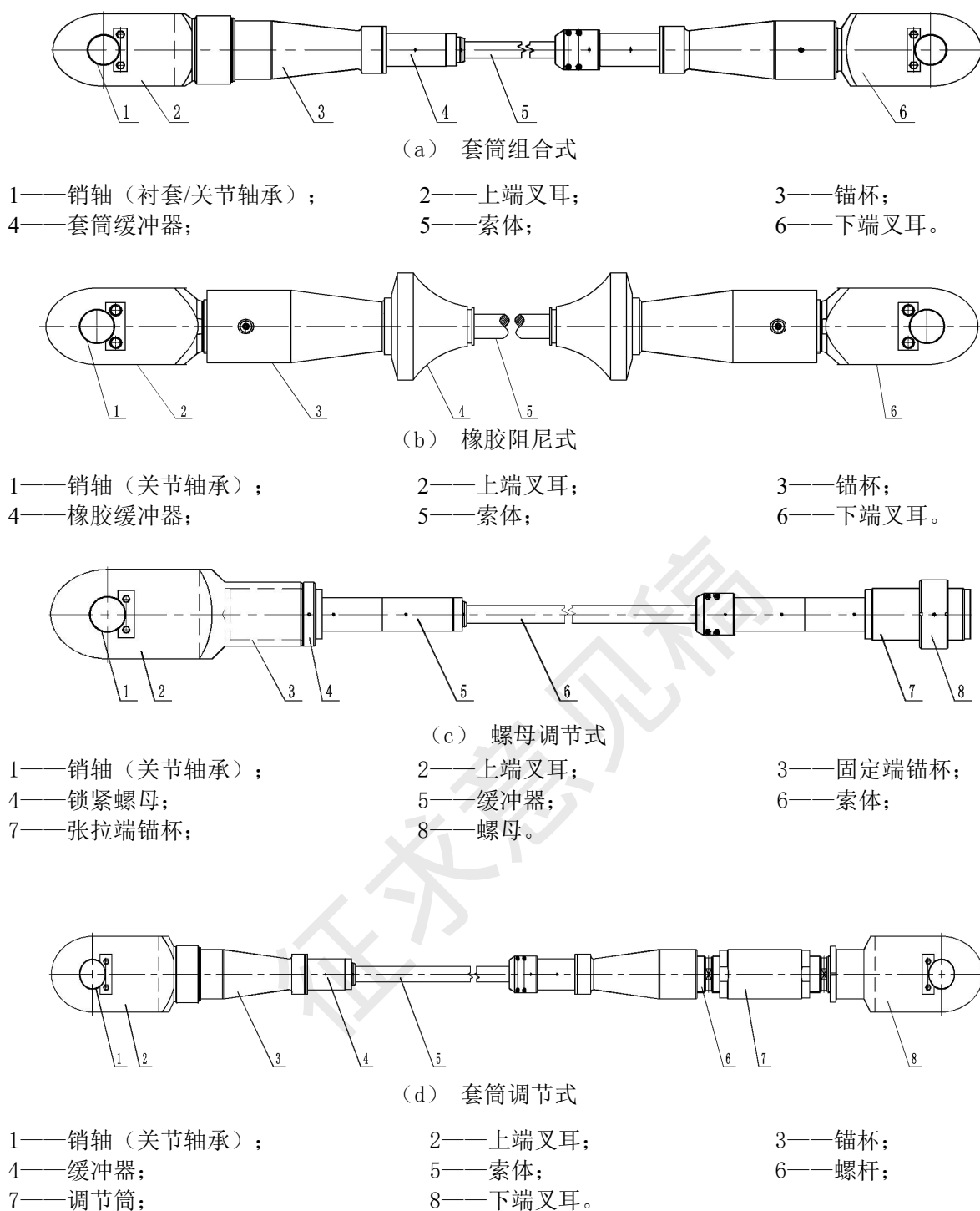


图1 密封钢丝绳吊索结构形式

3.2.2 密封钢丝绳吊索索体结构可分为一层Z型密封索体（WSC-Z）、二层Z型密封索体（WSC-ZZ）、三层及以上Z型密封索体（WSC-ZZZ），其结构示意图见图2。

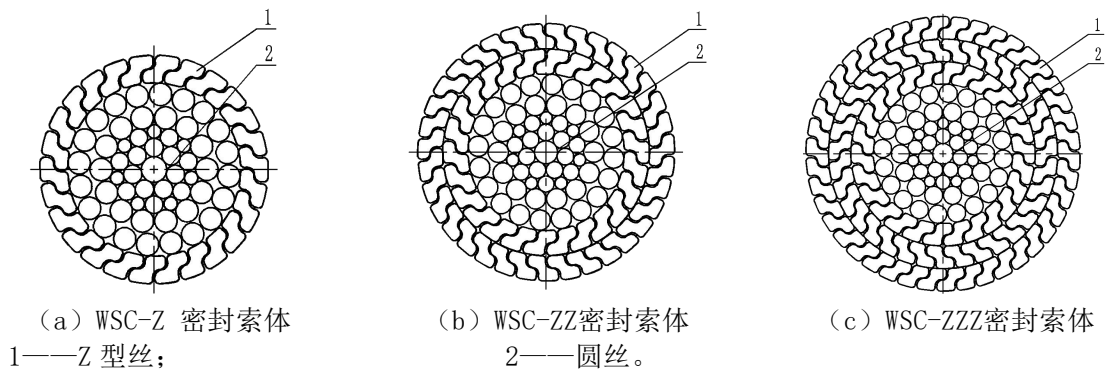


图 2 密封钢丝绳索体断面示意

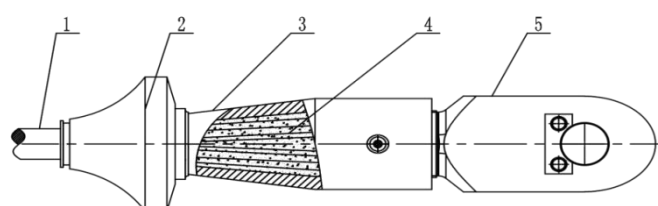
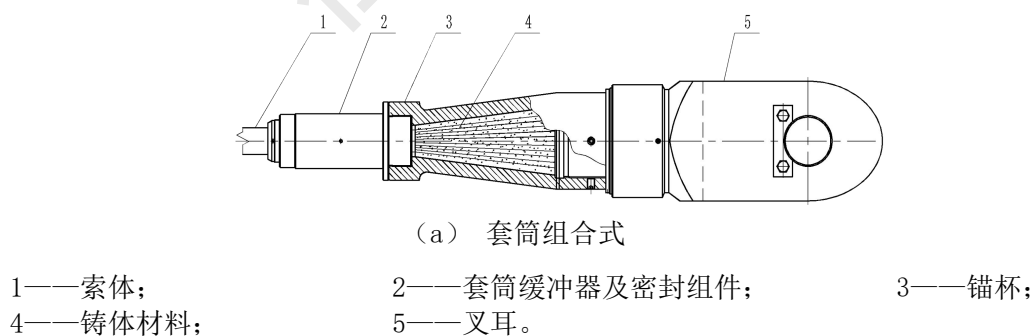
3.2.3 密封钢丝绳吊索钢丝绳级可选用 1670 级、1770 级、1860 级、1960 级。索体钢丝绳级对应制绳前钢丝的抗拉强度级应符合表 1 的规定。

表 1 密封钢丝绳级对应制绳前钢丝的抗拉强度级

钢丝绳级	钢丝公称抗拉强度级范围 (N/mm ²)
1670	1470-1870
1770	1570-1960
1860	1670-2060
1960	1770-2160

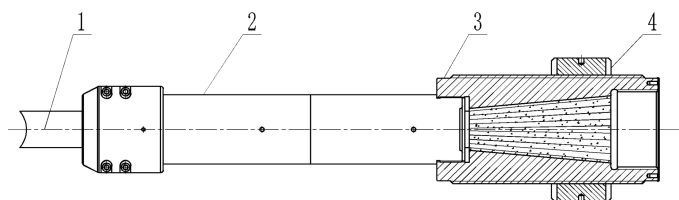
注：密封钢丝绳最小破断拉力是根据钢丝绳级而不是单根钢丝的抗拉强度级计算的。

3.2.4 按结构布局，密封钢丝绳吊索锚具可分为套筒组合式、橡胶阻尼式、螺母调节式和套筒调节式，其结构示意图见图 3。



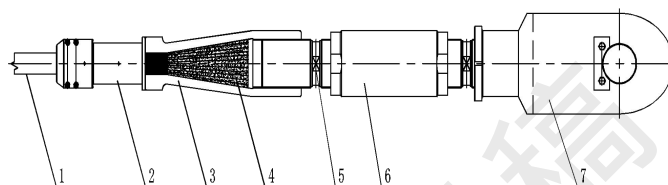
(b) 橡胶阻尼式

- 1——索体；
2——橡胶缓冲器及密封组件；
3——锚杯；
4——铸体材料；
5——叉耳。



(c) 螺母调节式

- 1——索体；
2——缓冲器；
3——锚杯；
4——铸体材料。



(d) 套筒调节式

- 1——索体；
2——缓冲器；
3——锚杯；
4——铸体材料；
5——螺杆；
6——调节筒；
7——叉耳。

图3 锚具结构示意图

3.3 性能要求

3.3.1 密封吊索索体表面整洁、光滑，不应有目视可见的损伤、跳丝，锚具表面没有影响使用性能的划痕、裂纹，镀层无滴流、粗糙和锌刺等缺陷。

3.3.2 密封吊索长度小于或等于 50m 时，误差为 $\pm 15\text{mm}$ ；吊索长度大于 50m 且小于或等于 100m 时，误差为 $\pm 20\text{mm}$ ；吊索长度大于 100m 时，误差为吊索长度的 $\pm 1/5000$ 。

3.3.3 索体实测直径允许偏差为公称直径的 0%~3%。索体不圆度应不大于公称直径的 3%。

3.3.4 索体的参考重量，用 $\text{kg}/100\text{m}$ 表示，索体单位长度重量按式(1)计算：

$$M=W \cdot D^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：M—— 索体单位长度的参考重量，单位：kg/100m；

D—— 索体的公称直径，单位：mm；

W——某一结构类别索体公称长度参考重量系数，单位：kg/100m·mm²，W值见表 2 给出的系数。

表 2 索体参考重量系数和最小破断拉力系数

索体类别		钢芯索体	
		重量系数 W	最小破断拉力系数 K
一层 Z 形钢丝		0.576	0.585
二层 Z 形钢丝		0.586	0.608
三层 Z 形钢丝及三层 Z 形 钢丝以上	40≤D<102	0.622	0.630
	102≤D≤200	0.629	0.637

3.3.5 索体破断拉力的测定值 (F_m) 应不低于索体最小破断拉力，索体最小破断拉力按式(2)计算：用 kN 表示，

$$F_{min}=K \cdot D^2 \cdot R_o /1000 \dots\dots\dots (2)$$

式中：F_{min} ——索体最小破断拉力，单位： kN；

D ——索体公称直径，单位：mm；

R_o ——索体级强度别；

K ——与索体类别对应的最小破断拉力系数，K 值见表 1；

3.3.6 密封吊索弹性模量宜由试验确定且不应小于 1.55×10⁵MPa。

3.3.7 密封吊索的静载破断载荷不应小于索体最小破断拉力(Fmin)的 95%；其最大力下的延伸率不应小于 2%，锚具无损坏。

3.3.8 密封吊索应进行疲劳性能试验，试验后，试验索的断丝面积总和不大于索体钢丝总面积的 5%，锚具无损坏。

3.3.9 吊索制作完成后，应取最小破断力的 55%进行超张拉检验，张拉后冷铸锚锚塞回缩值应小于 5mm，热铸锚塞回缩值应小于锚具锥体长度的 2%。

3.3.10 索体质量控制，索体应捻制均匀、紧密，索体内钢丝不应有交错、折弯、单丝凸起和断丝等制造缺陷。钢丝表面可有因捻制用工艺装备造成的轻微压痕。索体中钢丝不应存任何形式的接头。索体不宜涂覆或填充任何类型的油脂、油膏。

3.3.11 索体应进行预张拉，索体每次张拉施加的力值不小于索体最小破断拉力的55%，预张拉次数不少于2次，每次预张拉持荷时间不小于60分钟。

3.3.12 锚具表面应进行防腐处理，若采用热镀锌（镀层 ≥ 80 ）、电镀锌（镀层10 μm –40 μm ）、粉末渗锌（镀层 $\geq 100\mu\text{m}$ ）等，锌层应光滑，无滴流、粗糙、锌刺、起皮、漏镀等缺陷。

3.3.13 锚具密封组件应符合 JT/T 449 和 GB/T 39133 的规定。

3.3.14 锚具的主要受力部件不应采用焊接件，应进行超声检测和磁粉检测。采用锻件的锚具部件，超声检测等级应符合 GB/T 6402 中的2级规定，磁粉检测应符合 JB/T 4730.4 中的Ⅱ级规定。采用铸钢的锚具部件，超声检测等级应符合 GB/T 7233 中的2级规定，表面检测可采用磁粉检测或渗透检测，磁粉检测应符合 GB/T 9444 中的2级规定，渗透检测应符合 GB/T 9443 中的 LP2 或 AP2 级规定。

3.4 选型

3.4.1 吊索选型宜满足下列要求：

- 1 吊索索体直径较粗或减振要求较高时，宜采用套筒组合式密封吊索。
- 2 吊索梁端锚头采用承压式连接或有张拉需求时，宜采用螺母调节式密封吊索。
- 3 吊索有较大长度调节需求时，宜采用筒调节式密封吊索。

3.4.2 吊索索体主要技术参数见附录 B。

4 设计

4.1 设计准则

4.1.1 密封钢丝绳吊索抗拉强度采用以分项系数表达的极限状态设计方法

4.1.2 短吊索最小长度的确定应计入由于主缆和加劲梁之间的相对位移所产生的附加应力的影响。

4.1.3 在吊索下料制造前，应根据实际空缆线形、加劲梁等实际重量及吊索实测弹性模量，对吊索的无应力长度进行修正。

4.1.4 吊索设计时，应防止各种荷载工况下由于索松弛引起的结构失效。

4.1.5 吊索设计应考虑换索的需要。

4.2 索体结构计算

4.2.1 密封钢丝绳吊索抗拉强度应满足式（3）要求。

$$\gamma_0 N_d \leq \frac{f'_k}{\gamma_R} \dots\dots\dots (3)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，按JTG D60 要求选取；

N_d ——轴向拉力设计值（N）；

f'_k ——密封钢丝绳最小破断力（N）；

γ_R ——吊索强度分项系数，对承载力计算工况取2.2，对大修工况取1.33，对施工过程中工况取1.1。

4.2.2 密封钢丝绳吊索的疲劳荷载计算模型及验算应符合 JTG D64 的规定；密封钢丝绳吊索疲劳抗力设计应符合 JTG D64 的规定，疲劳细节 $\Delta\sigma_c$ 按 150MPa 取值。

4.2.3 密封钢丝绳吊索宜考虑断索工况验算。

4.3 锚头验算

4.3.1 密封钢丝绳吊索锚头锚杯内钢丝锚固长度应满足锚固长度要求，铸锚可按式（4）计算。

$$l_{sae} \geq \frac{0.625 f_k}{\lambda} d_w \dots\dots\dots (4)$$

式中： l_{sae} ——钢丝在锚杯内的锚固长度（mm）如图 12 所示；
 f_k ——密封绳 Z 形钢丝抗拉强度标准值（MPa）；
 λ ——单根钢丝与铸体材料在单位面积上的附着强度；无试验资料时，铸体材料为热铸料，可取 $\lambda = 25\text{MPa}$ ；铸体材料为冷铸料，可取 $\lambda = 18\text{MPa}$ ；
 d_w ——钢丝直径（mm），异形钢丝截面近似圆截面直径 d_w 取值参照表 3。

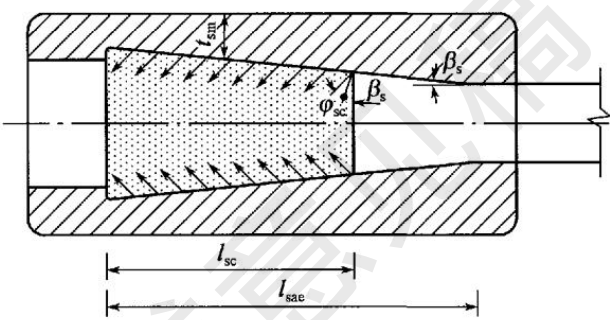


图 4 锚杯与铸体材料相互作用示意图

表 3 异形钢丝截面近似圆截面直径取值参照表

密封索公称直径(mm)	Z 型钢丝系列	截面积（mm ² ）	类比圆钢丝当量直径 d_w (mm)
D≤40	Z3	7.07	3.00
40<D≤60	Z4	12.57	4.00
60<D≤80	Z5	19.63	5.00
80<D≤100	Z6	28.27	6.00
100<D≤120	Z7	39.59	7.10

4.3.2 锚杯的承载能力极限应按式（5）计算，锚杯与铸体材料相互作用示意如图 12 所示。

$$\gamma_0 \sigma_t \leq f_d \dots\dots\dots (5)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，按 JTG D60 要求选取；
 σ_t ——锚杯的环向应力设计值（MPa）；

f_d ——锚杯材料的抗拉强度设计值（MPa）。

4.3.3 锚杯的环向应力设计值应符合 JTG D64 规定，可按式（6）和式（7）计算。

$$\sigma_t = \frac{F_t}{l_{sc} t_{sm}} \dots\dots\dots (6)$$

$$F_t = \frac{N_d}{2\pi \tan(\varphi_{sc} + \beta_s)} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

l_{sc} ——锚杯内铸体材料的有效长度（mm）， $l_{sc} = \frac{2}{3} l_{sae}$ ；

F_t ——锚杯环向拉力设计值（N）；

t_{sm} ——铸体材料有效长度锚杯的平均壁厚（mm）；

N_d ——吊索拉力组合设计值（N）；

φ_{sc} ——锚杯内铸体上压力线与锚杯内锥面母线的夹角；铸体材料为热铸料时，可取 $\tan \varphi_{sc} = 0.2$ ；铸体材料为冷铸料时，可取 $\tan \varphi_{sc} = 0.45$ ；

β_s ——锚杯内锥面母线与轴线的夹角， $\tan \beta_s = 1/8 \sim 1/12$ ；铸体材料为热铸料时，斜度宜取高值；铸体材料为冷铸料时，斜度宜取低值。

4.3.4 耳板和销轴的设计承载力宜不小于密封吊索的标称破断力。

4.3.5 对叉形耳板，应按 JTG D64 进行平行受拉方向、垂直受拉方向的应力验算，还应按 GB 50017 对孔壁承压、应力集中构建进行验算。

4.3.6 销轴应按 GB 50017 进行剪切、弯拉、扭转以及局部承压验算。

4.3.7 构件强度验算除应符合本条规定外，尚应符合 JTG D64 的规定。

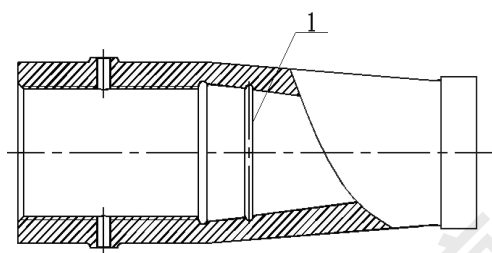
4.4 构造设计

4.4.1 密封吊索与主缆索夹宜销接式、加劲梁端连接可采用销接式或螺母承压式，采用螺母承压式时配套增加球面承压垫板。

4.4.2 在短吊索或对耳板平面外存在较大转角节点时，在销轴和耳板之间宜设置关节轴承。

4.4.3 在锚杯与吊索、叉形耳板的连接处，应采用密封圈、密封压环等进行密封处理。

4.4.4 锚杯内壁宜设置半圆形止退槽，其结构示意图见图 5。

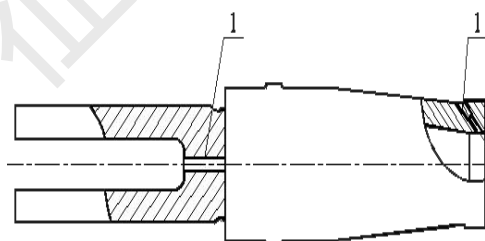


标引序号说明：

1——止退槽。

图 5 止退槽示意

4.4.5 吊索锚具应进行防腐及排水设计，锚具不应存在积水现象。下端锚具应做泄排水孔系统处理，密封胶宜使用耐候结构胶，耐候结构胶应符合 GB 16776 的规定，泄排水孔示意图见图 6。



标引序号说明：

1——泄水孔。

图 6 泄水孔示意

4.4.6 销接式吊索的锚头、叉形耳板、销轴之间，以及吊索销轴与索夹的耳板之间，应确定适宜的公差和配合。

4.4.7 吊索长度超过 20m 时，同一索夹的吊索之间宜设置减振架。

4.4.8 销接式吊索可设置长度调节构造。对于用作中央扣的斜向密封吊索，宜采用调节量较大的调节套筒串联。

征求意见稿

5 施工

5.1 施工准备

5.1.1 安装施工前，应做好以下技术准备：

1 详细研究设计图纸和相关技术文件，明确吊索的规格（如长度、直径、类型等）、安装位置、预张力要求等关键参数。

2 制定详细的预安装施工方案，包括施工流程、施工方法、质量控制标准和安全保障措施等内容。

5.1.2 安装施工前，应做好以下设备准备：

1 准备好配套的安装设备，如起重机、卷扬机、手拉葫芦等起吊设备，以及卡尺、全站仪等测量工具。

2 起吊设备的起吊能力要满足吊索的重量和安装要求，并且要检查设备的性能是否良好，如起重机的制动装置、限位装置等是否可靠。

3 测量工具要经过校准，确保测量精度。

5.1.3 安装施工前，应清理预安装场地，确保场地平整、坚实，没有障碍物，为起吊设备的运行和吊索的存放提供良好的条件。

5.2 进场检验

5.2.1 每根吊索产品均应开展进场检验。

5.2.2 密封拉索索体中所有钢丝应为镀层钢丝，且整绳内不应有断裂、切伤、交错和倒面的钢丝，索体层为交互捻结构。

5.2.3 锚具及钢丝镀层经目测完好，无泪痕、滴流、折皱，无明显伤痕。

5.2.4 其他指标查看相关报告（产品出厂质量证明书或第三方检测报告）。在安装之前所有索体需进行全面外观检查，对直径进行复核，并对照质量证明书的相关要求进

行核对，准确无误后才能进行安装，对施工过程中出现的问题，需进行评估，确认不影响正常性能后方可投入使用；

5.2.5 必要时对产品进行随机抽样检查，符合要求后方可继续使用。

5.3 预安装

5.3.1 吊索吊运应满足以下要求：

1 根据吊索的长度和重量，选择合适的吊运方式。对于较短、较轻的吊索，可采用单台起重机吊运；对于较长、较重的吊索，可采用两台或多台起重机配合吊运，或采用起重机与卷扬机联合吊运的方式。

2 吊卸时应采用非金属吊带，存放时应做好保护措施，不平整地面应该铺设枕木，并做好防水、防碰撞、防刮伤等措施，有序堆放。

3 展索时将吊索放置于放索盘上，然后沿索盘圈的反方向使索盘旋转打开，不应在吊索未打开时进行竖直起吊，不能发生滑动摩擦，防止刮伤、碰撞。

4 索体不应出现打结，应做到吊索在安装完成之前其弯曲半径大于等于索体直径的28倍，从而防止索体出现散股引起跳丝划伤等情况。

5 吊卸时应要控制起吊速度，做到整个过程平稳，无撞击，无剧烈晃动。

6 在拉索提升过程中及时调整释放索体内应力，防止因内应力导致发生索体打结造成产品损坏，且拉索离开地面后再拆除索体上的包装带，避免水泥、砂浆等污染索体。

7 吊卸时要安排专人指挥起吊过程，操作人员要密切关注起吊设备的运行状态，如起吊重量显示、起吊高度限位等信息。

5.3.2 将吊索吊运到主缆或加劲梁附近后，应进行初步定位，并满足以下要求：

1 索夹安装位置，误差应控制在设计允许范围内。

2 要考虑加劲梁的当前位置和线形，调整吊索下端的位置，使其能够与加劲梁上的连接点准确对接。

5.3.3 在正式安装之前，应对吊索进行临时固定，防止其晃动或移位。可采用绳索、夹具等工具将吊索临时固定在主缆或加劲梁附近的临时支撑结构上。

5.4 正式安装

5.4.1 连接主缆与吊索，对于索夹连接方式，将索夹准确地安装在主缆的预定位置。安装索夹时，需注意索夹的方向正确，通常索夹上会有标记指示安装方向。先将索夹套在主缆上，然后按照规定的扭矩值，使用扭矩扳手逐步拧紧索夹螺栓。将吊索的上端与索夹进行可靠连接。涉及到插入、嵌套或其他特定的连接方式，具体取决于吊索和索夹的设计。在连接过程中，要确保连接牢固，没有松动或间隙过大的情况。

5.4.2 连接加劲梁与吊索，根据加劲梁的类型和吊索的连接设计，将吊索下端与加劲梁的连接点进行连接。

5.4.3 对于有张拉需求的吊索，应满足下列规定：

1 按照设计要求的预应力值对吊索进行张拉，同时监测张拉过程中的应力变化，确保预应力施加准确，并安装好相应的缓冲器。

2 张力调整与固定，应采用专业的索力测量设备对吊索的张力进行精确测量。根据测量结果，通过调整连接部位来使吊索的张力达到设计要求。在调整过程中，要注意多根吊索之间的张力平衡，确保各吊索的张力差异控制在规定范围内。

5.4.4 对所有的连接部位进行最终的固定，并检查索夹螺栓是否拧紧到位。

6 质量控制

6.1 吊索质量

6.1.1 索体表面应圆整、光洁、无损伤、无污垢、如果表面存在镀层破损，应作相应的修补；锚具、销轴及其他连接件表面应无损伤，如果存在损伤，应作相应的修补。

6.1.2 检查吊索是否有腐蚀的迹象。特别是在潮湿或有腐蚀性气体的环境中，吊索很容易发生腐蚀。如果发现有腐蚀点，要评估腐蚀的深度和范围，判断是否需要采取防腐措施或更换吊索。

6.1.3 检查锚具部分，查看锚具的防护装置是否完好。如缓冲器是否有破损，破损后会造成索体根部出现疲劳损伤。

6.2 施工质量

6.2.1 安装完成后，吊索索力、垂度、连接的节点、锚具均应进行检查。检查各个零部件是否缺失、损伤或松动等，检查受力是否满足设计要求。

6.2.2 外观检查，仔细查看吊索与主缆、加劲梁连接部位的表面情况。对于索夹连接，检查索夹是否有裂缝，因为裂缝可能会导致索夹强度下降，影响对吊索的固定。观察索夹和主缆的接触面是否紧密贴合，有无相对位移的迹象，可通过在索夹和主缆上做标记来辅助检查。若发现标记出现错位，说明索夹可能在使用过程中发生了滑动。

6.2.3 受力情况检查，采用应变片等检测工具对连接部位进行应力检测。在连接部位合理布置应变片，测量其在不同荷载条件下的应变值，从而推算应力大小。确保应力分布符合设计要求，防止出现局部应力集中的情况。若某一连接部位的实测应力远大于设计应力，可能是由于安装偏差或局部结构缺陷导致的，需要进一步分析原因并采取措施。

6.2.4 检查连接部位的螺栓等连接件的受力情况。对于索夹螺栓，使用专业工具（如

扭矩扳手)检查其扭矩是否保持在规定范围内。

6.2.5 主缆线形检查,利用全站仪等高精度测量仪器测量主缆的垂度。主缆垂度的变化反映了吊索安装后对主缆受力状态的影响,在主缆的多个关键位置设置测量点,按照设计要求的测量方法和频率进行测量。检查主缆的线形是否平顺。观察主缆是否有局部的弯折或扭曲现象,以降低主缆疲劳损伤的风险。

6.2.6 加劲梁线形检查,测量加劲梁的高程和预拱度。检查加劲梁在不同位置的高程变化,确保其线形能够满足行车安全和舒适性的要求。

6.2.7 检查吊索的表面是否有新出现的损伤。对于钢丝绳吊索,检查是否有断丝现象,若发现断丝,需要根据断丝的数量、位置和分布情况评估吊索的安全性。

6.2.8 索力检查,采用索力测量设备对吊索的张力进行测量。在悬索桥的运营过程中,吊索的索力需要保持在一定的范围内,以保证桥梁的受力平衡。检查吊索的张力是否均匀,各吊索之间的张力差应控制在合理范围内。

6.2.9 防护系统检查,检查吊索的防腐涂层是否完整。防腐涂层有剥落、破损的地方,需要及时修补,以防止吊索被腐蚀。对于采用包裹防护(如采用橡胶或塑料等材料包裹吊索)的方式,检查包裹材料是否有破损、老化等情况。

6.2.10 检查排水系统是否正常。检查主缆、吊索等部位的排水管道是否畅通,排水孔是否被堵塞。

7 检查与养护

7.1.1 养护要求应符合 JTG/T 5122 的规定。

7.1.2 若吊索有明显摆动、倾斜或检查发现其受力变化，应查明原因。若索夹松动，应使其复位并紧固螺栓；若螺栓松动，应予拧紧；若吊索头出现松动，应予更换。吊杆复位后应进行索力检测。

7.1.3 密封吊索长吊索，存在风致振动异常时，可将同一吊点的吊杆用夹具（减振器）进行连接，夹具的设置间距应研究确定。也可采用增加防振锤或增加阻尼器等减振措施。

7.1.4 索体如出现松弛，应及时补拉张紧。

7.1.5 当检查发现吊索头、叉耳、销子等部位有涂装损坏，需要及时补涂。

7.1.6 应保持止水密封圈、防雨罩等处于完好状态，若发现老化、开裂、破损，要及时修补或更换。

7.1.7 若吊索钢丝锈蚀或断丝，则应进行专门检查，有针对性地研究制定专用养护与维修方法。若吊索实测索力与设计索力存在明显偏差（大约±10%），应及时研究采取有效措施。

7.1.8 对于锚具，若无法正常锚固吊索，或者锚具本体出现裂缝等严重缺陷，应更换锚具。更换锚具后，要进行预应力张拉和锚固性能测试，确保锚具能够正常工作。

7.1.9 对于腐蚀严重或承载能力下降的吊索，应及时更换。在更换吊索时，要严格按照安装程序进行操作，确保新吊索的安装质量。例如，在拆除旧吊索时，要采用合适的起吊设备，避免对桥梁其他部件造成损坏，新吊索安装后，要进行全面的检查和调试。

附录 A

(规范性) 索体用钢丝技术要求

A. 0. 1 索体制造时, 相同直径圆钢丝、同一规格型号的异形钢丝应为同一公称强度级, 不同直径圆钢丝、不同规格型号的异形钢丝允许采用不同强度级。

A. 0. 2 索体用圆钢丝公称直径允许偏差应符合表A. 1的规定。索体用异形钢丝直径及允许偏差应符合表A. 2的规定。

表A. 1 索体用圆钢丝公称直径允许偏差

公称直径, d	允许偏差
$0.60 \leq d < 1.00$	± 0.03
$1.00 \leq d < 1.60$	± 0.04
$1.60 \leq d < 2.40$	± 0.05
$2.40 \leq d < 3.70$	± 0.06
$3.70 \leq d < 5.20$	± 0.07
$5.20 \leq d \leq 6.00$	± 0.08

表A. 2 索体用异形钢丝公称高度允许偏差

公称高度, h	高度允许偏差
$3.0 \leq h < 5.0$	$+0.12$ 0
$5.0 \leq h \leq 8.0$	$+0.15$ 0

A. 0. 3 盘条选择应选用符合 GB/T 4354 的规定。

A. 0. 4 扭转应按照 GB/T 239. 1 的方法进行试验, 圆钢丝的扭转值应符合表 A. 3 的规定, 异形钢丝的扭转值应符合表 A. 4 的规定。

A. 0. 5 弯曲应按照 GB/T 238 的方法进行试验, 圆钢丝的弯曲值应符合表 A. 5 的规定, 异形钢丝的弯曲值应符合表 A. 6 的规定。

A. 0. 6 镀层重量应按 GB/T 1839 规定进行试验, 圆钢丝镀层重量应符合表 A. 7 的规

定，异形钢丝的镀层重量应符合表 A. 8 的规定。

表A. 3 圆钢丝最小扭转次数

公称直径d	试验钳口 标距	公称抗拉强度级别 MPa			
mm	mm	1570	1670	1770	1870
$1.30 \leq d < 1.80$	100d	20	18	18	16
$1.80 \leq d < 2.30$		18	16	16	14
$2.30 \leq d < 3.00$		16	13	13	11
$3.00 \leq d < 3.40$		14	11	11	8
$3.40 \leq d < 3.70$		12	9	9	7
$3.70 \leq d < 4.00$		10	8	8	6
$4.00 \leq d < 4.20$		8	7	7	5
$4.20 \leq d < 4.40$		8	6	6	4
$4.40 \leq d < 4.60$		8	6	6	4
$4.60 \leq d < 4.80$		7	6	6	4
$4.80 \leq d < 5.20$		6	5	5	3
$5.20 \leq d < 5.40$		6	5	5	3
$5.40 \leq d < 5.60$		6	4	4	—
$5.60 \leq d < 5.80$		4	4	4	—
$5.80 \leq d < 6.00$		4	4	4	—

表A.4 Z形钢丝最小扭转次数

公称高度 h mm	试验钳口标距 mm	公称抗拉强度级别 MPa					
		1470	1570	1670	1770	1870	1960
$3.00 \leq h < 4.00$	460	21	19	17	15	13	11
$4.00 \leq h < 5.00$	310	10	9	8	7	6	5
$5.00 \leq h < 6.00$	380	9	8	7	6	5	4
$6.00 \leq h < 7.00$	460	8	7	6	5	4	3
$7.00 \leq h < 7.50$	540	7	6	5	4	—	—
$7.50 \leq h \leq 8.00$	500	5	4	3	3	—	—

表A.5 圆钢丝最小弯曲次数

公称直径 d mm	弯曲半径 mm	公称抗拉强度级别 MPa			
		1570	1670 1770	1870 1960	2060 2160
$1.30 \leq d < 1.40$	3.75	10	10	9	6
$1.40 \leq d < 1.50$		10	9	8	5
$1.50 \leq d < 1.60$	5.00	13	12	11	8
$1.60 \leq d < 1.70$		12	11	10	7
$1.70 \leq d < 1.80$		11	10	9	6
$1.80 \leq d < 1.90$		10	9	8	5
$1.90 \leq d < 2.00$		9	8	7	4
$2.00 \leq d < 2.10$		14	13	12	9
$2.10 \leq d < 2.20$	7.50	13	12	11	8
$2.20 \leq d < 2.30$		12	11	10	7
$2.30 \leq d < 2.40$		12	11	10	7
$2.40 \leq d < 2.50$		10	9	8	5
$2.50 \leq d < 2.60$		10	9	8	5
$2.60 \leq d < 2.70$		9	8	7	4
$2.70 \leq d < 2.80$		9	8	7	4
$2.80 \leq d < 2.90$		8	7	6	4
$2.90 \leq d < 3.00$		8	7	6	4

公称直径d mm	弯曲半径 mm	公称抗拉强度级别 MPa			
		1570	1670 1770	1870 1960	2060 2160
$3.00 \leq d < 3.10$	10.0	11	10	9	7
$3.10 \leq d < 3.20$		11	10	9	6
$3.20 \leq d < 3.30$		10	9	8	5
$3.30 \leq d < 3.40$		10	9	8	5
$3.40 \leq d < 3.50$		9	8	7	5
$3.50 \leq d < 3.60$		9	8	7	5
$3.60 \leq d < 3.70$		8	7	6	4
$3.70 \leq d < 3.80$		8	7	6	4
$3.80 \leq d < 3.90$		7	6	5	4
$3.90 \leq d < 4.00$		7	6	5	4
$4.00 \leq d < 4.10$	15.0	9	8	7	6
$4.10 \leq d < 4.20$		8	7	6	5
$4.20 \leq d < 4.30$		8	7	6	5
$4.30 \leq d < 4.40$		8	7	6	5
$4.40 \leq d < 4.50$		7	6	5	4
$4.50 \leq d < 4.60$		7	6	5	4
$4.60 \leq d < 4.70$		7	6	5	4
$4.70 \leq d < 4.80$		6	5	4	3
$4.80 \leq d < 4.90$		6	5	4	3
$4.90 \leq d \leq 6.00$		6	5	4	3

表A. 6 Z形钢丝最小弯曲次数

公称高度 h mm	弯曲半径 mm	公称抗拉强度级别 MPa					
		1470	1570	1670	1770	1870	1960
$3.00 \leq h < 4.00$	7.5	7	6	5	4	3	2
$4.00 \leq h < 5.00$	10	7	6	5	4	3	2
$5.00 \leq h < 6.00$	15	6	5	4	3	2	2
$6.00 \leq h < 7.00$		5	4	3	2	--	--
$7.00 \leq h < 7.50$		5	4	3	2	--	--
$7.50 \leq h \leq 8.00$	20	7	6	5	4	--	--

表A. 7 圆钢丝最小镀层重量

钢丝公称直径 d mm	最小镀层重量 g/m ²
$1.40 \leq d < 1.65$	195
$1.65 \leq d < 1.85$	205
$1.85 \leq d < 2.15$	215
$2.15 \leq d < 2.50$	230
$2.50 \leq d < 2.80$	245
$2.80 \leq d < 3.20$	255
$3.20 \leq d < 3.80$	265
$3.80 \leq d < 4.00$	275
$4.00 \leq d \leq 6.00$	280

表A. 8 异形钢丝最小镀层重量

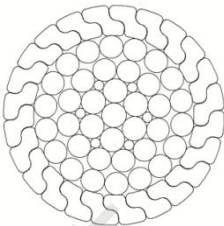
钢丝公称高度 h mm	最小镀层重量 g/m ²
$3.0 \leq h < 4.0$	265
$4.0 \leq h < 5.0$	275
$5.0 \leq h \leq 8.0$	290

附录 B

(规范性)

索体类别、直径和级的最小破断拉力表

表B.1 一层Z型密封索体

一层 Z 型钢丝密封索体			 WSC-Z 密封索体典型结构图			
索体公称 直径 mm	近似公称 长度重量 kg/100m	公称金属 横截面积 mm ²	索体最小破断拉力 kN			
			索体钢丝绳级			
			1670 级	1770 级	1870 级	1960 级
20	226	254	391	414	438	459
22	273	307	473	501	529	555
24	325	366	563	596	630	660
26	382	429	660	700	740	775
28	443	498	766	812	858	899
30	509	572	879	932	985	1030
32	579	650	1000	1060	1120	1170
34	653	734	1130	1200	1260	1330
36	732	823	1270	1340	1420	1490
38	816	917	1410	1500	1580	1660
40	904	1020	1560	1660	1750	1830

表B.2 二层Z型密封索索体

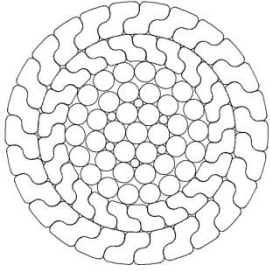
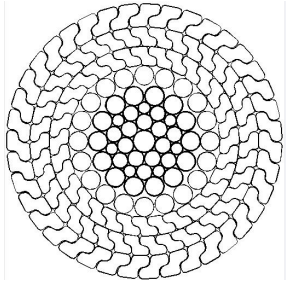
二层 Z 型钢丝密封索体			 WSC-ZZ 密封索体典型结构图			
索体公称 直径 mm	近似公称 长度重量 kg/100m	公称金属 横截面积 mm ²	索体最小破断拉力 kN			
			索体钢丝绳级			
			1670 级	1770 级	1870 级	1960 级
30	518	590	914	969	1020	1070
32	589	671	1040	1100	1160	1220
34	665	757	1170	1240	1310	1380
36	745	849	1320	1390	1470	1540
38	830	946	1470	1550	1640	1720
40	920	1050	1620	1720	1820	1910
42	1014	1150	1790	1900	2010	2100
44	1113	1270	1970	2080	2200	2310
46	1217	1390	2150	2280	2410	2520
48	1325	1510	2340	2480	2620	2750
50	1438	1640	2540	2690	2840	2980
52	1555	1770	2750	2910	3070	3220
54	1677	1910	2960	3140	3320	3470
56	1803	2050	3180	3370	3570	3740
58	1934	2200	3420	3620	3820	4010
60	2070	2360	3660	3870	4090	4290

表 B.3 三层及以上 Z 型密封索体

三层及以上 Z 型钢丝密封索体			 WSC-ZZZ 密封索体典型结构图			
索体公称直径 mm	近似公称 长度重量 kg/100m	公称金属 横截面积 mm ²	索体最小破断拉力 kN			
			索体钢丝绳级			
			1670 级	1770 级	1870 级	1960 级
48	1382	1580	2420	2600	2710	2840
50	1500	1710	2630	2790	2950	3090
52	1622	1850	2840	3020	3190	3340
54	1750	2000	3070	3250	3440	3600
56	1882	2150	3300	3500	3690	3870
58	2018	2300	3540	3750	3960	4150
60	2160	2470	3790	4010	4240	4450
62	2306	2630	4040	4290	4530	4750
64	2458	2810	4310	4570	4830	5060
66	2614	2980	4580	4860	5130	5380
68	2774	3170	4860	5160	5450	5710
70	2940	3360	5160	5460	5770	6050
72	3110	3550	5450	5780	6110	6400
74	3286	3750	5760	6110	6450	6760
76	3466	3960	6080	6440	6800	7130
78	3650	4170	6400	6780	7170	7510
80	3840	4380	6730	7140	7540	7900
82	4034	4610	7070	7500	7920	8300
84	4234	4830	7420	7870	8310	8710
86	4438	5070	7780	8250	8710	9130
88	4646	5300	8150	8640	9120	9560
90	4860	5550	8520	9030	9540	10000
92	5078	5800	8905	9440	9970	10500
94	5302	6050	9300	9850	10400	10900
96	5530	6310	9700	10300	10900	11400
98	5762	6580	10100	10700	11300	11900
100	6000	6850	10500	11200	11800	12300

表B.3 三层及以上Z型密封索体（续1）

索体公称直径 mm	近似公称 长度质量 kg/100m	公称金属 横截面积 mm ²	索体最小破断拉力 kN		
			索体钢丝绳级		
			1670 级	1770 级	1870 级
102	6242	7190	11100	11700	12400
104	6490	7470	11500	12200	12900
106	6742	7760	12000	12700	13400
108	6998	8060	12400	13200	13900
110	7260	8360	12900	13600	14400
112	7526	8668	13300	14100	14900
114	7798	8980	13800	14700	15500
116	8074	9300	14300	15200	16000
118	8354	9620	14800	15700	16600
120	8640	9950	15300	16200	17200
122	8930	10300	15800	16800	—
124	9226	10600	16400	17300	—
126	9526	11000	16900	17900	—
128	9830	11300	17400	18500	—
130	10140	11700	18000	19100	—
132	10454	12000	18500	19600	—
134	10774	12400	19100	20200	—
136	11098	12800	19700	20900	—
138	11426	13200	20300	21500	—
140	11760	13500	20900	22100	—
142	12098	13900	21500	—	—
144	12442	14300	22100	—	—
146	12790	14700	22700	—	—
148	13142	15100	23300	—	—
150	13500	15500	23900	—	—
152	13862	16000	24600	—	—
154	14230	16400	25200	—	—
156	14602	16800	25900	—	—
158	14978	17200	26600	—	—
160	15360	17700	27200	—	—