

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 4601—2023

桥梁缆索用锌-10%铝-稀土多元合金 镀层钢丝通用技术条件

General specification of zinc-10% aluminum mischmetal
alloy-coated steel wire for bridge cables

地方标准信息服务平台

2023-12-01 发布

2024-01-01 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言Ⅲ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义1

4 符号1

5 分类、型号与规格.....2

6 技术要求3

7 试验方法6

附录A（规范性） 合金锭化学成分.....7

附录B（规范性） 脉动拉伸疲劳试验方法.....8

附录C（规范性） 镦头试验方法.....9

附录D（规范性） 数值修约方法10

地方标准信息服务平台

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由无锡市市场监督管理局提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会钢丝绳分技术委员会归口。

本文件起草单位：江苏东纲金属制品有限公司、江苏法尔胜缆索有限公司、深中通道管理中心。

本文件主要起草人：赵军、薛花娟、朱晓雄、宋神友、王志刚、陈建峰、夏浩成、章盛、刘金、肖国豪、严志龙、王飞、费汉兵、吴树文、朱维军。

地方标准信息服务平台

桥梁缆索用锌-10% 铝-稀土多元合金 镀层钢丝通用技术条件

1 范围

本文件规定了桥梁缆索用锌-10% 铝-稀土多元合金镀层钢丝(以下简称“钢丝”)的符号、分类、型号、规格以及技术要求,描述了对应的试验方法。

本文件适用于悬索桥主缆及吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊索和系杆索等承重索用钢丝,其他结构缆索用钢丝可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 238 金属材料 线材 反复弯曲试验方法
GB/T 239.1 金属材料 线材 第 1 部分:单向扭转试验方法
GB/T 470 锌锭
GB/T 1839 钢产品镀锌层质量试验方法
GB/T 2972 镀锌钢丝锌层硫酸铜试验方法
GB/T 2976 金属材料 线材 缠绕试验方法
GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定
GB/T 12689.1 锌及锌合金化学分析方法 第 1 部分:铝含量的测定 铬天青 S-聚乙二醇辛基苯基醚-溴化十六烷基吡啶分光光度法、CAS 分光光度法和 EDTA 滴定法
GB/T 12689.12 锌及锌合金化学分析方法 铅、镉、铁、铜、锡、铝、砷、锑、镁、镧、铈量的测定 电感耦合等离子体-发射光谱法
GB/T 21839 预应力混凝土用钢材试验方法
YB/T 4264 桥梁缆索钢丝用盘条

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锌-10% 铝-稀土多元合金镀层钢丝 **zinc-10%aluminum mischmetal alloy-coated steel wire**
在锌-10% 铝-稀土多元合金熔池中,光面钢丝外表热镀锌-10% 铝-稀土多元合金层的钢丝。

4 符号

下列符号适用于本文件。

A ——断后伸长率,以%表示;

- d_n —— 钢丝的公称直径,单位为毫米(mm);
- F_a —— 脉动应力幅的载荷值,单位为牛(N);
- F_m —— 规定的公称最大拉力,单位为牛(N);
- h_b —— 矢高,单位为毫米(mm);
- R_m —— 抗拉强度,单位为兆帕(MPa);
- $R_{p0.2}$ —— 0.2% 规定塑性延伸强度,单位为兆帕(MPa);
- S_n —— 钢丝公称截面积,单位为平方毫米(mm²)。

5 分类、型号与规格

5.1 分类

- 5.1.1 钢丝按公称直径分为 5 mm、6 mm 和 7 mm 三个系列。
- 5.1.2 钢丝按强度级别分为 1 670 MPa 级、1 770 MPa 级、1 860 MPa 级、1 960 MPa 级、2 000 MPa 级、2 060 MPa 级、2 100 MPa 级、2 200 MPa 级八个系列。
- 5.1.3 钢丝按松弛性能分为 I 级松弛和 II 级松弛。

5.2 型号

钢丝型号包括以下内容:

- a) 公称直径;
- b) 镀层形式;
- c) 公称抗拉强度;
- d) 松弛等级;
- e) 文件号。

示例 1: 公称直径为 $\phi 6.00$ mm,公称抗拉强度为 2 060 MPa, I 级松弛的锌-10% 铝-稀土多元合金镀层钢丝,其型号表示为 6.00-Zn-10%Al-RE-2060-I-DB32/T 4601—2023。

示例 2: 公称直径为 $\phi 7.00$ mm,公称抗拉强度级别为 2 000 MPa, II 级松弛的锌-10% 铝-稀土多元合金镀层钢丝,其型号表示为 7.00-Zn-10%Al-RE-2000-II-DB32/T 4601—2023。

5.3 规格

钢丝的公称直径、直径允许偏差、不圆度、公称截面积和每米参考质量应符合表 1 的要求。

表 1 钢丝的尺寸和允许偏差

系列	公称直径(d_n) mm	直径允许偏差 mm	不圆度 mm	公称截面积(S_n) mm ²	每米参考质量 g/m
5 mm	5.00	± 0.06	≤ 0.06	19.6	154
	5.10			20.4	160
	5.20			21.2	166
	5.30			22.1	173
	5.40			22.9	179
6 mm	5.50	± 0.06	≤ 0.06	23.8	186
	5.60			24.6	193

表 1 钢丝的尺寸和允许偏差（续）

系列	公称直径(d_n) mm	直径允许偏差 mm	不圆度 mm	公称截面积(S_n) mm ²	每米参考质量 g/m
6 mm	5.70	±0.06	≤0.06	25.5	200
	5.80			26.4	207
	5.90			27.3	214
	6.00			28.3	221
	6.10			29.2	229
	6.20			30.2	236
	6.30			31.2	244
	6.40			32.2	252
7 mm	6.50	±0.07	≤0.07	33.2	260
	6.60			34.2	268
	6.70			35.3	276
	6.80			36.3	284
	6.90			37.4	293
	7.00			38.5	301
注 1：钢丝的公称直径、公称截面积、每米参考质量均包含镀层。 注 2：每米参考质量不包括直径偏差引起的变化,计算时,钢丝的参考密度取 7.83 g/cm³。 注 3：其他规格钢丝的直径允许偏差及不圆度要求可参照使用。					

6 技术要求

6.1 材料与制造

- 6.1.1 制造钢丝采用的盘条应符合 YB/T 4264 的规定。经供需双方协商，也可采用其他要求的盘条。
- 6.1.2 热镀用锌锭应采用 GB/T 470 中 Zn99.95 及以上牌号的锌锭，热镀用合金锭应符合附录 A。根据供需双方协商，也可适当调整铝含量的范围。
- 6.1.3 盘条经拉拔形成光面钢丝后，再进行热镀锌-10% 铝-稀土多元合金。
- 6.1.4 光面钢丝经热镀后需要根据最终产品的松弛要求进行相应的后处理。
- 6.1.5 钢丝整卷长度内不应有任何形式的接头存在，在制造过程中的焊接头应在成品中切除。

6.2 力学性能

- 6.2.1 成品钢丝的力学性能应符合表 2、表 3 和表 4 的要求。

表 2 5 mm 系列钢丝的力学性能

序号	项目		单位	技术指标								
1	强度级别		MPa	1 670	1 770	1 860	1 960	2 000	2 060	2 100	2 200	
2	抗拉强度 R_m		MPa	$\geq 1\,670$	$\geq 1\,770$	$\geq 1\,860$	$\geq 1\,960$	$\geq 2\,000$	$\geq 2\,060$	$\geq 2\,100$	$\geq 2\,200$	
3	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$	I 级松弛	MPa	$\geq 1\,340$	$\geq 1\,420$	$\geq 1\,490$	$\geq 1\,570$	$\geq 1\,600$	$\geq 1\,650$	$\geq 1\,680$	$\geq 1\,760$	
		II 级松弛		$\geq 1\,490$	$\geq 1\,580$	$\geq 1\,660$	$\geq 1\,750$	$\geq 1\,790$	$\geq 1\,850$	$\geq 1\,890$	$\geq 1\,980$	
	疲劳性能		—	应力上限为 $0.45R_m$, 200 万次不断裂								
4	弹性模量		MPa	$(2.0\pm 0.1)\times 10^5$								
5	断后伸长率 A (标距 250 mm)		%	≥ 4.0								
6	扭转性能(100 d_n)		次/360°	≥ 14	≥ 14	≥ 14	≥ 14	≥ 12	≥ 10	≥ 8	≥ 8	
7	缠绕性能		圈	$3d_n\times 8$							$5d_n\times 8$	
8	反复弯曲性能		次	≥ 5								
9	松弛性能 (1 000 h, 荷载为 $0.70F_m$, 温度 20 °C)	I 级松弛	%	≤ 7.5								
		II 级松弛		≤ 2.5								
注: 钢丝的抗拉强度和规定塑性延伸强度的计算面积均采用公称截面积。												

表 3 6 mm 系列钢丝的力学性能

序号	项目		单位	技术指标							
1	强度级别		MPa	1 670	1 770	1 860	1 960	2 000	2 060	2 100	2 200
2	抗拉强度 R_m		MPa	$\geq 1\,670$	$\geq 1\,770$	$\geq 1\,860$	$\geq 1\,960$	$\geq 2\,000$	$\geq 2\,060$	$\geq 2\,100$	$\geq 2\,200$
3	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$	I 级松弛	MPa	$\geq 1\,340$	$\geq 1\,420$	$\geq 1\,490$	$\geq 1\,570$	$\geq 1\,600$	$\geq 1\,650$	$\geq 1\,680$	$\geq 1\,760$
		II 级松弛		$\geq 1\,490$	$\geq 1\,580$	$\geq 1\,660$	$\geq 1\,750$	$\geq 1\,790$	$\geq 1\,850$	$\geq 1\,890$	$\geq 1\,980$
	疲劳性能		—	应力上限 $0.45R_m$, 200 万次不断裂							
4	弹性模量		MPa	$(2.0 \pm 0.1) \times 10^5$							
5	断后伸长率 A (标距 250 mm)		%	≥ 4.0							
6	扭转性能 (100 d_n)		次/360°	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 10	≥ 8	≥ 8	≥ 8
7	缠绕性能		圈	$3d_n \times 8$					$5d_n \times 8$		
8	反复弯曲性能		次	≥ 5							
9	松弛性能 (1 000 h, 荷载为 0.70 F_m , 20 °C)	I 级松弛	%	≤ 7.5							
		II 级松弛		≤ 2.5							
注: 钢丝的抗拉强度和规定塑性延伸强度的计算面积均采用公称截面积。											

表 4 7 mm 系列钢丝的力学性能

序号	项目		单位	技术指标							
1	强度级别		MPa	1 670	1 770	1 860	1 960	2 000	2 060	2 100	2 200
2	抗拉强度 R_m		MPa	$\geq 1\,670$	$\geq 1\,770$	$\geq 1\,860$	$\geq 1\,960$	$\geq 2\,000$	$\geq 2\,060$	$\geq 2\,100$	$\geq 2\,200$
3	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$	I 级松弛	MPa	$\geq 1\,340$	$\geq 1\,420$	$\geq 1\,490$	$\geq 1\,570$	$\geq 1\,600$	$\geq 1\,650$	$\geq 1\,680$	$\geq 1\,760$
		II 级松弛		$\geq 1\,490$	$\geq 1\,580$	$\geq 1\,660$	$\geq 1\,750$	$\geq 1\,790$	$\geq 1\,850$	$\geq 1\,890$	$\geq 1\,980$
	疲劳性能		—	应力上限 $0.45R_m$, 200 万次不断裂							
4	弹性模量		MPa	$(2.0\pm 0.1)\times 10^5$							
5	断后伸长率 A (标距 250 mm)		%	≥ 4.0							
6	扭转性能($100d_n$)		次/ 360°	≥ 12	≥ 12	≥ 12	≥ 10	≥ 8	≥ 8	≥ 8	≥ 8
7	缠绕性能		圈	$3d_n\times 8$					$5d_n\times 8$		
8	反复弯曲性能		次	≥ 5							
9	松弛性能 (1 000 h, 荷载为 0.70 F_m , 20 °C)	I 级松弛	%	≤ 7.5							
		II 级松弛		≤ 2.5							
注: 钢丝的抗拉强度和规定塑性延伸强度的计算面积均采用公称截面积。											

6.2.2 供方在保证 1 000 h 松弛性能合格的基础上可用不少于 120 h 的测试数据推算 1 000 h 的松弛值。

6.2.3 经供需双方协商,可供应其他力学性能要求的钢丝。

6.3 工艺性能

6.3.1 如需方要求,可做镦头试验。

6.3.2 钢丝镦头性能应符合下列要求:

- a) 镦头为鼓槌状,鼓槌的最大外径为钢丝公称直径的 1.4 倍±0.1 倍;
- b) 镦头不应出现横向裂纹;
- c) 允许镦头出现平行于沿钢丝轴线不贯通纵向裂纹和斜裂纹。

6.4 镀层性能

6.4.1 按用途钢丝单位面积镀层重量可分为两类,用于悬索桥主缆的钢丝单位面积镀层重量为 250 g/m²~350 g/m²,用于悬索桥吊索、斜拉桥斜拉索、拱桥吊索和系杆索等的钢丝单位面积镀层重量为 300 g/m²~400 g/m²。经供需双方协商确定,也可采用其他单位面积镀层重量的钢丝。

6.4.2 钢丝镀层的铝含量应为 9.0%~14.5%,稀土含量按照附录 A 的要求控制。

6.4.3 钢丝镀层经 5 $d_n \times 8$ 圈的镀层附着性试验后,螺旋圈的外侧镀层应无剥落或用手指(避免采用指甲)摩擦无剥落的现象。

6.4.4 钢丝镀层经硫酸铜溶液浸泡 2 次(每次时间 45 s),不应出现光亮沉积层和橙红色铜的粘附。

6.5 伸直性能

6.5.1 钢丝长度方向应顺直,不应有弯折、扭曲等情况。

6.5.2 取长度 5 m 的钢丝平放于光滑平整的地面,若一端接触地面,则另一端翘离地面的高度不应大于 150 mm。

6.5.3 取弦长 1 m 的钢丝平放于地面,其自然矢高 h_0 不应大于 25 mm,如图 1 所示。

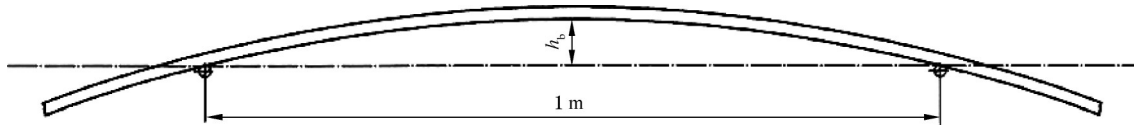


图1 自然矢高的测量

6.6 外观

钢丝表面镀层应连续、均匀、光滑,不应有肉眼可见的损伤、脱镀等缺陷。

7 试验方法

7.1 外观和尺寸检验

7.1.1 钢丝的外观采用目测方法进行检查。

7.1.2 采用精度为 0.01 mm 的千分尺测量钢丝直径,测量同一截面相互垂直的两个方向,并取平均值。

7.1.3 采用精度为 0.01 mm 的千分尺测量钢丝不圆度,取同一截面上直径的最大值和最小值的差值。

7.1.4 采用精度为 1 mm 的钢尺测量钢丝自由翘头高度和自然矢高。

7.2 力学性能检验

7.2.1 钢丝的抗拉强度、规定塑性延伸强度、弹性模量、断后伸长率应按 GB/T 21839 计算。计算强度采用公称截面积 S_n 。

7.2.2 脉动拉伸疲劳试验按照附录 B 进行。

7.2.3 钢丝的扭转试验按照 GB/T 239.1 进行,标距为 $100d_n$,扭转测试转速应不大于 60 r/min。

7.2.4 钢丝缠绕试验按照 GB/T 2976 进行。

7.2.5 钢丝反复弯曲试验按照 GB/T 238 进行。

7.2.6 型式检验的松弛试验按照 GB/T 21839 进行,持续时间 1 000 h。出厂检验在保证 1 000 h 型式试验松弛合格的基础上,也可采用至少 120 h 的试验数据推算 1 000 h 的松弛值。

7.3 镢头性能检验

钢丝镢头试验按照附录 C 进行。

7.4 镀层性能检验

7.4.1 单位面积镀层重量试验按照 GB/T 1839 进行。

7.4.2 镀层的铝含量可按照 GB/T 12689.1 或 GB/T 12689.12 进行,出现异议时按 GB/T 12689.1 的 EDTA 滴定法仲裁。

7.4.3 镀层附着性试验按照 GB/T 2976 进行。

7.4.4 镀层均匀性试验按照 GB/T 2972 进行。

7.5 数值修约

数值修约附录 D 的规定进行。

附录 A
(规范性)
合金锭化学成分

合金锭化学成分质量分数应符合表 A.1 的要求。

表 A.1 合金锭化学成分质量分数

%

成分	Al ^a	Ce+La	Fe 不大于	Pb 不大于	Cd 不大于	Sn 不大于	其他元素 ^b 每种不大于	其他元素 ^b 总量不大于	Zn
质量分数	9.0~30.0	0.03~0.30	0.090	0.005	0.005	0.002	0.02	0.04	余量
注:合金锭中Sb的最大含量为0.002%,Cu的最大含量为0.1%。Mg的最大含量为0.05%,但对这些元素不要求进行分析。									
^a Al含量根据工艺要求可适当调整。 ^b 其他元素不包括Sb、Cu、Mg、Zr、Ti。									

地方标准信息服务平台

附 录 B
(规范性)
脉动拉伸疲劳试验方法

B.1 试验原理

测算承受两种预定脉动拉伸负荷(最大负荷和最小负荷)试样的脉动拉伸应力。

B.2 试样

B.2.1 脉动疲劳试验应取成品钢丝。

B.2.2 两个夹具之间的试样尺寸应大于 140 mm。

B.3 试验条件

B.3.1 试验温度应为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

B.3.2 钢丝应能承受 200 万次 $0.45F_m\sim(0.45F_m-2\Delta F_a)$ 的载荷不断裂,其中应力幅值 $=2\Delta F_a/S_n$ 。不同强度级别的钢丝疲劳应力幅值见表 B.1。

表 B.1 钢丝疲劳应力幅值

强度等级/MPa	1 670	1 770	1 860	1 960	2 000	2 060	2 100	2 200
疲劳应力幅值/MPa	360				410			460

B.3.3 在试验的全过程中,脉动拉伸的最大负荷和最小负荷应恒定。负荷的控制精度应大于或等于 1%。

B.3.4 脉动疲劳荷载加载频率为恒定,不应超过 120 Hz。所有应力应呈轴向传递给试样,不对钳口和缺口有影响,试样不应滑移。

B.3.5 试样在夹头内或夹持区域内 3 倍的钢丝公称直径断裂时,试验无效。当实际负荷循环次数已达到或超过规定值,允许将试验结果视为有效。

附 录 C
(规范性)
镦头试验方法

C.1 试验原理

采用专用夹具将钢丝端部挤压成鼓槌状。

C.2 试验步骤

镦头试验步骤如下：

- a) 截取一段未经加工的、长 200 mm~300 mm 钢丝,钢丝端面应与母材垂直;
- b) 将钢丝居中送入镦头器镦头模的底部;
- c) 推动活塞对钢丝进行镦头试验;
- d) 到达额定压力时卸载、复位,完成镦头试验;
- e) 如镦头尺寸偏小,允许进行二次镦头试验。

地方标准信息服务平台

附 录 D
(规范性)
数值修约方法

D.1 化学成分

化学成分分析所得元素的实测数值,应经修约使其标识的数位与相应产品标准或有关文件规定的化学成分数值标识的数位一致。

D.2 力学性能

D.2.1 如标准或有关文件未规定修约间隔,则拉伸试验结果应按表D.1进行修约。

表 D.1 钢丝拉伸试验数值的修约间隔

测试项目	修约间隔
抗拉强度 规定塑性延伸强度	10 MPa
断后伸长率	0.5%

D.2.2 其他力学性能或物理性能试验的测定值或其计算值的修约,可按相应的试验方法标准的规定进行修约。

D.2.3 如结果数值标识的数位与产品标准或有关文件规定的指标或参数数值所标识的数位不一致时,修约应符合 GB/T 8170 的要求,并按修约值判定。