

ICS 29.240  
备案号： 506-2011

Q/GDW

# 国家电网公司企业标准

Q/GDW 1851 — 2012

---

## 碳纤维复合材料芯架空导线

Overhead conductors carbon fiber composite core reinforced

2013-XX-XX 发布

2013-XX-XX 实施

---

国家电网公司 发布



## 目 次

前言	错误! 未定义书签。
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 标识	2
5 技术要求	3
6 试验	7
7 试验方法	9
8 标志、包装	12
附录 A (资料性附录) 需方提供的资料	14
附录 B (资料性附录) 碳纤维复合材料芯导线的结构及性能	15
附录 C (规范性附录) 线膨胀系数试验方法	18
附录 D (规范性附录) 导线过滑轮试验方法	19
编制说明	21

## 前 言

本标准由国家电网公司基建部提出并解释。

本标准由国家电网公司科技部归口。

本标准主要起草单位：中国电力科学研究院、华北电力科学研究院、上海电缆研究所

本标准主要起草人：万建成 刘臻 陈原 黄国飞 汪传斌 黄伟中 陈新 项建新 尤伟任 何州文 赵新院 董玉明 王景朝 韦强启 刘龙。

本标准首次发布。

# 碳纤维复合材料芯架空导线

## 1 范围

本标准规定了碳纤维复合材料芯架空导线的产品分类、技术要求、检验规则、试验方法、标志、包装。

本标准适用于架空输电线路用碳纤维复合材料芯（单根棒状）架空导线。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1179 圆线同心绞架空导线
- GB/T 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则
- GB/T 1463 纤维增强塑料密度和相对密度试验方法
- GB/T 2572 纤维增强塑料平均线膨胀系数试验方法
- GB/T 2573 玻璃纤维增强塑料老化性能试验方法
- GB/T 3955 电工圆铝线
- GB/T 3048.2 电线电缆电性能试验方法 第2部分：金属材料电阻率试验
- GB/T 4909.3 裸电线试验方法 第3部分：拉力试验
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 16422.3 塑料实验室光源暴露试验方法 第3部分：荧光紫外灯
- GB/T 22315 金属材料 弹性模量和泊松比试验方法
- GB/T 22567 电气绝缘材料 测定玻璃化转变温度的试验方法
- GB/T 20141 型线同心绞架空导线
- GB/T 22077 架空导线蠕变试验方法
- GB/T 29234 架空导线用纤维增强树脂基复合材料芯棒
- GB 50233 110×500kV 架空线送电线路施工验收规范
- GB 50545 110kV~750kV 架空输电线路设计规范
- JB/T 8137.1 电线电缆交货盘 第1部分：一般规定
- JB/T 8137.4 电线电缆交货盘 第4部分：型钢复合结构交货盘
- IEC 62004 架空绞线用耐热铝合金线（Thermal resistant aluminium alloy wire for overhead line conductor）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**碳纤维复合材料芯 carbon fiber composite core**

以碳纤维为主要增强纤维与玻璃纤维、树脂复合而成的圆形棒状芯材。

### 3.2

**碳纤维复合材料芯架空导线（简称：碳纤维芯导线） overhead conductors carbon fiber composite core reinforced**

由多根软铝单线或耐热铝合金单线（统称导体）与碳纤维复合材料芯同心绞制而成的架空输电线路用绞线。

**3.3 型线同心绞碳纤维复合材料芯软铝绞线 overhead conductors-formed annealed aluminium wire, concentric lay, carbon fiber composite core reinforced, stranded conductors**

由多根软铝型线与碳纤维复合芯同心绞制而成的架空输电线路用绞线。

**3.4 圆线同心绞碳纤维复合材料芯耐热铝合金绞线 overhead conductors-thermal resistant aluminium alloy wire, concentric lay, carbon fiber composite core reinforced, stranded conductors**

由多根耐热铝合金圆线与碳纤维复合材料芯同心绞制而成的架空输电线路用绞线。

**3.5 f 值 value f**

垂直于轴线的同一圆截面上测得的最大和最小直径之差。

**3.6 强度等级 grade**

复合芯棒按其抗拉强度分为“1”、“2”两种强度等级。

**3.7 温度级别 level**

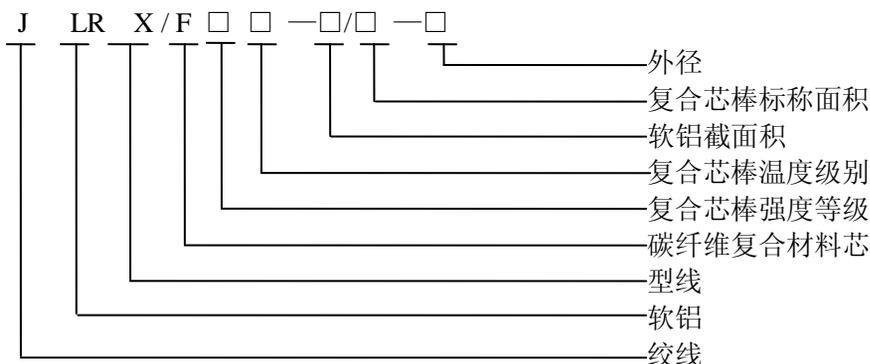
复合芯棒按长期允许使用温度分为“A”、“B”两种温度级别。

**3.8 玻璃化转变温度 (Tg) glass transition temperature, Tg**

发生玻璃化转变的温度范围内的中点处的温度。

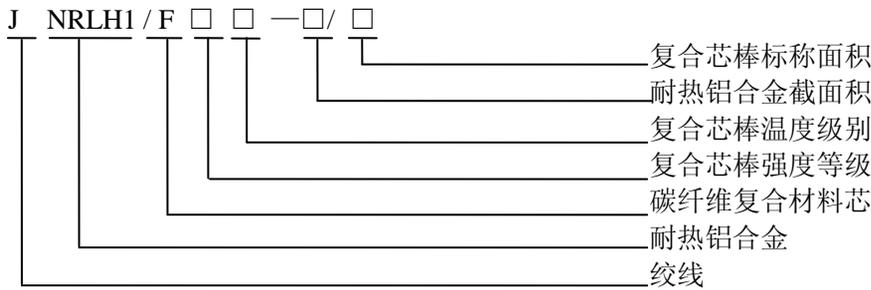
**4 标识**

型线同心绞碳纤维复合材料芯软铝绞线的表示方法如下：



示例 1：型线同心绞碳纤维复合材料芯软铝绞线中软铝的截面积为 401.5mm<sup>2</sup>，碳纤维复合材料芯的直径为 8.00mm，抗拉强度等级为 2100MPa，温度级别为 160℃，外径为 24.7mm 的绞线表示为：JLRX/F1B—400/50—24.7。

圆线同心绞碳纤维复合材料芯耐热铝合金绞线的表示方法如下：



示例 2：圆线同心绞碳纤维复合材料芯耐热铝合金绞线中耐热铝合金截面积为  $300.09\text{mm}^2$ ，碳纤维复合材料芯直径为  $8.00\text{mm}$ ，抗拉强度等级为  $2400\text{MPa}$ ，温度级别为  $120^\circ\text{C}$  的绞线表示为：JNRLH1/F2A—300/50。

## 5 技术要求

### 5.1 组成

碳纤维复合材料芯架空导线（以下简称碳纤维芯导线）由下述金属单线和碳纤维复合材料芯组成。

- 金属单线（软铝型线或耐热铝合金圆线）
- 碳纤维复合材料芯

### 5.2 软铝型线

绞制前所用的软铝型线应符合以下要求和 GB/T 3955 的相关要求。

#### 5.2.1 表面质量

软铝型线表面应光洁、形状完整一致，并不得有与良好的工业商品不相称的任何缺陷。

#### 5.2.2 抗拉强度

软铝型线的抗拉强度应满足  $60\text{MPa}\sim 95\text{MPa}$ 。

#### 5.2.3 断裂伸长率

软铝型线在标距为  $250\text{mm}$  时，拉断后的伸长率应不小于  $20.0\%$ 。

#### 5.2.4 电阻率

软铝型线  $20^\circ\text{C}$  时的电阻率应不大于  $0.027\ 367\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$  ( $63\%\text{IACS}$ )。

#### 5.2.5 几何尺寸、面积及允许偏差

软铝型线其断面几何尺寸应符合设计要求，实测截面积不小于设计截面积的  $98\%$ ，也不应大于  $102\%$ 。

#### 5.2.6 密度

$20^\circ\text{C}$  时软铝的密度为  $2.703\text{g}/\text{cm}^3$ 。

#### 5.2.7 接头

成盘的软铝型线不允许有接头。

### 5.3 耐热铝合金圆线

绞制前所用的耐热铝合金圆线应符合以下要求和 IEC 62004 中关于 AT1 的相关要求。

#### 5.3.1 表面质量

耐热铝合金圆线表面应光洁、形状完整一致，并不得有与良好的工业商品不相称的任何缺陷。

#### 5.3.2 抗拉强度

耐热铝合金圆线的抗拉强度应不小于  $159\text{MPa}$ 。

#### 5.3.3 断后伸长率

耐热铝合金圆线在标距为  $250\text{mm}$  时，断后伸长率应不小于  $1.5\%$ 。

#### 5.3.4 电阻率

耐热铝合金圆线  $20^\circ\text{C}$  时的电阻率应不大于  $0.028\ 735\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$  ( $60\%\text{IACS}$ )。

## 5.3.5 密度

20℃时铝合金的密度为 2.703g/cm<sup>3</sup>。

## 5.3.6 接头

成盘的耐热铝合金圆线不允许有接头。

## 5.4 碳纤维复合材料芯

碳纤维复合材料芯应符合 GB/T 29234 及以下的规定。

## 5.4.1 外观

复合芯棒表面应圆整、光洁、平滑、色泽一致，不得有与良好的工业产品不相称的任何缺陷（如凹凸、竹节、银纹、裂纹、夹杂、树脂积瘤、孔洞、纤维裸露、划伤及磨损等）。

## 5.4.2 直径公差及 f 值

复合芯棒的直径公差、f 值应符合表 1 的规定。

表 1 复合芯棒直径公差和 f 值

型 号	规格范围 <sup>a</sup> mm	直径公差 mm	f 值 mm
F1A、F1B、F2A、F2B	5.00≤d<8.00	±0.03	≤0.03
	8.00≤d≤11.00	±0.05	≤0.05
注：f 值应测量三个不同截面，且截面间隔距离不小于 100mm，取最大值作为结果。			
<sup>a</sup> 推荐规格（mm）：5.00、5.50、6.00、6.50、7.00、7.50、8.00、8.50、9.00、9.50、10.00、10.50、11.00。			

## 5.4.3 抗拉强度

复合芯棒的抗拉强度应符合表 2 的规定。

表 2 复合芯棒的抗拉强度

等 级	最小抗拉强度 MPa
1	2100
2	2400

## 5.4.4 长期允许使用温度

复合芯棒的长期允许使用温度应符合表 3 的规定。

表 3 复合芯棒的长期允许使用温度

级 别	长期允许使用温度 ℃
A	120
B	160

## 5.4.5 线膨胀系数

复合芯棒在 40℃到长期允许使用温度区间内的平均线膨胀系数应不大于  $2.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，理论计算复合芯棒平均线膨胀系数取值  $2.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

## 5.4.6 密度

复合芯棒的密度应不大于 2.0kg/dm<sup>3</sup>，线密度理论计算复合芯棒密度取值 2.0kg/dm<sup>3</sup>。

#### 5.4.7 卷绕

复合芯棒应在 55D 直径的筒体上以不大于 3r/min 的卷绕速度卷绕 1 圈，芯棒应不开裂、不断裂。

#### 5.4.8 扭转

完成卷绕试验后的复合芯棒应以 170D 的长度试样以不大于 2r/min 的扭转速度扭转 360°试验，其表层应不开裂，且扭转后的抗拉强度应符合表 2 的规定。

#### 5.4.9 径向耐压性能

复合芯棒应承受不小于 30kN 的压力，其端部应不开裂和脱皮。

#### 5.4.10 玻璃化转变温度 DMA Tg

复合芯棒玻璃化转变温度 DMA Tg 应符合表 4 的规定。

表 4 复合芯棒的玻璃化转变温度 DMA Tg

级 别	玻璃化转变温度 DMA Tg ℃ 不小于
A	150
B	190

#### 5.4.11 高温抗拉强度

复合芯棒高温抗拉强度应不小于表 2 规定值的 95%。

#### 5.4.12 弹性模量

复合芯棒的弹性模量应符合表 5 的规定。

表 5 复合芯棒的弹性模量

等 级	弹性模量 GPa 不小于
1	110
2	120

#### 5.4.13 耐荧光紫外老化

复合芯棒曝露 1008 小时后，其表面不发黏，无纤维裸露、裂纹和龟裂现象。

#### 5.4.14 耐腐蚀性能

复合芯棒在温度为 35℃±2℃，pH 值 6.5 至 7.2 之间的盐雾环境中保持 240 小时，其表面不应出现腐蚀产物和缺陷。

#### 5.4.15 湿热老化

碳纤维复合材料芯 A 级应在 120℃，B 级应在 160℃环境中置放 1h，然后室温水喷淋冷却 1h，如此反复循环 100 次试验，其抗拉强度不低于表 2 所列最小抗拉强度。

#### 5.4.16 长度及长度偏差

复合芯棒其单根交货长度应不小于 4500m，允许按购买方要求的最小长度交货，长度允许偏差为 +0.5%。除非购买方与制造方预先订有协议，才允许以双方协议规定的长度交货。

#### 5.4.17 接头

不允许为了延续单根复合芯棒制造长度而产生的任何形式的纤维接头。

复合芯棒成品不允许有任何形式的接头。

## 5.5 碳纤维芯导线规格

碳纤维芯导线的规格用导体及复合材料芯的标称截面表示。

需方应按附录 A 明确相关的要求，附录 B 给出了碳纤维芯导线规格一览表，并推荐新设计的碳纤维芯导线的结构尺寸从中选择。亦可根据工程实际需要，供需双方可按设计要求协议延伸相关碳纤维芯导线的规格，且应符合本标准规定的性能要求。

## 5.6 表面

碳纤维芯导线表面不应有肉眼可见的缺陷，例如明显的划痕、压痕等，并不得有与良好的工业商品不相称的任何缺陷。

## 5.7 绞制

5.7.1 碳纤维芯导线的导体单线应同心绞合。

5.7.2 相邻层绞向应相反。除非用户在订货时另有特别说明，最外层绞向应为右向。

5.7.3 每层单线应均匀紧密地绞合在碳纤维复合材料芯或内层绞线上。

5.7.4 碳纤维芯导线的绞合节径比应符合表 6 的规定。

表 6 碳纤维芯导线的绞合节径比

结构元件	绞层	节径比
导体绞层	外层	10.0~14.0
	内层	10.0~16.0

5.7.5 对于有多层的碳纤维芯导线，任何层的节径比应不大于其相邻内层的节径比。

5.7.6 绞制前，构成碳纤维芯导线的碳纤维芯和所有单线的温度应基本一致。

5.7.7 成品碳纤维芯导线单根交货长度应不小于 2500m，允许按买方要求的长度交货，长度允许公差为 -0%、+0.5%。除非买方与制造方预先订有协议，可允许以双方协议规定的长度交货。

## 5.8 接头

5.8.1 绞制过程中，碳纤维复合材料芯不允许有任何形式的接头。

5.8.2 绞制前每根制造长度的碳纤维芯导线不应使用如第 5.2 或 5.3 所述的有接头的软铝型线或耐热铝合金圆线，成品碳纤维芯导线的最外层单线不应有任何接头。

5.8.3 绞制过程中不应有为了要达到碳纤维芯导线长度要求而制作的单线接头。

5.8.4 在绞制过程中，单线若意外断裂，只要这种断裂既不是由单线内在缺陷，也不是因为使用短长度单线所致，则单线允许有接头。接头应与原单线的几何形状一致，即接头位置应修光，其形状与原形状相同，且避免弯折。

5.8.5 导体单线的接头应不超过表 7 的规定值。在同一根单线上或整根绞线中，任何两个接头间的距离应不小于 15m。

表 7 导体单线允许接头数

铝绞层数目	制造长度允许的接头数
2	2
3	3

5.8.6 接头应用电阻对焊。这些接头的制作应与良好的生产工艺一致。焊接后软铝型线的接头强度应不小于 60MPa，铝合金线接头强度应不小于 130MPa。

## 5.9 线密度

5.9.1 导体单线在绞合后的线密度（单位长度质量），按绞合增量并依据导体单线截面面积计算。软铝

型线因绞合引起的标准增量  $a$  符合 GB/T 20141 的相关规定，耐热铝合金圆线因绞合引起的标准增量  $a$  符合 GB/T 1179 的相关规定，详见表 8。

5.9.2 碳纤维复合材料芯线密度 5.4.5 规定。

表 8 因绞合引起的标准增量  $a$

铝线层数	软铝型单线 质量、电阻增量 $a$ (增加%)	铝合金圆线 质量、电阻增量 $a$ (增加%)
2	2.0	1.90 (18 股) 2.04 (22 股) 2.08 (24 股) 2.16 (26 股) 2.23 (30 股)
3	2.5	2.23 (45 股) 2.33 (54 股)

注：每层单线的节径比未有严格的规定，故这些增量是典型的修约值。

### 5.10 碳纤维芯导线的额定拉断力

碳纤维复合材料芯的拉断力  $f_1$  采用复合材料芯标称面积与其最小抗拉强度的乘积，铝部分的拉断力  $f_2$  采用铝标称面积与铝单线最小抗拉强度的乘积。

型线同心绞碳纤维复合材料芯软铝绞线的额定拉断力  $f = f_1 + 0.9 f_2$ 。

圆线同心绞碳纤维复合材料芯耐热铝合金绞线的额定拉断力  $f = 0.8 f_1 + f_2$ 。

### 5.11 碳纤维芯导线的直流电阻

以碳纤维芯导线导电的铝部分面积按 20℃ 时的电阻率软铝线取  $0.027\ 367\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 、铝合金线取  $0.028\ 735\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，与表 8 所示的标准增量来计算碳纤维芯导线的直流电阻，见附录 B 的表中规定。

## 6 试验

### 6.1 试验分类

#### 6.1.1 型式试验 (T)

型式试验用于检验碳纤维芯导线的主要性能。对于新设计的碳纤维芯导线或采用新工艺制造的碳纤维芯导线应至少做一次型式试验。仅当碳纤维芯导线结构、材料、树脂配方、制造工艺等发生改变后，型式试验需重做。

型式试验只在符合所有相关抽样试验要求的碳纤维芯导线上进行。

试验应在具有资质的第三方检测机构进行。

#### 6.1.2 抽样试验 (S)

抽样试验用于制造过程控制保证碳纤维芯导线质量符合本标准的要求。除非供需双方另有协议，应在制造厂内进行。

#### 6.1.3 例行试验 (R)

例行试验用于碳纤维芯导线出厂检查以保证碳纤维芯导线质量符合本标准的要求。除非供需双方另有协议，应在制造厂内进行。

### 6.2 试验要求

#### 6.2.1 碳纤维芯导线

表 9 碳纤维芯导线的检验

序号	检验项目	本标准文号	检验规则	试验方法
1	常温拉断力	5.10	T, S	7.1.1

表 9 (续)

序 号	检验项目	本标准文号	检验规则	试验方法
2	应力—应变试验	—	T	7.1.2
3	线膨胀系数试验	—	T	附录 C
4	弧垂-温度	—	T	7.1.3
5	常温蠕变试验	—	T	GB/T 22077
6	高温蠕变试验	—	T	7.1.4
7	过滑轮试验	—	T	附录 D
8	振动疲劳试验	—	T	7.1.5
9	20℃时的直流电阻试验	5.11	T, S, R	7.1.6
10	截面积	—	T, S, R	7.1.7
11	外径	—	T, S, R	7.1.8
12	线密度	5.9	T, S, R	7.1.9
13	载流量试验及计算	—	T	GB 50545
14	表面	5.6	T, S, R	7.1.10
15	节径比和绞向	—	T, S, R	GB/T 1179 5.6.7

## 6.2.2 碳纤维复合材料芯

表 10 复合芯棒的检验

序 号	检验项目	本标准文号	检验规则	试验方法
1	外观	5.4.1	T, R	7.2.1
2	直径公差及 f 值	5.4.2	T, S	7.2.2
3	抗拉强度	5.4.3	T, S	7.2.3
4	线膨胀系数	5.4.5	T	7.2.4
5	密度	5.4.6	T, S	7.2.5
6	卷绕	5.4.7	T, S	7.2.6
7	扭转	5.4.8	T, S	7.2.7
8	径向耐压性能	5.4.9	T, S	7.2.8
9	玻璃化转变温度 DMA Tg	5.4.10	T, S	7.2.9
10	高温抗拉强度	5.4.11	T, S	7.2.10
11	弹性模量	5.4.12	T	7.2.11
12	耐荧光紫外老化	5.4.13	T	7.2.12
13	耐腐蚀试验	5.4.14	T	7.2.13
14	湿热老化	5.4.15	T	7.2.14

## 6.2.3 金属单线

表 11 金属单线的检验

序号	检验项目	本标准文号	检验规则	试验方法
1	抗拉强度	5.2.2、5.3.2	T, R, S	7.3.2.1、7.3.5
2	断后伸长率	5.2.3、5.3.3	T, R, S	7.3.2.2
3	20℃时的电阻率	5.2.4、5.3.4	T, R, S	7.3.3、7.3.6
4	截面积	—	T, R, S	7.3.4

## 6.3 取样

6.2 规定的型式试验用试样应从分别通过了相关抽样试验的碳纤维复合材料芯与碳纤维芯导线上选取合适的长度试样。

6.2 规定的抽样试验用试样应分别从绞前或绞后的 10%成盘的导体单线、碳纤维复合材料芯、碳纤维芯导线的外端随机选取合适长度的试样，而且在使用或包装之前应检查每盘导体单线、碳纤维复合材料芯、碳纤维芯导线的表面质量。

## 6.4 试样长度

6.4.1 试验用的软铝型线、耐热铝合金圆线、碳纤维复合材料芯应在绞制前选取，并按本标准 5.2、5.3、5.4 条进行试验。

6.4.2 当要求进行绞制后的铝单线试验时，应从成盘或成圈的碳纤维芯导线的外端切取 1.5m 的样品。

6.4.3 碳纤维芯导线拉断力试验和应力—应变试验所需的样品长度至少应为导线外径的 400 倍，且不少于 10m。是为了保证应力—应变曲线具有良好的精确度而所需的最小长度。

## 7 试验方法

## 7.1 绞线试验方法

## 7.1.1 常温拉断力

导线在不超过长期运行温度（120℃、160℃）运行时，应能承受不小于按第 5.10 条规定计算的额定拉断力的 95%，试验可以在常温下进行。

碳纤维芯导线的拉断力应通过拉伸固定在精度至少为±1%的拉力试验机上进行测量，负荷的增加速度推荐按照 GB/T 1179 标准的规定。为便于试验，碳纤维芯导线试样的两端应制作适当的端头。试验期间碳纤维芯导线的拉断力应是碳纤维芯导线的碳纤维复合材料芯或铝单线一根（或多根）发生断裂时的负荷来确定。

## 7.1.2 应力—应变

当需方要求时，应提供作为型式试验的应力—应变曲线，该曲线代表所购碳纤维芯导线在负载条件下有最完整的性能资料。如果供需双方在订货时达成协议，应力—应变试验应按 GB/T1179 规定的方法在碳纤维芯导线上进行。

## 7.1.3 弧垂—温度

将有效长度不小于 50m 的导线以 25%RTS 的张力架设在试验档上，温度从 30℃升至允许连续运行温度，将 30℃及其后 10℃间隔作为测试点，测量导线的弧垂，根据弧垂和温度数据绘制弧垂—温度曲线。

相应的导线应力  $\sigma$  由下式求得：

$$\sigma = \frac{mgl^2}{8fA} \quad (1)$$

其中：

- $m$ ——导线线密度；  
 $g$ ——重力加速度；  
 $l$ ——档距；  
 $f$ ——弧垂；  
 $A$ ——导线横截面积。

根据计算所得的应力与对应温度数据绘制应力—温度曲线。

#### 7.1.4 高温蠕变

将导线以适当方式加热至允许连续运行温度，在试验期间内保持导线温度恒定，温度变化范围不超过试验温度的 $\pm 2\%$ ，试验方法参照 GB/T 22077。

#### 7.1.5 振动疲劳试验

振动疲劳试验是为了考核导线耐微风振动疲劳性能，采用振动角法试验。其档距长度应不小于 35m，张力为 25%RTS，在线夹出口处的振动角应为  $25' \sim 30'$ ；导线应能承受  $3 \times 10^7$  次以上的往复振动，如导线任一根在振动不到  $3 \times 10^7$  次时即已断裂，则导线为不合格。每  $1 \times 10^7$  次振动后应检查导线是否已产生疲劳破坏。本试验可对 3 个样品的 1 组试样进行试验，每个样品随机地从不同的交货盘上截取。

#### 7.1.6 导线直流电阻

试样电阻率应按 GB/T 3048.2 规定的方法，在  $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$  范围内测量。测量电阻应用公式 (2) 校正到  $20^\circ\text{C}$  时的电阻值。

$$R_{20} = \frac{R_T}{1 + \alpha(T - 20)} \quad (2)$$

式中：

- $R_{20}$ —— $20^\circ\text{C}$  试样的电阻；  
 $R_T$ ——试验温度  $T^\circ\text{C}$  时试样实测电阻；  
 $T$ ——试验时的温度；  
 $\alpha$ ——试样的电阻温度系数，软铝为  $0.00416/^\circ\text{C}$ 、铝合金为  $0.004/^\circ\text{C}$ 。

$20^\circ\text{C}$  时的体积电阻率应按照 GB/T 3048.2 标准规定由  $20^\circ\text{C}$  试样的电阻计算。

#### 7.1.7 碳纤维芯导线截面积

7.1.7.1 碳纤维芯导线导体部分的截面积应取组成碳纤维芯导线的所有导体截面积之和，导体单线面积按第 7.1.7.4 条测量的直径进行计算。

7.1.7.2 在任一样品中，铝部分截面积偏差应不大于标称值的 $\pm 2\%$ 。

7.1.7.3 碳纤维复合材料芯的截面积按第 7.1.7.4 测得的直径进行计算。

7.1.7.4 单线的直径，使用精度为  $0.01\text{mm}$  量具测量。直径应取在同一圆周上互成直角的位置上的两个读数的平均值，修约到二位小数（单位 mm）。

7.1.7.5 软铝型线面积和等效圆单线直径应按规定的质量、长度和密度按称重法进行测量。

#### 7.1.8 碳纤维芯导线外径

碳纤维芯导线外径应在绞线机上的并线模与牵引轮之间测量。测量应使用可读到  $0.01\text{mm}$  量具。外径应取在同一圆周上互成直角的位置上的两个读数的平均值，并修约到两位小数（单位 mm）。碳纤维芯导线外径偏差应不大于 $\pm 1\% d$ 。

#### 7.1.9 线密度

碳纤维芯导线的线密度（单位长度质量）应使用精度为 $\pm 0.1\%$ 的仪器测量。

单位长度碳纤维芯导线的质量偏差应不超过附录 B 中标称值的 $\pm 2\%$ 。

#### 7.1.10 表面

目视观察。

### 7.2 碳纤维复合材料芯试验方法

### 7.2.1 外观

目视观察。

### 7.2.2 直径测量

复合芯棒直径测量应使用精度至少为 0.002mm 量具。直径应取在同一圆截面上互成直角的位置上的两个读数的平均值，修约到两位小数（单位：mm）。

### 7.2.3 抗拉强度试验

取合适长度试样两端做好端头，处理好的端头能牢固的固定在试验设备上，确保试样在轴向拉伸试验中试件不滑落，同时试样有效拉伸长度不小于 70D。试验中保证试样的纵轴线与拉伸的中线重合。拉伸速度为 1×6mm/min，仲裁试验拉伸速度为 2mm/min。每批次至少测试 5 个试件。

### 7.2.4 线膨胀系数

按标准 GB/T 2572 规定的方法对同一试样进行两次试验，第二次试验测试数据作为最终试验结果。

### 7.2.5 密度

按标准 GB/T 1463 规定的方法进行。

### 7.2.6 卷绕试验

取长度不少于 200D 的复合芯棒试样，试样应在 55D 直径的筒体上以不大于 3r/min 的卷绕速度卷绕 1 圈，保持 2 分钟，芯棒应不开裂、不断裂。每批次至少测试 3 个试样。

### 7.2.7 扭转试验

完成卷绕试验后，截取经卷绕试验的 170D 长度复合芯棒，一端固定在试验设备旋转夹头中，另一端固定在试验设备定位夹头中，定位夹头加载 40kg 砝码，试样以不大于 2r/min 的扭转速度在导轮上完成 360°的扭转，保持 2 分钟，再将芯线展直，其表层应不开裂，然后测试试样的抗拉强度。每批次至少测试 3 组试件。

### 7.2.8 径向耐压试验

截取长度不小于 100mm 的复合芯棒，以 1mm/min 至 2mm/min 加载速度平稳加载至破坏，其他试验条件应符合 GB/T1446，记录最大压力值并目测试件端部开裂情况。每批次至少测试 5 个试件。

### 7.2.9 玻璃化转变温度 DMA T<sub>g</sub>

按标准 GB/T 22567 规定的方法进行试验，并按 GB/T 22567 附录 A 规定的方法计算 DMA T<sub>g</sub>。

试样推荐尺寸为 2mm×D×60mm，升温速率为 5K/min，频率为 1Hz。

### 7.2.10 高温抗拉强度试验

复合芯棒应在试验温度符合表 12 规定的烘箱内静置 400 小时，并在试验温度符合表 12 规定的高温试验机试验箱内静置 1 小时后在高温下按 7.2.3 测试抗拉强度。每批次至少测试 5 个试件。

表 12 复合芯棒的高温抗拉强度试验温度

等 级	高温抗拉强度试验温度 ℃
1	120±3
2	160±3

### 7.2.11 弹性模量试验

取合适长度试样两端做好端头，处理好的端头能牢固的固定在试验设备上，确保试样在轴向拉伸试验中试件不滑落，同时试样有效拉伸长度不小于 70D。试验中保证试样的纵轴线与拉伸的中线重合。然后按 GB/T 22315 第 5.5.1 条规定的方法测试弹性模量。

### 7.2.12 耐荧光紫外老化

按 GB/T 16422.3 的规定进行, 紫外波长 340nm, 强度  $0.76\text{W}/\text{m}^2$ , 采用曝露方式 1, 其中每循环辐照暴露时间为 4 小时。复合芯棒曝露 1008 小时后, 目测表面质量。

#### 7.2.13 耐腐蚀 (盐雾) 试验

按标准 GB/T 10125 规定的方法进行。

#### 7.2.14 湿热老化试验

湿热老化试验按 GB/T 2573 规定的方法进行。

### 7.3 铝单线试验方法

#### 7.3.1 表面质量

表面质量用目力观察。

#### 7.3.2 机械性能

##### 7.3.2.1 抗拉强度

抗拉强度按 GB/T 4909.3 的规定进行检验。

##### 7.3.2.2 断裂伸长率

断裂伸长率按 GB/T 4909.3 的规定进行检验。

#### 7.3.3 电阻率

电阻率按 GB/T 3048.2 的规定进行检验。

#### 7.3.4 面积及允许偏差

型线单线面积的测量采用称重法检测, 取不少于 1m 长度样线, 手工校直, 两端做端面处理, 采用精度为 1mm 的卷尺测量样品的长度, 再用精度为千分之一的天平称取样品质量。然后按照测量的长度和质量计算软铝型线截面积: 计算公式:  $S=M/(L \cdot \rho)$ ; S 表示面积 ( $\text{mm}^2$ ); M 表示质量 (g); L 表示长度 (m);  $\rho$  代表密度 ( $2.703\text{g}/\text{cm}^3$ )。

圆线单线面积由测量直径计算, 直径测量使用精度为 0.01mm 量具测量。直径应取在同一圆周上互成直角的位置上的两个读数的平均值, 修约到两位小数 (单位 mm)。

#### 7.3.5 铝单线绞后抗拉强度

当要求时, 铝单线绞后抗拉强度试验应在绞合后的碳纤维芯导线中获取的单线上进行。

试样应校直, 操作时小心, 不得拉伸或碰伤试样。先测量导体单线截面积。然后, 将校直的单线装在合适的拉力试验机上进行试验, 实验时负荷应逐渐地施加, 拉伸的速度应不小于  $25\text{mm}/\text{min}$ , 也不大于  $100\text{mm}/\text{min}$ 。

#### 7.3.6 铝单线绞后电阻率

如有需要, 电阻率应从碳纤维芯导线上选取的单线上测量, 试样应用手工校直, 应按 GB/T 3048.2 规定的方法进行测量, 试验结果折算成  $20^\circ\text{C}$  时的电阻率, 软铝线电阻率不超过  $0.027367\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ , 耐热铝合金线电阻率不超过  $0.028735\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

## 8 标志、包装

### 8.1 标志

每盘碳纤维芯导线的线盘外侧应标明:

- a) 制造厂名称;
- b) 碳纤维芯导线型号及规格;
- c) 制造长度 (m);
- d) 毛重及净重 (kg);
- f) 装运、旋转方向或放线标志;
- g) 运输时线盘不能平放的标记;
- h) 制造日期;

- i) 本标准编号;
- j) 其它必要的说明。

## 8.2 包装

在正常的装卸运输和储存中，碳纤维芯导线应适当进行包装以防损伤。

碳纤维芯导线应成盘交货，最外层与线盘侧板边缘的距离应不小于 50mm，并妥善包装。也可根据合同要求进行包装。碳纤维芯导线的两端应紧固。盘底端头应伸进线盘的穿线孔并应固定牢靠。盘面端头应紧固在线盘侧板上。除另有规定外，碳纤维芯导线交货盘为型钢复合结构，并符合 JB/T 8137.1 和 JB/T 8137.4 的规定。

短段碳纤维芯导线允许成圈交货，每圈应至少捆扎三处，并妥善包装。

附 录 A  
(资料性附录)  
需方提供的资料

在咨询或订货时，需方应提供下述要求：

- a) 碳纤维芯导线型号、规格号、截面积和绞制结构；
- b) 碳纤维芯导线数量；
- c) 每盘碳纤维芯导线的长度及其偏差，适用工程的短样长度；
- d) 包装的种类、尺寸及包装方法；
- e) 特殊的包装要求，线盘孔径及当碳纤维芯导线架设有特别要求时，碳纤维芯导线内端锚固的可用性（如需要的话）；
- f) 护板要求（如有的话）；
- g) 是否要求检验及检验地点；
- h) 是否要求单线绞制后的抗拉强度和电阻率试验；
- i) 是否要求进行碳纤维芯导线拉断力试验；
- j) 是否要求碳纤维芯导线应力—应变试验；
- k) 绞向，如无特殊要求，外层绞向应为右向；

## 附录 B

(资料性附录)

## 碳纤维复合材料芯导线的结构及性能

表 B.1 型线同心绞碳纤维复合材料芯软铝绞线的结构及性能

规格	复合材料芯直径/mm	绞线外径/mm	绞合铝线		计算截面积/mm <sup>2</sup>			线密度/(kg/km)	额定拉断力/kN		直流电阻(20℃)/(Ω/km)	导线弹性模量/GPa	导线的线膨胀系数>(*10 <sup>-6</sup> /℃)
			层数	最少根数	铝面积	复合材料芯面积	总面积		F1	F2			
185/30	6.0	17.0	2	15	184.80	28.27	213.07	566.04	64.52	72.15	0.1511	64.5	13.5
240/30	6.0	19.1	2	16	240.17	28.27	268.44	718.70	67.84	75.47	0.1162	62.9	13.5
240/40	7.0	19.4	2	16	239.11	38.48	277.59	736.20	87.07	97.46	0.1167	64.8	13.5
300/25	5.5	21.0	2	16	300.02	23.76	323.78	874.70	62.91	69.32	0.0930	61.0	13.5
300/40	7.0	21.4	2	16	298.71	38.48	337.19	900.53	90.65	101.04	0.0934	63.4	13.5
300/50	8.0	21.8	2	16	300.38	50.26	350.64	928.68	113.01	126.58	0.0929	65.1	13.5
300/70	9.5	22.4	2	16	300.58	70.87	371.45	970.45	151.98	171.11	0.0929	68.0	13.5
400/25	5.5	24.0	2	19	398.63	23.76	422.39	1146.56	68.82	75.24	0.0700	59.9	13.5
400/50	8.0	24.7	2	19	398.88	50.26	449.14	1200.25	118.92	132.49	0.0700	63.2	13.5
450/50	8.0	26.1	2	19	450.82	50.26	501.08	1343.47	122.04	135.61	0.0619	62.6	13.5
500/35	6.5	27.0	2	22	501.62	33.18	534.80	1449.35	92.81	101.77	0.0556	60.3	13.5
500/45	7.5	27.2	2	22	499.31	44.17	543.48	1464.97	113.44	125.37	0.0559	61.4	13.5
500/65	9.0	27.7	2	22	501.28	63.61	564.89	1509.28	150.30	167.47	0.0557	63.3	13.5
630/45	7.5	30.3	3	36	629.51	44.17	673.68	1832.44	121.25	133.18	0.0446	60.5	13.5
630/55	8.5	30.6	3	36	631.16	56.74	687.90	1862.17	145.11	160.43	0.0444	61.5	13.5

表 B.2 圆线同心绞碳纤维复合材料芯耐热铝合金绞线尺寸及性能表

规格	结构根数/直径	面积/ mm <sup>2</sup>			直径/ mm		单位长度质量/ (kg/km)	额定拉断力/ kN		直流电阻/ (Ω/km)
	铝合金	铝合金	复合芯	总	复合芯	绞线		F1	F2	
185/35	24/3.15	187.03	33.18	220.22	6.50	19.10	575.80	93.92	103.87	0.15691
185/40	26/2.98	181.34	38.48	219.83	7.00	18.92	570.02	104.31	115.85	0.16208
185/55	30/2.80	184.73	56.75	241.47	8.50	19.70	612.59	143.71	160.73	0.15900
210/35	24/3.33	209.02	33.18	242.20	6.50	19.82	636.46	96.77	106.72	0.14041
210/45	26/3.22	211.73	44.18	255.91	7.50	20.38	664.18	120.22	133.47	0.13872
210/65	30/2.98	209.24	63.62	272.86	9.00	20.92	692.70	160.72	179.81	0.14047
240/40	24/3.60	244.29	38.48	282.77	7.00	21.40	743.32	112.47	124.01	0.12014
240/45	9/3.70 (内)	242.80	44.20	287.00	7.50	21.72	749.76	124.29	137.55	0.12092
	16/3.41 (外)									
240/50	26/3.42	238.84	50.27	289.11	8.00	21.68	750.02	136.52	151.60	0.12306
240/70	30/3.20	241.27	70.88	312.16	9.50	22.30	794.30	180.12	201.38	0.12173
300/20	42/3.00	296.88	19.63	316.52	5.00	23.00	855.71	79.70	85.59	0.09900
300/30	45/2.93	303.42	28.27	331.69	6.00	23.58	889.31	98.69	107.17	0.09687
300/35	48/2.85	306.21	33.18	339.39	6.50	23.60	905.96	110.34	120.30	0.09599
300/50	24/3.99	300.09	50.27	350.35	8.00	23.96	918.48	143.74	158.82	0.09780
300/65	26/3.83	299.54	63.62	363.16	9.00	24.32	941.67	171.70	190.79	0.09805
400/30	42/3.51	406.40	28.27	434.67	6.00	27.06	1173.89	112.04	120.52	0.07232
400/35	45/3.33	391.91	33.18	425.10	6.50	26.48	1142.70	120.47	130.42	0.07500
400/45	48/3.22	390.88	44.18	435.06	7.50	26.82	1159.74	143.44	156.69	0.07520
400/65	54/3.07	399.72	63.62	463.34	9.00	27.42	1220.14	185.41	204.49	0.07360
400/80	26/4.42	398.94	78.54	477.48	10.00	27.68	1243.00	215.68	239.24	0.07367

表 B.2 (续)

规格	结构根数/直径	面积/ mm <sup>2</sup>			直径/ mm		单位长度质量/ (kg/km)	额定拉断力/ kN		直流电阻/ (Ω/km)
	铝合金	铝合金	复合芯	总	复合芯	绞线		F1	F2	
500/45	45/3.75	497.01	44.18	541.19	7.50	30.00	1452.90	157.19	170.44	0.05914
500/55	48/3.60	488.58	56.75	545.33	8.50	30.10	1452.36	182.49	199.52	0.06016
500/65	10/3.89 (内)	495.70	63.62	559.32	9.00	30.15	1484.40	196.66	215.74	0.05930
	18/3.38 (邻)									
	24/3.38 (外)									
500/80	54/3.44	501.88	78.54	580.42	10.00	30.64	1529.56	229.98	253.54	0.05862
630/55	45/4.20	623.45	56.75	680.19	8.50	33.70	1824.90	198.48	215.50	0.04714
630/70	48/4.12	639.92	70.88	710.80	9.50	34.22	1896.04	230.25	251.51	0.04593

**附录 C**  
**(规范性附录)**  
**线膨胀系数试验方法**

**C.1 试件长度**

试件的终端可采用低熔点合金（环氧树脂）浇铸或压接式的夹头。制作夹头前，单线应去油和清洗，并保证终端之间导线不发生松动和受损。试件的有效长度应不小于 5m，标距长度应不小于 1m。

**C.2 试件加热条件**

试件可放置在保温箱中或通以大电流加热；当导线通过大电流加热时，应保持室温的恒定。

**C.3 试验方法****C.3.1 消除导线初伸长**

将试件两端连接在拉力试验机上，在负荷为 10~50%RTS 的范围内进行 3~5 次加载及卸载循环。以消除导线初伸长的影响。

**C.3.2 拉直导线**

将试件夹持专用试验机中，然后施加 5%RTS 的恒定负荷，将试件拉直。

**C.3.3 安装温度及位移测量装置**

在标距长度的两端安装精度不低于 0.01mm 的测量伸长的装置。并在标距长度内至少安装三个测量导线温度的传感器。

**C.3.4 测量导线温度及伸长**

将试件加热，在每个加热和测量点保温时间不少于 15min，待热伸长稳定不变后，记录相应的温度和热伸长。以 20℃作为起始温度，加热和测量点的间隔为 10℃，直至试件温度达到导线的长期允许使用温度为止。

**C.4 试验结果及计算**

试验结束后，得到一组导线温度及对应的伸长数据，对数据进行线性拟合得到线膨胀系数。

$$\alpha = \frac{1}{L} \cdot \frac{n \sum t_i l_i - \sum t_i \sum l_i}{n \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$L$ ——标距长度，(mm)；

$t_i$ ——试件温度 (℃)；

$l_i$ —— $t_i$  温度下标距内相应的伸长 (mm)；

$n$ ——试验点个数。

## 附录 D

### (规范性附录)

### 导线过滑轮试验方法

#### D.1 试件长度

导线试件的终端可采用低熔点合金（环氧树脂）浇铸或压接式的夹头。制作夹头前，单线应去油和清洗，并保证终端之间导线不发生松动和受损。试件的有效长度应不小于 5m。

#### D.2 滑轮要求

使用单滑轮，滑轮的槽底直径不小于 25 倍导线外径。

#### D.3 试验要求

D.3.1 依据 GB 50233，试验包络角为  $30^\circ$ 。

D.3.2 张力负荷为 25%RTS。

D.3.3 直线运动往复次数为 10 次。

#### D.4 试验方法

在试验之前，应在导线的端部及中点做标记。施加 25%RTS 张力，做 10 个循环测试。试验装置见附图 D.1。

在张力循环之前及以后，要使用千分尺测量导线的外径。

过滑轮后，截取中点标记处的导线进行芯棒的抗拉强度试验。

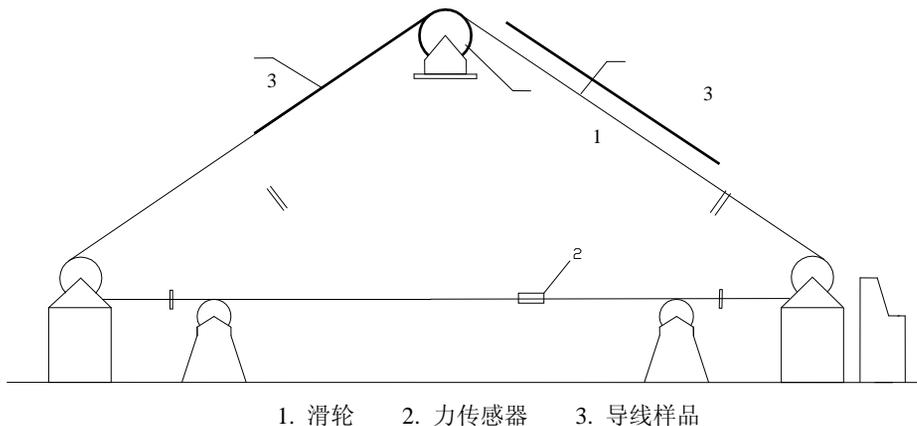


图 D.1 导线过滑轮试验示意图

#### D.5 评判方法

导线试验后应满足如下要求：

- a) 导线任何单线无断裂；
- b) 无明显松股、起灯笼现象；
- c) 导线轴向无蛇形现象；
- d) 过滑轮后，芯棒的抗拉强度应不低于表 2 要求的 95%。



# 《碳纤维复合材料芯架空导线》

## 编 制 说 明

## 目 次

1 编制背景 .....	23
2 编制主要原则 .....	23
3 与其他标准文件的关系 .....	23
4 主要工作过程 .....	24
5 标准结构及内容 .....	24
6 条文说明 .....	24

## 1 编制背景

碳纤维复合材料芯架空导线是一种全新结构的节能型增容导线，与常规导线相比，具有重量轻、抗拉强度大、耐热性能好、热膨胀系数小、高温弧垂小、导电率高、线损低、载流量大、耐腐蚀性能好、不易覆冰等一系列优点，综合解决了架空输电领域存在的各项技术瓶颈，代表了未来架空导线的技术发展趋势，有助于构造安全、环保、高效节约型输电网络，可广泛用于老线路和电站母线增容改造、新线路建设，并可用于大跨越、大落差、重冰区、高污染等特殊气候和地理场合的线路。本标准的编制可促进我国电力工业的产品设计与制造水平和我国输变电工程设计与建设水平的提高。

本标准依据《关于下达 2010 年度国家电网公司技术标准制修订计划的通知》的要求编写。

## 2 编制主要原则

根据国家电网公司专项任务的要求，在广泛调研和认真总结我国碳纤维复合材料芯架空导线生产、试验经验的基础上，编制了本标准。

作为国家电网公司的企业标准，为实现架空输电线路工程节能降耗提供了技术支持。

本标准体现了创新性和传承性的统一，具有较强的针对性和可操作性。

## 3 与其他标准文件的关系

本标准为首次制定的企业标准。本标准是根据 GB/T 1179—2008《圆线同心绞架空导线》，GB/T 20141—2006《型线同心绞架空导线》标准并参考国标《架空导线用纤维增强树脂基复合材料芯棒》（报批稿）起草的。本标准未有特别指出的内容，遵照现行标准执行。本标准编写过程中参考引用了以下标准：

GB/T 1179 圆线同心绞架空导线

GB/T 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 1463 纤维增强塑料密度和相对密度试验方法

GB/T 2572 纤维增强塑料平均线膨胀系数试验方法

GB/T 2573 玻璃纤维增强塑料老化性能试验方法

GB/T 3955 电工圆铝线

GB/T 3048.2 电线电缆电性能试验方法 第 2 部分：金属材料电阻率试验

GB/T 4909.3 裸电线试验方法 第 3 部分：拉力试验

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 16422.3 塑料实验室光源暴露试验方法 第 3 部分：荧光紫外灯

GB/T 22315 金属材料 弹性模量和泊松比试验方法

GB/T 22567 电气绝缘材料 测定玻璃化转变温度的试验方法

GB/T 20141 型线同心绞架空导线

GB/T 22077 架空导线蠕变试验方法

GB/T 29234 架空导线用纤维增强树脂基复合材料芯棒

GB 50233 110~500kV 架空线送电线路施工验收规范

GB 50545 110kV~750kV 架空输电线路设计规范

JB/T 8137.1 电线电缆交货盘 第 1 部分：一般规定

JB/T 8137.4 电线电缆交货盘 第 4 部分：型钢复合结构交货盘

IEC 62004 架空绞线用耐热铝合金线 (Thermal resistant aluminium alloy wire for overhead line conductor)

#### 4 主要工作过程

2011年3月，确立编研工作总体目标，构建组织机构，确定参编单位及其人员，开展课题前期研究工作。

2011年1月至12月，课题组参与国标《架空导线用纤维增强树脂基复合材料芯棒》的制定与编写工作，并提交报批稿。

2012年11月，课题组针对国标《架空导线用纤维增强树脂基复合材料芯棒》的相关内容，对本标准进行了制定与修改，形成送审稿。

#### 5 标准结构和内容

本标准依据《国家电网公司技术标准管理办法实施细则》的编写要求进行标准编制。标准的主要结构和内容如下：

- a) 目次；
- b) 前言；
- c) 标准正文共设7章：范围、规范性引用文件、术语和定义、符号、代号和缩略语、技术要求、试验、标识、包装；
- d) 标准设2个规范性附录：线膨胀系数试验方法、导线过滑轮试验方法；2个资料性附录：需方提供的资料、碳纤维复合材料芯绞线的结构及性能；
- e) 编制说明。

#### 6 条文说明

3.8 通过观察某些特定的电气、力学、热学或其他物理性能发生明显变化时的温度。可以很容易地测定玻璃化转变。另外，由于观察时所选取的性能及试验技术细节(例如加热速率、试验频率等)，观察到的这个温度可能会有明显差异。因此，观察到的 $t$ 应认为仅是一种近似值，且仅对某一具体技术及试验条件有效。

5.4 本部分主要参考国标《架空导线用纤维增强树脂基复合材料芯棒》(报批稿)的内容进行编写的。

5.4.14 碳纤维复合材料芯的老化寿命，主要通过湿热老化试验、热老化寿命试验和多因素老化试验三种试验方法进行评估。本标准采用湿热老化试验。热老化寿命试验和多因素老化试验因行业内意见不一，专家难以达成共识，本标准未进行规定。

---