



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

防范鸟类误撞架空输电线路装置

技术规范

(征求意见稿)

Codes for Measures to Prevent Birds from Accidentally
Colliding with Transmission Lines

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 装置基本参数与技术要求	2
4.1 防鸟撞螺旋	2
4.2 防鸟撞警示球	2
4.3 防鸟撞警示牌	3
4.4 防鸟撞护套	4
5 装置配置要求	5
6 装置检测方法	5
6.1 外观检查	5
6.2 发光功能检测	5
6.2.1 导线电流变化试验	5
6.2.2 夜间闪光功能	5
6.2.3 闪光频率	5
6.3 耐候性能检测	6
6.3.1 低温试验	6
6.3.2 交变湿热试验	6
6.3.3 盐雾试验	6
6.3.4 抗紫外老化性能试验	6
6.3.5 防护等级试验	6
6.4 结构力学性能检测	6
6.4.1 握力试验	6
6.4.2 振动性能试验	6
6.5 电气性能检测	6
6.5.1 电晕和无线电干扰试验	6
6.5.2 静电放电抗扰度试验	6
6.5.3 射频电磁场辐射抗扰度试验	7
6.5.4 脉冲磁场抗扰度试验	7

6.5.5 工频磁场抗扰度试验	7
6.6 各类警示装置检测项目	7
7 装置标志、包装、运输	8
7.1 装置标志	8
7.2 装置包装	8
7.3 装置运输	8
8 装置验收与运维	9
8.1 装置验收要求	9
8.2 装置运维要求	9
附录 A（资料性）选型推荐	10
附录 B（资料性）结构力学性能检测方案	11

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》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会国家电网有限公司科技创新部工作组归口。

本文件起草单位 (**包括第一承担单位和参加起草单位，请按对标准的贡献大小排列**)：××××、××××、……。

本文件主要起草人 (**请按对标准的贡献大小排列**)：×××、×××、……。

本文件为首次发布。

本文件主要起草人：

本文件在执行过程中的反馈意见或建议反馈至国家电网有限公司科技创新部。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条 1 号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

防范鸟类误撞输电线路装置技术规范

1 范围

本文件规定了架空线路防范鸟类误撞装置基本参数、技术要求、配置要求、检验方法、包装运输和验收运维。

本文件适用于鸟类误撞输电线路防范，其他场景鸟类误撞防范工作可参考执行。

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 528 硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定
- GB/T 529 硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定(裤形、直角形和新月形式样)
- GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分:邵氏硬度计法(邵尔硬度)
- GB/T 1040.1 塑料 拉伸性能的测定 第1部分:总则
- GB/T 1043.1 塑料 简支梁冲击性能的测定 第1部分:非仪器化冲击试验
- GB/T 1408.1 绝缘材料 电气强度试验方法 第1部分:工频下试验
- GB/T 1692 硫化橡胶 绝缘电阻率的测定
- GB/T 2314 电力金具通用技术条件
- GB/T 2317.1 电力金具试验方法 第1部分:机械试验
- GB/T 2317.2 电力金具试验方法 第2部分:电晕和无线电干扰试验
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 A:低温
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Db: 交变湿热 (12h+12h 循环)
- GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验第2部分:试验方法试验 Ka:盐雾
- GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验
- GB/T 4208 外壳防护等级 (IP 代码)
- GB/T 16422.1 塑料 实验室光源暴露试验方法 第1部分:总则
- GB/T 16422.2 塑料 实验室光源暴露试验方法第2部分:氙弧灯
- 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 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.8 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.9 脉冲磁场抗扰度试验
- GB/T 40819 架空线缆微风振动疲劳试验方法
- DL/T 376 复合绝缘子用硅橡胶绝缘材料通用技术条件
- DL/T 1570 架空输电线路涉鸟故障风险分级及分布图绘制

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

鸟类误撞输电线路 Birds accidentally collide with transmission lines

由于各种原因，鸟类在飞行过程中未能及时避让架空输电线路，撞击线路导致伤亡。

3.2

防鸟撞螺旋 Anti-bird collision spiral

整体呈螺状，端部可缩小螺圈直径并紧密缠绕在导线上警示鸟类的制品。

3.3

防鸟撞警示球 Bird-avoidance warning ball

悬挂在导地线上，以高对比度颜色和突出形状警示鸟类远离球体。

3.4

防鸟撞警示牌 Bird-avoidance warning plate

悬挂在导地线上，通过高对比度颜色、发光或突出形状警示鸟类靠近的片状警示牌。

3.5

防鸟撞护套 Bird-avoidance protective cover

包覆在导地线外部，通过显著颜色警示鸟类靠近的绝缘护套。

4 装置基本参数与技术要求

4.1 防鸟撞螺旋

4.1.1 形状

防鸟撞螺旋如图 1 所示，一般分为大圈和小圈部分，大圈部分用于形成醒目视觉标志，小圈部分与架空导线直径适配，用于固定缠绕在导线上。



图 1 防鸟撞螺旋

4.1.2 参数

常用防鸟撞螺旋参数如表 1 所示。

表 1 常用防鸟撞螺旋参数

序号	装置总长(mm)	螺旋外径 (mm)	适用线缆直径范围 (mm)		颜色
			最小	最大	
1	203	57	4.4	6.3	黄色、橙色、红色
2	216	64	6.4	8.9	黄色、橙色、红色
3	241/314	70/108	8.9	11.4	黄色、橙色、红色
4	368	108	11.4	15.2	黄色、橙色、红色
5	432	108	15.2	19.6	黄色、橙色、红色
6	381	108	19.6	21.8	黄色、橙色、红色
7	419	114	21.8	24.6	黄色、橙色、红色
8	394	108	24.7	28.5	黄色、橙色、红色

4.1.3 材质

防鸟撞螺旋宜采用材料稳定性、抗拉强度好的聚氯乙烯 PVC 材质。

4.2 防鸟撞警示球

4.2.1 形状

防鸟撞警示球如图 2 所示，一般由两个半球壳与固定金具构成，两个半球壳相扣形成整体圆球，球壳边缘设置固定孔，通过固定金具与架空线连接固定。在保证握力的前提下，可采用弹簧夹紧式警示球安装在架空线上。

防鸟撞警示球分为两种类型，第一种采用螺栓预紧方式固定警示球，第二种采用弹簧夹紧方式固定警示球。



(a) 螺栓固定式警示球



(b) 弹簧夹紧式警示球

图 2 防鸟撞警示球

4.2.2 参数

常用防鸟撞警示球参数如表 2 所示。

表 2 警示球参数

序号	外形尺寸(直径)mm	颜色	是否发光	夹紧类型
1	$\Phi 80 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	否	螺栓紧固或弹簧夹紧
2	$\Phi 150 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	否	螺栓紧固或弹簧夹紧
3	$\Phi 300 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	否	螺栓紧固
4	$\Phi 500 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	否	螺栓紧固
5	$\Phi 800 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	否	螺栓紧固
6	$\Phi 300 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	是	螺栓紧固
7	$\Phi 500 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	是	螺栓紧固
8	$\Phi 800 \pm 10$	红色、橙色、黄色、白色	是	螺栓紧固

4.2.3 材质

- 1) 警示球球体材质宜采用纤维增强聚酯、聚碳酸酯及尼龙，外表颜色鲜明，提高警示醒目程度；
- 2) 夹具材质宜采用聚碳酸酯、铝合金、镀锌低碳钢。

4.3 防鸟撞警示牌

4.3.1 形状

- 1) 防鸟撞警示牌应用夹具挂接在架空线上，在架空线上形成明显标识，常见防鸟撞警示牌见图 3。
- 2) 按是否发光分，防鸟撞警示牌包括发光型警示牌和不发光型警示牌。

- a) 不发光型防鸟撞警示牌包括警示牌和夹具两部分构成。
- b) 发光型防鸟撞警示牌包括警示牌、发光部件和夹具三部分组成。
- 3) 警示牌包括镂空型和不镂空型两种类型。



(a) 类型 1



(b) 类型 2

图 3 防鸟撞警示牌

4.3.2 参数

常用防鸟撞警示牌参数如表 3 所示。

表 3 防鸟撞警示牌参数

序号	名称	适用线径范围		重量 (g)	颜色
		最小 (mm)	最大 (mm)		
1	不发光警示牌	2.54	44.45	181±50	黄色、亮橙色、红色、白色
2	发光警示牌			499±100	黄色、亮橙色、红色、白色

4.3.3 材质

- 1) 装置主体由紫外线稳定的聚碳酸酯和聚乙烯材料制成；
- 2) 所有金属零件均为耐腐蚀不锈钢。

4.4 防鸟撞护套

4.4.1 形状

防鸟撞护套如图 4 所示，一般主体为圆管状，内径与架空线直径适配，边缘设置搭扣固定在架空导线上。



图 4 防鸟撞护套

4.4.2 参数

常用防鸟撞护套参数如表 4 所示。

表 4 防鸟撞护套参数

序号	电压等级	护套壁厚度	每段长度	安装间隔	颜色
1	110kV	4mm	1.2~1.3m	约 2m	深红色
2	220kV	6mm	1.4~1.7m	约 3m	深红色
3	330kV	8mm	1.6~1.7m	约 4m	深红色

4.4.3 材质

- 1) 整体采用硅橡胶材料，并一次注胶完成，不应存在接头；
- 2) 表面应光洁、平整，不应有裂纹，搭扣牢固，朝下。

5 装置配置要求

- 1) 防鸟撞装置的配置应根据历史故障情况及运行经验配置，可单一或组合使用。
- 2) 防鸟撞装置不应影响线路安全运行，现场装卸方便，固定牢固。
- 3) 防鸟撞装置应能够长期耐受紫外线、雨雪冰风温度变化等外部环境和短时恶劣天气，并通过相关材料、机械和电气性能试验。
- 4) 防鸟撞装置安装宜间隔 15m-20m 安装一套，对于鸟类相对较多的区域，可以加密安装。安装后应校核安全距离。
- 5) 防鸟撞装置安装后，应持续观测装置防鸟撞警示效果，必要时开展鸟类对装置颜色敏感性实验。
- 6) 针对不同线路推荐不同装置选型，具体参考附录 A。

6 装置检测方法

6.1 外观检查

- 1) 尺寸：满足表 1、2、3、4 中的尺寸要求。
- 2) 外观颜色：满足表 1、2、3、4 中的颜色要求。

6.2 发光功能检测

将发光装置悬挂在试验变压器的高压端，做好等电位，接上模拟供电电源，遮挡住光敏元件，使其正常闪光。将电压缓慢升至产品的工作电压，保持 3min，警示装置闪光频率应符合 6.2.3 的要求，试验完后，各个部件功能正常，即为通过。

6.2.1 导线电流变化试验

将发光装置安装在模拟输电导线上，进行如下导线通流试验：

将导线电流从启动工作电流升流至极限工作电流，然后降流至零，重复 3 次。试验期间及试验结束后，装置能正常发光，试验通过。

6.2.2 夜间闪光功能

将发光装置安装到模拟输电导线上，遮挡住光敏元件，通 30A 电流，装置应闪光；重复试验 3 次。

6.2.3 闪光频率

将发光装置安装到导线上，遮挡住光敏元件，通 30A 电流，装置应正常闪光，记录 1min 的闪烁次数，闪烁频率应保持在 40 次/min~60 次/min。

6.3 耐候性能检测

6.3.1 低温试验

- 1) 按 GB/T 2423.1 规定的试验要求和试验方法进行。
- 2) 应能承受严酷等级为：温度 $-40^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、持续时间 16h 的低温试验。
- 3) 试验对象为防鸟撞警示装置，包括安装附件。
- 4) 在试验期间及试验后，装置表面无可见裂纹、变形，装置应能正常工作。

6.3.2 交变湿热试验

- 1) 按 GB/T 2423.4 中规定的试验要求和试验方法进行。
- 2) 高温温度为 55°C ，试验周期 24h，常温下回复 2h。
- 3) 试验对象为防鸟撞警示装置，包括安装附件。
- 4) 在试验期间及试验后，装置表面无可见裂纹、变形，装置应能正常工作。

6.3.3 盐雾试验

- 1) 按 GB/T 2423.17 中规定的试验要求和试验方法进行。
- 2) 应能承受严酷等级为 2 的盐雾试验。
- 3) 试验对象为防鸟撞警示装置及安装附件中的金属构件
- 4) 试验后，金属构件表面应无明显锈蚀现象。

6.3.4 抗紫外老化性能试验

- 1) 按 GB/T1622.3-2014 中的“方法 A:人工气候老化”中规定的试验要求和试验方法进行，试验持续时间 1000h。
- 2) 试验对象为防鸟撞警示装置及安装附件中的合成橡胶部件。
- 3) 试验后，若试件表面无可见裂纹、发黏和明显变色，则试验通过。

6.3.5 防护等级试验

依据 GB/T 4208 中规定的 IP55 等级试验要求进行。

6.4 结构力学性能检测

6.4.1 握力试验

参考 GB / T 2317.1 和 DL/T 1099 规定开展握力试验。

6.4.2 振动性能试验

参考 GB/T 40819 规定开展振动性能试验。

6.5 电气性能检测

6.5.1 电晕和无线电干扰试验

按照 GB/T 2317.2 规定，应在下述条件下进行试验：

- a) 警示装置在正常工作状态；
- b) 在黑暗条件下，逐步升高施加在试品上的电压，直至观察到试品产生电晕，维持 5min，并记录该电压作为电晕起始电压；然后逐步降低施加在试品上的电压，直至试品上的电晕消失为止，维持 5min，并记录该电压为电晕熄灭电压。上述试验重复三次，分别取其平均值作为该试品的电晕起始电压和电晕熄灭电压。
- c) 首先在试品上施加规定电压的 120%，并维持 5min，然后降到规定电压的 30%，再逐级升高电压，直到规定电压的 120%，而后再逐级降低电压至规定电压的 30%。在第二次降压过程中同时记录施加电压和无线电干扰电压值，由此可作出一条干扰电压和施加电压的关系曲线。通常每级电压为规定电压值的 10%。
- d) 在规定电压下，试品应无可见电晕，无线电干扰电压不大于规定值(通常为 $1000\mu\text{V}$ ，也可由需方确定)，则试验通过。

在试验期间及试验后，装置应能正常工作。

6.5.2 静电放电抗扰度试验

按照 GB / T 17626.2 规定，应在下述条件下进行试验：

- a) 警示装置在正常工作状态；
- b) 接触放电；
- c) 在外壳和工作人员经常可能触及的部位；

- d) 试验电压：8kV；
e) 正负极性放电各 10 次，每次放电间隔至少 1s。
在试验期间及试验后，装置应能正常工作。

6.5.3 射频电磁场辐射抗扰度试验

按照 GB/T 17626.3 规定，应在下述条件下进行试验：

- a) 警示球在正常工作状态；
b) 频率范围：80MHz~100 0MHz；
c) 试验场强：10V/m。

在试验期间及试验后，装置应能正常工作。

6.5.4 脉冲磁场抗扰度试验

按照 GB/T 17626.9 规定，应在下述条件下进行试验：

- a) 警示球在正常工作状态；
b) 磁场强度：1000A/m。

在试验期间及试验后，装置应能正常工作。

6.5.5 工频磁场抗扰度试验

按照 GB/T 17626.8 规定，在下述条件下进行试验：

- a) 警示球在正常工作状态；
b) 磁场强度：100A/m。

在试验期间及试验后，装置应能正常工作。

6.6 各类警示装置检测项目

各类警示装置检验项目见表 5。

表 5 警示装置检验项目

序号	检测装置	检测类别	检验项目	出厂检验	型式试验	检测方法
1	防鸟撞螺旋	外观检查	外观和结构尺寸检查	·	·	6.1
2		耐候性能检测	低温试验	-	·	6.3.1
3			交变湿热试验	-	·	6.3.2
4			盐雾试验	-	·	6.3.3
5			抗紫外老化性能试验	-	·	6.3.4
6			防护等级试验	-	·	6.3.5
7		结构力学性能检测	握力试验	-	·	6.4.1
8	防鸟撞警示球（不发光型）	外观整体	外观和结构尺寸检查	·	·	6.1
9		耐候性能检测	低温试验	-	·	6.3.1
10			交变湿热试验	-	·	6.3.2
11			盐雾试验	-	·	6.3.3
12			抗紫外老化性能试验	-	·	6.3.4
13			防护等级试验	-	·	6.3.5
14		结构力学性能检测	握力试验	-	·	6.4.1
15			振动性能试验	-	·	6.4.2
16		电气性能检测	电晕和无线电干扰试验	-	·	6.5.1
17	防鸟撞警示球（发光型）	外观整体	外观和结构尺寸检查	·	·	6.1
18		功能检测	发光功能检测	·	·	6.2
19		耐候性能检测	低温试验	-	·	6.3.1
20			交变湿热试验	-	·	6.3.2
21			盐雾试验	-	·	6.3.3
22			抗紫外老化性能试验	-	·	6.3.4
23			防护等级试验	-	·	6.3.5

24		结构力学性能检测	握力试验	-	·	6.4.1
25			振动性能试验	-	·	6.4.2
26		电气性能检测	电晕和无线电干扰试验	-	·	6.5.1
27			静电放电抗扰度试验	-	·	6.5.2
28			射频电磁场辐射抗扰度试验	-	·	6.5.3
29			脉冲磁场抗扰度试验	-	·	6.5.4
30	工频磁场抗扰度试验	-	·	6.5.5		
31	防鸟撞警示牌（不发光型号）	外观整体	外观和结构尺寸检查	·	·	6.1
32		耐候性能检测	低温试验	-	·	6.3.1
33			交变湿热试验	-	·	6.3.2
34			盐雾试验	-	·	6.3.3
35			抗紫外老化性能试验	-	·	6.3.4
36			防护等级试验	-	·	6.3.5
37		结构力学性能检测	握力试验	-	·	6.4.1
38		电气性能检测	电晕和无线电干扰试验	-	·	6.5.1
39	防鸟撞警示牌（发光型）	外观整体	外观和结构尺寸检查	·	·	6.1
40		功能检测	发光功能检测	·	·	6.2
41		耐候性能检测	低温试验	-	·	6.3.1
42			交变湿热试验	-	·	6.3.2
43			盐雾试验	-	·	6.3.3
44			抗紫外老化性能试验	-	·	6.3.4
45			防护等级试验	-	·	6.3.5
46		结构力学性能检测	握力试验	-	·	6.4.1
47		电气性能检测	电晕和无线电干扰试验	-	·	6.5.1
48			静电放电抗扰度试验	-	·	6.5.2
49			射频电磁场辐射抗扰度试验	-	·	6.5.3
50	脉冲磁场抗扰度试验		-	·	6.5.4	
51	工频磁场抗扰度试验		-	·	6.5.5	
52	防鸟撞护套	外观整体	外观和结构尺寸检查	·	·	6.1
53		耐候性能检测	低温试验	-	·	6.3.1
54			交变湿热试验	-	·	6.3.2
55			盐雾试验	-	·	6.3.3
56			抗紫外老化性能试验	-	·	6.3.4
57			防护等级试验	-	·	6.3.5
58	结构力学性能检测	握力试验	-	·	6.4.1	

7 装置标志、包装、运输

7.1 装置标志

防鸟误撞装置属于特殊装置，宜采用统一标志标识该装置。

7.2 装置包装

装置宜通过木制板材箱打包，装箱时候防止挤压导致变形。

7.3 装置运输

装置运输宜采用隔振措施，防止运输过程导致装置损坏。

8 装置验收与运维

8.1 装置验收要求

- a) 装置应采用抽检方法检验是否合格。
- b) 装置验收宜通过相关机构审核。

8.2 装置运维要求

- a) 应定期检查装置是否存在滑移情况；
- b) 在有风天气监测宜线缆动弯应变；
- c) 应按年检查装置老化情况。

附 录 A
(资料性)
选型推荐

- A.1 对于电压等级为 10kV~330kV 线路，宜采用防鸟误撞螺旋。
- A.2 对于电压等级为 10kV 及以上线路，宜采用防鸟撞警示球，应根据具体电压等级选择球径。
- A.3 对于电压等级为 10kV~500kV 线路，宜采用防鸟撞警示牌。
- A.4 对于电压等级为 35kV 级以下线路，宜采用防鸟撞护套。
- A.5 对于可有多种警示装置选择的线路，可根据现场环境、安装便利性以及实际应用效果而定。

附录 B
(资料性)
结构力学性能检测方案

B.1 试验台

B1.1 试验台总体

安装防鸟误撞装置线路微风振动疲劳试验台如图 A.1 所示。

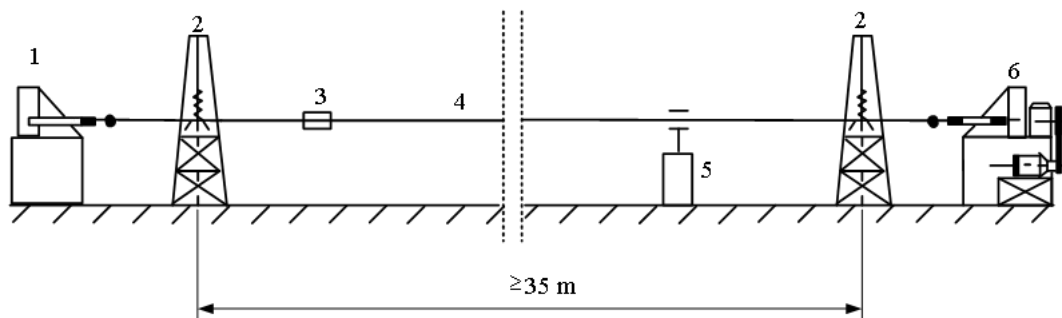


图 B.1 防鸟误撞装置线路微风振动疲劳试验台示意

标引序号说明：

- 1——张力加载系统得恒张力端；
- 2——铁塔；
- 3——振幅测量装置；
- 4——被测线缆；
- 5——激振器；
- 6——张力加载系统的加载端。

B1.2 试验台总体激振器

通常为电磁激振器，也可为液压激振器。激振器应具备在 10 Hz~70 Hz 范围内对试样持续稳定地产生正弦激励的能力，能保持测试过程中振幅和频率的最大变化量均不超过规定值的±5%，并具有闭环、开环及扫频的控制功能。

B1.3 张力加载系统

张力加载系统具有闭环、开环控制功能，能保证测试过程中试样张力的变化量不超过规定试验张力的±2.5%。

B1.4 数据采集系统

数据采集系统具有对振动速度、波腹振幅、振动次数、激振力值等数据实时采集和处理功能。

B.1 检测方法

B2.1 试验制备

1) 线缆制备

选取无松股、无损伤的线缆，根据试验方法和挡距要求，截取相应长度的线缆。取样时试样长度应考虑固定端制备所需的必要长度。截取试样和端头制备过程中应避免损伤试样，避免试样的层间移动。试样端头可采用压接耐张金具、浇注环氧树脂或低熔点合金等方式制作，端头在试验过程中应不发生滑移或破坏。

2) 防鸟误撞警示球安装

防鸟误撞警示球安装时，先将警示球的深槽卡在地线上，然后使用与地线外径配套型号的预绞丝加以固定，固定时预绞丝中间卡在标示球的浅槽里，两边缠绕在地线上，固定牢固。

为使警示球固定牢固，所用的预绞丝要根据地线（光缆）的外径大小进行配置，目前采用的四种不同型号规格的预绞丝，可以满足大部分地线（光缆）的外径大小。

表 B.1 预绞丝型号参数表

序号	预绞丝型号	地线\光缆外径
1	HPQ11-13	11-13
2	HPQ14-16	14-16
3	HPQ17-19	17-19
4	HPQ19-20	19-20

B2.2 预处理

在测试挡距内安装制备完成的线缆后，应进行预拉伸，使被测线缆上拉力分布均匀。通常宜在不小于试验张力的载荷下，保持规定时间(12 h~48 h)。在室温恒定条件下，当线缆的静态拉力变化在 30 min 内不超过预拉伸载荷的 3%~4%时，认为预拉伸完成。仅当预拉伸完成后，方可进行正式测试。

B2.3 试验检测

试验检测步骤如下。

a) 将被测试样安装在图 B.1 所示试验装置中，按照 B2.2 的规定，用张力加载系统对被测试样施加载荷进行预拉伸。

b) 预拉伸完成后，施加载荷至规定试验张力，并在测试过程中始终保持该张力，连接激振器和被 6 测试样，在试样距离激振器近端第二个波腹位置安装振幅测量装置。

c) 在被测试样微风振动频率范围内，经调试确定一个共振频率，以保证微风振动疲劳试验在接近共振条件下进行，此时测量并记录振动试样的波长 λ 。

d) 调整激振输出能量以改变振幅，使振动角 α 符合试验条件要求，振动角与振幅的关系见公式(B-1)：

$$\tan \alpha = 2\pi A / \lambda \quad (\text{B-1})$$

式中：

α ——振动角，单位为分（'）；

A——波腹振幅，单位为毫米（mm）；

λ ——振动波长，单位为毫米（mm）。

e) 每次试验结束后，检查并记录线夹位置线缆的损伤情况，如磨损、裂纹、断股等目视可见的损伤。

B.3 数据处理

B3.1 理论弯曲应力

最后接触点（LPC）所在截面最外层线股所受的理论弯曲应力计算见公式（B-2）和公式（B-3）：

$$\sigma_a(Y_b) = \frac{E_a d p^2}{4(e^{-px} - 1 + px)} Y_b \quad (\text{B-2})$$

$$p = \sqrt{\frac{H}{EI}} \quad (\text{B-3})$$

式中：

$\sigma_a(Y_b)$ ——理论弯曲应力，Pa；

E_a ——试样最外层线股材料的弹性模量，单位为帕(Pa)；

d——试样最外层线股直径，单位为毫米(mm)；

Y_b ——弯曲振幅，单位为毫米(mm)；

H——试验张力，单位为牛(N)；

EI——试验线缆所有单线的抗弯刚度总和，单位为牛平方米(N·m)；

x——振幅测量位置与线夹 LPC 的距离，其值通常为 89 mm，单位为毫米(mm)。

B3.2理论动态应力

某些情况下，波腹振幅 A 与频率 f 的乘积更为实用。此时，理论动态应力 $\sigma(fA)$ 可按照公式(B-4) 进行计算。

$$\sigma(fA) = \pi d E_a \sqrt{\frac{m}{EI}} fA \quad (\text{B-4})$$

式中：

$\sigma(fA)$ ——理论动态应力，单位为帕(Pa)；

d——试样最外层线股直径，单位为毫米(mm)；

Ea——试样最外层线股材料的弹性模量，单位为帕(Pa)；

m——线缆单位长度质量，单位为千克每米(kg/m)；

EI——试验线缆所有单线的抗弯刚度总和，单位为牛平方米(N·m)；

f——振动频率，单位为赫兹(Hz)；

A——波腹振幅，单位为毫米(mm)。