

公路桥梁拉索用碳纤维复合材料杆

征求意见稿

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 分类、规格与型号.....	3
5 技术要求.....	3
6 试验方法.....	6
7 检验规则.....	7
8 标志、包装、运输和贮存.....	9
附录 A 碳纤维复合材料杆的试验用锚固方法.....	11
附录 B 径向耐压测试方法.....	12
附录 C 本规范用词说明.....	13

前 言

本标准按照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。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会提出并归口。

本标准主要起草单位：哈尔滨工业大学、北京科技大学。

本标准参加起草单位：中国石化上海石油化工股份有限公司、中国建筑第八工程局有限公司、中交第一公路勘察设计院有限公司、长三角碳纤维及复材技术创新中心、中复碳芯电缆科技有限公司、哈尔滨玻璃钢研究院有限公司。

本标准主要起草人：咸贵军、岳清瑞、益小苏、黄翔宇、辛美音、王梓豪、李承高、刘晓刚、王安妮、刘越、马明磊、杨燕、许国文、熊浩、侯旭、宋松林、梁钊。

本标准为首次发布。

征求意见稿

公路桥梁拉索用碳纤维增强复合材料杆

1 范围

本标准规定了公路桥梁斜拉索或吊索用碳纤维增强复合材料杆的术语和定义、分类、规格和型号、技术要求、试验方法、检验规则、以及标志、包装、运输和贮存等。

本标准适用于既有公路桥梁或新建公路桥梁斜拉索或吊杆索用碳纤维增强复合材料杆的生产和检验。

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（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB/T1446—2005 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 2572-2005 纤维增强塑料平均线膨胀系数试验方法

GB/T 3365-2008 碳纤维增强塑料孔隙含量和纤维体积含量试验方法

GB/T 10125—2021 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 13657 双酚 A 型环氧树脂

GB/T 21839 预应力混凝土用钢材试验方法

GB/T 22567-2008 电气绝缘材料 测定玻璃化转变温度的试验方法

GB/T 26752 聚丙烯腈基碳纤维

GB/T 29324-2012 架空导线用纤维增强树脂基复合材料芯棒

GB/T 31290 碳纤维 单丝拉伸性能的测定

GB/T 35465.3-2017 聚合物复合材料疲劳性能测试方法 第3部分：拉—拉疲劳

GB/T 41061-2021 纤维增强塑料蠕变性能试验方法

GB/T 43113-2023 碳纤维增强复合材料耐湿热性能评价方法

JG/T 351-2012 纤维增强复合材料筋

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

复合材料 composite

由两种或两种以上化学成分、物理、机械性能不同的材料，通过化学或物理的方法复合而成，其中的组分相互协同作用，但彼此独立，各自保持其固有的化学、物理和机械等

特性，又具有原单一组分材料所无法获得的更优异的特性且期间存在界面的多相固体材料。

3.2

纤维增强复合材料拉索 fiber reinforced polymer composites structural cable

由纤维增强复合材料索体、配套锚具和外包保护层组成的在公路桥梁结构中承受拉力的构件。

3.3

碳纤维增强树脂基复合材料杆 carbon fiber reinforced polymer composite rod

由碳纤维与树脂基体材料复合在一起的圆形棒材，简称碳纤维增强复合材料杆。

3.4

索体 cable body

由纤维增强复合材料杆构成的线形受力体。

3.5

纤维增强复合材料平行棒索 cable of parallel fiber reinforced polymer bars

索体由若干根平行的纤维增强复合材料杆组成的拉索。

3.6

直径 diameter

在同一圆截面且互相垂直的方向上三次测量值的平均值。

3.7

玻璃化转变温度 glass transition temperature

T_g

发生玻璃化转变的温度范围内的中点处的温度。

注：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，观察到的温度(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。

3.8 动态机械分析 dynamic mechanical analysis, DMA

是一种测量在振动负荷和变形下，材料的储能模量和/或损失模量与温度、频率或时间或其组合的关系。

4 分类、规格与型号

4.1 分类

碳纤维增强复合材料杆按复合树脂的类型分为热固性碳纤维增强复合材料杆（代号 G）、热塑性碳纤维增强复合材料杆（代号 S）。

4.2 规格

公路桥梁拉索用碳纤维增强复合材料杆推荐规格见表 1。

表 1 碳纤维增强复合材料杆规格参数表

规格	标称直径 D mm
5.00、7.00	

4.3 型号

公路桥梁拉索用碳纤维增强复合材料杆型号表示方法见图1。

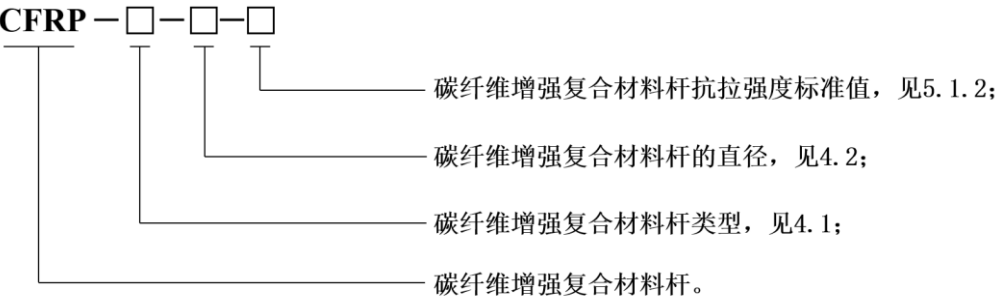


图 1 碳纤维复合材料拉索型号表示方法

示例 1：公路桥梁拉索采用直径为 7 mm，抗拉强度标准值为 2800 MPa 的热固性碳纤维增强复合材料杆表示为：CFRP-G-7-2800。

5 技术要求

5.1 外观

5.1.1 碳纤维增强复合杆表面应圆整、光洁、平滑、色泽一致，并应满足下列要求。

- 1) 应无纤维外露、无毛刺，不应有断丝、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）；
- 2) 碳纤维增强复合材料杆长度方向不应呈波浪形，不应存在弯折、扭曲现象。

5.1.2 公路桥梁拉索用碳纤维增强复合材料杆的直径偏差应符合表 2 的规定。

表 2 碳纤维增强复合材料杆直径公差

分类	规格 (mm)	允许公差 (mm)
碳纤维增强复合材料杆	5.00、7.00	±0.03

注：允许公差值应测量三个不同截面，且界面间隔距离不应小于 100 mm，取最大值作为结果。

5.2 材料

5.2.1 制造碳纤维增强复合材料杆采用的碳纤维，其性能应符合 GB/T 26752 的规定。

5.2.2 制造碳纤维增强复合材料杆采用的碳纤维复合树脂应与碳纤维有良好的粘结性，可选用环氧树脂、乙烯基树脂、聚氨酯树脂，其性能应符合 GB/T 13657 的规定。

5.3 工艺

5.3.1 拉索用碳纤维增强复合材料杆应在 55 D 直径的筒体上以不大于 3 r/min 的卷绕速度卷绕 1 圈，碳纤维增强复合材料杆不应出现开裂、断裂以及肉眼可见的损伤。

5.3.2 完成卷绕试验后的碳纤维增强复合材料杆应以 170 D 的长度试样以不大于 2 r/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 3 的规定。

5.3.3 碳纤维增强复合材料杆在温度为 35℃±2℃，pH 值 6.5~7.2 之间的盐雾环境中保持 240 h，其表面不应出现腐蚀产物和缺陷。

5.3.4 拉索用碳纤维增强复合材料杆纤维体积含量不应小于 60 %。

5.3.5 碳纤维增强复合材料杆在紫外光下暴露 1008 h 后，其表面应不发黏，无纤维裸露，裂纹和龟裂现象。

5.4 性能

5.4.1 拉索用碳纤维增强复合材料杆的拉伸强度应符合表 3 的规定。

表 3 碳纤维增强复合材料杆拉伸力学性能

分类	强度等级	拉伸强度标准值 (MPa)	弹性模量 (GPa)	断裂伸长率 (%)
碳纤维增强复合材料杆	1	≥2600	≥160	≥1.5
	2	≥2100	≥140	≥1.0

5.4.2 碳纤维增强复合材料杆应能够承受 200 万次 $0.45F_m \sim (0.45F_m - 2\Delta F_a)$ 的疲劳载荷后而不发生断裂，其中 F_m 按如下公式计算。

$$F_m = R_m \times S_m \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{2\Delta F_a}{S_m} = 360 \text{ MPa} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- F_m ——碳纤维增强复合材料杆的公称极限拉力，单位为牛顿（N）；
- R_m ——碳纤维增强复合材料杆的拉伸强度标准值，单位为兆帕（MPa）；
- S_m ——碳纤维增强复合材料杆的公称横截面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）；
- $2\Delta F_a$ ——脉冲应力幅载荷值，单位为牛顿（N）。

5.4.3 公路桥梁拉索用碳纤维增强复合材料杆玻璃化转变温度 T_g 不应小于 150°C 。

5.4.4 公路桥梁拉索用碳纤维增强复合材料杆的径向耐压强度应不小于 120 MPa，并且压缩荷载应满足表 4 要求。

表 4 碳纤维增强复合材料杆的径向耐压性能

碳纤维增强复合材料杆规格 (mm)	试样长度 (mm)	计算受力面积 (mm^2)	压缩荷载 (kN)
5	100	500	≥ 60
7	100	700	≥ 84

注：达到目标荷载时杆体表面和端面应不出现开裂和脱皮。

5.4.5 碳纤维增强复合材料杆的蠕变系数应满足以下要求。

- 1) 室温下，碳纤维增强复合材料杆在初始荷载为 $70\% F_m$ 的荷载条件下，经过 1000 h 的蠕变试验，碳纤维增强复合材料杆的蠕变系数应 $\leq 1.2\%$ ；
- 2) 蠕变系数按公式（3）计算：

$$\Phi = \frac{\varepsilon_{(\sigma, t)}}{\varepsilon_e} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- Φ ——碳纤维增强复合材料杆的蠕变系数；
- $\varepsilon_{(\sigma, t)}$ ——在 σ 应力水平下，t 时刻碳纤维增强复合材料杆的蠕变应变；
- ε_e ——碳纤维增强复合材料杆初始弹性应变。

5.4.6 碳纤维增强复合材料杆的应力松弛率应满足以下要求。

- 1) 室温下，碳纤维增强复合材料杆在初始荷载为 $70\% F_m$ 的荷载条件下，经过 1000 h 的松弛试验后，碳纤维增强复合材料杆的应力松弛率应 $\leq 2.2\%$ ；
- 2) 应力松弛率按公式（4）计算：

$$\psi = \frac{\sigma_{(\sigma, t)}}{\sigma_i} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

ψ ——碳纤维增强复合材料杆的蠕变系数；

$\sigma_{(\sigma, t)}$ ——在 σ 应力水平下， t 时刻碳纤维增强复合材料杆的蠕变应变；

σ_i ——碳纤维增强复合材料杆初始弹性应变。

- 3) 供货方保证 1000 h 松弛性能合格的基础上，试验可以采用不少于 120 h 的测试数据推算 1000 h 的松弛值。

5.4.7 拉索用碳纤维增强复合材料杆湿热老化 1000 小时后拉伸强度保留率应大于 90%。

5.4.8 碳纤维增强复合材料筋的轴向温度膨胀系数在 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 2×10^{-6} 。

6 试验方法

6.1 外观

在正常（光）照度下，距离 0.5 m，可采用目测、光学仪器、放大镜与钢直尺进行检验。

- 6.1.1 公路桥梁拉索用碳纤维增强复合材料杆的直径测量应使用精度为 0.01mm 游标卡尺，任意取 3 个截面位置测量，每个截面测量 3 次，取算数平均值，修约到两位小数（单位：mm）。

6.2 材料

- 6.2.1 碳纤维性能试验应按 GB/T 31290 的规定的方法执行。
- 6.2.2 碳纤维复合树脂的性能应按 GB/T 13657 的规定的方法执行。

6.3 工艺

- 6.3.1 卷绕试验应按 GB/T 29324-2012 附录 A 规定的方法执行。
- 6.3.2 扭转实验应按 GB/T 29324-2012 附录 B 规定的方法执行。
- 6.3.3 盐雾试验应按 GB/T 10125—2021 规定的方法执行。
- 6.3.4 纤维体积含量试验应按 GB/T 3365-2008 规定的方法执行。
- 6.3.5 紫外线老化性能试验应按 GB/T 29324-2012 规定的方法执行。

6.4 性能

6.4.1 拉伸性能试验应按 JG/T 351—2012 附录 A 中规定的方法执行，碳纤维复合材料杆拉伸试验的试样尺寸及锚固方法可参照附录 A。

6.4.2 拉伸疲劳性能试验应按 GB/T 35465.3—2017 规定的方法执行。

6.4.3 玻璃化转变温度试验应按 GB/T 22567—2008 规定的方法执行，且玻璃化转变温度的确定应符合 GB/T 22567—2008 附录 A 的规定。

6.4.4 径向耐压试验应截取长度为 100mm 的碳纤维增强复合材料杆，将待测试杆体放置于径向压缩试验装置中，应以 2 mm/min 的加载速度平稳加载至目标荷载，其他试验条件应符合 GB/T1446—2005 的规定，目测试件端部和表面开裂情况。每批次应至少测试 3 个试件。径向压缩试验装置及测试方法在附录 B 中给出。

6.4.5 蠕变性能试验应按 GB/T 41061-2021 规定的方法执行。

6.4.6 碳纤维增强复合材料杆的松弛试验应按以下规定进行。

- 1) 碳纤维增强复合材料杆的锚固采用粘结式锚固，杆体两端制备粘结式锚具，灌注粘结剂。锚具能将荷载传递至碳纤维增强复合材料杆的中间部分，锚具只传递拉力而不传递扭矩和弯矩的作用；
- 2) 试验标距应不小于碳纤维增强复合材料杆公称直径的 40 倍；
- 3) 试验测试时长 1000 h，在保证型式试验 1000 h 松弛合格的基础上，也可采用至少 120 h 较短期限试验数据，推算 1000 h 松弛值；
- 4) 其他要求应符合 GB/T 21839 的规定。

6.4.7 耐湿热老化性能试验应按标准 GB/T 43113-2023 规定的方法进行。

6.4.8 热膨胀系数试验应按标准 GB/T 2572-2005 规定的方法进行，对同一试验进行两次试验，以第二次试验测试数据作为最终试验结果。

7 检验规则

7.1 检验分类

7.1.1 碳纤维复合材料杆产品检验分为型式检验和出厂检验，检验项目见表 5。

表 5 拉索用碳纤维增强复合材料杆

检验项目		技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
外观与尺寸	外观	5.1.1	6.1.1	+	+

检验项目		技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
	直径偏差	5.1.2	6.1.2	+	+
材料	碳纤维	5.2.1	6.2.1	+	-
	碳纤维复合树脂	5.2.2	6.2.2	+	-
性能要求	拉伸强度	5.3.1	6.3.1	+	+
	拉伸疲劳性能	5.3.2	6.3.2	+	-
	玻璃化转变温度	5.3.3	6.3.3	+	-
	径向耐压性能	5.3.4	6.3.4	+	-
	卷绕	5.3.5	6.3.5	+	+
	扭转	5.3.6	6.3.6	+	-
	盐雾试验	5.3.7	6.3.7	+	-
	蠕变性能	5.3.8	6.3.8	+	-
	应力松弛	5.3.9	6.3.9	+	-
	耐湿热老化性能	5.3.10	6.3.10	+	-
	纤维体积含量	5.3.11	6.3.11	+	-
	紫外线老化性能	5.3.12	6.3.12	+	-
	热膨胀系数	5.3.13	6.3.13	+	-
注：“+”表示进行该项检验，“-”表示不进行该项检验					

7.1.2 凡是有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 1) 新产品或老产品转厂生产的试制鉴定；
- 2) 正式生产后，如结构、材料、工艺有改变，影响产品质量及性能时；
- 3) 正常生产每 2 年定期进行 1 次；
- 4) 产品停产一年以上，恢复生产时；
- 5) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 6) 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求时；
- 7) 用户提出进行型式检验的要求时。

7.2 组批与抽样

7.2.1 正常生产时，碳纤维筋以 1000 m 为一批组批，不足此数目的按一批组批。

7.2.2 每批次碳纤维复合材料杆的出厂检验项目及抽样数量按表 5 规定。

表 5 供方出厂常规检验项目及取样数量

序号	检验项目	抽样数量
1	外观	每组批取 5 个
2	直径偏差	每组批取 5 个
3	拉伸强度	每组批取 5 个
4	卷绕	每组批取 5 个

7.3 判定原则

7.3.1 每个项目均以全部样品合格判定为合格产品。若有一项不合格，应双倍抽样重新检验，若仍不合格，则判定为不合格产品。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 产品外包装应有明显牢固的标志

8.1.2 包装标识上应标明：

- 1) 生产制造厂名及地址；
- 2) 产品名称和型号；
- 3) 产品数量（或长度）；
- 4) 注册商标；
- 5) 制造日期或生产批号。

8.2 线盘与包装

8.2.1 线盘应符合 JB/T 8137.2—1999 的规定，线盘的筒体直径不小于 800mm。每个线盘上只绕一根碳纤维增强复合材料杆。两端头应牢固固定，防止滑脱。

8.2.2 包装盘上应附有产品检验证书，产品检验证书内容包括：

- 1) 生产制造厂名；
- 2) 产品型号；
- 3) 产品数量（或长度）；
- 4) 产品合格证；
- 5) 生产日期。

8.3 运输和贮存

8.3.1 不应使包装盘处于平放方位，不得堆放。

8.3.2 盘装产品不得做长距离滚动，作短距离滚动时，按线盘标明的旋转箭头方向滚动。

8.3.3 不得遭受冲撞、挤压和其他任何机械损伤。

8.3.4 产品应放在干燥的环境中，避免放在潮湿且碱性的环境。

征求意见稿

附录 A 碳纤维复合材料杆的试验用锚固方法

A.1 范围

本试验方法适用于测试碳纤维复合材料杆的力学性能，包括拉伸性能、拉伸疲劳性能、蠕变性能、应力松弛性能。

A.2 锚固方式

碳纤维复合材料杆的锚固方式为粘结式锚固，锚固构造及尺寸如图 A.1 所示

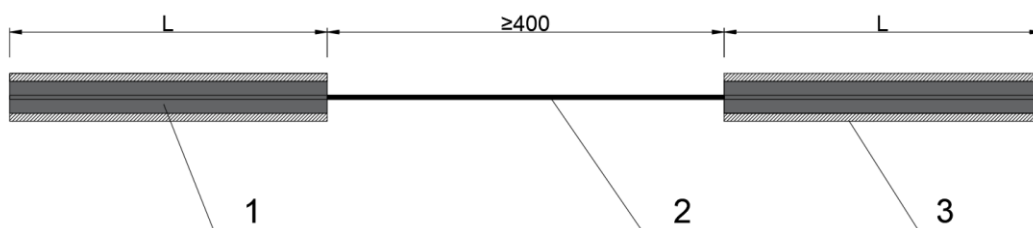


图 A.1 碳纤维复合材料杆的锚固方法

图中：

- 1 — 锚固填充料，常用为环氧树脂粘结材料或水泥基粘结材料；
- 2 — 碳纤维增强复合材料杆；
- 3 — 锚具。

A.3 锚固方法

- 1) 切割一段碳纤维复合材料杆，保证其自由段长度 ≥ 400 mm；
- 2) 将碳纤维复合材料杆的一端插入到锚杯当中，保证碳纤维复合材料杆与锚杯中心对正，使碳纤维复合材料杆处于锚杯中心位置；
- 3) 向锚杯内灌注环氧树脂或其他类型的锚固填充料，室温或加热固化；
- 4) 完成碳纤维复合材料杆一端的锚固后再进行另一端的锚固。

附录 B 径向耐压测试方法

B.1 径向耐压试验装置

碳纤维增强复合材料杆径向耐压性能试验装置见图 B.2。

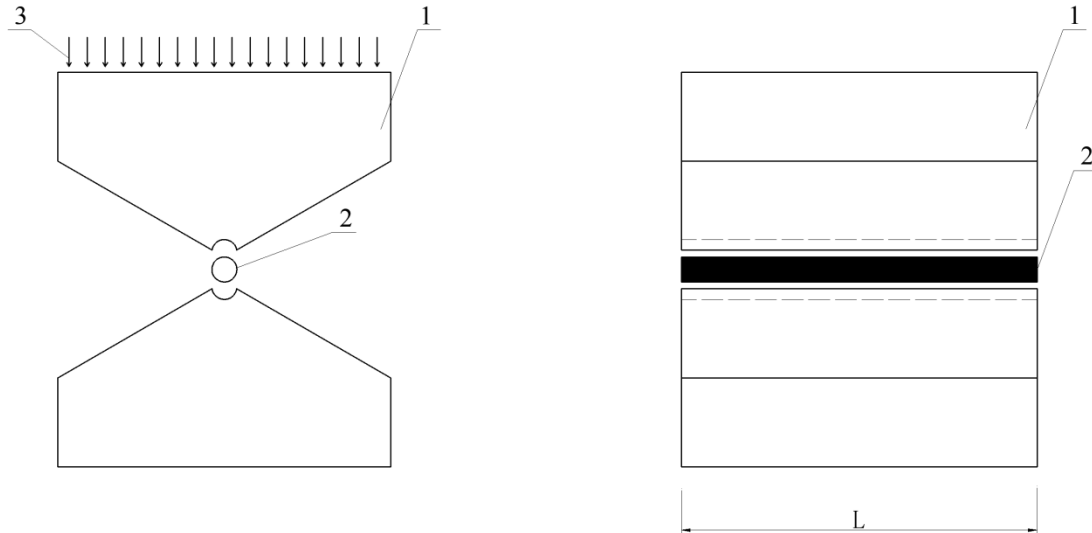


图 B.2 碳纤维增强复合材料杆径向受压性能试验装置示意图

说明：

1—径向受压试验装置；

2—碳纤维增强复合材料杆；

3—荷载。

B.2 径向耐压性能试验方法

径向耐压试验方法如下：

- 1) 截取长度为 100mm 的碳纤维增强复合材料杆；
- 2) 将试验装置水平放置在加载机器之上，将测试杆体放置于径向压缩试验装置中；
- 3) 以 2 mm/min 的加载速度平稳加载；
- 4) 目测试件端部和表面开裂情况。每批次至少测试 3 个试件；
- 5) 按公式计算碳纤维增强复合材料杆的径向受压强度：

$$\sigma_r = \frac{F}{S} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

σ_r ——碳纤维增强复合材料杆的径向耐压强度；

F ——碳纤维增强材料杆表面或端部开裂时的荷载；

S ——碳纤维增强复合材料杆的计算受力面积，见 5.3.4。

附录 C 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

1) 示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定”。

征求意见稿