

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 269 — 2012

钢弦式锚索测力计

Vibrating wire load cell

2012-04-06 发布

2012-07-01 实施

国家能源局 发布

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 产品原理及基本参数 1

5 技术要求 2

6 试验方法 3

7 检验规则 4

8 标志、包装、运输、贮存 5

附录 A（规范性附录） 锚索测力计性能参数计算方法 7

前 言

本标准依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》起草。
请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。
本标准由中国电力企业联合会提出。
本标准由电力行业大坝安全监测标准化技术委员会（SAC/TC32）归口。
本标准主要起草单位：国网电力科学研究院、基康仪器（北京）有限公司。
本标准主要起草人：卢有清、刘广林、廖占勇、郭宝玉、刘宁、刘炜铭、沈省三、吴其均。
本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

钢弦式锚索测力计

1 范围

本标准规定了钢弦式锚索测力计的基本参数、技术要求、试验方法、检验规则和标志、包装、运输、贮存的要求。

本标准适用于岩土工程及其他构筑物安全监测中用于预应力锚索等张力变化监测的钢弦式锚索测力计（简称测力计）。

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 191 包装储运图示标志（GB/T 191—2008，ISO 780：1997，MOD）

GB 6388 运输包装收发货标志

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

- 3.1
频率模数 frequency modulus
频率的平方除以 1000，一个单位定义为“一个字”。
- 3.2
过范围限 overrange limit
能够加在测力计上不致引起永久性性能变化的被测量的最大值。
- 3.3
最小读数 sensitivity coefficient
钢弦式仪器在全量程范围内频率模数变化一个字时被测量的变化值。

4 产品原理及基本参数

4.1 产品原理

测力计由承力体、钢弦式传感元件、电磁线圈、护筒、电缆等组成，其结构如图 1 所示。钢弦式

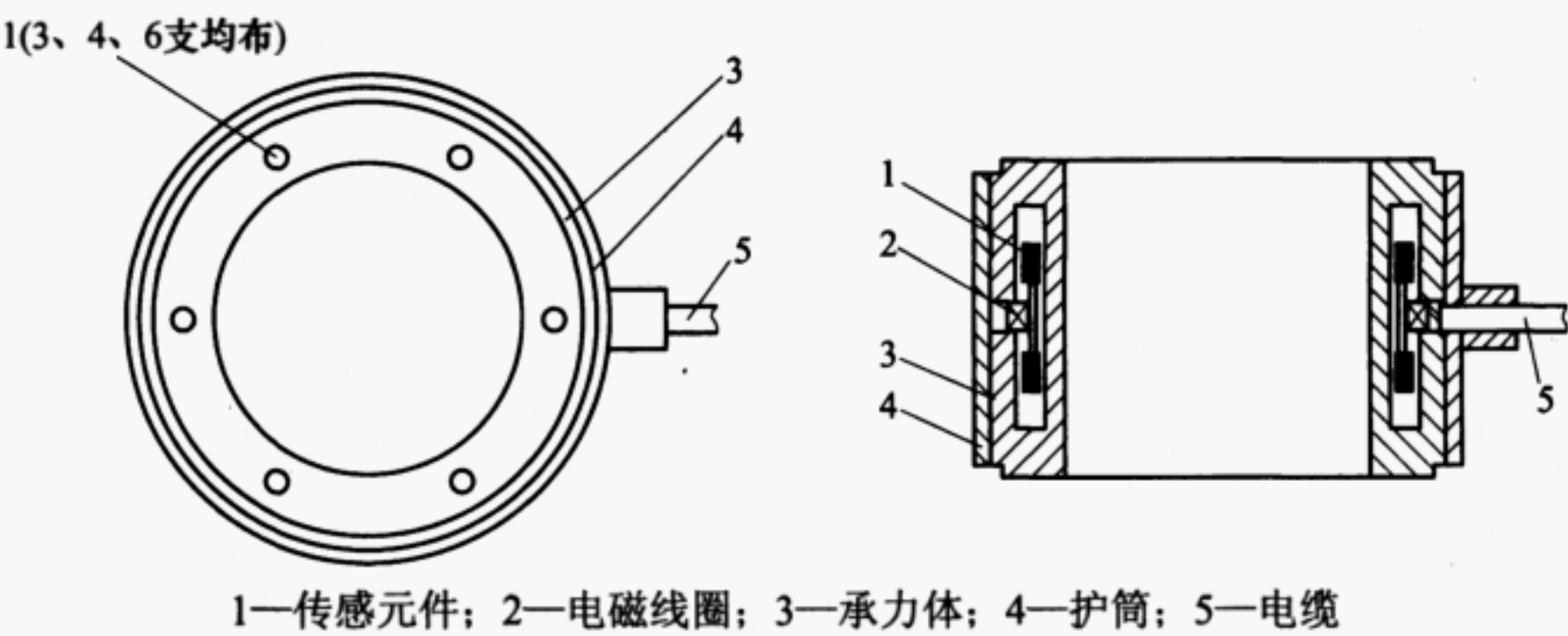


图 1 钢弦式锚索测力计结构

传感元件一般沿承力体均匀布置 3、4、6 支。当承力体承受荷载产生变形时，固定在承力体内部钢弦式传感元件的钢弦的应力发生变化，从而其固有频率发生变化。通过测量仪表激振钢弦并检测出感应的频率，经换算即可得到施加在承力体上的荷载，计算公式见附录 A。同时布置在测力计内的热敏电阻可同步测出受测点的温度。

4.2 基本参数

测力计的基本规格及主要参数见表 1。测力计尺寸应与锚具尺寸相匹配。

表 1 测力计的基本规格及主要参数

规 格	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
测量范围 kN	0~500	0~1000	0~1500	0~2000	0~2500	0~3000	0~4000	0~5000
过范围限 kN	600	1200	1800	2400	3000	3600	4800	5500
传感元件数 个	3 或 4	3 或 4	4	4	4	4 或 6	6	6
温度测量范围 ℃	-20~+60							
耐水压分挡 ^a MPa	0.5、1、2、3							
^a 特殊要求时可另行规定。								

5 技术要求

5.1 环境条件

5.1.1 正常工作条件

- a) 环境温度：-20℃~+60℃；
- b) 在规定水压下；
- c) 大气压力：53kPa~106kPa。

5.1.2 正常试验大气条件

- a) 环境温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：45%~75%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

5.1.3 仲裁试验条件

- a) 环境温度：20℃±2℃；
- b) 相对湿度：60%~70%；
- c) 大气压力：86kPa~106kPa。

5.2 外观及结构

测力计表面无脱落、锈斑，承力面应光滑、平整，无刻痕，引出的电缆、护套应无损伤，紧固件无松动，标识清晰。

5.3 力学性能指标

5.3.1 测量范围

测力计的测量范围应符合表 1 的规定。

5.3.2 分辨力 *r*

测力计的分辨力不大于 0.1% FS。

测力计各传感元件的分辨力不大于 0.1% FS。

注：FS 表示满量程。

5.3.3 综合误差 δ

测力计的综合误差不大于 1.5% FS。其中：

- a) 非线性度（或拟合误差） δ_1 不大于 1.0% FS；
- b) 不重复度 δ_2 不大于 0.5% FS；
- c) 滞后 δ_3 不大于 1.0% FS。

注 1：可采用多项式曲线校准拟合，此时测力计拟合误差 δ_1 应不大于 0.5% FS。

注 2：综合误差、非线性度或拟合误差、不重复度、滞后的计算起点从 20% FS 的负荷开始。

5.3.4 温度测量误差

测力计的温度测量误差应不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

5.4 绝缘性能

测力计的芯线与传感器壳体之间的绝缘电阻应不小于 50M Ω 。

5.5 防水密封性

测力计在规定压力的水中，绝缘性能应符合本标准 5.4 的要求。

5.6 温度修正误差

测力计温度修正的校准曲线（因温度变化所引起的力测值的误差与温度之间关系的曲线），其端基线性度误差以频率模数计，不应超过 $\pm 0.04\%$ FS/ $^\circ\text{C}$ 。

5.7 过范围限

测力计应能承受表 1 规定的过范围限，在此范围内其力学性能应符合本标准 5.3.2、5.3.3 的要求，且测力计中各传感元件正常测量范围的满量程输出互差宜不超过 25%。

5.8 稳定性

5.8.1 测力计在正常试验大气条件下静置 30 天后，其最小读数相对变化量应不大于 $\pm 2\%$ ，且绝缘性能应满足本标准 5.4 的要求。

5.8.2 在正常试验大气条件下测力计按满量程加、卸荷循环 10 次试验后，其零点漂移不大于 $\pm 0.5\%$ FS，且力学性能应满足本标准 5.3.2、5.3.3 的要求，绝缘性能应满足本标准 5.4 的要求。

5.9 耐运输颠簸性能

测力计在包装运输状态下，应能承受最大加速度为 3g、频率为 10Hz~150Hz~10Hz、历时 10min 的试验，试验后其性能应满足本标准 5.3 的要求。

6 试验方法

6.1 试验环境

6.1.1 试验条件

除有特殊要求外，试验按本标准 5.1.3 进行。

6.1.2 试验设备

- a) 1 级材料试验机；
- b) 弦式测量仪表；
- c) 100V 绝缘电阻表；
- d) 二等标准水银温度计；
- e) 恒温水槽；
- f) 压力容器；
- g) 冰点槽；
- h) 振动试验台；
- i) 游标卡尺。

6.2 外观及结构

在正常试验大气条件下进行，用目测及游标卡尺检验，结果应符合本标准 5.2 的要求。

6.3 力学性能指标

在正常试验大气条件下，将测力计放在材料试验机上，试验前需对锚索测力计预压 3 次，预压压力应大于锚索测力计额定压力的 20%。预压时应缓慢施压且在达到最大压力时保持 1min，预压完成后，锚索测力计应静置 3min 再进行正式率定。将锚索测力计满量程压力按 20% 分挡，从零开始，逐级施加压力至满量程压力上限，再逐级卸荷至零，用钢弦式测量仪表测量测力计及各应变传感器的输出值，并记录各挡位的压力标准值及对应的输出值（频率模数），如此共进行 3 个正、反行程的测量。按附录 A 计算测力计及其传感元件的分辨力、最小读数，以及测力计的非线性度（或拟合误差） δ_1 、不重复度 δ_2 、滞后 δ_3 和综合误差 δ ，结果应满足本标准 5.3.2、5.3.3 的要求。

6.4 绝缘性能

在正常试验大气条件下，用 100V 绝缘电阻表测量测力计引线电缆与密封壳体间的绝缘电阻，结果应满足本标准 5.4 的要求。

6.5 防水密封性

将测力计放置在压力容器中加水压至规定压力值，保持 2h，然后用 100V 绝缘电阻表测量引线密封壳体之间的绝缘电阻，结果应满足本标准 5.5 的要求。

6.6 温度修正误差及温度测量误差

将测力计放入冰点槽或恒温水槽内，二等标准水银温度计放置在测力计附近，分别在 0、20、40、60℃ 时进行试验。试验箱以不超过 1℃/min 的变化率升温，到达每挡温度并稳定后各保温 2h，记录测力计的温度值和二等标准水银温度计读数，同时记录测力计的输出频率模数。按附录 A 给出的公式计算温度修正系数及误差，结果应满足本标准 5.6 的要求。

比较测力计的温度测值和二等标准水银温度计读数，其温度误差应满足本标准 5.3.4 的要求。

6.7 过范围限

将测力计加压至表 1 规定的过范围限，按本标准 6.3 的方法进行力学性能试验，并按附录 A 计算测力计的分辨力、非线性度（或拟合误差） δ_1 、不重复度 δ_2 、滞后 δ_3 、综合误差 δ ，以及各传感元件的分辨力和正常测量范围的满量程输出互差，其结果应满足本标准 5.7 的要求。

6.8 稳定性

6.8.1 测力计在正常试验大气条件下静置 30 天，按本标准 6.3 的方法进行分辨力试验，扣除温度因素的影响后，其静置前后的分辨力相对变化量应满足本标准 5.8.1 的要求；按本标准 6.4 的方法进行绝缘性能试验，其结果应满足本标准 5.4 的要求。

6.8.2 在正常试验大气条件下，将测力计放在材料试验机上，从零开始，施加压力至满量程压力上限，保持 1min，再卸荷至零，如此循环 10 次后，恢复自由状态并静置 2h，记录测力计在加、卸荷前后自由状态下的输出值，按附录 A 计算测力计零点漂移，结果应满足本标准 5.8.2 的要求。然后按本标准 6.3、6.4 的方法进行测力计的力学性能及绝缘性能试验，结果应满足本标准 5.3.2、5.3.3、5.4 的要求。

6.9 耐运输颠簸性能

将测力计按运输要求包装好后，直接固定在振动试验台上，对加速度、频率和时间进行运输颠簸试验，结果应满足本标准 5.9 的要求。

7 检验规则

7.1 检验分类

测力计检验分为出厂检验和型式试验两种。

7.2 出厂检验

7.2.1 测力计应逐台进行出厂检验，检验项目分全检和抽检，抽检比例不少于 10%，如总数少于 3

台，则全检。测力计出厂检验及型式试验项目见表 2。

表 2 测力计出厂检验及型式试验项目

序号	检验项目	要求	试验方法	出厂检验	型式试验
1	外观	5.2	6.2	√	√
2	分辨力	5.3.2	6.3	√	√
3	分辨力（传感元件）	5.3.2	6.3	○	√
4	综合误差	5.3.3	6.3	√	√
5	绝缘性能	5.4	6.4	√	√
6	防水密封性	5.5	6.5	√	√
7	温度测量误差	5.6	6.6	○	√
8	温度修正误差	5.6	6.6	√	√
9	过范围限	5.7	6.7	—	√
10	稳定性	5.8	6.8	—	√
11	耐运输颠簸	5.9	6.9	—	√
注：√为必检项目，—为不检项目，○为抽检项目。					

7.2.2 测力计经质量检验部门检验合格并附合格证后，方可出厂。

7.2.3 提交给用户的出厂检验资料至少应包括：

- a) 名称、型号规格、出厂编号；
- b) 力学性能参数率定表及试验结果；
- c) 计算参数；
- d) 绝缘电阻、电缆长度；
- e) 制造时间、检验员标识。

7.3 型式试验

7.3.1 凡遇下列情况之一，需进行型式试验：

- a) 新产品定型或老产品转厂生产或停产一年后又恢复生产时；
- b) 连续批量生产时，每 5 年一次；
- c) 如设计、工艺、材料、元件有较大改变，可能影响产品性能时；
- d) 出厂检验结果与上次型式试验有较大差异时。

7.3.2 型式试验应从出厂检验合格产品中随机抽取 3 台样品，如总数少于 3 台，则应全检。

7.3.3 型式试验应对全部项目进行全性能检验，项目见表 2。

7.3.4 判定规则

型式试验项目如有不合格，则加倍取样，对不合格项目进行复检，如仍存在不合格项，则判该批产品不合格。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

8.1.1 产品标志

每台测力计上的标志内容至少应包含商标、产品名称、型号规格、出厂编号及制造厂名等。

8.1.2 包装标志

产品包装箱外应有防水标志:

- a) 到站、收货单位和地址;
- b) 发站、供货单位和地址;
- c) 产品名称、型号和数量;
- d) 标明“精密仪器”、“小心轻放”、“防振”、“防淋”及放置标记“↑”标识。

8.1.3 包装储运标志和收发货标志应按照 GB/T 191 和 GB 6388 的有关规定正确选用。

8.2 包装

8.2.1 采用木箱包装, 应有防振、防潮措施。

8.2.2 包装箱内随产品提供的技术文件应包括:

- a) 装箱清单;
- b) 使用说明书;
- c) 产品合格证;
- d) 出厂检验资料。

8.3 运输

包装后的产品应适用于一般交通工具的运输, 但在运输过程中不应受到雨雪或其他液体直接淋袭与机械损伤。

8.4 贮存

产品应存放在干燥通风、无腐蚀性气体的室内。

附 录 A
(规范性附录)
锚索测力计性能参数计算方法

A.1 测力计输出频率模数计算

$$f^2 = \frac{\sum_{j=1}^N f_j^2}{N} \quad (\text{A.1})$$

式中:

f^2 ——测力计输出频率模数, kHz^2 ;

j ——测力计内传感元件序号;

f_j^2 ——测力计内第 j 只传感元件的输出频率模数, kHz^2 ;

N ——测力计内传感元件总数。

A.2 测力计计算零点频率模数的计算

测力计计算零点 (线性拟合) $f_0^2 = f_1^2 - \frac{p}{nk} \quad (\text{A.2})$

测力计计算零点 (多项式拟合) $f_0^2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (\text{A.3})$

式中:

f_1^2 ——测力计在满量程 $1/n$ 负荷时的频率模数, kHz^2 ;

n ——测力计力率定试验的分挡数量;

p ——施加的满量程力值, kN ;

k ——测力计最小读数 [见式 (A.8)], kN/kHz^2 ;

a 、 b 、 c ——测力计拟合系数。

A.3 测力计荷载计算

1 线性拟合

$$p_i = k(f_i^2 - f_0^2) + K_t(t_i - t_0) \quad (\text{A.4})$$

式中:

p_i ——测力计当前时刻相对于初始位置时承受的荷载, kN ;

f_0^2 ——测力计计算零点频率模数, kHz^2 [见式 (A.2) 或式 (A.3)];

f_i^2 ——测力计当前时刻的输出频率模数, kHz^2 ;

K_t ——测力计温度修正系数 [见式 (A.12)], $\text{kN}/^\circ\text{C}$;

t_i ——测力计当前时刻的温度值, $^\circ\text{C}$;

t_0 ——取初始输出频率模数时对应的温度值, $^\circ\text{C}$ 。

2 多项式拟合

$$p = a(f_i^4 - f_0^4) + b(f_i^2 - f_0^2) + K_t(t_i - t_0) \quad (\text{A.5})$$

式中, 系数 a 、 b 采用最小二乘法拟合的方法求得, 其余符号含义同式 (A.4)。

A.4 测力计性能参数计算公式

分辨力

$$r = \frac{1}{U} \times 100\%$$

(A.6)

非线性度或拟合误差

$$\delta_1 = \frac{\left| f_{fi}^2 - \overline{f_i^2} \right|_{\max}}{|\overline{U}'|} \times 100\%$$

(A.7)

不重复度

$$\delta_2 = \frac{A'_{\max}}{|\overline{U}'|} \times 100\%$$

(A.8)

滞后

$$\delta_3 = \frac{\left| f_{pi}^2 - f_{ri}^2 \right|_{\max}}{|\overline{U}'|} \times 100\%$$

(A.9)

综合误差

$$\delta = \frac{\left| f_{ci}^2 - \overline{f_{fi}^2} \right|_{\max}}{|\overline{U}'|} \times 100\%$$

(A.10)

最小读数

$$k = \frac{p'}{\overline{U}'}$$

(A.11)

式中:

- \overline{U} ——满量程输出值的均值, kHz²;
- i ——测试点序号, $i=0, 1, 2, 3, \dots, n$, 当力学性能试验从满量程的 20% FS 开始计算时, 分挡应与之相对应, 且此时从 $i=1$ 开始计算, 下同;
- f_{fi}^2 ——同挡位校准直线 (或曲线) 理论值, kHz²;
- $\overline{f_i^2}$ ——同挡位对应的正、反 3 个行程 6 个测值的均值, kHz²;
- \overline{U}' ——满量程负荷时输出均值减去 20% FS 负荷时输出均值的差值, kHz²;
- A'_{\max} ——测点正程测值与其均值或反程测值与其均值间的最大偏差, kHz²;
- f_{pi}^2 ——正程各挡位输出的频率模数值, kHz²;
- f_{ri}^2 ——反程各挡位测值输出的频率模数值, kHz²;
- f_{ci}^2 ——各挡位输出的频率模数值, kHz²;
- $\left| f_{fi}^2 - \overline{f_i^2} \right|_{\max}$ ——测点校准直线 (或曲线) 理论值与该点测值平均值的最大偏差, kHz²;
- $\left| f_{pi}^2 - f_{ri}^2 \right|_{\max}$ ——正程均值与反程均值间的最大偏差, kHz²;
- $\left| f_{ci}^2 - \overline{f_{fi}^2} \right|_{\max}$ ——正程均值或反程均值与测点校准直线 (或曲线) 理论值间的最大偏差, kHz²;
- p' ——施加的满量程力值, kN, 当力学性能试验从 20% FS 开始计算时, p' 为施加的满量程力值的 80%。

A.5 测力计温度修正系数及误差计算公式

温度修正系数

$$K_t = -k(f_u^2 - f_l^2)/(t_u - t_l)$$

(A.12)

温度修正误差

$$\delta_t = \frac{\Delta f_{\max}^2}{\overline{U}(t_u - t_l)} \times 100\%$$

(A.13)

式中:

- t_u ——最高测试点温度值, °C;
- t_l ——起始测试点温度值, °C;
- f_u^2 ——最高测试点输出频率模数值, kHz²;

f_1^2 ——起始测试点输出频率模数值, kHz²;
 \overline{U} ——满量程输出值的均值, kHz²;
 Δf_{\max}^2 ——测试点温度修正的校准曲线理论值与该点实测值的最大偏差, kHz²。

A.6 测力计温度计算

推荐使用 3K 挡热敏电阻, 按式 (A.14) 计算温度值:

$$t = \frac{1}{A + B(\ln R) + C(\ln R)^3} - D \tag{A.14}$$

式中:

A 、 B 、 C 、 D ——由热敏电阻生产厂家提供的参数;
 R ——测力计的电阻测值, Ω 。

A.7 测力计零点漂移计算

$$\lambda = \frac{|f_{01} - f_{02}|}{\overline{U}} \times 100\% \tag{A.15}$$

式中:

λ ——测力计零点漂移;
 f_{01} 、 f_{02} ——测力计循环加、卸荷 10 次前后自由状态的输出值。

A.8 测力计传感元件性能参数计算

传感元件分辨力 $r_i = \frac{1}{U_i} \times 100\% \tag{A.16}$

传感元件满量程输出互差 $\Delta_{ij} = \frac{|U_i - U_j|}{\overline{U}} \times 100\% \tag{A.17}$

式中:

r_i ——第 i 个传感元件分辨力;
 U_i 、 U_j ——第 i 、 j 个传感元件满量程输出值;
 Δ_{ij} ——第 i 、 j 个传感元件之间满量程输出互差。

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
钢 弦 式 锚 索 测 力 计
DL/T 269—2012

*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2012年7月第一版 2012年7月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 20千字
印数 0001—3000册

*

统一书号 155123·936 定价 9.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



155123.936

上架建议：规程规范/

机械工程