

ICS
CCS

T/GLYH

中关村中科公路养护产业技术创新联盟团体标准

T/GLYH ×××-202×

锚下板式索力传感器

Plate Load Cell Under Anchor

（征求意见稿）

202×-××-××发布

202×-××-××实施

中关村中科公路养护产业技术创新联盟团体

发布

目 次

前言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语、定义和符号.....	1
4 分类、结构形式、型号和规格.....	2
5 技术要求.....	3
6 试验方法.....	5
7 检验规则.....	6
8 标志、包装、运输和储存.....	8
9 安装.....	8
附录 A（规范性附录）平行钢丝拉索用锚下板式索力传感器主要技术参数.....	11
附录 B（资料性附录）与锚下板式索力传感器适配的平行钢丝拉索用锚具主要尺寸参数.....	12
附录 C（规范性附录）钢绞线拉索用锚下板式索力传感器主要技术参数.....	13
附录 D（资料性附录）与锚下板式索力传感器配套的钢绞线拉索用锚具主要尺寸参数.....	14
附录 E（规范性附录）锚下板式索力传感器的零漂 Z_d 、重复性 R 、直线度 L 、蠕变 C_p 及输出路数试验方法.....	15
附录 F（规范性附录）锚下板式索力传感器的静力性能试验方法.....	17
附录 G（规范性附录）锚下板式索力传感器的疲劳性能试验方法.....	19
附录 H（规范性附录）采集器性能的试验方法.....	21

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。

本文件的编制参考了GB/T 18365-2018《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》、GB/T 30826-2014《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》。

本文件采用在锚下与锚垫板之间设置板式索力传感器的方式测试拉索索力。为便于索力数据的自动化采集与传输，本文件还包括与锚下板式索力传感器配套使用的数据采集器，并对数据采集器的主要性能做出规定。

为配合拉索的使用，本文件在规范性附录中规定了锚下板式索力传感器的主要技术参数，并在资料性附录中规定了相配套的锚具主要尺寸参数。

本文件主要起草单位：交通运输部公路科学研究院、衡通华创（北京）科技有限公司、中路高科交通检测检验认证有限公司、中交公路长大桥建设国家工程研究中心有限公司、中裕铁信交通科技股份有限公司、衡水通途工程制品有限公司、柳州市桥厦缆索制品有限公司……。

请注意本文件的某些内容可能涉及到专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由……归口。

本文件主要起草人：……黄茂忠、李明、徐源庆、任芳、胡骐、叶明坤、和海芳、李明乐、李鑫、李英娣、柳建利、赵璐、严腊文、周雨龙、肖春、黄弘生

引 言

拉索是大跨径悬索桥、斜拉桥、系杆拱桥等索结构桥梁的重要承载构件，索力的大小直接关系到悬索桥和斜拉桥主梁、索塔或系杆拱桥主梁和拱圈的受力与变形，精准控制拉索索力是控制悬索桥、斜拉桥和拱桥受力与线形的关键。在桥梁运营阶段，索力的大小、分布及其变化情况则直接反映拉索和桥梁的受力状态，对运营阶段的索力实施长期跟踪监测并据以进行评估是保证这些重要桥梁安全使用的必要措施。本文件在锚下与锚垫板之间设置了锚下板式索力传感器，拉索的拉力通过锚具作用于索力传感器，并传至锚垫板，锚下板式索力传感器以直接承受拉索荷载的方式实现拉索索力的长期监测。

锚下板式索力传感器设置有4路输出，以保证其长期使用的可靠性和测试精度；专用的数据采集器保证了采集精度并实现数据采集与传输的自动化与网络化。

近年来我国工程建设提出了智能化建造与智能化管养的概念，索力监测是建造大跨度智能桥梁必不可少的一环，锚下板式索力传感器的应用将推动大跨度智能桥梁建设的发展。

锚下板式索力传感器

1 范围

本文件规定了锚下板式索力传感器的产品分类、结构及型号、技术要求、试验方法、防腐与防护、检验规则，以及标志、包装、运输和储存及安装。

本文件适用于桥梁平行钢丝拉索或吊杆、钢绞线拉索或吊杆的拉力测试，桥梁其它类型拉索可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过本文件的引用构成本文件必不可少的条款。

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 711 优质碳素结构钢热轧钢板和钢带

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 2423.22 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）（IEC 60529:2013, IDT）

GB/T 11379 金属覆盖层 工程用铬电镀层（ISO 6158: 2004, IDT）

GB/T 12332 金属覆盖层 工程用镍电镀层（ISO 4526: 2004, IDT）

GB/T 30826-2014 斜拉桥钢绞线拉索技术条件

GB/T 33010 力传感器的检验

JT/T 775-2016 大跨度斜拉桥平行钢丝拉索

3 术语、定义和符号

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

锚下板式索力传感器 **plate load cell under anchorage**

安装在锚具与锚垫板之间量测拉索索力的圆板状测力装置。

3.1.2

数据采集器 **Data Collector**

采集锚下板式索力传感器输出电压信号并转换为数字信号输出的装置。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

A —单根拉索的公称截面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）；

F_{d1} —锚下板式索力传感器设计承载力, 单位为千牛 (kN);

ΔF —锚下板式索力传感器的疲劳荷载幅值, 单位为千牛 (kN);

FS —满量程, 即锚下板式索力传感器的设计承载力, 单位为千牛 (kN);

C_p —蠕变, 单位为满量程的百分数 (%FS);

L —直线度, 单位为满量程的百分数 (%FS);

R —重复性, 单位为满量程的百分数 (%FS);

Z_d —零点漂移, 单位为满量程的百分数 (%FS);

ϕ_s —锚下板式索力传感器外径, 单位为毫米 (mm);

ε_s —锚下板式索力传感器径向应变, 单位为微应变 ($\mu\varepsilon$);

ε_{smax} — $2F_{d1}$ 荷载下锚下板式索力传感器的径向应变, 单位为微应变 ($\mu\varepsilon$);

ϕ_m —锚板或螺母安装槽直径, 单位为毫米 (mm);

ϕ_n —锚下板式索力传感器内孔直径, 单位为毫米 (mm);

ϕ_s —锚下板式索力传感器外径, 单位为毫米 (mm)。

4. 分类、结构型式、型号和规格

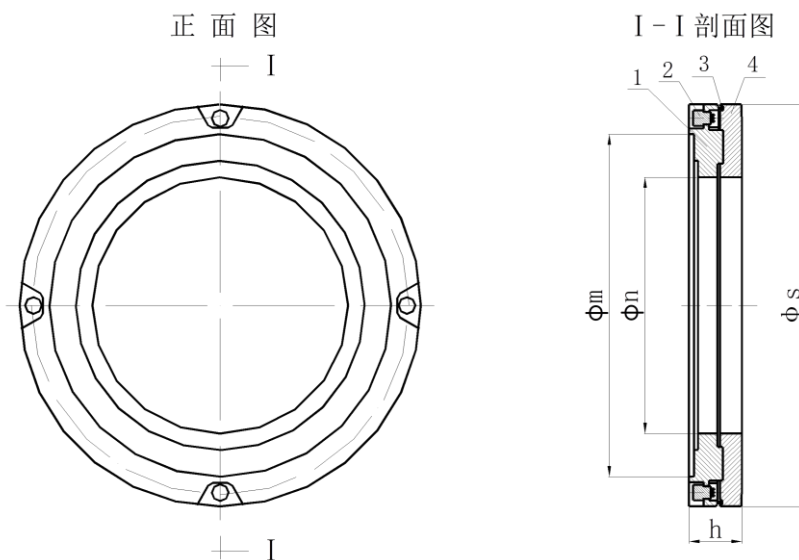
4.1 分类

4.1.1 锚下板式索力传感器按被测拉索类型分为:

- a) 平行钢丝拉索用锚下板式索力传感器, 代号HTS-PES。
- b) 钢绞线拉索用锚下板式索力传感器, 代号HTS-PGS。

4.2 结构型式

锚下板式索力传感器由上压环、下压环、密封圈、输出接口组成, 其结构型式见图1。



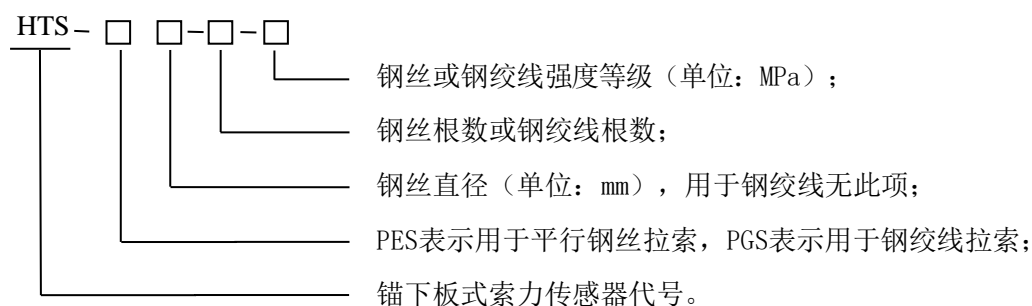
标引序号说明:

1—上压环; 2—输出接口; 3—密封圈; 4—下压环。

图1 锚下板式索力传感器结构示意图

4.3 型号

锚下板式索力传感器型号表示如下：



示例1: HTS-PES7-109-1860表示用于平行钢丝拉索, 钢丝直径7mm, 根数为109根, 强度等级为1860MPa的锚下板式索力传感器。

示例2: HTS-PGS-85-1860表示用于钢绞线拉索, 钢绞线根数为85根, 强度等级为1860MPa的锚下板式索力传感器。

4.4 规格

4.4.1 平行钢丝拉索用锚下板式索力传感器的主要技术参数见附录A。

4.4.2 与锚下板式索力传感器相适配的平行钢丝拉索用锚具主要参数见附录B。

4.4.3 钢绞线拉索用锚下板式索力传感器的主要技术参数见附录C。

4.4.4 与锚下板式索力传感器相适配的钢绞线拉索用锚具主要参数见附录D。

5 技术要求

5.1 锚下板式索力传感器

5.1.1 上压环和下压环材料可采用 40Cr、42CrMo 或 45 号钢, 材质应符合 GB/T 3077 或 GB/T 711 的规定。

5.1.2 上压环和下压环应调质处理, 调质硬度不小于 22 HRC, 且不大于 28 HRC。

5.1.3 上压环和下压环镀铬或镀镍, 镀层厚度不小于 4 μm, 镀层应光洁、无剥落。

5.1.4 锚下板式索力传感器尺寸应符合设计图要求, 表面应有生产厂家、出厂编号、承载力、生产日期等标记, 外观表面应光洁、无污染、无碰撞擦伤痕迹。

5.1.5 锚下板式索力传感器的技术指标应符合表 1 的规定。

表1 锚下板式索力传感器技术指标

序号	技术指标	单位	技术要求
1	设计承载力 (F_{d1})	kN	1000~20000
2	蠕变 (C_p)	%FS	±1
3	直线度 (L)	%FS	±2
4	重复性 (R)	%FS	±2
5	零点漂移 (Z_d)	%FS	±1

5.1.6 承载性能

锚下板式索力传感器在 $1.2F_{dl}$ 荷载作用下，其下压环的径向应变 ϵ_s 不得大于 $1000\mu\epsilon$ ；在 $2F_{dl}$ 荷载作用下，其下压环的径向应变 ϵ_{smax} 不得大于 $1800\mu\epsilon$ 。

5.1.7 疲劳性能

在荷载上限为 F_{dl} 、疲劳幅值为 ΔF （钢绞线拉索： $\Delta F = \Delta f \times A$ ；平行钢丝拉索： $\Delta F = \Delta \sigma \times A$ ）、荷载频率 $\leq 8\text{Hz}$ 、经 200 万次荷载循环后，锚下板式索力传感器的性能应满足表 2 的要求。

表2 锚下板式索力传感器疲劳性能要求

序号	技术指标	单位	技术要求
1	C_p	%FS	± 2
2	L		± 5
3	R		± 5
4	Z_d		± 2

注：

Δf — 钢绞线拉索疲劳幅值（单位：MPa），按 GB/T 30826-2014 的规定取值；

$\Delta \sigma$ — 平行钢丝拉索疲劳幅值（单位：MPa）按 JT/T 775-2016 的规定取值。

5.1.8 使用寿命

在正常设计、生产、安装、运营和养护条件下，锚下板式索力传感器使用寿命不低于 30 年。

5.2 数据采集器

数据采集器的技术指标应符合表 3 的要求。

表3 数据采集器技术指标

序号	性能	单位	技术指标
1	采集误差	%FS	≤ 0.5
2	工作温度	$^{\circ}\text{C}$	-20~+60
3	防护等级		IP66

6. 检验方法

6.1 锚下板式索力传感器

锚下板式索力传感器及采集器检验按表4规定的方法进行。

表4 锚下板式索力传感器及采集器检验方法

序号	项目	检验方法
1	材料	GB/T 711 或 GB/T 3077
2	外观	目测
3	平面度、尺寸	塞尺、卡尺、直尺测量、刀口尺
4	硬度	GB/T 230.1

表4 (续)

序号	项目	检验方法
5	镀层厚度	GB/T 11379, GB/T 12332
6	C_p	附录E
7	L	附录E
8	R	附录E
9	Z_d	附录E
10	承载性能	附录F
11	疲劳性能	附录G

6.2 数据采集器

数据采集器的检验按表5规定的方法进行。

表5 数据采集器检验方法

序号	检验项目	检验方法
1	采集误差	附录H
2	防护等级	GB/T 4208
3	工作温度	GB/T2423.22 暴露持续时间2小时, 循环次数1次, 再按附录H进行检验

7. 检验规则

7.1 检验分类

锚下板式索力传感器、采集器检验分进厂检验、出厂检验和型式检验。

7.2 原材料进厂检验

7.2.1 锚下板式索力传感器原材料进厂检验

锚下板式索力传感器应提供原材料质量保证书, 进厂检验见表6。

表6 锚下板式索力传感器原材料进厂检验

技术要求	检验方法	取样规定
5.1.1	GB/T 711, GB/T 3077	每批

7.2.2 数据采集器进厂检验

数据采集器进厂时应提供合格证书, 进厂检验见表7。

表7 数据采集器进厂检验

序号	检验项目	检验方法	取样规定
1	采集误差	6.2	10%且不少于3个
2	防护等级		
3	工作温度		

7.3 产品出厂检验

7.3.1 锚下板式索力传感器出厂检验

锚下板式索力传感器出厂检验见表 8。

表7 锚下板式索力传感器出厂检验

序号	检验项目	取样规定
1	外观	每个
2	硬度	每炉不少于 3 个
3	镀层厚度	5%且不少于 3 个
4	C_p	10%且不少于3个
5	L	每个
6	R	
7	Z_d	10%且不少于 3 个

7.3.2 数据采集器出厂检验

数据采集器出厂检验见表 8。

表8 数据采集器出厂检验

序号	检验项目	检验方法	取样规定
1	采集误差	6.2	5%且不少于3个
2	防护等级		
3	工作温度		

7.4 型式检验

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- b) 结构、材料、工艺改变，影响产品性能时；
- c) 产品正常生产期间，每三年进行一次检验；
- d) 产品停产一年后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 重要桥梁工程或用量较大的桥梁工程用户提出要求时；
- g) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

锚下板式索力传感器型式检验见表 9，数据采集器型式检验见表 10。

表9 锚下板式索力传感器型式检验

序号	检验项目	取样规定
1	外观	不同规格各 1 个共 3 个
2	硬度	
3	镀层厚度	
4	C_p	
5	L	
6	R	
7	Z_d	
8	承载性能	1 个（承载力不大于 1500kN）
9	疲劳性能	

表10 数据采集器型式检验

序号	检验项目	取样规定
1	采集误差	3个
2	防护等级	
3	工作温度	

7.5 判定规则

7.5.1 锚下板式索力传感器按本文件第 7.2 条规定的项目进行进厂检验，如有某一项检验结果不符合产品标准或合同的要求，则从同一批未经检验的产品中取双倍数量的试样进行该不合格项目的复检，复检合格则该批产品可以使用，否则判定为不合格。

7.5.2 锚下板式索力传感器和采集器按本文件第 7.3 条规定的项目进行出厂检验，如有一项不合格，则不允许该批产品整批交货。该批产品的锚下板式索力传感器和采集器可逐个按 7.3 规定的项目逐个进行检验，检验合格的可以出厂。

7.5.3 对型式检验不合格项目，则需要重新制作试样进行该项目的型式检验。

8. 标志、包装、运输和储存

8.1 标志

锚下板式索力传感器应在显著位置标明产品的生产厂家（商标）、批号、型号和规格。

8.2 包装

8.2.1 产品出厂时宜采用木箱包装。装箱前先将产品装入防水塑料袋，再装入木箱，木箱中应设防震泡沫，防止运输过程产品在箱内移动和撞击。

8.2.2 包装箱内应附有产品合格证和说明书。

8.2.3 产品合格证内容应包括产品名称、型号、规格、质量合格签章、厂名、厂址、出厂日期。

8.2.4 产品说明书内容应包括标定记录、安装说明和注意事项等。

8.3 运输和储存

8.3.1 产品在运输和装卸过程中应小心操作，防止碰撞，避免雨淋雪浸或油污等。

8.3.2 产品应贮存在干燥的库房中，贮存期间不得拆开包装、不宜与地面接触、不得受水浸或污染。

9. 安装

9.1 安装前检查

9.1.1 锚下板式索力传感器安装前方可拆开包装箱，核对装箱清单与装箱物品是否相符，检查产品外观是否完好，出现破损时不得安装。检查产品合格证，仔细阅读说明书，按照说明书的要求进行安装。

9.1.2 测量锚下板式索力传感器的内孔直径 ϕ_n 和球面垫板或螺母的安装槽直径 ϕ_m ，确认 ϕ_n 不小于相应拉索张拉端锚垫板的孔径，确认 ϕ_m 大于相应拉索所用球面垫板外径或螺母外径约 2mm。

9.2 安装

9.2.1 检查与锚下板式索力传感器接触的锚垫板表面，应洁净，无翘曲，局部不得有凹坑和凸点，平面度不应大于 0.1mm。

9.2.2 安装拉索，拉索伸出锚垫板的长度除考虑张拉端锚具尺寸和千斤顶张拉所需的长度外，还应计入锚下板式索力传感器的高度。

9.2.3 安装锚下板式索力传感器，球面垫板、球面锚圈或螺母，见图 3 和图 4。

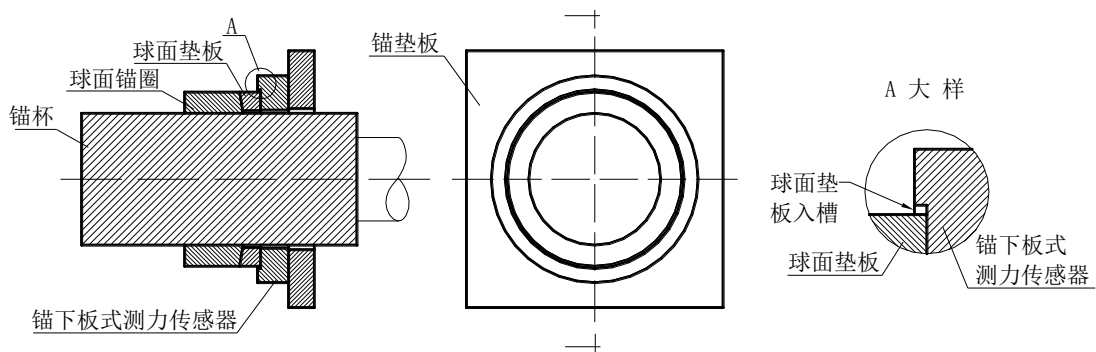


图 3 平行钢丝拉索锚下板式索力传感器安装示意图

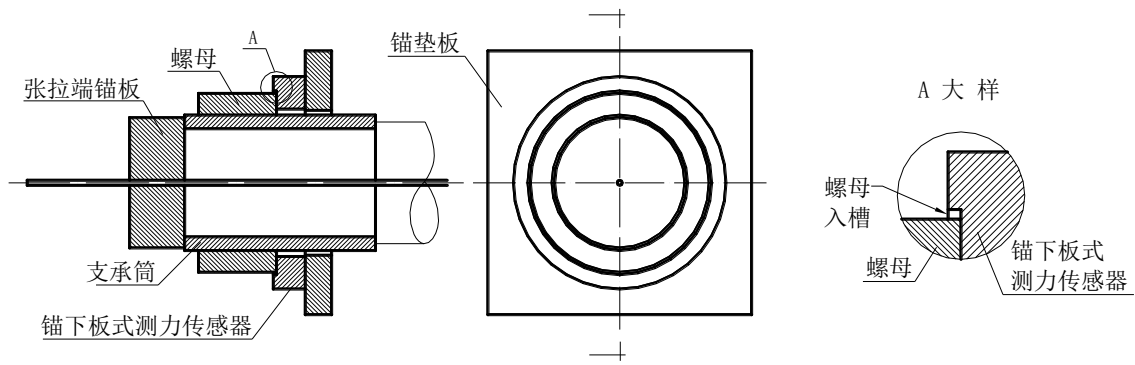


图 4 钢绞线拉索锚下板式索力传感器安示意图

9.4 安装锚具保护罩

拉索张拉完成后应及时安装锚具保护罩。锚具保护罩与锚垫板接触面处应设 $40\text{mm} \times 16\text{mm}$ 出线口，见图 5 所示。安装保护罩时将数据线从保护罩出线口引出，出线口的位置应设在保护罩斜上方。安装好保护罩后将出线孔用胶密封。

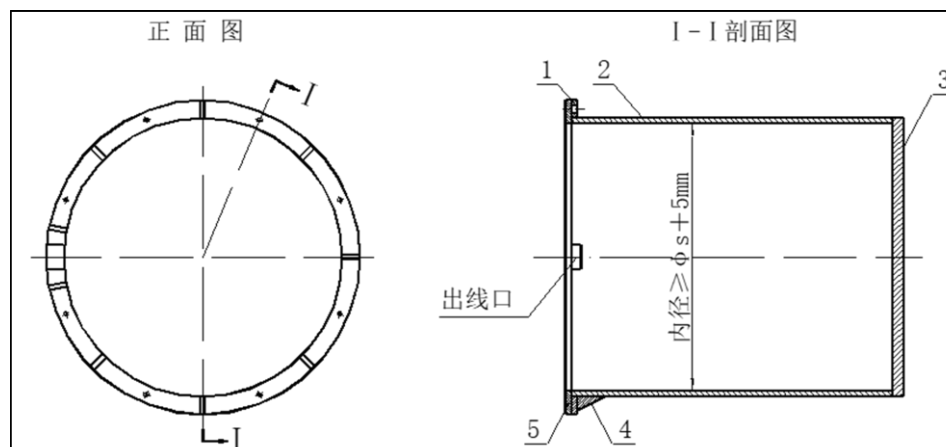


图5 锚具保护罩结构及出线口示意图

附录 A（规范性附录）

表 A 平行钢丝拉索用锚下板式索力传感器主要技术参数

规格	F_{dl} (kN)	Φ_s (mm)	h (mm)	ϕ_n (mm)	ϕ_m (mm)
HTS-PES7-109	3150	385	50	241	327
HTS-PES7-121	3500	395	50	251	342
HTS-PES7-127	3650	410	50	261	352
HTS-PES7-139	4000	420	58	266	362
HTS-PES7-151	4350	430	58	276	372
HTS-PES7-163	4700	445	58	286	387
HTS-PES7-187	5400	470	58	301	407
HTS-PES7-199	5700	490	58	311	427
HTS-PES7-211	6050	495	58	316	427
HTS-PES7-223	6400	510	58	326	442
HTS-PES7-241	6900	525	58	336	457
HTS-PES7-253	7250	530	58	341	467
HTS-PES7-256	7600	550	58	356	482
HTS-PES7-283	8150	560	64	366	497
HTS-PES7-301	8650	580	64	376	512
HTS-PES7-313	9000	590	64	381	522
HTS-PES7-337	9650	610	64	396	537
HTS-PES7-349	10000	615	64	401	547
HTS-PES7-367	10550	630	64	411	562
HTS-PES7-379	10900	640	64	416	567
HTS-PES7-409	11750	660	64	436	592
HTS-PES7-421	12100	670	64	441	597
HTS-PES7-439	12600	690	64	456	617
HTS-PES7-451	12950	690	68	456	617
HTS-PES7-475	13600	710	68	466	632
HTS-PES7-499	14300	725	68	476	652
HTS-PES7-511	14650	740	68	491	667
HTS-PES7-547	15700	770	68	516	692
HTS-PES7-583	16700	790	68	531	712
HTS-PES7-595	17050	800	68	541	722
HTS-PES7-649	18600	830	68	556	747

附录 B (资料性附录)

表 B 与锚下板式索力传感器配套的钢绞线拉索用锚具主要尺寸参数

规格	平行钢丝 拉索规格	锚杯外径 $D1(\text{mm})$	球面垫板 $Dm(\text{mm})$	锚垫板 (mm)		
				Db	$\phi J1$ (孔径)	$T1$
HTS-PES7-109	PES7-109	Tr240×12	325	475	245	38
HTS-PES7-121	PES7-121	Tr250×12	340	485	255	38
HTS-PES7-127	PES7-127	Tr260×12	350	500	265	38
HTS-PES7-139	PES7-139	Tr265×12	360	510	270	48
HTS-PES7-151	PES7-151	Tr275×12	370	525	280	48
HTS-PES7-163	PES7-163	Tr285×12	385	560	290	48
HTS-PES7-187	PES7-187	Tr300×14	405	590	305	58
HTS-PES7-199	PES7-199	Tr310×14	425	610	315	58
HTS-PES7-211	PES7-211	Tr315×14	425	620	320	58
HTS-PES7-223	PES7-223	Tr325×16	440	640	330	58
HTS-PES7-241	PES7-241	Tr335×16	455	660	340	68
HTS-PES7-253	PES7-253	Tr340×16	465	670	345	68
HTS-PES7-256	PES7-256	Tr355×16	480	690	360	68
HTS-PES7-283	PES7-283	Tr365×18	495	700	370	68
HTS-PES7-301	PES7-301	Tr375×18	510	720	380	78
HTS-PES7-313	PES7-313	Tr380×18	520	740	385	78
HTS-PES7-337	PES7-337	Tr395×20	535	760	400	78
HTS-PES7-349	PES7-349	Tr400×20	545	770	405	78
HTS-PES7-367	PES7-367	Tr410×20	560	810	415	78
HTS-PES7-379	PES7-379	Tr415×22	565	830	420	88
HTS-PES7-409	PES7-409	Tr435×22	590	850	440	88
HTS-PES7-421	PES7-421	Tr440×24	595	860	445	88
HTS-PES7-439	PES7-439	Tr455×24	615	880	460	88
HTS-PES7-451	PES7-451	Tr455×24	615	880	460	88
HTS-PES7-475	PES7-475	Tr465×24	630	910	470	98
HTS-PES7-499	PES7-499	Tr475×24	650	930	480	98
HTS-PES7-511	PES7-511	Tr490×24	665	940	495	98
HTS-PES7-547	PES7-547	Tr515×28	690	1010	520	98
HTS-PES7-583	PES7-583	Tr530×28	710	1070	535	98
HTS-PES7-595	PES7-595	Tr540×28	720	1080	545	108
HTS-PES7-649	PES7-649	Tr555×28	745	1130	560	108

附录 C (规范性附录)

表 C 钢绞线拉索用锚下板式索力传感器主要技术参数

规格	F_{d1} (kN)	ϕ_s (mm)	h (mm)	ϕ_n (mm)	ϕ_m (mm)
HTS-PGS-12	1450	325	50	206	272
HTS-PGS-19	2250	365	50	246	312
HTS-PGS-22	2600	380	50	256	327
HTS-PGS-27	3200	410	50	286	357
HTS-PGS-31	3650	425	50	291	372
HTS-PGS-34	4000	450	50	311	392
HTS-PGS-37	4350	450	54	311	397
HTS-PGS-43	5050	480	58	331	422
HTS-PGS-55	6450	530	58	361	462
HTS-PGS-61	7150	550	58	381	487
HTS-PGS-73	8600	600	64	411	532
HTS-PGS-85	10000	640	64	441	572
HTS-PGS-91	10700	660	64	461	592
HTS-PGS-109	12800	710	64	491	637
HTS-PGS-127	14900	770	68	541	692
HTS-PGS-139	16300	820	68	581	737
HTS-PGS-151	17700	870	68	621	792

附录 D (资料性附录)

表 D 与锚下板式索力传感器配套的钢绞线拉索用锚具主要尺寸参数

规格	拉索规格	支承筒		螺母	锚垫板 (mm)		
		$\phi B1$ (mm)	$F1$ (mm)	$\phi C1$ (mm)	Db (mm)	$\phi J1$ (孔径)	$T1$ (mm)
HTS-PGS-12	PGS-1860-12	$\phi 205$	255	270	405	$\phi 210$	33
HTS-PGS-19	PGS-1860-19	$\phi 245$	280	310	450	$\phi 250$	33
HTS-PGS-22	PGS-1860-22	$\phi 255$	295	325	465	$\phi 260$	33
HTS-PGS-27	PGS-1860-27	$\phi 285$	315	355	500	$\phi 290$	38
HTS-PGS-31	PGS-1860-31	$\phi 290$	325	370	520	$\phi 295$	38
HTS-PGS-34	PGS-1860-34	$\phi 310$	335	390	560	$\phi 315$	38
HTS-PGS-37	PGS-1860-37	$\phi 310$	345	395	560	$\phi 315$	48
HTS-PGS-43	PGS-1860-43	$\phi 330$	375	420	600	$\phi 335$	48
HTS-PGS-55	PGS-1860-55	$\phi 360$	405	460	660	$\phi 365$	58
HTS-PGS-61	PGS-1860-61	$\phi 380$	435	485	690	$\phi 385$	58
HTS-PGS-73	PGS-1860-73	$\phi 410$	460	530	740	$\phi 415$	68
HTS-PGS-85	PGS-1860-85	$\phi 440$	510	570	800	$\phi 445$	78
HTS-PGS-91	PGS-1860-91	$\phi 460$	530	590	850	$\phi 465$	78
HTS-PGS-109	PGS-1860-109	$\phi 490$	600	635	900	$\phi 495$	88
HTS-PGS-127	PGS-1860-127	$\phi 540$	625	690	970	$\phi 545$	98
HTS-PGS-139	PGS-1860-139	$\phi 580$	650	735	1100	$\phi 585$	98
HTS-PGS-151	PGS-1860-151	$\phi 620$	680	790	1160	$\phi 625$	98

附录 E

(规范性附录)

锚下板式索力传感器零漂 Z_0 、重复性 R 、直线度 L 、蠕变 C_0 及输出路数检测方法

E.1 试样

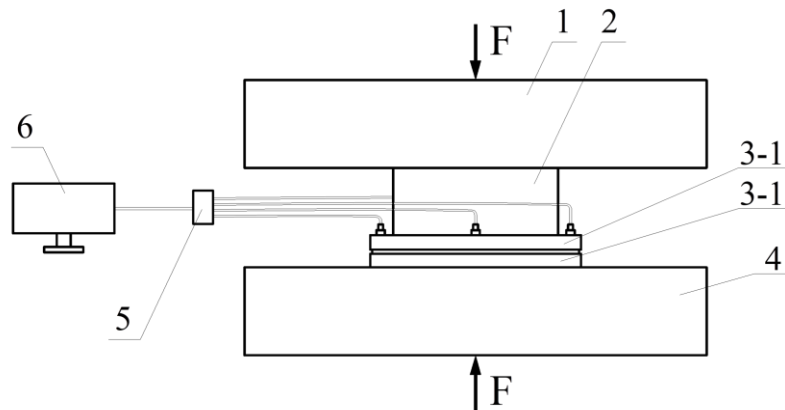
锚下板式索力传感器的试样检测前应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 环境下停放 24 小时以上。

E.2 检测设备的要求

试验机试验力不小于设计承载力的 1.2 倍。

E.3 检测方法

锚下板式索力传感器的重复性 R 、直线度 L 、蠕变 C_0 检测应在叠加式力标准机或计算机控制的材料力学性能试验机上进行，试样、加载装置及采集设备的布置如图 e.1。



说明：

- 1——试验机上压板；
- 2——对中压板，其厚度不小于锚下板式索力传感器相应拉索的球面锚圈或螺母的厚度；
- 3-1——试样上压环；
- 3-2——试样下压环；
- 4——试验机下压板；
- 5——采集器；
- 6——计算机。

图 e.1 检测装置示意图

按图 e.1 放置试样后，检测按下列步骤进行：

- 1) 零点漂移 Z_0 检测按 GB/T 33010 的规定进行。
- 2) 重复性、直线度检测
 - a) 检查锚下板式索力传感器是否对中、对中压板是否入槽，检查计算机读数是否正常。
 - b) 正式加载前，应对锚下板式索力传感器进行预压，预压荷载为锚下板式索力

传感器的设计承载力，预压次数为 3 次。第 3 次预压后，分别检测各输出路的通讯。

c) 正式加载时，试验荷载由初始荷载 $0.15F_{d1}$ 至 1.2 倍 F_{d1} 均分为 7 级，每级荷载稳压 2min 后读取输出值。达到最大试验荷载并读完输出值后卸载至初始荷载，完成一个加载循环。以上加载循环连续进行 3 次。

锚下板式索力传感器的重复性 R 、直线度 L 计算方法按 GB/T 33010 的相关规定进行。

3) 蠕变 C_p 检测按 GB/T 33010 的规定进行。

E.3 检测报告

检测结束后应提交检测报告，检测报告应列出试样的各项指标检测结果及荷载—输出曲线，并评定检测结果。

附录 F

(规范性附录)

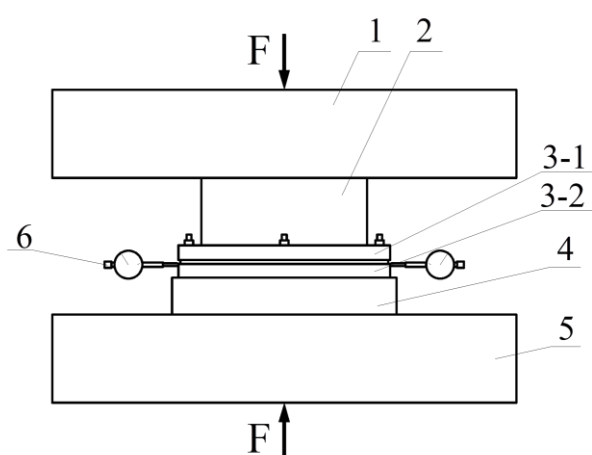
锚下板式索力传感器的承载性能试验方法

F.1 检测方法

锚下板式索力传感器的静力性能试验应在计算机控制的材料力学性能试验机上进行, 试样、加载装置及测试设备的布置如图 f.1, 千分表安装于试样下压环圆周的上边缘。

F.2 试验设备的要求

试验机的试验力不小于设计承载力的 2 倍;



说明:

- 1——试验机上压板;
- 2——对中压板, 其厚度不小于锚下板式索力传感器相应拉索的球面锚圈或螺母的厚度;
- 3-1——试样上压环;
- 3-2——试样下压环;
- 4——钢垫板;
- 5——试验机下压板;
- 6——千分表 (2 只, 沿直径方向布置)。

图 f.1 试验装置示意图

按图 f.1 放置试样后, 试验按下列步骤进行:

- a) 检查锚下板式索力传感器是否对中、对中压板是否入槽, 检查计算机读数是否正常。
- b) 正式加载前, 应对锚下板式索力传感器进行预压, 预压荷载为锚下板式索力传感

器的设计承载力，预压次数为 1 次。

c) 正式加载，荷载加至 $0.1F_{d1}$ 时千分表读数调 0。由初始荷载 $0.2F_{d1}$ 至 2 倍 F_{d1} 均分为 6 级，每级荷载稳压 30s 后读取左右千分表读数。检验荷载达到 2 倍 F_{d1} 并读取读数后卸载。

第 i 级加载左、右千分表读数分别为 m_{1i} 和 m_{2i} ，第 i 级加载的径向应变为：

$$\varepsilon_{si} = \frac{m_{1i} + m_{2i}}{\phi_s} \quad (\mu\varepsilon)$$

F.2 试验报告

试验结束后应提交试验报告，报告应画出试样的荷载—应变曲线，并评定试验结果。

附录 G

(规范性附录)

锚下板式索力传感器的疲劳性能试验方法

G.1 试样

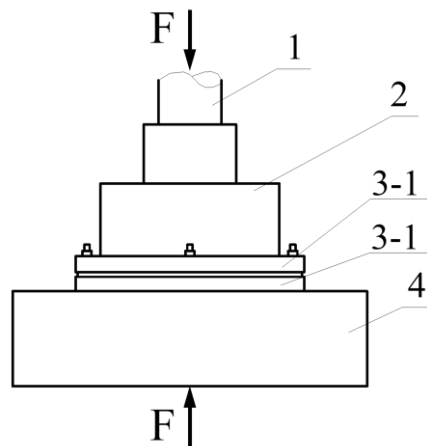
锚下板式索力传感器疲劳性能试验的试样试验前应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 环境下停放 24 小时以上。

G.2 试验设备的要求

- 1) 试验机试验力不小于设计承载力的 1.2 倍；
- 2) 采样频率不小于 1Hz。

G.3 试验方法

锚下板式索力传感器疲劳试验应在计算机控制的疲劳试验机上进行，试样、加载装置及采集设备的布置如图 g.1。



标引序号说明：

- 1——作动器；
- 2——对中压板，其厚度不小于锚下板式索力传感器相应拉索的球面锚圈或螺母的厚度；
- 3-1——试样上压环；
- 3-2——试样下压环；
- 4——试验机承压板。

图 g.1 疲劳试验装置示意图

按图 g.1 放置试样后，试验按下列步骤进行：

- a) 检查锚下板式索力传感器是否对中、对中压板是否入槽，检查传感器输出读数是

否正常。

b) 疲劳性能试验应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下进行。

c) 在图 g. 1 的设备上对试样进行 2×10^6 次循环荷载试验, 循环荷载波形为正弦波、频率为 $1\text{Hz} \sim 5\text{Hz}$ 、疲劳荷载上限为 F_{d1} 、幅值为 ΔF 。

d) 疲劳试验完成后, 按附录 E 进行锚下板式索力传感器的重复性 R 、直线度 L 和零漂 Z_0 的测定。

G. 3 试验报告

试验结束后应提交试验报告, 试验报告应列出疲劳试验后, 试样的重复性 R 、直线度 L 和零漂 Z_0 及荷载—输出试验曲线, 并评定试验结果。

附录 H

(规范性附录)

数据采集器采集误差检测方法

H.1 试样

采集器试样检测前应在 $23^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 环境下停放 1 小时以上。

H.2 检验装备

- 电阻桥：输出电压范围 $0\text{V} \sim 24\text{mV}$ ，具有 8 档可调。
- 数字万用表：不低于 5 位半分辨率。
- PC 机，USB-RS485 转换器，串口调试助手软件。

H.3 检验方法

待检测的采集器与数字万用表、电阻桥和 PC 机的连接如图 h.1。

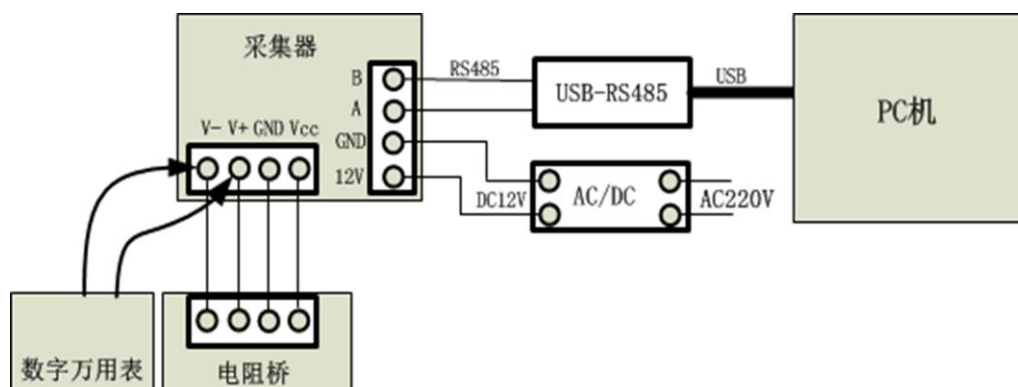


图 h.1 数据采集器采集误差检测示意图

H.4 检验方法

- 电阻桥输出电压 $0\text{V} \sim 24\text{mV}$ 分为 8 档，每档的输出电压增量约 3mV 。
- 将电阻桥档位调至第一档，PC 机发送采集命令，数字万用表测量电阻桥 V+ 和 V- 电压值，查看 PC 机采集值，采集值稳定后记录电压值和采集值，完成第一档的数据采集。重复以上作业，将电阻桥档位逐档加之第 8 档约 24mV ，记录相应的电压值和采集值。
- 以上过程共进行 2 次，每次采集器第 i 档的采集误差计算及误差要求为：

$$\Delta V_i = \frac{k \cdot V_i^c - V_i^b}{V_i^b} \leq 5\%$$

上式中： ΔV_i —采集器第 i 档采集误差。

k —采集器数字量转换为电压量的比例常数。

V_i^c —采集器第 i 档数字量读数。

V_i^b —数字万用表第 i 档电压测量值 (mV)。

H.5 检验报告

检验结束后应提交检测报告，并评定检测结果。

编制说明

1.1 编制依据

1.2 制订本文件的必要性

交通工程建设的快速发展，使得大跨径斜拉桥、中、下承式拱桥成为目前发展的趋势。大跨径斜拉桥、中、下承式拱桥等索结构的拉索是桥梁的重要承载构件，施工阶段索力施加的正确性直接关系到桥梁受力的安全性。另一方面，桥梁运营期间，荷载作用、结构变形、墩台沉降、温度变化、拉索锈蚀等因素将引起索力的变化及其重分布，个别因素的持续发展变化可能危及拉索本身以及主梁等结构的安全性。因此，对拉索全寿命周期实施索力监测是了解荷载因素变化的重要手段，对确保桥梁运营安全具有重要意义。同时，只有实现索力的在线监测，才具有实现全寿命周期实时化监测的可行性。

1.3 锚下板式索力传感器的设计

锚下板式索力传感器安装在张拉端，传感器的设计根据其设计承载力，综合考虑出线口位置及其保护需要，并参考 GB/T 30826-2014《斜拉桥钢绞线拉索文件》、GB/T 18365-2018《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》和 JT/T 755-2016《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》标准中有关锚具的结构及安装尺寸等多方面因素，要求锚下板式索力传感器具有超低高度、输出线性好、精度高、抗疲劳性能和耐久性好、具备索力在线采集等优良性能，以实现施工阶段对索力的精确控制和运营阶段的在线监测，并可通过监测平台的开发，实现数据采集与分析的自动化与智能化。

在产品的研制及文件的编制过程中，为验证 HTS 锚下板式索力传感器具有足够的承载能力、有符合使用要求的技术指标、长期使用的可靠性等进行了大量的试验研究工作。试验选取设计承载力 1500kN、4 通道输出的传感器试样 3 个和设计承载力 3500 kN、4 通道输出的传感器试样 4 个共 7 传感器进行试验，试验分静力性能试验和疲劳性能试验。静力性能试验项目包括传感器测试技术性能试验和承载力试验；疲劳试验在中路高科交通检测检验认证有限公司进行，对设计承载力 1500kN 的传感器进行 200 万次荷载上限为设计承载力、下限为 0.65 倍设计承载力（相对应拉索疲劳幅值为 280MPa）的荷载循环后再进行测试性能试验，以验证传感器经疲劳荷载后的测试性能。大量的试验数据验证了传感器具有优良的线性和测试精度，其测试性能完全达到设计技术指标要求。另一方面，锚下板式索力传感器也已得到实际工程应用，近期为某高速铁路一座系杆拱桥吊杆拉力测试设计并生产了 56 个设计承载力 2200kN 的传感器，每个传感器均采用 4 通道

输出，各通道测试技术指标均达到设计要求。

本文件的编写工作还邀请国内与桥梁拉索及相关领域的专家进行技术审查，确保本文件的规范性和权威性。

下图为设计承载力 1500kN 的 HTS 锚下板式索力传感器测试性能试验，静力性能试验及疲劳性能试验装备情况：



测试性能试验及静力性能试验装备情况



疲劳性能试验装备情况