产品选型手册 · V1.22

风电光纤 MEMS

加速度 · 声纹 · 解调

FIBER-OPTIC MEMS FOR WIND TURBINE BLADES

零金属入叶
测点不引雷

叶片内不引入金属导体。
载荷、加速度与声纹信号均由轮毂内设备读取。



中科传感

广东中科传感智慧科技有限公司

珠海市香洲区梅界路1323号B座7层
0756-8133969
18922852239
www.casstk.com

按监测任务选型

应根据监测物理量及采样率频段选型。100 Hz 至 8 kHz 采用可调激光全光谱解调，单次扫描同步读取光栅峰与法珀干涉峰。50 kHz 为高速，500 kHz 为高频，1000 kHz 以上为超高速、超高频，均采用光纤 MEMS 声纹与振动解调。同时配置两类频段时，采用两台外形相同的解调仪。

> 指标说明：加速度计的量程、分辨率、频响及 200 pm/g 灵敏度依据现行叶片用光纤 MEMS 加速度传感器规格。光学指标为本系列设计指标，订货前以确认后的规格单为准。图示仅说明结构与测点位置，不作为安装图或型式检验照片。

监测任务	采样	解调仪	传感器	载荷
叶根载荷与加速度	100 Hz 同步	CS-FT-W100	CS-FLB、CS-FA-2	同机同步扫描
叶片加速度	100 Hz 起	CS-FT-W100 或 CS-FT-W8K	CS-FA-2	可同机解算载荷
高采样率全光谱	5 kHz 至 8 kHz	CS-FT-W8K	光栅或法珀	8 kHz 精度按实测出具
可听声与气动噪声	50 kHz	CS-FP-W50K	CS-MIC-A	载荷由可调激光档解算
高频结构声纹	500 kHz	CS-FP-W500K	CS-MIC-H	载荷由可调激光档解算
1000 kHz 以上声纹	⩾1000 kHz	CS-FP-W1M	CS-MIC-U	该解调仪支持 50 kHz 与 500 kHz

单台机组的典型配置

载荷与加速度

系统型号为 CS-BSHM-VL-X。配置 1 台 CS-FT-W100-16、12 支 CS-FLB 及 3 支 CS-FA-2，采样率均为 100 Hz。

高速声纹

系统型号为 CS-BSHM-VLA-X。在载荷与加速度配置基础上增配 1 台 CS-FP-W50K-8，CS-MIC-A 按叶片布置。

超高频声纹

系统型号为 CS-BSHM-VLA-X-U。保留 100 Hz 解调仪，增配 1 台 CS-FP-W1M-4，提供三个采样档。

100 Hz 采样时的 16 通道分配

测点	占用	光纤配置
载荷 CS-FLB	3 路	每叶 4 支光栅串接于 1 根光纤
加速度 CS-FA-2	6 路	每叶配置 1 支双轴传感器，挥舞、摆振各占 1 路
温度与备用	其余通道	温度通道可与载荷共纤，也可独立占用 1 路

叶片加速度计频响为 0.1 Hz～3 kHz。使用 3 kHz 上限时，采样率应设置为 8 kHz。声纹频带按 CS-MIC 各档规定，不属于加速度计频响范围。整机系统型号见下页。

系统型号

系统型号由 CS-BSHM、物理量代号和传感类型代号依次组成，声纹的物理量代号为 A。频段代号置于型号末段：未标注时为高速 50 kHz，H 为高频 500 kHz，U 为超高频 1000 kHz 以上。非标型号在末尾增加 -CST。代号均采用大写字母，各段以半角短横杠分隔。

系统型号	监测内容	对应配置
CS-BSHM-V-F	光纤光栅振动	采用光纤光栅振动传感器，非 CS-FA
CS-BSHM-L-F	光纤光栅载荷	CS-FLB，配套可调激光解调仪
CS-BSHM-VL-F	光栅振动与光栅载荷，同源双参	振动与载荷均采用光纤光栅传感
CS-BSHM-V-M	光纤 MEMS 振动	CS-FA，配套 CS-FT-W
CS-BSHM-L-M	光纤 MEMS 载荷	保留该系统型号，本手册不列对应传感器
CS-BSHM-VL-X	光纤 MEMS 振动与光纤光栅载荷	方案 A，100 Hz 同机同步采样

型号代号

仅用于系统型号

CS-BSHM	叶片结构安全监测	V	振动
L	载荷	VL	振动与载荷
A	声纹，不表示加速度	F	光纤光栅
M	MEMS，本系列为光纤 MEMS	X	同时采用 MEMS 与光纤光栅传感
H	高频，500 kHz	U	超高频，1000 kHz 以上

声纹、高频与超高频

H、U 仅标注声纹采样档

系统型号	监测内容	对应配置
CS-BSHM-A-M	光纤 MEMS 声纹，高速 50 kHz	CS-MIC-A，CS-FP-W50K
CS-BSHM-A-M-H	高频声纹，500 kHz，含 50 kHz	CS-MIC-H，CS-FP-W500K
CS-BSHM-A-M-U	超高频声纹，含 50 kHz 和 500 kHz	CS-MIC-U，CS-FP-W1M
CS-BSHM-VLA-X	方案 B，载荷、加速度及高速声纹	保留 100 Hz 解调仪
CS-BSHM-VLA-X-H	在方案 A 基础上增加高频声纹	CS-FP-W500K，CS-MIC-H
CS-BSHM-VLA-X-U	方案 C，在方案 A 基础上增加超高频声纹	CS-FP-W1M，传感器按频带选用

物理量按振动 V、载荷 L、声纹 A 的顺序书写。仅含振动与声纹、不含载荷时，型号为 CS-BSHM-VA-M，频段同样使用 H 或 U。H 与 U 不提高加速度计 3 kHz 的频响上限，载荷仍由可调激光档解算。CS-BSHM-A-M-U 的解调仪同时支持 50 kHz 和 500 kHz。产品订货系列包括 CS-FA、CS-MIC、CS-FT-W、CS-FP-W 和 CS-FLB。

双光路覆盖全采样范围

系统采样率覆盖 100 Hz 至 1000 kHz 以上，由两类解调仪分别实现。可调激光档用于全光谱解调，高速、高频和超高速档用于光纤 MEMS 声纹与振动解调。两类仪器的机箱与光接口一致，外形尺寸均为 220 × 246 × 45 mm。

可调激光 · 100 Hz 至 8 kHz

单次扫描同步获取光栅与法珀信号

窄线宽激光扫描范围为 1525～1565 nm。每帧光谱同步获取叶根载荷光栅峰与叶片加速度法珀干涉峰，帧率即为各通道同步采样率。100 Hz 适用于长期在线监测。额定 8 kHz 的仪器可将采样率设置为 100 Hz、1 kHz、5 kHz 或 8 kHz；设置为 100 Hz 时，载荷与加速度仍保持同步。

声纹与振动 · 50 kHz 起

高速、高频、超高速

本档用于光纤 MEMS 声纹或振动解调。高速为 50 kHz，高频为 500 kHz，超高速为 1000 kHz 以上。叶根载荷仍由可调激光档解算。

可调激光档的光学设计指标

适用于 100 Hz 至 5 kHz

波长	1525～1565 nm	分辨率	0.1 pm
恒温	±1 pm	全温区	工作温度范围内 ±5 pm
动态范围	⩾ 30 dB	衰减	附加 15 dB 衰减时，波长变化 < 2 pm
同步	全通道同步	谱宽	反射谱 3 dB 带宽可设定
8 kHz	采样率最高可设置为 8 kHz。波长范围与 0.1 pm 分辨率仍为该档目标。恒温 ±1 pm 适用于 100 Hz 至 5 kHz。8 kHz 的波长精度按实测写入出厂规格单。		

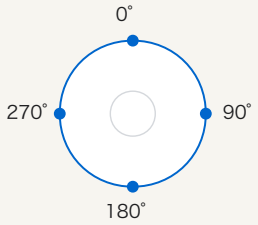
解调仪型号	可设置采样率	载荷信号处理
CS-FT-W100	100 Hz	与加速度同机同步扫描
CS-FT-W8K	100 Hz、1 kHz、5 kHz、8 kHz	设置为 100 Hz 时，与加速度同步采样
CS-FP-W50K	高速 50 kHz	载荷由可调激光档解算
CS-FP-W500K	高速 50 kHz、高频 500 kHz	载荷由可调激光档解算
CS-FP-W1M	50 kHz、500 kHz 及 1000 kHz 以上	载荷由可调激光档解算

在产 CS-FT16 系列在 200 Hz 以内的公开典型值包括：分辨率 0.2 pm、短期重复 2 pm、绝对精度 5 pm。上表 0.1 pm 与恒温 ±1 pm 为本系列 MEMS 配套档的设计指标。

100 Hz：载荷与加速度同步采样

以 100 Hz 长期在线监测叶片加速度时，同步采集叶根弯矩计算用应变。两项数据来自同一次光谱扫描，具有统一时间基准。覆冰、质量不平衡与气动不平衡评估，均比较三支叶片同一时刻的载荷与加速度。CS-FT-W100 采用上述工作方式；CS-FT-W8K 采样率设为 100 Hz 时亦同。

单支叶片根部 · 测点位置示意，非安装图



4 支 CS-FLB	传感器胶粘于叶根四周，方位如图所示
1 支 CS-FA-2	双轴两根尾纤：挥舞一路，摆振一路
同一采样帧	与叶根载荷来自同一次光谱扫描

载荷

型号为 CS-FLB。每叶配置 4 支，方位为 0°、90°、180°、270°，三支叶片共 12 支。

加速度

每叶配置 1 支双轴传感器。挥舞与摆振各接 1 根尾纤，三支叶片共占 6 个光学通道。

温度

需要温度补偿时，每叶配置 1 支温度光栅，与载荷、加速度同帧采样。

测点	单台机组	光纤配置	输出量
载荷 CS-FLB	12 支，每叶 4 支	光栅串接，每叶一路	叶根弯矩计算用应变
加速度 CS-FA-2	3 支，每叶 1 支	双轴传感器 2 根尾纤，共 6 路	挥舞加速度、摆振加速度
温度（可选）	每叶 1 支	与载荷光栅共纤，或独立占用 1 路	加速度的温度补偿

载荷传感器 CS-FLB

光纤光栅 · 与 CS-FA 分开订货

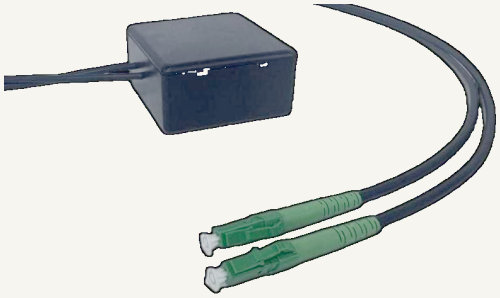
量程	±3000 με；海上 ±5000 με	波长	1525～1565 nm
接口	LC/APC，无金属光缆	温度	−40～85 ℃
安装	叶根胶粘，四周分布	外形	95 × 182 × 8 mm，不含尾纤

通道与边界 本配置的系统型号为 CS-BSHM-VL-X。16 通道的 CS-FT-W100 分配 3 路载荷、6 路加速度，其余通道用于温度和备用。采集数据用于状态评估。是否接入变桨控制或机组安全系统，由主机厂单独评估。

CS-FA

光纤 MEMS 加速度计

质量块、弹性梁及法珀腔集成于同一硅基 MEMS 芯片。加速度引起质量块位移，动镜随之改变腔长，使干涉峰发生移动。传感器采用无源设计及工程塑料壳体，通过尾纤将光信号传输至轮毂内解调仪，叶片内测点不引入金属导体。

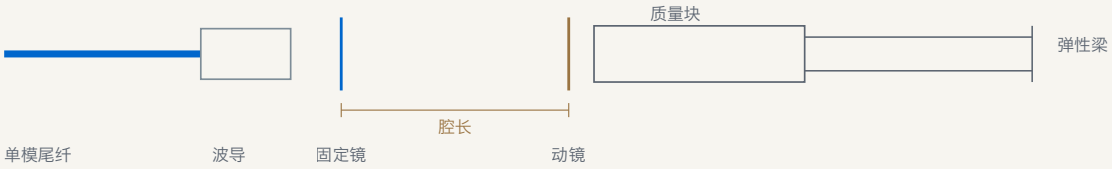


图示为现行双轴产品，安装孔位按叶片图纸确定。

±2 g	3 kHz	200 pm/g
挥舞与摆振	频响上限	两个轴向相同

CS-FT-W 采用全光谱解调，追踪干涉峰并换算为加速度。灵敏度为 200 pm/g，与 0.1 pm 设计分辨率对应的光学步进为 0.5 mg；传感器分辨率规格仍为 ⩽ 2 mg。

结构示意 · 腔长与梁厚经放大，非工艺尺寸



主要规格

现行规格

量程	±2 g	方向	单轴或双轴（挥舞、摆振）
灵敏度	200 pm/g，两个轴向	分辨率	⩽ 2 mg
频响	0.1 Hz～3 kHz	线性度	< 1%
波长	1525～1565 nm	光纤	单模，反射式法珀
温度	−40～85 ℃	接口	LC/APC，可改为 FC/APC
壳体	工程塑料	尾纤	双轴 2 根，每个轴向 1 根
寿命	使用寿命大于 10 年，与叶片振动方案一致。盐雾与雷电环境防护采用工程塑料壳体及全光尾纤。		

订货　叶片默认型号为 CS-FA-2-LC，单轴型号为 CS-FA-1-LC。采用 FC/APC 连接器时，订货号末尾为 FC。温度补偿采用邻近的光纤光栅温度传感器，在 100 Hz 档与载荷及加速度同步采样。

CS-MIC

光纤拾音器 · 音频与声纹

拾音器与加速度计均采用光纤 MEMS 法珀结构。加速度计的弹性结构响应惯性力，拾音器膜片则响应声压并改变法珀腔长。叶片拾音器为全介质结构，测点至叶根的结构件、反射面和光缆均不含金属。信号由高速光纤 MEMS 声纹解调仪读取，输出为标定后的声纹波形。

CS-MIC-A

可听声 · 50 kHz

设计频带为 20 Hz～20 kHz，用于气动噪声、失速及机械声纹，配套 CS-FP-W50K。

CS-MIC-H

高频声纹 · 500 kHz

频带上限不低于 200 kHz，用于采集结构声的高频成分，配套 CS-FP-W500K。

CS-MIC-U

1000 kHz 以上

频带上限不低于 400 kHz，配套 CS-FP-W1M；该解调仪同时支持 50 kHz 和 500 kHz。



设计造型。单根尾纤，透声面朝向声场。

主要规格

设计指标

原理	全介质膜片式法珀，C 波段	光纤	聚酰亚胺涂覆单模，芳纶加强
膜片	周边固支氮化硅，法向垂直叶面	反射	介质界面，不含金属反射膜
波长	1525～1565 nm	接口	LC/APC，金属簧片置于轮毂侧
壳体	玻璃纤维增强 PPS 或 PEEK	温度	−40～85 ℃
安装	叶面胶粘	泄压	后腔聚合物毛细孔，泄放准静态压力
读出	CS-FP-W 高速声纹解调仪	输出	标定后的声纹波形
配对	A 型配套高速 50 kHz，H 型配套高频 500 kHz，U 型配套超高速 1000 kHz 以上。出厂时与该档解调仪配对标定。		

使用边界　光学基准在硅芯片与氧化锆插芯上，壳体不参与腔长计量。腔长按所配解调仪的工作点设定。声压灵敏度依据项目实测结果写入规格单。测点按项目要求布置，每叶 1 支为常见建议。叶片诊断的比较方法见下页。

声纹辅助叶片诊断

光纤 MEMS 声纹传感器安装于叶片，叶片发声引起膜片位移并改变腔长。高速声纹解调仪置于轮毂，输出标定后的波形。诊断时同步比较三支叶片，并与该机组历史数据对比，以判断声纹是否偏离既有特征。

气动与失速

监测可听声范围内的气动噪声与失速噪声，采用 CS-MIC-A，采样率为 50 kHz。

机械声纹

关注单支叶片声纹持续区别于另外两支，或出现该机组历史数据中未记录的频带。

结构声

疲劳裂纹、表面龟裂和结构损伤可改变发声特征。高频成分采用 500 kHz 和 1000 kHz 以上采样率采集。

诊断对象	采样	传感器	判读内容
气动噪声、失速	50 kHz	CS-MIC-A	声纹是否随风速、桨距变化而偏离该机组历史特征
机械声纹	50 kHz	CS-MIC-A	单支叶片声纹是否持续偏离另外两支
高频结构声	500 kHz	CS-MIC-H	可听声以上的结构声成分
更高频结构声	⩾1000 kHz	CS-MIC-U	1000 kHz 以上档的配对波形

声纹链路的设计指标

与高速声纹解调仪一致

波长	1525～1565 nm	读出	光纤 MEMS 声纹与振动解调
光纤	单模，反射式法珀	标定	出厂与所配传感器配对标定
高速	50 kHz，20 Hz～20 kHz	采集	覆盖 16 kHz 至 48 kHz 常用范围
高频	500 kHz，上限 ⩾200 kHz	超高速	⩾1000 kHz，上限 ⩾400 kHz
输出	标定后的声纹波形	声压灵敏度	按项目实测，写入规格单

高速 50 kHz 采样率高于 48 kHz，CS-FP-W50K 可覆盖可听声诊断的常用采集范围。高频 500 kHz 与超高速 1000 kHz 以上用于可听声以外的结构声。0.1 pm 和 ±1 pm 属于可调激光档。

判读边界 交付内容为标定后的波形，供风场进行状态评估。疲劳裂纹、表面龟裂或结构损伤是否存在，以及后续检查、限功率或停机，由风场和主机厂按其判据决定。声级测量和声发射定级由使用方按其方法完成。载荷与加速度仍由 100 Hz 可调激光解调仪解算。两台仪器外形相同，对时由项目接口文件约定。

CS-FT-W

可调激光解调仪 · 100 Hz 至 8 kHz

采用窄线宽可调激光进行全光谱扫描，支持多通道并行解算。仪器外形、面板及安装方式与在产 CS-FT16 系列一致，外形尺寸为 220 × 246 × 45 mm。采样率为 100 Hz 时，同步输出叶片载荷与加速度。



图示为公司标准 16 通道机箱，8 通道与 16 通道产品外形相同。

220 × 246 × 45 mm
与 CS-FT16 系列同一外形

100 Hz 至 8 kHz
全通道同步，采样率可设置

光栅与法珀
100 Hz 时载荷和加速度同帧

主要规格

光学性能为设计指标 · 外形沿用在产系列

原理	可调激光，全光谱	波长	1525～1565 nm
分辨率	0.1 pm	精度	恒温 ±1 pm；全温区 ±5 pm
动态范围	⩾ 30 dB	衰减	附加 15 dB，波长变化 < 2 pm
100 Hz～5 kHz	适用上列光学指标	8 kHz	支持该采样率；波长精度按实测出具
通道	8 或 16	光接口	LC/APC
输出	波长与物理量；光谱按需调取	管理	Web；TCP/IP、Modbus；CAN 可选
供电	24 V DC，18～30 V	功耗	低于 30 W
重量	约 2.2 kg	振动	长期 2 g，沿用 CS-FT16
环境	−20～65 ℃	湿度	10%～95%，无冷凝

订货 叶片长期在线监测选用 CS-FT-W100-16，同步采样率为 100 Hz。CS-FT-W8K-16 支持 100 Hz、1 kHz、5 kHz、8 kHz 采样率设置。设置为 100 Hz 时，载荷与加速度仍由同机同步采样。8 通道产品订货号末尾为 8。

CS-FP-W

高速光纤 MEMS 声纹与振动解调

本仪器用于光纤 MEMS 声纹与振动解调。高速为 50 kHz，高频为 500 kHz，超高速、超高频为 1000 kHz 以上。机箱采用公司标准 16 通道外形，外形尺寸为 220 × 246 × 45 mm，光接口为 LC/APC。叶片载荷由可调激光解调仪解算。

高速

50 kHz · CS-FP-W50K-8

8 通道，用于声纹与振动解调，配套 CS-MIC-A。

高频

500 kHz · CS-FP-W500K-4

4 通道，采样率可在 50 kHz 与 500 kHz 之间设置，配套 CS-MIC-H。

超高速

⩾1000 kHz · CS-FP-W1M-4

4 通道，用于超高频声纹与振动解调，同时支持 50 kHz 和 500 kHz，配套 CS-MIC-U。

主要规格

设计指标 · 外形与 CS-FT-W 相同

原理	光纤 MEMS 声纹与振动解调	波长	1525～1565 nm
高速	50 kHz，8 通道	高频	500 kHz，4 通道
超高速	1000 kHz 以上，4 通道	测量对象	声纹拾音器或该档振动传感器
载荷	光栅载荷由 CS-FT-W 解调	同步	同一档内各通道同步
输出	标定后的声纹或振动波形	数据	千兆以太网；Web 用于配置
光口	LC/APC	外形	220 × 246 × 45 mm
供电	24 V DC，低于 30 W	环境	−20～65 ℃；湿度 10%～95%

高频与超高速档的标准配置均为 4 通道，波形数据传输与供电集成于同一机箱。与 CS-FT-W100 的对时由项目接口文件约定。0.1 pm 和 ±1 pm 均为可调激光档的波长指标。



高速、高频和超高速解调仪均采用公司标准 16 通道机箱。

订货与交付

方案 A 用于载荷与加速度监测，方案 B 增加高速声纹，方案 C 增加超高频声纹。仅配置高频声纹时，选用 CS-BSHM-VLA-X-H。各方案均保留 100 Hz 解调仪。

方案 A · CS-BSHM-VL-X

配置 1 台 CS-FT-W100-16、3 支 CS-FA-2-LC 及 12 支 CS-FLB，以 100 Hz 同步采集载荷与加速度。

方案 B · CS-BSHM-VLA-X

在方案 A 基础上增配 1 台 CS-FP-W50K-8，CS-MIC-A-LC 按叶片布置，用于50 kHz 声纹采集。

方案 C · CS-BSHM-VLA-X-U

在方案 A 基础上增配 1 台 CS-FP-W1M-4，声纹传感器按频带选用 A、H 或 U 型。

订货号

采样率可设为额定值及表中所列较低各档

订货号	内容
CS-FA-2-LC	双轴加速度计，量程 ±2 g，频响 0.1 Hz～3 kHz，接口 LC/APC；叶片默认型号。
CS-FA-1-LC	单轴加速度计，其余规格与双轴型相同。
CS-FA-2-FC	双轴加速度计，连接器为 FC/APC。
CS-MIC-A-LC	可听声拾音器，设计频带 20 Hz～20 kHz，配套 50 kHz 解调仪。
CS-MIC-H-LC	高频声纹拾音器，配套 500 kHz 解调仪。
CS-MIC-U-LC	超高频声纹拾音器，配套 1000 kHz 以上解调仪。
CS-FT-W100-16	可调激光解调仪，16 通道，同步采样率 100 Hz；叶片默认配置，载荷与加速度同机解调。
CS-FT-W100-8	8 通道，其余规格与 16 通道型相同。
CS-FT-W8K-16	可调激光解调仪，16 通道，支持 100 Hz、1 kHz、5 kHz、8 kHz；设置为 100 Hz 时，载荷与加速度仍同步采样。
CS-FT-W8K-8	8 通道，其余规格与 16 通道型相同。
CS-FP-W50K-8	高速光纤 MEMS 声纹与振动解调仪，50 kHz，8 通道。
CS-FP-W500K-4	高频光纤 MEMS 声纹与振动解调仪，500 kHz，并支持 50 kHz，4 通道。
CS-FP-W1M-4	超高速、超高频光纤 MEMS 声纹与振动解调仪，1000 kHz 以上，并支持 50 kHz 和 500 kHz，4 通道。

交付

解调仪外形与 CS-FT16 系列一致，标定系数随传感器交付。质量管理按 ISO 9001 执行，质保期为 12 个月，与现行叶片载荷方案一致。轮毂环境要求为 −40 ℃ 时，依据已交付叶片载荷解调仪的工况确认；本手册规定的工作温度为 −20～65 ℃。

广东中科传感智慧科技有限公司
选型、配对标定与接口咨询

珠海市香洲区梅界路1323号B座7层
0756-8133969　18922852239
www.casstk.com