

广东省标准



DBJ/T 15-260-2023

备案号 J 17227-2023

城市桥梁索杆检测与监测技术标准

Technical standard for testing and monitoring of
urban bridge cables

2023-10-19 发布

2024-04-01 实施

广东省住房和城乡建设厅 发布

广东省标准

城市桥梁索杆检测与监测技术标准

Technical standard for testing and monitoring of
urban bridge cables

DBJ/T 15-260-2023

住房和城乡建设部备案号：J 17227-2023

批准部门：广东省住房和城乡建设厅

施行日期：2024年4月1日

中国城市出版社

2023

广东省住房和城乡建设厅关于发布广东省标准 《城市桥梁索杆检测与监测技术标准》的公告

粤建公告〔2023〕45号

经组织专家委员会审查，现批准《城市桥梁索杆检测与监测技术标准》为广东省地方标准，编号为 DBJ/T 15-260-2023。本标准自 2024 年 4 月 1 日起实施。

本标准由广东省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释，并于出版后在广东省住房和城乡建设厅门户网站（<http://zfcxjst.gd.gov.cn>）公开标准全文。

广东省住房和城乡建设厅
2023 年 10 月 19 日

前 言

根据广东省市场监督管理局《关于批准下达住房城乡建设类地方标准制修订计划项目的通知》（粤市监标准〔2022〕27号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，与国内相关标准协调，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿，形成本标准。

本标准的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 索杆外观检测；5 索杆内部病害无损检测；6 索杆内部病害局部破损检测；7 索杆轴力检测与监测；8 主缆变形监测。

本标准不涉及专利。

本标准由广东省住房和城乡建设厅负责管理，由主编单位负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广州市市政工程试验检测有限公司（地址：广州市天河区天源路1111号育龙居B栋首层市政检测，邮编：510520）。

本标准主编单位：广州市市政工程试验检测有限公司
广州建筑股份有限公司

本标准参编单位：广州市开博桥梁工程有限公司
广州市中心区交通项目管理中心
广州诚安路桥检测有限公司
广东省建筑科学研究院集团股份有限公司
广东省建设工程质量安全检测总站有限公司
广州市市政工程设计研究总院有限公司
广东工业大学
佛山市交通运输事务中心

佛山市公路桥梁工程监测站有限公司

湖南桥康智能科技有限公司

广州市城建规划设计院有限公司

华中科技大学

深圳市索杆桥梁工程检测有限公司

本标准主要起草人员：孙晓立 林阳子 周治国 杨 军

官幼平 朱 强 王 超 李炎清

吴晓生 吕文龙 何锦荣 习 宇

胡晓勇 陈贡发 张 恒 程俭廷

吴有俊 罗剑波 万 智 杜永潇

马智珊 方海龙 武新军 吴永毅

腾 帅 周 波

本标准主要审查人员：梁立农 陈 伟 张俊平 王荣辉

王 强 徐凯燕 李全林

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
3.1	一般规定	5
3.2	检测工作程序与要求	6
3.3	检测范围与周期	7
3.4	仪器设备	9
3.5	现场安全要求	9
3.6	检测结果评价和检测报告	9
4	索杆外观检测	11
4.1	一般规定	11
4.2	爬索机器人检测方法	11
4.3	无人机视觉检测方法	12
4.4	结果评定	12
5	索杆内部病害无损检测	15
5.1	一般规定	15
5.2	磁致伸缩导波法	15
5.3	漏磁法	18
5.4	结果评定	19
6	索杆内部病害局部破损检测	21
6.1	一般规定	21
6.2	索杆开窗检测法	21
6.3	主缆开缆检测法	21

6.4 结果评定	22
7 索杆轴力检测与监测	24
7.1 一般规定	24
7.2 加速度传感器法	24
7.3 光学图像法	26
7.4 微波雷达法	27
7.5 压力环法	28
7.6 拉拔法	28
7.7 超声波法	29
7.8 结果评定	31
8 主缆变形监测	32
8.1 一般规定	32
8.2 GNSS 测量方法	32
8.3 光学测量方法	33
8.4 数据整理与分析	34
附录 A 桥梁索杆常见病害示例	35
附录 B 桥梁索杆检测记录表	39
本标准用词说明	44
引用标准名录	45
附：条文说明	47

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
3.1	General Requirements	5
3.2	Testing Procedures and Requirements	6
3.3	Testing Scope and Period	7
3.4	Testing Equipments	9
3.5	Filed Safety Requirements	9
3.6	Testing Results Evaluation and Reports	9
4	Appearance Testing for Cables	11
4.1	General Requirements	11
4.2	Testing Method of Cable Climbing Robot	11
4.3	Visual Testing Method of Unmanned Aerial Vehicle	12
4.4	Result Evaluation	12
5	Nondestructive Testing of Internal Defects for Cables	15
5.1	General Requirements	15
5.2	Magnetostrictive Guided Wave Testing Method	15
5.3	Magnetic Flux Leakage Testing Method	18
5.4	Result Evaluation	19
6	Local Destructive Testing of Internal Diseases for Cables	21
6.1	General Requirements	21
6.2	Cables Window Opening Testing Method	21
6.3	Main Cables Opening Testing Method	21

6.4	Result Evaluation	22
7	Testing and Monitoring of Axial Force for Cables	24
7.1	General Requirements	24
7.2	Acceleration Sensor Method	24
7.3	Optical Image Method	26
7.4	Microwave Radar Method	27
7.5	Pressure Ring Method	28
7.6	Pullout Testing Method	28
7.7	Ultrasonic Echo Testing Method	29
7.8	Result Evaluation	31
8	Deformation Monitoring for Cables	32
8.1	General Requirements	32
8.2	GNSS Measurement Method	32
8.3	Optical Measurement Method	33
8.4	Data Processing and Analysis	34
Appendix A	Examples of Common Diseases for Bridge Cables	35
Appendix B	Bridge Cables Testing Record Forms	39
	Explanation of Wording in This Standard	44
	List of Quoted Standards	45
	Addition: Explanation of Provisions	47

1 总 则

1.0.1 为规范城市桥梁索杆检测与监测工作，明确现场检测、监测方法与要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于广东省新建、改建、扩建以及既有城市斜拉桥、悬索桥和拱桥的索杆检测与监测工作。

1.0.3 城市桥梁索杆检测与监测工作除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 桥梁索杆 bridge cables

斜拉桥的斜拉索、悬索桥的主缆和吊索、拱桥的吊（系）杆。

2.1.2 表观缺陷 apparent defects

由荷载、温度、灾害、材料等因素引起且经目测等方法可见的索杆 PE（聚乙烯）防护层表面裂缝、挤压变形、刮伤等病害。

2.1.3 内部缺陷 internal defects

索杆结构内部不能目测直接识别的锈蚀、断丝等隐蔽病害。

2.1.4 有效截面积损失率 effective cross-sectional area loss rate

因拉索锈蚀、断丝等造成被检拉索钢丝束横截面减少的面积占钢丝束总面积的比例。

2.1.5 索杆轴力 axial force of cables

存在于索杆中的轴向拉力。

2.1.6 螺杆轴力 axial force of screws

通过紧固件连接副在螺杆中产生的轴向拉力。

2.1.7 爬索机器人 cable climbing robot

沿桥梁索杆表面行走，同时拍摄和记录护套表观病害的检测装置。

2.1.8 磁致伸缩导波 magnetostrictive guided wave

利用磁致伸缩效应在构件中产生的能够较长距离传播的特定频率范围的超声波。

2.1.9 漏磁法 magnetic flux leakage testing method

铁磁性构件被磁化后，构件表面或近表面的缺陷会形成漏磁场，通过检测漏磁场的变化情况检测构件缺陷。

2.1.10 标度 scale

用于量化评价桥梁索杆各项技术状况的数值指标，标度值越大，索杆的技术状况越差。

2.2 符 号

Δl ——激励线圈和接收线圈之间的距离；

t_0 ——通过空气传播最先到达检测线圈的电磁脉冲信号声时初读数；

t ——导波通过信号声时；

v ——测区平行钢丝中的导波波速代表值；

l_i ——第 i 次测试的导波传播的距离；

t_i ——第 i 次测试的导波声时读数；

t_{0i} ——第 i 次测试的导波声时初读数；

t_d ——缺陷回波声时；

$E(z)$ ——导波幅值衰减曲线；

M ——实测导波缺陷回波幅值与评定线的比值；

A ——索杆锚头回波幅值与同类型索杆锚头回波幅值均值的比值；

a ——索杆有效截面积损失百分比；

S_0 ——索杆钢丝标称有效截面积；

S_1 ——索杆钢丝实测有效截面积；

b ——损失长度占索杆总长的百分比；

T_d ——设计索力或成桥索力；

EI ——索的抗弯刚度；

L ——索的计算长度；

T ——索力；

ρ ——索的线密度；

f_n ——第 n 阶振动频率；

n ——拉索自振频率的阶数；

k_1 ——索力传感器标定系数；

- e_i ——第 i 次测量时电信号值;
 e_0 ——电阻式传感器安装后的初始电信号值;
 E_s ——螺杆材料弹性模量;
 r_s ——两端螺母内侧间距;
 D_s ——螺杆公称直径;
 t_c ——螺杆当前测量温度;
 t_{c0} ——螺杆基准测量温度;
 K_s ——螺杆应力系数;
 K_t ——螺杆温度系数;
 c_{t0} ——实验室基准测量温度 t_{c0} 时无应力状态下的超声波传播速度;
 F ——已紧固螺杆轴力;
 K ——螺杆轴力与回波声时差或纵横波声时比的综合线性系数;
 ΔS ——待测螺杆轴力状态与无应力状态超声声时差或纵横波声时比;
 K_T ——索杆轴力偏差率;
 T_m ——实测索力值;
F.S.——量程;
IP——电气设备外壳的防水防尘等级。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 城市桥梁索杆检测与监测主要包括索杆外观病害检测、索杆内部病害检测、索杆轴力检测与监测、主缆变形监测。

3.1.2 城市桥梁索杆检测应结合桥梁初始检测、经常性检查、定期检测和特殊检测开展，索杆变形监测结果应与桥梁的经常性检查、定期检测和特殊检测结果相互补充、相互验证。

3.1.3 城市桥梁索杆检测应按表 3.1.3 选择合理的检测与监测方法，必要时可选取两种或两种以上方法进行验证。

表 3.1.3 检测/监测方法及其适用范围

检测与监测内容	检测与监测方法		适用范围
索杆外观病害	爬索机器人检测		斜拉桥拉索、悬索桥吊索和拱桥系（吊）杆的外观检测，判定防护套缺陷的类型、位置、范围和程度
	无人机视觉检测		索杆外观检测，判定防护套缺陷的类型、位置、范围和程度
索杆内部病害	无损检测方法	磁致伸缩导波检测	索杆内部锈蚀、断丝的检测，判定缺陷的位置和程度
		漏磁检测	索杆内部锈蚀、断丝的检测，判定缺陷的位置和程度
	局部破损检测方法	索杆开窗检测	索杆内部技术状态的检测
		主缆开缆检测	主缆内部技术状态的检测
索杆轴力	频率测试方法	加速度传感器法	索杆索力的检测与监测
		光学图像法	索杆索力的检测与监测
		微波雷达法	索杆索力的检测与监测

续表 3.1.3

检测与监测内容	检测与监测方法		适用范围
索杆轴力	其他测试方法	压力环法	索杆索力和悬索桥索夹螺杆轴力的检测与监测
		拉拔法	索杆索力和悬索桥索夹螺杆轴力的检测
		超声波法	悬索桥索夹螺杆轴力的检测与监测
主缆变形	GNSS 测量方法		主缆线形的监测
	光学测量方法		

3.2 检测工作程序与要求

3.2.1 城市桥梁索杆检测工作程序宜按图 3.2.1 进行。

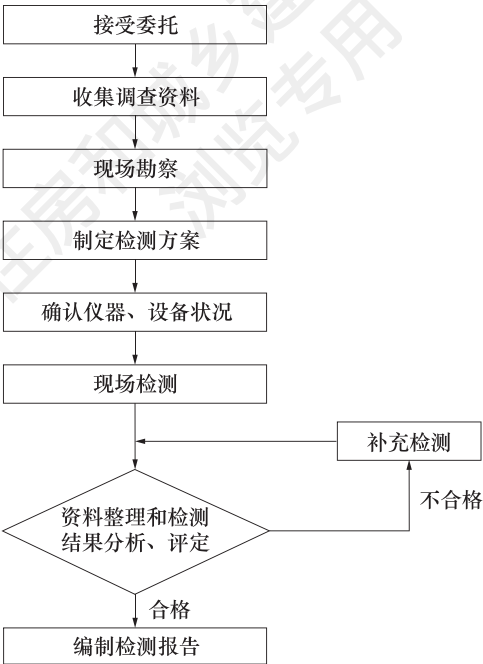


图 3.2.1 城市桥梁索杆检测工作程序框图

3.2.2 城市桥梁索杆检测 / 监测资料收集调查和现场勘察应包括:

- 1 桥梁初始状态资料;
- 2 设计、施工、监理、施工监控等相关资料;
- 3 桥梁结构历史检测、健康监测、养护和维修资料;
- 4 桥址情况及桥梁现状调查。

3.2.3 城市桥梁索杆检测 / 监测方案应包括但不限于:

- 1 工程概况;
- 2 检测目的;
- 3 检测依据;
- 4 检测项目、内容及方法;
- 5 检测项目的具体流程;
- 6 检测人员和仪器设备;
- 7 检测工作进度计划;
- 8 检测所需要的配合工作;
- 9 临时交通组织或交通疏解方案;
- 10 安全措施、应急措施和环保要求。

3.2.4 桥梁索杆检测 / 监测工作宜选用无线传感及信息化的技术方案。

3.3 检测范围与周期

3.3.1 城市桥梁索杆的初始检测应符合下列规定:

1 新建索杆结构桥梁应建立初始状态档案,初始档案的建立时间最迟不应晚于通车使用后 1 年;

2 缺少初始检测资料的在役桥梁,应根据结构现状、竣工资料及历年的检测资料,追溯桥梁索杆初始状态;

3 索杆结构桥梁加固、改造、竣工后的索杆初始检测应针对各项参数做好状态变更后的数据衔接与比对;

4 索杆初始检测时应设置永久观测点,索杆初始检测内容应包括拉索护套外观病害情况、拉索锈蚀或断丝情况、拉(吊)

索索力及主缆索股力、悬索桥索夹螺杆轴力、主缆线形等；

5 索杆初始检测后应形成初始档案，并按“一桥一档”的要求，将桥梁索杆检测资料纳入纸质桥梁初始档案，并宜推进信息化技术，对初始档案进行数字化管理。

3.3.2 城市桥梁索杆的经常性检查应符合下列规定：

1 经常性检查宜抵近目测并结合辅助工具对索杆表观状况进行规定频率的全面检查，遵循全面、系统和有序的原则；

2 经常性检查频率应结合易损件技术状况、关键部位技术状况、桥梁技术状况和前期病害等综合确定，在洪水、台风、冰冻等自然灾害频发期，应增加索杆检查频次；宜结合桥梁索杆的使用年限、地域环境情况、功能与材料情况、安全风险或病害发展速度等加大检查频率。

3.3.3 城市桥梁索杆的定期检测应符合下列规定：

1 索杆定期检测部件与检测内容宜符合表 3.3.3 的规定；

表 3.3.3 桥梁索杆定期检测部件与检测内容

桥梁类型	检测部件与检测内容
斜拉桥	斜拉索防护套状况、上下锚头锚固状况、拉索阻尼器状况、拉索锈蚀断丝情况、拉索索力、防水系统状况等
悬索桥	吊索外观及上下锚头锚固状况、吊索锈蚀断丝情况、吊索索力；自锚式悬索桥索股锚头状况、主缆索夹外观、索夹螺杆紧固力；主缆线形、主缆防护及防滑层、索股钢丝锈蚀断丝情况；索鞍状况；防水系统及除湿系统状况等
拱桥	系杆和吊杆外观及上下锚头锚固状况、内部锈蚀断丝情况、吊杆索力、防水系统状况等

2 索杆的定期检测周期宜根据桥梁技术状况确定，一般为 1 年，最多不超过 3 年。

3.3.4 城市桥梁索杆特殊检测应根据检测目的、病害情况和性质、检测指标和检测方法，采用仪器设备进行现场测试和其他辅助试验，并依据检测结果对桥梁索杆的安全性及耐久性进行专项评估。存在下列情况时，应实施索杆特殊检测：

- 1 经常性检查或定期检测中存在难以判明损伤原因及程度的构件;
- 2 拟实施对索杆桥梁结构整体受力状态改变较大的维修工程;
- 3 突发事件后需进行安全状况评估的桥梁。

3.4 仪器设备

- 3.4.1 城市桥梁索杆检测 / 监测应根据不同的检测环境、内容和要求选用合适的仪器设备。
- 3.4.2 仪器设备的性能应满足检测 / 监测项目对精度、量程、灵敏度、稳定性、频响特性、使用温度范围和抗干扰性等方面的要求。
- 3.4.3 城市桥梁索杆检测 / 监测中使用的仪器应定期进行量值溯源, 辅助设备的功能应处于正常状态。

3.5 现场安全要求

- 3.5.1 城市桥梁索杆检测 / 监测应按相关规定办理许可手续, 在现场设置明显的标识并采取必要的隔离措施。
- 3.5.2 现场实施检测 / 监测时, 作业人员应做好安全防护措施, 遵守相关的安全规定。

3.6 检测结果评价和检测报告

- 3.6.1 应根据检测目的及相关要求对桥梁索杆检测的结果作出准确、合理的评价, 并出具检测报告。
- 3.6.2 检测报告宜包括下列内容:
 - 1 委托单位名称;
 - 2 桥梁概况, 包括工程名称、工程地点、建造年代、结构类型、跨径布置和横向布置、材料类型和强度、荷载等级、设计车速等;
 - 3 检测目的、依据、项目内容及检测方法等;

- 4 检测日期及时间;
- 5 使用的仪器设备及精度;
- 6 检测结果、检测数据分析与结论, 以及相应的建议措施等;
- 7 报告的日期、主要人员和检测单位的签章;
- 8 附录应提供计算资料、试验数据图表和检测现场照片及结构检查照片。

4 索杆外观检测

4.1 一般规定

4.1.1 桥梁索杆外观检测可采用爬索机器人检测、无人机视觉检测或其他检测方法，给出索杆外观缺陷的位置、类型、程度等，评定索杆的技术状况。

4.1.2 桥梁索杆外观检测宜全数检测。

4.1.3 采用爬索机器人或无人机对索杆进行外观检测时，风速应不超过 15m/s。

4.1.4 桥梁索杆病害分析前应对拍摄图像进行预处理，保证图像无畸变，病害信息清晰。

4.2 爬索机器人检测方法

4.2.1 爬索机器人应满足下列要求：

1 爬索机器人的检测图像分辨率应能识别微裂纹以上的病害；

2 爬索机器人应能调整并适应不同直径的拉索；

3 爬索机器人应能跨越缠绕线、破损等障碍，且不对缠绕线、PE 防护套造成损伤；

4 爬索机器人应具有病害定位功能，定位精度不宜低于索杆检测长度的 1%。

4.2.2 爬索机器人现场检测应符合下列要求：

1 现场检测前，应收集索杆防护套类型、索杆直径、倾角、长度、索杆近梁端减震装置、索力传感器、吊索减震架等信息，制定检测方案；

2 爬索机器人应进行设备调试，确保机器人能沿拉索顺利

爬行；

3 在机器人爬升过程中，应注意采集的视频是否正常；

4 机器人爬升到拉索塔端附近时，应及时减速并停止爬升，避免机器人撞击塔身；

5 机器人下降到接近梁端时，应及时减速并停止下降，并结束外观视频采集；

6 数据采集完成后，应进行必要的核查。

4.2.3 爬索机器人检测视频数据应利用相关软件进行处理与分析，将存在病害的视频转化为图片文件。

4.3 无人机视觉检测方法

4.3.1 无人机视觉检测设备应满足下列要求：

1 无人机应具有良好的静态悬停、定位、规避障碍物和自动归航等功能；

2 无人机应采用 RTK 定位系统，并保证数据传输的稳定性和飞行的可靠性；

3 相机镜头的选择应满足失真小、可标定、成像清晰等要求。

4.3.2 无人机现场检测应符合下列要求：

1 斜拉索、吊杆（索）应由上至下进行巡检，主缆应沿上表面、侧面进行巡检；

2 无人机拍摄索杆的距离一般不小于 5m；

3 相邻拍摄图像之间应有足够的重叠率，一般不低于 20%；

4 无人机飞行速度应保证采集的图像或视频清晰。

4.4 结果评定

4.4.1 单根桥梁索杆防护套病害应根据表 4.4.1 评定。

表 4.4.1 索杆防护套病害评定

病害类别	病害细分	病害描述	标度
—	—	完好	1
微裂纹	微裂纹	材料老化导致的护套表面的细微裂纹、轻微粉化	2
开裂	开裂	施工挤压等造成的裂缝，通过裂缝不可见内层的黑色 PE 层	2
	严重开裂	材料严重老化、应力作用等原因共同造成，护套存在严重开裂，露出内部黑色 PE 或钢丝	3 (露出内层 PE)/ 4 (露出钢丝)
刮擦	刮痕	施工过程中拖拽、混凝土摩擦等原因造成，护套表面存在轻微刮擦	2
	刮伤	尖锐物体刮擦等导致，护套表面存在表层 PE 刮伤现象，包括翘皮、局部翘起等	2
	严重刮伤	尖锐物体严重刮擦等导致，护套表面存在严重刮伤现象，露出内部黑色 PE 或钢丝，包括严重翘皮等情况	3 (露出内层 PE)/ 4 (露出钢丝)
挤压	挤压变形	施工绳索挤压导致的环向挤压凹陷，严重时出现 PE 破损现象	2 (轻微变形)/ 4 (露出钢丝)
污垢或附着物	污垢或附着物	存在附着于护套表面的微小杂物，如与雨水混合附着的灰尘、黄油、砂浆等	2
修补痕迹	修补痕迹	存在修补痕迹但修补情况良好	1
	修补后开裂	有明显的修复痕迹，老化或材料收缩等原因导致重新开裂	2
螺旋线损坏	螺旋线破损	材料老化、施工过程中刮蹭等原因导致的螺旋线刮伤、残损、断裂	2
	螺旋线剥离	固定装置失效等原因导致的螺旋线局部剥离索体或松脱	2
涂装、防护带损坏	涂装破损	漆膜存在的细微裂纹，如表面的老化微裂缝、龟裂等；或漆膜磨损、起皮或剥落	1
	防护带褶皱、破损	氟碳防护带缠包过程不当等造成，防护带表观呈凹凸相间状褶皱；由于后续施工或索体外观检查等采用不符合的设备，刮蹭导致防护带破损，包括防护带翘皮、局部断裂、翘起等情况	1

续表 4.4.1

病害类别	病害细分	病害描述	标度
涂装、 防护带 损坏	防护 带疤痕	通常由于加热毯温度不均导致橡胶防护带烫伤造成，形成疥疮疤痕	1
	防护带 环向凹痕	PE 护套环向断裂造成，外裹防护带表面呈现环向沟壑状凹痕	4

注：以各类病害的最大标度作为单根索杆防护套技术状况的标度。

4.4.2 悬索桥主缆防护结构病害应根据表 4.4.2 评定。

表 4.4.2 主缆防护结构病害评定

病害描述	标度
完好	1
主缆防护面漆局部有变色、起皮，个别位置出现破损、老化（面漆变色起皮面积 $\leq 3\%$ ，或破损面积 $\leq 1\%$ ）	2
主缆防护面漆部分有损坏、裂纹、变色、起皮或剥落；局部位置出现破损、老化或极少部位出现缠丝外露，但没有生锈（防护破损面积 $> 1\%$ 且 $\leq 10\%$ ，缠丝外露数量 $\leq 1\%$ ）	3
主缆防护面漆较大范围有损坏、裂纹、变色、起皮或剥落；索夹发生滑移导致主缆开裂；局部位置出现严重破损、老化、漏水或局部缠丝外露（防护破损面积 $> 10\%$ ，缠丝外露数量 $> 1\%$ ）	4

4.4.3 桥梁索杆防护套常见病害图例参见本标准附录 A 图 A.0.1。

4.4.4 桥梁索杆外观检测记录表模板参见本标准附录 B 表 B.0.1。

5 索杆内部病害无损检测

5.1 一般规定

5.1.1 索杆内部病害无损检测宜采用磁致伸缩导波法，也可采用漏磁法等检测方法。

5.1.2 新建桥梁索杆初始检测和在役桥梁索杆首次检测时，宜全数检测；运营阶段定期检测时，宜抽检不低于 30% 的典型拉索且抽检数量不少于 10 根；当整桥拉索数量少于 10 根时，宜全数检测。

5.1.3 抽检索杆发现异常情况，且经过验证存在锈蚀、断丝时，应对其余索杆进行全数检测。

5.1.4 索杆内部病害检测可采用随机、对称抽检的方式，当索杆存在轴力异常、表观病害较严重、锚头积水等现象时，应进行针对性检测。

5.2 磁致伸缩导波法

5.2.1 磁致伸缩导波法设备应满足下列要求：

1 检测设备应包括磁化器、激励线圈、接收线圈、信号采集、显示及存储装置、信号分析系统等；

2 检测软件应具有信号发生单元控制、门控单元控制、数据采集、数据分析、数据处理、数据压缩等功能；

3 检测设备中激励信号的频率、幅值、周期数、重复频率、采样频率、采集时间应可调，且采样频率不宜低于激励信号频率的 10 倍，采集时间不应小于导波在 1.1 倍被检拉索长度传播的时间；

4 检测分析系统应具有时间和距离两种显示方式，且应具

有波形显示图形的局部缩放功能;

5 检测设备应具备一定灵敏度, 至少应在截面损失率不小于 5% 的缺陷回波传播 30m 以上, 或构件端部反射波传播 50m 以上时, 检测设备可测得清晰的缺陷或端部回波;

6 检测设备应进行损伤定位校准, 定位误差应小于索长的 2%。

5.2.2 现场检测应符合下列要求:

1 现场检测前, 应收集拉索产品、设计、竣工、养护及其他资料;

2 应采用统一的编码系统对索杆进行编号, 在检测中针对编号逐一检查;

3 现场检测时, 传感器安装表面应无液体或污垢等残留物;

4 激励传感器与接收传感器间距宜大于 1.5m, 且安装位置宜远离结构反射点;

5 信号数据采集的长度不应小于有效检测距离, 采样频率不宜低于激励信号频率的 10 倍, 且重复采样间隔应能保证相应导波在索杆中完全衰减;

6 波速测试时, 声时测量应精确至 $1\mu\text{s}$, 超声测距测量应精确至 10mm, 且测量误差不应超过 $\pm 1\%$ 。

5.2.3 现场检测宜按下列步骤进行:

1 通过市政用电或设备电池等提供电源, 检查设备情况并确保电源供电稳定, 且噪声对检测无影响;

2 将激励传感器和接收传感器安装在待测桥梁索杆上, 记录传感器安装位置, 再利用便携计算机控制信号发生单元产生激励信号;

3 检测信息通过信号采集端口进入数据采集单元, 经其中的 A/D 转换器后进入计算机, 经计算机处理后得到桥梁索杆检测数据;

4 根据检测数据分析导波波速, 初步判断桥梁索杆是否存在异常信号;

5 对存在异常信号的桥梁索杆，根据现场情况改变激励传感器和接收传感器的安装位置，重复进行步骤 2 至步骤 4 的工作流程，进一步判断分析损伤位置和损伤程度；

6 数据保存整理，对有历史检测数据的桥梁索杆可通过历史数据对比进行进一步分析；

7 根据现场情况，建议对可能存在损伤或有必要进一步验证的索杆进行局部开窗检测，一般在索杆下端开窗检测，开窗部位检查后应采取有效措施封闭。

5.2.4 索杆导波波速 v 应按式（5.2.4）计算：

$$v = \frac{\Delta l}{t - t_0} \quad (5.2.4)$$

式中： Δl ——激励线圈和接收线圈之间的距离；

t_0 ——通过空气传播最先到达检测线圈的电磁脉冲信号声时初读数；

t ——导波通过信号声时。

5.2.5 索杆导波波速代表值宜取 3 次测量波速的平均值，并按式（5.2.5）计算：

$$v = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{t_i - t_{0i}} \quad (5.2.5)$$

式中： v ——测区平行钢丝中的导波波速代表值；

l_i ——第 i 次测试的导波传播的距离，宜为 1000mm、1200mm、1500mm 等标准间距；

t_i ——第 i 次测试的导波声时读数；

t_{0i} ——第 i 次测试的导波声时初读数。

5.2.6 传感器安装布置方式如图 5.2.6 所示，索杆缺陷与接收传感器的距离按式（5.2.6）计算：

$$d = (t_d - t) v / 2 = (t_d v - \Delta l) / 2 \quad (5.2.6)$$

式中： t_d ——缺陷回波声时。

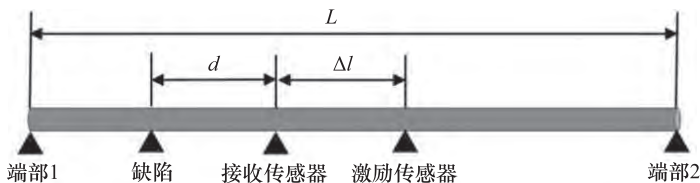


图 5.2.6 传感器安装布置图

5.2.7 当发现缺陷回波时，应移动传感器位置进行多次检测，进一步确定缺陷回波的具体位置。

5.2.8 索杆信号分析与评价应按下列步骤进行：

- 1 根据待测索杆通过信号、锚头回波绘制导波幅值衰减曲线 $E(z)$ ；
 - 2 绘制索杆评定线和判废线，判废线高度为评定线高度的 2 倍；
 - 3 计算实测导波缺陷回波幅值与评定线的比值 M 和索杆锚头回波幅值与同类型索杆锚头回波幅值均值的比值 A ；
 - 4 根据 M 、 A 对索杆进行综合评定。
- 5.2.9 桥梁索杆磁致伸缩导波现场检测记录表模板可参见本标准附录 B 表 B.0.2。

5.3 漏磁法

5.3.1 漏磁法设备应满足下列要求：

- 1 检测设备应能采集、存储索杆检测漏磁信号数据，并通过无线传输装置传输到监控系统；
- 2 检测设备满电量运行距离、无线控制距离应满足现场检测要求；
- 3 检测设备应能跨越缠绕线、破损等障碍，且不对缠绕线造成损伤；
- 4 至少能检出表面 1 根断丝或 1% 的腐蚀截面积损失；
- 5 具备索杆内部缺陷定位功能，定位精度不低于索长的 1%。

5.3.2 现场检测应符合下列要求:

- 1 检测前应进行基准标定, 确认检测设备满足要求;
- 2 检测前应清除索杆表面可能阻碍检测设备运行的物体;
- 3 有效检测范围内的索杆应采用漏磁检测系统进行预磁化处理;
- 4 在索杆的磁化有效期内重复检测时, 可不再进行磁化处理。

5.4 结果评定

5.4.1 磁致伸缩导波法评定索杆技术状况应符合下列规定:

- 1 索杆技术状况等级应按最不利情况取局部损伤评定标度和均匀锈蚀评定标度的最高值;
- 2 索杆局部损伤评定标度根据实测导波缺陷回波幅值与评定线的比值 M , 由表 5.4.1-1 确定;

表 5.4.1-1 索杆局部损伤评定标度

标度	索杆局部损伤状况描述	评定指标
1	索杆局部未见明显损伤, 内部钢丝存在局部损伤的概率较小	$M < 30\%$
2	索杆局部损伤不确定, 可能存在轻微损伤	$30\% \leq M < 70\%$
3	索杆局部可能存在较明显损伤	$70\% \leq M < 100\%$
4	索杆局部损伤概率较大, 索杆截面损失率大于 5%, 内部钢丝局部可能存在较大蚀坑, 甚至断丝	$100\% \leq M < 200\%$
5	索杆局部损伤严重, 索杆截面损失率大于 10%, 内部钢丝局部存在较大蚀坑、断丝的可能性极大	$M \geq 200\%$

- 3 索杆均匀锈蚀评定标度根据索杆锚头回波幅值与同类型索杆锚头回波幅值均值的比值 A , 由表 5.4.1-2 确定。

表 5.4.1-2 索杆均匀锈蚀评定标度

标度	索杆均匀锈蚀状况描述	评定指标
1	索杆无明显均匀锈蚀活动，发生均匀锈蚀的概率较小	$A \geq 0.5$
2	索杆锈蚀状态不确定	$0.1 \leq A < 0.5$
3	索杆可能有锈蚀活动，发生均匀锈蚀的概率较大	$A < 0.1$

5.4.2 漏磁法评定索杆技术状况应符合下列规定：

- 1 漏磁法应根据实际检测图谱计算索杆横截面积损失。
- 2 索杆有效截面积损失百分比 a 可采用式（5.4.2）计算：

$$a = (S_0 - S_1) / S_0 \quad (5.4.2)$$

式中： a ——索杆有效截面积损失百分比；

S_0 ——索杆钢丝标称有效截面积；

S_1 ——索杆钢丝实测有效截面积。

- 3 索杆技术状况评定根据索杆有效截面积百分比 a 与损失长度占索杆总长的百分比 b ，由表 5.4.2 确定。

表 5.4.2 索杆技术状况评定标度值

评定指标	$b < 5\%$	$5\% \leq b < 15\%$	$15\% \leq b < 40\%$	$40\% \leq b < 60\%$
$a < 1\%$	1	1	1	1
$1\% \leq a < 3\%$	1	2	2	3
$3\% \leq a < 5\%$	2	3	3	4
$a \geq 5\%$	4	4	4	5

- 5.4.3 当对桥梁索杆内部病害无损检测结果存在疑问时，应经专项论证后采取索杆开窗检测方法进行验证。

6 索杆内部病害局部破损检测

6.1 一般规定

- 6.1.1 本方法主要用于对索杆锈蚀、断丝等内部病害的无损检测结果验证。
- 6.1.2 索杆开窗或开缆检测方案应进行专项论证。
- 6.1.3 索杆开窗或开缆应选择天气晴朗的时段，并做好防雨预案。
- 6.1.4 进行开窗或开缆检测的索杆，应在现场检测结束后及时对防护层进行修复，并保留影像记录。

6.2 索杆开窗检测法

- 6.2.1 索杆开窗检测法应按下列步骤进行：
 - 1 定位开窗位置，开窗尺寸一般为 $10\text{cm} \times 20\text{cm}$ ；
 - 2 用机械方法剔除高密度聚乙烯（HDPE）防护套，不得损伤索杆钢丝或钢绞线；
 - 3 观察索杆表面锈蚀损伤情况，并做好图像记录。
- 6.2.2 桥梁索杆修复材料性能应不低于原防护层材料标准，修复后应确保索杆防护层的耐久性。
- 6.2.3 索杆开窗检测及维护记录表格模板参见本标准附录 B 表 B.0.3。

6.3 主缆开缆检测法

- 6.3.1 主缆开缆检测法应按下列步骤进行：
 - 1 对主缆内部检查位置的选择应首先考虑检查间隔期间发现的主缆外观缺陷与其内部恶化高度关联的位置；
 - 2 在解除缠丝前，应对主缆周长进行测量，计算主缆空隙

率，作为检查完成后主缆恢复时的依据；

- 3 解除缠丝后应清理主缆表面防锈腻子，并用软毛刷清理；
- 4 观察主缆表面锈蚀损伤情况，并做好图像记录。

6.3.2 主缆内部楔入检测法应按下列步骤进行：

- 1 楔入位置宜选择主缆表面有损伤或怀疑有损伤的部位；
- 2 从选择的主缆部位打入楔子，直至达到主缆中心或事先设定的深度；

3 观察和记录楔入面钢丝的腐蚀状态。对于需进行承载力评估的主缆，应对各种腐蚀级别的钢丝进行采样。

6.3.3 主缆楔入应符合下列规定：

- 1 宜从节段中部开始打入楔子，然后向主缆索夹方向每隔 1.2m 打入 1 个楔子，先将所有楔子统一打入 8cm，然后依次将所有楔子再打入 8cm，直至达到主缆中心或事先设定的深度；
- 2 可使用液压楔辅助楔入；
- 3 宜用木质工具敲击主缆振落腻子，并用软毛刷清理；
- 4 楔入前可用吸尘器清理表面碎屑。为减少楔入期间产生的碎屑，也可涂刷一些轻质无腐蚀性的油。

6.3.4 完成开缆检测后，主缆保护系统应重新更换或增加观察窗。

6.4 结果评定

6.4.1 桥梁索杆的锈蚀、断丝评定标准应参照表 6.4.1 执行。

表 6.4.1 桥梁索杆锈蚀、断丝评定标准

标度	评定标准
1	完好
2	钢丝镀锌层析白或钢丝有极少量锈蚀；锈斑分布面积占开窗表面积的比例小于 10%
3	钢丝少量轻微锈蚀，截面未明显削弱，钢丝无断裂；锈斑分布面积占开窗表面积的比例大于等于 10% 且小于 50%

续表 6.4.1

标度	评定标准
4	钢丝较多锈蚀，锈斑分布面积占开窗表面积的比例大于等于 50%；钢丝无断裂，截面出现削弱
5	钢丝大量锈蚀，存在钢丝断裂现象

6.4.2 桥梁索杆锈蚀、断丝病害与评定等级的关系描述参见本标准附录 A 表 A.0.1。

7 索杆轴力检测与监测

7.1 一般规定

7.1.1 城市桥梁索杆轴力检测宜采用加速度传感器法，也可采用光学图像法、微波雷达法、压力环法等检测方法。

7.1.2 悬索桥索夹螺杆轴力检测宜采用压力环法，也可采用拉拔法、超声波法等检测方法。

7.1.3 桥梁索杆轴力检测宜全数检测。

7.1.4 悬索桥索夹螺杆轴力检测宜采用循环抽检方式，每次抽检比例不应低于总数的 30%。选取的索夹螺杆应包括靠近主塔、1/4 跨附近和跨中的吊索，在主塔至 1/4 跨区域选取的螺杆数量不宜少于测试螺杆总数的 50%。

7.2 加速度传感器法

7.2.1 测量设备及元器件应满足下列要求：

1 测量系统包括传感器、放大器、信号采集与分析仪器；

2 传感器及信号采集系统应有足够的灵敏度，可测量索在自然环境激励或人工激振下的横向振动信号；

3 测量系统的频响范围应能满足不同索的自振频率测量要求，频率响应范围宜不小于预估基频的 5 倍～10 倍，系统应能在采集过程中同时显示拉索振动的时域信号和频谱分析结果；

4 信号采集与分析仪器，应有抗混叠滤波和频率分析功能，频率分辨率应至少达到 0.01Hz；

5 传感器防护等级应不低于 IP66。

7.2.2 桥梁索力加速度传感器振动测试应符合下列规定：

1 可采用随机环境激励的测量方法，采集索在随机环境激

励下的振动信号。当测试系统灵敏度不够时，可采用人工激振；

2 测试传感器应用专门的夹具或绑带固定在索杆的侧面，测量索杆的横桥向振动信号，测试传感器应避免安装于索杆振动模态节点或驻点位置；

3 采样频率不应小于索股第 5 阶自振频率的 5 倍，且不应低于 100Hz，频率分辨率应不大于有效频率的 1%，记录时间宜大于 300s；

4 采集振动信号时，应注意观察信号质量，同时进行实时频谱分析；

5 日常监测时宜避开不良天气影响，且宜在一天中温差最小的时刻进行量测，并记录当时的温度和风速，同时，应避开有重载车通行的时刻。

7.2.3 拉索振动频率测试现场工况记录表模板参见本标准附录 B 表 B.0.4。

7.2.4 描述索的抗弯刚度影响的无量纲参数可采用式（7.2.4）计算：

$$\xi = \sqrt{\frac{T_d}{EI}} L \quad (7.2.4)$$

式中： T_d ——设计索力或成桥索力；

EI ——索的抗弯刚度；

L ——索的计算长度。

7.2.5 索力计算应符合下列规定：

1 根据实测的前几阶自振频率值，按每一阶自振频率计算索力，一般宜取前 5 阶计算值的均值作为索力实测值；

2 当索的抗弯刚度可以忽略（ $\xi > 210$ ）时，按式（7.2.5-1）计算索力：

$$T = \frac{4\rho L^2 f_n^2}{n^2} \quad (7.2.5-1)$$

式中： T ——索力；

ρ ——索的线密度；

f_n ——索的第 n 阶自振频率;

n ——自振频率阶数。

3 当索的抗弯刚度不可忽略 ($\xi \leq 210$), 且索两端约束条件可简化为简支时, 按式 (7.2.5-2) 计算索力:

$$T = \frac{4\rho L^2 f_n^2}{n^2} - \frac{n^2 EI \pi^2}{L^2} \quad (7.2.5-2)$$

4 当索的抗弯刚度不可忽略 ($\xi \leq 210$), 且索长与索直径的比值小于 100 时, 按式 (7.2.5-3) 计算索力:

$$T = \frac{4\rho L^2 f_n^2}{(n+0.1)^2} - \frac{(n+0.9)^2 EI \pi^2}{L^2} \quad (7.2.5-3)$$

7.2.6 对于两端边界条件更为复杂的拉索, 宜采用有限元法或其他方法计算索力。

7.3 光学图像法

7.3.1 光学图像测量设备应满足下列要求:

- 1 可采用工业相机或普通相机;
- 2 成像设备的量程和分辨率应满足被测拉索的测试精度要求;
- 3 成像设备的采样频率应不低于 50Hz, 频率分辨率应不小于 0.01Hz ;
- 4 应具备相机参数设置、数据采集和处理、数据储存等功能。

7.3.2 现场测试应符合下列要求:

- 1 现场测量应具备良好的通视条件;
- 2 成像设备应布设在稳固的地面或平台上, 设备站点视野应能覆盖拉索所选定测量区域, 成像设备光轴应尽量垂直于拉索长度方向;
- 3 拉索测量区域应选择拉索表面特征明显位置, 并应远离锚固端, 避开模态节点区域;
- 4 测量现场应对测点与测量仪器进行防护, 避免日照、风

雨、振动等干扰；

5 多根拉索索力同时测量时，应综合考虑成像设备分辨率、视场范围、镜头焦距等影响因素。

7.3.3 数据分析应符合下列要求：

1 应视具体要求选择适宜的图像进行预处理；

2 应在初始参考图中选择被测拉索的目标，通过图像追踪算法得到拉索的位移；

3 测量的拉索位移数据应进行预处理，并进行拉索频谱分析，读取能量峰值对应的横坐标作为拉索的各阶固有频率；

4 结合拉索已知参数和测量所得动力特性，按照本标准第7.2.5条索力公式求解索力。

7.4 微波雷达法

7.4.1 微波雷达测量设备应满足下列要求：

1 测量设备包括雷达主机、计算机和电源等；

2 工作频率应符合国家无线电监测中心的规定；

3 位移测量精度应不低于0.02mm，距离分辨率应不低于2m；

4 设备的采样频率应不低于50Hz，频率分辨率应不小于0.01Hz；

5 应具备雷达工作参数控制调节、被测拉索位移监控、拉索数据采集处理、测试数据读取显示等功能。

7.4.2 现场测试应符合下列要求：

1 测试应在气象条件相对稳定，且不受强电磁场、电场以及振动等干扰时进行；

2 设备宜布设在稳固的地面或平台上以避免振动；

3 设备站点视野应能覆盖拉索所选定的测量区域，并应避免障碍物遮挡被测拉索；

4 拉索测量区域应远离锚固端，避开模态节点区域；

5 应根据各拉索与微波雷达设备的距离确认拉索的编号，并做好工况记录。

7.4.3 应选择适宜的拉索位移数据处理方法，按照本标准第 7.2.5 条索力公式求解索力。

7.5 压力环法

7.5.1 测量设备及元器件应满足下列要求：

- 1 测量值应不超过设备额定量程的 80%；
- 2 测量精度应优于 $\pm 1\%F.S.$ ；
- 3 防护等级应不低于 IP67；
- 4 应配备自供电无线传输电路和供电系统。

7.5.2 压力环传感器标定的主要步骤包括：

1 预压。对传感器施加至少 3 次以上的预压。每次预压应使传感器荷载达到工作量程上限值，待荷载稳定后实施卸载；

2 正式加载。在传感器有效工作量程范围内实施分级加载，加载级数宜取 6 级～10 级，记录各级荷载下传感器的输出值，加载至最大值后实施分级卸载；

3 重复上述加卸载流程，至少完成 3 次循环标定。

7.5.3 压力环传感器现场安装应符合下列要求：

1 安装前应对传感器进行力值标定，得到施加荷载与输出信号的关系；

2 传感器中心应与索杆截面中心重合；

3 索杆张拉期间应测量和记录传感器输出力值。

7.5.4 传感器通过相邻两次不同周期的观测值相比较，计算索力变化情况。索力 T 的计算方法如下：

$$T = k_1 (e_i - e_0) \quad (7.5.4)$$

式中： k_1 ——索力传感器标定系数；

e_i ——第 i 次测量时电信号值；

e_0 ——电阻式传感器安装后的初始电信号值。

7.6 拉拔法

7.6.1 拉拔法设备和元器件应满足下列要求：

- 1 试验加载可采用油压千斤顶或拉拔仪；
- 2 压力表测定千斤顶油压的精度宜不低于满量程的 1%；
- 3 当达到最大试验荷载时，试验用油泵、油管的工作压力不应超过其额定压力的 80%；
- 4 千斤顶、压力传感器的量程不应小于试验要求的最大试验荷载的 1.2 倍。

7.6.2 拉拔法现场测试应符合下列要求：

- 1 试验加载设备作用力方向应与测量螺杆的轴线方向重合；
- 2 荷载测量宜采用并联于千斤顶油路的压力传感器，也可采用经过校准的油压表；
- 3 应对螺杆长度的变化值进行精确测量，根据螺杆伸长量和拉应力的关系确定螺杆轴力；
- 4 应采用逐级等量加载和卸载的方式，各级荷载维持时间不应少于 5min。

7.6.3 拉拔法的现场试验检测记录表模板参见本标准附录 B 表 B.0.5。

7.7 超 声 波 法

7.7.1 超声波法设备和元器件应满足下列要求：

- 1 超声波纵波单波测试仪应具有超声波声速、声时计算的功能，超声波回波纵横波双波测试仪应具有超声波声速、声时比计算的功能；
- 2 超声波测试仪的轴力测量精度不应超过 $\pm 3\%$ ；
- 3 超声波检测探头宜采用收发一体压电探头或者电磁超声探头；
- 4 应使用适当的耦合剂或电磁耦合，确保超声波探头与被检件表面耦合良好。

7.7.2 超声波法检测索夹螺杆轴力前应开展以下准备工作：

- 1 采用拉伸试验机对螺杆进行逐级加载，测量每级加载稳定后的回波声时，并记录加载拉力；

2 拟合加载拉力与回波声时差或纵横波声时比的关系函数, 检验是否满足线性关系;

3 通过室内试验标定螺杆轴力与回波声时差或纵横波声时比的综合线性系数 K 。对于单波法可按式 (7.7.2) 进行估算:

$$K = \pi D^2 \frac{E_s}{8(r_s + D_s)} \frac{K_s c_{t0}}{1 + K_t(t_c - t_{c0})} \quad (7.7.2)$$

式中: E_s ——螺杆材料弹性模量;

r_s ——两端螺母内侧间距;

D_s ——螺杆公称直径;

t_c 、 t_{c0} ——分别为螺杆当前测量温度和基准测量温度, 测量温度时以螺杆两端与中间温度的均值作为螺杆温度;

K_s 、 K_t ——分别为螺杆应力系数和温度系数, 由螺杆材料决定;

c_{t0} ——实验室基准测量温度为 t_{c0} 时无应力状态下的超声波传播速度。

7.7.3 超声波法检测索夹螺杆轴力可按下列步骤进行:

1 对于纵波单波方法, 螺杆张拉前应测量螺杆的无应力超声回波声时;

2 测量已紧固螺杆内超声回波的声时和温度;

3 采用式 (7.7.3) 计算螺杆轴力:

$$F = K \Delta S \quad (7.7.3)$$

式中: F ——已紧固螺杆轴力;

K ——螺杆轴力与回波声时差或纵横波声时比的综合线性系数, 与螺杆材料物理、几何、力学属性及超声波声速相关, 需要进行室内或现场试验标定;

ΔS ——待测螺杆轴力状态与无应力状态超声声时差或纵横波声时比。

7.7.4 螺杆无应力回波声时为未知时, 应使用千斤顶将螺杆张拉至施工荷载, 测量超声回波声时, 根据经验公式计算该螺杆的无应力回波声时, 再按照本标准第 7.7.3 条的规定计算已紧固螺杆轴力。

7.8 结果评定

7.8.1 索杆轴力偏差率 K_T 可按下式计算:

$$K_T = \frac{T_m - T_d}{T_d} \times 100\% \quad (7.8.1)$$

式中: K_T ——索杆轴力偏差率;

T_m ——实测索力值;

T_d ——设计索力或成桥索力。

7.8.2 索杆轴力偏差率超过 10% 时, 宜进行专项评估。

7.8.3 索夹螺杆紧固轴力降低超过 30% 时, 宜进行专项评估。

8 主缆变形监测

8.1 一般规定

8.1.1 悬索桥主缆变形监测宜采用全球卫星导航系统（GNSS）测量方法，也可采用光学测量方法。如有必要可选择两种测量方法相互校验。

8.1.2 主缆变形监测的永久观测点宜布置于单跨 8 等分点附近的索夹上，永久观测点数量每跨每缆不宜少于 9 个点，且在主缆最低点、桥跨 1/4 处和最高点处必须布设。

8.1.3 应准确记录监测时刻的温度、风速等环境参数。变形基准值监测应减少温度等环境因素的影响，变形监测结果应结合环境及效应监测的结果进行修正。

8.2 GNSS 测量方法

8.2.1 监测数据应与悬索桥的环境、作用和结构响应监测数据同步，宜采用北斗卫星导航时钟同步技术，同步精度应符合下列规定：

- 1 动态监测变量的数据采集时钟同步误差应小于 0.1ms；
- 2 静态监测变量的数据采集时钟同步误差应小于 1ms。

8.2.2 监测数据采集频率应满足采样定理、监测数据分析和应用要求。

8.2.3 监测数据应转换为大桥独立坐标系。水平方向测量误差应不大于 20mm，垂直方向测量误差应不大于 50mm，技术指标应符合现行国家标准《低轨星载 GNSS 测量型接收机通用规范》GB/T 39410 的相关规定。

8.3 光学测量方法

8.3.1 悬索桥主缆变形光学测量应符合下列规定:

1 索杆结构桥梁应设立永久观测点和控制网, 定期进行精度核查。

2 未设置永久观测点的索杆结构桥梁, 应在初始检测或定期检测时按规定补设。永久控制点应布设在桥梁主体结构以外的稳定地基上, 每座桥不应少于 3 点。

3 永久观测点、永久控制点的设置应牢固可靠, 当测点与国家高程控制网成果联测有困难时, 应建立相对独立的基准测量系统。基准点或永久观测点有变动时, 应及时检测、校准及换算, 保持观测数据的有效性和连续性。

4 永久控制点、永久观测点的布设位置图及其基准点位置和初次检查数据, 应按要求归档。

5 永久观测点数量每跨不宜少于 10 个, 并宜沿索夹位置布设, 主缆最低点和最高点应布设永久观测点。

8.3.2 主缆变形监测基准点应符合下列规定:

1 监测基准点应设置在变形影响范围以外且位置稳定、易于长期保存的地方, 宜避开高压线。宜设置同时满足沉降基准点和位移基准点布设要求的基准点。

2 基准点应埋设标石或标志, 且应在埋设达到稳定后方可开始进行变形测量。稳定期应根据观测要求与地质条件确定, 不宜少于 7d。基准点应每期检测、定期复测。

3 当基准点与所测主缆距离较远致使变形测量作业不方便时, 宜设置工作基点。

4 首期基准点测量及每期复测后, 应进行数据处理, 获得各期基准点的平面坐标和高程。对两期及以上的变形测量, 应根据测量结果对基准点的稳定性进行检验分析。

8.3.3 主缆变形测量应以中误差作为衡量精度的指标, 并以两倍中误差作为极限误差。

8.4 数据整理与分析

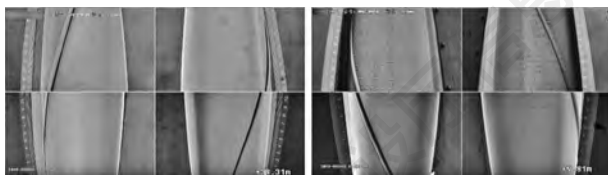
8.4.1 每期变形观测结束后，应依据测量误差理论和统计原理对观测数据进行平差处理和变形量计算。

8.4.2 主缆线形应满足设计要求，监测位移的阈值应由桥梁设计单位提供。

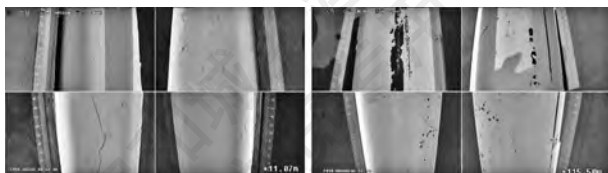
8.4.3 主缆监测变形数据大于阈值时，宜进行专项论证。

附录 A 桥梁索杆常见病害示例

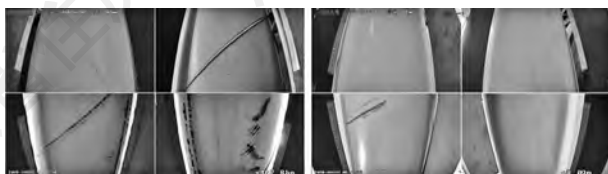
A.0.1 桥梁索杆防护套常见病害见图 A.0.1，索杆钢丝常见病害见表 A.0.1。



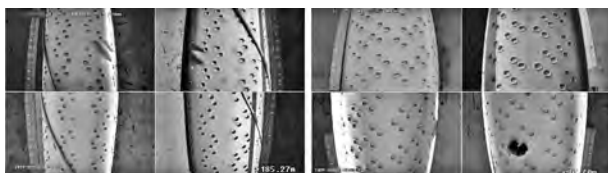
(a) 微裂纹



(b) 涂装裂纹、破损

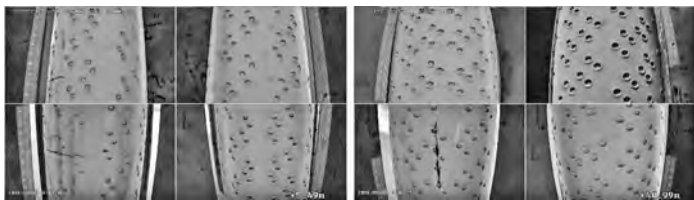


(c) 刮痕、刮伤

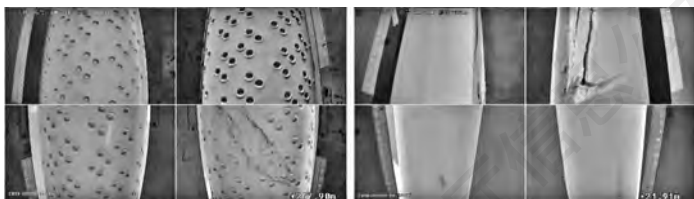


(d) 挤压变形、孔洞

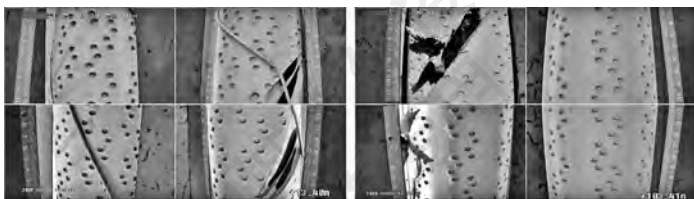
图 A.0.1 桥梁索杆防护套常见病害图例



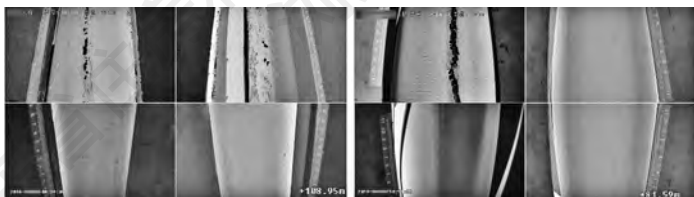
(e) 开裂



(f) 修补痕迹、修补开裂



(g) 严重刮伤

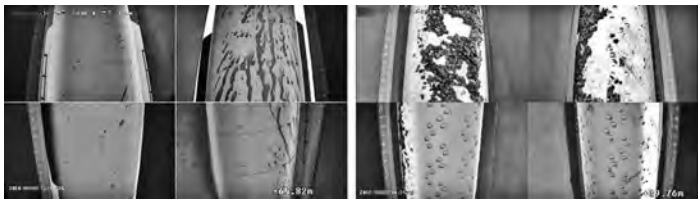


(h) 严重纵向开裂

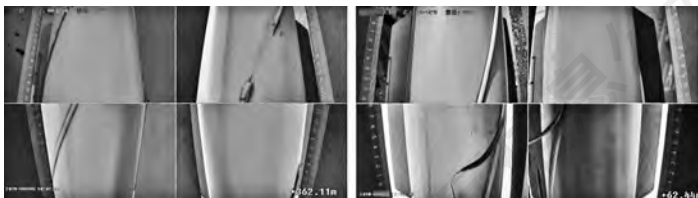


(i) 严重环向断裂

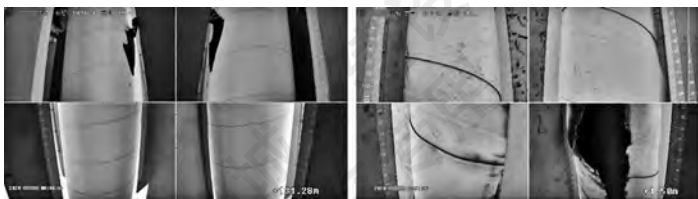
图 A.0.1 桥梁索杆防护套常见病害图例 (续)



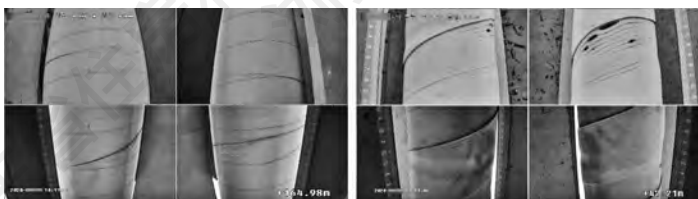
(j) 污迹、附着物



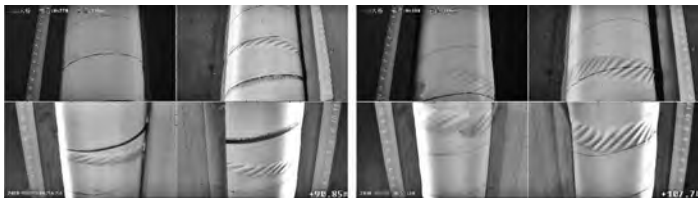
(k) 螺旋线破损



(l) 防护带破损



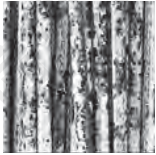
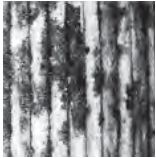
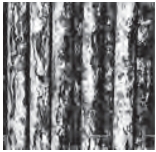
(m) 缠包带褶皱、开裂



(n) PE 环向凹痕

图 A.0.1 桥梁索杆防护套常见病害图例 (续)

表 A.0.1 索杆钢丝锈蚀、断丝病害示意

标度	病害描述	典型病害照片
1	完好	—
2	钢丝镀锌层析白或钢丝有极少量锈蚀；锈斑分布面积占开窗表面积的比例小于 10%	
3	钢丝少量轻微锈蚀，截面未明显削弱，钢丝无断裂；锈斑分布面积占开窗表面积的比例大于 10% 且小于 50%	
4	钢丝较多锈蚀或损坏，锈斑分布面积占开窗表面积的比例大于 50%，钢丝无断裂，截面出现削弱	
5	钢丝大量锈蚀，存在钢丝断裂现象	

附录 B 桥梁索杆检测记录表

B.0.1 索杆护套外观检测记录表模板见表 B.0.1。

表 B.0.1 索杆护套外观检测记录表

委托编号:_____ 项目名称:_____ 检测日期:____年____月____日
设备型号:_____ 设备编号:_____ 环境条件:_____

序号	索杆编号	索杆长度	索杆规格	测试结果（文件名）	备注
				</	

检测: 记录: 复核:

B.0.5 索夹螺杆拉拔试验记录表模板见表 B.0.5。

表 B.0.5 索夹螺杆拉拔试验记录表

委托编号:_____ 项目名称:_____ 检测日期:____年____月____日
设备型号:_____ 设备编号:_____ 环境条件:_____

索夹 编号	螺杆 编号	设计值 (kN)	螺杆拉松		差值 (kN)	备注
			油压 (MPa)	力值 (kN)		

检测:_____ 记录:_____ 复核:_____

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样不可的：

正面用词采用“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的：

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：

正面词用“宜”，反面词用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

《低轨星载 GNSS 测量型接收机通用规范》GB/T 39410