

CQJTG/T A12-2025

# 重庆市交通行业推荐性标准

## 公路桥梁缆索结构养护技术指南

Technical Guide for Maintenance of Cable Structure of Highway Bridge

2024-03-25 发布

2024-05-01 实施

重庆市交通运输委员会 发布

## 前言

根据重庆市交通运输委员会下达的任务书《公路桥梁缆索结构养护技术指南》，由招商局重庆交通科研设计院有限公司联合相关单位承担《公路桥梁缆索结构养护技术指南》（以下简称“本指南”）制订工作。

缆索结构作为桥梁的关键构件，对其进行养护和加固是确保缆索承重桥梁使用性能和寿命的基础，需要明确规定桥梁缆索结构的检查与监测、评定、养护及养护管理等方面的内容。当前国内涉及到桥梁缆索结构养护的相关规范较少，且其中的技术规定均不够完善，不同省份养护模式也存在差异。因此，为提高重庆市公路桥梁缆索结构及缆索承重桥梁养护技术水平，保障公路桥梁缆索养护质量，统一并规范养护工作流程，结合重庆市公路桥梁缆索结构养护工作实际情况，特制定本指南。

本指南是在广泛调查研究的基础上，认真总结近些年重庆市及全国公路桥梁缆索结构养护经验成果，查阅公路桥梁缆索结构养护文件资料，参考国内外有关标准、规范和规程，并征求相关单位意见进行修订，最终制订形成。

本指南包括 7 章和 5 个附录，分别是 1 总则、2 规范性引用文件、3 术语和定义、4 缆索结构检查与监测、5 缆索结构评定、6 缆索结构养护、7 养护质量检验与评定、附录 A 规范性检查表格、附录 B 桥梁缆索结构基本状况卡片、附录 C 缆索结构技术状况评定表、附录 D 平行钢丝绳极限承载能力评定、附录 E 平行钢丝绳疲劳损伤度评估方法。

本指南由重庆市交通运输委员会负责管理，由招商局重庆交通科研设计院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送招商局重庆交通科研设计院有限公司（地址：重庆市南岸区学府大道 33 号；邮政编码：400067，电话：18008377193，电子邮箱：yankun1@cmhk.com），以便修订时参考。

**主编单位：**招商局重庆交通科研设计院有限公司

**参编单位：**重庆市公路事务中心

重庆交通大学

重庆渝合高速公路有限公司

重庆万桥交通科技发展有限公司

重庆大学

重庆通力高速公路养护工程有限公司

**主 编：**李 琦

**编制人员：**蒋超越 周建庭 朱顺芳 王笑晨 严 琨 张军政 姚建军

张 洪 徐朝万 苏 梁 刘义峰 刘 纲 孙 瑞 张 伟

徐素芳 曾 渝 赵 戈 郑 熙 余 阳 郁泽华 安 峰

赵鸿瑞 贾黎丽 曹怀松 薛飞宇 石光辉 陈 浩 李 闯

陈学兵 张 恒 杨凌飞 彭开彦 王兴兴 胡 浩 徐代苓

**审查人员：**向中富 曾德云 胡 涛 刘安双 吴海军 杜细春 郑升宝

张 昶 崔英明

## 目 录

1 总则 .....	1
2 规范性引用文件 .....	2
3 术语和定义 .....	3
4 缆索结构检查与监测 .....	4
4.1 一般规定 .....	4
4.2 初始检查 .....	4
4.3 日常巡查 .....	4
4.4 经常检查 .....	5
4.5 定期检查 .....	6
4.6 特殊检查 .....	8
4.7 专项检查 .....	10
4.8 缆索结构监测 .....	11
5 缆索结构评定 .....	13
5.1 一般规定 .....	13
5.2 技术状况评定 .....	13
5.3 适应性评定 .....	20
6 缆索结构养护 .....	22
6.1 一般规定 .....	22
6.2 斜拉索的养护 .....	24
6.3 主缆的养护 .....	27
6.4 吊（系）索的养护 .....	28
7 养护质量检验与评定 .....	31
7.1 一般规定 .....	31
7.2 养护质量检验 .....	31
7.3 养护质量评定 .....	32
附录 A 规范性检查表格 .....	33
附录 B 桥梁缆索结构基本状况卡片 .....	34

附录 C 缆索结构技术状况评定表 .....	36
附录 D 平行钢丝索极限承载能力评定 .....	37
附录 E 平行钢丝索疲劳损伤度评估方法 .....	39

# 1 总则

1.0.1 为规范重庆市公路桥梁缆索结构养护，提高重庆市公路桥梁缆索结构养护技术水平，特制定本指南。

1.0.2 本指南适用于重庆市公路缆索承重体系桥梁中的斜拉桥拉索、悬索桥主缆和吊索、拱桥吊索和系索等缆索结构的养护。

1.0.3 公路桥梁缆索结构应积极推广应用信息化、数字化、智能化养护。

1.0.4 公路桥梁缆索结构养护除应符合本指南的规定外，尚应符合国家、行业和地方现行有关标准的规定。

## 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，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 18365 斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索

GB/T 31212 无损检测 漏磁检测 总则

GB/T 30826 斜拉桥钢绞线拉索技术条件

GB/T 31211.2 无损检测 超声导波检测 第2部分：磁致伸缩法

JT/T 449 公路悬索桥吊索

JT/T 1037 公路桥梁结构监测技术规范

JTG 5120 公路桥涵养护规范

JTG 5122 公路缆索结构体系桥梁养护技术规范

JTG 5220 公路养护工程质量检验评定标准

JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范

JTG/T J21-01 公路桥梁荷载试验规程

JTG/T J22 公路桥梁加固设计规范

JTG/T J23 公路桥梁加固施工技术规范

JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准

JTG/T 3650-01 公路桥梁施工监控技术规程

JTG/T 5214 在用公路桥梁现场检测技术规程

CJ/T 297 桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.0.1 专项检查

缆索结构损伤程度、成因与影响，以及使用功能和安全性评估所需的专门检测与试验工作。

### 3.0.2 主缆开缆检查

将主缆一定范围内的防护拆除，通过楔开主缆对内部钢丝腐蚀状态进行的检查。

### 3.0.3 平行钢丝索疲劳损伤度

平行钢丝拉（吊）索在腐蚀、应力循环等作用下的累计疲劳损伤程度。

### 3.0.4 预防养护

在适当的时机，主动对缆索结构进行防腐、防护修复、防水处理等主动性、周期性养护措施。

## 4 缆索结构检查与监测

### 4.1 一般规定

4.1.1 缆索结构的检查应分为初始检查、日常巡查、经常检查、定期检查、特殊检查和专项检查。

4.1.2 缆索结构检查过程中发现存在明显异常的，应立刻处理。

#### 条文说明：

缆索结构明显异常主要包括：拉（吊、系）索异常振动、断裂，索夹、锚固系统出现裂纹，缆索结构遭受火灾、撞击、化学物质腐蚀等。

4.1.3 缆索结构检查与监测资料应归入桥梁养护档案。

### 4.2 初始检查

4.2.1 初始检查除应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的相关规定外，还应符合下列规定：

1. 初始检查宜与交工验收同时进行，最迟不得超过交付使用后 1 年；
2. 缆索构件更换后应进行初始检查，且与更换交工验收同步进行；
3. 加固改造实施前、过程中及验收后应保持索力、索夹螺杆紧固力和主缆锚跨索股轴力等数据的连贯可测性。

4.2.2 初始检查应包括下列内容：

1. 拉（吊、系）索索力及主缆索股力；
2. 拉（吊、系）索的防护及锚固区；
3. 主缆防护及锚固系统；
4. 索夹螺杆紧固力；
5. 主缆除湿系统。

### 4.3 日常巡查

4.3.1 日常巡查应每天进行 1 次，巡查范围应涵盖目视可及的缆索结构。

#### 条文说明：

日常巡查的目的是及时发现目视清晰可见的缆索结构明显损伤或功能异常等情况，及时了解缆索结构各构件的状态，及早发现可能出现的突发事件，为日常养护管理决策提供依据。

#### 4.3.2 日常巡查应包括下列内容：

1. 斜拉索是否有明显扭曲、振动异常、挂冰，外置阻尼器是否松脱、破损；
2. 主缆是否有振动异常、挂冰，线形最低点处是否渗、流水；
3. 吊索是否有异常振动，减振架是否移动、滑落；
4. 缆索结构附属灯饰、避雷线是否有松脱。

#### 4.3.3 日常巡查可以目测为主，并符合下列规定：

1. 应配备望远镜、照相机等设备；
2. 应按照附录 A 的表 A.1 现场填写“日常巡查检查表”；
3. 宜采用电子化巡检设备。

### 4.4 经常检查

4.4.1 斜拉索、主缆、悬索桥吊索的检查频率应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的相关规定；拱桥吊（系）索的检查频率应按照公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)中悬索桥吊索检查频率的有关规定执行；极端天气、自然灾害频发期及汛期应提高经常检查频率。

#### 条文说明：

极端天气包括连续高温、暴雨、冰冻等，自然灾害包括洪水、泥石流、滑坡、落石等。

4.4.2 经常检查内容除应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的有关规定外，还应包含下列内容：

1. 塔端索导管与斜拉索护套密封是否可靠，钢绞线护套管是否脱出索导管，橡胶圈有无老化或严重磨损，橡胶圈固定装置有无损坏；
2. 斜拉索、吊（系）索锚具保护罩是否脱落、积水、漏油；
3. 检查斜拉索及吊索的耳板与销轴是否有锈蚀、裂缝，能否正常转动，护筒与锚杯连接位置是否有脱开；
4. 散索套是否有松动和滑移痕迹，面漆是否有起皮脱落，外观是否有裂缝及锈蚀，密封填料是否有老化、开裂；

5. 索夹、散索套螺杆是否有缺失、损伤、松动，索鞍座螺杆、锚栓是否有松动现象，索槽填块有无滑移，对拉螺杆是否有松弛或断裂；

6. 吊索减振架是否有松动、脱落；

7. 主缆除湿系统是否工作正常，除湿系统风管接头部位、索夹及送排气罩端部的封缝是否有空气泄漏，主缆内部湿度是否符合要求；

8. 拱肋锚固面有无积水，钢构件有无涂层劣化、剥落、锈蚀、焊缝裂纹、螺栓松脱断裂；

9. 柔性系索线形是否异常，有标记位置是否发生异常位移。混凝土包裹系杆的表面是否开裂，刚性系杆是否有涂层粉化、起泡、脱落、裂纹，系杆结构表面是否有裂缝，焊缝是否开裂，高强螺栓是否锈蚀松动或缺失，构件局部是否有异常变形，内部有无水迹或积水。

4.4.3 经常检查可以目测为主，并符合下列规定：

1. 应配备必要的工具、设备；

2. 现场填写附录 A 表 A.2 “桥梁缆索结构经常检查记录表”，且不得事后回忆补填，并及时归档；

3. 条件具备宜采用电子化巡检设备；

4. 部分缆索结构构件无法靠近检查病害，需要在检查记录中明确备注说明，以便在定期检查时重点检查。

## 4.5 定期检查

4.5.1 斜拉索、主缆体系、悬索桥吊索的检查频率应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的相关规定；拱桥吊（系）索的检查频率应按照公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)中悬索桥吊索检查频率有关规定执行。

4.5.2 定期检查内容除应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的规定外，还应包含下列内容：

1. 检查主缆索股、斜拉索及吊（系）索索力和振动有无异常变化，索力偏差是否超过 10%或设计规定允许值；

2. 逐束检测索体防护套是否开裂、鼓胀及变形，必要时可剥开护套检查索内干湿情况和钢丝的锈蚀情况，检查后应做好保护套剥开处的修复处理；

3. 检查索导管是否脱漆、锈蚀，导管内有无积水，导管与索体密封是否可靠，橡胶圈是否老化或严重磨损，橡胶圈固定装置有无损坏，阻尼器有无异常变形、松动、漏油、螺栓缺失、结构脱漆、锈蚀、裂缝；

4. 逐个检查锚具保护罩是否渗水、锈蚀，是否有锈水流出的痕迹，锚固区是否开裂。打开锚具保护罩检查保护罩内是否积水、潮湿，防锈油脂是否结块、乳化失效，锚杯是否锈蚀，必要时打开锚具封板进行检查。除特大锚头的检查应符合本指南第 4.7.2 条的规定外，打开锚具保护罩检测的周期为 3 年，每年选取 1/3 进行检测，检测周期内全覆盖；

5. 检查斜拉索及吊索的耳板是否有锈蚀、裂缝，能否正常转动，护筒与锚杯连接位置是否有脱开，销轴是否有锈蚀、松动；

6. 检查主缆防护及防滑层有无破损、老化，主缆是否渗水，缠丝有无损伤、锈蚀，必要时可以打开涂层和缠丝，检查索股钢丝有无锈蚀、鼓丝、断丝；

7. 检查索夹螺杆有无缺失、损伤、松动，根据桥梁规模和技术状况抽检索夹螺栓紧固力，并在 3~6 年覆盖全部索夹；索夹螺杆紧固力检查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 跨区域不得少于测试螺杆总数 50%；

8. 采用手持式湿度仪对主缆除湿系统进气口和出气口的湿度进行检测，并与系统数据进行对比验证；检查主缆最低点检查窗是否有水气、水滴或积水；检查除湿系统进气口与出气口压力是否符合要求；

9. 对缆索结构进行变形观测，其永久观测点的设置及检测项目应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)定期检查中的相关规定。

#### 4.5.3 定期检查应近接缆索结构，并符合下列规定：

1. 主缆索股、斜拉索及吊（系）索的索力测量除采用加速度传感器法以外，也可采用张拉千斤顶测定法、光学图像法、微波雷达法、压力环法等，其中加速度传感器法应符合《在用公路桥梁现场检测技术规程》(JTG/T 5214)及《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21-01)的有关规定；

2. 斜拉索及吊索的外观检测可采用爬索机器人、无人机视觉检测等检测方法，并给出缆索结构外观缺陷的位置、类型和损伤程度；

3. 悬索桥索夹螺杆紧固力检测可采用拉拔法、压力环法、超声波法等；

4. 悬索桥主缆变形监测可采用全球卫星导航系统（GNSS）测量方法、光学测量方法，如有必要可采用两种测量方法进行校验。

4.5.4 定期检查后应提交定期检查报告，并应包括下列内容：

1. 附录 B 表 B.1 缆索结构基本状况卡片和附录 C 表 C.1 缆索结构部件技术状况评定表；

2. 总体照片 2 张。桥梁正面照片 1 张，桥梁上游侧立面照片 1 张，若上下游桥梁结构不一致，还要有下游侧立面照片，并标注清楚；

3. 典型缺损和病害的照片及说明。缺损状况的描述应采用专业标准术语，说明缺损的部位、类型、性质、范围、数量和程度等；

4. 判断病害原因及影响范围，并与历次检查、维修情况对比分析，说明病害发展情况；

5. 对采用循环检查缆索结构部件、构件的具体划分、抽查规划；

6. 进行技术状况评定，提出养护建议：

1) 缆索结构保养小修的建议，需要大中修或改造、更换的缆索结构，说明维修的项目；

2) 对难以判断损坏程度和损伤原因的缆索结构，提出作特殊检查的建议；

3) 当缆索结构损坏严重，危及安全时，立即提出限载以及暂时限制交通的建议。

## 4.6 特殊检查

4.6.1 缆索结构存在下列情况时，应实施特殊检查：

1. 桥梁遭受撞击、自然灾害或人为损伤，或未经许可的超重大件车辆通行后，并可能对缆索结构产生影响的；

2. 经常检查或定期检查中存在难以判明损伤原因及程度的缆索结构；

3. 缆索结构出现异常振动的；

4. 拟提高或恢复设计承载等级而需要进行修复加固的桥梁；

5. 缆索结构达到设计使用年限后需要判断能否继续使用的；

6. 定期检查中技术状况被评定为 4、5 类的缆索结构；

7. 斜拉索、吊（系）索索体钢丝锈蚀、断丝检查；

8. 定期检查发现桥梁缆索结构加速退化，需要补充检测的。

**条文说明：**

1 桥梁遭受撞击主要包括车辆撞击桥塔或缆索，船舶撞击桥塔或主梁，落石撞击主梁或缆索。人为损伤主要包括火灾、有害化学液体污染侵蚀等可能导致缆索结构损伤人为异常事件。

4.6.2 缆索结构的特殊检查应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122) 的相关规定。

4.6.3 斜拉索、吊（系）索索体钢丝锈蚀、断丝检查应符合下列规定：

1. 斜拉索、吊（系）索存在下列情况时，应进行索体钢丝锈蚀、断丝检查：

- 1)斜拉索、吊（系）索技术状况评定为 3 类及以上；
- 2)斜拉索、吊（系）索防护层技术状况被评定为 4 类及以上；
- 3)斜拉索、吊（系）索锚具技术状况被评定为 3 类及以上；
- 4)运营超过 5 年未进行索体钢丝锈蚀、断丝检查的。

2. 运营超过 10 年的索体宜通过开窗方式对索体钢丝锈蚀、断丝情况进行抽查验证；

3. 索体钢丝锈蚀、断丝检查可采用磁致伸缩超声导波法、漏磁法等无损检测方法，检测信号经分析存在异常的，可通过开窗方式进行验证；

4. 磁致伸缩超声导波检测应符合《无损检测 超声导波检测 第 2 部分：磁致伸缩法》（GB/T 31211.2）及《在用公路桥梁现场检测技术规程》（JTG/T 5214）第 6.6 节的相关规定，漏磁法应符合《无损检测 漏磁检测 总则》（GB/T 31212）的相关规定。

4.6.4 实施特殊检查前，检测单位应搜集下列资料：

1. 设计竣工资料；
2. 缆索结构的主要材料及其力学性能指标；
3. 历次缆索结构定期检测和特殊检查报告；
4. 历年结构监测报告；
5. 历次维修资料；
6. 桥位处气象环境资料；
7. 交通量统计资料。

4.6.5 特殊检查报告应包括下列内容：

1. 缆索结构检测，包括缆索结构几何尺寸、变形情况、材料强度、材料缺

损情况；

2. 缆索结构检算；
3. 缆索结构整体性能、功能状况及剩余使用寿命评估。

## 4.7 专项检查

4.7.1 悬索桥主缆开缆检查应符合下列规定：

1. 主缆首次开缆检查的时间应符合下列规定：

1)主缆安装有除湿系统且正常维护，主缆防护系统状态良好，其首次开缆检查的时间最长可为建成运营后 20 年；

2)主缆未安装除湿系统的，其首次开缆检查时间宜在建成运营后 10 年内；

3)养护过程中发现存在主缆防护层破损(含索夹环缝密封损坏)、缠丝松弛、表面锈斑、表面鼓丝(锤击有空响)与内部渗水等现象，应及时进行首次开缆检查。

2. 首次开缆后，主缆再次开缆检查的时间间隔应符合下列规定：

1)检查发现钢丝主要为 I 级，则下次开缆检查的时间间隔可为 15 年；

2)检查发现钢丝主要为 II 级或 III 级，则下次开缆检查的时间间隔可为 10 年；

3)检查发现存在 IV 级钢丝，则下次开缆检查的时间间隔最长可为 10 年；

4)对于设置有观察窗的主缆，其再次开缆时间应视实际情况确定。

3. 主缆钢丝腐蚀分级、开缆检查部位、开缆检查方法应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)附录 C 的相关规定。

### 条文说明：

主缆开缆检查是确定主缆钢丝腐蚀情况的有效方法。悬索桥主缆首次开缆检查的时间主要取决于主缆防护系统的功能是否完好、环境情况、是否安装有除湿系统等方面，如果主缆防护系统完好、主缆除湿系统工作正常，则主缆钢丝不易腐蚀，首次开缆时间可以更晚一点，反之则需要尽快开缆检查以确定主缆钢丝的腐蚀状态。

对于首次开缆后的再次开缆检查，开缆间隔时间越短，则可以越早确定主缆钢丝腐蚀状态；同时开缆去除主缆的防护层，开缆完成后再对防护层进行恢复，而在开缆过程中可能会渗入雨水及防护层修复不到位导致防护层破损，这有可能加快主缆钢丝的腐蚀。综合以上因素，以及考虑主缆是否安装除湿系统

及防护系统状态是否良好，对再次开缆的时间间隔进行了规定。

施工期存留在主缆内部的水、主缆防护系统破坏后进入的水等共同在主缆内部形成一个封闭的湿热环境，且无法主动排除，当主缆钢丝镀层消耗完后，就会发生铁基体锈蚀最终导致断丝。对于开缆检查仅能确定钢丝的腐蚀状态并以此对主缆的承载能力进行评估，加装主缆除湿系统及对主缆防护系统进行定期维护才是确保主缆使用寿命的最有效手段，而加装主缆除湿系统的最佳时机为钢丝未发生铁基体锈蚀前，即在钢丝未发生腐蚀或仅镀层腐蚀时。

4.7.2 钢绞线股数超过 80 束或平行钢丝规格超过 PES7-379 的斜拉索及吊（系）索特大锚头的检测应符合下列规定：

1. 打开锚具保护罩检查锚头状况的周期不应超过 5 年；
2. 打开锚具保护罩时应小心、谨慎，避免破坏保护罩上的原有涂装、损坏锚固构件，同时防止护罩、连接螺栓掉落桥下；
3. 下锚头检修平台宜选用臂架式桥检车，其最大作业幅度、作业平台载荷、应满足使用要求；
4. 若下锚头积水较为严重时，打开防水罩进行检查，找出渗漏水点。

## 4.8 缆索结构监测

4.8.1 缆索结构监测除应符合《公路桥梁结构监测技术规范》（JT/T 1037）的相关规定外，还应包括下列内容：

1. 主缆体系应对锚室和鞍罩内的温湿度、吊索和锚跨索股轴力、锚碇周边环境进行监测，宜对主缆内温度和湿度、索夹螺杆紧固力和高强螺栓紧固力、索夹滑移、吊索和主缆断丝情况进行监测；
2. 斜拉索、拱桥吊（系）索应进行索力监测，可采用谐振频率较高的声发射传感器对索体断丝情况进行监测；
3. 桥梁周边施工，如桥位周边基坑、地下工程施工、爆破作业等对缆索结构安全可能产生影响时，应对桥梁进行相应的监测，以及了解周边施工对缆索结构的影响；
4. 索夹螺杆紧固力宜采用智能化监测设备进行长期监测；
5. 缆索结构监测的结果应与经常检查、定期检查与特殊检查相互补充、相互验证。

4.8.2 结构监测应形成季度报告及年度报告，内容应包括：

1. 结构监测的项目、内容及方法；
2. 对获取数据进行统计分析，结合结构理论计算，分析缆索结构性能变化；
3. 与各项检查结果进行比对和分析，说明缆索结构的潜在风险；
4. 对特殊事件监测数据进行专项分析，评估缆索结构安全状态。

## 5 缆索结构评定

### 5.1 一般规定

5.1.1 缆索结构评定分为技术状况评定和适应性评定。

5.1.2 技术状况评定由负责定期检查者进行，适应性评定应委托有相应资质的单位进行。

5.1.3 缆索结构监测与专项检查的结果应与桥梁的经常检查、定期检查与特殊检查相互验证。

### 5.2 技术状况评定

5.2.1 缆索结构部件的技术状况等级应分为 1 类、2 类、3 类、4 类、5 类，技术状况等级评定应符合《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21) 的相关规定。

5.2.2 斜拉索、吊（系）索评定指标及分级评定标准可按表 5.2.2-1~表 5.2.2-10 执行：

1. 索体钢丝锈蚀、断丝评定标准见表 5.2.2-1；
2. 索导管端部防护损坏评定标准见表 5.2.2-2；
3. 橡胶老化变质评定标准见表 5.2.2-3；
4. 锚具渗水、锈蚀评定标准见表 5.2.2-4；
5. 锚头损坏评定标准见表 5.2.2-5；
6. 涂层缺陷评定标准见表 5.2.2-6；
7. PE 护套破损、开裂评定标准见表 5.2.2-7；
8. 外置减振装置失效评定标准见表 5.2.2-8；
9. 金属护套锈蚀评定标准见表 5.2.2-9；
10. 防锈油结块、变质或缺失评定标准见表 5.2.2-10。

表 5.2.2-1 钢丝锈蚀、断丝

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好，钢丝表面存在镀锌氧化物白点	/
2	钢丝表面布满白色氧化物	/
3	钢丝表面存在棕色锈斑	锈斑累计面积>构件面积的 3%且≤10%

4	钢丝表面存在棕色锈斑、点蚀或坑蚀，存在少量断裂现象	锈蚀累计面积>构件面积的10%，有2个以内的锈蚀孔洞
5	钢丝表面存在棕色锈斑、点蚀或坑蚀，存在较多断裂现象	锈蚀累计面积>构件面积的10%，有2个以上的锈蚀孔洞

表 5.2.2-2 索导管端部防护损坏

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	索导管有轻微锈蚀，少部分涂层脱落，密封橡胶轻微老化，防水罩与索体连接部位轻微松动，保护罩有轻微锈蚀	
3	索导管有大范围锈蚀，部分涂层已经脱落，密封橡胶老化严重，防水罩与索体的连接部位开裂	
4	保护罩缺失	

表 5.2.2-3 橡胶老化变质

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	索体端部及缓冲器部位橡胶轻微老化，表面有脏污	
3	端部及缓冲器部位橡胶老化变形	
4	端部及缓冲器部位有破裂渗水现象	

表 5.2.2-4 锚具渗水、锈蚀

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	锚具存在轻微渗水现象，或轻微锈蚀	
3	锚具渗水明显，存在锈蚀现象，涂层因锈蚀而大量剥离	
4	锚具渗水、锈蚀严重，影响锚固效果	

表 5.2.2-5 锚头损坏

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	锚头出现轻微锈蚀现象	
3	锚头出现明显锈蚀、松动现象，对锚固效果存在一定影响，钢绞线夹片脱落数量<5%	
4	锚头出现严重锈蚀、松动现象，严重影响锚固效果，钢绞线夹片脱落数量≥5%	

表 5.2.2-6 涂层缺陷

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述

1	完好	/
2	涂层变色或褪色；涂层轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计失效面积 $\leq 10\%$
3	较大范围涂层有轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计失效面积 $>$ 构件面积的 $10\%$ 且 $\leq 20\%$
4	大范围涂层有轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计失效面积 $>$ 构件面积的 $20\%$

表 5.2.2-7 PE 护套破损、开裂

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	护套轻微破损、开裂，未造成渗水	
3	护套劣化、破损，存在多处开裂，造成局部渗水，螺旋线脱落	
4	护套严重破损、断裂，严重渗水，丧失防护功能，钢绞线斜拉索护套脱落出套管	

表 5.2.2-8 外置减振装置失效

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	减振装置极个别处轻微损坏	
3	减振装置功能异常或失效	

表 5.2.2-9 金属护套锈蚀

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	护套表面发生轻微锈蚀，并且少部分涂层已经剥落	
3	护套表面部分发生锈蚀，并且部分涂层已经剥落，	
4	护套表面发生锈蚀，有大量点蚀现象，涂层因锈蚀而部分剥落或者可以刮除	

表 5.2.2-10 防锈油结块、变质或缺失

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	防锈油有轻微结块、变质或缺失	
3	防锈油结块、变质严重或大量缺失，丧失防护功能	

5.2.3 主缆评定指标及分级评定标准可按表 5.2.3-1~表 5.2.3-7 执行：

1. 主缆外涂装损坏评定标准见表 5.2.3-1；
2. 主缆防护损坏评定标准见表 5.2.3-2；
3. 主缆缠丝损坏见表 5.2.2-2；
4. 主缆线形评定标准见表 5.2.3-4；

5. 主缆腐蚀或索股损坏（脱皮、锈蚀、伤痕）评定标准见表 5.2.3-5；
6. 扶手绳及栏杆绳评定标准见表 5.2.3-6；
7. 索股锚头评定标准见表 5.2.3-7。

表 5.2.3-1 主缆外涂装损坏

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	主缆防护表面有局部面漆变色，个别位置出现破损、老化、漏水	表面漆局部破损，累计面积≤构件面积的 10%
3	主缆表面面漆有部分损坏、裂纹、起皮或剥落；局部位置出现破损、老化、漏水	表面漆破损面积>1%且≤10%
4	主缆表面较大范围面漆有损坏、裂纹、起皮或剥落；局部位置出现严重破损、老化、漏水	表面漆破损面积>10%

表 5.2.3-2 主缆防护损坏

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	主缆防护个别位置出现破损、老化	缠包带、密封胶、纤维布破损面积≤1%
3	主缆防护出现部分破损、老化、漏水	缠包带、密封胶、纤维布防护破损面积>1%且≤10%
4	主缆防护出现大范围破损、老化、漏水	缠包带、密封胶、纤维布防护破损面积>10%

表 5.2.3-3 主缆缠丝损坏

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	极少部位的缠丝外露，但没有生锈	缠丝外露数量≤3%
3	缠丝大范围外露并伴有生锈	缠丝外露数量>3%

表 5.2.3-4 主缆线形

标度	评定标准	
	定性描述	
1	主缆线形完好	
2	主缆线形正常	
3	主缆线形存在较小变化，小于设计允许值	
4	主缆线形存在较大变化，影响结构正常受力	
5	主缆线形存在异常变化，影响结构安全	

表 5.2.3-5 主缆腐蚀或索股损坏

标度	评定标准	
	定性描述	

1	完好
2	主缆局部出现轻微脱皮、锈蚀、伤痕或有麻点，或镀锌钢丝出现少量锌腐蚀亮斑，失去光泽
3	主缆出现少量脱皮、伤痕或轻度至中度腐蚀，缠丝层有较多麻坑，或镀锌钢丝出现较多锌腐蚀，并有白色腐蚀产物，尚未见铁腐蚀
4	主缆出现较多脱皮、伤痕或密布的中等大小腐坑，缠丝层有大量的麻坑，或镀锌钢丝锌层减少，出现铁腐蚀斑点和腐坑
5	主缆缠丝防锈层已经严重腐蚀、断丝，或出现严重脱皮、伤痕、断丝，或镀锌钢丝严重腐蚀、断丝

表 5.2.3-6 扶手绳及栏杆绳损坏

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	检修道上扶手绳及栏杆绳有伤痕并有起丝现象，螺栓存在少量点蚀	/
3	扶手绳、栏杆绳出现多处伤痕，较多螺栓出现轻微锈蚀，个别螺栓出现松动或丢失	截面损失 $>30\%$ ，螺栓松动或丢失数量之和 $<10\%$ 总量
4	扶手绳或栏杆绳有断裂现象，大量螺栓锈蚀较为严重，部分螺栓损坏、松动或丢失	螺栓损坏、松动或丢失数量之和 $\geq$ 总量的 $10\%$

表 5.2.3-7 索股锚头

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	锚头外观未见锈蚀或锈迹现象	
3	锚头出现轻微损坏现象	
4	锚头出现明显损坏、松动现象，对锚固效果存在一定影响	

5.2.4 索夹、缆套、散索套评定指标及分级评定标准可按表 5.2.4-1~表 5.2.4-6 执行：

1. 错位、滑移评定标准见表 5.2.4-1；
2. 涂层缺陷评定标准见表 5.2.4-2；
3. 密封填料损坏评定标准见表 5.2.4-3；
4. 裂纹和锈蚀评定标准见表 5.2.4-4；
5. 螺栓状况评定标准见表 5.2.4-5；
6. 连接件评定标准见表 5.2.4-6。

表 5.2.4-1 错位、滑移

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	无移动	/

2	滑移量 $\leq 10\text{mm}$	滑移量 $\leq 5\text{mm}$
3	索夹有错位、移动	滑移量 $> 5\text{mm}$ 且 $\leq 10\text{mm}$
4	索夹有明显错位、滑动现象	滑移量 $> 10\text{mm}$

表 5.2.4-2 涂层缺陷

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	涂层变色、轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计失效面积 $\leq 10\%$
3	较大范围涂层有轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计失效面积 $>$ 构件面积的 10%且 $\leq 20\%$
4	大范围涂层有轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计失效面积 $>$ 构件面积的 20%

表 5.2.4-3 密封填料损坏

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	索夹填料局部轻微老化，表面有脏污	损坏数量 $\leq$ 总量的 3%
3	索夹填料老化、局部有开裂剥落，部分发生变形	损坏数量 $>$ 总量的 3%且 $\leq 10\%$
4	索夹填料严重老化、有大量开裂剥落	损坏数量 $>$ 总量的 10%

表 5.2.4-4 裂纹和锈蚀

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	索夹局部出现轻微裂纹，或表面少量点蚀、锈斑	
3	索夹外观有较多明显裂缝，或表面普遍点蚀，锈斑或锈坑	
4	夹壁开裂严重或索夹眼板开裂，索夹严重锈蚀	

表 5.2.4-5 螺栓状况

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	存在少量点蚀	/
3	较多螺栓出现轻微锈蚀；个别螺栓出现松动或丢失	松动或丢失数量之和 $<$ 总量 10%
4	大量螺栓锈蚀较为严重；部分螺栓损坏、松动或丢失	损坏、松动或丢失数量之和 $\geq$ 总量的 10%

表 5.2.4-6 连接件

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	

2	存在少量点蚀
3	出现轻微锈蚀
4	锈蚀较为严重

5.2.5 索鞍评定指标及分级评定标准可按表 5.2.5-1~表 5.2.5-3 执行：

1. 上座板与下座板的相对位移评定标准见表 5.2.5-1；
2. 鞍座螺杆、锚栓状况评定标准见表 5.2.5-2；
3. 锈蚀评定标准见表 5.2.5-3。

表 5.2.5-1 上座板与下座板的相对位移

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	/	
3	/	
4	上座板与下座板有相对位移	

表 5.2.5-2 鞍座螺杆、锚栓状况

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	个别螺杆、锚栓连接出现松动	
3	少部分螺杆、锚栓连接出现松动	
4	较多数量的螺杆、锚栓连接松动，个别螺杆、锚栓连接脱落	

表 5.2.5-3 锈蚀

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	构件表面无可见油脂和污垢，且没有附着不牢的涂层、铁锈	锈蚀构件面积 $\leq 3\%$
3	构件表面锈蚀，且部分涂层剥落	构件锈蚀面积 $> 3\%$ 且 $\leq 5\%$
4	构件表面有大量点蚀现象，涂层因锈蚀而部分剥落或者可以刮除	构件锈蚀面积 $> 5\%$

5.2.6 锚杆评定指标及分级评定标准可表 5.2.6-1~表 5.2.6-3 执行：

1. 涂层缺陷评定标准见表 5.2.6-1；
2. 锈蚀评定标准见表 5.2.6-2；
3. 裂纹评定标准见表 5.2.6-3。

表 5.2.6-1 涂层缺陷

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	涂层有轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计面积≤构件面积的 10%，单处面积≤0.5m <sup>2</sup>
3	较大范围涂层有轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计面积 > 构件面积的 10%且 ≤20%，单处面积≤1.0m <sup>2</sup>
4	大范围涂层有轻微损坏、裂纹、起皮或剥落	累计面积 > 构件面积的 20%，单处面积 > 1.0m <sup>2</sup>

表 5.2.6-2 锈蚀

标度	评定标准	
	定性描述	定量描述
1	完好	/
2	预应力锚固系统：预应力锚具、锚垫板存在局部轻微锈蚀 型钢锚固系统：锚梁和拉杆存在局部轻微锈蚀；拉杆周围填充物基本完好，无明显渗水 刚性拉杆锚固系统：刚性拉杆和前、后锚固钢板存在局部、轻微锈蚀	构件锈蚀面积≤ 5%
3	预应力锚固系统：预应力拉杆存在轻微锈蚀，锚具和锚垫板锈蚀较为严重 型钢锚固系统：锚梁和拉杆锈蚀较为严重 刚性拉杆锚固系统：刚性拉杆或前、后锚固钢板锈蚀较为严重	构件锈蚀面积 > 5%且 ≤10%
4	预应力锚固系统：预应力拉杆锈蚀较为严重，锚具和锚垫板锈蚀严重 型钢锚固系统：锚梁和拉杆锈蚀严重 刚性拉杆锚固系统：刚性拉杆或前、后锚固钢板锈蚀严重	构件锈蚀面积 > 10%

表 5.2.6-3 裂纹

标度	评定标准	
	定性描述	
1	完好	
2	锚杆存在轻微裂纹	
3	锚杆有较多裂纹，局部有锈蚀现象	
4	锚杆外观有大量裂纹，个别部位裂缝超限，锈蚀现象严重，严重影响结构安全	

## 5.3 适应性评定

5.3.1 适应性评定应结合专项检查及特殊检查资料，评定平行钢丝索的极限承载能力及疲劳损伤度。

### 条文说明：

平行钢丝索、钢绞线索及钢丝绳索由于构造及防护类型有差异，造成三者

的在腐蚀疲劳规律不同，目前对于平行钢丝绳疲劳损伤度评估研究较为成熟，所以只考虑平行钢丝绳的极限承载能力及疲劳损伤度评定。

5.3.2 平行钢丝绳的极限承载能力可通过对更换后索体及钢丝进行拉伸试验进行评定，评定方法可按照附录 D 执行。

5.3.3 平行钢丝绳的疲劳损伤度评估流程可按照附录 E 执行，评估前应收集以下资料：

1. 索体护套破损情况，索体钢丝锈蚀情况，其检测方法可按照本指南第 4.5.3 和 4.6.3 条执行；
2. 车流量信息，包括车辆轴数、轴重、行驶车道、车速等，可通过桥梁动态称重系统或视频监控系统进行统计；
3. 桥址所处环境信息，包括风速风向和温度。

## 6 缆索结构养护

### 6.1 一般规定

6.1.1 应在桥梁养护手册的基础上，制定缆索结构的养护细则。

6.1.2 缆索结构部件应根据技术状况评定结果，按表 6.1.2 采取相应的养护对策。

表 6.1.2 缆索结构部件养护对策

技术状况等级	养护对策
1 类	日常养护或预防养护
2 类	预防养护、修复养护
3 类	修复养护、加固或更换较大缺陷构件
4 类	修复养护、加固或改造
5 类	及时进行交通管制并采取修复措施

6.1.3 缆索结构维护的时机应结合检查工作确定，并应符合下列规定：

1. 每次定期检查结束后，对发现的明显病害或缺陷应结合预防养护进行修复；

2. 在检查中发现对结构长期受力或变形有较大影响，以及对结构耐久性产生影响的病害应及时进行处治；

3. 对缆索结构安全有严重影响的病害应进行应急养护，应急养护除应符合本指南第 6.2.5、第 6.3.9 及第 6.4.6 条的相关要求，还应立即进行交通管制并采取临时措施，并及时进行更换或加固。

#### 条文说明

2 对长期受力或变形有较大影响，以及对结构耐久性产生影响的病害包括：阻尼器工作异常、拉（吊、系）索护套穿透性破损、主缆防护系统开裂、索夹滑移、拉（吊）索防水罩与护套之间存在裂缝。

3 对缆索结构安全有严重影响的病害包括：拉（吊、系）索振幅过大、主缆锚跨索股的索体断裂或从锚杯内明显滑出、拉（吊、系）索索夹出现较大裂缝或螺杆断裂。

6.1.4 缆索结构锚固区索导管、锚头及索夹螺杆的养护可与定期检查相结合。

6.1.5 当由于景观、照明等需要在缆索结构索体上增设附属物时，应进行安全影响性评估。

**条文说明：**

缆索索体上附着广告牌、旗帜、飘带等附属物，会显著增大索体的迎风面积，并可能改变索体的气动外形，导致其出现异常风致振动，并对结构受力造成影响。同时索体的附着物还可能对后期的养护造成影响，如无法采用爬索机器人对索体进行检测。附属物着火或电线短路起火会对索体防护系统造成损伤，因此尤其要注意对景观、照明等附属物的维护保养，以及建立附属物着火后的索体防护措施。

6.1.6 对于未进行抗火设计的桥梁缆索结构，宜在受火影响范围内增设抗火措施。

**条文说明**

缆索体系桥梁因意外引发的火灾事故频发，如贵州北盘江大桥、重庆沙溪庙嘉陵江大桥、泸州黄舫长江大桥、重庆江津白沙长江大桥等缆索结构桥梁都曾发生过桥面火灾，对缆索结构造成了较为严重的损伤。缆索结构作为关键受力构件，虽力学性能和耐候性良好，但组成材料如高强钢丝、聚酯纤维带、PE护套等的耐火性能差。桥面火灾，特别是油罐车火灾，易导致 PE 护套燃烧、钢丝高温后性能退化等病害，严重威胁桥梁结构安全，因此对缆索系统增设抗火系统，以防止可能出现的桥面火灾对桥梁结构造成严重的损伤。

6.1.7 斜拉索及吊（系）索更换、斜拉索索力调整、斜拉索及吊索缠包、悬索桥主缆增设或改造除湿系统、锚跨索股索力调整、缆索增设抗火系统等养护工作应编制专项施工方案。

6.1.8 不同类型的斜拉索、吊（系）索应结合各自构造特点进行养护。

**条文说明：**

不同类型索体结构形式具有配套的锚具及防护体系，斜拉索主要有平行钢丝索和钢绞线索两大类，吊（系）索包含平行钢丝索、钢绞线索、钢丝绳索、钢棒等类型。平行钢丝索、钢绞线索通常采用 HDPE 护套进行防护，钢丝绳索、钢棒通常采用涂装防护。锚具通常可以分为热铸锚、镦头锚、冷铸锚和夹片群锚及销接式锚具。因此，索结构要结合各自构造特点进行养护维修。

6.1.9 在役特大跨径悬索桥鞍室、锚室应设除湿系统，主缆未设除湿系统的应根据主缆评估结果适时设置。

## 6.2 斜拉索的养护

6.2.1 斜拉索的养护应符合下列规定：

1. 斜拉索各构件完好、无缺损、功能正常；
2. 护套、防护涂层及减振装置表面清洁，无污物；
3. 减振装置应始终处于正常工作状态，各部位应保持完整；
4. 锚头、索导管、锚垫板及锚拉板应无锈蚀，干净无杂物；
5. 防水罩完好无破损，防水罩与拉索护套紧密贴合无缝；
6. 锚具防护罩应安装牢固，密封完好，内填油脂充盈。

6.2.2 斜拉索日常养护应以拉索锚固系统及周围环境的清洁为主要内容，每季度不少于1次。

### 条文说明

斜拉索的锚固系统是最容易产生病害的部位，容易积水且检查较困难，该部位受力也复杂。因此，一定要及时清理锚固系统附近的杂物、积水，保证斜拉索及其锚固系统处于干燥、清洁的环境中，避免出现腐蚀病害。

6.2.3 斜拉索的预防养护除应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的有关规定外，还应符合下列规定：

1. 定期更换索导管与套筒连接处的防水垫圈及阻尼垫圈，做好搭接处的防水处理。发现垫圈严重老化或损坏时，应及时更换；
2. 定期对锚圈排水孔进行通孔，保持其排水畅通；
3. 钢绞线斜拉索的夹片应始终处于紧固状态，不得出现松动和滑移；平行钢丝斜拉索的钢丝墩头出现锈蚀时，应及时进行除锈处理。

6.2.4 斜拉索的修复养护除应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的有关规定外，还应符合下列规定：

1. PE 护套出现老化脆裂、破损时，应及时进行修复；PE 护套出现龟裂、粉化时，可采用 PVF 缠包带进行防护；
2. 钢绞线斜拉索 PE 护套筒从索导管内脱落时，可采用加长护套筒的方法进行处治；
3. 锚杯和螺母的梯形螺纹出现变形、裂缝，应进行探伤，并测量索力，经专项评估后确定是否对拉索进行更换。

6.2.5 当出现下列状况时，应经专项论证确定是否对斜拉索索力进行调整：

1. 主梁线形波浪起伏、挠度超限；
2. 主梁混凝土结构开裂超限；
3. 索塔轴线存在不符合设计的偏位或变形；
4. 桥面铺装更换、增设防撞护栏等，恒载有较大改变；
5. 重大突发损伤事件后，经检测存在本条第 1 款~第 4 款的情况。

**条文说明：**

斜拉索索力偏差的影响因素很多，根据实际情况确定是否对斜拉索索力进行调整。

6.2.6 斜拉索索力调整应符合下列规定：

1. 斜拉索索力调整应综合考虑主梁结构类型、索力偏差、主梁线形偏差及索塔偏位来确定实施方案；
2. 斜拉索索力调整幅度不宜过大，并兼顾主梁线形、主塔偏位、主梁应力等结参数的改善。主要控制指标应根据调整范围和目标确定；
3. 索力调整时应同步进行相关构件及主梁、主塔关键断面的应力与变形监控；
4. 索力的调整宜与桥梁构件加固相配合，加固新增恒载应予以平衡；
5. 索力调整不应对桥梁结构产生新的病害。

6.2.7 斜拉索更换时机应符合下列规定：

1. 斜拉索达到设计使用年限后，出现下列情况之一时，应进行全桥拉索更换：
  - 1)斜拉索构件技术状况被评定为 3 类及以上，且经评估后确定需要更换的；
  - 2)斜拉索构件技术状况被评定为 4 类及以上；
  - 3)斜拉索及其锚固系统的承载能力不满足设计要求的。
2. 斜拉索未达到设计使用年限，且出现下列情况之一时，宜进行斜拉索构件更换，并宜选取更换后的典型拉索进行解剖检查评定：
  - 1)斜拉索构件技术状况被评定为 4 类及以上；
  - 2)斜拉索构件及其锚固系统的承载能力不满足设计要求的。
3. 斜拉索部件受到严重损伤或断裂的应进行部分拉索更换。

4. 对更换后的拉索进行解剖检查评定，拉索极限承载能力降低 10%及以上或累计疲劳损伤度达到 0.7 的，应对全桥拉索进行更换。

**条文说明：**

对于斜拉索更换时机的判别涉及的因素很多，难以有统一的量化标准。

《城市桥梁养护技术规范》（CJJ99）第 5.9.10 条规定以 2%的断丝率或 10%的锈蚀率作为换索的量化控制指标，存在依据不够充分的问题，目前来看，采用检测评估计算确定的方式总体较为合理。在现场外观检查无法提供足够的依据时，可考虑挑选外观病害较为严重的拉索进行试验性换索。对换下来的斜拉索进行解剖及试验，对其腐蚀状况、极限强度、剩余疲劳性能等力学指标进行详细判定。

**6.2.8 斜拉索的更换工作应符合下列规定：**

1. 更换前应对主梁及索塔线形、拉索索力进行测量，并应对主梁、索塔及非更换斜拉索的缺陷进行维修和加固；
2. 斜拉索更换设计应遵循动态设计的原则，更换过程中结构的强度、刚度、抗裂和稳定性应满足规范要求；
3. 斜拉索更换应进行全过程施工监控，并符合《公路桥梁施工监控技术规程》（JTG/T 3650-01）的相关规定，应对施工过程中的主梁位移和索力进行动态监控；
4. 拉索更换施工前，应对既有结构状态进行复核，及对现场施工条件进行调查；
5. 应对拉索更换所用的主要临时设施进行专项设计，并动态检查和评估主要临时设施的稳定性、安全性；
6. 应按照设计或施工监控要求对旧索进行拆除和对新索进行安装，拉索拆除前应进行启动索力测定；
7. 斜拉索更换数量及顺序应符合设计或施工监控的要求；
8. 拉索更换宜在中断交通情况下进行，当不能中断交通时，应制订交通组织方案及保证结构安全的实施方案；
9. 更换后的斜拉索宜采用智能斜拉索。

**6.2.9 斜拉索的应急养护应符合下列规定：**

1. 应视斜拉索损伤情况实施交通管制，包括封闭车道、限载、限速及中断交通；

2. 应根据应急检查结果，结合现场实际情况，确定后续应急处置措施；

3. 对于斜拉索损伤较轻或经评估后风险可控的，应及时组织斜拉索维修或更换工作；

4. 对于斜拉索出现严重损伤或破断的，当斜拉索损伤或破断位置距离桥面较近时，可采用原索搭接的方式进行应急处理，并尽快对拉索进行更换；当斜拉索损伤或破断位置距离桥面较远时，应及时对拉索进行更换。

## 6.3 主缆的养护

6.3.1 主缆的养护应符合下列规定：

1. 主缆各部件及附属设施功能正常、无缺损；

2. 主缆线形满足设计要求，防护系统完好，表面平整，索股外露钢丝保持干燥，锚头、锚杆、拉杆、裸露索股无积水、渗水；

3. 索夹、索鞍、缆套及散索套表面无锈蚀，干净无杂物；索夹与主缆无滑移，螺母及螺杆无锈蚀，索夹紧固螺杆力满足养护要求；

4. 主索鞍稳固，散索鞍（套）应能保证变位顺畅，偏移量应在养护要求允许范围内；

5. 采用除湿系统防护的主缆及安装有除湿设备的锚室出气口相对湿度应不大于 50%或符合养护要求。

6.3.2 主缆的日常养护应以各部件及周围环境的清洁为主要工作内容，杂物、积灰、存留污秽及油渍等应每季度进行不少于 1 次清理，积水、积雪应及时清理。

6.3.3 主缆宜结合桥梁检查结果进行预防养护，每年不少于 1 次，预防养护应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的有关规定。

6.3.4 主缆的修复养护主要包括主缆和防护层的修复、索夹滑移修复、索夹更换、鞍座维修、体系改造等，除应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的有关规定外，还应符合下列规定：

1. 修复养护的时机应结合桥梁定期检查工作确定；

2. 主缆维修前应对主缆、索鞍、索夹进行全面检查，记录缺陷情况；

3. 鞍罩存在破损、鞍室密封门变形或胶条老化导致内部湿度异常时，应及

时采取修复措施；

4. 主缆安装有除湿系统的，当除湿机运行异常或系统存在漏气部位时，应及时进行维修或更换。当进气口和出气口湿度传感器经验证存在较大误差时，应及时进行更换。主缆最低点检查窗存在积水时应打开检查孔排水；

5. 索夹及散索套滑移的限值应控制在 10mm 以内，当索夹及散索套滑移超限时，应及时对索夹螺杆进行紧固，并做好接缝处的防水措施，滑移量较大时应通过分析论证确定是否复位。

6.3.5 主缆的应急养护应符合下列规定：

1. 主缆出现索股断裂、索夹失效时，应及时进行交通管制，并根据检查评估结果对主缆体系采取相应的应急养护措施；

2. 索股整束破断时可采用原索股搭接的方式进行应急处治，并应及时采取可靠连接方式，恢复原有索股索力。

## 6.4 吊（系）索的养护

6.4.1 吊（系）索的养护除应符合本指南第 6.3.1 条的有关规定外，还应符合下列规定：

1. 应保持减振架及其减振性能完好；

2. 系索的支撑架应牢固可靠；

3. 对套管式柔性系索，钢丝或钢绞线和套管之间应灌满防腐油脂或其他防腐材料。

6.4.2 吊（系）索日常养护应以锚固系统及周围环境的清洁为主要内容，每季度应不少于 1 次。

6.4.3 吊（系）索的预防养护每年不少于 1 次，并应符合下列规定：

1. 吊（系）索锚头及保护罩的预防养护应符合本指南第 6.2.3 条的有关规定；

2. 采用涂装防护的钢丝绳吊索、钢拉杆出现轻微涂层劣化时，应进行维护性涂装；

3. 减振架出现轻微涂层劣化时，应进行维护性涂装；

4. 应定期对吊索的锚头、叉耳与销轴涂刷防锈漆，保持涂层完好；

5. 系索套管表面出现涂层劣化时应进行维护性涂装；

6. 挤塑式套管的外包材料老化、脆裂及人为损伤的应采用玻璃丝布或其他

防护材料包扎；

7. 刚性系杆的外包钢管内应加注防腐油脂，两端应采用不锈钢罩保护，当不锈钢罩保护或将军帽紧固螺栓松动时，应及时紧固。

6.4.4 吊（系）索的修复养护主要包括防护修复、吊索更换、长吊索风振控制，除应符合《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》(JTG/T 5122)的有关规定外，还应符合下列规定：

1. 平行钢丝、钢绞线吊（系）索的修复养护应符合本指南第 6.2.4 条的相关规定；

2. 钢丝绳吊索、钢拉杆的涂层防护严重劣化时，应进行重新涂装，重涂的防护体系宜单独设计；

3. 吊（系）索有渗水现象时，应查明原因，并及时对防护进行修补。修补前，应对索体进行干燥处理；

4. 吊（系）索保护套管穿透性开裂或钢丝锈蚀病害时，应先采取临时性防蚀措施，再进行相应的评估、维修和更换；

5. 当吊索长度超 20m，存在过大的风致振动时，宜对双吊索安装减振架，减振架的数量及间距应通过分析确定。

6.4.5 吊（系）索更换或改造应符合下列规定：

1. 吊（系）索更换原则可按照本指南第 6.2.7 条的有关规定执行；

2. 吊索的更换除应符合本指南第 6.2.8 条的规定外，应采用临时措施保证施工过程中的结构安全，吊索应分级进行卸载或张拉，并与临时措施的张拉或卸载交替进行，且宜保持单个吊点的总张拉力不变；

3. 钢绞线系索应逐束进行更换，平行钢丝系索、刚性系杆更换过程中应采取可靠措施保证施工过程中的结构安全；

4. 短吊索出现普遍性损坏时应分析原因，并进行处治。

**条文说明：**

2 吊索更换的临时措施包括临时吊索、反力分配桁架、多吊点张拉等。

4 悬索桥主跨跨中短吊索及边跨端吊索存在较大的二次应力，主要原因如下：

1) 悬索桥结构在活载、制动力和风荷载的作用下，加劲梁与主缆之间在纵桥向、横桥向会产生相对位移，因此吊索上下吊点之间存在相对水平位移，对

于短吊索，这种相对位移会造成更大的端部弯曲变形。同时，吊索的振动也会在其端部叠加弯曲变形。

2) 吊索上端锚固于索夹、下端锚固于加劲梁，锚固位置存在刚度突变，吊索的转动会在锚固位置累积。

3) 吊索钢丝之间由于轴力较大且存在扭绞，弯曲作用下钢丝无法产生相对滑动，因此吊索的抗弯刚度由全截面计算得到，这将对吊索截面造成较大的二次应力。

短吊索存在较大的二次应力，且叠加吊索钢丝腐蚀、疲劳等因素，因此最易损伤。若出现经常性损坏，对短吊索进行结构性改造，可以减小其在工作状态下的二次应力或疲劳应力幅，使得拉索不至于出现经常性损坏。

6.4.6 吊（系）索的应急养护应按照本指南第 6.2.9 条的相关规定执行。

## 7 养护质量检验与评定

### 7.1 一般规定

7.1.1 缆索结构养护应按养护单元进行质量检验与评定。

7.1.2 缆索结构养护单元主要包括：斜拉索更换及索力调整、主缆防护系统修复、增设主缆除湿系统、主缆索夹紧固力补张、吊（系）索更换、斜拉索及吊（系）索护套修补。

7.1.3 缆索结构养护的材料、设施、设备及工艺，应符合养护设计及现行标准要求。

### 7.2 养护质量检验

7.2.1 斜拉索、吊（系）索的更换质量检验除应符合《公路养护工程质量检验评定标准》（JTG 5220）的规定外，还应符合下列规定：

1. 斜拉索、拱桥吊（系）索的品种、规格和技术性能应符合《斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》（GB/T 18365）和《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》（GB/T 30826）的相关规定；

2. 悬索桥吊索的品种、规格和技术性能应满足《公路悬索桥吊索》（JT/T 449）的相关规定。

7.2.2 斜拉索、吊（系）索的护套修补质量检验除应符合《公路养护工程质量检验评定标准》（JTG 5220）的规定外，HDPE 护套的主要性能应满足《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》（CJ/T 297）的相关规定。

7.2.3 主缆防护修复、增设主缆除湿系统、主缆索夹紧固力补张的质量检验除应符合《公路养护工程质量检验评定标准》（JTG 5220）的规定外，还应符合下列规定：

1. 所用的材料类别、规格型号、质量和性能指标应满足设计要求并符合有关规范的规定，经验收合格后方可使用；

2. 索夹缝隙、螺杆孔、索夹端部及主缆缆套的密封性能应满足设计要求并填充密实，且防护层表面应平整。

7.2.4 应对养护外观质量进行全面检验，对于外观质量缺陷，应进行整修或返工

处理后，方可进行外观质量检验。

### 7.3 养护质量评定

7.3.1 养护质量评定为合格应符合下列规定：

1. 缆索结构的养护满足基本要求；
2. 外观质量符合要求；
3. 实测项目均合格；
4. 检验记录应完整，质量保证资料真实齐全。

7.3.2 斜拉索索力调整、主缆除湿系统进气口湿度及主缆气体泄漏率不合格的，应进行调测；吊（系）索更换、斜拉索及吊（系）索护套修补、主缆防护系统修复、主缆索夹紧固力补张评定为不合格的，应进行返工。

## 附录A 规范性检查表格

表 A.1 日常巡查检查表

巡查日期：        年    月    日    时    分        天气：				
巡查人员：				
巡查类别	项目	检查内容	检查情况	处理结果
日巡查	斜拉桥斜拉索	是否有明显扭曲、振动异常、外置阻尼器松脱、破损		
	悬索桥主缆体系	是否有振动异常、线形最低点处渗、流水		
	悬索桥吊索	是否有振动异常、减振架是否移动、滑落		
	拱桥吊（系）索	是否有异常振动，锚头是否有脱落迹象		

表 A.2 桥梁缆索结构经常检查记录表

1 路线编号		2 路线名称		3 桥位桩号	
4 桥梁编号		5 桥梁名称		6 养护单位	
7 检查项目	缺损类型	缺损范围	处治建议		
8 主缆体系（可及部位）					
9 斜拉索（可及部位）					
10 吊（系）索					
11 减振装置					
12 其他					
13 负责人		14 记录人		15 检查日期	年 月 日

## 附录B 桥梁缆索结构基本状况卡片

表 B.1 缆索结构基本状况卡片

A 桥梁所处行政区划代码							
B 行政识别数据							
1	路线编号		2	路线名称		3	路线技术等级
4	桥梁编号		5	桥梁名称		6	桥位桩号
7	功能类型		8	被跨越道路(通道)名称		9	被跨越道路(通道)桩号
10	设计荷载		11	桥梁坡度		12	桥梁平曲线半径
13	建成时间		14	设计单位		15	施工单位
16	监理单位		17	业主单位		18	管养单位
C 桥梁技术指标							
19	桥梁全长(m)		20	桥面总宽(m)		21	车道宽度(m)
22	人行道宽度(m)		23	护栏或防撞栏高度(m)		24	中央分隔带宽度(m)
25	桥面标准净空 (m)		26	桥面实际净空 (m)		27	桥下通航等级及标准净空 (m)
28	桥下实际净空 (m)		29	引道总宽 (m)		30	引道线形或曲线半径 (m)
31	设计洪水频率及其水位		32	历史洪水位		33	设计地震动峰值加速度系数
34	桥面高程 (m)	(根据测点设置列数)					
D 缆索结构信息							
35	桥梁分孔 (m)	(根据孔数(号)设置列数)					
36	结构体系	(根据种类设置列数)					
37	缆索结构	主缆					
38		斜拉索 (含索力)	(根据索数设置列数)				
39		吊索 (含索力)	(根据吊索数设置列数)				
E 缆索结构档案资料							
40	设计图纸	(全、不全或	41	设计文件	(全、不全或	42	竣工图纸
							(全、不全或

		无)			无)				无)	
43	施工文件 (含施工缺陷处理)	(全、不全或无)	44	验收文件	(全、不全或无)	45	行政审批文件	(全、不全或无)		
46	定期检查资料	(全、不全或无)	47	特殊检查资料	(全、不全或无)	48	历次维修、加固资料	(全、不全或无)		
49	其他档案	图纸、计算书、报告等	50	档案形式	(纸质、电子文件)	51	建档时间 年/月			
F 缆索结构检测评定历史 (根据需要设置行数)										
52	53	54				55	56			
评定时间	检测类别	缆索构件技术状况评定结果/特殊检查结论				处治对策	下次检测时间			
G 养护处治记录 (根据需要设置行数)										
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
时间 (段)	处治类别 (维修、加固、改造)	处治原因	处治范围	工程费用 (万元)	经费来源	处治质量评定	建设单位	设计单位	施工单位	监理单位
H 需要说明的事项 (含桥梁管养单位的变更情况)										
1 其他										
68	缆索结构总体照片	(照片)			69	缆索结构正面照片	(照片)			
70	桥梁工程师		71	填卡人			89	填卡日期	年 月 日	

## 附录C 缆索结构技术状况评定表

表 C.1 缆索结构部件技术状况评定表

桥梁编码		主跨结构		上次检查日期		
桥梁名称		桥长		建成年月		
路线名称		最大跨径		本次检查日期		
桥位桩号		管养单位		上次大中修日期		
序号	缆索结构部件及评级		维修范围	维修方式	维修时间	是否需要特殊检查
	部件名称	评定等级 (1~5)				
1	悬索桥	主缆				
2		索鞍(套)				
3		索夹				
4		吊索				
5		主缆锚固系统				
7	斜拉桥	斜拉索系统(斜拉索、锚具、拉索护套)				
8	拱桥	吊索				
9		系索				
养护建议						
记录人		负责人		下次检查时间		

## 附录D 平行钢丝绳极限承载能力评定

D.0.1 首先对所有钢丝绳的锈蚀程度进行分类，分为  $k$  组，对每组钢丝绳进行拉伸试验。样本抗拉强度均值  $\mu_s$  可表示为：

$$\mu_s = \sum_{k=1}^n p_{uk} \cdot \mu_{sk} \quad (1)$$

式中  $p_{uk}$  为第  $k$  组钢丝绳所代表的拉索内未破损以及未开裂钢丝绳的比例， $\mu_{sk}$  为每个锈蚀分组钢丝绳的极限承载力平均值。

D.0.2 除去开裂钢丝绳外的样本抗拉强标准差可表示为：

$$\sigma_s = \sqrt{\left[ \sum_{k=1}^n p_{uk} (\sigma_{sk}^2 + \mu_{sk}^2) \right] - \mu_s^2} \quad (2)$$

式中  $\sigma_{sk}$  为第  $k$  组钢丝绳的样本抗拉强度标准差。

D.0.3 当分组钢丝绳数与平行钢丝绳索整体评估的钢丝绳数量存在差异时，需引入减少因子  $K$ ， $K$  是变化系数的函数，根据美国标准《Recommendations for Stay Cable Design and Testing》给出的  $K$  值数据，对  $K$  值与比值关系进行拟合，采用该标准中的简化模型进行评估，取值见图 D-1。

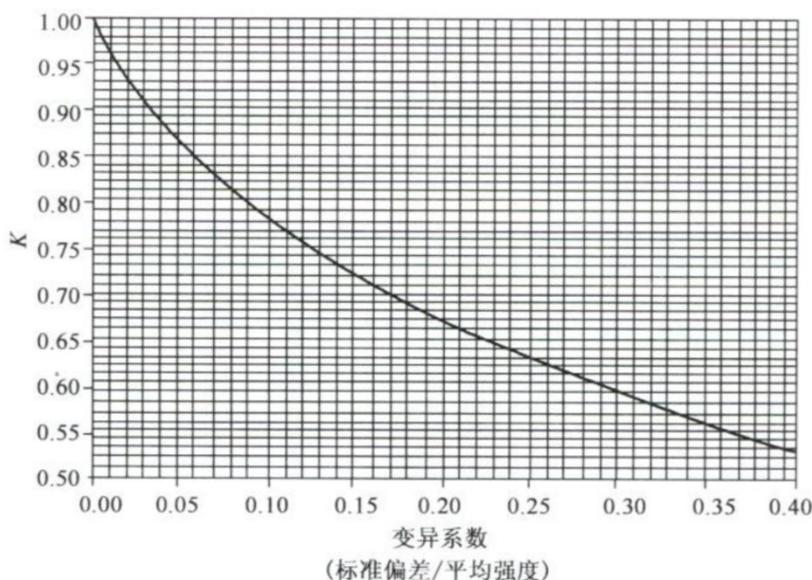


图 D-1 K 值拟合曲线

D.0.4 平行钢丝绳整体的极限承载能力可表示为：

$$R = (N_{eff} - N_4) \cdot a_w \cdot \mu_s \cdot K \quad (3)$$

式中 $N_{eff}$ 为评估工作段内未破损钢丝的有效数目， $N_4$ 为拉索截面中断丝的数量， $a_w$ 为实验室分析中每根钢丝的公称截面积， $\mu_s$ 为第 $k$ 组钢丝的样本抗拉强度均值。

## 附录E 平行钢丝索疲劳损伤度评估方法

### E.1 平行钢丝索疲劳损伤度评估流程：

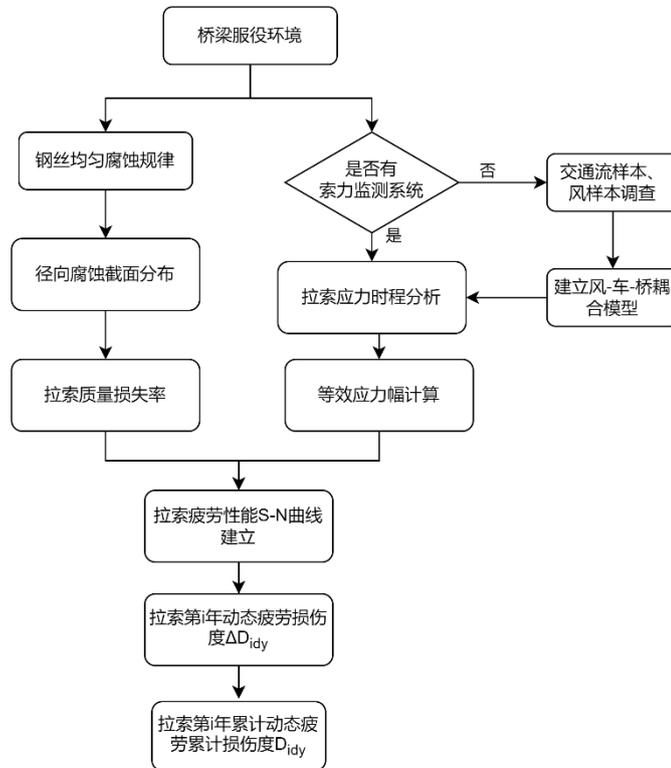


图 E.1 平行钢丝索疲劳损伤度评估流程

### E.2 获取平行钢丝索应力时程数据

E.2.1 安装有索力监测传感器的平行钢丝索，可直接通过监测数据计算得到平行钢丝索的应力时程数据。

E.2.2 无法直接获取索力监测数据的拉索可利用风-车-桥耦合模型来得到平行钢丝索索力随荷载变化的时程曲线。随机车流和随机风荷载的模拟应根据调查交通流荷载样本和风样本生成。

E.2.3 宜考虑拉索端部弯曲效应及钢丝受力不均匀性对平行钢丝索应力时程数据进行修正。

### E.3 等效应力幅与平均应力计算

E.3.1 根据“损伤度相等”的原则，将拉索在变幅应力循环 $\Delta\sigma_i$ ， $n_i$  ( $i=1,2,3\dots$ )

转化为常幅应力 $\Delta\sigma_e$ 、 $\sum n_i$ 的重复作用。等效应力幅 $\Delta\sigma_e$ 、平均应力 $\Delta\sigma_{m0}$ 可表示为：

$$\Delta\sigma_e = \left[ \frac{\sum n_i \Delta\sigma_i^m}{\sum n_i} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

$$\Delta\sigma_{m0} = \frac{\sum n_i \Delta\sigma_i}{\sum n_i} \quad (5)$$

式中： $\Delta\sigma_i$ ——循环应力水平；

$n_i$ —— $\Delta\sigma_i$ 对应的循环次数；

$m$ ——双对数坐标系中疲劳寿命曲线斜率的负倒数，可按 JTG/D64 中正应力幅疲劳强度曲线将  $m$  取 3。

E.3.2  $\Delta\sigma_i$ 和 $n_i$ 可通过雨流计数法对平行钢丝索应力时程进行统计得到，等效应力幅应考虑车流量增长。

#### E.4 质量损失率计算

E.4.1 在平行钢丝索护套开裂钢丝锈蚀开始后，利用两阶段线性模型来描述表层高强钢丝均匀腐蚀深度的时变规律，模型参数应根据高强钢丝的腐蚀试验得到，参数应考虑试验时间与服役时间的换算以及钢丝应力对腐蚀速率的影响。

$$d_u(t) = \begin{cases} d_u^{\text{coat}}(t) & = \psi_1 t & 0 \leq d_u \leq d_c \\ d_u^{\text{coat}}(t_c) + d_u^{\text{Fe}}(t - t_c) & = \psi_1 t_c + \psi_2 (t - t_c) & d_u > d_c \end{cases} \quad (6)$$

式中： $d_u(t)$ ——镀锌钢丝随时间发展的均匀腐蚀深度（ $\mu\text{m}$ ）；

$d_u^{\text{coat}}$ ——高强钢丝镀层均匀腐蚀深度（ $\mu\text{m}$ ）；

$d_u^{\text{Fe}}$ ——高强钢丝基体均匀腐蚀深度（ $\mu\text{m}$ ）；

$t$ ——大气环境下高强钢丝服役时间（天）；

$\psi_1$ ——镀层均匀腐蚀深度拟合参数，或称镀层均匀腐蚀速率（ $\mu\text{m}/\text{天}$ ）；

$\psi_2$ ——钢材基体均匀腐蚀深度拟合参数，或称基体均匀腐蚀速率（ $\mu\text{m}/\text{天}$ ）；

$d_c$ ——高强钢丝镀层厚度（ $\mu\text{m}$ ）。

E.4.2 平行钢丝索质量损失率的计算应考虑各层钢丝径向腐蚀速率的截面分布差异。

E.4.3 平行钢丝索第  $i$  层单根钢丝的质量损失率可表示为：

$$w_i = \frac{M - M_0}{M} = \frac{d^2 - (d - 2d_{ui})^2}{d^2} \quad (7)$$

式中： $M$ ——钢丝初始质量；

$M_0$ ——腐蚀后钢丝的质量；

$d$ ——钢丝初始直径；

$d_{ui}$ ——拉索第  $i$  层单根钢丝的腐蚀深度。

E.4.4 平行钢丝索的质量损失率可表示为：

$$W_L = \frac{\sum(w_i \times N_i)}{\sum N_i} \quad (8)$$

式中： $N_i$ ——平行钢丝索第  $i$  层钢丝的数量；

## E.5 平行钢丝索疲劳损伤度动态评估

E.5.1 平行钢丝索疲劳性能可通过建立应力幅与疲劳寿命之间的关系可表示为：

$$\lg N = \lg C - m \lg \Delta \sigma_e \quad (9)$$

式中： $\Delta \sigma_e$ ——等效力幅；

$N$ ——材料或构件在应力幅  $\Delta \sigma_e$  作用下发生破坏的应力循环次数；

$m$ 、 $C$ ——材料参数，应考虑  $m$ 、 $C$  在拉索不同质量损失率下的变化。

E.5.2 平行钢丝索第  $i$  年的动态疲劳损伤度可表示为：

$$\Delta D_{idy} = \frac{n \Delta \sigma_{ei}^{m(i)}}{C(i)} \times (1 + \alpha)^i \quad (10)$$

式中： $m(i)$ 、 $C(i)$ ——平行钢丝索第  $i$  年的疲劳 S-N 曲线参数；

$\Delta \sigma_{ei}$ ——平行钢丝索服役第  $i$  年的等效力幅；

$n$ ——一年内的疲劳应力幅循环总次数；

$(1 + \alpha)^i$ ——考虑交通年增长率为  $\alpha$  的增大系数。

E.5.3 第  $i$  年平行钢丝索的累积动态疲劳损伤度  $D_i$  可表示为：

$$D_{idy} = D_{(i-1)dy} + \Delta D_{idy} = \sum_{k=1}^i \Delta D_{kdy} \quad (11)$$

式中： $D_{idy}$ 、 $D_{(i-1)dy}$ ——平行钢丝索服役  $i$  年和  $i-1$  年的累积动态疲劳损伤度；

$\Delta D_{idy}$ ——第  $i$  年(从第  $i-1$  年时间离散点至第  $i$  年时间离散点)的动态疲劳损伤度增量。