

# JTG

中华人民共和国行业标准

JTG/T 51XX-XXXX

## 公路缆索结构体系桥梁养护技术规范

Technical Code of Maintenance for Cable-Supported Bridge

(征求意见稿)

20XX-xx-xx发布

202X-xx-xx实施

中华人民共和国交通运输部发布

## 前 言

根据交通运输部交公路函[2018]244号《交通运输部关于下达2018年度公路工程行业标准制修订项目计划的通知》的要求，由交通运输部公路科学研究院承担《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》的制定工作。

缆索结构体系桥梁多为超大跨径桥梁，构件众多，结构复杂，运营养护技术需求具有特殊性。鉴于该类桥梁的重要性，为规范和指导此类桥梁的养护与运营，特制定本规范。

本规范遵循“管理规范、科学决策、技术先进、内容全面、成熟实用”的编制原则。针对公路斜拉桥、悬索桥等缆索结构体系桥梁的结构特点及运营检（监）测情况，在广泛征集、参考、整理国内外缆索结构体系桥梁检查、维修等研究与养护实践经验的基础上，与交通运输部《公路养护工程管理办法》（交公路发[2018]33号）的规定匹配，细化相关技术要求，建立缆索结构体系桥梁规范化的科学养护技术体系。

本规范共包括8章和3个附录，主要内容为总则，术语，检查、监测和评定，养护策略，斜拉桥的养护与维修，悬索桥的养护与维修，主梁的养护与维修，桥面系及通用附属设施的养护与维修，养护管理。附录为桥梁基本情况卡片、规范性检查表格、资料性附录。

本规范由XXX负责起草第1-3章、第9章及附录A和B，XXX负责起草第5章及第8章，XXX负责起草第4章、第6章及附录C，XXX负责起草第6章，XXX负责第7章及第8章。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告本规范日常管理组，联系人：谢峻（地址：北京市海淀区西土城路8号，邮编：100088；电话：XXX，传真：XXX；电子邮箱：j.xie@rioh.cn），以便修订时参考。

**主 编 单 位：**

**参 编 单 位：**

**主 编：**

**主要参编人员：**

**主 审：**

**参与审查人员：**

**参 加 人 员：**

# 目录

1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 检查、监测与评定.....	3
3.1 一般规定.....	3
3.2 初始检查.....	4
3.3 经常性检查.....	5
3.4 定期检查.....	10
3.5 特殊检查.....	18
3.6 健康监测.....	26
3.7 桥梁评定.....	26
4. 养护策略.....	28
4.1 一般规定.....	28
4.2 斜拉桥的养护策略.....	29
4.3 悬索桥的养护策略.....	32
5 斜拉桥的养护与维修.....	35
5.1 斜拉索.....	35
5.2 索塔.....	49
5.3 桥墩与基础.....	54
5.4 特有附属设施.....	56
6 悬索桥的养护与维修.....	62
6.1 主缆体系.....	62
6.2 索塔.....	73
6.3 锚碇.....	74
6.4 特有附属设施.....	77
7 主梁的养护与维修.....	79
7.1 钢主梁.....	79
7.2 混凝土主梁.....	82
7.3 钢-混凝土主梁.....	84

8 桥面系及通用附属设施的养护与维修.....	85
8.1 桥面铺装.....	85
8.2 护栏.....	92
8.3 伸缩装置.....	95
8.4 排水设施.....	99
8.5 支座.....	101
8.6 防撞设施.....	105
8.7 塔梁阻尼器.....	108
8.8 其他设施.....	110
9 养护管理.....	113
9.1 一般规定.....	113
9.2 养护作业安全.....	113
9.3 信息化管养.....	116
9.4 技术档案管理.....	118
附录 A 桥梁基本情况卡片.....	113
附录 B 规范性检查表格.....	126
附录 C 资料性附录.....	131
C.1 吊杆拱桥柔性吊索、系杆养护规定.....	131
C.2 悬索桥主缆的内部检查方法.....	136

# 1 总则

**1.0.1** 为规范公路缆索结构体系桥梁的养护工作，提高养护技术水平与运营安全水平，细化相关检查、维修及管理的技术要求，引导全寿命周期养护的理念，按管理规范、科学决策、技术先进、内容全面、成熟实用的原则，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于采用缆索结构体系作为桥梁主要承重构件的公路桥梁，即斜拉桥与悬索桥。

**1.0.3** 公路缆索结构体系桥梁养护工作应贯彻“预防为主、安全至上”的工作方针，动态掌握实时桥梁状态，保障桥梁的耐久与安全。

**1.0.4** 公路缆索结构体系桥梁养护工程按照养护目的不同，分为预防养护、修复养护、专项养护和应急养护。

## 条文说明

1.0.4 根据交通运输部《公路养护工程管理办法》（交公路发[2018]33号）》对专项养护的规定，本规范具体技术内容不包括专项养护。

**1.0.5** 本规范所含钢梁、钢桥面铺装及通用附属设施部分仅包含与缆索结构相关构件或相关特殊养护要求的内容，其余技术要求应参考其他养护技术规范。

## 条文说明

1.0.5 缆索结构体系桥梁相关钢构件部分的养护技术要求，除与缆索相关内容外，其他内容按《钢结构桥梁养护技术规范》执行。附属设施除与缆索结构桥梁特有的构件或相关特殊要求外，其他内容按《桥涵养护技术规范》执行。

**1.0.6** 公路缆索结构桥梁养护除应符合本规范的规定外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

## 2 术语

### 2.0.1 缆索结构体系桥梁 Cable Supported Bridge

也称缆索承重桥,由承压的塔、受拉的缆索结构体系(斜拉索或主缆与吊索)与承弯的梁体组合起来的一种桥梁,即斜拉桥和悬索桥。

### 2.0.2 桥梁预防养护 Bridge Preventive Maintenance

桥梁整体性能良好但有轻微病害,为延缓性能过快衰减、延长使用寿命而预先采取的主动防护工程。

### 2.0.3 桥梁修复养护 Bridge Repair Maintenance

桥梁出现明显病害或部分丧失服务功能,为恢复技术状况而进行的功能性、结构性修复或定期更换,包括大修、中修、小修。

### 2.0.4 桥梁专项养护 Bridge Special Maintenance

指为恢复、保持或提升桥梁服务功能而由部省交通主管部门结合阶段性重点工作集中实施的完善增设、加固改造、拆除重建、灾后恢复等工程。

### 2.0.5 桥梁应急养护 Bridge Emergency Maintenance

指在突发情况下造成桥梁损毁、中断、产生重大安全隐患后,为较快恢复桥梁安全通行能力而实施的临时性抢通、保通与抢修。是一种临时保证可通行性的养护措施。

## 3 检查、监测与评定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 缆索结构体系桥梁的检查分为初始检查、经常性检查、定期检查和特殊检查。

#### 条文说明

3.1.1 《美国国家桥梁检查标准》（National Bridge Inspection Standards）将桥梁检查分为初始检查、常规检查、损害检查、深入检查和特殊检查；日本本州四国联络桥株式会社的《点检管理要领》则将大跨径桥梁检查分为定期的巡回检查、基本检查和精密检查，不定期的异常时检查和临时检查。我国的定期检查基本相当于美国的常规检查和日本的基本检查。考虑到缆索桥梁的重要性及初始状态对后期桥梁状态判别的价值，增设初始检查。经常性检查则包括日常巡查和经常检查。

**3.1.2** 缆索结构体系桥梁的各类检查应根据不同部件的重要性，养护难度，检测可行性并结合桥梁技术状态评定结果，分别对其检查的项目、方法及频率进行规定。

#### 条文说明

3.1.2 公路斜拉桥、悬索桥跨径大、部（构）件多，结构复杂。各部件的易损性、可更换性、设计使用年限均不同，采用某些全桥统一的检查规定并不符合此类桥梁的实际情况，实际养护单位执行起来也有相当难度。因此应根据不同部件的重要性，桥梁养护工作开展的难度，检测工作的可行性，部（构）件的当前技术状态等因素，根据不同的检查类型区别采用不同的检查方法、频率和检查项目，详见各检查的条文规定。

**3.1.3** 缆索结构体系桥梁的评定包括适用性评定和耐久性评定。

#### 条文说明

3.1.3 公路斜拉桥、悬索桥应采用相关规范对其适用性和耐久性进行评定。适用性评定分为一般性评定（技术状况等级评定）和适应性评定，其中适应性评定包括承载能力评定、通行能力评定和抗灾能力评定等。

## 3.2 初始检查

3.2.1 缆索结构体系桥梁的初始检查应委托有相应资质和能力的单位承担。

### 条文说明

3.2.1 初始检查的目的是为桥梁建立基准的结构状态，是进行后续检查、养护工作的结构状态起点，其准确性对于结构运营状态的判断具有重要意义。鉴于缆索结构体系桥梁的复杂性、重要性，为保证其检查的准确有效性，承担斜拉桥、悬索桥等缆索结构体系桥梁初始检查的单位应具备相应的缆索桥梁检查、荷载试验的业绩和交通运输行业主管部门认定的桥梁检测适用资质。

3.2.2 新建或加固改造交工后的缆索结构体系桥梁应进行初始检查。

- 1 初始检查宜与交工验收检测同时进行，最迟不应超过交工使用后 2 年。
- 2 尚未进行初始检查的在役桥梁，应由原设计单位根据结构现状、交竣工资料及历年的检查资料确定桥梁的初始状态。

### 条文说明

3.2.2 初始状态检查完成后应对结构初始状态进行确认，确认时宜考虑交工验收与竣工验收的相关结论，鉴于缺陷责任期的原因，最迟不应超过交工使用后 2 年。对于使用多年，尚未进行初始检测的情况，应尽快建立其初始状态，并由原设计单位对状态进行确认，资料缺失无法追溯的，宜由业主组织专家评审会会同原设计单位，按桥梁现状确定其初始状态。

3.2.3 缆索结构体系桥梁的初始检查应包含下列内容：

- 1 定期检查需测定的所有项目。
- 2 测量桥梁长度、桥宽、净空、跨径等；测量主要承重构件尺寸，包括构件的长度与截面尺寸等；测定桥面铺装层厚度等。

- 3 测定桥梁材质强度、混凝土结构的钢筋保护层厚度、钢结构涂层厚度。
- 4 测量缆索结构的拉吊索索力及主缆索股力，测量悬索桥索夹螺杆轴力等。
- 5 通过静载试验测试桥梁结构控制截面的应力、应变、挠度等静力参数，计算结构校验系数；通过动载试验测定桥梁结构的基频、振型、冲击系数、阻尼比等动力参数。
- 6 有水中基础，有条件应进行水下检测，包括结构状况和河床情况。

#### 条文说明

- 1 缆索体系桥梁应按本规范第 3.4.4 条的要求设置永久观测点。
- 2 当交、竣工验收资料中已经包含上述检查项目或参数的实测数据时，可直接引用。
- 4 拉吊索索力检测宜同时提供识别的基频。

#### 3.2.4 初始检查后应提交初始检查报告，并包含下列内容：

- 1 桥梁基本状况卡片（附录 A）、桥梁初始检查记录表（附录 B-1）。
- 2 典型缺损和病害的照片、文字说明及缺损分布图，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。
- 3 三张总体照片。一张桥面正面照片，一张上游侧立面照片、一张下游侧立面照片。桥梁加固维修后应重新拍照，并标注清楚。
- 4 本规范第 3.2.3 条规定的检查内容的成果。
- 5 评定桥梁的技术状况与耐久性状况，提出养护建议。

#### 3.2.5 宜根据初始检查成果编制养护手册或养护规划。

### 3.3 经常性检查

#### 3.3.1 缆索结构体系桥梁的经常性检查分为日常巡查和经常检查。

3.3.2 日常巡查可分为日巡查和夜巡查，其检查频率和要求宜符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 日常巡查的检查频率与要求

类型	频率	检查项目	检查要求
日巡查	1次/日	斜拉桥斜拉索	是否存在扭曲、异常振动、防护破损，外置阻尼器松脱、破损
		悬索桥主缆	是否存在异常振动、防护破损、线形最低点处渗、流水
		悬索桥吊索	是否存在异常振动、防护破损
		主梁	是否存在线形异常、异常振动
		索塔	是否存在大面积破损、明显倾斜与变形
		桥面铺装	是否存在影响行车的明显病害或障碍物
		伸缩缝	是否存在填塞、破损，型钢或梳齿断裂，过车异响和明显跳车
		桥面排水	是否存在桥面积水（下雨天重点检查）
		护栏/栏杆	是否完好
		交通标志、标线与轮廓标	是否清晰、完好
		照明系统	是否完好（灯杆竖直，灯具无缺失）
		桥梁健康监测软件子系统	是否工作正常，有无预警信息
		机电系统（供配电、除湿、健康监测硬件子系统）	是否工作运转正常
夜巡查	1次/周	交通标志	是否夜晚发光正常
		标线和轮廓标志	是否发光或反光正常
		照明系统	是否发光正常
		行车道	是否存在影响行车的障碍物
		防眩设施	是否有效消除汽车前照灯夜间眩光
		缆索、主梁、索塔	是否存在异常振动、大面积破损
		防眩设施	是否功能正常

条文说明

3.3.2 日常巡查的目的是为了及时发现目视清晰可见桥梁各构件及附属设施的重大损伤或功能异常等情况，建立一套完整的养护基础资料，及时了解各部件及设施的安全运营情况，及早发现可能出现的突发事件，为经常检查、定期检查和特殊检查提供依据。日巡查主要观察桥面以上可清晰目视范围内桥梁部件和构件有无明显病害或功能异常，夜巡查主要以观察照明系统及交通标志、标线、防眩板等的完好状况及功能正常为主。日常巡检应以日间巡查为主，结合桥梁、通行实际情况可增加夜间巡查，可为 7~14 天 1 次。恶劣天气条件下或桥梁受到严重损伤（车、船撞击、火灾、爆炸等）后应增加巡查检查频率。巡查只需确定桥梁构造物有无明显病害，不做详细检查。

照明系统除桥面及景观照明外，尚包括桥上安装的航空、航海警示灯。

**3.3.3** 日常巡查的桥上检查可以乘车目测为主，配以必要的影像记录工具，并现场填写“日常巡查检查表”（附录 B-2），发现明显缺损应及时上报。

**条文说明**

3.3.3 日常巡查以乘车巡查为主，也可步行巡查。每次应填写“日常巡查检查表”，包括“日巡查记录表”和“夜巡查记录表”，填表时应注意对巡查时间、温度、天气状况、风力、能见度等环境信息的记录。对所巡查到的病害应进行拍照。对每月的巡查记录应进行汇总归档，将其作为经常性检查和定期检查的评定依据。巡查后对所发现的问题及时提出并尽早处理。

**3.3.4** 经常检查其检查频率和要求宜符合表 3.3.4-1 和表 3.3.4-2 的规定，在洪水、台风、冰冻等自然灾害频发期应提高经常检查频率。

表 3.3.4-1 斜拉桥经常检查频率与要求

部位	检查项目	频率	检查要求
斜拉索	索体及护套	1 次/月	是否存在扭曲、异常振动、防护破损、老化
	拉索外置阻尼器		是否存在锈蚀、漏油、松动、异常振动
	拉索下锚头	1 次/3 月	是否存在锈蚀、漏油、渗水、锚头周围混凝土开裂、钢护筒与索套管连接处垫圈失效、护筒内潮湿积水
	拉索上锚头		
主梁	钢箱梁内表面、桁梁内部	1 次/3 月	是否存在涂层粉化、起泡、脱落、裂缝；结构表面裂缝、焊缝开裂、高强度螺栓锈蚀、松动或缺失；构件局部异常变形
	混凝土箱梁内部		是否存在开裂、露筋、钢筋锈胀；箱梁内有积水；防腐涂层脱落、破损
	梁体底面	1 次/月	是否存在钢-混凝土组合梁结合面脱开；混凝土梁板开裂、破损；钢梁板涂层破损
	索锚固构造		是否存在积水，钢构件涂层劣化、剥落；结构锈蚀、焊缝裂纹、螺栓松脱断裂；混凝土开裂，破损
	梁内机电、照明系统		是否存在运行不正常的情况；安装有除湿系统的空间，其空气湿度满足设计要求
索塔	钢塔体内部	1 次/3 月	同钢主梁
	混凝土塔体内部		同混凝土主梁
	索塔根部		是否存在防腐涂装脱落、劣化、破损；裂缝、渗水、表面风化或冲刷剥落、露筋、空洞和钢筋锈蚀
	索锚固构造		是否存在钢构件涂层劣化、剥落；结构锈蚀、

			焊缝裂纹、螺栓松脱断裂；混凝土开裂，破损
	塔内检修通道		是否存在涂层劣化，结构锈蚀、断裂，构件缺失
	塔内机电、照明系统	1次/月	是否存在运行不正常的情况；安装有除湿系统的空间，其空气湿度满足设计要求；电梯在国家强检有效期内
桥面系与附属设施	桥面铺装	1次/月	是否存在坑槽、裂缝、车辙、拥包等病害
	桥面排水		是否存在泄水孔堵塞、集中排水管破损、管节脱落
	伸缩缝		是否存在填塞、密封橡胶老化破损，型钢或梳齿断裂、缺失，梳齿板伸缩缝螺栓松动、脱落，横梁与支撑松动、异常变形；滑动部件脱落，磨损；底部钢构件锈蚀；过车异响
	支座		是否存在异常位移、错位、变形、脱空等现象；支座钢构件锈蚀、裂缝、变形；滑动面磨损；固定螺栓剪断，螺母松动、锈蚀；防尘罩破损；垫石破损
	检查车及其轨道		是否存在运行不正常的情况，涂层劣化，破损，钢结构锈蚀与异常变形，螺栓松脱、锈蚀
	塔梁阻尼器		是否存在漏油，螺栓松脱断裂；行程异常；涂层劣化，破损
	栏杆、护栏		是否存在破损、变形、锈蚀；构件缺失、移动或错位，栏杆、护栏底部固定连接破损
其他	1次/月	同普通桥梁的要求	

表 3.3.4-2 悬索桥经常检查频率与要求

部位	检查项目	频率	检查要求
主缆体系	缆体	1次/3月	是否存在防护层上表面破损
			主缆与索鞍是否存在相对滑移
		1次/月	是否存在主缆最低点渗水；安装有除湿系统的主缆空气湿度满足设计要求
			主缆索跨过索鞍部分有挤扁现象
	扶手绳	1次/3月	是否存在涂层劣化、破损；绳体锈蚀、断裂
	缆套	1次/月	是否存在破损、老化、接缝处渗漏水
	索夹		是否有松动和明显的滑移痕迹
	吊索		是否存异常振动、防护破损、销轴磨损或卡死
	索鞍		是否有异常的位移、卡死、辊轴歪斜；构件锈蚀、破损；鞍座混凝土开裂
	鞍室		是否存在密封不严，构件破损；安装有除湿系统的鞍室，其空气湿度满足设计要求
锚碇内索股		是否存在涂层劣化、破损；索股钢丝锈蚀、断裂	
索股锚固体系		是否存在锚杆异常拔动、滑移；锚固拉杆涂层	

			劣化、破损；预应力锚头锈蚀、漏油、渗水、锚头周围混凝土开裂
锚碇	锚室	1次/月	是否存在积水；混凝土开裂，露筋、空洞和钢筋锈蚀；锚室接缝或裂缝渗漏水
		1次/3月	是否存在整体沉降与位移
	室内机电、照明系统	1次/月	是否存在运行不正常的情况；除湿系统工作正常，室内空气湿度满足设计要求
	其他	1次/月	同斜拉桥及普通桥梁的要求

#### 条文说明

3.3.4 经常检查的目的是对桥梁运营状态进行全面了解、及时发现病害、及时处理。经常检查针对抵近目测（含观测工具辅助）所及的所有桥梁构件。对桥梁各个构件进行目测检查并对损伤做出定性判断。检查应有序而严密，防止漏项。

主缆、斜拉索、吊杆的经常检查应注重检查护套、密封圈等表面构件是否存在老化、开裂及渗漏水等情况。

主梁经常检查主要针对经常检查中可到达的部位，重点检查重要部位的裂缝是否有发展及发展情况。注意钢箱梁腹板、纵隔板、横隔板、底板、内部顶板等钢结构表面有无锈蚀和裂缝（纹）。

悬索桥索塔与主梁可参照斜拉桥，注意悬索桥主塔无索锚固构造。

沥青混凝土铺装缺陷包括龟裂、裂缝、坑槽、松散、沉陷、车辙、波浪拥包、泛油、修补不良、污染等；水泥混凝土铺装缺陷包括板破碎、裂缝、板角裂缝、错台、边角剥落、接缝料损坏、坑洞、拱起、露骨、修补、污染等。

其他部分如桥墩、桥台、锥护坡、调治构造物等同普通桥梁。

除主缆与索鞍是否存在相对滑移的检查外，对于缆索结构体系桥中构件数量较多的部件或难以到达的部位，经常检查可采用每3月循环检查1次的频率，即每月检查该部件中构件的1/3，循环往复，以降低经常检查的工作强度。

**3.3.5** 经常检查以抵近目测结合辅助工具进行。应现场填写“桥梁经常检查记录表”（附录 B-3）。

#### 条文说明

3.3.5 经常检查主要采用目测方法，并辅以简单设备（如望远镜、照相机、摄像机，以及扳手、铲子、锉刀等常用工具）来进行检查和记录。对不易到达的

部位可借助辅助工具进行查看。

现场填写“桥梁经常检查记录表”是及时、准确收集信息的重要保证，填写要求准确无误，防止漏填，不允许事后回忆补填。

**3.3.6** 经常检查和日常巡查中发现桥梁重要部件或构件缺损严重，应及时上报。

### 3.4 定期检查

**3.4.1** 缆索结构体系桥梁的定期检查应由有相应资质和能力的单位承担。

**3.4.2** 缆索结构体系桥梁的定期检查周期宜为 1 年。

1 对于部分难以到达或构件数量庞大的部件可采用循环抽检方式，每次抽检比例不小于总数的 20%，完成一次循环不应超过 5 年。可进行抽检部件与内容参见表 3.4.2。

2 桥梁整体变形、主缆底面外观及水下基础的定期检查可每 5 年 1 次。

3 缆索结构体系桥梁耐久性定期检查可为每 5 年 1 次。

4 在缆索结构体系桥梁主体结构加固改造前后，应按 3.4.4 条的要求进行桥梁变形检查，以保持观测资料的连续性。

表 3.4.2 缆索结构体系桥梁循环抽检部件与内容

桥梁类型	部件
斜拉桥	斜拉索外观及上下锚头锚固内部状况，钢桥面焊缝，钢桁梁节点的螺栓状态
悬索桥	吊杆外观及上下锚头锚固内部状况，自锚式悬索桥索股锚头状况，主缆索夹螺栓紧固力，钢桥面焊缝，钢桁梁节点的螺栓状态

#### 条文说明

1 宜在接养时做好各部件 5 年或更短年限循环定检的构件划分，每年依次按比例抽检，循环无遗漏。可根据桥梁的使用年限、交通情况、上期定期检查的结果、经常性检查的情况，适当调整抽检比例，对于使用年限短、技术状况及运营状态比较好的情况，可取较低的抽检比例，否则应逐步提高抽检比例，缩小循环的年限，直至 100% 检查。构件抽检时应所属部件在空间内进行覆盖，如主梁

抽 20% 的长度的梁段，这些抽检的梁段在桥跨范围内应均匀分布，吊杆或拉索还要兼顾上下游的对应性。对于病害与部位密切相关的情况，可采取重点部位高频，次要部位低频的模式，如钢桥面裂缝的循环检查，重车道、变截面应力幅度变化明显区域等易损区域进行每年一次的全覆盖检查，其余非易损区域，按照适当比例进行循环覆盖检查。钢桁梁螺栓数量巨大，全面检查不现实，节点处的螺栓状态对结构安全最为重要，作为重点检查的对象，定期检查通过外观观察有无断裂、锈蚀、缺失，用小锤敲击检查是否松动。如发现对钢桁主梁出现较多螺栓断裂、缺失情况时，为了解螺栓工作状态，必要时应采取专门检查对高强螺栓终拧扭矩进行检测。

对已存在严重病害的部件，本款不适用。抽检时如发现状态不良构件数量过多导致该部件进入技术状态 3 类及以下，则应取消该部件的循环抽检，进行全面检查，直至部件技术状态经过修复后恢复到 3 类以上。

2 桥梁变形、主缆底面外观及水下基础均属于缆索结构体系桥梁比较特殊的应定期进行检查项目，主缆底面外观病害、水下基础冲刷无既有病害的前提下需要时间的积累可允许采用比较长的间隔。桥梁变形包括主梁挠度（高程）、主缆线形、桥塔偏位、塔梁相对位置、桥台（锚碇）变位等桥梁变形测量时应选择一年中相同季节、温度相近、日照影响小的时段进行，以利于比较分析。桥梁变形检查宜中断交通，频率高对交通影响较大，故不宜太高。从桥梁变形的角度分析，一般桥梁没有严重病害，运营 5 年后，混凝土收缩徐变基本完成，变形基本稳定，如技术状态保持良好，5 年后以 5 年作为一个周期是合适的，5 年以内的非全钢结构缆索桥梁，技术状态保持良好，可每 2 年测一次。水下基础检查一般根据水文环境、地质环境和基础型式决定检测项目、频率及内容，检测周期通常为 3~5 年一次，若桥梁所处环境存在加快基础技术状况恶化的情况，如：水流湍急、河床下切快、基础埋深浅、水质腐蚀强、所处河段采砂等，可提高检测频率。对于已经存在桥梁变形异常、主缆锈蚀或基础冲刷的桥梁，本款不适用，应按每年一次进行检查。对桥梁受突发灾害或事故影响的情况，本款不适用，并应立即安排专门检查。

3 缆索结构体系桥梁耐久性的定期检查按《公路桥梁耐久性检测评定技术规程》的规定执行。

**3.4.3** 定期检查应接近各部件仔细检查其缺损情况，并应符合下列规定：

- 1 现场校核桥梁基本数据，填写或补充完善“桥梁基本信息”（附录 A）。
- 2 现场记录各部件缺损状况并绘制主要病害分布图。
- 3 对桥梁永久观测点进行复核，对桥面高程及线形、变位等检测指标进行控制检测。
- 4 判断病害原因及影响范围。
- 5 进行技术状况及耐久性评定，提出养护建议。

**3.4.4** 桥梁永久观测点设置及变形检查项目应符合下列规定：

- 1 缆索结构体系桥梁应设立永久观测点，定期进行控制检查。检查项目与永久观测点布置要求见表 3.4.4。可根据养护、管理的需要，增加相应的控制检查项目。

表 3.4.4 缆索体系桥梁永久观测点与变形检查项目

检查项目		永久观测点
1	桥面高程	每跨不宜少于 10 个点，沿行车道两边（靠缘石处）布置，跨中、L/4、支点等控制截面必须布置
2	墩、台身、锚碇的变位	布置于墩、台身底部（距地面或常水位 0.5m~2m）、桥台侧墙尾部顶面和锚碇的上、下游两侧 1~2 点
3	索塔的变位、索塔倾斜度	每个索塔的顶部、底部（距底面或常水位 0.5~2m 内的）上、下游两侧各 1~2 点，索塔顶面、塔梁交接处纵、横向各 1~2 点
4	主缆线形	每跨不宜少于 10 个点，沿索夹位置布置，主缆最低点、L/4 和最高点必须布置
5	悬索桥索夹滑移	所有索夹高端处设滑移观测点 1 点
6	悬索桥主缆和索鞍相对滑移	主索鞍两端、散索鞍入端主缆上设标记环线 1 道

- 2 没有设置永久观测点的缆索结构体系桥梁，应在初始检查和定期检查时按规定补设。永久控制点应布设在桥梁结构主体结构以外的稳定基岩上，每座桥不少于 2 点。测点的布置位置及初次检查数据，应按要求归档。

- 3 必要时可设置水尺或标志，以观测水位和冲刷情况。

#### 条文说明

1 桥梁永久观测点、永久控制点的设置应牢固可靠。当测点与国家大地和高程控制网成果联络有困难时，应建立相对独立的基准测量系统。若基准点或永久观测点有变动，应及时检测、校准及换算，保持数据的有效和连续。

标记环线应垂直于该处主缆，宜距离索鞍边缘200mm，标记环线宽度50mm，沿主缆外层钢丝用油漆涂整环。涂漆前的主缆应清洁干净，全桥各处标记环线在桥梁温度稳定的同一时间段一次做出。标记环线应在桥梁交养投如使用前或初始检查时绘制。

2 设置永久控制点和永久观测点后，应绘制永久观测点平面布置图，并在图中明确基准点位置。

#### 3.4.5 桥面系的定期检查应包括下列内容：

1 桥面铺装层纵、横坡是否顺适，有无严重的龟裂、纵横裂缝，有无坑槽、拥包、拱起、剥落、错台、磨光、泛油、变形、脱皮、露骨、接缝料损坏、桥头跳车等现象。

2 伸缩缝是否有异常变形、破损、脱落、漏水、失效，锚固区有无缺陷，是否存在明显的跳车与异响；钢构件是否松动、锈蚀，焊缝开裂；止水带是否破损；型钢或梳形板之间是否有杂物堵塞；锚固区混凝土是否有损坏、开裂。梳齿与型钢是否有断裂、缺失；横梁与支撑是否松动、异常变形，滑动支座有无脱落，不锈钢滑板有无损坏。

3 栏杆、护栏有无撞坏、缺失、破损等。

4 防排水系统是否顺畅，泄水管、引水槽有无明显缺陷，桥头排水沟功能是否完好。

5 桥上交通信号、标志、标线、照明、防眩设施是否损坏、失效。

#### 3.4.6 混凝土主梁定期检查应包括下列内容：

1 混凝土构件有无开裂、渗水、蜂窝、麻面、剥落、掉角、空洞、孔洞、露筋及钢筋锈蚀。

- 2 预应力钢束锚固区段混凝土有无开裂，沿预应力筋的混凝土表面有无纵向裂缝。
- 3 主梁内部有无积水、渗水，通风是否良好。
- 4 主梁涂层是否破损、剥落。
- 5 组合梁的桥面板与梁的结合部位及预制桥面板之间的接头处混凝土有无开裂、压溃、渗水。

#### 条文说明

1 应重点关注主梁结构的跨中、支点及变截面处，梁的固接处和斜拉索、吊索吊点部位，混凝土是否开裂、缺损和出现钢筋锈蚀。

#### 3.4.7 钢箱主梁定期检查应包括下列内容：

- 1 涂层劣化、破损。
- 2 焊缝开裂或脱开。
- 3 螺栓松动、脱落或断裂。
- 4 构件锈蚀、开裂、局部变形或损伤。
- 5 钢箱梁内部湿度是否符合要求，除湿设施是否处于工作状态。

#### 条文说明

3.4.7 钢箱检查需重点关注风嘴和箱内易积水处的箱梁内、外壁钢板的锈蚀情况；钢箱应力交变区、应力集中区梁段以及转角和槽口部分钢构件上的裂缝情况；受压构件是否扭曲变形、局部损伤。

对钢箱梁箱内连接件及全部焊缝的可靠性进行检查。检查焊缝有无发生疲劳破坏。钢箱梁焊缝的检测，因工作量较大，建议定期检查中按一定比例抽检（优先选取应力交变区、应力集中区的焊缝以及现场拼接焊缝），先对焊缝表面涂层进行检测，若发现焊缝开裂或怀疑焊缝开裂时，可加大抽检频率，对焊缝进行详细检测。

钢箱梁内部湿度过大易引起钢材锈蚀，设有调节环境湿度装置的缆索体系桥梁，需检查其工作状态是否完好有效。

对于钢-混凝土组合梁桥，其检测内容可综合混凝土梁桥和钢梁桥的检测内容进行。

#### 3.4.8 钢桁主梁定期检查应包括下列内容：

- 1 涂层劣化、破损。
- 2 焊缝开裂或脱开。
- 3 高强螺栓松动、脱落或断裂。
- 4 构件变形、锈蚀、裂缝、局部损伤。
- 5 混凝土桥面板有无开裂及裂缝是否超限，有无渗水、蜂窝、麻面、剥落、掉角、空洞、孔洞、露筋及钢筋锈蚀。

##### 条文说明

3 钢桁主梁应重视螺栓等联结件及节点的检测，因为这些部位易于损坏，节点处易于存积雨水、垃圾造成锈蚀。

4 钢结构变形、裂缝、锈蚀及联结件是否正常均属检查范围。造成构件变形有几种原因，一是施工遗留，二是机械撞击，三是局部受力过大，如压杆失稳。其中局部受力过大情况，可能危及整个结构的承载能力，在检测中要注意判别。

#### 3.4.9 斜拉桥主要构件的定期检测应包括下列内容：

1 桥塔有无异常变位，锚固区是否有裂纹、水渍，有无渗水现象。混凝土结构内外表有无缺损、裂缝、剥落、露筋、钢筋锈蚀。钢结构涂装是否粉化、脱落、起泡、开裂，钢结构是否锈蚀、变形、裂缝；螺栓是否缺失、损坏、松动；钢与混凝土连接是否完好。

2 斜拉索索力有无异常变化，观测斜拉索线形和振动有无异常；斜拉索外置阻尼器是否完好。

3 斜拉索防护套有无裂缝、鼓包、破损、老化变质，必要时可以打开防护套，检查斜拉索的钢丝涂层劣化、破损、锈蚀及断丝情况。

4 逐个检查锚具及周围锚固区的情况，锚具是否渗水、锈蚀，是否有锈水流出的痕迹，锚固区是否开裂。必要时可打开锚具后盖抽查锚杯内是否积水、潮湿，防锈油脂是否结块、乳化失效，锚杯是否锈蚀。锚头是否锈蚀、开裂，墩头

或夹片是否异常，锚头螺母位置有无异常。

5 主梁或加劲梁的检查，按本规范第 3.4.6 条、第 3.4.7 条和第 3.4.8 条执行。

6 钢护筒是否脱漆、锈蚀，钢护筒内有无积水，钢护筒与斜拉索密封是否可靠，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。

#### 条文说明

1 桥塔变位重点检查和量测塔身是否出现明显倾斜；塔肢是否存在明显扭转变形；桥塔各典型截面是否存在裂缝。主要对索塔关键受力部位即塔基部、转角部、截面突变部位和塔梁连接部位等进行检查。混凝土索塔裂缝应特别关注塔柱内壁转角处、索锚段及其下方塔壁、塔根部外表、索塔横梁转角处、支座周边的裂缝。

#### 3.4.10 悬索桥主要构件的定期检查应包括下列内容：

1 桥塔有无异常变位；混凝土结构内外表面有无缺损、裂缝、剥落、露筋、钢筋锈蚀；钢结构涂装是否粉化、脱落、起泡、开裂，钢结构内外表面是否锈蚀、变形、裂缝；螺栓是否缺失、损坏、松动；钢与混凝土连接是否完好。

2 主缆线形是否有变化，主缆索股力有无异常变化；主缆防护有无老化、裂缝、起泡，脱落、刮伤、针孔、破损；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，检查索股钢丝涂膜有无劣化，钢丝有无锈蚀、鼓丝、断丝。主缆和索鞍有无相对滑移，索槽填块滑移；锚室内索股是否锈蚀、滴水；主缆扶手绳有无松弛、锈蚀和断丝。

3 主缆空气干燥系统风管接头部位、索夹及送气、排气罩端部的封缝是否有空气的泄漏，主缆内部湿度是否符合要求。

4 吊索索力有无异常变化；吊索防护套有无裂缝、鼓包、破损，必要时可以打开防护套，检查吊索钢丝涂膜有无劣化，钢丝有无锈蚀、断丝。

5 逐个检查吊索锚头及周围锚固区的情况；锚具是否渗水、锈蚀，是否有锈水流出的痕迹，锚固区是否开裂；必要时可打开锚具后盖抽查锚杯内是否积水、潮湿，防锈油是否结块、乳化失效，锚杯是否锈蚀；锚头是否锈蚀、开裂，墩头或夹片是否异常，锚头螺母位置有无异常，叉耳销轴有无异响。

6 索夹螺栓有无缺失、损伤、松动；索夹有无错位、滑移；索夹面漆有无起皮脱落；密封填料有无老化、开裂；索夹外观有无裂缝及锈蚀；抽检索夹螺栓紧固力。索夹观察窗功能是否有效。

6 主梁或加劲梁的检查,按本规范第 3.4.6 条、第 3.4.7 条和第 3.4.8 条执行。

7 主索鞍、散索鞍上座板与下座板有无相对位移、卡死、辊轴歪斜；鞍座螺杆、锚栓有无松动现象；鞍座内密封状况是否良好；索鞍有无锈蚀、裂缝，索鞍涂装有无粉化、裂缝、起泡、脱落。

8 锚碇内外观有无明显病害，如裂缝、空洞等，锚碇有无沉降、扭转及水平位移；锚室顶板、侧墙表面状况是否完好，锚室内有无渗漏水，是否积水，温湿度是否符合要求；除湿设备运行是否正常。

9 索股锚杆或预应力锚固体体系连接拉杆涂层是否完好，有无锈蚀、裂纹病害。抽查自锚式悬索桥索股锚头、预应力锚固体体系锚头防锈油是否干硬、失效，锚头是否锈蚀、开裂，墩头或夹片是否异常，锚头螺母位置有无异常。

#### 条文说明

9 预应力锚固体体系采用水泥材料灌浆的应检查其饱满程度。

#### 3.4.11 支座的定期检查应包括下列内容：

1 支座是否缺失。组件是否完整、清洁，有无断裂、错位、脱空。

2 橡胶限位支座的橡胶有无腐蚀、开裂、老化、变质、异常变形；球形、盆式支座钢构件有无锈蚀、断裂；各类支座有无异常位移、错位、过大变形、脱空、卡死等现象；防尘罩是否失效，滑动面是否干涩，接触面是否平整、密贴；滑板厚度是否符合设计要求。滑动支座是否能按设计要求进行滑动、球形支座是否能按设计要求进行转动。

3 支座垫层是否有锈蚀、翘曲、断裂、积水；支座垫石是否开裂、破损。

4 支座螺纹、螺帽是否松动，锚螺杆有无剪切变形，上下座板（盆）的锈蚀状况；固定螺栓是否被剪断，螺母是否松动、锈蚀等。

5 支座封闭材料是否老化、开裂、脱落；密封装置是否失效。

#### 3.4.12 塔梁阻尼器的定期检测应包括下列内容：

- 1 阻尼器外观是否清洁，周围有无杂物堆积。
- 2 涂装有无粉化、起泡、脱落、锈蚀、裂缝。
- 3 钢结构有无锈蚀、裂缝。
- 4 阻尼器有无漏油。
- 5 与主塔及钢箱梁连接、紧固件有无锈蚀、松动、缺失。
- 6 阻尼器转动销轴位置是否灵活、是否存在卡死的状况。

**3.4.13** 桥梁墩台、基础、河床及调治构造物等的定期检查要求同普通桥梁。

**3.4.14** 定期检查中发现的各种缺损应在现场将其范围、程度标记清楚。对三、四、五类桥梁、有严重缺损及存在安全隐患的构件，应作影像记录，并附病害状况说明。

**3.4.15** 定期检查后需限制交通或关闭的桥梁应及时报告并提出具体建议。

**3.4.16** 定期检查后提交检查报告，应包含下列内容：

- 1 桥梁基本状况卡片（附录 A）、桥梁技术状况评定表。
- 2 典型缺损和病害的照片、文字说明及缺损分布图，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。
- 3 三张总体照片。一张桥面正面照片，一张上游侧里面照片、一张下游侧立面照片。桥梁改建后应重新拍照，并标注清楚。
- 4 判断病害原因及影响范围，并与历次检查报告进行对比分析，说明病害发展情况。
- 5 桥梁的技术状况及耐久性评定等级。
- 6 提出养护建议及下次检查时间。

## 3.5 特殊检查

**3.5.1** 缆索结构体系桥梁的特殊检查应委托有相应资质和能力的单位承担。

**3.5.2** 缆索结构体系桥梁的特殊检查分为专门检查和应急检查。

1 专门检查主要针对定期检查深度或要求不能满足结构继续安全运营而需要进一步进行的详细检查与评定。实施专门检查的情况包括：

- 1) 定期检查中存在难以判明损伤原因及程度的桥梁构件。
- 2) 涉及桥梁整体受力较大改变的桥梁养护工程。
- 3) 定期检查评定主要构件技术状况为三、四、五类。
- 4) 需要进一步判断桥梁构件的使用功能状态。
- 5) 桥梁拟提高荷载等级的。

2 应急检查主要针对诸如地震、洪灾、流冰、滑坡、风灾、火灾、超重车辆（大件运输）通过、车辆撞击、船舶撞击、有害化学液体污染侵蚀或其他异常情况突发事件后需要对桥梁结构进行的功能性检查，以判别鉴定是否满足继续安全运营的要求。

#### 条文说明

3.5.2 桥梁特殊检查应根据桥梁的类型、破损状况和性质，采用适当的仪器设备，以及现场勘探、试验等特殊手段和科学分析方法，查明桥梁病害原因、破坏程度和结构性能，确定桥梁的技术状况，以便采取相应的加固、改造措施。在突发事件发生后，除了要求进行应急检查之外，还需要根据实际情况进行延续一段时间的检查和监测。

**3.5.3** 实施特殊检查前，应充分收集桥梁设计资料、竣工资料、材料试验报告、施工资料、历次检测报告及维修资料等，并现场复核。

**3.5.4** 缆索结构体系桥梁特殊检查应包括下列一项或多项内容：

- 1 材料的物理、化学性能及其退化程度的测试鉴定。
- 2 结构的强度、刚度和稳定性的检算、试验和鉴定。
- 3 桥梁在洪水、流冰、风、地震及其他灾害后的功能检查与鉴定。

#### 条文说明

3.5.4 缆索结构体系桥梁的专门检查包括主缆内部检测、索夹螺杆轴力测试、钢桁梁高强螺栓终拧扭矩测试、拉（吊）索内部检测、钢结构探伤、焊缝检测。

- 1) 悬索桥主缆内部状况检查

具体检查方法可参考本规范附录 C.2。

## 2) 索夹螺杆轴力检查

索夹螺杆轴力在进入运营期后,会因车辆等荷载引起的缆索体系受力及线形变化、主缆内镀锌钢丝受压蠕变或重新排列等原因持续下降,其损失最终将会导致索夹松动甚至滑移。索夹滑移会导致缆索结构体系受力的重新分配,引起主体结构线形变化,降低滑移处主缆密封性等病害,对悬索桥的结构受力安全带来严重影响。因此,根据桥梁状况,结合定期检查,每年选取桥梁 20%的索夹螺杆进行轴力测试,5 年全覆盖。选取的索夹螺杆在主塔至 1/4 跨区域不得少于测试螺杆总数的 50%,必须包含靠近主塔的长索、1/4 跨附近的吊索和跨中截面的吊索。测试方法可采用现场拉拔或超声无损检测技术等测试方法进行。其中超声无损检测技术是利用超声测试千斤顶对螺杆螺母加压过程中,螺杆长度变化线的拐点及对应的千斤顶压力值。

## 3) 钢桁梁高强螺栓扭矩检查

首先根据 GB/T 50621 确定检查样本数量,并了解工程使用的高强螺栓的型号、规格、扭矩施加方式;对于扭剪型高强螺栓应检查其尾部梅花头是否被拧掉,以此来判断是否合格;对未被拧断的扭剪型和大六角高强螺栓终拧扭矩值测试可先进行外观检查或小锤敲击检查,合格后方可进行扭矩检测;检测时,先在螺尾端头和螺母相对位置画线,然后将螺母拧松  $60^{\circ}$ ;再用扭矩扳手重新拧紧  $60\sim 62^{\circ}$ ,此时的扭矩值应作为高强螺栓终拧扭矩的实测值。

## 4) 拉(吊)索内部检查

拉(吊)索在使用过程中会出现不同程度的锈蚀甚至断丝,除目测观察涂层失效方法外还可利用电磁涡流技术检测断面损失,进一步判断拉(吊)索内部损伤。必要时进行开窗目测。

## 5) 钢结构探伤、焊缝检查

根据调研结果,由于正交异性钢桥面板承受交通荷载及疲劳作用,即使目前设计增加了钢桥面板厚度但仍不能避免焊缝开裂,可在桥面铺装修补或更换时在桥面适当位置进行裂纹探伤,或在箱梁内部采用适当方法进行探伤,以掌握开裂情况酌情实施修补。

缆索结构桥梁的应急检查主要包括以下内容:

1) 地震过后的检查, 检查内容包括测算地震响应和加速度谱和地震后的外观检查。

每接到即将有地震发生的预报, 应利用安装在桥塔及桥墩底部的三向加速度传感器及设置在主梁梁端、主塔处的位移计, 连续记录地震加速度、结构幅值等结构效应。地震过后, 应立即对传感器及位移计进行检查, 将记录到的地震反应(如加速度或位移)时程曲线送至分析中心进行分析。分析出桥址处的最大地震加速度和持续时间。根据记录分析得到的最大加速度对结构进行地震响应分析, 得出各关键部位(梁端、主塔塔顶、粘滞性阻尼器等)的最大响应, 如位移、内力等。分析应考虑几何非线性和材料弹塑性的影响。根据实测时程曲线进行频谱分析, 得出加速度谱, 即不同频率对应的加速度。此项分析, 包括地震观测台的设置, 应委托专门的研究机构或检测机构进行。

地震后的外观检查主要内容有: 梁段之间的接缝是否完好; 根据地震过程中健康监测位移监测值, 分析梁端的纵、横向位移是否超过限值; 各锚固点是否偏离原位或遭到损坏; 根据地震过程中健康监测位移监测值, 分析各支座与粘滞性阻尼器是否偏离原位, 并检查其是否遭到损坏; 伸缩缝是否断裂; 斜拉索索身、吊杆及其和主塔、主梁的连接是否完好; 提取地震过程中斜拉索索力、吊杆索力的健康监测值, 分析拉索索力是否异常; 主塔身有无损坏, 塔顶纵、横向位移是否超过限值; 桥墩有无裂缝或脆性剪切破坏; 基础有无损坏, 地基是否完好; 照明线路及其它用电设施是否完好; 防震设施是否损坏。

## 2) 洪水期和洪水过后的检查

洪水期应对桥梁墩台基础冲蚀、河床变化、河道变迁、流量等情况进行了解, 因此需设专职人员对河床断面、水位、洪水通过时流速、流向等情况的观测。主要包括: 河床断面观测, 测量时间: 至少每年洪水后测量一次。测量地点: 一般在桥下及桥梁上下游各 25m 的三个断面上进行, 每次测量的断面应固定。测量范围: 应在桥梁全长范围内进行。测点位置: 应能明确表示出河床断面, 每隔 10m 左右一个测点, 必要时应增加测点, 每次测量应在固定的测点上进行。在必须了解主塔及桥墩周围冲淤变化时, 应以主塔及桥墩中心为圆心, 一定距离为半径, 测量该范围内的水下地形。每次测量结果, 应绘在图纸上, 并绘制历年冲刷总图, 每五年更换一次, 用不同颜色或不同形状的线条表示。图上应绘有各

种水位、墩台顶、基础底部、河床的标高以及水深、墩台中心线及河床断面。并应注意积累和保存监测资料，作为以后制定桥梁改善和维修加固措施的依据。

水位观测：观测时间和观测次数要适应一日内水位变化的过程，要满足水文预报和水文情报的要求。在一般情况下（11~12月，1~4月），应每日观测1次。出现缓慢峰谷时，应在20:00时增测1次。洪水期（5~10月）每日观测3次，水位急剧涨落时期还需适当增加观测次数，使测得的结果能完整地反映水位变化的过程。观测时应填写水位观测记录表，应根据水位观测记录定期绘制水位曲线图，并找出当年最高洪水位及其发生日期。

洪水通过情况的观测：洪水通过时，应观测水流流向、流速，以及有无旋流、斜流、流木、漂浮物等情况，同时应检查主塔承台、墩台、调治构造物、防护工程等的的作用是否正常，防护设备数量是否足够，流速观测一般用流速仪测速，或用浮标法或泥沙颗粒起动法测速。大桥管理单位应自备流速仪，汛期每月测量1~2次，必要时可多测。

做好排洪、泄洪等防范工作。每年汛期前应进行一次预防水毁的技术检查。洪水过后对大桥进行及时、详细的检查，检查项目主要有以下内容：检查排水设施是否畅通，若堵塞应及时疏通。对墩台基础、主塔及基础进行详细。检查重点为：桥墩基础、下塔柱及主塔承台，若出现磨损、倾斜、冲刷等应及时维修。依据洪水期间健康监测记录的沉降监测值，分析墩台基础及主塔基础有无发生沉降。对河床和冲刷防护工程进行检查，若发现损毁应立即维护。

### 3) 风灾期和风灾过后的检查

大风风速观测：接到大风即将到来的预报时，应该启动风速观测仪，自动记录风速随时间变化的历程曲线。可得到最大风速以及来风的方向与主梁的攻角。

大风期间桥梁各部位的大风响应进行观测与分析：大风到来后根据监测系统自动记录主梁的加速度和振幅随时间的响应历程。大风过后对记录到的信号进行频谱分析，确定结构在本次大风期的最大响应。还应在主塔塔基(承台)上架设高速摄像机，自动记录大风过程中，中跨跨中的最大挠度(包括竖向和横向)迹线。应对大风期间斜拉索的风雨振情况的监测值进行分析。

大风过后的检查：大风过后应对主塔塔顶偏位进行观测并对记录进行分析，确定主塔有无不可恢复的偏位。斜拉索、吊杆护套有无损坏，拉索或吊杆有无扭

曲、变形、断丝，阻尼器是否完好。支座是否处于正常位置和完好状态。钢箱梁主要部位焊缝、风嘴、混凝土箱梁以及钢箱梁与斜拉索连接处周围等部位是否有裂缝或较大的变形。桥面、伸缩缝、栏杆、护栏等桥面系构件是否完好，是否存在不可恢复的变形。桥上各种附加电器，诸如路灯、景观照明灯、塔内照明设施、箱内照明设施、航空障碍灯、航标灯、避雷针及设施、安全监测系统及安全标志等是否完好、有效。

#### 4) 火灾过后的检查

若因行驶在桥上的油车或其它运载易燃物品的车辆发生意外等原因引起火灾，火灾后，一定要做仔细检查。查清火灾原因，确定受火灾影响的范围和部位。检查的主要内容有：火灾影响范围内的桥面铺装是否有严重损坏，尤其是环氧沥青铺装。详细检查伸缩缝是否受损，尤其是伸缩缝的橡胶构件。检查火灾影响范围内的主梁是否完好。火灾影响范围内的各根斜拉索、吊杆或主缆及其有关连接件是否受损。根据大火期间健康监测记录的斜拉索、吊杆索力值，分析斜拉索、吊杆索力有无变化。如果火灾发生处的斜拉索、吊杆系统损坏严重，还要进一步查看斜拉索、吊杆的钢丝是否也受到损伤，必要时应取样进行材料性能试验确定具体的损伤程度，相关具体要求参见 3.5.4。查看桥面中央分隔带或其它部位的通讯及照明管线、安全监测系统等是否有效。有害化学液体污染桥面时应及时检查处理。首先查清其化学成份，并经研究用合适的清洗剂及时清洁，以免损坏桥面，并对主梁造成腐蚀，应引起高度重视。

表 3.5.4 斜拉索应急检查基本要求

通用检查要点	
1、重点测量损伤拉索两侧、横桥向同位置拉索索力变化情况，条件允许时测量全部索力。	
2、损伤处的主梁标高变化情况，是否存在明显下挠或构件变形。	
损伤成因	应急检查要点
火灾	检查火灾位置附近全部斜拉索，包括： (1) PE 护套火烧情况，是否熏黑、融化、开裂； (2) 钢丝：是否裸露、熏黑、烧断、损伤； (3) 是否存在断索可能等。 (4) 分析拉索过火时间。
撞击	检查是否有其他斜拉索受到撞击，如有检查以下内容： (1) 斜拉索 PE 护套：是否存在划痕、缺口、开裂等。 (2) 钢丝：是否裸露、断裂、损伤； (3) 检查上下锚固端是否松动、开裂。

	(4) 检查斜拉索线形是否扭曲、偏离原先位置。
严重腐蚀	检查遭受腐蚀的全部斜拉索，包括： (1) PE 护套腐蚀情况，是否软化、溶解、脱落； (2) 斜拉索锚头、护套等钢构件，是否溶解、腐蚀； (2) 钢丝：是否腐蚀、断裂； (3) 是否存在断索可能等。

#### 5) 超重车辆过桥时和通过后的检查

超重车辆过桥除按相关规范和法规的各项规定办理外，在超重车辆行进过程中和通过以后还必须进行必要的观测。

超重车辆过桥，事先必须经过有关部门的检算、批准，应该单独过桥，按指定的路线行进，并禁止其它车辆同时通行。在超重车辆行进过程中和通过以后都必须进行必要的观测。

行进过程检查：在行进过程中，主要应当对主桥挠度、桥面线形变化和裂缝开展情况进行跟踪测量。

超重车辆离桥后的检查：超重车辆驶离桥半小时后，首先应当对桥面线形监测数据进行分析，确定是否留下残余挠度。主梁内有无可见的裂缝和损伤，斜拉索、吊杆与主梁相连的锚箱之间有无裂缝，斜拉索锚固区钢箱梁顶板有无裂缝，塔端钢锚箱有无异常变形、裂缝，伸缩缝有无损坏。桥梁墩台、主塔承台及支座有无明显变位和损伤。

#### 6) 船舶等大漂浮物撞击的措施及撞击后的检查

发生船舶或大漂浮物碰撞事故后必须立即进行检查：首先调查肇事船只或大漂浮物的吨位、撞击速度、方向和高度，估算撞击力的大小。利用布设在塔底和墩底的三项加速度传感器记录撞击历程，应用记录结果并根据估算的撞击力对桥梁墩台及防撞设施结构进行空间分析，判断结构有无功能降低的迹象。检查范围从被撞部位逐渐扩散至整体。

具体检查时应首先应查看防撞设施是否有配置物脱落、损坏；防撞设施的结构是否变形、破裂；结构的变形范围和破裂范围；桥墩表面是否有损伤。用肉眼观察桥梁受撞部位的损伤状况。混凝土表层有无破碎和开裂，是否有构造钢筋或受力钢筋暴露出来。如有破碎，应对破碎范围大小、程度及所在位置作出描述。如有开裂，应对裂缝的数量、分布情况及所在位置作出描述。用无损探伤仪器对被撞区域进行超声波无损探伤，判断混凝土内部是否产生损伤。用脉动方法测定

主塔墩动力特性的变化，所测基频的阶次尽可能高，结合相应振型来判断主塔墩受撞后的损伤程度。

7) 有害化学液体污染桥面时的检查：当有害化学液体污染桥面时应引起高度重视。应首先查清其化学成份，并经研究用合适的清洗剂及时清洁，以免损坏、腐蚀桥面及钢箱梁或引起火灾。

**3.5.5** 特殊检查应根据检测目的、病害情况和性质，采用仪器设备进行现场测试和其他辅助试验，针对桥梁现状进行检算分析，形成评定结论，提出措施建议。

#### 条文说明

**3.5.5 结构检算方法和目的：**在地震、超重车辆过桥、船只等漂浮物撞击桥墩以及桥上行驶的车辆撞击主塔或斜拉索、吊杆等后，除进行前述有关条款的检查外，还均应对结构进行检算。验算的方法是将外力(地震力、撞击力等)加在相应位置，用有限元法对结构进行整体分析，确定结构在这些意外荷载作用下的内力状态，并把这些附加内力同结构恒载内力叠加，然后再与材料的设计强度或结构刚度对比，确定结构的使用功能是否仍能满足要求。

**用动力特性变化作诊断：**在发生各种事故后，亦应对相应状态下结构的动力特性及响应进行计算，以评判这些意外事故是否会引起故障发生，对可能发生故障的部位进行仔细测量，用动力特性的变化来进行故障诊断。

**3.5.6** 特殊检查后应提交检查报告，包含下列内容：

- 1 桥梁基本状况信息。
- 2 专项检查的总体情况概述。包括桥梁的基本情况、检测的组织、时间、背景、目的和工作过程等。
- 3 现场调查、检测与试验项目及方法的说明。
- 4 详细描述检测部位的损坏程度并分析原因。
- 5 桥梁结构专项检查评定结果。
- 6 提出结构部件和总体的维修、加固或改建的建议。

## 3.6 健康监测

**3.6.1** 桥梁健康监测系統宜与桥梁养护管理系统相结合，构成桥梁运营监测综合管理系统。

**3.6.2** 缆索结构体系桥梁健康监测系統应定期进行维护以保证其硬件系統采集的数据质量保持设计要求、软件系統功能运行正常。

### 条文说明

3.6.2 公路斜拉桥、悬索桥一般均按要要求安装有大型桥梁结构健康监测系統。作为高度精密的电子化检测系統其使用寿命往往小于结构本体，如不能进行良好的维护，其使用效果多不理想。健康监测系統能正常发挥作用的基础在于正确采集结构的响应，为结构安全分析提供高质量的数据，为达到此目标，其传感器系統应定期进行检定，对异常或达到使用寿命的仪表进行维修或更换。软件系統应根据硬件系統的更换，做好对新旧监测数据的重新标定、衔接和更新，以维持有效的使用功能。

**3.6.3** 桥梁健康监测系統的结果应与桥梁的经常、定期与特殊检查相互补充、相互验证。不得直接应用桥梁健康监测的结果作为养护工程的依据。

## 3.7 桥梁评定

**3.7.1** 缆索结构体系桥梁的评定按相关行业规范的规定执行。

### 条文说明

3.7.1 公路斜拉桥、悬索桥的一般性评定应按《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21)的规定对桥梁的总体、各部件、各构件的技术状况进行评定；适应性评定应按《公路桥涵养护技术规范》(JTG H11)、《公路桥梁承载力检测评定规程》(JTG/T J21)的规定对桥梁的承载能力、通行能力、抗灾能力进行评定；耐久性评定应按《公路桥梁耐久性检测评定技术规程》的规定执行。

**3.7.2** 缆索结构体系桥梁的适应性评定宜按周期进行，设计未规定时，周期间

隔宜为 10 年。

**3.7.3** 缆索结构体系桥梁评定的结果应与养护工作密切结合。

**条文说明**

3.7.3 公路斜拉桥、悬索桥的评定结果除应与养护资金计划安排结合外，也应与经常检查、预防性养护周期、养护规划结合，对其进行动态调整。

征求意见稿

## 4. 养护策略

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 公路缆索结构体系桥梁的养护可由管理（养护）单位负责实施，亦可委托有资质有能力的单位负责实施。

#### 条文说明

4.1.1 技术简单的预防养护和修复养护的小修宜由管理（养护）单位负责实施。技术复杂的预防养护、专项养护、修复养护中的大中修类工程或资金规模超过有关法律规定的养护工程，应按国家招投标相关法律法规委托有资质及经验的单位实施。

**4.1.2** 公路缆索结构体系桥梁宜根据具体桥梁的结构特点与运行环境情况，合理编制桥梁养护规划，科学安排近、中、长期的养护项目与养护资金，在养护规划的指导下开展养护工作。

1 规划内容应根据桥梁的实际需求进行，包含并不限于桥梁养护制度档案规划、桥梁检查规划、结构维养规划、机电设备维养规划、桥梁应急规划、养护资金规划期估算等。

2 规划应坚持全生命周期养护成本理念。

3 规划期不宜少于 20 年，重点应为近期和中期，并宜根据实际情况定期进行修订。

#### 条文说明

4.1.2 养护规划的核心思想即根据不同桥梁结构与耐久性特点、环境情况、相关构件功能衰退的规律预先规定规范性的养护计划，建立养护措施与检查评定、运营时间的关系，突出预防性养护策略的在桥梁全生命周期内的应用，使得桥梁在整个生命周期内社会、经济与环境效益综合最优。

预防性养护的经济性与有效性，很大程度上取决于采取预防性维养措施的时机。对于时机的选择目前存在多种方法，考虑到相关方法的成熟可操作性，缆索

结构桥梁的复杂性。本规范对预防性养护时机的选择采取以周期时间为主和基于性能指标的选择为辅的机制。基于周期时间的预防性养护就是对桥梁进行定时性的维护。按照该维护策略，暂不考虑桥梁构件的性能退化状况，仅按照规定的时间间隔对其进行维护。当桥梁构件的性能指标降低到一定水平，才采取维护措施，称为基于性能指标的预防性养护。该策略通过构件性能状态来确定养护时间，维护时间是不确定的，需要根据其技术状态来判断，本规范做出了具体规定。

**4.1.3** 公路缆索结构体系桥梁养护工程完成后的桥梁技术状况宜恢复到一类。

**4.1.4** 公路缆索结构体系桥梁的养护鼓励采用“四新技术”提高养护效果。

**4.1.5** 公路缆索结构体系桥梁养护工程实施前应制定相关安全及通行保障计划，并得到相关部门的批准。

**4.1.6** 为实现对桥梁关键部件的易检查、易养护的目标，可根据桥梁实际情况及养护需要增设养护设施。

#### 条文说明

4.1.6 公路缆索结构体系桥梁的养护设施包括主缆、斜拉索载人或无人检修平台、梁内（底）检修车或平台、桥塔检修设备（塔内爬梯、塔内电梯、塔外吊篮等）和墩顶检修道、锚碇内外检修道等。

## 4.2 斜拉桥的养护策略

**4.2.1** 斜拉桥主要部件的养护策略可参照表 4.2.1。

表 4.2.1 斜拉桥主要部件的养护策略

部位	部件	典型病害	养护策略		
			预防	修复	应急
	斜拉索	斜拉索防护套破损		○	
		斜拉索阻尼器失效	○	○	

上部结构		斜拉索异常振动		○	
		斜拉索索力超限		○	
		斜拉索钢件锈蚀		○	
		锚固系统防护老化	○		
		斜拉索承载能力不足		○	
		斜拉索断索			○
	主梁	钢结构锚固区涂层劣化	○		
		钢结构锚固区连接失效		○	
		混凝土锚固区开裂破损		○	
下部结构	索塔	钢索塔涂层劣化		○	
		钢索塔栓焊连接损伤	○	○	
		混凝土索塔涂层破损		○	
		混凝土索塔破损		○	
		索塔积水	○		
		索塔偏位		○	
	索塔基础	基础冲刷超限		○	
		河床铺筑损坏		○	
桥面系与附属设施	桥面铺装	抗滑等功能能力下降	○		
		沥青铺装破损		○	
		水泥铺装破损		○	
		铺装功能严重损失		○	

	护栏	护栏污损	○		
		金属护栏涂层劣化		○	
		护栏及风障功能损失		○	
		护栏事故性损毁			○
	伸缩缝	伸缩缝泥沙堵塞	○		
		伸缩缝过车异响	○	○	
		锚固区混凝土开裂破损		○	
		钢梁或齿缝断裂		○	
		伸缩缝到达使用寿命		○	
		伸缩缝功能严重损失		○	
	支座	支座钢件涂层劣化	○		
		支座钢件锈蚀		○	
		支座螺栓松弛	○		
		支座垫石破损		○	
		支座功能损失		○	
		支座功能严重损失		○	
		支座到达使用寿命		○	
	阻尼器	防护涂层破损	○		
		连接螺栓松动	○		
		连接螺栓断裂		○	
连接混凝土破损			○		

		抑制振动不达标		○	
		严重漏油		○	
		阻尼器卡死		○	

#### 条文说明

4.2.1 斜拉桥各组成构件具体的分类养护措施详见第 5 章、第 7 章和第 8 章的相关内容。主梁部分仅包含与缆索相关的锚固等特殊部位，其余内容还应参照其他养护规范执行。桥梁构件病害同时具备多种策略的通常意味着不同阶段、不同病害程度的差异，可根据实际的病害情况，按本规范的相关划分执行。

4.2.2 斜拉桥各构件养护的频率参见第 5 章、第 7 章和第 8 章的相关内容。

### 4.3 悬索桥的养护策略

4.3.1 悬索桥主要部件的养护策略可参照表 4.3.1。

表 4.3.1 悬索桥主要部件的养护策略

部位	部件	典型病害	养护策略		
			预防	修复	应急
上	主缆	外表污染	○		
		涂层防护劣化	○		
		防护体系破损、失效		○	
		钢丝锈蚀		○	
		索股断裂			○
	索夹	涂层防护劣化	○		
		锚固螺杆松弛	○	○	
		索夹破损		○	

部 结 构		封缝胶老化	○			
		索夹滑移	○	○		
		锚固螺杆断裂		○		
	吊杆		涂层防护劣化	○		
			防护套破损		○	
			橡胶减震器开裂	○		
			长吊杆振动过大		○	
			短吊杆损坏		○	
			吊杆承载力不足		○	○
			吊杆达到设计寿命		○	
	索鞍		涂层防护劣化	○		
			固定螺栓松动	○		
			滑（转）动干涩	○		
		索鞍螺杆开裂		○		
		鞍座开裂		○		
		鞍室湿度不满足要求		○		
下 部 结 构	索塔	鞍室湿度不满足要求		○		
	锚碇	锚碇渗水、积水	○	○		
		锚碇混凝土开裂		○		
		锚固系统防护缺陷或失效	○	○		
		锚室湿度不满足要求		○		

条文说明

4.3.1 悬索桥各组成构件具体的分类养护措施详见第 6 章、第 7 章和第 8 章相关内容。悬索桥的索塔、索塔基础、主梁、桥面系与附属设施参考斜拉桥。

4.3.2 悬索桥各构件养护的频率参见第 6 章、第 7 章和第 8 章的相关内容。

征求意见稿

## 5 斜拉桥的养护与维修

### 5.1 斜拉索

**5.1.1** 斜拉桥斜拉索的养护与维修应符合下列基本要求：

- 1 斜拉索养护应保持各构件完好、无缺损、功能正常，强度、索力、线形符合设计要求。
- 2 平行钢丝斜拉索和钢绞线斜拉索应结合各自构造特点进行养护与维修。
- 3 索体不宜附着装饰灯具、广告牌、旗帜、飘带等与维持索体功能无关的附属物。在运营期，在索体上附着附属物前应进行专项评估。
- 4 进行斜拉索索力测量、监测或养护维修时，应避免损伤斜拉索护套。

#### 条文说明

2 斜拉索主要有平行钢丝索和钢绞线索两大类，各自有配套的锚具，其防护层也有区别。因此，应结合各自构造特点进行养护维修。

**5.1.2** 斜拉索预防养护的内容包括斜拉索构件的清洁和保养。实施预防养护的时机应符合下列基本要求：

- 1 斜拉索构件的清洁频率每季度不少于 1 次。
- 2 斜拉索构件的保养频率每年不少于 1 次。

**5.1.3** 斜拉索构件的清洁应以拉索锚固系统及周围环境为主要工作内容，定期清理锚固系统附近的杂物、积水；锚具及护筒内应保持清洁、干燥。

#### 条文说明

5.1.3 斜拉索的锚固系统是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。

**5.1.4** 斜拉索构件的保养应符合下列基本要求：

- 1 更换拉索两端锚具锚杯内的防护油。

- 2 对拉索两端钢护筒做涂漆、防锈处理。
- 3 更换钢护筒与套管连接处的防水垫圈及阻尼垫圈，确保连接处的防水效果。

#### 条文说明

5.1.4 斜拉索养护的重点部位是上、下锚头处、锚头、拉索出口密封处等。除了对该处进行清洁、保持干燥环境外，也应采取主动防护措施，定期更换锚具内的防护油脂、对钢护筒除锈等。

5.1.5 斜拉索的修复养护包括索体自由段的修复、索体锚固段的修复和斜拉索减振装置的修复、斜拉索异常振动的处置、斜拉索索力的调整和斜拉索的更换。

5.1.6 斜拉索实施修复养护的时机应宜结合桥梁检查工作进行确定，并符合下列基本要求：

- 1 在斜拉索经常检查中发现明显病害或缺陷时，应及时进行修复。
- 2 每次定期检查结束后，应对斜拉索主要病害进行统计汇总，并组织 1 次全面的修复，修复范围、数量、内容应结合实际情况确定。

5.1.7 斜拉索索体自由段的修复应进行拉索护套的修补、锈蚀钢丝或钢绞线的修复，并符合下列基本要求：

- 1 拉索护套的修补
  - 1) 斜拉索护套老化开裂或环状断开失去防护功能时，应进行修补。
  - 2) 对于采用套筒压注水泥浆防护的斜拉索，当金属套筒腐蚀钢丝仍完好未锈蚀时，应更换金属护套并做好防腐涂装；
  - 3) 对于采用热挤高密度聚乙烯作护套的工厂成品索，应采用专用塑焊枪进行熔焊修补，修补用 PE 宜同原材料一致，修补完后可在外部进行 PVF 缠包带补充防护。
  - 4) 如水分已通过护套破损进入索体，则在修补前应先进行除湿处理。

#### 条文说明

1 斜拉索护套在运营过程中会出现细纹、刮痕、刮伤、严重刮伤、翘皮、孔洞、开裂、严重开裂等病害。斜拉索护套损伤原因：其一：人为因素。斜拉索

施工涉及的工序较为繁杂，具体有运输、存放、卷盘、展开、托索、吊装、牵引、锚固、张拉及调整等，而斜拉索护套保护层是柔性聚合物，在运输、挂索、张拉等施工中，会不可避免的受到不同程度的损伤。其二：活载的影响。由于车辆、行人、风、雨等活载的作用，拉索应力变化大，索梁振动加剧，拉索伸长量也发生往复性的变化使得材料出现疲劳、老化、裂缝，破坏防护系统的整体性。需要注意的是，热挤平行钢丝拉索其钢丝与 PE 热熔粘结，钢丝受力时可传递给 PE，PE 在受力状态下易开裂。而钢绞线拉索配 HDPE 护套不受钢绞线传递力，不易开裂。

3) 修补用材料同其主要性能满足《斜拉桥热挤聚乙烯高强度钢丝拉索技术条件》(GB/T 18365)、《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》(JT/T 771)的要求。

当采用专用焊枪进行熔焊修补时，典型工艺流程如下：

- ① 用机械方法剔除 PE 护套破损部位，直至露出完好聚乙烯；
- ② 用丙酮对待修补部位进行清洗，加工坡口；
- ③ 用于原护套材料相同的焊条进行加压堆焊，直至恢复护套厚度，最后用抛光机对焊接部位进行抛光。

当采用 PVF 缠包带进行修复时，典型工艺流程如下：

- ① 剥除破损的 PE 护套，清洗伤口。
- ② 准备新的 PE 护套套管（规格、颜色完全与现有索体一致）。
- ③ 索体表面清理干净后，在索体表面缠绕 PVF 带及纤维胶带进行防护。
- ④ 将 PE 套管安装在索体上，并临时固定。
- ⑤ 对环向及纵向接缝进行焊补。塑料焊条堆满损伤处，待冷却后进行打磨。

## 2 锈蚀钢丝（钢绞线）的修复

1) 当护套破损并导致钢丝（钢绞线）裸露并出现锈蚀时，应对锈蚀情况进行评估，当认为拉索可继续使用时，可进行锈蚀钢丝（钢绞线）的修复。

2) 切除破损护套，对钢丝（钢绞线）进行除锈处理，涂刷环氧富锌漆并填充防锈油脂。钢丝（钢绞线）锈蚀程度改善后，应修复护套并封闭索体。

3) 拉索钢丝（钢绞线）严重锈蚀或出现断丝，经评估无法继续利用的，应进行更换钢绞线或换索。

### 条文说明

2 斜拉索运营中常见有拉索钢丝生锈、流淌锈水，锈皮起鼓脱落。钢丝锈蚀严重的会导致拉索断裂，造成安全事故。

1) 钢丝或钢绞线的锈蚀情况的评估，可参考《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》(GB/T 8923.1-2011) 中的锈蚀等级进行评定。

3) 根据调研情况，目前国际上尚无标准的钢丝锈蚀评级方法，根据业界专家的工程实践，建议采用下列图表的标准，记录每根钢丝的锈蚀程度。

一般认为，经检查钢丝劣化等级在IV级或IV级以上，断丝不超过 5%或断丝与钢丝锈蚀削弱截面合计不超过 5%时，可不进行斜拉索的更换。

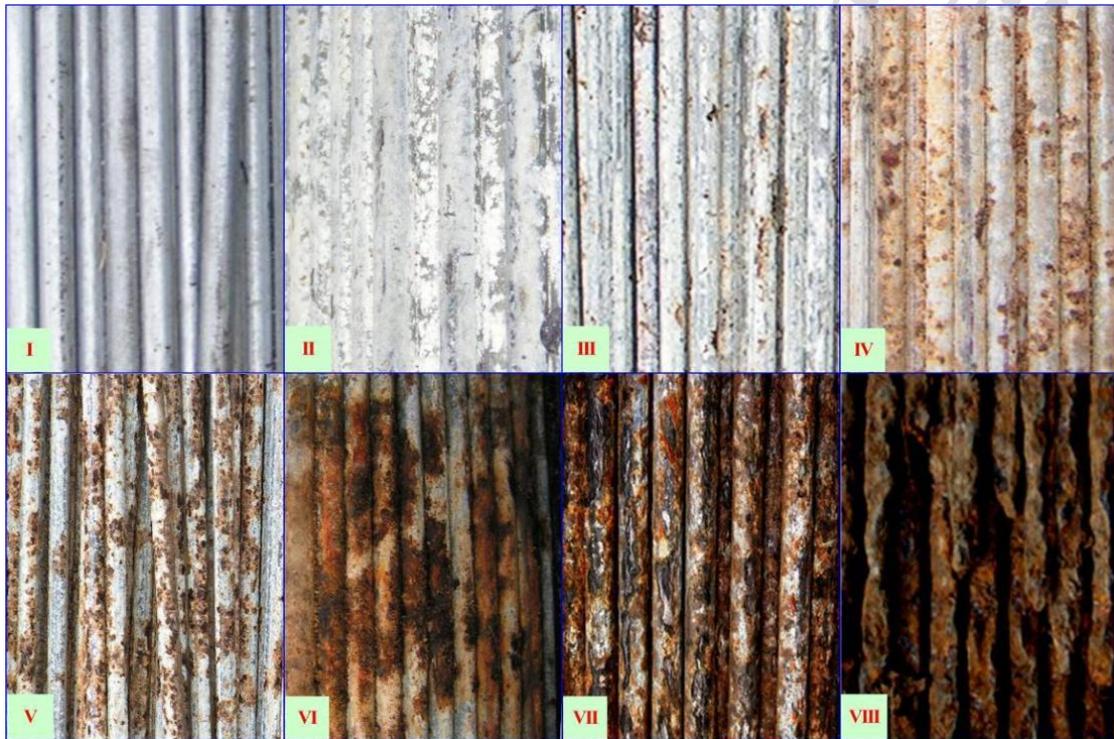


图 5.1.7 钢丝锈蚀程度分级标准图谱

表 5.1.7 钢丝锈蚀程度分级描述

锈蚀等级	描述
I	钢丝完好无锈，表面泛着金属光泽
II	钢丝表面出现白色镀锌锈蚀粉末，但钢丝基质没有锈蚀
III	钢丝表面局部镀锌耗尽，基质锈蚀导致黄色斑点出现。用钢丝刷、抹布清洁这些黄色斑点后，钢丝恢复光滑外表，有肉眼可见的锈蚀痕迹
IV	钢丝表面出现黄色斑点，且无法用钢丝刷清洗

V	钢丝表面黄色锈斑颜色变深，数量增多，部分锈斑连接成片，但铁锈覆盖的面积比锌粉面积小。锈斑中心出现易剥落的锈蚀产物，除锈后可见浅坑
VI	钢丝表面锈斑成片出现，铁锈覆盖的面积比锌粉的面积大。锈蚀产物膨胀隆起，除锈后钢丝表面出现明显凹坑
VII	镀锌耗尽，钢丝严重锈蚀，除锈前即可发现明显截面损失
VIII	钢丝截面损失 80% 以上，可视为断裂

### 5.1.8 斜拉索索体锚固段的修复应符合下列基本要求：

1 锚头内油脂老化、变质时，应及时进行更换。更换油脂时，原有油脂应擦除干净，涂覆的新油脂应饱满、均匀。

2 锚罩（锚箱）锈蚀不严重时，可除锈后重新涂装；锈蚀严重时，可更换为不锈钢锚罩、锚箱盖。

3 钢绞线斜拉索的夹片应始终处于紧固状态，不得出现松动或钢丝滑移；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，并检查油脂、锚罩的防护情况。

4 斜拉索导管积水时，应拆除导管减震器并清理管内充填物，用热空气干燥导管，然后在导管内充填聚氨酯泡沫胶进行封闭。

5 下锚头内积水时，应及时清除积水，找出防水失效原因，避免再次进水；并在下锚头锚杯、螺母、锚垫板等处涂抹黄油防腐。

6 锚具或其连接螺栓、锚拉板等构件存在开裂、变形时，应进行专项检查评估，并及时维修加固。

7 锚固区混凝土存在开裂、剥落等病害时，应及时维修或加固。

#### 条文说明

2 锚头黄油老化变质后，粘度降低，流到锚罩与锚垫板结合处，腐蚀密封橡胶条及锚罩内外侧涂装，加速了锚罩涂装老化开裂，锚罩（箱）外侧涂装受日照等环境作用，也逐渐老化开裂。锚罩（箱）涂装老化开裂后，在雨水结露等湿度较大的环境，锚罩逐渐锈蚀，锈蚀又导致相邻涂装剥落，引起更大面积锈蚀。

4 导管积水主要来自锚头渗水和冷凝水，锚头渗水通过阻断锚头进水通道解决；为防止冷凝水产生，需将上导管密封，阻止潮气进入。

5 下导管渗水是下锚头锈蚀的主要原因，锚头锚索、夹片锚索的下导管积水沿钢丝（钢绞线）下渗至锚头，引起裸露段钢丝（钢绞线）锚头、夹片、锚杯、螺母、锚垫板锈蚀；冷铸锚下导管积水由螺母与锚杯或螺母与锚垫板间隙下渗至锚头，引起锚杯螺母、锚垫板等锈蚀。

### 5.1.9 斜拉索减振装置的修复应符合下列基本要求：

- 1 斜拉索减振装置各部位应保持完整、清洁，处于正常工作状态。
- 2 减振装置若存在阻尼油泄漏、螺栓锈蚀或松动、钢构件涂层脱落或锈蚀、支架及索夹变形或移位等病害，应及时进行修复。
- 3 斜拉索索塔端设有减振装置时，应确保止挡构造的牢固、稳定，防止橡胶圈脱落。
- 4 斜拉索异常振动时，应对斜拉索减振装置进行修复，并应符合本标准第 5.1.11 条的要求。

#### 条文说明

3 有些斜拉桥在斜拉索索塔锚固端也设有减振装置，通过在钢护筒内设置橡胶减振圈实现减振功能，一般构造如下图所示。近年来，部分设置内置式阻尼器的桥梁出现了塔端阻尼器松动、脱出甚至坠落的情况，主要是下方止挡构造锈蚀、损坏。由于阻尼器位于索塔上端，检查养护较为困难，容易成为养护盲区和隐患，应引起足够重视。

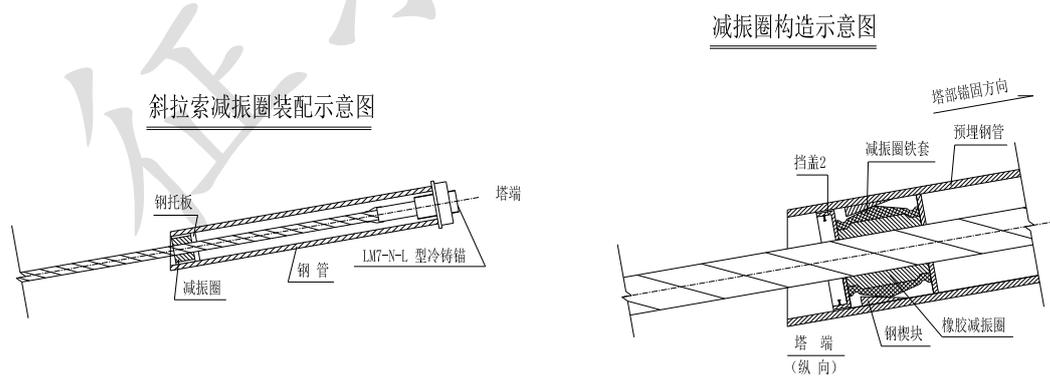


图 5.1.9 索塔端斜拉索减振装置构造示意

### 5.1.10 斜拉索异常振动的处置应符合下列基本要求：

- 1 斜拉索异常振动的处置时机

- 1) 巡查或检查中, 发现斜拉索有肉眼可见的异常振动。
  - 2) 风雨天气下, 拉索振幅显著增大, 甚至剧烈摆动, 有时伴有波状驰振, 严重时甚至两索相碰。
  - 3) 索力监测中, 斜拉索振动加速度均方根最大值超过规定限值。
- 2 维修前应收集拉索异常振动的主要参数, 测试各阶振动的阻尼比, 分析引起异常振动的原因, 作为选择维修方法的依据。
- 3 斜拉索缺少减振措施时应增设减振设施; 有减振措施时, 应检查其有效性, 分析原因, 进行修复或更换。
- 4 阻尼减振法
- 1) 阻尼器失效导致斜拉索异常振动的, 应及时修复或更换阻尼器。
  - 2) 阻尼器工作正常而因参数差异不能有效减振的, 应结合观测结果和理论计算, 更换为参数合适的外置式阻尼器。
- 5 增设辅助索: 采用联结器(索夹)或辅助索将若干根索相互联结起来, 形成索网体系。在应急处治时, 可采用临时钢丝绳将拉索与梁体上的牢固构件连接固定。
- 6 气动控制法: 对于光滑表面斜拉索发生异常振动时, 可将斜拉索护套表面处理成带有螺旋凸纹、条形凸纹、V形凹纹或圆形凹点的非光滑表面。

#### 条文说明

5.1.10 斜拉索振动异常会损坏索的钢套筒、套筒帽及其固定螺栓, 拉索的防振阻尼器及 PE 护套。经常发生的异常振动会加剧斜拉索根部护筒疲劳开裂, 使拉索根部积水, 加速拉索锈蚀, 缩短其使用寿命。

1 在桥梁检查过程中, 尤其应注意较风雨天气下斜拉索的异常振动情况。另外, 根据《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T 1037-2016) 中的规定, 结构整体响应监测数据应对加速度进行分析, 其中包括加速度的均方根值。加速度均方根又称为 RMS, 计算公式如下:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{N}}$$

均方根值的计算与平均值相识, 但从数学意义上来看, 实际实验结果相对于其平均值误差必然有正有负, 均方根值因其将误差平方时消除了符号影响, 所以

可以更好地反映实验结果误差的离散性。在振动监测领域，均方根通过用来反映振动的强度，加速度均方根值越大，表明结构振动程度越激烈。

2 由于索的风振、雨振与风的大小、方向、雨的具体情况、斜拉索的长度、自振特性等很多因素有关，观察的次数少了，不一定能掌握风振、雨振的全部情况。因此，在进行维修处置前，应进行详细的观察与分析计算。

4 阻尼减振法的作用机理就是通过安装阻尼装置，提高拉索的阻尼比从而抑制拉索的振动。它对涡激共振、尾流驰振、雨振以及由支座激励引起的拉索共振和参数振动都能起到较好的抑制作用。根据与拉索的相互关系，阻尼装置又可分为安放在套筒内的内置式阻尼器和附着于拉索之上的外置式阻尼器。阻尼器减振效果好，施工简便；但价格相对较高，接头容易开裂渗水。

斜拉索两端的钢护筒内都安装有减振型的橡胶减振圈，但这些减振圈减振的效果有限，只适合振幅不是很大的斜拉索。对于某一个斜拉桥来说，可以通过大桥建成以来，对斜拉索风振、雨振的观察，对振幅比较大的索，安装外置式的粘滞型阻尼器。

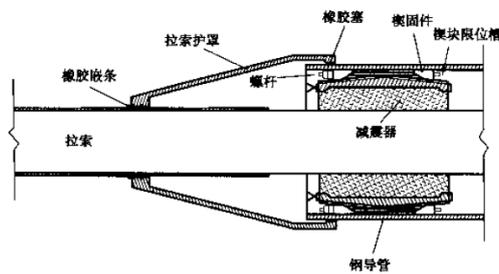


图 5.1.10-1 内置阻尼器

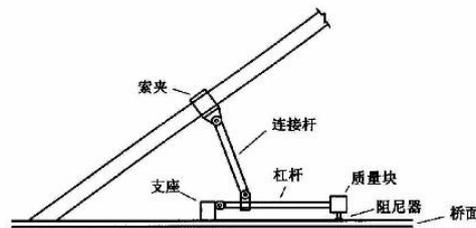


图 5.1.10-2 外置阻尼器

5 通过联结，将长索转换为相对较短的短索，使拉索的振动基频提高，从而抑制索的振动。该法对防止低频振动十分有效，同时也能降低雨振以及单根索振动发生的机率，但对通常以高阶形式出现的涡激振动抑制作用不明显（4阶以上）。另外，辅助索易疲劳断裂，对桥梁景观有一定影响。

6 通过提高斜拉索表面的粗糙度，使气流经过拉索时在表面边界层形成湍

流，从而防止涡激共振的产生；拉索表面的凹凸纹还能阻碍下雨时拉索上、下缘迎风面水线的形成，从而防止雨振的发生。该法对塔、梁在外界激励下导致索两端的支座激振（又称参数振动）无减振作用，且由于表面粗糙度的增加，会增大斜拉索对风的阻力。

表 5.10 各类斜拉索减振措施的比较

序号	减振器名称	减振原理	减振效果	价格	施工难易程度	美观效果
1	磁流变阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果最好、阻尼系数可调	价格最贵、磁流变体需要进口	厂家定制；现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于桥面上，呈三角形支撑，欠美观
2	液压阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果最好、阻尼系数可调	价格贵、加工难度较大	厂家定制；现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于桥面上，呈三角形支撑，欠美观
3	粘弹性阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果较好，是橡胶减振器效果的 4-5 倍，阻尼值不便调整	价格一般	厂家定制；现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于钢护筒内，美观、简洁，也可外置
4	电涡流阻尼器	通过电涡流耗散振动能力、改变振动特性	减振效果好、阻尼系数可调	价格较贵	厂家定制；现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于桥面上，呈三角形支撑，欠美观
5	橡胶阻尼器	吸收能量、改变振动特性、提高索的阻尼	减振效果一般、阻尼值不便调整	价格较低	厂家定制；现场安装；临时、永久减振相结合；施工简便	安装于钢护筒内，美观、简洁
6	辅助索	索网体系，由单根变成整体，长索变成短索，网结点起弹性支撑点作用，改变拉索结构特性	对 4 阶以上涡激振动减振效果差，对其他振型减振效果极好	价格较低	边挂设拉索边安装，临时、永久减振相结合，施工麻烦	形似蜘蛛网，不美观
7	动力减振锤	改变拉索动力特性	减振效果一般	价格低	只用于临时减振，安装方便	索端悬吊附件，不美观
8	索端联结杆	吸收能量，提高索的阻	减振效果一般	价格低	只用于临时减振，安装方便	临时措施，不影响运

		尼				营美观
9	拉索异形防护套	防止生产卡门涡激	对抑制风雨振效果好,抑制抖振效果差	价格昂贵	工厂制作,现场安装,施工方便	介于 1、2 和 3、4 之间

### 5.1.11 斜拉索索力的调整应符合下列基本要求:

- 1 进行斜拉索索力调整的时机:
  - 1) 由于索力偏差导致主梁线形异常、波浪起伏、跨中下挠,主梁结构开裂;
  - 2) 索塔轴线存在不符合设计的偏位;
  - 3) 中、大修后,桥面铺装更换,恒载分布有改变时;
  - 4) 重大突发损伤事件后,经检测桥梁存在上述 1)~3) 的情况时。
- 2 斜拉索索力调整幅度应相对较小,并在调整幅度范围内兼顾主梁线形、塔位、主梁应力等结构参数的改善。
- 3 索力调整施工要点:
  - 1) 索力调整应在温度稳定的季节和时段进行;调索时桥上应无活载通行。
  - 2) 对索力误差超过 10% 的斜拉索,可从超过设计拉力值最大或最小的拉索开始调整,调整顺序及调整值应按设计要求确定。
  - 3) 索力调整时应进行相应构件的监控,加强对主梁、主塔应力与位移测试,以求建立良好的结构状态。
  - 4) 每完成一根索力调整时,均应核查后续调索的控制参数是否与设计相符。

#### 条文说明

1 以往许多规范中会将“实际索力与设计索力相差 10% 以上”作为索力调整的依据。但很多桥在实际运营中,拉索索力都会出现超过 10% 的情况,在考虑拉索安全系数的情况下,10% 的偏差对于单一斜拉索影响不明显,用此作为调索的依据并不合理。主要应考虑由于索力偏差导致的主梁、索塔等异常情况。

2 通过索力调整来恢复斜拉桥的结构状态对钢梁斜拉桥效果显著;对于混凝土斜拉桥可调整的范围不大,此时应当对比设计、施工资料,计算分析斜拉桥结构状态异常的原因,制定相应的综合措施。调索计算在存在多个解的前提下应

在调索目标、调索原则的指导下进行,并选取一个调索幅度相对较小的调索方案,主要是避免使运营多年的老桥结构受力状态发生突变,以保证调索过程中结构的安全。

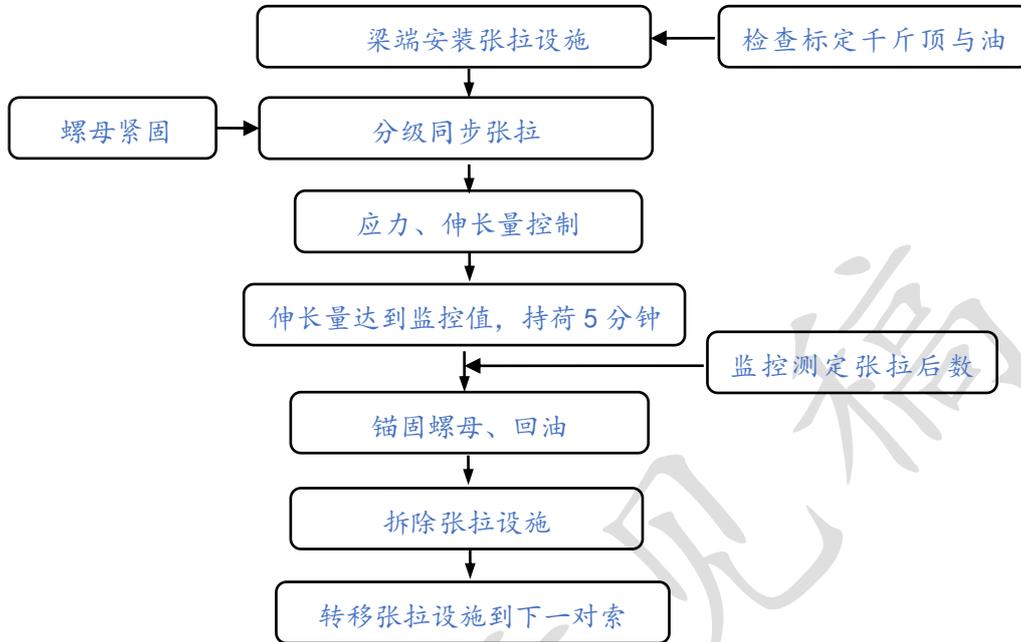


图 5.1.11 斜拉索索力调整工艺流程图

### 5.1.12 斜拉索的更换应符合下列基本要求:

#### 1 斜拉索更换的时机:

- 1) 拉索钢丝严重锈蚀或出现断丝,经评估无法继续利用;
- 2) 拉索护套损伤严重且无法修复;
- 3) 锚具损坏且无法修复;
- 4) 荷载增加或其他因素导致索力超出安全限值,且通过调索无法解决;
- 5) 拉索使用年限超过设计使用寿命,经评估后需要进行更换;
- 6) 重大突发事件造成斜拉索严重损伤的,如桥面火灾、车撞、地震等。
- 7) 拉索存在其他严重损伤且无法修复。

#### 2 斜拉索更换前的准备工作

- 1) 对全桥进行全方案的测量,即梁、塔、索,包括主梁的线形、标高位置,塔的偏移,拉索长度等;
- 2) 斜拉索索力的测量,包括减震器拆除前、后索力测量;
- 3) 主梁、主塔及索的缺陷复查即变化情况,并根据需要先对主要控制

构件出现的缺陷进行维修和加固，以保证换索的顺利和施工中的结构安全。

3 斜拉桥换索的顺序和方法要保证更换过程中结构安全，优先采用塔、梁内力变化小的方案，更换顺序总体上宜以桥塔为中心对称进行，对存在严重损伤的索应优先更换。

4 旧斜拉索拆除建议采用：先梁端拆除，再塔端拆除的施工方案。工艺流程如下：

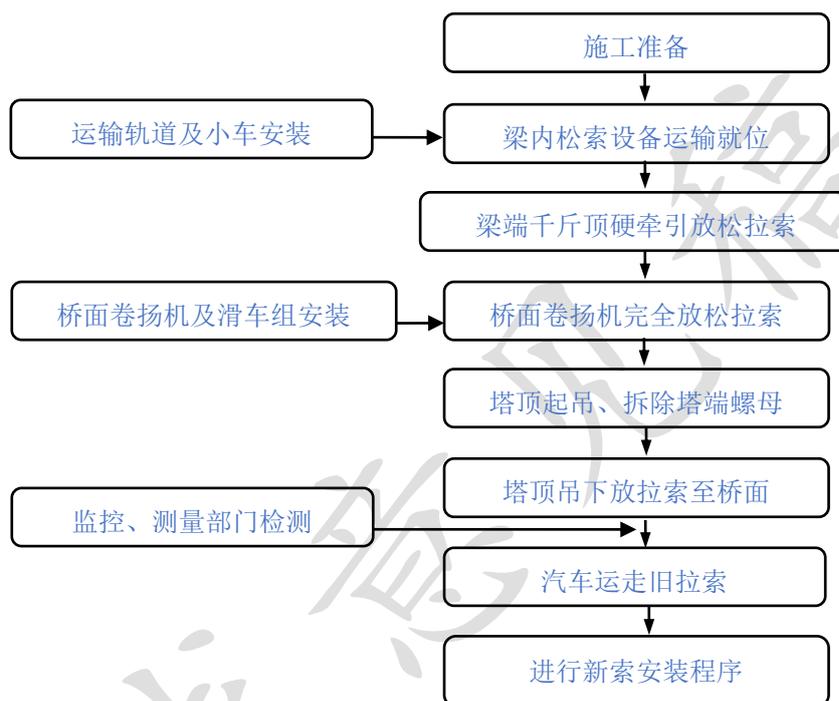


图 5.1.12-1 旧斜拉索安装工艺流程

5 新斜拉索安装建议采取：先塔端挂设，再梁端挂设，最后梁端张拉的施工方案。工艺流程如下：

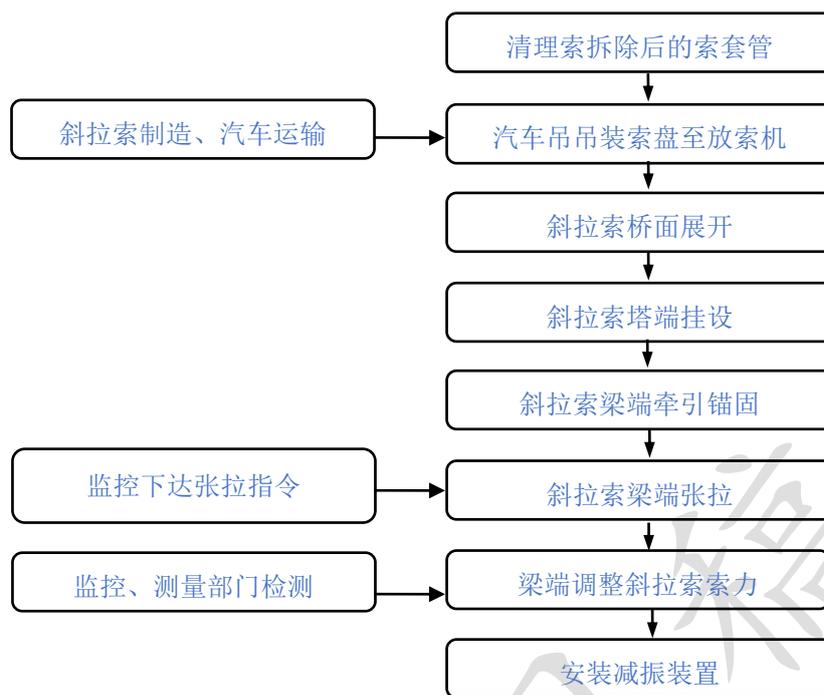


图 5.1.12-2 新斜拉索安装工艺流程

6 换索期间应对主梁、索、塔进行连续监控，直至全部更换完毕。主要监控项目有：主梁、主塔的裂缝观测；斜拉索的索力测量等。

7 换索期间应采取必要的交通管制措施。

#### 条文说明

1 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。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换。试换下来的斜拉索可进行试验室试验，对起腐蚀状况、强度、疲劳性能等力学指标进行详细判定。

3 《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008) 中规定：

1) 卸索时应严格控制索力，分级同步卸载，分级荷载级差按设计要求进行。

2) 卸索时应记录锚具大螺母松开时的千斤顶油表读数，并进行两次放张，满计要求后方可卸索。

3) 卸索过程中，应全过程跟踪观测梁顶高程的变化，并与理论监控计算值进较，如有异常，应立即停止卸索，待查明原因并处理后方可继续施工。

4 《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008) 中规定：

1) 拉索张拉的顺序、级次和量值应按设计规定和监控要求执行。拉索张

拉可在塔端或梁端单端进行。平行钢丝拉索应整体张拉。

2) 拉索更换后, 应立即在拉索钢套管处采取有效密封措施。拉索锚具在梁内塔上的外露部分应予以防护。

5 《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008) 中关于换索过程的施工监控要求:

1) 对影响范围内梁体的高程和索塔位移应进行四阶段桥面高程监测(梁体高程采用桥面高程代表), 分别为换索前、卸索、新索张拉、索力调整完毕。桥面高程监测可用精密水准仪, 为避免日照等对高程的影响, 宜在夜间及温度趋于稳定时段进行观测。

2) 必须跟踪测试被换拉索前后 3-5 组拉索索力, 并与理论计算值进行比较。

3) 换索过程中应监测主梁、索塔混凝土应变及裂缝变化情况。

4) 换索工程竣工后, 应对全桥拉索的索力及主梁高程进行测定, 以检验换索效果, 作为验收的依据。

**5.1.13** 当斜拉桥的斜拉索遭受火灾、撞击及严重腐蚀等突发事件并导致损伤时, 应实施斜拉索应急养护。

**5.1.14** 斜拉索应急养护的主要内容和措施应符合下列基本要求:

1 桥面交通管制。桥梁养护人员应对斜拉索损坏区域实施交通管制。当斜拉索断索时, 视情况应封闭半幅或全桥交通。

2 应急检查。由养护人员或检测单位对损坏斜拉索进行应急检查。应急检查基本要求应符合表 3.5.4 的规定。

3 临时处置。根据应急检查结果, 确定后续临时处置措施, 包括封闭车道、限制交通、原索搭接、设置临时拉索等。

4 维修加固。在确定斜拉索损伤风险处于可控范围后, 养护单位组织斜拉索养护维修工作。斜拉索的维修、更换等修复养护应符合本标准第 5.1.5-5.1.9 条的规定。

#### 条文说明

5.1.14 斜拉索的应急养护主要是针对各类损伤的应急处理与临时措施, 比如

临时拉索以保证基本安全条件等，斜拉索破断位置距离桥面较近时（<5m）可采用原索搭接的方式。斜拉索破断位置距离桥面较远时（>5m）可采用临索连接的方式。应急目标完成后应及时安排修复工程。

## 5.2 索塔

### 5.2.1 斜拉桥索塔的养护与维修应符合下列基本要求：

- 1 索塔养护应保持各构件完好、无缺损、功能正常，强度、刚度和稳定性符合设计要求。
- 2 索塔内部设置除湿系统的，塔内湿度符合设计要求。
- 3 索塔基础的养护与维修应符合本规范第 5.3 节的有关规定。
- 4 塔内电梯、爬梯等附属设施的养护应符合本规范第 8.8 节的有关规定。

5.2.2 斜拉桥索塔预防养护的内容包括索塔清洁和保养。实施预防养护的时机应符合下列基本要求：

- 1 索塔清洁和保养的频率每年不少于 1 次。
- 2 塔内机电设备的保养频率按各自产品说明书规定执行。

#### 条文说明

5.2.2 斜拉桥索塔一般采用混凝土结构或钢结构，结构及构件尺寸、高度均较大。在实际运营养护过程中，如对混凝土及钢构件实施裂缝封闭、涂装、除锈等修复性养护工程，一般成本较高、施工范围大、组织困难，所以多将这些工作作为修复养护进行集中处置。而对于索塔，适宜开展的工作主要是结构的清洁，通过清除索塔内外表面的杂物、积水等改善结构使用环境，提高使用寿命。对于拉索锚固区和钢索塔内部设置的除湿系统，应保障其正常运行，使内部湿度控制在设计值以下，这样才能降低各类钢构件发生锈蚀的可能性。

5.2.3 索塔清洁应对结构表面的杂物进行清除。索塔排水系统应处于正常工作状态，索塔顶面、内部、底部、横梁等位置存在的积水应进行清除。

5.2.4 空心索塔内应经常保持通风干燥。除湿系统的养护与维修应符合本规范第 5.4 节的规定。

**5.2.5** 斜拉桥索塔的修复养护包括钢结构索塔的修复、混凝土索塔的修复、斜拉索锚固区构件的修复和索塔偏位的纠正。

**5.2.6** 斜拉桥索塔实施修复养护的时机应宜结合桥梁检查工作进行确定，并符合下列基本要求：

- 1 在索塔经常检查中发现明显病害或缺陷时，应及时进行修复。
- 2 每次定期检查结束后，应对索塔主要病害进行统计汇总，并组织 1 次全面的修复，修复范围、数量、内容应结合实际情况确定。

#### 条文说明

5.2.6 条文所述的实施时机即为当前国内斜拉桥索塔养护较为普遍的方法。例如，在每月经常检查中，当发现索塔有明显的混凝土开裂、破损、钢构件锈蚀等病害时，就立即组织小规模病害修复。由于经常检查范围和深度的有限，全面性的修复需要结合定期检查工作。通过定期检查，对索塔病害进行全面的掌握，再根据病害实际规模和桥梁养管单位的预算设置、养护计划等实际情况，在下一年度安排索塔的修复养护。

**5.2.7** 斜拉桥钢索塔的修复养护应进行钢构件的除锈防腐、疲劳裂纹修复和高强螺栓的修复，并符合下列基本要求：

- 1 钢结构除锈防腐
  - 1) 修复所用涂料的性能参数应符合《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T722)等相关标准的要求。
  - 2) 根据涂层老化开裂和钢构件的锈蚀程度，确定表面清理的程度；
  - 3) 涂层干膜厚度宜符合结构原设计要求。
- 2 钢结构疲劳裂纹的修复应符合本规范第 7.1 节的相关规定。
- 3 对松动和脱落的高强螺栓应及时进行更换和补充。

#### 条文说明

5.2.7 斜拉桥钢塔日常养护应当重点关注塔的变形、材料腐蚀和疲劳损伤，当发现明显病害时，应及时进行加固维修，确保钢桥塔的结构安全。

- 1 设有防腐涂装的混凝土或钢索塔，应及时修补其内、外涂层的局部脱落、

起皮、粉化等。对涂层褪色应定期观察变化，根据病害发展采取修复措施。

进行钢结构涂层修复时，一般要根据涂层老化的程度确定修复方法。桥梁钢结构涂膜的劣化应采用 ISO 4628 进行评定，并根据漆膜劣化情况，选择合适的维修或重涂方式。一般轻微劣化可不做处理。当主缆系统的防护涂装寿命在 5 年以上，10~12 年以下时，面漆出现 3 级以上粉化，且粉化减薄的厚度大于初始厚度的 50%，或由于景观要求时，彻底清洁面涂层后，涂装与原涂层相容的配套面漆（1~2）道；当涂膜处于（2~3）级开裂、剥落、起泡，但底涂层完好时，应先清理损坏区域周围松散的涂层，修补面积应适当延伸到未损坏区域 50~80mm 坡口，选择相应的中间漆、面漆进行维护涂装，最后一道面漆应盖过全部修补区；当涂膜发生  $Ri_2$ ~ $Ri_3$  锈蚀时，彻底清洁表面至  $Sa_{2\frac{1}{2}}$  级或  $St_3$  级，未损区边缘应有 50~80mm 坡口，涂装相应中间漆、面漆。补涂的工艺、材料和质量要求与成桥时相同。如原底层是热喷涂或热喷铝锌层，此时可用二道环氧富锌涂层代替。如仍采用热喷锌/铝，可将欲热喷面积扩大 30cm 的范围清除涂层，露出完好原底层锌层，将涂膜边缘覆盖好，修补好底层锌层后，再依次涂刷上层面涂层。

重涂的条件为当涂膜发生  $Ri_3$  及以上锈蚀时；当涂膜处于 3 级以上开裂、剥落、起泡时，如果损坏贯穿整个涂层，应进行彻底的表面处理至  $Sa_{2\frac{1}{2}}$  级、粗糙度符合涂层体系要求，涂装符合使用条件的配套涂层体系。重涂采用的涂装体系宜符合原设计要求，也可应根据实际使用需求，按《大气环境腐蚀性分类》（GB/T 15957）的规定选择涂装的耐久性级别和符合《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》（JT/T 722）的新涂层体系。

**5.2.8 斜拉桥混凝土索塔的修复养护应进行混凝土裂缝修补、混凝土破损修补和混凝土防腐涂装，并符合下列基本要求：**

- 1 裂缝、破损修补材料和涂料等的技术要求应符合有关技术标准的规定。
- 2 宽度 $<0.15\text{mm}$ 的裂缝，宜采用表面封闭法进行处理；宽度 $\geq 0.15\text{mm}$ 的裂缝，宜采用压力灌浆法进行处理。
- 3 对于耐久性有防护要求的混凝土索塔，其涂层发生损伤时应进行修复。

#### 条文说明

5.2.8 斜拉桥混凝土主塔一般常发生承台、塔柱的涂装剥落、表面裂缝、混

凝土剥落掉角等缺陷，该类病害一般是施工养护不当、温度、钢筋锈蚀、外力等引起的表面耐久性病害，应按照混凝土结构表观病害处治方案及时进行修复，避免主塔结构材料不断劣化引起结构性病害。

**5.2.9 索塔锚固区构件的修复养护应进行锚固区钢构件的修复和锚固区混凝土竖向裂缝的修复，并符合下列基本要求：**

1 索塔锚固区的钢锚梁、钢锚箱、钢混结合部等钢结构的修复应符合本规范第 5.2.7 条的相关规定。

2 索塔锚固区混凝土结构竖向裂缝的修复应符合下列基本要求：

1) 修复前应进行详细检测与评估，包括裂缝深度、长度、形态、钢筋或环向预应力筋状态等，判断是否为锚固力引起的结构裂缝。

2) 根据锚固区混凝土的开裂程度、施工条件等因素，可选择被动加固和主动加固的修复方法。

**条文说明**

5.2.9 斜拉桥通过斜拉索将主梁的恒载及其上作用的活载等巨大的作用传递给索塔，斜拉索的锚固区是局部承压区，受力很大，锚固力作用下会在锚固区外壁产生拉应力，可能造成竖向劈裂裂缝。裂缝的存在会造成锚固区钢构件耐久性降低，影响斜拉索锚固。

2) 被动加固与主动加固的方式与特点：

①被动加固：在索塔锚固区外壁粘贴垂直于竖向裂缝的钢板，通过钢板承担混凝土开裂后的拉应力，并对现有裂缝进行封闭。

②主动加固：在索塔锚固区外围施加环向预应力，通过主动施加预应力为塔壁混凝土提供压应力，使部分裂缝闭合，避免裂缝继续开展。

两类方法的特点如下表所示。

表 5.2.9 斜拉桥索塔锚固区加固方法

方法	主要优点	主要缺点
被动加固	1.施工简单； 2.荷载增加不大。	1.只能被动承担塔壁混凝土开裂后的拉应力增量；无法为混凝土提供压应力； 2.提供效果有限。
主动加固	1.主动施加预应力，可使裂缝闭合，并提供压应力抵抗劈裂作用；	1.施工困难，特别是环向预应力锚固端的构造；

	2.通过预应力环箍,使塔壁混凝土刚度增加,可调节索力水平分力的分布。	2.需增大塔壁混凝土截面,荷载增加较多。
--	------------------------------------	----------------------

**5.2.10** 斜拉桥索塔塔顶变位异常时,应进行专项检查评估,并根据检测评估结果制定相应的处治措施进行加固维修。

**条文说明**

5.2.10 桥塔偏位的纠正,首先要分析偏位的原因,剔除成桥时已经产生的偏位,并调研历史资料,统计偏位发展情况。

**5.2.11** 斜拉桥索塔的偏位的修复应符合下列基本要求:

- 1 索塔偏位由墩台沉降引起时,可考虑进行基础加固,避免偏移继续发展。基础加固应符合本规范第 5.3 节和其他相关标准的规定。
- 2 索塔偏位由约束体系引起时,可对限位装置进行检查和更换,保证全桥主梁的限位和纵向摩阻一致。
- 3 索塔偏位由施工不同步、不协调引起时,可对斜拉索索力进行轻微调整。斜拉索索力调整应符合本规范第 5.1.3 条的规定。

**条文说明**

5.2.11 对于混凝土索塔,单塔斜拉桥索塔轴线向主跨(河跨)方向倾斜或双塔柱斜拉桥两索塔倾向河跨或两索塔同向倾斜,是斜拉桥索塔面临的整体病害。该病害产生的原因有:①索塔不均匀沉降,导致塔身倾斜;②双塔大跨径斜拉桥,两岸对称安装、张拉斜拉索及调索工艺不一,索力误差较大,两岸施工进度不同步,塔柱存在较大的初始偏斜而未及时纠正;③两岸施工季节(温度)相差过大,结构的非线性变形差别过大而又未及时修正;④索塔、梁设计为铰支结构或漂浮结构,索塔、梁施工临时固结装置约束条件不一致,解除临时固结装置后,两岸的约束阻力不一。

钢桥塔除受轴向荷载,还承受绕顺桥向和横桥向的弯矩作用,同时风作用、温度变化也会引起变形,当钢桥塔两侧斜拉索拉力不等时会产生顺桥向挠度变形。由于钢桥塔的薄壁化、高耸化,导致其整体和局部刚度下降,当钢桥塔的挠度变形达到一定程度,钢桥塔就有可能在重力荷载及挠度变形的共同作用下产生屈曲

变形，导致其失稳破坏。

### 5.3 桥墩与基础

**5.3.1** 斜拉桥桥墩与基础的养护与维修应保持各构件完好、无缺损、功能正常，强度、刚度和稳定性符合设计要求。

**5.3.2** 斜拉桥桥墩与基础预防养护的内容包括墩台清洁和冲刷防护。实施墩台清洁的频率每年应不少于 1 次，冲刷防护应结合冲刷高程观测结果进行实施。

#### 条文说明

5.3.2 与斜拉桥索塔的预防养护相同，对墩台基础混凝土结构病害的养护维修归类于修复养护。对于墩台基础的预防养护，主要是清理墩台表面及墩顶的垃圾、杂物，是墩台结构的运营环境得到改善。此外，对于运营过程中部分冲刷超预期的基础，宜视具体情况，进行预防防护，防止冲刷高程超过设计值，对结构造成不利影响。

**5.3.3** 墩台清洁包括结构表面的清理和墩顶杂物的清理，并符合下列基本要求：

- 1 清除桥墩、桥台、承台表面的青苔、杂草、灌木和污物。
- 2 清除桥墩顶部或盖梁顶部的普通垃圾或成型混凝土垃圾。施工平台可利用现有检修通道、搭设临时作业平台或利用桥梁检测车。

**5.3.4** 斜拉桥的冲刷防护应符合下列基本要求：

- 1 实施防护的对象应选择冲刷高程接近设计值或冲淤程度显著增大的桥墩；
- 2 冲刷防护应结合水文条件、地质状况、基础形式、工程造价等因素综合确定，防护方法包括抛石、护圈、沉箱、墩前牺牲墩、环翼等。

#### 条文说明

1 桥墩冲刷高程变化受水文条件影响较大，特别是跨江、跨海桥梁，其冲淤变化幅度较大，且规律较为复杂。除了对冲刷突然加剧的桥墩进行重点关注外，某些年份突然淤积的情况也应进行关注，特别是采用超长桩基础的桥梁。

**5.3.5** 斜拉桥墩台和基础的修复养护包括墩台结构的修复、基础的修复和基底河床的修复。

**5.3.6** 斜拉桥墩台和基础实施修复养护的时机应宜结合桥梁检查工作进行确定，并符合下列基本要求：

- 1 在墩台和基础经常检查中发现明显病害或缺陷时，应及时进行修复。
- 2 每次定期检查结束后，应对墩台和基础主要病害进行统计汇总，并组织 1 次全面的修复，修复范围、数量、内容应结合实际情况确定。
- 3 河床的修复应结合桥梁冲刷和河床测量等专项检测结果进行确定。

**5.3.7** 墩台结构的修复应符合下列基本要求：

- 1 墩台混凝土结构常规病害的修复应符合本规范第 5.2.8 条的规定。
- 2 墩台结构性裂缝的修复应符合下列基本要求：
  - 1) 由活动支座失灵造成墩台拉裂时，应处理裂缝，并修复或更换支座。
  - 2) 由基础不均匀沉降产生的裂缝，应先采用预应力法、纤维织物法、扩大体积法、钢板法等方法加固基础，再对桥墩裂缝进行处置。
  - 3) 若裂缝已贯通墩台，可用钢筋混凝土围带或钢箍加固墩台。
- 3 墩台抗震设施损坏时，应及时修复或改造。
- 4 墩台发生异常变位时，应及时进行检测评估，根据评估结果及病害影响程度进行加固处治。

**5.3.8** 基础的修复应符合下列基本要求：

- 1 基础混凝土结构常规病害的修复应符合本规范第 5.2.8 条的规定。
- 2 当基础出现下列病害或损伤时，应进行基础的维修或加固：
  - 1) 混凝土桩基础存在颈缩、露筋、钢筋锈蚀等缺陷。
  - 2) 基础出现较大缺损、异常变位或承载力不足时。
  - 3) 钢管桩涂层明显粉化、裂纹、起泡或涂层厚度显著降低时。
- 3 基础冲刷过深或基底局部掏空，应及时采取必要的防护措施。
- 4 桥墩基础的允许变位应由设计单位确定，无法确定时可参考《公路桥涵养护规范》（JTG H11）第 5.1.2 条的规定。

#### 条文说明

3 当墩台基础局部被冲空时，可视情况采取分别下列措施：

①水深较浅时，可筑围堰，将水抽干，以砌石或混凝土填补中空部分，顶端与基础顶面齐平，或稍高于基础顶面；水深较深时，可打板桩围堰，或其它方法构筑围堰，灌注水下混凝土。也可以用编织袋装干硬性混凝土，每袋装量为容积的 2/3，通过潜水作业，将袋装混凝土分层填充冲空部位，并注意比基础边缘宽 0.2~0.4m 以上。也可采用抛石方法。

②基础周围被冲空范围较大的，除填补基底被冲空的部位外，应在基础四周采用打梅花桩，桩间用砌石砌平卡紧；或用浆砌片石、混凝土预制块、石笼等，对基础进行防护。

#### 5.3.9 河床的修复应符合下列基本要求：

1 当基础冲刷超过设计允许值、河床铺砌损坏等，应及时采取措施保持索塔及桥墩基础附近河床的稳定。

2 每次洪水过后，应及时清理河床上的漂浮物，使水流顺利宣泄。

3 因抢险、防汛需要修筑堤坝、压缩或拓宽河床时，应通过专家论证并采取有效的防护措施。

#### 条文说明

1 桥梁养管单位要采取措施保持桥梁墩台基础附近河床的稳定。配合航道部门对桥区水域范围内的河床适时进行疏浚。桥区水域范围内不得任意挖沙、取土、采石、倾倒废弃物、不得进行爆破作业及其它危及桥梁安全的活动；桥区水域范围内不得修建对桥梁有害的水工建筑物和随意取土。

### 5.4 特有附属设施

5.4.1 斜拉桥特有附属设施包括横向限位装置、纵向限位装置、主梁或索塔内除湿系统、梁底或梁内检修车、索塔电梯等设施。特有附属设施的养护与维修应保障其处于功能完好和安全可靠的状况。

#### 条文说明

5.4.1 与斜拉桥主体承重结构相比，特有附属设施主要是提供运营使用功能的支持。因此，在实际运营养护过程中，应首要关注其运行状况和工作性能，确保其发挥原有作用。在此基础上，对结构性附属设施还应要求其结构的安全性与可靠性，防止因缺少养护而出现的损坏。

**5.4.2** 斜拉桥典型特有附属设施的预防养护时机应符合下列基本要求：

- 1 横向限位装置每年至少应进行 1 次预防养护；
- 2 除湿系统的保养频率应符合产品设计使用说明书中的要求；
- 3 主梁底部检修车每年至少应进行 1 次预防养护；主梁内部检修车每 3 年至少应进行 1 次预防养护。

**5.4.3** 横向限位装置预防养护的内容包括清洁、除锈和涂油。养护方法应符合本规范第 8.4.5~8.4.6 条的规定。

#### 条文说明

5.4.3 斜拉桥横向限位装置设置在桥梁的支座位置，主要起限制桥梁横向位移的作用，除发生地震、撞击等导致桥梁发生较大位移，横向限位装置一般不会承受荷载，因此结构的养护应以耐久性为主。横向限位装置形式有采用钢制锚栓式锁定构造或粘滞阻尼式构造。在实际预防养护过程中，可与支座同时进行养护作业，包括装置的清洁、除锈、涂油等。

**5.4.4** 除湿系统预防养护的内容为系统保养。保养宜结合机组的运行状况和使用环境周期性进行。保养对象应涵盖除湿机壳体、处理和再生风机、处理空气和再生空气过滤器、转轮驱动马达轴承、湿度控制器等核心组件。

#### 条文说明

5.4.4 调研表明，国内桥梁养管单位对除湿系统一般采用周期性保养的方式，并分为一般保养和定期保养：每 3-6 个月进行一次一般性的检查与保养，每 12 个月进行一次全面、详细的检查与保养。保养程序和内容如下表所示：

表 5.4.4 除湿系统保养程序表

部件	检查和保养程序
----	---------

	一般保养：每 3-6 个月	定期保养：每 12 个月
处理空气和再生空气过滤器	清扫过滤器箱，如果过滤器比较脏，应更换过滤器。	清扫过滤器箱，更换过滤器。
除湿机壳体	检查有无机械上的损伤，必要的话，清扫设备的内部和外部。	检查有无机械上的损伤。必要的话，清扫设备的内部和外部。
处理和再生风机	检查有无机械上的损伤，按要求清扫马达和风机的壳体。	在马达壳体表而的冷却沟槽中的灰尘和杂物必须清除。检查马达的接线端子，确保接线不松动。检查风机和叶轮有无损伤。必要的话，清扫叶轮。
转轮驱动马达轴承	检查驱动皮带松紧，必要的话调整松紧度。	检查马达的接线端子是否松动。检查马达的接线端子，并确保接线没有松动。检查马达有无损伤和过热的迹象。
转轮和转轮密封件	检查有无过热和堵塞的迹象。必要的话，清除转轮表面的灰尘，检查密封件是否损伤或磨损。	检查有无过热和堵塞的迹象。必要的话，清除转轮表面的灰尘。可以用真空吸尘器，不宜用高压空气。检查密封件是否损伤或磨损。
电控盘和接线	检查电控盘中的组件有无损伤和过热的现象。	检查电控盘中的组件有无损伤和过热现象。检查电线接口的密封圈和电线端子是否牢固可靠。清除所有部件周围的灰尘和污物。
再生加热器	清除滞留在加热器上的杂物和灰尘。	检查所有电线，管道和控制器是否安全。清除滞留在加热器上的杂物和灰尘。检查所有的电器连接是否牢固可靠。
风管连接	检查有无空气的泄漏和与设备的连接是否正常。	检查有无空气的泄漏和与设备的连接是否正常。检查风管内部有无灰尘和机械上的损伤。
湿控器或湿度控制器	不用检查。	检查传感器的功能，有必要的话校准或者更换。

除湿系统的检查与保养对机组长期良好地运行时有益的，检查与保养的频率取决于机组的操作状况和安装环境的好坏。如果所处理的空气含尘量较高，相对而言，保养工作就需要进行的较为频繁。

**5.4.5 检查车预防养护的内容包括主体结构保养和机电设备保养，并符合下列基本要求：**

1 检查车主体结构保养应对桁架结构、导轨、爬梯等构件进行除锈、防腐、连接紧固和轻微病害修复等工作。

2 检查车机电设备保养应依据设备使用说明书或有关机电技术标准对电动机、减速箱、电控系统等进行保养。

#### 条文说明

5.4.5 斜拉桥检修车一般为桁架式结构，并设置导轨与主梁相连接；通过电动控制运转的检修车还包括各类机电设备。因此，在进行养护与维修时，可将两部分内容分开进行，对于主体结构可采取常规类型的保养措施；机电部分则依据设备说明书或机电养护规范中规定的方法进行保养。

**5.4.6** 当斜拉桥特有附属设施无法提供设计功能、出现影响运营使用功能的病害或损伤、通过预防养护无法修复时，应进行特有附属设施的修复养护。

**5.4.7** 横向限位装置的修复养护应符合下列基本要求：

- 1 发生火灾、地震、船撞等突发事件后，应对横向限位装置进行检查，发现横向限位装置损坏应及时修复或更换。
- 2 横向限位装置的修复和更换宜由生产厂家进行。

#### 条文说明

1 除了对横向限位装置本身进行检查外，与阻尼器相连的钢结构与混凝土结构也应关注：连接钢板是否锈蚀或变形，锚固混凝土是否出现开裂等。

**5.4.8** 除湿系统的修复养护应符合下列基本要求：

- 1 当设备停机，指示灯全部熄灭或故障报警灯亮起时应进行修复养护。
- 2 系统工作正常，但结构内部湿度超过设计限制时，应进行修复养护。
- 3 养护人员应根据设备使用说明书，判断系统出现故障或无法正常除湿的原因。系统的修复宜由专业人员或设备生产厂家进行。

#### 条文说明

1 控制盘在设备的顶部，用来控制和监测除湿机，其组成如图所示。当故障灯闪亮或其他报警装置动作时，必须立即停机并查明原因，排除故障后方可重新启动除湿系统，严禁强行开机。否则，将对除湿系统和设备造成严重后果。

- 2 大桥在养护中，应对钢箱梁或索塔内温湿度进行监测。当发现箱梁内湿

度超过 50%RH（通用限制，某些桥梁会采用 45%RH 等其他限制）时，说明除湿系统出现问题，不能有效降低梁内湿度。此时，应及时对系统进行维修，否则过高的湿度易引起钢箱梁的腐蚀。

3 除湿系统控制盘上的 LED 报警信号是设备发生故障的最初警报，此警报显示时，设备自动停止。根据厂家提供的故障定位表可以帮助非专业人员很容易地确认故障类型和排除故障。

#### 5.4.9 检修车的修复养护应符合下列基本要求：

##### 1 检查车主体结构的修复

1) 当检查车主体钢结构存在涂层脱落、锈蚀、焊缝开裂、螺栓松动、变形等病害时，应及时修复。

2) 当检查车轨道间隙或两段轨道间隙高差超过设计限值时，应及时修复。

3) 检查车轨道与主梁为焊接时，若焊缝有开裂、锈蚀等情况，应及时修复，防止轨道脱落。

##### 2 检查车机电设备的修复

1) 检查车不能正常开启及运转，电动机、减速机、电控系统发生故障时，应对检查车机电设备进行维修。

2) 当电动机、减速机、电控系统等机电设备存在锈蚀、老化等病害时应及时进行养护。

#### 5.4.10 为满足运营养护需求，在斜拉桥主梁下方或内部增设检查车时，应符合下列基本要求：

1 对增设检查车的斜拉桥结构进行受力验算，确保桥梁结构安全；

2 为安装检查车而在斜拉桥上设置的预埋件不应产生不利影响；

3 检查车的规格、尺寸、性能参数、安装要求应符合相关公路桥梁梁底检查车标准的规定。

#### 条文说明

5.4.10 近年来，随着桥梁运营养护需求的提高，为全面检查桥梁结构技术状况、为养护维修工作提供操作平台，对斜拉桥主梁的检查车提出了新的要求。新建桥梁很多都在设计阶段考虑检修车的设置，而对于运营使用期的桥梁，也有着

新增检查车的需求。与新建桥梁不同，已通车桥梁增设检查车属于在原有结构上增加额外的设施，因此必须对桥梁结构进行荷载验算，确保增加的桥梁检查车对桥梁结构受力和运营使用无显著影响，方可进行增设。

征求意见稿

## 6 悬索桥的养护与维修

### 6.1 主缆体系

**6.1.1** 悬索桥主缆体系的养护与维修应符合下列基本要求：

- 1 主缆体系养护应保持各部件及附属设施功能正常、无缺损、无锈蚀。
- 2 主缆线形应满足设计要求，防护完好，表面平整，各索股受力均匀，钢丝保持干燥，锚头、锚杆、拉杆、裸露索股无积水、渗水。
- 3 索夹应无滑移，紧固螺栓力保持在设计受力状态。
- 4 主索鞍应稳固，散索鞍应能保证转动顺畅，偏移量在设计允许范围内。
- 5 吊杆索力偏差应在设计允许范围内，防护完好。

**6.1.2** 主缆体系预防养护的内容包括清洁和保养。实施预防养护的时机应符合下列基本要求：

- 1 主缆及防护层、索夹、吊杆（绳、索）、索鞍、扶手绳和缆套等外表面的清洁每年不少于 1 次。
- 2 主缆体系各部件的保养每年不少于 1 次。

#### 条文说明

6.1.2 主缆体系预防养护的重点在保证钢丝免受水分和外界其他有害物质侵蚀并保证外观清洁、美观；水分和空气中的有害物质，对其有极强的腐蚀性，容易引起主缆锈蚀。养护过程中更应经常或定期清扫主缆表面的积雪、积灰等，保持清洁，保持其耐久性。此外，引起吊杆系统损坏的主要原因也是锈蚀，如保护层、表面涂装或缝隙填料损坏导致雨水或潮气侵入引起锈蚀等，吊杆（绳、索）、索夹、扶手绳和缆套等也应经常或定期清扫，保持其耐久性。

**6.1.3** 主缆体系部件的清洁应以各构件及周围环境为主要工作内容，定期清理杂物、积水、积雪、积灰、存留污秽及油物等。

**6.1.4** 主缆及其附属构件的保养应符合下列基本要求：

- 1 涂刷主缆涂装防锈油漆部位，更换涂抹油脂部位油脂。

2 主缆走道支架及扶手绳，定期进行打油、涂漆防护，对于其锚固点有锈蚀或损坏的应及时维修更换。

3 采用涂层防护的主缆，当出现轻微涂层劣化时，对主缆防护涂层进行维护性涂装。采用干燥空气系统的主缆，按设备规定对系统进行维护。

4 视老化情况，定期更换缆套端口及上、下半间的密封条或采取可靠的技术重新密封。

#### 条文说明

1 对于采用涂敷油脂防锈处理的主缆或仅采取油漆的主缆索股的锚头、锚杆、裸露索股段，确保油脂防护的有效性是防护关键。主缆索股锚头在锚室内一般锚固在型钢拉杆上，或圆钢拉杆横梁上或眼杆拉杆横梁上，这些构件多为含碳量较高的碳素钢或合金结构钢，且截面均较为粗大，型钢则为一般低碳或低合金钢轧制构件。近百年寿命的美国各悬索桥维护发现，这些构件除腐蚀较为严重的腐坑外，尚未发现断裂现象。所以对其正常的维护是保持锚室干燥和构件涂装完好。但一旦发现焊缝处、眼杆处、螺纹根部等裂纹出现，则需专项研究处理。

3 采用涂层防护的主缆其涂层工艺多采用重防腐系统，涂膜寿命在 10~15 年以上。一般 5 年以下不需要维修，在 5~10 年以内只需要局部维修或修补，10~15 年及 15 年以上可能采用大范围维修或重涂。涂膜维护究竟是局部维护，还是大面积维修或重涂，除考虑产品的寿命外，尚需根据涂膜检验的劣化评定结果和钢丝锈蚀检查的等级评定结果而定。考虑到主缆体系的重要性，可对照出现的粉化，起泡、裂纹或脱落，生锈等病害，采用维护性涂装方式进行预防养护。

采用干燥空气系统的主缆，预防性养护应关注干燥空气系统运转的正常，送气管路系统及主缆防护层的密封性。

#### 6.1.5 索夹的保养应符合下列基本要求：

1 索夹及其螺杆的涂装，当出现轻微涂层劣化时，应进行维护性涂装。

2 更换索夹端部及半索夹缝隙间老化的填缝密封胶。

3 索夹螺杆应每年进行复拧以保持设计紧固力不低于其设计值的 70%，并防止螺帽锈死无法调整。建成通车第一个 5 年内，每年均匀选取 40%，2.5 年复拧一遍。通车 5 年后，可根据定期检测结果确定每年均匀选取的比例。

## 条文说明

- 1 索夹的防腐涂层与主缆的一样，根据涂层劣化等级进行预防养护。
- 2 索夹填缝密封胶出现开裂、剥落等老化现象时，应予以更换。
- 3 根据实桥测试，一般悬索桥成桥后，索夹螺栓拉力损失均很大，当索夹螺栓轴力降低大于 20%~30%时，应补拧，以保证索夹抗滑移系数不低于 3。补拧时应注意避免单个张拉螺杆导致索夹的受力不均，宜对一个索夹的全部螺杆进行同步张拉，对称施拧。5 年后，所有索夹已经历 2 遍复拧，根据国内外的一些研究，多次重复张拉能使索夹螺杆力随时间下降幅度降低，为在保证结构安全的前提下合理降低养护工作量，在通过定期检查对靠近索塔处(多塔悬索桥选取边塔)的索夹螺杆紧固力情况进行评估后，可根据螺杆力随时间下降幅度确定下一轮循环复拧的时间间隔。无评估时，可参考每年均匀选取 25%，4 年复拧一遍的模式。

### 6.1.6 吊杆（绳、索）的保养应符合下列基本要求：

- 1 吊索或吊绳及减振架当出现轻微涂层劣化时，进行维护性涂装。
- 2 定期对吊索或吊绳的锚头、叉耳与销子涂刷防锈漆，保持涂层完好。
- 3 更换吊杆开裂的橡胶减震器。

### 6.1.7 索鞍的保养应符合下列基本要求：

- 1 索鞍钢结构构件涂层出现轻微涂层劣化时，进行维护性涂装。
- 2 索鞍应保持干燥状态、清洁，无漏水、积水。
- 3 固定索鞍及鞍座的螺栓、螺帽无松动。
- 4 索鞍的辊轴或滑板应保持正常工作状态，定期更换润滑油或防锈油，发现润滑油或防锈油失效的应立即更换。

## 条文说明

- 3 索鞍所含各类螺栓、螺杆等包括槽口拉杆、鞍体对合螺栓、鞍座固定螺栓等，每 3 年用扭矩扳手检查重拧一遍，防止松脱。

**6.1.8** 主缆体系的修复养护包括主缆修复、索夹滑移修复、索夹更换、吊杆防护修复、吊杆更换、长吊索风振控制、鞍座维修、鞍座更换、体系改造等。

### 6.1.9 主缆修复养护应符合下列基本要求：

1 采用涂层防护的主缆，当涂层严重劣化时，应进行重新涂装。重涂的防护体系宜单独设计。

2 采用缠包带防护的主缆，应观察其外表面（或涂层）开裂破损情况。确认缠包带破损的，应通过专项评估制定修复方案，修复方案设计中选用缠包带系统的可靠性应不低于原缠包带系统，修补方案宜单独设计。

3 若缠丝断裂散开，应先观察主缆钢丝是否锈蚀，待除锈并恢复原设计的防锈等级后重新缠丝、恢复防护层，保证主缆防护层完好。

4 主缆钢丝存在锈蚀或断丝时，应对主缆内部专项检查，根据腐蚀和断丝情况，研究确定局部钢丝处置措施及重新缠丝或更换。

5 主缆线形垂度明显变化时，应分析原因，论证确定调整方案。

6 可采用永久观察窗实现对主缆的持续观察和监测，观察主缆全周期的表面情况。检查窗上预留温湿度传感器，对主缆内部温湿度进行监测，观察窗一般选取主缆腐蚀风险较大、便于施工和观测处安装。观察窗安装后，必须进行气密性检测。

7 经评估既有悬索桥主缆系统防护涂层需要重涂或钢丝大量锈蚀，具备条件的可对其加装干燥空气除湿系统。

8 既有悬索桥改扩建或其主缆受损承载力不足需要换缆，可考虑采用修复部分受损主缆索股、增加斜拉索形成拉吊组合体系桥或更换主缆等方法。

#### 条文说明

1 主缆涂膜在 10~15 年以上时，基本接近或达到寿命期，或涂膜劣化或锈蚀达到严重程度，可将主缆系统重新进行防护涂装或采用可靠的防护效果好的新型防护材料和体系进行修复，如 S 型缠丝替换圆形缠丝，纤维复合结构的天然橡胶带对主缆进行缠包、安装干燥空气除湿系统等。重涂的工艺、材料和质量要求与成桥时相同。采用传统四元防护系统的主缆出现防护失效维修的年限根据材料、气候等因素不同从 6 年-20 年不等，大多在 10 年左右。偏于安全考虑建议 8 年进行 1 次主缆防护的全面性修复养护。

2 主缆防护系统中的缠包带有的是用来替代缠丝，有的是提高缠丝的防护等级。缠包带系统的主要作用是防止大气中的水分侵入主缆钢丝。目前的主缆防护

系统中的缠包带主要有氯丁橡胶缠包带系统、三元乙丙橡胶缠包带系统和氯磺化聚乙烯复合材料系统。厚度一般为 1.2mm，户外使用寿命一般在 20-25 年左右。

缠包带老化现象表现在以下方面：

①当缠包带表面颜色泛黄逐渐至黄色（橡胶本色）且有粉化现象，此时需要在主缆上剪切一块缠包带样品进行力学性能测评，来研判修补方案。

②当缠包带表面颜色呈现黄色并有龟裂现象，此时缠包带老化较为严重，在对缠包带进行力学性能测评后，研判修补方案。

当缠包带系统外表或其涂层存在破损时，水分入侵主缆，将导致钢丝锈蚀的风险大大提高。针对缠包带的破损情况，须通过专门的检测与评估提出可靠的修复方案。修补方案一般分为常规修补方案和大修方案。

①常规修补方案：在经过缠包带力学测评后判断效果基本满足要求，建议在现有缠包带外表面重新缠包一层面层，缠包的工艺、质量要求与成桥相同。

②大修方案：在经过缠包带力学测评后判断效果不能满足要求，需要将主缆缠包带全部剥离后重新进行缠包，缠包的工艺、材料和质量要求与成桥时相同。

3 主缆缠丝连同其上涂层，是主缆防护的最外层，直接承受腐蚀介质的作用。主缆缠丝的破坏，意味着涂装层的破坏及失去主要防护能力，发现缠丝严重锈蚀或断裂应及时修复。小范围缠丝更换修复的主要工艺为：

① 清除表面的涂层及密封膏（胶），露出缠丝金属表面。

② 采用钎焊将拟拆除缠丝段两端进行并焊，钎焊长度应能满足抵抗缠丝张力的要求。

③ 从焊接处截断缠丝，并拆除损坏的缠丝。

④ 对露出的主缆进行清洁，视情况，或去除防护腻子等防护层，到达原主缆防护设计要求的清洁度。视主缆钢丝锈蚀情况进行除锈或更换。

⑤ 视情况，重新涂刷主缆钢丝底漆，不干性腻子。

⑥ 重新缠绕钢丝，两端与原有缠丝旁焊。

⑦ 按防护设计要求涂刷（抹）其上的防护层、面漆等完成修复。

4 对于裂纹扩展至 50% 直径以上，或腐坑已削弱截面 50% 以上的主缆钢丝，应考虑降低荷载等级、加固或拼接更换。若主缆断丝较多，应经过详细计算后采取降低荷载等级或加固、更换主缆等措施，以保证结构的安全性。主缆断丝的修

复（拼接更换）工艺为（参见图 6.1.9）：

- ① 将断丝处索股绑扎松开，拉出断丝两端，剪除钢丝受损段至完好处。
- ② 取 2 根适当长度新钢丝，用挤压连接套管连接旧钢丝 a 和新钢丝 1 的端头。
- ③ 连用花篮套管接新钢丝 1 和新钢丝 2 的端头，新钢丝端头处理符合花篮连接套管螺纹连接要求。
- ④ 张拉新钢丝 2 和旧钢丝 b 至主缆恒载下钢丝拉力值，剪除多余的新钢丝 2，测量新钢丝 2 和旧钢丝 b 端头间隙。
- ⑤ 卸载松开连接新钢丝 1 和 2 间的花篮连接套管，用挤压连接套管连接旧钢丝 b 和新钢丝 2，端头间隙保持与测量值相同。
- ⑥ 张拉新钢丝 1 和 2 至主缆恒载下钢丝拉力值，重新安装花篮连接套管。
- ⑦ 测量连接好的钢丝拉力值，调整花篮套管将拉力值误差控制在主缆恒载下钢丝拉力值的  $\pm 10\%$  以内。
- ⑧ 复位钢丝并两侧扎紧索股。

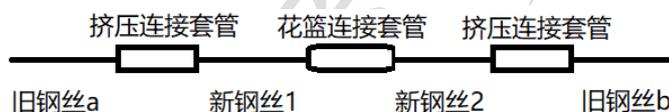


图 6.1.9 钢丝拼接更换工艺示意图

5 主缆线形变化，如下挠变大，这需经多年往复在相同气温下无活载时测试复核确认后，再研究其发生下挠原因。出现这一病害时，一般这种情况发生多为主缆钢丝的松弛效应和主鞍座偏移，主塔非中心受压产生向主跨横向附加弯曲，引起主缆线形垂度变化。对于因主缆钢丝松弛导致的主缆线形偏差，一般不需采取措施，但需加强对主缆线形的定期观测。若主缆线形偏差是由于塔顶鞍座移位导致，则应对鞍座位置进行纠偏，恢复主缆线形，确保桥梁的结构安全和使用功能。可在封闭交通条件下，解除主鞍的锁定，中跨减荷，边跨加载，使主鞍移向边跨，恢复至要求位置再固定鞍座。主缆线形修复需经设计和施工的周密论证后实施。

6 主缆为悬索桥最核心受力构件一般不可更换，主缆受雨水侵蚀和积聚最大风险处位于主缆线型最低处，如主跨中。检查窗是实现检查主缆丝股的快捷方法。传统检查窗窗口开在下侧底部。检查下侧主缆丝股时，可揭开窗口。另外可揭开

窗口上的排水孔,以确定流入主缆的水分。最新的观察窗采用 360 度环状全透明,检查窗上预留温湿度等传感器,内部的温度、湿度和压力可随时监控,一旦超标,可启动除湿系统,保证主缆处于干燥环境中。观察窗的安装与密封工艺基本同索夹。正常使用时,观察窗排水孔应密封。

7 悬索桥的主缆在其桥梁设计生命周期内是不可更换构件,主缆是悬索桥的主要承力结构,主缆防腐质量的优劣直接关系到大桥的使用寿命,传统的防护方法是:涂抹防护腻子,并用缠丝缠绕,外加保护层。由于施工过程中可能受雨水侵袭,以及使用过程中受动载作用的影响,防护腻子的老化和外护层的破损,空气中的水蒸气和雨水侵入,使得主缆中的钢丝因受潮而产生锈蚀。日本从 1994 年开始研究送风干燥系统,即采用高气密性材料包覆,缆索内部吹入干燥空气防腐,已对多座采用送风干燥系统进行主缆防护的桥梁的研究和工程实践。除湿相对而言更加灵活,基本上代表了今后主缆防护发展的方向,它可以连续地进行主缆内部湿气的处理,但需要有一定的运营费用。但是,我国目前在这一领域的研究还处于起步阶段,缺乏必要的试验数据、计算理论基础、设备材料性能指标的研究以及工程经验。为此,江苏省长江公路大桥建设指挥部联合几家单位开展主缆除湿系统关键技术研究,该研究成果已在国内几座桥梁上应用,并利用成果编制了地方标准《悬索桥主缆除湿系统设计规范》(DB 32/T 2548-2013)、《悬索桥主缆除湿系统施工及验收规范》(DB 32/T 2549-2013),可供参考。主缆除湿系统的设计一般应遵循空气过滤、空气除湿、干空气加压、冷却、送气、主缆内除湿与排气的工艺路线,并保证主缆密封。主缆除湿系统应保证并包括锚室、散索鞍、主索鞍在内的全部主缆系统处于一个相对封闭、干燥的环境。

8 悬索桥主缆更换的难度大,目前仅有个别的悬索桥更换过主缆,如法国的 Tancarville 桥(主跨 608m)、多米尼加的 Duarte 桥等。鉴于主缆是在悬索桥的受力体系中最重要受力构件,对其进行更换必须整合设计、施工、监理、专项咨询和业主等多个专业机构,对可能影响更换过程中结构和施工安全的控制性因素进行详细分析和论证。在具体实施过程中尚应加强安全监控,以确保主缆更换的施工安全。如更换期间有交通通行的,还应通过有效的管控措施保障通行安全。

根据目前有限的工程经验,主缆更换的一般流程为:

①建立新的永久或临时主缆体系,包括新的锚碇、索鞍和主缆。

②通过新吊杆连接新主缆和主梁。

③张拉调整新吊杆的长度完成新旧主缆的荷载转移。

④拆除旧主缆与旧吊杆。

⑤如新主缆为临时主缆，则还需要安装正式的新主缆，并在临时与正式主缆间通过吊杆再做一次荷载转移。

⑥对最终安装的主缆进行防护处理，拆除临时构件，完成主缆更换。

在受损主缆修复过程中，针对单个索股损伤部位，在进行专门分析确定其割接修复不影响结构安全的前提下，可采用套筒连接的素股替换受损区段，以满足主缆承载能力极限状态的承载力要求。在悬吊系统的更换中，要确保临时主缆自身和其与加劲梁连接的可靠性，待更换主缆与临时主缆的荷载转移要按照施工过程精细模拟。待荷载转移给临时主缆完毕后，方可分批更换主缆索股。主缆索股更换完成进行与临时主缆的荷载转移，同样需加强全过程施工监控。

#### 6.1.10 索夹的修复养护应符合下列基本要求：

1 当索夹高强拉杆的螺杆螺纹根部开裂、螺纹严重锈蚀和损坏，或经评估需要更换时，应更换拉杆或螺帽和垫圈。

2 因索夹锚固螺栓松动导致的索夹滑移，吊杆偏斜，超出设计要求限值的应予以恢复。

##### 条文说明

1 当一次更换多个或全部拉杆时，应分步均匀轮换卸载，安装时也应分步、交替张拉到位，以免索夹局部受力过大。拉杆螺纹长度应足够，最好张拉旋进到位后仍有3~5扣余量。螺杆张拉力按原设计张拉力实施，当设计张拉力不明确时，可按极限破断拉力的0.64倍取。

2 复位或更换索夹，可在被更换索夹的两侧，解除主缆缠丝，并安装临时索夹和临时吊索，在临时吊索下端可根据实际情况制造并安装临时吊索吊点。张拉临时吊索，将被更换吊索力由临时吊索和索夹承受。拆除吊杆，解开索夹锚固螺栓，清理并修复索夹处主缆表面防护，复位索夹至设计位置，张拉锚固螺杆，密封索夹环缝和半索夹缝隙，重新安装吊杆，张拉吊杆完成吊杆力转移，拆除临时索夹和吊索，恢复主缆表面防护。

### 6.1.11 索夹更换应符合下列基本要求:

1 当索夹腐蚀严重,或夹壁、耳板出现裂缝(纹),检查评估结果认为索夹不能继续使用时,应更换索夹。

2 在原索夹位置更换索夹后,按要求做好索夹及主缆钢丝的防护。

#### 条文说明

2 索夹更换的流程同索夹滑移复位,参考 6.1.10 条。

### 6.1.12 吊杆(绳、索)的修复养护应符合下列基本要求:

1 长吊杆在低风速下将产生自激振动(涡振),特别是双肢吊杆位于下风方向的索会产生尾流振动。当吊杆长度超 20m 时,可将两肢吊杆用夹具(减振器)连接,起到抑制振动的作用。夹具的设置间距应研究确定。

2 当吊杆有渗水现象时,应对吊索防护进行修补。

#### 条文说明

1 对于吊索之类的细长构件风致振动控制的问题,国内外学者已有大量研究,目前主要有气动措施、结构措施和机械阻尼措施 3 大类控制方法。气动措施适用于已知振动机理的单因素吊(拉)索振动控制,譬如预防拉索风雨振时在索表面打凹坑以及缠绕螺旋线方式等;结构措施主要通过提高结构频率和刚度使其起振风速增大、振动响应减小,目前常用的是在吊(拉)索中添加辅助索和分隔器,虽然其施工方便但,影响工程美观;机械阻尼措施是通过给阻尼很小的吊(拉)索结构附加阻尼来提高其抗风稳定性,包括附加减振锤、调谐质量阻尼器、以及各类固态和液态阻尼装置等,机械阻尼装置调试比较复杂,难以维护,特别是对于多模态耦合下的结构振动其设计参数难以确定,效果不理想,而且对于长吊(拉)索结构,安装位置的限制也极大地影响了其减振效果,另外对于起振负阻尼较大的柔细结构,其延时效应明显。国内西堠门大桥长吊索出现的风致振动采用加装分隔器的减振方案,起到了较好效果。其依据气弹模型试验初步确定尾流驰振附加抖振是其大幅风振的原因之一。该研究依据尾流驰振理论和吊索气弹模型试验结果拟合得到了尾流驰振临界风速公式中适用于西堠门桥吊索布置的常数  $c$  值,并设计了满足桥址处检验风速下不发生尾流驰振的需均匀安装的最少分隔器数

量，最后由试验和实测数据验证了方案的有效性。

2 有防护套的吊索，其防护修补前，应对索体进行干燥。

### 6.1.13 吊杆（绳、索）更换应符合下列基本要求：

1 可采用永久观察窗对吊索进行持续观察和监测，方便观察吊索全周期的表面情况。

2 吊杆出现下述情况之一时应予以更换或改造：

1) 断丝总数大于索体钢丝总数的 2%；

2) 断丝或叠加锈蚀钢丝折算断丝总数大于索体钢丝总数的 5%；

3) 锚杯内螺纹削弱，导致承载力不能满足设计要求时；

4) 吊杆锚头发生裂纹或破损时；

5) 使用年限接近或超过设计使用寿命时应检查确认吊索锚头情况并根据检查情况确认是否更换。

6) 耳板衬套（轴承）、叉耳销轴磨损严重，失去耐磨及润滑功能，应进行更换。

3 短吊杆经常性损坏时应考虑对其进行结构性改造，以提高使用寿命。

#### 条文说明

1 对既有吊杆可增设永久观察窗，可参考主缆永久观察窗设置。观察窗一般选取吊杆底部易腐蚀位置安装。

2 更换吊杆应逐根进行。即使有时需同时更换，每次也不得超过 3 根，且这 3 根吊索不能是彼此相邻的。吊索更换可采用单吊点或多吊点张拉提升释放吊索索力后拆除更换的方式。即分级同步张拉临时吊索至吊索拆除状态，拆除旧吊索、安装新吊索后分级同步均匀卸载临时吊索，使新吊索参与受力，在提升过程中采用应力和应变双重控制以确保结构安全。

3 吊杆损害多来源于吊杆二次应力，特别在主跨跨中位置吊索最短，受其影响最大。吊杆产生二次应力的原因包括：

1) 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；

2) 不论平行钢丝吊索还是钢丝绳吊索，钢丝之间没有产生相对滑动、存在整体截面的抗弯刚度；

3) 悬索桥结构在活载、制动力和风荷载的作用下,加劲梁与主缆之间纵桥向、横桥向会产生相对位移,主梁与主缆位移不同步,吊杆上下端错动,出现倾斜和局部弯曲,在锚头处形成弯折。

4) 吊索的风振与车振影响。

日本本州四国联络桥株式会社基于拉伸试验预测吊索强度安全系数表明锚固区域吊索只要 20~30 年,强度安全系数就会下降至要求水平以下,据此的改进包括对大鸣门桥在内多数悬索桥在短吊索处设置了斜扣索降低短吊索的弯折。

#### 6.1.14 鞍座的修复养护应符合下列基本要求:

1 鞍座偏位超出设计要求并对塔身受力产生不利影响时,应考虑对鞍座位置进行纠偏。

2 主鞍和散索鞍锚栓、鞍槽口拉杆螺栓及其他固定螺栓或对合螺栓出现开裂或断裂,应及时更换。

3 对于全铸、全焊、铸焊结合的鞍座局部出现裂纹时,可采用钻孔止裂、磨除(浅层椭圆裂纹)、锤击、熔焊等措施进行处理。

4 索鞍根部或散索鞍摇臂下部出现较严重裂纹并不断扩展,且无法修补或经修复仍然继续开裂的,应更换鞍座。

5 索鞍更换并恢复原标高后,按要求做好防护涂装。

#### 条文说明

1 索鞍应保持正常工作位置,监测其偏位是否超限。若偏位满足要求但量值较大,应加密频次进行监测同时应进行桥塔变位检测,根据塔身受力决定是否采取修复措施。

2 鞍座及构件如出现裂纹,不得随意补焊,可先在裂纹尖端钻 10 mm 左右的孔止裂。如裂纹不再进一步发展,可不作进一步处理。如发现裂纹进一步扩展,应采取适合的加固方案(采用高强度螺栓连接或补焊)。由于鞍座承受巨大的集中力,此种修补需要十分慎重,必要时应关闭交通甚至考虑进一步卸载。补焊时要研究刨去的范围和深度、补焊工艺与程序,补焊最好一次完成,构件较大、较厚时,应考虑预热。此后的运营中,仍需注意观测该处是否有新裂纹产生。

4 美国的曼哈顿桥曾在索鞍根部和散索鞍摇臂下部出现较严重裂纹并不断

扩展而导致更换。更换散索鞍时在原散索鞍两侧设临时鞍座，然后更换新鞍座。施工应在无活载下进行。施工过程中不能损伤主缆钢丝，发现索股断丝应予修复。

#### **6.1.15 主缆体系的应急养护应符合下列基本要求：**

1 主缆体系出现风险后，应实施交通管制，由专业机构进行应急评估后，并根据结果对主缆体系采取应急养护措施。

2 主缆索股整束断裂一般均会发生在散索鞍和锚块之间，可采用原索股搭接方式应急，断索股与新替换索股连接可采用热铸锚式接头，新旧索股热铸锚间可采用螺杆以丝扣连接，恢复后将索股张拉至要求索力锚固即可。

3 吊杆被火烧或撞击后应对损伤情况进行评估，对承载力不能满足设计要求时应进行更换，破断时可采取临时吊杆。

#### **条文说明**

3 吊索应急更换可参考吊杆（绳、索）的修复养护规定，应急期间应安装临时索夹与吊杆。

## **6.2 索塔**

### **6.2.1 悬索桥索塔的养护与维修应符合下列基本要求：**

1 索塔鞍室应密封防水，防护罩应保持完好。

2 索塔其他的养护与维修要求同斜拉桥。

### **6.2.2 悬索桥索塔鞍室修复养护应符合下列基本要求：**

1 主鞍室内未设专用除湿设备，且相对湿度长期大于 45%，必须安装除湿设备。

2 鞍室破损、密封门变形或胶条老化导致鞍室湿度失控时，宜按原设计的部件、材料、产品规格进行更换。

#### **条文说明**

1 悬索桥的鞍室、锚室或锚洞应保持干燥，防止主缆与锚头产生锈蚀。特大

型桥梁的锚室或锚洞中应装设自动调节温度、湿度设备。洞室内的湿度应保持在45%RH 以下。

2 可根据鞍室密封不严的主要原因改进相关构件的材料与部件规格,提高鞍室长期耐久性。

## 6.3 锚碇

### 6.3.1 锚碇的养护与维修应符合下列基本要求:

- 1 锚碇内外保持持续清洁。
- 2 锚碇的排水系统功能正常,锚碇内外无积水。
- 3 锚碇混凝土无裂缝、渗水、剥落和露筋等病害。
- 4 散索鞍鞍座或混凝土锚块与锚固系统的界面处无开裂。
- 5 锚室内部相对湿度控制在设计规定值以下。
- 6 锚碇无超出设计允许的沉降、扭转及水平位移。
- 7 主缆入锚处无渗水。
- 8 主缆锚固系统防护完好,无锈蚀,无异常变形,无防护油脂溢出。
- 9 隧道锚锚塞体与围岩接触缝隙的张开变化,在设计允许值内。
- 10 设护坡的锚碇,护坡及其排水设施完好,无明显塌陷、沉降、缺损。

#### 条文说明

6.3.1 锚碇是地锚式悬索桥主缆的锚固构件,主要包括锚固装置、锚块及锚块基础。锚碇的主要形式有重力式(派生出三角形框架重力式锚碇)和隧道式(岩洞式)两种。自锚式悬索桥锚固于主梁锚室。总体上各种形式的锚室或锚洞应保持干燥,防止主缆与锚头产生锈蚀。无论出于结构受力及锚碇洞室内各种钢构件的长期防腐需要,无论采用何种锚碇结构对其防水都应高度重视,对于锚室或锚洞有外露的索股或预应力、锚杆等锚固装置的,均应装设自动调节温度、湿度的设备。洞室内的湿度一般应保持在45%RH 以下。

**6.3.2** 锚碇的预防性养护的内容包括清洁和保养。实施预防养护的时机应符合下列基本要求：

- 1 锚碇各构件清洁的频率每年不少于 1 次。
- 2 锚碇各构件保养的频率每年不少于 1 次。

**6.3.3** 锚碇的清洁应以锚碇内外构件及周围环境为主要工作内容，定期清理锚碇表面附着的青苔、杂草、积水、杂物和其它污秽等。

**6.3.4** 锚碇的保养应符合下列基本要求：

- 1 更换或补灌无粘结预应力锚固系统的油脂。
- 2 更换锚头内老化的防护油脂。
- 3 涂刷锚固系统外露的金属构件。
- 4 涂刷锚碇内预埋金属件。
- 5 疏通锚碇的排水系统。

**6.3.5** 锚碇的修复养护主要包括各类混凝土缺陷的维修、锚室防水、索股锚固系统损坏修复。

#### 条文说明

6.3.5 锚碇混凝土缺陷的维修可参照 5.2.8 条的规定。地锚或自锚式锚固混凝土出现严重开裂或异常变形的，隧道锚的山体出现异常现象的，应对大桥采取封闭或限制交通措施后，分析原因后采取相应加固措施。

**6.3.6** 锚室防水的修复应符合下列基本要求：

- 1 对锚室的渗漏应及时采取措施疏导与封堵水源。
- 2 对锚室内外所有螺丝孔、裂缝及接缝进行封闭。
- 3 锚室顶板采用预制板拼接而成的，可在上表铺设防水层，锚室内顶板接缝位置设置排水槽并用排水管接入锚碇排水系统。
- 4 对于存在较大地下渗透水压的情况，还宜在锚室外周边布置永久的外部截

水系统。

#### 条文说明

1 悬索桥锚碇渗水一般有以下几方面原因：

①锚碇体混凝土开裂，雨水直接通过裂缝渗入。

②对于埋入地下的锚碇体，由于地质情况的复杂，建设时锚体周边的水流通渠道未封闭到位，或者由于时间较长，封闭的压浆和锚体周边防水层破坏，导致地下水在渗透压力下自混凝土裂隙渗入锚碇。

③主缆入锚室相交处，密封不严实，导致渗水。

锚碇结构防水措施及实际处理效果极为重要，对保证锚碇结构的可靠受力、防水及洞室内各种钢构件的防腐效果影响甚大，锚室一旦发现存在积水或渗漏应立即寻找渗、漏水源。特别是连续阴雨天应加强观察，对重力锚可注意顶板接缝、墙体与锚固区接缝、墙体模板螺丝孔。对隧道锚，应对锚周的岩体完整性、裂隙发育及透水性等进行调查。明确原因后应及时采取防水、堵水、排水、降水等综合措施。

2 对较大的孔洞和宽度 0.15mm 以上裂缝可采用环氧材料压胶封闭，宽度 0.15mm 以下的裂缝，应采用水泥基结晶渗透材料进行封闭。

3 原设计未设置排水系统的，可通过抬高锚室内地坪，并在其下增设排水系统，将渗漏水排出锚室外。

4 锚室外部截水系统应考虑地下渗流的方向，综合采用阻水止水帷幕与井降排水、排水廊道系统等措施。

#### 6.3.7 索股锚固系统损坏的修复应符合下列基本要求：

1 宜在中断交通且气温稳定的时间段进行维修。

2 应测定损坏锚固系统对应索股的索股力。

3 更换损坏的部件后，重新将索股张拉至原拉力后锚固。

#### 条文说明

6.3.7 悬索桥锚碇锚固系统多采用前锚式，体系上基本上可分为型钢锚固体系和预应力锚固体系两种类型。预应力锚固体系一般包括索股锚头(螺杆横梁)、

螺杆、螺帽、连接器和预应力系统。型钢锚固体系一般为索股锚头、锚箱和锚杆。这些构件出现个别损坏时可按本条进行更换,大面积出现问题,应立即封闭交通,按程序处理。对于索股力可在施工前用振弦法测定,并应在放松索股时,记录索股拉力进行验证。

## 6.4 特有附属设施

### 6.4.1 悬索桥特有附属设施的养护与维修应符合下列基本要求:

- 1 各特有附属设施运转持续正常,作用效果达到设计要求。
- 2 各特有附属设施清洁、自身防护完整无破损。

条文说明:

6.4.1 悬索桥特有附属设施主要为主缆中央扣、主缆空气干燥系统、锚(鞍)除湿系统等。

### 6.4.2 特有附属设施的预防养护应符合下列基本要求:

- 1 主缆、锚(鞍)等空气干燥、除湿设备,定期清洁或更换相关损耗构件。
- 2 悬索桥主梁与主缆间的中央索扣的预防养护可参考相关组成构件的预防养护要求执行。

条文说明:

1 安装有除湿设备的悬索桥应按设计要求与设备的保养规定,定期进行养护,一般每2月1次,包括清洁除尘,更换失效过滤器,更换润滑油等。

2 悬索桥跨中设置中央扣可有效地提高全桥刚度,减小加劲梁的纵向位移,增大整体的自振频率,并可部分改善跨中位置吊索的弯折和疲劳问题。一般采用三角桁架的刚性中央扣和斜拉吊索的柔性中央扣。中央扣索夹可为骑跨式和销接式,其预防养护参考主缆索夹的预防养护。连接主梁的斜拉钢丝绳(绳)及锚固系统(承压式、销铰式)的预防养护参考吊杆(斜拉索)及其锚固系统的预防养护;连接主梁的钢结构三角桁架的预防养护可参考钢桁架主梁的预防养护。

### 6.4.3 特有附属设施的修复应符合下列基本要求：

1 除湿设备运转不正常或其除湿空间的相对湿度长时间不满足设计要求时，应立即查找原因并进行维修或更换。

2 悬索桥主梁与主缆间的中央索扣的修复养护可参考相关组成构件的预防养护要求执行。

#### 条文说明：

2 中央扣索夹修复养护可参考主缆索夹的修复养护，中央扣斜拉钢丝绳（绳）更换可参考吊杆（斜拉索）更换，若更换应封闭交通作业。中央扣钢结构三角桁架的修复养护可参考钢桁架主梁的修复养护。

6.4.4 主缆可根据养护实际需求，增设牵引式主缆检修设备或自行式主缆检修设备，其爬坡能力不得低于主缆最大倾斜角度，具备可跨越索夹、扶手绳支架及吊杆的能力，应能满足主缆与吊杆载人检查、养护的安全工作的需要。

## 7 主梁的养护与维修

### 7.1 钢主梁

**7.1.1** 缆索结构体系桥梁钢主梁的养护和维护应符合下列基本要求：

- 1 钢结构主梁各构件涂层完整，防护性能符合设计要求。
- 2 钢结构主梁内外清洁、无积水。
- 3 钢结构主梁线形平顺，各构件完好，刚度、强度和稳定性应符合设计要求。
- 4 钢结构主梁无异常振动。
- 5 安装有梁内部设置除湿系统的，梁内湿度应符合设计要求。

#### 条文说明

7.1.1 缆索结构体系桥梁通过锚固结构将斜拉索、吊杆与主梁联系在一起，缆索的锚固结构是结构受力的关键部位，缆索锚固区的可靠与否直接关系到整个大桥的安全度，缆索锚固区的养护与其他梁式钢桥的养护有重要区别在于缆索通过锚固构造提供的柔性支撑。因此缆索结构体系钢主梁常规的养护按《公路钢结构桥梁养护技术规范》执行，与缆索系统连接的锚固区（钢锚箱和锚拉板等）等按本规范执行。

索缆锚固结构根据各种因素有所变化，这些因素主要有斜索的布置、钢箱、钢桁主梁的截面形式等，且锚固区的受力和构造复杂，是检查和维护的重点。缆索桥梁可靠性在很大程度上取决于锚固区的可靠性，因此对锚固区的养护应细致、专业。

锚固区出现渗水现象，应立即查明原因。对因缆索 PE 护套破损导致渗水的，应立即对破损的索体 PE 护套进行修复；对因防水罩密封圈老化导致渗水的，应立即更换防水罩密封圈，重新进行密封。在缆索锚固端锚具保护罩上或索导管上设立泄水口。

**7.1.2** 钢结构主梁锚固区的预防性养护工作内容包括清洁和保养。

**7.1.3** 钢主梁锚固区预防性养护时机应符合以下基本要求：

- 1 钢主梁索缆锚固区的清洁宜根据检查结果进行，每年不少于 1 次。
- 2 钢主梁索缆锚固区的保养包括涂漆和除锈，每年 1 次。

#### 条文说明

- 1 锚箱清洁时应内外同时清洁。
- 2 涂漆和除锈养护工作时，要注意对索锚具和焊缝的保护。涂层防护劣化的维护性补涂可参照 6.1.3 条第 3 款的规定，补涂的工艺、材料和质量要求与成桥时相同。

**7.1.4** 钢主梁索缆锚固区清洁可采用人工清理的方法，不同索梁锚固形式的清理应满足以下要求：

- 1 耳板式应对耳板、螺栓和销孔表面及周围的灰尘、积水、垃圾、杂物等进行清理。
- 2 锚拉板式应对锚拉板和焊缝表面及周围的灰尘、积水、垃圾、杂物等进行清理。
- 3 锚箱式应对锚板和护筒面及周围的灰尘、杂物等进行清理，对构件的连接部位和锚箱内积水进行清理。
- 4 锚管式应对钢管表明面及周围的灰尘、杂物等进行清理，对钢管内积水进行清理。

#### 条文说明

7.1.4 对拉吊索采用采用吊耳、锚拉板等形式的，要注意梁段吊耳局部锈蚀及与风嘴连接处积水、垃圾等杂物的清理，对采用锚箱和锚管的要注意检查锚箱和钢管内部积水，锚板、护筒保持清洁、干燥。

**7.1.5** 公路缆索结构体系桥梁钢主梁索缆锚固区出现下列情况时，应及时开展修复养护：

- 1 锚固区局部钢板变形、开裂、锈蚀。
- 2 锚固区与钢主梁连接的高强螺栓松动、锈蚀、缺失。
- 3 锚固区焊缝锈蚀、开裂。

#### 条文说明

7.1.5 缆索结构体系桥梁的钢主梁锚固区受力大，易积水、积灰，锚固区油漆容易老化、剥落，造成钢构件和螺栓锈蚀，一旦发现病害应及时开展修复养护。高强螺栓的拧紧或更换时，欠拧值或超拧值均不应超过规定值的 10%；对大型节点，同时更换螺栓的数量不得超过该节点螺栓总数的 10%，对螺栓少的节点应逐个更换；在一个连接处（或节点）少量更换的螺栓，其螺母及垫圈的材质、规格、强度等级应与原桥上使用的螺栓相同，原则上不得混用，否则应当作专项研究确定其可行性。高强螺栓的施工预拉力应符合设计要求。

**7.1.6 钢主梁锚固区修复养护的时机应符合下列基本要求：**

- 1 钢主梁锚固区的修复养护宜结合定期检查工作进行。每年定期检查结束后，宜对钢锚箱和锚拉板进行一次全面的修复养护。
- 2 发生耳板、锚拉板被车撞等突发事件后，应对耳板、锚拉板进行检查，如发现损伤应及时进行修复养护。

**条文说明**

- 1 钢主梁锚固区（除耳板、锚拉板结构形式外）多数位于箱梁内部或底部，日常检查和维护较为困难，可以结合桥梁定期检查结果统一进行维护。
- 2 耳板和锚拉板位于桥面，可能遭受车辆等其他外力影响，在受到车辆撞击或其他外力后，应立即安排具有检测资质的检测单位对锚拉板进行全面检查，给出维修方案。

**7.1.7 钢主梁锚固区的修复养护应符合下列基本要求：**

- 1 当钢主梁锚固区焊缝出现裂缝或异常变形时，应根据不同的成因采取有针对性的维修方案。
- 2 及时紧固松动的螺栓或恢复缺失的螺栓及破损的螺栓涂装。
- 3 钢主梁锚固区钢板开裂宜采用钢板加强法处理。

**条文说明**

- 1 造成钢主梁锚固区焊缝出现裂缝或异常变形的原因有多种，如焊接质量、结构细节不合理、疲劳开裂等，特别在锚固区呈现规律性的病害，应分析原因后进行针对性处置，维修方案除恢复裂缝功能或矫正异常变形外，还应消除导致此类病害的主要因素。构件变形可采用机械矫正或火焰矫正的方法进行恢复，宜优

先采用机械矫正，必要时，还可采用增大构件截面的方式进行加强。锚固区钢结构疲劳裂缝的修复目标应以改善疲劳细节、降低裂缝区域疲劳应力幅度的方法为主，包括加衬钢板、钻设止裂孔等，其中对于较短裂纹，可仅采用钻设止裂孔方式，止裂孔宜设置在裂纹尖端处，直径不宜小于板的厚度，止裂孔宜采用高强度螺栓栓紧，并需加强处治后的定期检查，若裂纹扩展，则宜采取栓接钢板的措施进行加固；对于较长裂纹，钻设止裂孔后，还应按照等刚度、等强度原则进行跨裂纹加衬钢板加固，钢板边缘到现有焊缝接头处的间距应符合相关规范要求，并宜用高强度螺栓沿裂纹位置进行夹紧。提高焊缝抗疲劳能力措施或消除焊缝微小裂纹可采取锤击、修磨等措施。锈蚀、变形、开裂严重时应进行更换，更换构件与原结构连接时宜采用高强度螺栓连接。

2 记录松动和缺失的螺栓位置，以及螺栓拧紧时的预紧力。

3 钢主梁锚固区钢板裂缝宜优先采用栓接钢板方式进行加强处理，补强钢板采用焊接连接时，焊接热量不得危及拉吊索锚头，必要时应采取冷却措施。

## 7.2 混凝土主梁

**7.2.1** 混凝土主梁的养护和维护应符合下列基本要求：

- 1 混凝土主梁线形平顺，各构件完好，刚度、强度应符合设计要求。
- 2 混凝土结构涂层防护完整，无破损。
- 3 混凝土主梁内外表面清洁，无裂缝、渗水、剥落、蜂窝、麻面和露筋、锈胀等病害。
- 4 混凝土主梁无异常振动。

### 条文说明

7.2.1 混凝土主梁与拉吊索连接的锚固区的受力复杂，钢筋集中，结构发生损伤对结构安全威胁较大。混凝土主梁除锚索区外与其他形式的混凝土桥梁的养护无重要区别，因此混凝土主梁一般的养护维修按《公路桥涵养护规范》执行，与拉吊索系统连接的锚固区等按本规范执行。

**7.2.2** 混凝土主梁的预防性养护工作内容为清洁。

**7.2.3** 公路桥梁混凝土主梁拉吊索锚固区的清洁每年不少于 2 次。

**7.2.4** 混凝土主梁拉吊索锚固区清洁可采用人工清理的方法，对表面及周围的灰尘、垃圾、杂物等进行清扫。

**条文说明**

7.2.4 锚固区的清洁不得对混凝土和承压钢板、锚具、护筒造成腐蚀。

**7.2.5** 公路缆索结构体系桥梁混凝土主梁锚固区出现下列情况时，应及时开展修复养护：

- 1 混凝土梁端拉吊索预埋承压钢板锈蚀、变形。
- 2 锚固区混凝土出现裂缝、剥落、渗水等现象。
- 3 混凝土防护涂层劣化。

**7.2.6** 混凝土主梁锚固区修复养护的时机应符合下列基本要求：

1 混凝土主梁锚固区的修复养护宜结合定期检查工作进行。每年定期检查结束后，宜对混凝土主梁锚固区进行一次全面的修复养护。

2 锚固区及其附近发生异常变形、振动和响声时，应对锚固区进行检查，如发现损伤应及时进行修复养护。

3 发生地震、船撞等突发事件后，应对锚固区进行检查，如发现损伤应及时进行修复养护。

**条文说明**

1 混凝土主梁锚固区（除锚拉板形式外）多数位于箱梁两侧、内部或底部，日常检查和维护较为困难，可以结合桥梁定期检查结果统一进行维护。

2 国内斜拉桥和悬索桥由于锚固区失效引起的事故很少，但国内吊杆拱桥事故多数由锚固区失效引起，根据吊杆拱桥锚固区失效的案例，如重庆綦江彩虹桥、四川宜宾南门大桥，在锚固区失效前均有异常变形、振动和响声现象。

3 缆索锚固区为缆索结构体系桥梁重要部位，在发生突发事件时，应立即进行检查。

**7.2.7** 混凝土主梁锚固区的修复养护应符合下列基本要求：

- 1 混凝土主梁锚固区混凝土剥落时，应及时修复剥落的混凝土，并分析原因。
- 2 混凝土主梁锚固区出现裂缝以及垫板、承压钢板变形异常时，应分析原因并进行处置。
- 3 进行了防护涂装的混凝土主梁，其锚固区的涂层劣化的修复同主梁。

#### 条文说明

7.2.7 桥梁养护人员应在养护过程中，详实记录锚固区的裂缝和承压板状态，分析运营期间产生的开裂、剥落、锈胀病害的原因，有针对性的采取修复措施。对出现过病害的混凝土锚固区修复后加强检查和养护。

### 7.3 钢-混凝土主梁

**7.3.1** 钢-混凝土组合梁中主梁与索连接构造的保养及维修工作应分别满足本规范第 7.1 节、第 7.2 节的规定。

## 8 桥面系及通用附属设施的养护与维修

### 8.1 桥面铺装

**8.1.1** 公路缆索结构体系桥梁桥面铺装的养护与维修应符合下列基本要求：

- 1 桥面铺装应经常清扫，排除积水，清除泥土、杂物、积雪和冰棱等，保持桥面平整、清洁。
- 2 桥面铺装养护应与经常检查工作相结合，对发现的铺装病害及时修复。
- 3 进行桥面铺装养护维修及改造时，应严格控制铺装厚度；加铺、改变铺装材料及厚度等维修，在实施前均应对桥梁结构进行验算。
- 4 桥面防水层损坏时，应及时修复。
- 5 寒冷地区桥梁冬季清除积雪作业时，应加强人工、机械除冰等综合措施，不宜使用氯盐类融雪剂。

**条文说明：**

3 桥面铺装占桥梁永久荷载中占有较大的比例，铺装厚度的改变将显著影响并改变桥梁受力状况，可能会对桥梁安全产生影响。因此，铺装维修中要严格控制铺装厚度，尽可能与原设计保持一致。进行预防养护的封层、罩面等不宜太厚；铣刨重铺方案中，如果铺装厚度、材料容重等与原设计有明显区别，要对桥梁结构进行验算，分析永久荷载的变化带来的影响，评估对桥梁护栏高度的影响。

**8.1.2** 公路缆索结构体系桥梁的桥面铺装宜进行预防养护，采用钢桥面铺装的桥梁应加强预防养护工程的实施。

**条文说明：**

8.1.2 预防性养护以铺装层正常使用状态下的部分功能性缺失为对象，以延缓铺装层损坏、延长铺装层使用寿命为目的，需在钢桥面沥青铺装层出明显破坏之前进行。钢桥面沥青铺装与沥青混凝土路面在工作方式、病害机理上存在较大差别，但是其预防性养护的思想和目的都是相同的。

**8.1.3** 桥面铺装预防养护应在铺装层没有发生损坏或存在轻微缺陷与病害迹象

时予以实施，进行预防养护的时机应符合下列基本要求：

- 1 桥面铺装经过正常使用 2~4 年，没有明显病害，技术状况良好，可适当进行预防性养护。
- 2 桥面铺装抗滑能力下降，抗滑性能指数  $SRI < 90$  时，应进行预防性养护。
- 3 桥面铺装存在表 8.1.3 中所示的损坏类型和严重程度的病害时。

表 8.1.3 应进行预防性养护的桥面铺装损坏类型和损坏程度

损坏类型		严重程度	评价标准
破损类	不规则裂缝	缝细，缝壁部散落或轻微散落	缝宽 $< 1\text{mm}$
	纵缝	缝壁无散落或轻微散落，无或少支缝	缝宽 $< 3\text{mm}$
	横缝	缝壁无散落或轻微散落，无或少支缝	缝宽 $< 3\text{mm}$
变形类	车辙	变形较浅	深度 $< 10\text{mm}$
其他类	磨光	铺装原有构造深度衰退或丧失，路表光滑	-
	麻面	细小嵌缝料散失，出现粗麻表面	-
	松散	细集料散失，路表粗麻，渗水系数增大	-
	泛油	铺装表面呈现沥青膜、发亮、镜面、有轮印	-

**条文说明：**

8.1.3 鉴于钢桥面沥青铺装的特殊性，即保护钢板和病害发展状况迅速等，必须在各类病害发生初期就采取预防性养护，对此需要采用更为直观的、基于铺装破损情况的裂缝、车辙及表面性能指标制订预防性养护决策。

**8.1.4** 公路缆索体系桥梁实施桥面铺装预防养护前，宜进行养护决策。桥面铺装预防性养护决策流程图如图 8.1.4 所示：

**条文说明：**

8.1.4 在预防性养护对策制订过程中，需要考虑以下原则：

① 技术上满足要求。预防性养护措施在技术上是适用的，它能够满足桥面沥青铺装层状况、交通量、公路等级等的技术要求，且能充分发挥其应有的预防性养护性能。

② 性能上符合工程特点。所采用的预防性养护措施能反映具体桥梁管理单位对铺面养护质量和效果的要求，以及满足用户对预防性养护路段铺面使用性能

的特定要求。

根据预防性养护对策的制订原则，预防性养护措施的选择可分步实施：

① 根据沥青铺装巡查状况，判断当前全桥或局部桥域铺面状况是否适合预防性养护。

② 如果适合预防性养护，根据铺面的主导损坏类型及损坏程度等技术因素，推荐所有适用的预防性养护措施。

③ 综合考虑施工因素、用户因素和环境因素，选择最合适的预防性养护措施。

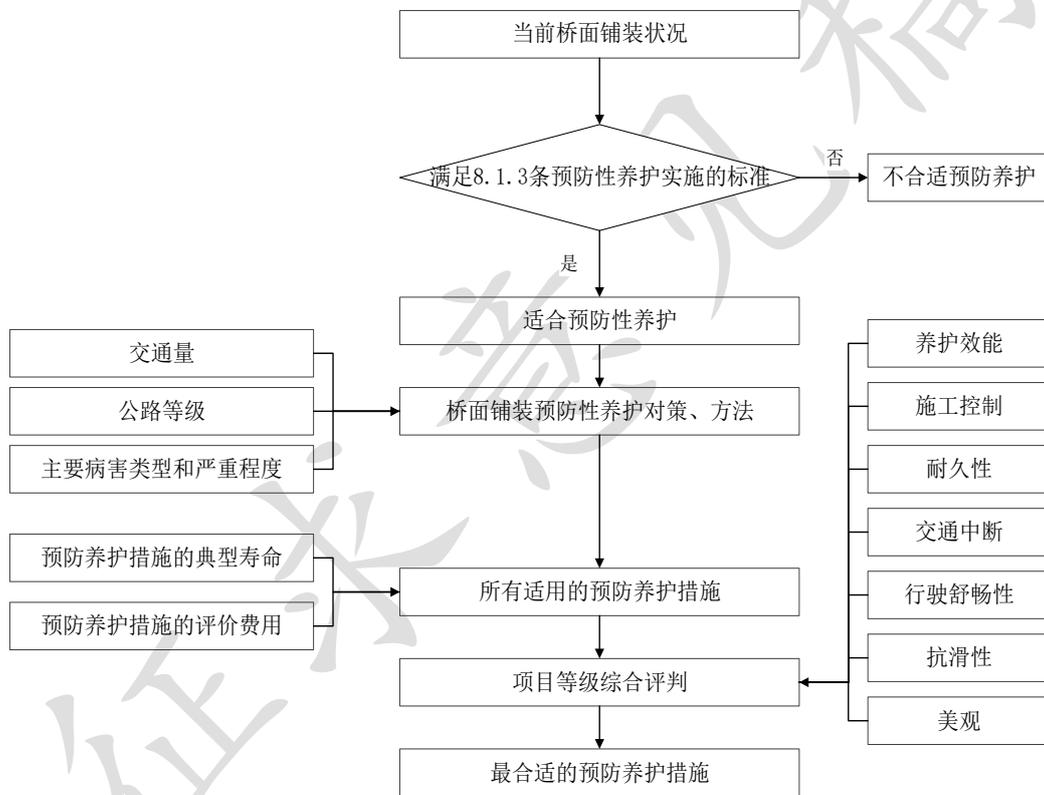


图 8.1.4 桥面铺装预防养护决策流程图

8.1.5 公路缆索体系桥梁桥面铺装预防养护的对策措施，可从表 8.1.5 中依据病害类型和桥面铺装种类进行选取。

表 8.1.5 桥面铺装预防养护对策措施

预防性养护 措施	铺装主导损坏类型及其严重程度	
		SMA、改性 AC 铺装层

	裂缝			车辙			抗滑 损失	表面 渗水	裂缝			抗滑 损失	鼓包 残留
	轻	中	重	轻	中	重			轻	中	重		
裂缝填封	√	√							√	√			
表面封层 <sup>1</sup>	√							√	√				√
微表处	√			√	√		√	√	√	√		√	

注 1: 采用钢桥面铺装的缆索体系桥梁, 表面封层方法宜采用雾封层措施。

#### 条文说明:

**8.1.5** 沥青路面常用的预防性养护措施包括: ①裂缝填封; ②雾封层; ③稀浆封层; ④微表处; ⑤石屑封层; ⑥开普封层; ⑦车辙填补; ⑧薄层罩面; ⑨超薄磨耗层等。其中, 裂缝填封用于封缝防水, 防止路面裂缝的进步扩展, 适用于对张开到一定程度, 能够被肉眼辨别的单条裂缝的处理。表面封层类技术是道路中最为常用的养护手段, 是用连续方式敷设在整个路表的养护层, 封层材料可以是沥青或其他封层剂, 也可以是沥青与集料组成的混合料。表面封层可延缓铺装层氧化, 密封表面的微小裂缝, 防止水进入路面结构层内部等, 最常用表面封层技术包括雾封层、稀浆封层、微表处等。车辙填补、薄层罩面及超薄磨耗层等则为在原路面上加铺的热拌沥青混凝土薄层。

对于缆索体系桥梁钢桥面沥青铺装的预防性养护, 裂缝填封应用最为普遍。表面封层技术加铺厚度小, 不会显著增加桥梁恒重。表面封层技术种类较多, 其中, 雾封层可提高路面防水性能、防止路面老化, 施工简单且技术成熟, 国内钢桥面沥青铺装养护中已有应用; 石屑封层在高速行驶的车辆作用下, 封层中的集料可能会被车轮带出造成封层失效, 因此在交通量较大、车速较高的钢桥面沥青铺装不宜采用; 稀浆封层采用普通乳化沥青, 性能较差, 难以满足桥面沥青铺装重交通的使用要求。微表处技术在原材料质量要求、混合料设计指标、使用范围等各方面的要求都比稀浆封层要苛刻得多, 因此它的路用性能、使用寿命等都明显优于普通稀浆封层。微表处具有封堵裂建、修复车和恢复表面功能等作用, 且摊铺后 1-2h 即可开放交通, 适宜于钢桥面沥青铺装养护。薄层罩面及超薄磨耗层使用的热拌沥青混凝土空隙率较大, 防水性差, 在荷载作用下易出现疲劳裂缝, 且厚度大, 增加桥梁恒重, 因此一般不建议在钢桥面沥青铺装上使用。

综上所述, 对于公路缆索体系桥梁钢桥面铺装的预防养护, 推荐将裂缝填封、

雾封层、微表处作为钢桥面沥青铺装预防性养护的措施。

**8.1.6** 桥面铺装预防养护的厚度一般不超过 4cm，施工时预防养护措施不得覆盖桥梁伸缩装置。

**8.1.7** 公路缆索结构体系桥梁的养护人员应根据桥面铺装的巡查和检查结果，及时对铺装病害进行修复养护。

**条文说明：**

8.1.7 对于桥面铺装的修复养护原则是：“小坏小补、随时坏随时补”，而不能采取多处或大面积损坏后集中修补的办法，这将加速桥面铺装的损坏。特别是对于采用环氧沥青混凝土铺装的缆索桥梁的铺装裂缝应尽早处理，主要是由于环氧沥青混凝土铺装层的模量较大，材料性能偏脆，裂缝发生后迅速扩展。

**8.1.8** 根据桥面铺装材料的不同，可分为沥青混凝土桥面铺装的修复养护和水泥混凝土桥面铺装的修复养护。

**8.1.9** 根据铺装病害类型的不同，桥面铺装修复养护的典型方法如下：

- 1 沥青混凝土铺装：贴缝、灌缝、喷涂、修补、修补等。
- 2 水泥混凝土铺装：灌缝和板块局部维修等。

**条文说明：**

1 对于沥青混凝土铺装，几类典型的修复方法的适用病害和简要施工过程分别如下：

① 贴缝适用于沥青混凝土桥面的纵向裂缝、横向裂缝和块状裂缝等。作业前应使用吹风机等对裂缝进行清理；贴缝带宽度宜不小于 30mm，长度应比裂缝两端各长 0.15m；使用喷枪等对贴缝带及裂缝部位进行加热；使用橡皮锤等对贴缝带进行轻击，使贴缝带粘结牢固。

② 灌缝适用于沥青混凝土桥面的纵向裂缝、横向裂缝和块状裂缝等。按照材料用量和使用方法，使用灌缝机对灌缝胶进行加热；对裂缝应进行均匀灌缝，并高于桥面 2~3mm。当需要对裂缝进行开槽灌缝时，应依据《公路沥青路面养护技术规范》（JTJ073.2）等规范要求开槽。

③ 喷涂适用于轻度的纵向裂缝、横向裂缝、块状裂缝以及渗水、麻面等病害。按照材料用量和使用方法配置喷涂材料，装入沥青喷洒设备容器内。使用清扫车、吹风机等对路面进行清理，保证路面洁净、干燥。按照材料用量和使用方法，使用喷洒设备对路面进行喷涂。

④ 修补具体又分为热修补、热料冷补和冷料冷补3种形式。

热修补适用于龟裂、块状裂缝、坑槽、松散、沉陷、波浪拥包等病害。典型施工过程为：确定处治范围、加热病害桥面、铲除旧混合料、喷洒乳化沥青、添加新沥青混合料、压实。

热料冷补适用于龟裂、块状裂缝、坑槽、松散、沉陷、波浪拥包等病害。典型施工过程为：确定处治范围、切缝、凿除路面、清理坑槽、乳化沥青涂洒、添加热沥青混合料、压实、涂刷接缝胶。

冷料冷补适用于坑槽、松散等病害，可用于桥面铺装的应急养护。典型施工过程为：确定处治范围、凿除路面、清理坑槽、乳化沥青涂洒、添加冷补沥青混合料、压实、涂刷接缝胶。

2 对于水泥混凝土铺装，几类典型的修复方法的适用病害和简要施工过程分别如下：

① 灌缝，适用于裂缝、接缝料损坏等病害。主要施工过程包括：填缝料加热、开槽（扩缝和换原填缝料采用）、清缝、灌缝。

② 板块局部维修，适用于破碎板、板角断裂、边角剥落、坑洞等病害。主要施工过程包括：确定处治范围、凿除桥面、钻孔设传力杆、布设钢筋网、水泥混凝土浇筑、水泥混凝土抹面、水泥混凝土拉毛和压槽、水泥混凝土养生。

#### **8.1.10 缆索结构体系桥梁钢桥面铺装修复养护应符合下列基本要求：**

1 桥面铺装修复应充分考虑结构特点、交通状况、环境气候条件、材料运输距离、施工作业条件，并结合相同或相似桥梁的经验，进行铺装修复设计。

2 进行修复作业时，除必要机具外，下层工作面施工时其他车辆和机具不得通行；修复后的铺装应达到设计规定的养护时间后方可开放交通。

3 钢桥面铺装修复应避免雨季施工，雨天不得施工，铺装粘结层应严格隔绝水气；铺装修复作业的环境温度应在 15℃以上，且不宜在夜间施工。

4 大面积铺装修复宜采用机械化作业，不宜采用人工进行拌合、摊铺作业。

**8.1.11** 桥面铺装经过一段时间的运营使用，或铺装技术状况显著降低、使用功能退化严重时，应进行大中修。

**8.1.12** 根据桥面铺装修复养护实施时间、范围、工作内容的不同，可分为铺装中修工程和铺装大修工程。实施中修和大修的年限应符合下列规定：

- 1 应根据桥面铺装技术状况和使用性能要求确定开展中、大修的时机；
- 2 在缺乏相关标准和决策依据时，桥面铺装进行中修的年限可为运营后4~6年；进行大修工程的年限可为运营后10~15年。

**条文说明：**

1 中修预期使用年限应根据公路等级、交通组成、旧路状况、养护措施、地区施工技术水平等因素综合确定。根据公路养护的一般规律，在路面结构大修周期内，需进行1~2次以维持或恢复路面使用性能为主的中修措施，即中修措施是以保证甚至延长路面大修使用寿命为目的。在中修的使用寿命年限内，允许设置合理的日常养护和小修保养措施，以保证甚至延长路面中修使用寿命。

2 由于公路等级、旧路处治程度、养护投资、施工技术等因素存在差异，无法规定一个统一的大修年限。调研表面，国内大跨度桥梁桥面铺装的使用寿命一般在10~15年左右，因此将这一时间作为进行大修工程的年限。在大修设计年限内，允许进行合理的预防性养护和中修养护措施，以保证路面良好的使用性能和服务水平，并可起到延长路面结构使用寿命的作用。

**8.1.13** 桥面铺装层的铣刨重铺。根据面层重铺类型的不同，可分为原面层结构恢复和重铺新的面层结构形式。

**8.1.14** 桥面铺装铣刨重铺作业应符合下列基本要求：

1 基本要求：养护使用的沥青、粗集料、细集料和填料的规格、质量要求、技术指标和级配组成，均应符合现行《公路沥青路面设计规范》（JTGD50）和《公路沥青路面施工技术规范》（JTGF40）等规范中的有关规定。

2 施工过程：作业准备，铣刨，涂布粘结层，沥青混凝土拌合、运输、摊铺，开放交通。

3 质量控制：桥面铺装铣刨重铺质量要求应符合《公路工程质量检验评定

标准》（JTG F80/1）等规范中的有关规定。

## 8.2 护栏

**8.2.1** 公路缆索结构体系桥梁护栏的养护与维修应符合下列基本要求：

- 1 护栏应保持结构完好稳固，满足阻挡、缓冲和导向等功能要求，防撞等级、最小设施长度、材质、几何尺寸和安装方式等应符合有关标准的要求。
- 2 伸缩装置处的护栏应满足结构的变形需要。
- 3 桥梁两端涂有立面标记或警示标志的护栏，应保持标记、标志鲜明。
- 4 因桥面加铺导致护栏高度不足时，应及时增加护栏高度。
- 5 附着于护栏的风障结构完整、功能正常。

**8.2.2** 护栏的预防养护工作内容包括护栏的清洗和定期整体涂装。

**8.2.3** 护栏的预防养护时机应符合以下基本规定：

- 1 护栏清洗的频率宜结合日常巡查和经常检查的情况确定。
- 2 护栏定期涂装的频率宜根据气候特点、交通量、腐蚀环境等确定。
- 3 附着于护栏的风障有机电控制单元的按产品说明书要求进行维护。

**8.2.4** 护栏的清洗宜采用冲洗车配合人工清理，养护过程注意节约用水和环境保护，并符合《护栏清洗车》（GB/T 25981）中的相关规定。

### 条文说明

8.2.4 护栏清洗后桥面的积水要及时清除。利用机械冲洗车进行清理时，要依据国家相关标准规定，控制行车速度和用水量，以到达节约水资源的目的，符合绿色养护的要求。

**8.2.5** 对金属护栏和钢筋混凝土护栏上的外露钢构件应进行定期整体涂装。涂装前应进行除锈，涂料性能符合设计要求，表面涂层应均匀、不漏刷、不流淌。

**8.2.6** 公路缆索结构体系桥梁护栏出现下列情况时，应及时开展维修、加固或更换等修复养护：

1 金属梁柱式护栏和波形钢护栏出现部件缺损、锈蚀、松动、立柱或横梁倾斜变形等缺陷时。

2 水泥混凝土护栏出现明显裂缝、破损或变形等缺陷时。

3 缆索护栏出现部件缺损、锈蚀、明显变形、松动或立柱倾斜时。

4 活动护栏应方便开启和关闭，出现损坏时应立即修复或更换。

5 风障立柱或障条破损、变形、脱落，钢丝绳发生断裂、严重锈蚀或明显松弛时。

#### **8.2.7 金属梁柱式护栏和波形钢护栏的修复养护应符合下列基本要求：**

1 护栏表面油漆局部损坏应及时修补；反光膜脱落应随时补贴。

2 由于交通事故或自然灾害造成护栏缺损或变形应及时修复或更换。

3 对锈蚀的金属构件及时除锈，锈蚀严重的应予以更换。

4 防撞护栏基础应牢固、稳定，表面无明显开裂、破损，发现病害应及时进行修补；护栏与基础的连接应紧密、稳定。

#### **8.2.8 水泥混凝土护栏的修复养护应符合下列基本要求：**

1 水泥混凝土护栏上的明显裂缝、破损、掉角等病害应及时修补。

2 护栏钢筋、预埋钢构件存在锈胀、露筋等病害应进行除锈和修复。

3 护栏基础应牢固、稳定，表面无明显开裂、破损，发现病害应及时进行修补；护栏与基础的连接应紧密、稳定。

#### **8.2.9 缆索护栏的修复养护应符合下列基本要求：**

1 缆索护栏钢构件的养护要求应符合本标准第 8.2.7 条的规定。

2 钢丝拉索表面应光滑、洁净，无氧化皮、裂纹、麻面和划伤等缺陷；拉索无松弛或断裂。

#### **8.2.10 活动护栏的修复养护应符合下列基本要求：**

1 活动护栏钢构件的养护要求应符合本标准第 8.2.7 条的规定。

2 护栏的导轨和滑轮对移动无明显阻滞，滑轮应保持润滑。

3 插入式活动护栏的插孔应清洁，无杂物、碎屑，护栏能够插拔自如。

**8.2.11** 附着于护栏的风障的修复养护应符合下列基本要求：

- 1 拉索表面应光滑、洁净，无氧化皮、裂纹、麻面和划伤等缺陷。
- 2 立柱无明显锈蚀、涂装脱落病害；连接螺栓牢固，无松动、脱落现象。
- 3 风障条表面应光滑平整、厚度均匀、形状规整、色泽一致，无裂纹、变形、凹陷等缺陷。

**8.2.12** 缆索体系结构桥梁养护管理单位应对桥梁护栏及其他防护设施的安全防护能力进行评估，对防护能力不足的护栏应开展专项养护与性能提升专项工程。

#### 条文说明

8.2.12 桥梁护栏安全防护性能提升的内容主要依据《交通运输部关于认真贯彻落实习近平总书记重要指示批示精神开展冬季公路水路安全生产行动的通知》（交安监发〔2018〕169号）的相关规定进行开展。具体实施内容及方案参照《提升公路桥梁安全防护能力专项行动技术指南》。

**8.2.13** 当缆索体系桥梁的护栏遭受撞击、火烧、危化品腐蚀等突发事件并导致损伤时，应采取应急养护措施。

**8.2.14** 桥梁养护人员应按《公路养护安全作业规程》（JTG H30）的规定对护栏损坏区域实施封闭示警；当损坏护栏形成缺口时，还应设置临时防护措施。

#### 条文说明

8.2.14 实施交通管制的方式需要结合护栏损坏位置判断：例如外侧护栏发生损坏可封闭桥梁应急车道，内侧护栏损坏可封闭第一车道。当护栏严重损坏，形成缺口时，还应在缺口位置设置水马、防撞桶、警戒线，并采用钢丝网临时封闭缺口，防止其他车辆、人员坠落。

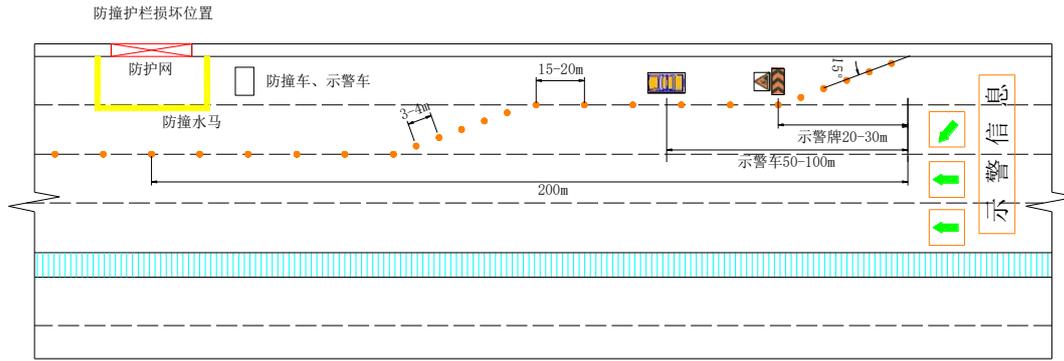


图 8.2.14 护栏损坏位置交通管制示例

**8.2.15** 实施护栏应急养护前，应由养护人员对损坏护栏进行应急检查。应急检查基本要求应符合表 8.2.15 的规定。

表 8.2.15 护栏应急检查基本要求

通用要求	
1、确定护栏损伤的长度、类型、规模； 2、需要进行拆除、更换的护栏的长度、范围； 3、检查护栏混凝土底座或预埋件是否破损、开裂，锚固连接螺栓是否脱出，是否有更换的需要。	
损伤成因	应急检查基本要求
车辆撞击	重点检查护栏表面划痕长度、深度，扭曲变形的长度；护栏与底座连接的牢固情况。
火灾	重点检查护栏表面火烧严重情况，表面涂层是否脱落、护栏立柱横梁是否烧至变形；爆炸冲击下护栏是否变形、与底座连接是否牢固。
危化品腐蚀	根据危化品的种类，检查护栏是否受到腐蚀；防护涂层是否脱落、立柱横梁钢结构是否腐蚀。

**8.2.16** 根据护栏应急检查结果，确定护栏进行修复的具体方式。护栏的维修、更换等修复养护应符合本标准第 8.2.6-8.2.11 条的规定。

### 8.3 伸缩装置

**8.3.1** 公路缆索结构体系桥梁伸缩装置的养护与维修应符合下列基本要求：

- 1 伸缩装置应平整、直顺、无漏水，处于良好的工作状态。

2 伸缩装置的缝内应清洁、无杂物，各组件处于良好的技术状况，能够发挥正常作用，锚固区混凝土应完好。

3 各类突发事件引起伸缩装置发生损害时，应及时进行维修。

#### 条文说明

8.3.1 超限机动车、履带车、铁轮车等需经过桥梁伸缩装置时，应报管理部门审批，采取相应保护措施后方可通行，防止伸缩装置发生过度的弯曲变形。在发生地震或者出现恶劣的天气之后，应巡查记录伸缩装置的工作状况，发现损坏应及时进行修复。

**8.3.2** 伸缩装置的预防养护内容包括齿缝清洁和伸缩装置保养。

#### 条文说明

8.3.2 伸缩缝主要为桥梁结构提供适应纵向变形的能力。当模数式伸缩缝的型钢间或梳齿板伸缩缝的齿板中存在泥土、杂物时，对伸缩缝的变形能力将产生影响，降低运营使用功能；杂物的长期堆积，对伸缩装置构件的寿命也存在影响，潮湿的积土、杂物容易使钢构件发生锈蚀。因此，定期清理缝间杂物是延长伸缩缝使用寿命、提高使用性能的主动性防护措施。

**8.3.3** 伸缩装置的预防养护时机应符合以下基本规定：

1 伸缩装置清洁的频率每月不少于 1 次。

2 伸缩装置保养分为日常保养和定期保养，并符合以下基本规定：

1) 日常保养宜结合巡查与经常检查进行。当在伸缩装置巡查与经常检查中发现轻微病害时，应及时进行保养。

2) 定期保养宜结合定期检查工作进行。每年定期检查结束后，应对伸缩装置进行一次全面的保养。

**8.3.4** 伸缩装置的清洁宜采用机械冲洗或人工清理，对缝间清理出的杂物妥善收集并集中处理，养护过程注意节约用水和环境保护。

**8.3.5** 伸缩装置的保养应以修复轻微病害和损伤为主要内容，超出范围的病害和损伤应进行修复养护。不同类型伸缩装置的保养应符合下列基本要求：

### 1 模数式伸缩装置

- 1) 对型钢、支撑架螺栓、螺母等钢构件进行除锈、防腐涂装。
- 2) 紧固松动的支撑架螺栓、螺母。
- 3) 修复槽区混凝土的轻微损坏、裂痕、间隙等病害。
- 4) 及时将脱落的密封胶条进行复位。
- 5) 经常清扫、擦拭支承梁不锈钢表面，定期涂上硅脂。

### 2 梳齿板式伸缩装置

- 1) 对梳齿板、齿板螺栓、螺母等钢构件进行除锈、防腐涂装。
- 2) 紧固松动的齿板螺栓和螺母。
- 3) 修复槽区混凝土的轻微损坏、裂痕、间隙等病害。
- 4) 清除积水和排水口处的杂物。

**8.3.6** 公路缆索结构体系桥梁伸缩装置出现下列情况时，应及时开展维修或局部更换等修复养护：

- 1 超过预防养护处置范围的病害或损伤。
- 2 伸缩装置局部构件或单元明显损坏、缺失、失去部分使用功能。
- 3 伸缩装置槽区混凝土较大范围破损、开裂。

**8.3.7** 模数式伸缩装置的修复养护应符合下列基本要求：

- 1 对于有检修条件的模数伸缩装置，中梁钢与支承横梁连接吊架螺栓螺母松动应逐个拧紧，压紧支座和承压支座损坏的应逐个更换。
- 2 位移控制系统剪切弹簧吊架固定螺栓松动的应逐个拧紧，压缩弹簧和剪切弹簧损坏的应逐个更换。
- 3 中梁钢断裂未断开的，应及时修复补焊。
- 4 伸缩装置防腐涂装脱落，可每 2 年重新涂装一次。

#### 条文说明

1 承压支座和压紧支座更换，承压支座和压紧支座置于支承横梁的上下部位，采用若干吊架与中梁钢连结在一起，更换时应逐个松开固定支承横梁的吊架螺栓，逐个取出损坏的承压支座和压紧支座，更换新的支座，再逐个拧紧固定螺栓。若固定吊架断裂，连同吊架一起更换。更换后的承压支座和压紧支座不应有

超压变形现象。

2 位移控制弹簧更换，位移控制弹簧是采用吊架直接与中梁钢螺栓连结，更换时应逐个松开固定位移控制弹簧的吊架螺栓，逐个取出损坏弹簧，更换新的弹簧，再拧紧吊架固定螺栓。更换后的位移弹簧不应有外鼓和初始剪切变形现象。

3 异型钢断裂未断开的，应通过补焊，恢复原来状态。对断开可修复的，应将断开的异型钢重新就位对接焊接，恢复正常工作。构造连结部位脱焊的应补焊，使其恢复正常状态。

### 8.3.8 梳齿板式伸缩装置的修复养护应符合下列基本要求：

1 对损坏的梳齿板应逐个松开固定螺帽，取出损坏板件，更换为新的梳齿板。固定螺帽损坏或脱落的应更换和补全拧紧。

2 对损坏的支承转轴和转动控制座按单元进行更换，更换后支承转轴和转动控制座的转动应灵活。

3 损坏的导水装置应进行拆除更换，更换后不应有积水现象。

4 梳齿板式伸缩装置的零部件更换原则上应由生产厂家专业人员更换，严禁非专业人员更换。

### 8.3.9 公路缆索结构体系桥梁伸缩装置的整体更换应符合下列基本要求：

1 伸缩装置达到国家、行业标准或产品说明书中规定的使用寿命时。

2 伸缩装置整体或局部构件出现严重损坏，装置不能正常变形及转动，经专项检测和评估后认为需要整体更换时。

8.3.10 更换伸缩装置时宜选择梳齿板式、模数式等技术先进合理伸缩装置，伸缩量应满足桥跨结构变形需要，更换前应进行缩缝定位检算。

#### 条文说明

8.3.10 为了使更换的伸缩缝能够满足桥梁设计和运营的需要，在更换前需要对伸缩缝进行检算，内容包括温度变化引起的伸缩量、混凝土徐变及干燥引起的收缩量、荷载变化引起梁头转角位移量以及伸缩装置的安装定位。

8.3.11 更换伸缩装置时，应实施交通管制。伸缩缝安装应牢固、平整、不漏水。

在锚固区混凝土强度未达到设计要求时，不得开放交通。

#### 条文说明

8.3.11 对于出现破损的伸缩缝，要安装新伸缩缝装置，为了不间断交通，确保施工过程中车辆顺利通行，施工中应该采用分段施工模式，并加强交通管制，在施工前应对交通进行限制，对施工现场进行调查。明确破损伸缩缝的位置和严重程度，结合现场具体情况，合理确定伸缩缝断开位置，并预留好焊接接头，为施工顺利进行奠定基础。

公路桥梁伸缩缝更换的过程中，大部分是在通车状态下进行的，需要安全布置周围的交通，先安排一边施工，另外一边通车，待一边施工完成后，再交换位置。控制交通的过程中，需在最明显的位置，放置警告牌，统一施工人员的着装，安排专业的操作人员进行技术操作，当伸缩缝施工完成后，在养生阶段，同样需要控制接通，尽量缩短伸缩缝更换的施工工期，既要保障伸缩缝的正常施工，又要确保交通安全。

## 8.4 排水设施

8.4.1 公路缆索结构体系桥梁的桥面泄水孔、排水沟、PVC 排水管等排水设施的预防养护主要为排水设施的清理和冲淤。

#### 条文说明

8.4.1 泄水管、PVC 排水管的首要功能是保证雨、污水及时排出，同时减少雨、污水侵蚀桥梁结构。因此，对排水设施的预防养护工作应以疏通和清淤为主要目标。另外，通过清淤、疏通等措施，也可改善排水设施所处环境，如泄水管处的长期积水等，可延长排水设施的使用寿命，属于主动防护性质的工作。

8.4.2 排水设施的预防养护时机应符合以下基本规定：

- 1 桥面泄水孔、排水沟每季度至少 1 次；PVC 泄水管每年至少 1 次。
- 2 雨季应适当提高排水系统的清理和冲淤频率。
- 3 处于水环境敏感路段、扬尘或污染严重区域的桥梁应适当提高排水系统的清理和冲淤频率。

**8.4.3** 排水设施的清洗和冲淤宜采用冲洗车配合人工清理，养护过程注意节约用水和环境保护。养护后的排水系统应无淤积堵塞，排水畅通。

#### 条文说明

8.4.3 在进行排水设施清理时，养护人员要配备淤泥及垃圾收集设备，妥善收集排水沟、泄水孔中的淤泥；清理后桥面的积水应及时清除。利用机械进行清理时，要依据国家相关标准规定，控制用水量，已到达节约水资源的目的，符合绿色养护的要求。

**8.4.4** 排水设施的构件应保持完好，如有损坏、变形、缺失应及时进行修复养护。桥面泄水孔、PVC 排水管等设施的修复养护应符合以下基本要求：

- 1 泄水口盖板、排水沟栅板出现破损、断裂时应及时进行更换。
- 2 泄水管的钢结构锈蚀应及时进行防腐、除锈，锈蚀严重时应进行更换。
- 3 PVC 排水管出现断裂、扭曲变形、堵塞无法清除等情况时，应进行更换。
- 4 进行排水设施养护作业时，应采取防漏措施，防止垃圾和砵落入进水口和排水管内。

#### 条文说明

2 在采用钢箱梁为主梁的斜拉桥和悬索桥中，桥面泄水管一般设置在风嘴位置，采用焊接方式从风嘴处穿过。若泄水管发生锈蚀，容易导致桥面积水渗入钢箱梁内。因此，对钢制泄水管的腐蚀问题应及时处置。

3 在维修、更换桥梁 PVC 排水管时，排水管安装长度、坡度和弯头安装位置要以原有设计要求为准；管道连接点和接口应整洁、牢固、密封，支承件和管卡的安装应牢固。

**8.4.5** 除常规排水设施外，对于公路缆索结构体系桥梁，应关注以下结构及构造的防排水情况，若检查中发现存在积水情况，应及时进行清除并采取防护措施：

- 1 缆索系统的锚头内部；
- 2 斜拉索、吊索在桥面的交接位置或连接构造处；
- 3 钢结构连接构造处（节点板、凹槽、接缝）；

- 4 塔梁连接构造，索梁锚固构件；
- 5 锚碇内部。

#### 条文说明

8.4.5 在缆索体系桥梁运营养护过程中发现，桥梁部位结构及构造位置处容易形成积水，这些位置往往隐蔽、不易发现，长时间积水容易引起钢结构及构件的锈蚀，是养护工作中的盲区。因此，在检查和养护中，应对这些部位加强关注，及时清除积水，对于经常积水的部位应考虑设置防排水措施。

## 8.5 支座

### 8.5.1 公路缆索结构体系桥梁支座的养护与维修应符合下列基本要求：

- 1 支座各部分应保持完整、清洁、有效，防止积水、积雪和结冰。
- 2 支座的锚栓应连接紧固，支承垫板应平整紧密。
- 3 支座垫石应保持完好，无明显开裂、破损等病害。

#### 条文说明

8.5.1 支座是桥梁的机动部分，在活载、温度变化或其他因素的作用下，要发生转动、水平移动，是养护工作的重要部位。除支座本身结构应加强养护外，设置的支座垫石也应视作支座的一部分，并保证良好的技术状况。

### 8.5.2 支座的预防养护内容包括支座清洁和保养。

#### 条文说明

8.5.2 支座位于主梁下方，桥墩或盖梁的上方，由于设置位置的特殊性，在养护管理过程中往往疏于对支座的养护，特别是预防养护。除了通过支座保养提高其使用寿命外，对支座的清洁也能发挥重要的作用。考虑到国内运营的缆索体系桥梁，设置支座防尘罩的实例并不多见，因此在规程编写过程中，一方面对防尘罩的设置加以规定，另一方面对支座的清洁也提出相应的要求。

### 8.5.3 支座的预防养护时机应符合以下基本要求：

- 1 支座清洁的频率每年不应少于 1 次。

- 2 支座保养包括涂油和除锈，并符合以下基本要求：
  - 1) 需要通过油脂保持转动的支座，每年应涂覆 1 次润滑油。
  - 2) 支座除锈的频率每年不应少于 1 次。

#### 条文说明

2 2)除铰轴和滚动面外,其余部分均应涂漆防锈。进行清洁和养护工作时,要注意防止橡胶支座与油脂接触。

**8.5.4** 支座清洁可采用人工清理的方法,对支座表面及周围的灰尘、垃圾、杂物等进行清扫。对容易遭受污染、积灰的支座,可增设防尘罩。

**8.5.5** 支座的保养应符合下列基本要求:

- 1 支座进行涂油之前,应先清洁滚动面或滑动面。
- 2 涂覆油脂时,应防止支座的橡胶部分与油脂接触。
- 3 钢支座及支座钢构件均应除锈防腐,但不锈钢滑动面和铰轴不得油漆。
- 4 支座螺栓、螺母进行防腐时,应先进行松动并清洁上油。

#### 条文说明

2 油脂属于有机类溶剂,对支座的橡胶部分会造成一定腐蚀,因此进行涂油时要避免与支座橡胶接触。

- 4 松动螺母的目的是以免螺母锈死。

**8.5.6** 公路缆索结构体系桥梁支座出现下列情况时,应及时开展修复养护:

- 1 超过预防养护处置范围的病害或损伤。
- 2 支座局部构件或单元明显损坏、缺失,对支座使用性能有部分影响。
- 3 支座垫石混凝土较大范围破损、开裂。

**8.5.7** 支座修复养护的时机应符合下列基本要求:

1 支座的修复养护宜结合定期检查工作进行。每年定期检查结束后,宜对支座进行一次全面的修复养护。

2 发生地震、船撞等突发事件后,应对支座进行检查,如发现损伤应及时进行修复养护。

### 8.5.8 球型钢支座的修复养护应符合下列基本要求：

- 1 及时更换剪断的支座锚栓，支座橡胶密封圈龟裂、老化时应进行修复。
- 2 定期松动地脚螺栓，进行清洗上油后紧固，避免螺母锈死。
- 3 当支座高度变化超过 3mm 或钢部件磨损凹陷大于 1mm 时，应拆除橡胶密封圈并检查滑板及钢部件的磨损状况，磨损严重时应进行修复。
- 4 当支座位移超限或支座相对位移不均匀时，应分析原因并进行处置。

#### 条文说明

1 对于下锚栓，可在桥梁支座底板旁斜向凿去部分混凝土，取出旧锚栓，更换新锚栓；如锚栓被剪断而埋置于垫石内的栓杆仍牢固，也可采用清除剪断的锚栓上部，电焊接上一段新锚栓的方法处理。

对于上锚栓，当镶角板与梁体为整体时，可将桥梁支座上摆与混凝土梁底镶角板焊起来；或采用夹板加固法。

3 钢部件磨损凹陷的规定主要结合《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21) 中钢支座部件磨损、裂缝的评定标度确定。当钢部件磨损凹陷大于 1mm 时，对应标度为 3 和 4，应考虑进行修复养护。

4 桥梁养护人员应在养护过程中对支座进行校核并定点检查支座高度变化，以便分析支座内聚四氟乙烯板的磨耗情况。

### 8.5.9 盆式橡胶支座的修复养护应符合下列基本要求：

- 1 对剪断的支座锚栓及时进行修复和更换。
- 2 支座滑板有滑出现象时，应拆除橡胶密封圈并进行复位。
- 3 当支座高度变化超过 3mm 或滑板外露高度小于 0.5mm 时，应进一步检查支座滑板的状况，磨损严重时应进行更换。
- 4 当支座位移超限或支座相对位移不均匀时，应分析原因并进行处置。

#### 条文说明

3 滑板外露高度的规定主要结合《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21) 中聚四氟乙烯滑板磨损的评定标度确定。当滑板外露高度小于 0.5mm 时，对应标度为 3 和 4，应考虑进行修复养护。

**8.5.10** 其他类型支座的修复养护应符合下列基本要求:

- 1 抗风支座发生脱空、变形、老化开裂时,应及时修复。
- 2 桥梁在遭受地震、船撞突发事件后,应检查减隔震支座的状况;对损坏的组件进行修复,丧失减隔震功能的支座应进行更换。
- 3 拉压支座的拉力螺栓或锚固构造应完好,一旦出现断裂或脱开应立即设置临时受拉构造,分析原因并进行支座更换。

**8.5.11** 公路缆索结构体系桥梁支座的更换应符合下列基本要求:

- 1 支座达到国家、行业标准或产品使用说明书中规定的使用寿命时。
- 2 支座整体或局部组件出现严重损坏;位移、转角严重超限或无法滑动、转动,经专项检测和评估后认为需要更换时。

**条文说明**

1 根据支座设计规定,支座制造厂家一般须提供支座能安全运营 10 年的保证,在保质期内,焊缝开裂、螺栓断裂、钢构件或焊缝中的疲劳或其他形式的裂缝、滑动面的磨损或破坏、防锈层剥落等均属支座的质量问题,供应商负责修补或更换。

2 支座整体或局部组件严重损坏的判断需要根据支座技术状况检查结果确定,根据支座种类的不同,进行更换的情况也有所区别,具体可依据《公路桥涵养护规范》、《公路桥梁技术状况评定标准》等规范中的相关规定。

**8.5.12** 支座更换一般采用梁体顶升法,并符合下列基本要求:

- 1 支座更换宜采用同步顶升的方法,横桥向顶升位移应保持同步;当条件限制、需要局部顶升时,应考虑顶升高度对梁体的不利影响。
- 2 为千斤顶提供反力的桥墩、桥台、盖梁、横梁等构件应无显著缺陷,承载能力经验算后满足支座顶升的要求。
- 3 墩顶顶升空间和支承面强度不满足顶升要求时,应另设顶升支架,并按相关规范对支架结构进行承载力和稳定性验算。
- 4 支座顶升过程中应保证人员、设备和桥梁结构的安全;当不中断交通进行顶升作业时,还应保证桥面行车的安全。
- 5 缆索结构体系桥梁在进行支座顶升更换时,应对桥梁线形、斜拉索或吊

索索力的变化进行验算和跟踪监测，确保其变化处于合理安全范围内。

#### 条文说明

1 采用同步顶升更换支座时，需要验算顶升要求的位移量和相邻墩台处顶升可能产生的位移差对桥体结构的不利影响，优化顶升高度。局部顶升时，要对不同结构形式、不同跨径的桥梁通过计算确定各顶升点的局部顶升高度允许值。

**8.5.13** 支座更换时，同一桥墩上对称布置的支座宜采用相同型号。由于受压承载力不足引起的支座破坏，在进行更换前宜对支座实际受力进行测试。

#### 条文说明

8.5.13 支座受压承载力不足时，在进行支座更滑前利用千斤顶和压力环测试支座位置处的实际压力，并以此作为依据选择适合的支座；否则，直接原有型号支座可能仍会导致支座的损坏。

## 8.6 防撞设施

**8.6.1** 公路桥梁防船撞设施的养护与维修应符合以下要求：

- 1 公路桥梁防船撞设施各部分应保持完整、清洁。
- 2 保证防船撞设施正常工作，防止浮动式防船撞设施卡死而失去作用。

**8.6.2** 公路桥梁防船撞设施的预防性养护工作内容包括结构清洁和保养。

**8.6.3** 公路桥梁防船撞设施的预防性养护时机应符合以下基本要求：

- 1 防船撞设施的清洁每年不少于 1 次。
- 2 防船撞设施的保养包括涂漆、润滑与螺栓紧固，并符合以下基本要求：
  - 1) 钢制防撞设施的涂漆与连接螺栓紧固，每年 1 次。
  - 2) 浮式防撞设施沿桥墩表面滑动组件的润滑，每年不少于 1 次。

#### 条文说明

- 1 浮式防船撞设施应至少有 1 次安排在汛期或主要的水位变动期临近前。
- 2 预防性养护的涂漆时机应综合考虑设计规定、水的腐蚀性和冲刷及涂层的耐久性。防护设计有规定时应从其规定。

**8.6.4** 防船撞设施的清洁宜采用人工及机械配合的方式，对设施表面附着物及周围的垃圾、杂物进行清理。

**8.6.5** 公路桥梁防船撞设施出现下列情况时，应及时进行修复养护：

- 1 钢质材料防撞设施防护层开裂、剥落、生锈。
- 2 复合材料防撞设施的外板是否出现开裂或剥离、凹坑。
- 3 混凝土材料防撞设施表面开裂、剥落、掉角。
- 4 橡胶防撞护舷出现开裂、破损等。
- 5 防撞设施老化或出现船撞损坏。

#### 条文说明

8.6.5 进行防撞设施更换的原因主要为老化和损坏，老化如橡胶护舷老化变硬失去了弹性变形缓冲耗能能力，损坏如船撞导致防撞设施的损坏，如钢套筒防撞设施在小型船舶碰撞后进行局部维修，大型船舶碰撞后进行拆卸修复或更换部分节段等。

**8.6.6** 公路桥梁防撞能力的提升应满足下列要求：

#### 条文说明

8.6.6 防撞能力的提升包括主动防撞能力提升及增设被动防撞设施。防撞能力的提升应重点对桥墩位置与几何构造、桥墩基础、水位变化、水流流速、流向及其变化、通航船舶情况、现有防撞设施等与桥梁防撞能力评估相关的情况进行调查与查证，确定桥梁的防撞能力的合理需求。

**8.6.7** 当桥下通行条件变化，桥梁需要提升防撞能力时，应按“既保护桥又保护船”的原则进行在役桥梁防撞能力提升。

**8.6.8** 提升桥梁防撞能力可综合采用主动和被动防撞技术。

#### 条文说明

8.6.8 一般情况下应首先采用增强结构自身抗撞能力的主动防撞方案，包括加大墩、台截面，增强基础，增设防落梁设施等。对具有高被撞击风险的桥墩，

其迎航道面不宜为平面，其外形应对船头撞击方向具有诱导作用，避免船舶的正面撞击。构造方面，桥墩平面应斜面迎船或经改造后斜面迎船，对于分离式双墩宜连接成整体，对于侧面有凹进的设计，应予以填平补正，如哑铃形墩，双圆柱、双方柱墩等。

若主动防撞方案不可行或不合理，再考虑附加防撞设施等被动防撞技术。常用桥梁附加防船撞设施与适用范围参见表 8.6.8。

表 8.6.8 桥梁防船撞设施与适用范围

防船撞设施类别		适用范围
附着式	护舷类（橡胶、木材、钢等）防撞系统	适用于各种缓冲和均布船撞力的场合并与其他方式组合使用，单独使用时通航船舶吨位较小
	浮式钢套筒防撞系统	通航船舶吨位较大
	组合/复合材料防撞系统	通航船舶吨位较大，避免船体破损
独立式	防撞群桩系统	水深<15m，通航船舶吨位中等
	绳式防撞系统	通航船舶吨位中等
	防撞墩系统	水深<15m，桥位水流冲刷不太强，通航船舶吨位较大
整体式	人工岛	河床基础好，水深较浅，通航船舶吨位较大，航道宽度有较大富余

组合式耗能防船撞系统成品应符合相关交通行业产品规范的要求或经过评估论证其有效性后方可使用。附加防撞设施应有利于改变船舶航向或车辆方向，大幅度消耗撞击动能，使桥梁主体承受的车或船撞力下降到结构可以承担的水平。当附着式附加防撞设施仍然不能满足要求时，应考虑设置与墩台分离的独立式防船撞击防护结构或防车撞隔离构造。防船撞设施选用时除考虑其有效性外，尚应考虑其建设与维护费用、耐久性、可检修及对航道的侵占等综合因素。

桥墩的主动防撞能力改造及各类附加防船撞设施可根据实际情况单独或组合使用。

## 8.7 塔梁阻尼器

**8.7.1** 公路缆索结构体系桥梁阻尼器的养护与维修应符合以下要求：

- 1 公路桥梁阻尼器各部件应保持完整、清洁。
- 2 阻尼器与结构应可靠连接，防止连接螺栓松动。
- 3 保证阻尼器应能够正常工作，避免因结构过大变形等各种原因导致阻尼器卡死。

### 条文说明

8.7.1 粘滞阻尼器一般由缸筒、活塞、阻尼通道、阻尼介质（粘滞流体）和导杆等部分组成。当桥梁结构因振动而发生相对变形时，安装在结构中阻尼器的活塞与缸筒之间发生相对运动，由于活塞前后的压力差使粘滞流体从阻尼通道中通过，从而产生阻尼力耗散外界输入结构的振动能量，达到减轻结构振动响应的目的。阻尼器是桥梁抵抗风荷载和地震荷载的主要耗能装置，要保证在汽车制动荷载、温度作用、风荷载和地震荷载作用下，阻尼器两端能够自由伸缩，防止阻尼器卡死而失去作用。

**8.7.2** 公路缆索结构体系桥梁阻尼器的预防性养护工作内容包括清洁和保养。

**8.7.3** 公路缆索结构体系桥梁阻尼器的预防性养护时机应符合以下基本要求：

- 1 阻尼器各部件应保持完整、清洁，可根据实际情况，每年至少清洁一次。
- 2 阻尼器保养包括涂油、除锈和重新涂装，并符合以下基本要求：
  - 1) 对各连接件销轴处及活塞镀铬外表面每年应涂抹适量的黄油，以保证阻尼器正常工作和防止锈蚀等不良现象的发生。
  - 2) 对连接件涂层脱落部分进行除锈重新涂装处理，频率每年不少于 1 次。

### 条文说明

8.7.3 定期清除阻尼器上方的油污、垃圾，防止积水、积雪，保证阻尼器正常工作。阻尼器防尘罩应维护完好，防止尘埃落入或雨雪渗入阻尼器内。

**8.7.4** 阻尼器清洁可采用人工清理的方法，对阻尼器及连接件表面的灰尘、垃圾等进行清扫。对容易遭受污染、积灰的阻尼器，可增设防尘罩。

#### 条文说明

8.7.4 阻尼器活塞部分外露,其外表面清洁十分重要。活塞表面被污垢附着,可能造成阻尼器密封件破坏,影响阻尼器使用寿命。阻尼器清洁可结合定期检查进行,及时清扫阻尼器表面的灰尘和垃圾等附着物。对于容易遭受垃圾和灰尘污染的阻尼器,需要增设防尘罩,以隔离污染物,并定期对防尘罩进行清洁。

**8.7.5** 公路缆索结构体系桥梁阻尼器出现以下情况时,应及时开展修复养护:

- 1 阻尼器和连接件涂层起皮、剥落。
- 2 连接锚栓缺失、锈蚀、断裂或松动,连接件变形或局部开裂。
- 3 连接部位混凝土破损、开裂。

**8.7.6** 公路缆索结构体系桥梁阻尼器修复养护的时机应符合下列基本要求:

1 阻尼器的修复养护宜结合定期检查工作。每年定期检查结束后,宜对支阻尼器进行一次全面的修复养护。

2 发生地震、台风等突发事件后,应对阻尼器进行检查,如发现阻尼器及其连接件损伤应及时进行修复养护。

#### 条文说明

8.7.6 安装有阻尼器的缆索结构体系桥梁,在遭遇地震、台风等突发自然灾害后,可能会损伤阻尼器。为了保证阻尼器在遭遇突发状况后能够正常工作,应在事后及时对阻尼器及其连接件进行检查,检查阻尼器外观有无变形、工作行程是否满足设计要求、连接件是否开裂、锚固螺栓是否松动和断裂等。如出现上述病害,则应立即对阻尼器进行修复。如现场修复不能恢复阻尼器正常工作状态,则应对阻尼器进行更换。

**8.7.7** 公路缆索结构体系桥梁阻尼器的修复养护应符合下列基本要求:

- 1 及时更换剪断的锚栓,紧固松动的锚栓。
- 2 及时修复涂层缺陷,保证阻尼器及其连接件使用寿命。
- 3 及时修复连接件部位的混凝土缺陷,保证连接的安全可靠。

#### 条文说明

8.7.7 阻尼器在使用过程中,一直处于伸缩状态,长期间运动可能会造成阻

尼器连接件锚固螺栓松动，严重可能造成锚固螺栓疲劳断裂或脱落。应根据定期检测结果，及时紧固松动的螺栓、更换缺陷螺栓。

#### **8.7.8 公路缆索结构体系桥梁阻尼器更换和增设应符合下列基本要求：**

1 当结构抗震性能或者结构振动幅度不满足现行规范要求时，需增设阻尼器，阻尼器参数应进行详细的计算分析和论证。

2 阻尼器发生严重漏油、活塞镀层脱落、锈蚀等情况时，应及时联系制造单位，制定维修方案。阻尼器损坏或无法修复时应进行更换，阻尼器性能应和原设计一致。

3 新增设的阻尼器与结构连接部位应进行详细计算分析，确保结构强度、刚度能够满足最大阻尼力要求。

#### **条文说明**

8.7.8 当桥梁场地地震设防烈度等级提高造成桥梁抗震性能不能满足规范要求，或者桥址处风环境改变造成桥梁振动幅值过大，需要对结构减振措施进行专项论证，确定增设阻尼器数量和参数。增设的阻尼器易安装在塔梁、墩梁结合处，并验算连接部位的局部强度和刚度，避免连接处产生破坏。

## **8.8 其他设施**

**8.8.1 公路缆索结构体系桥梁检修通道、升降平台、供配电设施、防雷设施等的养护与维修应符合以下要求：**

- 1 检修通道、升降平台、供配电设施、防雷设施应保持完整、清洁。
- 2 检修通道、升降平台应能正常运行，满足桥梁检查和养护需求。
- 3 供配电设施、防雷设施应能正常工作。

#### **条文说明**

8.8.1 桥梁检修通道和升降平台为桥梁检查和养护维修提供平台，应定期对其进行巡查和保养，使各个部件完整清洁，确保能够安全运行。部分大型桥梁因照明、监测等需求配备了供电设施，应定期对供电设施进行维护保养，保证供电设施的正常工作。为避免缆索体系桥梁索塔遭遇雷击破坏，通常在索塔上设置了防雷设施，应在结构定期检测中对防雷设置的完整性和接地电阻进行检测，保证

防雷设施的安全有效。

**8.8.2** 公路缆索结构体系桥梁检修通道、升降平台、供配电设施、防雷设施的预防性养护工作内容包括清洁和保养。

**8.8.3** 公路缆索结构体系桥梁检修通道、升降平台、供配电设施、防雷设施预防养护时机应符合以下基本要求：

1 检修通道、升降平台、供配电设施和防雷设施清洁的频率每年不应少于1次。

2 检修通道、升降平台保养包括涂油、除锈和重新涂装，并符合以下基本要求：

1) 检修通道、升降平台的滑动、转动部位每年应涂覆1次润滑油。

2) 结构定期检测后，根据检测结果对存在表面缺陷的检修通道和升降平台进行除锈和重新涂装。

3 供配电系统的养护应依照供配电系统相关规范执行。

#### 条文说明

8.8.3 检修通道主要包括主缆检修道、塔内爬梯、塔内电梯、箱梁检修车、墩顶检修道、锚旋内外检修通道等。每年至少清扫一次检修通道，清除检修道的油污、垃圾，防止积水、积雪，保证检修道始终处于良好状态。

**8.8.4** 公路缆索结构体系桥梁检修通道、升降平台、供配电设施、防雷设施养护应符合以下基本要求：

1 检修通道、升降平台进行局部涂装时应先除锈，并清洁表面，按照设计要求进行涂装作业。

2 紧固松动的供配电设施电缆接头，如发现接头烧伤或过热痕迹，应进行整修处理并重新接好。

3 及时更换被腐蚀的防雷设施接地线，更换后接地电阻应满足规范的要求。

#### 条文说明

8.8.4 部分桥梁检修通道、升降平台处于主体结构外侧，可能遭遇酸雨、鸟粪等腐蚀性污物附着，会引起结构局部腐蚀，需要及时根据检测结果对局部腐蚀

进行除锈重新涂装。定期对防雷设施接地电阻进行检测,及时更换锈蚀的接地线,使防雷设施处于良好工作状态。

**8.8.5** 公路缆索结构体系桥梁检修通道、升降平台、供配电设施修复性养护工作内容包括缺陷紧固件更换、供电系统和避雷装置维护。

1 检修通道、升降平台钢构件连接部位出现涂层大面积脱落、锈蚀,连接螺栓锈蚀、松动应立即进行修复养护。

2 供配电设施出现异常时应立即由专业设施人员进行维护。

**8.8.6** 公路缆索结构体系桥梁检修通道、升降平台、供配电设施、防雷设施修复养护的时机应符合下列基本要求:

1 检修通道、升降平台、防雷设施的修复养护宜结合定期检查工作进行。每年定期检查结束后,宜对检修通道、升降平台、进行一次全面的修复养护。

2 发生地震、船撞、台风等突发事件后,应对检修通道、升降平台进行检查,如发现损伤应及时进行修复养护。

3 发生雷电等突发事件后,应对供配电设施、防雷设施进行检查,如发现损伤应及时进行修复养护。

**8.8.7** 公路缆索结构体系桥梁检修道增设、供电系统和避雷装置改造应符合下列基本要求:

1 检修通道出现大面积损坏、老化,通过现场养护无法恢复原使用功能时,应对检修通道进行专项改造。

2 检修通道不能够满足检查和养护需求时,宜在相关结构处增设检修通道。

3 供配电设施老化无法正常使用或者不能满足现状、将来的检查维护需求时,应对供配电设施进行改造或增设。

4 防雷设施要求不满足 GB50057 要求时,应改造或增设防雷设施。

## 9 养护管理

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 根据“事权一致、责任清晰”的原则确定公路缆索结构体系桥梁的管理、养护单位和监管单位，应按照相关技术标准、规范、规程要求加强公路缆索结构体系桥梁及附属设施的养护。桥梁跨越航道的，相关责任单位或部门应当按照相关法律法规规定，加强桥区助航、防撞、水域安全监控等设施的养护。

**9.1.2** 必须明确负责公路缆索结构体系桥梁养护管理工作的分管行政领导和具体技术人员，科学配置公路缆索结构体系桥梁养护专业技术人员，构建人才培养机制，建立稳定、专业的养护工程师团队，保证公路缆索结构体系桥梁养护管理的各项职责得以贯彻落实。

**9.1.3** 公路缆索结构体系桥梁应按单座桥梁和养护作业类别安排专项养护管理资金，按相关规定准确把握桥梁技术状况并及时采取相关措施，防止桥梁技术状况加速恶化或桥梁安全事故的发生。

**9.1.4** 根据检查结果，公路缆索结构体系桥梁存在病害和安全隐患的，桥梁管理（养护）单位应委托专业机构提出维修加固方案或养护对策，通过相关审查后按规定程序组织实施。

**9.1.5** 应当逐步提升公路缆索结构体系桥梁的机械化养护和快速维修能力，鼓励采用快速、便捷、耐久的技术，积极实施预防养护。

### 9.2 养护作业安全

**9.2.1** 养护作业人员必须配戴安全帽、救生衣和保险带。作业现场应设置明显标志和采取有效的安全措施，以保障桥检车和作业人员的安全。

**9.2.2** 桥面养护作业中，当确有必要限制交通时，应尽可能采取“分区作业、分

区限制交通”方式。

**9.2.3** 雾、大雨、大风（6级以上）冰雪天时，应暂停检查作业。

**9.2.4** 日常巡查、经常检查通常不封闭交通，公路缆索结构体系桥梁经常检查建议结合桥梁实际情况适当限制交通（封闭应急车道等）。

**9.2.5** 在绝大多数定期检查项目的检查期间，不需要限制或封闭交通。对于必须要限制或封闭交通的检查项目，应尽可能选择深夜车辆较少的时段短时间封闭或限制交通。

**9.2.6** 特殊检查应根据需要确定是否限制或封闭交通。

**9.2.7** 养护与维修过程中，应根据需要确定是否限制或封闭交通。

**9.2.8** 检查、养护和维修过程中，当需要限制或封闭交通时，应制订完善的方案，并根据国家或地方相关规定要求提前向社会公开公布。

**9.2.9** 当采取限制交通或封闭交通措施时，应根据交通管理的相关要求，在适当的位置安放醒目的标志。

**9.2.10** 养护作业过程中占用行车道时，应根据相关规定设立警告区、上游过渡区、纵向缓冲区、工作区、下游过渡区和终止区六个部分。交通控制区的布置应符合“标志鲜明、规范统一、安全有效”的原则。

#### 条文说明

9.2.2~9.2.10 对于桥面养护作业，尽可能采取“分区进行、分区限制交通”的形式，减少对交通的干扰。对于检查和养护过程中的交通控制，分别规定了交通控制的基本原则：经常检查一般不控制交通；初始检查和定期检查大多数情况下不需要限制交通，当必须限制交通时尽可能选择交通比较少的时段；特殊检查和养护维修作业可根据需要限制交通。

**9.2.11** 公路缆索结构体系桥梁结构密闭空间养护作业过程中应遵循以下要求：

1 进入箱梁、索塔及锚碇内部养护作业时应办理相关手续并应向管理部门通报，监控部门记录备案后方可开灯进入。离开时应再向监控部门通报，确认箱梁、索塔及锚碇内部无其它作业人员后方可关闭进口人孔。

2 对于箱梁、索塔及锚碇内部养护作业，每次作业必须有 3 人以上同行，1 人在出口处守候，以便遇紧急情况时及时救援。

3 进行箱梁、索塔及锚碇内部养护作业时应携带手电筒或其他光源，携带手机、对讲机等通信联络设备。养护人员作业时必须配戴安全帽。

4 当结构内部温度超过 40℃、湿度超过 65%时，不宜进入箱梁、索塔及锚碇内部养护作业。

#### 条文说明

9.2.11 由于缆索体系结构桥梁存在箱梁、索塔、锚碇等密闭环境，因此针对该特点规定了在封闭区域进行养护作业的要求和相关注意事项。

9.2.12 对于检修通道的爬梯，必须通过养护手段，确保爬梯设施安全；人员通行时，应看清楚、抓牢踩稳、缓慢通过。

9.2.13 桥梁拉索、悬索及桥下部结构养护作业影响范围内，应将对应桥面封闭为工作区，并布置养护作业控制区；对影响净高或净宽的养护作业，应布设限高或限宽标志。

9.2.14 桥梁养护作业影响桥下通航净空时，应按有关规定布设标志和安全设施。

9.2.15 索塔、桥墩、桥台养护作业时，应在迎车方向或上、下游航道两端设置安全防护设施，水上作业人员应穿救生衣，夜间须设置警示信号。必要时应与有关单位取得联系并协同配合。

9.2.16 对于养护作业所用的检修车、塔吊笼、电梯、桥检车等，必须通过养护手段，确保设施自身处于良好状态；使用前，应征得机电部门书面许可；使用中，应由经过培训并取得上岗证的操作人员操作，载重不得超过设备容许值，养护作业人员应满足高空作业规范要求，佩戴高空安全防护装置，并且防止坠物。超过

6级风禁止使用检修车、塔吊笼、桥检车等。

### 9.3 信息化管养

#### 9.3.1 养护管理系统的管理

1 公路缆索结构体系桥梁应建立适合自身特点的养护管理系统，用以辅助养护工程师开展检测、养护与维修工作。

2 养护管理系统应具有数据存储、查询、评估和辅助决策的功能。

3 管理（养护）单位应充分发挥养护管理系统的各项功能，并在使用过程中及时将养护管理系统的不足反馈给上级部门和相关科研院所，促进桥梁养护管理系统的进步。

4 管理（养护）单位应安排系统工程师负责养护管理系统的日常维护工作。

5 桥梁评估工作应紧密结合养护管理系统进行。

6 鼓励对既有缆索体系桥梁应用 BIM 技术。合理利用 BIM 技术的优势和特点，有效承接设计和施工期数据，搭建基于 BIM 高效协同的数字化管养平台。同时，加强全寿命周期养护管理数据应用，定期将日常养护和养护工程等数据录入 BIM 模型，完善 BIM 数据，充分利用 BIM 数据进行病害原因分析和养护方案设计、辅助养护决策等。

#### 条文说明

9.3.1 《公路桥梁养护管理工作制度》中规定，对于特别重要的特大桥，应建立符合自身特点的养护管理系统和健康监测系统。《交通运输部关于进一步加强公路桥梁养护管理的若干意见》中规定，特大、特殊结构和特别重要桥梁的养管单位，要利用现代信息技术，建立符合自身特点的养护管理系统和健康监测系统。《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》中规定，长大桥隧经营管理单位应针对长大桥隧自身特点和技术要求编制养护技术手册，建立养护管理信息系统，全面及时记录长大桥隧检查和养护管理等有关情况。公路缆索结构体系桥梁的管理比较复杂，因此本规范引入桥梁养护管理系统，来辅助养护人员对桥梁进行更为高效的管理。

桥梁养护管理系统是协助公路缆索结构体系桥梁管理部门对桥梁进行养护规范化管理和决策分析的有效工具，实现对桥梁资产各项数据信息的全面综合管

理和三维分析，辅助管理者科学、高效地进行决策分析。

### 9.3.2 健康监测系统的管理

1 公路缆索结构体系桥梁宜建立健康监测系统，并与桥梁养护管理系统紧密协作。

2 健康监测系统设计实施应遵循技术先进、稳定可靠、经济易用、便于维护、可更换可扩展原则，对主梁挠度、塔（拱）梁变形、主梁（拱）关键截面应变（疲劳）、斜拉索索力、塔梁关键裂缝等重要参数进行监测，结合风力、温湿度、车辆荷载等外部环境要素监测结果，综合分析、评估桥梁重要指标的状态，通过设置合理的阈值实现分级预警，并对桥梁养护管理提出科学的决策建议。

3 管理（养护）单位需有桥梁专业人员进行健康监测系统的日常管理与使用，应保证健康监测系统技术人员的工作相对稳定。

4 健康监测系统使用人员应服从养护工程师的领导，健康监测人员与常规检测养护人员之间应密切配合。

5 桥梁养护管理部门技术力量不足时，宜聘请有技术能力的专业单位或人员协助管理。

#### 条文说明

9.3.2 本条对健康监测系统的监测原则、监测项目、监测人员方面的要求进行基本的规定，便于管理（养护）单位对健康监测系统的设施进行统筹考虑。

《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》中规定，长大桥隧经营管理单位应逐步建立长大桥隧结构监测体系，设置专人或委托专业机构对桥隧的结构状态和各类外部荷载作用下的响应情况进行监测，及时掌握长大桥隧的结构运行状况。因此，公路缆索结构体系桥梁养护部门应定期组织对桥梁监测状况的分析，掌握桥梁结构状况，通过对桥梁病害成因、机理和变化规律进行动态分析研究，结合历史监测、检测数据分析，对桥梁安全与运营状况作出科学预测，为桥梁养护维修及加固改造决策提供科学依据。

健康监测系统技术负责人应了解桥梁结构理论、计算机应用技术、传感技术、数据传输技术等知识，能够独立解决系统运行过程中的常见故障，能够组织不同专业的人员来维持健康监测系统的正常运营，能够组织不同专业人员利用健康监

测系统来服务于桥梁的具体养护工作,具有3年以上桥梁健康监测方面的工作经验,并具有工程师或以上技术职称。

## 9.4 技术档案管理

**9.4.1** 桥梁管理(养护)单位应针对公路缆索结构体系桥梁自身特点和技术要求编制养护技术手册,建立养护管理信息系统,全面及时记录桥梁检查和养护管理等有关情况。

**9.4.2** 桥梁管理(养护)单位应当按照“一桥一档”建立公路缆索结构体系桥梁技术档案,内容包括桥梁基本情况、管理资料、养护巡查检查记录、技术状况、维修加固等以及其他归档制度要求的资料,做到内容完整、更新及时、方便使用。应建立符合自身特点的电子档案管理系统。

**9.4.3** 桥梁基本情况资料包括以下内容:

- 1 桥梁设计施工图及竣工图,结构计算分析报告;
- 2 施工过程中的试验检测及科研资料;
- 3 工程事故处理资料;
- 4 施工全过程的结构位移和变形测试资料;
- 5 观测或监测点(部件)资料;
- 6 交(竣)工验收资料。

**9.4.4** 桥梁管理资料包括管理(养护)单位、监管单位的基本资料,及其分管领导、养护技术负责人等的基本资料。

**9.4.5** 桥梁检查资料包括桥梁初始检查结果、经常检查结果、定期检查结果、养护对策建议、特殊检查建议报告、特殊检查结果、养护计划等技术资料,以及检查的时间、实施人员等基本资料。委托外部检测单位实施的检查,检查资料还应包括检测(试验)方案、检测报告、照片及多媒体材料、检测单位(试验方)的资质证书(复印件)、业绩证明(复印件)以及主要检测人员的资格证书(复印件)等。

#### **9.4.6 桥梁维修加固资料应包括以下内容：**

1 小修保养工程实施的技术资料和养护质量评定结果，以及工程实施的时间、组织、实施人员等。

2 桥梁的中修、大修加固工程的设计文件、竣工图纸、施工资料、监理资料、监控（监测）资料、质量事故处理报告、交（竣）工验收等技术资料，以及设计、施工、监理和监控（监测）等各方的资质证书（复印件）、业绩证明（复印件）及其主要检测人员的资格证书（复印件）等。

**9.4.7 桥梁特殊情况资料**主要包括地质灾害、气象灾害、超限运输等特殊事件的具体情况、损害程度、应急措施、处治方案和结果等。

**9.4.8 公路缆索结构体系桥梁管理（养护）单位**应根据省级交通主管部门的规定，及时向有关交通主管部门或公路管理机构提供桥梁技术档案。

#### **条文说明**

9.4.1~9.4.8 技术档案管理作为公路缆索结构体系桥梁养护管理的重要组成部分，是桥梁状况可追溯性的前提，应予以高度重视。公路缆索结构体系桥梁技术档案的管理和归档，除本规范规定执行外，还应遵守国家 and 行业其他档案管理相关标准、规范的规定。

公路缆索结构体系桥梁养护的依据采用“以标准规范为原则，以专用手册为主体”的总体思想。为了使公路缆索结构体系桥梁的管理（养护）单位能够编制出全面合理的养护手册，本节进行了一些指导性的规定，同时规定了养护手册的更新要求。

## 附录 A 桥梁基本情况卡片

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 桥梁结构信息

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)						
上部结构形式、材料	37	主梁 (加劲梁)						
	38	桥 (索) 塔						
	39	主缆						
	40	斜拉索 (含索力)	(根据索数设置列数)					
	41	吊杆 (含索力)	(根据吊杆数设置列数)					
桥面	42	桥面铺装						

系形式、材料	43	伸缩缝	(根据孔数设置列数)
	44	人行道、路缘	
	45	栏杆、护栏	(根据部位不同设置列数)
下部结构形式与材料	46	桥台	(根据桥台数设置列数)
	47	桥墩	(根据桥墩数设置列数)
	48	锥坡、护坡	
	49	翼墙、耳墙	
基础形式与材料	50	基础	
	51	锚碇	(根据锚碇数设置列数)
支座形式、	52	支座	
	53	桥梁防撞设施	

材料与附属设施	54	航标及排水系统	
	...	...	
	55	调治构造物	

E 桥梁档案资料

56	设计图纸	(全、不全或无)	57	设计文件	(全、不全或无)	58	竣工图纸	(全、不全或无)
59	施工文件(含施工缺陷处理)	(全、不全或无)	60	验收文件	(全、不全或无)	61	行政审批文件	(全、不全或无)
62	定期检查资料	(全、不全或无)	63	专项检查资料	(全、不全或无)	64	历次维修、加固资料	(全、不全或无)
65	档案份数	(分别图纸、计算书、报告等记录)	66	档案形式	(纸质、电子文件)	67	建档时间 年/月	

F 桥梁检测评定历史(根据需要设置行数)

68	69	70	71	72
评定时间	检测类别	桥梁技术状况评定结果/专项检查结论	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)**

73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
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)**

84	
----	--

I 其他

85	桥梁总体照片	(照片)	86	桥梁正面照片	(照片)		
87	桥梁工程师		88	填卡人	89	填卡日期	年 月 日

## 附录 B 规范性检查表格

### 附录 B-1 桥梁初始检查记录表

(公路管理机构名称)					
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被跨越道路 (通道)名称	
7被跨越道路 (通道)桩号		8桥梁全长(m)		9最大跨径(m)	
10上、下部结构 形式					
11桥梁分联及 跨径组合					
12桥梁施工方 法					
13 新建桥梁在 施工过程中的 返工、维修或加 固情况					
14 加固改造后 的桥梁加固改 造情况					
15在用但缺乏 档案资料的桥 梁维修加固情 况					
16设计单位名 称			17施工单位名称		
18管养单位名 称			19交工时间 (年 月 日)		

20初始检查(年月日)		21初始检查时的气候及环境温度	
22 桥面高程			
23 主缆线形			
24 墩、台身、锚碇的高程			
25 墩、台身、索塔倾斜度			
26 索塔水平变位、高程			
27 悬索桥锚碇水平位移			
28 悬索桥索夹滑移			
29 主要承重构件尺寸			
30 材质强度			
31 钢筋保护层厚度			
32 钢结构涂层厚度			
33 吊杆或斜拉索索力			
34 索夹螺杆轴力			
35 水中基础表观状况			
36伸缩缝状态及生产合格证			
37支座状态及生产合格证			

36 静载试验结果			
37 动载试验结果			
38 记录人		39 桥梁工程师	
40 桥梁初始检查机构			

注：表中空格不够填写时可另附页。

附录 B-2 桥梁巡查记录表

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	是否存在扭曲、异常振动、防护破损		
	悬索桥主缆	是否存在异常振动、防护破损、线形最低点处渗、流水		
	悬索桥吊索	是否存在异常振动、防护破损		
	主梁	是否存在线形异常、异常振动		
	索塔	是否存在大面积破损、明显倾斜与变形		
	桥面铺装	是否存在影响行车的明显病害或障碍物		
	伸缩缝	是否存在堵塞、破损，型钢或梳齿断裂，过车异响和明显跳车		
	桥面排水	是否存在桥面积水（下雨天重点检查）		
	护栏/栏杆	是否完好		
	交通标志、标线与轮廓标	是否清晰、完好		
	照明系统	是否完好（灯杆竖直，灯具无缺失）		
	桥梁健康监测软件子系统	是否工作正常，有无预警信息		
夜巡查	机电系统（供配电、除湿、健康监测硬件子系统）	是否工作运转正常		
	交通标志	是否夜晚发光正常		
	标线和轮廓标志	是否发光或反光正常		
	照明系统	是否发光正常		
	行车道	是否存在影响行车的障碍物		
	防眩设施	是否有效消除汽车前照灯夜间眩光		
	缆索、主梁、索塔	是否存在异常振动、大面积破损		

注：1.本表将悬索桥和斜拉桥的所有构件合并在一起，具体应用时具体的桥型构件组成对表格中项目的构成进行删减；2.照片另附页。

附录 B-3 桥梁经常检查记录表

管理单位：					
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主梁					
9桥（索）塔（可及部位）					
10主缆（可及部位）					
11斜拉索（可及部位）					
12吊杆					
13桥面铺装					
14伸缩缝					
15人行道、路缘					
16栏杆、护栏					
17桥台及基础（含冲刷）					
18桥墩及基础（含冲刷）					
19锚碇（可及部位）					
20支座（可到达区域）					
21锥坡、护坡					
22桥路结合（桥头搭板）					
23航标、防撞设施					
24调治构造物					
25排水系统					
26减振装置					
27其他					
28负责人		29记录人		30检查日期	年 月 日

## 附录 C 资料性附录

### C.1 吊杆拱桥柔性吊索、系杆养护规定

#### C.1.1 吊杆拱桥技术状况应符合下列规定：

- 1 吊杆以及吊杆与横梁节点区防腐油脂不得漏油、发酵、铁锈臭味、不得存水。
- 2 柔性系杆、吊杆钢丝束受力应均匀，不得锈蚀，索力每年应检测一次。
- 3 锚固区附近的混凝土不得有裂缝、混凝土表面不得有积水。
- 4 每年检测一次桥面标高、拱肋轴线侧向偏离值、桥台沉降值和位移值。

#### 条文说明

C.1.1 拱桥的吊杆锚头、上下导管及吊杆与横梁节点区密封处，容易发生漏水、积水和脱漆、锈蚀等情况，养护维修时应仔细检查此类部位，发现问题及时处理，消除隐患。检查的要点为：

##### 1 吊杆上锚头检查

检查上锚头有无防水措施、防水材料是否老化、开裂、渗水，钢绞线、锚杯是否外露、锈蚀，是否进行过维修。对防水措施完好、上导管下端无渗水痕迹的封锚，少量打开抽检，对防水失效或上导管下端有渗水痕迹的封锚，要全部打开检查。

① 检查钢绞线索锚环、夹片、钢绞线是否潮湿、积水、锈蚀，锚环（锚杯）、夹片有无开裂、松动，钢绞线有无滑丝等。

② 检查平行钢丝索锚环、锚杯、接长筒、钢丝墩头是否锈蚀，锚杯及接长筒内填料（防腐油脂、石蜡、泡沫胶等）是否流失、积水。

若存在以上现象，应进行专门检测，检查钢丝是否锈蚀，根据实际情况确定下一步养护措施。

##### 2 吊杆中间段检查

吊杆中间段检查可用肉眼或望远镜逐根检查吊杆有无划伤、撞击、老化、开裂，详细记录损伤位置，对开裂、损伤处，打开防护套，检查钢丝是否锈蚀、锈

蚀长度，是否积水、积水在索内的分布等，对索内积水进行化学分析，检测有无有害物质。开窗部位应采取有效措施封闭，避免后期开裂进水。

### 3 吊杆下锚头检查

下锚头检查与上锚头检查内容相似，外观检查封锚混凝土有无渗水痕迹及开裂、老化、锈蚀等病害。打开封锚检查锚环、夹片、钢绞线是否潮湿、积水、锈蚀，锚环、夹片有无开裂、松动，钢绞线有无滑丝，锚杯及接长筒内填料（水泥浆、环氧树脂、防腐油脂、石蜡、泡沫胶等）是否密实、流失、积水。若存在以上现象，应进行专门检测，检查钢丝是否锈蚀，根据实际情况确定下一步养护措施。

**C.1.2** 对套管式吊杆或柔性系杆，钢丝或钢绞线和套管之间应灌满防腐油脂、环氧砂浆或其它防腐材料，应确保填充的材料饱满，无流失、脱空现象，导管内部不应存在积水或水汽；套管表面应每年涂刷防锈材料；挤塑式套管应检查外包材料，老化、脆裂及人为损伤的应及时修复。

**C.1.3** 吊杆拱桥的吊杆、系杆锚夹具应每季度检查一次；存在松弛、锈蚀和锚垫板预埋钢管内积水时，应及时维修。酷暑、严寒季节应加强检查和养护。

**C.1.4** 吊杆拱桥的吊杆锚头、上下导管及吊杆与横梁节点区密封处，运营第一年内应每半年检查一次，以后每一年检查一次；发现漏水、积水和脱漆、锈蚀者，应及时处理。

**C.1.5** 应每年检查一次柔性系杆和吊杆钢丝束及阻尼垫圈式减振器的防水情况和橡胶老化变质情况，必要时应更换。

**C.1.6** 柔性系杆的下承式拱桥的拱脚部分，中承式拱桥的边拱混凝土内预埋钢管和系杆拉索分束穿入预埋钢管的间隙应根据原设计锚固构造压加注满防腐油脂、环氧砂浆或其它防腐材料。

**C.1.7** 刚性系杆的拉索全部外包钢管内应压加注满防腐油脂或环氧砂浆等防腐材料，两端应采用不锈钢罩保护。

**C.1.8** 吊杆、系杆修复养护主要为防护层破损的修复，可参考相关拉索护套修复内容。

**C.1.9** 吊杆、系杆修复养护主要为吊杆、系杆的更换。

**C.1.10** 吊、系杆更换的时机应符合下列要求：

- 1 系杆钢丝严重锈蚀或出现断丝，经评估无法继续利用；
- 2 护套损伤严重且无法修复；
- 3 锚具损坏且无法修复；
- 4 荷载增加或其他因素导致索力超出安全限值，且通过调索无法解决；
- 5 使用年限超过设计使用寿命；
- 6 重大突发事件造成系杆严重损伤的，如火灾、地震等。
- 7 系杆存在其他严重损伤且无法修复。

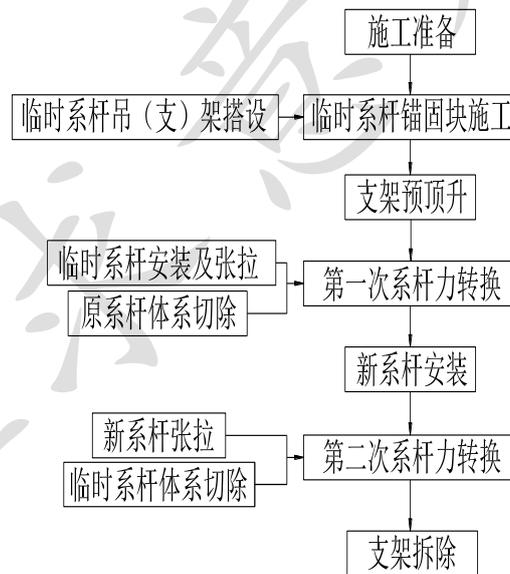


图 C.1.11 系杆更换安装工艺流程

**C.1.11** 系杆更换工作应符合下列要求：

- 1 系杆更换前应复查主梁、拱肋及吊杆的缺陷，并根据情况，对主要控制构件出现的缺陷进行维修和加固，以保证系杆更换的顺利和施工中的结构安全。
- 2 系杆更换的方案要保证更换过程中结构安全，优先采用结构内力变化小的方案，对存在严重损伤的索应优先更换。系杆更换工艺流程参见图 C.1.11。

3 更换施工力求一次改造到位，新更换系杆宜采用可更换型结构。

4 系杆更换期间应对主梁、拱肋、吊杆等进行连续监控，直至全部更换完毕。

5 系杆更换期间应采取必要的交通管制措施。

#### 条文说明

1 对于系杆更换时机的判别涉及的因素很多，难以有统一的量化标准。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进行试换。试换下来的系杆可进行试验室试验，对起腐蚀状况、强度、疲劳性能等力学指标进行详细判定。

2 系杆拱桥的系杆是主要受力构件，不同结构形式的系杆拱桥，系杆更换具有独特性，加之系杆内力巨大，更换时可能危及桥梁整体安全，因此安全可靠性是系杆更换的核心问题，系杆更换时桥梁主体结构的内力变化建议在 5% 以内。更换施工方案要考虑安全性原则，既考虑各种病害导致结构承载力降低，也要考虑更换过程中对结构承载力的不利影响，特别是对原结构的损伤，应尽量降至最低。更换过程中尽量不改变主体结构现有受力状态，应尽量减少对拱肋结构的损伤，系杆更换整个过程要保持系杆卸载与张拉同步并受力平衡。

#### 系杆拆除安全注意事项：

1) 系杆拆除时应将系杆力卸载，若难以卸载必须带应力断索时，会瞬间释放巨大的应力，对桥梁产生一定的冲击，对周围相邻索体也会产生难以预料的破坏，因此需采取行之有效的安全保障措施。

2) 系杆带应力切割卸载时，应采取行之有效的安全措施保证人员和结构的安全，注意事项有：

① 系杆切除前，宜在切割口两侧宜放置沙袋等，保证索体断开后能迅速消能并约束其摆动。

② 系杆切割应严格按照设计顺序，并注意上、下游交错对称同时进行。

③ 应采用薄钢板等将待切割的钢绞线和其他钢束隔离开，防止切割时伤及其他系杆索。

3) 临时系杆的拆除可采用千斤顶逐渐分阶段放张，也可采用火焰切割或砂轮片切割的方式进行。

4) 系杆锈蚀是系杆的常见病害,对系杆预应力损失影响非常明显,因此新系杆应优先采用具有良好防腐性能材料,可采用不锈钢丝系杆。

5) 新系杆安装应注意事项:

- ① 施工人员应具备系杆拉索施工技术素质,掌握其施工工艺。
- ② 应保证有足够的安装和张拉空间,安装时不得损坏锚具及拉索。
- ③ 应保证预埋管管道畅通光滑,避免在使用中擦伤钢绞线。
- ④ 张拉端和固定端裸露的钢绞线应清除油脂,避免影响握裹力。
- ⑤ 钢绞线应预留足够的长度,确保以后更换钢束所必须的张拉长度。

6) 新系杆张拉:

系杆卸载和张拉的次数直接影响桥梁的稳定,当次数较少时,施工较为方便,但可能会导致拱桥内力或变形波动较大,影响结构安全;当次数较多时,施工步骤繁琐,因此系杆的张拉流程必须考虑施工方便和结构安全因素,宜通过计算确定合理的张拉流程。

7) 锚具安装时注意事项:

- ① 锚具安装必须与预应力钢束轴线垂直
- ② 锚板、夹片安装时,必须彻底清扫预应力钢绞线、锚板的夹片孔和夹片锥及内牙,除去油、锈、灰尘等。
- ③ 限位板、工具锚板安装时应注意孔排位,应与工作锚板孔位一一对应,不得错位。

4 主要监控项目有:主梁、拱肋的裂缝观测;拱肋线性位移和应力、系杆索力、主梁的线形、标高位置等;索力的测量,包括吊杆和系杆更换前后的索力。

## C.2 悬索桥主缆的内部检查方法

### C.2.1 一般规定

1 本检查方法适用于采用四元体系或罗布林（Roebing）体系进行防护的主缆进行内部技术状态的检查。

2 采用空气干燥防腐系统的主缆，原则上可不进行内部检查，根据实际情况确有必要时，可参考本规定。

3 进行内部检查的主缆，应在开缆处设立遮阳防雨的检查平台。

#### 条文说明

1 传统四元防护体系主缆防护方式虽然短期内有效但长期效果但并不理想。通过防护体系老化破损处进入内部的水分、施工期的冷凝水等共同在主缆内部形成一个封闭的湿热环境，当主缆钢丝的镀锌层消耗完后，钢丝就会发生锈蚀进而断丝。在法国波尔多的 Aquitaine 悬索桥运营 12 年后检测发现严重的钢丝腐蚀和断丝；瑞典的 H.gakusten 大桥，运营 6 年后跨中最低节段钢丝镀锌层已被消耗掉，且在主缆底部，钢丝和缠丝都出现了腐蚀；英国的 Forth 桥、Seven 桥和 Humber 桥等主缆内部已经腐蚀断丝，其中 M48 Seven 桥运营 40 年后主缆钢丝锈蚀严重，多根钢丝断丝，导致主缆的强度严重损失，其下行主缆中部有 50% 的钢丝严重腐蚀。美国的布鲁克林桥，通过打开主缆的缠丝，发现主缆内部存在严重的腐蚀和断丝，主缆承载力下降；缅甸 Myaung Mya 桥使用仅 22 年就发生断缆垮塌的严重事故。这些实例都说明，采用传统四元防护体系的主缆，如不进行定期的内部检查与及时维护，光凭外观检查和维护不能保证悬索桥达到设计使用寿命。目前国内外关于悬索桥主缆内部检查和承载力评估的方法仅见于美国 2004 年的国家公路研究计划报告《Guidelines for Inspection and Strength Evaluation of Suspension Bridge Parallel Wire Cables》(NCHRP 534)，国外有多座悬索桥的主缆按照 NCHRP 534 方法开展过相应的检测。2012 年美国联邦公路局根据 NCHRP 534 及相关应用经验出版了《Primer for the Inspection and Strength Evaluation of Suspension Bridge Cables》作为推荐的悬索桥主缆检查和承载力评估的指南。我国自 1998 年建设虎门大桥起，修建了一批世界级别的公路悬索桥，已有 20 年的使用历程，但进行主缆内部检查的只有少数几座，缺乏相关标准化方法的指引是

一个重要因素。本规范鉴于我国悬索桥主缆内部检查的紧迫性，主要依据《Primer for the Inspection and Strength Evaluation of Suspension Bridge Cables》的规定结合国内进行过内部检查少数桥梁，如虎门大桥等的检查评估情况，制定本附录，以供悬索桥主缆内部检查参照。

3 开缆检查需要完全去除主缆的防护层，为避免外界水分从检查开口进入主缆内部且便于观察，设立的检查平台应具备防晒与防雨的功能。

### C.2.2 主缆内部检查频率

1 主缆钢丝的腐蚀等级分为如下 4 级，图示参见图 C.2.2 所示。

- 1) I 级：钢丝表面存在锌氧化物的白点
- 2) II 级：钢丝表面满布白色锌氧化物
- 3) III 级：7.5-15cm 长度钢丝上棕色锈斑分布面积占比小于 30%
- 4) IV 级：棕色锈斑在钢丝表面普遍存在，7.5-15cm 长度钢丝上锈斑分布面积占比大于 30%



图 C.2.2 钢丝的腐蚀分级

2 主缆内部检查的时间间隔应符合如下要求：

1) 正常维护，表观状态良好的主缆，其首次内部检查的时间间隔最长为建成运营后 25 年。

2) 桥龄 10 年以上，养护过程中发现存在防护层破损（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）与内部渗水等现象的主缆应尽早安排首次内部检查。

3) 检查发现钢丝主要为 I 级，则下次内部检查的时间间隔为 20 年。

- 4) 检查发现钢丝主要为 II 级或 III 级, 则下次内部检查的时间间隔为 10 年。
- 5) 检查发现存在 IV 级钢丝, 则下次内部检查的时间间隔最长为 10 年。
- 6) 检查发现存在断丝, 则下次内部检查的时间间隔为 5 年。
- 7) 检查发现 IV 级钢丝数量超过总数的 10%, 则下次内部检查的时间间隔应小于 5 年。

#### 条文说明

1 钢丝的 II 级腐蚀布满白色锌氧化物并不表示锌层消耗殆尽, 如锌耗完, 钢丝表面应呈现为暗灰或黑灰至黑色。研究显示 5%~20% 的 III 级腐蚀钢丝和 60% 的 IV 级腐蚀钢丝存在裂纹。

2 主缆内部首次检查的时间间隔取决于主缆的表观防护保养好坏、使用年限、环境情况等多个因素。根据 NCHRP 534 对 31 座桥的调研结果, 悬索桥主缆性能出现退化大约在通车运营 10 年之后, 此后主缆钢丝的腐蚀发展速度几乎是线性的, 因此后续检查的时间间隔应基于主缆上次检查的钢丝腐蚀状态并结合退化发展速率, 即同样条件下, 发展速率快的, 应相应缩短检查间隔。但鉴于此方面相关数据和研究还偏少, 同时考虑与欧美悬索桥发展历史与防护材料存在的差异, 本规范进行了适当偏安全的简化。对于检查结果主要为 I、II 与 III 级钢丝的分别允许最外层 25% 钢丝为更差一级别的钢丝, 即 II、III 与 IV 级钢丝。

#### C.2.3 主缆内部检查的部位选取应符合下列要求:

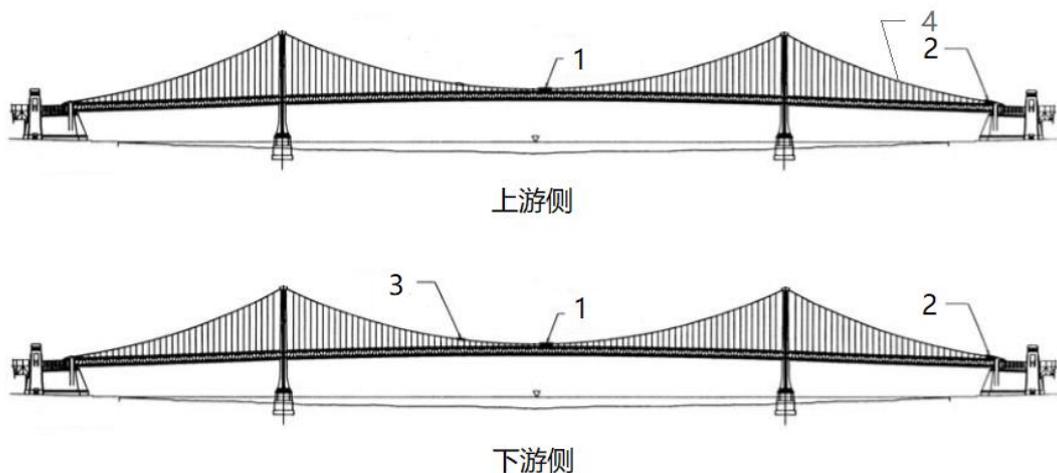


图 C.2.3-1 首次检查主缆位置

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表面缺陷与其内部恶化高度关联的位置。

2 主缆无严重表面缺陷时，其首次内部检查的桥纵向位置每缆不少于如下 3 处，如图 C.2.3-1 所示：

- 1) 每缆主跨最低处；
- 2) 每缆边跨最低处或其附近；
- 3) 一侧主缆主跨最低点处向塔方向  $L/7 \sim L/3$  处（ $L$  为主跨跨径）；
- 4) 另一侧主缆边跨最低点处向塔方向  $L/7 \sim L/3$  处（ $L$  为边跨跨径）。

3 主缆非首次内部检查的桥纵向位置应按上次内部检查的情况及表面现状情况综合确定。

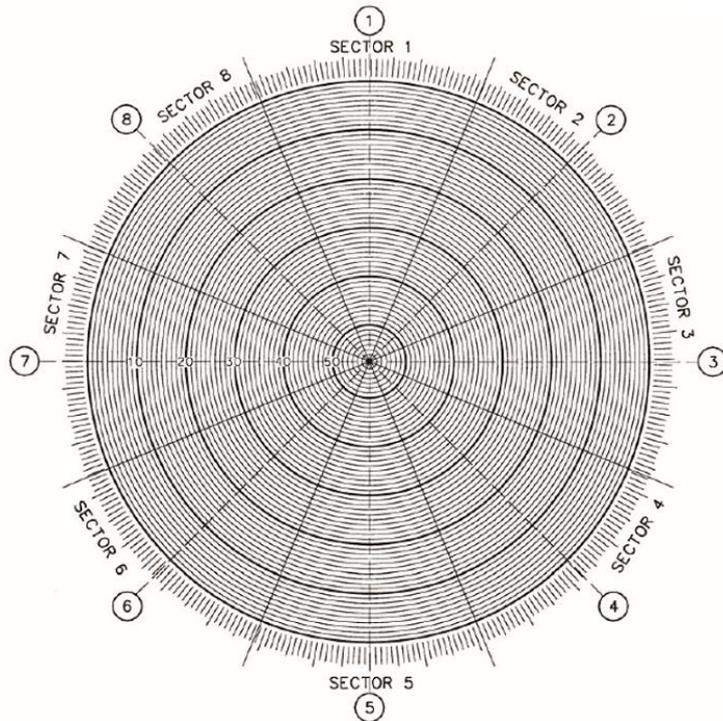


图 C.2.3-2 主缆横截面检查位置

1) 对于上次内部检查钢丝腐蚀等级为 I 级或 II 级的，检查间隔期间无严重表面缺陷，其内部检查的桥纵向位置每缆不少于 3 处，可为上次内部检查各点的附近点。

2) 对于上次内部检查钢丝腐蚀等级为 III 级或 IV 级且深度范围不超过 3 层钢丝的，其内部检查的桥纵向位置每缆不少于 6 处，除本款第 2 项外，尚需选择主缆主、边跨最低点以上 3 处，存在表面缺陷的应优先选取。

3) 对上次内部检查钢丝腐蚀等级为 IV 级且深度范围超过 3 层钢丝的, 应选取 1/5 的主缆节段进行检查, 其中主缆 4 个低点或低点附近点及 2 个近塔点为必选, 其余各点在低点和塔附近点间随机选取。

4 在主缆横截面上一般可沿主缆圆周均匀布点进行径向楔入检查。

1) 横截面基本楔入检查位置为 4 处, 以表盘表示方位所示的 0:00、3:00、6:00 和 9:00 (图 C.2.3-2 中的①、③、⑤和⑦)。

2) 检查中发现存在 III 级或 IV 级钢丝, 横截面检查位置应扩展到 8 处 (图 C.2.3-2 中的①~⑧)。

3) 对于直径大于 60cm 的主缆, 宜在上述每个楔入位置间增加一处额外的楔入点。

#### 条文说明

1 与主缆内部恶化高度关联的表观缺陷主要包括缠丝松弛、表面锈斑、表面鼓丝 (锤击有空响)、索夹环缝密封不严与内部渗水, 存在这些表观缺陷的位置, 其内部钢丝腐蚀、失效的概率较高, 应优先进行检查。另外如主缆安装有声发射监测系统的, 该系统识别的断丝位置也应作为内部检查的位置。

2 主缆内部检查每处典型应包括一个节段长度 (两相邻索夹间的主缆长度), 但是打开长度应由方便钢丝采样要求及钢丝腐蚀等级来确定。一般为便于对表层、次表层钢丝进行采样, 开口长度不小于 5m, 如发现钢丝腐蚀等级超过 II 级, 开口长度应扩展到整个节间长度。

3 2) 对于 IV 级钢丝深度范围超过 1 层钢丝的, 楔入深度应到达主缆中心, 对于打开一个主缆节段仍然不可达到上述要求的, 每缆允许拆除 1 个索夹。

3) 由于此情况, 主缆的损伤比较严重, 因此要求最少拆除 2 个索夹, 以便于楔入主缆中心并检查索夹处的主缆钢丝。

4 严重锈蚀、断丝时应尽可能楔入主缆中心部位, 以准确确定损伤的径向范围。对于主缆表面有损伤或怀疑有损伤的, 则应选择这个位置楔入, 如主缆截面的底部, 主缆跨中截面的路侧部位等。如存在楔入断丝风险, 额外楔入位置的楔入深度可为 1/2 倍半径。

#### C.2.4 主缆内部检查的方法

## 1 桥跨区主缆内部检查的主要步骤与要求为：

### 1) 解除缠丝

① 在解除缠丝前，应对主缆周长进行测量，测点应选节段两端索夹处（距离 30cm 处）、中间等 3 处。计算主缆空隙率，作为检查完成后主缆恢复时的依据。

② 解除缠丝时宜测量缠丝的应变变化量，作为恢复缠丝张力的依据。

③ 解除缠丝后应清理主缆表面防锈腻子。

### 2) 楔入

① 楔子宜采用橡木、花岗岩、聚乙烯高分子材料等制作，避免楔入时与钢丝接触产生火花。

② 从节段中部开始打入楔子，然后向着主缆索夹方向每隔 1.2m 打入 1 个楔子，先将所有楔子统一打入 8 cm，然后依次将所有楔子再打入 8 cm，直到达到主缆中心或者事先设定的深度。

### 3) 钢丝观察

① 每个楔开的节段应检查至少 3 个位置，每个位置检查 1.8m 长，将被检查钢丝在 3 个位置中最高的腐蚀等级作为此节段该钢丝的腐蚀等级。

② 所有松散、断裂的钢丝都应找到断头，必要时应拆开索夹进行检查。

③ 对于需要进行承载力评估的主缆，在内部检查的基础上应对各种腐蚀级别的钢丝进行采样。

### 4) 恢复保护体系的要求为：

① 完成所有检测和样本采集后，主缆必须重新紧缆，主缆保护系统也必须重新更换。

② 主缆重缠丝后的直径若超过解除缠丝前的主缆直径，则超出值应小于所用缠丝钢丝直径的 2 倍。

## 2 鞍座区主缆内部检查的要求为：

从鞍座顶部和端部观察钢丝保护层完好性与水分侵入情况。

## 3 锚固区主缆内部检查的要求为：

在锚碇内的索股至少要在 1 条横向和 1 条竖向线上被楔开，检测人员还可以在破损最严重的地方设置更多的楔口，测量并记录腐蚀后钢丝的最小直径。

## 条文说明

1) 宜用木质工具敲击主缆振落腻子，并用软毛刷清理。楔入前用吸尘器清理表面碎屑。为减少楔入期间产生的碎屑，可涂刷一些轻质无腐蚀性的油。

2) 楔子尺寸可参见图 C.2.4-1。

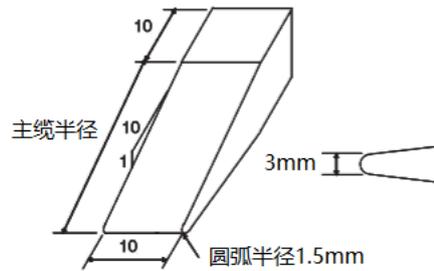


图 C.2.4-1 楔子构造尺寸 (单位: cm)

3) 根据相关研究当主缆发现有大量钢丝松散或断裂情况时，断头大部分会在索夹内。记录楔入面钢丝的状态可参考图 C.2.4-2。

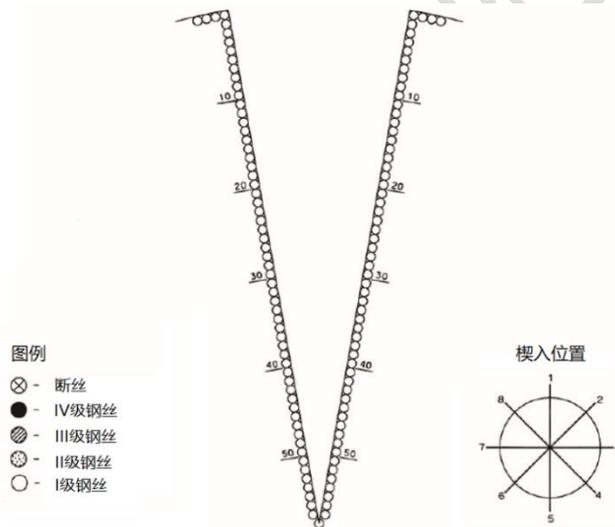


图 C.2.4-2 楔入检查记录示意图