

JTG

中华人民共和国行业推荐性标准

JTG/T XXXX—202x

跨海桥梁养护技术规范

Technical Specification for Sea Bridge Maintenance

(征求意见稿)

202x—xx—xx 发布

202x—xx—xx 实施

中华人民共和国交通运输部发布

中华人民共和国行业（推荐性）标准

跨海桥梁养护技术规范

Technical Specification for Sea Bridge Maintenance

JTG/T XXXX—202X

主编单位：中交基础设施养护集团有限公司

港珠澳大桥管理局

批准部门：中华人民共和国交通运输部

实施日期：202x年xx月xx日

人民交通出版社

前 言

根据交通运输部交公便字[2020]19号文《关于做好2020年度公路工程行业标准制修订项目准备工作的通知》的要求，由中交基础设施养护集团有限公司和港珠澳大桥管理局承担《跨海桥梁养护技术规范》的制定工作。

编制组贯彻执行国家和交通运输部的有关技术政策，秉承“突出重点、科学合理、可操作性强，与相关标准和规范协调一致，用语标准、简洁明确”的指导思想，遵循决策科学化、管理信息化、流程标准化、人才专业化、技术智能化、作业机械化、工人产业化、实施生态化的理念，全面总结跨海桥梁养护工程实践经验并借鉴国内外先进技术标准，吸纳技术成熟、工艺先进、经济合理、安全环保、节能减排的“四新”技术，并在广泛征求全国相关单位和专家意见的基础上，对跨海桥梁养护工程中的“养护规划”、“检查与评定”、“桥梁监测”、“养护工程设计”和“养护维修”等方面进行了具体的规定，使规范能够保障跨海桥梁养护工作的顺利开展，提高跨海桥梁养护技术水平。

本规范包括9章，具体内容为：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 养护规划；5 检查与评定；6 桥梁监测；7 养护工程设计；8 养护维修；9 附录。

本规范由 负责第一章， 负责第二章， 负责第三章， 负责第四章， 负责第五章， 负责第六章， 负责第七章， 负责第八章。

请各有关单位在执行中，将发现的问题和意见，函告中交基础设施养护集团有限公司，联系人： （地址：北京市东城区安定门外大街丁88号江苏大厦8楼；邮编：100011；联系电话：；传真：；电子邮箱），以便修订时参考。

主 编 单 位：中交基础设施养护集团有限公司

港珠澳大桥管理局

参 编 单 位：中路高科交通检测检验认证有限公司

宁波市杭州湾大桥发展有限公司

大连理工大学

山东高速青岛公路有限公司

主 编:

主要参编人员:

主 审:

参与审查人员:

参 加 单 位:

参 加 人 员:

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为了加强跨海桥梁的养护工作，确保其始终满足设计荷载等级的承载要求和设计交通量的通行要求，保证行车畅通与安全，保持良好的使用性能和耐久性能，特制定本标准。

条文说明

本条规定了制定本标准的目的。

1.0.2 本标准在现行《公路桥涵养护技术规范》等规范的基础上，对跨海桥梁的养护规划、检查与评定、养护工程设计和养护维修提出了进一步的要求，适用于跨海桥梁的主桥和引桥，其他沿海地区桥梁可参照使用。

条文说明

本标准适用于跨海桥梁的养护，主要针对台风、强震、海浪、洋流、船只撞击、高腐蚀、高盐、高温度的海洋环境下的桥梁钢结构和混凝土结构的养护工作，与现行《公路桥涵养护技术规范》等规范相同的内容不再赘述。

1.0.3 跨海桥梁的养护除应符合本标准的规定外，尚应符合国家及行业现行有关方针、政策、法律、法规和标准的规定。

条文说明

本标准未做规定的内容，参照现行《公路桥涵养护技术规范》等规范执行。

2 术语

下列术语和定义适用于本标准。

2.1 跨海桥梁 sea bridge

跨越海面，连接海峡、海湾两岸，连接大陆与海岛或海岛之间，供车辆、行人、管道通过的桥梁。

2.2 养护规划 maintenance programming

为保持或提高桥梁使用性能，通过对桥梁现状的调查与检测、监测，结合历年病害发展、养护效果、交通量等历史数据，评价桥梁现状水平，分析病害发展趋势，进行桥梁使用性能预测，本着“一次规划，分期实施、技术先进、经济合理”的原则，制定并综合比选，制定出一定时期内针对性强、经济适用的桥梁养护方案。

2.3 全生命周期养护成本 life cycle maintenance cost

在制定养护方案时，不仅考虑养护实施的成本，还应考虑未来的运营和后期养护成本，同时还包括社会成本和环境成本，社会成本指的是养护工作全过程等可能对社会造成的影响，环境成本指的是全寿命周期内对周边环境可能造成的影响。

2.4 水下检查 underwater inspection

通过人工涉水、人工潜水或自动化水下检查设备，对桥梁水面以下的部件进行的检查。水下检查不是独立的检查类型，而是专门检查或应急检查中的一部分。

2.5 结构定期检查 periodic inspection of structures

主要通过接近目测配合仪器对桥梁缺损状况、关键部构件功能性、工作状况进行全面检查，根据检查结果评定桥梁整体技术状态。

2.6 耐久性定期检查 periodic inspection of durability

主要针对桥梁外观耐久状态的检查和剩余耐久年限的评估，评定桥梁在特定环境条件下构件耐久性劣化程度，以及其是否满足相关要求。

2.7 耐久性检查评定 durability inspection and evaluation

为检验跨海桥梁钢结构和混凝土结构或构件耐久性是否满足要求而开展的检查、测试和判定等工作。

2.8 跨海桥梁总体风险评估 overall risk assessment for sea bridge

根据跨海桥梁海洋、地质环境条件、建设规模、交通状况、结构特点、养护方案等孕险环境与致险因子，评估跨海桥梁运营与养护的整体风险，估测其安全风险等级。属于静态评估。

2.9 跨海桥梁专项风险评估 specific risk assessment for sea bridge

跨海桥梁专项风险评估是将总体风险评估等级为Ⅲ级（高度风险）及以上的养护施工作业活动（或运营、养护区段）作为评估对象，根据其运营、养护作业的风险特点及类似工程事故情况，进行风险源普查，并针对其中重大风险源进行量化估测，提出相应的风险控制措施。属于动态评估。

条文说明

本章仅将本规范出现的、人们比较生疏的术语列出，大家都比较熟悉的桥梁专业性的术语未予编入。术语的解释是通常的概括性涵义，并非国际或国家公认的定义。术语的英文名称不是标准化名称，仅供引用时参考。

3 基本规定

3.1 一般规定

规定关于养护理念、养护规划、养护手册、养护检查评定制度、养护工程分类、养护管理信息化及环境保护相关的总体要求，建议新建跨海桥梁做好建管养一体的衔接与策划。

针对不同构件的可检性、可修性、可换性，建立桥梁结构部件的分类标准 (A-E 类)，本标准中将建议开展分类检查、检测、监测、养护。

3.1.1 跨海桥梁养护应贯彻预防性养护、全生命周期养护成本最优的理念，采取全程监测、动态评估、主动养护和耐久性再设计的方式，编制并定期修订跨海桥梁的养护规划和养护手册，建立完善的养护技术体系。

3.1.2 跨海桥梁应针对自身的运营条件、技术状况、环境特点，建立、健全检查、评定制度，周期性的开展检查与评定，并按照桥梁检查结果，对桥梁技术状况进行分类评定，制定相应的养护对策。宜建设健康监测系统开展桥梁监测，系统地掌握跨海桥梁技术状况，及时发现缺损和相关环境的变化。

3.1.3 跨海桥梁在运营过程中，应定期开展耐久性检查、评估和结构安全风险评估。

3.1.4 跨海桥梁宜建立养护信息化系统并及时更新和完善，有条件时可与建设期技术档案、信息化系统统筹策划，促进建养衔接。

条文说明

跨海桥梁宜建立养护信息化系统和资产管理系统，建立跨海桥梁养护技术档案和数据库并及时更新，有条件时可与建设期技术档案、信息化系统统筹策划，促进建养衔接。通过信息化管理系统将传统检测、健康监测系统以及养护管理、安全运营、综合办公等系统相互融合，实现病害监控、科学管理和科学决策。

3.1.5 跨海桥梁应根据不同构件的可检性、可修性、可换性，实行分类检查、检测、监测、养护，分类标准按表 3.1.1-1 执行。

表 3.1.1-1 跨海桥梁结构部件分类表

构件类型	部件名称	分类标准（重要性、可检、可修、可换）	设计寿命	重要性	养护策略
A	桥塔及基础、主墩及基础、锚碇、主缆	永久构件，较难检查，很难修复，不可更换	同桥梁整体寿命	全桥寿命期内不可更换，首要养护对象	预防养护为主，减少修复养护
B	主梁	永久构件，可以检查，较难修复，不可更换	同桥梁整体寿命	全桥寿命期内不可更换，重点养护对象	预防养护修复养护并重
C	主桥斜拉索、吊索、辅助墩、过渡墩、引桥桥墩	永久构件或主要受力构件，较难检查，可以修复，难以更换	同桥梁整体寿命	全桥寿命期内难以更换，重点养护对象	做好修复养护，按需开展预防养护
D	缆索结构阻尼器；全桥支座、伸缩装置等	非永久受力构件，可以检查，可以修复，可以更换	设计使用寿命 15~20 年	全桥寿命期内需要进行更换	预防养护为主，延长修复养护周期
E	栏杆、灯柱等附属构件。	非受力构件，可以检查，可以修复，可以更换	设计使用寿命不宜小于 15 年	全桥寿命期内需要多次维修更换	做好修复养护

3.1.6 跨海桥梁养护工程按照养护目的和养护设施差异，分为预防养护、修复养护、专项养护和应急养护工程。

3.1.7 跨海桥梁养护应以运营与结构安全、适用、耐久为中心，以桥面系、承重部件为重点，并兼顾附属设施的养护。

3.1.8 跨海桥梁养护应优先采用自动化、智能化、信息化、绿色环保、交通干扰小的无损检测、养护维修技术和装备。

条文说明

跨海桥梁养护应贯彻科学、先进的养护理念，针对跨海桥梁结构的复杂性实行分级、分类养护，鼓励采用先进的自动化、智能化的检查、维修技术和装备，建立天、空、地、水下一体化养护体系，推进5G、大数据、人工智能、物联网、BIM+GIS等信息技术对传统养护的升级改造，实现跨海大桥智慧化养护。

3.1.9 养护过程中应重视环境保护和环境综合治理。

条文说明

在跨海桥梁养护中应注意保持海洋生态环境的稳定，不使海洋的自然、生态环境恶化。在养护过程中所使用的材料、设备等不应对海洋及周围环境造成污染。

3.2 具体要求

规定关于养护目标,应遵循的养护技术政策,应完善的养护保障措施等具体要求。

3.2.1 跨海桥梁的养护应做到:

- 1 桥梁外观整洁。
- 2 桥面铺装坚实平整,纵、横坡适度,桥头衔接平顺。
- 3 结构完好无损,受力符合设计预期,关键部构件功能完好,无异常变形,稳定性良好,耐久性良好。
- 4 桥梁各构件、交通管理标志及附属设施等状态完好、功能正常、布置合理。
- 5 用于观测、检查和维修的通道或设施完好、齐全。
- 6 基础无冲蚀。
- 7 对单孔跨径大于 200m 的斜拉桥和自锚悬索桥、单孔跨径大于 400m 的地锚悬索桥应记录保留主梁、主塔、主缆、拉索及吊杆等部件的气动外形资料。
- 8 各类养护系统正常工作。

3.2.2 跨海桥梁的移交接养,应有完备的交接手续及成套技术资料,并服务于养护工作。

条文说明

跨海桥梁的交工接养,提倡实体工程和数字工程的“双移交”,即除了移交实体工程和相应技术资料外,还应移交信息化工程及数字成果资料,如建设期 BIM 模型、建设期各类管理系统及数据等。

3.2.3 跨海桥梁应制定详细的预防养护方案和经常实施的修复养护方案;复杂的修复养护和专项养护、应急养护方案应专门制定。养护方案应包括详细的安全保障措施。

3.2.4 跨海桥梁应有应对洪水、大风、暴雨(雪)、冻融、雷击、地震、海啸等灾害的防护措施。

3.2.5 在养护实践中,完善“易到达、易检查、易维修、易更换”的养护需求,设置必要的工作通道,如扶梯、吊篮、平台等。应配置必要的养护设备及机具。

3.2.6 养护作业和工程实施应注意保障车辆、人员的安全通行及环境保护。

3.2.7 桥梁养护工程完成后,应按照《公路养护工程质量检验评定标准》(土建工程)等有关规定进行验收。修复养护、专项养护工程实施后,相应工程部位

的桥梁构件技术状况原则上应恢复到一、二类。

条文说明

当定期检查中对主梁挠度、主缆钢丝锈蚀及锚吊体系等难以更换的桥梁部件技术状况评定为3~5类时，经过维修该部件技术状态可能无法恢复到1类或2类，若经过三个周期的检查部件状况已趋于稳定，经过评估对桥梁结构安全无显著影响，可在提高检查频率的基础上加强观察和使用。

3.2.8 跨海桥梁的检查及技术状况评定、养护对策、维修、加固、专项工程的竣工验收等有关技术文件，均应按统一格式完整地归入桥梁养护技术档案及数据库。

3.3 养护技术管理

提出跨海桥梁养护技术管理的相关要求，提出养护技术研究的内容、方向以及技术交流的建议。

3.3.1 跨海桥梁的重大养护工程设计、施工方案，应评审论证后再实施。

条文说明

可重点审查维修、保养本身是否临时或永久对桥梁的动力性能造成改变，特别是更换阻尼器、支座、吊杆、桥面铺装、护栏等构件的实施过程中及完成后，桥梁的性能、刚度、阻尼比是否发生改变，必要时可通过CFD仿真计算和模型实验加以验证。

3.3.2 应加强重大养护作业期间的桥梁状态监测，如在更换吊杆、系杆、斜拉索时加强全过程监测，确保结构安全。

3.3.3 对采用新材料、新结构、新技术、新工艺的养护工程，当缺乏质量检验标准时，可参照相关技术标准或根据实际情况制定相应的质量检验标准。

条文说明

跨海桥梁采用新材料或特殊设计的部位，养护新技术的工程可靠性，跨海桥梁采用新材料或特殊设计的部位，应在初始检查前，根据其劣化特征、功能状况、工作性能等确定检查指标、构建评价体系。

3.4 养护工程安全风险管理

规定了养护作业各相关方在安全风险管理方面的管理内容。

3.4.1 跨海桥梁应辨识桥梁危险源，编制风险辨识手册，建立风险动态监控机制，定期开展隐患排查工作，应对专项、应急养护施工进行安全风险评估，加强

现场管控。

条文说明

交通运输部《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》第三十五条 长大桥隧经营管理单位应当按照有关规定建立健全风险管理和隐患排查工作制度，编制风险辨识手册，建立风险动态监控机制，定期开展隐患排查工作。对发现的隐患应及时采取相应的处治措施，必要时协调相关部门实施交通管制。

3.4.2 养护实施应符合《道路交通标志与标线》(GB 5768)、《公路养护安全作业规程》(JTG H30)的有关规定，按照交通组织方案设置作业控制区，并定期对交通安全设施进行检查和维护。

3.5 养护信息化

针对跨海桥梁各类养护信息化系统和相应的数据库，在日常管理、应用等方面提出相关要求。

3.5.1 跨海桥梁应建立适合自身特点的养护管理系统，具有数据存储、查询功能，用于记录、管理检查与维修过程数据，宜包含评估和辅助决策的功能。

3.5.2 养护过程中应充分发挥养护管理系统的各项功能，并及时总结和改进。

3.5.3 跨海桥梁宜安装结构与环境监测系统，并与桥梁养护管理系统紧密协作。

条文说明

桥梁结构监测系统主要对桥梁承受的荷载作用、桥梁静动力结构相应及特征参数进行测量、采集、处理、分析，并具备一定程度的预警和评估功能。桥梁环境监测系统主要用于监测桥梁所在区域的自然环境参数，包括风、温度、湿度、降雨、地震、冲刷、腐蚀环境等。由于跨海桥梁在路网中往往处于关键位置，不可替代，具有重大的社会关注度和影响力，有必要实时了解桥梁自身状态和环境变化，有助于及时采取交通组织措施、应对突发事件和应急情况，也有助于制定养护规划，进行养护科学决策。

3.5.4 桥梁评估工作应紧密结合结构监测数据开展，并将结果及时录入养护管理系统。

条文说明

《公路桥梁养护管理工作制度》中对桥梁数据库的管理作出了明确的规定：桥涵数据库应在桥涵投入使用时予以建立。对于正在服役的桥梁，应以桥涵竣工

文件为基础，并结合现状调查来进行完善或新建数据库。桥涵数据库的内容应包含桥涵静态数据和动态数据。桥涵静态数据包括桥涵基本信息、空间信息、技术指标、结构信息以及档案信息等，动态数据包括桥涵的技术状况和养护历史信息（包括病害息、检查以及维修信息等）等。桥涵数据库的信息应准确反应桥涵的实际状况，应根据检查、维修、加固改造或重建情况及时更新。应建立完善的数据采集和管理制度，以保证桥涵数据库中数据的及时性和有效性。桥涵数据库应采用电子化进行存储与管理。

同时规定，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结构监测系统。跨海桥梁的管理比较复杂，因此需要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。

3.5.5 健康监测系统和养护管理系统应由相对稳定的桥梁专业技术人员进行日常管理与使用。

3.6 养护技术档案

对跨海桥梁技术档案体系、主要内容和管理要求等方面提出相关要求。

3.6.1 跨海桥梁应按照“一桥一档”建立技术档案和符合自身特点的电子档案管理系统。

条文说明

《公路长大桥隧养护管理和安全运行若干规定》第二十四条 长大桥隧经营管理单位应当按照“一桥一档”“一隧一档”建立长大桥隧技术档案，内容包括长大桥隧基本情况、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。

3.6.2 桥梁技术档案应包括桥梁基础资料、管理资料、检查与评定资料、养护维修资料和养护过程中的所有其他资料。

3.6.3 桥梁基础资料包括但不限于以下内容：

- 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。

3.6.4 桥梁检查资料包括但不限于桥梁初始检查结果、日常巡查记录、经常检查结果、定期检查结果、养护对策建议、专项检查建议报告、专项检查结果、养护计划等技术资料，以及检查的时间、实施人员、照片及多媒体材料等资料。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、照片及多媒体材料等。

3.6.5 桥梁养护维修资料包括但不限于以下内容：

1 修复养护工程的实施技术资料 and 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 桥梁预防养护、专项养护工程的设计文件、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。

3.6.6 桥梁特殊情况资料主要包括地质灾害、气象灾害、超限运输、环境事故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。

条文说明

技术资料管理作为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。跨海桥梁的养护资料很多，尤其是安装了健康监测系统后其监测数据数量庞大，不可能都打印出来作为纸质文档保存，因此跨海桥梁的技术资料管理采用“纸质档案与电子档案相结合”的方式，即需要相关人员或单位签章的文件同时采用纸质档案和电子档案，其他文件采用电子档案。

3.7 环境保护

3.7.1 跨海桥梁应制定切实可行的环境保护和节能减排措施，倡导绿色环保养护，在养护过程中应节约资源、节约能源，实现废旧材料循环再利用。

条文说明

《综合交通运输“十三五”发展规划》明确要求：“要不断推进交通运输创新发展、协调发展、绿色发展、开放发展”，因此跨海桥梁在管养过程中应注重节能减排，废旧材料循环再利用、新能源利用和绿色养护新材料、节能环保养护设备研发与应用，把环境保护与节能减排看作一项重要任务，采取多种技术和手段实现环境保护和节能减排目标，并针对最直接的三类减排目标：水资源消耗、

能耗和碳排放，采用自我约束管理和社会化监督相结合的方式，严格综合治理噪声排放、固体废弃物、废气排放、粉尘的排放四种环境敏感因素。

征求意见稿

4 养护规划

4.1 一般规定

4.1.1 对于跨海桥梁的养护，应编制专用的养护规划。

4.1.2 养护规划应充分考虑全寿命周期内养护成本最优的理念，建立科学的养护决策机制。

4.1.3 跨海桥梁的养护宜编制中长期养护规划，养护规划期宜在 30 年以上。

4.1.4 管理单位应在遵循国家、行业及地方法律法规及养护规范的基础上，结合桥梁自身特点及养护管理经验，编制养护规划，并加以应用和改进。

4.1.5 管理单位应在养护规划中考虑绿色、环保、高效的新技术、新材料的运用，对成熟的运用情况可在养护手册中归纳总结。

4.1.6 跨海桥梁养护规划在编制时，应结合需求分析，突出桥梁自身特点，并结合养护实践，吸收先进技术和成熟经验，持续改进和提升。

4.1.7 跨海桥梁在建设期间应充分考虑后期养护需求，在通车前完成养护规划的编制。

4.2 主要内容

4.2.1 管理单位在编制跨海桥梁养护规划时应明确规划期内大桥养护的目标，以目标为导向制定基本的养护准则。

4.2.2 跨海桥梁养护规划主要内容见附录 A。

4.2.3 跨海桥梁养护规划编制应明确此养护规划相应的修订管理办法。

4.3 管理与修订

4.3.1 跨海桥梁宜根据其技术状态，按 5~10 年作为一个周期，对其周期内受力性能、工作行为、损伤特点和劣化特征进行综合性分析、研判，根据评估结果动态优化调整养护手册/规划，以保证规划能够适应大桥的实际情况。

4.3.2 当出现以下情况时，管理单位应及时修订养护规划：

1 当国家、行业或地方法律法规和相关规范发生变化后，导致养护规划的部分内容与其发生冲突时；

2 当管理单位养护管理目标发生较大变化，或养护管理技术水平提高，或发现原有养护规划不满足新的养护管理需要时；

3 桥梁完成重大的维修或改建后，桥梁养护工程师提出更新建议和要求时；

- 4 每次检查完成后，桥梁养护工程师认为有必要更新时；
- 5 检测结果显示桥梁技术状况发生重大变化或者劣化加速时。

征求意见稿

5 检查与评定

5.1 一般规定

5.1.1 跨海桥梁养护检查等级为I级。

条文说明

跨海桥梁服役环境复杂，结构复杂，路线一般缺少可替代性，对社会经济正常运行极为重要，其养护资源需求较其他桥梁更为突出。按照《公路桥涵养护规范》的规定，跨海桥梁养护为I级。

5.1.2 跨海桥梁的检查分为初始检查、日常巡查、经常检查、定期检查和专项检查。

5.1.3 跨海桥梁采用新材料或特殊设计的部位，应在初始检查前，根据其劣化特征、功能状况、工作性能等确定检查指标、构建评价体系。

5.1.4 对于构造复杂、数量规模较大的部件，当A、B类部件技术状况等级为2类及好于2类时，C、D、E技术状况等级为3类及好于3类时，可在满足现行规范基础上采用固定部位、跟踪部位和循环抽检相结合方式开展经常检查和定期检查工作。

1 固定部位为结构关键受力部位和易损部位；跟踪部位为存疑、发展较快或需动态观测部位；循环抽检部位为跨海桥梁除固定部位和跟踪部位外的其他结构构件。

2 当部件技术状况等级达到3类及更差时，应取消循环抽检，进行全面检查。

3 应结合桥梁养护手册或规划，根据结构服役年限、构造形式、劣化特征、运营状况、评估结果等，制定检查计划，明确下一周期内部件固定检查部位和循环抽检构件分布和比例，规定跟踪部位确定原则，确保检查周期内无遗漏。

条文说明

桥梁例行检查工作在于通过周期性、全方位的检查工作，了解结构的技术状态，并在发现病害后，及时进行维修处治。不同检查类别的立足点有所区分，经常检查主要聚焦在结构关键受力部位、易损部位的外观检查，检查成果时效性较为突出；定期检查则更为全面的对桥梁的缺损状况、工作状况、关键部构件功能性和桥梁承载能力、通行能力和预灾能力开展相应检查评估工作。

跨海桥梁部分特殊结构桥梁的部构件数量较大，同类型构件的服役状态和劣化机理较为相似，如：正交异性板重车道疲劳裂纹、拉吊索上下锚固构造；吊杆拱桥短吊杆等（根据大连理工建议，放到条文说明）。从目前的养护工作实践和养护资源投入来看，在规定周期内开展全面检查，其检查成果的全面性、成效性难以有效保证，因此在《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》中，对于此类构件采用循环划分方法进行循环检查，以提升检查效果。跨海桥梁耐久性等养护问题相对突出，同时需要对部分关键部位和存疑部位结合例行检查开展动态观测工作，因此本规范中针对此类部件在进行例行检查时，在Ⅰ级检查等级基础上分类别开展检查工作。

5.1.5 对于安装结构监测系统的桥梁结构，应关注监测数据与养护检查数据及结构状态的相关性。

5.1.6 对于设置有牺牲阳极、外加电流保护等专项耐久性附属设施的桥梁构件，应在经常检查、定期检查中重点关注。

5.1.7 跨海桥梁评定应包括技术状况评定、耐久性评定和适应性评定。

条文说明

桥梁技术状况评定主要依据桥梁初始检查、定期检查技术成果，结合日常巡查和经常检查相关技术资料，必要时开展专项检查，根据检查成果和《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）对桥梁各构件、部件技术状态进行综合评定。桥梁适应性评定主要根据桥梁技术状态确定，专项检查完成后根据检查成果，对桥梁承载能力、通行能力和抗灾能力等进行评定。桥梁耐久性评定主要结合桥梁耐久性检查工作进行。

5.2 初始检查

5.2.1 跨海桥梁建成、加固后应完成桥梁初始检查，建立结构基准状态档案。初始检查宜结合交工验收同时进行，最迟不得超过交付使用后一年。对于特殊设计或结构型式复杂桥梁，可提早介入桥梁建设过程，开展基准状态参数采集工作。

5.2.2 未进行过初始检查的在役跨海桥梁，应根据桥梁历史检查、测试数据，结合定期检查工作，追溯桥梁建成时的初始状态，并形成正式档案。

条文说明

部分运营期桥梁在桥梁通车前未开展初始检查工作，造成桥梁养护期检查

评定和维修加固过程中缺少基准状态,影响正常养护工作的开展。此类桥梁应结合最近一次定期检查工作,结合桥梁建设期、竣工验收及荷载试验资料、初次定期检查成果,对桥梁建成时的缺陷状况、材质状况、关键部构件功能性、桥梁工作状态、缆索体系或体外索索力等进行收集整理,并结合桥梁管养历程和最近一次检查工作对部分可验证参数进行检测验证,最终形成全面、可信的桥梁初始状态。

5.2.3 初始检查应包含下列内容:

- 1 定期检查需测定的项目,并按照《公路桥涵养护规范》的要求设置永久观测点。
- 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及拱上填料厚度等。
- 3 测定桥梁材质强度、混凝土结构的钢筋保护层厚度。
- 4 检查等级为 I 级的桥梁,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。
- 5 有水中基础,养护检查等级为 I、II 级的桥梁,应进行水下检测。
- 6 量测缆索结构的拉索索力及吊杆索力等。
- 7 检测钢管混凝土拱桥钢管内混凝土密实度。
- 8 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。

5.2.4 桥梁改建、加固前,应进行方案设计,并在技术方案设计阶段提出关键状态参数的指标控制范围,使其在改建、加固工程前后具有连续性。

条文说明

桥梁改建、加固工程可能会造成桥梁既有形变观测系统、检查监测测点和测区的破坏、重新布设和调整。在此类工作开展前,应针对受工程影响的观测、监测参数进行系统性梳理,制定专项方案,包括但不限于:工程实施前测试内容,实施过程中监测工作,实施完成后重复测试,工程开展前后数据顺接方式、方法和体系构建等,确保数据连续性。

5.2.5 初始检查应按照相关规范要求,针对不同结构型式,确定检查内容。

5.2.6 初始检查中应根据桥梁服役特征,确定构件分类和耐久性评定单元划分,选取典型部位,进行结构耐久性参数初次采集,建立外观耐久状态和剩余耐

久年限基准状态，完成耐久性评定。

5.2.7 对于新型结构材料，初始检查时根据设计文件、劣化机理和对结构性能的影响，建立其耐久性极限状态。

5.2.8 针对特殊设计部构件，初始检查中应结合桥梁动静载试验、结构监测数据，确定其服役可靠性并形成工作状况和功能状态的基准值。

5.2.9 已安装结构监测系统的桥梁，初始检查中应结合桥梁动静载试验结果，确定结构体系、工作行为、受力性能关键性监测指标基准值。

5.2.10 初始检查后应根据相关规范要求，提交检查评定报告，并形成初始状态档案。

条文说明

初始检查宜委托有相应资质和能力的专业机构来实施。

5.3 日常巡查

5.3.1 跨海桥梁日常巡查包括日巡查和夜巡查。

5.3.2 日常巡查以乘车目测为主，并应做好记录，发现异常应及时上报。

条文说明

日巡查主要以乘车目测方式，对结构显见性异常情况（如：异常振动、异常变形）进行检查；夜巡查主要针对有夜视性要求的附属设置进行巡查（如标志标线、轮廓标、通航标等）

5.3.3 日巡查频率不低于1次/日、夜巡查宜每周开展一次。恶劣天气前后、经历突发事件后、结构监测系统数据异常时，应增加巡查频率。

5.3.4 跨海桥梁日常巡查应现场填写巡查记录表，并及时归档。

条文说明

跨海桥梁日常巡查可由管养单位专业技术人员组织实施。

5.4 经常检查

5.4.1 跨海桥梁经常检查以抵进目测结合辅助工具、设备，对结构规定部位进行全面检查，现场填写桥梁经常检查记录表，并及时归档。

条文说明

跨海桥梁经常检查可由管养单位专业技术人员组织实施，也可委托有相应资质和能力的专业机构来实施。

5.4.2 经常检查应根据结构监测系统数据，对结构异常部位进行重点检查；宜

结合经常检查开展重点病害的动态观测。

5.4.3 跨海桥梁经常检查频率不低于每月一次，在海啸、台风、冰冻、地震等自然灾害频发期应提高经常检查频率。

5.4.4 对符合 5.1.4 条规定的桥梁循环检查周期不宜超过 6 个月，经常检查循环抽检频率可按表 5.4.4-1~表 5.4.4-4 执行，并根据桥梁服役状态动态调整；其他部构件应按规定频率开展检查。

表 5.4.4-1 悬索桥经常检查循环抽检频率

部件	检查项目		技术状况等级		
			1 类	2 类	3 类
主缆体系	缆体	是否有防护层上表面破损，主缆与索鞍 是否有相对滑移	1 次/4 月	1 次/3 月	--
		是否有主缆最低点渗水，主缆索跨过索鞍部分索股钢丝是否有挤扁现象	1 次/2 月	1 次/月	--
		安装有除湿系统的主缆，系统工作是否正常，主缆排气口湿度是否满足要求	4 次/月	4 次/月	--
	缆套	是否有破损、老化、接缝处渗漏水	1 次/4 月	1 次/3 月	--
	索夹	是否有松动和明显的滑移痕迹，填缝是否完好，是否锈蚀	1 次/4 月	1 次/3 月	1 次/2 月
	吊索	是否有异常振动、防护破损、锚头渗水、销轴磨损或卡死	1 次/2 月	1 次/月	1 次/月
	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	1 次/4 月	1 次/3 月	--
	鞍室	是否有密封不严，构件破损	1 次/4 月	1 次/3 月	1 次/2 月
		安装有除湿系统的鞍室，系统工作是否正常，室内空气湿度是否满足设计要求	4 次/月	4 次/月	4 次/月
	锚碇内索股	是否有涂层劣化、破损；索股钢丝锈蚀、断裂	1 次/4 月	1 次/3 月	--
	索股锚固体系	是否有锚杆异常拔动、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	1 次/4 月	1 次/3 月	--
扶手绳及立柱	是否有涂层劣化、破损；绳体锈蚀、断裂；立柱固定扶手绳位置及底部固定连接是否稳固有效，立柱是否歪斜倾倒	1 次/12 月	1 次/6 月	1 次/3 月	
锚碇 (梁)	锚室	是否有积水；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/2 月	1 次/月	--
		是否有目视可见的整体沉降与位移	1 次/12 月	1 次/6 月	--
		安装有除湿系统的锚室，系统工作是否正常，室内空气湿度是否满足设计要求	4 次/月	4 次/月	--

部件	检查项目		技术状况等级		
			1类	2类	3类
室内机电、照明系统	是否有运行不正常的情况		1次/月	1次/月	1次/月
	主梁	焊缝开裂或脱开	1次/3月	1次/2月	--
螺栓松动、脱落或断裂。		1次/3月	1次/2月	---	
构件锈蚀、开裂、局部变形或损伤		1次/3月	1次/3月	--	
钢箱梁内部湿度是否符合要求，除湿设施是否处于正常工作状态		1次/3月	1次/3月	--	

表 5.4.4-2 斜拉桥经常检查循环抽检频率

部件	检查项目		技术状况等级		
			1类	2类	3类
斜拉索	索体及护套	是否有扭曲、异常振动、防护破损、老化	1次/4月	1次/3月	1次/2月
	拉索外置阻尼器	是否有锈蚀、漏油、松动、脱落失效	1次/4月	1次/3月	1次/2月
	拉索下锚头	是否有锈蚀、漏油、渗水、锚头周围混凝土开裂、钢护筒与索套管连接处密封失效	1次/4月	1次/3月	1次/月
	拉索上锚头		1次/6月	1次/4月	1次/月
梁体	钢箱梁内表面、桁梁可视部位	是否有涂层粉化、起泡、脱落、裂纹；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；内部水迹或积水	1次/4月	1次/3月	--
	混凝土箱梁内部	是否有开裂、露筋、钢筋锈胀；箱梁内积水	1次/4月	1次/3月	--
	梁体底面	是否有钢-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	1次/4月	1次/3月	--
	索锚固构造	是否有积水，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	1次/6月	1次/3月	--
	梁内机电、照明系统	是否有运行不正常的情况	1次/4月	1次/3月	1次/2月
桥塔	钢塔体内部	同主梁钢箱梁内表面	1次/4月	1次/2月	--
	混凝土塔体内部	同主梁混凝土箱梁内部	1次/6月	1次/4月	--
	索塔根部	是否有劣化、破损；裂缝、渗水、表面风化或冲刷剥落、露筋、空洞、钢筋锈蚀和防腐涂装脱落（钢塔）；连接是否完好（钢塔）	1次/6月	1次/4月	--

	索锚固构造	是否有钢构件涂层劣化、剥落；结构锈蚀、变形；焊缝裂纹、螺栓松脱断裂；混凝土开裂，破损	1次/6月	1次/4月	--
	塔内检修通道	是否有涂层劣化，结构锈蚀、断裂，构件缺失	1次/6月	1次/4月	--
	塔内机电、照明系统	是否有运行不正常的情况；电梯是否在国家强检有效期内	1次/4月	1次/3月	1次/2月

表 5.4.4-3 梁式桥经常检查循环抽检频率

部件	检查项目	技术状况等级			
		1类	2类	3类	
梁体	钢箱梁内表面、桁梁可视部位	是否有涂层粉化、起泡、脱落、裂纹；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；内部水迹或积水	1次/4月	1次/3月	--
	混凝土箱梁内部	是否有开裂、露筋、钢筋锈胀；箱梁内积水	1次/4月	1次/3月	--
	梁体底面	是否有钢-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	1次/4月	1次/3月	--
	梁内机电、照明系统	是否有运行不正常的情况	1次/4月	1次/3月	1次/2月
支座	支座	是否有串动偏位、支座功能是否正常、支座各组件是否完好	1次/4月	1次/3月	1次/月

表 5.4.4-4 拱桥经常检查循环抽检频率

部件	检查项目	技术状况等级			
		1类	2类	3类	
拱肋	主拱肋外表面可视部位	是否有涂层粉化、起泡、脱落、裂纹；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；	1次/4月	1次/3月	1次/2月
	主拱肋内部	钢管混凝土内部有无脱空或不密实	1次/6月	1次/6月	1次/4月
	横向连接系	节点部位有无异常变形、损伤、脱开	1次/4月	1次/3月	1次/2月
支座	支座	是否有串动偏位、支座功能是否正常、支座各组件是否完好	1次/4月	1次/3月	1次/月
立柱	外表面可视部位	是否有涂层粉化、起泡、脱落、裂纹；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；	1次/4月	1次/3月	1次/2月
	索体及护套	是否有扭曲、异常振动、防护破损、老化	1次/4月	1次/3月	1次/月

部件	检查项目		技术状况等级		
			1类	2类	3类
吊杆及系杆	吊杆下锚头	是否有锈蚀、漏油、渗水、锚头周围混凝土开裂、钢护筒与索套管连接处密封失效	1次/4月	1次/3月	1次/月
	拉索上锚头、系杆锚头		1次/6月	1次/4月	1次/月
桥面板	桥面板梁底	是否有涂层粉化、起泡、脱落、裂纹；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；内部水迹或积水	1次/4月	1次/3月	1次/2月

5.4.5 经常检查中发现桥梁重要部件缺损严重，应及时上报。主要部件技术状况达到3类或更差时，应立即组织开展一次定期检查。

5.4.6 经常检查应按照相关规范要求，结合结构型式、服役环境、损伤特征，确定检查内容、规定检查重点。

5.4.7 跨海桥梁宜结合经常检查工作，开展混凝土和钢结构涂装厚度、外加电流、牺牲阳极阴极保护电位、各类阻尼器工作状态、封闭部位相对湿度测试工作。

5.5 定期检查

5.5.1 跨海桥梁定期检查工作应分为结构定期检查和耐久性定期检查。

条文说明

结构定期检查主要通过接近目测配合仪器对桥梁缺损状况、关键部构件功能性、工作状态进行全面检查，根据检查结果评定桥梁整体技术状态；耐久性定期检查主要针对桥梁外观耐久状态的检查和剩余耐久年限的评估，评定桥梁在特定环境条件下构件耐久性劣化程度，以及其是否满足相关要求。

5.5.2 跨海桥梁定期检查以接近目测结合仪器观测进行，必须接近各构件检查其缺损状况和劣化状态，并现场确定结构工作状态、关键部构件功能性，初步判定其能力状态是否符合规范要求。

条文说明

跨海桥梁结构定期检查宜委托有相应资质和能力的专业机构来实施，耐久性定期检查应委托有相应资质和能力的专业机构来实施。

5.5.3 跨海桥梁结构定期检查应符合下列规定：

- 1 现场校核桥梁基本数据，填写或补充完善“桥梁基本状况卡片”。
- 2 现场填写“桥梁定期检查记录表”，记录各部件技术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 与历次检查报告和监测数据进行对比分析,判断病害成因、发展趋势及其对结构工作性能的影响程度。

5 对定期检查间隔期间结构异常状况进行分析。

6 对难以判断损伤、异常原因以及影响程度桥梁,提出专项检查需求。

7 进行桥梁技术状况评定,提出养护建议和下次检查时间。

8 对损坏严重、危及安全运行的桥梁,提出限制交通、维修加固或改造重建的建议。

5.5.4 跨海桥梁结构耐久性定期检查应符合下列规定:

1 根据桥梁初始检查,结合耐久性指标劣化规律,确定构件类别并划分评定单元。

2 现场填写“桥梁耐久性检查记录表”,记录各抽检部位的外观质量缺陷和外观劣化度。

3 对耐久性相关参数进行现场检测,并进行记录。

4 与历史检查报告数据进行比对分析,分析劣化趋势和速率。

5 对劣化速率突然加快等异常现象,可扩大抽检比例,并提出专项检查需求。

6 进行桥梁耐久性评定,根据评定结果提出养护需求和下次检查时间。

5.5.5 跨海桥梁结构定期检查检查频率应不低于每年一次。对符合 5.1.4 条规定的部件可采用循环抽检方式,循环检查周期不宜超过 3 年,循环抽检的部件与内容宜符合表 5.5.1-1 的规定。

表 5.5.5-1 跨海桥梁定期检查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、上锚头,钢箱梁疲劳细节,钢桁梁节点螺栓状态。
悬索桥	吊杆外观及上锚固端状况,主缆外观及锚固连接构造,索夹螺杆紧固力,钢箱梁疲劳细节,钢桁梁节点螺栓状态。
梁式桥	钢箱梁疲劳细节,钢桁梁节点螺栓状态,变截面混凝土箱梁箱内中上部区域。
拱桥	吊索外观、上锚头。

5.5.6 跨海桥梁结构定期检查应根据相关规范和结构型式,确定检查内容、规定检查重点,开展全面检查和控制检测工作,宜结合结构定期检查工作开展结构

耐久性参数动态采集。

5.5.7 结合跨海桥梁结构定期检查开展的耐久性参数采集项目应根据桥梁材质和环境作用类别确定，检查频率应根据末次耐久性评定结果确定，应符合《公路桥梁耐久性检测评定规程》的有关规定。

5.5.8 跨海桥梁应按照《公路耐久性检测评定规程》的有关规定，开展耐久性定期检查评定工作。检查周期应根据桥梁服役环境和上次耐久性评定等级确定，未进行耐久性检查评定的跨海桥梁应及时开展首次检测评定。

5.5.9 跨海桥梁耐久性检查应包括桥梁主体结构和耐久性附属设施。

5.5.10 结构定期检查后应提交定期检查报告，并包括下列内容：

1 桥梁基本状况卡片、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 总体照片应包括桥面正面，上游侧立面和下游侧立面三张。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、维修情况进行对比分析，说明病害发展情况。

5 桥梁技术状况等级。

6 提出养护建议及下次检查时间。

5.5.11 耐久性定期检查后应提交检查报告，并包括下列内容：

1 桥梁基本状况卡片、桥梁耐久性等级评定表。

2 耐久性检查的抽检范围、内容和依据，构件类别和评定单元划分情况。

3 外观质量缺陷和劣化度典型病害照片、文字说明，说明缺陷部位、类型、性质、范围、数量和程度，并进行外观耐久状态评定。

4 构件剩余耐久年限评定中极限状态选取依据，构件剩余耐久年限计算方法和评定结果。

5 判断劣化趋势和速度，并与历次检查结果进行比对分析。

6 桥梁耐久性评定结论及处置要求，确定下一次耐久性检查和评定时间。

5.6 专项检查

5.6.1 跨海桥梁专项检查应根据桥梁异常情况、病害状况和性质，采用仪器设备进行现场测试和其他辅助试验，并根据检查成果确定对结构工作性能的影响程

度，进行桥梁安全和适应性评定，形成评定结论，提出措施建议。

5.6.2 专项检查是在特定情况下对桥梁特定构件采取的专门检查评定工作，跨海桥梁的专项检查除按照《公路桥涵养护规范》的有关规定开展之外，下列情况也应作专项检查：

1 桥梁工作状况异常或突发事件发生后，且难以判断成因或对结构工作性能影响程度时。

2 缆索结构等关键部件应定期开展专项检查，检查周期不宜超过6年。检查内容包括索夹螺栓紧固力测试、吊杆锚头检查、主缆开窗检查等。

条文说明

跨海桥梁缆索结构专项检查可参照《公路缆索结构体系桥梁养护技术规范》相关要求执行。

3 海床冲刷、水中基础应定期开展水下检查，检查周期不宜超过3年。

4 跨海桥梁所处的自然环境、腐蚀环境，桥梁与环境的相互作用和影响情况应定期开展专项检查，检查周期不宜超过6年。

5.6.3 实施专项检查前，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。

5.6.4 跨海桥梁专项检查除按照《公路桥涵养护规范》规定的内容外，还可包括下列一项或多项内容：

1 易损部件和关键受力部件的功能状况。

2 水中墩台身、基础周边冲刷、淤积情况的检查。

3 材料防护与自身腐蚀、退化情况。

4 D类结构部件的使用状况、病害状况和剩余寿命。

5 跨海桥梁所处自然环境、腐蚀环境的评估。

5.6.5 实施专项检查前，应确定检查方法和评估体系，对尚未颁布检测规程的方法应进行论证后方可专项使用。

5.6.6 工作状况异常或异常事件发生后，除应及时进行专项检查外，还宜根据实际情况进行延续一段时间的检查与监测。

条文说明

跨海桥梁专项检查应委托有相应资质和能力的专业机构来实施。

5.6.7 专项检查后应提交符合《公路桥涵养护规范》规定的检查报告。

5.7 桥梁评定

5.7.1 跨海桥梁评定分为技术状况评定、耐久性评定和适应性评定。

5.7.2 技术状况评定

1 桥梁技术状况评定应依据桥梁初始检查、定期检查资料，通过对桥梁各部件技术状况的综合评定，确定桥梁的技术状况等级，提出养护措施。

2 跨海桥梁技术状况评定应根据结构型式、服役特征，分别划分评定单元进行评定，并以评定单元中技术状况最差作为全桥评定结果。

3 在进行主梁、斜拉索、吊索评定时，应考虑考虑阻尼器的工作状态和功能状况。

条文说明

跨海桥梁所处风环境较为复杂，部分桥梁主梁和拉索结构安装阻尼装置以提高其抗风性能。如：主梁调谐质量阻尼器（TMD），拉索粘性剪切阻尼器（VSD）、杠杆质量阻尼器（LMD）、油阻尼器（OD）和磁流变阻尼器（MRD），以及内置橡胶减振圈等。在进行此类部构件检查、评定时，应关注阻尼装置工作状态是否正常，有无松脱、失效，主梁和拉索结构有无异常振动等。

4 跨海桥梁技术状况评定时，一般结构类型的主桥或引桥执行《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）的有关规定，评定过程中宜在《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）考虑附属设施技术状态的影响，可参照表 5.7.2-1 进行取值。

表 5.7.2-1 结构组成权重表

结构型式	桥梁部位	权重
斜拉桥、悬索桥	上部结构	0.45
	下部结构	0.27
	桥面系	0.18
	附属设施	0.10
梁式桥	上部结构	0.40
	下部结构	0.32
	桥面系	0.18
	附属设施	0.10
拱桥	上部结构	0.36
	下部结构	0.36
	桥面系	0.18
	附属设施	0.10

5 附属设施部件权重宜按表 5.7.2-2 取值。

表 5.7.2-2 附属设施各部件权重值

部位	类别 (i)	评价部件	权重
附属设施	1	检修通道	0.05
	2	供配电系统及照明设施	0.05
	3	除湿设施	0.10
	4	阴极保护系统	0.20
	5	避雷装置	0.10
	6	防撞设施	0.15
	7	塔梁阻尼器	0.25
	8	其他	0.10

6 附属设施部件评定标准见表 5.7.2-3-5.7.2-9。

表 5.7.2-3 检修通道评定标准

标度		评定标准
检修通道	1	检修通道状态良好、运行正常，可满足各类检查和养护工作需求。
	2	检查道可满足各类检查和养护工作需求、运行正常，与结构连接可靠，局部存在轻微涂层脱落、锈蚀、轻微变形等轻微病害；
	3	检查通道存在大面积涂层脱落、锈蚀、异常变形和振动等，与结构连接部位存在部分连接件失效，但不影响安全使用；或检查桁车行走、伸缩、升降、跨越能力存在一项失效，但不影响安全使用；或设置检修道，但部分关键部位无法达到、设置不合理，不便于检查、养护工作开展。
	4	检查通道存在严重锈蚀、连接部位失效，已影响安全使用；检修道严重变形和异常变形；检查桁车两项及以上功能失效；检修通道应设未设。

表 5.7.2-4 供配电系统

标度		评定标准
供配电系统	1	供配电系统完整清洁，运行正常，且满足目前检查维护需求。
	2	供配电系统运行正常，满足目前检查维护需求，局部存在污损或接头烧伤、过热痕迹。
	3	供配电系统可以满足目前检查维护需要，但检查周期内存在异常运行现象或大面积发现接头烧伤、过热痕迹。
	4	供配电系统不能满足目前检查维护需求，需及时进行改造。

表 5.7.2-5 除湿设施

标度		评定标准
除湿设施	1	除湿系统外观整洁，运行正常，除湿效果满足要求
	2	除湿系统运行基本正常、除湿效果满足要求；外观存在轻微污损，或检查周期内存在短暂停机情况。
	3	除湿系统运行异常，除湿效果不满足要求，但尚未造成结构材质加速腐蚀现象
	4	除湿系统运行异常，除湿效果不满足要求，已造成结构材质加速腐蚀现象

表 5.7.2-6 阴极保护系统

标度		评定标准
外加 电流	1	保护电位评定等级为 1
	2	保护电位评定等级为 2
	3	保护电位评定等级为 3
	4	阴极保护系统能力丧失

表 5.7.2-7 避雷装置

标度		评定标准
避雷 装置	1	避雷装置设置满足规范要求，状态完好；电气连续性完好，接地电阻满足要求。
	2	避雷装置设置满足规范要求，接地电阻满足要求，接闪器、杆塔或引下线存在轻微锈蚀，但未影响电器连续性。
	3	--
	4	避雷装置设置不满足规范要求，或接地电阻不满足要求，电器连续性不能保证。

表 5.7.2-8 防撞设施

标度		评定标准
防撞 设施	1	防撞设施能力满足要求，设施状态完好
	2	防撞设施能力满足要求，设施局部存在锈蚀、剥离、凹坑、掉角、破损、老化等轻微病害，不影响防撞能力
	3	--
	4	防撞设施能力不满足要求，或病害较为严重，已造成防撞性能等级下降。

表 5.7.2-9 塔梁阻尼器

标度		评定标准
抗震 设施	1	塔梁阻尼器完整、清洁；与结构连接可靠；工作正常；结构抗震性能和振动幅度满足现行规范要求。
	2	塔梁阻尼器连接件存在涂层起皮脱落、轻微漏油，但不影响阻尼器正常工作；阻尼器与结构连接可靠，个别位置连接锚栓存在锈蚀、断裂或松动；结构抗震性能和振动幅度满足现行规范要求。
	3	塔梁阻尼器连接件存在大面积涂层起皮脱落锈蚀、严重漏油，其阻尼耗能作用或变形能力降低，但不影响结构体系受力，结构抗震性能和振动幅度仍可满足现行规范要求；连接锚栓存在锈蚀、断裂或松动，已影响其连接可靠性；
	4	塔梁阻尼器阻尼耗能作用或变形能力严重降低，或存在卡死现象改变结构体系受力；结构抗震性能和振动幅度不能满足现行规范要求。

5.7.3 适应性评定

1 对桥梁的外部环境、承载能力、通行能力、抗灾能力应进行周期性地评定。承载能力和通行能力的评定周期一般为 5~10 年，抗灾能力的评定周期应由管理、养护单位根据具体情况综合确定。

2 适应性评定工作一般与桥梁的初始检查、经常检查、定期检查、专项检查相结合进行。

3 适应性评定按照《公路桥涵养护规范》的规定开展。

4 在承载能力评定过程中，应重视缆索、钢箱梁、梁端钢锚箱、塔端钢锚箱等关键受力部位和连接部位的疲劳性能评定。

条文说明

评定时应采用实测应力时程曲线，采用可靠的方法换算为有效应力变化范围，可合理参考国内外广泛使用的规范或研究成果进行评估。

5 对适应性不满足要求的桥梁，应采取提高承载力、恢复耐久性、加宽、加长、结构防护等改造措施，情况严重时需要对桥梁进行改建或重建。

条文说明

对桥梁的承载能力、通行能力应周期性地评定。跨海桥梁的适应性评定技术要求很高，对检测要求也比较高，尤其是其中的承载能力评定。因此，本标准中规定桥梁的适应性评定与专项检查相结合，即在专项检查后对桥梁的适应性进行评定。同时由于我国交通量和交通荷载特点处于快速变化过程中，因此应每隔几年就需要进行一次适应性评定。

跨海桥梁的适应性评定主要包括：承载能力评定、通行能力评定和抗灾能力检定。

跨海桥梁的承载能力评定，采用交通部的《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21-2001)，本标准中不再写入具体的承载能力评定方法。

5.7.4 耐久性评定

1 跨海桥梁耐久性评定应包括外观耐久状态评定和剩余使用年限评定。当构件有表面防护涂层或阴极保护等措施时，应根据耐久性检测结果对其进行评定。

2 外观耐久状态评定应包括外观缺陷评定和外观劣化度评定，并以两者中最差等级作为外观耐久评定等级。

3 外观耐久状态评定等级应以评定单元中数量 2/3 及以上构件评定等级为准。当各评定等级构件数量均不足 2/3 时，应重新划分评定单元。

4 剩余使用年限评定时应根据环境作用类别和等级确定耐久性极限状态，采用极限状态法进行评估。钢筋耐久性极限状态应按保护层失去对钢筋的保护性能确定，拉索耐久性极限状态应按索（杆）体失去防护确定。

5 当评定单元中不同检测构件剩余耐久年限不一致时，应按置信区间形式进行评价，并以下限值作为评价依据。

6 构件外观耐久状态等级评定和剩余使用年限评定应符合《公路耐久性检测评定规程》的有关规定，并根据评价结果确定构件耐久性等级。

5.7.5 结构监测系统辅助桥梁评定

1 结构监测系统应作为桥梁检查监测体系的重要组成部分，辅助开展桥梁检查评定工作。

条文说明

例行检查方案阶段，应根据检查间隔期间工作异常工作状态、突发事件等，规定检查内容、明确检查重点。如拉索索力异常时要根据监测数据将异常拉索和临近拉索作为检查重点，分析其原因；桥梁发生异常振动后，应结合监测数据，确定现场检查 and 应急处置的重点部位和关键环节。桥梁评定过程中应充分利用监测数据中桥梁变位等相关数据，对桥梁工作状况和部构件功能性进行评价。

2 桥梁结构监测应结合各类检查对桥梁结构安全与运营状态定期作出明确意见，如发现结构异常应确定下阶段检查重点。每季度可为1次，并宜于每年末进行一次汇总分析。

3 桥梁结构出现异常或突发事件发生后，应及时对事件过程监测数据进行提取和分析，供应急处置过程的分析和处置对策制定使用。

4 结构监测系统应根据结构服役环境变化、损伤特点和分布情况、异常状况和突发事件等，进行动态调整和更新。可根据桥梁管养需求或根据周期性养护手册/规划调整同步进行。

5.8 安全与风险评估

结合跨海桥梁的结构特点和病害特点，提出桥梁结构安全风险评估的一般规定，包括风险源的调查与识别、重大风险源的确定，安全风险评定内容、方法、标准、结果，与前次评估结果的对比分析等。

5.8.1 跨海桥梁运营期安全与风险评估应基于桥梁工程结构特点，根据桥梁所在路网体系地位、地方经济发展水平、社会影响和地域环境等，评估桥梁风险承

受能力、人员伤亡、财产损失、工程结构损毁、环境破坏、交通阻断延误、工程经济损失等风险后果。

5.8.2 运营期的跨海桥梁，按照可能发生的突发风险事件，应划分安全风险等级。根据突发风险事件可能造成的社会影响性、危害程度、紧急程度、发展态势和可控性等情况，安全风险等级分为Ⅰ级（一般）、Ⅱ级（较严重）、Ⅲ级（严重）、Ⅳ级（特别严重）。

5.8.3 跨海桥梁正常运营1年内应进行桥梁安全风险辨识、总体风险评估和风险控制方案工作，并在技术状况评定和适应性评定的基础上进行动态调整，评估周期宜不超过5年。

5.8.4 跨海桥梁总体风险评估等级为Ⅲ级（严重）及以上的养护施工作业活动（或运营、养护区段），应开展专项风险评估。

5.8.5 跨海桥梁风险评估前应制订评估计划和目标，明确相关人员及组织机构，收集基本资料，确定风险评估重点对象、风险等级标准和接受准则，提出风险识别和评价办法等。

5.8.6 跨海桥梁风险识别应确定风险的来源并分类，建立适合的风险指标体系。风险识别应提出风险指标体系和风险清单等成果。

5.8.7 跨海桥梁运营安全风险评估，应建立合理、通用、简洁和可操作的风险评价模型。

5.8.8 跨海桥梁安全风险评估可由管养单位自行或委托有经验的单位实施。

6 桥梁监测

6.1 一般规定

6.1.1 本章规定主要适用于海洋环境条件下运营桥梁。

条文说明

《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》已对桥梁结构监测系统总体设计、监测内容与测点设计，传感器，数据分析与安全预警等做了规定，本规范是对海洋环境条件下桥梁结构监测系统的建设做补充和完善，本规范未说明的内容按《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》执行。

6.1.2 新建跨海桥梁应建设结构监测系统，服役跨海桥梁应视情况建设结构监测系统，以辅助桥梁安全风险防控和养护管理。

条文说明

服役跨海桥梁已建设结构监测系统，但不能满足桥梁安全风险防控和养护管理需求，宜改造升级现有结构监测系统；服役跨海桥梁无结构监测系统，桥梁安全风险防控和养护管理有需求，宜建设结构监测系统。

6.1.3 桥梁监测系统的建设目的：

- 1 对运营桥梁的状态做出客观的评估，为管理维护决策提供依据；
- 2 报告大桥主要部件的应力及变形状况，获得疲劳等无法采用一般检测手段获得的结构信息；
- 3 提供分析桥梁结构性能衰减模型的长期监测数据，为跨海大桥寿命预测、全寿命设计等提供重要基础；
- 4 确定结构构件性能变化趋势和剩余使用寿命，为制定桥梁结构预防养护计划提供参考；

5 评估结构安全状况和耐久性状态，为制定桥梁修复养护计划提供参考；

6 评估需改造桥梁结构的安全状况，为制定桥梁专项养护计划提供参考；

条文说明

改造桥梁主要是为了满足3种情况：（1）满足国家、行业规范新的标准和要求；（2）增设、完善构件或设施，以提升通行服务功能的需求；（3）改变桥梁整体或局部的结构形式以恢复或提升承载能力。

7 即时评估特大事故桥梁的安全状况，为灾害防治与应急养护计划提供依

据。

条文说明

特大事故主要指桥梁遭受地震、台风、船撞等威胁桥梁安全的事件。

6.1.4 桥梁监测系统的总体功能：

- 1 报告桥梁监测系统自身状态；
- 2 报告大桥工作环境和荷载变化；
- 3 记录台风、地震和船撞等异常荷载事故；
- 4 辅助养护检查、检查结果分析；
- 5 为大桥运营和维修提供信息，对桥梁养护计划提供支持。

6.1.5 桥梁监测系统的总体技术要求：

- 1 具有良好的可靠性、开放性、扩展性和人性化；
- 2 传感器的选型、布置等应尽可能使系统可区分各种不同荷载引起的响应；
- 3 应与养护管理系统实现数据互换、信息共享和协同互补；
- 4 传感器及数据采集和传输设备应具有可维修性或可更换性；
- 5 桥梁监测系统应定期进行维护，以保证系统正常运行；
- 6 桥梁监测系统应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。

6.2 桥梁监测系统总体设计

6.2.1 跨海桥梁结构监测系统应根据桥梁结构型式、服役特征，对桥梁动静力状态、工作状况和运营安全状态进行动态监测。宜包含设计、建造过程中的薄弱环节、新型结构、新材料、新技术、特殊设计的服役可靠性相关参数，并考虑突发事件应急处置需要。

6.2.2 桥梁监测系统应主要包括主：传感器子系统、数据采集与传输子系统、数据处理与控制子系统、数据管理与预警子系统、结构状态识别分析子系统、结构安全综合评估子系统。

6.2.3 结构安全综合评估子系统主要评估结构安全性能及变化趋势、评估结构耐久性能、评估结构抗力变化趋势等。

6.3 监测内容与测点选择

6.3.1 监测内容应主要反应桥梁真实工作环境条件和结构响应。

6.3.2 监测参数包括五类：

1 外部荷载参数：风荷载、温度荷载、雪荷载、交通荷载、地震荷载、船撞等；

2 环境条件参数：PH 值、湿度、温度、大气压、水压等；

3 结构特性参数：静态影响系数、整体动态特性等；

4 结构安全响应参数：几何线形、索力、应力、应变等；

5 结构耐久性响应参数：腐蚀、裂缝、碳化深度等。

6.3.3 涉及腐蚀和碳化监测的测点宜选择潮差区和飞溅区范围。

6.4 数据传输与管理

6.4.1 数据管理模式应符合大数据平台的标准和要求，可为国家相关大数据平台提供通用接口数据。

条文说明

监测系统的数据传输与管理可按《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》执行，但是目前大数据分析快速发展，在很多领域应用并发挥作用，针对这一发展趋势对监测系统的数据管理格式提出规定，为云端大数据应用提供基础。

6.5 数据分析、预警与状态评估

6.5.1 应变时程数据分析应包括平均值、最大值、最小值、应力幅最大值和循环次数等；钢结构宜根据雨流计数法和 Miner 线性损伤理论计算疲劳损伤指数及其变化规律，宜预测腐蚀损伤指数的发展趋势。

6.5.2 腐蚀数据分析宜包括腐蚀程度、腐蚀进程、氯离子浓度及其在构件内的浓度梯度，宜预测腐蚀程度的发展趋势。

6.5.3 裂缝数据分析宜包括裂缝长度和宽度的最大值、位置、裂纹长度和宽度特征参数变化规律，宜预测裂缝特征参数的发展趋势。

6.5.4 桥墩冲刷监测数据分析宜包括冲刷深度最大值及其变化规律、各等级流速和流向统计值、冲刷深度与流速的相关性，并宜预测冲刷深度的发展趋势。

6.5.5 混凝土碳化深度监测数据分析宜包括碳化深度最大值及其变化规律，并宜预测碳化深度的发展趋势。

6.5.6 跨海桥梁的预警宜为初级预警和结构性预警两级。

条文说明

初级预警设置在数据采集单元内。当发现预处理结果超出额定警戒值后，初级预警程序应能自动检测本数据采集单元内与该传感器相关的参数和其它传感器

的输出, 进行超值预警判别; 与此同时, 该数据采集单元向系统控制中心发出数据优先传输与处理申请, 以便作进一步处理。

结构性预警设置在控制中心内的桥梁评价系统内。根据多级损伤与预警策略, 首先要求对桥梁整体性及某些预置参数进行实时监测和在线评估, 延时不超过一小时。当发现监测参数的量值超过额定警戒值后, 结构性预警应能自动启动, 从动态数据库或原始数据库中调入相关数据, 进行构件损伤评估分析, 以进一步确定损伤的位置和程度, 并根据系统预置值, 决定是否需要进行现场专项检查或交通控制。

6.6 系统使用与维护

6.6.1 管理单位应制定系统运行维护管理制度, 配备系统固定专业管理人员, 按时检查系统运行情况, 定期备份监测数据。

6.6.2 管理单位应组织编制系统维护计划, 包含备品备件清单、数据分析及状态评估计划、应急措施。

6.6.3 系统实施单位应编制系统使用手册, 对管理单位的相关人员进行集中培训, 使其掌握系统的一般操作, 能及时处理一般性故障问题。

6.6.4 桥梁监测系统的软件、传感器、采集与传输设备维护应由专业维护人员完成。

6.6.5 系统应定期进行检查和维护, 及时维修或更换故障设备, 建立设备维护台账, 使系统保持良好的运行状态。

6.6.6 应定期核查监测数据、做好记录, 确保监测数据的有效性和可用性。

6.6.7 桥梁监测系统软件应定期进行更新升级, 以保证匹配相关配套软件的更新升级, 保证系统功能正常运行。

6.6.8 传感器及数据采集和传输设备应考虑海洋环境下的防腐保护措施。

6.6.9 系统日常维护以满足下列规定:

1 宜每天对监控中心的监测设备进行运行状态检查, 确保服务器、工控机等的工作;

2 宜每天对软件进行运行状态检查, 确保软件系统的正常工作;

3 应每天对监测预警数据进行检查, 保证结构的安全威胁及时发现或传感器故障及时发现;

4 对检查中发现的问题, 应进行及时处置或通知第三方专业维护单位进行处

置，并对处置结果进行记录。

6.6.10 系统定期维护应满足下列规定：

1 宜对监测传感器、采集器等的表观完好性进行全面检查，对设备及防护罩的固定情况、以及传感器、采集器与传输线路的接头紧固情况进行检查；

2 宜对传感器、采集设备的防腐保护措施进行全面检查；

3 宜对现场采集站、监控中心内等易受灰尘影响的设备及机柜进行除尘处理，确保设备处于相对清洁的工作环境；

4 对维护中发现的问题应及时进行处置，确保系统的正常运行。

6.6.11 系统应急维护应满足下列规定：

1 针对系统可能遇到的应急事件，应制定应急维护措施；

2 对于断电应急事件应配备备用电源，应制定断电应急事件操作规程；

3 对于软件崩溃应急事件应备份软件，应制定备份软件操作规程；

4 对于软件功能异常应急事件应制定功能恢复处理制度；

5 对于软件数据异常应急事件应制定数据异常处理制度。

6.6.12 系统专项维护规定应与系统定期维护规定一致。

条文说明

系统专项维护是为了保证系统为桥梁专项养护提供可靠数据和桥梁专项养护工程实施是否影响系统可靠性而对系统进行全面检测的维护工作，因此与定期维护目的一致，只是维护的时间不一致，因此应与系统定期维护规定一致，这里不再重复。

7 养护工程设计

7.1 一般规定

结合养护工程分类,提出了跨海桥梁养护设计的一般规定,主要内容和基本要求。

7.1.1 跨海桥梁养护工程设计分为预防养护设计、修复养护设计、专项养护设计和应急养护设计。

7.1.2 跨海桥梁养护工程设计应遵循因地制宜、安全耐久、经济合理、绿色环保、方便实施的基本原则,应重视经济技术方案的优化比选,充分考虑各方案的社会效益和经济效益。

7.1.3 跨海桥梁养护工程方案设计应以定期检查与评定、专项检查与评估等为基础依据,结合项目所处的自然环境、地理位置、技术现状、实施条件、全寿命周期技术经济分析等,经过论证后选定设计方案。针对不同病害及其特点进行分段、分类设计,根据工程病害发展情况进行必要的动态设计。重大养护设计方案应充分考虑原桥的设计、施工方案。

7.1.4 跨海桥梁养护工程设计应综合考虑养护工程类别、结构形式、病害类型与严重程度、病害处治设计复杂程度、专项检测难度与工作量、交通组织复杂程度等因素开展针对性的设计,实现养护工程的精细化设计。

条文说明

跨海桥梁养护工程设计的基本依据是对原有桥梁工程技术状况的检测和评价,在养护工程设计前,要根据养护工程目标和工程特点开展有针对性的编制试验检测方案并开展分析评价工作。目前多依据《公路技术状况评定标准 JTG5210》和《公路桥梁技术状况评定标准 JTG/T H21》进行检测评价,但这两个标准较适应于养护决策的检测评价,对于项目级的养护工程设计适用性较差,因此本规范有针对性的提出了分段、分类开展养护设计、动态设计和精细化设计的要求。

7.1.5 跨海桥梁养护工程设计标准应不低于原设计标准;新增构件、机电设施与涉及工程安全和交通安全的部分,应按现行标准执行。各专业设计还应遵循下列规定:

1 跨海桥梁养护工程设计所采用的公路技术等级、设计速度、标准横断面等

主要技术标准应不低于原标准。

2 跨海桥梁养护工程相关设施不得侵入公路建筑限界范围。

3 跨海桥梁养护工程的设计使用年限应根据工程类别、专业工程特点、交通量、桥梁技术状况、原设计使用年限等综合确定。

4 超过 1km 的交通安全设施更换和改造设计宜采用现行标准。

5 环境保护设施与绿化工程提升设计宜采用现行设计标准。

6 机电设施升级改造与增设宜按照现行设计标准。

条文说明

在不涉及改变结构的情况下，综合养护工程的经济性、可靠性、社会影响等，维持公路原设计标准较为合理。考虑到跨海桥梁在允许条件下采用新的技术标准更加适应行业发展水平，因此本条文做了不低于公路原设计标准的规定，为设计者提供了设计标准选择的空间。考虑到工程安全和交通安全影响到人民群众的生命和财产安全，因此本规范对于涉及工程安全和交通安全的新增结构和不同专业的设计标准做出了差异化的规定，要求按现行标准执行。

7.1.6 养护工程设计阶段划分应遵循下列规定：

1 预防养护工程设计一般采用一阶段施工图设计。

2 技术简单、方案明确的修复养护工程设计可采用一阶段施工图设计，技术复杂的修复养护工程设计可采用方案设计和施工图设计两阶段设计。

3 应急养护工程设计可采用一阶段方案设计。

4 养护工程设计中涉及改变桥梁气动外形、结构体系、连接方式、应用新材料等情况时，可增加技术方案设计。

条文说明

养护工程设计根据养护工程类型、公路等级、结构物复杂程度以及对原结构影响和改变等的不同分为一阶段设计、两阶段设计，建议在涉及改变桥梁气动外形、结构体系（主要包括改变结构外部联系、改变构件内部连接方法、改变结构刚度匹配等情况）、新材料应用、连接方式等情况时，可增加技术方案设计。从调研情况看，各等级公路的预防养护和技术简单、方案明确的修复养护一般多采用一阶段施工图设计，技术复杂的修复养护工程多采用两阶段设计。为确保养护工程设计深度和质量，本条文结合调研情况对养护设计阶段进行了明确。应急养

护主要为应急抢通、保通、抢修工程,采用一阶段方案设计(等同于《公路养护工程管理办法》中的技术方案)重在加快应急工程的组织实施。

7.1.7 跨海桥梁养护工程设计应同步开展交通组织设计,保障养护工程实施期间的交通通行和施工作业区安全。

条文说明

交通组织和作业安全作为公路养护工程特有的工作内容,其对于公路养护工程实施期间的交通运营保障和施工期安全具有非常重要的意义,特别针对跨海大桥,安全问题尤为突出。因此本规范将该项工作纳入养护专项设计内容并要求开展针对性的方案设计。

7.1.8 跨海桥梁的养护工程设计应从中长期的角度充分考虑设计的整体性和系统性,在保证工程可靠度的情况下,鼓励采用新技术、新材料、新设备、新工艺,并对技术要求、材料性能、主要施工工艺、质量验收标准等作出相应的规定。

条文说明

养护工程设计所使用的养护材料技术要求、工艺要求及相关设计指标,是保证养护工程施工质量的重要参数。跨海大桥有条件进行四新技术的尝试和应用,但建议在前期进行工程可靠性验证,在养护工程设计阶段明确相关技术要求,以免造成养护工程的实施效果不佳,因此本规范要求四新技术应用时,在设计文件中进行详细说明。

7.1.9 跨海桥梁养护工程设计除应符合本规范规定外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定,各类规范中未明确规定时,可结合实际情况进行设计。

7.2 预防养护设计

7.2.1 预防养护应以延缓性能过快衰减或延长使用寿命为设计目标。

7.2.2 跨海桥梁的预防养护设计主要针对构件的周期性预防处治和基于技术状况的预防处治,还包括对于接近或达到使用寿命的构件进行的延寿设计,对于耐久性不能满足原设计要求而进行的耐久性恢复或提升的延寿设计。

7.2.3 跨海桥梁应通过检测、长期监测、现场暴露试验、理论分析等多种方式研究多因素影响下桥梁性能特别是耐久性的劣化规律。

7.2.4 当跨海桥梁的劣化加速时,应及时开展预防性养护方案设计。

7.2.5 预防养护设计应符合下列要求:

1 预防养护设计应以现场调查和必要的专项检测为依据，科学合理的制定病害预防处治方案。

2 预防养护设计不得改变原桥构件的受力性能、使用功能。

3 预防养护设计应便于快速实施。

7.2.6 预防性养护的方案选择

1 预防性养护方案选择前应对桥涵的技术状况及病害进行全面的调查和检测。

2 预防性养护方案选择应考虑桥涵状况、桥梁结构类型、通车年限、交通量、交通组成、技术成熟度、施工影响、养护资金等，通过综合评定选择最佳的预防性养护方案。

3 预防养护方案设计宜进行费用-效益分析。

7.3 修复养护设计

7.3.1 修复养护应以功能性、结构性修复和耐久性恢复为设计目标。

7.3.2 跨海桥梁的修复养护设计主要针对为恢复技术状况而进行的功能性、结构性修复，桥梁定期的维修、维护，桥梁易损构件的更换和桥梁耐久性再设计等工作。

条文说明

跨海桥梁耐久性是影响桥梁设计寿命实现的重要因素，随着社会经济的发展 and 运营年限的增加，跨海桥梁的交通量和自然环境都会发生明显的变化，桥梁耐久性防护措施也需要根据实际情况进行调整，因此对于跨海桥梁的耐久性问题，本规范特别加以提出和重视，建议采取全程监测、动态评估、主动养护和耐久性再设计的养护理念，实事求是的采取有针对性的养护措施，为实现甚至延长跨海桥梁的设计寿命保驾护航。

7.3.3 跨海桥梁修复养护设计应符合相关国家标准、规范、规程的要求。

7.3.4 当跨海桥梁病害成因复杂或现有的检测技术无法做出准确检查时，修复养护设计应采取动态设计。

7.3.5 跨海桥梁修复设计应充分考虑结构现状、修复措施对原结构的影响。

7.3.6 交安、机电设施、绿化等修复设计按照相关规范执行。

7.4 专项养护设计

专项养护设计包括以恢复、保持或提升跨海桥梁服务功能为设计目标，主要

内容和要求参照其它类型的养护设计执行。

条文说明

《公路养护工程管理办法》中的专项养护包括了完善增设、加固改造、拆除重建、灾后恢复等工程，工程对象和内容包含了预防养护、修复养护、应急养护的内容，因此本规范未对专项养护设计作出具体规定，其设计一般参照其它类型的养护设计执行。

7.5 应急养护设计

7.5.1 应急养护以保障桥梁结构使用安全，较快恢复公路安全通行能力为设计目标。

7.5.2 跨海桥梁的应急养护设计主要包括对自然灾害或其他突发事件造成的障碍物的清理；突发损毁的抢通、保通、抢修；突发的经判定可能危及桥梁通行安全的重大风险的处治。

7.5.3 跨海桥梁应急养护设计应遵循以下原则：

- 1 抢通、保通与抢修相结合的原则；
- 2 临时处治设计兼顾永久性处治设计的原则；
- 3 应急养护设计应以方便、快捷为原则，提倡采用制式器材，无条件时可采用就便器材，便于应急养护的快速实施；

7.5.4 跨海桥梁应急养护设计前的应按相关规范和设计需求开展专项检查。

7.5.5 跨海桥梁应急养护设计应符合下列要求：

- 1 制定应急处治措施时应充分考虑施工可行性。
- 2 应充分考虑应急处治期间可能存在的安全风险，针对性提出安全监测及应急预案的相关要求。
- 3 应急养护可按照技术方案设计，便于快速组织实施；
- 4 评估二次灾害的风险并提供预防措施，做好养护安全作业方案设计，保障养护作业安全；
- 5 质量控制要求及验收指标可参照修复养护相关要求。

8 养护维修

本章按照养护工程分类办法分节编写，包括预防养护、修复养护、专项养护和应急养护，本章不涉及日常养护的内容。

8.1 一般规定

规定桥梁维修养护的指导思想、工作范围、技术要求和质量要求等内容。

8.1.1 跨海桥梁应按照《公路桥涵养护规范》（JTG H11）的有关规定开展养护维修工作，预防为主，防治结合。

8.1.2 跨海桥梁养护应满足下列要求：

- 1 桥梁外观整洁。
- 2 桥面铺装坚实平整，纵、横坡适度，桥头衔接平顺。
- 3 结构无损坏，无异常变形，稳定性良好，耐久性良好。
- 4 桥梁各构件、交通管理标志及附属设施等状态完好、功能正常、布置合理。
- 5 用于观测、检查和维修的通道或设施完好、齐全。
- 6 基础无冲蚀。
- 7 各类养护系统正常工作。

条文说明

跨海桥梁养护规定中，增加了对桥梁耐久性、检修通道和各类养护系统正常工作的基本要求。

8.1.3 跨海桥梁养护应在安全可靠、技术先进、保障通行的前提下，优先选择全寿命周期内成本最优的养护维修方案，经济合理、科学可靠的保证桥梁及其设施经常处于完好状态。

8.1.4 跨海桥梁在养护维修过程中应做好原始记录，不断充实和完善桥梁维修养护档案，为桥梁维护和安全评估提供依据。

条文说明

跨海桥梁养护维护和病害整治要有计划、有准备。技术上要落到实处，不断采用新技术、新工艺，实现养护的高标准、高质量、高效率。

8.1.5 跨海桥梁养护维修作业应按照《公路养护安全作业规程》（JTG H30）的有关规定安全作业，同时应注意保障车辆、行人的安全通行及环境保护。

8.1.6 跨海桥梁养护过程中应不断完善应急预警体系，研究制定灾害防治与应急养护措施。

8.1.7 跨海桥梁养护过程中应重视环境保护、环境补偿及环境综合治理。

8.2 预防养护

规定桥梁预防养护的目的、触发条件、主要养护内容等。

8.2.1 预防养护应实现以下目标

- 1 维持桥梁良好的使用功能，延缓桥梁使用性能的衰减，防止桥梁病害出现或病害进一步发展；
- 2 延长桥梁使用寿命，减少或延迟桥梁修复养护或专项养护工作的开展；
- 3 优化养护资金投入，争取在桥梁全寿命周期内养护总费用最低。

条文说明

在跨海桥梁养护过程中全面推行预防性养护，可从以下几个方面着手：

(1) 要全面加强桥梁检测评定等基础性工作，定期开展桥梁技术状况调查，不断完善、更新数据库，及时掌握桥梁的使用状况。

(2) 要充分应用计算机技术，开发建立适合实际情况的桥梁管理评价信息平台，科学分析跨海桥梁技术状况的衰减规律，分轻重缓急，科学制定预防性养护计划。

(3) 管理单位要加大预防性养护的投入，保证预防性养护的时效性，避免因资金不到位，错过了养护最佳时机。积极推广应用预防性养护的新设备、新技术和新工艺，逐步实现检测自动化、分析数字化、管理信息化、决策科学化。

8.2.2 跨海桥梁预防养护应按照《公路桥梁预防养护技术规范》的有关规定和 workflow 开展，主要包括前期调查与检测、预防养护决策、设计、施工与验收和效果评价。

条文说明

《公路桥梁预防养护技术规范》中对桥梁预防养护的定义是：在给定的养护目标下，基于预测前瞻性系统地采取早期防治措施，使桥梁结构目标期内保持良好技术状况，且寿命（或剩余寿命）期内养护费用最低。其具有主动性、计划性和强制性特点。

其来源于《公路养护工程管理办法》：预防养护是指公路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。外

延至桥梁预防养护：桥梁预防养护是指桥梁整体性能现状良好，但有轻微病害或危及桥梁性能的隐患，为延缓性能过快衰减、保证桥梁目标使用寿命而预先采取的主动防护工程。

桥梁的预防性养护并不考虑桥梁是否已经有了某种损坏，而是通过采用先进的检测技术努力拓宽人们对于桥梁早期病害的认识空间，提前发现可能存在的隐形病害或可能快速发展的轻微病害，采取正确的养护措施，以提高桥梁结构耐久性、延长桥梁大中修周期的养护措施，其核心是要求采用最佳成本效益的养护措施，强调养护的预见性和计划性。

8.2.3 预防养护对策

1 宜对符合预防养护条件的典型预防养护时机进行费用效益分析，可根据跨海桥梁寿命周期内养护成本-效益最佳的条件，确定预防养护时机。

2 宜结合定期对桥梁技术状况的检测评定，桥梁养护管理系统对桥梁使用性能的评价，科学预测桥梁病害发展趋势，制订预防养护对策和计划。当桥梁总体技术状况评定等级为1类或2类时，宜考虑进行预防养护。

3 预防养护决策应综合考虑桥梁状况、气候条件、通车年限、交通量、养护资金、桥面环境等，通过综合评定选择最佳的预防养护方案。

条文说明

预防养护存在最佳时机，预防养护实施太晚将失去预防养护的意义，达不到预计的效果：预防养护实施太早，将会造成养护资金浪费。目前确定桥梁预防养护时机主要有桥梁状况触发法和最佳费用效益法两种。

桥梁状况触发法：以桥梁检测指标为依据，当技术状况指标下降到预定的标准时，就要进行预防养护，在此时实施预防养护能达到较好的效果：当桥梁总体技术状况评定等级为1类或2类时，宜考虑进行预防养护。

最佳费用效益法；对选定的不同时间的预防养护方案进行费用效益分析，费用效益最大的时间为预防养护最佳时机。最佳费用效益法包括效益评估法、排序法、生命周期费用评估法等。

8.2.4 跨海桥梁预防养护宜对桥梁耐久性状况、耐久性防护设施（如阳极块等）的运行情况和已有防护措施的效果进行长期观察和记录，按需评估，如有需要可进一步开展耐久性防护设计，主动开展耐久性防护工作。

条文说明

耐久性养护应体现长期监测、动态评估、再次设计、主动维护的理念,建议在日常工作中持续对跨海桥梁的耐久性状况、耐久性防护设施(如阳极块等)的运行情况和已有防护措施的效果进行观察和记录,为制定养护规划、预防养护方案提供依据。

8.2.5 桥面系的预防养护

1 桥面系预防养护的主要内容包括:针对沥青路面面层轻微病害采取的防损、防水、抗滑、抗老化等预防性表面处治措施;桥梁排水系统的清理、维修;伸缩装置的保养、零部件维修与更换;混凝土护栏和钢结构护栏的防腐、修补、零部件更换等。

2 在实施桥面铺装的预防养护前应对桥面状况进行详细的路况检测及评定。

3 路况检测应符合《公路技术状况评定标准》(JTG 5210)的有关规定,宜采用精确和快速的自动化无损检测结合人工调查的方法。

4 桥面铺装的预防养护措施应符合《公路沥青路面养护设计规范》(JTG 5421)的有关规定。

5 桥梁排水系统、伸缩装置、桥梁护栏应保持良好状态。

6 伸缩装置应注意结构件的牢固、无异响或松动,止水带应保持完整,缝内避免堵塞。

8.2.6 桥梁上部结构的预防养护

条文说明

跨海桥梁上部结构的预防养护包括:混凝土、钢结构、缆索体系、支座等周期性的缺陷修复和耐久性防护,如混凝土防护和钢结构防腐、防锈处理,钢支座预防养护,连接螺栓、铆钉预防养护,钢结构疲劳病害预防养护,斜拉桥斜拉索体系、悬索桥缆索结构的预防养护,吊杆防腐油脂更换,除湿系统、氯离子控制系统预防养护,减隔振装置预防养护,以及其它桥梁附属设施、易损构件的维护或更换等。

1 桥梁混凝土结构表面未进行防腐涂装的,视混凝土表面劣化程度和使用条件,宜选择长效型防腐涂层体系。

2 桥梁混凝土结构或钢结构既有防腐涂层体系应注意观察表面劣化情况,特别在接近设计寿命阶段,应对较大范围或普遍存在的表面劣化与失效情况进行预防性维修处理。

3 应经常性的修复检查中发现的桥梁混凝土结构的裂缝、缺陷、露筋等表观病害和耐久性防护缺陷，周期性的修复支座、缆索结构等 D 类构件的表观病害。

4 桥梁钢结构的预防养护应按照《公路钢结构桥梁养护技术规范》的有关规定执行。

5 斜拉桥拉索体系宜结合养护规划，在定期检查结果的基础上，周期性的开展斜拉索表面修复，斜拉索锚头防护等预防养护工作。

条文说明

跨海桥梁拉索体系预防养护类的工作结合定期检查结果，建议频率为 3~5 年一次。

6 悬索桥缆索结构宜结合养护规划，在定期检查结果的基础上，周期性的开展索夹螺栓检测和紧固，主缆与吊索防护，增设或保养主缆除湿系统等预防养护工作。

7 斜拉索、吊索及弹性限位索宜跟踪观测索力和振幅情况，必要时增设阻尼器，增设阻尼器后的拉索振幅不应超过 $L/(2000 \cdot n)$ 、自由振动对数衰减率不低于 3%，L 为索长、n 为振型阶次。

条文说明

弹性限位索可参照斜拉索，吊索应结合现场测试确定。

8 滚轴支座应定期补充油脂，钢支座应周期性的进行防腐处理，应注意支座的保洁、防腐，墩台垃圾定期清理。

8.2.7 桥梁下部结构的预防养护

条文说明

跨海桥梁下部结构的预防养护包括：混凝土、钢结构等周期性的缺陷修复和耐久性防护，如混凝土防护和钢结构防腐、防锈处理，环境作用电极保护，结构表面修复（裂缝缺陷修复、缠包复合纤维类材料等），以及耐久性防护系统的定期保养等。

1 桥墩、盖梁等部件的表面防护按照《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》（JTT 695）的有关规定，根据所处环境条件划分区域，按要求开展养护作业。对于浪溅区和水位变动区，应提高混凝土表面防护等级或加强养护维修的及时性。

2 跨海大桥处于冻融和氯盐环境下，应提升耐久性保障技术等级。

条文说明

国内外调研发现,针对严酷海洋环境下服役的桥梁、码头等工程结构,普遍以耐腐蚀混凝土、设置合理的保护层厚度作为保障结构满足设计使用年限的根本措施,同时依据混凝土构件所处结构部位及使用环境条件,采用必要的补充措施,如采用混凝土表面防护技术、阴极保护技术、阻锈剂技术等,比如丹麦大贝特海峡采用低水胶比、复掺活性掺合料的配制耐腐蚀混凝土,并根据腐蚀环境设置最小保护层厚度,同时针对腐蚀严重的部位采用环氧钢筋、硅烷浸渍等附加措施,其它工程如厄勒海峡交通工程、香港青马大桥、杭州湾大桥等同样采取类似技术措施以保障结构满足设计使用寿命的要求。

由于服役环境的差异,不同暴露环境下所采取的附加防腐蚀技术措施的防护效果可能有所不同,因此有必要结合具体腐蚀环境开展现场暴露试验,检验附加技术措施的防护效果。

3 跨海桥梁下部结构宜采取电极保护措施,并定期抽检保护措施的有效性,当抽检中发现防护效果低于设计预期时,应采取如缩短抽检周期,增加抽检数量或更换阳极块等相应措施。

4 跨海大桥应结合定期检查结果,对下部结构的表面缺陷及时进行修复,建议在定期检查完成后规定的时间内维修当期检查到的各类病害。

8.2.8 预防养护工程的交(竣)工验收按照管理单位相关规定执行。

条文说明

预防养护措施施工在本规范中没有特殊要求的,则按照其它现行规范的要求进行。

8.2.9 桥梁预防养护除执行本标准的规定外,还应符合桥梁养护、环境、生态保护、安全施工等国家、行业颁布的现行有关标准、规范的规定。

8.3 修复养护

规定桥梁修复养护的目的、触发条件和主要工作内容,强调了桥面系、钢结构涂装、缆索体系、拉索体系、主塔与主梁、基础与锚碇、支座及附属设施等的修复养护内容。

8.3.1 修复养护应实现以下目标:

- 1 通过实施修复养护,全面恢复桥梁的服务功能。
- 2 修复桥梁的所有缺陷和病害,使桥梁的整体技术状况恢复至一、二类。

3 桥梁附属设施如防雷设施、声屏障、除湿系统、检修设施（检修通道、检查车、升降电梯）达到完好状态。

8.3.2 修复养护对策

1 根据桥梁技术状况评定结果，三类桥梁应进行修复养护，必要时可进行交通管制，修复或更换较大缺陷构件。

条文说明

桥梁修复养护决策应按照《公路桥涵养护规范》的有关规定执行。

2 日常巡查或检查、检测过程中发现重要构件存在重大缺陷或出现承载能力下降等情况时，应立即安排修复养护。

3 桥梁附属设施出现重大故障，丧失服务功能或存在重大安全隐患时，应立即停止使用，及时开展修复工作。

8.3.3 跨海桥梁修复养护的工作内容按桥梁组成可分为桥面系、上部结构、下部结构和附属设施的修复养护。包括各种构件缺陷修复、补强、加固；易损构件维修与更换；耐久性防护系统的完善；桥梁附属设施的功能恢复。

8.3.4 桥面系修复养护

主要包括桥面铺装、伸缩装置、排水系统、防撞护栏等的修复养护。

1 应结合桥面铺装特点，针对不同病害和损伤预先制定有效的维修处理措施。当病害或损伤发生时，应及时进行处理。对于大面积或全桥病害，应研究制定专项解决方案，必要时可考虑全部更换桥面铺装层。一般不应在原桥面上直接加铺新的沥青混凝土，避免增加桥梁恒载。对于桥面受燃油、化学物污染，火灾等事故引起的损伤，应制定详细的应急预案。

条文说明

桥面铺装是车辆直接作用的部分。桥面铺装要求有一定厚度、强度、平整度，防止开裂，并保证耐磨。桥面铺装有多种形式，例如水泥混凝土、沥青混凝土等。为降低自重，跨海桥梁的桥面铺装一般都采用沥青混凝土材料，目前主要使用环氧沥青混凝土和浇注式沥青混凝土两种。这些桥面铺装的养护与维修除按照本标准执行外，还需满足《公路沥青路面养护技术规范》的要求。

2 应保证伸缩装置正常发挥作用，若有损坏或功能丧失应及时修理或更换。更换的伸缩缝装置应选型合理，伸缩量满足桥跨结构的变形需要，安装牢固、平整、不漏水，并与沥青路面做好接缝处理。

条文说明

跨海桥梁的伸缩量较大，所采用的伸缩缝装置比较复杂且价格昂贵，因此在养护中需要格外关注。本条规定了伸缩缝养护的基本要求，对于伸缩缝装置各个部件的保养要求，管理、养护单位宜参照产品厂商的意见综合确定。

3 桥面排水设施应保持畅通，若有堵塞、损坏，应及时疏通、处理。

条文说明

为迅速排除桥面积水，防止雨水积滞于桥面，需装备一套功能完善的排水系统。桥面设置纵（横）坡、安装泄水管或水泵基本满足跨海桥梁的排水要求。排水系统的养护要求杜绝管道堵塞，保持排水通畅，以及修复损坏的防、排水系统。

4 桥面栏杆和护栏应经常保持完好状态，若有损坏应及时修理或更换。应避免栏杆和护栏出现锈蚀，对已锈蚀的应及时处理。非不锈钢质栏杆，应根据涂装类型和锈蚀情况综合制定防锈处治方案。

条文说明

本条规定了栏杆和护栏的保养、维修基本要求。

5 灯具和标志

照明灯、航空灯、航道灯等灯具应保持完好状态，如有缺损应及时修理。桥上的交通标志应齐全、牢固、醒目、清晰。

条文说明

对灯具和标志的养护要强调及时性，要求时刻保持完好。除了照明灯外，跨海桥梁通常还设有航道灯、航空灯，这些指示性灯具完好与否是关系安全的重大问题，更强调修复的“立即性”。为了及时养护与维修，一般应储备足量的备用标志、灯具及其构配件。

8.3.5 钢结构涂装修复养护

主要包括钢梁、钢塔、钢护栏、附属钢结构等的涂装修复。

- 1 根据钢结构涂装的检查结果，对钢结构涂装进行相应的保养或维修。
- 2 修复后的涂层应具有满足原设计要求的厚度、硬度和附着力。

条文说明

跨海桥梁大量采用钢结构，如钢加劲梁、钢塔、钢锚箱、索鞍、维护通道等，其涂装质量很大程度上决定着养护成本，并直接关系到结构的耐久性和安

全。然而，不同桥梁、不同部位和不同构件采用的涂装类型可能存在着很大差异，因此不可能也不应该规定统一的保养与维修方法。本条仅规定了钢结构涂装养护的基本要求。

钢桥养护中防锈涂层要选用与原涂料一致或性能更优良的防锈涂装。涂装工艺十分重要，在养护中，尤其是整座钢桥涂装的养护，应制定详尽的工艺要求。

对于钢箱梁，其不同部位所处环境差异较大：钢箱梁主体部分及风嘴的外表面通常直接接触外界环境，温度、湿度变化比较明显；钢箱梁主体的内表面与外界环境接触少，很多桥梁还装有除湿机，能保持湿度在较低水平，但温度尤其是夏季的温度可能较高；假如风嘴内没有安装除湿机，风嘴内的湿度可能较大；钢箱梁顶面主要被桥面铺装覆盖；钢箱梁其他部位如裸露的桥面检修道，受阳光直射较多，且温度、湿度变化大。因此，对于钢箱梁，建议管理、养护单位针对不同部位有对策地进行保养与维修。类似地，钢塔也宜区分不同部位进行养护。

8.3.6 缆索系统修复养护

主要包括主缆、索夹、鞍座、散索鞍、锚固系统、吊索系统等修复养护。

1 主缆

主缆钢丝应经常保持干燥状态，若出现渗水积水应及时处理。

主缆线形应满足设计要求，防护完好，表面平整，各索股受力应保持均匀，钢丝不应出现锈蚀断丝等现象。如发生上述状况，应立即开展调查研究并分析原因，制定相应的解决方案。

悬索桥的索夹若发现涂装损坏，应及时将损坏附近的涂装清除干净后重新涂装。若出现锈蚀，则应除锈后再补涂。当发现螺杆腐蚀、断裂，螺纹、螺帽或垫圈损坏时，应及时更换。若索夹出现严重锈蚀、夹壁或耳板开裂等病害，应及时更换索夹。

索夹的紧固螺栓应保持其设计受力状态，并定期开展螺栓紧固工作。索夹滑移的限值需控制在 10mm 范围内。

索鞍的辊轴或滑板应保持正常工作状态，如有漏水、积水、脱漆、锈蚀等现象存在时，应及时处理。对于需要加注润滑油或防锈油的部件，应定期更换润滑油或防锈油，若在日常检查过程中发现润滑油或防锈油失效时，应立即更换。

索鞍的紧固螺栓应保持其设计受力状态，检查过程中若发现松动应及时紧固。当索鞍偏移超过设计允许值时，应开展专项检查。

当主缆的锚头、锚板、拉杆和连接器出现病害时，应及时做出处理。

应控制索鞍鞍罩内的空气温湿度，使其满足相关要求。

对于安装有主缆除湿系统的悬索桥，应保证其除湿系统始终处于正常工作状态。

对于增设主缆除湿系统的悬索桥，如主缆原有防护体系接近使用寿命或存在明显不足，可考虑同步更换或加强主缆防护体系。

2 吊索系统

当检查发现吊索锚头、叉耳、销子等部位有涂装损坏，应及时进行补涂。

对于吊索保护套，应保持止水密封圈、防雨罩等处于完好状态，若发现老化、开裂、破损等情况，需及时修补或更换。

若吊索钢丝锈蚀或断丝，则应进行专项检查，有针对性地研究制定养护与维修方案。若吊索的实测索力与设计索力存在明显偏差（大于等于 $\pm 10\%$ ），应开展专项检查。

吊索的减振装置要保持正常工作状态，发现异常或失效应及时处理。

条文说明

悬索桥的缆索系统主要包括：(1)主缆；(2)索夹(包括吊杆上部的索夹和其他索夹)；(3)主索鞍、散索鞍及主缆锚固装置；(4)吊索系统(包括吊索、吊索防腐系统、减震系统和锚具)；(5)其他辅助装置。

(1)主缆的保养与维修。不同悬索桥采用的缆索及其防护系统有差异，难以制定一套统一标准的主缆养护与维修方案，因此本标准仅做出一些原则性规定。主缆重在养护，必须保证其免受水分侵扰，保证其受力满足设计要求，力求延长主缆寿命。从目前来看，全世界范围内还没有更换千米级悬索桥主缆的先例，目前设计过程中也没有考虑主缆的更换，所以主缆养护的好坏直接决定了其寿命的长短，而主缆寿命又决定着悬索桥的寿命。关于主缆的修复方法，不同形式主缆有其自身特点的方法。国内外相关规范中，尚未有关于主缆详细维修方法的规范性规定。组织主缆材料供应单位、主缆架设单位、设计单位及相关科研单位研究制定出合理的保养与维修方案，作为养护手册的一部分，并在使用过程中注重经验积累和技术革新。

(2)索夹(包括吊杆上部的索夹和其他索夹)

人们对索夹的重视程度可能较主缆要轻得多。然而，索夹也是相当重要的部件，需重视对其进行保养和维护，有必要规定得详细一些。此处以“索夹松弛”为例谈一下索夹的病害及养护。索夹松弛指的是夹紧力降低，可能导致索夹滑动。“索夹松弛”是个定性概念，具体夹紧力降低到什么程度时该拧紧索夹上的螺栓，本标准认为应该由设计者根据相关安全要求来确定，并在养护手册中作出明确规定。

(3) 主索鞍、散索鞍及主缆锚固系统

通常来说，对于索鞍及锚固系统需要重点关注的是：保持索鞍、锚点的清洁和干燥；定期检查涂装，及时处理脱漆、锈蚀等病害；及时更换损坏的锚固系统；如有除湿装置，保证除湿装置正常工作。要求管理单位做到以下事项：定期清扫索鞍，防止尘土杂物堆积、积水(雪)及锈蚀；保持索鞍的辊轴或滑板正常工作；及时处理漏水、积水和脱漆、锈蚀等问题。对于需要加注润滑油或防锈油的部件，定期更换润滑油或防锈油，避免润滑油或防锈油失效的情况出现。保持索鞍的紧固螺栓处于设计受力状态，视情况每半年至两年定期紧固，并及时处理日常巡检中发现的问题。当索鞍偏移量超过设计允许值时，需尽快查明原因并根据分析评估做出处理。

(4) 吊索系统(包括吊索、吊索防护层、减振装置和锚具)

对于跨海桥梁的规定：定期对吊索锚头、叉耳、销子等进行目视检查，并及时对油漆损坏或构件锈蚀进行处理。

(5) 其他辅助系统，如除湿装置等

对于安装有主缆除湿设施的悬索桥，定期检查并保证其除湿装置的正常工作。会同设备供应商一同制定除湿系统的具体养护与维修方法，使养护方法与设备本身相符合。具体的养护与维修方法应包含在桥梁养护手册中。

8.3.7 拉索体系修复养护

主要包括斜拉索、防护层、减振装置、防水帽、锚固系统等修复养护。

1 斜拉索

斜拉索两端的锚具及护筒内部应经常保持清洁和干燥。

在斜拉索的经常检查或定期检查过程中，若发现锚头及护筒内有漏水、渗水或积水，应查明原因，并有针对性地制定有效的防治措施。

对于平行钢丝斜拉索，定期更换拉索两端锚具锚杯内的防护油，定期对丝杆、

螺母等部位涂刷防护油(漆)进行防腐,或采用其他有效措施进行防腐处理。当在检查过程中发现锚杯内的防护油失效,应立即更换,如发现丝杆或螺母部位的防护油(漆)失效,亦需要及时处埋。锚板部位需要采用防护油(漆)进行防腐,若出现锈蚀应及时处埋。对于安装有锚头防护罩的,应对防护罩进行防腐处埋,避免锈蚀。

对于钢绞线斜拉索,应保持夹片始终处于紧固状态,不得出现任何松动,且不得出现钢丝滑移。

定期更换钢护筒与套筒连接处的防水垫圈及阻尼垫圈,做好搭接处的防水处埋。如在经常检查或定期检查中发现垫圈严重老化或损坏时,应及时更换。

墩头应无异常,锚板及锚箱不得出现裂缝、断裂等现象。

对偏离索力设计限值的拉索应及时进行索力调整。张拉的顺序、级次和量值应按设计规定进行,无设计规定时可委托有资质的设计或科研单位进行分析确定,测定索力和延伸值,并对施工过程进行控制。

当斜拉索钢丝出现锈蚀、断丝、锚具损坏等状况时,须进行专项检查,并研究制定合理的专项处埋方案。

斜拉索更换应对各个方案的技术经济合理性进行分析比较,确定安全、简便的施工方案。竣工后必须对全桥斜拉索的索力和主梁标高进行测定,检验换索效果,并作为验收的依据。

2 防护层

若拉索防护层出现开裂或损坏,应及时检查开裂处内部索体是否有积水或潮湿。若出现积水或潮湿,应及时作干燥处埋,并进行修复,当情况严重时,需由斜拉索制造单位或其他专业单位进行修复。

3 减振装置

斜拉索的减振装置应该保持正常工作状态,发现异常或失效要及时调整、维修或更换。管理、养护单位应组织制定减振装置的保养与维修方法,并作为养护手册的一部分。

在日常巡视中应注意观察斜拉索是否有明显振动,检查拉索减振装置是否拉紧,如减振装置可调,则应当有需要时及时调整减振装置。遇风雨时要尽可能增加对拉索振动观察的次数。

条文说明

斜拉索由高强钢丝、防腐系统、锚固系统和减振装置等组成。按照其空间位置和作用分为三部分，即锚固区、自由段、减振装置。自由段是指斜拉索从梁端钢套管出口到塔端钢套筒出口之间的部分，是斜拉索处于自由状态的一段，也是可以直接从桥上看到的部分。锚固区是钢套筒出口以内至锚具之间的部分。减振装置包括内置橡胶减振圈及其他各种内置或外置的阻尼装置。

(1) 斜拉索锚固区的保养与维修

斜拉索锚固区附近是出现病害较多的地方。一方面，水分容易在这些区域积存；另一方面，这些区域的隐蔽性给检查和维护带来了很大困难。钢丝在锚固区附近的受力比其他区域更为复杂，更容易产生断丝等病害。斜拉索维护的主要挑战在于斜拉索被保护层重重覆盖，尤其是锚固区附近，维护人员通过外观检查和无损检查设备难以准确地检查出存在的问题。据调查，南京长江三桥的钢套筒与斜拉索的空隙已经填充了聚胺酯发泡材料，设计者期望通过填充聚胺酯发泡材料来阻止水分的侵入，然而这种填充也会给今后的检查工作带来困难。索体被埋入到聚胺酯发泡材料中，无法对其进行外观检测，通常的无损检测也很难实现。因此斜拉索一定要做好积极养护，及时清理锚点附近的杂物，清除残留积水，定期涂刷油漆或防锈油，保证锚固区附近的斜拉索及锚固系统始终处于干燥清洁的环境中，避免其出现腐蚀病害。当产生病害后，一定要及时查明原因，并采取有针对性的有效措施。

此外，还需要定期更换斜拉索两端锚具锚杯内的防护油，并对丝杆、螺母等部位涂刷防护油(漆)进行防腐。当在检查过程中发现锚杯内的防护油失效，则需要立即更换，如发现丝杆或螺母部位的防护油(漆)失效，应及时重新涂刷。锚板部位需要采用防护油或油漆防腐，并及时处理锈蚀等病害。另外，由于橡胶产品属于易损品，需要定期更换钢护筒与套筒连接处的防水垫圈及阻尼垫圈，并做好搭接处的防水处理。及时更换检查中发现的问题垫圈。与产品供应单位研究确定“定期”的具体周期，并在养护实践过程中进一步完善。

(2) 斜拉索防腐护套的保养与维修

斜拉索的锈蚀主要是由于高强钢丝与周围介质发生电化学反应，产生氧化还原反应所致。钢丝中的碳元素、合金元素及其他杂质形成阴极，铁元素形成阳极，当斜拉索钢丝表面凝结或吸附水汽形成水膜时，钢丝表面形成局部微差电

池, 导致阳极(钢丝)腐蚀。一旦防护失效, 空气中的氧气、二氧化碳及二氧化硫等还会不断溶解到水膜中去, 进一步促进原电池反应, 加快斜拉索的锈蚀。斜拉索的防腐就是要防止钢丝表面形成可作为电解液的水膜, 通常的做法就是将钢丝与大气隔离。

美国交通研究委员会(Transportation Research Board)的一份关于斜拉桥养护的研究报告指出, 组成斜拉索的主体构件是不可修理的。实际上, 能够修理的仅仅是PE护套, 橡胶防水圈、粘弹性减震圈和减震阻尼器, 而对于因锈蚀或疲劳导致的斜拉索损伤, 基本上是无法修理的。因此, 养护单位的主要目标是阻止斜拉索损伤及其发展, 尤其是控制斜拉索免受水分侵扰, 防止斜拉索经常出现较大振动。国内斜拉桥的养护基本上遵循上述原则, 即重点养护斜拉索的防腐系统和减振系统, 避免斜拉索及其锚具受到水分侵扰, 防止斜拉索出现较大幅度振动。该调查报告还指出, 美国和加拿大大约有30%的斜拉桥维修过斜拉索护套, 但不同桥梁的维修方法存在较大差异。

总体说来, 斜拉索的养护与维修原则为: (1)及时修复损坏的斜拉索护套, 防止水分侵入高强度钢丝而导致钢丝锈蚀, 若水分已侵入斜拉索索体, 则需在修复之前先做吹干处理; (2)具体的修复方法并不一致, 尚没有标准统一的修复方法。

调查国内外相关文献, 鲜见斜拉索防腐系统的详细维修方法。其原因主要是: 斜拉桥大规模发展起步较晚, 虽然国内外已建成大量斜拉桥, 但由于斜拉索的种类及防腐系统类型多种多样, 防腐方法和产品处于不断发展和革新过程中, 斜拉桥施工和管理水平不一致, 防腐系统出现的病害也不相同, 且养护维修知识的共享程度较低, 尚未形成规范性的方法。

因此, 目前还不适宜在规范中制定标准性的维修方法, 但养护部门有责任加强斜拉索的养护管理, 发现问题及时维修。根据产品特点, 桥梁管理、养护单位与斜拉索制造单位一起制定具体的保养与维修方法, 并在工作过程中注重经验的积累, 逐步提高斜拉索的养护管理水平。

(3) 及时控制斜拉索的振动

在风或风雨共同作用下, 斜拉索可能出现有害的剧烈振动。目前, 除了通过计算来尽量避免剧烈振动的发生外, 通常采用一些空气动力学措施或外加阻尼器来避免这些有害的振动。为了避免风雨激振, 通常在斜拉索表面PE护套上压制凹

坑来干扰雨水沿斜拉索的流动路径。此外，常常通过安装内置式或外置式阻尼器来避免斜拉索出现剧烈振动。

斜拉索减振阻尼器产品的多样化，不同桥梁的斜拉索振动情况也不相同，因此斜拉索减振阻尼器的供应商需提供详细的产品维修保养说明。大跨度斜拉桥管养部门根据所使用产品制定相应的维修保养手册，并作为桥梁养护手册的一部份。

《公路桥涵养护规范》规定：斜拉索的减振装置要保持正常工作状态，发现异常或失效要及时维修。实际上，斜拉索的减振器类型多样，有些可能本身并未出现任何故障，而减振效果差可能是减震器自身设置问题引起的，因此需要及时调整。本标准中，在斜拉索减振阻尼器的保养方面，增加“调整”二字，即发现异常后通过“调整”阻尼器来使其恢复有效减振的功能。此外，养护单位只有针对产品制定出有效的养护手册，才可以在桥梁维护过程中充分发挥“养护”的作用。

(4) 索力偏离设计索力

保持斜拉索索力在设计规定的合理范围内，索力过大容易导致斜拉索疲劳，而索力过低必然导致相邻拉索的索力增加。此外，当索力偏离设计值时，加劲梁和索塔的受力也将偏离原设计值。因此要及时对索力超出设计限值的斜拉索进行调整。

(5) 锈蚀、断丝与换索

关于钢丝锈蚀或断丝，情况严重的应更换斜拉索，查明原因，并采取措施避免类似问题再次发生。

根据研究，斜拉索断丝可能是由锈蚀、应力集中，或钢丝疲劳造成的。当钢丝锈蚀时，同一根钢丝沿长度方向锈蚀的程度不同，可能某个位置锈蚀比较严重而某些位置还没有锈蚀，锈蚀多的地方就会出现缩颈现象，产生应力集中，致使局部应力增大，容易产生断丝现象。不同手册或标准中分别规定当截面损失率达到2%、5%、10%、20%等后应换索，然而这些数据一般没有严格依据，具体什么时候换索仍需进行专项研究，即由专业机构对锈蚀或断丝情况进行专项检查，并根据评估结果(适应性评估)决定是否换索。

8.3.8 钢结构（主塔、主梁）修复养护

1 当钢结构涂层出现开裂、剥落、生锈等缺陷时，应根据劣化等级和锈蚀等级

采取局部维护涂装或整体重新涂装。

2 应保持钢箱梁（塔）内部干燥无积水，若发现积水应检查水源，并及时排除积水，封堵入水口。

3 当钢箱梁正交异性桥面板出现疲劳裂纹时，应建立裂纹性状参数档案，结合日常检查和养护工作，定期开展参数监测，为后期处理提供决策依据。

4 钢构件受到冲击造成局部弯曲时，应研究其危害程度，并采取相应措施。

5 普通螺栓或高强螺栓连接的构件，若发现松动应及时加以拧紧，对于高强螺栓必须施加设计的预拉应力。

6 高强螺栓的拧紧或更换应符合下列规定：

高强螺栓的施工预拉力应符合设计要求，欠拧值或超拧值均不应超过规定值的 10%；

对于大型节点，同时更换的螺栓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；

当在一个连接处（或节点）少量的更换螺栓时，其螺母及垫圈的材质、规格、强度等级应与原桥相同，原则上不得混用，否则应通过专项研究确定其可行性。

条文说明

跨海桥梁的钢梁绝大多数为箱梁，基本采用焊接或高强螺栓连接，在养护过程中需要重点关注连接部位。对于通过焊接连接的构件，焊接质量受人为因素影响较大，在桥梁结构使用过程中难免会暴露出一些缺陷，对这些缺陷应及时修补，然而同一部位的修补不宜超过两次。对于钢箱梁顶板与U形加劲肋、顶板与腹板的连接部分，由于交通车辆荷载反复作用在顶板上，大大增加了这些焊缝的应力变化幅度，导致这些部位容易出现损伤，需密切关注。此外，钢锚箱与钢箱梁的连接焊缝承受着较大应力，也是钢箱梁养护中的关键部位之一。

在钢箱梁中较少采用普通螺栓，目前高强螺栓已经被广泛应用于桥梁结构中。高强螺栓依靠摩擦力传力，故螺栓松动对结构安全有重要影响，保持高强螺栓的预拉应力是养护要点。使用带扭矩计的风动、电动或手动扳手拧紧松动的高强螺栓。

近年来，船舶撞桥事件比较频繁。对于撞击导致的构件变形，目前我国《公路桥涵养护规范》和《城市桥梁养护技术规范》均要求采用冷矫正的方法。通过对比国内外规范，日本通常采用冷矫正，但当冷矫正无法有效矫正时可以考虑采

用热矫正。美国通常采用热矫正。由于各国常用钢材性质不同，养护人员技术水平存在差异，本标准仍参照《公路桥涵养护规范》和《城市桥梁养护技术规范》的规定，推荐采用冷矫正。

8.3.9 混凝土主梁的修复养护

1 空气、雨水、海水中均含有侵蚀混凝土和钢筋的化学成分，宜对混凝土结构主梁进行防护。

2 对于预应力结构，应对锚固区的破损及开裂、沿预应力钢束纵向的开裂进行专门检查，研究其原因，并采取有针对性的治理措施。

3 混凝土结构主梁常见病害：混凝土表面剥落、渗水；梁角破碎、露筋；钢筋锈蚀、局部破损等；预应力钢束应力损失造成的病害；预应力混凝土梁出现裂缝，对于不允许出现裂缝的部分，不论裂缝宽窄，都应查明原因并进行处理和加固。

4 混凝土构件修补应首先制定出详细的技术方案，通过专家评审后方可实施。

5 在未经专门研究的前提下，不得在主梁上随意开孔。

条文说明

本条规定了钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土主梁日常养护的工作内容，常见病害处治办法及构件修补要求。

保持箱梁通风是为了减少箱内外温差对结构的不利影响，减小箱内湿度对耐久性的不利影响。

钢筋混凝土梁的主要病害大致归结为混凝土表面缺陷、露筋、钢筋锈蚀、联结构件开焊、开裂以及裂缝超限。本条分情况提出了处理措施。

预应力钢筋混凝土主梁的病害及处理基本上同于钢筋混凝土梁。此外，预应力混凝土梁出现的裂缝还可能有锚固区的局部承压劈裂，或因保护层厚度不够、构造钢筋或定位钢筋偏少引起沿预应力钢束的纵向裂缝。仔细检查裂缝，分析原因，并针对具体情况采取有效维修措施。

8.3.10 混凝土主塔、锚碇修复养护

1 桥塔

可采用能够上下提升的轻便脚手架（即吊篮）来协助养护人员对桥塔实施养护工作。

混凝土结构桥塔表面设有防腐涂装的，应检查桥塔内外混凝土防腐涂装是否脱落、粉化、老化、失效等，如有失效，应重新涂装。发现渗水情况，应立即分析

原因并采取针对性措施。桥塔表面发生侵蚀剥落、蜂窝、麻面、裂缝、露筋等病害时，应及时修补。

应重点关注桥塔基础的冲刷情况和稳定性。若桥塔基础出现冲刷超过设计允许值等病害，应及时采取维修措施。

当桥塔及基础的裂缝、变位、变形、应力、动力参数等超出设计允许范围时，应作专项研究，并根据研究结果采取必要措施。

2 锚碇

锚碇混凝土出现剥落、蜂窝、麻面、裂缝、露筋等病害，可参考桥墩和桥塔混凝土病害处理方法进行处理。

锚碇的散索鞍和锚固区附近容易出现裂缝，应加强这些部位的养护。

锚碇内部的相对湿度应满足相关要求。

当锚碇及基础的裂缝、变位、变形、应力等超出设计允许范围时，应作专项研究，并根据研究结果采取必要措施。

8.3.11 墩台及基础修复养护

1 墩台

混凝土结构桥墩表面设有防腐涂装的，应检查防腐涂装是否脱落、粉化、老化、失效等，如有失效，应重新涂装。

若发现桥墩表面出现渗水情况，应立即分析原因并采取针对性措施。桥墩表面发生侵蚀剥落、蜂窝、麻面、裂缝、露筋等病害时，应及时修补。

当墩台混凝土裂缝宽度超过 0.2mm 时，可根据具体情况选择表面封闭法、压力灌浆法等对裂缝进行处理。

对桥墩倾斜超过设计允许值的，应专门研究防治措施。

2 基础

若基础出现冲刷过深（即超过设计考虑的局部冲刷深度）、基底局部掏空等病害，应及时采取维修措施。

桥墩基础的允许变位宜由设计单位制订，无法由设计单位确定时，可按照《公路桥涵养护规范》的有关规定执行。当墩台变位所产生的附加内力影响到桥梁的正常使用和安全时，或桥梁墩台基础自身结构出现大的破损致使承载力不足时，应进行加固处理。

条文说明

本条规定了桥墩和桥塔的保养与维修要求。

我国跨海桥梁的索塔结构已经逐渐开始使用钢结构，因此，除了针对钢筋混凝土结构外，还需要考虑钢塔和钢锚箱等钢结构部分的保养与维修。

跨海桥梁的桥塔和桥墩通常比较高，养护人员很难到达养护部位进行养护，通常需要采用吊篮来进行养护。着重鼓励新技术的开发与应用，如研究开发机器人等技术来代替人工进行保养与维修。

跨海桥梁基础沉降允许值的确定宜综合考虑地质条件、基础类型和结构类型，通常设计单位在设计阶段都进行了详细分析，因此建议由设计单位来确定基础沉降允许值。

8.3.12 支座修复养护

1 及时拧紧钢支座的螺栓，使支承垫板平整、牢固。

2 对于支座的钢结构部分，应根据需要进行防腐处理，如涂刷油漆或防锈油。当油漆或防锈油老化失效时，应当补涂，具体维护方法宜根据产品特点参考制造单位的意见制定实施。

3 支座如有缺陷或故障不能正常工作时，应及时予以维修或更换。

4 调整、更换支座时可采用如下方法：在支座旁边的梁底设置千斤顶，将梁适当顶起，使支座脱空不受力，然后进行调整或更换，调整完毕或新支座就位正确后，落梁到使用位置。

条文说明

支座是桥梁的机动部分，在活载、温度变化或其他因素作用下发生转动、水平位移等。跨海桥梁的支座比较复杂，除了常规的竖向抗压支座外，还常常安装有横向抗风支座、竖向抗拔支座等，这些支座对桥梁的安全和使用性能起着重要作用，所以加强对支座的养护是必要的。

8.3.13 附属设施修复养护

1 检修通道

检修通道主要包括主缆检修道、塔内爬梯、墩顶检修道、锚碇内外检修通道等，应使其始终处于良好状态。

对于长期未经使用的检修通道，应在每次使用前对其进行检查和保养。

要加强检修通道的涂装养护，如出现涂装脱落、失效，应立即重新涂装。

钢构件连接部位是检修通道的薄弱部位，应特别重视这些部位的检查和保养。

2 除湿设施

应根据设备制造商的建议,制定除湿设施的养护方案。

应保持除湿空间的相对湿度满足相关要求。

宜对除湿设施的工作状况进行实时监控,该项监测可并入健康监测系统。

除湿设备应保持正常工作状态,出现故障应立即维修。

3 阻尼器

阻尼器各部位应保持完整、清洁。清除阻尼器周围的油污、垃圾,防止积水、积雪,保证阻尼器正常工作。

宜针对阻尼器产品的自身特点,参考制造单位的意见制定其养护维修方法。

4 防雷设施

避雷装置应保持完善,避雷针接地线附近严禁堆放物品和修建任何设施,地线的覆土禁止开挖,并应防止冲刷避雷针、引线及地线。

每年雷雨季前应检测其防雷性能是否良好,如发现防雷性能降低时,必须及时修理。

避雷装置应符合《建筑物防雷设计规范》(GB50057)的要求。

5 防船撞设施

应经常保养防船撞设施(如钢套箱、防撞墩等),使其始终处于良好状态。对于钢结构应进行防腐处理,不得出现锈蚀;对于混凝土结构,不得出现混凝土缺损、露筋、钢筋锈蚀等病害。

6 主梁检修车

检查桁车应定期检查、维护,使其保持完好状态。

轨道与主梁的连接如有松动,及时拧紧或进行维修。

检查桁车的行走系统、驱动系统、电气系统等,可根据生产厂家提供的使用说明书进行养护工作。

7 电梯

工作电梯或观光电梯应定期保养、定期检测,日常保养维护,并按照《特种设备安全法》进行管理。

条文说明

为了方便跨海桥梁的检查与维护,考虑在建设期预留或在养护阶段增设检修通道,并做好日常养护工作,保证维护检修人员的安全使用。

跨海桥梁的除湿设备，振动阻尼器，避雷装置等一般由专业厂家制造，参考制造商的要求制定相应养护方法，本节仅规定一些基本原则。

8.4 专项养护

8.4.1 专项养护应实现以下目标

- 1 满足国家、行业规范的标准和要求；
- 2 增设、完善构件或设施，以提升通行服务功能的需求；
- 3 改变桥梁整体或局部的结构形式以恢复或提升承载能力。

8.4.2 主要工作内容

1 桥梁专项养护包括：桥梁主体结构的加固完善、体系改造、整体更换、拆除重建等；桥面铺装的病害处置、全线改造、重铺等；桥梁附属设施的增设、升级改造、整体更换等。

2 其他专项养护还包括：地质灾害治理、水下基础防护、防撞设施增设等。

8.5 应急养护

8.5.1 应急养护是指在突发情况下造成桥梁损毁、中断、产生重大安全隐患等，为较快恢复桥梁安全通行能力而实施的应急性抢通、保通、抢修工程。是一种临时保证可通行性的养护措施。

8.5.2 应急养护的目的是以最快速度恢复桥梁安全通行能力。

8.5.3 跨海桥梁应急预案应结合桥梁实际情况，制定有针对性的技术应急方案并组织专家审议，必要时宜增设现场应急辅助设施。

8.5.4 应急养护方案应充分考虑桥梁结构安全、交通安全以及桥下通航安全等，并预防二次事故的发生。

8.5.5 主要工作内容

1 跨海桥梁的应急养护包括：清理自然灾害或其他突发事件造成的障碍物；公路桥梁突发损毁的抢通、保通、抢修；技术方案较为简单的水毁修复；自然灾害或其他突发事件导致技术难度特别复杂的灾毁修复项目等。

2 特殊情况主要包括：冰冻海域跨海桥梁除雪防滑、台风、局部团雾等恶劣天气；桥上交通事故、船舶撞击等事故；基础冲刷或沉降等病害；地震、海啸、雷击、火灾等意外情况。

3 突发事件：地震、暴风雨、雷击、有害化学物泄漏污染、爆炸、火灾、撞击（船撞、漂浮物撞击、车祸、飞行物撞击）。

4 突发事故发生后,应立即检查桥梁的受损状况,当确定有损伤时,需立即研究确定是否临时限制交通或封闭交通。如发现有明显损伤或可能存在潜在损伤,应聘请专业单位进行检查、评估,制定维修加固方案。当危险解除后,及时开放交通。

8.5.6 灾害应对措施

1 地震

跨海桥梁遇到地震灾害后,应立即判明灾情,确定桥梁毁坏部位及程度,并尽快处理。

检查桥梁支座、伸缩装置、梁体的跨中、横梁及横向联系部位、墩帽与墩身连接处、承台与桩基连接处、墩塔及梁体截面突变处等,在地震作用下上述部位会产生较大的变位或应力集中,属于薄弱部位,应予特别注意。

当桥梁确有损伤需要大修(加固)时,原则上应由具备相应检测资质的设计单位负责加固设计。

对地震作用下可能液化的地基,应进行加固、提高承载力。

2 台风

根据气象部门对台风的预测情况,及时限行或封闭跨海桥梁,并针对可能发生的病害制定应急预案。

台风过境中要定期监测桥面、桥塔的位移和振动等情况,制定相关应急预案,避免台风造成桥梁结构共振导致破坏。

台风过后及时组织开展对跨海桥梁的全面检修,重点检修索缆系统、桥梁支座、伸缩装置、梁体的跨中、横梁及横向联系部位、墩帽与墩身连接处、承台与桩基连接处、墩塔及梁体截面突变处等,并及时处理相关病害。

当桥梁确有损伤需要大修(加固)时,原则上应由具备相应检测资质的设计单位负责加固设计。

3 海啸

跨海桥梁遇到海啸后,立即分析灾情并确定桥梁毁坏的部位及程度,并尽快处理。

海啸过后尽快排干桥梁积水,组织开展对跨海桥梁的全面检修,重点检修索缆系统、桥梁支座、伸缩装置、梁体的跨中、横梁及横向联系部位、墩帽与墩身连接处、承台与桩基连接处、墩塔及梁体截面突变处等,并及时处理相关病害。

当桥梁确有损伤需要大修(加固)时,原则上应由具备相应检测资质的设计单

位负责加固设计。

4 恶劣天气

暴风雨（雪）过后，应对桥梁进行检查。如发现灾损，应及时整治。特别注意检查桥上照明、通讯、航空灯、避雷设施等是否有损坏。

雾害发生后，应在交通信息屏及时显示“雾天慢行”等告示和雾天限制的最高车速。

冬季来临前应针对各桥梁的不同特点、设备条件和降雪量大小，分别按人工扫雪、机械扫雪和盐类除雪等不同方法制定出多种扫雪方案，应注意钢结构桥梁不得使用盐类融雪剂。

5 爆炸、火灾及化学物污染

当行驶在桥上的车辆（如油罐车）发生意外事故引起化学物泄漏、爆炸或火灾时，应立即灭火并采取措施防止化学物扩散。事故现场处理后，要查清原因，确定桥梁受影响的部位和范围。事故后应急检查的主要项目有：

爆炸或火灾影响范围内的桥面、加劲梁及伸缩缝是否受损。

斜拉桥的拉索、锚头，悬索桥的吊索、主缆及其连接件是否受损。如有损伤，应对索力进行测定，依据所测数据确定是否应进行索力调整或更换部件。

如爆炸或火灾发生处靠近桥中主缆（高度 10m 以下），则须检查主缆外表防腐系统有无变化，若损坏严重应检查主缆钢丝是否受损，并及时修复或更换。

查看桥面栏杆、护栏、照明设施、中央分隔带及其它部位是否损坏，若有损坏应及时修复。

对于化学物污染，应迅速查清污染范围及损伤程度，及时采取有效措施进行处理。

6 船舶、漂浮物、飞行物或车辆撞击

船舶、漂浮物或飞行物撞击大桥后，应立即检测伤损程度，必要时采取补强措施进行处理。

桥上发生车祸后，应仔细检查车祸涉及的桥梁部位并及时采取措施。对于关键部位如拉索、主缆、吊索等，应仔细检查，确定方案，及时整治。桥梁栏杆如有损坏，须进行临时围护，并尽快修复。

附录 A 养护规划与养护手册的编制内容建议

A.1 养护规划

养护规划的内容可包括（但不限于）以下内容：

- 1 跨海大桥工程背景、基本状况和运营养护状况（特点、重点与难点）
- 2 规划期内跨海大桥的养护目标和指标
- 3 规划期内跨海大桥养护体系建设情况
- 4 规划期内跨海大桥风险事件评估与应急管理
- 5 规划期内跨海大桥主体结构的养护内容
- 6 规划期内跨海大桥机电系统的维护与升级
- 7 规划期内跨海大桥管养辅助系统的升级
- 8 规划期内跨海大桥科研工作
- 9 规划期内跨海大桥养护投资估算

A.2 养护管理手册

养护管理手册的内容可包括（但不限于）以下内容：

- 1 桥梁概况与结构特点；
- 2 桥梁检测和养护计划和重点；
- 3 桥梁检测与技术状况评定、适应性评定方法；
- 4 桥梁重要部件的养护方法和典型病害的维修方法（对于一些特种设备或设施的维修，可综合考虑制造商的维修建议）；
- 5 健康监测系统、养护管理系统的使用、维护等相关内容；
- 6 桥梁养护维修常用仪器、设备
- 7 桥梁运营风险识别与预防措施
- 8 自然灾害和突发事件的应急处理；
- 9 养护管理相关规定；
- 10 养护管理手册更新的基本原则。

录 B 跨海桥梁暴露试验建设方案

跨海桥梁的混凝土结构耐久性影响因素十分复杂，潮汐、浪溅、温湿度、海水盐度以及暴露位置(大气区、浪溅区、潮差区、水下区)等因素均对混凝土结构的耐久性产生较大影响。通过现场暴露试验，研究结构材料在不同环境中的腐蚀行为，能够取得最为直接、真实的耐久性数据，弥补传统室内研究手段难以全面反映各种因素综合影响的缺陷，实际环境下暴露试验已成为耐久性研究领域最重要和必不可少的技术手段。近年来我国建设的大型跨海桥梁工程，比如杭州湾跨海大桥、青岛海湾大桥、东海大桥等工程，通常在工程建设的同时建设工程配套暴露试验站，利用现场材料、配合比等制作现场试件或构件用以开展原位试验，可在不破坏实体工程结构的基础上，获取工程耐久性基础数据资料，为运营期的工程管养提供技术支撑，为大桥耐久性再设计和后期维护管养提供技术支撑。

B.1 选址与建设

暴露试验站是开展工程材料耐久性研究的主要技术平台，试验站选址区域应当充分考虑环境条件是否具有代表性，同时应当方便取样放样和维护管理，节省施工成本和后期维护成本。

B.2 高程设计

根据暴露试验站拟建位置的海水腐蚀环境特点，依据潮汐特征值统计和海水环境混凝土部位划分(表 B.2-1)，按照无掩护的天文潮水位划分设置暴露试验站不同腐蚀试块放置的高程。

表 B.2-1 海水环境混凝土部位划分

区域	按港工设计水位计算方法	按天文潮位计算方法	挪威 DNV 规范计算方法(参考)
大气区	高于设计高水位加 ($\eta_0+1.0\text{m}$)	最高天文潮位加 0.7H1/3 以上	最高天文潮位加 0.6H1/3 以上
浪溅区	大气区下界至设计高水位 减 η_0	大气区下界至最高天文潮 位减 H1/3	大气区下界至最高天文 潮位加 0.4H1/3
水变区	浪溅区下界至设计低水位 减 1.0m	浪溅区下界至最高天文潮 位减 0.2H1/3	—
水下区	水位变动区以下	水位变动区以下	浪溅区以下

浪溅区高程：我国有掩护的海港工程调查表明，钢筋腐蚀最为严重部位在设计高水位以上 1.0m 至设计高水位以下 0.8m 的区段。关于无掩护的海港工程，由于无系统的腐蚀情况调研资料，一般参考有掩护海港工程的资料。试件设置位置应满

足尽量多地遭受海水飞溅、浪溅，并减少海水浸泡的时间。

水变区高程：在结构耐久性设计阶段，基于安全考虑，针对工程确定的海水环境划分，浪溅区划分范围偏大，而水变区的范围偏小、偏低，处于水变区的混凝土结构饱水度普遍较高，往往不符合水变区潮汐涨落的特点。国内外典型暴露试验站调研发现，通常将水变区平台高程设置在平均海平面附近位置，该位置的暴露试件被海水浸泡和露出的时间基本相同，能够体现水变区干湿交替的特性。但考虑到浪溅区高程，暴露试验站内部应当留有足够的操作空间，以便于取放试件和维护管理。因此，水变区的高程将结合暴露试验站功能需求设置。

水下区、大气区高程：暴露试验站高程设置一般选择该环境分区腐蚀最严酷的位置作为暴露试件放置高程。大气区通常采用环境分区的下界作为该区域暴露试件放置的高程，水下区采用环境分区的上界。。

B.3 功能设计

暴露试验站建筑物应避免对桥梁整体景观或局部景观造成不利影响，四周应设置栏杆等围挡措施，并设置梯级踏步可供人员到达。

为避免台风、热带气旋等恶劣气候造成暴露试件的丢失，以及避免试件之间由于相互碰撞而造成内部损伤，同时也避免因试件相互挤压而影响试件的暴露试验环境对于浪溅区的暴露试件，需采用必要的固定方式。

水变区和水下区暴露试验站也应准备好试件的保护措施，进出的通道和工作人员、内部设施的安全防护措施。

B.4 主体结构耐久性监测

针对现场严酷的腐蚀环境，暴露试验站主体结构在施工图设计时，制定相应的钢筋混凝土保护层厚度、混凝土抗氯离子渗透性系数等指标，并采用硅烷浸渍等防腐处理。针对暴露试验站内部附属设施，如钢防护栏、钢筋网片、钢筋支架等钢构件，均采用 316L 的不锈钢，且采用涂层配套进行防腐涂装。

为定期监测暴露试验站主体结构耐久性健康状况，在暴露试验站腐蚀环境最严酷的浪溅区可布置 ECI 和阳极梯腐蚀监测系统。通过钢筋锈蚀监测传感器的连续采集，能够动态、准确地获得混凝土中钢筋脱钝前锋面的进展情况和混凝土结构内部其他耐久性信息，为暴露试验站主体结构耐久性再设计预案提供参考。

B.5 暴露试验方案设计

现场暴露试验主要包括混凝土暴露试验和钢结构暴露试验两部分。混凝土暴

露试验部分主要针对跨海桥梁的承台、墩身、沉管、箱梁等典型构件，成型力学试件，氯盐渗透试件，荷载试件，钢筋混凝土试件，防腐试件(包括硅烷浸渍试件、不锈钢钢筋试件、环氧涂层钢筋试件等)，在线监测构件等，通过定期测试获取主体结构力学性能、耐久性能等状况。暴露试件的成型采用施工现场拌和站混凝土，并尽量按照现场养护工艺养护时间进行养护。养护结束后，将试件放置到大桥暴露试验站或过渡暴露试验站。钢挂片暴露试验主要针对钢箱梁、钢管桩、钢塔柱等钢构件制作同材质的钢挂片开展暴露试验，钢挂片需要在工厂用机器加工制作，并针对部分钢挂片参照实体工程采用的涂装配套体系进行防腐涂装。具体暴露试验方案见表 B.5-1。

表 B.5-1 跨海大桥混凝土结构暴露试验方案

编号	试件种类	研究目的	模拟构件	放置区域	取样周期
1	力学试件	研究长期力学性能经时变化规律	航道桥、非通航孔桥的承台、墩身、主塔，沉管混凝土、岛桥结合部箱梁	大气区、浪溅区、水变区、水下区	1、3、5、10、30、50年
2	氯离子渗透试件	研究实际环境下氯离子对混凝土的侵蚀规律	航道桥、非通航孔桥的承台、墩身、主塔，沉管混凝土、岛桥结合部箱梁	大气区、浪溅区、水变区、水下区	1、2、3、5、10、20、30、50、70、90、120年
3	荷载试件(压应力、弯拉应力)	研究荷载与环境耦合作用下混凝土长期耐久性的变化规律	航道桥墩身、岛桥结合部箱梁	水变区、浪溅区	1、2、3、5、10、15、20年
4	钢筋混凝土试件	研究混凝土中钢筋的腐蚀发展规律，确定钢筋锈蚀时混凝土中临界氯离子浓度的范围	航道桥、非通航孔桥的承台、墩身、主塔，沉管、岛桥结合部箱梁	大气区、浪溅区、水变区、水下区	根据钢筋的电化学参数的变化，具体确定测试周期
5	防腐试件(硅烷浸渍、不锈钢钢筋、环氧涂层钢筋)	研究不同防护措施对混凝土结构的防护效果	航道桥、非通航孔桥的承台、墩身、主塔，岛桥结合部箱梁	大气区、浪溅区、水变区、水下区	定期测试
6	在线监测构件	通过对比长期暴露试验测试参数与在线监测测试参数之间的关系，验证腐蚀传感器测试的准确性	航道桥、非通航孔桥的墩身、沉管	浪溅区、水下区	实时监测

编号	试件种类	研究目的	模拟构件	放置区域	取样周期
7	实体结构相关性试件	研究实际暴露环境下实体结构与原位浇筑试件耐久性的相关性	暴露试验站混凝土梁	浪溅区	1、2、3、5、10、20、30年
8	钢挂片	通过现场长期暴露试验,研究实际环境下现场钢挂片的腐蚀特征以及腐蚀速率	钢箱梁、钢塔柱、钢	大气区、浪溅区、水变区、水下区	1、2、3、5、10、20、30、50、70、90、120年

征求意见稿