

公路桥梁预防养护技术规范

Technical Specifications for Preventive Maintenance of Highway Bridges

(征求意见稿)

20**-**-**发布

20**-**-**实施

中华人民共和国交通运输部发布

前 言

根据交通运输部公路局交公便字[2020]19号《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，由交通运输部公路科学研究院作为主编单位，承担《公路桥梁预防养护技术规范》（JTG/T****）（以下简称“本规范”）的制定工作。

预防养护已纳入《公路养护工程管理办法》（交公路发[2018]33号）的养护工程分类，但我国公路桥梁预防养护尚未在全行业建立统一的体系和概念。编写组总结分析现有桥梁养护工作体系，以解决现存突出问题导和提高资金效果比为导向，进一步总结了已有公路桥梁及其他相近行业桥梁预防养护工程应用经验和有关研究成果，参考国内外相关标准，构建了我国公路桥梁预防养护体系，制定了本规范的征求意见稿。

本规范的征求意见稿包括7章和2个附录，分别是：第1章总则；第2章术语和符号；第3章基本规定；第4章构件材料性能预防养护；第5章主要构件结构性能预防养护；第6章桥面及其它设施预防养护；第7章桥梁性能监测与防灾能力评判；附录A公路桥梁预防养护工作流程；附录B防止构件性能快速衰退的常见病害预防养护对策。

主编单位：交通运输部公路科学研究院

参编单位：

主编人员：

参编人员：

目 录

1 总则.....	1
2 术语、符号.....	2
2.1 术语.....	2
3 基本规定.....	3
3.1 一般规定.....	3
3.2 构件材料性能预防养护.....	3
3.3 构件结构性能预防养护.....	4
3.4 构件病害监测.....	4
3.5 防灾能力评判.....	4
4 构件材料性能预防养护.....	5
4.1 混凝土.....	5
4.2 钢.....	8
4.3 圯工.....	8
5 主要构件结构性能预防养护.....	9
5.1 主梁.....	9
5.2 拱.....	12
5.3 缆索、吊杆.....	13
5.4 墩台、塔.....	16
5.5 基础.....	17
6 桥面及其它设施预防养护.....	18
6.1 桥面.....	18
6.2 支承构件.....	19
6.3 伸缩装置.....	21
6.4 排水设施.....	21
6.5 阻尼器.....	22
6.6 除湿系统.....	22
7 桥梁性能监测与防灾能力评判.....	25
7.1 结构性能监测.....	25
7.2 防灾能力评判.....	26
附录 A 公路桥梁预防养护工作流程.....	31
附录 B 防止构件性能快速衰退的常见病害预防养护对策.....	32
本规范用词说明.....	34

1 总则

1.0.1 【目的】为使公路桥梁保持较好技术状况，降低运营期内养护成本，有序开展公路桥梁预防养护，制定本规范。

条文说明：截止 2020 年底，我国公路桥梁总数达 91.28 余万座（66,285,534 延米），而 2006 年底公路桥梁总数为 53.36 万座，相当数量桥梁服役时间仅 10 余年。为养护好这些桥梁，应进行预防养护（桥梁整体性能现状良好，但有轻微病害，为延缓性能过快衰减、保证桥梁预计使用寿命而预先采取主动防护工程），并降低使用期内的养护成本。预防养护可以完善公路桥梁分类处治体系：对存在重大安全隐患的桥梁进行加固改造、对年代久远标准低桥梁进行提质改造、对使用年限较短技术状况较好的桥梁开展有序预防养护。

1.0.2【适用范围】本规范适用于各等级公路永久性桥梁以延缓性能过快衰减、保证目标使用寿命、提升桥梁常规防灾能力为目的的主动防护工程，以及危险病害维修加固前的结构性能监测措施。

条文说明：本规范主要针对结构性能快速退化、环境作用下桥梁耐久性损伤等采取的主动防护措施，防止产生重大结构损伤而对早期病害采取的防治措施（即针对非 4、5 类桥的部分可能导致结构快速劣化的病害，处治后可取得显著效果，以提高资金效率），以及常规防灾能力的预判所需采取的措施；另外包括对于影响结构安全病害处治前采取的观测与管控措施等。上述预防养护措施具有主动性、计划性的特点。

1.0.3 【方针政策】公路桥梁预防养护应符合安全、耐久、适用、经济、绿色、环保要求。

1.0.4 【技术创新】在满足安全、耐久和使用功能的条件下，鼓励采用新技术、新材料、新工艺、新产品等，但应经技术论证可行后方可使用。

1.0.5 【与其他规范关系】公路桥梁预防养护除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关强制性标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 桥梁预防养护 bridge preventive maintenance

桥梁预防养护是指桥梁整体性能现状良好，但有轻微病害，为延缓性能过快衰减、保证桥梁预期使用寿命而预先采取的主动防护工程（即除了日常保养和维修加固外，防止结构快速退化的养护措施）。

条文说明：现行《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。因在役桥梁没有设计年限的概念和依据，因此将延长使用寿命改为保证桥梁预期使用寿命。

2.1.2 全寿命周期养护成本 life cycle maintenance cost

桥梁运营期内所发生的各项养护费用总和。

2.1.3 环境作用 environmental action

桥梁所处环境对桥梁结构构件产生的物理的、化学的等各种引起结构材料性能劣化的影响。

2.1.4 耐久性检测评定 durability inspection and evaluation

为检验公路桥梁结构构件在未来使用过程中的耐久性而开展的系列工作。

2.1.5 目标使用年限 expected service life

在正常使用和正常维护条件下，在用公路桥梁结构构件按预定目的使用的期望年限。

2.1.6 剩余耐久年限 residual life of durability

在正常使用和维护条件下，桥梁结构构件保持其适用性和安全性满足按预定目的使用的年限。

2.1.7 病害早期防治 disease early stage control

桥梁构件病害，在其对更重要构件产生损伤前或主体构件病害继续发展将产生重大损伤前的处治。

3 基本规定

3.1 一般规定

1 桥梁预防养护应根据检测评定结果进行设计、施工等，工作流程可参考附录 A。

2 应根据相应规范对桥梁预防养护开展检查评定、设计、施工等，结合桥梁管理系统和本规范做出科学的预防养护决策。其中特大、特殊结构和特别重要桥梁应制定专门预防养护计划。

条文说明：公路桥梁在环境作用下产生的耐久性病害具有明显的地带性，桥梁规律性病害具有明显的路网特征。预防养护工作优先开展特重大工程和区域路网共性问题的防治，可采用专项养护进行组织实施。预防养护应注重长期评估数据和预防养护工程实施效果的积累。

- 3 重载交通道路上的桥梁宜进行预防养护；
- 4 数量较多构件存在同类病害的桥梁宜集中组织实施；
- 5 桥梁应设置养护检修通道，保证重要部位可达、可检、可修。

3.2 构件材料性能预防养护

3.2.1 构件材料性能预防养护的实施应按下列规定执行：

- 1 环境作用等级在中度及以上区域桥梁构件可进行预防养护；
- 2 耐久性评定等级为Ⅱ级的构件宜进行预防养护；
- 3 耐久性评定等级为Ⅲ级的构件应进行预防养护；
- 4 可能导致预应力筋材锈蚀的病害应进行预防养护。

条文说明：《公路桥梁耐久性检测评定规程》“以下简称《评定规程》”根据评定指标的严重程度，将公路桥梁构件耐久性等级划分为4级，对应的养护措施分别为：Ⅰ级正常养护；Ⅱ级应及时进行养护；Ⅲ级应立即进行预防养护；Ⅳ级应进行修复养护。本规范与《评定规程》相协调，引用了其中关于预防养护的规定。

3.2.2 碳化、氯盐环境、硫酸盐腐蚀、冻融、磨蚀等作用应按《耐久性检测评定规程》进行专项评估，根据评估结构采取相应预防养护措施。

3.3 构件结构性能预防养护

3.3.1 构件结构性能出现病害后，可能导致结构性能快速退化，则其预防养护的实施应按下列规定执行：

- 1 构件技术状况为 2 类，宜进行预防养护；
- 2 构件技术状况为 3 类，应进行预防养护；

条文说明：依据《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T J21）针对构件病害的现状、程度及对结构的影响进行判定。其评定等级作为预防养护的初步判据，限于现有的养护资金，应对其中可能造成结构性能快速退化病害进行处治。

3.3.2 经评估结构病害继续发展将导致结构抗力、刚度、横向整体性和基础变位等性能快速退化，则应采取预防养护措施。

条文说明：当仅依靠构件病害本身无法判定其对结构性能影响时，应根据《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21）的相关规定对结构承载能力进行分析。通过分析判定病害的持续发展对结构抗力、刚度、横向整体性及基础变位等性能影响较大时，应及时采取预防养护措施。

3.4 构件病害监测

3.4.1 可能危及结构安全的病害在未采取有效措施前，应对构件进行跟踪监测。

3.4.2 主要监测内容包括构件异常变形、变位和典型裂缝等。

3.4.3 监测到异常情况应立即进行应急处置。

3.5 防灾能力评判

3.5.1 桥梁存在火灾、洪水、地震、风灾和车船撞等较大、重大风险时，应进行相应防灾能力评判。

条文说明：风险评判应根据相应规范进行，如无现行规范则可根据国务院安委会办公室《关于实施遏制重特事故工作指南构建双重预防机制的意见》（安委办〔2016〕11 号）要求进行风险管控和隐患治理两方面评判。

3.5.2 对于防灾能力不足的桥梁应进行安全风险管控和隐患治理。

3.5.3 根据评判结果，采取技术工程、智能化管控、专业化服务保障等措施。

4 构件材料性能预防养护

- 1 当桥梁所处环境作用明显时，应按《公路桥梁耐久性检测评定规程》评估其耐久性，及时开展预防养护。
- 2 对于影响材料耐久性的病害应进行评估，立即开展预防养护。

4.1 混凝土

4.1.1 当混凝土构件表面存在蜂窝麻面、空洞孔洞、剥落露筋和表面裂缝等外观质量缺陷评为Ⅱ级和Ⅲ级时，应进行预防养护。对蜂窝麻面、空洞孔洞和剥落露筋应进行修复，累计保护层缺损面积大于5%，应对整体构件表面进行薄层修复；宽度小于0.1mm的裂缝宜进行表面防护，对宽度大于0.1mm的裂缝应进行灌封处理。

4.1.2 当混凝土构件出现箍筋锈蚀导致的剥落，或局部有主筋锈蚀导致的剥落、且在控制截面上出现锈蚀剥落的主筋数量不大于5%，应进行预防养护；应对锈蚀的钢筋进行除锈，并用比构件混凝土高一个强度等级的细石混凝土修复。

4.1.3 当混凝土构件表面出现水侵或泛白时，宜进行预防养护；宜清除表面析出物，对析出位置的缺陷进行修复，并对构件表面涂刷防水涂层。

4.1.4 针对一般大气环境混凝土碳化导致钢筋锈蚀的预防养护，除应符合本标准低4.1.1、4.1.2和4.1.3条规定外，尚应符合下列规定：

- 1 当混凝土碳化深度超过保护层厚度的1/2且碳化前沿距离钢筋表面大于10mm时，宜进行预防养护；宜采用表面防护涂层或表面薄层替换等措施进行防护。

- 2 当混凝土碳化前沿距离钢筋表面不足10mm或超过钢筋保护层厚度、但钢筋未出现明显锈蚀时，应进行预防养护；宜对保护层混凝土进行再碱化，并涂刷渗透型钢筋阻锈剂。

条文说明：当混凝土碳化至钢筋表面时，混凝土中的钢筋易发生锈蚀，影响结构承载力。预防养护的目的是防止结构或构件性能过快劣化，即防止钢筋出现锈蚀。但是，如果在混凝土碳化至钢筋表面时再进行预防养护，钢筋可能已经发生锈蚀。主要原因如下：一是混凝土碳化存在部分碳化区，对于C30的混凝土而

言，水泥用量一般在 350kg 左右，当所处环境相对湿度在 60%时，部分碳化区的长度一般在 3-5mm 左右，但是采用常规的酒精酚酞检测法，很难检测到这个部分碳化区；二是因为结构在实际使用过程中，由于环境作用、材料性能均存在一定的随机性，在统计上需要留有一定的富裕度。因此，本规范规定混凝土碳化前沿至钢筋表面不足 10mm 时需要进行预防养护；混凝土保护层厚度一般大于 30mm，碳化深度超过混凝土保护层厚度的 1/2，说明碳化深度大于 15mm，对于普通 C30/C40 等混凝土而言，服役时间已经超过 10~20 年，有条件时，推荐开展预防养护，以经济有效地延长结构使用年限。

4.1.5 针对海洋和近海氯化物环境氯盐腐蚀导致钢筋锈蚀的预防养护，除应符合本标准低 4.1.1、4.1.2 和 4.1.3 条规定外，尚应符合下列规定：

1 当混凝土中临界氯离子浓度侵蚀深度超过保护层厚度的 1/2 且距离钢筋表面大于 10mm 时，宜进行预防养护；宜采用表面防护涂层或增加防护薄层等措施进行预防养护；

2 当混凝土中临界氯离子浓度侵蚀深度距离钢筋表面不足 10mm、且钢筋未出现明显锈蚀时，应进行预防养护；宜对保护层混凝土进行电化学除盐，并涂刷渗透型钢筋阻锈剂。

条文说明：海洋和近海氯化物环境中钢筋锈蚀的主要原因是氯离子侵蚀诱发的钢筋锈蚀。本规定给出的 10mm 距离，主要是考虑到环境作用、材料性能均存在一定的随机性，在统计上需要留有一定的富裕度。

4.1.6 针对硫酸盐腐蚀环境中混凝土构件预防养护，除应符合本标准低 4.1.1、4.1.2 和 4.1.3 条规定外，尚应符合下列规定：

1 当构件表面存在白色析出物时，宜进行预防养护；应清除构件表面附着的析出物，并涂刷防护涂层等措施进行防护。

2 当构件表面局部有起砂脱落时，应进行预防养护；应清除构件表面松散物质，进行表面薄层修复，并涂刷环氧树脂或防护涂层进行防护。

3 当构件表面有露石现象、且面积不大于遭受侵蚀面积的 10%时，应进行预防养护；宜清除松散露石，并对采用比原构件混凝土高一个强度等级的细石

混凝土或砂浆进行修补，并对构件表面涂刷防护涂层等措施进行防护。

4 当构件抗硫酸盐侵蚀剩余耐久年限在 5-10 年时，应进行预防养护；当存在硫酸盐腐蚀病害现象时，应按本条第 1、2 和 3 款进行处理；当不存在明显的病害现象时，应进行防水处理。

条文说明： 根据《评定规程》，可以估算混凝土结构构件抗硫酸盐侵蚀剩余耐久年限。本规定给出的构件抗硫酸盐侵蚀剩余耐久年限 5~10 年作为预防养护的前提条件，除考虑预防养护的经济性外，主要是考虑到环境作用、材料性能均存在一定的随机性，在统计上需要留有一定的富裕度。

4.1.7 针对冻融环境中混凝土构件的预防养护，除应符合本标准低 4.1.1、4.1.2 和 4.1.3 条规定外，尚应符合下列规定：

1 当构件表面存在灰浆掉皮、起砂时，应进行预防养护；应清除构件表面的松散砂浆，进行表面薄层修复，并涂刷环氧树脂或防护涂层等进行防护。

2 当构件表面有露石、且露石面积不大于构件遭受冻融面积的 30%时，应进行预防养护；宜清除松散砂浆和露石，并对采用比原构件混凝土高一个强度等级的细石混凝土或砂浆进行修补，并对构件表面涂刷防护涂层等进行防护。

3 对于受冻雨影响突出的构件，应进行表面防护，防止混凝土快速劣化。

条文说明： 露石面积不大于构件遭受冻融面积的 30%，尚不至于影响结构承载力。但是，由于结构表层防护砂浆已经部分脱落，若不及时处治、防护，结构劣化速度将会加快。因此，本规范规定在露石面积不大于构件遭受冻融面积达到 30%以前，需要开展预防养护。

4.1.8 针对混凝土构件磨蚀的预防养护，除应符合本标准低 4.1.1、4.1.2 和 4.1.3 条规定外，尚应符合下列规定：

1 当构件表面存在灰浆掉皮、起砂时，宜进行预防养护；宜清除构件表面的松散砂浆，进行表面薄层修复，并涂刷丙乳砂浆等进行防护。

2 当构件表面有露石现象时，应进行预防养护；应清除松散砂浆和露石，并对采用比原构件混凝土高一个强度等级的耐磨细石混凝土或砂浆进行修补。

条文说明： 在结构构件表面出现露石现象时，说明主要起耐磨作用的表层砂浆层已经磨蚀殆尽，耐磨能力基本达到极限。因此，此时需要及时开展预防

养护，以提高结构构件的抗磨蚀能力，防止结构构件出现快速磨蚀现象。

4.2 钢

4.2.1 当钢构件涂层劣化等级评定为 2 级时或 3 级时，宜进行预防养护；应定期观测钢构件锈蚀状况，当钢构件出现较多锈点、锈迹时，应清除原涂层，更换新涂层。

4.2.2 当构件表面有较多点蚀，氧化皮、油漆层因锈蚀而部分剥落或可以刮除，局部有锈蚀成洞现象，且表观锈蚀累计面积不大于构件面积的 15%时，应进行预防养护；应清除钢构件发生锈蚀部位的涂层，重新涂刷涂层。

4.2.3 对于无防腐蚀措施的钢构件，锈蚀耐久年限在 5-10 年时应进行预防养护；应对钢构件进行除锈，并涂刷防腐涂层。

4.2.4 涂层有气泡和流挂现象，单处流挂面积大于 900mm^2 ，累计面积之和大于构件涂层面积的 1%，应进行预防养护；应定期观测该部位钢构件锈蚀状况，当出现局部锈迹时，应清除该部位原涂层，重新涂刷。

4.2.5 钢构件存在漏涂和误涂，应进行预防养护；对于漏涂的，应立即进行补涂；对于误涂的，应清除原涂层，重新正确涂刷。

4.2.6 对于预应力钢束发现压浆不密实或体外束外防护出现破损时，应立即采取措施进行防护，避免出现应力腐蚀。

4.3 圬工

4.3.1 圬工砌块接缝砂浆有多处渗水现象，渗水长度大于该处接缝总长度的 10%；或单处渗水长度大于 1m；或多处有松散脱落现象，松散脱落长度大于该处接缝总长度的 10%；或单处松散脱落长度大于 1m，应进行预防养护；宜清除渗水、松散、脱落的原砂浆，阻断水源，重新批抹接缝砂浆。

4.3.2 混凝土砌块的预防养护应符合本规程第 4.2 节的规定。

4.3.3 石材砌块存在大范围较强或严重风化现象，风化面积大于构件面积的 20%，宜进行预防养护；局部出现风化或冻融等导致的表面剥落大于构件面积的 20%时，应进行预防养护；宜清除表面松散物质、阻断水源，并在表面批抹砂浆防护层。

5 主要构件结构性能预防养护

1 应按《公路桥梁技术状况评定标准》、《公路桥梁承载能力评定规程》评估其主要构件性能，当结构性能可能出现快速退化时应及时开展预防养护。

2 对于影响结构抗力、刚度、整体性能及基础稳定性的病害应进行评估，预防养护对策可参考附录 B。

5.1 主梁

5.1.1 当混凝土空心板铰缝混凝土出现不连续微裂缝或板底铰缝局部渗水泛白时，应进行预防养护。可使用的预养护措施包括注浆加固修复、铰缝重做、施加横向预应力或其它增加整体受力性能的方法。

条文说明：空心板梁铰缝实际上传递了一定数量的横向弯矩，跨中位置的铰缝承担的弯矩较大；铰缝的受力介于铰接和刚接之间。铰缝破坏明显，失去了其应有的作用，剪力传递效果差，造成行车荷载作用时的单板受力，特别是当超载车辆通行时，更加速加重了板的破坏，造成板的挠度过大或断板，影响行车安全及桥涵的使用寿命。铰缝对空心板梁桥的使用寿命影响非常大，铰缝病害的发展决定了空心板梁桥主要受力构件的使用状态。根据经验针对空心板铰缝确定最优预防性养护时间点为第二阶段，各阶段划分见下表。

根据铰缝病害发展的阶段特征，将铰缝病害程度分为五个等级，各等级的典型状态指标列表如 5.1-2 所示。

表 5.1-2 空心板铰缝病害状态指标

病害阶段	病害等级	病害状态指标
第一阶段	轻微	铰缝混凝土出现不连续微裂缝
第二阶段	中度	板底铰缝局部渗水泛白
第三阶段	较严重	铰缝渗水范围过半，桥面铺装出现裂缝
第四阶段	严重	桥面铺装出现多条纵缝，铰缝混凝土局部碎裂
第五阶段	破坏	桥面铺装多条纵缝贯通，铰缝混凝土大面积破碎

5.1.2 当混凝土 T 梁和小箱梁横向联系结构超限裂缝或连接钢板脱焊之前，

应进行预防养护。可采用的预防养护措施包括增加桥面补强层法、增设横向预应力法、加固横隔板法、增设横隔板法。

条文说明：T 梁或小箱梁的横向联系薄弱是造成 T 梁或小箱梁病害的主要原因，横向联系的薄弱会导致各片梁受力的不均匀，严重时会出现单片梁受力问题，导致其所承担的作用超过其承载能力，引起桥梁的毁坏。横向联系部件的主要病害包括湿接缝开裂、横隔板破损开裂等。

5.1.3 当现浇箱梁底板出现渗水析白或箱梁底板裂缝周围伴有渗水腐蚀的痕迹时表明箱梁内部有积水，应进行预防养护。可采取的预防养护措施主要包括加强重做防水层、顶板裂缝处治等。

5.1.4 当大跨径预应力混凝土箱梁出现腹板斜裂缝、顶板纵向裂缝，裂缝宽度不超限，应进行预防性养护。可采取的预防性养护措施主要包括裂缝封闭灌浆处理、体外预应力补强等。

条文说明：大跨径预应力混凝土箱梁在运营过程中相当数量箱梁的腹板、顶板、底板、横隔板以及齿板等部位出现了各种形式的裂缝，裂缝的存在对结构的耐久性、安全度和正常使用都会产生十分不利的影响，而预应力混凝土的下挠和开裂有着非常紧密的关系。下挠意味着结构内力发生了变化，应力变化一旦超过混凝土的多轴抗拉强度就会出现开裂，而一旦出现结构开裂，结构变化的机理将变得异常复杂，开裂与下挠现象也会迅速恶化。

根据大跨径预应力混凝土箱梁跨中下挠与开裂病害发展的阶段特征，将病害程度分为四个等级，各等级的典型状态指标列表如下。

病害阶段	病害程度等级	病害状态指标
第一阶段	轻微	下挠累计值不超过收缩徐变理论值
第二阶段	中度	腹板出现斜裂缝、顶板出现纵向裂缝
第三阶段	较严重	下挠累计值超过收缩徐变理论值
第四阶段	严重	跨中底板出现横向裂缝
第五阶段	破坏	横向裂缝贯通、下挠严重

表 5.2-2 大跨箱梁开裂及长期下挠病害状态指标

5.1.5 当钢桁梁的受拉杆件焊缝开裂长度 $\leq 5\text{mm}$ 时应进行预防养护；一个节

点的连接螺栓、铆钉损坏、松动、丢失、失效的数量达到该节点数量的 5%时应进行预防养护。

焊缝开裂可采取在裂纹端外 0.5~1.0 倍板厚处钻止裂孔，以防止其进一步急剧扩展，并根据裂纹性质及扩展情况采取相应处理措施。对于尺寸较小、扩展能力较弱的裂纹可采用气动冲击、超声锤击等方法处理，对于尺寸较大、扩展能力较强的裂纹宜采用螺栓或粘贴加固材料等冷处理方法。

螺栓或铆钉松动、变形、损坏、缺失等可采取的防护措施包括补拧、增补及更换等。

条文说明：钢梁中连接焊缝开裂、高强度螺栓的病害（包括高强度螺栓锈蚀、松动、断裂、缺失等）、构件变形等病害对结构的寿命和安全有直接的影响。

钻孔止裂法作为应急处理措施，以释放裂纹端部应力集中，延缓或暂时阻止裂纹继续发展，为后续进一步查明裂纹性质和扩展过程并采取措施创造条件，止裂孔直径按《公路钢结构桥梁养护技术规范》（JTG/T 51XX-20XX）执行。

钢结构焊缝开裂的处理遵循降低应力集中，不产生较大残余拉应力的原则。冷处理方法指在裂纹损伤处理过程中不引入新的焊接疲劳细节，对原结构无损伤或微损伤，冷维护材料以钢材、纤维板等为主，连接方法包括粘贴、栓接和粘-栓混合连接等。裂纹处理不宜采用焊接等热处理方法，确需使用时，应通过临时支撑卸载，必要时临时中断桥面交通，并通过专家评审通过后方可实施。

螺栓、铆钉的补拧、增补或更换应逐个进行，其材质、规格、强度等级等应与原螺栓或铆钉相同，并在修补后按原涂装方案重新涂装。

5.1.6 当钢板梁、钢箱梁的主梁、纵横梁受拉翼缘边焊缝开裂长度 $\leq 5\text{mm}$ 时应进行预防养护；一个节点的连接螺栓、铆钉损坏、松动、丢失、失效的数量达到该节点数量的 5%时应进行预防养护。焊缝开裂和螺栓或铆钉松动、变形、损坏、缺失等可采取防护措施见 5.1.5。

5.1.7 当钢-混组合梁的钢主梁、纵横梁受拉翼缘边焊缝开裂长度 $\leq 5\text{mm}$ 时应进行预防养护；一个节点的连接螺栓、铆钉损坏、松动、丢失、失效的数量达到该节点数量的 5%时应进行预防养护；钢梁底板有明显的锈蚀及受水侵蚀的痕迹

时应进行预防养护。焊缝开裂和螺栓或铆钉松动、变形、损坏、缺失等可采取防护措施见 5.1.5。箱梁内积水可采取的预防养护措施包括重塑桥面防水、排放箱内积水。

5.1.8 钢结构、钢-混凝土组合结构桥梁的钢梁竖向弯曲矢度 $\leq$ 跨度的 $1/1500$ ，或钢梁横向弯曲矢度 $\leq$ 自由长度的 $1/8000$ 且 $<15\text{mm}$ ，或桁架受压弦杆弯曲矢度小于自由长度的 $1/500$ ，或桁架主梁拉力杆件弯曲矢度小于自由长度的 $1/800$ ，或桁架受压弦杆弯曲矢度小于自由长度的 $1/500$ 的，应进行预防养护。可采用热矫正、冷矫正、热-机械矫正方法，其中受力构件应采用热矫正方法，冷矫正、热-机械矫正可用于非受力或微小变形构件。

条文说明：带载钢桥不宜进行热矫正，热矫正中的钢材温度不应超过钢材临界温度和淬硬钢及回火钢回火极限中的最低值，矫正过程中由施加外力产生的应力不超过钢结构在受热状态下的屈服应力。

冷矫正利用机械力的作用来矫正钢结构变形，消耗钢材的塑性储备，包括捶击法、千斤顶反力顶推等。冷矫正的最低环境温度应进行限制，碳素结构钢不得低于 -16°C ，低合金结构钢不得低于 -12°C 。

热-机械矫正应尽可能在自然冷却后立即进行，并应采取措施消除残余应力。

5.2 拱

5.2.1 当混凝土拱肋的主拱圈不出现大偏压构件即 $e < 0.2$ 时应进行预防养护；当主拱圈出现少量横向裂缝，其宽度未超限，且横向裂缝缝长 $\leq$ 截面尺寸的 $1/8$ ，缝宽 $\leq 0.1\text{mm}$ 时应进行预防养护。

条文说明：裂缝封闭、灌浆处理方法见第 5.1.3 节所列。

5.2.2 当钢管混凝土拱肋内混凝土存在部分脱空、钢管焊缝开裂长度 $\leq 5\text{mm}$ 时，应进行预防性养护。钢管内混凝土填充不密实或脱空的养护措施为无收缩灌浆料填充，焊缝开裂宜采用高强度螺栓栓接、粘贴钢板或纤维板等冷处理方法。

5.2.3 钢拱肋、钢-混组合拱肋的预防养护实施条件及措施按本标准 5.1.5、

5.1.6、5.1.7、5.1.8 条执行。

5.2.4 当圬工主拱圈横向裂缝缝长 $\leq$ 截面尺寸的 $1/8$ ，缝宽 $\leq 0.1\text{mm}$ 时；主拱圈灰缝脱落累计长度 $\leq$ 截面长度的 10% ，或单处长度 $\leq 1.0\text{m}$ 时应进行预防养护；主拱圈局部砌体小块断裂，断裂累计面积 $\leq$ 构件面积的 1% ，或单处面积 $\leq 0.5\text{m}^2$ 时应进行预防养护；主拱圈有明显渗水痕迹时；应进行预防养护。主拱圈裂缝的预防性养护措施是封闭、灌缝处理；灰缝脱落的预防性养护措施是用同等级或高一等级的砂浆进行修补处理；砌块断裂脱落的预防性养护措施是更换处理。主拱圈渗水的预防养护措施重建防排水体系、拱圈内花钢管注浆等。

5.2.5 当拱上立柱或立墙混凝土出现少量裂缝，其宽度未超限值，且单缝缝长 $\leq$ 截面尺寸的 $1/3$ 时应进行预防养护；当个别立墙或立柱与盖梁连接处出现空隙、开裂或错位，但发展缓慢或趋向稳定时应进行预防养护。裂缝可使用的养护措施包括裂缝封闭、灌浆处理；与盖梁连接处的空隙、开裂可使用的养护措施包括灌浆封闭缝隙，粘贴钢板与异钢、粘贴碳纤维布等方法。

条文说明：裂缝封闭、灌浆处理参考第 5.1.3 节中的相关方法进行。

5.3 缆索、吊杆

5.3.1 当悬索桥主缆护套表面出现环状裂缝，裂缝深度小于 5mm 时，应进行预防养护；当主缆索体钢丝表面出现白粉，或钢绞线个别区域出现明显的变色并伴有红色或褐色的斑点时，应进行预防养护；装有除湿系统的主缆，当除湿系统工作异常或者无法工作时应进行预防养护；索鞍应保持干燥状态、清洁，无漏水、积水，索鞍的辗轴或滑板应保持正常工作状态。可使用的养护措施包括恢复防护层、加装除湿系统等。

条文说明：防护套的开裂、破损是斜拉索、吊杆、系杆除两端锚头锚下积水外最常见的防护失效病害，也是斜拉索、吊杆、系杆发生锈蚀的主要原因之一。

根据主缆护套开裂破损病害的状态特征，将病害发展分为四个阶段，各阶段的典型状态指标列表如 5.3.1-1 所示。当护套开裂破损病害发展到第二阶段时，应进行预防养护。

表 5.3.1-1 悬索桥主缆护套开裂病害状态指标

病害阶段	病害状态指标
第一阶段	护套表面出现网状裂缝
第二阶段	护套表面出现环状裂缝，裂缝深度小于 5mm
第三阶段	部分环状裂缝深度已经达到索体表面
第四阶段	在部分环状裂缝处，肉眼可以清楚地观察到索体表面情况。

主缆护套破损部位修补前应先观察主缆钢丝是否锈蚀，是否有水分进入索体内，待除锈、除湿并恢复原防锈等级后进行重新缠包带或缠丝，恢复防护层，保证主缆防护层完好。

当主缆索体钢丝表面出现白粉，或钢绞线个别区域出现明显的变色并伴有红色或褐色的斑点时，应进行预防养护。根据主缆索体钢丝或钢绞线锈蚀病害的状态特征，将病害发展分为五个阶段，各阶段的典型状态指标列表如 5.3.1-2 所示。当索体锈蚀病害发展到第二阶段时，应进行预防养护。

表 5.3.1-2 悬索桥主缆索体锈蚀病害状态指标

病害阶段	钢丝锈蚀等级	病害状态指标
第一阶段	无锈蚀	防护系统出现进水、漏油等。
第二阶段	轻微锈蚀阶段	钢丝表面出现白粉；钢绞线个别区域出现明显的变色并伴有红色或褐色的斑点。
第三阶段	中度锈蚀阶段	钢丝表面黄色锈斑较多，但颜色较浅；钢绞线大部分区域表面变色严重，个别区域出现褐色、绿色、橙色、红色或黑色等颜色更深的坑蚀产物。
第四阶段	严重锈蚀阶段	钢丝表面出现稀疏蚀坑，最大深度 $<0.5\text{mm}$ ；钢绞线出现截面损失或裂纹，大部分钢绞线表面被锈蚀产物覆盖。
第五阶段	破坏阶段	第五阶段：钢丝和钢绞线坑蚀占表面积 50%以上，可见锈断现象。

主缆索体锈蚀宜完全去除原防护护套，对索体锈蚀部位进行除锈和防腐处理，之后进行主缆护套的恢复。

装有除湿系统的主缆，应定期检查除湿系统工作是否正常，包括锚室、散索

鞍、主索鞍在内的全部主缆系统是否处于一个相对封闭、干燥的环境；对于未装除湿系统的主缆，具备条件的，可加装除湿系统。

索鞍应保持干燥状态、清洁，无漏水、积水。固定索鞍及鞍座所含槽口拉杆、鞍体对合螺栓、鞍座固定螺栓等应每3年检查重拧一遍，防止松脱。索鞍的辗轴或滑板应保持正常工作状态，根据产品说明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。

5.3.2 当斜拉桥拉索、拱桥吊杆和系杆护套表面出现环状裂缝，裂缝深度小于5mm时应进行预防养护；当锚头内油脂老化、变质时应进行预防养护；当导管、锚头内积水时应进行预防养护；当拉索、吊杆出现异常振动时应进行预防养护。可使用的预防措施包括恢复防护层、清除积水、重新涂抹防腐油脂、更换减振设施。

条文说明：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缠绕带补充防护。

拉索、吊杆PE护套典型修补工艺流程如下：

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用丙酮对修补部位进行清洗，加工坡口；

③用与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；

④如需缠绕PVF带，待护套修补完成后，在索体外表面缠绕PVF带及纤维胶带进行防护。

拉索、吊杆预防养护的重点部位是锚头处、索体出口密封处等。除了对该处进行清洁、保持干燥环境外，需采取主动防护措施，及时更换锚具内劣化失效的防护油脂，做好密封、防水等。

经常发生的拉索、吊杆振动异常会损坏钢套筒（导管）、套筒帽及其固定螺栓、防振阻尼器、PE护套等，使拉索、吊杆根部积水，加速钢丝锈蚀，缩短使用寿命，需采取相应的减振、抑振措施。

5.3.3 当悬索桥吊杆护套表面出现环状裂缝,裂缝深度小于 5mm 时应进行预防养护;当锚头内油脂老化、变质时应进行预防养护;当导管、锚头内积水时应进行预防养护;当索夹端部及半索夹缝隙间填缝密封胶老化时应进行预防养护;当索夹螺杆应保持紧固力低于其设计值的 70%时应进行预防养护。可使用的预防措施包括恢复防护层、清除积水、重新涂抹防腐油脂、更换密封胶、复拧索夹螺杆。

条文说明:索夹端部及半索夹缝隙间填缝密封胶应视老化情况定期更换,或采取可靠的技术重新密封。

索夹螺杆应保持紧固力不低于其设计值的 70%。建成通车第一个 5 年内,每年均匀选取不少于 40%,2 年半复拧一遍。通车 5 年后,可根据对靠近索塔处索夹螺杆紧固力定期检查的结果进行评估,确定每年均匀选取的比例。无评估时,可采取每年均匀选取 25%,4 年复拧一遍的模式。

索夹螺杆复拧时应避免单个张拉螺杆导致索夹的受力不均,宜对一个索夹的螺杆进行交叉张拉,对称施拧。

5.4 墩台、塔

5.4.1 当桥台台身或侧墙混凝土出现局部网状裂缝,且网状裂缝累计面积 $\leq$ 构件面积的 20%,单处面积 $\leq 1.0\text{m}^2$ 时应进行预防养护;当桥台或侧墙出现少量从基础向上发展至台身的竖向裂缝,宽度未超限,且缝长 $\leq$ 截面尺寸 $1/5$ 时应进行预防养护;当桥台或侧墙台身出现少量水平裂缝,裂缝宽度未超限,且缝长 $\leq$ 台身宽的 $1/8$ 时应进行预防养护。圯工桥台出现局部小块断裂或缺损时应进行预防养护。桥台出现轻微下沉、倾斜滑动,但发展缓慢或趋向稳定时应进行预防养护。可采用的预防养护措施包括裂缝封闭、灌浆处理,更换损坏的砌块、地基加固等。

条文说明:裂缝封闭、灌浆处理方法见第 5.1.3 节所列,砌块更换方法见第 5.2.5 节所列。

5.4.2 当墩柱混凝土出现局部网状裂缝,且网状裂缝累计面积 $\leq$ 构件面积的 20%,单处面积 $\leq 1.0\text{m}^2$ 时应进行预防养护;当墩身出现少量水平裂缝,其宽度未超限,且缝长 $\leq$ 墩身直径或墩身宽度的 $1/8$ 时应进行预防养护;当出现少量

竖向裂缝，其宽度未超限，且缝长 $\leq$ 截面尺寸的 $1/5$ 时应进行预防养护。圯工桥墩出现局部小块断裂或缺损时应进行预防养护。可采用的预防养护措施包括裂缝封闭、灌浆处理，更换损坏的砌块。

条文说明：裂缝封闭、灌浆处理方法见第 5.1.3 节所列，砌块更换方法见第 5.2.5 节所列。

5.4.3 当桥塔混凝土出现局部网状裂缝，且网状裂缝累计面积 $\leq$ 构件面积的 20%，单处面积 $\leq 1.0\text{m}^2$ 时应进行预防养护；当桥塔出现少量其他裂缝，其宽度未超限，单缝缝长 $\leq$ 截面尺寸的 $1/3$ 时应进行预防养护。可采用的预防养护措施包括裂缝封闭、灌浆处理等。

条文说明：裂缝封闭、灌浆处理方法见第 5.1.3 节所列。

5.5 基础

5.5.1 当混凝土桩基础有局部冲蚀现象，部分外露，但未露出基底，且冲刷面积 $\leq 10\%$ 时应进行预防养护；当混凝土桩基础或承台有轻微磨损、腐蚀现象，个别部位表面磨耗，粗骨料显露，冲蚀累计面积 $\leq$ 构件面积的 3%时应进行预防养护。可使用的预养护措施是聚合物砂浆修复、回填或抛石防护等。

5.5.2 当扩大基础有局部冲蚀现象，部分外露，但未露出基底，且冲刷面积 $\leq 10\%$ 时应进行预防养护；当扩大基础有沉降变化时；应进行预防养护。可使用的预养护措施是聚合物砂浆修复、回填或抛石防护、扩大基础加固法等。

条文说明：当扩大基础具有较大的不均匀沉降，并且地基土质比较坚实时，可以采用扩大基础法进行加固。

5.5.3 当沉井基础有局部冲蚀现象，部分外露，但未露出基底，且冲刷面积 $\leq 10\%$ 时应进行预防养护；当沉井基础变位时应进行预防养护。可使用的预养护措施是聚合物砂浆修复、回填或抛石防护等。

6 桥面及其它设施预防养护

针对桥梁附属构件出现的病害或存在的缺陷可能影响主体构件受力,或导致性能快速衰退及使用年限明显缩短,应及时采取防治措施。

6.1 桥面

6.1.1 桥面铺装使用功能,为防止桥面抗滑、耐磨等性能过快衰退,规定相应的薄层罩面、微表处等预防养护措施。

1 沥青混凝土桥面铺装按《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21-2011)的评分标准,构件车辙病害、泛油病害标度达到 3 或裂缝病害标度达到 2 时,宜进行桥面铺装预防养护,预防养护措施见下表;2 预防养护措施按整个评定单元进行,应满足现行《公路沥青路面养护技术规范》(JTG 5142)的相关技术要求。

预防养护措施选择列表

类别	项目	指标	预防养护措施				
			雾封层	碎石封层	稀浆封层	微表处	薄层罩面
	车辙	<15mm	×	★	★	★	★
		15~40mm	×	×	×	★	×
	裂缝	轻微	×	★	★	★	★
	龟裂	轻微	×	★	△	★	△
	泛油	多处出现	×	△★	★	★	★

注:★—推荐使用;△—谨慎使用或有条件使用;×—不推荐使用。

2 水泥混凝土桥面铺装按《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21-2011)的评分标准,磨光、脱皮、露骨病害标度达到 3 的构件,宜进行桥面铺装预防养护,预防养护措施可采用薄层罩面、加大构造深度;

3 水泥混凝土桥面铺装接缝料出现损坏病害,应及时进行接缝料更换处理。

4 混凝土桥面出现大于 1mm 的裂缝,应查明原因,及时处理。在确定桥面无结构性破坏和裂缝不继续发展的条件下,可进行灌缝封闭处理。

5 混凝土桥面出现断缝、拱胀、错台、露骨、坑洞等病害时,应及时处理。损坏面积较大时,应整块或整跨凿除,重铺新的混凝土。

6 预防养护实施时机应根据具体预防养护措施的寿命周期及病害情况综合决定,预防养护措施寿命见下表。

不同预防养护措施应用的参考时间

措施	雾封层	碎石封层	稀浆封层	微表处	薄层罩面
运营时间（年）	2~3	3~5	3~5	3~5	3~5

注：交通荷载等级高时宜靠下限取值，交通荷载等级低时宜靠上限取值。

7 桥面铺装预防养护，拟改造的桥面铺装厚度大于原桥铺装层厚度时，应经过技术论证或检算。

6.1.3 桥面防水规定防渗涂层、裂缝封闭等预防措施

- 1 当桥面铺装出现开裂时，应立即修补，防止雨水下渗侵蚀主梁结构。
- 2 当桥面出现积水排水不畅时，应及时改造。
- 3 当桥面排水水流侵蚀结构时，应按 6.4 中规定及时改造。

6.2 支承构件

支座应加强例行保养工作：

- 1 支座每半年检查清扫一次，每年保养一次，以使支座各部保持完整、清洁、有效，梁体支撑状况正常，桥跨伸缩自如。
- 2 支座外露金属面应定期清洁，除锈、涂漆或封油，用棉纱擦净不锈钢表面的灰尘；除铰轴、钢辊、不锈钢滑面外，每两年涂漆防锈一次。
- 3 在空气中浮尘含量较高地区采用聚合物滑板的支座，应增设防尘设施。

6.2.1 板式橡胶支座局部脱空、偏压时，应予处治。根据《公路桥梁技术状况评定标准》JTGT H21-2011 中的相关规定，板式橡胶支座串动（偏位）、脱空或剪切超限评定标准见表 6.2-1。

条文说明：支座病害主要可归为两类，一类是非荷载病害，一类是荷载异常病害。荷载异常病害是支座所承受上部荷载异常引起的，根据异常荷载作用方向，又可分为横向荷载异常病害和竖向荷载异常病害。混凝土包裹、支座安装偏位及支座老化等。常见荷载异常一般包括支座剪切变形、支座四氟板磨损、串动（偏位）、偏压外鼓、开裂和脱空等。各种常见病害中对桥涵结构安全和寿命影响较大的是脱空、串动（偏位）及剪切超限，此类病害容易导致主梁结构受力不均匀。

表 6.2-1 板式支座位置串动、脱空或剪切超限

标 度	评 定 标 准	
	定性描述	定量描述
1	完好	—
2	支座出现剪切变形或位置略有偏移	—
3	支座出现剪切变形或位置有较大偏移	剪切角度 $\leq 45^{\circ}$
4	支座串动较严重，或出现脱空现象，或出现严重变形	串动长度 $\leq$ 相应边长的 25%， 或剪切角度 $> 45^{\circ} \leq 60^{\circ}$
5	串动严重并造成桥梁其他构件出现较严重病害	串动长度 $>$ 相应边长的 25%
	支座错位、串动、变形严重，已经失去正常支承功能，造成相关上下部结构严重损坏，主梁出现严重变形	剪切角度 $> 60^{\circ}$

当支座的串动、脱空或剪切变形的评定标度为 3 时，应对支座进行预防养护。可采取恢复支座剪切变形措施、增加支座限位装置、整体更换支座。

6.2.2 盆式支座预防养护的实施条件和措施

1 盆式支座的钢件不得有裂纹、变形、脱焊、锈蚀，盆式支座螺栓螺母保养时需松动一次，清洁涂油，然后紧固。

2 支座防护罩的橡胶围板如出现孔洞或压扁现象，则应更换上部盖罩和基部护罩。

6.2.3 钢支座预防养护的实施条件和措施

- 1 球型支座每年应更换润滑油一次；
- 2 滚动支座滚动面一年进行一次清洁及涂抹润滑油；
- 3 当钢支座功能丧失时，应及时更换。

6.2.4 支座垫石预防养护的实施条件和措施。

1 垫石不应开裂、积水、积污、支座垫板应保持平整、紧密、锚栓牢固，需在支座保养时对垫石病害进行一并处理。

2 垫石压坏、剥离、掉角可采用高强砂浆修补的方式进行，垫板脱空应进行处理。

6.3 伸缩装置

6.3.1 模数式伸缩缝预防养护的实施条件和措施

- 1 橡胶止水带等防水密封系统，破损出现渗水，漏水现象，应及时维护，修补或局部更换。
- 2 模数式伸缩装置应每半年维护 1 次，破损失效零部件应及时更换，并逐个拧紧固定螺栓；零部件更换应在生产厂家专业人员指导下更换。

6.3.2 梳齿板伸缩缝预防养护的实施条件和措施

- 1 钢制梳齿板伸缩装置应每半年维护保养 1 次；
- 2 保养措施包括损坏的活动梳齿板更换、固定螺帽损坏或脱落的应更换和补全拧紧；
- 3 支承转轴和转动控制座更换，对已损坏的按单元更换，拆除固定螺帽，取出损坏转轴，更换新的；
- 4 导水装置位于伸缩装置的底部，独立安装，直接拆除损坏的，更换新的；
- 5 零部件更换应在生产厂家专业人员指导下更换。

6.4 排水设施

6.4.1 泄水孔排水不畅、渗漏、设置不当等造成主体结构侵蚀，应进行改造或更换措施。

- 1 对泄水孔进行集中疏掏和治理，每年不少于 4 次（季节交际时各一次）；对破损水篦及时进行更换，若存在泄水孔处渗漏病害，则应进行局部封堵或更换泄水孔。
- 2 调整泄水管长度和安装角度，桥面排水不得流溅至结构物表面。
- 3 泄水管损坏要及时修补，接头不牢或已掉落的要重新安装接上，损坏严重的要予以更换；泄水管排水能力不足应按需增加数量或加大直径。
- 4 引水槽破裂的要重新修理，长度不足时予以接长。当槽口不能满足排水需要时应扩大槽口。

6.5 阻尼器

6.5.1 主梁阻尼器预防养护措施

- 1 阻尼装置各部位应完整、清洁，每半年至少清扫一次。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。
- 2 避免因结构过大变形等各种原因导致阻尼器卡死。
- 3 主梁阻尼器其它预防养护应参考本规范 6.2 节内容进行。

6.5.2 缆索阻尼器预防养护措施

- 1 内置式减振器应定期抽查，发现内置式减振器橡胶损坏时,应及时更换；外置式减振器应该做到定期检查、经常维修；

条文说明:减震器分内置式和外置式两种:外置式减振器焊接在桥面板的预制钢板上,握住斜拉索达到减振作用:内置式减振器安装在塔端和主梁端的索导管内,在索导管内把斜拉索夹紧来达到减振效果。

- 2 日常巡视时,应观测拉索是否有明显振动、拉索减振装置功能是否正常,发现异常应及时恢复;

条文说明:拉索内置阻尼器需在防水罩卸除后进行检查,防水罩内的发泡材料用于防止大气中水份,有害气体或杂质进入索体内。通车后应及时对发泡材料进行检查,以发现是否有破裂或漏装,如发现存在问题应及时进行处理。

- 3 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;
- 4 阻尼器支座连接混凝土墩台处发现无裂纹、松动,应及时处理;
- 5 缆索阻尼器的保养、维修、更换,应在生产厂家专业人员指导下进行。

6.6 除湿系统

6.6.1 钢箱梁除湿系统预防养护措施

- 1 除湿系统保养维修应在生产厂家专业人员指导下进行;
- 2 除湿系统预防养护应结合机组的运行状况和使用环境进行周期性系统保养。保养内容应该包括检查及维护工作: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：调研表明，国内桥梁管养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：每月一次定期巡查，每年、季、月的维护周期对不用构件进行定期维修和检测。除湿系统预防养护技术措施如下：

定期巡查：每月一次进入设备安装现场，对除湿设备外观、环境、运行状态的巡视或简单的功能测试（详见表 5）。

定期维护：按照设备运行要求，定期进入设备安装现场，为防止出现突发故障，延长设备寿命，对除湿设备进行采取必要的维护措施。如除尘、更换皮带、更换过滤网、加注润滑油、拆解维护等大、中、小修维护项目，使系统设备处于更好的工作状态，降低系统故障率的技术措施（详见表 6.6-1）。

定期检测：按照设备设计规范和运行要求，定期进入设备安装现场，测试各项性能指标，对除湿系统进行功能定级，为预防维护、申请更换设备零部件或整改提供维护维修依据（详见表 6.6-1）。

表 6.6-1 除湿系统检查与维修表

项目	定期检测、保养和检测程序	
	每月	每季
处理空气和再生空气过滤器	清扫过滤器箱，必要时更换	清扫过滤器箱，必要时更换
机组总成和壳体	检查机械损伤，按要求清扫机组内部和外部	检查机械损伤，按要求清扫机组内部和外部
处理空气和再生空气	检查机械损伤，按要果清扫马达和风机壳体	与壳体表面的冷却槽中的灰尘和杂物必须清除，马达的接线端子确保不松动； 检查风机的叶轮有无损伤，如有腐蚀现象，采取防腐措施； 检查风量并按要求调整风阀
转轮驱动马达总成	检查驱动皮带表面无损伤的迹象和安装是否合适	检查马达的界限并确保接线没有松动、检查有无损伤和过热的迹象
电控盒和接线	检查电控盒中的组件和接线有无损伤和过热的迹象	检查电控盒中的组件和接线有无损伤和过热的迹象
再生加热器	检查接线有无松动	清除滞留在加热器腔底上的杂物和灰尘
除湿转轮	检查有无过热和堵塞的迹象，清除转轮表面的灰尘	检查有无过热和堵塞的迹象，清除转轮表面的灰尘
转轮密封圈和橡胶软管	检查有无损伤和移位的迹象，如有磨损或损伤应更换	检查有无损伤和移位的迹象，如有磨损或损伤应更换
风管的连接	检查有无空气的泄漏，与机组的连接是否正常	检查有无空气的泄漏，与机组的连接是否正常，内部是否有灰尘
混合箱	检查污损情况及工作状况，清除灰层及杂物	调节进出口风门，清除灰层及杂物，检查进出口空气压力是否正常
送风机	检查风机运行时噪音和振动	检查风机运行时噪音和振动，及时更换轴承及皮带轮，加注润滑油、调节地脚螺栓松紧度，调节间距等
再生区域	检查入口污染源和出口排水性能，清除污染物和污染源	检测再生性能指标是否正正常及检测再生空气和处理空气的风量
指示灯	检查工作状态和指示灯是否对应	检测指示灯工作状态是否与实际运行、停机和故障情况对应；报警系统是否运行正常
湿度/露点控制检测	检查所有外接湿度探头的工作情况并进行校验	检测所有外接湿度探头的工作情况并进行校验
接地电阻及绝缘性能检测	检查接地线连接是否良好	每半年检测一次机组接地电阻及绝缘性能，清除接地线电缆的锈蚀物
电气控制箱性能检测	检查控制箱的电气元件的运行状况、是否存在发热现象和异常现象	每季检查电气元件运行情况，每季除尘一次，每年检测一次联锁性能。
箱梁恒压装置	检查启闭状态	每季模拟检测一次在箱梁内部过压或欠压状况下装置动作灵敏度
末端除湿性能		每年对除湿系统末端的出风口压力、湿度、露点进行检测

6.6.2 锚室除湿系统预防养护措施

1 悬索桥的锚碇的锚室门或索洞门应经常打开通风，室内排水应通畅，环境干燥。锚室内除湿系统应正常工作，确保湿度满足要求。

- 2 应定期检查管道接口处的密封情况，如发现漏风，应及时更换密封垫。
- 3 锚室除湿系统预防养护可参照 6.6.1 内容进行。

征求意见稿

7 桥梁性能监测与防灾能力评判

7.1 结构性能监测

7.1.1 当桥梁或重要部件技术状况评定等级为 4、5 类时，在未采取有效处置措施前，当符合下列条件时，宜对重要受力构件进行连续观测以免发生安全事故：

1 梁式桥主梁持续下挠或挠度超过设计规定的允许值，或主梁发生纵、横向异常变位；主梁支点位置发生异常角变位或过大沉降；预制拼装的主梁铰缝出现严重渗水、破损现象，且桥面系对应位置出现纵向裂缝。

2 拱桥主拱圈变形异常或拱顶持续下挠或挠度超过设计规定的允许值；主拱圈及桁架拱、刚架拱、系杆拱的节点（杆件端部）等部位出现受力裂缝且持续发展；中、下承式拱桥吊杆（系杆）轴力与设计计算值偏差超过 10%或超过设计规定容许值。

3 斜拉桥主梁、主塔线形出现异常变位或拉索锚固区构件出现裂纹、变形；斜拉索轴力与设计计算值偏差超过 10%或超过设计规定容许值；斜拉索或辅助索振幅过大；主塔与辅助墩持续下挠或挠度超过设计规定的允许值；斜拉桥在风荷载作用下出现异常或影响行车舒适度振动。

4 悬索桥主缆线形出现较大变化或个别索股受力出现明显偏差、松弛或过紧；吊杆索力成桥时的轴力（或前次实测数据）偏差超过 10%或超过设计规定容许值；索鞍根部或散索鞍摇臂下部出现较严重裂纹；主梁、主塔线形出现异常变位或拉索锚固区构件出现裂纹、变形。

5 其他组合桥梁可结合自身结构特点参考上述桥型。

7.1.2 构件的连续观测内容应根据桥梁技术状况、构件状况和典型病害有针对性的确定。

条文说明：位移监测项主要包括主梁挠度、主梁横向变形、支座位移、梁端纵向位移、塔顶偏位等，通过位移监测数据，可以评估桥梁整体稳定性。转角监测项主要包括塔顶截面倾角、梁端水平转角、梁端竖向转角等，通过位移和转角监测数据，可以评估桥梁整体稳定性。应变监测主要包括主梁关键截面、钢-混凝土连接处附近等，通过应变监测数据可以确定关键截面和钢砼连接处的应力状态。通过索力监测数据可以获得索力进而评估拉索（吊杆）状态。支座反力监测

数据可以反映支座是否处于正常受压工作状态并且是否出现脱空、卡死现象。振动监测项主要包括主梁竖向振动加速度、主梁横向振动加速度、主梁纵向振动加速度、塔顶水平双向振动加速度和索振动加速度等，通过振动监测数据可以判断桥梁是否发生过大的振动，识别桥梁结构频率、振型、阻尼比等动力特性，判断是否发生涡振等，识别斜拉索振动频率以及斜拉索过大的振动，进而评估斜拉索状态等。

7.1.3 对可能危及结构安全的病害在未采取有效措施前的跟踪监测应遵循“经济实用、安全可靠”的原则，可根据病害特征建立相对应的临时监测系统，临时监测系统应符合现行《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》（JT/T 1037-2016）的规定。或采取其它有效连续观测手段进行监测。

条文说明：与定期监测模式相比，建立构件病害临时监测系统后可实现构件病害实时监测。根据系统实时监测数据，并结合定期检测结果，在多种信息特征提取及融合的基础上，可对构件病害损伤情况进行评估，及时发现并消除构件病害发展带来的桥梁整体的安全隐患，同时为科学养护和维修的技术水平提供有力的技术支持。

7.1.4 监测到异常情况时，桥梁管养单位应立即向上级主管部门报告并启动应急预案，及时、有效地进行处置工作。

条文说明：处置措施包括：限制或封闭交通、临时支撑、构件更换、附加减震装置等，根据具体病害选择。

7.2 防灾能力评判

7.2.1 桥梁防洪能力评判

掌握桥梁所在河流的地理位置、孔径大小、桥孔位置、桥下净空、基础埋深、墩台基础冲刷、河流与河床的稳定等情况，对其防洪能力进行评判。

当出现下列情形之一时，应及时处置：

1 桥下实际过水面积不满足设计要求，并小于设计的 90%，或河道压缩小于 10%；上部结构底面高程接近设计水位；

2 桥孔有偏置；桥台处出现水流对冲，或调治构造物不合理、损坏等；

- 3 河床存在冲刷；
- 4 墩、台基础埋深小于设计值；浅基础防护出现损坏；
- 5 墩、台出现轻微冲蚀、剥落。

7.2.2 桥梁抗震能力评判

当出现下列情形之一时，应对桥梁整体抗震性能进行评价，并宜选择重要构件进行地震易损性分析。

- 1 桥梁桥址处地震基本烈度大于 6 度，且未经抗震设计；
- 2 既有桥梁所在区域因《中国地震动参数区划图》修编，基本抗震设防烈度发生变化；
- 3 桥梁因加固改造结构体系发生变化，未重新评估抗震性能。

条文说明：

桥梁抗震评价应考虑的主要内容包括：

- 1 应根据桥梁结构特点、周边地形、地质、水文、地震断裂带、地震烈度、恒载变异等情况对桥梁进行抗震性能评价，特别重要的特大桥还应考虑主余震序列、相关效应、行波相应、脉冲效应。
- 2 根据桥梁整体抗震性能评价结果，对于不满足要求的桥梁，可通过增设抗震设施、减隔震装置等方法补强，但应满足《公路抗震设计规范》和其他国家和行业现行有关标准的规定。

日常巡查、经常检查、定期检查中应注重抗震设施、减隔震装置的检查，当出现下列情形应及时养护维修：

- 1 混凝土抗震设施出现裂缝、混凝土剥落及混凝土破碎等病害；
- 2 抗震设施和减隔震装置缓冲材料出现变形、损坏、腐蚀、老化、污渍等病害；
- 3 抗震紧固件、连结件松动和残缺；
- 4 桥梁横、纵向联结和限位的拉索出现松动；
- 5 经测试结构阻尼系数发生异常改变。

7.2.3 桥梁抗风能力评判

当出现下列情形之一时，应对桥梁整体及构件抗风性能重新进行评价，必要时通过风洞试验分析：

1 桥梁在设计风作用水平或与其他作用效应组合下，耐久性、疲劳、行车及行人的安全性与舒适性不满足要求；

2 设计风作用水平下，静风稳定性和气动稳定性不满足要求；

3 设计风作用水平或与其他作用效应组合下，强度、刚度及静力稳定性不满足要求大跨径桥梁。

条文说明：桥梁主梁的气动性能可以通过调整腹板倾角、风嘴形状以及改变基本断面等措施优化，也可以通过附加导流板、抑流板、中央稳定板等气动措施进行改善或提高。附加阻尼装置则是通过设置阻尼器的方式提高构件或结构体系的阻尼，以达到降低或抑制振动的目的。结构刚度可以通过改变结构体系进行调整，如塔梁连接方式、索面布置、支撑条件、悬索桥设置中央扣等。改变构件尺寸、材料等也可以在一定程度上提高结构刚度和结构阻尼比。

桥梁抗风评价应考虑的主要内容包括：

1 应根据桥址风环境桥型、跨径、结构体系、结构或构件外形等因素对桥梁风致振动的可能性进行评估。

2 应根据桥址风环境桥型、跨径、结构体系、结构或构件外形等因素对桥梁风致振动的可能性进行评估。

3 根据桥梁整体或构件抗风性能评价结果，对于不满足要求的桥梁，可通过优化构件气动外形、增设气动措施、附加阻尼装置、改变结构体系或刚度等措施予以满足，但应满足《公路桥梁抗风设计规范》和其他国家和行业现行有关标准的规定。

日常巡查、经常检查、定期检查中应注重气动设施、附加阻尼装置的检查，附加阻尼措施包括：①调谐式阻尼器，如调谐质量阻尼器 TMD、调谐液体阻尼器 TLD、调谐液柱阻尼器 TLCD 等；②非调谐式阻尼器，如黏性剪切性阻尼器和油阻尼器。在控制方法上可分为被动控制、半主动控制、主动控制与混合控制等方式。针对涡激共振或抖振响应的控制，调谐式阻尼器具有很好的适用性。在控制方式上，考虑到实桥维护的复杂性，被动式控制方式具有较好的优越性。国内外针对涡激共振或抖振响应的控制，采用 TMD 方式较多。

当出现下列情形应及时养护维修：

1 导流板、抑流板、风嘴、分流板、中央稳定板、气动翼板、裙板、中央稳定板、风鳍板等气动设施出现变形、脱焊、堵塞、破损等缺陷；

2 调谐质量阻尼器 TMD、油阻尼器、电涡流阻尼等其他附加阻尼装置出现变形、损坏、腐蚀、老化、松动、漏油等病害；

3 拉索或吊杆附加螺旋形、凹坑等表面气动措施出现老化、腐蚀等缺陷，辅助索及横向连接器出现锈蚀、老化、松动、失效等缺陷

7.2.4 桥梁防撞能力评判

应掌握桥梁所在河流冰凌期、航道船只吨位、道路运输等情况，对其防撞能力进行评判。

当出现下列情形之一时，应及时处置：

1 桥下净空不满足使用要求，且未采取防止车辆或船舶措施

2 被交路设置的未设置限高门架或限高标志牌不满足设计要求；

3 跨线桥未设置主梁及墩台的防撞保护设施或压缩行车道空间，墩柱及侧墙端面应定期立面标记颜色昏暗；

4 跨越航道的桥梁，未设置相应的助航及防撞设施或其压缩通航净空；

5 桥墩上游设置的防治漂浮物撞击设施出现开裂、风化、金属附件锈蚀等病害。

7.2.5 桥梁防火与危化品风险评估和隐患治理

对桥梁防火和危化品进行风险管控和隐患治理，当出现以下情况时及时采取措施：

1 应及时清理桥梁及附近的可燃物、定期检查维修依附于桥梁上的管线设施，避免因设施故障引发火灾。

2 桥梁管养单位宜根据桥梁所在路网危险品运输的现状，制定严格的易燃、易爆物品运输规程制度，明确限制、禁止通过桥梁的危险物品种类，并在桥梁实际运营中严格执行。

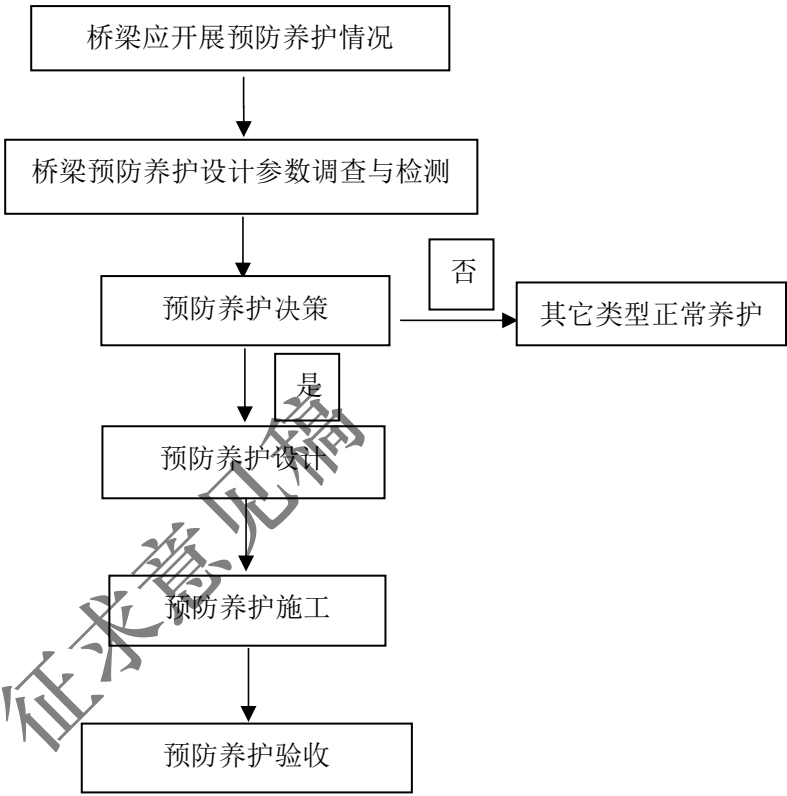
3 燃料及危险品运输路段风险等级较高的路段，宜对特别重要的桥梁评估火

灾作用下易损性。对于不满足要求的桥梁和构件可通过增厚保护层、包覆不燃烧体或其他防火隔热涂层措施。

征求意见稿

附录 A 公路桥梁预防养护工作流程

公路桥梁预防养护应按图附 A.1 的工作流程进行。包括桥梁检测与调查、耐久性或缺陷病害评估、预防养护决策、预防养护设计、预防养护施工、预防养护验收、后期预防养护效果评估等。



图附 A.1 公路桥梁预防养护工作流程

附录 B 防止构件性能快速衰退的常见病害预防养护对策

附 B.1 下表中病害将影响结构抗力，应在早期开展预防养护进行处治；

序号	部件	病害	对抗力危害程度	处治时机
1	大跨径箱梁	开裂或跨中下挠	大	超出设计预期时
2	混凝土 T 梁	腹板开裂、马蹄底横向开裂	大	判定为受力裂缝时
3	空心板梁	支点处八字开裂	大	发现裂缝时
4	现浇箱梁	跨中或支点翼板横向开裂	大	判定为受力裂缝时
5	拱肋	拱脚或拱顶开裂或变形（位）	大	超过设计预期时
6	拉（吊）索、主缆	锈蚀	大	钢丝出现红锈
7	墩注或桥塔	根部横向裂缝	大	判定为受力裂缝时

附 B.2 病害或缺损将导致结构刚度快速下降，应在早期开展预防养护进行处治；

序号	部件	病害	对刚度危害程度	处治时机
1	大跨径箱梁	腹板开裂	大	超出设计预期时
2	预应力 T 梁	腹板开裂	大	判定为受力裂缝时
3	非预应力梁	底部横向开裂	大	缝宽超过设计规定
4	预应力梁	预应力损失或损伤	大	损失超过 10%
5	拉（吊）索、主缆	索力损失	大	损失超过 5%

附 B.3 预制拼装结构横向联系部件出现病害将导致结构横向整体性变弱，应在早期开展预防养护进行处治；

序号	部件	病害	对横向整体性危害	处治时机
----	----	----	----------	------

			害程度	
1	空心板梁	铰缝渗水、开裂	大	影响横向分布前
2	T 梁/小箱梁 等	横隔板、湿接缝	大	影响横向分布前
3	板拱/石拱等	纵向开裂	大	缝宽评定为 3 类及 之前

附 B.4 因地基沉降、承载力下降、变形或流水冲刷等将导致基础变位，应在早期开展预防养护进行处治：

序号	部件	病害	对基础危害程度	处治时机
1	桩基	冲刷	大	超过设计冲刷线前
		地基软化/弱化	大	小于设计承载力前
2	扩大基础	冲刷	大	掏空影响承载力前
		不均匀沉降	大	变位影响承载力前
3	沉井基础	冲刷	大	掏空影响承载力前
		不均匀沉降	大	变位影响承载力前

本规范用词说明

本规范执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

征求意见稿