

团体标准

T/NXBX ××××-××××

跨黄河公路斜拉桥绿色低碳设计指南

Guidelines for green and low-carbon design of highway cable-stayed
Bridges in Ningxia section of the Yellow River based on water
ecological protection

××××-××-××发布

××××-××-××实施

宁夏标准化协会 发布

目 次

前 言	1
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
4 符号	3
5 总体原则	4
5.1 绿色低碳斜拉桥设计原则	4
5.2 绿色低碳桥梁设计要求	4
6 总体设计	5
6.1 一般规定	5
6.2 桥型选择	6
6.3 碳排放计算	6
6.4 融合水生态设计	8
7 构造设计	9
7.1 一般规定	9
7.2 主梁	9
7.3 索塔	9
7.4 斜拉索	9
7.5 气动稳定构造措施	9
7.6 锚固系统	9
7.7 附属工程构造	10
8 耐久性设计	10
8.1 一般规定	10
8.2 钢结构	10
8.3 斜拉索	11
8.4 混凝土结构	11
8.5 钢混结合部	11
8.6 附属结构	11
9 融合水生态保护对施工、监控和管养的要求	11
9.1 一般规定	12
9.2 施工及施工监控	12
9.3 养护及更换条件设计	12

前言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本规范由宁夏回族自治区交通运输厅提出并归口。

本规范起草单位：宁夏公路管理中心、宁夏公路勘察设计院有限责任公司、宁夏回族自治区水产研究所（有限公司）、中交公路规划设计院有限公司

本规范主要起草人：魏力 严晓平 司维 黄亚男 刘彦斌 张利维 马成 赵旭东 赵涛 侯永刚 施松朴 葛楠 张锋 连总强 王永杰 裴金辉 陈飞 刘洋 包万路 马飞 柏辉 董炜 马晓龙 马杨 罗廷赤

本规范由宁夏公路管理中心负责解释。

本规范首次发布。

联系信息如下：

单位：宁夏公路管理中心

电话：0951-6076807

联系地址：宁夏回族自治区银川市金凤区北京中路 175 号

邮编：750011

跨黄河公路斜拉桥绿色低碳设计指南

1 范围

本文件规定了跨黄河公路斜拉桥绿色低碳设计的总体原则、总体设计、构造设计及耐久性设计的要求。

本文件适用于跨黄河公路斜拉桥绿色低碳设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG/T 3365-01 公路斜拉桥设计规范

JTG 3362 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范

JTG D60 公路桥涵设计通用规范

JTG/T 3310 公路工程混凝土结构耐久性设计规范

JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件

GB12523 建筑施工场界环境噪声排放限值

GB3096 声环境质量标准

GB 11607 渔业水质标准

GB 3838 地表水环境质量标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 斜拉桥 cable-stayed bridge

将斜拉索分别锚固在梁、塔或其他载体上，形成共同承载的结构体系。

3.2 主梁 girder

由斜拉索和支座支承，直接承受由桥面传递的交通荷载的构件。

3.3 索塔 pylon

用于锚固或支承斜拉索，并将其索力传递给下部结构的构件。

3.4 斜拉索 stay cable

承受拉力并支承主梁的构件。

3.5 过渡墩 transition pier

联跨分界处的桥墩。

3.6 辅助墩 auxiliary pier

为提高结构整体刚度，改善结构受力而在边跨内设置的桥墩。

3.7 飘浮体系 floating system

塔墩固结，主梁在索塔处不设竖向支座、全桥不设纵向约束的结构体系。

3.8 半飘浮体系 semi-floating system

塔墩固结，主梁在塔墩上设置竖向支座，纵向不约束或者弹性约束的结构体系。

3.9 塔梁固结体系 fixed system between pylon and girder

塔梁固结、主梁在墩处设支座的结构体系。

3.10 塔梁墩固结体系 rigid frame system

塔、梁、墩固结在一起的结构体系。

3.11 地锚体系 ground anchoring system

边跨斜拉索全部或部分锚固在地锚上的结构体系。

3.12 组合梁斜拉桥 cable-stayed bridge with composite girder

主梁为钢-混组合结构的斜拉桥。

3.13 设计成桥状态 design state of completed bridge

在设计规定的荷载下，斜拉桥塔梁线形平顺、主梁和索塔弯矩应控制在可行域范围、索力分布应相对均匀的成桥状态。

3.14 绿色低碳设计 green and low-carbon design

在结构设计安全的情况下，降低桥梁全寿命周期的碳排放量。

3.15 水生态保护 water ecosystem protection

桥梁跨河施工和运营等阶段减少对河中生物的影响。

4 符号

E_{SC} ——建筑材料生产阶段碳排放量(t_{CO_2});

$AD_{SC,i}$ ——第 i 种建筑材料生产数量(t 或 m^3 等);

$EF_{SC,i}$ ——第 i 种建筑材料生产的碳排放因子($t_{CO_2}/$ 单位);

$AD_{SG,i}$ ——需要的第 i 种施工机械设备的台班数量 (台班);

$EF_{SG,i}$ ——第 i 种施工机械设备的碳排放因子 ($t_{CO_2}/$ 台班);

E_Y ——运营过程中产生的碳排放量(t);

E_W ——维护过程中产生的碳排放量(t);

AD_{YD} ——运营过程中电能年消耗量(kWh);

EF_D ——电能 CO_2 排放因子(t_{CO_2}/kWh);

$E_{w,SC}$ ——维护过程中建材准备产生的 CO_2 排放量；

$E_{w,SG}$ ——维护过程中施工产生的 CO_2 排放量；

AD_{CJ} ——拆除阶段结构工程量(t 或 m^3)；

EF_{CJ} ——拆除阶段不同结构碳排放因子(tCO_2e /单位)；

5 总体原则

5.1 绿色低碳斜拉桥设计原则

5.1.1 跨黄河公路斜拉桥桥梁选型比选应综合考虑，按照通规上面的要求，技术、经济……综合比选后推荐桥梁方案，在本条加入碳排放匡算的比选项。设计阶段应综合考虑建设期、养护期的碳排放。

5.1.2 跨黄河公路斜拉桥绿色低碳设计的目标应包含节约资源、保护环境、提升景观、智慧高效等四个方面。

5.1.3 设计阶段绿色低碳设计关键技术指标应包含桥址、桥塔形式、拉索分布、索力优化、加劲梁形式、材料、附属工程等方面。桥址选择应满足 6.4.1 的相关规定，碳排放计算应符合 6.3.1 的相关规定，构造设计应符合第 7 章相关规定。

5.1.4 施工阶段绿色环保施工关键技术指标应包含资源集约利用、生态环境保护、环境污染防治、标准化作业等方面。施工时应满足 6.4.2 和第 9 章的相关规定。

5.1.5 跨黄河公路桥梁绿色低碳判识标准体系应包含四新技术应用和智慧化、信息化、精细化运营管理。同时智慧化、信息化建设应满足 6.1.12~6.1.14 的相关规定。

5.2 绿色低碳桥梁设计要求

5.2.1 用于斜拉桥各部分构件混凝土的强度、弹性模量和耐久性设计要求等，应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG 3362 的有关规定，同时结合新型环保材料，可减少资源消耗和碳排放。

5.2.2 钢材建议优先选用耐候钢、不锈钢等耐腐蚀材料，减少桥梁后期维护需求，降低全生命周期成本。

5.2.3 建议优先采用钢-混凝土组合结构（如钢-AUHPC 轻质复合桥面），通过轻质高强材料降低自重，减少基础施工对环境的扰动。

5.2.4 应用拓扑优化、尺寸优化算法（如 SIMP 方法、群智能算法）消除冗余结构，减少混凝土和钢筋等材料用量。

5.2.5 优化桥梁抗震性能，采用记忆合金（SMA）支座和减震装置，提升结构韧性。

5.2.6 细节设计上注重排水系统（如低点排水孔、倒 U 形穿线管），防止积水腐蚀，延长

结构耐久性。

5.2.7 基于 BIM 技术构建桥梁健康监测系统，实时评估结构状态，优化维护策略。

5.2.8 考虑宁夏地区风沙和大温差作用采用非线性或线性时程法计算斜拉桥动力性能，并确定其受力薄弱部位，并对薄弱部位采用新材料进行局部设计，提高宁夏地区公路斜拉桥的安全性及耐久性。具体应满足第 8 章的相关规定。

6 总体设计

6.1 一般规定

6.1.1 总体设计时，桥位、桥跨、结构体系、主梁、斜拉索、索塔、桥墩及基础等应根据使用功能、技术标准、建设条件、经济、环保、景观、保护黄河水生态和全寿命周期碳排放等要求综合比选后确定，考虑全寿命周期成本，进行总体设计。

6.1.2 跨黄河公路斜拉桥设计应考虑对施工期、运营期、拆除阶段等对黄河水生态的保护。

6.1.3 桥梁选型时需进行先进行碳排放计算，确定桥型。

6.1.4 总体设计应满足抗风的要求。

6.1.5 跨黄河公路斜拉桥设计应着重考虑风沙冲蚀和大温差对斜拉桥受力性能的时变效应，应满足考虑风沙和大温差耦合作用下抗震要求。

6.1.6 跨黄河公路斜拉桥设计时应贯彻全寿命设计理念，统筹施工及运营养护需求，应积极、稳妥推广应用新材料、新技术、新工艺和新设备。

6.1.7 跨黄河公路斜拉桥设计时应针对薄弱部位进行特殊设计以提高斜拉桥的安全性和耐久性。

6.1.8 斜拉桥宜由主梁、斜拉索、索塔、墩台及基础等构成，边跨内可根据需要设置辅助墩。

6.1.9 斜拉桥总体布置应符合下列规定：

1 索塔可根据跨越需要，采用独塔、双塔或多塔形式。

2 斜拉索横桥向布置可采用单索面、双索面或多索面，索面布置可采用空间索面布置或平面索面布置；单索面斜拉桥跨径不宜大于 500m。

6.1.10 主梁与边墩、辅助墩之间应设置墩顶竖向约束，并应根据受力需要设置梁体的纵向、横向、转角约束或限位装置。

6.1.11 跨径比应符合下列规定：

1 双塔组合梁斜拉桥的边跨与主跨跨径比，组合钢板梁宜为 0.35~0.5；半封闭箱及全封闭箱组合梁宜为 0.4~0.6；组合钢桁梁宜为 0.4~0.7；中跨为组合梁、边跨为混凝土梁的混合梁宜为 0.3~0.45；在特殊地形条件下，可采用更小的跨径比或采用地锚式斜拉桥。

2 独塔斜拉桥双侧跨径比应根据地形条件及跨越能力确定，组合梁可取 0.7~1.0，混合梁宜取 0.5~0.8。

6.1.12 设计阶段 BIM 模型构建

推荐做法：在斜拉桥设计阶段，建立全桥的 BIM 模型，该模型应包含桥梁的所有结构组件及其属性信息，如几何尺寸、材料特性、设计参数等。同时，基于 BIM 模型构建管养一体化平台，为后续的施工管理、运营监测提供数据支持和决策依据。

6.1.13 施工阶段 BIM 技术应用

推荐做法：在施工过程中，充分利用管养一体化平台，对斜拉桥的施工过程进行精细化管理。通过 BIM 模型，模拟施工流程，预测潜在问题，优化施工方案，减少施工变更和返工。

6.1.14 运维阶段 BIM 技术支持

推荐做法：在斜拉桥的运营阶段，基于管养一体化平台对桥梁的运营状态进行实时监测，包括结构变形、应力分布、损伤情况等。当桥梁达到设计使用年限后，根据监测结果，结合 BIM 模型进行分析评估，给出加固、维修或重建的建议。

6.2 桥型选择

6.2.1 跨黄河斜拉桥桥型选择应符合 6.3 节低碳设计。

6.2.2 跨黄河斜拉桥桥梁体系优先大跨度结构，并选用运营期震动对下部结构影响较小的结构体系，如斜拉桥的漂浮体系、半漂浮体系或减隔震体系。

6.3 碳排放计算

6.3.1 设计阶段碳排放模型

设计阶段的碳排放主要来自于建材的生产阶段，建材生产阶段的碳排放计算公式如下。

$$E_{SC} = \sum_{i=1}^n (AD_{SC,i} \times EF_{SC,i})$$

式中 E_{SC} ——建筑材料生产阶段碳排放量(t_{CO_2})；

$AD_{SC,i}$ ——第 i 种建筑材料生产数量(t 或 m^3 等)；

$EF_{SC,i}$ ——第 i 种建筑材料生产的碳排放因子($t_{CO_2}/$ 单位)；

i ——建筑材料类别；

6.3.2 施工阶段碳排放模型

计算公式如下：

$$E_{SG} = \sum_{i=1}^n (AD_{SG,i} \times EF_{SG,i})$$

式中：AD_{SG,i}——需要的第 i 种施工机械设备的台班数量（台班）；

EF_{SG,i}——第 i 种施工机械设备的碳排放因子（tCO₂e/台班）；

i——机械设备类别；

6.3.3 运营维护阶段碳排放模型

运营维护阶段通常包含运营和维护两个方面，运营主要是桥梁的使用，而维护通常伴随运营而发生，主要是在桥梁在使用过程中进行的各种养护、维修、改建等一系列活动。维护产生的环境影响主要指维修时涉及到的材料、施工机械产生的能源消耗导致的环境排放。因此在运营维护阶段的 CO₂ 排放量 E_{YW} 计算如下：

$$E_{YW} = E_Y + E_W$$

式中：E_Y——运营过程中产生的碳排放量(t)；

E_W——维护过程中产生的碳排放量(t)；

(1) 运营碳排放模型

对于斜拉桥而言，运营过程中产生的碳排放量较小，主要是来自于道路照明。因此，运营过程中能耗产生的碳排放量 E_Y 可按下面的公式计算

$$E_Y = AD_{YD} \times EF_D$$

式中：AD_{YD}——运营过程中电能年消耗量(kWh)；

EF_D——电能 CO₂ 排放因子(tCO₂/kWh)；

(2) 维护碳排放模型

运行维护阶段材料构建更替产生的碳排放量按下式计算：

$$E_W = E_{W,SC} + E_{W,SG}$$

式中：E_{W,SC}——维护过程中建材准备产生的 CO₂ 排放量；

E_{W,SG}——维护过程中施工产生的 CO₂ 排放量；

6.3.4 拆除报废阶段碳排放模型

斜拉桥的拆除主要有两方面原因：一方面是指老旧斜拉桥梁达到使用寿命，路面、结构损坏；另一方面是指原有结构与现有交通量增长和荷载已不适合。目前，拆除斜拉桥通常采用与修建斜拉桥的顺序反向进行拆除的方案。拆除时的计算公式如下：

$$E_{CJ} = AD_{CJ} \times EF_{CJ}$$

式中：AD_{CJ}——拆除阶段结构工程量(t 或 m³)；

EF_{CJ}——拆除阶段不同结构碳排放因子(tCO₂e/单位)；

6.3.5 斜拉桥全寿命周期碳排放核算模型

斜拉桥全寿命周期碳排放量按下式计算：

$$E_{LC} = E_{SC} + E_{SG} + E_{YW} + E_{CJ}$$

6.4 融合水生态设计

6.4.1 桥梁选址和桥跨布置

- 1 应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 的有关规定。
- 2 选址应优先考虑河道较窄、河道平直、无叉河、河岸稳固、水流相对较快的位置。
- 3 桥跨布孔时应尽量不占用河道现状主槽位置，河道较宽时优选选用斜拉桥等大跨度桥型。

4 跨黄河公路斜拉桥桥梁施工期及运营期工程河段鱼类多样性指数应 ≥ 1 ，流域内水生生物完整性指数 ≥ 48 ；确保悬浮物（SS）、化学需氧量（COD）、溶解氧（DO）、pH、总氮（TN）符合渔业水质标准和地表水环境质量标准。

5 涉及国家级水产种质资源保护区的，应按照《中华人民共和国黄河保护法》、《水产种质资源保护区管理暂行办法》等相关法律法规开展专题论证。

6.4.2 桥梁施工方案

1 跨黄河公路斜拉桥桥梁基础开挖等对水生态影响较大的环节应采取繁殖期避让措施，避开4月1日至7月31日每日的凌晨及傍晚的鱼类产卵高峰期。

2 基础开挖时优先选用钢板桩围堰等对水体扰动较小的施工工艺；施工期污染物的超标倍数 ≤ 4 。

3 跨黄河公路斜拉桥桥梁施工时应采用低噪声设备，并设置声屏障；施工区域满足《GB12523 建筑施工场界环境噪声排放限值》，昼夜间噪声限值分别为70dB(A)、55dB(A)；环境噪声执行《GB3096 声环境质量标准》中的2类标准，昼夜间噪声控制标准为70dB(A)、55dB(A)。

4 跨黄河公路斜拉桥桥梁施工时可优先选用装配式结构。

5 跨黄河公路斜拉桥桥梁施工时需制定废水处理方案和固体废物管理方案；施工及运营期工程河段水质应符合《渔业水质标准》（GB 11607）、《地表水环境质量标准》（GB 3838）二类水质标准；施工期生产废水SS浓度 $\leq 10\text{mg/L}$ ，石油类污染物 $\leq 0.05\text{mg/L}$ 。施工期生活污水处理目标按《GB8978 污水综合排放标准》一级排放标准控制，BOD $\leq 10\text{mg/L}$ 、COD $\leq 50\text{mg/L}$ 。

6 工程施工期及运营期应在相关河段开展水生生物资源与水域生态环境监测；施工期

及运营期工程河段鱼类多样性指数应 ≥ 1 ，流域内水生生物完整性指数 ≥ 48 。

6 工程施工期及运营期应开展以水生态保护为主题的宣传教育活动，设置相关宣传警示牌等。施工场地需设置围栏，设置专人负责水生态保护措施实施情况的监督。

7 应就工程对黄河宁夏段濒危鱼类的影响进行评估，建立濒危鱼类救护机制。

8 工程施工期及运营期应开展鱼类增殖放流、栖息地修复等水生态保护措施，具体措施根据相关法律法规及工程对水生态影响程度确定。

7 构造设计

7.1 一般规定

7.1.1 斜拉桥各主要组成部分的构造，应保证结构具有足够的强度和刚度，同时使内力传递顺畅，减少应力集中，便于施工和养护。

7.1.2 斜拉桥构造设计时应考虑斜拉索等可更换部件的维护和更换，预设必要的空间和构造措施。

7.2 主梁

7.2.1 斜拉桥的主梁宜布置成连续体系。

7.2.2 主梁截面形式应满足《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.3 索塔

7.3.1 索塔的结构设计除应满足施工及运营阶段结构强度、刚度、稳定性等要求外，尚应考虑经济合理、施工方便、造型美观及便于维修养护等要求。

7.3.2 索塔结构形式选取应满足《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.4 斜拉索

7.4.1 斜拉索应有完整可靠的密封防护构造，尤其是索端与锚具的接合部。斜拉索应便于张拉、检查和更换。

7.4.2 斜拉索索端应考虑施工期和运营期的排水、防潮措施。

7.4.3 斜拉索受力要求应满足《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.5 气动稳定构造措施

7.5.1 当斜拉桥气动稳定性不满足要求时，应采取《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 规定的相关措施。

7.6 锚固系统

7.6.1 斜拉索与混凝土主梁的锚固宜采用顶板锚固、箱内锚固、斜隔板锚固、梁体两侧锚固、梁底锚固等形式，应满足《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.6.2 混凝土索塔与斜拉索的锚固宜采用侧壁锚固、钢锚梁锚固、交叉锚固、钢锚箱锚固、

鞍座式锚固（骑跨式和回转式）等形式，截面形式和锚固的基本构造应符合《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.6.3 斜拉索与钢主梁的锚固宜采用锚箱式、锚拉板式、耳板式。斜拉索与钢主梁的锚固构造应符合《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.6.4 斜拉索与钢桁梁的锚固区宜设置在主梁节点处，锚固可分为节点内置式和节点外置式，具体可采用弦杆内置锚箱式、节点板内置锚箱式、双拉板整体锚箱式、双拉板栓焊锚箱式，应符合《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.6.5 斜拉索与钢索塔的锚固宜采用鞍座支承式、鞍座锚固式、锚固梁式、支承板式，应符合《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.6.6 斜拉索锚固区构造应符合《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.7 附属工程构造

7.7.1 主梁桥面铺装可采用沥青混凝土或水泥混凝土，应设置防水层，并应满足《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

7.7.2 斜拉桥应合理选择支座类型、限位装置、伸缩缝装置、阻尼器等附属工程构造，应满足《公路斜拉桥设计规范》JTG/T 3365-01 的有关规定。

8 耐久性设计

8.1 一般规定

8.1.1 耐久性设计应满足设计使用年限的要求。

8.1.2 不可更换构件的设计使用年限不应低于结构整体设计使用年限。

8.1.3 可更换构件设计使用年限可小于结构整体设计使用年限，但不应低于表 8.1.3 的规定。

表 8.1.3 可更换构件的设计最低使用年限

构件	设计使用年限（年）	构件	设计使用年限（年）
斜拉索	25	钢支座	50
防撞护栏主体	50	盆式支座	25
桥面铺装	15	拉索阻尼装置	25
伸缩装置	15	塔梁阻尼装置	25

8.1.4 对于斜拉索和其他可更换构件，应在确保主体结构安全运营的前提下，兼顾检测、更换的可行性与方便性。

8.1.5 耐久性设计应进行大气环境、地上地下水中腐蚀成分含量测试与调查，应划分结构环境类别；处于不同环境的构件应采取不同的耐久性措施。

8.2 钢结构

8.2.1 钢结构耐久性设计方案应根据建设期和运营期要求、施工方案、养护方案确定。

8.2.2 结构设计时应根据结构腐蚀重点、工艺要求，避免出现易于积水集污的死角、未封闭焊缝及难以实施涂装施工的细节。

8.2.3 钢结构防腐涂装应符合现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 的有关规定。

8.2.4 无法检查和维护的钢结构应留有防腐富余度，或采取长效防护措施，或采取密封防腐措施。

8.2.5 封闭空间的钢结构可采用除湿系统，封闭空间内的相对湿度宜小于 50%。

8.3 斜拉索

8.3.1 平行钢丝斜拉索的每根钢丝外表面应采用热熔镀锌、锌铝合金或环氧喷涂，镀锌层不应小于 $300\text{g}/\text{m}^2$ ，镀锌铝合金层不应小于 $290\text{g}/\text{m}^2$ ，环氧涂层厚度应为 $0.13\text{mm}\sim 0.30\text{mm}$ ，整根斜拉索外应包裹 PE 防护层。

8.3.2 钢绞线斜拉索的单根钢绞线应采用镀锌或环氧树脂涂覆等防腐处理，且涂覆防腐油脂和蜡等防护材料后，还应外包挤黑色高密度聚乙烯护套，整束钢绞线外护套可采用高密度聚乙烯管。

8.3.3 斜拉索接口处应采取设置密封橡胶圈及密封压环等密封措施。

8.4 混凝土结构

8.4.1 索塔、组合梁中混凝土板耐久性设计应符合现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的有关规定。

8.4.2 采用表面涂层进行混凝土表面处理时，应符合现行行业标准《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的有关规定。

8.5 钢混结合部

8.5.1 组合梁钢混结合部的接触面防脱空措施，应根据混凝土配制、构造要求及施工工艺等确定。

8.5.2 组合梁钢混接触面应采取防水、排水措施，可采用密封胶等防水材料填塞。

8.5.3 组合梁钢梁与混凝土板结合面边缘 50mm 范围内应进行防腐涂装。

8.5.4 混合梁钢混结合部宜通过设置浇筑孔、连通孔、排气孔、压浆孔、剪力连接件等措施保证混凝土密实且应与钢结构连接可靠，可设置纵向预应力控制混凝土裂缝。

8.6 附属结构

8.6.1 铺装、栏杆、伸缩装置、支座、防雷设施、航空警示灯、桥涵标等附属设施的耐久性设计，应符合现行行业标准《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》JT/T 722 和《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》JTG/T 3310 的有关规定。

8.6.2 附属设施耐久性设计方案在满足自身耐久性要求的同时，不应影响主体结构的耐久性。

9 融合水生态保护对施工、监控和管养的要求

9.1 一般规定

9.1.1 斜拉桥施工中应进行施工监控。施工控制应以设计的施工流程为基础，根据实际施工方案和材料，进行施工过程模拟分析，形成各施工步骤的控制目标，使大桥施工完成后线形、内力符合设计要求。

9.1.2 施工监控应实测施工时的结构几何尺寸、重度、弹性模量等结构参数，并估算收缩徐变；严格监测预加应力、斜拉索张拉力、结构变形等结构的受力状态；按照实测值进行跟踪计算分析，判别本阶段施工是否达到控制精度要求，确定后续施工所需控制措施，使成桥时尽可能接近设计成桥状态。

9.2 施工及施工监控

9.2.1 施工前应对施工过程进行计算模拟，得到索力及线形等指标的计算值，并与设计计算值核对。

9.2.2 施工过程中应根据计算结果对应力和线形两个指标实行双控，宜以控制主梁、索塔截面应力和索力满足设计要求为目标，对主梁线形和索塔变位进行控制。

9.2.3 施工监测应包括索塔施工线形，节段安装前后主梁高程、纵向位移、索塔变位、索力大小、结构控制截面的应力、基础沉降等主要内容。

9.2.4 施工中应监测日照温差对主梁和主塔线形的影响，掌握温度影响规律，有效修正温度的影响。

9.2.5 控制精度

1 桥梁在成桥时的线形控制标准应符合设计规定，设计无规定时实测线形与控制目标线形的偏差应满足下列精度要求：

(1) 桥面铺装前主梁顶面高程允许偏差 $\pm L/5000$ ，L 为跨径，主梁相邻节段相对高程误差应不大于节段长度的 $\pm 0.3\%$ 。

(2) 索塔轴线平面误差应控制在 $H/3000$ 以内，H 为承台以上塔高，且不大于 30mm。

2 斜拉桥成桥后的实测索力与理论计算索力差值的控制标准宜为 $\pm 5\%$ ，钢绞线斜拉索索内各钢绞线拉力差值控制标准宜为 $-2\% \sim 8\%$ 。

3 混凝土主梁恒载重力与理论计算值的误差不应大于 2%，钢主梁节段重量与理论计算值的误差不应大于 1%。

9.3 养护及更换条件设计

9.3.1 依据主梁的不同结构形式及跨越障碍的环境条件，应沿主梁设置检修通道。

9.3.2 索塔采用空心塔时，索塔内宜设置养护及检修等用的电梯、爬梯和工作平台等，并配备照明及防火设备。

9.3.3 索塔上应预留用于斜拉索检修、更换相应设施的预埋构件。

9.3.4 应设置防雷系统、导航灯标、航空障碍标志灯的检修通道和工作平台。

9.3.5 应设置支座、伸缩缝、阻尼器等可更换部件的检修通道及工作平台。

9.3.6 检修通道及工作平台应设置安全护栏。

9.3.7 设计中应提出斜拉索换索的原则和程序。

9.3.8 养护检修设施的耐久性设计应包含下列内容：

1 不可更换的养护检修设施应与桥梁主体结构同寿命，可更换的养护检修设施应确定其使用年限。

2 提出养护检修设施的耐久性技术方案和措施。

3 提出养护检修设施的检修及维护要求。

4 采用无人机加强巡检。

5 布置智能传感器监测桥梁运营状态。

6 建立建管养一体化平台，实行智慧管理。