

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 4982—2024

## 大跨度公路悬索桥耐久性设计指南

Durability design guide for long span highway suspension bridge

2024-12-27 发布

2025-01-27 实施

江苏省市场监督管理局 发布  
中国标准出版社 出版

目 次

前言 .....Ⅲ

1 范围 .....1

2 规范性引用文件 .....1

3 术语和定义 .....2

4 基本规定 .....2

    4.4 耐久性设计应包括以下内容： .....2

5 环境 .....2

    5.1 一般规定 .....2

    5.2 环境类别与作用等级 .....3

    5.3 环境分级指标 .....4

6 材料 .....5

    6.1 一般规定 .....5

    6.2 原材料 .....5

    6.3 混凝土 .....6

    6.4 防腐涂料 .....9

    6.5 防护材料 .....9

    6.6 水泥基灌浆材料 .....11

7 主缆和主缆锚固系统 .....12

    7.1 一般规定 .....12

    7.2 主缆及锚具 .....12

    7.3 主缆锚固系统 .....12

    7.4 主缆防腐系统 .....14

    7.5 主缆系统附属构件 .....15

8 吊索、索夹及索鞍 .....15

    8.1 吊索 .....15

    8.2 索夹 .....16

    8.3 索鞍 .....16

9 锚碇 .....17

    9.1 一般规定 .....17

    9.2 锚碇的钢筋混凝土保护层厚度 .....17

    9.3 裂缝控制 .....17

    9.4 构造 .....17

10 混凝土桥塔 .....18

10.1 一般规定 .....18

10.2 钢筋混凝土保护层 .....18

10.3 裂缝控制 .....19

10.4 预应力横梁 .....19

10.5 构造 .....20

11 钢加劲梁及钢塔 .....21

11.1 一般规定 .....21

11.2 构造要求 .....21

11.3 防腐涂装 .....21

12 支座、伸缩装置与阻尼器.....22

12.1 支座 .....22

12.2 伸缩装置 .....22

12.3 阻尼器 .....23

# 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省交通运输厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：江苏省交通工程建设局、中铁大桥勘测设计院集团有限公司、西南交通大学、江苏法尔胜缆索有限公司、德阳天元重工股份有限公司。

本文件主要起草人：蒋振雄、周进、万田保、沈锐利、胡尧、岳红宇、周建林、唐风华、王忠彬、顾雨辉、陈章、杨光武、闫勇、李文贤、杜萍、薛花娟、郑华凯、黄安明、唐俊、楼朝伟、邹敏勇、吴琼、陈龙、陈铭、陈鑫、汪威、杨灿文、郑亚鹏、彭栋、邹明伟、邹荏凡。

# 大跨度公路悬索桥耐久性设计指南

## 1 范围

本文件规定了公路悬索桥耐久性设计的基本规定、环境、材料、主缆和主缆锚固系统、吊索、索夹及索鞍、锚碇、混凝土桥塔、钢加劲梁及钢塔、支座、伸缩装置与阻尼器等内容。

本文件适用于各类新建跨度不大于 2 000 m 的地锚式公路悬索桥常规服役环境下的各种构件的耐久性设计。自锚式悬索桥的耐久性设计参照执行。

## 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。

GB/T 304.3 关节轴承 第 3 部分:配合  
GB/T 304.9 关节轴承 第 9 部分:通用技术规则  
GB/T 700 碳素结构钢  
GB/T 714 桥梁用结构钢  
GB/T 1591 低合金高强度结构钢  
GB/T 3077 合金结构钢  
GB/T 9163 关节轴承 向心关节轴承  
GB/T 9793 热喷涂 金属和其他无机覆盖层锌、铝及其合金  
GB/T 13912 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法  
GB/T 17101 桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝  
GB/T 19355.2 锌覆盖层 钢铁结构防腐的指南和建议 第 2 部分:热浸镀锌  
GB/T 19355.3 锌覆盖层 钢铁结构防腐的指南和建议 第 3 部分:粉末渗锌  
GB/T 32120 钢结构氧化聚合型包覆腐蚀控制技术  
GB/T 34106 桥梁主缆缠绕用 S 形热镀锌或锌铝合金钢丝  
GB/T 38818 悬索桥吊索用钢丝绳  
GB/T 39133 悬索桥吊索  
GB/T 50082 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准  
GB 50108 地下工程防水技术规范  
GB/T 7659 焊接结构用铸钢件  
JB/T 6402 大型低合金钢铸件 技术条件  
JT/T 327 公路桥梁伸缩装置通用技术条件  
JT/T 695 混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件  
JT/T 722—2023 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件  
JTG/T D33 公路排水设计规范  
JTG/T 3310—2019 公路工程混凝土结构耐久性设计规范  
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

- JTS/T 209 水运工程结构防腐蚀施工规范
- SH/T 0692 防锈油
- DB32/T 2548 悬索桥主缆除湿系统设计规范
- DB32/T 4601 桥梁缆索用锌-10% 铝-稀土多元合金镀层钢丝通用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**钢拉杆锚固系统 steel tie rod anchoring system**

将悬索桥主缆索股锚固于混凝土锚体的结构。

注：包括合金钢拉杆、后锚板、连接平板、调节拉杆等构件。

3.2

**内部通干燥空气除湿系统 internal dry air dehumidification system**

通过埋置在主缆截面内部的送气管道向主缆内部输送干燥空气的主缆除湿系统。

4 基本规定

- 4.1 悬索桥主缆、桥塔、锚碇、加劲梁、鞍座及索夹应按不可更换构件设计；其他构件宜按可更换构件设计。
- 4.2 耐久性设计包括不可更换构件和可更换构件的耐久性设计，应根据构件所处的局部环境、特殊要求和使用年限要求，分区、分部位进行耐久性设计。
- 4.3 耐久性设计应考虑施工和养护的便利性，宜规避环境对结构的不利影响，采用合理的结构和构造。
- 4.4 耐久性设计应包括以下内容：
  - a) 划分各构件的环境类别和环境作用等级；
  - b) 选定原材料、防腐材料和涂装材料的性能和耐久性控制指标；
  - c) 采用有利于减轻环境作用效应的结构形式和构造措施。
- 4.5 不可更换构件的设计使用年限为 100 年；可更换构件的设计使用年限应不低于表 1 的要求。

表 1 悬索桥可更换构件设计使用年限

构件	设计使用年限(年)	构件	设计使用年限/年
吊索	30	伸缩装置	15
防撞护栏(主体)	50	支座	15
缠包带	30	预应力钢绞线锚固系统	60

- 4.6 埋置于主缆内部不可更换的附属构件，如内部通气管等，应与主缆同寿命设计。

5 环境

5.1 一般规定

- 5.1.1 耐久性设计应确定环境类别，并根据环境调研结果确定各构件的环境作用等级。

5.1.2 当结构和构件受到多种环境作用时,除满足每种环境类别单独作用下的耐久性设计要求外,还宜考虑多种环境的共同作用影响。

5.1.3 同一结构的部位所处环境作用不同时,应根据具体情况,分别确定不同部位所处环境类别及作用等级。

5.2 环境类别与作用等级

5.2.1 钢筋混凝土结构所处的环境,按其对钢筋和混凝土材料及防腐材料的腐蚀机理分为六类,其环境类别按表 2 确定。

表 2 钢筋混凝土结构的环境类别

环境类别		劣化机理
名称	符号	
一般环境	I	保护层的混凝土碳化引起钢筋锈蚀;水汽等引起高强钢丝锈蚀
冻融环境	II	反复冻融导致混凝土防腐层损伤
氯化物环境	III	氯盐引起钢筋、钢材锈蚀
盐结晶环境	IV	硫酸盐在混凝土孔隙中结晶膨胀导致混凝土损伤
化学腐蚀环境	V	硫酸盐和酸类等腐蚀介质作用于构件导致损伤
磨蚀环境	VI	风沙、流水、泥沙或流冰摩擦、冲击作用造成构件表面损伤

5.2.2 宜根据表 3 的规定开展环境作用因素调查。

表 3 环境因素

环境类别		环境因素
名称	符号	
一般环境	I	年平均相对湿度、湿度与离地面高度关系、与水接触程度
冻融环境	II	最冷月平均气温、日温差、饱水程度、雨雪和雨淋程度
氯化物环境	III	年平均气温、最热月平均气温、最冷月平均气温、水体中氯离子浓度、构件所处水环境位置
盐结晶环境	IV	硫酸根离子浓度(含量)、有无干湿交替作用、日温差
化学腐蚀环境	V	水体中、土体中的化学侵蚀物质浓度(含量)、水、酸雨的酸碱度
磨蚀环境	VI	风力等级、年累计刮风天数、河道汛期含砂量、流冰量

5.2.3 应采用环境作用等级描述环境对各部分构件的作用程度,环境作用等级应按表 4 的规定进行划分。

表 4 环境作用等级划分

环境类别		环境作用影响程度					
名称	符号	A 轻微	B 轻度	C 中度	D 严重	E 非常严重	F 极端严重
一般环境	I	I -A	I -B	I -C	—	—	—
冻融环境	II	—	—	II -C	II -D	II -E	
氯化物环境	III	—	—	III -C	III -D	III -E	III -F

表 4 环境作用等级划分（续）

环境类别		环境作用影响程度					
盐结晶环境	Ⅳ	—	—	—	Ⅳ-D	Ⅳ-E	Ⅳ-F
化学腐蚀环境	Ⅴ	—	—	Ⅴ-C	Ⅴ-D	Ⅴ-E	Ⅴ-F
磨蚀环境	Ⅵ	—	—	Ⅵ-C	Ⅵ-D	Ⅵ-E	Ⅵ-F

5.2.4 主缆系统(索夹、索鞍等钢构件)、加劲梁、钢塔等的大气区腐蚀环境分级应按 JT/T 722—2023 的附录 A 确定。

5.3 环境分级指标

5.3.1 一般环境

结构耐久性设计,应控制正常大气作用下钢结构和混凝土内钢筋的锈蚀,以及混凝土的碳化。环境作用等级按照 JTG/T 3310—2019 中表 4.3.2 的要求进行划分。

5.3.2 冻融环境

结构或构件耐久性设计,应控制结构或构件遭受长期冻融循环作用引起的损伤。冻融环境作用等级按照 JTG/T 3310—2019 中表 4.4.2 的要求进行划分。

5.3.3 氯化物环境

结构或构件耐久性设计,应控制因水或大气中的氯盐侵蚀而产生的腐蚀。氯化物环境作用等级划分见表 5。

表 5 氯化物环境的作用等级

环境作用等级	环境条件
Ⅲ-C	受除冰盐盐雾作用、四周浸没于含氯化物的地下水体、接触较低浓度氯离子水体( $\text{Cl}^-$ 浓度:100 mg/L~500 mg/L),且有干湿交替盐雾影响区; 接触较低含量氯离子的盐渍土体( $\text{Cl}^-$ 含量:150 mg/kg~750 mg/kg); 涨潮线以外 300 m~1.2 km 的陆上环境
Ⅲ-D	受除冰盐水溶液直接溅射; 接触较高浓度氯离子水体( $\text{Cl}^-$ 浓度:500 mg/L~5000 mg/L),且有干湿交替; 接触较高含量氯离子的盐渍土体( $\text{Cl}^-$ 含量:750 mg/kg~7 500 mg/kg); 轻度盐雾区:距平均水位 15 m 高度以上的海上大气环境; 涨潮岸线以外 100 m~300 m 的陆上环境
Ⅲ-E	重度盐雾区:距平均水位 15 m 高度以下的海上大气环境; 离涨潮岸线 100 m 以内的陆上环境; 直接接触冰盐溶液; 接触较高浓度氯离子水体( $\text{Cl}^-$ 浓度:500 mg/L~5 000 mg/L),且有干湿交替; 接触较高含量氯离子的盐渍土体( $\text{Cl}^-$ 含量>7 500 mg/kg); 非炎热地区(年平均温度低于 20 ℃)的潮汐区和浪溅区
Ⅲ-F	炎热地区(年平均温度高于 20 ℃)的潮汐区和浪溅区
注:上述数值范围的上限均包含该值。	



5.3.4 盐结晶环境

混凝土结构耐久性设计,应控制混凝土在近地面区域,因硫酸盐结晶导致的混凝土膨胀破坏。盐结晶环境作用等级按照 JTG/T 3310—2019 中表 4.7.2 的要求进行划分。

5.3.5 化学腐蚀环境

混凝土结构的耐久性设计,应控制混凝土遭受  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{CO}_2$ 、pH 值等化学物质长期侵蚀引起的损伤。化学腐蚀环境作用等级按照 JTG/T 3310—2019 中表 4.8.2、表 4.8.4 及表 4.8.6 的要求进行划分。

6 材料

6.1 一般规定

6.1.1 悬索桥主体结构所用材料,除给出材料力学性能等指标要求外,还应明确各构件及总体的耐久性要求。

6.1.2 悬索桥附属结构所用材料,应开展与耐久性有关的针对性选材设计。

6.2 原材料

6.2.1 主缆、平行钢丝吊索所用高强度钢丝宜采用锌-10% 铝-稀土合金镀层高强钢丝,性能应符合 GB/T 17101、DB32/T 4601 的规定。钢丝绳吊索所用钢丝绳性能应符合 GB/T 38818 的规定。

6.2.2 桥塔、锚碇的混凝土结构,其水泥、粗细集料、外加剂、水等原材料应满足 JTG/T 3310 的要求。桥塔承台、锚碇等大体积混凝土结构宜采用水化热较低的水泥,控制水泥细度及  $\text{C}_3\text{S}$  含量。

6.2.3 钢索塔、钢加劲梁、主缆锚固钢构件宜采用桥梁结构钢、低合金高强度结构钢、合金结构钢和碳素结构钢。其技术条件不应低于 GB/T 714、GB/T 1591、GB/T 3077 和 GB/T 700 的规定。设计应明确钢材的交货状态。

6.2.4 主索鞍、散索鞍和索夹所采用铸钢件材料应符合焊接结构用钢铸件 GB/T 7659、JB/T 6402 的要求。

6.3 混凝土

6.3.1 各种环境下其作用等级为 B、C、D 级的桥塔基础的混凝土强度不宜低于 C35,桥塔混凝土强度不宜低于 C45;环境作用为 E、F 等级的,混凝土强度宜提高一个等级;对于预应力混凝土,各作用等级下的强度宜再提高一个等级。

6.3.2 混凝土耐久性设计指标应包括强度等级和配合比、氯离子含量、碱含量和硫酸盐含量等要求。不同环境类别下的耐久性补充设计指标见表 6。

表 6 不同环境类别下的混凝土耐久性补充设计指标

环境类别		混凝土耐久性补充设计指标
一般环境	I	—
冻融环境	II	抗冻耐久性指数
氯化物环境	III	电通量或氯离子扩散系数
盐结晶环境	IV	抗硫酸盐结晶干湿循环次数
化学腐蚀环境	V	—
磨蚀环境	VI	耐磨性能

- 6.3.3 一般环境中混凝土材料的选用除符合 JTG/T 3310 的要求外,应满足以下规定:
- a) 除长期处于 I -A 环境的锚碇基础及桥塔基础外,应控制混凝土中粉煤灰的掺量;
  - b) 应控制混凝土拌合料中因各种原材料引入的水溶性氯离子总量;
  - c) 除长期处于 I -A 环境的锚碇基础外,最大水胶比和最小胶凝材料用量应满足表 7 的规定。

表 7 碳化环境混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量

环境作用等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量/(kg/m <sup>3</sup> )
I -A	0.40	340
I -B	0.36	360
I -C	0.32	380

- 6.3.4 冻融环境中混凝土材料的选用除符合 JTG/T 3310 要求外,应满足以下规定:
- a) 桥塔用混凝土应选用非火山灰质硅酸盐水泥;
  - b) 用于桥塔的混凝土,应进行骨料的坚固性试验;
  - c) 处于冻融环境和 I -C 环境的桥塔混凝土,应对其细集料的碱含量进行控制;
  - d) 冻融环境中的桥塔混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量应满足表 8 的规定;
  - e) 混凝土抗冻性的耐久性指数应满足表 9 的要求。

表 8 冻融环境混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量

环境作用等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量/(kg/m <sup>3</sup> )
II -C	0.36	360
II -D	0.32	380
II -E	0.30	400

表 9 混凝土抗冻性的耐久性指数(DF)

环境作用等级	高度饱水/%	中度饱水/%	盐或化学腐蚀下冻融/%
II -C	60	60	70
II -D	70	60	90
II -E	80	70	90

- 6.3.5 氯化物环境中混凝土材料的选用,除符合 JTG/T 3310 要求外,应满足以下规定:
- a) 不应单独采用硅酸盐或普通硅酸盐水泥作为胶凝材料配置混凝土,应增加矿物掺合料,并宜加入少量硅灰,海水环境下不宜单独采用抗硫酸盐硅酸盐水泥;
  - b) 应严格控制混凝土拌合料中因各种原料引入的水溶性氯离子总量;
  - c) 不应采用抗渗性较差的岩质作为粗、细集料;
  - d) 特殊情况下,对处于氯化物环境等级为 III -E、III -F 的锚碇及桥塔基础中的钢筋混凝土结构,应采取可靠的防腐蚀附加措施;
  - e) 混凝土的最大水胶比最小胶凝材料用量应满足表 10 的要求;
  - f) 混凝土抗氯离子渗透性能应满足表 11 的规定。其他环境下,抗渗性能也可用电通量法和氯离子扩散系数法进行表征。

表 10 氯化物环境混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量

环境作用等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量/(kg/m <sup>3</sup> )
Ⅲ -C	0.36	360
Ⅲ -D	0.32	380
Ⅲ -E	0.30	400

表 11 混凝土抗氯离子渗透性能

指标	环境作用等级		
	Ⅲ -D/Ⅳ -D	Ⅲ -E/Ⅳ -E	Ⅲ -F/Ⅳ -F
氯离子扩散系数 D <sub>RCM</sub> (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)	<8	<5	<4
电通量值/C	<1 200	<800	<800

- 6.3.6 盐结晶和化学腐蚀环境中混凝土材料的选用除符合 JTG/T 3310 要求外,应满足以下规定:
- a) 宜使用抗硫酸盐水泥或高抗硫酸盐水泥,不宜使用早强水泥,宜掺加矿物掺合料,且水泥和矿物掺合料中,不应加入石灰石粉;
  - b) 当环境作用等级超过 IV-E 或 V-E 时,应经专门的试验研究和论证后,确定水泥的种类和掺合料用量,且不应使用高钙粉煤灰;
  - c) 盐结晶和化学腐蚀环境中混凝土最大水胶比最小胶凝材料用量应满足表 12 的要求。

表 12 盐结晶和化学腐蚀环境混凝土最大水胶比和最小胶凝材料用量

环境作用等级	最大水胶比	最小胶凝材料用量/(kg/m <sup>3</sup> )
V-C	0.40	340
IV-D、V-D	0.36	360
IV-E、V-E	0.32	380
IV-F、V-F	0.30	400

6.3.7 桥塔结构混凝土的最大胶凝材料用量应满足表 13 的要求。

表 13 最大胶凝材料用量

混凝土强度等级	最大胶凝材料用量(kg/m <sup>3</sup> )
C40	450
C45	
C50	480
C55	500
C60	530

6.3.8 不同环境类别中的混凝土中矿物掺合料用量宜按表 14 的规定执行。使用普通硅酸盐水泥、矿渣水泥时,应将其中原有矿物掺合料与配制混凝土时加入的矿物掺合料用量一起计算。以硫酸盐为主的化学腐蚀环境和近海、海洋氯化物环境,宜掺入矿渣;近海或海洋氯化物环境下,矿物掺合料复掺取单掺的最大值。

表 14 混凝土中矿物掺合料用量范围

混凝土类型	环境类别		水胶比	粉煤灰(%)	磨细矿渣(%)
钢筋混凝土	一般环境	I	≤0.4	≤30	≤50
			>0.4	≤20	≤30
	冻融环境	II	≤0.4	≤30	≤40
			>0.4	≤20	≤30
	氯化物环境	III	≤0.4	30~50	50~80
			>0.4	20~40	30~60
	盐结晶环境	IV	≤0.4	≤40	≤50
			>0.4	≤30	≤40
	化学腐蚀环境	V	≤0.4	30~50	40~60
			>0.4	20~40	30~50
	磨蚀环境	VI	≤0.4	≤30	≤40
			>0.4	≤20	≤30
预应力混凝土				≤30	≤50

6.3.9 磨蚀环境中混凝土材料的选用除符合 JTG/T 3310 的要求外,对应环境作用等级 C、D、E、F 的最大水胶比应满足表 12 对应等级的值,最小胶凝材料用量应不小于 380 kg/m³。

6.3.10 桥塔塔身应采用 I 级粉煤灰,基础、承台可采用 II 级粉煤灰。

6.3.11 混凝土内游离氯离子的总含量应不高于表 15 中的规定。

表 15 游离氯离子含量限值

环境类别与作用等级	钢筋混凝土/%	预应力混凝土/%
Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ	0.10	0.06
I -B、I -C、Ⅴ、Ⅵ	0.20	
I -A、Ⅶ	0.30	
注：以胶凝材料质量百分数计。		

6.3.12 混凝土中的最大碱含量不应大于表 16 的规定。对于特大桥和大桥的混凝土,最大碱含量宜小于 1.8 kg/m³。

表 16 混凝土最大碱含量限值

环境条件		碱含量/(kg/m³)
干燥环境(相对湿度<75%)		3.0
潮湿环境(相对湿度≥75%)	集料无活性	
	集料有活性	严格控制混凝土碱含量并掺加矿物掺合料
注:混凝土中的碱含量指所有组分碱物质含量之和,以等效 Na₂O 当量的水溶碱计。		

6.3.13 单位体积混凝土中的硫化物及硫酸盐含量(以  $\text{SO}_4^{2-}$  计)不应超过胶凝材料总质量的 4%。

6.3.14 混凝土的抗硫酸盐冻融循环性能应按表 17 中的规定执行。

表 17 混凝土抗硫酸盐结晶侵蚀性能

环境作用等级	抗硫酸盐结晶破坏等级
V-D	$\geq$ KS 90
V-E	$\geq$ KS 120
V-F	$\geq$ KS 150

6.3.15 磨蚀环境下,混凝土的耐磨性能应通过专门的实验研究确定。

6.4 防腐涂料

6.4.1 钢结构涂层体系性能要求应符合 JT/T 722—2023 中 5.5.1 的要求。

6.4.2 混凝土表面防腐蚀涂料的品质和涂层性能应满足 JT/T 695 及 JTG/T 3310 的要求。

6.4.3 索塔塔冠、鞍室内表面混凝土宜采用硅烷浸渍剂、聚脲体系防水涂层体系,硅烷浸渍剂涂层体系技术指标及检测要求应符合 JTS/T 209 的规定,二次抗渗压力增长率测试方法按 GB/T 50082 测定。

6.5 防护材料

6.5.1 主缆防护宜采用 S 形缠绕钢丝,其性能指标应满足 GB/T 34106 的要求。

6.5.2 主缆密封防腐缠包带应具有较好的色牢度,密封带颜料耐晒等级应达到 8 级。

6.5.3 主缆内部送气管应满足纵向伸长变形量不小于 4 000  $\mu\text{m}$ 、弯曲刚度小、可与主缆曲线协调变形的性能要求,其径向抗压强度不低于 10 MPa。

6.5.4 主缆系统的涂装宜采用氟碳、聚硅氧烷体系,氟碳面漆的溶剂可溶物氟含量 $\geq$ 24%。

6.5.5 在空气、水的工作条件下,主缆系统密封所用的橡胶制品宜选用三元乙丙橡胶材料。其中海绵橡胶密封条、胶管、胶板的物理力学性能和工作条件应符合表 18 的规定,密封条的压缩变形与单位长度的压缩反力之间的关系,应符合表 19 的规定。

表 18 密封条、胶管和胶板的物理、力学性能指标

性能指标	性能要求		
	密封条	胶管	胶板
	指标	指标	指标
扯断强度/MPa	$\geq 0.78$	$\geq 9$	$\geq 7$
扯断伸长率/%	$\geq 280$	$\geq 350$	$\geq 300$
压缩永久变形 (72 $\pm$ 2) $^{\circ}\text{C}$ /76 h/%	$\leq 25$	$\leq 12$	$\leq 12$
热空气老化(72 $\pm$ 2) $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 72 h	硬度变化率 $\leq 3.2\%$ ,拉伸强度变化率 $\leq 2.59\%$ ,拉伸伸长率 $\geq -5.25\%$	硬度变化率 $\leq 7\%$ ,拉伸强度变化率 $\leq 10\%$ ,拉伸伸长率 $\leq 20\%$	硬度变化率 $\leq 7\%$ ,拉伸强度变化率 $\leq 10\%$ ,拉伸伸长率 $\leq 20\%$
硬度(AO 标尺)[邵氏 C( $^{\circ}$ )]	11~18	70 $\pm$ 5	70 $\pm$ 5
工作温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	-50~70	-50~70	-50~70

表 19 密封条的压缩变形与压缩反力之间的关系

压缩量 $\delta$	6	8	10
压缩反力 $Q(N/mm)$	0.7~0.9	1.0~1.2	1.4~1.6

6.5.7 悬索桥主缆系统所用硫化型橡胶密封剂的技术指标应满足表 20 的要求。

表 20 硫化型橡胶密封剂技术指标

性能指标		技术要求	试验方法
外观		基膏为白色黏稠体,硫化膏为黑色膏状物,混合后为驼灰色	目视法
密度/(g/cm <sup>3</sup> )		≤1.65	GB/T 533
不挥发分含量/%		≥97	HB 6743
活性期/h		0.5~8	手挑法
不黏期(表干时间)/h		8~24	HB 5242
流淌性/mm		≤10	HB 5243
拉伸性能	拉伸强度/MPa	≥2.5	HB 5246
	扯断伸长率/%	≥250	GB/T 528
热空气老化性能(120℃×7d)	拉伸强度/MPa	≥2.0	HB 5246
	扯断伸长率/%	≥150	HB 5247
黏结性能	与磷化底漆和环氧底漆/(kN/m)	≥4	HB 5249
	与镀锌钢板/(kN/m)		
	与丙烯酸聚氨酯或氟碳面漆/(kN/m)		
耐腐蚀性		将铝、钢、钛等金属及双金属试样全浸入3%氯化钠盐水中60℃×20d,金属表面不腐蚀,密封剂不变质	HB 5273
注:手挑法——将混炼好的密封剂置于清洁的聚乙烯薄膜或其他实用的板材上,在标准条件下,用细棍每隔15min以10cm/s~20cm/s的速度挑拉1次,直至密封剂出现明显回弹时,即为活性期终点。记录密封剂从混合到终点经历的时间,此为活性期。			

6.6 水泥基灌浆材料

6.6.1 应采用具有可灌注的流动性、微膨胀、不离析、不泌水、硬化快、早期强度高、性能特点的水泥基灌浆材料。

6.6.2 预应力混凝土孔道灌浆材料宜采用 PII42.5 以上强度等级的硅酸盐水泥配制。

6.6.3 水泥基灌浆料的技术指标应符合 JTG/T 3650 的相关要求。

6.6.4 水泥基灌浆料中氯离子总量不应超过胶凝材料质量的 0.06%。

6.6.5 水泥基灌浆料的氯离子扩散系数、电通量值应符合表 11 的规定。

7 主缆和主缆锚固系统

7.1 一般规定

- 7.1.1 主缆耐久性设计应包含：
- a) 主缆内部与外表面构造和防腐措施；
  - b) 主缆连接件的耐久性构造要求。
- 7.1.2 主缆锚固系统耐久性设计应包含构件外表面防腐措施和连接件耐久性构造要求。
- 7.1.3 索夹与主缆连接处应设置密封防水构造措施，应防止水汽从索夹与主缆连接处进入主缆内部。
- 7.1.4 鞍座与主缆连接位置应设置防水、排水构造。
- 7.1.5 主缆系统的外层防护措施应便于检查、维修与更换，设计中应为可达、可检、易换和易修预留操作空间。
- 7.1.6 与空气接触的所有主缆构件的表面应有防腐措施。
- 7.1.7 悬索桥主缆锚固系统可分为预应力锚固系统、钢框架锚固系统和钢拉杆锚固系统。预应力锚固系统宜设计为可更换方式；钢框架锚固系统和钢拉杆锚固系统应按不可更换构件设计。
- 7.1.8 对于埋置于地下水位以下的锚固系统，宜增加除湿等耐久性设计。

7.2 主缆及锚具

- 7.2.1 计及二次应力的永久荷载作用下主缆钢丝的最大应力应不高于其公称抗拉强度的 50%。
- 7.2.2 主鞍座及散索鞍内的主缆钢丝，宜采用鞍槽内通气除湿方式进行防腐。
- 7.2.3 锚具外表面宜采用热喷锌、热浸锌、粉末渗锌等方式进行防腐处理，锌层厚度不低于 100 μm。热喷锌应符合 GB/T 9793 的规定，热浸镀锌应符合 GB/T 19355.2 和 GB/T 13912 的规定，粉末渗锌应符合 GB/T 19355.3 的规定。
- 7.2.4 主缆索股在顶锚后，锚杯口与主缆钢丝交界面处应平整光滑，并进行封闭处理。

7.3 主缆锚固系统

- 7.3.1 预应力锚固系统宜按表 21 要求进行防腐处理，钢框架锚固系统宜按表 22 要求进行防腐处理，钢拉杆锚固系统宜按表 23 要求进行防腐处理。

表 21 预应力锚固系统的防腐要求

部位	防腐方式	厚度/μm
连接器平板、连接筒	热喷锌或热浸锌	≥100
	环氧封闭漆	—
	涂底层、面合一环氧(厚浆)漆(浅色)	≥150
拉杆、螺母、垫圈	达克罗处理	≥10
	涂底层、面合一环氧(厚浆)漆(浅色)	≥150
锚垫板	热喷锌或热浸锌	≥100
	施工后锚垫板外端面，涂底层、面合一环氧(厚浆)漆(浅色)	≥150
预应力索锚头	高铝锌基	≥40
	施工后表面涂 80℃不流淌油脂	≥10



表 21 预应力锚固系统的防腐要求（续）

部位	防腐方式	厚度/ $\mu\text{m}$
预应力索螺母、垫圈	粉末渗锌	$\geq 15$
	施工后表面涂 80℃不流淌油脂	$\geq 10$
保护罩	热喷锌或热浸锌	$\geq 100$
	环氧封闭漆	—
	施工后锚垫板外端面,涂底层、面合一环氧(厚浆)漆(浅色)	$\geq 150$

表 22 钢框架锚固系统的防腐要求

部位	防腐方式	厚度/ $\mu\text{m}$
锚杆外露部分、锁定板及垫板	热喷锌或热浸锌	$\geq 100$
	环氧封闭漆	—
	环氧云铁中间漆	$\geq 100$
	氟碳面漆	$\geq 80$
埋置于混凝土内部分、后锚梁的锚杆接头	环氧富锌底漆	$\geq 80$
	环氧云铁中间漆	$\geq 220$
	氟碳面漆	$\geq 80$
	超低模量高伸长率硫化型防腐密封胶	$\geq 4\,000$
后锚梁	环氧富锌底漆	$\geq 80$
	环氧云铁中间漆	$\geq 220$
	氟碳面漆	$\geq 80$
高强螺栓外露部分	环氧富锌底漆	$\geq 80$
	环氧云铁中间漆	$\geq 300$
	氟碳面漆	$\geq 80$

表 23 钢拉杆锚固系统的防腐要求

部位	防腐方式	厚度/ $\mu\text{m}$
埋置于混凝土内部锚拉杆	环氧富锌底漆	$\geq 80$
	聚硫密封剂	2 000~3 000
	高强玻璃布 2 层	$\geq 600$
	聚硫密封剂	2 000~3 000
	高强玻璃布 2 层	$\geq 600$
钢拉杆外露部分及螺母、垫圈等	外表面打磨处理	—
	超强耐磨环氧漆 3 层	$\geq 450$



表 23 钢拉杆锚固系统的防腐要求（续）

部位	防腐方式	厚度/ $\mu\text{m}$
连接器平板、连接筒	热喷锌或热浸锌	$\geq 100$
	环氧封闭漆	—
	涂底层、面合一环氧(厚浆)漆(浅色)	$\geq 150$
拉杆、螺母、垫圈	表面达克罗处理	$\geq 10$
	涂底层、面合一环氧(厚浆)漆(浅色)	$\geq 150$

7.3.2 预应力锚固系统在施工现场安装及调试完成后,应清洁表面的尘土、油污,采用钢结构氧化聚合型包覆防腐蚀技术体系进行防腐处理,其相关技术指标应符合 GB/T 32120 的规定。

7.3.3 型钢锚固系统应在锚体混凝土浇注前,用超低模量高伸长率硫化型防腐密封胶覆裹于锚杆表面,再浇筑锚体混凝土。

7.3.4 钢拉杆锚固系统后锚面锚板、垫片、螺母及螺母外螺杆之间需采用聚硫密封胶密闭。

7.3.5 锚室内宜采用除湿的方式进行防腐,宜保持锚室内空气湿度在 50% 以下。

7.3.5 主缆进入锚室的入口,应进行防水密封,密封措施应不影响主缆的变位。

7.4 主缆防腐系统

7.4.1 主缆防腐宜采用外部隔绝水汽进入的外部密封、内部通干空气除湿的组合方案。

7.4.2 除湿系统宜按初次干燥后,主缆内部保持 300 Pa~500 Pa 干空气正压的模式设计。

7.4.3 主缆外部的密封可采用缠丝、缠包带和涂装组合的方式进行防腐,索夹两端应进行密封。

7.4.4 主缆涂装防护的外涂层的设计可按表 24 进行设计。

表 24 主缆外涂层材料配套体系

防护涂装部位	涂装材料	涂装厚度/ $\mu\text{m}$
主缆缠丝区	磷化底漆	均匀着色
	环氧底漆	$\geq 80$
	硫化型橡胶密封剂	$\geq 2\,000$
	氟碳面漆(聚硅氧烷)	$\geq 75$
主缆非缠丝区	磷化底漆	均匀着色
	环氧底漆	$\geq 80$
	硫化型橡胶密封剂	$\geq 5\,000$
	高强度玻璃布	$\geq 2\,000$
	氟碳面漆	$\geq 75$
主缆散索段	封闭底漆	$\geq 10$
	环氧底漆	$\geq 120$
	氟碳面漆	$\geq 75$
索夹环缝	非硫化橡胶密封腻子	结构缝内密封

表 24 主缆外涂层材料配套体系（续）

防护涂装部位	涂装材料	涂装厚度/ $\mu\text{m}$
索夹环缝	硫化型橡胶密封剂	结构缝外密封
索夹直缝	非硫化橡胶密封腻子	结构缝内密封
	硫化型橡胶密封剂	结构缝外密封
索夹、送气罩、排气罩、索夹螺栓缝隙	硫化型橡胶密封剂	结构缝外密封

7.4.5 外部通干燥空气除湿系统设计时,需根据环境作用等级、主缆直径和主缆架设方式(空中纺丝法、预制平行索股法),按照 DB32/T 2548 的要求进行设计。

7.4.6 内部通干燥空气除湿系统的进气管道,其形状宜采用圆形,管道外径宜为单根索股平行排列时的等效直径。

7.4.7 主缆内部通干燥空气除湿系统等间距设置管道内送气口时,应按除湿需要设计送气口的排气量。

7.4.8 应根据主缆直径、送气长度和主缆架设方式(空中纺丝法、预制平行索股法)等,计算主缆内送气管道数量、管道内排气口设置间距和端部送气压力。

7.4.9 设置主缆除湿系统时,应设计相应的自动监测系统;监测系统应能实现对进出主缆的空气压力、温度和湿度的自动监测。

7.5 主缆系统附属构件

7.5.1 主缆检修道、缆套和塔顶鞍座防护构造等附属构件应采用涂装防腐。宜预留缆套拆卸保养的条件。

7.5.2 通干燥空气除湿系统的主缆,应注意缆套附近的密封处理;同时应确保塔顶鞍罩或锚室内的干燥空气能到达缆套内。

7.5.3 耐久性设计时应考虑主缆上的外置通气管道等附属结构的防振减振措施。

8 吊索、索夹及索鞍

8.1 吊索

8.1.1 销接式吊索应满足下列要求:

- a) 索体应采用热挤聚乙烯平行钢丝吊索结构,钢丝公称抗拉强度不宜超过 1 770 MPa,索体的其他要求应符合 GB/T 39133 的规定;
- b) 吊索锚具及耳板,宜采用优质合金钢材料制作,锚具设计中应明确消除残余应力及应力集中等处理要求;
- c) 吊索销轴与销孔之间应设置衬套,长度较短的吊索宜设置自润滑向心关节轴承。关节轴承应符合 GB/T 304.3、GB/T 304.9 的要求;
- d) 向心关节轴承内外圈材料宜选用不锈钢 40Cr13。轴承宜采用可防止异物侵入工作表面的带 PU 聚氨酯密封圈的结构,其他应符合 GB/T 9163 的要求;
- e) 其他要求应符合 GB/T 39133 的规定。

8.1.2 骑跨式吊索应满足下列要求:

- a) 索体宜采用热镀锌钢丝绳,其相关技术指标应符合 GB/T 38818 的要求;
- b) 吊索与加劲梁宜采用销铰式连接,长度较短的吊索宜在销孔里设置自润滑关节轴承,关节轴承

应符合 GB/T 304.3、GB/T 304.9 的要求；

- c) 索体钢丝绳外表面宜采用三重硬隔离防护体系；
- d) 其他要求应符合 GB/T 39133 的规定。

8.1.3 吊索长度超过 20 m 时,同一索夹的吊索之间宜设置减振架。长度为 20 m~60 m 的吊索设置一道减振架,长度大于 60 m 的吊索每增加 30 m~40 m 增设一道减振架。

8.1.4 吊索长度超过 150 m 时,宜设置减振装置。

8.2 索夹

8.2.1 索夹内壁宜保持完整。

8.2.2 索夹宜采用内凹凸齿外平直缝组合的结构形式。

8.2.3 索夹端部到主缆的过渡连接部位,宜设置缠包带密封的方案。索夹的两端外表面宜设置如图 1 所示的防滑固定结构。

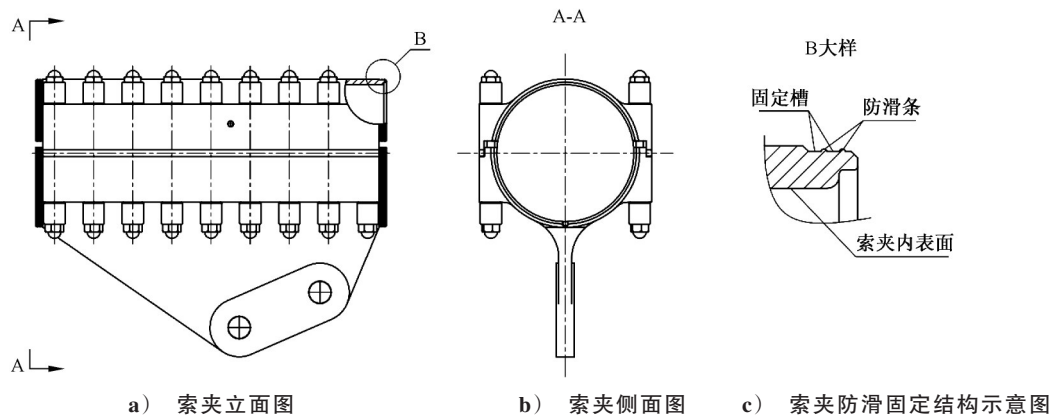


图1 索夹端部防滑固定结构示意图

8.2.4 应对索夹安装紧固后的直缝、环缝进行密封设计。

8.2.5 应结合索夹端口的构造细节,设计满足在 6 kPa 气压下,端部不发生漏气的密封防腐方案。

8.2.6 索夹螺杆宜采用锌铬涂层工艺防护方案。

8.2.7 应对安装后的索夹螺杆外露部分螺纹设置密封螺母或者螺母密封罩等防护结构。

8.2.8 宜对索夹工地存放提出要求：

- a) 构件存放清洁、干燥、无有害介质影响；
- b) 堆垛钢构件时的支垫条件；
- c) 索夹耳板上的销孔表面的防护与密封；
- d) 索夹螺杆孔内防护与密封要求。

8.3 索鞍

8.3.1 索鞍鞍槽面应采取先热喷锌、后喷封闭漆的防腐方案,锌层厚度不小于 200  $\mu\text{m}$ ;索鞍外表面应采取油漆涂装方案,应符合 JT/T 722 的规定。

8.3.2 主索鞍块体之间、索鞍与上承板之间等金属接触面应涂抹防锈油,防锈油应符合 SH/T 0692 的规定。

8.3.3 隔板表面应采取先热热喷锌、后喷封闭漆的防腐方案,锌层厚度不小于 200  $\mu\text{m}$ ;底层隔板、隔墙与鞍槽的连接焊缝磨平后,应对打磨部位有严格的补涂要求。热喷锌应符合 GB/T 9793 的规定。

8.3.4 主索鞍顶推滑动副宜设计成四氟板整体在不锈钢板表面滑动的结构。

8.3.5 主索鞍应设置防护鞍罩,鞍罩内宜设置除湿系统,空气湿度宜控制在 50% 以下。

8.3.6 散索鞍(散索套)应设置锚室或者防护罩等防护结构。

8.3.7 鞍座结构中的销轴类构件,表面宜采用发蓝处理,螺杆、螺母宜采用锌铬涂层等处理。

## 9 锚碇

### 9.1 一般规定

9.1.1 锚碇应采取满足耐久性要求的构造设计,耐久性设计的内容包括:

- a) 有利于减轻环境作用的结构形式、构造和布置;
- b) 钢筋的混凝土保护层最小厚度要求;
- c) 混凝土裂缝宽度控制要求;
- d) 防水、排水构造措施。

9.1.2 锚碇周边及内部的防排水系统应完整且便于维修。

9.1.3 锚碇混凝土外露表面可进行表面涂装,涂装部分应根据环境作用等级进行专门的设计;其防腐寿命宜为长效型。涂料及涂层技术性能应符合 JT/T 695 及 JTG/T 3310 的规定。

### 9.2 锚碇的钢筋混凝土保护层厚度

9.2.1 土体外的锚碇各部位应根据环境作用等级、设计使用年限的要求,应不低于 JTG/T 3310 中的承台基础部分设计钢筋保护层厚度,内表面可根据环境作用等级不同有所调整。

9.2.2 对于直接埋入土体的锚碇部分,混凝土保护层厚度不应小于 70 mm。

### 9.3 裂缝控制

9.3.1 应根据环境类别,确定锚碇混凝土表面的裂缝宽度控制值,其大小应符合 JTG/T 3310—2019 表 6.3.1 所列值,环境作用等级为 D 级及以上时,宜提高一个等级设计。

9.3.2 后浇段湿接缝、沉降缝宜采用膨胀剂或掺加纤维材料,或采取其他抗裂工艺措施。

9.3.3 锚碇的外表面宜在混凝土保护层内采取抗裂措施,如设置抗裂钢筋网等。抗裂钢筋与外表面钢筋宜采取有效措施进行隔离。

9.3.4 应采用有效措施控制大体积混凝土施工的温度裂缝。

### 9.4 构造

9.4.1 锚碇混凝土结构应简明、平顺,轮廓尺寸变化处不宜采用尖锐棱角。

9.4.2 锚碇周边应设置完善的排水系统,保证锚碇顶面及侧面水汇集和排除顺畅。地下水位以下锚体应增加专项防水设计。

9.4.3 位于地下水位以下的锚体结构应采用防水混凝土,并应根据防水等级的要求采取其他附加防水措施。防水混凝土等级要求和附加防水措施可按 GB 50108—2008 中第 4 章的规定执行。

9.4.4 暴露在锚碇混凝土构件外的钢预埋件(如紧固件、连接件等),应采取有效的防腐措施。

9.4.5 对处于 D 级以上环境作用的锚碇混凝土,在改善混凝土密实性、满足规定保护层厚度和养护时间的基础上,宜采取防腐蚀附加措施,进一步提高锚碇体的结构耐久性。附加措施的类型和要求可按 JTG/T 3310—2019 中第 8 章的规定执行。

## 10 混凝土桥塔

### 10.1 一般规定

10.1.1 桥塔耐久性设计应包含下列主要内容:

- a) 划分环境类别及作用等级；
- b) 选定原材料、混凝土和水泥基灌浆材料的性能和耐久性控制指标；
- c) 混凝土保护层厚度、抗裂设计、防排水和后张预应力体系的多重防护措施等；
- d) 防腐蚀附加措施。

10.1.2 桥塔混凝土结构应简明、平顺,轮廓尺寸变化处不宜采用尖锐棱角。

10.2 钢筋混凝土保护层

10.2.1 钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表 25 的规定,且混凝土保护层厚度不宜过大。

表 25 桥塔结构的混凝土保护层最小厚度

环境类别	环境作用等级	最小厚度/mm
一般环境	I -A	25
一般环境	I -B	25
	I -C	30
冻融环境	II -C	30
	II -D	35
	II -E	35
氯化物环境	III -C	35
	III -D	40
	III -E	40
	III -F	40
盐结晶环境	IV -D	30
	IV -E	35
	IV -F	40
化学腐蚀环境	V -C	35
	V -D	40
	V -E	40
	V -F	40
磨蚀环境	VI -C	35
	VI -D	40
	VI -E	40

10.2.2 宜在塔柱混凝土表面设置防裂网,相应混凝土保护层厚度宜适当加大。

10.2.3 对处于 D 级及以上环境作用下的构件,在改善混凝土密实性、满足规范保护层厚度和养护时间的基础上,宜采取防腐蚀附加措施进一步提高混凝土结构耐久性,附加措施的类型和要求按 JTG/T3310 的要求。

10.3 裂缝控制

10.3.1 桥塔最大裂缝宽度不应超过表 26 规定的限值。

表 26 桥塔最大裂缝宽度

环境类别	环境作用等级	最大裂缝宽度限值/mm
一般环境	I -A	0.20
	I -B	
	I -C	
冻融环境	II -C	0.20
	II -D	0.15
	II -E	0.10
氯化物环境	III -C	0.15
	III -D	0.15
	III -E、III -F	0.10
盐结晶环境	IV -C、IV -D、IV -E、IV -F	0.10
化学腐蚀环境	V -C	0.15
	V -D、V -E、V -F	0.10
磨蚀环境	VI -C	0.20
	VI -D、VI -E	0.15

10.3.2 可适当掺入粉煤灰、矿粉等掺合料或掺入纤维材料来防止混凝土开裂。

10.4 预应力横梁

10.4.1 预应力横梁宜按全预应力构件设计,体内预应力筋宜采用多重防护措施,其防护措施类型可根据表 27 进行划分。

表 27 体内预应力筋的防护措施类型

编号及类型		构造措施或要求
PS1	预应力筋防腐表层	环氧涂层等
PS2	管道内部填充	水泥基浆体等
PS3	预埋管道或防护套管	镀锌金属波纹管、塑料波纹管等
PS4	混凝土保护层	满足表 25 的最小保护层厚度规定
PS5	混凝土表面处理	表面涂层、憎水处理和防腐面层

10.4.2 体内预应力筋的基本防护构造措施包括 PS2、PS3 和 PS4。当环境作用等级为 D 级及以上时,可根据表 28 增加防护措施 PS1、PS5。

表 28 体内预应力筋的附加防护措施

环境类别	环境作用等级	体内预应力筋	
		PS1	PS5
冻融环境	II -D、II -E	—	△

表 28 体内预应力筋的附加防护措施（续）

环境类别	环境作用等级	体内预应力筋	
		PS1	PS5
氯化物环境	Ⅲ-D、Ⅲ-E	△	△
	Ⅲ-F	○	○
盐结晶环境	Ⅳ-D、Ⅳ-E、Ⅳ-F	—	△
化学腐蚀环境	V-D、V-E	△	△
	V-F	○	○
注：○——宜采用；△——可采用；——一般不采用。			

10.4.3 桥塔上预应力锚头的多重防护措施及构造措施可根据表 29 进行划分。

表 29 预应力锚头的防护措施类型

编号及类型		构造措施或要求
PA1	锚具防腐表层	锚具表面镀锌、发蓝处理或其他防腐面层
PA2	锚具封裹或封罩内锚具防护处理	砂浆
PA3	锚头封罩	带有防腐防渗涂层或其他耐腐蚀性材料的锚头封罩
PA4	锚固端封填	细石混凝土材料
PA5	封填混凝土表面处理	表面涂层或防腐涂层

10.4.4 预应力锚头的基本防护构造措施包括 PA1、PA2 和 PA4。当环境作用等级为 D 级及以上时,可根据表 30 增加防护措施。

表 30 预应力锚头的附加防护措施

环境类别	环境作用等级	PA3	PA5
冻融环境	Ⅱ-D、Ⅱ-E	△	△
氯化物环境	Ⅲ-D、Ⅲ-E	△	○
	Ⅲ-F	○	○
盐结晶环境	Ⅳ-D、Ⅳ-E、Ⅳ-F	△	○
化学腐蚀环境	V-D、V-E	△	○
	V-F	○	○
注：○——宜采用；△——可采用；——一般不采用。			

10.4.5 预应力锚头宜采用微膨胀、等强、细骨料混凝土封端,其水胶比不应大于梁体混凝土的水胶比,且不应大于 0.4;保护层厚度不应小于 50 mm,且在氯化物环境中不应小于 80 mm。

10.5 构造

10.5.1 下横梁的设计宜考虑支座、阻尼器、伸缩缝等的可检、可修和可更换性,应设置到达相应位置的通



道,预留方便检查和维修的操作平台,在横梁上预留放置千斤顶等提升设备的操作空间,预留后期搭设检修平台设置预埋件或对穿精轧螺纹钢的孔洞等。

10.5.2 桥塔和横梁内部应设置检修通道,并提供用于检查维修的入口,入口及通道的强度和尺寸应满足人员、设备和更换部件的要求。

10.5.3 桥塔塔顶及上横梁应作塔内防、排水系统设计。

## 11 钢加劲梁及钢塔

### 11.1 一般规定

11.1.1 钢加劲梁及钢塔耐久性设计应包含以下内容:

- a) 确定环境类别及其作用等级;
- b) 采用有利于减轻环境作用的结构形式和布置;
- c) 规定钢结构用材料的性能与指标;
- d) 符合耐久性要求的钢结构细部构造设计;
- e) 采取合理的防腐蚀附加措施或多重防护措施;
- f) 根据使用阶段的检测,必要时对结构或构件进行耐久性再设计。

11.1.2 钢加劲梁及钢塔的耐久性设计应提出结构在使用阶段的维护要求。

11.1.3 钢加劲梁及钢塔应根据桥梁所处环境条件、腐蚀类型以及设计目标等确定钢结构材质,可选用耐候钢。

11.1.4 加劲梁应设置移动检查车或固定检查通道、吊篮、检查梯等。

11.1.5 加劲梁应有防水保护及排水系统,桥面排水应符合 JTG/T D33 的相关规定。

### 11.2 构造要求

11.2.1 钢加劲梁及钢塔的整体设计应便于进行表面处理、涂料涂装、涂层检测和防腐维修。钢结构设计应避免可能引起腐蚀发生的结构薄弱点。结构组件的形状、连接方式、建造过程以及任何后处理方式都不应该加速腐蚀。

11.2.2 加劲梁钢桥面设计应避免形成桥面刚度突变,以减少桥面铺装裂缝的产生。

11.2.3 箱型封闭式钢构件,应采取防止积水或水汽进入封闭箱体内部的密封措施。

11.2.4 加劲梁桥面排水宜采用 U 型槽收集,并与桥面径流收集系统统一考虑。

11.2.5 封闭式加劲梁应在梁端设置箱内临时排水孔,施工结束后应进行封闭处理。

11.2.6 钢塔塔底应设置施工临时排水孔,待塔内施工期积水排尽后,需进行封闭处理;对于栓焊结合的钢塔,拼接板外露部分应密封。

11.2.7 钢塔外壁临时螺栓孔施工完成后应采用圆头螺栓或密封胶等进行密封处理。

11.2.8 钢构件设计应满足维护人员可到达、可检查、可维修的要求。

11.2.9 钢桥养护需求设置的结构或连接件,应满足养护工况验算可能的最大限制荷载。

11.2.10 在封闭钢梁的箱室内部,可根据需要设置除湿系统。

### 11.3 防腐涂装

11.3.1 钢加劲梁及钢塔应按环境类别、作用等级、工况条件、设计年限设计涂装配套体系;涂装体系在保证防腐性能前提下,宜尽量减少桥梁设计使用年限内的维护性涂装工作。

11.3.2 钢结构的防护涂层分为下列体系:

- a) 外表面防护涂层体系;



- b) 封闭环境内表面防护涂层体系；
- c) 非封闭环境内表面防护涂层体系；
- d) 钢桥面防护涂层体系；
- e) 浸水区和埋地区防护涂层体系；
- f) 摩擦面防护涂层体系；
- g) 栓接部位防护涂层体系；
- h) 附属钢构件防护涂层体系。

#### 11.3.3 涂装体系保护年限应符合下列要求：

- a) 外表面、封闭环境内表面、非封闭环境内表面、浸水区和埋地区、栓接部位防护涂层的保护年限不低于 30 年；
- b) 钢桥面及附属钢构件防护涂层的保护年限不低于 15 年。

11.3.4 靠近桥面处且容易受到车轮飞溅的除冰盐、砂粒、遗撒等影响的钢构件，应提高防腐等级，或对中涂层干膜厚度加倍的措施予以加强。结构的边、角、螺栓等部位应采用密封剂进行封闭处理，运营期间应加强对这些部位涂层的检查维护。

11.3.5 当钢部件与混凝土等其他材质构件连接时，钢构件结合部位四周应采用密封胶等方式进行密封处理。

11.3.6 高强度螺栓拼板的板间缝隙小于 0.3 mm 时，可采用封闭油漆等方式密封处理。缝隙大于 0.3 mm 时，应采用密封胶等方式处理。

11.3.7 高强度螺栓终拧后，应对外露拼接板及外露螺栓、螺柱、螺母、垫圈进行防腐设计，防护涂层体系按照 JT/T 722 相关条款执行。

11.3.8 高强度螺栓连接部位的外涂层维护周期应与主体钢结构相同。

11.3.9 附属构件应根据设计使用年限、使用环境和维护或更换的便易程度，选择适合的防腐涂层配套体系。

11.3.10 桥位现场进行焊接或焊缝局部修补，应在焊缝两侧预先涂刷不影响焊接性能的车间底漆。焊接或焊缝修补完成后，对焊缝热影响区进行二次表面处理。二次表面处理和后续的涂装应与工厂内要求一致。

## 12 支座、伸缩装置与阻尼器

### 12.1 支座

12.1.1 支座的设置应根据桥梁整体计算分析确定，并应满足竖向、横向荷载传递功能和各向位移、转角的变形要求，梁端宜设置纵向阻尼器。

12.1.2 支座宜设置防雨水及尘埃进入的防护罩，并应预留安装、维护的工作空间和设置安全防护栏杆等。

12.1.3 支座钢构件外露表面要进行防腐蚀处理，支座防腐蚀处理宜采用“热喷涂+重防腐涂装”的长效防腐体系。

12.1.4 锚固套筒、锚固螺栓、螺杆应采用长效防腐体系，螺栓安装后的外露面积须进行防护。

12.1.5 设计应对支座定期维养提出要求，并考虑支座的可更换性。

### 12.2 伸缩装置

12.2.1 加劲梁梁端伸缩装置应根据桥梁整体计算分析确定，并应满足加劲梁各向位移和转角的要求。

12.2.2 设计时，除考虑温度变化、混凝土收缩徐变引起的水平位移及竖向荷载产生的变形外，还宜考虑

汽车制动力、风荷载、地震作用等,具体应根据结构受力分析确定。

12.2.3 宜考虑防水、排水辅助设施设计。

12.2.4 橡胶条带机械物理性能应满足 JT/T 327 相关规定,不宜使用再生胶或粉碎的硫化橡胶。

12.2.5 应与桥梁结构连接顺畅,下方应设置便捷的检查维修通道。

12.2.6 防腐涂装设计年限不低于 15 年,伸缩装置上表面应进行抗滑处理。

12.2.7 所有活动零部件宜均可在现场不中断交通的情形下进行维修更换。

### 12.3 阻尼器

12.3.1 可设置在加劲梁梁端或加劲梁与索塔之间。

12.3.2 应适应桥梁在正常使用状态下的位移。

12.3.3 阻尼器连接件应进行疲劳检算,并能适应阻尼器变位要求。

12.3.4 应适应  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  的工作环境温度,在最大最小工作环境温度下应保持性能稳定。

12.3.5 阻尼器在销轴轴线与阻尼轴线构成的平面内能适应的转动角度不应小于  $\pm 6^{\circ}$ 。

12.3.6 纵向阻尼器宜采用低速下能提供一定纵向约束力的速度指数。

---