

《跨黄河公路斜拉桥绿色低碳设计指南》

团体标准

编制说明

2026年3月

目 次

- 一、工作概况
- 二、制定标准的必要性和意义
- 三、主要起草过程
- 四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系
- 五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述
- 六、重大意见分歧的处理依据和结果
- 七、实施标准的措施建议
- 八、知识产权说明
- 九、其他应予说明的事项

《跨黄河公路斜拉桥绿色低碳设计指南》 团体标准编制说明

一、工作简况

(一) 任务来源

宁夏回族自治区重点研发计划项目(2022BEG02056)“黄河宁夏段公路斜拉桥绿色低碳建管养关键技术研究”子课题二“黄河宁夏段大跨径斜拉桥公路桥梁绿色耐久设计关键技术研究”

(二) 起草单位

本标准项目主要承担单位：宁夏公路管理中心

协作单位为：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

(三) 主要起草人及分工

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

二、制定(修订)标准的必要性和意义

宁夏位于中国西北部的黄河中上游地区，肩负着建设黄河流域生态保护和高质量发展先行区的时代重任。黄河宁夏段约占黄河全长的十四分之一，整体生态环境敏感，生态功能区、生态敏感区数量多，容易受到工程建设影响。宁夏作

为黄河、长江流经省份架桥密度最大的省区，过去桥梁工程尤其是跨黄河桥梁工程聚焦经济性、可实施性，绿色低碳建造关键技术研究较少，绿色低碳桥梁建设缺乏有效的指导，不能满足新时期桥梁高质量绿色低碳建造要求。在生态文明建设持续推进、促进碳达峰碳中和已成为社会发展共识的背景下，黄河宁夏段大跨径桥梁绿色低碳发展，不仅是桥梁践行生态文明、绿色发展理念、碳达峰碳中和战略的重要体现，同时可以满足宁夏建设黄河流域生态保护和高质量发展先行区建设要求。

三、主要起草过程

（一）成立起草组、确定分工

宁夏回族自治区重点研发计划项目（2022BEG02056）“黄河宁夏段公路斜拉桥绿色低碳建管养关键技术研究”子课题二“黄河宁夏段大跨径斜拉桥公路桥梁绿色耐久设计关键技术研究”项目任务下达后，宁夏公路管理中心联合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成立标准编制起草组。

（二）收集资料

收集相关法律法规、政策文件、标准等相关资料。

（三）编制标准草案

2023年3月-9月，标准起草组对所收集的资料进行梳理、分析，形成工作组讨论稿。

2025年2月，召开标准讨论会，宁夏公路管理中心联合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修改后形成标准征求意见稿，完成编制说明的编写。

（四）调研及征求意见

调研现有规范，总结已有规范的相关规定，结合黄河宁夏段实际情况确定大纲。2026年3月在全国团体标准信息平台网站上公开标准文本和编制说明，进行线上广泛征求意见，为期30天。

四、编制原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

（一）编制原则

（1）严格遵循国家相关法律法规与政策，确保规范方向正确、依据充分。（2）紧密结合现行相关规范与黄河宁夏段绿色低碳的发展需求，强调规范的适用性、可操作性，切实解决实际问题。（3）以科学理论、实验数据和成熟经验为依据，积极采纳先进适用的技术。（4）注重规范自身的系统性，并确保与现行相关标准体系协调配套，避免冲突。（5）编制过程公开，充分听取生产、管理、科研、用户等各方意见，凝聚共识。（6）要求文本结构合理，条款逻辑严谨，术语定义准确，表述简洁明确，符合标准编写规定。

（二）编制依据

（1）《千米级斜拉桥设计指南》（DB32/T 1367-2009）

（2）《公路斜拉桥设计规范》（JTG/T 3365-01-2020）

（3）《铁路斜拉桥设计规范》（TB 10095-2020）

(4) 《中华人民共和国黄河保护法》

(5) 《水产种质资源保护区管理暂行办法》

(三) 与现行法律法规、标准的关系

本标准与《千米级斜拉桥设计指南》(DB32/T 1367-2009)江苏省质量技术监督局 2009-06-10、《公路斜拉桥设计规范》(JTG/T 3365-01-2020)中华人民共和国交通运输部 2020-04-26、《铁路斜拉桥设计规范》(TB 10095-2020)国家铁路局 2020-12-03 相比,本标准中增加了融合水生态保护,同时考虑全生命周期碳排放量,归纳总结黄河宁夏段公路斜拉桥绿色、低碳的设计要点。

五、主要条款的说明,主要技术指标、参数、实验验证的论述

(一) 主要条款说明

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。

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。

6.4.1 桥梁选址和桥跨布置

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。

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日每日的临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 $\leq 50\text{mg/L}$ 。

(二) 主要技术指标、参数、试验验证的论述

(1) 低碳设计碳排放计算

参数及论述:

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($t_{CO_2e}/$ 单位);

i ——建筑材料类别;

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($t_{CO_2e}/$ 台班);

i ——机械设备类别;

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)；

a 运营碳排放模型

对于斜拉桥而言，运营过程中产生的碳排量较小，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)；

b 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；

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 m^3)；

EF_{CJ} ——拆除阶段不同结构碳排放因子(tCO_2e /单位)；

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：

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

(2) 黄河水生态保护主要指标：

1) 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 。

2) 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 日每日的临晨及傍晚的鱼类产卵高峰期。

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) 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。

参数及论述：

鱼类监测结果

鱼类组成及群落结构

2023年-2024年6次调查共采集鱼类531尾，重25923克，其中，2023年共调查到144尾，6118.25克，2024年共调查到387尾，19804.86克。隶属5目7科23种。其中鲤科鱼类最多，有11种，占比47.83%；鳅科鱼类次之，有5种，占比21.74%，虾虎鱼科、鲇科各2种，均占比8.70%，塘鳢科、青科和胡瓜鱼科各1种，分别占比4.35%。

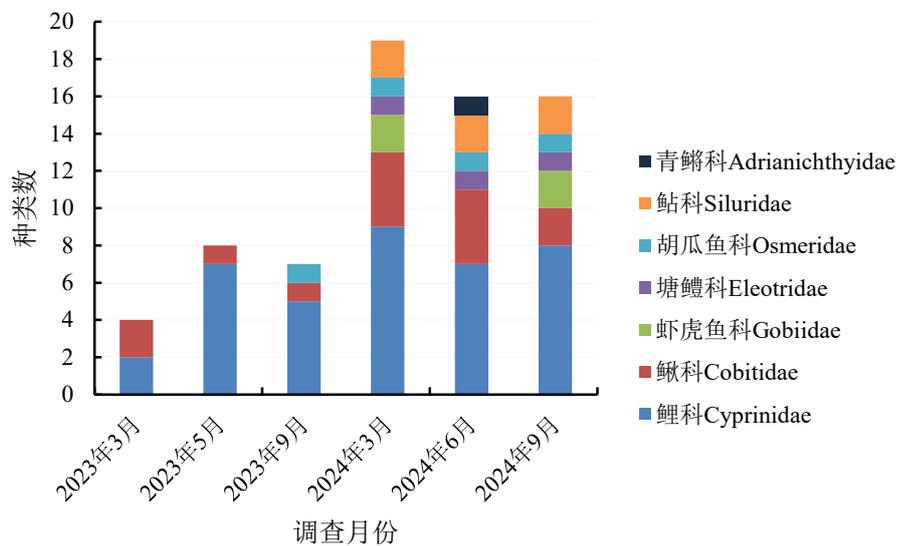


图 1.3-1 下河沿黄河大桥河段各月份调查到的鱼类种类数

下河沿黄河大桥河段的各月份调查到的鱼类以鲤科鱼类为主，占比均在40%以上，鳅科鱼类次之，占比均在10%以上。

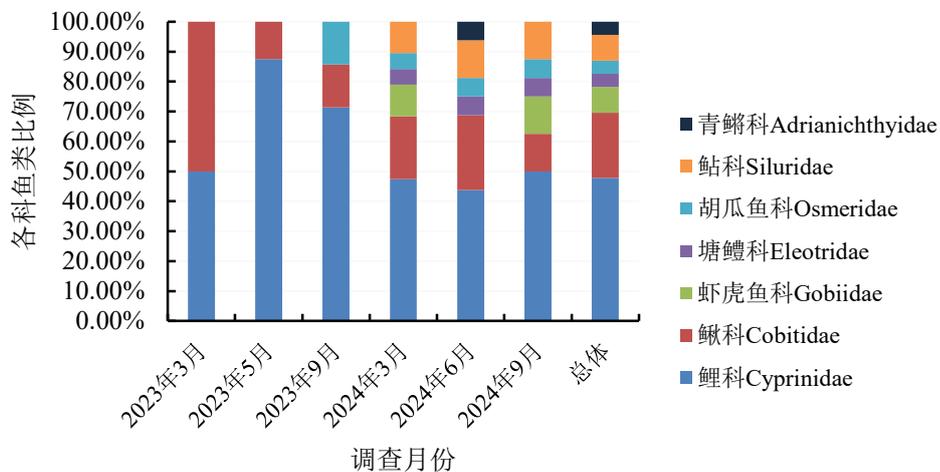


图 1.3-2 下河沿黄河大桥河段各月份调查到的鱼类比例

1.1.1 鱼类多样性

分别使用 *Shannon-Wiener* 多样性指数 (H)、*Margalef* 种类丰富度指数 (D)、*Pielou* 均匀度指数 (J) 3 个多样性指数来分析下河沿黄河大桥段鱼类生物多样性。*Shannon Wiener* 指数分级评价标准: 极贫乏 ($H=0$)、贫乏 ($H<1$)、一般 ($1\leq H<2$)、较丰富 ($2\leq H<3$) 和丰富 ($H\geq 3$) 5 个级别。

两年 6 次的鱼类监测结果表明, 相较于建设期 (2023 年), 运行期 (2024 年) 下河沿黄河大桥河段鱼类多样性及种类丰富度均有明显上升, 均匀度指数无明显变化。鱼类多样性由 2023 年的贫乏或一般水平恢复至较丰富或丰富水平。相较于普通跨黄河公路桥, 下河沿黄河大桥的斜拉桥形式极大减少了水工建筑物对水生态的影响, 实现了“绿色”的目的。

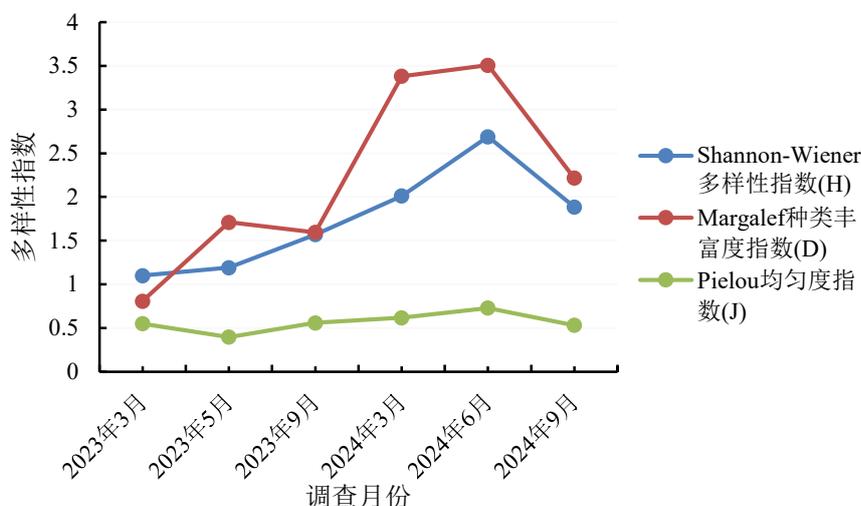


图 1.3-3 调查期间下河沿黄河桥河段鱼类多样性指数的时间变化

1.2 浮游植物调查结果

1.2.1 浮游植物组成

2023 年-2024 年在下河沿黄河大桥河段共鉴定到浮游植物 8 门 126 种 (属), 其中硅藻门种数最多 64 种 (属), 占总种类数的 51.0%; 绿藻门 43 种 (属), 占 34.0%; 金藻门 7 种 (属), 占比 5.0%; 裸藻门 4 种 (属), 占 3.0%; 甲藻门 3 种 (属), 占比 2.5%, 10 种 (属), 占 9.8%; 蓝藻门和隐藻门各 2 种 (属), 均占比 2.0%; 黄藻门 1 种 (属), 占 1.0%。

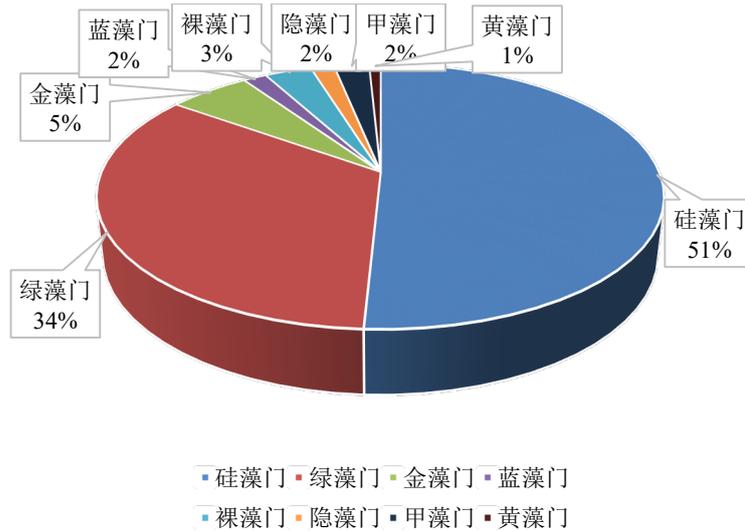


图 1.4-1 下河沿黄河大桥河段浮游植物组成

1.2.2 浮游植物密度

下河沿黄河大桥河段 2023 年度浮游植物平均密度为 37.72×10^4 ind./L，其中硅藻门密度最高， 23.50×10^4 ind./L。绿藻门次之，为 12.00×10^4 ind./L。金藻门 2.06×10^4 ind./L。隐藻门 0.78×10^4 ind./L。裸藻门 0.67×10^4 ind./L。甲藻门 0.50×10^4 ind./L。黄藻门 0.17×10^4 ind./L；2024 年度浮游植物平均密度为 14.72×10^4 ind./L。其中硅藻门密度最高， 9.78×10^4 ind./L；绿藻门次之，为 3.78×10^4 ind./L；蓝藻门 0.83×10^4 ind./L；甲藻门 0.28×10^4 ind./L。金藻门 0.06×10^4 ind./L。

表 1.4-1 下河沿黄河大桥河段浮游植物密度（单位： $\times 10^4$ ind./L）

月份	蓝藻门	金藻门	黄藻门	隐藻门	甲藻门	硅藻门	裸藻门	绿藻门	合计
2023 年 3 月	0.00	2.17	0.33	1.00	0.67	21.00	0.50	11.50	37.16
2023 年 5 月	0.00	1.33	0.00	0.50	0.33	20.17	0.33	12.33	35.00
2023 年 9 月	0.00	2.67	0.17	0.83	0.50	23.50	1.17	12.17	41.00
均值	0.00	2.06	0.17	0.78	0.50	21.56	0.67	12.00	37.72
2024 年 3 月	0.83	0.00	0.00	0.00	0.50	9.17	0.00	2.67	13.17
2024 年 6 月	0.83	0.17	0.00	0.00	0.33	11.33	0.00	4.50	17.17
2024 年 9 月	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	8.83	0.00	4.17	13.83
均值	0.83	0.06	0.00	0.00	0.28	9.78	0.00	3.78	14.72

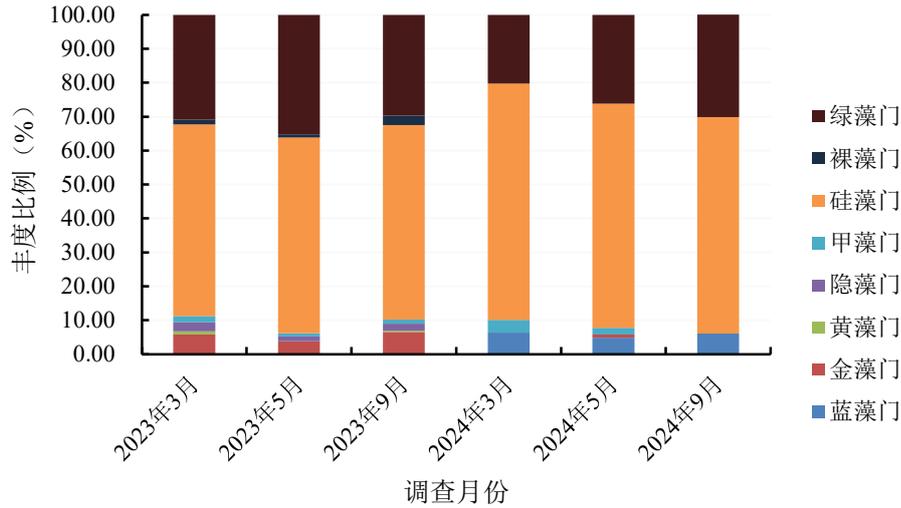


图 1.4-2 下河沿黄河大桥河段浮游植物丰度的时间变化

1.2.3 浮游植物生物量

下河沿黄河大桥河段 2023 年度浮游植物平均生物量为 1.1002 mg/L。其中，硅藻门生物量最大，为 0.9394 mg/L，绿藻门次之，为 0.0910 mg/L，甲藻门 0.0222 mg/L，隐藻门 0.0156 mg/L，金藻门 0.0155 mg/L，裸藻门 0.0149 mg/L，黄藻门 0.0017 mg/L；2024 年度浮游植物平均生物量为 0.3791 mg/L。其中，硅藻门生物量最大，为 0.2172 mg/L，甲藻门次之，为 0.1389 mg/L，绿藻门 0.0153 mg/L，蓝藻门 0.0072 mg/L，金藻门 0.0006 mg/L。

表 1.4-2 下河沿黄河大桥河段浮游植物生物量

月份	蓝藻门	金藻门	黄藻门	隐藻门	甲藻门	硅藻门	裸藻门	绿藻门	合计
2023年3月	0.0000	0.0062	0.0033	0.0200	0.0190	0.6700	0.0112	0.1025	0.8322
2023年5月	0.0000	0.0123	0.0000	0.0100	0.0163	0.9678	0.0075	0.1047	1.1186
2023年9月	0.0000	0.0279	0.0017	0.0167	0.0313	1.1804	0.0261	0.0658	1.3499
均值	0.0000	0.0155	0.0017	0.0156	0.0222	0.9394	0.0149	0.0910	1.1002
2024年3月	0.0064	0.0000	0.0000	0.0000	0.2500	0.2233	0.0000	0.0098	0.4895
2024年6月	0.0068	0.0017	0.0000	0.0000	0.1667	0.2007	0.0000	0.0170	0.3928
2024年9月	0.0083	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2275	0.0000	0.0191	0.2549
均值	0.0072	0.0006	0.0000	0.0000	0.1389	0.2172	0.0000	0.0153	0.3791

1.2.4 浮游植物多样性

2023 年度，下河沿黄河大桥河段浮游植物 *Shannon-Wiener* 多样性指数(H')、均匀度指数(J')和 *Margalef* 丰富度指数(D')分别为 4.1816、0.6634、6.0997；2024 年度，下河沿黄河大桥河段浮游植物 *Shannon-Wiener* 多样性指数(H')、均匀度指数(J')和 *Margalef* 丰富度指数(D')分别为 3.1564、0.6553、2.2946。根据 *Shannon Wiener* 指数分级评价标准，2023 年度、2024 年度下河沿黄河大桥河段浮游植物多样性均为丰富。

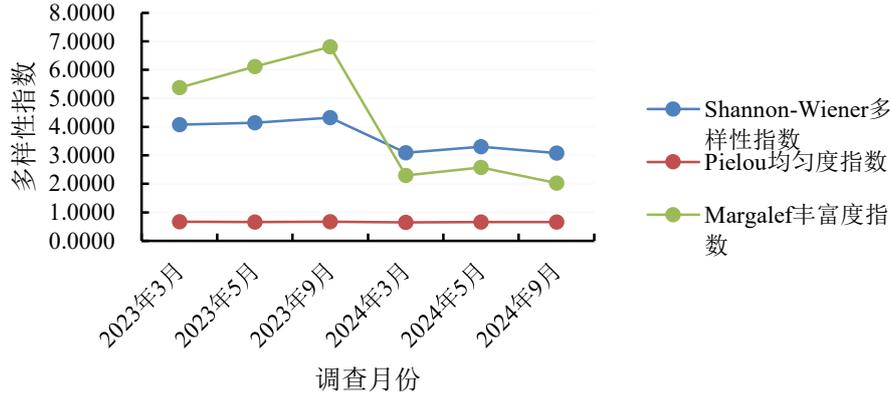


图 1.4-3 调查期间下河沿黄河大桥河段浮游植物多样性指数的时间变化

1.3 浮游动物调查结果

1.3.1 浮游动物组成

2023年-2024年在下河沿黄河大桥河段共鉴定浮游动物4类51种(属),其中,轮虫最多,有21种(属),占比41.2%,原生动物和桡足类各11种(属),占比21.6%;枝角类8种(属),占比15.7%。

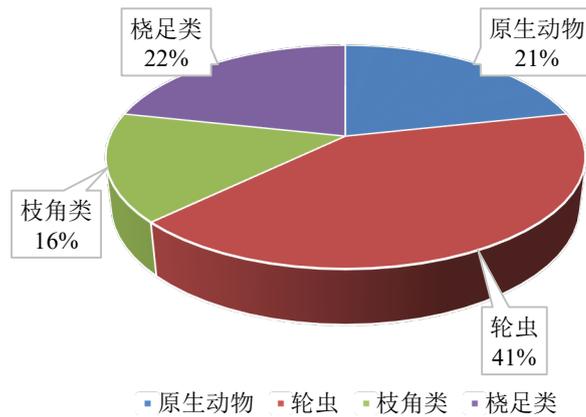


图 1.5-1 下河沿黄河大桥河段浮游动物组成

1.3.2 浮游动物密度

2023年度下河沿黄河大桥河段浮游动物的平均密度为24.50 ind./L。其中轮虫密度最高,为15.00 ind./L;原生动物次之,6.30 ind./L;桡足类1.95 ind./L;枝角类12.5 ind./L;2024年度下河沿黄河大桥河段浮游动物的平均密度为30.50 ind./L。其中轮虫密度最高,为22.25 ind./L;原生动物次之,5.05 ind./L;桡足类2.25 ind./L;枝角类0.95 ind./L。

表 1.5-1 下河沿黄河大桥河段浮游动物密度(单位: ind./L)

月份	原生动物	轮虫	枝角类	桡足类	合计
2023年3月	4.50	13.50	0.75	0.90	19.65
2023年5月	8.85	22.50	2.25	2.10	35.70
2023年9月	5.55	9.00	0.75	2.85	18.15
均值	6.30	15.00	1.25	1.95	24.50
2024年3月	6.75	20.25	1.20	1.95	30.15

2024年6月	5.40	21.75	0.90	3.45	31.50
2024年9月	3.00	24.75	0.75	1.35	29.85
均值	5.05	22.25	0.95	2.25	30.50

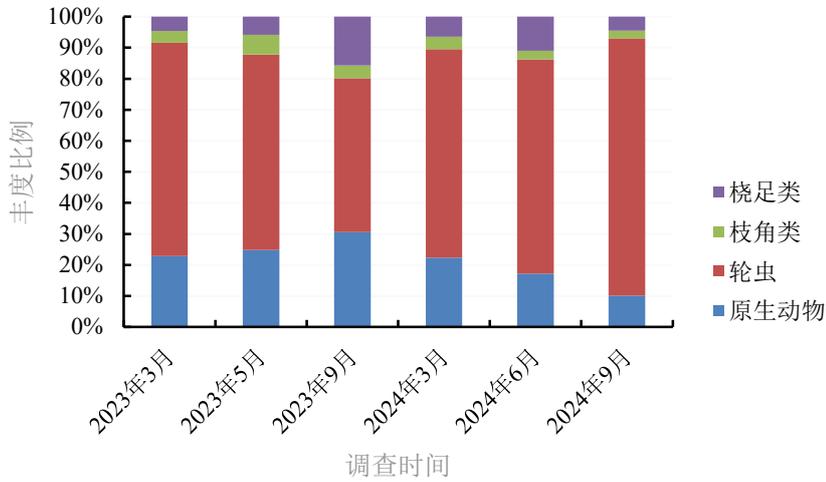


图 1.5-2 下河沿黄河大桥河段浮游动物丰度的时间变化

1.3.3 浮游动物生物量

2023 年度下河沿黄河大桥河段浮游动物的平均生物量为 0.105524 mg/L。其中，桡足类的生物量最高，为 0.064200 mg/L，枝角类次之，为 0.037850 mg/L，轮虫 0.003352 mg/L，原生动物 0.000121 mg/L；2024 年度下河沿黄河大桥河段浮游动物的平均生物量为 0.199140 mg/L。其中，轮虫的生物量最高，为 0.124986 mg/L；桡足类次之，为 0.059800 mg/L；枝角类 0.014250 mg/L；原生动物 0.000104 mg/L。

表 1.5-2 下河沿黄河大桥河段浮游动物生物量

月份	原生动物	轮虫	枝角类	桡足类	合计
2023年3月	0.000098	0.003575	0.024900	0.024000	0.052573
2023年5月	0.000174	0.004691	0.073950	0.095700	0.174515
2023年9月	0.000092	0.001790	0.014700	0.072900	0.089483
均值	0.000121	0.003352	0.037850	0.064200	0.105524
2024年3月	0.000116	0.048878	0.018600	0.063300	0.130894
2024年6月	0.000107	0.259322	0.012450	0.085800	0.357680
2024年9月	0.000090	0.066757	0.011700	0.030300	0.108847
均值	0.000104	0.124986	0.014250	0.059800	0.199140

1.3.4 浮游动物多样性

2023 年度，下河沿黄河大桥河段浮游动物 *Shannon-Wiener* 多样性指数(H')、均匀度指数(J)和 *Margalef* 丰富度指数(D)分别为 2.4228、0.5790、5.4738；2024 年度，下河沿黄河大桥河段浮游动物 *Shannon-Wiener* 多样性指数(H')、均匀度指数(J)和 *Margalef* 丰富度指数(D)分别为 2.9172、0.6158、7.5992。根据 *Shannon Wiener* 指数分级评价标准，2023 年度、2024 年度下河沿黄河大桥河段浮游动物多样性均为较丰富。

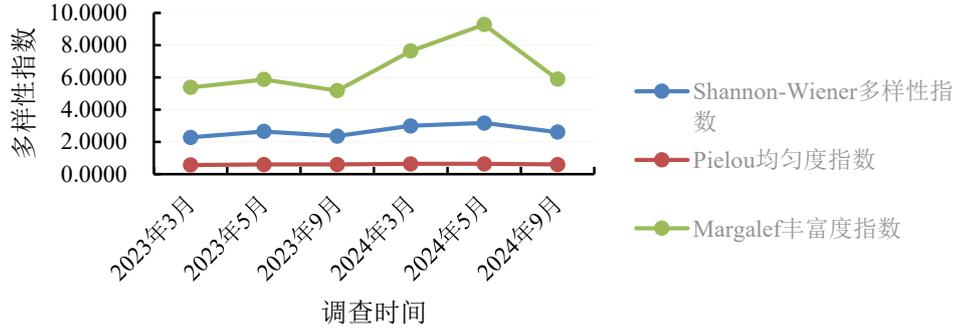


图 1.5-3 调查期间下河沿黄河大桥河段浮游动物多样性指数的时间变化

1.4 底栖动物调查结果

1.4.1 底栖动物组成

2023年-2024年在下河沿黄河大桥河段共鉴定底栖动物3类9种(属),其中,水生昆虫6种(属),占比66.7%,甲壳动物2种(属),占比22.2%,环节动物1种(属),占比11.1%。

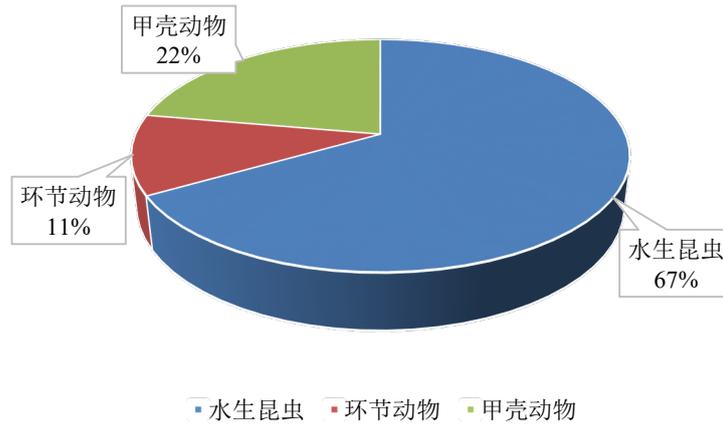


图 1.6-1 下河沿黄河大桥河段底栖动物组成

1.4.2 底栖动物密度

2023年度下河沿黄河大桥河段底栖动物的平均密度为40.7 ind./m²。其中,环节动物密度最高,为21.0 ind./m²,水生昆虫次之,14.2 ind./m²,甲壳动物5.6 ind./m²;2024年度下河沿黄河大桥河段底栖动物的平均密度为68.5 ind./m²。其中,水生昆虫密度最高,为40.1 ind./m²,甲壳动物次之,22.8 ind./m²,环节动物5.6 ind./m²。

表 1.6-1 下河沿黄河大桥河段底栖动物密度(单位: ind./m²)

	水生昆虫	环节动物	甲壳动物	合计
2023年3月	16.7	11.1	9.3	37.0
2023年5月	9.3	22.2	5.6	37.0
2023年9月	16.7	29.6	1.9	48.1
均值	14.2	21.0	5.6	40.7
2024年3月	38.9	5.6	22.2	66.7
2024年6月	48.1	5.6	27.8	81.5

2024年9月	33.3	5.6	18.5	57.4
均值	40.1	5.6	22.8	68.5

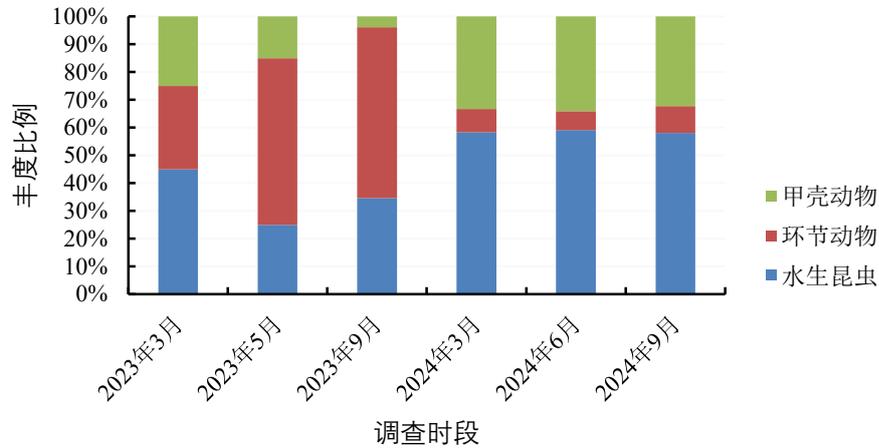


图 1.6-2 下河沿黄河大桥河段底栖动物丰度的时间变化

1.4.3 底栖动物生物量

2023 年度下河沿黄河大桥河段底栖动物的平均生物量为 0.3448 g/m^2 。其中，水生昆虫的生物量最高，为 0.2264 g/m^2 ，环节动物次之，为 0.0457 g/m^2 ，甲壳动物 0.003352 g/m^2 ；2024 年度下河沿黄河大桥河段底栖动物的平均生物量为 1.0498 g/m^2 。其中，水生昆虫的生物量最高，为 0.8009 g/m^2 ，甲壳动物次之，为 0.2230 g/m^2 ，环节动物 0.0259 g/m^2 。

表 1.6-2 下河沿黄河大桥河段底栖动物密度 (单位: g/m^2)

月份	水生昆虫	环节动物	甲壳动物	合计
2023年3月	0.1152	0.0503	0.1031	0.2687
2023年5月	0.4416	0.0615	0.0075	0.5106
2023年9月	0.1225	0.1064	0.0264	0.2553
均值	0.2264	0.0727	0.0457	0.3448
2024年3月	0.0140	0.0199	0.0299	0.0639
2024年6月	0.1403	0.0252	0.3750	0.5404
2024年9月	2.2483	0.0326	0.2642	2.5451
均值	0.8009	0.0259	0.2230	1.0498

1.4.4 底栖动物多样性

2023 年度，下河沿黄河大桥河段底栖动物 *Shannon-Wiener* 多样性指数(H')、均匀度指数(J)和 *Margalef* 丰富度指数(D)分别为 1.3694、0.4617、1.8943；2024 年度，下河沿黄河大桥河段底栖动物 *Shannon-Wiener* 多样性指数(H')、均匀度指数(J)和 *Margalef* 丰富度指数(D)分别为 1.9183、0.6275、1.7443。根据 *Shannon Wiener* 指数分级评价标准，2023 年度、2024 年度下河沿黄河大桥河段底栖动物多样性均为一般，但底栖动物多样性指数有所增长。

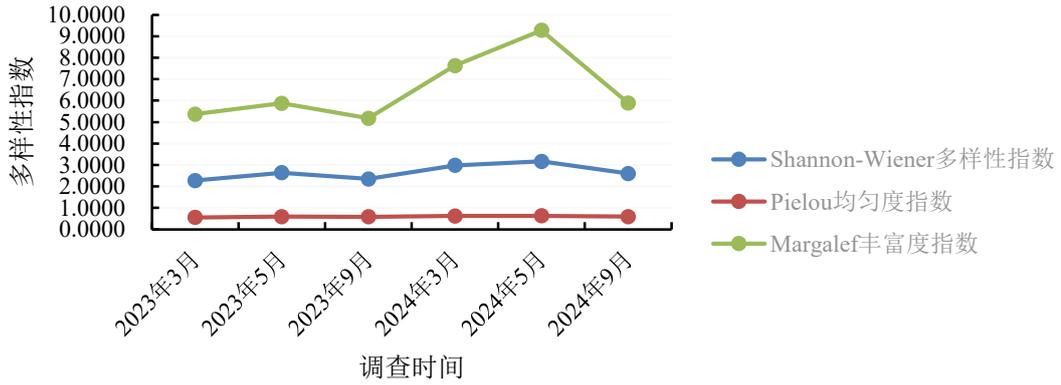


图 1.6-3 调查期间下河沿黄河桥河段底栖动物多样性指数的时间变化

1.5 水体理化指标检测结果

2023年-2024年下河沿黄河大桥河段水体理化指标检测结果下所示（附表6、图5-1、5-2、5-3）。根据《渔业水质标准》（GB11607-92），下河沿黄河大桥河段2023年-2024年水质符合渔业水质标准要求；根据《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）、环境保护部办公厅《关于印发〈地表水环境质量评价办法（试行）〉的通知》（环办〔2011〕22号），地表水水质评价指标为：《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）表1中除水温、总氮、粪大肠菌群以外的21项指标。水温、总氮、粪大肠菌群作为参考指标单独评价（河流总氮除外）。

下河沿黄河大桥河段2023年-2024年水质符合地表水环境质量标准Ⅱ类水质，部分指标达到了Ⅰ类标准。下河沿黄河大桥河段水质良好。

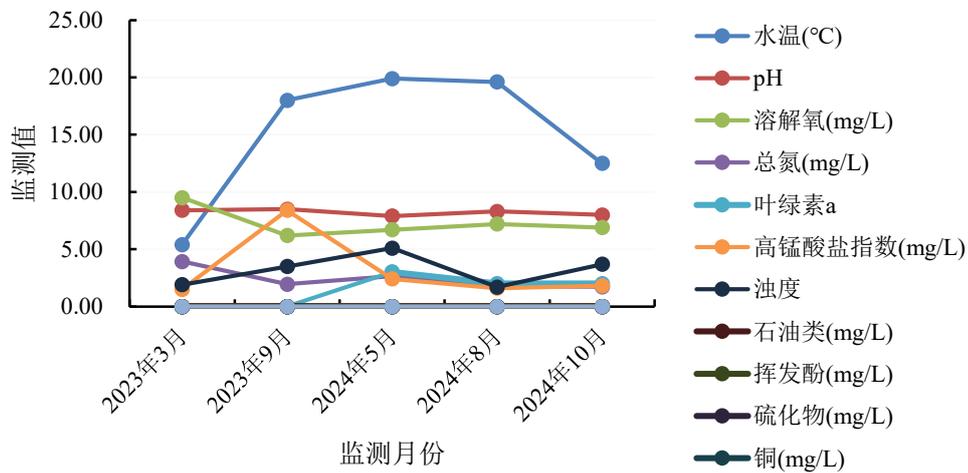


图 1.7-1 下河沿黄河大桥河段水温、pH、溶解氧等指标的时间变化

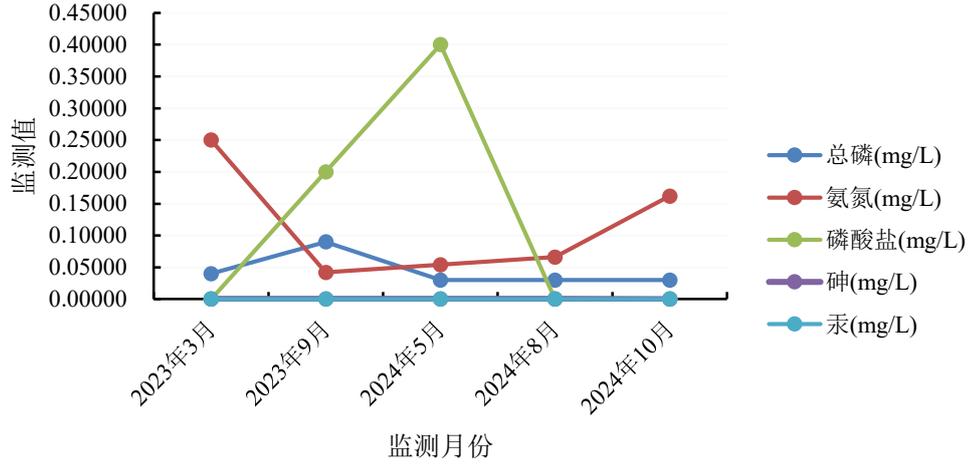


图 1.7-2 下河沿黄河大桥河段总磷、氨氮、磷酸盐等指标的时间变化

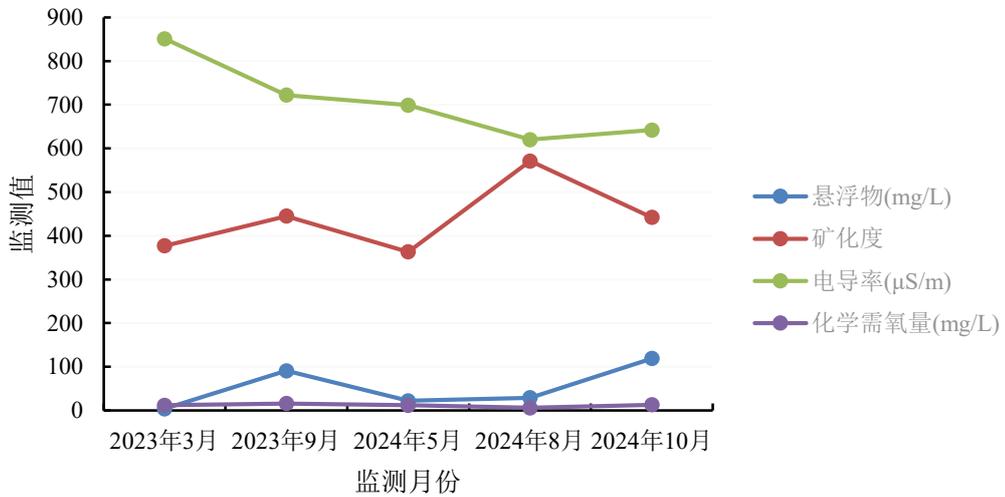


图 1.7-3 下河沿黄河大桥河段悬浮物、矿化度、电导率等指标的时间变化

1.6 桥梁噪音振动背景调查

1.6.1 桥梁噪音背景调查

1.6.1.1 监测点位

以下河沿黄河大桥为目标桥梁，已经完成施工，选取正在施工的黑山峡黄河大桥作为施工桥梁的样本，选取正常运行的北京路延伸跨黄河大桥作为对照进行噪音监测。

表 1.9-1 监测点位

项目	监测点位	监测日期	监测频次
下河沿黄河大桥	桥下东侧	2024/6/3-6/6	检测 3 天，分别于昼间(6:00-22:00)的 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00 开展检测，每次测量连续 20 分钟的等效声级，夜间(22:00-6:00)的 00:00、2:00、4:00、6:00 开展检测
	桥下南侧		
	桥下西侧		
	桥下北侧		
黑山峡黄河大桥	施工场地东侧	2024/5/13-5/16	检测 3 天，分别于昼间(6:00-22:00)的 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00、20:00、22:00 开展检测，每次测量连续 20 分钟的等效声级，夜间(22:00-6:00)的 00:00、2:00、4:00、6:00 开展检测
	施工场地南侧		
	施工场地西侧		

	施工场地北侧		
北京路延伸桥	桥下东侧	2024/6/11-6/14	
	桥下南侧		
	桥下西侧		
	桥下北侧		

1.6.1.2 检测分析方法及仪器

表 1.9-2 检测分析方法及仪器一览表

分析方法	检测仪器	检定/校准有效日期
《建筑施工厂界环境噪声排放标准》GB 12523-2011	AWA6221B 型声级校准器	2024.03.14-2025.03.13
	手持气象站 HHAWS005	2024.03.19-2025.03.18
	空盒气压表 DYM3-1 型	2024.03.14-2025.03.13
	AWA6228+型多功能声级计	2024.03.14-2025.03.13
	AWA5688 型多功能声级计	2024.01.29-2025.01.28
	AWA6292 型多功能声级计	2024.02.02-2025.02.01
	AWA6021A 型声级校准器	2024.03.14-2025.03.13

1.6.1.3 质量控制

检测使用仪器为 AWA6228+、AWA5688 型、AWA6292 多功能声级计，在测量前、后对仪器用 AWA6021A、AWA6221B 型声级校准器进行了校准，校准前后示值差值小于等于 0.5dB，符合要求。

1.6.1.4 结果

表 1.9-3 下河沿黄河大桥噪音监测结果

时间	东	南	西	北	均值
0:00	46	52	45	45	47
2:00	46	51	45	45	47
4:00	45	49	44	45	46
6:00	49	53	49	49	50
8:00	51	54	51	50	52
10:00	50	53	49	49	50
12:00	51	55	50	50	52
14:00	49	53	48	48	50
16:00	50	57	49	49	51
18:00	50	56	49	49	51
20:00	50	56	49	48	51
22:00	48	55	47	47	49

表 1.9-4 黑山峡黄河大桥噪音监测结果

时间	东	南	西	北	均值
0:00	52	56	52	49	52
2:00	55	57	53	50	54
4:00	53	57	54	49	53
6:00	54	53	52	49	52
8:00	58	57	61	55	58

10:00	55	54	56	54	55
12:00	53	53	49	45	50
14:00	56	57	56	52	55
16:00	57	57	58	54	57
18:00	57	56	57	53	56
20:00	56	55	56	51	55
22:00	54	54	52	51	53

表 1.9-5 北京路延伸桥噪音监测结果

时间	东	南	西	北	均值
0:00	38	39	41	39	39
2:00	37	38	38	37	38
4:00	34	35	36	35	35
6:00	41	42	44	42	42
8:00	50	49	51	54	51
10:00	48	48	49	48	48
12:00	50	50	49	52	50
14:00	46	46	47	47	47
16:00	46	47	46	46	46
18:00	49	49	50	49	49
20:00	46	48	49	47	48
22:00	44	46	46	44	45

3桥对比

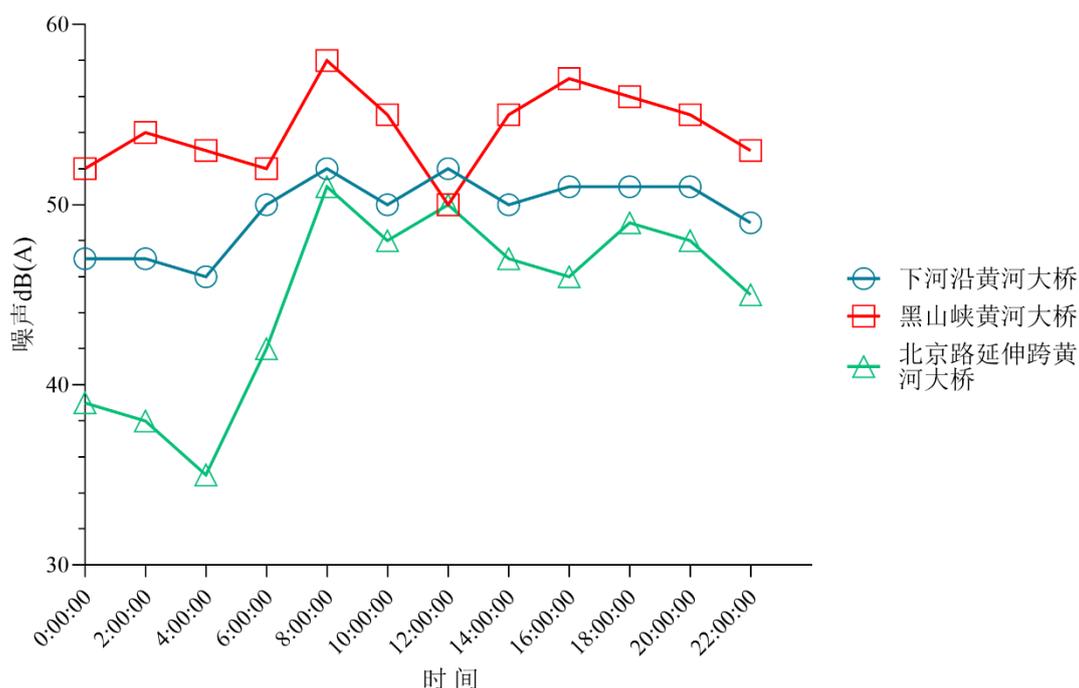


图 1.9-1 三座大桥噪声的昼夜变化

按区域的使用功能特点和环境质量要求，声环境功能区分为以下五种类型：0类声环境功能区：指康复疗养区等特别需要安静的区域；1类声环境功能区：指以居民住宅、医疗卫生、文化教育、科研设计、行政办公为主要功能，需要保持安静的区域；2类声环境功能区：指以商业金融、集市贸易为主要功能，或者居住、商业、工业混杂，需要维护住宅安静的区域；3类声环境功能区：指以工业生产、仓储物流为主要功能，需要防止工业噪声对周围环境产生严重影响的区域；4类声环境功能区：指交通干线两侧一定距离之内，需要防止交通

噪声对周围环境产生严重影响的区域，包括 4a 类和 4b 类两种类型。4a 类为高速公路、一级公路、二级公路、城市快速路、城市主干路、城市次干路、城市轨道交通（地面段）、内河航道两侧区域；4b 类为铁路干线两侧区域。

由图可知，黑山峡黄河大桥昼间最大噪音满足声环境质量标准 2 类声环境功能区，夜间满足 3 类声环境功能区。噪音在早 8 时达到最大值 58 分贝、下午 16 时次之，为 57 分贝，噪声最小值为 0 时。噪声昼夜变化规律与施工作业的昼夜节律趋势一致；下河沿黄河大桥噪声最大为 52 分贝，昼间噪声满足 1 类声环境功能区，夜间满足 2 类声环境功能区；北京路延伸桥噪声最大为 51 分贝，昼间噪声满足 1 类声环境功能区，夜间满足 1 类声环境功能区，可能与夜间城市通勤车流量少有关。

1.6.2 桥梁振动背景调查

1.6.2.1 监测点位

以下河沿黄河大桥为目标桥梁，已经完成施工，选取正在施工的黑山峡黄河大桥作为施工桥梁的样本，选取正常运行的北京路延伸跨黄河大桥作为对照进行振动监测。

表 1.9-6 监测点位

项目	监测点位	监测日期	监测频次
下河沿黄河大桥	桥下东侧	2024/6/4-6/6	检测 3 天，昼间、夜间各检测 1 次
	桥下南侧		
	桥下西侧		
	桥下北侧		
黑山峡黄河大桥	施工场地东侧	2024/5/14-5/16	
	施工场地南侧		
	施工场地西侧		
	施工场地北侧		
北京路延伸桥	桥下东侧	2024/6/11-6/13	
	桥下南侧		
	桥下西侧		
	桥下北侧		

1.6.2.2 检测分析方法及仪器

表 1.9-7 检测分析方法及仪器一览表

分析方法	检测仪器	检定/校准有效日期
《城市区域环境振动测量方法》GB/T 10071-88	环境振动分析仪 AWA6256B+ZHGA-ZD-01	2024.03.14-2025.03.13

稳态振动一般包括旋转机械类(通风机、发电机、电动机、水泵等)和往复运动机械类(柴油机、空压机、纺织机等)等所引起的环境振动，测量量取等效连续 Z 振级 $V_{L_{zeq}}$ ；无规振动一般包括道路交通、工业企业、建筑施工、社会生活中产生的振动(冲击振动除外)，测量量取累积百分 Z 振级 $V_{L_{z10}}$ ；冲击振动一般包括锻压机械类(锻锤、冲床等)和建筑施工机械类(打桩机等)及爆破等所引起的环境振动，测量量取最大 Z 振级 $V_{L_{max}}$ 。

1.6.2.3 结果

表 1.9-8 下河沿黄河大桥振动监测结果

振动	昼间					夜间				
	东	南	西	北	均值	东	南	西	北	均值
VL_{Zeq}	48.42	48.63	49.10	47.67	48.46	48.77	49.34	49.33	47.22	48.67
VL_{max}	59.33	58.66	59.66	57.27	58.73	63.74	65.53	62.29	58.22	62.45
VL_{Z10}	52.99	52.69	54.72	52.46	53.22	56.19	56.59	54.49	55.06	55.58
VL_{Z50}	50.66	50.32	50.49	49.69	50.29	55.32	55.42	52.42	53.29	54.11
VL_{Z90}	48.46	48.12	48.39	47.46	48.11	54.32	54.42	50.42	52.26	52.86

表 1.9-9 黑山峡黄河大桥振动监测结果

振动	昼间					夜间				
	东	南	西	北	均值	东	南	西	北	均值
VL_{Zeq}	48.42	48.63	49.10	47.67	48.46	48.77	49.34	49.33	47.22	48.67
VL_{max}	59.33	58.66	59.66	57.27	58.73	63.74	65.53	62.29	58.22	62.45
VL_{Z10}	52.99	52.69	54.72	52.46	53.22	56.19	56.59	54.49	55.06	55.58
VL_{Z50}	50.66	50.32	50.49	49.69	50.29	55.32	55.42	52.42	53.29	54.11
VL_{Z90}	48.46	48.12	48.39	47.46	48.11	54.32	54.42	50.42	52.26	52.86

表 1.9-10 北京路延伸跨黄河大桥振动监测结果

振动	昼间					夜间				
	东	南	西	北	均值	东	南	西	北	均值
$V_{L_{Zeq}}$	48.42	48.63	49.10	47.67	48.46	48.77	49.34	49.33	47.22	48.67
$V_{L_{max}}$	59.33	58.66	59.66	57.27	58.73	63.74	65.53	62.29	58.22	62.45
$V_{L_{Z10}}$	52.99	52.69	54.72	52.46	53.22	56.19	56.59	54.49	55.06	55.58
$V_{L_{Z50}}$	50.66	50.32	50.49	49.69	50.29	55.32	55.42	52.42	53.29	54.11
$V_{L_{Z90}}$	48.46	48.12	48.39	47.46	48.11	54.32	54.42	50.42	52.26	52.86

昼间3桥对比

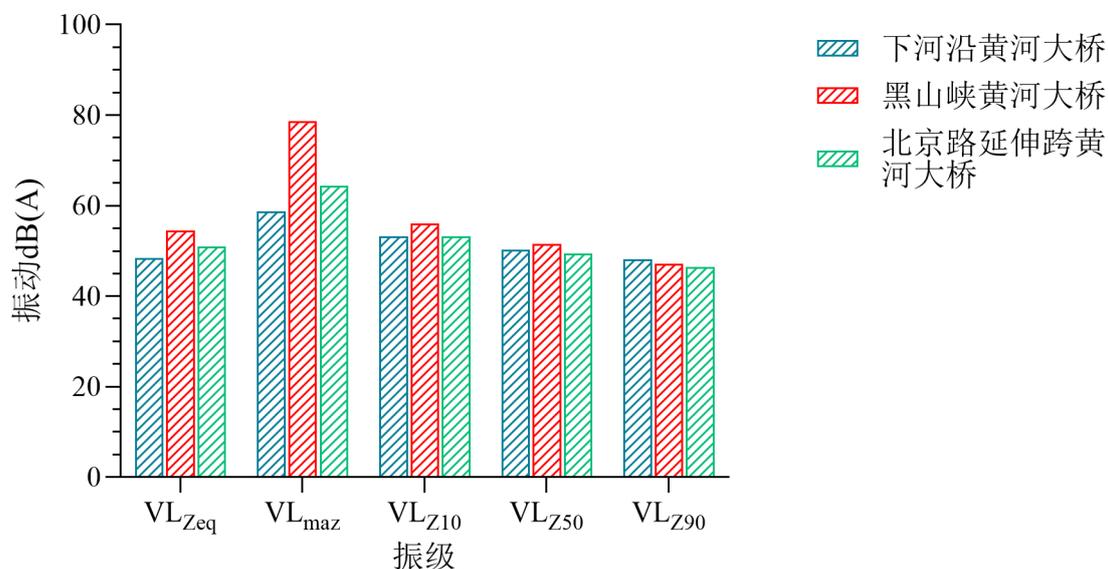


图 1.9-2 三座大桥振动的昼间变化

夜间3桥对比

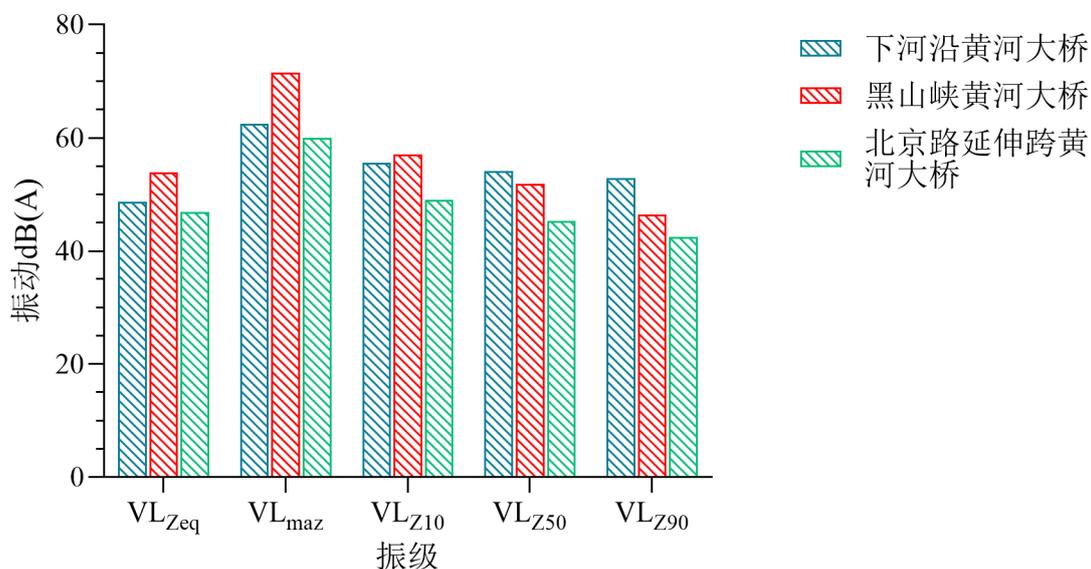


图 1.9-3 三座大桥振动的夜间变化

由图可知，处于施工中的黑山峡黄河大桥昼间等效连续 Z 振级 VL_{Zeq} 最大，为 53.93 分贝，最大 Z 振级 VL_{maz} 为 71.58，累积百分十 Z 振级 VL_{Z10} 为 57.03 分贝。黑山峡黄河大桥夜间 VL_{Zeq} 、 VL_{maz} 均显著高于其他两桥；处于施工中的黑山峡黄河大桥夜间等效连续 Z 振级 VL_{Zeq} 最大，为 54.57 分贝，最大 Z 振级 VL_{maz} 为 78.72，累积百分十 Z 振级 VL_{Z10} 为 56.16 分贝。黑山峡黄河大桥夜间 VL_{Zeq} 、 VL_{maz} 亦均显著高于其他两桥。夜间 VL_{Zeq} 、 VL_{maz} 均低于昼间。造成振动影响的主要因素为稳态振动

和冲击振动。

1.6.3 小结

与施工中的常规桥梁相比，处于运行期的斜拉桥（下河沿黄河大桥）产生的噪声与振动水平显著更低，其声环境质量可达 1-2 类功能区标准，远优于施工中桥梁的 2-3 类标准。这表明斜拉桥在运营期对水生生物的声振干扰更小。

(3) 耐久性计算指标

1) 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。

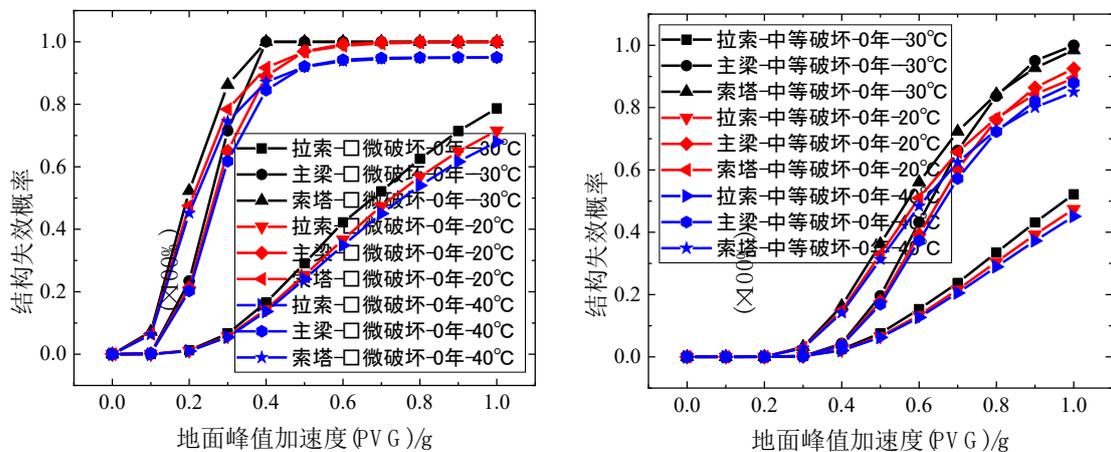
2) 跨黄河公路斜拉桥设计时应贯彻全寿命设计理念，统筹施工及运营养护需求，应积极、稳妥推广应用新材料、新技术、新工艺和新设备。

3) 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。

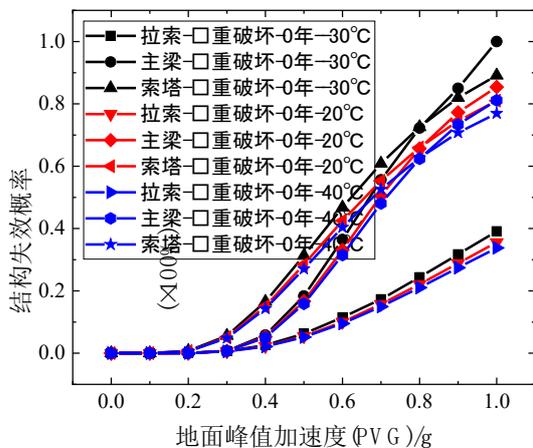
论述：

风沙和温度共同影响下斜拉桥全桥地震易损性分析

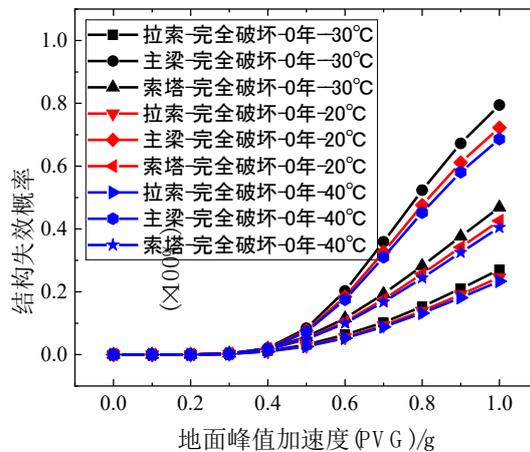
在 7.2.6 节的基础上考虑温度对斜拉桥的影响，建立考虑风沙和温度耦合作用下的斜拉桥时变地震易损性曲线，如图 7.4-1 所示



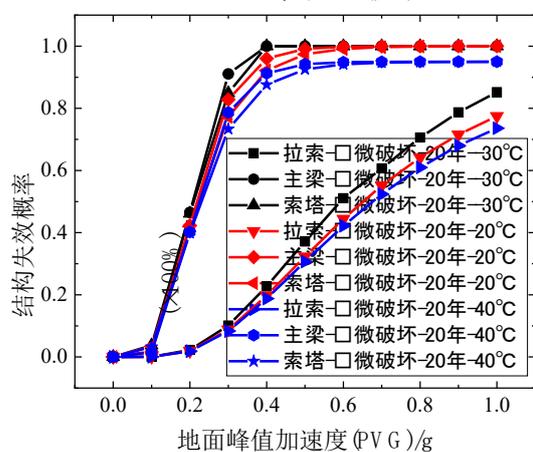
(a) 0年-轻微破坏



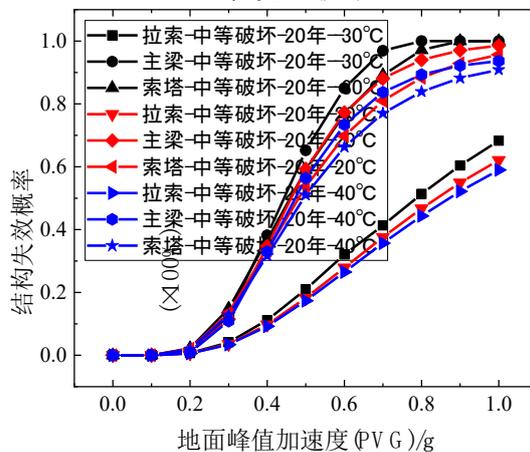
(b) 0年-中等破坏



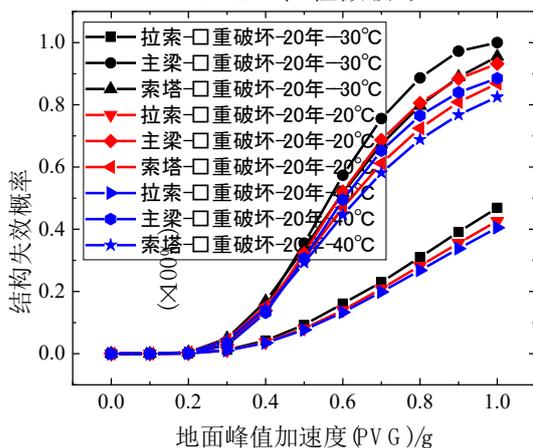
(c) 0年-严重破坏



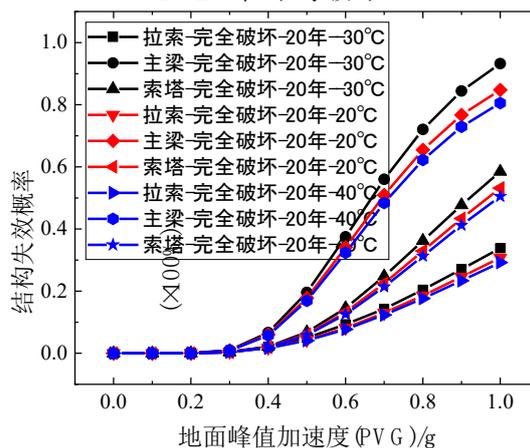
(d) 0年-完全破坏



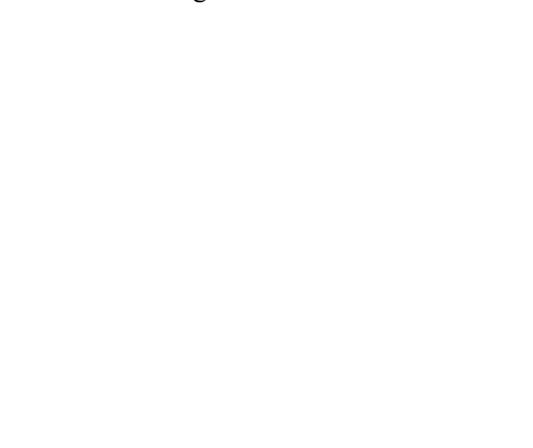
(e) 20年-轻微破坏



(f) 20年-中等破坏

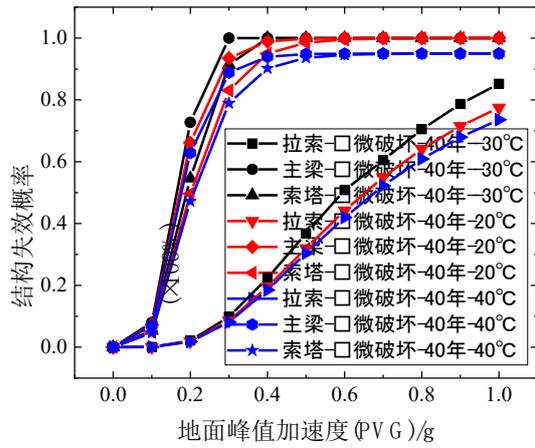


(g) 20年-严重破坏

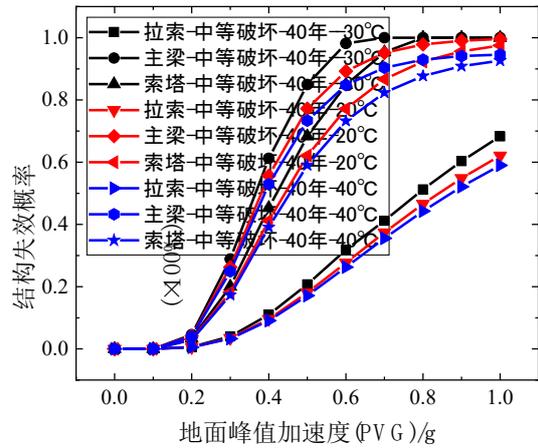


(h) 20年-完全破坏

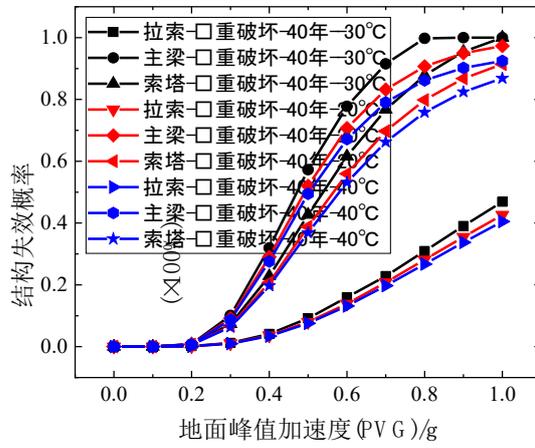




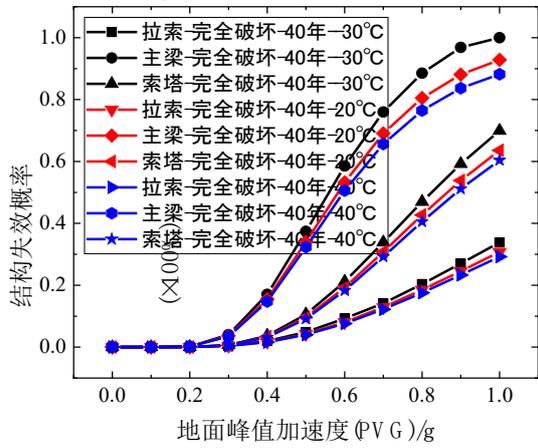
(i) 40年-轻微破坏



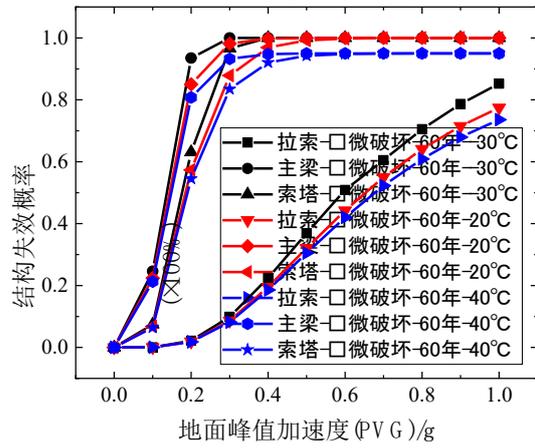
(j) 40年-中等破坏



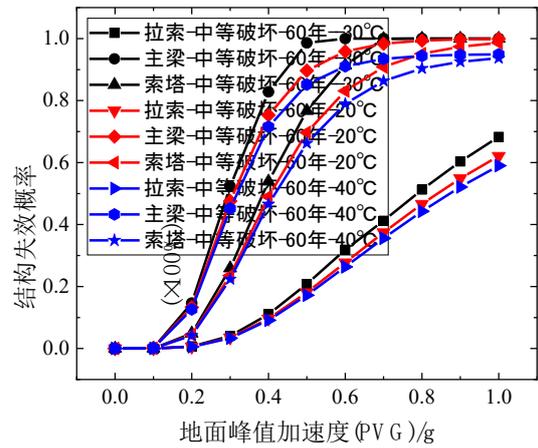
(k) 40年-严重破坏



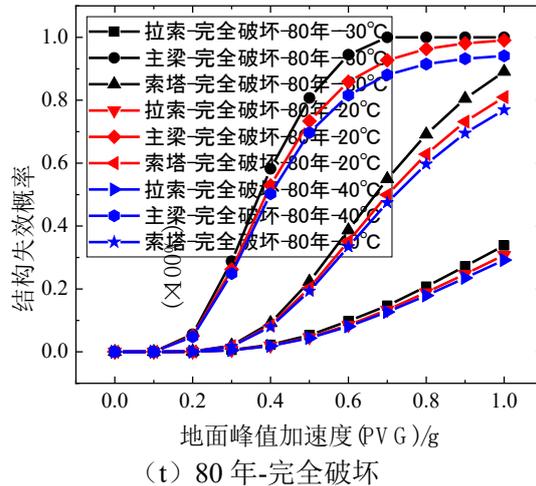
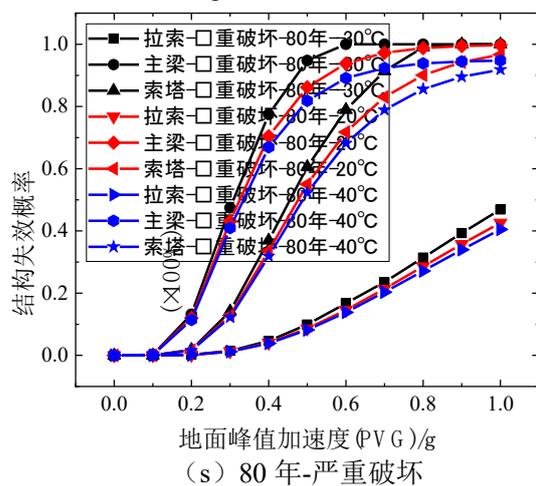
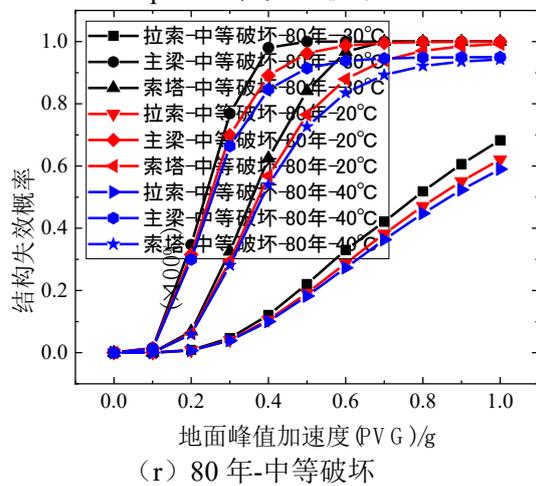
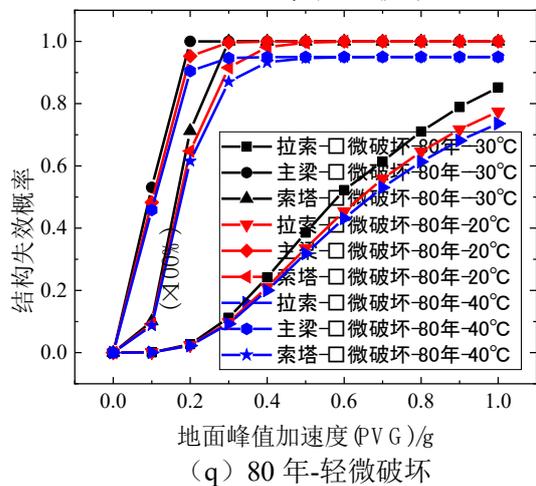
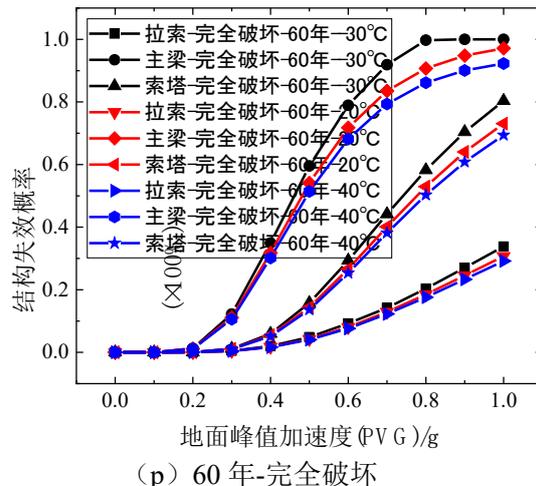
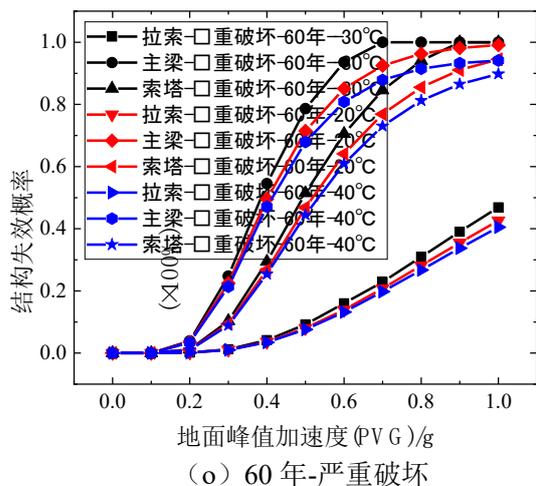
(l) 40年-完全破坏



(m) 60年-轻微破坏



(n) 60年-中等破坏



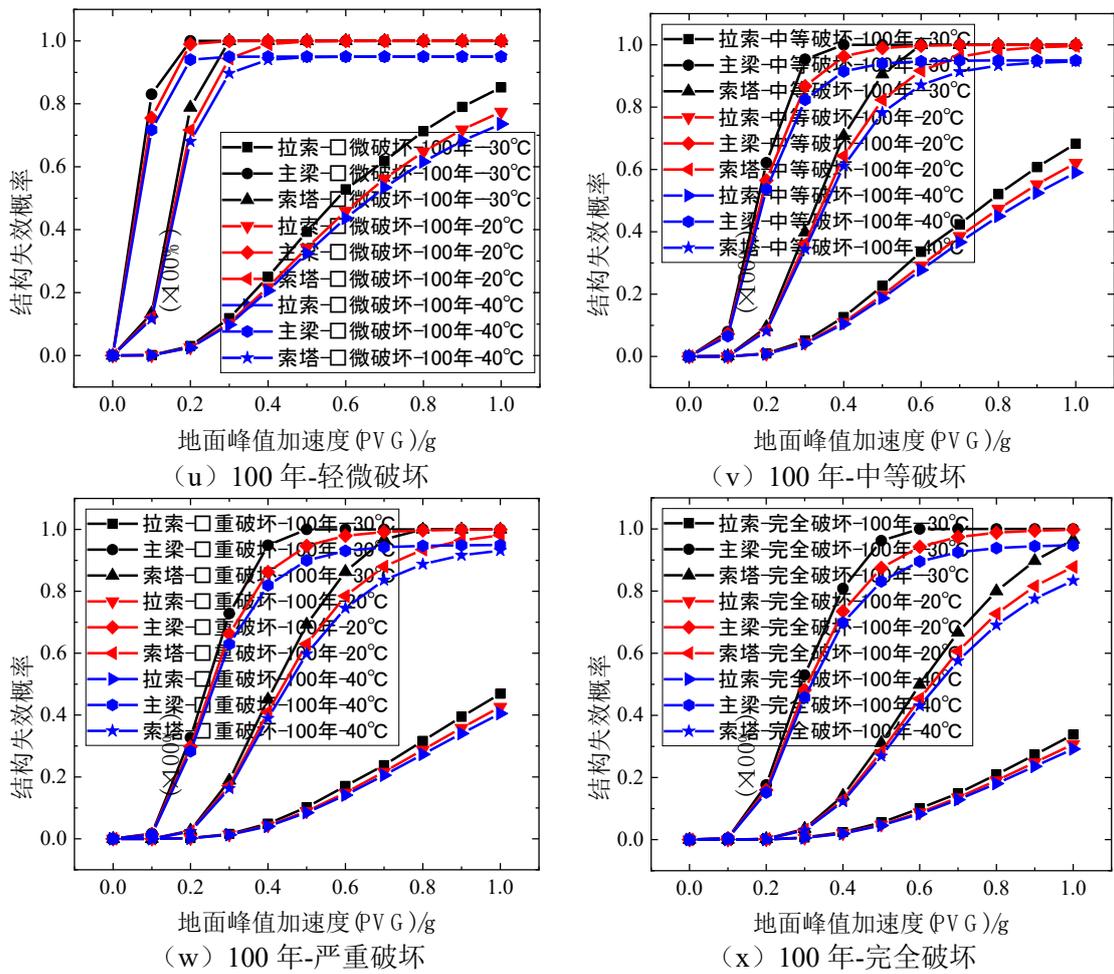


图 6.4-4 斜拉桥全桥各构件地震易损性对比

由图 7.4-1 可知，考虑温度的影响后斜拉桥全桥易损性概率发生变化，降温增大了斜拉桥的易损概率，温度从 20°C 下降到 -30°C 时，易损概率提高了近 15% 左右；升温降低了斜拉桥的易损概率，温度从 20°C 升到到 40°C 时，易损概率降低了近 10% 左右。

提高塔柱耐久措施

(1) 增加钢筋保护层厚度

防止混凝土塔柱内钢筋锈蚀是确保结构耐久性的关键，需从保护层厚度、材料选择、施工工艺、防护措施及后期维护等多方面综合控制。以下是主要措施保护层：

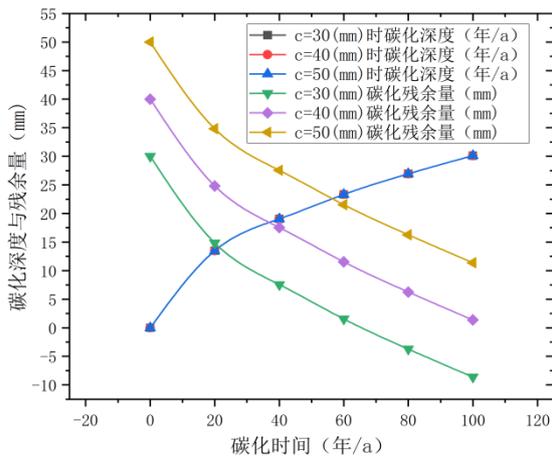


图 7.2-5 碳化深度与碳化残余量图

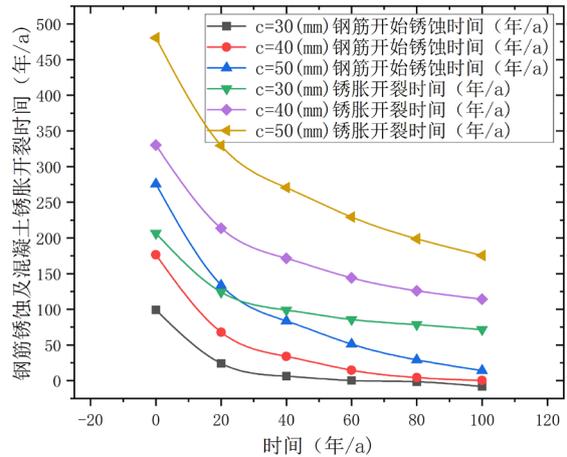
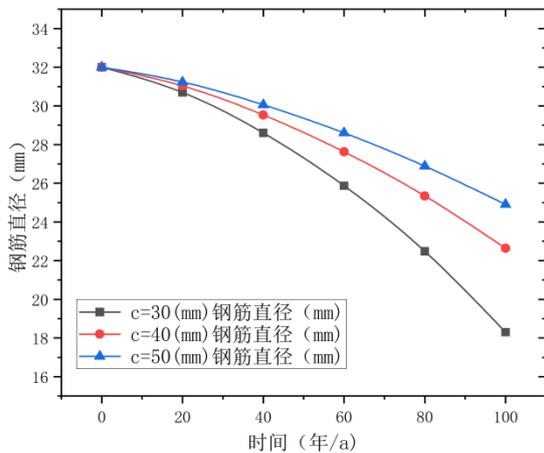
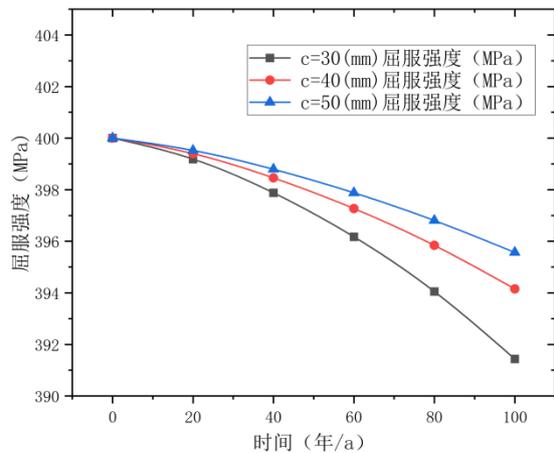


图 7.2-6 钢筋锈蚀与锈胀开裂

由上图 8.2-8 可知，当结构处在同一个环境中时，混凝土的碳化深度是一个固定量，这是由于环境因素决定的，如环境湿度、二氧化碳浓度、氯离子含量和温度等都是一个定量，因此当增加保护层厚度时，其在保护层厚度范围内碳化残余量会增加，在 100 年时，保护层为 50mm 与 30mm 的残余量相比增加了 232%。由图 8.2-9 可知，保护层厚度增加有效防止钢筋锈蚀，也会延长钢筋开始锈蚀时间，从而也有效延长由锈蚀引起混凝土开裂的时间，在 100 年时，保护层为 50mm 与 30mm 时锈胀开裂时间增加了 146%。



(c) 钢筋直径时变曲线



(d) 钢筋屈服强度时变曲线

图 7.2-7 保护层厚度与钢筋直径、屈服强度与时变曲线

由上图 8.2-10 钢筋直径、屈服强度与时变曲线可知，有效防止钢筋锈蚀的措施是在复杂环境中有必要增加保护层厚度，当保护层由 30mm 增加到 50mm 时，时间为 100 年时有效降低钢筋锈蚀的 36.09%，从而也可以增加其耐久年限。

(2) 提高混凝土强度

采用子课题三《黄河宁夏段大跨径斜拉桥绿色施工关键技术研究》中对宁夏地区特殊环境下

高强度混凝土性能演变规律及提升技术的研究，得到了高强混凝土在宁夏地区特殊环境下混凝土性能演变规律。

BOC 呈现出最优的强度发展曲线，其各龄期抗压、抗折强度均显著高于其它环境组，28d 抗压强度达到设计值的 114%；GOC 强度发展呈现“先快后慢”特征，7d 抗压和抗折强度可达标准养护组的 87%和 79%，但 28d 强度仅为标准组的 74%和 78%；XOC 表现出持续的强度发展抑制，各龄期强度维持在标准组的 65%~75%水平，XOC7d 抗压和抗折强度较 BOC 分别降低 32.3%和 26.8%，28d 强度损失进一步扩大，较 BOC 降低 31.8%（抗压）和 22.6%（抗折）；HOC 呈现明显的“早期加速-后期停滞”现象，7d 强度发展速率最快（达标准组的 87%），但 28d 较 7d 强度增长率仅为 10%。值得注意的是，所有恶劣环境养护组的 28d 抗压强度均未达到设计强度等级要求（损失率 22.6%~31.8%），这一现象凸显了宁夏地区特殊气候条件对混凝土力学性能的重大影响，为工程实践中的养护方案优化提供了重要依据。

混凝土的相对动弹性模量损失率与冻融循环次数为负相关的非线性关系，即随着冻融循环次数的增加，各组混凝土的相对动弹性模量损失率呈现下降趋势，并且损失速率逐渐加快。相对动弹性模量衰减速率为： $HOC > XOC > GOC > BOC$ ，其中在经历 200 次冻融循环后，BOC、GOC、XOC 和 HOC 组混凝土试块的相对动弹性模量损失率分别减少了 16.6%、25.8%（较 BOC 高 55%）、29.8%（较 BOC 高 80%）和 32.7%（较 BOC 高 97%）。通过动弹性模量衰减曲线揭示了不同养护制度下混凝土的抗冻性能差异，为宁夏地区寒区混凝土工程的养护质量控制提供了科学依据，这对完善混凝土耐久性设计理论具有重要意义。

依据课题三研究结果降低水胶比：通过减少水胶比，可以减少混凝土中的游离水分，从而提高混凝土的强度，使用干硬性混凝土或掺入减水剂也是有效的手段。如图 8.2-11 所示，当保护层厚度一定时，降低水胶比是可以有效减小钢筋锈蚀，从而有效减缓钢筋屈服强度的折减，如 100 年时可有效防止钢筋锈蚀直径减少 11.07%；而当保护层一定时，降低水胶比可使钢筋屈服强度提高 0.43%。

由图 8.2-12 可知，当同时改变保护层厚度和水胶比时，会防止钢筋锈蚀减缓，屈服强度增加。当保护层厚度为 30mm 水胶比为 0.4，通过降低水胶比为 0.28 时，可以防止钢筋直径减少 23.48%，屈服强度防止减少 0.63%；当保护层为 40mm 时，水胶比 0.4 降低到 0.28 时，可以防止钢筋直径减少 44.84%，屈服强度防止减少 1.20%；当保护层为 40mm 时，水胶比 0.4 降低到 0.28 时，可以防止钢筋直径减少 55.95%，屈服强度防止减少 1.50%。

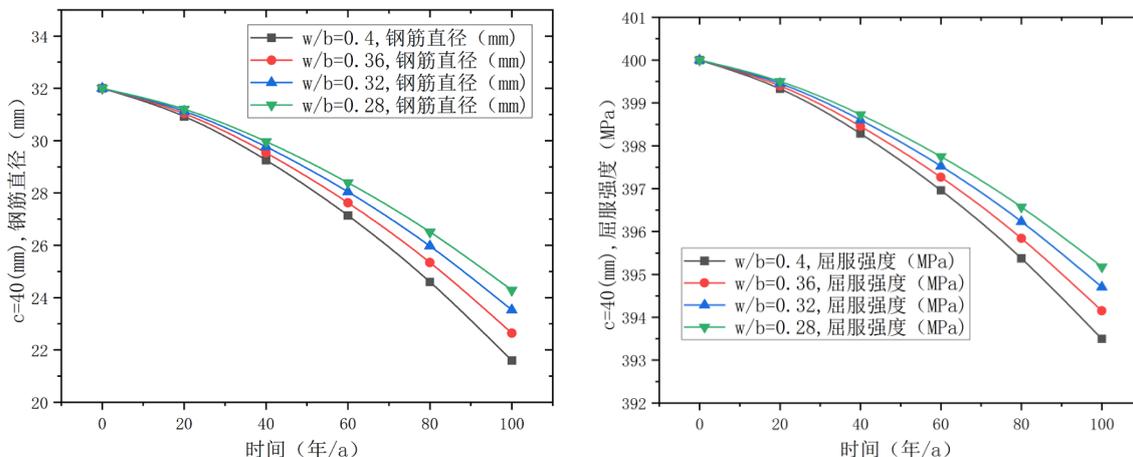


图 7.2-8 钢筋直径与屈服强度关于 w/b 的曲线

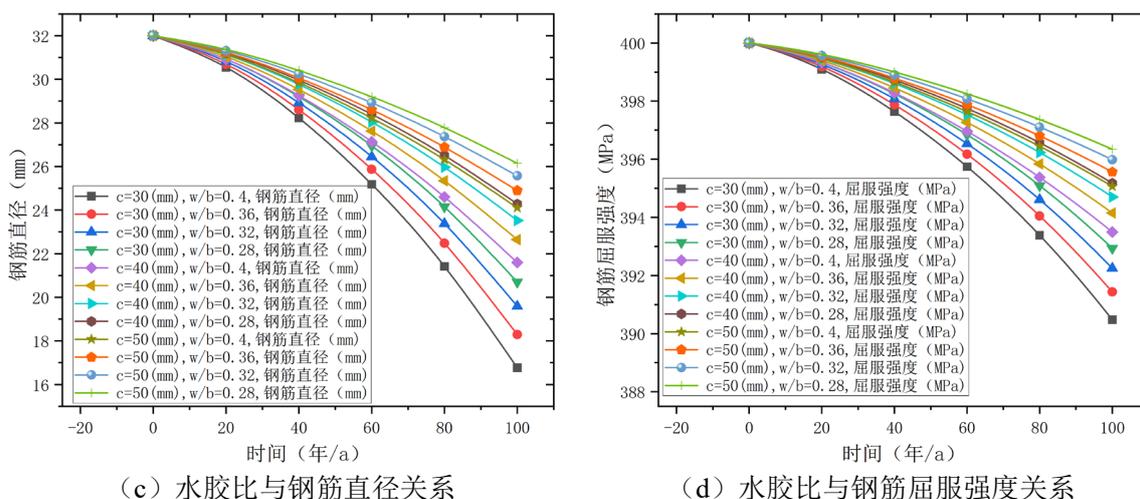


图 7.2-9 水胶比对钢筋锈蚀的影响关系

然而一味的改变保护层厚或降低水胶比并非提升混凝土耐久性的根本性解决方案。混凝土孔隙中的自由水对其耐久性具有不利影响。在保证混凝土强度满足规范要求的前提下，应合理控制水胶比，确保混凝土内部含水率处于可控范围内，从而显著提升其抗渗性与密实性，增强整体耐久性能。在实际工程中，为保障混凝土拌合物具备足够的力学性能，还需对胶凝材料的最小用量加以限制。胶凝材料用量过多会导致水化热显著增加，进而提升早期裂缝发生的风险。一旦出现裂缝，侵蚀性介质更易渗入混凝土内部，反而加速耐久性劣化过程。

(3) 施工工艺控制方面，应从源头加强防护措施。例如，钢筋在施工前涂刷防锈剂，可有效延缓钢筋锈蚀；施工过程中需规范机械搅拌与振捣工艺，以确保混凝土均匀性与密实性。同时，可掺入矿物掺合料和高性能外加剂，如减水剂、增粘剂等，以改善混凝土的工作性、抗裂性与耐久性能，从而提升其长期服役能力。

(4) 后期养护措施亦不可忽视。通过保持混凝土表面湿润、延长养护周期、合理控制早期温度梯度，可有效降低温度应力引发的早期开裂风险。此外，可在混凝土表面涂刷硬化剂，通过渗透机制提高其表面硬度，从而提升混凝土抗压强度与耐久性。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准无重大意见分歧。

七、实施标准的措施及建议

为使本标准在发布并有效落实，将采取以下举措：

1. 标准使用对象应积极贯彻实施本标准，在标准实施过程中如发现新问题，应主动积极向有关部门提出，根据需要进行调整 and 修订，使得本标准更好发挥规范指导作用。

2.加大标准宣传、强化标准运用，进一步加大与相关单位协同配合，将标准运用于实践，保证标准科学、合理、有效使用。

八、知识产权说明

本标准不涉及知识产权。

九、其他应说明的事项

本标准没有其他需要说明的事项。