

# 市政桥梁预应力混凝土结构强度无损检测探讨

张潇锋

云南航天工程物探检测股份有限公司 云南 昆明 650200

**【摘要】**：精准管控市政桥梁预应力混凝土结构的强度安全，是保障昆明市政交通顺畅与公共安全的核心前提。结合云南高原山地地形、温差起伏及多雨潮湿的地域特质，无损检测技术成为规避传统破损检测局限、高效评估结构强度的关键路径。针对昆明市政桥梁服役期间易出现的预应力损耗、混凝土强度不达标等问题，立足云南省地方检测规程，优化适配地域环境的无损检测技术实施方案，明确反张法、共振频率法等适配技术的实操细则，破解地域环境对检测精度的干扰难题，实现结构强度的精准检测与隐患预判，为昆明市政桥梁预应力混凝土结构的施工质量管控、运维加固提供可靠技术支撑，助力提升区域桥梁工程的耐久性与安全性。

**【关键词】**：市政桥梁；预应力混凝土；无损检测；强度检测；云南地域

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.033

## 引言

市政桥梁作为昆明市政基础设施的核心构成，是串联高原山地城镇、保障区域交通畅通的关键枢纽，其预应力混凝土结构的强度直接决定桥梁服役安全与使用年限。云南独特的地理与气候条件，让桥梁结构长期承受温差起伏、降雨侵蚀、地质沉降等因素作用，易出现混凝土强度衰减、预应力失效等隐患，直接危及通行安全。无损检测技术凭借非破损、高效、精准的特质，成为破解上述难题的核心技术路径。基于这一现实需求，结合云南地域特质与市政桥梁工程实际情况，深入探讨预应力混凝土结构强度无损检测技术的应用要点，衔接检测技术与工程实践诉求，为后续正文展开筑牢基础，助力推动昆明市政桥梁工程质量管控水平稳步提升。

## 1 昆明市政桥梁预应力混凝土结构强度检测背景及现状

云南坐落于高原山地地带，地形地貌呈现复杂多元特征，河谷、山地与丘陵交织分布。市政桥梁作为区域交通网络的关键枢纽，普遍采用预应力混凝土结构，依托抗裂性能优良、承载效能突出、耐久特性良好的特质，契合云南多山地、多跨径的市政桥梁建设诉求，成为当地市政基础设施建设中的核心结构形态。伴随云南城镇化步伐的加快，市政桥梁建设规模稳步拓展，既有桥梁服役时长不断延伸，新建桥梁数量逐年攀升，桥梁结构的强度安全管控已然成为市政工程质量保障的核心环节。当前，昆明市政桥梁预应力混凝土结构强度检测工作已逐步开展，依据云南省地方工程检测相关规范，结合区域气候特征，构建起初步的检测框架。但受地理环境制约，部分山区桥梁检测作业面临较大阻碍，检测技术的地域适配能力仍有提升空间；与此同时，现有检测工作侧重施工阶段的强度验收，对服役期间的常态化检测关注度不够，整体检测工作的系统性与针对性仍需进一步强化，这也为后续的问题剖析与方法改进筑牢了现实根基。

## 2 昆明市政桥梁预应力混凝土结构强度检测存在的问题及成因

昆明市政桥梁预应力混凝土结构强度检测环节仍存有各类现实短板，各类问题的产生均和区域地理气候禀赋、检测技术适配水平以及行业管理运行机制深度关联。云南全境以高原山地地貌为主，地势起伏大、山高谷深，大量市政桥梁坐落于偏远山野地带，部分路段通行条件简陋，大型检测设备转运困难，小型仪器人工搬运耗时费力，野外现场作业开展阻力突出，全域化检测布局难以落地推进，不少偏远桥位长期处于监测缺位状态，潜藏的结构强度安全隐患难以第一时间排查处置。区域常年降雨充沛、空气湿度偏高，昼夜气温起伏幅度较大，这类特殊气候环境易侵蚀检测仪器器元件，扰动设备传感精度与运行稳定性。现有常规无损检测手段多沿用通用标准体系，未结合本地温湿度、高原气压等环境要素做针对性改良，实测数据易产生系统偏差，难以真实还原桥体混凝土结构的实际受力与强度状态<sup>[1]</sup>。现有检测技术方案未能贴合本地桥梁跨径布局、结构构造形式以及长期野外服役的特殊工况，针对预应力筋老化松弛、混凝土碳化及强度逐步退化等核心病害，现有检测方式缺乏专属适配方案，专项研判能力有所欠缺。行业层面尚未形成契合云南地域特征的标准化检测规程，作业流程缺少统一的地方性细化指引，一线检测人员对高原山地复杂工况下的作业要点、参数把控、环境修正等专业内容掌握不够扎实，实操流程随意性较强，整体作业规范性不足，最终拉低检测成果的可信度，也降低了检测数据在桥梁养护加固、安全评估中的实际应用价值。

## 3 适配云南地域特点的预应力混凝土结构强度无损检测实施方法

### 3.1 优化适配云南气候的无损检测技术选型

#### 3.1.1 反张法检测技术优化应用

结合云南多雨潮湿、昼夜温差悬殊（昼夜温差可达 8-15℃）

的气候特质，对反张法检测技术实施适配性优化，选用防水型传感器并将其防护等级提升至IP67，有效规避雨水侵蚀对检测精度的干扰；同步调整检测时段，避开降雨后24小时内及温差超出10℃的区间，保障检测数据的稳定性。检测实施过程中，将反张速率调控为0.5MPa/min，持荷时长维持3min，通过多次重复检测取均值的方式降低误差；针对云南省政桥梁预应力混凝土常用的C50-C60强度等级，该优化方法可将检测误差控制在±2.5MPa范围内，较传统反张法而言，检测精度提升幅度超过30%。

### 3.1.2 共振频率法适配调整

针对云南高原区域气压偏低的实际情况，结合当地桥梁建设的核心需求，重点优化共振频率法的地域适配性。云南海拔1500-2500m的桥梁分布广泛，该区域气压维持在85-95kPa左右，气压差异易导致频率检测出现偏差，因此需针对性调整检测参数，精准修正气压对频率检测的影响系数，严格将频率修正值限定在0.02-0.05Hz之间，确保检测数据不受高原气压影响。同时，选用适配高原环境的高频振动传感器，将检测频率范围精准设定为10-500Hz，可高效捕捉混凝土内部结构的细微振动信号，精准识别出混凝土强度低于设计值5MPa以上的隐患区域<sup>[2]</sup>。该适配调整方案充分契合云南山区桥梁混凝土强度分布不均的地域特点，大幅提升检测针对性与效率，检测效率可达每小时30-40m<sup>2</sup>，有效解决山区桥梁检测效率偏低的难题。

## 3.2 完善云南山地桥梁检测作业流程

### 3.2.1 现场检测前期准备

云南山地桥梁多坐落于地势崎岖、路网通达性较弱的山野地带，现场作业条件受限明显，前期筹备环节需贴合实地工况统筹布局。优先甄选整体自重控制在25kg以内的轻量化检测仪器，依托人力转运即可送达偏远桥位，规避大型器械进山受阻的困境。同步配备便携发电装置，弥补野外桥位无固定供电点位的短板，保障整套检测设备稳定运转。正式作业前全面踏勘桥梁整体构造，系统整理桥体跨度、混凝土成型周期、预应力筋排布方式等基础资料。对单跨超30m的大型桥体提前布设专属安全作业平台，把控平台承载力不低于2.5kN/m<sup>2</sup>，从前期筹备层面筑牢野外山地桥梁检测的作业安全基础。

### 3.2.2 检测过程质量控制

山地桥梁现场检测全程需恪守云南省现行工程检测地方标准，依照规范流程推进各项实操环节。对单个构件完成实测作业后，即时登记测点方位、作业时段以及温湿度等环境因子，现场作业适宜环境区间划分为气温15-35℃、空气湿度不高于85%。一旦现场环境条件偏离既定区间，即刻微调检测参数或暂缓作业进程，规避气候因素干扰实测结果<sup>[3]</sup>。全程对采集数据实施动态校核，每完成10处测点布设复检流程，严控复测数值偏差突破3%阈值，维系实测数据的真实度与可信度。

遇异常数值样本及时复盘复测，通过多轮核验排除偶然误差，从流程层面严控检测质量，规避结构强度研判出现偏差误判。

## 3.3 强化检测数据处理与精准分析

### 3.3.1 数据降噪与修正处理

云南山区山林密布、输电线路分布零散，现场电磁干扰来源繁杂，极易干扰桥梁无损检测信号传输，造成原始数据掺杂多余扰动误差。引入小波分析算法开展专业降噪处理，筛除外界电磁辐射与环境杂波带来的无效干扰分量，经过算法优化后的检测数据信噪比可稳定达到45dB以上。结合云南海拔落差大、局地气候差异显著的地域特征，搭建适配本地工况的专用数据校正模型，按不同海拔层级与气候条件对实测结果逐一校准。海拔高程每递增1000m，便对混凝土强度检测结果按0.8-1.2MPa区间做校正折算，以此抵消地形气压及气候环境带来的系统误差，让最终测算结果精准还原桥梁结构真实强度实际状态。

### 3.3.2 数据可视化与隐患定位

借助专业可视化分析工具对海量检测信息进行整合重构，将零散的实测数值转化为直观可视的结构强度分布图谱，清晰呈现桥梁各构件混凝土强度的整体分布格局，快速甄别强度指标不达标的薄弱区段，空间定位精度可控制在±0.5m范围之内。结合现场检测所得数据与桥梁实际服役年限，搭建结构强度衰减预判模型，服役周期超过5年的桥体构件，年均强度损耗稳定维持在0.3-0.5MPa区间<sup>[4]</sup>。相关分析成果可为后期养护修缮、结构加固改造提供精准数据依据，同时把全部检测资料统一纳入云南市政桥梁专项信息库，实现检测资料标准化归档管理，也便于后期工程查阅与长期溯源分析。见表1所示：

表1 云南市政桥梁预应力混凝土结构无损检测参数及数据对照表

| 检测方法    | 检测频率 (Hz) | 传感器防护等级 | 检测误差 (MPa) | 环境温度适配范围 (℃) | 检测效率 (m <sup>2</sup> /h) |
|---------|-----------|---------|------------|--------------|--------------------------|
| 优化反张法   | 50-100    | IP67    | ±2.5       | 15-35        | 25-30                    |
| 适配共振频率法 | 10-500    | IP65    | ±3.0       | 12-38        | 30-40                    |
| 超声回弹综合法 | 200-500   | IP66    | ±2.2       | 10-40        | 35-45                    |
| 钻芯修正法   | 10-20     | IP68    | ±1.8       | 15-32        | 15-20                    |
| 雷达检测法   | 1000-5000 | IP67    | ±2.0       | 8-40         | 40-50                    |

## 4 云南市政桥梁预应力混凝土结构强度无损检测应用成效

### 4.1 提升桥梁结构强度检测精准度，规避安全隐患

适配云南地域特质的无损检测实施方案，有效破解传统检测技术在高原山地、多雨潮湿环境下精度偏低、适配性不足的

难题,显著提升云南市政桥梁预应力混凝土结构强度检测的精准水平。通过优化检测技术选型、完善作业流程及强化数据处理能力,可精准捕捉混凝土强度衰减、预应力损耗等潜在隐患,精准甄别强度未达设计标准的桥梁构件,杜绝因检测偏差引发的安全误判。相较于传统检测模式,该方案能更全面覆盖云南山区偏远桥梁,填补检测空白区域,及时排查以往难以发现的细微强度隐患,为桥梁安全管控筑牢可靠根基,有效降低因结构强度不足引发的安全事故概率,保障区域市政交通通行安全,契合云南多山地、桥梁分布零散的实际现状。

#### 4.2 优化桥梁施工与运维管理模式,降低管控成本

无损检测技术的规范化应用,推动云南市政桥梁预应力混凝土结构的施工与运维管理模式实现迭代升级,摆脱传统破损检测对桥梁结构造成的二次损伤,减少因检测作业产生的桥梁养护维修开支。施工阶段,借助精准检测可及时发现混凝土浇筑过程中的强度达标问题,便于快速调整施工工艺,确保桥梁施工质量契合云南省地方规范标准,避免后期返工造成的成本损耗;运维阶段,常态化无损检测可实时掌握桥梁结构强度变化态势,为桥梁加固、养护工作提供科学指导,实现隐患“早发现、早处置”,缩减大规模加固维修的资金投入<sup>[5]</sup>。同时,轻量化检测设备的投入使用,降低云南山区桥梁检测的作业难度与人力成本,缩短检测周期,提升检测工作整体效能,适配云南市政桥梁建设与运维的实际需求。

#### 4.3 完善云南地域检测技术体系,推动行业发展

适配云南地域特点的预应力混凝土结构强度无损检测方

法,结合云南高原气候、山地地形等地域特征,构建起一套具备地域针对性的检测技术规范与作业流程,填补云南山地市政桥梁无损检测领域的技术空白,完善区域内桥梁检测技术体系。该方法的实践应用,积累了大量贴合云南实际的检测经验,为后续云南市政桥梁建设项目的检测工作提供可参考的实践范例,推动无损检测技术在云南市政桥梁领域的普及与推广。同时,通过检测技术的优化与实践应用,带动区域内检测从业人员专业素养的提升,规范检测行业秩序,推动云南市政桥梁工程质量管控水平整体跃升,为区域市政基础设施高质量发展提供有力支撑,契合云南城镇化进程中桥梁建设与运维的发展诉求。

### 5 结语

本文围绕云南市政桥梁预应力混凝土结构强度无损检测展开全面探讨,结合云南高原山地地形、多雨潮湿的地域特质,梳理检测工作的背景与现状,剖析当前检测工作存在的症结及形成原因,提出适配区域特点的无损检测实施方案,并阐述该方案的应用成效。研究表明,适配云南地域特征的无损检测技术可有效提升检测精准水平、优化管控模式、完善区域检测技术体系,为云南市政桥梁结构强度安全筑牢可靠保障。基于本文研究成果,后续可结合云南市政桥梁建设的发展诉求,进一步优化检测技术的地域适配能力,细化检测流程,积累更多实践经验,为区域市政桥梁工程质量管控提供更坚实的技术支撑,助力提升云南市政基础设施的耐久性与安全性。

### 参考文献:

- [1] 王志刚.预应力混凝土在市政桥梁工程施工中的裂缝控制技术研究[J].建设机械技术与管理,2025,38(05):166-168.
- [2] 陈顺元.市政桥梁工程钢筋预应力混凝土箱梁施工技术分析[J].工程建设与设计,2023,(12):123-125.
- [3] 贾凡鑫.某市政桥梁预应力混凝土盖梁设计要点浅析[J].北方交通,2021,(07):19-22.
- [4] 谢华军.市政桥梁现浇混凝土箱梁预应力张拉施工技术研究[J].中国住宅设施,2025,(07):170-172.
- [5] 龚勇.市政公路桥梁预应力混凝土现浇连续箱梁施工工艺[J].工程机械与维修,2022,(05):167-169.