跨河桥梁防洪评价报告编制中壅水和冲刷计算问题探讨

王学猛[1]　李俊鲁[2]　张玉锴[3]　任泽俭[2]
1. 枣庄市峄城区城乡水务局　山东　枣庄　277399
2. 山东润鲁工程咨询集团有限公司　山东　济南　250102
3. 水发规划设计有限公司　山东　济南　250100

摘　要：针对跨河桥梁防洪评价中壅水与冲刷计算易出现结果失真的问题，本文剖析经验公式直接套用带来的参数固化、工况选取简单等现实问题，提出壅水逻辑校正与三层冲刷分层重构的分析思路。引入过水面积动态迭代计算，结合参数敏感性分析与多工况包络筛选，区分施工期与运行期的阻水效应，采用多手段相互校核的方式完善计算流程。研究可为跨河桥梁防洪评价提供分析思路，兼顾河道行洪安全与工程建设的经济合理性。

关键词：跨河桥梁；防洪评价；壅水计算；冲刷深度

引言

跨河桥梁建设会改变河道水流运动格局，壅水与冲刷计算是防洪评价的核心分析环节。现有分析多直接套用经验公式，容易出现参数固化、工况选取简单化等问题，造成计算结果偏离河道实际水沙演变状态。针对上述现状，本文从计算逻辑、层次划分等方面展开探讨，构建多手段互证的分析思路，以期减少计算偏差，为同类桥梁防洪评价工作提供可参考的分析路径。

1 壅水和冲刷计算在跨河桥梁防洪评价中的重要性

壅水与冲刷分析可从行洪扰动、基础安全、工程适配三个维度展开，分别对应河段行洪状态研判、桥墩基础防护判定、工程方案优化调整，以此支撑跨河桥梁防洪评价的整体分析工作。

1.1 评判河道行洪受扰程度

桥梁构筑物挤占河道过流空间，会改变水流运动状态，引发桥前水位抬升与沿程水流重新分布。壅水计算能够量化工程带来的水位变化，分辨不同行洪条件下的扰动范围，以此判断工程对上游河段行洪状态的影响，为桥位、桥跨方案比选提供基础分析依据，从源头规避行洪条件恶化带来的各类隐患。

1.2 把控桥梁基础运行安全

水流冲刷会持续改变桥墩周边河床形态，是威胁桥梁基础稳定的主要因素。冲刷计算可以厘清不同层级冲刷的发展特征，还原河床下切的实际状态。依托计算结果确定基础埋置深度，能够避免基础遭受过度冲刷而暴露失稳，降低桥梁在洪水作用下出现运行故障的概率，保障构筑物长期运行稳定[1]。

1.3 平衡工程建设与河道适配关系

壅水、冲刷分析并非单纯输出数值结果，还能够反馈工程方案存在的短板。通过计算可识别桥跨布置、墩型选择当中不利于行洪的因素，为方案优化提供方向。在兼顾河道原有水沙运动特点的前提下协调工程布局，既减少桥梁对河道的负面扰动，也避免过度保守设计带来的资源浪费，实现工程建设与河道环境相互适配。

2 壅水计算的逻辑校正

壅水计算偏差多来源于阻水要素考虑不全、过水断面选取不当等因素，从阻水拆分、过水面积修正、公式比选、工况甄别四个角度，开展计算逻辑校正，降低结果偏离实际的风险。

2.1 阻水贡献的拆分习惯

桥前壅水影响并非仅由桥墩结构带来，路堤引道对河滩的压缩、桥台侵入主河槽范围、临时施工围堰挤占行洪通道均会形成叠加阻水效应。常规经验公式选用的阻水相关参数大多只考虑桥孔压缩比例，忽略滩地路堤形成的回流滞水区，造成平原河段壅水计算结果偏大。工作中应梳理全部阻水构筑物，区分永久结构与临时施工设施分别核算，永久构筑物纳入主体计算体系，临时设施单独开展施工阶段分析，避免将临时围堰产生的壅水作为永久工程结果[2]。

2.2 净过水面积的动态认定

桥下净过水面积不能直接采用梁底高程扣除原始河床高程结合净跨简单求得。行洪过程中，一般冲刷会造

成河床下切，桥墩周边会形成局部冲刷坑，洪水退去阶段河床又会出现淤积回弹现象。直接采用未发生冲刷的原始河床断面开展计算，会放大桥下流速，造成壅水数值被低估。可借助冲刷计算得到冲刷后水深反推实际净过水面积，再代入壅水公式迭代运算，相比单次直接代入参数，更加贴合行洪平衡状态[3]。

2.3 公式选型与二维互证

不同壅水计算公式针对同一桥位工况，得到的计算结果会存在明显差异。平原河道缓流条件下适合选用简易经验公式，河道比降偏大的山前河段优先选用包含墩形影响的计算模式，重要工程则搭配二维水动力模型开展校核。多方法互证不等于直接选取计算极大值，重点研判壅水峰值位置、沿程水面衰减变化规律。若经验公式与模型计算结果偏差较大，需要回溯压缩比、河床糙率等基础参数，不可直接取用模型偏大结果作为最终结论。

2.4 计算工况的边界甄别

壅水成果受计算工况选取影响显著，不同行洪状态下河滩过流占比发生改变，阻水效应随之改变。部分计算仅采用单一设计频率开展运算，忽略漫滩前后行洪格局变化，造成工况选取脱离实际行洪特征。开展分析时需要区分主槽过流、滩地漫流不同状态，甄别对桥前壅水起控制作用的实际工况，排除非控制性极端计算结果，保证壅水成果对应真实的行洪控制条件。

3 冲刷计算的层次化重构

传统桥梁冲刷计算多采用固定公式叠加模式，边界划分模糊，极易造成冲刷深度错判。重构分层计算体系，能全面提升冲刷计算的精准性与合理性。

3.1 三层冲刷层级划分

常规冲刷计算仅叠加一般冲刷与局部冲刷，忽略河道天然演变影响，易混淆自然冲刷与工程诱发冲刷的边界。河道河床会随水文节律、泥沙运移产生常态化摆动与下切变形，属于河段固有演变特征，与桥梁建设无直接关联。研究将冲刷体系划分为自然演变冲刷、河道一般冲刷、桥墩局部冲刷三个层级，依据河道稳定状态差异化取值，分层叠加核算总冲刷深度，精准区分原生河床变形与工程扰动冲刷，规避冲刷计算结果失真问题[4]。

3.2 一般冲刷参数精准取值

一般冲刷计算偏差多源于参数取值片面化、经验化，单一固定参数难以适配复杂河道地形与泥沙条件。河床粒径参数若仅采用单点取样数据，无法覆盖河槽与河滩的泥沙粒径差异，导致泥沙冲刷特性判定不准。宽浅河道中单宽流量集中系数常被固定取值，弱化河道过流形态变化带来的冲刷差异。需通过多断面粒径加权统计、分区参数试算的方式确定取值区间，结合导流设施布设情况修正侧向压缩参数，以动态参数替代固定参数，有效规避参数选取带来的计算误差。

3.3 局部冲刷结构修正优化

常规局部冲刷计算公式适配工况有限，仅适用于正交规整桥墩结构，无法适配异形桥墩、斜交桥、分幅桥等复杂工程结构。桥墩轴线与水流存在夹角时，原有墩形系数不再适用，直接套用公式会低估实际冲刷风险。针对景观异形桥墩、斜交布设桥梁，需结合结构外形与水流夹角开展系数修正，采用适配的计算模型开展包络核算，预留合理安全富余，贴合复杂桥型的实际冲刷特征，保障基础冲刷判定安全可控。

3.4 冲刷影响范围界定

冲刷计算仅核算最大冲刷深度，忽略冲刷坑空间扩散范围，会导致桥梁防护设计缺乏精准边界。桥墩冲刷坑存在横向与纵向扩散效应，不同方向的冲刷影响范围存在明显差异，固定比例的防护范围取值缺乏科学性。依托水动力模拟成果，结合冲刷坑空间形态特征，精准界定冲刷坑上下游、左右岸的影响半径，建立冲刷深度与影响范围双控标准，为桥墩基础、堤防护脚等防护工程的布设提供明确依据。

3.5 冲刷计算成果校核逻辑

冲刷计算需摒弃单次取值、单次计算的固化模式，建立多维度成果校核机制。不同水文工况、泥沙条件下河道冲刷强度存在显著差异，单一设计频率工况无法覆盖极端冲刷场景。需结合河道水流特性与泥沙运移规律，组合多种不利工况开展对比核算，筛选最不利冲刷结果作为设计依据[5]。

4 参数敏感性与不利工况包络

参数选取与水文工况会共同影响壅水、冲刷计算结果，借助敏感性分析识别关键影响因子，通过多工况包络筛选确定控制条件，降低单一条件带来的计算片面性。

4.1 关键参数的敏感性分析

河道阻水、泥沙相关输入参数的波动，会直接传导至壅水高度与冲刷深度计算结果。不同参数对两项指标的驱动程度存在明显区别，部分参数小幅变动即可带来计算结果的明显偏移。开展分析时可对核心输入参数施加合理波动幅度，观测壅水、总冲刷深度的响应变化，识别高敏感参数。评价过程中应当梳理参数敏感性分析结果，阐明最终取值的取舍逻辑，避免直接选用保守上限，减少主观取值带来的成果争议。

4.2 水文工况的组合包络选取

仅依靠单一设计频率开展计算，难以完整还原河道实际行洪过程，部分河段高频率洪水漫滩之后，构筑物实际阻水效应反而有所减弱。需要跳出单频率计算的固有模式，综合考虑主槽集中过流、滩地漫溢等不同行洪格局，补充对应的代表性工况。冲刷方面需要兼顾水流强度与泥沙供给的不同组合模式，对比多种组合条件下的计算结果，选取控制工程设计的不利条件，以此更加贴合河道实际演变过程。

4.3 施工与运行阶段边界区分

施工阶段临时阻水设施会显著压缩河道行洪通道，形成高于成桥状态的壅水效应，但该类影响仅存在于建设周期内。在评价工作中需要将施工期与成桥运行期边界相互剥离，单独核算临时束窄条件下的水面变化，明确临时设施处置要求。不可将施工阶段的阻水后果等效为永久工程影响，也不能凭借成桥后的行洪条件，掩盖建设期存在的防洪风险。

4.4 包络结果的甄别取舍

多参数、多工况计算会产出多组壅水与冲刷成果，并非直接取用全部结果的最大值。应当结合河道实际行洪特征，剔除现实发生概率极低的极端组合，区分控制性工况与非控制性工况。将敏感性分析、工况包络和前文的经验公式、水动力模型校核相互印证，在保障防洪安全的基础上，规避无意义的安全冗余，为桥梁工程设计提供合理可行的计算边界。

5 成果落地与报告表达改进

完成壅水与冲刷计算后，需要推动计算成果对接工程实际设计。从资料可核验、指标复核、冗余把控、报告优化等方面入手，消解算例与现场应用相互脱节的现实问题。

5.1 计算过程的可核验化处理

现有部分评价报告只罗列最终计算数值，缺少完整过程溯源资料，难以复核参数、断面选取是否合理。所有壅水与冲刷结果均应当对应原始断面资料、河床泥沙采样成果、糙率选取依据等基础素材，不能只展示最终成果表格。报告内部可增设计算卡片类附表，把各工况对应的流量、过流面积、流速、计算方式、参数来源、迭代过程统一整理归档，实现每一组计算结果均可反向追溯核查，消除计算过程黑箱问题。

5.2 工程设计指标闭环复核

壅水与冲刷计算不能作为独立环节，需要反馈到桥梁本体以及周边堤防的设计指标开展闭环校验。针对壅水成果，需要复核桥梁梁底控制高程，综合考虑行洪水位、桥前壅水以及预留行洪空间，校验上部结构行洪安全，同时校核桥台锥坡布设，避免对堤防防渗主体产生扰动。针对冲刷成果，结合多层叠加得到的总冲刷深度复核桩基埋置条件，确保桩端位置满足冲刷之后的埋置要求。任意一项指标不满足，则前期计算成果不具备实际工程价值。

5.3 安全冗余尺度合理把控

计算取值一味偏向保守，会带来桥梁整体抬高、引道规模扩大等连锁反应，间接造成工程投入无谓增加。在保障整体防洪安全不受削弱的前提下，应当区分控制性结果与偶然出现的极端峰值，借助水动力分析筛除现实发生概率较低的壅水数值，敏感性参数优先选用合理中值而非全部取上限。

5.4 报告结论导向务实优化

评价报告应当弱化单纯公式演算的篇幅，强化面向工程应用的结论输出。除给出壅水高度、冲刷深度数值之外，还应当明确桥墩防护范围、桥台布置约束、施工阶段管控要点等可直接落地的提示，减少模糊笼统的定性描述。评价结论兼顾河道防洪安全与工程建设实际条件，实现计算分析、成果校核、工程约束三者相互统一，提升防洪评价报告的实用价值。

结语

本文系统梳理了跨河桥梁防洪评价中壅水与冲刷计算的常见偏差问题，优化重构了分层计算、参数校正、工况包络的完整分析体系。通过改进壅水动态迭代算法与三级冲刷叠加计算模式，有效改善了传统单一公式计算精度不足的缺陷，解决了参数固化、工况单一导致的计算失真问题。研究摒弃固化的套用计算模式，依托多方法互证校核思路，平衡了工程防洪安全与建设经济性。

参考文献

[1] 文星. 跨河桥梁防洪评价中壅水和冲刷计算问题探讨 [J]. 河南水利与南水北调,2022,51(12):50-51+68.

[2] 夏丽丽, 吴敦银. 防洪评价中跨河桥梁壅水和冲刷计算探讨 [J]. 江西水利科技,2010,36(4):251-255.

[3] 孙庆磊. 穿河管线防洪评价报告编制方法 [J]. 水利规划与设计,2011,(2):57-60.

[4] 李宁, 李金鹏. 跨河管道工程防洪评价报告的编制及注意事项 [J]. 四川水泥,2023,(10):91-93.

[5] 张彬. 河道管理范围内建设项目防洪评价报告编制问题 [J]. 农业科技与信息,2020,(16):43-44.