

高原河流推移质输沙率现场观测与经验公式适用性

央宗

西藏自治区水利电力规划勘测设计研究院 西藏 拉萨 850000

【摘要】：高原河流泥沙输移过程受复杂地形、流量变化及高原特殊水文环境影响，其推移质输沙率规律难以直接应用传统经验公式。通过对西藏典型高原河段开展长期现场观测，获取泥沙浓度、流量及输沙率数据，对比现有经验公式计算结果，分析其适用性与偏差来源。结果表明，部分经验公式在高原河流中存在低估或高估现象，提出修正方法能够显著提高输沙率预测准确性，为高原河流泥沙管理及防洪防沙工程设计提供可靠依据。

【关键词】：高原河流；输沙率；现场观测；经验公式；西藏

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.083

引言

高原河流因地形陡峭、水文条件复杂，泥沙输移表现出明显的时间和空间变化特征，对下游水资源管理与河道工程安全产生直接影响。西藏高原河流流量季节波动大，常规经验公式在计算推移质输沙率时存在偏差，影响河道泥沙预测的准确性。通过系统观测西藏高原典型河段的泥沙输移过程，可揭示输沙规律及经验公式适用局限，进而提出修正方案。对高原河流推移质输沙率进行精确评估，不仅有助于完善高原水文模型，还可为河道治理和泥沙管理提供数据支撑和决策参考。

1 高原河流泥沙输移特征分析

1.1 西藏典型河段地形及流量特征

西藏高原河流地形多样，河段起伏陡峭，河床坡度大且不均匀，形成流速快速变化的复杂水动力环境。河道宽窄交错，局部存在深槽与浅滩交替分布，导致水流动能在空间上呈高度差异性分布。季节性降水与冰雪融水显著影响流量时空变化，春夏季融雪高峰期河流径流量骤增，而枯水期流量低且稳定。河流沿程多支流汇入，形成复杂的流量累积效应，对泥沙输移产生直接影响。西藏河段的地质组成以砂砾岩和冰碛土为主，河床侵蚀性强，水流受地形控制明显，对输沙能力和泥沙浓度分布产生重要作用，为推移质输沙率观测提供了高复杂性特征环境。

1.2 推移质输沙率时间变化规律

西藏高原河流推移质输沙率表现出显著的季节性和阶段性特征，随流量波动而发生动态变化。春季冰雪融水初期，推移质输沙率迅速上升，伴随流量增加而达到峰值；夏季降雨集中，泥沙输移呈高波动状态，短时洪水事件导致瞬时输沙率大幅跃升^[1]。枯水期，河流能量降低，推移质输沙率下降，但局部河段仍保持低速泥沙迁移，表现为泥沙的缓慢累积和再分布。日内变化方面，昼夜温差对融雪量及流量变化具有调节作用，进一步影响输沙率短期波动。西藏高原独特的水文气候条件和河流流态相互作用，使推移质输沙率呈现高度非线性动态规律，对经验公式适用性提出了高要求。

1.3 泥沙输移的空间差异性研究

西藏高原河流泥沙输移在空间上呈显著差异，河道形态、坡度及支流汇入位置是主要控制因素。上游峡谷区河床陡峭，流速高，推移质输沙率大且泥沙粒径相对粗重；中下游河段河床宽广，流速减缓，细粒泥沙沉积明显，导致局部泥沙浓度降低。支流汇入点形成泥沙汇集或稀释效应，使主干河段泥沙输移强度出现空间非均匀性。河岸侵蚀与冲刷作用在不同河段影响输沙来源及分布格局，西藏河流高差落差和河床结构导致泥沙横向迁移和纵向输移表现差异明显。这种空间变异特征对高原河流经验公式修正和推移质输沙率精准预测具有重要指导价值。

2 现场观测方法设计与数据获取

2.1 观测站点布设及测量方法

西藏高原河流观测站点布设遵循覆盖典型河段地形、流量变化和泥沙输移差异的原则。上游陡峡区、支流汇入段以及中下游宽浅区均设定观测点，以获取全流域泥沙输移特征。站点布设考虑河床稳定性、水流能量及测量安全性，确保在洪水高峰期仍能准确获取数据。测量方法采用多参数流量测定与泥沙采样结合的方案，包括断面剖面布点流速测量、移动式流量仪器监测及水位连续记录。站点布设充分利用河道自然落差，捕捉流量剧烈变化引起的泥沙瞬时输移特征，同时考虑长期观测可行性与维护便利性。西藏河段复杂的水文气候条件对测量精度提出高要求，观测设计通过高频数据采集与多断面对比确保泥沙输移过程被全面反映，为经验公式适用性分析提供可靠数据支撑。

2.2 泥沙浓度与流量采样技术

泥沙浓度采样结合定点和连续监测方法，适应西藏高原河流流量快速波动和泥沙浓度变化的特征。采样装置布设在河段纵向不同深度和横断面不同位置，以捕捉推移质输沙率的垂向和横向分布特征。流量采样采用流速剖面测量与水位流量转换结合方法，确保高流速和低水位条件下均可获得精确数据。泥沙样品通过定时自动采样器与人工高频采样相结合，保证极端

洪水及融雪高峰期泥沙浓度变化被完整记录^[2]。采样过程中注重泥沙粒径分布信息获取,对不同泥沙组分的输移贡献进行量化。西藏河流特殊水文条件下的采样技术强调高可靠性与低干扰性,能够获取连续且高分辨率的输沙率数据,为经验公式修正和泥沙动力学模型提供基础参数。

2.3 数据质量控制与处理方法

数据质量控制通过多层次策略实现,包括采样过程监测、现场初步校核与实验室复核。西藏高原河流复杂地形和极端水文条件下,水位传感器、流速仪和泥沙采样器需定期校准,确保测量数据的精度与稳定性。原始数据处理采用异常值识别与剔除、多点平均和断面加权法,减少观测误差对推移质输沙率计算的影响。数据处理进一步结合泥沙粒径分布调整与流量-浓度非线性关系拟合,建立高精度输沙率时间序列。对长期观测数据进行分阶段分析,可揭示季节性、日内及突发事件下的泥沙输移特征。西藏河流数据处理方法兼顾观测精度与空间覆盖,保证推移质输沙率结果具有代表性和可比性,为经验公式适用性分析提供可靠依据,同时为高原河流泥沙动力学研究提供方法创新。

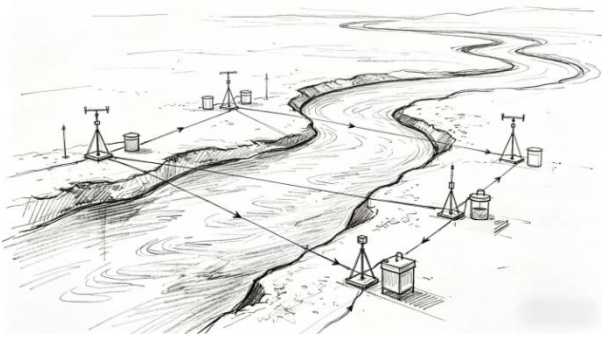


图1 河道多点监测系统布设

3 经验公式计算与适用性对比

3.1 常用经验公式选取与计算方法

西藏高原河流泥沙输移计算选取的经验公式包括广泛应用于河流动力学和泥沙输移的经典公式,同时结合高原水文条件的调整因子,以适应冰雪融水、流量季节性波动及河床陡峭特征。公式计算方法采用河段断面平均流速、泥沙浓度和河床坡度等参数输入,同时引入流量非线性修正和粒径分布权重调整,实现对推移质输沙率的多层次计算。公式选择遵循理论基础扎实、适应性强、可操作性高的原则,确保计算结果能够覆盖西藏典型河段不同水文条件和泥沙特征。通过参数标定和断面加权方法,能够将局部测得的泥沙输移特性推广至全河段,为经验公式在高原河流的适用性分析提供可靠计算基础,同时为高原泥沙动力学模型提供验证数据。

3.2 观测数据与公式预测结果对比

西藏高原河流现场观测数据涵盖上游峡谷段、中下游宽浅

段及支流汇入段的流量与泥沙浓度,形成完整的推移质输沙率时间序列。将观测数据代入经验公式计算,可对比公式预测值与实测值的精度差异^[3]。结果显示,在高流速和冰雪融水峰值期间,部分公式对推移质输沙率存在低估现象,而在低流量及枯水期,部分公式高估局部泥沙浓度,导致输沙率整体偏差。对比过程中采用断面加权、时间序列分析和粒径分层校正,使公式与观测数据对比更具空间和时间精度。西藏河流复杂流态和高程落差对公式预测能力提出严格要求,通过系统对比,可识别公式在不同河段和不同水文条件下的适用范围及局限性。

3.3 适用性偏差分析及原因探讨

西藏高原河流经验公式在推移质输沙率计算中出现偏差的主要原因包括河段高落差显著、流量快速波动以及冰雪融水影响下泥沙粒径和浓度分布的非均匀性。部分公式假设的河流流态均匀性在高原河流中难以满足,导致上游峡谷段泥沙输移量被低估,而中下游宽浅段的细粒泥沙沉积未充分体现。河床侵蚀和局部支流汇入引起的泥沙局地峰值进一步增加公式计算的不确定性。分析显示,公式参数需结合高原河流水动力特征、粒径分布及流量非线性修正,才能提高计算精度。西藏河段特殊的地形水文条件对经验公式提出了高适应性要求,为修正和优化公式提供了明确方向。

4 高原环境下经验公式修正策略

4.1 西藏高原河流特征参数引入

高原河流泥沙输移特征受河床坡度、水力半径、流速变化及泥沙粒径分布等因素影响明显。西藏河段融雪量和降水分布对流量波动及瞬时输沙率产生强烈调控作用,需引入河流冰雪融水系数与季节性流量调节参数。河床颗粒组成、河段纵向高差及峡谷段流速分布作为关键参数,用于刻画局部泥沙运动能量和沉积特性。通过对河段断面流速剖面和泥沙浓度分布进行精确量化,建立高原特征参数库,实现经验公式对推移质输沙率的局地适应性调整,为公式修正提供可靠数据基础。西藏河段复杂的地形和水文环境对参数选取和计算方法提出高要求,同时保证公式对全流域泥沙输移特征的代表性。

4.2 修正公式构建与验证

高原河流经验公式修正在西藏河段以流量-泥沙非线性关系为核心,将高原特征参数融入推移质输沙率计算^[4]。修正公式采用河段断面加权、粒径分层和流量调节系数结合的方法,能够反映上游峡谷段高能输沙和中下游沉积段低能输沙的空间差异。通过实测数据对公式进行验证,评估不同水文条件下公式计算结果的准确性,分析冰雪融水峰值、短时洪水事件及枯水期泥沙迁移对公式预测的影响。西藏高原河流特征参数引入后,修正公式在时间和空间分辨率上显著提高,能够有效捕捉推移质输沙率的动态变化,为经验公式应用提供精准计算工具。

4.3 预测精度评估与误差分析

修正公式在西藏高原河流的推移质输沙率计算中,通过对比观测数据与公式预测值,评估预测精度并分析误差来源。误差主要源于局部河段泥沙集中输移、流速瞬时波动以及冰雪融水引起的非线性流量变化,传统公式难以完全反映这些高原特征。采用粒径分层校正和流量非线性调整显著降低预测误差,并在高流量和低流量阶段均表现出稳定性。西藏河段地形复杂性和水文动态变化要求修正公式对不同河段和季节特征具有高度适应性,为推移质输沙率精确预测提供量化依据,同时对高原泥沙管理与工程设计提供参考。

5 泥沙输移规律与工程应用启示

5.1 高原河流输沙规律总结

西藏高原河流泥沙输移呈现出强烈的季节性和空间异质性,上游峡谷段推移质输沙率高且粒径粗重,中下游宽浅河段细粒泥沙沉积明显。冰雪融水和降雨集中期推动瞬时泥沙峰值,枯水期泥沙迁移缓慢且局部再分布突出。河床坡度、流速变化及支流汇入形成复杂的泥沙横向与纵向分布模式,使高原河流输沙过程高度非线性。高原特有的地质结构和水文条件导致局部泥沙浓度与河段流量之间存在显著非线性关系,传统经验公式难以全面覆盖输沙规律的复杂性。通过量化河段特征参数和泥沙动态变化规律,可为西藏河流泥沙动力学分析提供精确基础,并揭示高原环境下泥沙迁移的核心控制因素。

5.2 公式修正对河道治理的指导意义

修正后的经验公式能够在西藏高原河流条件下准确反映推移质输沙率的时间和空间变化,为河道治理提供量化依据^[5]。

通过引入河段坡度、流量非线性调节系数及泥沙粒径分层参数,公式可预测不同水文条件下的泥沙输移强度,为防止河床淤积和泥沙冲刷提供设计参考。高流速峡谷段和低流量沉积段的输沙特性被明确刻画,为河道整治措施的优化提供数据支撑。公式修正能够提高工程规划的针对性和精准性,使河道治理措施与实际泥沙动力学过程匹配,提升河道稳定性和防洪安全性,同时对西藏高原水利工程管理提供科学指导和可操作性策略。

5.3 西藏高原水利工程应用案例分析

西藏高原河流泥沙输移规律和修正公式在水利工程设计中可实现精准应用。河道整治、坝址布设和防洪调度均依赖高精度的推移质输沙率预测。通过将公式计算结果与工程参数相结合,可评估局部泥沙沉积和冲刷风险,优化堤岸结构和坝体防护措施。河段特征参数的引入使公式适应性增强,能够处理融雪高峰期和季节性降雨引发的泥沙波动,为水利工程施工和运行提供动态调整依据。高原复杂地形和水文条件下,公式与观测数据结合的应用提升了工程设计的科学性,为西藏河流水利设施的安全性和耐久性提供量化支撑,同时推动高原水利工程管理现代化。

6 结语

高原河流泥沙输移规律受地形、水文气候及泥沙组成多重因素影响,推移质输沙率在西藏高原展现出显著时空动态差异。经引入高原特征参数修正经验公式后,能够提高对推移质输沙率的预测精度,为西藏河流泥沙演变规律分析和河道治理提供量化依据,同时促进高原水利工程设计的科学化与精准化。

参考文献:

- [1] 黄勇,沈淇,顾峰峰,等.长江口推移质输沙率公式适用性室内实验研究[J].人民长江,2025,56(08):177-184+192.
- [2] 李璐辰,宗永臣,王俊,等.高原河流微生物对污水厂尾水的响应机制[J].环境科学与技术,2026,49(01):115-126.
- [3] 周炜兴,孙昭华,杨中华,等.三峡建库前后荆江沙质河段流量-输沙率关系及其变化机理[J].水利学报,2025,56(08):1049-1060+1071.
- [4] 丁佳丽,王根绪,吴碧琼,等.变化环境下青藏高原河流碳循环特征及其对区域碳循环的影响[J].冰川冻土,2025,47(02):504-521.
- [5] 杨海明,娄瑜.基于综合指标法的高原河流健康评价探讨[J].长江技术经济,2024,8(06):9-15.