水利工程设计洪水水文分析方法研究

杨云飞

（广东粤泽水务有限公司，广东 河源 517000）

摘 要 设计洪水成果关系到水利工程防洪标准、泄洪规模与运行安全。本文围绕资料采集、洪水样本整理、实测洪水频率分析、设计暴雨推洪、水文比拟、地区综合以及水文模型与GIS空间分析等环节，构建设计洪水水文分析技术框架。结果表明，资料适用性判别与样本代表性检验是成果可信的前提，多源方法比选和洪峰、洪量、过程线校核有助于识别参数偏差，形成面向工程设计的成果修正路径，为中小流域、山区河道和资料短缺地区设计洪水推求提供更具适配性的技术参考依据和校核实施思路。

关键词 设计洪水；洪水频率；设计暴雨；水文模型

中图分类号：TV122.3 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.036

0 引言

设计洪水是水利工程设计阶段的关键环节。极端降雨频次抬升、短历时强降雨集中度增强，使传统基于经验系数和单站资料的取值方式面临更高外推风险，城镇扩张、土地利用转换、水库群调度及河道整治又持续改变产流、汇流和槽蓄条件，若缺少对暴雨时空分布、下垫面响应和工程调蓄影响的综合辨识，设计成果容易偏离流域真实洪水过程[1]。面向设计洪水开展水文技术研究，能够增强低频洪水推求的物理解释力和区域适配性，减少参数取值随意性带来的安全偏差，为中小流域防洪设计、病险工程复核和流域防洪体系完善提供技术支撑，也有助于推动水利工程从经验校核转向资料约束、机理识别和多源验证协同的精细化设计路径，提升风险识别调控能力。

1 水利工程设计洪水水文分析基础

1.1 水文资料采集与适用性判别

水利工程进入设计洪水推求阶段，资料采集不宜停留在雨量、流量年表的简单汇集，而需围绕工程控制断面、汇水面积、河网形态、暴雨中心位置和上游调蓄条件建立资料清单，并明确各类资料服务于洪峰推求、洪量计算或过程线拟定的具体用途。雨量资料宜核对站点迁移、仪器更换、观测时段调整及缺测记录，流量资料需结合水位流量关系线、测验断面冲淤和洪峰摘录规则判断可靠度，DEM、土地利用、土壤类型和水库调度资料则用于识别下垫面变化对产汇流条件的影响，避免把空间数据直接等同于水文参数[2]。完成多源资料归并后，通常按时间连续性、空间代表性和工程适配性进行分层判别，将长系列实测站点作为频率计算依据，将邻近站、遥感降雨和历史洪水调查成果作为补充校核来源，使后续洪水样本选取具备稳定边界和可追溯依据，利于成果复核。

1.2 洪水样本整理与代表性检验

洪水样本整理的起点不是机械选取年最大值，而是结合流域洪水成因、暴雨历时和工程控制需求确定样本口径，对山区暴涨暴落型河流更需关注洪峰摘录精度，对平原河网区则需辨析闸站联调和河网滞蓄造成的过程削缓。对实测洪峰、时段洪量和洪水过程线，宜先剔除测验条件异常造成的失真记录，再核查同一场洪水在上下游站点之间的传播关系，遇到水库削峰、分洪滞洪或闸坝调控影响时，往往倾向于开展天然还原或分段说明，防止受控洪水混入天然系列[3]。代表性检验则侧重判断样本能否反映设计断面长期洪水特征，可从系列长度、特大洪水权重、丰枯交替分布和区域同步性入手，必要时引入历史洪水调查值、邻近流域洪水模数和暴雨频率成果进行旁证，并与区域暴雨洪水分布格局相互印证，避免短系列样本将偶发洪水误判为常态规律或削弱安全裕度。

2 水利工程设计洪水水文分析方法

2.1 实测洪水资料频率分析方法

实测洪水资料频率分析适用于控制断面具有连续水位、流量观测资料且洪水系列受人类活动扰动较小的流域，其技术重点在于样本系列构建、经验频率计

作者简介：杨云飞（1996-），男，本科，助理工程师；研究方向：水文与水资源。

算和理论频率曲线适配，操作中往往先按年最大洪峰流量、最大 24 h 洪量、最大 3d 洪量等指标建立统计序列，并核对测验断面稳定性、水位流量关系外延范围和洪峰摘录精度，再结合历史洪水调查值修正大洪水排序位置，避免短系列资料削弱特大洪水对设计成果的约束作用。

频率曲线拟合阶段较多采用 P-Ⅲ型曲线，参数估计可由矩法、权函数法或适线法综合确定，均值反映洪水量级，变差系数 Cv 控制离散程度，偏态系数 Cs 影响高频端和低频端外延形态，适线时需兼顾点群趋势、上尾部控制和区域综合参数，若仅依赖数学最优拟合而忽略区域暴雨洪水规律，设计频率为 1%、2% 等低频成果容易出现外推失真。工程应用中，频率分析结果还需与洪峰模数、流域面积关系、上下游站洪水同步性和历史洪痕高程相互校验，遇到水库拦蓄、分洪工程或河道整治改变洪水过程的年份，通常会开展天然还原或分期处理，同时对含沙量突变、河槽冲淤和测验设备更替引起的非一致性进行说明 [4]。经校验后的设计洪峰、设计洪量及相应过程线，才能保持同一水文成因基础，并为设计暴雨推洪、模型模拟和工程防洪复核提供稳定的控制性参照。

2.2 设计暴雨推求设计洪水方法

在缺少长系列实测流量资料的中小流域，设计暴雨推求设计洪水往往成为工程设计阶段较多采用的技术路径，其基本任务不是简单地把暴雨量换算为流量，而是将设计频率下的点雨量、面雨量、雨型分配、产流损失、坡面汇流和河道演进连接为完整洪水过程，并使计算口径与工程控制断面的防洪标准相匹配 [5]。

计算开始时需依据暴雨图集、邻近雨量站实测资料或短历时暴雨参数确定不同历时设计降雨量，采用面积折减系数处理点雨量向流域面雨量的转换，并结合暴雨历时与流域汇流时间的匹配关系筛选控制历时，随后按照典型暴雨过程、同频率控制或峰位控制原则安排时程分配，使暴雨中心位置、主雨峰时段和峰现时间与流域汇流特征相协调。产流计算通常结合蓄满产流、超渗产流、径流系数法或 SCS-CN 法判断净雨深，山区坡陡沟短流域更关注前期土壤含水量、初损、稳渗率和坡面糙率对洪峰尖瘦程度的影响，平原及圩区则需纳入河网调蓄、闸站排涝、圩内滞蓄和外河顶托条件，防止把排水受阻过程误判为天然汇流过程。

2.3 水文比拟法与地区综合分析方法

水文比拟法适用于设计流域资料短缺而邻近流域具有较完整水文观测成果的情形，其关键不在于寻找距离最近的参证站，而在于判断参证流域与设计流域在降雨成因、地形坡降、植被覆盖、土壤入渗、河网密度和下垫面开发程度上的相似性，并核查两流域暴雨路径、洪水遭遇关系和控制断面汇流面积是否具备可转换条件，若仅按流域面积比例换算，山区峡谷型流域与丘陵缓坡流域之间的洪峰差异往往会被低估。

实际推求中，可采用洪峰模数、洪量模数、面积指数关系或区域经验公式进行尺度转换，并结合主河道长度、平均坡度、汇流历时、暴雨中心移动路径、流域形状系数和湖库调蓄率设置修正系数，参证流域存在水库调蓄、分洪滞洪或站控断面迁移时，还需剔除非天然因素对洪水量级和过程形态的影响 [6]。地区综合分析则侧重从多个水文站成果中提炼区域规律，较多建立洪峰模数与流域面积、设计暴雨量、地形因子、下垫面指数之间的经验关系，或绘制同频率洪水参数等值线、区域包络曲线和面积递减曲线，为无资料流域提供设计洪水初估值，并对局部小样本计算成果形成外部约束。

2.4 水文模型与 GIS 空间分析方法

水文模型与 GIS 空间分析适用于流域边界复杂、下垫面差异显著或需构建设计洪水过程线的工程场景，GIS 技术通常承担空间参数识别任务，利用 DEM 完成分水岭提取、河网生成、坡度分区、汇流路径计算和子流域划分，并叠加土地利用、土壤类型、植被覆盖、不透水面比例和工程控制节点等数据，为产流分区、汇流单元划分和参数赋值提供空间依据。

模型构建阶段可选用 HEC-HMS、SWMM 或分布式水文模型，根据资料条件设置降雨损失、坡面汇流、河道演算、水库调蓄和闸站控制模块，参数率定往往围绕初损、CN 值、单位线滞时、河道糙率、马斯京根 K 值与 X 值展开，并结合子流域面积、坡长、汇流坡降和河槽断面形态限定参数取值范围。模型精度评价不宜只看总量拟合，较多采用洪峰相对误差、洪量误差、峰现时间偏差、Nash-Sutcliffe 效率系数和过程线相关系数共同判断，若实测资料不足，可引入雷达降雨、卫星降雨和邻近站资料修正暴雨空间分布，同时检查网格尺度、子流域划分阈值和时间步长对洪峰削减或峰现提前的影响 [7]。

3 设计洪水成果校核与方法优化

3.1 洪峰洪量与过程线综合校核

设计洪水成果校核宜先统一设计频率、控制断面、洪量统计时段和过程线时间步长，再比较不同技术路径输出的洪峰、洪量、峰现时间和洪水历时，同时核

对计算边界是否包含上游调蓄、区间入流和河道槽蓄影响，防止各方法因口径差异造成误判。以某中小流域1%设计频率成果为例，实测洪水频率分析法得到的洪峰为1 260 m^3/s，设计暴雨推求法为1 345 m^3/s，水文模型与GIS空间分析法为1 292 m^3/s，水文比拟法为1 218 m^3/s，洪峰最大离差约127 m^3/s，24 h洪量最大离差约287万m^3，说明各方法总体处于同一量级，但暴雨推洪成果受雨型峰位和汇流参数影响偏高，比拟法受参证流域尺度折算影响偏低。过程线校核不宜只看峰值接近程度，还需检查峰现时间是否匹配主河道汇流历时、涨水段斜率是否符合山区或丘陵流域产汇流特征、退水段是否存在异常削平，具体成果见表1。

表1 不同方法设计洪水成果对比表

分析方法	设计频率	洪峰流量/（m^3/s）	24 h洪量/万m^3	峰现时间/h	洪水历时/h	成果判断
实测洪水频率分析方法	1%	1 260	3 720	13	36	成果稳定
设计暴雨推求设计洪水方法	1%	1 345	3 895	11	34	洪峰偏大
水文比拟法与地区综合分析方法	1%	1 218	3 608	14	38	结果偏低
水文模型与GIS空间分析方法	1%	1 292	3 764	12	35	过程完整

入渗和调蓄条件未充分折算，模型模拟成果虽然过程完整，但CN值、单位线滞时、河道糙率、马斯京根K值与X值一旦缺少实测洪水率定，仍会放大峰现时间、涨水段斜率和洪量分配误差。

3.3 多方法比选下成果修正优化

成果修正不宜简单取平均值，而应依据资料可信度、方法适配性、参数可解释性和工程安全边界确定推荐成果，并将偏差较大的方法纳入约束范围而非直接剔除。该流域实测洪水频率分析法具备连续观测基础，适宜作为控制性成果，水文模型与GIS空间分析法能够反映子流域汇流差异和河道演进过程，适宜承担过程线修正功能，设计暴雨推洪结果偏大，可作为安全复核上限，水文比拟与地区综合成果偏低，较多用于区域合理性旁证。综合比选后，推荐1%设计洪峰取1 280 m^3/s，24 h设计洪量取3 750万m^3，峰现时间控制在12.5 h左右，洪水历时取35 h至36 h，过程线拟定中保留模型模拟的涨水段形态、频率分析成果的洪量约束和暴雨推洪的安全裕度，使最终成果兼顾统计稳定性、流域汇流特征及工程防洪复核需求。

4 结束语

围绕水利工程设计洪水水文分析，本文形成了从资料适用性判别、洪水样本检验到多方法推求、成果校核与修正优化的技术思路，强调实测洪水频率分析、设计暴雨推洪、水文比拟、地区综合及水文模型GIS空间分析之间的互证关系。未来研究可面向极端降雨频发、下垫面快速变化和站网资料不均衡等情景，深化遥感降雨融合、分布式模型参数率定和不确定性量化，同时加强历史洪水信息挖掘和工程调蓄影响识别，使设计洪水成果更贴近流域实际响应过程，服务防洪标准复核和工程安全运行。

3.2 分析方法适用性与偏差识别

不同方法成果出现差异，通常并非单一计算环节造成，而是资料基础、参数取值、边界条件和流域响应假定共同作用的结果，偏差识别宜从计算链条逐项追踪，而不是停留在成果数值大小的表面对比。实测洪水频率分析法受系列长度、特大洪水排序、历史洪水还原精度和频率曲线外延控制影响较大，若观测期未覆盖区域性大洪水，低频设计值往往存在外推不足，设计暴雨推洪成果偏高，则多与雨型峰位前置、面雨量折减偏小、初损取值偏低及汇流时间压缩有关，容易形成洪峰尖瘦、洪量集中的过程线。水文比拟法偏低多源于参证流域坡降、河网密度、植被覆盖、土壤

参考文献：

[1] 雷东海.基于分洪的富平县顺阳河防洪工程设计洪水分析[J].陕西水利,2025(01):54-56.
[2] 王建刚.塔尔朗水库工程设计洪水分析[J].陕西水利,2024(08):60-62,65.
[3] 罗洪武.何家湾水库工程设计洪水分析计算[J].河南水利与南水北调,2024,53(02):11-12.
[4] 池佃东.缺资料地区防洪工程设计洪水计算探讨:以党水河关帝段为例[J].吉林水利,2023(10):62-66.
[5] 叶尔登.温泉县托斯呼尔沟防洪工程设计洪水分析[J].海河水利,2023(08):50-53.
[6] 李咏梅.金沙溪农田保护防洪工程设计洪水分析[J].河南水利与南水北调,2023,52(09):31-32.
[7] 周俊伶.叶尔羌河流域依干其防洪工程设计洪水分析[J].水利技术监督,2023(05):22-24,28.