

无资料河流设计径流分析确定方法研究

姚鹏亮

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v9i3.6195

[摘要] 设计径流是确定水利工程规模、防洪标准及生态流量阈值的关键参数。我国中小河流水文站点覆盖率不足,约40%的流域缺乏长期观测资料,传统频率分析法难以直接应用。如何突破数据限制,科学推求无资料河流的设计径流值,成为工程水文领域的难点问题。

[关键词] 无资料河流; 设计径流; 区域综合法; 水文模型; 遥感技术

中图分类号: TP7 文献标识码: A

Research on the Determination Method for Design Runoff Analysis of Ungauged Rivers

Pengliang Yao

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd.

[Abstract] Design runoff is a critical parameter for determining the scale of hydraulic engineering projects, flood control standards, and ecological flow thresholds. In China, the coverage of hydrological stations in small and medium-sized rivers is insufficient, with approximately 40% of river basins lacking long-term observational data. Traditional frequency analysis methods are difficult to apply directly in such cases. How to overcome data limitations and scientifically derive design runoff values for ungauged rivers has become a challenging issue in the field of engineering hydrology.

[Key words] ungauged rivers; design runoff; regional synthesis method; hydrological model; remote sensing technology

引言

随着水资源开发利用与水利工程建设的持续推进,无资料地区的水文计算问题愈发凸显。设计径流是水利工程规划、设计以及管理过程中的关键基础数据,其准确确定对于保障工程安全、提升工程效益意义重大。然而,当前水文站点分布不均衡,众多河流缺乏长期观测资料,这给设计径流的确定带来了极大困难。本文聚焦于无资料河流设计径流的确定方法展开系统探讨,通过对比分析各类方法的优势与不足,为无资料河流设计径流分析提供理论支撑与技术指引。

1 无资料河流设计径流分析的重要性

径流是指降水(包括降雨、融雪等)在流域地表或地下流动并最终汇入河流、湖泊或海洋的水文过程。设计径流是基于特定设计标准(如重现期、频率分析)计算的径流量,用于水利工程规划、设计与管理。它是工程水文分析的核心参数,旨在确保工程在不同水文条件下的安全性、可靠性和经济性。

无资料河流多分布于流域面积较小、地形复杂、气候多变的山地、丘陵地带,其水文过程具有显著的自然变异性,缺乏长期系统性水文观测数据。近年来,随着人类活动范围的不断扩展,土地利用方式改变、水资源开发强度增加(如跨流域引水、水库

建设及回归水利用等)显著改变了流域天然水文情势,导致上游水文站的观测成果难以直接用于下游断面的天然径流还原计算。而设计径流分析通过区域水文模型、相似流域类比或遥感技术等手段,能够推算出河流的径流量、洪峰流量等关键参数。这不仅为工程规划提供了可靠依据,还能支持生态保护、水资源优化配置以及应对气候变化带来的水文不确定性。因此,无资料河流设计径流分析是解决水文数据缺失问题、保障工程安全与生态可持续性的重要工具。

2 无资料河流设计径流确定方法

2.1 区域综合法

区域综合法是一种在无资料或资料短缺的情况下,通过利用相似流域或区域的水文、气象等资料,结合流域的自然地理特征、气候条件等因素,推算出设计流域或区域的水文要素(如径流量、洪峰流量等)的方法。主要包括水文比拟法、等值线图法和回归分析法等。但以上方法均是借用相近区域的成果计算出本流域的径流量,采用的是“它山之石”,是否可攻本山之玉要进行验证,在实践中可以结合本流域的短期水文观测资料和水管资料进行分析计算及设计。

2.1.1 水文比拟法

水文比拟法是一种将参证流域的水文资料移用到设计流域的计算方法。其原理与步骤如下: 首先, 需选定一个与设计流域在气候条件、下垫面条件等方面高度相似的参证流域, 该流域应具备较为完整的水文观测数据。接着, 根据设计流域的实际情况, 移用参证流域的多年平均径流深、年径流量的离势系数 C_v 以及不同干旱年份的月径流系列等水文资料。若参证流域的面积或雨量与设计流域存在差异, 则需对移用的水文资料进行必要的修正。

此方法简洁直观, 操作便捷, 能够在缺乏实测资料的情况下迅速获取设计流域的径流数据。然而, 水文比拟法对参证流域的选择有着严格的要求, 必须确保参证流域与设计流域在自然地理条件、气候条件等方面具有高度的相似性。同时, 资料移用过程中的修正工作较为复杂, 且修正系数的准确性难以完全确保。因此, 水文比拟法适用于参证流域具有较为完整的水文观测数据, 且设计流域与参证流域在自然条件上高度相似的情况。

2.1.2等值线图法

等值线图法是利用具有多年系列径流水文站特征值等绘制的值线图来推算无资料流域的设计径流。首先, 采用流域范围与径流深等值线图进行套合, 用径流深等值线将整个流域分成小区域, 每个小区域根据上下两个径流深值的平均值计算与面积相乘即为其径流量, 然后对所有小区域的径流量求和, 即为整个流域的径流量。

等值线图法的优点在于其方法简单直观, 能够充分利用已有的等值线图快速获取设计径流数据, 为无资料流域的水文计算提供便捷途径。然而, 该方法也存在一定的缺点。等值线图的精度和适用性会受到多种因素的影响, 如绘制等值线图时所用的一般为大流域长期径流系列的数据。但是在小流域, 尤其是成片的小流域地区, 等值线图由于缺少控制站而精度有限, 因此需要进行适当的修正以提高计算结果的准确性。等值线图法适用于有大流域包围, 且已有较为准确和适用的水文特征值等值线图的情况, 才能确保计算结果的可靠性和准确性。

2.1.3回归分析法

回归分析法是通过建立流域特征参数(如流域面积、河长、比降等)与水文特征值(如年径流量、汛期径流量等)之间的经验关系模型, 来推算无资料流域的设计径流。首先, 需要收集相邻或相似流域的水文观测数据, 然后选择合适的流域特征参数和人文特征值进行回归分析, 建立经验关系模型。最后, 将设计流域的特征参数代入模型, 计算出设计径流。

该方法具有较强的理论基础和适用性, 能够建立流域特征参数与水文特征值之间的定量关系, 一般是借用较成熟的回归方程。通过回归分析, 可以揭示流域水文过程的内在规律, 为设计径流的推算提供科学依据。但该方法对数据的质量和数量要求较高, 需要确保所收集的数据具有代表性和可靠性。此外, 经验关系模型可能受到多种因素的影响, 如气候条件的变化、人类活动的干扰等, 导致模型的适用性受到限制。因此, 回归分析法适用于设计流域与相邻或相似流域在自然地理条件、气候条件

等方面具有较高的相似性, 以确保模型的适用性和准确性。

2.2水文模型法

而水文模型法是另一种更为直接和精细的方法, 它通过分析流域的水文循环过程, 来构建描述这些过程的数学模型。常用模型有HEC-HMS、SWAT等。

2.2.1 HEC-HMS

HEC-HMS是一款广泛应用于降雨径流模拟和洪水预报。它通过模块化设计, 能够模拟降水、蒸发、下渗和径流等多种水文过程, 并支持从简单到复杂的不同建模需求。HEC-HMS适用于城市洪水、流域洪水预警以及水库调度等场景, 尤其是在缺乏详细数据的地区, 可以通过简化参数实现快速建模。其优势在于用户界面友好、计算效率高, 且与其他HEC系列软件(如HEC-RAS)无缝集成, 适合工程实践中的洪水风险管理和应急响应。

2.2.2 SWAT

SWAT主要用于长期径流和污染负荷模拟。它能够模拟水文循环、泥沙运移、养分和农药迁移等复杂过程, 特别适合评估农业活动对水资源的影响。SWAT的输入数据包括气象、土壤、土地利用和地形等, 模型通过划分子流域和水文响应单元(HRUs)来捕捉空间异质性。它广泛应用于农业流域管理、非点源污染评估以及气候变化对水资源的影响研究。SWAT的优势在于其强大的长期模拟能力和对污染物的详细刻画, 但需要较多的输入数据和较高的计算资源。

2.3遥感技术法

遥感技术法利用卫星遥感数据获取流域特征信息, 如地形、植被覆盖、土壤类型、土地利用、水体分布等, 然后结合水文模型进行径流推求。卫星遥感技术能够覆盖广阔的地理区域, 快速获取无资料河流所在流域的全面信息。尤其对于偏远或难以到达的地区, 遥感技术提供了一种高效的数据获取手段; 遥感数据更新频繁, 可以实时监测流域的水文动态变化。这有助于及时捕捉流域内的水文事件, 为径流推求提供最新的数据支持; 相比于传统的地面观测方法, 遥感技术减少了人力、物力和时间的投入。但遥感技术也存在局限性。遥感数据的分辨率和反演算法直接影响数据精度, 低分辨率数据无法准确捕捉流域内的微小地形变化和地表特征, 而反演算法的不完善也可能引入水文参数误差; 遥感数据的预处理过程复杂, 包括辐射定标、大气校正、几何校正和图像增强等多个步骤, 增加了研究的难度。

3 案例分析——阳霞河径流量分析与确定

基于阳霞河流域的特性, 本次水文设计主要采用临近河流的水文资料进行区域分析, 计算得出山口年径流量, 然后结合本流域的短期水文观测资料和水管资料进行分析计算及设计。

3.1流域概况

阳霞河流域位于天山南坡中部, 邻近水文站有兰干站、迪那站、黄水沟站、克尔古提站, 本次分析收集了以上站的长期观测资料。阳霞河渠首位于出山口附近, 灌区上游约7.5km, 渠首于1988年建成, 从1998年开始记录引水量, 从2010年开始记录河道水量。阳霞河水文站由巴州水文局于2016年7月建立, 自2021年5

月1日起,该水文站正式开始对水位和流量进行观测,为本次阳霞河流域的水文研究提供了直接和实时的数据支持。

3.2 阳霞站径流量确定

根据对区域流域冰川面积的量算产流量分析、区域流域形状系数及有实测多年平均径流量过程的基流分割分析,采用排除法初步确定出阳霞河流域主要为降水量补给型。分别采用三调中降水深等值线和本流域年均降水量与高程修正后的相关方程两种方法计算出阳霞站集水面积的多年平均降水量为2.207亿 m^3 ,采用兰干站和迪那站扣除冰川补给后的径流系数计算出阳霞站1957–2016年的径流量为0.8264亿 m^3 。

根据本次收集的阳霞站2021年5–12月数据,根据调查及水管资料插补出阳霞站2021年径流量为0.9771亿 m^3 ,经对比分析后采用兰干站长短系列订正系数89.8%,计算出阳霞站1957–2016年多年平均径流量为0.8774亿 m^3 。

根据阳霞河水管资料与阳霞站资料对比发现,阳霞河渠首的水情资料将洪水期的洪峰值作为日均流量使用致使统计水量偏大,根据相关资料及经验修正后计算出阳霞渠首近12年平均径流量为0.8848亿 m^3 ,采用参证的兰干、黄水和克尔古提站长短系列订正系数的平均值,计算出阳霞站1957–2016年平均径流量平均值为0.7784亿 m^3 。

根据对阳霞河水管资料的引水资料分析,发现存在漏测及统计方法不当的问题,经对本次收集的22年引水量资料进行插补整编处理后计算出阳霞河1998–2021年多年平均引水量为0.5495亿 m^3 。假设近期的引水比例相同,折算出多年平均径流量为0.9326亿 m^3 ,采用长短系列订正系数计算出阳霞站1957–2016年平均径流量为0.8190亿 m^3 。

对比以上成果可知,采用降水量推求径流量,面雨量在采用多种方法确定后收敛至2.2亿,径流系数也较符合区域值,但仍可能会因流域不同而有些差异导致的误差;直接采用阳霞站2021年实测成果用兰干站长短系列系数订正出60年长系列值,容易使个体的差异性传导至整个系列;由于阳霞渠首的水情和水管资料由于观测条件较差及统计过程不合理致使精度有限,虽经本次整编但仍有一定误差。但经对比以上方法,其计算成果统计出阳霞站1957–2016年多年平均流量在0.7784~0.8774亿 m^3 之间,在均值0.8253亿 m^3 的 $\pm 6\%$ 之间,区间已经较小,在无法准确地计算出径流值的情况下,本次推荐采用其平均值0.8253亿 m^3 作为阳霞河渠首多年平均径流量成果。

3.3 阳霞河径流的年际年内变化分析

3.3.1 径流的年际变化

阳霞河仅有1年的临时水文观测资料,因此无法采用水文资料分析年际变化,本次采用阳霞渠首12年的水情观测数据进行大致分析:采用临近有长系列的兰干站进行区域径流年际变化来参考分析。阳霞渠首的最大、最小年水量之比为1.37,采用12年水量配线得Cv值为0.15。而采用库车河兰干站分析可知,受降雨量变化较大的影响,径流年际变化较大,Cv值为0.30,最大、最小年径流量之比为3.77。详见表1

表1 阳霞河流域的径流量年际变化分析

站名	多年平均年径流量 (10 m^3)	最大年径流量及发生时间		最小年径流量及发生时间		变差系数 Cv	Cs/Cv
		径流量 (10 m^3)	发生年份	径流量 (10 m^3)	发生年份		
阳霞渠首	0.9018	1.059	2019年	0.7734	2013年	0.15	5.0
兰干水文站	3.955	7.602	2002年	2.019	1986年	0.30	4.0

3.3.2 径流的年内变化及分配

采用统计阳霞渠首12年水情资料的平均值,根据其短系列的月平均值放缩出坝址处长系列的月过程。据此统计出阳霞河水库下坝址多年平均径流量年内分配,得出水量主要集中在降雨量较大的6–8月,其占比为65.16%,4–10月水量占全年比例为96.50%。最大月径流量出现在7月,占年径流量的23.88%;最小月径流量出现在1月,该月河道断流,年内分配极不均匀。

4 结束语

无资料河流设计径流分析是水文领域的重要研究方向。本研究结合阳霞河系统梳理了现有分析方法,比较了各种方法的优缺点,并提出了方法选择的建议。未来研究应充分收集分析邻近流域的径流特性,多角度全方位地利用好本流域的水量观测资料,在多种方法分析收敛后再进行对比分析确定设计值。

[参考文献]

- [1]曾妍妍,贾瑞亮,周金龙.我国无资料地区地表径流计算技术发展及展望[J].地下水,2014(6):181–183.
- [2]张波.小流域山洪灾害防治中MR技术的应用[J].大科技,2020(3):125.
- [3]戚晓明,陆桂华,吴志勇,等.水文相似度及其应用[J].水利学报,2007,(3):017.

作者简介:

姚鹏亮(1985–),男,汉族,山西运城人,硕士研究生,高级工程师,研究方向为水文水资源规划。