

基于水量平衡的设计内涝水位计算

李志龙

(国核电力规划设计研究院有限公司, 北京 100095)

【摘要】设计内涝水位是工程设计中非常重要的参数之一,往往决定了工程设计的设计标高或防排洪方案。目前国内应用最广泛的计算方法是历史加成法,其结果可靠性很大程度取决于调查的历史内涝高水位,但常规的人工调查存在诸多弊端。本文基于水量平衡原理,采用卫星影像推算历史内涝水位,提出水位衰减速度计算方法,从而推算设计内涝水位。计算示例表明,虽然对卫星影像有一定的要求,但结果是科学合理的,有一定的适用性。

【关键词】水量平衡;卫星影像;历史加成法;内涝水位

【中图分类号】TV87

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2024)-12-0074-03

Design Waterlogging Level Calculation based on Moisture Balance

LI Zhilong

(State Nuclear Electric Power Planning Design & Research Institute Co., LTD., Beijing 100095, China)

Abstract: Designed waterlogging level is one of the very important parameters in engineering design, which often determines the design elevation or flood prevention and drainage scheme of engineering design. At present, the most widely used calculation method is the historical addition method. The reliability of the result depends on the historical waterlogging high water level, but the conventional manual survey has many drawbacks. Based on the principle of moisture balance, this paper uses satellite image to calculate the historical waterlogging level, and puts forward the calculation method of water level decay velocity, so as to calculate the design waterlogging level. The calculation example shows that although there are certain requirements for satellite images, the results are scientific and reasonable, and have certain applicability.

Key words: Moisture balance; Satellite imagery; Historical addition method; Waterlogging Water level

设计内涝水位是许多工程设计中非常重要的参数,对于设计内涝水位的计算方法,一般是在水量平衡原理的基础上提出。针对具体情况,研究者们提出了不同的计算方法。在实际工程应用中,受地形条件、水利工程等影响,水文条件往往较为复杂,边界条件难以区分,入汇和排泄难以确定,因此,应用最广泛的方法是历史加成法,即在历史调查水位的基础上,结合设计降雨进行计算。历史加成法的可靠性很大程度上取决于调查的历史内涝水位(一般采用调查历史最高内涝水位),但实践表明,调查水位主要存在几个方面的问题:一是对于较大范围内涝积水区,往往调查点分布不足,难以反映整体地区淹没情况;二

是年份较远的历史事件往往很难找到可靠的调查对象;三是调查对象容易记忆存在偏差,且个体差异往往较大。随着技术发展和积累,目前很多地区有多年的高清卫星影像,通过卫星影像,可以很好解决人为调查存在的主要缺陷。因此,本文探讨基于水量平衡原理,采用卫星影像推算历史内涝水位,通过计算水位衰减速度,进而推算设计内涝水位的方法。

1 水量平衡原理

水量平衡是指任意选择的区域(或水体),在

收稿日期:2024-03-14

作者简介:李志龙(1978—),男,高级工程师

任意时段内,其收入的水量与支出的水量之间的差额必等于该时段区域(或水体)内蓄水的变化量,即水在循环过程中,从总体上是收支平衡的。

通用水量平衡方程式为:

$$\Delta S = (P + R_u + R_d) - (E + R_u' + R_d' + q) \quad (1)$$

式中: ΔS 为时段内蓄水变量; P 为时段内降水量; R_u 、 R_u' 分别为时段内从地上流入与流出的水量; E 为时段内净蒸发量; R_d 、 R_d' 分别为时段内从地下流入与流出的水量; q 为时段内工农业及生活净用水量。

2 历史加成法

内涝一般发生在平原地区,河道通常河势稳定,水位变幅相对较小,当水位资料丰富时,可以直接进行频率计算;当水位资料短缺时,可根据设计暴雨计算产水量,通过水文水力学方法计算;或者根据调查历史内涝水位,通过设计雨量差值进行简化计算。

历史加成法是在历史上实际发生的内涝灾害的基础上,通过设计雨量与历史内涝期雨量差值,推算设计内涝水位的方法,其公式如下:

$$H_p = H_L + \Delta H \quad (2)$$

$$\Delta H = F \times \Delta P / A \quad (3)$$

式中: H_p 为设计内涝水位,m; H_L 为调查历史最高水位,m; ΔH 为设计内涝水位与调查历史最高水位的差值,m; ΔP 为设计雨量与调查历史最高水位时期雨量的差值,m; F 为流域面积,km²; A 为调查历史最高水位相应的水面面积,km²。

历史加成法是一种水文条件较为简单,边界条件较为理想情况下的设计内涝水位计算方法,一般对于圩区或平原封闭区之类的地区比较适用。由于实际工程水文地理条件的复杂性,历史加成法在一般的平原地区也经常采用。

在历史加成法中,除历史最高内涝水位一般通过调查量测外,其余三个参数为设计降雨历时、流域面积和历史内涝时期的水面面积,需要根据实际情况分析。

设计雨量采用的降雨历时,一般综合考虑排水面积、蓄涝能力、承泄区条件等因素后确定,如城镇已开发地区的排水管渠较为密集,雨水汇流时间相对较短,而未开发地区,雨水汇集往往需要更长时间。常用的有 24 h、1 d、3 d、5 d、7 d、15 d、

30 d 甚至更长,又如以流域内发生最大暴雨洪水的持续时间为参考^[1-3]。

3 基于水量平衡推算历史内涝水位

根据水量平衡原理,对于某个区域(或水体),时段内的蓄水量变化,需要除降雨、蒸发、下渗等比较容易分析的输入参数外,其他入流量与出流量参数对于一般地区来说往往很难获取或者可靠性往往较差,所以很难直接应用。而历史加成法的可靠性很大程度上取决于历史内涝水位的调查结果,往往因人而异,因地制宜。为此,本文基于水量平衡原理,将某区域(或水体)的水位衰减视为入流与出流的综合结果,通过卫星影像结合实测提取历史内涝水位,结合降雨数据分析水位衰减速度,进而由历史加成法计算设计内涝水位。对于调查期内较为严重的内涝积水事件,一般来说入流超越出流能力,因此,假设某区域(或水体)两次较为严重的内涝积水事件前期降雨条件相当,后期水位的衰减速度是一致的。则有:

$$H_1 = H_L + P_1 - n_1 \times h_d \quad (4)$$

$$H_2 = H_L + P_2 - n_2 \times h_d \quad (5)$$

式中: H_1 、 H_2 为两次卫星影像提取的水位,m; H_L 为卫星影像拍摄时期的最高水位,可根据附近实测雨量过程判断两次内涝积水事件的最高水位发生时间,m; P_1 、 P_2 为两次内涝积水事件最高水位发生日期与卫星影像拍摄日期期间的累积降雨量,m; n_1 、 n_2 为两次内涝积水事件最高水位发生日期与卫星影像拍摄日期的间隔天数,d; h_d 为水位衰减速度,m/d。

由式(4)和(5)可得:

$$h_d = [(P_1 - P_2) - (H_1 - H_2)] / (n_1 - n_2) \quad (6)$$

$$H_L = H_1 + n_1 \times h_d - P_1 \quad (7)$$

通过式(7)推算得到历史最高内涝水位后,便可由式(2)和式(3)计算出设计内涝水位。

4 示例计算

某工程场区位于平原低洼地区,地处湖泊边缘,地形较为封闭,受内涝积水影响,而湖泊及工程场区远离人类居住地区,且周边没有水位观测站点,通过人工调查获取历史内涝水位比较困难且可靠性难以保证。

4.1 历史内涝水位

通过当地历史灾害记录和报道情况,当地和附近流域建国以后发生了两次最为严重且灾害程度相当的内涝积水事件,分别发生在2013年9月和2019年9月;此外,通过附近气象站历年降雨情况和历年卫星影像进一步确认了上述两次

积水事件情况属实。

通过较大范围的整体区域对比和较小范围的细部对比显示,2019年9月9日淹没更严重,如图1为工程区域两次内涝期间的卫星影像。结合实测地形图分析提取两次卫星影像拍摄时期的水位为2019年9月9日水位约144.4 m,2013



图1 2013年/2019年卫星影像图

年9月22日水位约143.8 m。

4.2 降雨过程

通过附近气象站点两次内涝积水时期逐日降雨过程,对最高内涝水位发生日期进行判别:1)2013年内涝事件,8月12日为最高内涝水位发生日期,前期累积雨量158.9 mm,历时11 d,后期水位衰减期8月13日~9月22日累积雨量72.0 mm,衰减历时41 d;2)2019年内涝事件,8月29日为最高内涝水位发生日期,前期累积雨量335.7 mm,历时24 d,后期水位衰减期8月30日~9月9日没有降雨,衰减历时11 d。

4.3 水位衰减速度

由式(6)得水位衰减速度 h_d 为0.0224 m/d。由式(7)得:卫星影像拍摄内涝事件的最高内涝水位 H_L 为114.85 m。

4.4 设计内涝水位

根据两次内涝积水事件前期降雨情况,设计降雨历时可采用15 d。由附近气象站降雨资料频率分析结果,50年一遇设计雨量与2019年降雨量相当,50年一遇设计内涝水位可直接采用上述计算结果114.85 m。

此外,两次内涝积水事件与当地记载的重现期相当于50年一遇的洪涝灾害描述基本一致,也证明该方法某种程度的可行性。

5 结 语

本文考虑到历史加成法计算设计内涝水位时很大程度上取决于调查历史内涝水位的可靠性,而人工调查存在诸多弊端。为此,基于水量平衡原理,采用卫星影像推算历史内涝水位,通过分析水位衰减速度,获得卫星影像时期的最高内涝水位,最终计算设计内涝水位。从算例看,计算结果是合理的,说明计算方法具有可靠性,不过对资料的要求也是比较高的,主要是需要找到内涝积水灾害较大且程度相当时期的卫星影像。不过,随着卫星影像的日益积累,以及极端洪涝灾害的频繁出现,上述条件越来越具有可行性。

在实际工程应用中,由于人类活动影响的不确定性和极端气象的日益频繁,当设计内涝水位对工程有重大影响时,从安全的角度考虑,也可考虑在计算结果的基础上适当增加。

参考文献

- [1] 李小燕,何华松,王志兴,等.治涝标准:SL723—2016[S].北京,2016.
- [2] 姚鹏,秦学林,谷洪钦,等.电力工程水文技术规程:DL/T5084—2021[S].北京:中国计划出版社,2022.
- [3] 苏伟,孙宗磊,程慧林,等.铁路工程水文勘测设计规范:TB10017—2021[S].北京:中国铁道出版社有限公司,2022.

(责任编辑 赵其芬)