

# 城市山洪截排洪系统泄流能力的设计方法

张子鹏<sup>1</sup> 龚伟<sup>2</sup> 顾国辉<sup>3</sup>

1 南京市水务建设工程有限公司 江苏南京 210000

2 江苏省建信招投标有限公司 江苏南京 210000

3 江苏熙利建设有限公司 江苏南京 211100

**摘要:** 城市山洪截排洪系统泄流能力的设计方法,属于城市排涝系统工程技术领域,所述城市山洪截排洪系统泄流能力设计方法分三部分,一是通过建立无量纲数 $\eta$ 与 $\xi$ 的关系,试算求出堰顶基础水深 $h_b$ ,二是根据溢流孔口行近动能 $E_p$ 与泄流转向角 $\theta$ 因子求出准堰上水深 $h_{tb}$ ,三是根据库盆形状参数 $\lambda$ 确定堰上水深 $H$ 。这样设计出来的城市山洪截排洪系统泄流能力与实际工程完全吻合,解决了因无适当设计方法,造成泄流能力无法确定或泄流能力设计严重不足,导致山洪漫溢成灾,给防洪防涝工程及城市带来的巨大经济损失和安全隐患的技术问题。

**关键词:** 城市山洪截排洪系统;泄流能力;设计方法

## Design method of discharge capacity of urban mountain flood interception and drainage system

Zipeng Zhang<sup>1</sup> Wei Gong<sup>2</sup> Guohui Gu<sup>3</sup>

1 Nanjing Water Construction Engineering Co., Ltd. 210000 Nanjing, Jiangsu

2 Jiangsu Jianxin Tendering and Bidding Co., Ltd. Jiangsu Nanjing 210000

3 Jiangsu Xili Construction Co., Ltd. Jiangsu Nanjing 211100

**Abstract:** The design method for the discharge capacity of urban stormwater interception and drainage systems belongs to the technical field of urban drainage system engineering. The design method for the discharge capacity of urban stormwater interception and drainage systems consists of three parts. Firstly, the relationship between the dimensionless number  $\eta$  and  $\xi$  is established to calculate the foundation water depth  $h_b$  of the weir. Secondly, the quasi-weir upper water depth  $h_{tb}$  is obtained based on the factor of overflow orifice kinetic energy  $E_p$  and the discharge deflection angle  $\theta$ . Thirdly, the weir upper water depth  $H$  is determined based on the shape parameter  $\lambda$  of the basin. The discharge capacity of the urban stormwater interception and drainage system designed using this method is in complete accordance with the actual engineering situation, which solves the technical problems caused by the lack of appropriate design methods, such as inability to determine the discharge capacity or serious deficiency in discharge capacity design, resulting in disastrous urban flooding and economic losses, as well as safety hazards in flood control and drainage projects.

**Keywords:** Urban mountain flood interception and drainage system; Discharge capacity; Design method

### 一、背景技术

背山面海河口城市,城市内涝的致灾因子主要有三个,从城市周边山上下来的山洪,即客水、落入城市区域的雨水和海潮的顶托作用。由于河口城市常常是江河穿城而过,水系十分发达,再加上滨海,城市上空水汽充足,而城市高层与超高层建筑,犹如一幅幅屏障,极容易形成阻碍效应和热岛效应,影响城市上空的大气稳定性,容易形成对流云和产生对流性降水,使得城市上空的降雨明显增多,城市大气中的尘埃和SO<sub>2</sub>等废气富含硝酸盐和硝酸盐类物质,善于吸收水汽成为凝结核,增强了雨量的作用,使得夏季城市雷阵雨次数增加,雨量加大,洪涝灾害风险增加。另外,我国东南沿海城市,受台风暴雨的威

胁,台风经过的地区,常带来阵发性暴雨,降水量少则200~300毫米,多则在1000以上。2005年,在福建登陆的“龙王”台风,引发普降暴雨到特大暴雨,某市区3小时降雨量达195毫米,高强度的暴雨导致福州市区积水,最大水深可达2米,造成的直接经济损失多达32.78亿元。河口城市通常是政治经济文化的中心,城市涝灾带来的经济损失巨大。据不完全统计,2001至2013年间,我国沿海城市平均每年台风造成的直接经济损失为461.4亿元。因地制宜建设城市的防洪排涝设施,成为抵御洪涝灾害,确保人民生命财产安全的重要措施。作为防洪排涝设施的一项关键技术,如何确定泄流能力尤为重要。

综上所述,目前的堰流泄流能力计算方法因水流流动环境和水力条件发生深刻变化,已无法用于城市山洪截排

系统中泄流能力计算, 基于泄流能力的确定在城市防涝工程设计中的重要性, 亟需攻克此技术难关。

## 二、技术方案

### 2.1要解决的技术问题

由于城市山洪截排系统的水流流动环境和水力条件和目前的水库或水闸显著不同, 传统的泄流能力设计方法无法解释城市山洪截排系统的水流现象, 通过传统的别列津斯基宽顶堰泄流能力分析计算方法, 在 $P/H=0\sim 0.909$ 条件下, 表征其泄流能力的宽顶堰流量系数为 $0.3383\sim 0.3852$ , 而由12座库盆组成的城市山洪截排系统, 平均流量系数只有 $0.1726$ , 最低仅有 $0.0497$ , 与传统设计方法得出的结论, 平均相差 $48.98\%\sim 55.19\%$ , 最大相差 $85.31\%\sim 87.10\%$ , 显然不能采用传统方法对城市山洪截排系统泄流能力进行设计, 必须寻找新的设计方法以满足工程需要, 确保城市防洪安全。

### 2.2技术方案

为了克服现有技术的不足之处, 提供城市山洪截排系统泄流能力的设计方法, 所述城市山洪截排系统泄流能力设计方法包括三个部分, 一是通过建立无量纲数 $\eta$ 与 $\xi$ 的关系, 试算求出堰顶基础水深 $h_b$ ; 二是根据溢流孔口行近动能 $E_p$ 与泄流转向角 $\theta$ 因子求出准堰上水深 $h_{tb}$ ; 三是根据库盆形状参数 $\lambda$ 确定堰上水深 $H$ ; 堰顶基础水深 $h_b$ 通过下式试算求得:

$$\eta = -0.241 \cdot \ln(\xi) + 0.1234$$

然后根据 $E_p \cdot \theta^{-1}$  值的不同范围, 由以下各式求出准堰上水深 $h_{tb}$

①当 $0.025 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.007$ 时

$$h_{tb} = 42.20 \cdot E_p \cdot \theta^{-1} - 0.30$$

②当 $0.034 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.025$ 时

$$h_{tb} = -3.30 \cdot \ln(E_p \cdot \theta^{-1}) - 11.48$$

③当 $0.082 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.034$ 时

$$h_{tb} = 49.05 \cdot E_p \cdot \theta^{-1} - 2.03$$

④当 $0.088 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.082$ 时

$$h_{tb} = -29.65 \cdot \ln(E_p \cdot \theta^{-1}) - 72.42$$

⑤当 $0.098 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.088$ 时

$$h_{tb} = 9.82 \cdot \ln(E_p \cdot \theta^{-1}) + 23.71$$

⑥当 $0.129 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.098$ 时

$$h_{tb} = -3.21 \cdot \ln(E_p \cdot \theta^{-1}) - 6.62$$

⑦当 $0.138 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.129$ 时

$$h_{tb} = 14.29 \cdot \ln(E_p \cdot \theta^{-1}) + 29.32$$

⑧当 $1.719 > E_p \cdot \theta^{-1} \geq 0.138$ 时

$$h_{tb} = h_b + 3.75 \cdot (E_p \cdot \theta^{-1})^2 - 7.38 \cdot E_p \cdot \theta^{-1} + 1.$$

89

最后堰上水深 $H$ 由下式确定

$$H = h_b + \lambda \cdot h_{tb}$$

在本发明中, 所述的无量纲数 $\eta$ 由下式确定

$$\eta = \frac{Q}{B \cdot \sqrt{2 \cdot g h_b^{1.5}}}$$

$Q$ 为下泄流量( $m^3/s$ ),  $B$ 为溢流堰宽度( $m$ ),  $g$ 为重力加速度( $m/s^2$ )

在本发明中, 所述的无量纲数 $\xi$ 由下式确定

$$\xi = \frac{a + h_b}{B}$$

$a$ 为溢流堰坎高( $m$ )

在本发明中, 所述的无量纲数孔口行近动能 $E_p$ 由下式确定

$$v_p = \frac{Q}{B \cdot h_b} \quad E_p = \frac{v_p^2}{2 \cdot g}$$

在方案中, 所述的库盆形状参数 $\lambda$ 由以下确定:

当库盆形状为类矩形、含矩形、S型、梯形、矩形、圆弧弧形时, 库盆形状参数 $\lambda$ 取1;

当库盆形状为三角形时, 库盆形状参数 $\lambda$ 取1.617

在本方案中, 所述的公式应用条件: 孔口为平顶宽顶堰或实用堰, 下泄流量 $Q=15.5\sim 92.3m^3/s$ , 孔口宽 $B=4.5\sim 10m$ ,  $a/H=0\sim 0.91$ ,  $L/H=1.79\sim 4.91$ ; 计算条件下, 库盆周长 $106\sim 254m$ , 面积 $551\sim 2264m^2$ , 库盆体积 $2135\sim 20690m^3$ , 库盆长宽比 $1.7\sim 5.2$ , 而且库盆为矩形、三角形、半圆形、S形、梯形。

## 三、具体实施方式

根据背山面海河口城市的特点, 某市通过在城北山坡上布置过溪、斗顶、园山、磨里、华侨农场、洋坑尾、杨廷、泉头、可溪、东山、鱗溪、埠兴等12座库盆, 全方位拦截山洪, 然后经过竖井泄洪隧洞直接排入闽江, 使山洪无法进入城区, 减轻了城的涝水压力。库盆竖井联合截排洪方式与常规的水库泄洪和水闸泄洪有明显不同, 首先, 大型水库泄洪时因库容很大, 库面宽阔, 可以形成稳定良好的进流条件, 其次, 水闸泄洪一般枢纽布置都比较顺直, 目前, 几乎所有的泄流能力计算方法均在这种理想条

件下得出的,包括美国、日本及西欧广泛采用的WES堰,苏联采用的克奥堰,在我国水利、交通、航运各个领域广泛应用的宽顶堰等等。每小时出库流量总和与总库容的比值C是衡量泄洪稳定性的重要指标,我国的三峡大坝,总库容可达393亿m<sup>3</sup>,C值不足1%,福建水口水电站,库容26亿m<sup>3</sup>,C值也只有6%,进流条件十分稳定,然而,在福州城12座排洪系统中,库盆周长仅106~253m,库盆体积仅2135m<sup>3</sup>~20690m<sup>3</sup>,最小C值为406%,最大C值可达9304%,约是大型水库的70~9000倍。不仅如此,泄洪时,水流进入排洪竖井的流向发生很大变化,转角7.3°~165°,受天然地形的约束,库盆形状各异,有矩形、梯形、半圆形、三角形、S型等等,因此,传统理想的泄流能力计算条件已不复存在,面目全非,而水流运动与边界条件高度相关,水流对边界的极端敏感性,使得基于最大流量和最小能率假定的堰流理论无法解释城市山洪截排系统的流动现象,无法确定其泄流能力。

根据斗顶工程库盆底高程45m,溢流堰堰顶高程47m,溢流堰净宽B=7m,下泄流量Q=38m<sup>3</sup>/s,水流转角θ=121°(2.1118弧度)

求得溢流堰坎高a=47-45=2(m)

根据  $\eta = -0.241 \cdot \ln(\xi) + 0.1234$

$$\eta = \frac{Q}{B \cdot \sqrt{2 \cdot g h_w^{1.5}}} \quad \xi = \frac{a + h_w}{B}$$

方程左边0.17361; 方程右边0.17376

试算求得堰顶基础水深h<sub>b</sub>=3.68m

计算行近能头与水流转角影响因子:  $E_p \cdot \theta^{-1} = 0.05252$

根据  $h_{tb} = 49.05 \cdot E_p \cdot \theta^{-1} - 2.03$

$$E_p = \frac{v_r^2}{2 \cdot g} \quad v_r = \frac{Q}{B \cdot h_w}$$

求得h<sub>tb</sub>=0.5461

斗顶工程库盆为三角形,形状修正系数λ为1.617

根据  $H = \lambda \cdot h_{tb} + h_b$

求得堰上水头H=0.88+3.68=4.56m,与实测值4.56m,完全吻合。

#### 四、结束语

城市山洪截排洪系统泄流能力与实际工程完全吻合,解决了因无适当设计方法,造成泄流能力无法确定或泄流能力设计严重不足,导致山洪漫溢成灾,给防洪防涝工程及城市带来的巨大经济损失和安全隐患的技术问题。

#### 参考文献:

- [1]唐治;杨勇;别华斌.山洪灾害感知数据集成规范的研究与实践[J].水电站机电技术,2022(08).
- [2]任智慧;桑燕芳;杨默远;王月玲;尚莉.暴雨山洪灾害预警方法研究进展[J].地理科学进展,2023(01).
- [3]张晓蕾;刘启;刘荣华;翟晓燕;何秉顺.山洪灾害危险区清单化管理模式探讨及设计[J].中国防汛抗旱,2022(11).