

第九章 堰流和闸孔出流

9.1 概述

1. **堰**：顶部溢流的水工建筑物，如溢流坝、水闸坝顶。流经堰的水流，当不受闸门控制时是**堰流**，当受闸门控制时是**孔流**。

2. 水力计算的应用

(1) 已知堰闸型式，上下游水位，过水能力，设计堰闸。

(2) 施测流量

(3) 测流堰槽

3. 堰的分类

按堰的水力特性，以 H 表示堰上水头，在距堰上游面 $(3-4)H$ 处量测， δ 表示堰顶厚度，用 δ 与 H 的相对大小将堰分为：薄壁堰，实用堰，宽顶堰三类。

- | | |
|--------|---------------------------------|
| 1) 薄壁堰 | $\frac{\delta}{H} < 0.67$ |
| 2) 实用堰 | $0.67 < \frac{\delta}{H} < 2.5$ |
| 3) 宽顶堰 | $2.5 < \frac{\delta}{H} < 10$ |

9.2 堰流的基本公式

如下图：（图 9.2）

对渐变流断面 1, 2 列能量方程：

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

令
$$H_0 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$$

带入能量方程得：
$$H_0 = \frac{\alpha v^2}{2g} + \xi \frac{v^2}{2g}$$

得：
$$v = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}} \sqrt{2gH_0} = \varphi \sqrt{2gH_0}$$

其中，
$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \xi}}$$
，成为流速系数。

则通过堰的流量为：
$$Q = Av = kH_0 Bv = \frac{k}{\sqrt{\alpha + \xi}} B \sqrt{2gH_0}^{3/2}$$

令
$$m = \frac{k}{\sqrt{\alpha + \xi}}$$
，称为流量系数。

则：
$$Q = mB \sqrt{2gH_0}^{3/2}$$

再考虑到淹没系数 σ 和侧收缩系数 ε ，则有：

$$Q = \sigma \varepsilon m B \sqrt{2gH_0}^{3/2}$$

9.3 薄壁堰

一. 矩形薄壁堰

1. 流量计算公式

$$Q = m_0 B \sqrt{2g} H^{3/2}$$

式中, m_0 是流量系数, H 是堰上水头。

2. 流量系数 m_0 的经验公式

$$\text{巴辛公式: } m_0 = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H} \right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+a} \right)^2 \right]$$

适用条件: $0.15\text{m} < a < 1.22\text{m}, B < 2.0\text{m}, 0.1\text{m} < H < 1.24\text{m}$

$$\text{雷保克公式: } m_0 = 0.4034 + 0.0534 \frac{H}{a} + \frac{1}{1610H - 4.5}$$

适用条件: $0.15\text{m} < a < 1.22\text{m}, H < 2a$

3. 淹没系数 σ

当下游水位影响堰的泄流量时为淹没出流。

薄壁堰发生淹没出流的条件是:

(1) 下游水位高于堰顶; (2) 堰下游发生淹没水跃

$$\text{发生淹没水跃的经验公式: } \frac{z}{a_1} = \left(\frac{z}{a_1} \right)_c$$

$$\text{淹没系数 } \sigma \text{ 的经验公式: } \sigma = 1.05 \left(1 + 0.2 \frac{h_s}{a_1} \right) \sqrt[3]{\frac{z}{H}}$$

其中, h_s 为下游水位高于堰顶的数值。

所以, 矩形薄壁堰淹没出流的流量公式为:

$$Q = \sigma m_0 B \sqrt{2g} H^{3/2}$$

二. 三角形薄壁堰 (简称三角堰)

1. 矩形薄壁堰的优点: 过堰的水面宽度随水头而变。小水头时水面宽度小, 流量的微小变化将引起较大的水头变化, 可得到较高的量测精度。

$$2. \text{流量计算公式: } Q = CH^{5/2}$$

9.4 实用堰

一. 流量计算公式

$$Q = \sigma \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}$$

二. 曲线型

1. 剖面形状

(1) 设计原则：使堰面轮廓与薄壁堰水舌下缘基本吻合，以减少水流阻力。

(2) 设计水头：设计堰面时所采用的水头。在 H_d 下，堰顶附近的动水压强接近于 0。

(3) WES 剖面堰，近十年最常用。

2. 系数的确定

(1) 流量系数 m

a. 设计流量系数 m_d ：当水头等于设计水头时的流量系数。

b. 实际上， H 不等于 H_d

$H > H_d$ ：水舌下缘与堰面轮廓脱离，形成真空，有效水头增加，过水能力增大， $m > m_d$

$H < H_d$ ：水舌抛射距离减小，实用堰轮廓插入 H_d 时的水舌，从而减小了堰的过水能力， $m < m_d$

c. m 也可表示成与 $\frac{H_0}{H_d}, \frac{a}{H}, \frac{a}{H_d}$ 的关系

(2) 侧收缩系数 ε

与边墩的平面形状，溢流孔数，堰上水头，溢流宽度等有关。

(3) 淹没系数 σ ，与 $\frac{a_1}{H_0}, \frac{h_s}{H_0}$ 有关

三. 折线型

适于小型的溢流坝。

流量系数 m 小于曲线型的 m ， ε 、 σ 可与曲线型一样。

9.5 宽顶堰

一. 流量计算公式

1.
$$Q = mB\sqrt{2g}H_0^{3/2}$$

2.
$$Q = \varphi Bh\sqrt{2g(H_0 - h)}$$
, φ 为流速系数。

二. 流量系数, 侧收缩系数按相关经验公式计算。

三. 宽顶堰的淹没条件: $\frac{h_s}{H_0} > 0.8$

9.5 闸孔出流

一. 闸孔出流是指闸门建在宽顶堰或实用堰上的出流问题。

二. 堰流与孔流的界限

用相对开度 $\frac{e}{H}$ 来衡量

对于宽顶堰, 当 $\frac{e}{H} > 0.65$ 时, 为堰流, 当 $\frac{e}{H} < 0.65$ 时, 为孔流。

对于实用堰, 当 $\frac{e}{H} > 0.75$ 时, 为堰流, 当 $\frac{e}{H} < 0.75$ 时, 为孔流。

三. 实用堰上的闸孔出流

1. 流量公式: $Q = \mu_1 e B \sqrt{2gH_0}$, μ_1 为闸孔的流量系数。

2. 闸孔的流量系数 μ_1 的经验公式:

$$\mu_1 = 0.65 - 0.186 \frac{e}{H} + \left(0.25 - 0.375 \frac{e}{H} \right) \cos \theta$$