

# 格栅式消能池应用于山地城市排水系统

马 念

(林同棧国际<重庆>工程咨询有限公司, 重庆 400015)

**摘 要:** 山地城市的地形坡度较大,排水管道系统的上、下端落差大,因而需设置大量的跌水、消能构筑物,为此,在城市排水管道工程设计中引入了在水利工程上常用的格栅式消能池工艺,并介绍了格栅式消能池的工艺构造、消能机理及设计计算方法。

**关键词:** 山地城市; 排水管道系统; 格栅; 消能

中图分类号: TU991.2 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2005)05-0054-05

## Application of Grid Type Energy Dissipator in Sewerage System of Mountainous City

MA Nian

(T. Y. LIN International Chongqing, Chongqing 400015, China)

**Abstract:** For the heavy slope gradient of landform in mountainous city, large numbers of energy dissipating structure must be designed in sewerage system to adapt the large fall between upper and lower sections. The grid type energy dissipator process, commonly used in water conservancy project, was adopted in the design of sewerage system. Its technological configuration, energy dissipating mechanism, and calculation method were summarized.

**Key words:** mountainous city; sewerage system; grid; energy dissipation

山地城市的地形复杂,城市坡度较大,因此排水管道系统上、下端落差大,流速快。为适应山地地形,控制排水流速,保证管道不受水力冲刷,排水系统的消能非常重要。而常规的跌水井应用的管径、落差范围有限,消能效果也不甚理想。特别是在标高突变、水流突降、落差较大的情况下,需要在短距离内解决较大的跌差问题,而常规消能措施无法解决。为此,笔者在城市排水管道实际工程设计中引入了水利工程上普遍应用的格栅式消能池工艺。

### 1 格栅式消能池的工艺构造

大型水利工程中应用的格栅式消能池比较复杂,针对城市排水系统的情况需对其做适当简化。一座标准的格栅式消能池构造上分为:进口段、格栅、消能池、出口段(见图 1)。

#### ① 进口段

进口段是格栅式消能池的重要组成部分,它对进水流态进行调整,影响整个系统的消能效果。标

准的进口段应根据上游管、渠的水位要求,设置缺口控制或节制阀门控制等。进口段管、渠底标高应尽量与格栅顶面标高一致,也可以高于格栅顶面 0.5~1.0 m,并以(1:3)~(1:5)的斜坡与格栅顶面衔接(大型工程可采用渥奇曲线面,公式为  $X^2=0.84Y$ ,  $X$ 、 $Y$  分别为横纵坐标),但不宜采用垂直跌坎,以避免流线突变,影响消能效果。

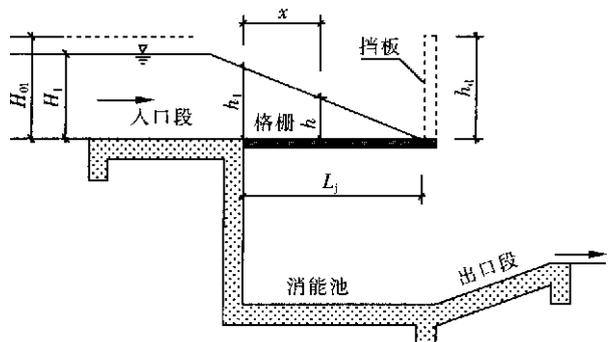


图 1 格栅式消能池的基本构造

Fig. 1 Structure of grid-type energy dissipator

② 格栅

a. 纵梁式。纵梁式格栅的栅条平行于水流方向,其特点是可以借助水流的推力将浮渣推至端头,避免堵塞格栅,适用于漂浮物较多的情况。资料介绍,栅条向水流方向设置 3°左右( $i=0.05$ )即可达到自净<sup>[1]</sup>。

b. 横梁式。栅条垂直于水流方向,其特点是泄流能力较大,可避免漂浮物堵塞。适用于大流量、小落差的情况。

c. 网格式。在钢筋混凝土(或其他材料)板上布置若干圆孔或方孔,其特点是对水流分散较充分,因此消能效果较好,但过流能力相对较小,适用于流速较快、落差较大而流量较小的情况。

格栅也可以组合使用。若落差、单宽流量较大[落差>3 m、单宽流量>6 m<sup>3</sup>/(s·m)]则可采用双层或多层格栅形式的消能池。一般顶层采用纵梁式格栅以达到除渣效果。

③ 消能池

消能池一般为矩形。运行时,消能池中的积水会形成一定厚度的“水垫”,它与跌落的水股、向下游继续流动的水流之间相互作用,在池中形成非常复杂的流动状态。消能池的深度一般在 1 m 左右,若落差较大,可适当加深。

④ 出口段

出口一般设置反坡段,以达到整流的目的。反坡段将水流强行挑向水面使其形成面流,且在挑流过程中利用水体的自重和反坡段的顶托作用,平稳地消除余能,使下游水流稳定,防止冲刷。

工程中也可根据情况采用两级或两级以上的“多级格栅式消能池”工艺,相当于多组工艺串联。

2 设计计算

格栅式消能池的消能机理包括“分散水流”、“充分掺气”、“多相作用(水—水、水—固、水—气之间的碰撞、摩擦)”等<sup>[2]</sup>。

2.1 单层格栅式消能池

一般情况下,由于上游来水水量及管(渠)断面已确定,故流速、水深也是确定的。由于此类水工构筑物的作用机理比较复杂,很多情况下是通过水工模型试验来确定设计参数的,因此计算公式均是建立在理论推导与模型试验基础上的经验公式。

2.1.1 进口段

一般排水工程中可以直接利用上游沟渠作为进口段,但当进口段管、渠底标高高于格栅顶面时(一般控制在 0.5~1.0 m),应以(1:3)~(1:5)的斜

坡与格栅顶面衔接。这样,在确定了高差的基础上不难计算出进口段的长度。

2.1.2 格栅

根据工程的需要,格栅末端可设置挡水板,也可不设置挡水板。

① 设置挡水板

$$L_j = \frac{q^2}{0.41q^2 + h_d/1.07 + \epsilon/0.3 - 1.5} \quad (1)$$

式中  $L_j$ ——格栅计算长度

$q$ ——格栅首端的单宽流量

$h_d$ ——挡水板的高度

② 无挡水板

无挡水板的格栅可对其格栅长度和水面曲线进行计算。

a. 纵梁式格栅

格栅长度计算:

$$L_j = \frac{H_{01} \eta_1 \sqrt{1 - n\eta_1}}{\alpha m \epsilon} \quad (2)$$

式中  $H_{01}$ ——格栅前总水头(从渠底算起)

$\eta_1$ ——入口相对水深,  $\eta_1 = h/H_{01}$ , 见表 1

$n$ ——入口相对压强,  $n = p_1/\gamma h_1$ , 见表 1

$\gamma$ ——水的容重

$\alpha$ ——堵塞系数,取 0.75~0.8

$m$ ——流量系数,见表 1

$\epsilon$ ——格栅的开孔率

表 1 格栅的水力参数

Tab. 1 Hydraulic parameters of grid

| 格栅类型       | 位置      | 流量系数 $m$ | $\eta_1 = h/H_{01}$ | $n = p_1/\gamma h_1$ |
|------------|---------|----------|---------------------|----------------------|
| 纵梁式        | 水平      | 0.497    | 0.509               | 0.850                |
|            | 1/5 前倾斜 | 0.435    | 0.499               | 0.615                |
| 横梁式<br>网格式 | 水平      | 0.800    | 0.594               | 0.970                |
|            | 1/5 前倾斜 | 0.750    | 0.496               | 0.750                |

水面曲线计算公式:

$$\frac{X}{L_j} = 1 - \frac{\eta \sqrt{1 - \eta}}{\eta_1 \sqrt{1 - \eta_1}} \quad (3)$$

假设一个  $h$  值,由相应的  $\eta = h/H_{01}$  值,查表 2 可求得相应的  $X/L_j$  值,依此类推即可求得网上水面曲线。

表 2 纵梁式格栅自由水面曲线相对横坐标  $X/L_j$

Tab. 2 Free surface curve on lognitudinal grid relative to  $X/L_j$

| $\eta$        | 0     | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.45  | 0.5   | 0.55  | 0.60 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| $\eta = 0.50$ | 1.000 | 0.732 | 0.495 | 0.291 | 0.125 | 0.060 | 0     |       |      |
| $\eta = 0.55$ | 1.000 | 0.744 | 0.515 | 0.321 | 0.161 | 0.095 | 0.041 | 0     |      |
| $\eta = 0.60$ | 1.000 | 0.750 | 0.529 | 0.330 | 0.185 | 0.120 | 0.070 | 0.030 | 0    |

当弗劳德数  $F_r = 2.5 \sim 4.5$  时,纵梁式格栅长度也可按下式计算:

$$L_j = \frac{4.1Q}{S_0 n' \sqrt{2gH_1}} \quad (4)$$

式中  $Q$ ——设计流量,  $m^3/s$

$S_0$ ——间隔宽度,  $m$

$n'$ ——间隔数目

$H_1$ ——上游渠道水深,  $m$

并可用下式进行校核:

$$L_j = \frac{q}{\alpha \mu \epsilon \sqrt{2gh_1}} \quad (5)$$

$$h_1 = (0.52 \sim 0.57) H_{01}$$

式中  $\mu$ ——流量系数,可取  $0.6 \sim 0.65$

设计时,可取式(2)、(4)、(5)计算结果中的较大者。

### b. 横梁式、网格式格栅

格栅长度计算:

$$L_j = \frac{H_{01}}{\alpha m \epsilon} F(\eta_1) \quad (6)$$

$$F(\eta_1) = \frac{3}{2} \sqrt{\eta_1(1-\eta_1)} - \frac{1}{4} \arcsin(1-2\eta_1) + \frac{\pi}{8}$$

$F(\eta_1)$  可按表 3 查出。

表 3  $F(\eta_1)$  与  $\eta_1$  的函数关系

Tab. 3 Function relation of  $F(\eta_1)$  to  $\eta_1$

| $\eta_1$    | 0.50  | 0.55  | 0.60  | 0.65  | 0.70  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $F(\eta_1)$ | 1.143 | 1.164 | 1.179 | 1.184 | 1.183 |

水面曲线计算:

假设一个  $h$  值,由相应的  $\eta = h/H_{01}$  值,查表 4 可求得相应的  $X/L_j$  值,依此类推即可求得网上水面曲线。

表 4 横梁式、网格式格栅自由水面曲线  
相对横坐标  $X/L_j$

Tab. 4 Free surface curve on horizontal or reseau grid relative to  $X/L_j$

| $\eta$        | 0     | 0.1   | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.45  | 0.5   | 0.55  | 0.60 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| $\eta = 0.50$ | 1.000 | 0.466 | 0.275 | 0.146 | 0.060 | 0.030 | 0     |       |      |
| $\eta = 0.55$ | 1.000 | 0.476 | 0.285 | 0.165 | 0.079 | 0.050 | 0.020 | 0     |      |
| $\eta = 0.60$ | 1.000 | 0.481 | 0.291 | 0.173 | 0.089 | 0.058 | 0.029 | 0.011 | 0    |

### 2.1.3 消能池

消能池单位体积消能率为:

$$P_r = N/V = 6 \sim 9 \text{ kW/m}^3 \quad (7)$$

$$N = 9.8Q \times \Delta H$$

式中  $N$ ——需在消能池中消去的能量,  $kW$

$V$ ——消能池容积,  $m^3$

$\Delta H$ ——上下游水位差,  $m$

对于大流量、小跌差的格栅式跌水,  $P_r$  取小值,反之则取大值。当进口段与格栅顶面衔接条件较差时,也可适当取小值。

也有人在将消能池的消能机理划分为“筛网消能”、“水跃消能”两部分的基础上,通过模型试验得出消能池的计算公式<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.4 出口段

出口段一般以(1:3)~(1:10)的反坡与下游管渠相连,消能池底板一般比下游管渠内底低 1.0  $m$ ,由此可以计算出出口段的长度。

### 2.2 多层格栅

多层格栅消能池的基本计算公式与单层格栅消能池相同。在对格栅消能进行计算时,可采取逐层往下推算的办法<sup>[4,5]</sup>。其计算步骤为:

#### ① 上层格栅的水力计算

格栅长度按式(2)、(6)计算。取其长度等于或略短于计算值,并在末端和以外设不封闭的挡水板。上层一般采用纵梁式。在格栅水面曲线范围内,分 3~4 段按式(8)计算各段泄往下层格栅的流量,与其配合的下层格栅应根据分段流量确定横梁的间距或网格的密度。

$$Q_i = \mu \omega \sqrt{2gh_i} = \mu \epsilon BL \sqrt{2gh_i} \quad (8)$$

式中  $Q_i$ ——格栅的分段设计流量,  $m^3/s$

$\mu$ ——格栅孔口流量系数,  $\mu = 0.60 \sim 0.65$

$\omega$ ——格栅的开孔面积之和,  $m^2$

$B$ ——格栅的总宽度,  $m$

$L$ ——格栅的总长度,  $m$

$h_i$ ——格栅上的分段平均水深,  $m$

#### ② 下层格栅的水力计算

下层格栅采用横梁式、网格式,其开孔面积和栅上水深的关系按式(8)计算。

#### ③ 第一层格栅下面各层格栅的间距

$$z = p/n \quad (9)$$

式中  $z$ ——每层格栅之间的垂直间距,  $m$

$p$ ——第一层格栅顶面与下游沟底的高程差(总跌差),  $m$

$n$ ——格栅设置层数

#### ④ 下层格栅上的水垫

$$P_{\text{净}} = N_{\text{净}}/V_n = 6 \sim 8 \text{ kW/m}^3 \quad (10)$$

$$N_{\text{净}} = 9.81Q(H_n - \sum h_j)$$

式中  $V_n$ ——第  $n$  层格栅的栅上水垫体积,  $\text{m}^3$

$H_n$ ——第  $n$  层格栅与其上第  $(n-1)$  层格栅上水位高程之差,  $\text{m}$

$\sum h_j$ ——水流通过  $n$  层以上各层格栅的局部损失之和,  $\sum h_j = V^2/2g$

⑤ 消能池消能计算

$$P_{\text{净}} = N_{\text{净}}/V_{\text{消}} = 6 \sim 8 \text{ kW}/\text{m}^3 \quad (11)$$

$$N_{\text{净}} = 9.81 QH_{\text{消}}$$

式中  $V_{\text{消}}$ ——消能池内水体积,  $\text{m}^3$

$H_{\text{消}}$ ——消能池水位与上层格栅的栅上水位之差,  $\text{m}$

### 3 工程实例

#### 3.1 工程概况

该工程上游为两山坡之间的一低洼台地, 经人工建造为一广场, 已有几十年历史, 是一历史文化遗址的一部分。广场下游为一地形断层, 上层(广场)与下层高差达二十多米。现上、下层均为建成已久的城区。由于广场地势相对较低, 且背靠大山, 所以成了该区域排水、排洪的必然通道。前几年曾将纵贯广场的排洪沟扩建为  $1.5 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$  的箱涵, 但

由于建设范围等原因, 箱涵在广场末端结束后, 在地形断层处形成散流, 直接向下层倾泻, 但为避免暴雨水流冲击下游民房, 在下游民房临水面建一浆砌条石的临时挡水墙, 挡水墙距出口水平距离  $< 20 \text{ m}$ 。根据城市建设及环境治理的要求, 对该地区排水系统进行整治, 特别是对这一雨水(排洪)通道进行规范化处理。建地基本现状为: ①上、下游地面高差达  $19.5 \text{ m}$ , 从上游箱涵出口底至下游地面高约  $16.8 \text{ m}$ ; 而场地纵向水平距离仅  $18.0 \text{ m}$  左右。②上、下游间为一岩石裸露的陡坡, 平均坡度接近  $1 : 0.7$ 。③箱涵出口下游正面即为居民区, 下泄雨水被挡水墙拦挡后向右面转折, 顺地形向下散流, 已冲成一条冲沟。④由于上游水流飞溅, 噪声很大, 且上游排水系统分流制改造尚未完成, 雨水中掺杂着生活污水, 经岩石、挡水墙等冲散, 空气中弥漫难闻的气味, 严重影响着该地居民的生活环境。

根据该处大落差、短距离、下游水的流向改变等状况, 经各种跌水构筑物方案比较, 决定采用“三级格栅式消能池”(见图 2)。

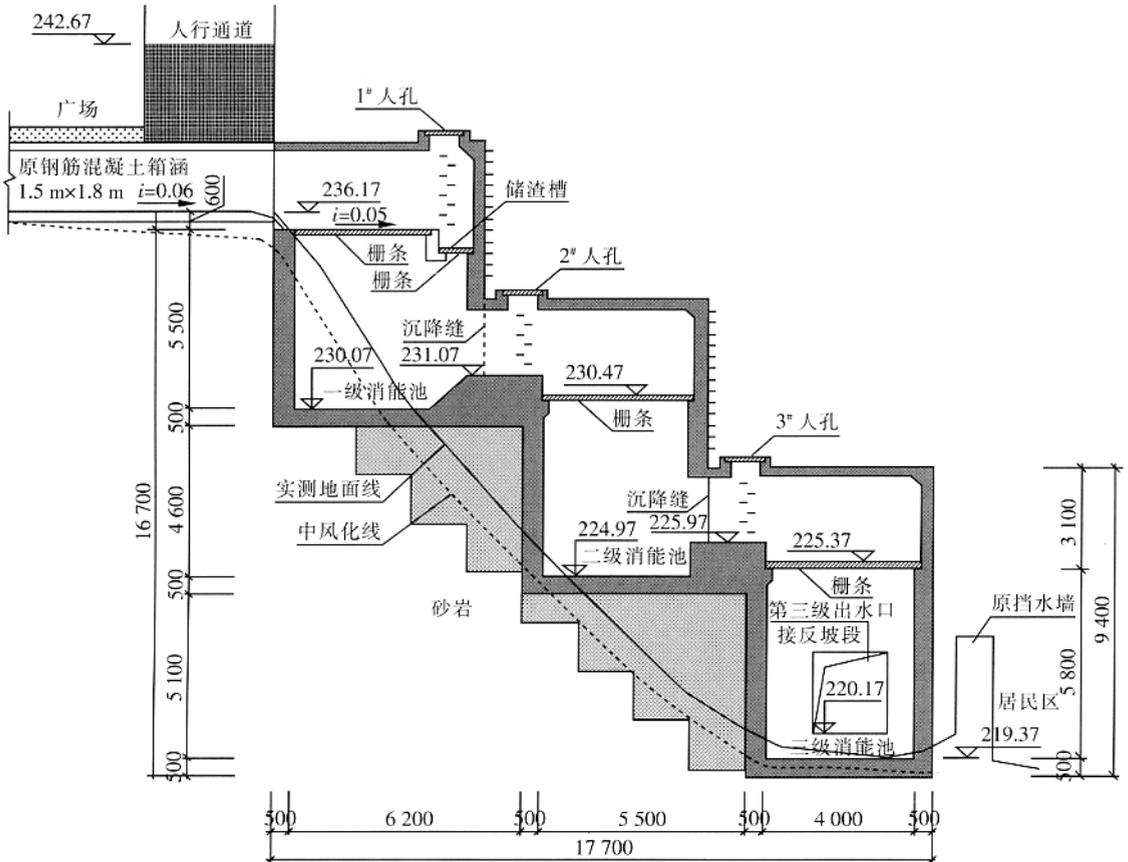


图 2 三级格栅式消能池纵断面图

Fig. 2 Vertical section of three-stage grid-type energy dissipator

### 3.2 设计要点

① 三级格栅式消能池采用钢筋混凝土结构。将总落差大致分成三级,各级落差约为4~5 m,纵向水平尺寸为5~6 m。

② 首级格栅消能池直接与原箱涵对接,为避免可能出现的壅水对上游箱涵的影响,首级格栅顶面低于箱涵底约0.6 m,并对进口做适当的圆滑处理;首级格栅设置0.05的坡度向水流方向倾斜,并在末端设专门的储渣槽以避免堵塞。

③ 消能池均采用纵梁式格栅,以0.1 m×0.2 m断面的钢筋混凝土预制活动栅条(也可以采用玻璃钢等材料制作),安装方便且栅距可调(100、300 mm)。

④ 利用池壁作为格栅末端的挡板,可以缩短格栅长度。

⑤ 由于用地紧张等原因,一、二级消能池出口段均无法设置标准的反坡,只能在第三级出口段设置1:5的反坡(坡长为3.0 m,高差为0.6 m)。

⑥ 第三级消能池出口段方向相对原水流方向向右偏转约80°并设置反坡,以适应下游原水流方向。下游接拟建的2.0 m×2.0 m箱涵。

⑦ 考虑到该工程建在城区,为避免对周围环境的不良影响,整个构筑物设计为封闭形式,并设置适当的人孔、爬梯等设施以方便养护。

由于条件的限制,该消能池与标准的格栅式消能池相比还是存在着一些不足:由于用地限制且地形非常复杂,不能完全按照理论计算进行设计,这也是山地城市排水系统设计中常遇到的问题。但从该

工程可以看到,采用格栅式消能池在解决短距离、大落差、水流方向突变等问题方面具有其他构筑物不能比拟的优势。可以预见,该工程的建设将对此区域的排水系统和居住环境的改善起到重要的作用。

### 4 结语

格栅式消能池用于山地城市排水管道系统具有消能充分、适应山城地形、构筑物构造简单等特点。

同时也要看到,不管是格栅式消能池本身的消能机理,还是其设计计算方法,都是建立在一定的模型试验或一定假设条件下的理论推导基础上的,而相关的理论模型(特别是应用于城市排水系统)还有待于完善。

### 参考文献:

- [1] 刘韩生,花立峰,纪志强,等. 跌水与陡坡[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
- [2] 李德新. 筛网式消能工的设计及应用[J]. 中南水力发电,1997,(4):31-34.
- [3] 韩梅,韩松,赵松涛. 筛网式消能工程的水力计算[J]. 东北水利水电,1996,(8):33-36.
- [4] 李越. 筛网式消能工的设计[J]. 东北水利水电,2003,21(5):9-11.
- [5] 李春,安庆涛,马玉恩,等. 筛网消能工的应用设计[J]. 吉林水利,1994,(7):8-11.

电话:(023)63863563

E-mail:howman@sina.com

收稿日期:2004-12-29

· 工程信息 ·

## 遵化市污水处理厂工程

工程内容:44 km 市政污水管网、新建污水处理厂及回用水厂,污水厂处理规模: $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,回用水厂处理规模: $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,投资额:15 016 万元,占地面积:7.54  $\text{hm}^2$ ,服务面积:23.2  $\text{hm}^2$ ,污水处理采用带厌氧段的卡鲁塞尔氧化沟工艺,中水处理采用混凝+沉淀+过滤+消毒工艺,主要设备:水泵、粗细格栅、旋流沉砂池、倒伞型表面曝气机、推流器、搅拌器、刮吸泥机、加氯设备、带式浓缩脱水一体机、V型滤池、加药设备、各类仪表等,进展阶段:已完成初步设计,建设单位:遵化市电厂二期筹备处,设计单位:安徽国祯环保节能科技股份有限公司设计研究院,联系电话:0551-5314177 13339297902,项目负责人:胡天媛。

(安徽国祯环保节能科技股份有限公司设计研究院 胡天媛)