

附件:

## 水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南（试行）

### 一、河道生态用水量环境影响评价技术指南

#### （一）河道外植被生态需水量计算

##### 1. 直接计算法

根据某一区域某一类型植被单位面积的需水定额乘以其种植面积计算。关键是确定不同类型植被在非充分供水条件下的需水定额。

##### 2. 间接计算法

在非充分灌溉条件下或水分不足时，采用改进的彭曼公式。

$$ET = ET_0 \times K_c \times f(s) \quad (1-1)$$

式中： $ET$ ——作物实际需水量，mm；

$ET_0$ ——植物潜在腾发量，mm；

$K_c$ ——植物蒸散系数，随植物种类、生长发育阶段而异，生育初期和末期较小，中期较大，接近或大于 1.0，通过试验取得；

$f(s)$ ——土壤影响因素。

$$f(s) = \begin{cases} 1 & \text{当 } \theta \geq \theta_{c1} \text{ 时} \\ \frac{\ln(1+\theta)}{\ln 101} & \text{当 } \theta_{c2} \leq \theta < \theta_{c1} \text{ 时} \\ \frac{a \exp(\theta - \theta_{c2})}{\theta_{c2}} & \text{当 } \theta < \theta_{c2} \text{ 时} \end{cases} \quad (1-2)$$

式中： $\theta$ ——实际平均土壤含水率，旱地为占田间持水率百分数，%；

$\theta_{c1}$ ——土壤水分适宜含水率，旱地为田间持水率的 90%；

$\theta_{c2}$ ——土壤水分胁迫临界含水率，旱地为与作物永久凋萎系数相对应的土壤含水率；

$a$ ——经验系数，一般为 0.8~0.95。

##### 3. 河道外植被生态需水量计算适用范围

直接计算法适用于基础工作较好的地区与植被类型，如绿洲、城市园林绿地等生态用水。间接计算法适用于我国对植物生态需水量计算方法研究比较薄弱的地区及对植被的耗水定额难测定的情况。

## (二) 维持水生生态系统稳定所需水量

维持水生生态系统稳定所需水量的计算方法主要有水文学法、水力学法、组合法、生境模拟法、组合法及生态水力学法。

### 1. 水文学法

水文学法是以历史流量为基础, 根据简单的水文指标确定河道生态环境需水。国内最常用的代表方法有 Tennant 法及河流最小月平均径流法。

#### (1) Tennant 法

① 计算方法 根据水文资料以年平均径流量百分数来描述河道内流量状态。

② 保护目标 鱼、水鸟、长毛皮的动物、爬行动物、两栖动物、软体动物、水生无脊椎动物和相关的与人类争水的生命形式。

③ 计算标准

表 1 保护鱼类、野生动物、娱乐和有关环境资源的河流流量状况

流量状况描述	推荐的基流 (平均流量的分数)	推荐的基流 (平均流量的分数)
	(10~3 月) %	(4~9 月) %
泛滥或最大		200 (48~72/h)
最佳范围	60~100	60~100
很好	40	60
好	30	50
良好	20	40
一般或较差	10	30
差或最小	10	10
极差	0~10	0~10

#### ④ 基本要求

a. 根据不同区域、不同需水类型、不同保护对象, 认真分析系列水文资料, 进行相关河段数据分析, 调整流量标准, 使调整后的流量符合当地河流情况。

b. 水生生物对流量的要求在不同季节有所不同, 需要根据生态系统不同月份、不同季节对流量的要求, 给出年内下泄流量过程线, 与水生生物生境要求相符合。

⑤ 适用条件 作为河流进行最初目标管理、战略性管理方法使用。

#### (2) 最小月平均径流法

① 计算方法 以最小月平均实测径流量的多年平均值作为河流基本生态环境需水量, 即:

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n \min(Q_{ij}) \times 10^{-8} \quad (1-3)$$

式中:  $W_b$  —— 河流基本生态需水量, 亿  $m^3$ ;

$Q_{ij}$  —— 第  $i$  年  $j$  月的月平均流量,  $m^3/s$ ;

$n$  —— 统计年数;

$T$  —— 换算系数, 值为  $31.536 \times 10^6 s$ 。

② 假设条件 在该水量下, 可满足下游需水要求, 保证河道不断流。

③ 适用范围 适合于干旱、半干旱区域, 生态环境目标复杂的河流。对生态环境目标相对单一地区, 计算结果偏大。

## 2. 水力学法

水力学法是以栖息地保护类型的标准设定的模型, 主要有基于水力学参数提出的湿周法及 R2-Cross 法。

### (1) 湿周法

① 计算方法 湿周法采用湿周 (图 1) 作为栖息地的质量指标, 绘制临界栖息地区域 (通常大部分是浅滩) 湿周与流量的关系曲线, 根据湿周流量关系图中的转折点 (图 2) 确定河道推荐流量值。

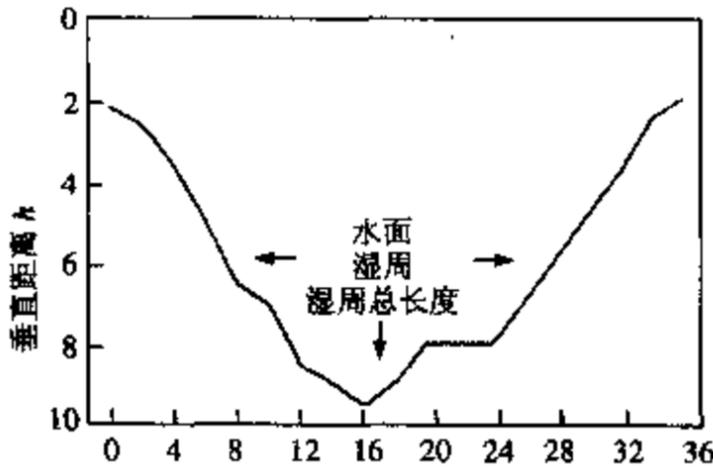


图 1 湿周的定义

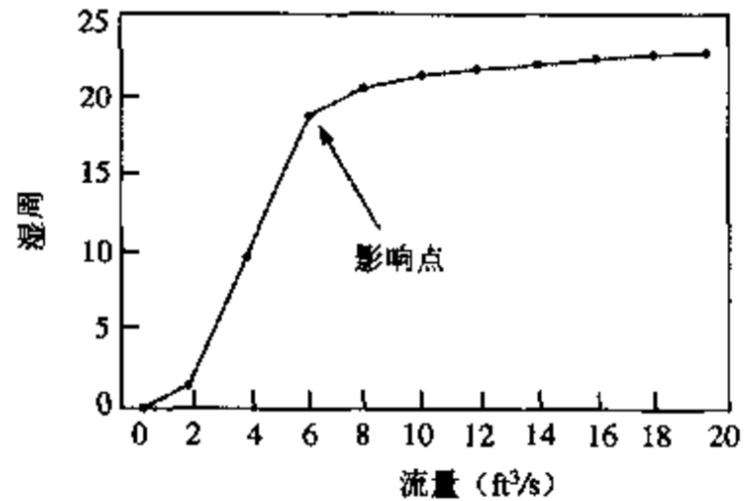


图 2 湿周流量关系

[1ft<sup>3</sup> (立方英尺) = 0.028 316 8 m<sup>3</sup>]

② 制约条件 湿周法受河道形状影响较大, 三角形河道湿周流量关系曲线的增长变化点表现不明显; 河床形状不稳定且随时间变化的河道, 没有稳定的湿周流量关系曲线, 也没有固定的增长变化点。

③ 适用范围 适用于河床形状稳定的宽浅矩形和抛物线型河道。

### (2) R2-Cross 法

① 计算方法 采用河流宽度、平均水深、平均流速及湿周率指标来评估河流栖息地的保护水平, 从而确定河流目标流量。其中: 湿周率指某一过水断面在某一流量时的湿周占多年平均流量满湿周的百分比。

### ② 计算标准

表 2 R2-Cross 法确定最小流量的标准

河宽/m	平均水深/m	湿周率/%	平均流速/(m/s)
0.3~6.3	0.06	50	0.3
6.3~12.3	0.06~0.12	50	0.3
12.3~18.3	0.12~0.18	50~60	0.3
18.3~30.5	0.18~0.3	≥70	0.3

### ③限制条件

- a. 不能确定季节性河流的流量。
  - b. 精度不高：根据一个河流断面的实测资料，确定相关参数，将其代表整条河流，容易产生误差；同时，计算结果受所选断面影响较大。
  - c. 标准单一：三角形河道与宽浅型河道水力参数采用同一个标准。
  - d. 标准设定范围较小：标准设定范围在河宽为 18~30 m。
- ④ 适用范围 非季节性小型河流。同时，为其他方法提供水力学依据。

### 3. 组合法（水文—生物分析法）

(1) 计算方法 采用多变量回归统计方法，建立初始生物数据（物种生物量或多样性）与环境条件（流量、流速、水深、化学、温度）的关系，来判断生物对河流流量的需求及流量变化对生物种群的影响。

(2) 研究对象 鱼，无脊椎动物（昆虫、甲壳纲动物、软体动物等）和大型植物（高等植物）。

(3) 适用条件 适用于受人类影响较小的河流。

### 4. 生境模拟法

(1) 计算方法 根据指示物种所需的水力条件的模拟，确定河流流量。假设水深、流速、基质和覆盖物是流量变化对物种数量和分布造成影响的主要因素。调查分析指示物种对水深、流速等的适宜要求，绘制水深、流速等环境参数与喜好度（被表示为 0~1 之间的值）之间的适宜性曲线。将河道横断面分隔成间隔为  $w$  的  $n$  个部分单元（见图 3），根据适宜性曲线确定每个分隔部分的环境喜好度，即水位喜好度（ $S_h$ ）、流速喜好度（ $S_v$ ）、基质喜好度（ $S_s$ ）、河面覆盖喜好度（ $S_c$ ），根据公式（1-4）计算每个断面、每个指示物种的权重可利用面积（WUA）：

$$WUA = \sum_{j=1}^n A_j (S_h \cdot S_v \cdot S_s \cdot S_c) \quad (1-4)$$

式中： $A_j$  —— 宽度为  $w$ ，长度为两个相邻断面距离的阴影部分的水平面积。

计算不同流量下的 WUA，绘制流量与 WUA 曲线，WUA 越大，表明生物在该流量下对生境越适宜。

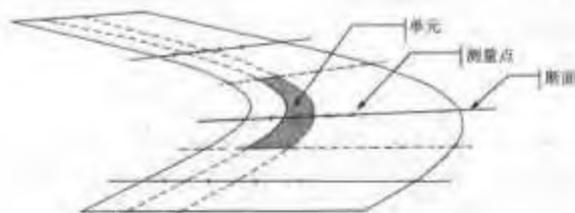


图 3 PHABSIM 模型中河道断面分隔

(2) 适用条件 河流主要生态功能为某些生物物种的保护。

## 5. 综合法

(1) 计算方法 以 BBM 法为代表, 从河流生态系统整体出发, 根据专家意见综合研究流量、泥沙运输、河床形状与河岸带群落之间的关系。

(2) 限制条件 资源消耗大, 时间长, 一般至少需要 2 a 时间。

(3) 适用范围 综合性、大流域生态需水研究。

## 6. 生态水力学法

(1) 计算方法 通过水生生物适应的水力生境确定合适的流量, 属于生境模拟法。假设水深、流速、湿周、水面宽、过水断面的面积、水面面积、水温是流量变化对物种数量和分布造成影响的主要水力生境参数; 急流、缓流、浅滩及深潭是流量变化对物种变化造成影响的主要水力形态。模型分三大块 (图 4), 一是河道水生生境描述, 该模块调查分析水生生物对水深、流速等水力生境参数的最基本生存要求; 分析水温变化对水生生物的影响; 分析水生生物对急流等水力形态的基本生存要求。二是河道水力模拟, 利用水力学模型对研究河段进行一维至三维水力模拟, 计算不同流量时研究河段内各水力生境参数值的变化情况。分析一二两个模块, 制定水力生境指标体系。三是河道水生生态基流量的决策, 由水文水资源、水利、环评、水生生态工作者依据水力生境指标体系, 结合河道的来水过程、当地的社会经济发展状况及政策综合确定河道生态基流量。

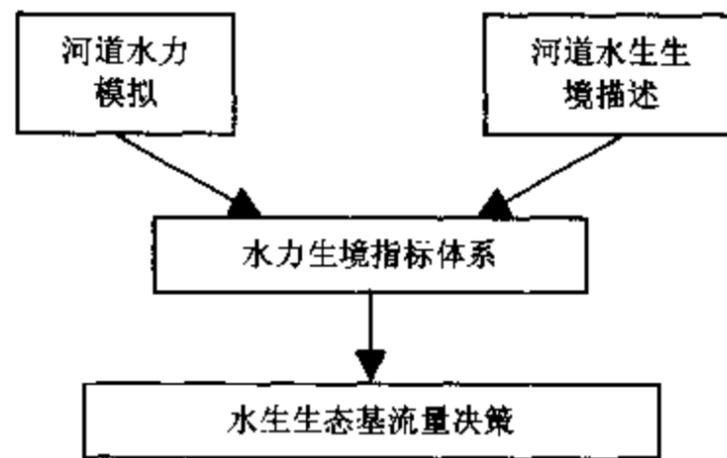


图 4 生态水力模拟法的示意框图

### (2) 指标体系

#### 枯水期指标体系:

① 沿程水力生境参数 统计水力参数在不同区间的河段长度, 及每个区间河段长度占整个河段长度的百分比, 避免因计算出的某一河段参数偏低, 而该段在整个河段中所占比重非常小, 单凭最低值进行判断所造成的失误。

② 水面面积 统计不同流量情况下水面面积大小及占枯水期多年平均流量情况下水面面积的百分比。

③ 水力形态 统计不同流量时缓流、急流、较急流、较缓流的段数、累计河段长度及每种形态河段长度占总河段长度百分比。统计不同流量时浅滩及深潭的个数。

#### 年内变化指标体系:

④ 水温 各月水温沿程变化图, 在出现极端水温断面处, 列出不同流量情况下各月水温值。

⑤ 典型断面水深等水力生境参数年内变化 在有较大支沟汇入断面, 比较水力生境参数的年内变化。

(3) 指标标准

表3 生态水力学法确定大型河流最小流量的水力生境参数标准

生境参数指标	最低标准	累计河段长度的百分比/%
最大水深	鱼类体长的2~3倍	95
平均水深	≥0.3 m	95
平均速度	≥0.3 m/s	95
水面宽度	≥30 m	95
湿周率	≥50%	95
过水断面面积	≥30 m <sup>2</sup>	95
水面面积	≥70%	
水温	适宜鱼类生存、繁殖	
生境形态指标	概念界定	
急流	平均流速 ≥1 m/s	段数无较大变化, 急流、较急流 段累计河段长度减少 < 20
较急流	平均流速 0.5~1 m/s	
较缓流	平均流速 0.3~0.5 m/s	
缓流	平均流速 ≤0.3 m/s	
深潭	最大水深 ≥10 m	个数无较大变化
浅滩	河岸边坡 ≤10°, 5 m 范围内水深 ≤0.5 m	

(4) 适用条件 适用于大中型河流内的水生生物所需生态流量的计算。对中型河流, 上述标准适当降低。

(三) 维持河流水环境质量的<sup>最小</sup>稀释净化水量

1. 7Q10 法

采用 90% 保证率最枯连续 7 d 的平均水量作为河流最小流量设计值。

2. 稳态水质模型

以河流的每一个排污口为河段分界线, 将河流概化为多个河段, 对一般内陆河段, 污染物允许排放量的公式为:

$$W_i = C_s(Q_0 + q_i) - C_0 Q_0 \exp\left(-\frac{Kx_i}{u}\right) \quad (1-5)$$

对潮汐河段和河网化河段, 污染物允许排放量的公式为:

$$W_i = C_s(Q_0 + q_i) - C_0 Q_0 \left[ \exp\left(-\frac{u}{2E_x} (1 \pm \sqrt{1 + 4KE_x/u^2}) x_i \right) \right] \quad (1-6)$$

对整个河段, 总允许纳污量  $W$  等于各河段允许纳污量  $W_i$  之和。

式中:  $W_i$  —— 河段  $i$  污染物允许排放量, g/s;

- $C_s$  —— 从某断面流出的污染物浓度必须满足的水环境质量标准, mg/L;  
 $Q_0$  —— 上游来水流量,  $m^3/s$ ;  
 $q_i$  —— 河段  $i$  污水流量,  $m^3/s$ ;  
 $C_0$  —— 上游来水中的污染物浓度, mg/L;  
 $K$  —— 污染物衰减系数,  $d^{-1}$ ;  
 $x_i$  —— 河段  $i$  混合过程段长度, m;  
 $u$  —— 水体平均流速, m/s;  
 $E_x$  —— 纵向扩散系数,  $cm^2/s$ 。

### 3. 环境功能设定法

根据河流水质保护标准和污染物排放浓度, 推算满足河流稀释、自净等环境功能所需水量的方法。

将河流(河段)划分为  $i$  个小段, 将每一小段看做一个闭合汇水区, 根据水量平衡法及水质模型, 计算每一段的河道需水量  $Q_{wi}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 然后对其求和, 即得整个河流(河段)的环境需水量。其中,  $Q_{wi}$  必须同时满足下列方程:

$$Q_{wi} \geq \lambda \times Q_{wi} \quad (1-7)$$

$$Q_{wi} \geq Q_{ni}(p) \quad (p \geq p_0) \quad (1-8)$$

式中:  $\lambda$  —— 河流稀释系数;

$Q_{wi}$  ——  $i$  小段合理的污水排放总量, 指达标排放的废污水量;

$Q_{ni}(p)$  —— 不同水文年(如多年平均、枯水年、平水年)设定保证率(指月保证率, 如  $p_0=90\%$ 、 $p_0=80\%$ 等)下,  $i$  小段的河道流量。

#### (四) 河道内输沙需水量

$$W_i = S_i / \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \max(c_{ij}) \quad (1-9)$$

式中:  $W_i$  —— 输沙用水量,  $m^3$ ;

$S_i$  —— 多年平均输沙量,  $m^3$ ;

$c_{ij}$  —— 第  $i$  年  $j$  月的月平均含沙量,  $m^3$ ;

$n$  —— 统计年数。

#### (五) 河道蒸发需水量

$$V = H_0 (A - P) \quad (1-10)$$

式中:  $V$  —— 计算时段内水体的净蒸发损失量,  $m^3$ ;

$H_0$  —— 计算时段内水面蒸发深度, m;

$A$  —— 计算时段内水体平均蓄水水面面积,  $m^2$ ;

$P$  —— 计算时段内降雨量, m。

## 二、低温水环境影响评价技术指南

### (一) 水库水温结构的判别方法

#### 1. 参数 $\alpha$ - $\beta$ 判别法

判别式如下:

$$\alpha = \frac{\text{多年平均年径流量}}{\text{水库总库容}} \quad \beta = \frac{\text{一次洪水量}}{\text{水库总库容}} \quad (2-1)$$

当 $\alpha < 10$ 时, 水库水温为稳定分层型;

当 $10 < \alpha < 20$ 时, 水库水温为不稳定分层型;

当 $\alpha > 20$ 时, 水库水温为混合型。

对于分层型水库, 如果遇到 $\beta > 1$ 的洪水, 将出现临时混合现象;

但如果 $\beta < 0.5$ 时, 洪水对水库水温的分布结构没有影响。

#### 2. Norton 密度佛汝德数判别法

Norton 密度佛汝德数判别公式为:

$$Fr = (LQ/HV)(gG)^{-1/2} \quad (2-2)$$

式中:  $Fr$  —— 密度佛汝德数;

$L$ 、 $H$ 、 $V$  —— 分别为水库长度、平均水深和库容;

$Q$  —— 入库流量;

$g$  —— 重力加速度;

$G$  —— 标准化的垂向密度梯度 (量级为  $10^{-3}/\text{m}$ )。

$Fr < 0.1$  时为稳定分层型;  $0.1 < Fr < 1.0$  时为弱分层型或混合型;  $Fr > 1.0$  时为完全混合型。

#### 3. 水库宽深比判别法

水库宽深比判别法公式为:

$$R = B/H \quad (2-3)$$

式中:  $B$  —— 水库水面平均宽度;

$H$  —— 水库平均水深。

当  $H > 15 \text{ m}$ ,  $R > 30$  时水库为混合型;  $R < 30$  时水库为分层型。

### (二) 水库垂向水温估算方法

#### 1. 类比法

采用类比法时, 选用的参证水库在位置上应靠近该工程, 以保证气象要素、水面与大气的热交换等条件相似; 并保证水库工程参数、水温结构类型等相似; 同时, 参证水库还要有较好的水温分布资料。

#### 2. 中国水科院方法

1982 年水科院结构材料所根据大量资料, 拟合出计算水库多年平均水温分布曲线的

公式。公式由库表水温、变温层水温及库底水温三部分组成。当确定了库表和库底水温后，可以用该曲线公式推算水库不同深度处的多年平均水温分布。

计算公式为：

$$\bar{T}_y = \bar{T}_b + \Delta T \left( 1 - 2.08 \frac{y}{\delta} + 1.16 \frac{y^2}{\delta^2} - 0.08 \frac{y^3}{\delta^3} \right) \quad (2-4)$$

式中： $\bar{T}_y$ ——从水面算起深度  $y$  处的多年平均水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\bar{T}_b$ ——库底稳定低温水层的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\delta$ ——温跃层厚度， $\text{m}$ ；

$\Delta T$ ——多年平均库表水温与库底水温的差值， $^{\circ}\text{C}$ 。

这种方法适用于计算年平均水温垂向分布，最好利用类比水库的表层水温、底层水温及温跃层厚度来计算，如果不能类比获得，可参照方法 5 进行估算。

### 3. 水科院朱伯芳公式

通过对已建水库的实测水温的分析，水库水温存在一定的规律性：（1）水温以一年为周期，呈周期性变化，温度变幅以表面为最大，随着水深增加，变幅逐渐减小；（2）与气温变化比较，水温变化有滞后现象，相位差随着深度的增加而改变；（3）由于日照的影响，表面水温存在略高于气温的现象。根据实测资料，1985 年朱伯芳提出了不同深度的月平均库水温变化可近似用余弦函数表示：

$$T(y, \tau) = T_m(y) + A(y) \cos \omega(\tau - \tau_0 - \varepsilon) \quad (2-5)$$

式中： $y$ ——水深， $\text{m}$ ；

$\tau$ ——时间，月；

$T(y, \tau)$ ——水深  $y$  处在时间为  $\tau$  时的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$T_m(y)$ ——水深  $y$  处的年平均温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$A(y)$ ——水深  $y$  处的温度年变幅， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\varepsilon$ ——水温与气温变化的相位差，月；

$\omega$ ——温度变化的圆频率， $\omega = 2\pi/P$ ，其中  $P$  为温度变化的周期（12 个月）；

$\tau_0$ ——年内最低气温至最高气温的时间（月）。见图 5，当  $\tau = \tau_0$  时，气温最高，当  $\tau = \tau_0 + \varepsilon$  时，水温达到最高，通常气温在 7 月中旬最高，故可取  $\tau_0 = 6.5$ 。

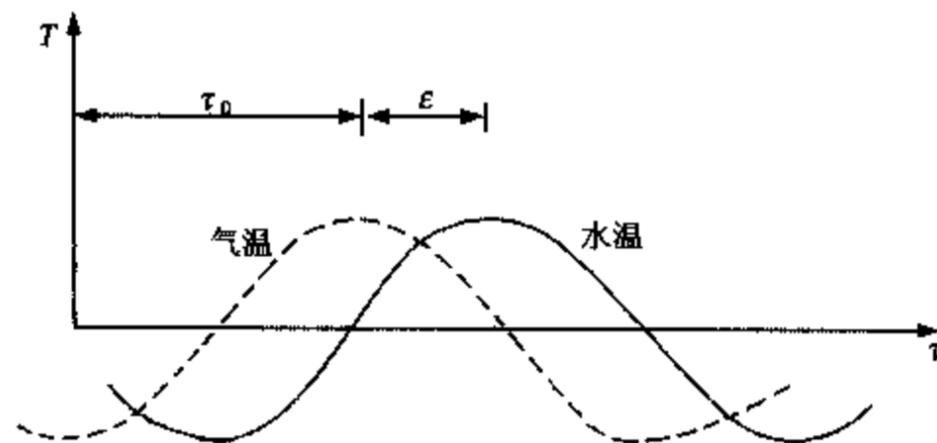


图 5 公式中  $\tau_0$  和  $\varepsilon$  符号示意图

公式中水深  $y$  处的年平均温度的获得见方法 5。

由于该经验公式是依据对国内外多个水库观测资料获得,而这些水库分布范围较广,因此该公式的适用范围也相对宽泛。

#### 4. 东勘院计算方法

《水利水电工程水文计算规范》(SL 278—2002)中,对于水库垂向水温分布计算,推荐东北水电勘测设计院的方法。计算公式如下:

$$T_y = (T_0 - T_b)e^{(-y/x)^n} + T_b \quad (2-6)$$

$$n = \frac{15}{m^2} + \frac{m^2}{35}, \quad x = \frac{40}{m} + \frac{m^2}{2.37(1+0.1m)}$$

$$T_b = T'_b - K'N \quad (2-7)$$

式中:  $T_y$  —— 水深  $y$  处的月平均水温,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_0$  —— 水库表面月平均水温,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$y$  —— 水深,  $\text{m}$ ;

$m$  —— 月份, 1, 2, 3, ..., 12;

$T_b$  —— 水库底部月平均水温,  $^{\circ}\text{C}$ ; 对于分层型水库各月库底水温与其年平均值差别很小,可用年平均值代替;对于过渡型和混合型水库,各月库底水温可用(2-7)式计算,该式适用于  $23^{\circ}\sim 44^{\circ}\text{N}$  地区,式中  $N$  为大坝所在的纬度,  $T'_b, K'$  可通过查表获得,见《水利水电工程水文计算规范》。

该方法应用简单,只需知道库表、库底月平均水温就可计算出各月的垂向水温分布,而且库底和库表水温可由气温—水温相关法或纬度—水温相关法推算。该方法适用于库容系数=调节库容/年径流量  $> 1$  的水库,对于库容系数  $\leq 1$  的水库,计算误差较大。

#### 5. 年平均水温的估算方法

在没有可类比的水库条件下,可采用估算的方法,获得水库表面年平均水温、库底年平均水温和任意深度的年平均水温。

##### (1) 水库表层年平均水温 $T_{\text{表}}$ 估算方法

① 气温与水温相关法 气温与水温之间有良好的相关性。可根据实测资料建立两者之间的相关图,然后由气温推算出水库表层水温。

② 纬度与水库表层水温相关法 水库水温与地理纬度的关系与气温相似。纬度高,水温表层年平均水温就低;纬度低,水库表层年平均水温就高。水库表层年平均水温随纬度变化的相关关系较好,可用已建水库库表水温与纬度的关系插补。

③ 来水热量平衡法 大型水库的热能主要来自两个方面,一是水库表面吸收的热能;二是上游来水输入的热能。在河水进入水库之前,已经和大气进行了充分的热交换,已达到一定水温。水气间的热交换基本达到平衡。因此水库水温主要取决于上游来水的水温,上游来水温度可近似看做为库表水温。这样就可以根据上游来水的流量和水温推算水库表层水温。即:

$$T_{\text{表}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_i T_i}{\sum_{i=1}^{12} Q_i} \quad (2-8)$$

式中:  $T_{\text{表}}$  —— 水库表层水温,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_i$  —— 水库上游多年逐月平均来水量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$T_i$  —— 水库上游来水多年逐月平均水温,  $^{\circ}\text{C}$ 。

④ 朱伯芳公式 对于一般地区 (年平均气温  $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ ) 和炎热地区 (年平均气温  $20^{\circ}\text{C}$  以上), 这些地区冬季不结冰, 表面年平均水温可按下式计算:

$$T_{\text{表}} = T_{\text{气}} + \Delta b \quad (2-9)$$

式中:  $T_{\text{表}}$  —— 水库表面年平均水温,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{\text{气}}$  —— 当地年平均气温,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta b$  —— 温度增量, 一般地区  $\Delta b = 2\sim 4^{\circ}\text{C}$ , 炎热地区  $\Delta b = 0\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

对于寒冷地区 (年平均气温  $10^{\circ}\text{C}$  以下), 采用以下公式:

$$T_{\text{表}} = T_{\text{气修}} + \Delta b \quad (2-10)$$

$$T_{\text{气修}} = 1/12 \sum_{i=1}^{12} T_i \quad (2-11)$$

式中:  $T_{\text{气修}}$  —— 修正年平均气温,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_i$  —— 第  $i$  月的平均气温, 当月平均气温小于  $0^{\circ}\text{C}$  时,  $T_i$  取  $0^{\circ}\text{C}$ 。

### (2) 水库底层年平均水温 $T_{\text{底}}$ 估算方法

① 相关法 库底水温受地理纬度、水深、电站引水建筑物、泥沙淤积、海拔高度、库底温度等因素的影响, 其中又以前两项因素的影响最大。《水利水电水文计算规范》根据十余座水库的情况点绘了纬度、水温和水深三因素相关图。可以采用该图查出拟建水库的库底年平均水温。

② 经验估算法 由于库底水温较库表水温低, 故库底水密度也较库表要大。对于分层型水库来说, 其冬季上游水温度为年内最低, 届时水库表层与底层水温相差较小。因此, 库底水温可以认为近似等于建库前河道来水的最低月平均水温。以此为依据, 可以采用 12、1 月和 2 月的上游来水月平均水温近似作为库底年平均水温, 即:

$$T_{\text{底}} \approx (T_{12} + T_1 + T_2) / 3 \quad (2-12)$$

式中:  $T_{12}$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  —— 分别为 12 月、1 月和 2 月的平均水温。

在一般地区, 库底年平均水温与最低 3 个月的平均气温相似, 库底年平均水温也可以按照上式估算, 式中  $T_{12}$ ,  $T_1$  和  $T_2$  分别为 12 月、1 月和 2 月的平均气温, 其误差约为  $0\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。建议采用的库底年平均水温见表 4:

表 4 建议采用的库底年平均水温

气候条件	严寒 (东北)	寒冷 (华北、西北)	一般 (华东、华中、西南)	炎热 (华南)
$T_{\text{底}}/^{\circ}\text{C}$	4~6	6~7	7~10	10~12

### (3) 任意深度年平均水温 $T_m(y)$ 估算方法

由于年平均水温随水深而递减, 令:

$$\Delta T(y) = T_m(y) - T_{\text{底}} \quad (2-13)$$

在水库表面  $y=0$  时, 有  $\Delta T_0 = T_{\text{表}} - T_{\text{底}}$ , 比值  $\Delta T(y) / \Delta T_0$  随水深而递减。根据一些水库实测资料整理分析, 得到以下关系式:

$$T_m(y) = c + (b - c)e^{-0.04y} \quad (2-14)$$

$$c = (T_{底} - bg) / (1 - g), \quad g = e^{-0.04H} \quad (2-15)$$

式中:  $b = T_{表}$ ;

$H$  —— 水库深度, m。

有了水库表层、底部和任意深度的年平均水温的估算结果, 就可以采用以上水科院公式和东勘院公式等方法, 估算坝前水域垂向温度分布。

以上经验公式法是在综合国内外水库实测资料的基础上提出的, 应用简便, 但需要知道库表、库底水温以及其他参数等, 而通过水温与气温、水温与纬度的相关关系得出的库表和库底水温, 精度不高, 而且预测估算中没有考虑当地的气候条件、海拔高度、水温及工程特性等综合情况, 因此预测结果精度相对较低。水库水温的经验公式法一般适用于水库水温的初步估算, 对于重要工程还应采用更为精细的数学模型方法。

### (三) 水库垂向水温和下泄水温数学模拟方法

#### 1. 水库垂向一维水温数学模型

1960 年代末, 美国水资源工程公司 (WRE, Inc) 的 Orlob 和 Selna 及麻省理工学院 (MIT) 的 Huber 和 Harleman, 分别独立地提出了各自的深分层蓄水体温度变化的垂向一维数学模型, 即 WRE 模型和 MIT 模型。1970 年代中期和后期, 美国的一些研究者又提出了另一类一维温度模型——混合层模型 (或总能量模型), 他们从能量的观点出发, 以风掺混产生的紊动动能和水体势能的转化来说明垂向水温结构的变化, 初步解决了风力混合问题。

(1) 模型方程 一维模型是将水库沿垂向划分成一系列的水平薄层, 假设每个水平薄层内温度均匀分布。对任一水平薄层建立起热量平衡方程:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{TQ_v}{A} \right) = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} \left( AD_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{B}{A} (u_i T_i - u_o T) + \frac{1}{\rho AC_p} \frac{\partial (A\phi_z)}{\partial z} \quad (2-16)$$

式中:  $T$  —— 单元层温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_i$  —— 入流温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A$  —— 单元层水平面面积,  $\text{m}^2$ ;

$B$  —— 单元层平均宽度, m;

$D_z$  —— 垂向扩散系数,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$\rho$  —— 水体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$C_p$  —— 水体等压比热,  $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

$\phi_z$  —— 太阳辐射通量,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$u_i$  —— 入流速度, m/s;

$u_o$  —— 出流速度, m/s;

$Q_v$  —— 通过单元上边界的垂向流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

在库表存在水气界面的热交换, 表层单元的热量平衡方程为:

$$\frac{\partial T_N}{\partial t} + \left( \frac{T}{V} \frac{\partial V}{\partial t} \right)_N = \left[ \frac{B}{A} (u_i T_i - u_o T) \right]_N + \frac{Q_{v, N-1} T_{Q_v}}{V_N} - \left( \frac{A}{V} D_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)_{N-1} + \left( \frac{A \phi}{\rho C_p V} \right)_N \quad (2-17)$$

式中:  $\phi$  —— 表层通过水气界面吸收的热量,  $\text{W/m}^2$ ;

$V$  —— 单元层体积,  $\text{m}^3$ ;

$T_{Q_v}$  —— 取值与  $Q_{v, N-1}$  的方向有关, 若  $Q_{v, N-1} > 0$  (向上), 则  $T_{Q_v} = T_{N-1}$ , 反之  $Q_{v, N-1} < 0$  (向下), 则  $T_{Q_v} = T_N$ ,  $^{\circ}\text{C}$ 。

考虑水库入流、出流的影响, 水面热交换, 各层之间的热量对流传导, 风的影响等。

(2) 垂向一维模型适用条件 垂向一维水温模型综合考虑了水库入流、出流、风的掺混及水面热交换对水库水温分层结构的影响, 其等温层水平假定也得到许多实测资料的验证, 在准确率定其计算参数的情况下能得到较好的模拟效果。但一维扩散模型 (即 WRE、MIT 类模型) 对水库中的混合过程特别是表层混合描述得不充分。混合层模型对于风力引起的表面水体掺混进行了改进。垂向一维模型忽略了各变量 (流速、温度) 在纵向上的变化, 这对于库区较长、纵向变化明显的水库不适合。而且垂向一维模型是根据经验公式计算的入库和出库流速分布, 再由质量和热量平衡来决定垂向上的对流和热交换, 这种经验方法忽略了动量在纵向和垂向上的输运变化过程, 其流速与实际流速分布差异很大, 应用于有大流量出入的水库将引起较大的误差。另一方面一维模型的计算结果对于垂向扩散系数敏感, 垂向扩散系数与当地的流速、温度梯度相关, 各种经验公式尚不具备一般通用性, 流速的误差也将进一步影响垂向扩散系数的准确性。因此垂向一维模型更适用于纵向尺度较小且流动相对较缓的湖泊或湖泊型水库的温度预测。

## 2. 垂向二维水库温度模型

### (1) 模型方程

① 状态方程 对于常态下的水体, 可忽略压力变化对密度的影响, 密度与温度的关系可表示为:

$$\frac{\rho - \rho_s}{\rho_s} = -\beta(T - T_s) = -\beta\Delta T \quad (2-18)$$

式中:  $\beta$  —— 等压膨胀系数,  $1/^{\circ}\text{C}$ ;

$\rho$  —— 密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$T$  —— 温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\rho_s, T_s$  —— 参考状态的密度和温度。

对于天然水体, 密度与温度的函数关系可近似为

$$\begin{aligned} \rho = & (0.102027692 \times 10^{-2} + 0.677737262 \times 10^{-7} \times T - 0.905345843 \times 10^{-8} \times T^2 \\ & + 0.864372185 \times 10^{-10} \times T^3 - 0.642266188 \times 10^{-12} \times T^4 \\ & + 0.105164434 \times 10^{-17} \times T^7 - 0.104868827 \times 10^{-19} \times T^8) \times 9.8 \times 10^5 \end{aligned} \quad (2-19)$$

根据 Boussinesq 假定, 在密度变化不大的浮力流问题中, 只在重力项中考虑密度的变化, 而控制方程的其他项中不考虑浮力作用。

$$\frac{\partial}{\partial t}(BT) + u \frac{\partial}{\partial x}(BT) + w \frac{\partial}{\partial z}(BT) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Bv_e}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{Bv_e}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial B\phi_z}{\partial z} \quad (2-21)$$

式中:  $\sigma_T$  —— 温度普朗特数, 取 0.9;

$C_p$  —— 水的等压比热,  $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ;

$\phi_z$  —— 穿过  $z$  平面的太阳辐射通量,  $W/m^2$ 。

(2) 边界条件 水面热通量的计算与垂向一维模型中方法相同。

进口边界的水温采用库尾水温, 速度假定为均匀流速,  $k$ 、 $\epsilon$  可分别由入流速度近似计算

$$k = 0.00375u^2, \quad \epsilon = k^{1.5}/(0.4H_0) \quad (2-22)$$

式中:  $H_0$  —— 进口处水深, m。

假定出口断面为充分发展的湍流, 有  $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial k}{\partial x} = \frac{\partial \epsilon}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial x} = 0$ ,  $w = 0$ 。水面可根据情况采用“刚盖假定”, 或自由水面条件。库底和坝体表面采用无滑移边界条件, 且为绝热边界。

(3) 垂向二维温度模型适用性 垂向二维水温模型适用于水流和水温横向变化不大的水库, 模型能较好地模拟湍浮力流在垂向断面上的流动及温度分层在纵向上的形成和发展过程, 以及分层水库最重要的特征的沿程变化, 如纵垂向平面上的回流、斜温层的形成和消失及垂向温度结构等。垂向水温扩散和交换, 可根据精度要求, 可采用常数或经验公式计算, 也可采用动态模拟。由于计算稳定性好, 且模型中需率定的参数少, 使得该模型具有良好的工程实用性, 对预测有明显温度分层的大型深水库的水温结构及其下泄水温过程具有良好的精度。

当然相对于垂向一维模型来说, 垂向二维模型所需资料更多, 计算工作量也增大很多, 计算成本增加, 因此该模型不适用于快速的估算, 建议对大型深水库和一些关键性工程采用二维模型进行模拟。

### 3. 三维水温模型

国内外大量的研究资料表明, 在一般情况下, 应用二维水温预测数学模型可更好地模拟水库流速场和温度场。但二维水温预测数学模型要求水流流动在横向变化不大, 而在实际水库流动过程中, 特别是在水库大坝附近区域, 由于水电站引水发电以及泄洪洞泄洪的影响, 坝前附近水流具有明显的三维特征, 流速场和温度场变化较大, 在此区域可考虑采用三维水温模型进行模拟。

(1) 模型方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (2-23a)$$

$$\frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) - \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla U) = \nabla p' + \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla U)^T + B \quad (2-23b)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U H + \overline{\rho u H} - \lambda \nabla T) = 0 \quad (2-23c)$$

$$p' = p + \frac{2}{3} \rho k \quad (2-23d)$$

$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t \quad (2-23e)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U k) = P_k - \beta' \rho k \varpi + \nabla \varpi \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k3}} \right) \nabla k \right] \quad (2-23f)$$

$$\frac{\partial(\rho \varpi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \varpi) = \alpha_3 \frac{\varpi}{k} P_k - \beta_3 \rho \varpi^2 + \nabla \cdot \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\varpi 3}} \right) \nabla k \right] + (1 - F_1) 2 \rho \sigma_{\varpi 2} \frac{1}{\varpi} \nabla k \nabla \varpi \quad (2-23g)$$

$$v_t = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1 \varpi, S F_2)} \quad (2-23h)$$

式中:  $\rho$  —— 流体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$t$  —— 时间,  $\text{s}$ ;

$U$  —— 平均速度,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$B$  —— 总体积力;

$H$  —— 焓;

$p'$  —— 校正压力;

$\mu_{\text{eff}}$  —— 有效动力黏性系数,  $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ;

$\mu$  —— 分子黏性系数;

$\mu_t$  —— 紊动动力黏滞系数;

$K$  —— 紊动动能;

$\varpi$  —— 紊动频率;

$\beta'$ 、 $\sigma_{k3}$ 、 $\alpha_3$ 、 $\beta_3$ 、 $\sigma_{\varpi 3}$ 、 $\sigma_{\varpi 2}$  —— 模型系数, 分别取值为:  $\beta' = 0.09$ ,  $\sigma_{\varpi 2} = 1.17$ ,  
 $\alpha_3 = 0.44 - 0.12 F_1$ ,  $\beta_3 = 0.0828 + 0.0078 F_1$ ,  
 $\sigma_{k3} = 1 - F_1$ ,  $\alpha_{\varpi 3} = 1.17 - 0.83 F_1$ ,  $\alpha_1 = 0.56$ ;

$S$  —— 应变率常量。

函数  $F_1$ 、 $F_2$  由离壁面的距离  $y$  和水流流动的水力学参数来确定。

采用 Boussinesq 假定, 在密度变化不大的浮力流动问题中, 只在重力项中考虑密度的变化, 而在控制方程中的其他项中不考虑浮力作用。

(2) 边界条件 三维水温模型的边界条件与垂向二维模型类似, 只是在开放边界上,  $y$  方向流速和水温条件不是均化处理, 而可以给定分布。

(3) 三维温度模型适用性 由于所有的紊流问题均为三维问题, 因此三维温度模拟, 对于水库水温结构计算和下泄水温计算, 均具有精度高的优势。但是, 对于大水体中的三维紊流和水温分布模拟, 由于天然复杂的地形、计算稳定性的要求, 需要合适地划分计算网格, 就会产生计算工作量大、要求资料全等困难, 一般情况下采用二维模型显得不够经济。但对于要求计算精度较高的水域范围, 在有条件的情况下, 最好采用三维模型进行计算。

对于水库垂向水温和下泄水温数值计算，不论是采用垂向一维模型、垂线二维模型，还是三维模型，都要对模型水动力学计算参数和水温计算参数，进行率定和验证，符合一定精度要求后，方可用于预测模拟计算。

### 三、过鱼设施环境影响评价技术指南

鱼类的洄游是一种有一定方向、一定距离和一定时间的变换栖息场所的运动。这种运动通常是集群的、有规律的、有周期性的，并具有遗传的特性。依据洄游的目的，可以将洄游分为索饵洄游、越冬洄游和产卵洄游。拦河筑坝会阻断或延滞鱼类的洄游，造成栖息地的丧失或改变，导致鱼类的减少甚至是灭绝。目前多采用过鱼设施来缓解这种现象。

#### （一）国内外过鱼设施发展概况

在欧洲修建鱼道的历史有 300 多年，1662 年法国西南部的 Bearn 省曾颁布规定，要求在坝、堰上建造供鱼上下行的通道。当时已有一些简单的鱼道。19 世纪末到 20 世纪初，挪威人 Landmark、比利时人 Denil 对斜槽加糙物进行长期的研究，其中“Denil”式鱼梯至今还在沿用。1938 年美国在哥伦比亚河的 Bonneville 坝上建成世界上第一座拥有集鱼系统的大规模现代化鱼梯。以后各国又相继出现了升鱼机、鱼闸、集鱼船等过鱼设施。据不完全统计，至 1960 年代初期，美、加两国有过鱼设施 200 座以上，西欧各国 100 座以上，前苏联有 18 座以上，日本在 1933 年就有 67 座。1980 年代以后，经过不断完善，过鱼效果显著提高。我国过鱼设施研究始于 1958 年，至今 50 多年的历史，已建成小型鱼梯 40 多座，并在沿江、沿海闸门上开设过鱼窗或过鱼闸门，实施“灌江纳苗”。纵观国内外鱼道发展历史，鱼道发展是一个不断试验研究、不断工程实践、不断优化设计、逐渐达到良好过鱼效果的过程。

#### （二）过鱼设施类型

世界范围内已经设计建造了多种过鱼设施，国外有学者提出如下分类体系：

- （1）水渠式鱼道，如平面式鱼道、导墙式鱼道、阶梯式鱼道等；
- （2）捞扬式鱼道（升鱼机式鱼道）；
- （3）闸门式鱼道；
- （4）特殊鱼道。

从发展的趋势来看，捞扬式鱼道有望成为高坝过鱼的途径，闸门式鱼道被广泛应用于河口大堰及河流中下游通江湖泊出口节制闸。河流中上游地区大部分采用水渠式鱼道特别是阶梯式鱼道。平面式和导墙式鱼道已渐成过去。

我国的学者在 1980 年代也提出了如下过鱼设施分类系统：

- （1）鱼梯，如直墙式鱼梯、导墙倾斜式鱼梯、深导墙式鱼梯、池式鱼梯、丹尼尔式鱼梯等；
- （2）鱼闸（闸门式鱼道）；
- （3）升鱼机与索道式鱼道；

(4) 集鱼船;

(5) 特殊鱼道, 如鳗鱼梯、浮鱼梯、幼香鱼鱼梯、管道式鱼梯、过鱼闸窗等。

鱼梯或水渠式鱼道的基本设计原理都是一致的, 有的形式结构是从另一种形式结构改良而来, 因此简单地将其归纳为槽式鱼道和池式鱼道两种类型。合适鱼道的选择取决于鱼的种类、水力条件、蓄水位、费用和其他因素。

### (三) 几种主要过鱼设施的结构

#### 1. 过鱼闸(窗)

在与江河隔离的湖泊、河闸门处, 采用过鱼闸(窗)纳入鱼、蟹苗种, 补充水产资源的方法称开闸(窗)纳苗。在长江流域颇为盛行, 并有一定效果。

过鱼闸(窗)的型式有如下几种:

(1) 纳苗窗: 在原闸门专设供纳苗用的窗口, 如武汉市的武太闸, 安徽省的裕溪闸。窗口位置视汛期水位而定, 可设上、下两个窗口。人力或机械启闭均可。此窗口操作方便, 具有进水少、纳苗多的优点。

(2) 两节闸门: 把原闸门分割成上、下两块, 加固后, 上半闸门可单独启闭进行纳苗。如湖北省汉阳县黄矾闸、阳新县富池闸。该闸适用于水位稳定处, 水位太高或太低时均无法使用。

(3) 分节闸板: 在预备闸中改装分节闸板, 一般分成 2~3 块, 按闸外水位变动, 调节闸板数目进行纳苗。

#### 2. 水渠式鱼道(鱼梯)

(1) 槽式鱼道: 槽式鱼道有斜行导水堤、简单槽式、丹尼尔式。槽式鱼道是一种上、下游的斜槽, 槽内沿边壁或底壁设置各种形式的加糙部件, 以增加水流阻力, 减缓流速, 便于鱼类向上溯游。世界上第一个丹尼尔式鱼道, 产生于 1909 年。比利时人 Denil 为了让 Salmon 鱼通过 Ourthe 河流上的 Angleur 大坝所设计。其目的就是通过一系列的隔板降低水流, 从而达到让鱼类通过的目的。这些隔板的形状种类很多, 能引起水流产生螺旋状的回流, 从而较大地降低水流速度, 且一直沿用至今。

(2) 池式鱼道: 池式鱼道有阻流隔板式、竖缝式、变形槽式、水池式等几种类型。其内部设有各式隔板, 将水槽分隔成一系列互相沟通的水池, 有时成阶梯式。隔板上设有潜(底)孔或溢流孔, 或者两者兼有, 以供鱼、蟹通行。

槽式鱼道结构简单, 节省费用, 仔幼鱼易于降河; 但鱼道流速大, 无休息池, 只能建在低水头处, 适用于鲑、鳟鱼。池式鱼道结构复杂, 费用较大, 池室多, 可设休息池, 流速小, 鱼类易上易下; 但流态复杂, 常使上溯鱼类延搁太久。

#### 3. 鱼闸

鱼闸的运作原理同船闸相同。这种鱼道一般有两个闸室, 一个位于坝的上首, 另一个位于坝的底部, 上、下两端闸门交错启闭进行过鱼, 两者由斜井或竖井相连接。每隔一定时间, 关闭底部闸室。底部闸室关闭时, 闸室内水位上升, 闸室中的鱼群可沿斜井往上游, 并通过上闸室的溢水闸游出。

鱼闸过鱼省力省时, 适用于游泳能力差的鱼类。一般认为每级为 6 m 左右, 高水头可采用多级闸室。占地少, 但容纳鱼数量大, 并可与船闸并用, 造价低。其缺点是过鱼

不连续，仅适用于过鱼量不多的枢纽；机动设备多，维修费用大。

#### 4. 升鱼机

升鱼机适宜建在高坝上，其基本形式有两种，一种是单线，另一种是双线。与其他类型的过鱼设施相比，升鱼机的主要优点在于它们的建设费用低，即实际费用跟大坝的高度无关；总体积小；对上游水位变化的敏感度低。升降机的主要缺点就是它的运行及维修的费用很高。

#### 5. 集运鱼船

集运鱼船即“浮式鱼道”，可移动位置，适应下游流态变化，移至鱼类高度集中的地方诱鱼、集鱼。集运鱼船由集鱼船和运鱼船两部分组成，即由两艘平底船组成一个“鱼道”。集鱼船驶至鱼群集区，打开两端，水流通过船身，并用补水机组使其进口流速比河床流速大  $0.2\sim 0.3\text{ m/s}$ ，以诱鱼进入船内，通过驱鱼装置将鱼驱入紧接其后的运鱼船，即可通过船闸过坝后将鱼放入上游。

#### 6. 索道式鱼道

在水位变化大的高坝，可采用一种升鱼索道进行过鱼。如美国俄勒冈州的 Round Butte 坝就有这种装置。它由集鱼装置、吊桶、索道三部分组成，其工作运转靠电站出水口用水泵抽吸  $5.7\text{ m}^3/\text{s}$  造成人工水流，将鱼诱入蓄鱼槽，然后通过模槽将鱼导入吊桶，而后吊桶徐徐上升，越过坝顶卸鱼于水库再复位。一个行程所需时间为  $30\sim 40\text{ min}$ 。鱼的下行装置是一种戽斗，在水库水面造成  $11.3\text{ m}^3/\text{s}$  人工水流，诱鱼入戽斗，当戽斗满水后，门和自动阀门开启，鱼被送到出水口卸放。

#### 7. 特殊鱼道

特殊鱼道均为特殊对象而设，如香鱼道、鳗鱼道等。香鱼道为幼香鱼梯，兼捕幼香鱼。鳗鱼道是一种独特装置，在各型式鱼梯侧墙设置鳗洞或建筑成特殊结构的鳗鱼梯。

### (四) 鱼道设计的技术参数

鱼道位置通常根据其河流落差而定，一般来说，河流落差在  $50\text{ m}$  以下的，在河道的任何一旁设置均可，而水头  $100\text{ m}$  以上的必须在两岸同时设置。鱼道应根据过鱼对象进行具体设计，不同的鱼类有不同的要求。但为了保证过鱼设施有良好性能，应满足一些基本要求：

#### 1. 鱼道入口

鱼道入口必须易被鱼类所发现，有利于鱼类集结。近年来都将入口布置在电站尾水口上方，利用电站泄水诱鱼，或者布置在溢洪道侧旁。当鱼道延伸至河道当中时，入口不能超过河床太高，应与河床斜坡衔接，入口处水深至少  $1\sim 1.5\text{ m}$ 。

入口有足够大小，一般要求等于鱼道宽度。对垂直隔板与孔口式鱼道，其入口宽度可以小于鱼道宽度。加拿大渔业部和国际太平洋鲑渔业协会（1995 年）建议孔口以  $0.50\sim 1\text{ m}^2$  为宜，每个孔口流量保持在  $0.68\sim 2.7\text{ m}^3/\text{s}$ 。入口流速造成诱鱼条件，诱鱼流速应高于起点流速，而低于临界流速，如鲟科鱼类最适宜流速为  $0.6\sim 0.8\text{ m/s}$ ，闪光鲟为  $0.5\sim 0.7\text{ m/s}$ ，鲑鱼为  $0.8\sim 1.0\text{ m/s}$ 。

#### 2. 鱼道流速

鱼道流速应适合各种主要鱼类洄游通过。鱼道中流速与大坝水头及鱼的静水临界游

速有关。对于鲑鱼，鱼道内允许流速为鲑鱼在静水中临界流速的 1/3，约为 1.52 m/s，鲤属鱼约 0.4 m/s，鲃属鱼约 2.4 m/s，香鱼约 1.2 m/s。在河流梯级开发中，位于下游鱼道允许流速可略大于上游鱼道的允许流速。当鱼道为多种过鱼对象设计时，以溯游能力最差的一种对象的允许流速为标准。

### 3. 鱼道尺寸

鱼道尺寸是指鱼道总长度、池室大小、过鱼孔大小等。鱼道总长度取决于鱼道运行水位差，隔板间距，休息池和允许流速等因素。若鱼道池室大小已定，每隔 10 块隔板设一休息池，休息池为普通池室一倍大小，则鱼道有效总长度 ( $L$ ):

$$L=1.1n \times \Delta l$$

式中:  $\Delta l$  —— 隔板间距;

$n$  —— 池室数目。

鱼道长度应适中，避免因鱼道过长引起过坝鱼类肌肉乳酸积累过多而中毒。鱼道宽由过鱼量和河道宽决定。日本鱼道宽为河道宽的 4%~5%，有的 3~5 m，有的 2~3 m，有的 10 多 m，不等。

池室长取决于隔板消能效果、鱼体力消耗及休息条件，与鱼体大小及习性有关。假定池室长为  $L$ ，孔口宽为  $B$ ，一般  $L=(1.2\sim 1.5)B$ 。式中  $1.2B$  适用于孔口流速小于 1.0 m/s 的情况。当流速大时，可取  $1.2\sim 1.5B$ ，或更大。

过鱼孔大小应不小于拟通过鱼类胸鳍水平展开距离，以满足鱼类自由游泳需要。同时，避免鱼道中流速扰动过大，要求水池消能好，一般至少取 0.3 m；若鱼道宽大，至少取 0.5 m。池室水深主要视鱼类习性而定，表层型鱼可小些，底层型鱼类可大些，一般取 1.5~2.5 m。

### 4. 出口布置

鱼道出口要求布置在水较深（至少 1 m）和流速较小的地点，位置设在最低水位线下，便于亲鱼上溯。在任何水位情况下，进入鱼道最上一级泄水的流量均能保持大致不变，使鱼道能连续运转。或者使用一种鱼道和输鱼渠相结合的出口控制系统。它能适应水库水位的大幅度变动，使亲鱼通过出口控制系统上溯，又能在同一系统中为向下游降河鱼类提供进口通道，并引导幼鱼通过鱼道游到水库下游。

鱼道出口在溢水区附近比较好，不应过于靠近电厂和溢洪道进口。为了防止漂浮物进入，可在出口布置拦污栅。

池式鱼道出口流量的估计可以按下式计算:

$$Q=Cd \cdot S \cdot (2g \cdot DH)^{0.5}$$

式中:  $Q$  —— 出口流量,  $m^3/s$ ;

$S$  —— 出口的面积,  $m^2$ ;

$g$  ——  $9.81 m/s^2$ ;

$DH$  —— 池间落差;

$Cd$  —— 出口效率系数, 一般取 0.65~0.85。

在具体的设计过程中, 可以根据不同的过鱼类型选择不同的鱼道, 从而计算不同的

尺寸。

### **5. 其他条件**

各种鱼类喜光性不一，鱼道要根据过鱼对象的要求采光。如鳗鱼要求在黑暗条件下过鱼，香鱼可建明鱼道，鲑鱼道要求水深一些。此外，鱼道还应设有导鱼设备、观察计数设备、闸门、检修及照明设备等。

总之，在鱼道设计时，首先要重视鱼类生态学研究，要实地调查这类建筑物的使用效果和存在问题。在细部设计中，大多需通过模型实验确定有关参数。