

(12)

输水建筑物

肋拱渡槽

优化设计

第16卷第2期

水利水电科技进步

1996年4月

43-44, 50

模拟坐标法

肋拱渡槽优化设计研究

张发祥

张旭明

(河海大学 南京 210098)

TV 672.3

A

摘要 本文运用工程结构优化设计理论对排架式肋拱渡槽进行优化设计研究。将渡槽造价作为目标函数,反映整体布置的参数如矢跨比、排架间距等以及局部变量如拱肋尺寸、配筋率等作为设计变量,采用模拟坐标法实行分层优化。数值计算表明了方法的正确性与有效性。

关键词 肋拱渡槽 优化设计 模拟坐标法 协调变量 局部变量

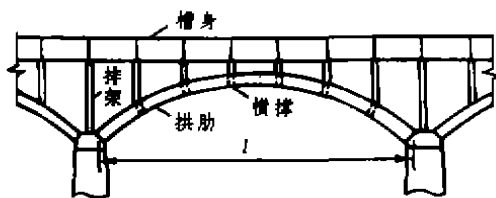
渡槽是输送渠道水流跨越河渠、道路、山冲、谷口等的架空输水建筑物。拱式渡槽由于其主要受力特点是主拱圈将拱上铅直荷载转变为轴向压力,并给墩台以水平推力,而拱内弯矩则较小,故其跨度较大,可达百米以上。拱式渡槽成为工程中较为广泛的渡槽型式之一。拱式渡槽的设计应使整个工程做到安全、经济、合理而又美观,重要的工程应通过方案比较,选择最优方案。

本文运用工程结构优化设计理论对排架式肋拱渡槽的整体布置如拱肋的矢跨比、排架间距等以及拱肋的横截面尺寸、配筋率等进行优化设计。为工程设计单位提供优化设计理论和设计方法,以便参考使用。

1 肋拱渡槽优化设计的数学模型

如附图所示的肋拱渡槽,拱上结构为排架式,槽身搁置于排架顶上,排架固接于主拱圈上。

为适应主拱圈的变形和因温度变化而产生的胀缩,用变形缝将一个拱跨上的槽身分



附图 肋拱渡槽简图

为若干节,每一节支承于两个排架上,纵向支承形式可以是简支式或等跨双悬臂式。

排架对称布置于拱上,其间距大小主要视主拱跨度而定,间距小则排架工程量增加,但可以减小槽身跨度,传给主拱圈的荷载也比较均匀,可以改善槽身和主拱圈的受力条件。

主拱圈是支承结构中的主要承重结构,拱上槽身重量通过排架传递给主拱圈,主拱圈两端拱脚一般固接在墩台顶部。

综上所述,将肋拱的基本尺寸即矢跨比、断面尺寸、配筋率以及拱上排架间距等取为设计变量。

肋拱渡槽优化设计的目标是在安全的前提下最经济,因此,将肋拱渡槽的造价作为目标函数,其中包括排架的造价及主拱圈的造价。

a. 肋拱渡槽的优化设计数学模型可表达为

求设计变量 $|X|$

使目标函数 $F(|X|) \rightarrow \min$

满足约束条件 $R_j(|X|) \leq 0$

设计变量 $|X| = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]^T$, 分别表示主拱圈的矢跨比、拱上排架间距及拱肋的宽度、拱顶高度、配筋率。

b. 目标函数为

$$F(|X|) = \sum_i C_g A_i l_i R_i + \sum_i C_k b h_i l_i + \sum_i C_g A_i' l_i R_i + \sum_i C_k W_k H_k l_i$$

式中 C_k 为单位体积混凝土价格; C_g 为单位重量钢筋价格; R_s 为钢筋比重; A_s 为拱肋钢筋面积, 它是设计变量 x_s 的函数; b 为拱肋宽度, 即为 x_3 ; h_s 为拱肋的高度, 它是设计变量 x_4 的函数; l_s 为拱肋计算分段长度, 它是设计变量 x_1, x_2 的函数; A_s' 为排架钢筋面积; W_k 为排架截面的宽度; h_k 为排架截面的高度; l_s 为排架的高度, 它是设计变量 x_1, x_2 的函数。

c. 约束条件主要包括: ①几何约束, 这部分约束反映了工程中的一些经验及施工条件等对各部分尺寸的限制; ②强度条件约束; ③配筋率条件约束。

几何约束: $x_i^L \leq x_i \leq x_i^U$ 。

强度条件约束, 大偏心受压为

$$N \leq f_{cm} \zeta b h_0,$$

$$N_e \leq f_{cm} a_b b h_0 + f_y A_s' (h_0 - a_s');$$

小偏心受压时为

$$N \leq f_{cm} \zeta b h_0 + f_y A_s' \frac{\zeta - \zeta_b}{0.8 - \zeta_b},$$

$$N_e \leq f_{cm} \zeta (1 - 0.5 \zeta) b h_0^2 + f_y A_s' (h_0 - a_s');$$

式中 f_{cm} 为混凝土弯曲抗压强度设计值; f_y, f_y' 为钢筋抗拉、抗压强度设计值; A_s, A_s' 分别为受拉、受压钢筋面积, 这里采用对称配筋, 故有 $A_s = A_s'$; ζ 为相对受压区高度; ζ_b 为界限受压区高度; a_s 为截面抵抗系数; h_0 为截面有效高度。

配筋率约束: $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$ 。

2 优化方法

肋拱渡槽的优化是一个较为复杂的结构优化设计问题, 它既有整体设计变量, 如拱肋矢跨比及排架间距等; 又有局部设计变量, 如拱肋的横截面尺寸及配率等。本文采用模拟坐标法, 将设计变量按层次分解, 实行分层优化。

将设计变量分解为整体设计变量和局部设计变量: $\{X\} = \{\{G\}, \{L\}\}^T$, 其中 $\{G\} = [x_1, x_2]^T$ 称为协调变量或干扰变量; $\{L\} = [x_3, x_4, x_5]^T$ 称为局部变量。分解的结果

使原问题的目标函数和约束条件成为

$$F(\{X\}) = f(\{G\}, \{L\})$$

$$R_j(\{X\}) = r_j(\{G\}, \{L\})$$

原问题可叙述为:

求设计变量 $\{\{G\}, \{L\}\}^T$

使目标函数 $f(\{G\}, \{L\}) \rightarrow \min$

满足约束条件 $\{G^L\} \leq \{G\} \leq \{G^U\}$

$$\{L^L\} \leq \{L\} \leq \{L^U\}$$

$$r_j(\{G\}, \{L\}) \leq 0$$

这样, 原问题便转化为两层问题。

a. 第一层问题。首先选取满足约束条件的 $\{G^0\}$, 则第一层问题的优化可叙述为:

求设计变量 $\{L\}$

使目标函数 $f(\{G^0\}, \{L\}) \rightarrow \min$

满足约束条件 $\{L^L\} \leq \{L\} \leq \{L^U\}$

$$r_j(\{G^0\}, \{L\}) \leq 0$$

b. 第二层问题。令 $\{L\} = \{L^*\}$, $\{L^*\}$ 为第一层问题的最优解, 则第二层问题的优化可叙述为:

求设计变量 $\{G\}$

使目标函数 $f(\{G\}, \{L^*\}) \rightarrow \min$

满足约束条件 $\{G^L\} \leq \{G\} \leq \{G^U\}$

显然, 第二层问题还有一个附加约束, 即求解 $\{G^*\}$ 时应使第一层问题有解。

综上所述, 分层优化的具体过程为:

a. 选定协调变量初始值 $\{G^0\}$;

b. 求解第一层优化问题, 得 $\{L^*\}$;

c. 对 $\{L^*\}$, 求解第二层优化问题;

d. 重复步骤 b, c, 直至收敛。

上述每层优化问题, 可采用比较成熟的优化算法, 比如求解非线性规划的直接法——复合形法。

3 算例

浙江某肋拱渡槽, 其基本尺寸为跨度 31 m, 矢高 6.2 m, 排架间距 4.43 m, 拱肋断面尺寸为宽 0.45 m, 高 0.65 m, 荷载情况为槽身满水及自重作用。原设计和优化设计的成果比较见附表。

(下转第 50 页)