

轻质微膨胀混凝土在拱桥加固中的应用研究

许汉铮¹, 李树东², 韩万水¹

(1. 长安大学公路学院 西安市 710064; 2. 山东省德州市公路局)

摘 要: 将自行研究配制的轻质微膨胀混凝土应用于拱肋的加固。推导出了膨胀剂作用下组合截面应力重分布计算公式,并考虑收缩、徐变的效应,对加固后的拱圈应力进行了计算,并与实测值进行了比较。此外,通过荷载试验检验,说明轻质混凝土完全可用于桥梁的主要承重结构。

关键词: 轻质微膨胀混凝土; 拱肋加固; 膨胀剂作用; 收缩徐变; 应力

纵观世界桥梁建筑的发展,与社会生产力的发展、工业水平的提高、施工技术的进步、数学、力学理论的进展以及计算技术的改革等方面都有关系,但与建筑材料的改革关系最为密切。当今世界混凝土用量越来越大,应用范围越来越广,而轻质、高强、多功能是混凝土发展的一个主要方向。对于轻质混凝土这种新型材料,在国外城市立交、大中跨桥梁、高层建筑以及各种工业与民用建筑中已大量应用,取得了令人瞩目的成就。美国土木工程建筑实践已证明含有轻骨料的混凝土既能用于桥梁结构的主要部件,又能用于直接承受车辆荷载的桥面结构。美国著名的休斯敦贝壳广场大厦和本尼西亚马丁内斯大桥使用轻质混凝土取代原设计选用的普通混凝土后,取得了显著的效益。而 parrot's 渡口桥是一座采用无支架悬臂施工的轻质混凝土箱形拱桥(3 跨结构,主跨 195 m,全长 343 m,主墩高 76 m)。此桥是当时西半球最长的混凝土箱形拱桥,墩身采用普通混凝土,梁体结构全部采用加州 costa 港产的膨胀页岩作骨料的轻质混凝土。现在该桥仍是世界上最大的轻质混凝土桥。德国、英国、荷兰、挪威等国在轻质混凝土的应用上也有较高水平。在国内,以清华大学、同济大学、中国建筑材料科学研究院等为代表的科研院所在轻质混凝土的应用方面做了许多研究,取得了一定的成果。国内目前轻质混凝土在建筑中应用较多,但用于砌体、剪力墙等占大部分,用于主要承重结构(如梁、柱)的较少。总之,目前国内在轻质混凝土的应用研究方面仍有不足,在工程中应用尚处于

初级阶段,在桥梁工程方面,还没有相关的应用规程和规范,工程运用实例很少。

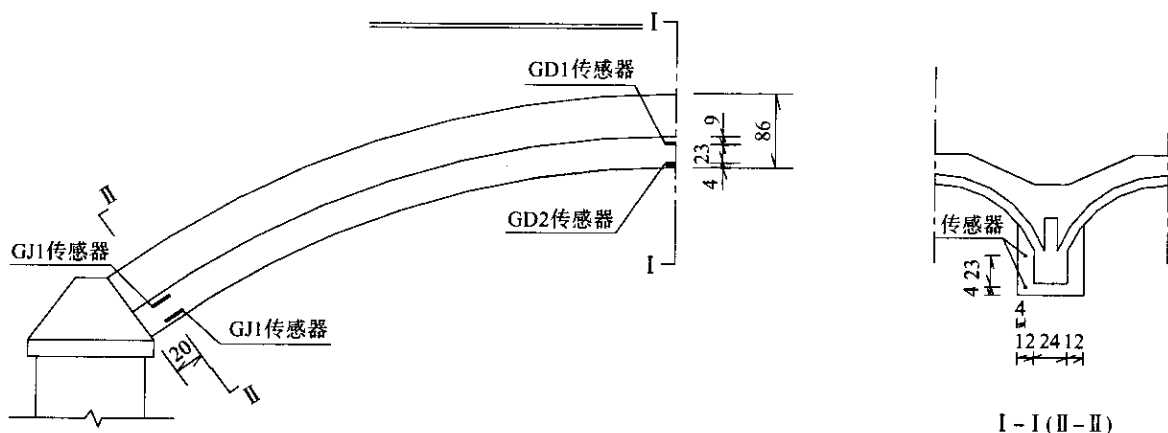
随着我国公路交通事业的蓬勃发展,在建设大量桥梁的同时,对众多旧桥进行维修加固以及进行技术改造也日显重要,在这些新建桥梁以及旧桥加固中,采用新材料、新技术、新工艺成为当前的重要课题。本文以湖北省某旧桥加固为工程依托,将自己配制的强度等级为 CL40、密度等级为 1800 的轻骨料高强度混凝土,应用于旧拱肋的加固和新拱圈的建造中,通过对预埋传感器的长期观测值的计算分析以及加固完成后静动载试验,研究轻质微膨胀混凝土的加固效果。

1 传感器埋设

本文实例桥结构形式为 4 孔一联、共 3 联 12 孔的双曲拱桥,针对大桥原有设计承载能力已无法满足目前车辆通行的需要,拱肋破损程度严重等问题,决定用钢筋混凝土外包加大原拱肋,同时在桥梁两侧对称设置独立箱肋的方法进行加固。为了对比不同材料的加固效果,3 联的加固材料分别采用普通混凝土、普通微膨胀混凝土、轻质微膨胀混凝土。混凝土应变的采集采用混凝土应变计,埋设位置分别在每 1 联第 2 孔中间拱肋的拱顶和拱脚。具体埋设位置如图 1 所示。

2 拱肋应力计算

由于传感器在混凝土浇注前预先绑扎于相应位



单位: cm

图 1 混凝土应变计埋设位置

置, 浇注后传感器随同新加固混凝土一同发生变形。所以, 埋入轻质微膨胀混凝土和普通微膨胀混凝土中的传感器的应变主要由 3 部分组成: (1) 二期荷载 (新加固部分) 在组合截面上所产生的应变; (2) 混凝土收缩、徐变所产生的应变; (3) 混凝土膨胀所产生的应变。普通混凝土中所埋传感器的应变主要由前两部分组成。第 (1) 部分的计算采用通常方法, 本文采用 Sap2000 进行计算, 并适当考虑拱轴变形的影响, 这里不再赘述。

2.1 混凝土收缩徐变引起的应力计算

混凝土的收缩是与应力无关的长期变形, 而混凝土的徐变是在荷载作用下变形的缓慢增长。当混凝土的收缩、徐变引起的变形受到约束时, 相应地就会引起附加应力。对于新旧混凝土组合截面, 旧拱肋会阻碍新混凝土收缩、徐变变形的自由发生, 因而会对结构的应力和变形产生较大的影响。

依 Trost-Bazant 理论, 计算混凝土作用随时间变化的应力时, 在 τ 时刻加载, 经历 $t-\tau$ 的时间间隔后, t 时刻结构的总应变为:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(\tau)}{E(\tau)} [1 + \varphi(t, \tau)] + \frac{\sigma(t) - \sigma(\tau)}{E(\tau)} \cdot [1 + \eta(t, \tau) \varphi(t, \tau)] \quad (1)$$

式中: $\sigma(t)$ 、 $\sigma(\tau)$ 分别为计算时刻和加载时刻时的应力; $\eta(t, \tau)$ 为 τ 时间效应函数, 其计算式为:

$$\eta(t, \tau) = \left[1 - \frac{R(t, \tau)}{E(\tau)} \right]^{-1} - \frac{1}{\varphi(t, \tau)}$$

其中 $R(t, \tau)$ 为混凝土的松弛系数。

为了更好地考虑各部分混凝土龄期的不同以及荷载的逐渐作用, 可以采用有限单元步进法分析组合梁的时间效应。即一方面将结构理想化为在节点

互相连接的平面梁单元的组合 (每个单元具有相同的龄期和收缩、徐变特性, 节点则假定位于各单元换算截面的重心轴上); 另一方面, 将结构收缩、徐变的过程划分为与实际加载过程相适应的时段。由式 (1) 和迭加原理得出 i 时段内的应变变化量:

$$\Delta \varepsilon(i) = \frac{\Delta \sigma(i)}{E''(i)} + \left| \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\Delta \sigma(j)}{E(j)} [\varphi(i+1, j) - \varphi(i, j)] + \Delta \varepsilon_{sh}(i) \right| \quad (2)$$

式中: $E''(i)$ 为随时间调整的有效弹性模量, $E''(i) = \frac{E(i)}{1 + \eta(i+1, i) \varphi(i+1, i)}$; $\Delta \varepsilon_{sh}(i)$ 为 i 时段内的应变变化量。

同理可得出截面的弯曲曲率增量与弯矩增量的关系为:

$$\Delta \phi(i) = \frac{\Delta M(i)}{I_0 E''(i)} + \left| \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\Delta M(j)}{I_0 E(j)} [\varphi(i+1, j) - \varphi(i, j)] \right| \quad (3)$$

式 (2)、式 (3) 可用于组合截面的任意一层, 如果是旧拱肋部分, 则其收缩、徐变系数 ε_{sh} 和 φ 均取为零。根据以上理论即可把任一时段 i 内组合截面的收缩徐变问题转化为具有初应变 $\Delta \varepsilon(i)$ 和 $\Delta \phi(i)$ 的相应的弹性计算问题。

对于新旧混凝土组合截面, 在任意时段 i 的开始 (即时刻), 在截面形心 O 处受到外力 $N(i)$ 和 $M(i)$ 作用, 那么该时段内的应力应变增量应由以下几部分组成。

(1) t_i 时刻的瞬时应力和应变。

对于 t_i 时刻的外加荷载引起的瞬时应力和应变, 只需按照该时刻的换算截面用一般力学方法进行弹性分析即可。

(2) $t_i \sim t_{i+1}$ 期间,混凝土的收缩、徐变受到原结构的约束而引起的截面应力重分布。

当考虑图 1 所示的组合截面在 i 时段内,由于混凝土收缩、徐变受到原结构的约束而引起的各层应力重分布时,可以通过具有初应变的直接刚度法来求解,但此时的应力应变分析应建立在按龄期调整的换算截面的基础上。其具体分析过程如下。

① 在第 i 时段开始,解除所有约束(包括层与层之间的约束与外界的多余约束),使混凝土的收缩、徐变变形自由发生。这样,在 $t_i \sim t_{i+1}$ 期间由于收缩、徐变产生的轴向应变增量 $\Delta\epsilon(i)$ 可由式(2)得到,弯曲曲率增量 $\Delta\phi(i)$ 可由式(3)得到。

② 假定截面的收缩徐变变形受到约束,这样在截面上有约束应力产生。混凝土上的约束应力为:

$$\Delta\sigma' = \Delta\sigma'_0 + \Delta\gamma'_y \quad (4)$$

$$\text{式中: } \Delta\sigma'_0 = -E''(i)\Delta\epsilon(i) \quad (5)$$

$$\Delta\gamma' = -E''(i)\Delta\phi(i) \quad (6)$$

如果将混凝土上约束应力的合力等效到按龄期调整的换算截面的形心 O 处,则得到的总的约束力为:

$$\Delta N' = A_0\Delta\sigma'_0 + B_0\Delta\gamma' \quad (7)$$

$$\Delta M' = B_0\Delta\sigma'_0 + I_0\Delta\gamma' \quad (8)$$

式中: A_0 、 B_0 和 I_0 分别为混凝土的截面积及其通过 O 点的水平轴的面积矩和抗弯惯性矩。

③ 将上述约束力反方向作用于按龄期调整的换算截面上。在这组力作用下,截面将产生初应变。每一点的轴向初应变乘以所在层的弹性模量 $E''(i)$ (混凝土层应乘有效模量)就可求得相应的应力增量。混凝土层的应力增量再与该层混凝土的约束应力相叠加,便可得到该层混凝土上任意一点的应力重分布值。

(3) 超静定结构中混凝土收缩徐变引起的次内力产生的应力和应变。

如果是在超静定组合结构中,当混凝土的收缩徐变引起的结构变形受到外界的多余约束时,在结构中就要产生次内力,相应的会在截面上产生应力应变增量。次内力的求解可以根据求得的 $\Delta\epsilon(i)$ 和 $\Delta\phi(i)$,利用力法方程求解超静定结构。

将以上三部分所得结果相叠加,便可得到本时段的应力应变增量。据此,即可求出整个时域内每一时刻组合截面上各点的应力和应变。

2.2 膨胀剂膨胀作用产生的内力计算

2.2.1 由于膨胀剂膨胀作用产生的自内力计算

取一段拱肋,当纵向纤维之间不受约束,能自由伸缩时,则新加固拱肋部分由于膨胀作用产生的应变为 $\epsilon(t)$,但因组合截面的变形必须服从平面假定,所以沿截面高度应变分布 $\epsilon_a(y)$ 为:

$$\epsilon_a(y) = \epsilon_0 + \phi y$$

式中: ϵ_0 为拱肋在截面形心轴处,即 $y = y_c$ 处的变形值; ϕ 为单元拱肋断面挠曲变形后的曲率。

则由纵向纤维之间的约束产生的应变为:

$$\epsilon_p(y) = \epsilon(t) - \epsilon_a(y) = \epsilon(t) - (\epsilon_0 + \phi y)$$

由 $\epsilon_p(y)$ 产生的应力为膨胀产生的自应力,其值为:

$$\sigma_p(y) = E \cdot \epsilon_p(y) = E[\epsilon(t) - (\epsilon_0 + \phi y)] \quad (9)$$

由于在单元梁段上无外荷载作用,因此自应力在截面上是自平衡状态,可利用截面上应力总和为零和对截面重心轴的力矩为零的条件,求出 ϵ_0 为 ϕ 值。

$$\begin{aligned} N &= E \int_h \epsilon_p(y) b(y) dy \\ &= E \int_h [\epsilon(t) - (\epsilon_0 + \phi y)] b(y) dy \\ &= E \left(\int_{A_2} \epsilon(t) dA - \int_A \epsilon_0 dA - \int_A \phi y dA \right) \\ &= E(\epsilon(t)A_2 - \epsilon_0 A - \phi \cdot A \cdot y_c) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= \int_h [\epsilon(t) - (\epsilon_0 + \phi y)] b(y) (y - y_c) dy \\ &= \int_{A_2} \epsilon(t) (y - y_c) dA - \int_A \epsilon_0 (y - y_c) dA - \int_A \phi (y - y_c) y \cdot dA \\ &= \epsilon(t) \cdot A_2 e - \phi [I - A y_c^2] \\ &= \epsilon(t) A_2 \cdot e - \phi I_0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

式中: I_0 为整个截面对其形心轴的惯性矩; A 、 A_2 分别为整个截面面积和新加固部分面积; e 为 A_2 对于整个截面的形心轴的偏心距。

由前面两式可求得:

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{\epsilon(t) \cdot A_2 e}{I_0} \\ \epsilon_0 &= \frac{\epsilon(t) A_2}{A} + \frac{\epsilon(t) A_2 e (y - y_c)}{I} \\ \text{而: } \sigma_p(y) &= E[\epsilon(t) - (\epsilon_0 + \phi y)] \\ &= \frac{E\epsilon(t) A_2}{A_2} - \frac{E\epsilon(t) A_2}{A} - \frac{E\epsilon(t) A_2 e (y - y_0)}{I} \quad (10) \end{aligned}$$

$$\text{令: } NP^0 = E\epsilon(t) A_2$$

$$MP^0 = E\epsilon(t) A_2 e$$

则式(10)可表示为:

$$\sigma_p(y) = \frac{NP^0}{A_2} - \frac{NP^0}{A} - \frac{MP^0(y - y_c)}{I}$$

2.2.2 膨胀剂膨胀作用产生的次内力计算

根据上节求得的 ε_0 和 ψ 值,它表示新加固混凝土在膨胀剂产生膨胀作用下单元拱肋段产生的轴向应变和挠曲变形曲率,这部分变形会引起次内力,可应用弹性中心法求解。

实际结构可近似为无铰拱,为 3 次超静定结构。在拱顶将结构截开,取拱顶的弯矩 x_1 、轴力 x_2 和剪力 x_3 为多余未知力。由于结构对称, x_1 和 x_2 是对称未知力, x_3 是反对称未知力(为零),所以力法方程简化为:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}x_1 + \Delta_{1p} &= 0 \\ \delta_{22}x_2 + \Delta_{2p} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

弹性中心法计算步骤如下。

(1) 确定圆拱的半径 R 和半拱的圆心角 φ_0 。实例桥拱轴线为圆弧拱,拱肋重心线的计算跨度为 $L=11.780\ 4\text{ m}$,计算矢高 $f=2.082\ 4\text{ m}$ 。

$$R = \frac{L^4 + 4f^2}{8f}$$

$$\sin\varphi_0 = \frac{L/2}{R}, \quad \cos\varphi_0 = \sqrt{1 - \sin^2\varphi_0}$$

(2) 确定弹性中心 O 的位置。

坐标轴 x 和 y 通过弹性中心 O ,另取参数坐标 x' 和 y' 通过圆心 O' 。拱肋上任一点 E 的坐标 (x, y) 和 (x', y') 可用圆心角 φ 表示如下:

$$x' = x = k \sin\varphi$$

$$y' = y + a = k \cos\varphi$$

弹性中心 O 与圆心 O' 的距离为

$$a = \frac{\int \frac{y}{EI} ds}{\int \frac{ds}{EI}} = \frac{2 \int_0^{\varphi_0} k \cos\varphi k d\varphi}{2 \int_0^{\varphi_0} k d\varphi} = \frac{k \sin\varphi_0}{\varphi_0}$$

(3) 求系数 δ_{11} 和 δ_{22} 。

由于结构对称 $x_3=0$

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \int \frac{\bar{M}_1^2}{EI} ds = \int \frac{1}{EI} ds \\ &= 2 \int_0^{\varphi_0} \frac{k}{EI} d\varphi = \frac{2k\varphi_0}{EI} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{22} &= \int \frac{\bar{M}_2^2}{EI} ds + \int \frac{\bar{N}_2^2}{EA} ds \\ &= \int \frac{y^2}{EI} ds + \int \frac{\cos^2\varphi}{EA} ds \\ &= \frac{2}{EI} \int_0^{\varphi_0} k^2 \left(\frac{\sin\varphi_0}{\varphi_0} - \cos\varphi \right)^2 k d\varphi + \frac{2}{EI} \int_0^{\varphi_0} \cos^2\varphi k dy \\ &= \frac{2k^3}{EI} \left(\frac{\varphi_0}{2} - \frac{\sin^2\varphi_0}{\varphi_0} + \frac{1}{4} \sin 2\varphi_0 \right) + \\ &\quad \frac{2k}{EA} \cdot \left(\frac{\varphi_0}{2} + \frac{1}{4} \sin^2\varphi \right) \end{aligned}$$

(4) 求自由项 Δ_{1p} 和 Δ_{2p} 。

由于组合截面因膨胀作用产生的 ε_0 和 ψ 已求出,因此:

$$\begin{aligned} \Delta_{1p} &= \int \frac{\bar{M}_1 MP}{EI} ds = \int \bar{M}_1 \psi ds = 2 \int_0^{\varphi_0} \psi_{12} d\varphi = 2k\varphi_0\psi \\ \Delta_{2p} &= \int \frac{\bar{M}_2 Mp}{EI} ds = \int \frac{\bar{M}_2 MP}{EA} ds \\ &= 2 \int_0^{\varphi_0} k \left(\frac{\sin\varphi_0}{\varphi_0} - \cos\varphi \right) \psi R d\varphi + \\ &\quad 2 \int_0^{\varphi_0} (-\cos\varphi) \varepsilon_0 k dy \\ &= 2k^2\psi(\sin\varphi_0 - \cos\varphi_0) - 2k\varepsilon_0\sin\varphi_0 \end{aligned}$$

(5) 内力计算。

由式(11)得:

$$x_1 = \frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}} \quad x_2 = \frac{\Delta_{2p}}{\delta_{22}}$$

2.3 理论值与实测值的比较

混凝土浇注完成后,每隔一周,利用预埋的传感器采集一次数据,并与根据前述方法算得的理论值进行比较分析。表 1 列出了浇注 60 d 时部分实测值与理论值。

表 1 拱肋浇注 60 d 时应变实测值与理论值比较 $\mu\varepsilon$

测点位置	普通混凝土孔		普通微膨胀混凝土孔		轻质微膨胀混凝土孔	
	实测值	理论值	实测值	理论值	实测值	理论值
拱顶	-3.0	-2.2	-8.1	-6.5	-12.1	-9.8
拱脚	-15.4	-12.1	-20.6	-17.3	-15.8	-13.2

根据比较分析可得如下结论。

(1) 理论计算值与实测值基本相符,本文所述的计算理论是合理的。

(2) 由于膨胀作用在拱肋产生的轴向应变增量 $\Delta\varepsilon_0(i)$ 和弯曲曲率增量 $\Delta\varphi'(i)$,使整个结构中产生压力以及负弯矩,压力及负弯矩会使新加固部分产生压应力,而在旧肋截面中产生拉应力,从而对旧拱肋产生消压卸荷作用。适当调整混凝土的膨胀率,会使新加固混凝土更好地与原有拱肋相结合一起承担荷载,因此,利用膨胀混凝土加固比普通混凝土有优势。

(3) 由于轻质微膨胀混凝土的膨胀率比普通微膨胀混凝土的膨胀率要大,因此轻质微膨胀混凝土对原拱肋的消压卸荷作用比普通微膨胀混凝土的作用要大。另外,在跨径和截面相同的情况下,采用轻质混凝土减小了自重,能够比普通混凝土提供更大的有效承载能力。因此,用轻质微膨胀混凝土加固更有优势。

(4) 为了能够使新加固混凝土对原有拱肋产生足够大的消压卸荷作用,同时又不至于由于过大的

膨胀作用对原有结构产生不利影响,通过加固试验以及编制的膨胀作用产生自内力及次内力程序分析,建议在中小跨径的该类桥型加固中,膨胀混凝土膨胀率的范围为 1.2‰~2.4‰。

3 荷载试验

为了检验加固效果,对加固后的大桥进行了荷载试验,试验孔分别为每一联的第二孔,主要试验内容为: $L/2$ 、 $L/4$ 及拱脚截面的静应变; $L/2$ 截面的静挠度;墩顶的最大支反力;拱顶的最大水平推力和水平位移;桥梁自振频率。

限于篇幅,本文只列出了 $L/2$ 截面(拱顶)静载挠度试验结果,见表 2。测点沿横桥向布置于各拱肋和拱波,共 9 个测点。

表 2 $L/2$ 截面静载挠度试验结果 mm

测点 编号	普通混凝土孔			普通微膨胀混凝土孔			轻质微膨胀混凝土孔		
	实测 值	理论 值	校验 系数	实测 值	理论 值	校验 系数	实测 值	理论 值	校验 系数
1	20	38.16	0.624	14	36.25	0.386	25	40.07	0.624
2	22	38.16	0.599	16	36.25	0.441	24	40.07	0.599
3	19	44.01	0.541	19	41.81	0.454	25	46.21	0.541
4	33	56.34	0.811	34	53.52	0.635	48	59.16	0.811
5	47	64.53	0.841	45	61.30	0.734	57	67.76	0.841
6	51	68.49	0.918	48	65.07	0.738	66	71.91	0.918
7	43	64.53	0.871	45	61.30	0.734	59	67.76	0.871
8	33	56.34	0.727	35	53.52	0.654	43	59.16	0.727
9	19	38.16	0.599	18	36.25	0.497	24	40.07	0.599

从荷载试验可得到如下结论。

(1)试验孔各工况测试截面平均应变校验系数在 0.8~0.9 之间,均低于《大跨径混凝土桥梁的试验方法》中所规定的 1.05 上限。这说明试验孔上部桥跨结构在设计荷载作用下,结构处于弹性工作阶段,达到设计要求的承载能力,并有足够的安全储备。

(2)试验孔各工况测试截面平均挠度校验系数在 0.5~1.0 之间,均低于《大跨径混凝土桥梁的试验方法》中所规定的 1.05 上限。这说明试验孔上部

桥跨结构在设计荷载作用下,达到设计要求的刚度。由于轻质微膨胀混凝土的弹性模量较普通微膨胀混凝土及普通混凝土低,因此在相同荷载作用下,轻质微膨胀混凝土的挠度值较大。

(3)实测基频大于计算基频,这说明结构实际刚度大于理论值,再次验证结构动刚度满足加固要求。

(4)通过本次试验,依实测数据分析,说明加固施工质量良好,符合设计要求。

4 结语

轻质混凝土在保证具有中高强度的前提下,而它的密度约为 1 800 kg/m³,比普通混凝土低 25% 左右,这一点对于桥梁工程具有重大意义。在本文实例中,通过对埋设传感器的长期观测值的计算分析以及加固完成后静动载荷载试验,说明轻质混凝土用于桥梁承重结构的加固及建造完全可行。而用轻质微膨胀混凝土加固拱肋,因其对原有拱肋产生的消压卸荷作用,可更好地使新、旧混凝土相互结合共同承载,加固效果好。所以,轻质微膨胀混凝土在承压结构的加固中,具有明显优势。但同时也应该注意到轻质混凝土的弹性模量较低,与相同尺寸的普通混凝土以及普通微膨胀混凝土桥相比,刚度较低,在以后的轻质混凝土的应用中,要突出考虑这个问题。

参考文献:

[1] 周履,陈永春. 收缩徐变[M]. 北京:中国铁道出版社, 1994.

[2] 贺拴海. 桥梁结构理论与计算方法[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

[3] 杨文渊. 桥梁维修与加固[M]. 北京:人民交通出版社,1997.

[4] 袁海庆,等. 双曲拱桥的缩跨加固方法及应用[J]. 武汉理工大学学报,2002,24(6).

[5] 何为,等. 钢筋混凝土结构加固后的刚度分析[J]. 长安大学学报(自然科学版),2002,22(2).

Research on Aplication of lightweight Light-Expansion Concrete to Strengthening of Arch Bridges

XU Han-zheng¹, LI Shu-dong², HAN Wan-shui¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Dezhou Highway Bureau of Shandong Province, China)

Abstract: In this paper, lightweight light-expansion concrete is applied to the strengthening of arch

文章编号: 0451—0712(2005)12—0032—03

中图分类号: U448. 22

文献标识码: B

斜靠式提篮拱桥设计特点

张秀成^{1,2}, 王宏艳², 任毅勇³

(1. 华中科技大学 武汉市 430074; 2. 平顶山工学院 平顶山市 467001;
3. 河南省第五建筑安装工程有限公司 平顶山市 467001)

摘 要: 斜靠式提篮拱桥具有独特的横向稳定性和美观等特点, 本文对斜靠式混凝土系杆拱桥的拱肋、系梁、吊杆、下部结构及施工方案与注意事项等做简要介绍。
关键词: 提篮拱桥; 拱肋; 横向稳定性; 特点

平顶山市城东河路湛河桥是平顶山市跨越湛河的一座城市桥梁, 该桥北起平顶山湛河北路, 南至湛河南路, 全长 200 多 m, 其中主桥结构为 120 m 下承式混凝土斜靠式提篮系杆拱桥, 见图 1、图 2 所示。主拱肋矢高为 26. 37 m, 矢跨比为 1/4. 5; 稳定拱肋矢高为 33. 93 m, 矢跨比为 1/2. 7; 桥面宽 30. 0 m, 双向 4 车道; 设计荷载为汽车—超 20 级, 验算荷载为挂车—120, 非机动车道及人行道荷载为 2. 4 kPa; 南北引桥均为钢筋混凝土连续梁桥。本文就主桥的混凝土斜靠式提篮系杆拱桥的结构设计特点及其施工做简要介绍。

1 斜靠式提篮拱桥的设计

1. 1 斜靠式提篮拱桥的特点

斜靠式提篮拱桥属于组合体系拱桥, 将行车系结构与拱肋按不同构造方式构成一个整体, 共同受力。本桥利用 4 片拱肋在主桥两端将桥面悬吊而起, 主拱肋(中间 2 片)布在机动车道与非机动车道之间的分隔带内, 稳定拱肋(外侧 2 片)布在人行道外侧且与主拱肋斜靠在一起。如此布置, 两主拱肋间取消了风撑, 消除了行车压抑感, 并且利用稳定拱肋把人行道从外侧吊起, 形成了中间较宽的人行观景平台, 体现了以人为本、天人合一的思想, 构成了一幅优美的城市画卷。与其他类型的拱桥相比, 斜靠式提篮拱桥在横向稳定方面有独到的优势, 它将通常的中(下)承式拱桥的 4 片拱肋两两倾斜而形成一种空间拱式结构, 它通过改变拱桥结构的静力计算图式来获得较大的横向稳定性。

1. 2 拱肋

主桥设计为下承式无风撑钢筋混凝土斜靠式提篮系杆拱结构, 为保证拱肋横向稳定满足规范要求, 在两主拱肋外侧分别设置了 2 道稳定拱肋。主拱肋向桥外侧倾斜 1°, 稳定拱肋向内侧倾斜 8. 007 5°。在



图 1 桥梁效果

收稿日期: 2005—05—20

bridges. Stress formula of combination section is deduced, the effect of shrinkage and creep taken into account, and stress of key sections calculated after strenthening. By compareing calculate values with actual values measured with strain gauge, it shows that the fomula is right. It is conclude that lightweight light-expansion concrete is capable of applying to main structure of bridges.

Key words: lightweight light-expansion concrete; strenghtening of arch rib; effect of expansion agent; shrinkage and creep; stress