

大跨径斜拉桥主梁选型及分析

张士红

(河南省交通规划设计研究院股份有限公司, 河南 郑州 450015)

摘要: 首先基于积分法推导得到了斜拉桥各部件的造价和主梁应力计算公式, 其次对比分析了5种不同主梁类型的斜拉桥技术及经济性, 最后以传统组合梁斜拉桥为例进行参数分析。结果表明: 采用UHPC材料代替传统的混凝土能极大地提高组合梁斜拉桥的极限跨径; 主跨在300~750 m的斜拉桥主梁选用传统组合梁经济性最优, 主跨在750~1 200 m时主梁选用钢箱梁经济性最优; 斜拉桥的平方米造价指标随着桥宽的增加而相应减少; 但对桥面以上塔高与跨径比的变化不敏感, 经济合理的边中跨比和桥面以上塔高与跨径比分别在0.5和0.3左右。

关键词: 桥梁工程; 斜拉桥; 钢箱梁; 组合梁; UHPC; 经济性

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0061-06

0 引言

现代斜拉桥多为密索体系^[1], 是以主梁受轴向力、拉索受拉和索塔受压为主的结构。按加劲梁材料的不同, 斜拉桥可分为混凝土斜拉桥、钢箱梁斜拉桥和组合梁斜拉桥。由于斜拉桥的总造价对主梁的恒载比较敏感, 大跨径斜拉桥的主梁一般选用组合梁或钢箱梁^[2]。针对大跨径斜拉桥的主梁选型和经济性, 国内外学者开展了大量研究。Holger Svensson^[3]认为组合梁斜拉桥的经济跨径范围为400~900 m。孙斌等^[4]采用“积分法”推导了部分地锚斜拉桥的各部件材料用量及造价表达式, 据此开展了部分地锚斜拉桥经济性研究。陈亮等^[5]基于“平均索法”推导了组合梁斜拉桥各部件的造价与跨径的关系, 得到组合梁斜拉桥的经济跨径可达900 m的结论。姚又琳、邵旭东^[6]试设计了主跨1 100 m的3种主梁类型的斜拉桥, 探讨了大跨径钢-UHPC轻型组合梁斜拉桥应用的可行性和经济性。

近年来, 大跨径斜拉桥采用的主梁型式愈加丰富多样。嘉绍大桥为主跨428 m的六塔双索面斜拉桥, 主梁采用设置7.0 cm的沥青铺装的分离式钢箱梁^[7]。十堰至淅川高速公路丹江口水库大桥为主跨760 m的双塔双索面地锚式斜拉桥, 中跨主梁采用设置80 mm UHPC层和40 mm沥青铺装的钢箱梁^[8]。赤壁长江公路大桥为主跨720 m的双塔双索面斜拉

桥, 主梁采用设置26 cm预制桥面板的双边箱组合梁^[9]。南益高速公路胜天大桥为主跨450 m的双塔双索面斜拉桥, 主梁拟采用新型的UHPC华夫板组合梁^[10]。广西藤县西江二桥为主跨450 m的双塔双索面斜拉桥, 其中主梁采用了国内外首创的UHPC型钢组合梁^[11]。

新材料和新技术的出现也为大跨径斜拉桥的主梁选型提供了更多新的选择。针对目前大跨径斜拉桥主梁选型研究覆盖面较窄的问题, 本文对比分析了5种常用主梁类型的斜拉桥技术及经济性, 以期在概念设计阶段为大跨径斜拉桥的主梁选型提供参考。

1 内力计算与材料用量

密索体系斜拉桥的索、梁和塔以承受轴力为主, 作为工程量估算, 仅考虑轴力作用对各部件材料用量的贡献。因此, 根据轴力大小推导相应的材料用量 Q 的计算公式满足:

$$Q = \frac{\gamma}{f} Nl \quad (1)$$

式中: γ 为材料容重; f 为计入安全系数的广义材料容许应力, 该容许应力考虑了弯矩、收缩徐变和非线性等因素的影响; l 为构件长度。

引入各种材料的单价指标 μ_i , 求和后得到斜拉桥的总造价 C :

$$C = \sum \frac{\mu_i N_i l_i}{f_i} \quad (2)$$

下文各变量下标中的 c 、 f 、 g 、 p 分别代表斜拉索、基础、主梁和主塔等部件, 不再一一进行说明。

斜拉桥各部件工程量计算主要考虑的桥面线荷

收稿日期: 2022-06-19

基金项目: 河南省交通运输厅科技计划项目(2017T09、2018J10)

作者简介: 张士红(1990—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事桥梁设计工作。

载包括主梁自重 g_{sc} 和 g_{ac} 、二期恒载 g_2 和活载 p , 并令 $w_{sc}(w_{ac})=g_{sc}(g_{ac})+g_2+p$ 。为简化问题的分析, 本文未考虑极限静风荷载影响, 因此结论适用于设计基本风速不控制结构设计的情形。另外需要说明的是, 由于采用混凝土预制块作为压重, 其造价在整个造价中占比较小, 因此, 本文也略去了该部分的影响。

2 内力及材料用量

2.1 斜拉索

本文以两塔三跨斜拉桥为例进行说明, 计算简图如图 1 所示。1/2 主跨和边跨跨径分别为 $l_{sc}/2$ 和 l_{ac} , 对应的中跨和边跨线荷载分别为 w_{sc} 和 w_{ac} 。斜拉索在桥塔上的锚固区高度为 h_{sa} , 桥面以上和以下桥塔的无索区高度分别为 h_t 和 h_n 。

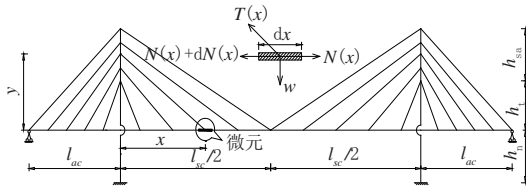


图 1 斜拉桥构造参数图

由式(1), 采用积分法可得到中跨斜拉索的用量为 Q_{sc} :

$$Q_{sc} = \frac{\gamma_c}{f_c} w_{sc} \left(\frac{l_{sc}}{2} \right)^2 \left\{ \begin{aligned} & \left(\frac{\gamma_c l_{sc}}{2 f_c} \left(\frac{l_{sc}}{2 h_{sa}} \right)^2 \left(\frac{h_t}{h_{sa}} \right)^3 g \left[\frac{1-4 \ln \left(1 + \frac{h_{sa}}{h_t} \right) - \frac{1}{1+h_{sa}/h_t} + \frac{3 h_{sa}}{h_t} - \left(\frac{h_{sa}}{h_t} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{h_{sa}}{h_t} \right)^3 \right] \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{l_{sc}}{2 h_{sa}} \left(\frac{h_t}{h_{sa}} \right)^2 \left[\ln \left(1 + \frac{h_{sa}}{h_t} \right) - \frac{h_{sa}}{h_t} + \frac{1}{2} \left(\frac{h_{sa}}{h_t} \right)^2 + \frac{2 \gamma_c h_{sa}}{3 f_c} \left(\frac{h_{sa}}{h_t} \right)^2 \right] \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{2 h_t^2}{l_{sc} h_{sa}} \left[\frac{\gamma_c h_{sa}}{f_c} + \frac{h_{sa}}{h_t} + \frac{\gamma_c h_{sa}}{f_c} \frac{h_{sa}}{h_t} + \frac{1}{2} \left(\frac{h_{sa}}{h_t} \right)^2 + \frac{\gamma_c h_{sa}}{3 f_c} \left(\frac{h_{sa}}{h_t} \right)^2 \right] \right\} \quad (3) \end{aligned} \right.$$

将式(3)中的 $l_{sc}/2$ 用 l_{ac} 代替, 即可得到边跨的斜拉索材料用量 Q_{ac} 。

2.2 桥塔与基础

当活载仅在主跨满布工况时, 桥塔两侧的斜拉索的索力在塔梁交界处产生的最大不平衡弯矩为 M_{bs} , 满足:

$$M_{bs} = \frac{1}{8} w_{sc} l_{sc}^2 - \frac{1}{2} (g_{ac} + g_2) l_{ac}^2 + \frac{1}{6} Q_{sc} l_{sc} - \frac{1}{3} Q_{ac} l_{ac} \quad (4)$$

桥塔可简化为轴心受压柱^[4], 如图 2 所示。假定锚索区的桥塔截面呈线性变化, 塔顶处轴力为零, 相

应的截面面积近似也为零; 锚索区下端截面面积 A_{p0} 由该处承受的压力 N_{p0} 确定; 主塔无索区可按顶点作用有集中力 N_{p0} 的轴压柱计算。

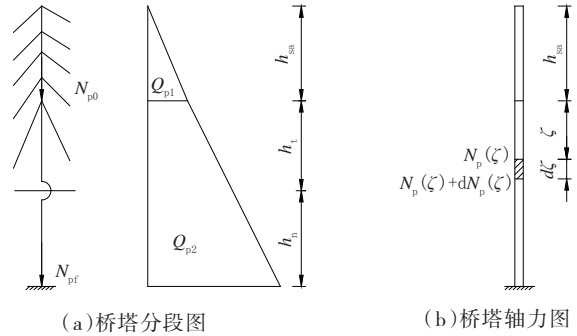


图 2 桥塔计算简图

锚索区下端的轴力 N_{p0} 等于斜拉索分担的荷载和锚索区主塔重量之和, 满足:

$$N_{p0} = \left[w_{ac} l_{ac} + w_{sc} \frac{l_{sc}}{2} + Q_{ac} + Q_{sc} + \frac{M_{bs}}{l_{ac}} \right] / \left[1 - \frac{\gamma_p}{2 f_p} h_{sa} \right] \quad (5)$$

计算得到锚索区下端的轴力 N_{p0} 后, 可到锚索区桥塔的材料用量 Q_{p1} :

$$Q_{p1} = \frac{\gamma_p}{f_p} N_{p0} h_{sa} \quad (6)$$

桥塔无索区的轴力增量等于桥塔微元自重, 满足:

$$dN_p(\xi) = \frac{\gamma_p}{f_p} N_p(\xi) d\xi \quad (7)$$

对式(7)积分可得:

$$N_p(\xi) = N_{p0} \exp \left(\frac{\gamma_p}{f_p} \xi \right) \quad (8)$$

桥塔基础反力由式(8)可得:

$$N_{pf} = N_{p0} \exp \left[\frac{\gamma_p}{f_p} (h_n + h_t) \right] \quad (9)$$

因而可到无索区桥塔的工程量 Q_{p2} :

$$Q_{p2} = N_{pf} - N_{p0} = N_{p0} \left\{ \exp \left[\frac{\gamma_p}{f_p} (h_n + h_t) \right] - 1 \right\} \quad (10)$$

将式(6)和式(10)相加, 得到桥塔的总材料用量 Q_p :

$$Q_p = N_{p0} \left\{ \frac{\gamma_p}{2 f_p} h_{sa} + \exp \left[\frac{\gamma_p}{f_p} (h_n + h_t) \right] - 1 \right\} \quad (11)$$

边墩承担的锚索索力 N_b 大小为:

$$N_b = N_{bs} / l_{ac} \quad (12)$$

斜拉桥基础工程造价约占总造价的 20%~50%, 受地质情况、基础形式和地震动峰值加速度等多种因素影响, 工程量计算复杂。本文参考文献[4]中方法, 假定基础材料用量与基础承受的总反力成正比, 并取比例系数为 k_f , 即满足:

$$Q_f = k_f (N_{pf} + N_b) \quad (13)$$

2.3 主梁

由于主梁承受弯矩和局部荷载,同时受构造、抗风等多种因素控制,其材料用量影响因素复杂,本文基于已有工程案例进行材料用量的经验公式拟合。

钢箱梁的线自重参考文献[4]的拟合公式进行计算:

$$g_{sc} = \left[0.6 \exp \left[\frac{\gamma_g l_{sc}}{4f_g(h_{sa} + h_t)} \right] + 0.8 \right] (g_2 + p) \quad (14)$$

将式(14)中的 $l_{sc}/2$ 用 l_{ac} 替代,即可得到边跨的钢材用量 g_{ac} 。

对于设置 UHPC 层的钢箱梁,钢顶板厚度通常可比正常钢箱梁减薄,因而其用钢量可在式(14)的基础上减少 30 kg/m^2 。

根据已建工程项目的统计结果,双边工字钢组合梁斜拉桥的钢梁线自重 g_{sc} 与桥宽 B 和主跨跨径 l_{sc} 的关系满足:

$$g_{sc} = 5B^2 + 0.32Bl_{sc} \quad (15)$$

同理,在式(15)中以 l_{ac} 替代 $l_{sc}/2$,可得到边跨主梁的材料用量 g_{ac} 。

因此,主梁的全桥钢材总用量为:

$$Q_g = g_{sc} l_{sc}/2 + g_{ac} l_{ac} \quad (16)$$

对于组合梁斜拉桥,还包括预制桥面板的混凝土用量:

$$Q'_g = Bt(l_{sc}/2 + l_{ac}) \quad (17)$$

式中: t 为预制桥面板的厚度。

2.4 总造价

在计算得到斜拉桥主要部件的材料用量后,乘以相应材料单价,即可得到全桥总造价为:

$$C = 2[\mu_c(Q_{sc} + Q_{ac}) + \mu_p Q_p + \mu_f Q_f + \mu_g Q_g + \mu'_g Q'_g] \quad (18)$$

相应地,可得到斜拉桥的平方米造价指标为:

$$c = C/B(l_{sc} + 2l_{ac}) \quad (19)$$

3 技术及经济性分析

3.1 设计参数

参考实际工程案例,试设计 5 种大跨径斜拉桥常选用的主梁型式。梁型 1:设置 8 cm 环氧沥青混凝土铺装的钢箱梁,如嘉绍大桥。梁型 2:设置 4.5 cm UHPC + 3.5 cm 沥青混凝土铺装的钢箱梁,如丹江口水库大桥。梁型 3:采用 25 cm 混凝土桥面 + 9 cm 沥青混凝土铺装的传统组合梁,如赤壁长江公路大桥。梁型 4:设置 9 cm 沥青混凝土铺装的 UHPC 华夫板组合梁[见图 3(a)],如胜天大桥。梁型 5:UHPC 型钢组合梁

[见图 3(b)],如西江二桥。

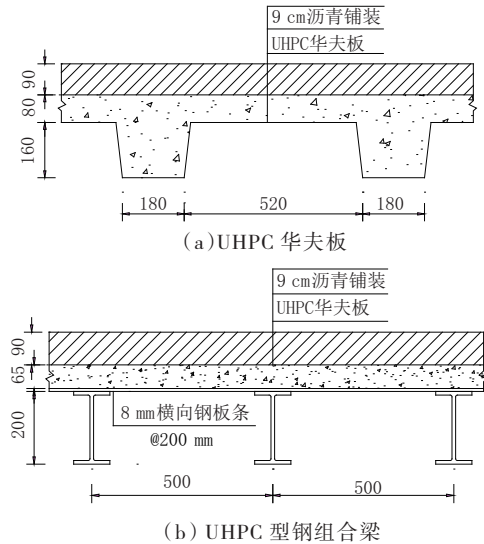


图 3 梁型 3、4 桥面板构造图(单位:mm)

为方便分析,参考文献[12],拟定双塔三跨斜拉桥的主要参数如下:边中跨比为 0.4;桥面以上桥塔高度与主跨跨径之比为 0.2,桥面以下塔高 30 m;5 种主梁方案斜拉桥的梁上标准索距分别为 15 m、14 m、13 m、12 m、12 m,桥塔上的索距均为 2.2 m;桥宽 36 m,采用双向六车道一级公路标准,主梁横断面布置如图 4 所示。斜拉桥主要部件技术条件和材料综合单价如表 1 所示。

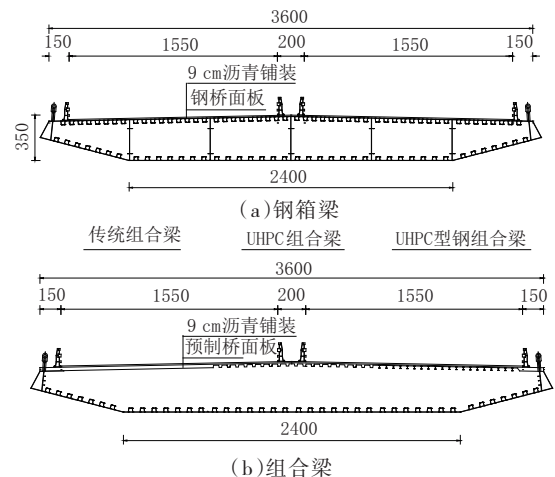


图 4 主梁横断面布置图(单位:cm)

3.2 主梁应力分析

密索体系的斜拉索近似看作为在主跨内连续均布的索膜,从中跨主梁中取出微元 dx 进行研究,如图 1 所示。其中, x 和 y 分别为微元距桥塔的水平 and 竖向距离,主梁自重和活载引起的微元对应的索力为 dN , λ_g 和 λ_p 分别为斜拉索在主梁和桥塔上的布置间距。忽略斜拉索的自重,由轴力平衡条件可得:

$$dN(x) = \frac{x}{y} w_{sc} dx \quad (20)$$

表1 技术条件及经济指标

部件	技术条件	单价
钢箱梁	$\sigma_{cp}=120\text{ MPa}$	1.6 万元/t
组合梁钢结构	$\sigma_{cp}=120\text{ MPa}$	1.5 万元/t
型钢		0.6 万元/t
C55 预制桥面板	$\sigma_{cp}=10\text{ MPa}, E_c=3.55\text{e}4\text{ MPa}$	0.42 万元/m ³
UHPC120 预制桥面板	$\sigma_{cp}=25\text{ MPa}, E_c=41.9\text{e}4\text{ MPa}$	1.2 万元/m ³
C50 桥塔	$\sigma_{cp}=9\text{ MPa}$	0.5 万元/m ³
钢绞线斜拉索	620 MPa	3.0 万元/t
钢箱梁环氧沥青铺装		0.16 万元/m ²
组合梁沥青铺装		0.08 万元/m ²
承台、基础	$k_t=1.8$	0.312 万元/m ³

根据等索距布置假定,满足几何关系:

$$\frac{h_{sa}}{\lambda_p} = \frac{l_{sc}/2}{\lambda_g} \quad (21)$$

由几何关系可得斜拉索的布置形式方程:

$$y = (h_{sa} + h_t) - \left(\frac{l_{sc}}{2} - x \right) \frac{\lambda_p}{\lambda_g} \quad (22)$$

将式(22)带入式(20),积分可得:

$$N(x) = \int_x^{l_{sc}/2} \frac{x}{y} w_{sc} dx = w_{sc} k \left[\frac{l_{sc}}{2} - x - \left[\frac{l_{sc}}{2} - (h_{sa} + h_t)k \right] \ln \left(\frac{(h_{sa} + h_t)k - l_{sc}/2 - x}{hk} \right) \right] \quad (23)$$

式中: k 为斜拉索在主梁和桥塔上的索距比,即 $k=\lambda_g/\lambda_p$ 。

将 $x=0$ 代入式(23),即可得到桥塔位置的轴力 $N(0)$ 。对于钢箱梁或设置UHPC层的钢箱梁斜拉桥,假定钢梁承受全部轴力,因此可得到钢梁的应力为:

$$\sigma_s = \frac{N(0)}{A_s} \quad (24)$$

对于组合梁斜拉桥来说,桥塔位置的轴力由钢梁和桥面板共同承受,满足:

$$N(0) = A_s \sigma_s + A_c \sigma_c \quad (25)$$

进一步可得到钢梁和桥面板的应力分别为:

$$\begin{cases} \sigma_s = \frac{\eta_s N(0)}{A_s} \\ \sigma_c = \frac{\eta_c N(0)}{A_c} \end{cases} \quad (26)$$

式中: η_s 、 η_c 分别为钢梁和桥面板的轴力分配系数,满足:

$$\begin{cases} \eta_s = \frac{E_s A_s}{E_s A_s + E_c A_c} \\ \eta_c = \frac{E_c A_c}{E_s A_s + E_c A_c} \end{cases} \quad (27)$$

利用式(25)和式(27)即可得到5种梁型的主梁

各部分应力随跨径的变化关系,如图4、图5所示。其中,C55混凝土和UHPC 120在极限承载力工况下的压应力限值为 $0.6f_{ck}^{[13]}$ (f_{ck} 为混凝土的轴心抗压强度标准值)。

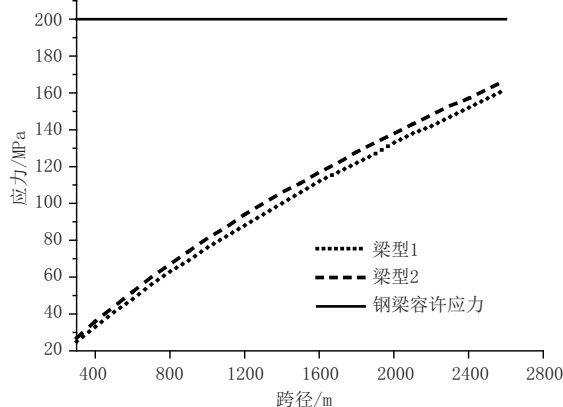


图5 梁型1、2的钢梁应力随跨径的关系

由图5可知,梁型1、2的钢梁应力随跨径的增大,增幅越来越缓。当主跨达到2600m时,钢梁仍未达到容许应力限值。

由图6可知:(1)梁型3在1200m跨径左右时桥面板先于钢梁达到容许应力,这与文献[14]的研究结论一致;(2)梁型4的极限跨径远大于梁型3,在2400m跨径左右时,钢梁先于桥面板达到容许应力;(3)梁型5的钢梁和桥面板应力随跨径的增加增长迅速,在1600m跨径时,钢梁先于桥面板达到容许应力;(4)由于UHPC较普通混凝土的强度高,极大地扩展了组合梁斜拉桥的极限跨径。

3.3 经济性对比

分别计算5种不同主梁类型的斜拉桥跨径在300~1200m变化时,其平方米造价指标与跨径的关系如图7所示。

由图7知:(1)斜拉桥跨径在300~750m时采用传统组合梁经济性最优,跨径在750~1200m时采用钢箱梁经济性最优,二者的经济界限跨径为750m,这与文献[3]的研究结论吻合。(2)当斜拉桥跨径超过750m,UHPC组合梁的造价指标略高于钢箱梁,差值在3%以内。可见,利用UHPC优异的力学性能,组合梁斜拉桥可以在更大跨径范围内和钢箱梁斜拉桥竞争,这与文献[6]的研究结论相似。(3)由于大跨径斜拉桥造价对自重荷载较为敏感,而UHPC材料造价较高。当跨径小于700m时,采用设置UHPC层的钢箱梁斜拉桥经济性最差。当跨径超过700m时,采用UHPC型钢组合梁斜拉桥的经济性最差。

为进一步分析采用不同材料主梁的技术及经济

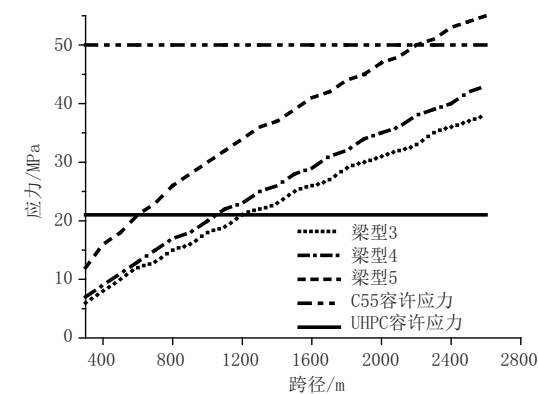
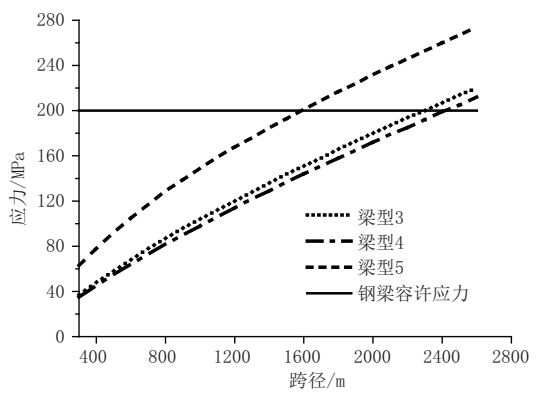


图 6 梁型 3、4 和 5 的应力随跨径的变化关系

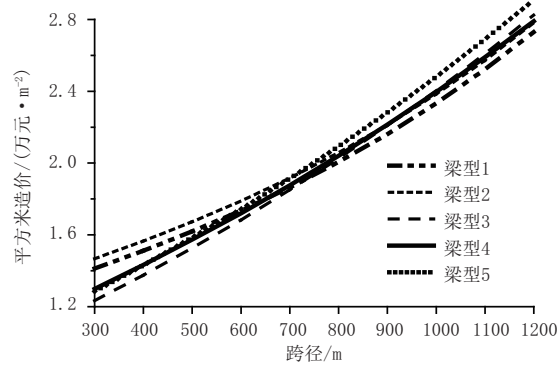


图 7 造价指标与跨径的关系

性,对比承受相同轴压力的 3 种材料的轴压构件设计参数如表 2 所示。

对于轴压构件来说,采用钢材的轴压构件线重量最小,采用普通混凝土时最大;采用 UHPC 材料与 C55 混凝土的两类轴压构件经济性相当,甚至当采用 UHPC 180 时,其经济性已优于普通混凝土,而线

重量前者仅为后者的 1/3,表现出了优异的力学和经济性。因此,对于斜拉桥中主要承受轴压力的主梁构件,采用 UHPC 代替传统的混凝土优势明显。

4 参数分析

斜拉桥的经济性受多种因素影响,不同主梁类型的斜拉桥规律相似。下文以传统组合梁斜拉桥为例,探究桥宽、边中跨比和桥面以上塔高与跨径之比 3 个总体设计参数对其经济性的影响。本节在参数分析时,每次改变其中一个参数,其他参数保持与 3.1 节相同,得到斜拉桥的平方米造价指标随跨径的变化曲线,如图 8 所示。

由图 8 可知:(1)斜拉桥的平方米造价指标对桥宽的变化不敏感,随着桥宽的增加,平方米造价指标相应减少。当采用八车道技术标准时,其平方米造价指标最小。(2)斜拉桥的平方米造价指标对边中跨的变化较为敏感,随着边中跨比的增加,平方米造价指标相应减少。当边中跨比为 0.5 时,其平方米造价指标最低。(3)斜拉桥的平方米造价指标对桥面以上塔高与跨比的变化不敏感,当桥面以上塔跨比为 0.3 时,其平方米造价指标最低。

5 结 语

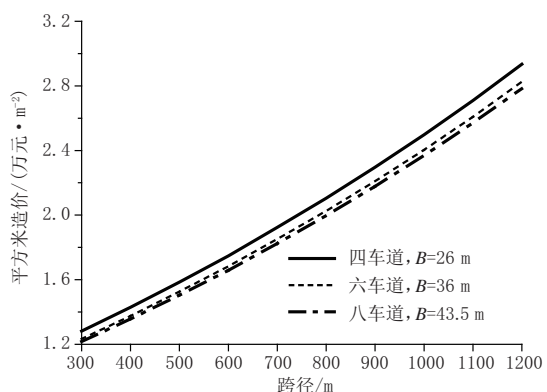
本文在推导得到斜拉桥各主要部件工程量的基础上,引入材料单价,得到采用 5 种不同主梁类型的斜拉桥主梁应力和造价指标随跨径的变化关系,并以传统的组合梁斜拉桥为例,对桥宽、边中跨比和桥面以上塔高与跨径比 3 个参数进行分析,得到的主要结论如下:

(1)UHPC 华夫板组合梁斜拉桥的极限跨径在 2 400 m 左右,UHPC 型钢组合梁斜拉桥的极限跨径在 1 600 m 左右,采用 UHPC 代替传统的混凝土材料能极大地提高组合梁斜拉桥的极限跨径。

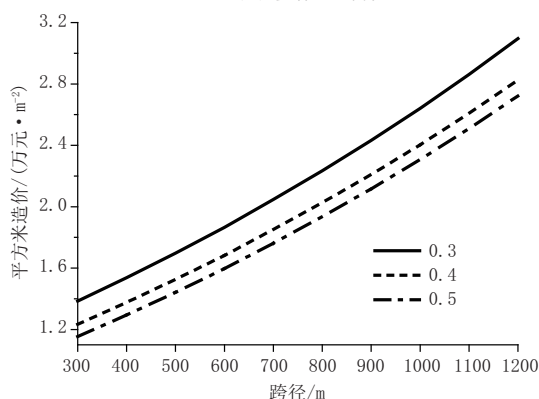
(2)主跨跨径在 300~750 m 时,斜拉桥主梁选用传统组合梁经济性最优,主跨跨径在 750~1 200 m 时,斜拉桥主梁选用钢箱梁经济性最优。

表 2 轴压构件设计参数

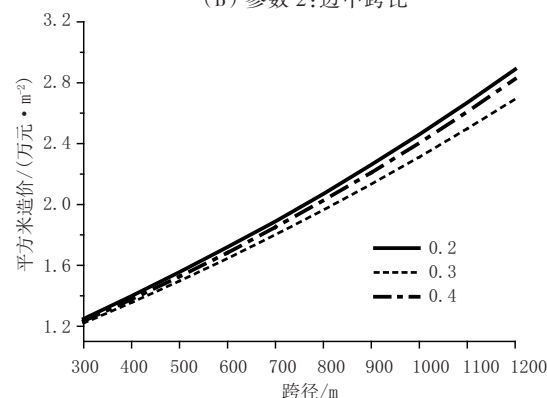
项目	弹性模量 /GPa	重度 /(kN·m ⁻³)	正常使用应力 /MPa	单价	轴压力 /MN	线重量 /(kN·m ⁻¹)	造价 /(万元·m ⁻¹)
钢材	210	78.5	120	1.5 万元 /t	100	65.4	9.8
C55 混凝土	34.5	26	12	0.42 万元 /m ³		217.0	3.5
UHPC 120	41.9	26	27	1.2 万元 /m ³		96.3	4.4
UHPC 180	47.9	26	40	1.2 万元 /m ³		65.0	3.0



(a) 参数 1: 桥宽



(b) 参数 2: 边中跨比



(c) 参数 3: 桥面以上塔高与跨径比

图 8 传统组合梁斜拉桥参数分析

(3)斜拉桥的平方米造价指标受边中跨比的影响较大,随着桥宽的增加,平方米造价指标相应减少;但对桥宽和桥面以上塔高与跨径比的变化不敏感,经济合理的边中跨比和桥面以上塔高与跨径比分别在 0.5 和 0.3 左右。

参考文献:

- [1] 肖汝诚.桥梁结构体系[M].北京:人民交通出版社,2013.
- [2] 陈亮,邵长宇.大跨径组合梁斜拉桥概念设计[J].城市道桥与防洪,2018(9):111-114.
- [3] SVENSSON H. Cable-stayed Bridges 40 Years of Experience World wide[M].Berlin: Ernst & Sohn,2012.
- [4] 孙斌,肖汝诚,CAI C S.部分地锚斜拉桥经济性能分析[J].同济大学学报(自然科学版),2013(10):1476-1482,1489.
- [5] 陈亮,邵长宇,汤虎.大跨径组合梁斜拉桥经济性能研究[J].世界桥梁,2017,45(5):39-43.
- [6] 姚义琳,邵旭东.大跨径钢-UHPC 轻型组合梁斜拉桥力学与经济性能研究[J].公路工程,2018,43(1):20-24.
- [7] 张喜刚,王仁贵,林道锦,等.嘉绍大桥多塔斜拉桥创新结构体系设计[J].公路,2013(7):286-289.
- [8] 湖北省交通规划设计院股份有限公司.十堰至淅川高速公路(湖北段)丹江口水库特大桥[Z].武汉:湖北省交通规划设计院股份有限公司,2019.
- [9] 张德平,周健鸿,王东晖.赤壁长江公路大桥主桥主梁设计[J].桥梁建设,2019,49(4):81-85.
- [10] 朱朝银,张贵明,徐自然.南益高速公路南洞庭(胜天)大桥设计构思与创新技术[J].中外公路,2020,40(6):162-165.
- [11] 韦勇克.西江二桥钢-超高性能混凝土轻型组合梁设计研究[J].中外公路,2020,40(5):158-164.
- [12] JTG/T 3365-01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].
- [13] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [14] 于东民,林伟南.钢-混组合梁斜拉桥跨径界限影响因素研究[J].中外公路,2020,40(6):187-191.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com