

文章编号: 1005 - 0574 - (2014) 05 - 0055 - 03

# 基于纤维模型的钢管混凝土拱桥结构非线性分析

颜炳玲, 朱小辉, 郝秋实, 闫换英

(内蒙古交通职业技术学院, 内蒙古 赤峰 024005)

**摘要:** 纤维模型是近来引起广泛关注的构件非线性分析模型。文章介绍了纤维模型方法的计算原理, 并采用 OPENSEES 中的纤维模型进行了应用。将纤维模型法应用于工程计算, 并与试验法进行比较, 结果表明, 纤维模型方法可有效用于工程结构计算, 为今后进一步应用奠定基础。

**关键词:** 纤维模型; OPENSEES; 钢管混凝土

**中图分类号:** U448.22; U441

**文献标识码:** A

**Abstract:** The fiber model is a component nonlinear analysis model that caused wide public concern recently. This paper introduces the calculation principle of fiber model method, and applying it in OPENSEES. The fiber model method is applied to engineering calculation, and compared with test method, the results show that the fiber model method can be effectively used in engineering structure, laying a foundation for further application.

**Key words:** fiber model; OPENSEES; concrete filled steel tube

近年来, 钢管混凝土结构在大跨拱桥的设计施工中得到了越来越广泛的应用, 在现代桥梁结构中占重要地位, 是大跨径桥梁的主要桥型之一。钢管混凝土是将混凝土泵送填充到钢管内, 使得钢管和混凝土能够扬长避短, 材料的特性能够得到充分利用。钢管对混凝土具有约束效果, 使得混凝土处于环向受压的状态, 大大提高了混凝土的抗压和抵抗变形的能力, 钢材作为外骨架同时能够提高构件的延性。在施工过程中, 钢管可兼做模板和抗拉骨架, 省去了钢筋绑扎、支模和拆模等工序, 桥梁整体结构施工方便, 具备重量较轻、工期较短、强度较高、经济效益高的特点。

## 1 钢管混凝土研究现状

对于钢管混凝土构件的受力机理, 学者们进行了大量的理论探索和试验研究。Gourley 和 Hajjar 采用多项式方程来计算方形或矩形钢管混凝土三向受力强度。钟善桐提出了核心混凝土的应力-应变关系模型, 引进了约束效应系数  $\xi$  用以考虑钢管套箍作用的影响。

Inai 等研究了不同试验参数如混凝土和钢管强度、加载类型、管径比的圆形和方形钢管混凝土梁柱的力学性能。

采用有限元法 (finite element method) 进行钢管混凝土构件的分析是工程中较为普遍的实用方法。该方

法计算过程迅速, 结果准确, 应用范围广, 但是前期的本构模型、物理参数设计与选择尤为关键<sup>[1-3]</sup>。

## 2 纤维模型计算方法

纤维模型方法将结构中的梁柱构件视为一个单元, 单元的每一截面为纤维截面即积分点处的截面, 此截面被分成很多小纤维, 每根纤维可单独定义材料性质, 可分别定义不同的本构以模拟混凝土材料或钢材材料, 积分点的个数可通过自定义确定, 以得到不同的计算精度。通过积分点的截面刚度阵高斯数值积分得到单元的刚度阵, 纤维被认为只有纵向变形而忽略其剪切变形, 能很好模拟构件的弯曲变形和轴向变形, 在理论上适宜于钢管混凝土结构的计算, 本文采用 OpenSees 中的 Nonlinear Beam - Column 模型进行计算。

## 3 纤维模型方法的应用

本文采用的核心混凝土本构模型是 KAS Susantha 等人提出的。该模型适用于纤维模型有限元方法。

OpenSees 中有三种钢材本构模型, 本文选用弹塑性模型——Steel01, 其本构关系:

$$\sigma_z = \begin{cases} -f_y + E_{sh}(\varepsilon_s + \varepsilon_y) & \varepsilon_s < \varepsilon_y \\ E_s \varepsilon_s & -\varepsilon_y < \varepsilon_s < \varepsilon_y \\ f_y + E_{sh}(\varepsilon_s + \varepsilon_y) & \varepsilon_s > \varepsilon_y \end{cases}$$

式中  $\varepsilon_y$  —屈服应变;

$\sigma$ —屈服应力;

$E$ —弹性模量。

试验的肋拱模型选取截面形式最简单的串圆管肋拱,取模型肋拱的设计跨径为460 cm,拱肋下缘曲线为一次抛物线 $y = \frac{x^2}{3.45}$ ,净矢高=153.3 cm。基本参数:管壁厚3.792 mm,屈服强度 $f_y = 307.67$  MPa,极限抗拉强度 $f_t = 460$  MPa,钢材弹性模量 $E_s = 206$  GPa;混凝土立方体抗压强度 $f_{cu} = 36.8$  MPa,混凝土的弹性模量 $E_c = 32.1$  GPa。模型在跨中拱顶加竖向集中荷载<sup>[4-5]</sup>。

有限元纤维模型共划分24个单元,25个节点。截面上核心混凝土部分分割了300根纤维,钢管部分分割了60根纤维,应用纤维模型方法的计算结果与试验所得的荷载曲线结果如图1所示。

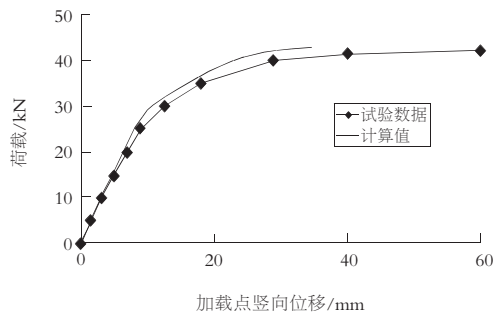


图1 模型荷载挠度曲线

由图1所示模型荷载挠度曲线可知:模型试验测得的破坏荷载为42.07 kN,极限位移量为40 mm,采用纤维模型方法计算结果为43.00 kN,极限位移量为34.6 mm,破坏荷载相差2.16%,两种方法测得的荷载挠度曲线规律吻合较好,采用纤维模型方法能很好地反映钢管混凝土拱肋的非线性力学性能。

对于大跨度钢管混凝土拱桥,风荷载是常见的外荷载。风的静力作用一方面会导致结构发生重大变位,严重时会导致整个结构失稳。大跨径桥梁由于地处峡谷或江河,极端天气多现,还有可能出现空气静力失稳先于动力失稳而发生问题,对于大跨径钢管混凝土拱桥的静风稳定性问题的研究有很重要的实践意义。本计算模型将风力简化为横向力施加于拱肋上,总结钢管混凝土拱肋的横向失稳规律。由于大跨径拱桥的面外刚度远小于其面内刚度,在横向力风荷载作用下小位移的弹性理论不再适用,只有采用非线性理论才能真实地描述结构的受力特性。

为了解不同位置施工荷载对拱肋稳定性的影响,分别在拱肋1/4跨(A-1模型)、拱顶(A-2模型)作用竖向集中荷载,取横向力与竖向力的比值为 $k$ , $k$ 值分别为0%、5%、10%、20%、30%、40%和50%,各种工况的极限荷载及承载力折减系数如表1、图2所示。

表1 各种横向力作用下拱的极限承载力

模型	$k$ 值	极限荷载/N	承载力折减系数
A-1	0.00	30 000	1
	0.05	30 000	1
	0.10	29 000	0.97
	0.20	27 000	0.9
	0.30	24 000	0.8
	0.40	21 000	0.7
	0.50	19 000	0.63
A-2	0.00	43 000	1
	0.05	41 000	0.95
	0.10	35 000	0.81
	0.20	26 000	0.6
	0.30	20 000	0.47
	0.40	16 000	0.37
	0.50	14 000	0.33

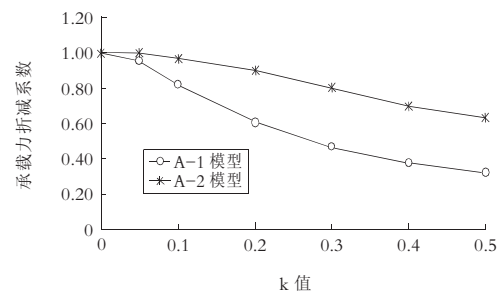


图2 钢管混凝土拱肋承载力的折减

由表1和图2可以看出:横向力的施加极大地降低了结构的承载能力,当横向力与竖向力的比值为50%时拱肋的极限承载力分别降至0.63和0.33。外荷载施加于拱肋1/4跨时较拱顶对极限承载力降低30.2%,其影响更大,在进行拱上结构及桥面系的施工时要加以充分考虑。有横向力作用且拱顶有荷载时承载力折减更为迅速,也更为明显。模型的竖向荷载相当于拱上结构及桥面系荷载的简化,本结论对于拱上结构的设计有一定的借鉴意义。

#### 参考文献

- [1] 陈友杰. 钢管混凝土拱桥面内受力全过程研究[D]. 福州:福州大学,1998.

文章编号: 1005 - 0574 - (2014)05 - 0057 - 03

# 基于语言变量及 TOPSIS 的大件运输线路选择评价

李永成, 吴宇

(四川省大件运输公司 四川 成都 610057)

**摘要:** 运输线路的选择是大件运输的基础,对于整个运输过程的安全性和经济性有着非常重要的作用。文章针对线路选择的实际情况,建立了线路选择评价指标模型,同时采用基于语言变量及 TOPSIS 的方法进行评价。

**关键词:** 大件运输; 线路; TOPSIS

中图分类号: U492.3<sup>+1</sup>

文献标识码: A

**Abstract:** The transportation choice is basis of large transport, has a very important role for the safety and economy of the whole process of transportation. Aiming at the actual situation of route choice, route choice evaluation index model is established, at the same time, evaluated based on the language variable and TOPSIS.

**Key words:** bulk transport; route; TOPSIS

大件运输不同于普通运输,首先考虑的是运输线路的安全通过性,其次才是经济性,但是目前对于运输线路的评价大多是定性指标,评价主观性过强,而采用 TOPSIS 评价方法可以将评价指标定量,做到科学评价,选择最优路线。

## 1 评价指标模型建立

公路大件货物运输强调货物运输的安全可靠性,且力图在最短的时间、花费最少的成本完成大件货物的运输。在选择大件货物运输路线时,尽管大件货物的属性、各个决策者的偏好以及完成运输的时间要求等可能不太一样<sup>[1]</sup>,但运输的最终目的都是一样的,即按质、按时实现大件货物的运输。因此在对公路大件货物运输线路进行评价时,就要从公路运输线路的安全性、时效性、经济性三个方面进行评价。其中安全性包括货物安全、道路安全、车辆安全、人员安全<sup>[2]</sup>;时效性指运输所花费的时间长短,主要包括运输时间、

排障时间、协调时间、意外事故处理时间;经济性主要指运输所花费的费用,包括前期准备费用、车辆行驶费用、车辆维护费用以及间接运行费用等。评价指标如图 1 所示。

### 1.1 安全性

大件货物运输的安全性是评价线路选择首要也是

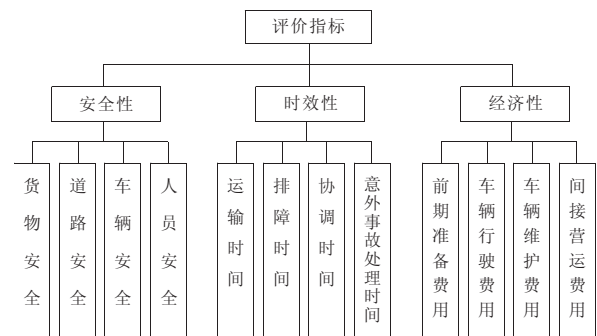


图 1 评价指标

[2] K. J. Elwood. Shake Table Tests and Analytical Studies on the Gravity Load Collapse of RC Frames [D]. Ph. D. Thesis. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley. 2002.

[3] Zhaohui Yang and A. Elgamel. Command Manual and User Reference for OpenSees Soil Models and Fully Coupled Element [R]. University of California, San Diego. 2003.

[4] 陈宝春, 陈友杰. 钢管混凝土肋拱面内受力全过程试验研究 [J]. 工程力学, 2000 (2): 44 - 50.

[5] 韦建刚, 陈宝春, 林英. 钢管混凝土肋拱面内多点对称加载试验研究 [J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001 (增刊): 102 - 106.

收稿日期: 2014 - 07 - 09