

文章编号: 1005-0523(2010)06-0007-05

带肋方钢管混凝土桥墩的经济效果分析

李维徽^{1,2}, 张安哥¹

(1. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 江西省交通设计院, 江西 南昌 330002)

摘要: 计算比较了钢筋混凝土、方钢管混凝土和带肋方钢管混凝土柱的工程造价, 结果表明: 带肋方钢管混凝土柱比方钢管混凝土柱节省了约 42% 左右的钢材费用, 降低了 35% 的工程造价; 虽然带肋方钢管混凝土柱的工程造价比钢筋混凝土柱高出了 47%, 但带肋方钢管混凝土柱的施工方便, 且可以缩短一半以上的施工工期; 在桥墩中采用带肋方钢管混凝土, 不仅使墩身具有较大的强度和刚度, 而且使桥墩结构轻巧美观, 因而综合经济效果良好。

关 键 词: 方钢管混凝土 纵向加劲肋 经济效果

中图分类号: **文献标识码:** A

目前钢管混凝土在桥墩中的应用以圆钢管混凝土为主, 方钢管混凝土的应用少见报道。方钢管混凝土与圆钢管混凝土相比, 具有抗弯刚度大、节点形式简单、制作施工和采用防火措施方便等优势^[1], 但由于方钢管混凝土对其核心混凝土的约束作用主要集中在混凝土截面的角部和核心部位, 而混凝土截面边长中部的约束作用比较弱, 因此在荷载的作用下钢管管壁较易产生向外的局部屈曲, 尤其是应用在桥墩中的方钢管混凝土, 其截面尺寸和施加荷载都比较大, 要考虑较大的钢管宽厚比 (B/t) 对其承载力的影响。以往的研究结果表明^[2-8]: 设置纵向加劲肋能有效改善钢管管壁的稳定性, 增强钢管对核心混凝土的约束作用, 从而提高此类构件的极限承载力, 如图 1(c) 所示, 图中 h_s 和 t_s 分别为加劲肋高度和厚度。

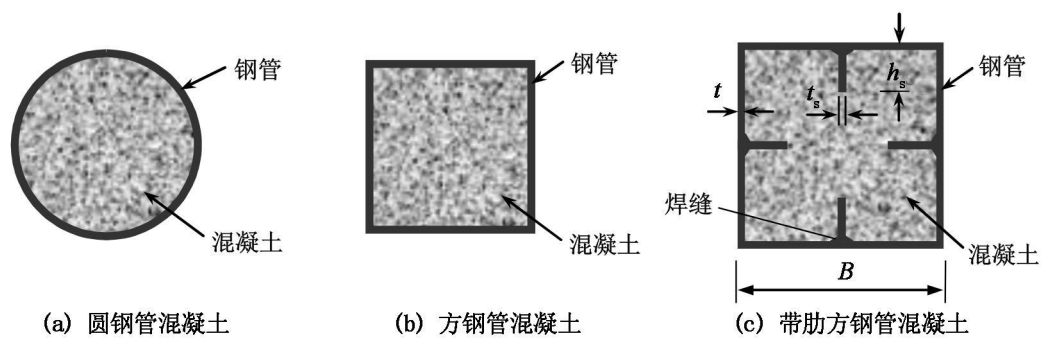


图 1 钢管混凝土截面类型

本文拟以厦门—成都国家高速公路江西瑞金至赣州段的 K86+675 于都九龙山高架桥墩为例, 对钢筋混凝土、方钢管混凝土和带肋方钢管混凝土 3 种墩柱的工程造价进行计算比较, 在此基础上对带肋方钢管混凝土的经济效果进行分析, 以期对相关工程实践提供参考。

1 设计方法

1.1 轴压承载力

带肋方钢管混凝土轴压承载力 N_u 的计算公式^[3] 为

$$N_u = \psi_1 A_{sc} f_{sc} + \psi_2 A_{st} f_{st} \tag{1}$$

$$f_{sc} = (1.18 + 0.85 \xi_0) f_c \quad (2)$$

其中: A_{sc} 为钢管和混凝土二者的截面面积之和; f_{sc} 为方钢管混凝土的组合轴压强度设计值; ξ_0 为约束效应系数设计值 ($\xi_0 = A_s f / A_c f_c$), A_s 为钢管的横截面面积, f 为钢管的强度设计值, A_c 为混凝土的横截面面积, f_c 为混凝土的轴心抗压强度设计值; A_{st} 为加劲肋的横截面面积; f_{st} 为加劲肋的强度设计值; ψ_1 、 ψ_2 分别为与 B/t 、 h_s/t_s 相关的承载力影响系数。

$$\begin{cases} \psi_1 = -0.001 \left[\frac{B/t}{(B/t)_0} \right]^2 + 0.017 \left[\frac{B/t}{(B/t)_0} \right] + 0.946 \\ \psi_2 = 0.85 \ln(h_s/t_s) - 0.85 \end{cases} \quad (3)$$

其中: B/t 为方钢管宽厚比; h_s/t_s 为加劲肋的高厚比, $(B/t)_0$ 为方钢管合理宽厚比限值^[9]。

$$(B/t)_0 = 60 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (4)$$

其中: f_y 为钢材的屈服强度。

1.2 抗弯承载力

考虑纵向加劲肋的影响, 对江西省工程建设标准《钢管混凝土结构技术规程》^[9] 中的方钢管混凝土抗弯承载力进行适当修正, 提出带肋方钢管混凝土抗弯承载力 M_u 的计算公式为

$$M_u = \gamma_m W_{scm} f_{sc} + \gamma_{st} W_{st} f_{st} \quad (5)$$

其中: W_{scm} 为方钢管混凝土的截面抗弯模量, $W_{scm} = B^3/6$; f_{sc} 为方钢管混凝土的组合轴压强度设计值, 按式(2)计算, W_{st} 为加劲肋绕方钢管混凝土截面中和轴的抗弯模量; f_{st} 为加劲肋的强度设计值; γ_m 为抗弯承载力计算系数, γ_{st} 为与加劲肋高厚比 h_s/t_s 相关的承载力影响系数, γ_m 、 γ_{st} 的计算公式如下

$$\begin{cases} \gamma_m = 1.04 + 0.48 \ln(\xi + 0.1) \\ \gamma_{st} = -0.02(h_s/t_s) + 3.53 \end{cases} \quad (6)$$

其中: ξ 为约束效应系数标准值, $\xi = A_s f_y / A_c f_{ck}$, A_s 为钢管的横截面面积, f_y 为钢管的屈服强度, A_c 为混凝土的横截面面积, f_{ck} 为混凝土的轴心抗压强度标准值, h_s/t_s 为加劲肋的高厚比。

1.3 压弯承载力

基于江西省工程建设标准《钢管混凝土结构技术规程》^[9] 中的计算公式, 得到带肋方钢管混凝土压弯构件的轴力 (N) 与弯矩 (M) 相关方程如下

$$\begin{cases} \frac{1}{\varphi} \times \frac{N}{N_u} + \frac{\alpha}{d} \left(\frac{M}{M_u} \right) = 1 & (N/N_u \geq 2\varphi^3 \eta_0) \\ -b \left(\frac{N}{N_u} \right)^2 - c \left(\frac{N}{N_u} \right) + \frac{1}{d} \left(\frac{M}{M_u} \right) = 1 & (N/N_u < 2\varphi^3 \eta_0) \end{cases} \quad (7)$$

其中: N_u 、 M_u 分别为由式(1)和(5)确定的轴压承载力和抗弯承载力; 其余参数的确定方法见江西省工程建设标准《钢管混凝土结构技术规程》^[9] 中的相关规定; 该计算公式得到了试验和有限元分析结果的验证, 具有较好的计算精度。

2 设计方案

厦门—成都国家高速公路江西瑞金至赣州段的 K86+675 于都九龙山高架桥是一座采用双柱式桥墩的双线公路桥, 该桥上部结构形式为 5 跨 30 m 的先简支后连续钢筋混凝土预应力 T 梁, 下部桥墩采用柱式桥墩, 桩基采用钻孔灌注桩基础, 桥型布置如图 2 所示。

现以 3 号桥墩墩柱为例, 如图 3 所示, 墩柱的设计荷载为: 弯矩 $M' = 3\,490.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 轴向压力 $N' = 7\,496.0 \text{ kN}$ 。以下分别采用钢筋混凝土、方钢管混凝土和带肋方钢管混凝土柱 3 种方案对③号桥墩墩柱进行设计, 为了便于比较, 设计的原则是尽量保证三种方案中墩柱的实际承载能力相接近, 表 1 中列出了 3 种墩柱的承载力。

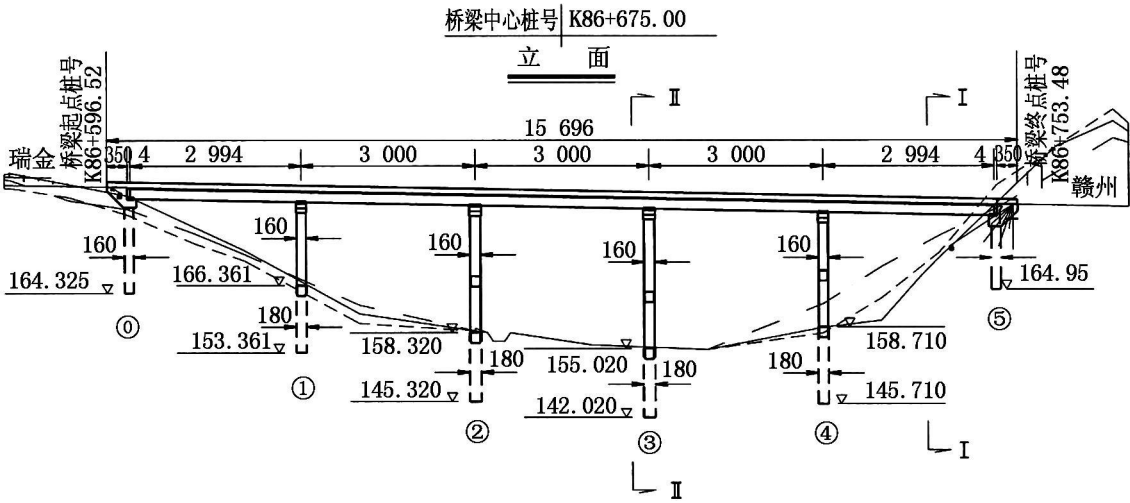


图 2 桥型布置图(单位:cm)

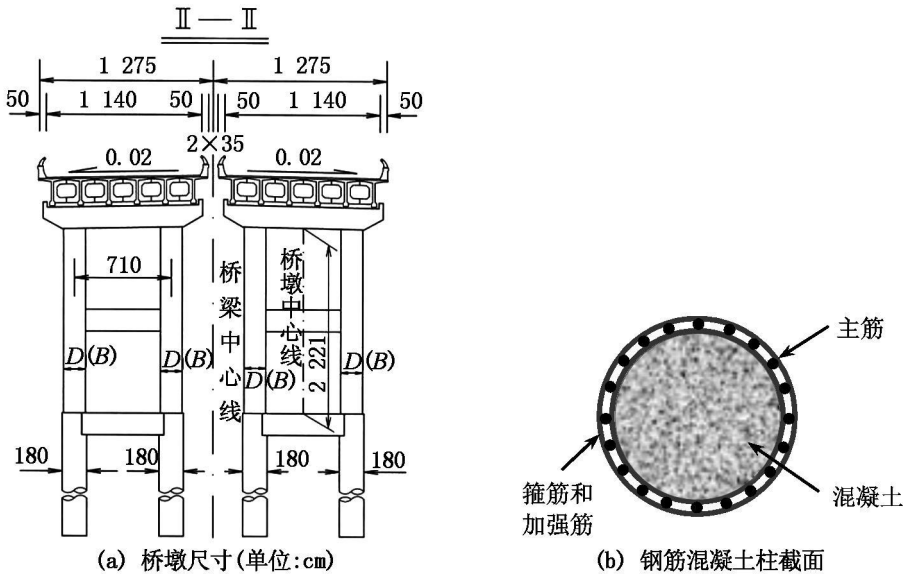


图 3 ③号桥墩结构示意图

表 1 三种方案的承载力比较

截面形式	抗弯承载力 $M/(kN \cdot m)$	轴压承载力 N/kN
钢筋混凝土	8 859.7	22 001.8
方钢管混凝土	9 321.1	22 001.8
带肋方钢管混凝土	8 925.0	22 001.8

方案一:设计为钢筋混凝土。墩柱直径 $D=1.6\text{ m}$;钢筋采用 HRB335,强度设计值 $f=300\text{ MPa}$;混凝土采用 C30,混凝土强度设计值 $f_c=14.3\text{ MPa}$ 。材料用量情况见表 2。

方案二:设计为方钢管混凝土。墩柱截面边长 $B=1.0\text{ m}$,方钢管壁厚 $t=20\text{ mm}$;钢材采用 Q345,钢材屈服强度 $f_y=345\text{ MPa}$,钢材强度设计值 $f=310\text{ MPa}$;混凝土采用 C40,混凝土强度设计值 $f_c=19.1\text{ MPa}$ 。采用喷涂防火涂料的防火措施,防火保护层厚度取 12 mm (耐火极限 2 h)。材料用量情况见表 2。

方案三:设计为带肋方钢管混凝土。墩柱截面边长 $B=1.1\text{ m}$,方钢管壁厚 $t=8\text{ mm}$;钢材采用 Q345,钢材屈服强度 $f_y=345\text{ MPa}$,钢材强度设计值 $f=310\text{ MPa}$;混凝土采用 C40,混凝土强度设计值 $f_c=$

19.1 MPa;采用喷涂防火涂料的防火措施,防火保护层厚度取 12 mm(耐火极限 2 h);方钢管的宽厚比不满足规范规定的宽厚比限值要求^[9],因此在每个管壁内侧等距设置两条纵向加劲肋,加劲肋的高度 $h_s=160$ mm,加劲肋的厚度与钢管管壁的厚度相同 $t_s=8$ mm。材料用量情况见表 2。

表 2 三种方案的材料用量表

墩柱类型	钢材/kg (钢筋或钢板)	混凝土/m ³	模板/m ²	防火涂料/m ²
钢筋混凝土	螺纹钢	10 885.47	253.97	—
	光圆钢筋	552.24		
方钢管混凝土		27 337.84	—	177.68
带肋方钢管混凝土		15 755.53	—	195.45

3 经济效果分析

根据江西省工程消耗量定额及统一基价表和近期市场行情,确定出各材料的平均综合单价(包括材料、人工、机械等相关费用),见表 3。表 4 列出了钢筋混凝土、方钢管混凝土和带肋方钢管混凝土柱的工程造价比较情况。

表 3 材料的平均综合单价

材料名称	材料费	人工费	机械费	综合单价
螺纹钢/元·t ⁻¹	3 093.85	125.49	69.57	3 288.91
光圆钢筋/元·t ⁻¹	3 117.21	374.12	41.09	3 532.42
钢管/元·t ⁻¹	3 925.71	326.65	866.50	5 118.86
混凝土/元·m ⁻³	164.10	56.64	6.81	227.55
模板/元·m ⁻²	17.62	14.92	1.58	34.12
防火涂料/元·m ⁻²	—	—	—	50.00

表 4 三种方案的经济效果比较

墩柱类型	钢材/元 (钢筋或钢板)	混凝土/元	模板/元	防火涂料/元	总计/万元	预计工期/天
钢筋混凝土	37 752.1	22 752.7	8 665.5	—	6.92	28
方钢管混凝土	139 938.6	9 315.9	—	8 884.0	15.81	12
带肋方钢管混凝土	80 650.3	11 773.4	—	9 772.4	10.22	12

由表 4 可见,带肋方钢管混凝土柱与方钢管混凝土柱相比,虽然增加了部分的混凝土和防火涂料的费用,但却节省了约 42%的钢材用量,因此降低了 35%的工程造价,经济效果显著。

而带肋方钢管混凝土桥墩与钢筋混凝土桥墩相比,带肋方钢管混凝土桥墩的混凝土费用减少了约 48%,但钢材费用却提高了近 113%,且防火涂料费用也略比模板用费高,所以导致带肋方钢管混凝土桥墩的工程造价比钢筋混凝土桥墩高出近 47%。

然而在实际工程中,对于钢筋混凝土桥墩的建造,一方面钢筋需要加工制作,并通过绑扎或焊接形成钢筋骨架;另一方面混凝土浇筑需要搭建脚手架、制作安装模板;这样会延长工期,增加相关的劳动力成本,进而提高工程造价。而对于带肋方钢管混凝土柱来说,钢管的制作比钢筋骨架的制作安装简单,钢管本身既是纵筋又是箍筋,这样便省去了钢筋骨架及模板的制作安装;且钢管本身在施工阶段可作为主要承重骨架,这样又省去了大量的脚手架;上述这些方面都对施工作业大为有力,改善了工作条件,减少了现场露天工作,大大缩短了工期,由表 4 可见,施工工期缩短了一半以上,从而降低了相当一部分的施工费用^[1]。

综上所述,在实际工程应用中,带肋方钢管混凝土比钢筋混凝土柱略占优势,尤其是在有大量墩柱的桥梁工程中,带肋方钢管混凝土施工方便和缩短工期的优势更为明显;同时带肋方钢管混凝土桥墩结构轻巧美观,墩柱截面较小,桥下通视情况好,并能保证墩身具有较大的强度和刚度,因而特别适合在桥宽较大

的城市桥和立交桥中应用。

4 结论

由本文的分析可得到如下结论:

- (1) 带肋方钢管混凝土柱与方钢管混凝土柱相比, 节省了约 42% 左右的钢材费用, 降低了 35% 的工程造价, 经济效果显著;
- (2) 带肋方钢管混凝土柱与钢筋混凝土柱相比, 混凝土费用减少了 48%, 钢材费用提高了 113%, 从而工程造价高出了近 47%;
- (3) 带肋方钢管混凝土柱具有施工方便和缩短工期的特点, 施工工期缩短了一半以上, 因而在实际工程应用中, 带肋方钢管混凝土具有明显的施工优势。

参考文献:

[1] 韩林海. 钢管混凝土结构—理论与实践[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2007.

[2] 陶忠, 于清. 新型组合结构柱—试验、理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[3] 李毅. 带肋方钢管混凝土轴压短柱的承载力研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2010.

[4] 张耀春, 陈勇. 设直肋方形薄壁钢管混凝土短柱的试验研究与有限元分析[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(5): 16-22.

[5] TAO Z, HAN L H, WANG D Y. Strength and ductility of stiffened thin-walled hollow steel structural stub columns filled with concrete [J]. Thin-Walled Structures, 2008, 46(10): 1113-1128.

[6] 黄宏, 李毅, 张安哥. 带肋方钢管混凝土轴压短柱的试验研究[J]. 铁道建筑, 2009(12): 113-115.

[7] TAO Z, HAN L H, WANG D Y. Experimental behaviour of concrete-filled stiffened thin-walled steel tubular columns [J]. Thin-Walled Structures, 2007, 45(5): 517-527.

[8] 周继忠, 郑永乾, 陶忠. 带肋薄壁和普通方钢管混凝土柱的经济性比较[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2008, 36(4): 598-602.

[9] 江西省工程建设标准 DB36/J001-2007. 钢管混凝土结构技术规程[S]. 南昌, 2007.

Economic Effect of Bridge Piers of Concrete-filled Square Steel Tube with Ribs

Li Weihui^{1,2}, Zhang Ange¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Jiangxi Jiaotong Designing Institute, Nanchang 330002, China)

Abstract: The engineering cost of the reinforced concrete, steel reinforced concrete and concrete-filled square steel tube with ribs is compared. The results show that ribbed steel reinforced concrete column for CFST column saves about 42 % of steel; the cost of the project cost can be reduced by 35%. Although engineering cost of ribbed steel reinforced concrete column saves 47% than that of reinforced concrete column, ribbed steel reinforced concrete column is convenient to construct, and can shorten more than half of construction period. Ribbed steel reinforced concrete column in bridge not only has greater strength and rigidity, but also makes the structure to be dexterous, which has good comprehensive economic effect.

Key words: concrete-filled square steel tube with ribs; longitudinal stiffeners; economic effect

(责任编辑 王全金)