

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.02.055

系梁对哑铃型承台基础承载特性的影响研究

黄 洁

[上海市政设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 针对我国大跨度桥梁目前常用的哑铃型承台基础, 分析了系梁对基础承载能力特性的影响因素, 建立 FEA 有限元模型, 重点分析系梁宽度及高度对哑铃型承台基础的基础承载特性影响规律, 进一步讨论系梁底设置桩基的合理性。结果表明: 随着系梁高度及宽度增加, 系梁刚度变大, 传递的剪力或弯矩增大, 对上部结构荷载作用下基础承载力验算有利; 但系梁自重也变大, 对基础承载力验算不利。系梁自重引起的不利影响要远大于刚度增加带来的有利影响。在系梁底布置桩基可有效承载系梁自重, 但对提高承台整体的承载能力并无明显益处。

关键词: 哑铃型承台基础; 系梁; 桩顶反力; FEA 有限元分析

中图分类号: U443.25

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)02-0193-04

0 引 言

随着交通流量的逐年增加, 我国新建及拟建桥梁结构的桥面宽度逐渐加大。因此, 桥梁基础承台的平面尺寸逐渐增大。为了保证承台与桩基之间的相对刚度, 减小承台自身的重量, 分离式的哑铃型承台逐渐成为目前大跨桥梁结构基础常采用的一种形式。与整体式承台不同, 分离式的哑铃型承台是由两个独立的承台之间通过一根系梁连接而成。国内外学者也对哑铃型承台基础的受力性能进行了一定的研究。目前, 系梁刚度及桩基布置对哑铃型承台基础承载变形特性的影响研究不多。

在目前的实际工程中, 承台系梁一般采用钢筋混凝土材料。系梁的截面尺寸如何设计对哑铃型承台基础受力更有利, 系梁底布置桩基是否合适等问题并没有得到论证。因此, 现将结合有限元方法、桥梁结构理论^[1]及公路桥梁规范^[2-3], 对上述问题进行研究, 以期对哑铃型承台的设计和使用提供指导。

1 哑铃型承台群桩基础计算模型

现以一实际桥梁工程的哑铃型承台基础为背景, 建立有限元分析模型。该桥主桥上部结构为漂浮体系斜拉桥。主墩承台为哑铃型承台, 主墩每侧哑铃型部分半径 18.7 m, 其下布置 28 根 2 500 mm 钻孔灌注桩, 桩长 79 m, 冲刷线以上桩长 9.2 m。承台圆

柱形部分高 11 m, 圆锥形部分高 5 m。

现结合有限元法, 使用 MIDAS FEA 软件进行建模。桥墩和承台系梁采用有限元实体单元模拟, 桩基采用梁单元模拟, 转换模型重量为集中质量。承台与墩底、系梁和桩顶刚性连接, 桩底固结。上部结构作用于桥墩顶部, 上部结构传递的单个墩柱主要荷载如表 1 所列, 其中汽车荷载与上部结构恒载为对称荷载, 横向风荷载为反对称荷载; 分析模型如图 1 所示。

表 1 FEA 计算荷载汇总表(单个墩柱)

荷载名称	横向水平力 /kN	竖向力 /kN	横向弯矩 /(kN·m)
	FX	FZ	MY
横向风力	9 531	-25 615	437 170
汽车荷载	1 161	-41 591	2 085
上部结构恒载	2 483	-498 157	-221 141

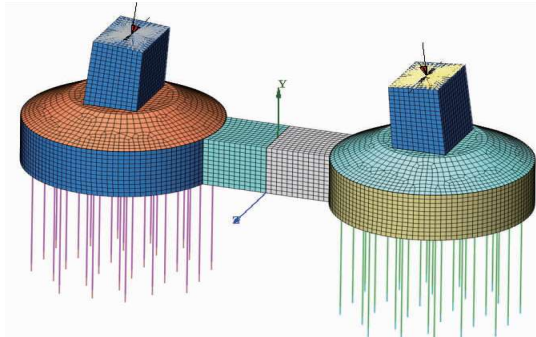


图 1 哑铃型承台基础有限元模型

2 不同宽度系梁对哑铃型承台群桩基础承载特性的影响

2.1 不同宽度系梁对系梁自身的内力影响

现建立不同宽度($B=12、16、20\text{ m}$)系梁的有限元

收稿日期: 2021-05-14

作者简介: 黄洁(1989—), 女, 硕士, 工程师, 从事桥梁工程设计研究工作。

模型,系梁高 $H=11\text{ m}$,分析不同宽度系梁在各类型荷载作用下对系梁中点内力的影响。系梁中点内力反应出系梁传递承台间的内力,同时也控制着系梁本身结构承载力验算。

表 2~表 5 分别为哑铃型承台在自重作用、上部结构恒载、横向风荷载作用下,以及汽车荷载作用下系梁中点内力对比表。从表中可以看出,除了在横向风作用下系梁中点内力几乎为零。系梁宽度越宽,系梁抗弯刚度则越大。系梁宽度 $B=20\text{ m}$ 比系梁宽度 $B=12\text{ m}$ 的抗弯刚度增加 66%,在自重作用下,系梁中点产生了很大的轴力,以及弯矩,轴力增加 54.9%,弯矩增加 112%。在横向风作用、上部结构恒载,以及汽车荷载作用下,随着系梁的增宽,系梁传递的轴力没有变化,弯矩分别增加了 39.79%、35%,以及 37.31%。

表 2 自重作用下不同宽度系梁中点内力表

模型类别	轴力 F_X/kN	剪力 F_Y/kN	弯矩 $M_Z/(\text{kN}\cdot\text{m})$
系梁 $B=20\text{ m}$	8 630	0	6.18E+05
系梁 $B=16\text{ m}$	7 230	0	4.45E+05
系梁 $B=12\text{ m}$	5 570	0	2.91E+05
最大差值	3 060	0	327 000
百分比 $\%$	54.94	—	112.37

表 3 横向风荷载作用下不同宽度系梁中点内力表

模型类别	轴力 F_X/kN	剪力 F_Y/kN	弯矩 $M_Z/(\text{kN}\cdot\text{m})$
系梁 $B=20\text{ m}$	2.76E+03	1.40E+04	2.67E+04
系梁 $B=16\text{ m}$	2.78E+03	1.34E+04	2.32E+04
系梁 $B=12\text{ m}$	2.78E+03	1.25E+04	1.91E+04
最大差值	-20	1 500	7 600
百分比 $\%$	-0.72	12.00	39.79

表 4 上部结构恒载作用下不同宽度系梁中点内力

模型类别	轴力 F_X/kN	剪力 F_Y/kN	弯矩 $M_Z/(\text{kN}\cdot\text{m})$
系梁 $B=20\text{ m}$	5.61E+04	2.01	1.89E+05
系梁 $B=16\text{ m}$	5.60E+04	1.9	1.67E+05
系梁 $B=12\text{ m}$	5.57E+04	1.81	1.40E+05
最大差值	400	0	49 000
百分比 $\%$	0.72	—	35.00

表 5 汽车作用下不同宽度系梁中点内力

模型类别	轴力 F_X/kN	剪力 F_Y/kN	弯矩 $M_Z/(\text{kN}\cdot\text{m})$
系梁 $B=20\text{ m}$	5.89E+03	0	2.65E+04
系梁 $B=16\text{ m}$	5.89E+03	0	2.33E+04
系梁 $B=12\text{ m}$	5.87E+03	0	1.93E+04
最大差值	20	0	7 200
百分比 $\%$	0.34	—	37.31

综上所述,系梁宽度影响着系梁刚度,系梁刚度影响了系梁在承台间传递的剪力与弯矩,但对系梁在承台间传递的轴力影响很小。

系梁在自重作用时,主要向承台传递系梁自身重力,随着系梁宽度增加,自身重力的增量及百分比都很大,对结构不利;在横向风荷载、上部结构恒载,以及汽车荷载作用下,随着系梁宽度增加,刚度增大,传递的剪力或弯矩有较大增加,对结构有利。自重作用下增加的对承台不利弯矩,要明显大于其他荷载作用下对承台传递的有利弯矩。

2.2 不同宽度系梁对桩顶反力分布的影响

在上述不同宽度($B=12、16、20\text{ m}$)系梁的有限元对比模型的基础上,分析不同系梁宽度对哑铃型承台群桩基础桩顶反力分布的影响。

表 6~表 9 分别为哑铃型承台自重作用、横向风荷载作用、上部结构恒载及汽车荷载作用下桩顶反力对比表。从表中可以看出,随着系梁宽度增加,自重作用下桩顶最大轴力及最大弯矩都增加,对桩基结构受力不利。其他上部结构荷载作用下,随着系梁宽度增加,桩顶最大轴力及弯矩都有所减小。其中,由于在横向风作用下,系梁传递剪力,所以最大轴力减小的幅度最大。

表 6 自重作用下桩顶反力表

模型类别	最大轴力 /kN	最小轴力 /kN	最大弯矩 /(kN·m)	最小弯矩 /(kN·m)
系梁 $B=20\text{ m}$	2.40E+04	1.21E+04	2.38E+03	2.38E+03
系梁 $B=16\text{ m}$	2.26E+04	1.25E+04	2.04E+03	2.04E+03
系梁 $B=12\text{ m}$	2.10E+04	1.30E+04	1.64E+03	1.64E+03
最大差值	3 000	-900	745	745
百分比 $\%$	14.29	-6.92	45.57	45.57

表 7 横向风荷载作用下桩顶反力

模型类别	最大轴力 /kN	最小轴力 /kN	最大弯矩 /(kN·m)	最小弯矩 /(kN·m)
系梁 $B=20\text{ m}$	3.89E+03	2.89E+03	2.46E+03	1.28E+03
系梁 $B=16\text{ m}$	3.99E+03	2.96E+03	2.48E+03	1.27E+03
系梁 $B=12\text{ m}$	4.14E+03	3.06E+03	2.50E+03	1.26E+03
最大差值	-252	-170	-40	21
百分比 $\%$	-6.09	-5.56	-1.60	1.67

表 8 上部结构恒载作用下桩顶反力

模型类别	最大轴力 /kN	最小轴力 /kN	最大弯矩 /(kN·m)	最小弯矩 /(kN·m)
系梁 $B=20\text{ m}$	1.92E+04	1.51E+04	1.05E+03	1.05E+03
系梁 $B=16\text{ m}$	1.94E+04	1.50E+04	1.08E+03	1.08E+03
系梁 $B=12\text{ m}$	1.95E+04	1.47E+04	1.08E+03	1.08E+03
最大差值	-280	440	-26	-26
百分比 $\%$	-1.44	2.99	-2.42	-2.42

表 9 纵向汽车荷载作用下桩顶反力

模型类别	最大轴力 /kN	最小轴力 /kN	最大弯矩 /(kN·m)	最小弯矩 /(kN·m)
系梁 B=20 m	1.80E+03	1.07E+03	1.45E+02	1.45E+02
系梁 B=16 m	1.82E+03	1.05E+03	1.50E+02	1.50E+02
系梁 B=12 m	1.84E+03	1.02E+03	1.52E+02	1.52E+02
最大差值	-44	54	-7	-7
百分比 /%	-2.39	5.31	-4.61	-4.61

哑铃型承台随着系梁宽度增加,系梁自重增加,向承台传递很大的内力,从而导致桩顶反力增加很大。在其他荷载作用下,系梁向承台间传递的轴力变化百分比很小,传递的弯矩有所增加,但弯矩一般均分至承台底的众多桩顶上,从而导致桩顶最大轴力及弯矩有所增加,但增加百分比很小。

3 不同高度系梁对哑铃型承台群桩基础承载特性的影响

3.1 不同高度系梁对系梁自身的内力影响

建立了对比有限元模型,其系梁取不同高度 $H=11\text{ m}$ 及 $H=7\text{ m}$,系梁宽度取 $B=12\text{ m}$,对比分析系梁高度在各类型荷载作用下对系梁中点内力的影响。系梁中点内力反应出系梁传递承台间的内力,同时也控制着系梁本身结构的承载力。

表 10 为哑铃型承台在自重作用下系梁中点内力对比表。系梁高度越高,系梁抗弯刚度则越大。系梁高度 $H=7\text{ m}$ 比系梁宽度 $H=11\text{ m}$ 的抗弯刚度减小了 74.2%,在自重作用下,系梁中点轴力减小 16.52%,弯矩减小 65.84%。同时通过研究表明:在横向风作用、上部结构恒载,以及汽车荷载作用下,随着高度的减小,系梁传递的轴力变化百分比很小,弯矩分别减小了 67.64%、70.79%及 69.53%。在横向风作用下,系梁传递的剪力减小了 27.8%。

表 10 自重作用下不同高度系梁中点内力对比表

模型类别	轴力 FX/kN	剪力 FY/kN	弯矩 MZ/(kN·m)
系梁 $H=7\text{ m}$	4 650	0	9.94E+04
系梁 $H=11\text{ m}$	5 570	0	2.91E+05
最大差值	-920	0	-19 1600
百分比 /%	-16.52	—	-65.84

综上所述,由于系梁高度比宽度对系梁刚度的影响更大,系梁增加高度比系梁增加宽度,在系梁自重作用下对承台不利影响更小;在其他荷载作用下,系梁传递的弯矩增加百分比也更大,对结构的有力影响也更大。不同高度系梁在其他荷载作用下在承台间传递的轴力相近。

3.2 不同高度系梁对桩顶反力的影响

在上述不同高度的有限元对比模型的基础上继续分析系梁高度在各荷载类型作用下对桩顶反力的影响。

表 11 为哑铃型承台自重作用下桩顶反力对比表。从表中可以看出,随着系梁高度减小,自重作用下桩顶最大轴力及最大弯矩都减小,对桩基结构受力有利。同时通过研究表明,在横向风荷载作用下,由于系梁传递剪力及弯矩,承台底桩基最大轴力增加 12.71%,对桩基结构不利。在上部结构恒载及汽车荷载作用下,桩顶反力变化不大。

表 11 自重作用下桩顶反力对比表

模型类别	最大轴力 /kN	最小轴力 /kN	最大弯矩 /(kN·m)	最小弯矩 /(kN·m)
系梁 $H=7\text{ m}$	1.95E+04	1.34E+04	1.36E+03	1.36E+03
系梁 $H=11\text{ m}$	2.10E+04	1.30E+04	1.64E+03	1.64E+03
最大差值	-1540	400	-275	-275
百分比 /%	-7.33	3.08	-16.82	-16.82

综上所述,系梁高度主要影响系梁刚度,系梁刚度影响了系梁在承台间传递的剪力与弯矩,但对系梁在承台间传递的轴力影响较小。

随着哑铃型承台系梁高度减小,自重减小对桩基的有利影响要远远大于横向风作用下对桩基的不利影响。

4 系梁桩基对哑铃型承台群桩基础承载特性的影响

在工程实践中,哑铃型承台往往在系梁底设置桩基。现通过分析系梁下桩基是否影响承台整体的抗弯刚度,进而对哑铃型承台的基础承载特性产生影响,从而建立 MIDAS FEA 有限元模型对比模型,分析系梁底桩基的作用,其中系梁宽度 $B=12\text{ m}$,高度 $H=11\text{ m}$,桩基距对称中心线 8.0 m(见图 2)。图 3、图 4 为系梁下无桩(或有桩)在自重作用及上部恒载作用下桩顶轴力图。

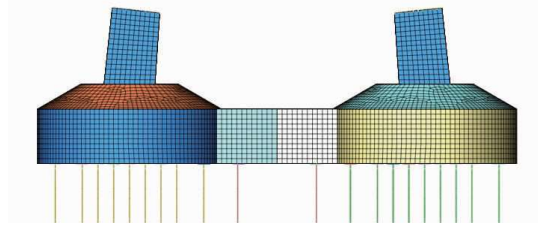


图 2 系梁下有桩哑铃型基础 FEA 有限元模型

由图 3 及图 4 可以看出,在系梁自重及上部结构恒载作用下,系梁下设置桩基,其桩底最大轴力只

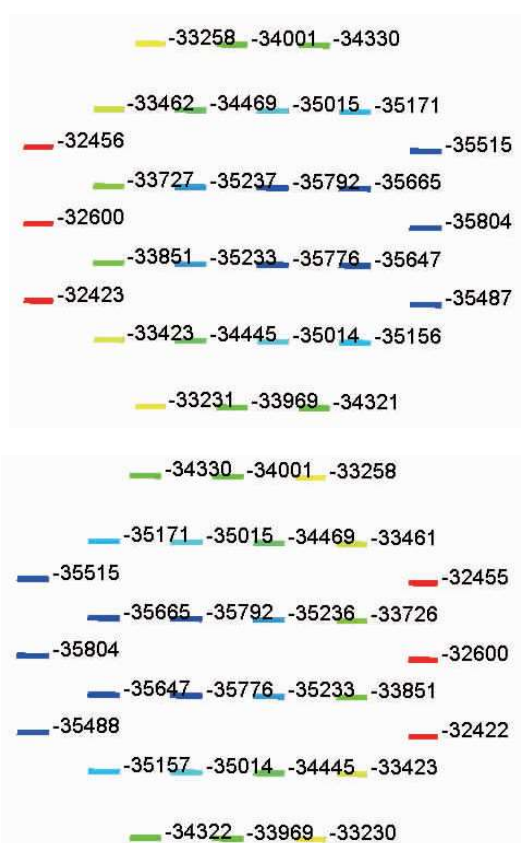


图3 系梁下无桩在自重作用及上部恒载作用下桩顶轴力图(单位:kN)

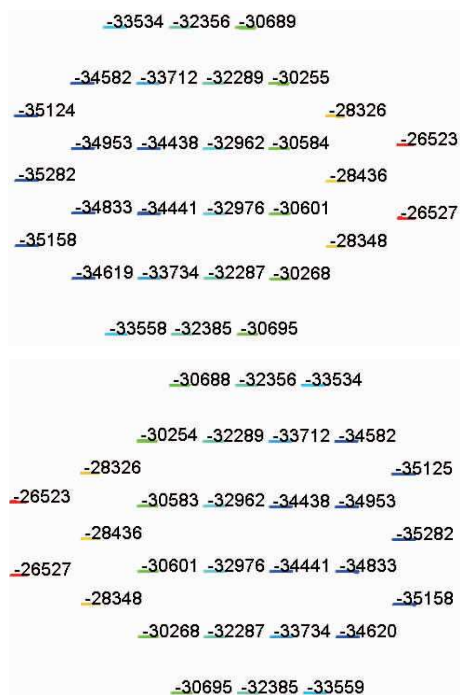


图4 系梁下有桩在自重作用及上部恒载作用下桩顶轴力图(单位:kN)

减小0.017%。这是由于在自重作用下,系梁下桩基主要承受系梁的自重作用,承台内侧桩顶反力得以大幅度降低;在上部结构恒载作用下,由于系梁下桩基增加了承台间的系梁的刚度,哑铃型承台最外侧

桩基承担的桩顶反力更大。

同时,由图3、图4可看出,在自重及上部结构恒载作用下,系梁下设置桩基时,哑铃型承台下桩基反力相差很大,桩顶轴力相差24.8%,桩基承载力利用率不高。

另外通过研究表明,在横向风荷载及纵向汽车荷载作用下,哑铃型承台最不利桩顶反力的位置也为承台最外两侧,且在横向风荷载及纵向汽车荷载作用下,桩顶反力变化差值很小。

在此工程实例中,在桥梁结构上下部恒载作用下,系梁底设置桩基对整个承台的最大桩顶反力影响有限;同时,系梁底桩基受力较小,其桩基承载力不能得到充分利用。所以得出结论,在系梁自身承载力验算得到满足的情况下,不需要设置系梁底桩基。

5 结论

以一座下部结构为哑铃型承台的漂浮体系斜拉桥工程为背景,提取上部结构主要荷载,建立有限元分析模型,主要研究系梁对哑铃型承台结构特性的影响,得出以下结论:

哑铃型承台基础的系梁越宽或越高,系梁的刚度越大,在上部结构主要荷载作用下传递的轴力变化很小,传递的弯矩更大,在横向风作用下能传递更大的剪力,对承台结构的桩基反力有利。

哑铃型承台基础的系梁越宽或越高,系梁自重越大,向承台传递很大的剪力和弯矩,对承台结构的桩基反力更为不利。系梁自重增大的不利影响要远远大于刚度增加的对有利影响。

哑铃型承台系梁底桩基主要承担系梁的自重,系梁底桩基对整个承台的最大桩顶反力影响有限。同时,系梁底桩基受力较小,其桩基承载力不能得到充分利用。

综上所述,哑铃型承台的系梁的主要作用应为传递承台间轴力,而非承担剪力和弯矩。因此,系梁本身不需要过大的刚度。系梁的宽度及高度不必过大,从而简化基础受力途径,减小系梁自重,提高基础承载力特性,提高哑铃型基础经济性。

参考文献:

- [1] 范立础.桥梁工程(上册)[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [2] JTG/T 3363—2019,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [3] JTG/T D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].