



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106777458 A

(43)申请公布日 2017. 05. 31

(21)申请号 201610991075.X

(22)申请日 2016.11.11

(71)申请人 山东科技大学

地址 266590 山东省青岛市黄岛区前湾港
路579号

(72)发明人 孙黄胜 高旭 牟翠翠

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

权利要求书3页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种用于大跨度连廊连体结构的支座设计
方法

(57)摘要

一种用于大跨度连廊连体结构的支座设计方法,属于建筑结构所使用的隔震支座设计方法,解决现有柔性连接支座设计方法繁琐、不具通用性的问题。本发明包括(1)确定盆式橡胶支座吨位规格;(2)正常使用状态风荷载验算步骤;(3)确定地震作用时控制目标步骤;(4)确定支座刚度和阻尼系数。本发明方便快捷,仅利用连廊、底部两座塔楼建筑结构的质量比、第一阶自振频率比,便可采用通用数据表格查取柔性连接隔震支座的最优刚度系数和阻尼系数,能够很方便地帮助工程师们选择隔震支座的参数值,从而再据此参数来制作符合要求的组合隔震支座,对于大跨度连廊连体结构振动控制体系的应用推广具有重要的意义。

1. 一种用于大跨度连廊连体结构的支座设计方法,包括下述步骤:

(1) 第一阶段:选取盆式橡胶支座竖向承载力规格

非地震作用时,连廊一端盆式橡胶支座承担总竖向压力设计值: $F_{v1}=1.2G+1.4Q$,其中, G 和 Q 分别为连廊一端由恒荷载和活荷载产生的压力标准值;

地震作用时,考虑竖向地震作用,连廊一端盆式橡胶支座承担总竖向压力设计值:按竖向地震作用时程分析或振型分解反应谱方法计算求得,或按下式计算并取较大值:

$F_{v2}=1.2G_e+1.3\times(0.2G_e)=1.46G_e$,其中, G_e 为连廊的重力荷载代表值在连廊一端产生的压力标准值, $G_e=G+0.5Q$,则一端盆式橡胶支座承担的竖向荷载设计值为: $N_v=F_v/n$,其中, $F_v=\max\{F_{v1},F_{v2}\}$, n 为连廊一端盆式橡胶支座总个数,根据 N_v 确定盆式橡胶支座规格;

非地震作用时,验算在风荷载作用下连廊正常工作状态,即 $W\leq\mu(F_{v1}^{\prime}+F_{v2}^{\prime})$,其中, W 为连廊总风荷载设计值, $F_{v1}^{\prime}$ 、 $F_{v2}^{\prime}$ 分别为连廊两端竖向压力设计值, μ 为盆式橡胶支座摩擦系数,当聚四氟乙烯板与不锈钢板间涂有润滑剂时,一般取 $0.01\sim0.03$;

(2) 第二阶段:确定组合支座第二刚度和阻尼系数

地震作用下,盆式橡胶支座发生滑动,连廊与塔楼间产生相对运动,由橡胶支座提供弹性恢复力,阻尼器提供耗能能力;

(2.1) 确定控制目标

对于通过大跨度连廊连接双塔楼结构形成的连体结构,采用组合支座连接连廊与塔楼结构,可根据三个不同控制目标来确定组合支座设计参数;

控制目标I:使其中较刚建筑结构A的平均相对振动能量最小;

控制目标II:使较柔建筑结构B的平均相对振动能量最小;

控制目标III:使两塔楼结构总的平均相对振动能量最小;

(2.2) 确定连接支座刚度参数

塔楼A与塔楼B质量比 $\mu=M_1/M_2$,连廊质量比 $\mu_0=M_0/M_1$,其中, M_0 、 M_1 、 M_2 分别为连廊总质量、塔楼A总质量和塔楼B总质量;较柔结构B与较刚结构A自振频率比 $\beta=\omega_2/\omega_1$,频率比 $\beta_{01}=\omega_{01}/\omega_1$, $\beta_{02}=\omega_{02}/\omega_1$,其中, ω_1 和 ω_2 分别为塔楼A和塔楼B的自振圆频率, ω_{01} 和 ω_{02} 分别为A端支座和B端支座的连接自振圆频率,且 $\omega_1^2=k_1/M_1$, $\omega_2^2=k_2/M_2$, $\omega_{01}^2=k_{01}/M_0$, $\omega_{02}^2=k_{02}/M_0$,其中, k_{01} 和 k_{02} 分别为A端支座和B端支座的连接刚度;

连廊两端连接支座参数可取相同(对称连接)或不同(非对称连接)。当两塔楼结构动力特性不同时,分别设计连廊两端的组合支座参数,可获得更佳的减震效果;

取两塔楼结构阻尼比 $\xi_1=\xi_2=0.05$,当 $\xi_{01}=\xi_{02}=0.1$, $\mu=1.0$ 时,两端优化连接参数如表1所示;

根据连廊质量比 μ_0 和塔楼A与B频率比 β ,即可先确定 β_{01} 和 β_{02} ,再确定 $\omega_{01}=\beta_{01}\omega_1$, $\omega_{02}=\beta_{02}\omega_1$,从而确定连廊A、B端的连接刚度 $k_{01}=\omega_{01}^2M_0$, $k_{02}=\omega_{02}^2M_0$;

表1 非对称支座最优连接频率比

μ_0	β	目标 I		目标 II		目标 III	
		β_{01}	β_{02}	β_{01}	β_{02}	β_{01}	β_{02}
0.1	0.5	0.89	0.23	0.06	0.45	0.09	0.45
	0.7	0.89	0.30	0.07	0.63	0.21	0.61
	0.9	0.89	0.08	0.14	0.80	0.59	0.64
0.3	0.5	0.81	0.43	0.12	0.38	0.22	0.37
	0.7	0.80	0.56	0.18	0.53	0.44	0.46
	0.9	0.75	0.15	0.27	0.66	0.57	0.57
0.5	0.5	0.78	0.38	0.14	0.34	0.28	0.31
	0.7	0.65	0.09	0.21	0.47	0.46	0.40
	0.9	0.66	0.17	0.31	0.57	0.53	0.52

为简化设计,也可取连廊两端组合支座设计参数相同,则优化连接参数如表2所示;

表2 对称支座最优连接频率比

μ_0	β	目标 I	目标 II	目标 III
		$\beta_{01}(\beta_{02})$	$\beta_{01}(\beta_{02})$	$\beta_{01}(\beta_{02})$
0.1	0.5	0.69	0.33	0.33
	0.7	0.71	0.46	0.47
	0.9	0.72	0.59	0.62
0.3	0.5	0.69	0.31	0.31
	0.7	0.71	0.43	0.45
	0.9	0.61	0.54	0.56
0.5	0.5	0.68	0.29	0.30
	0.7	0.60	0.40	0.42
	0.9	0.54	0.50	0.52

(2.3) 确定连接支座阻尼参数

设连廊左端连接阻尼比 $\xi_{01}=c_{01}/(2M_0\omega_{01})$,右端连接阻尼比 $\xi_{02}=c_{02}/(2M_0\omega_{02})$,当取两端对称连接时,即 $\xi_{01}=\xi_{02}$;

表3 最优连接阻尼比

μ_0	β	目标 I	目标 II	目标 III
		$\xi_{01}(\xi_{02})$	$\xi_{01}(\xi_{02})$	$\xi_{01}(\xi_{02})$
0.1	0.5	0.05	0.06	0.07
	0.7	0.05	0.05	0.08
	0.9	0.06	0.05	0.08
0.3	0.5	0.10	0.10	0.19
	0.7	0.11	0.10	0.16
	0.9	0.16	0.10	0.13
0.5	0.5	0.20	0.13	0.20
	0.7	0.20	0.12	0.20
	0.9	0.20	0.13	0.16

根据第②步确定连接刚度参数 ω_{01} 和 ω_{02} 之后,再按表3确定连接阻尼参数 ξ_{01} 和 ξ_{02} ,即可确定两端的连接阻尼系数 $c_{01}=2M_0\omega_{01}\xi_{01}$, $c_{02}=2M_0\omega_{02}\xi_{02}$ 。

2.如权利要求1所述的用于大跨度连廊连体结构的支座设计方法,其特征在于:所述确定控制目标步骤中,建筑结构A(或B)的总质量 M_1 (或 M_2)和建筑结构的第一自振圆频率 ω_1 (或 ω_2)依据下述过程求得:

(1) 计算各建筑结构的总质量

$$M_j = m_1 + m_2 + \cdots + m_n \quad (j=1, 2)$$

(2) 计算质量矩阵 M 和刚度矩阵 K

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & \\ & & \cdots & \\ & & & m_n \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \\ & -k_3 & \cdots & \\ & & & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ & & & -k_n & k_n \end{bmatrix},$$

其中, m_i 为塔楼结构的第 i 层的质量, k_i 为塔楼结构第 i 层的层间刚度, $i=1, 2, 3, \cdots, n$, n 为塔楼结构的层数;

(3) 计算塔楼结构的自振频率

根据方程 $|\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}| = 0$,解出 n 个自振圆频率,其中最小的自振频率为第一阶自振圆频率 ω_j ($j=1, 2$)。

一种用于大跨度连廊连体结构的支座设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于建筑结构所使用的隔震支座设计方法。

背景技术

[0002] 由于建筑造型和功能设计的需要,许多相邻建筑结构通过空中连廊连接,形成大跨度连廊连接双塔楼的连体结构,且呈连廊位置越来越高、跨度越来越大的趋势。若采用刚性支座或铰接支座连接连廊与塔楼结构,在温度作用和强震作用下结构将产生较大的温度应力和地震作用,使连接节点构造设计复杂,在地震中产生严重破坏,甚至出现连廊塌落灾害。而采用柔性连接装置连接连廊与塔楼结构,使连廊与塔楼结构间可以产生一定相对位移,既可以在温度变化作用下释放连廊温度应力,在地震作用下又可以减小塔楼结构水平地震反应,对于保证连体结构的正常使用和主体结构的抗震安全性具有重要意义。

[0003] 盆式橡胶支座具有大吨位、滑动摩擦力小等优点,广泛应用于桥梁结构隔震,但不具备震后自复位能力,而橡胶支座则具有弹性恢复能力,但竖向承载力较低。黏滞阻尼器具有耗能能力强、不改变结构动力特性的特点。在大跨度连廊连体结构中,由于连廊两端支承点较少、支座竖向荷载较大,因此,结合盆式橡胶支座、普通橡胶支座和黏滞阻尼器形成的组合隔震支座,既具有大吨位承载力,又具有隔震减震、减小相对位移及自复位功能,适用于大跨度连廊连体结构,既可以保证风荷载作用下正常使用,又可满足温度作用下释放温度应力,在强震作用下,还可以利用连廊调谐结构动力特性、利用连廊与塔楼间的相对运动以消耗地震能量以减小结构地震反应。该振动控制体系中最重要的是组合隔震支座的参数设计,尤其是在强震作用下支座滑动后第二刚度、阻尼参数的设计是非常重要的环节。如果选取恰当,就能起到较好的减震效果;如果选取不当,如刚度系数或阻尼系数过大,则可能起不到减震效果;如刚度系数和阻尼系数过小,则导致连廊与塔楼间的相对位移过大而出现塌落危险。当确定第二刚度和阻尼系数之后,就可以制作橡胶支座和黏滞阻尼器了。

[0004] 现有的连廊连接塔楼连体结构柔性连接支座的刚度系数和阻尼系数是通过繁琐的参数化研究得到的,需要对采用不同支座参数的连体结构体系样本进行动力分析,提取控制性能指标和结构响应指标,然后进行比较分析得到支座的优化参数值,但是这种参数化研究过程不具有通用性。因此,需要提供数据表格来帮助工程师们选择支座的优化刚度和阻尼系数,这对于大型连体结构振动控制体系的应用推广非常必要。

发明内容

[0005] 本发明提供一种用于大跨度连廊连接双塔楼连体结构的支座设计方法,解决现有柔性支座设计方法繁琐、不具通用性的问题,使得隔震支座的设计方便快捷。

[0006] 下文中,大跨度连廊连接于两座塔楼顶部或中部牛腿处,该连接处通过组合隔震支座连接。连廊竖向荷载由组合支座中的盆式橡胶支座承担;水平风荷载由盆式橡胶支座摩擦力抵抗;地震时克服摩擦力产生滑动,由橡胶支座及黏滞阻尼器提供第二刚度并耗能。

[0007] 本发明是一种用于大跨度连廊连体结构的支座设计方法,包括下述步骤:

[0008] (1) 第一阶段:选取盆式橡胶支座竖向承载力规格。

[0009] 非地震作用时,连廊一端盆式橡胶支座承担总竖向压力设计值: $F_{v1}=1.2G+1.4Q$,其中,G和Q分别为连廊一端由恒荷载和活荷载产生的压力标准值;

[0010] 地震作用时,考虑竖向地震作用,连廊一端盆式橡胶支座承担总竖向压力设计值:按竖向地震作用时程分析或振型分解反应谱方法计算求得,或按下式计算并取较大值:

[0011] $F_{v2}=1.2G_e+1.3\times(0.2G_e)=1.46G_e$,其中, G_e 为连廊的重力荷载代表值在连廊一端产生的压力标准值, $G_e=G+0.5Q$ 。

[0012] 则一端盆式橡胶支座承担的竖向荷载设计值为: $N_v=F_v/n$,其中, $F_v=\max\{F_{v1}, F_{v2}\}$, n 为连廊一端盆式橡胶支座总个数。根据 N_v 确定盆式橡胶支座规格。

[0013] 非地震作用时,验算在风荷载作用下连廊正常工作状态,即 $W\leq\mu(F_{v1}^f+F_{v1}^e)$,其中, W 为连廊总风荷载设计值, F_{v1}^f 、 F_{v1}^e 分别为连廊两端竖向压力设计值, μ 为盆式橡胶支座摩擦系数,当聚四氟乙烯板与不锈钢板间涂有润滑剂时,一般取0.01~0.03。

[0014] (2) 第二阶段:确定组合支座第二刚度和阻尼系数。

[0015] 地震作用下,盆式橡胶支座发生滑动,连廊与塔楼间产生相对运动,由橡胶支座提供弹性恢复力,阻尼器提供耗能能力。

[0016] (2.1) 确定控制目标

[0017] 对于通过大跨度连廊连接双塔楼结构形成的连体结构,采用组合支座连接连廊与塔楼结构,可根据三个不同控制目标来确定组合支座设计参数。

[0018] 控制目标I:使其中较刚建筑结构A的平均相对振动能量最小;

[0019] 控制目标II:使较柔建筑结构B的平均相对振动能量最小;

[0020] 控制目标III:使两塔楼结构总的平均相对振动能量最小。

[0021] (2.2) 确定连接支座刚度参数

[0022] 塔楼A与塔楼B质量比 $\mu=M_1/M_2$,连廊质量比 $\mu_0=M_0/M_1$,其中, M_0 、 M_1 、 M_2 分别为连廊总质量、塔楼A总质量和塔楼B总质量;较柔结构B与较刚结构A自振频率比 $\beta=\omega_2/\omega_1$,频率比 $\beta_{01}=\omega_{01}/\omega_1$, $\beta_{02}=\omega_{02}/\omega_1$,其中, ω_1 和 ω_2 分别为塔楼A和塔楼B的自振圆频率, ω_{01} 和 ω_{02} 分别为A端支座和B端支座的连接自振圆频率,且 $\omega_1^2=k_1/M_1$, $\omega_2^2=k_2/M_2$, $\omega_{01}^2=k_{01}/M_0$, $\omega_{02}^2=k_{02}/M_0$,其中, k_{01} 和 k_{02} 分别为A端支座和B端支座的连接刚度。

[0023] 连廊两端连接支座参数可取相同(对称连接)或不同(非对称连接)。当两塔楼结构动力特性不同时,分别设计连廊两端的组合支座参数,可获得更佳的减震效果。取两塔楼结构阻尼比 $\xi_1=\xi_2=0.05$,当 $\xi_{01}=\xi_{02}=0.1$, $\mu=1.0$ 时,两端优化连接参数如表1所示。根据连廊质量比 μ_0 和塔楼A与B频率比 β ,即可先确定 β_{01} 和 β_{02} ,再确定 $\omega_{01}=\beta_{01}\omega_1$, $\omega_{02}=\beta_{02}\omega_1$,从而确定连廊A、B端的连接刚度 $k_{01}=\omega_{01}^2M_0$, $k_{02}=\omega_{02}^2M_0$ 。

[0024] 表1非对称支座最优连接频率比

μ_0	β	目标 I		目标 II		目标 III	
		β_{01}	β_{02}	β_{01}	β_{02}	β_{01}	β_{02}
[0025] 0.1	0.5	0.89	0.23	0.06	0.45	0.09	0.45
	0.7	0.89	0.30	0.07	0.63	0.21	0.61
	0.9	0.89	0.08	0.14	0.80	0.59	0.64
0.3	0.5	0.81	0.43	0.12	0.38	0.22	0.37
	0.7	0.80	0.56	0.18	0.53	0.44	0.46
	0.9	0.75	0.15	0.27	0.66	0.57	0.57
0.5	0.5	0.78	0.38	0.14	0.34	0.28	0.31
	0.7	0.65	0.09	0.21	0.47	0.46	0.40
	0.9	0.66	0.17	0.31	0.57	0.53	0.52

[0026] 为简化设计,也可取连廊两端组合支座设计参数相同,则优化连接参数如表2所示。表格数据可插值求取。

[0027] 表2对称支座最优连接频率比

μ_0	β	目标 I	目标 II	目标 III
		$\beta_{01}(\beta_{02})$	$\beta_{01}(\beta_{02})$	$\beta_{01}(\beta_{02})$
[0028] 0.1	0.5	0.69	0.33	0.33
	0.7	0.71	0.46	0.47
	0.9	0.72	0.59	0.62
0.3	0.5	0.69	0.31	0.31
	0.7	0.71	0.43	0.45
	0.9	0.61	0.54	0.56
0.5	0.5	0.68	0.29	0.30
	0.7	0.60	0.40	0.42
	0.9	0.54	0.50	0.52

[0029] (2.3) 确定连接支座阻尼参数

[0030] 设连廊左端连接阻尼比 $\xi_{01}=c_{01}/(2M_0\omega_{01})$,右端连接阻尼比 $\xi_{02}=c_{02}/(2M_0\omega_{02})$,当取两端对称连接时,即 $\xi_{01}=\xi_{02}$ 。根据第②步确定连接刚度参数 ω_{01} 和 ω_{02} 之后,再按表3确定连接阻尼参数 ξ_{01} 和 ξ_{02} ,即可确定两端的连接阻尼系数 $c_{01}=2M_0\omega_{01}\xi_{01}$, $c_{02}=2M_0\omega_{02}\xi_{02}$ 。

[0031] 表3最优连接阻尼比

μ_0	β	目标 I	目标 II	目标 III
		$\xi_{01}(\xi_{02})$	$\xi_{01}(\xi_{02})$	$\xi_{01}(\xi_{02})$
[0032]	0.1	0.05	0.06	0.07
		0.05	0.05	0.08
		0.06	0.05	0.08
	0.3	0.10	0.10	0.19
		0.11	0.10	0.16
		0.16	0.10	0.13
	0.5	0.20	0.13	0.20
		0.20	0.12	0.20
		0.20	0.13	0.16

[0033] 所述的用于大跨度连廊连体结构的支座设计方法,其特征在于:所述确定控制目标步骤中,建筑结构A(或B)的总质量 M_1 (或 M_2)和建筑结构的第一自振圆频率 ω_1 (或 ω_2)依据下述过程求得:

[0034] (1) 计算各建筑结构的总质量

[0035] $M_j = m_1 + m_2 + \dots + m_n$ ($j = 1, 2$)

[0036] (2) 计算质量矩阵M和刚度矩阵K

[0037]
$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & m_n \end{bmatrix},$$

[0038]
$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & & \\ & -k_3 & \dots & & \\ & & & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ & & & -k_n & k_n \end{bmatrix},$$

[0039] 其中, m_i 为塔楼结构的第*i*层的质量, k_i 为塔楼结构第*i*层的层间刚度, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, n 为塔楼结构的层数;

[0040] (3) 计算塔楼结构的自振频率

[0041] 根据方程 $|\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}| = 0$,解出*n*个自振圆频率,其中最小的自振频率为第一阶自振圆频率 ω_j ($j = 1, 2$)。

[0042] 本发明方便快捷,仅利用两塔楼的质量比、频率比以及连廊与塔楼的质量比,便可采用给出的数据表格确定大跨度连廊连体结构振动控制体系中组合支座的最优连接刚度系数和阻尼系数,解决了现有隔震装置设计方法繁琐、不具有通用性的问题,能够很方便地帮助工程师们选择组合支座的刚度和阻尼参数值,从而再根据此参数值来制作符合要求的组合隔震支座,这对于大跨度连廊连体结构振动控制体系的应用推广具有重要的意义。

附图说明:

[0043] 图1为采用组合隔震支座连接的大跨度连廊连体结构示意图；

[0044] 图中标记：A塔楼结构、B塔楼结构、C连廊、组合隔振支座D、地震波E。

具体实施方式：

[0045] 某连廊连接非对称双塔连体结构，左塔9层，各层层间刚度为 $2.0 \times 10^6 \text{ kN/m}$ ，楼层质量1000t。右塔9层，各楼层刚度 $1.0 \times 10^6 \text{ kN/m}$ ，质量分布同左塔。连廊连接塔楼顶层，质量为1000t。

[0046] 通过模态分析得出左、右塔楼基本自振频率分别为1.176Hz、0.831Hz。两塔楼频率比为 $\omega_2/\omega_1=0.71$ ，连廊质量比为 $\mu_0=0.111$ 。两端对称连接情况下，连接参数：(1) 目标Ⅰ： $\omega_{01}/\omega_1=0.71$ ， $\xi_{01}=0.05$ ；(2) 目标Ⅱ： $\omega_{01}/\omega_1=0.47$ ， $\xi_{01}=0.06$ ；(3) 目标Ⅲ： $\omega_{01}/\omega_1=0.47$ ， $\xi_{01}=0.08$ 。

[0047] 当按控制目标Ⅱ取值，则连接刚度均为 $k_0 = m_3 \omega_{01}^2 = 1.21 \times 10^4 \text{ kN/m}$ ，连接阻尼系数为 $c_0 = 2m_3 \xi_{01} \omega_{01} = 4.17 \times 10^2 \text{ kN.s/m}$ 。

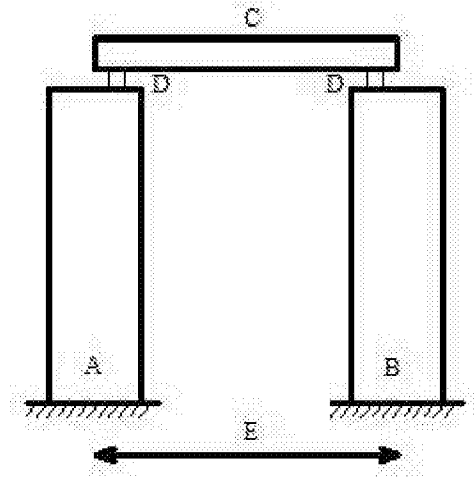


图1