



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103741831 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201410026033.3

(22)申请日 2014.01.21

(73)专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园清华大学

(72)发明人 施刚 胡方鑫 石永久

(74)专利代理机构 北京攀腾专利代理事务所
(普通合伙) 11374

代理人 彭蓉 陈纤

(51)Int.Cl.

E04B 1/98(2006.01)

E04B 1/24(2006.01)

E04B 1/58(2006.01)

(56)对比文件

CN 203701323 U, 2014.07.09,

CN 103075023 A, 2013.05.01,

CN 1737279 A, 2006.02.22,

KR 101272146 B1, 2013.06.07,

黄伟. 钢框架结构梁柱刚性节点抗震设计.《山西建筑》.2007, 第33卷(第35期), 第77-78页.

叶列平, 程光煜等. 基于能量抗震设计方法研究及其在钢支撑框架结构中的应用.《建筑结构学报》.2012, 第33卷(第11期), 第36-45页.

叶列平, 程光煜等. 基于能量抗震设计方法研究及其在钢支撑框架结构中的应用.《建筑结构学报》.2012, 第33卷(第11期), 第36-45页.

审查员 郭靖

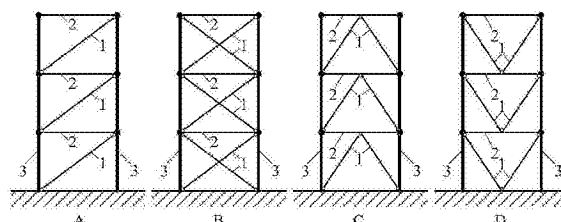
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能钢结构体系及其设计方法

(57)摘要

本发明提供了一种高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能钢结构体系, 包括低屈服点钢支撑、普通钢框架梁和高强钢框架柱; 在地震作用下低屈服点钢支撑能够率先屈服耗能, 成为抗震设防的第一道防线, 普通钢框架梁的屈服耗能在低屈服点钢支撑之后, 成为抗震设防的第二道防线, 高强钢框架柱的屈服耗能在普通钢框架梁之后, 成为抗震设防的第三道防线。本发明的钢结构体系可发挥不同强度钢材的优势, 综合利用不同形式构件进行多道抗震设防, 有效保证地震作用下形成良好的耗能机制, 具有很好的抗震性能, 亦便于实施抗震性能化设计。



1.一种高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能钢结构体系的设计方法,其中所述钢结构体系包括低屈服点钢支撑、普通钢框架梁和高强钢框架柱,其中,所述低屈服点钢支撑与所述普通钢框架梁和/或所述高强钢框架柱连接,所述普通钢框架梁与所述高强钢框架柱连接;当地震作用发生时,所述低屈服点钢支撑能够率先屈服耗能,成为抗震设防的第一道防线,所述普通钢框架梁的屈服耗能在所述低屈服点钢支撑之后,成为抗震设防的第二道防线,所述高强钢框架柱的屈服耗能在所述普通钢框架梁之后,成为抗震设防的第三道防线;

所述方法包括,在设计地震荷载组合工况下的作用效应设计值 E_d 不大于各个构件的承载力设计值 R_d ,且高强钢框架柱设计承载力 $R_{c,d}$ 不小于普通钢框架梁设计承载力 $R_{b,d}$,普通钢框架梁设计承载力 $R_{b,d}$ 不小于低屈服点钢支撑设计承载力 $R_{r,d}$,其中各个构件的设计承载力 R_d 包括轴向设计承载力 N_{Rd} 、抗弯设计承载力 M_{Rd} 和抗剪设计承载力 V_{Rd} ;

其中,所述低屈服点钢支撑的承载力验算公式为,

$$N_{r,Rd} \geq N_{r,Ed} = N_{r,Ed,G} + N_{r,Ed,E}$$

式中: $N_{r,Rd}$ 为低屈服点钢支撑的轴向承载力设计值,对普通支撑分拉压两种受力状态分别取受拉屈服承载力和受压屈曲承载力,对防屈曲支撑取屈服承载力; $N_{r,Ed}$ 为设计地震荷载组合工况下低屈服点钢支撑的轴力作用设计值, $N_{r,Ed,G}$ 、 $N_{r,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下低屈服点钢支撑的轴力作用设计值;

其中,所述普通钢框架梁的承载力验算公式为,

$$N_{b,Rd}(M_{b,Ed}) \geq N_{b,Ed} = N_{b,Ed,G} + \Omega_b N_{b,Ed,E}$$

$$M_{b,Rd} \geq M_{b,Ed} = M_{b,Ed,G} + \Omega_b M_{b,Ed,E}$$

$$V_{b,Rd} \geq V_{b,Ed} = V_{b,Ed,G} + \Omega_b V_{b,Ed,E}$$

$$\Omega_b = \gamma_{r,ov} \min\{N_{r,Rd,i}/N_{r,Ed,i}\}$$

式中: $N_{b,Rd}(M_{b,Ed})$ 、 $M_{b,Rd}$ 、 $V_{b,Rd}$ 分别为普通钢框架梁的考虑设计地震荷载组合工况下弯矩作用折减的轴向承载力设计值、抗弯承载力设计值、抗剪承载力设计值; $N_{b,Ed}$ 为设计地震荷载组合工况下普通钢框架梁的轴力作用设计值, $N_{b,Ed,G}$ 、 $N_{b,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下普通钢框架梁的轴力作用设计值; $M_{b,Ed}$ 是设计地震荷载组合工况下普通钢框架梁的弯矩作用设计值, $M_{b,Ed,G}$ 、 $M_{b,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下普通钢框架梁的弯矩作用设计值; $V_{b,Ed}$ 是设计地震荷载组合工况下普通钢框架梁的剪力作用设计值, $V_{b,Ed,G}$ 、 $V_{b,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下普通钢框架梁的剪力作用设计值; Ω_b 为普通钢框架梁的承载力增强系数, $\gamma_{r,ov}$ 为支撑所采用低屈服点钢材考虑强化作用和预期屈服强度大于实际屈服强度的材料超强系数, $N_{r,Rd,i}/N_{r,Ed,i}$ 为体系中任一低屈服点钢支撑的轴向承载力设计值与其在设计地震荷载组合工况下的轴力作用设计值的比值;

其中,所述高强钢框架柱的承载力验算公式为,

$$N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed} = N_{c,Ed,G} + \Omega_c N_{c,Ed,E}$$

$$M_{c,Rd}(N_{c,Ed}) \geq M_{c,Ed} = M_{c,Ed,G} + \Omega_c M_{c,Ed,E}$$

$$V_{c,Rd} \geq V_{c,Ed} = V_{c,Ed,G} + \Omega_c V_{c,Ed,E}$$

$$\Omega_c = \gamma_{b,ov} \min\{M_{b,Rd,i}/M_{b,Ed,i}\}$$

式中: $N_{c,Rd}$ 、 $M_{c,Rd}(N_{c,Ed})$ 、 $V_{c,Rd}$ 分别为高强钢框架柱的轴向承载力设计值、考虑设计地震荷载组合工况下轴力作用折减的抗弯承载力设计值、抗剪承载力设计值; $N_{c,Ed}$ 为设计地震

荷载组合工况下高强钢框架柱的轴力作用设计值, $N_{c,Ed,G}$ 、 $N_{c,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下高强钢框架柱的轴力作用设计值; $M_{c,Ed}$ 为设计地震荷载组合工况下高强钢框架柱的弯矩作用设计值, $M_{c,Ed,G}$ 、 $M_{c,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下高强钢框架柱的弯矩作用设计值; $V_{c,Ed}$ 为设计地震荷载组合工况下高强钢框架柱的剪力作用设计值, $V_{c,Ed,G}$ 、 $V_{c,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下高强钢框架柱的剪力作用设计值; Ω_c 为高强钢框架柱的承载力增强系数, $\gamma_{b,ov}$ 为框架梁所采用普通强度钢材考虑强化作用和预期屈服强度大于实际屈服强度的材料超强系数, $M_{b,Rd,i}/M_{b,Ed,i}$ 为体系中任一普通钢框架梁的抗弯承载力设计值与其在设计地震荷载组合工况下的弯矩作用设计值的比值。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述低屈服点钢支撑采用普通支撑或防屈曲支撑。

3. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述低屈服点钢支撑与所述普通钢框架梁和/或所述高强钢框架柱的连接采用刚接方式或铰接方式。

4. 根据权利要求1所述的方法, 其中所述普通钢框架梁与所述高强钢框架柱的连接采用刚接方式。

5. 根据权利要求4所述的方法, 其中所述普通钢框架梁与所述高强钢框架柱的连接采用梁端狗骨形节点或梁端加强型节点。

高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能 钢结构体系及其设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于结构工程钢结构技术领域,涉及多高层钢结构体系的设计,尤其涉及一种高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能钢结构体系及其设计方法。

背景技术

[0002] 随着多高层及超高层建筑的大量兴建,钢结构在国内外已经得到了广泛应用。如今结构设计中通常采用的传统钢结构体系包括纯钢框架、带中心支撑钢框架、带偏心支撑钢框架和带钢板剪力墙钢框架等。同时,钢材生产工艺的发展和改善使得新型的低屈服点钢材和高强度钢材的生产和应用成为可能。

[0003] 但我国现有设计规范中对此新型钢材如何应用于钢结构体系中并进行设计尚未给出明确的规定或指导。如何将这新型钢材应用于钢结构体系,尤其是在地震作用下通过应用新型钢材来显著改善钢结构体系的抗震性能,是科学研究及工程实践中亟待解决的问题。

发明内容

[0004] 针对国内现有设计规范没有指导新型钢材如何在钢结构体系中应用的问题,本发明提出一种新型的高性能钢结构体系,即高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能钢结构体系。通过合理地选用不同类型的钢材及布置相应的构件,所述钢结构体系能够有效利用新型钢材的优势,在合理设计的基础上,既能够满足结构体系的刚度和强度的需要,也能够有效保证地震作用下形成良好的延性和耗能机制,大大提高整个结构体系的抗震性能。

[0005] 本发明所提供的高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能钢结构体系包括低屈服点钢支撑、普通钢框架梁和高强钢框架柱,其中,所述低屈服点钢支撑与所述普通钢框架梁和/或所述高强钢框架柱连接,所述普通钢框架梁与所述高强钢框架柱连接;当地震作用发生时,所述低屈服点钢支撑能够率先屈服耗能,成为抗震设防的第一道防线,所述普通钢框架梁的屈服耗能在所述低屈服点钢支撑之后,成为抗震设防的第二道防线,所述高强钢框架柱的屈服耗能在所述普通钢框架梁之后,成为抗震设防的第三道防线。

[0006] 所述低屈服点钢支撑采用普通支撑或防屈曲支撑。

[0007] 所述低屈服点钢支撑与所述普通钢框架梁和/或所述高强钢框架柱的连接采用刚接方式或铰接方式。

[0008] 所述普通钢框架梁与所述高强钢框架柱的连接采用刚接方式。

[0009] 优选地,所述普通钢框架梁与所述高强钢框架柱的连接采用梁端狗骨形节点或梁端加强型节点。

[0010] 本发明还提供了一种高强钢柱—普通钢梁—低屈服点钢支撑三重抗震设防高性能钢结构体系的设计方法,其包括,在设计地震荷载组合工况下的作用效应设计值 E_d 不大于各个构件的承载力设计值 R_d ,且高强钢框架柱设计承载力 $R_{c,d}$ 不小于普通钢框架梁设计承载力 $R_{b,d}$,普通钢框架梁设计承载力 $R_{b,d}$ 不小于低屈服点钢支撑设计承载力 $R_{r,d}$,其中各个构件的设计承载力 R_d 包括轴向设计承载力 N_{Rd} 、抗弯设计承载力 M_{Rd} 和抗剪设计承载力 V_{Rd} 。

[0011] 所述设计方法包括针对低屈服点钢支撑的承载力、普通钢框架梁的承载力以及高强钢框架柱的承载力的判断准则。

[0012] 本发明所提供的钢结构体系的高性能在于:

[0013] 1)综合利用多种强度的钢材,采用低屈服点钢材发挥其屈服后耗能能力强的优势,采用高强度钢材发挥其强度高的优势,以建立起“强梁弱支撑、强柱弱梁”的良好耗能机制;

[0014] 2)综合利用多种形式的构件,以建立起多道抗震防线,可有效实施“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设计原则;

[0015] 3)对该体系进行结构设计时可选择小震下低屈服点钢支撑是否屈服耗能、中震下普通钢框架梁是否屈服耗能、大震下高强钢框架柱是否屈服耗能,便于实施该钢结构体系抗震性能化设计的理念。

附图说明

[0016] 图1是根据本发明的不同具体实施方式描述高性能钢结构体系的示意图,其中图例A至C示意性地描述了所述高性能钢结构体系的几种具体实施例,其中显示支撑1与框架梁2和/或框架柱3的连接采取了不同的方式。

具体实施方式

[0017] 在对本发明作进一步描述之前,应当理解本发明并不局限于下述有关发明的具体实施方式。同时也应当理解,本文所使用的术语只是用于针对特定的实施方式进行描述,而不是用来对本申请要求保护的范围进行限制。

[0018] 如图1所示,本发明的高性能钢结构体系含有如下构件:

[0019] 1)低屈服点钢材(包括LYP100、LYP160、LYP225和Q235)的支撑1,可为普通支撑或防屈曲支撑,其在地震作用下能够率先屈服,作为抗震设防和耗能的第一道防线;

[0020] 2)普通强度钢材(包括Q345、Q390和Q420)的框架梁2,其在地震作用下的屈服在低屈服点钢支撑1之后,作为抗震设防和耗能的第二道防线;

[0021] 3)高强度钢材(包括Q460、Q500、Q550、Q620和Q690及其以上强度等级的钢材)的框架柱3,其在地震作用下的屈服在普通钢框架梁2之后,作为抗震设防和耗能的第三道防线。

[0022] 在图1中,图例A至C示意性地描述了所述高性能钢结构体系的几种具体实施例,其中显示支撑1与框架梁2和/或框架柱3的连接采取了不同的方式。

[0023] 在所述高性能钢结构体系中,支撑1与框架梁2和/或框架柱3的连接根据需要可以采用刚接方式或铰接方式,框架梁2与框架柱3应采用刚性连接节点,优选采用梁端狗骨形节点或梁端加强型节点以保证塑性较优先出现在框架梁2上。

[0024] 本发明的高性能钢结构体系的设计方法包括,在设计地震荷载组合工况下的作用

效应设计值 E_d 不大于各个构件的承载力设计值 R_d ,且高强钢框架柱3的设计承载力 $R_{c,d}$ 不小于普通钢框架梁2的设计承载力 $R_{b,d}$,普通钢框架梁2的设计承载力 $R_{b,d}$ 不小于低屈服点钢支撑1的设计承载力 $R_{r,d}$,其中各个构件的设计承载力 R_d 包括轴向设计承载力 N_{Rd} 、抗弯设计承载力 M_{Rd} 和抗剪设计承载力 V_{Rd} 。

[0025] 所述设计方法包括如下具体判断准则:

[0026] 1)低屈服点钢支撑1的承载力验算公式为,

$$[0027] \quad N_{r,Rd} \geq N_{r,Ed} = N_{r,Ed,G} + N_{r,Ed,E} \quad (1)$$

[0028] 式中, $N_{r,Rd}$ 为低屈服点钢支撑1的轴向承载力设计值,对普通支撑分拉压两种受力状态分别取受拉屈服承载力和受压屈曲承载力,对防屈曲支撑取屈服承载力; $N_{r,Ed}$ 是设计地震荷载组合工况下低屈服点钢支撑1的轴力作用设计值, $N_{r,Ed,G}$ 、 $N_{r,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下低屈服点钢支撑1的轴力作用设计值。

[0029] 2)普通钢框架梁2的承载力验算公式为,

$$[0030] \quad N_{b,Rd}(M_{b,Ed}) \geq N_{b,Ed} = N_{b,Ed,G} + \Omega_b N_{b,Ed,E} \quad (2)$$

$$[0031] \quad M_{b,Rd} \geq M_{b,Ed} = M_{b,Ed,G} + \Omega_b M_{b,Ed,E} \quad (3)$$

$$[0032] \quad V_{b,Rd} \geq V_{b,Ed} = V_{b,Ed,G} + \Omega_b V_{b,Ed,E} \quad (4)$$

$$[0033] \quad \Omega_b = \gamma_{r,ov} \min\{N_{r,Rd,i}/N_{r,Ed,i}\} \quad (5)$$

[0034] 式中, $N_{b,Rd}(M_{b,Ed})$ 、 $M_{b,Rd}$ 、 $V_{b,Rd}$ 分别为普通钢框架梁2的考虑设计地震荷载组合工况下弯矩作用折减的轴向承载力设计值、抗弯承载力设计值、抗剪承载力设计值; $N_{b,Ed}$ 是设计地震荷载组合工况下普通钢框架梁2的轴力作用设计值, $N_{b,Ed,G}$ 、 $N_{b,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下普通钢框架梁2的轴力作用设计值; $M_{b,Ed}$ 是设计地震荷载组合工况下普通钢框架梁2的弯矩作用设计值, $M_{b,Ed,G}$ 、 $M_{b,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下普通钢框架梁2的弯矩作用设计值; $V_{b,Ed}$ 是设计地震荷载组合工况下普通钢框架梁2的剪力作用设计值, $V_{b,Ed,G}$ 、 $V_{b,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下普通钢框架梁2的剪力作用设计值; Ω_b 为普通钢框架梁2的承载力增强系数, $\gamma_{r,ov}$ 为支撑1所采用低屈服点钢材考虑强化作用和预期屈服强度大于实际屈服强度的材料超强系数, $N_{r,Rd,i}/N_{r,Ed,i}$ 为体系中任一低屈服点钢支撑1的轴向承载力设计值与其在设计地震荷载组合工况下的轴力作用设计值的比值。

[0035] 3)高强钢框架柱3的承载力验算公式为,

$$[0036] \quad N_{c,Rd} \geq N_{c,Ed} = N_{c,Ed,G} + \Omega_c N_{c,Ed,E} \quad (6)$$

$$[0037] \quad M_{c,Rd}(N_{c,Ed}) \geq M_{c,Ed} = M_{c,Ed,G} + \Omega_c M_{c,Ed,E} \quad (7)$$

$$[0038] \quad V_{c,Rd} \geq V_{c,Ed} = V_{c,Ed,G} + \Omega_c V_{c,Ed,E} \quad (8)$$

$$[0039] \quad \Omega_c = \gamma_{b,ov} \min\{M_{b,Rd,i}/M_{b,Ed,i}\} \quad (9)$$

[0040] 式中, $N_{c,Rd}$ 、 $M_{c,Rd}(N_{c,Ed})$ 、 $V_{c,Rd}$ 分别为高强钢框架柱3的轴向承载力设计值、考虑设计地震荷载组合工况下轴力作用折减的抗弯承载力设计值、抗剪承载力设计值; $N_{c,Ed}$ 为设计地震荷载组合工况下高强钢框架柱3的轴力作用设计值, $N_{c,Ed,G}$ 、 $N_{c,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下高强钢框架柱3的轴力作用设计值; $M_{c,Ed}$ 为设计地震荷载组合工况下高强钢框架柱3的弯矩作用设计值, $M_{c,Ed,G}$ 、 $M_{c,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下高强钢框架柱3的弯矩作用设计值; $V_{c,Ed}$ 为设计地震荷载组合工况下高强钢框架柱3的剪力作用设计值, $V_{c,Ed,G}$ 、 $V_{c,Ed,E}$ 分别为重力荷载代表值、设计地震荷载下高强钢框架柱3的剪力

作用设计值; Ω_c 为高强钢框架柱3的承载力增强系数, $\gamma_{b,ov}$ 为框架梁所2采用普通强度钢材考虑强化作用和预期屈服强度大于实际屈服强度的材料超强系数, $M_{b,Rd,i}/M_{b,Edi}$ 为体系中任一普通钢框架梁2的抗弯承载力设计值与其在设计地震荷载组合工况下的弯矩作用设计值的比值。

[0041] 在上述说明书中针对一些优选实施方式进行了具体的描述,并且为说明之目的提供了一些技术细节,然而本领域的技术人员应该能够理解本发明可以有各种各样的变化和更多不同的实施方式,而且本文所描述的细节可以有相当的变化而不会偏离本发明的精神和主旨,从而应当属于本申请所要求保护的范围。

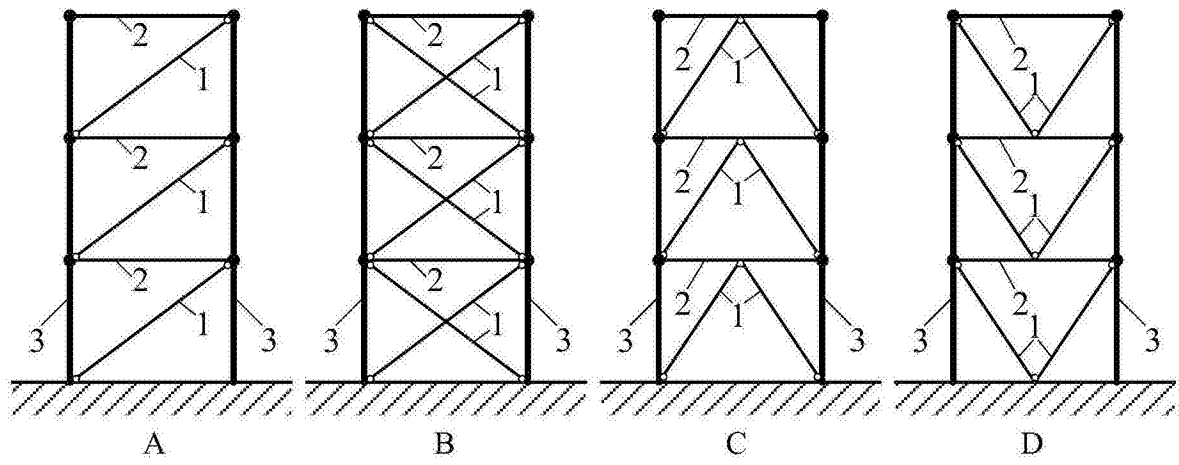


图1