

文章编号:1673-9469(2009)01-0021-04

钢压杆稳定加固研究进展

隋炳强, 邓长根

(同济大学 建筑工程系, 上海 200092)

摘要: 钢结构由于设计、施工、使用、损伤以及火灾、地震等影响可能导致构件宏观开裂或失稳, 甚至造成工程事故。本文总结了钢压杆稳定加固的理论和试验研究成果。首先对国内外钢压杆稳定加固的现状及其进展进行总结, 接着详细介绍了有关纤维、外粘钢和套管加固的理论和试验研究, 最后对稳定加固的研究进行了展望。

关键词: 钢压杆; 加固; 纤维; 粘钢; 套管

中图分类号: TU391

文献标识码: A

Progress in strengthening research on stability of steel compression bars

SUI Bing-qiang, DENG Chang-gen

(Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Cracking, instability and even engineering accidents of a steel structure may be produced during its design, construction, member damage, fire disaster and earthquake. This paper provides a review of stability theory and experiment research on steel compression bars strengthened. A summary of existing work and development on the stability reinforcement of steel compression bars at home and abroad are first introduced. Then theory and experiment research on steel compression bars strengthened with FRP, bonded steel plates and sleeve pipe are described in detail. Finally, the study of strengthening steel compression bars in the near future is prospected.

Key words: steel compression bars; strengthening; FRP; bonded steel plate; sleeve pipe

由于设计施工不当,使用要求或作用荷载发生改变,钢结构的老化损伤以及火灾、地震、战争等灾难性影响,钢结构中不可避免地存在各种各样的缺陷和损伤。在荷载和环境等因素的作用下,材料的微观和宏观力学性能发生劣化,最终导致钢结构构件宏观开裂或失稳,甚至造成工程事故。损伤结构的破坏,一般不是因为强度不足,而是由失稳引起的。近年来随着高强材料的应用,钢结构重量更轻、跨度更大、刚度更柔,这决定了加固结构的稳定性分析必须要考虑几何非线性和材料非线性,同时还要考虑构件初始缺陷的影响,以及由此引起的屈曲荷载降低和屈曲后性能的改变^[1,2]。为了延长钢结构的使用寿命并确保结构安全工作,就必须对损伤结构进行改建,更换或加固,改建。

传统的钢结构加固方法,一般采用焊接、铆接和粘结的办法。但是,焊接在已建成的结构上应用时,会因焊接的高温产生很大的温度应力,使其产生很大的结构变形,因此,重要的钢结构工程,在建成后一般禁止大规模的焊接;铆接又由于在结构上钻孔而削弱构件的强度,在已建成的大型结构上,大量的铆接也是受到限制的。上述两个方法还有一个共同的缺点,就是补上去的钢板,仅周边与结构连接在一起,板与板之间是空的,不能构成整体联合工作,很难达到理想的补强加固效果。基于上述问题,目前新型的钢结构稳定加固方法主要有:纤维加固法(Fiber Reinforced Polymer)、粘钢加固法和套管加固法等,其共同特点是通过增大结构的刚度,提高了结构抗屈曲能力和稳定性,从而延长了结构的使用寿命。

收稿日期:2008-11-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50478107)

作者简介:隋炳强(1969-),男,山东诸城人,一级注册结构师,博士研究生,从事钢结构稳定性研究。

1 纤维(FRP)加固轴压构件

纤维加固是用树脂类材料把纤维粘贴于构件表面,形成复合材料体,通过其与构件的协同工作,达到对结构增强加固目的。该技术的优势是^[3-5]:(1)复合材料的比强度和比刚度高,加固修补后,基本不增加原结构的自重和原构件的尺寸。(2)由于复合材料的可设计性,能适应特殊要求,最大限度地提高结构的修补效果。(3)复合材料具有良好的抗疲劳性能和耐腐蚀性能。(4)该方法不需要对原结构钻孔,不减小构件横截面面积,不会形成新的应力集中源。

纤维加固机理是利用纤维良好的抗拉强度,延迟了塑性失稳时间。当钢构件部分截面进入塑性时,依然处于弹性状态的纤维抑制了钢构件受拉区的变形与塑性发展,从而达到增稳的目的^[6,7]。

应用 Koiter 理论研究纤维增强复合材料壳体,结果证明,随正交各向异性的增强,轴压圆柱壳对缺陷的敏感度降低了。纤维加固既可以获得高的屈曲荷载,又满足对初始缺陷不十分敏感,使两者达到某种平衡,更充分地发挥纤维增强复合材料的效益^[8,9]。

1.1 工字型截面柱

姜黎黎对存在初弯曲和残余应力的工字型铰接钢管柱碳纤维加固进行了 ANSYS 有限元分析^[10],碳纤维厚度分别为 0.167mm、0.334mm,弹性模量分别为 235GPa、500GPa。结果表明:碳纤维将明显提高钢管柱的屈曲荷载,特别当初弯曲较大时,最大可提高 18%;屈曲荷载随碳纤维厚度和弹性模量数值的成倍增大而呈现成倍提高的趋势,粘贴一层、三层和五层碳纤维的提高程度分别达到 16%、25%、36%。

1.2 空心圆管柱

Anders Carolin 和彭福明分析了 FRP 加固的空心圆管柱的弹性稳定性^[11,12]。假定构件损伤区位于最危险的构件中部,沿构件的轴线方向粘贴 FRP 进行加固。假定加固后的构件发生弯曲时仍符合平截面假定,组合截面的抗弯刚度为

$$(EI)_r = E_p \frac{\pi[(D_d + 2t_p)^4 - D_d^4]}{64} +$$

$$E_s \frac{\pi[D_d^4 - d^4]}{64} \quad (1)$$

式中 E_p - FRP 轴向弹性模量; E_s - 钢材弹性模量; t_p - FRP 厚度; D_d - 钢管外径; d - 钢管内径。

由能量原理可得圆管柱屈曲荷载为

$$P_{\sigma} = \frac{\pi^2(EI)_r}{l^2} \cdot$$

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{\pi} \left[\frac{(EI)_r}{E_s I} - 1 \right] \left[\frac{\pi(l - l_d)}{l} - \sin\left(\frac{\pi(l - l_d)}{l}\right) \right]} \quad (2)$$

式中 $E_s I$ - 钢截面的抗弯刚度; l - 构件的长度; l_d - 钢构件中部损伤区域的长度。

1.3 空心方管柱

加拿大 Queen's 大学对空心方管柱 FRP 加固后的受压性能进行了研究^[13]。研究人员先沿方管环向缠绕一层 CFRP 布,避免可能发生的电化腐蚀,然后再沿方管环向或纵向粘贴若干层 CFRP 布。试验结果表明:(1)沿方管环向粘贴 CFRP 布的加固效果远比纵向粘贴要好,极限承载能力可提高 18%。(2)当采用沿纵向 CFRP 布加固时,破坏形式是 CFRP 布与钢结构之间剥离破坏;当采用环向 CFRP 布加固时,则不会发生 CFRP 布与钢结构之间的剥离和 CFRP 布断裂的现象。(3)钢管最后发生局部屈曲破坏。

1.4 薄壁钢管柱

李勃对薄壁钢管短柱的稳定性进行了研究^[14]。通过对粘贴碳纤维和未粘贴碳纤维的薄壁钢管构件的轴压试验和理论及有限元分析,得出以下结论:(1)粘贴一层碳纤维对失稳承载力没有提高,随着粘贴层数的增加,对构件承载力提高的作用越明显。(2)当构件处于弹性工作阶段时,碳纤维作用不明显;构件进入弹塑性工作阶段后,碳纤维开始发挥作用,约束了构件失稳模式的发展,提高了一定的延性。(3)CFRP 对薄壁钢管受力特性有一定的改善作用,主要是提高失稳承载力和提高构件屈曲延性。改善性能大小主要与 CFRP 的粘贴层数有关,粘贴厚度增加,则受力性能改善程度增加。

2 粘钢加固

粘钢加固技术是在钢结构表面用特制的建筑结

胶胶粘贴钢板,依靠结构胶使之粘结成整体共同工作,以提高结构承载力的一种加固方法。该技术始于20世纪60年代,简单、快速,不影响结构外形,在国际上广泛应用于建筑、公路桥梁的加固中。

粘钢加固的机理是外粘钢加固后的试件比外粘钢板与原钢管壁厚之和等厚度的单层结构刚度大,因此,在保证不脱胶的情况下,胶层增大了试件的截面,更重要的是胶层增大了构件的抗弯刚度,提高了试件的稳定承载力。

2.1 试验研究

卢亦焱等进行了用粘钢加固薄壁钢管试验研究^[15],试验采用11根圆形截面钢管,试件高度均为1500mm,钢管的外粘胶剂厚2mm。其结论为:(1)各试件的破坏特征为钢管内轴向应力超过屈服点后在强化过程中产生的局部失稳破坏,加固后试件的屈服荷载及破坏荷载分别提高约35%,32%。(2)无论材料处于线弹性阶段还是非弹性阶段,内外壁对应的应变测量值都很接近,这说明外粘钢板与薄壁钢管能很好地协调工作,具有联合工作的性能。

2.2 理论和有限元分析

卢亦焱等认为,薄壁钢管外粘钢加固后,其结构形式从原来的单层壳变为由内管-胶层-外粘钢组成的组合结构,因此,不能简单地用单层薄壳理论来分析其力学性能,进而提出了3层轻夹芯壳的理论^[16,17]:内层和外层用高强度、高弹模材料制成,为承载层;中间层用低强度、低弹模、轻夹芯材料制成,为构造层。外粘钢加固薄壁钢管的组合结构可以依据轻夹芯3层壁板的计算理论进行力学性能分析,先求出其折合刚度,将其换算为单体结构后分析其力学性能。有限元分析结果表明:外粘钢板能有效地提高钢管的承载力,胶层从加载到结构破坏的过程中,始终能保证外层钢板与原钢管有效的联合工作。

3 套管加固

套管由内外管组成,内管可以是圆管、方管、矩形、工字形截面等,外管可以是圆管、方管截面等。为了提高外管抵抗弯曲的能力,进而提高外管对内管的约束作用,外管也可以做成格构式外管。当内外管受压弯曲到其间隙为零时,内外管壁将

发生接触挤压,导致外管中产生弯曲应力。如果外管刚度较大且其最大弯曲应力不超过外管材料的屈服应力时,就能对内管起到支撑作用,有效约束内管的屈曲变形^[18]。

3.1 加固机理

压杆欧拉屈曲荷载临界值,在压杆本身基本参数不变的情况下,压杆计算长度系数 μ 的大小对屈曲荷载起控制作用。当 $\mu = 1$ 时, $P_{e1} = \pi^2 EI/l_0^2$,当 $\mu = 0.5$ 时, $P_{e2} = 4 \times \pi^2 EI/l_0^2$,因此弹性范围内有 $P_{e2}/P_{e1} = 4$ 。由此可以看出,在不改变杆件及其边界条件的情况下,通过控制压杆的屈曲模态(失稳波形)即可达到提高构件屈曲荷载,增强构件稳定性能的目的。

基于上述原理,套管加固法将原有的压杆当作内管,用外包构件抑制其侧向弯曲,内管受力构件来承担全部轴向压力,外包构件仅对内管构件提供侧向支撑,来约束内管的横向变形,防止内管在压力作用下屈曲^[19,20]。

3.2 加固影响因素

内管的力学性能依赖于内外管的刚度比。刚度较小的内管在外管内可以出现高阶屈曲模态,而外管能为内管提供足够的后屈曲强度,从而提高内管的受压承载力,内管可以达到很高的应力水平,甚至远远超过内管的屈服应力。

内外管之间的间隙对内管的承载力也有影响^[21]。间隙越小,内管受压承载力越大,然而如果间隙为零,外管阻止了内管出现高阶屈曲模态,内管与外管作为一个整体而发生一阶模态屈曲,内管的受压承载力反而会大幅降低。间隙的作用体现在如下两方面:容许内管在外管中出现高阶屈曲模态,提高内管受压承载力;内管主要承受轴向压力,外管抵抗内管的失稳变形,承受弯曲应力,使内管与外管各司其职—内管承受压力而外管则抵抗弯曲。

3.3 理论和试验研究

在Prasad的套管实验^[22]中,内管首先发生第一阶屈曲模态,内管与外管的中部及两端出现点接触。随着荷载的增加,内管与外管之间出现平直的接触段,然后内管从低阶屈曲模态变形到高阶屈曲模态。与传统的受压构件相比套管构件的受压承载力有大幅度的提高,内管可以达到相当

高的应力水平,甚至超过内管的屈服应力。

Sridhara 通过理论与试验研究了套管构件中柔性外管约束下内管的受压承载力^[23]。理论方面,Sridhara 推导了内管与外管处于点接触时内管的屈曲荷载。该屈曲荷载只与内外管的刚度比值有关,与间隙无关,刚度比值越小,屈曲荷载越大;试验表明:受压内管在达到屈服应力后,还可以继续承载,直到外管的应力达到其屈服应力为止,此时内管应力超过屈服应力达到很高的应力水平。

朱文美在套管加固法中^[24],分两种端部构造情况分析研究了不校正初始挠度的情况下加固后点接触阶段内核临界承载力的计算方法,推导了构件校正初始挠度前后在不同受力状态下轴向力、校正力及中点挠度三者之间的关系式,最后给出了无初始缺陷假设下外包构件的刚度要求。

申波根据轴压弹性有初弯曲内管、柔性外管的小挠度二阶平衡微分方程及内管与外管的变形协调条件,推导了套管构件内管与外管未接触、点接触、线接触、同侧两点接触、异侧两点接触时内管的挠度、弯矩、剪力、轴向位移及外管的挠度、弯矩、剪力的计算公式。然后,以此为基础分别得出内管无初弯曲且外管为柔性、内管有初弯曲且外管为刚性、内管无初弯曲且外管为刚性这三种情况下内管与外管的上述相关物理量的计算公式^[21]。

4 结语

尽管钢结构的稳定加固研究才刚刚起步,在工程加固领域还未得到广泛应用,但已有的研究表明,无论是纤维加固、粘钢加固还是套管加固法均可以在一定程度上提高原有结构的刚度和稳定承载能力。因此上述三种加固钢结构的方法将会是很有前途的加固方法,并且会逐渐成为新的研究热点。

但是,要使上述加固技术得到工程界普遍接受和广泛应用,还需要做很多理论与试验研究。在今后的研究工作中应注意以下几方面:

1)薄壁钢管用 FRP 环向加固后的受力机理和失稳破坏模式。

2)粘钢加固钢管后的联合受力机制:受压钢管外粘钢加固后,其结构形式从原来的单层壳变为由原钢管-胶层-外粘钢组成的组合结构,不能简单地用单层构件理论来分析其力学性能。因

此,应寻求一种适合组合结构的计算理论来进行力学性能分析。

3)FRP、粘钢和套管加固进行稳定性分析时应考虑残余应力和初弯曲的影响,研究构件处于弹性和弹塑性状态下的稳定平衡。

4)加固前受任意初始外荷载作用下发生挠曲变形构件的加固研究。

5)两端任意约束情况下纤维、外粘钢和无粘结构件全长和局部加固研究。

参考文献:

- [1] 潘汉明. 大型薄壁钢管极限承载力研究[D]. 上海:同济大学,2004.
- [2] 张磊. 考虑横向正应力影响的薄壁构件稳定理论及其应用[D]. 浙江:浙江大学,2005.
- [3] ALBAT A M, ROMILLY D P. A direct linear - elastic analysis of double symmetric bonded joints and reinforcements [J]. Composite science and technology, 1999, 59(7): 1127 - 1137.
- [4] BARNES R A, MAYS G C. The effect of traffic vibration on adhesive curing during installation of bonded external reinforcement [J]. Proc. Inst. Civ. Engrs., Structures and buildings, 2001, 136(4): 403 - 410.
- [5] BASSETTI A, NUSSBAUMER A, HIRT M A. Crack repair and fatigue life extension of riveted bridge members using composite materials [C]. In: A - H Hosny (ed), Proc Bridge Engg. Conf. 2000, ESE - IABSE - FIB, Sharm El - Sheikh. Egyptian SOC Engrs., Cairo., 2000, I: 227 - 238
- [6] USAMI TETSU, KANEKO HIROFUMI. Strength of H - shaped brace constrained flexural buckling having unconstrained area at both ends: both ends fixed [J]. Journal of Structural and Construction Engineering, Architectural Institute of Japan 558, 2002:211 - 218.
- [7] KOBAYASHI T, INADA M, IMAI K, et al. Study on tube - in - tube FLD member with inner stiffening tube under cyclic loading [C]. Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan, Structural Engineering Section, 2001, III: 657 - 658.
- [8] GARDEN H N. Use of composites in civil engineering infrastructure [J]. Reinforced plastics, 2001, 45(718): 44 - 50.
- [9] 岳清瑞,李庆伟,杨勇新. 纤维增强复合材料嵌入式加固技术[J]. 工业建筑, 2004, 34(4): 1 - 4.
- [10] 姜黎黎. 碳纤维增强钢构件的稳定性分析[D]. 沈阳:沈阳建筑大学, 2005.
- [11] ANDERS CAROLIN. Carbon fibre reinforced polymers for strengthening of structural elements [D]. Sweden: Lulea University of Technology, 2003. (下转第 28 页)

在以后研究椭球面钢-混凝土组合肋壳的抗震性能时应着重研究第六肋环以内壳面的抗震性能。

2.3 自振频率

经过对以上各种情况下的钢-混凝土组合肋壳进行计算,得到不同情况下的自振频率^[5],如表2~表5所示($f_1 \sim f_8$ 为阶数)。

2.4 自振频率的参数分析

通过对计算结果的分析得出以下自振规律:

- 1) 椭球面钢-混凝土组合肋壳结构与其它形式的网壳结构一样,其频谱相当密集。
- 2) 不同矢跨比对自振特性影响较大,在相同短跨、组合肋截面及支座条件下,随着矢跨比的增大,自振频率增大,自振周期减小。
- 3) 在相同矢跨比、组合肋截面及支座条件下,短跨越大,自振频率越小,自振周期越大。
- 4) 边界条件的影响:周边刚接与周边铰接对其自振频率的影响很小。
- 5) 组合肋截面尺寸对自振频率的影响不大。


3 结论

经过分析椭球面钢-混凝土组合肋壳结构的振型特性,发现其第六肋环以内的壳面刚度较大,第六肋环以外的壳面刚度较小,因此在以后研究椭球面钢-混凝土组合肋壳的抗震性能时应着重研究第六肋环以内壳面的抗震性能。

讨论了不同参数下椭球面钢-混凝土组合肋壳结构的自振特性并总结了其变化规律,发现影响结构自振频率的主要因素是矢跨比和长短跨比值的大小。

参考文献:

- [1] 常玉珍,常玉珍,吴敏哲,等. 我国新型组合壳体结构的发展与应用[J]. 工业建筑,2006, 36(1): 602-606.
 - [2] 常玉珍. 钢-混凝土组合肋壳非线性分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
 - [3] 韩青,张毅刚. 预应力拱架结构振动模态特性分析[J]. 工业建筑,2006, 36(1): 481-484.
 - [4] 王新敏. ANSYS工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
 - [5] 郭瑞林,吴培培,晏杰芳. 肋环型单层球面网壳结构的频谱特性分析[J]. 江西科学,2007, 25(4): 450-453.
- (责任编辑 刘存英)
-
- (上接第24页)
- [12] 彭福明. FRP加固钢结构轴心受压构件的弹性稳定分析[J]. 钢结构,2005,20(3): 18-21.
 - [13] SHAAT A, FAM A. Strengthening of short HSS steel columns using FRP sheets[C]. Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Calgary, 2004. 567-570.
 - [14] 李勃. 碳纤维粘贴维护薄壁钢管的稳定性能研究[D]. 南京: 东南大学, 2003.
 - [15] 卢亦焱,陈莉,高作平,等. 外粘钢板加固钢管柱承载力试验研究[J]. 建筑结构, 2002, (4): 54-56.
 - [16] 陈莉. 薄壁钢管外粘钢加固研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2001.
 - [17] 卢亦焱,刘兰,陈莉. 外粘钢板加固钢管技术的数值模拟[J]. 武汉大学学报(工学版),2005,38(1): 112-116.
 - [18] CAMERON BLACK, NICOS MAKRIS. Ian Aiken, component testing, stability analysis and characterization of buckling-restrained unbonded braces[C]. University of California, Berkeley, PEER Report No. 2002/08, September 2002. 996-998.
 - [19] EDISON OCHOA ESCUDER O. Comparative parametric study on normal and buckling restrained steel braces (A master dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the master degree in earthquake engineering) [D]. 2003.
 - [20] BROWN A P, AIKEN D I, JAFARZADEH F J. Buckling restrained braces provide the key to the seismic retrofit of the wallace f. bennett federal building [J]. Modern Steel Construction, 2001, 113: 1010-1014.
 - [21] 申波. 轴压套管构件静力稳定性能的理论及试验研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
 - [22] PRASAD B K. Experimental investigation of sleeved column, Proc. 33rd AIAA/ASCE Structures, Structural Dynamics and Materials Conference [C]. Dallas USA: AIAA/ASCE, 1992: 991-999.
 - [23] SRIDHARA B N. Sleeved compression member [P]. United States Patent 5175972, 1993.
 - [24] 朱文美. 钢构件稳定性检测与加固研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- (责任编辑 刘存英)

作者: 隋炳强, 邓长根, SUI Bing-qiang, DENG Chang-gen
作者单位: 同济大学, 建筑工程系, 上海, 200092
刊名: 河北工程大学学报(自然科学版) 
英文刊名: JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING (NATURAL SCIENCE EDITION)
年, 卷(期): 2009, 26(1)

参考文献(24条)

1. 潘汉明 [大型薄壁钢管极限承载力研究](#)[学位论文] 2004
2. 张磊 [考虑横向正应力影响的薄壁构件稳定理论及其应用](#)[学位论文] 2005
3. ALBAT A M;ROMILLY D P A [A direct linear-elastic analysis of double symmetric bonded joints and reinforcements](#)[外文期刊] 1999(07)
4. BARNES R A;MAYS G C [The effect of traffic vibration on adhesive curing during installation of bonded external reinforcement](#) 2001(04)
5. BASSETO A;NUSSBAUMER A;HIRT M A [Crack repair and fatigue life extension of riveted bridge members using composite materials](#) 2000
6. USAMI TETSU;KANEKO HIROFUMI [Strength of H-shaped brace constrained flexural buckling having unconstrained area at both aids:both ends fixed](#) 2002
7. KOBAYASHI T;INADA M;IMAI K [Study on tube-in-tube FID member with inner stiffening tube under cyclic loading](#) 2001
8. GARDEN H N [Use of composites in civil engineering infrastructure](#) 2001(718)
9. 岳清瑞;李庆伟;杨勇新 [纤维增强复合材料嵌入式加固技术](#)[期刊论文]-[工业建筑](#) 2004(04)
10. 姜黎黎 [碳纤维增强钢构件的稳定性分析](#)[学位论文] 2005
11. ANDERS CAROLTN [Carbon fibre reinforced polymers for strengthening of structural elements](#) 2003
12. 彭福明 [FRP加固钢结构轴心受压构件的弹性稳定分析](#)[期刊论文]-[钢结构](#) 2005(03)
13. SHAAT A;FAM A [Strengthening of short HSS steel columns using FRP sheets](#) 2004
14. 李勃 [碳纤维粘贴维护薄壁钢管的稳定性能研究](#)[学位论文] 2003
15. 卢亦焱;陈莉;高作平 [外粘钢板加固钢管柱承载力试验研究](#)[期刊论文]-[建筑结构](#) 2002(04)
16. 陈莉 [薄壁钢管外粘钢加固研究](#) 2001
17. 卢亦焱;刘兰;陈莉 [外粘钢板加固钢管技术的数值模拟](#)[期刊论文]-[武汉大学学报\(工学版\)](#) 2005(01)
18. CAMERON BLACK;NICOS MAKRIS [Ian Aiken, component testing, stability analysis and characterization of buckling-restrained unbomted braces](#)[PEER Report No.2002/08] 2002
19. EDISON OCHOA ESCUDER O [Comparative parametric study on normal and buckUng restrained steel braces](#) 2003
20. BROWN A P;AIKEN D I;JAFARZADEH F J [Budding restrained braces provide the key to the seismic retrofit of the wallace f.bennett federal buading](#) 2001
21. 申波 [轴压套管构件静力稳定性能的理论试验研究](#)[学位论文] 2007
22. PRASAD B K [Experimental investigation of sleeved column](#) 1992
23. SRIDHARA B N [Sleeved compression nlember](#) 1993
24. 朱文美 [钢构件稳定性检测与加固研究](#) 2006

本文读者也读过(10条)

1. 于华南 新型套节点部件的稳定性分析[学位论文]2008
2. 余绍锋. 郑维科. 邓长根. YU Shaofeng. ZHENG Weike. DENG Changgen 新型抑制屈曲支撑构造及稳定性研究[期刊论文]-结构工程师2008, 24(3)
3. 侯英梅. 侯东京 高等教育文献资料获取的途径和方法[期刊论文]-现代情报2003, 23(10)
4. 吴天河. 邓长根. 王天英. Wu Tianhe. Deng Changgen. Wang Tianying 压杆钢构件的抑制失稳研究[期刊论文]-河北建筑工程学院学报2008, 26(3)
5. 黄存智. 申细林 钢结构在加固工程中的应用[期刊论文]-建筑科学2002, 18(3)
6. 王兵. 沐宏亮. Wang Bing. Mu Hongliang 异形截面钢构件整体弯曲稳定研究[期刊论文]-钢结构2007, 22(11)
7. 申波. 邓长根. SHEN Bo. DENG Chang-gen 套管构件中轴压内核与柔性套筒线接触的屈曲[期刊论文]-工程力学2007, 24(11)
8. 史炜洲. 童乐为. 陈以一 关于钢结构住宅如何耐腐蚀长期使用的思考和研究策略[会议论文]-2007
9. 巩俊松. 邓长根. GONG Jun-song. DENG Chang-gen 冷弯薄壁型钢受弯构件特有的失稳模式[期刊论文]-河北工程大学学报(自然科学版)2007, 24(4)
10. 余绍锋. 郑维科. 邓长根. YU Shaofeng. ZHENG Weike. DENG Changgen 新型抑制屈曲支撑极限承载力分析[期刊论文]-结构工程师2008, 24(4)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200901005.aspx