

蜂窝钢结构受力性能研究现状综述

刘淦

沈阳建筑大学建筑设计研究院

DOI:10.18686/btr.v1i1.1428

[摘要] 本文从研究蜂窝钢结构受力性能的角度出发,首先阐述了使用蜂窝钢结构的现实意义;其次分别针对蜂窝钢结构的梁、柱、节点和体系进行了受力性能研究现状的综述概括;最后,总结关于蜂窝钢结构的柱、梁、节点和结构体系的受力性能,对蜂窝钢结构的开发和应用进行总结。总结发现,蜂窝钢结构梁受力性能的分析已经接近成熟,但关于节点、柱和结构体系受力性能的分析还存在不足。需要进一步的研究蜂窝钢结构柱、节点、结构体系的受力性能,从而使得蜂窝钢结构更好地应用于建筑结构。

[关键词] 蜂窝钢结构; 梁; 柱; 结构体系; 结构节点

引言

当今社会,随着科学技术的日益发展,人类的生活水平,因此人类对建筑设计的经济、适用和美观的追求也越来越高。然而,若是在使用大量的砌体、木材等材料建造结构的背景下,不但不能满足人类对建筑审美的要求,反而不符合国家的可持续发展的政策。而钢结构具有质量轻、强度高、材质均匀、材料可以回收利用等优势,以及钢结构制造机械化、工业化、施工装配化、已建成的钢结构比较容易进行改建、拆迁、移动和维修、具有足够可靠性和良好社会效益等诸多优点,也可以满足建筑设计的多用途、多功能、和造型新颖等需要。基于钢结构这么多优异的性能,钢结构在工程中得到了广泛应用。

其中,蜂窝钢结构作为钢结构的一种形式,它形态新颖、独特形式,本身具有很多优点,蜂窝钢构件自重轻、承载力高、抗弯刚度大、截面形式合理美观并且经济效益显著的特点,使得它的应用已经越来越广泛。目前,国内外对蜂窝钢梁的研究已较为深入,但针对蜂窝钢压弯构件或蜂窝钢柱、蜂窝钢结构节点、蜂窝钢结构体系的相关课题则处于起步阶段。

1 蜂窝钢结构的国内研究成果

1.1 蜂窝钢结构梁的受力性能研究现状

国内从上世纪80年代起,很多学者对蜂窝钢结构梁的受力性能进行了大量的试验研究。但是长期以来我国关于蜂窝钢梁的规范或者行业规程还未制定,而且相对实腹梁,蜂窝钢梁具有更多的优点,因此为了促进我国蜂窝梁理论的发展和尽早制定我国的相关规范,近年来国内的许多学者对蜂窝梁的受力性能开展了各方面的研究。

利用大型有限元软件 ABAQUS 对固支蜂窝梁进行了特征值屈曲分析与非线性分析,数值模拟分别计算除了圆孔、六边形孔固支蜂窝梁在横向跨中集中荷载、横向均布荷载作用下的临界荷载值。

对四边简支矩形薄板在受均匀剪切力作用下,进行了试验研究和有限元分析,探讨了矩形薄板的屈曲失稳状态,文中利用挠度来确定失稳的屈曲荷载,并对剪切荷载作用下,开孔平板在对薄板屈曲强度影响做了相关研究。

详细地记录了圆孔蜂窝梁的制作过程,他们通过费氏空腹桁架理论提出了圆孔蜂窝梁的梁桥在不同荷载作用下的正应力计算,同时也根据费氏空腹桁架理论提出了圆孔蜂窝梁的梁桥剪应力计算。

对国内外计算蜂窝梁挠度的方法进行了总结,通过试验研究对空腹桁架算法进行了修正处理,因而总结出了一个更为精确计算蜂窝梁挠度的公式。

根据国内外的有关蜂窝梁的一些试验研究及理论分析,研究了蜂窝梁在圆形及六边形孔洞形式下的受力性能,其中分析了蜂窝梁孔洞的应力分布特点,并比较了两种不同孔洞下的蜂窝梁孔洞周边的应力状态。文中也指出了在弯剪共同作用下圆孔蜂窝梁梁桥的高度对蜂窝梁正应力强度的影响,文中最后也针对梁桥的合理取值范围提供了建议。

对国内外关于蜂窝梁强度计算、挠度分析、整体稳定计算进行了分类整理,在对6根蜂窝梁做了试验后,提出了蜂窝梁在费尔空腹桁架理论的改进,利用弹性力学关于实腹钢梁的整体稳定做整体稳定性分析。

利用有限元软件探讨了孔洞形状对蜂窝梁的弹塑性影响,在软件 ANSYS 中引入了非线性分析来分析在荷载作用下六边形蜂窝梁的应力分布及挠曲变形特征,文末总结中也提供了一些关于设计蜂窝梁的工程建议,供工程人员借鉴。

利用 ANSYS 软件分析了侧向开有规律的圆孔矩形截面的受弯作用,使用数值模拟的结果,并结合经典梁的刚度定义从而推导出了一套简便、实用计算开孔矩形梁等效抗弯刚度的方法,通过简化假定侧向成排有规律开孔梁墩心截面的应力分布,建立了相应的截面弯矩—受力区高度—边缘应力关系式。

利用软件 ANSYS 分析了简支圆孔和六角孔蜂窝梁在相同跨度、开孔率及开孔数目的性能,研究了两种孔洞形式下不同截面和不同开孔率对蜂窝梁抗弯承载力的影响。

对各国蜂窝梁的研究现状进行了总结,并介绍了各国相关规范和标准中关于蜂窝梁正应力、局部稳定的设计理念,并提出了各国规范中还需要解决的一些问题,对我国制定相关的设计规范具有指导作用。

研究了压弯作用下的蜂窝构件腹板局部屈曲系数变化趋势,文中利用 ANSYS 软件,分析了蜂窝柱腹板在压弯作用下弹性特征值屈曲性能,最后得到了一个有多变量参数计算腹板弹性屈曲系数的计算公式。

采用有限元软件对正六边形蜂窝梁腹板截面在纯剪切作用下进行了特征值屈曲分析和非线性分析,其中特征值屈曲分析计算得到弹性屈曲应力数据,并利用这些数据反算出开孔腹板的剪切屈曲系数。

参考我国《钢结构设计规范》中的有关计算实腹梁整体稳定性公式,推导了在纯弯作用下的六边形、圆形孔蜂窝梁计算侧向弯扭屈曲临界荷载的公式,同时也为下文整体正系数的拟合贡献了大量的数据,文中还讨论了孔洞大小、对蜂窝梁的整体稳定性影响。

综上所述,目前国内学者主要研究的是简支和悬臂状态下蜂窝梁的整体稳定性分析,并详细分析了不同参数对简支和悬臂蜂窝梁的整体稳定性影响,而目前国内学者对固支状态下蜂窝梁的整体性分析较少,并且还没有详细分析不同参数对固支蜂窝梁的整体稳定性分析。

1.2 蜂窝钢结构柱的受力性能研究现状

蜂窝式钢柱轴压、压弯构件是一种腹板多孔的规律性变截面工字形钢柱,一般是将型钢或普通工字钢按一定的线形切割后错位焊接而成的空腹钢柱。蜂窝柱具有自重轻、截面形式合理、抗弯刚度大、承载力高等优点。

利用有限元分析软件研究了蜂窝钢柱在不同支承方式下的屈曲性能以及极限承载力,并利用有限元软件拟合了柱长细比与极限荷载的关系曲线。

袁晓文研究分析了蜂窝钢轴心受压和压弯构件的受力性能及整体稳定,获取了轴压构件的稳定极限承载力-长细比关系曲线,得到轴压中长蜂窝柱及压弯蜂窝柱稳定承载力高于等截面高实腹柱的结论。

采用有限元分析软件建立蜂窝式压弯构件模型,探讨了开孔率和长细比对蜂窝式压弯构件弯矩作用平面内极限承载力的影响规律。分析了蜂窝构件的受力性能,在现有长细比计算规则的基础上,改进并提出了针对蜂窝构件的换算长细比计算公式。对蜂窝式压弯构件腹板稳定问题,在薄板弹性稳定理论的基础上,设计出腹板梁桥及梁墩的计算模型;基于能量法,提出腹板的屈曲荷载计算公式并确定了其高厚比限值。

利用 ABAQUS 软件研究了轴压、压弯蜂窝柱的受力性能与设计方法,分析了扩张比对蜂窝柱整体稳定承载力的影响效果,根据蜂窝柱的特点,修正了格构式构件和实腹式构件的稳定性计算公式,然后总结了适用于轴压、压弯蜂窝柱的强度和局部稳定的设计方法,为工程设计提供了借鉴的地方。

1.3 蜂窝钢结构节点的受力性能研究现状

以蜂窝框架节点的实验研究为基础,利用软件 ANSYS 建立了六边形钢框架蜂窝节点的有限元模型,通过有限元计算与钢框架梁柱节点静力试验从破坏形式、荷载-位移曲线的对比,模拟结果与试验结果基本吻合,验证了有限元计算模

型的有效性。

对蜂窝式压弯构件与扩张前实腹式压弯构件平面内稳定极限承载力大小进行了比较,从而确定了极限荷载提高幅度;研究了蜂窝式压弯构件弯矩作用平面内受力特征;研究了长细比对蜂窝式压弯构件平面内失稳极限承载力的影响;通过对蜂窝式压弯构件强度承载力,刚度条件及平面内稳定性进行研究,最后提出了设计计算公式。

通过对三榀蜂窝式梁-柱钢框架结构模型进行恒定竖向荷载和低周反复水平荷载共同作用下的非线性有限元分析,通过蜂窝式梁-柱钢框架的荷载位移曲线,总结荷载转角滞回曲线和骨架曲线的特点,分析和研究了蜂窝式梁-柱钢框架的受力机理和破坏过程,评价了蜂窝式梁-柱钢框架结构形式的延性性能和耗能能力。

1.4 蜂窝钢结构体系的受力性能研究现状

做了关于蜂窝框架结构体系模型在低周往复荷载作用下的拟静力试验,得到结构在竖向荷载保持不变的情况下水平荷载-位移、水平荷载-节点转角的滞回曲线和骨架曲线的特点的结论。通过对该结构在地震作用下的滞回性能、延性、耗能能力、刚度退化等研究,总结了蜂窝框架的抗震性能,从而建立其恢复力模型,同时分析研究了在地震荷载作用下轻钢框架的受力机理和破坏模式,对蜂窝框架结构的抗震性能做出综合性评价,为深入研究蜂窝式框架结构的性能奠定基础,也为工程应用提供参考。

蜂窝轻钢门式钢架是一种新型的轻钢结构形式,其构件已广泛应用于土木工程之中。对3个蜂窝轻钢门式刚架试件进行了受竖向荷载的静力试验研究,并对2个试件进行了低周反复荷载的试验研究,验证了数值模拟的可行性,并对12个模型进行有限元分析。研究表明,试件破坏由于局部屈曲引起了整体结构最终延性破坏;蜂窝轻钢门式刚架的刚度较高,抗震性能良好。

2 结语

任何一种结构形式都有适宜的高跨比和建筑高,因此应结合蜂窝结构质量轻、刚度大、穿越管线方便等特点展开研究,找到最有的高跨比和建筑高度,可以最大程度的发挥蜂窝结构的优势。由于蜂窝钢结构的应用逐渐增加,现行钢结构规范还尚未对蜂窝梁的设计做出规定,以及国内学者对蜂窝梁的研究很多,但针对柱、节点和体系的研究还存在不足,除了蜂窝梁的应用成熟外,还应加大柱和体系的开发以及应用,从而推进蜂窝梁在我国的发展与应用。

[参考文献]

- [1]游朋.两端固支状态下蜂窝梁整体稳定性研究[D].西南石油大学,2017(01):114.
- [2]于雁鸣.蜂窝梁的设计及应用[J].城市建设理论研究:电子版,2013(36):12.
- [3]李启良.蜂窝轻钢门式刚架受力性能试验与有限元研究[D].广西大学,2012(02):106.