

PREFABRICATED STEEL STRUCTURE
ENGINEERING TECHNOLOGY APPLICATION

装配式钢结构建筑工程 技术应用

中国建筑金属结构协会钢结构专家委员会

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

装配式钢结构建筑工程技术应用/中国建筑金属结构协会钢结构专家委员会. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 4

ISBN 978-7-112-21998-8

I. ①装… II. ①中… III. ①钢结构-建筑工程-文集 IV. ①TU758.11-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 057065 号

本书内容共分五大部分, 从钢结构工程研究开发、钢结构工程施工技术、钢结构住宅工程、金属板屋面墙面围护结构系统工程、钢结构桥梁工程, 介绍了国内近几年在装配式钢结构建筑设计理论、规程规范、BIM 技术研究、组合结构桥梁技术应用的最新研究成果; 对近两年建设竣工的机场航站楼、大剧院、会展中心、超高层建筑、组合桥梁结构、工业建筑等工程, 介绍了其中钢结构施工技术研究与应用的最新实践经验。

本书对于从事装配式钢结构的研究、设计、施工和管理工作的从业人员会有所帮助, 对钢结构专业的师生具有参考价值。

* * *

责任编辑: 张 磊 万 李

责任校对: 焦 乐

装配式钢结构建筑工程技术应用

中国建筑金属结构协会钢结构专家委员会

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 36 插页: 6 字数: 1109 千字

2018 年 5 月第一版 2018 年 5 月第一次印刷

定价: 108.00 元

ISBN 978-7-112-21998-8

(31905)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《装配式钢结构建筑工程技术应用》
编写委员会

主 编：党保卫

副主编：弓晓芸 王明贵

编 委：罗永峰 黄 刚 任自放 周观根 顾 军 戴立先
王丰平 杨强跃 贺明玄 刘中华 王晓波 陆 永
肖 瑾 陈振明 林 冰 苗泽献 庞京辉 胡育科
董 春 刘 民

秘书处：顾文婕 周 瑜

前 言

在《中国制造 2025》建设“制造强国”的战略要求下，建筑业向装配式建筑为代表的建筑现代化方向转型成为必然之选。特别自 2016 年以来，装配式建筑的发展得到党中央、国务院的高度重视，《关于大力发展装配式建筑的指导意见》、《国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见》等多个政策中明确提出：力争用 10 年左右的时间，使装配式建筑占新建建筑面积的比例达到 30%，同时，各级地方政府也因地制宜地提出装配式建筑的发展政策，并以示范城市和项目为引导，当前装配式建筑开创了新的局面，呈现规模化发展态势，也给我们钢结构行业的发展带来了机遇和挑战。

为了及时总结协会会员单位和专家在装配式钢结构建筑方面的研究开发、科技创新成果；推广应用建筑钢结构新产品、新工艺、新工法、新技术；交流钢结构工程在深化设计、加工制作及施工安装技术等方面的经验，提高我国装配式钢结构建筑的整体技术水平。协会钢结构专家委员会编著《装配式钢结构建筑工程技术应用》论文集。

本文介绍了近两年大学、设计研究单位钢结构施工企业的钢结构专家和技术人员在装配式钢结构建筑设计理论、规程规范、大型工程施工技术、钢结构住宅工程实践、BIM 技术研究、桥梁技术应用、金属板围护结构系统应用及各种新材料、新技术、新产品的最新研究成果。

金属板建筑围护结构系统专业厂家的论文，介绍了在金属板屋面系统的设计、施工实践中的宝贵经验，对提高屋面工程质量具有一定的参考价值。

在此，对积极投稿的作者，审稿的钢结构专家，以及为本书出版给予支持的企业，一并表示感谢。

对于论文编审中出现的错误，敬请读者批评指正。

目 录

一、钢结构工程研究开发	(1)
既有结构构件重要性评价及分类方法研究现状	聂 琪 王人鹏 罗永峰 (2)
某高层钢结构横风向风振加速度在不同软件中的对比分析	刘 伟 吕 艳 孙雪萍 (6)
关于组合梁弹性理论分析法的介绍和问题探讨	刘 彬 (14)
关于钢结构焊接工艺评定的几点讨论	史竟成 顾 军 (19)
门式刚架端板连接节点转动刚度的分析	李一杰 (22)
BIM 技术在济南临港国际创业园项目的应用实践	王绪晓 (27)
EBIM 与二维码技术在钢结构施工管理中的应用研究	胡 博 韩 佩 张 伟 唐 振 史朝阳 (31)
浅谈安康天一汽车公园项目 BIM 技术综合应用	王 恒 张亚东 (35)
箱形柱变截面后原有地脚锚栓的利用方法探究	刘凯之 刘富强 段江华 李 晨 张 原 (41)
超高层辅助测量装置研究	史朝阳 韩 佩 张 伟 唐 振 王学洲 (44)
浅谈超高层钢结构施工安全管理保证措施	蒲保军 韩 佩 唐 振 史朝阳 常晓强 (48)
BIM 技术在石川河游客中心项目中的应用	段启金 李辉军 汪汉柱 孟晓冬 (52)
某超高层建筑屋顶塔冠的深化设计	代文龙 周军红 朱 冲 耿开通 张焕敏 孙亚奇 (61)
镇江苏宁广场空间斜交网格结构的深化设计	王海亮 周国庆 张银国 耿开通 孙国维 蒲伟斌 (65)
截面参数计算的拉格朗日数值方法	范建桥 (70)
二、钢结构工程施工技术	(77)
超 200m 高空超长超重异形钢连桥整体提升施工技术	王江波 刘 军 黄 涛 刘雨鑫 (78)
深圳半岛城邦超高层全钢结构建筑施工技术	黄坚勇 郑良锋 王伟铨 马 超 (86)
曲面焊接球网架旋转提升施工技术	孙夏峰 武传仁 刘建强 华建民 卢文斌 (93)
亚投行采光顶大跨张弦梁施工技术	杨国松 杨志明 王学兵 葛金明 朱金京 (100)
三维激光扫描仪在钢结构现场安装中的应用	王学洲 张 伟 史朝阳 唐 振 胡 博 (105)
研制新型提升机构助力超高层施工增效	史朝阳 韩 佩 康少杰 唐 振 王学洲 (109)

浅谈劲性钢骨柱安装定位影响因素及防偏位措施	唐 振 王景浩 史朝阳 王学洲 常晓强 (114)
郴州文化艺术中心音乐厅异形井格式方钢管钢结构施工技术	张海礁 王新祥 王大伟 黄文华 (117)
广西文化艺术中心平面拱形桁架与交叉桁架钢屋盖施工技术	孙晓伟 王 平 孙剑 邹玉明 高 凡 (122)
封闭式垃圾仓大跨度桁架梁及金属围护系统施工技术	苗泽献 张林飞 王天成 (136)
青岛新机场大厅屋盖钢网架提升施工技术	杨国松 傅新芝 张大慰 薛超军 王 强 张永菲 (147)
双曲幕墙主龙骨飘带柱拼装精度控制技术	王 玮 黄文华 赵庆科 (156)
苏州中心广场大鸟形屋面钢结构工程施工浅析	任 鹏 徐 纲 张大慰 刘培红 马才华 (165)
超高层钢结构软土地基施工测量控制	李 根 李 杰 俞 宏 王嘉谦 高 刚 王 工 曹天祥 杨小转 (170)
沈阳华晨宝马总装车间主车间工程	雷 明 王金男 孙 博 (187)
高层钢结构施工测量新方法	何宇涛 时灿灿 (193)
兰州“鸿运·金茂”综合体工程桁架加工制作技术	桂 斌 刘小平 孔令峰 李超凡 李敏芳 王泽兵 狄 超 (199)
通辽市科技馆楼层桁架加工制作及安装施工技术	吴 云 杜立平 桂 斌 蒋 斌 陈 东 姚隆辉 李 旭 申 鑫 (207)
料场棚网架安装施工技术	王建国 常丽霞 党福玉 葛利萍 (216)
清河站深基坑内钢柱安装临时钢栈桥设计与施工	朱 明 蔡 蕾 (223)
大型履带式起重机跨外吊装屋面梁安全分析	苗泽献 张少林 (234)
浅谈箱形柱混凝土顶升施工技术	李晓明 刘振全 李 伟 (241)
浅谈装配式钢结构商业综合体施工技术	王 恒 王 军 李 龙 (249)
海口塔地下部分钢结构工程一种双管组合形式柱脚加工制作工艺	卢利杰 (255)
超高层物流通道塔安装工艺研究	常晓强 康少杰 唐 振 张保健 史朝阳 (263)
高空悬挑桁架的施工技术	苏富华 庄惠英 (267)
喀什体育中心体育馆项目重型钢桁架施工技术	厉广永 徐英杰 (275)
大型构件组立焊接的改进	焦玉潇 朱宝才 杨成峰 榆 林 (281)
长沙高端地下装备制造项目工业厂房钢结构施工技术	吴元成 (285)
双底板变截面地下圆管柱加工技术	师 哲 张明启 蒋国明 (290)
北京城奥大厦工程施工技术	李为阳 (294)
插入杯口式箱形柱木斜楔代替铁楔固定方法的探究	张 原 段江华 刘富强 刘凯之 李 晨 (302)
液压同步提升技术在天津滨海机场 T2 航站楼大厅施工安装中的应用	张富强 邵利强 柳贤琪 蒋恺一 (305)
幕墙钢柱分离式减震滑动支座柱脚施工技术	朱 明 殷巧龙 李 旭 (311)
特殊建筑造型结构钢管加工制作技术	吴 云 熊珍珍 汤俊其 李敏芳 孔令峰 李超凡 张金榜 顾 欢 (317)
枣庄市体育中心体育馆、游泳馆大跨度张弦梁分段安装施工技术	唐香君 吴文平 曹云宝 巫明杰 (324)

枣庄市体育中心(体育场)拉花环梁钢结构卸载施工技术	唐香君 曹云宝 吴文平 巫明杰	(330)
吕四国家中心渔港码头膜结构工程施工关键技术研究	杨 建 任思杰 刘 峰 沈珏茹 马晓霞 鲁全峰	(334)
229m 大跨度预应力钢桁架施工技术	厉广永 李贤进 韩启迪 杜 磊	(343)
小米项目钢结构施工关键技术	吕 伟 姬鹏成 孟 昊 孙志发	(351)
双向倾斜型钢组合结构施工关键技术的研究与应用	陈 华 刘智勇 蔡荣根 叶代英 张生文	(360)
广发证券大厦屋顶大跨度钢结构门架施工技术	曾文涛 崔志勇 陈建龙 何秀松	(367)
大跨度伸臂悬挑的异形桁架安装技术	熊 伟 裴裕成 章 思 陈永平 胡 军 李 旺	(379)
四角锥网架钢结构卸载技术的研究及应用	钟红春 杨启鸥 蔡 伟 吴开再 张 超	(383)
大跨度重型钢桁架跨既有线安装施工技术	刘 焱 徐小翼 郭绍斌	(390)
荆门新能源汽车装配厂房施工技术	周进兵 简 翼 王碧如 王 典	(404)
三、钢结构住宅工程		(411)
莱钢绿色装配式钢结构体系及其应用	张海宾 李洪建 王丰平 马强强	(412)
钢结构住宅的相关问题探究	汪金祥 刘 曙 甘 霖	(419)
对钢结构+PC 装配式住宅结构安装精度控制的思考	庞京辉	(424)
装配式钢结构建筑体系在新疆地区的推广与发展探讨	张 华	(427)
做实装配式钢结构住宅工程推进绿色建筑产业发展	吴小燕	(431)
超高层钢结构焊接变形的控制	马锡平 朱文康 胡冬军	(435)
装配式钢结构写字楼建筑的施工技术	张少帅	(440)
海洋住宅模块化技术研究应用	宋子焯 余 跳 李 晶	(444)
三维模块在低多层学校建筑中的研究与应用	汪金祥 欧阳超 刘 曙 吕黄兵 甘 霖	(451)
非框架柱在钢框架结构体系中的应用	徐 彬 袁 健	(458)
跃层铰接钢框架支撑体系在某装配式住宅中的应用研究	徐风波 王高祥 黄 敏	(463)
四、金属屋面墙面围护结构系统工程		(475)
北京新机场旅客航站楼及综合换乘中心工程金属屋面施工及节点处理方法	程定锋 苗泽猷 刘宝辉	(476)
肇庆新区体育中心不锈钢焊接屋面施工技术	周志刚 张 庭 陈建辉 张 伟 王 剑	(487)
多曲率装饰板的设计与施工技术	杨景志	(503)
浅谈金属屋面施工质量控制	申如祥 路伟伟 朱军林 李 鹏 张 涛	(511)
直立锁边金属板屋面设计与施工技术探讨	马小杉 史竟成	(517)
异形建筑防水案例分析	丁小珂	(522)
一种金属屋面外装饰龙鳞板安装技术	陆文龙	(527)

非奥系国家国民教育科学事业主要指标(1980-1990)

教育部、中国科学院、中国科协

1980年11月15日(1980年11月15日)

一、钢结构工程研究开发

言臣

1980年11月15日(1980年11月15日)

既有结构构件重要性评价及分类方法研究现状

聂 琪 王人鹏 罗永峰

(同济大学建筑工程系, 上海 200092)

摘 要 既有结构检测鉴定过程中, 由于构件数量众多, 为了减少检测工作量, 通常将构件分为重要构件和一般构件, 分别制定不同的检测方案进行检测。目前, 国内外对构件重要性评价研究已有初步的成果, 但对构件重要性分类方法的研究尚不完善。本文基于已有成果, 总结说明现有结构构件重要性的评价与分类方法。针对构件重要性评价方法, 分析研究现有方法是否考虑外荷载对评价结果的影响, 进而总结出不同评价指标的优缺点; 针对构件重要性分类方法, 说明了目前的两种研究途径。通过对现有研究成果的综合与分类分析, 总结出既有结构构件重要性研究尚存在的主要问题。

关键词 构件重要性; 评价方法; 分类方法; 检测鉴定

1 引言

近年来, 对既有结构的检测、可靠性评定等理论和技术的研究, 已逐渐成为建筑工程领域的热点问题^[1]。既有结构检测与鉴定常用的方法是分层级检测、鉴定, 最后综合评定结构整体的安全性等级, 其中构件层级鉴定是重要内容之一。由于结构构件通常数量众多, 对所有构件均进行检测工作量巨大且不实际, 有时甚至不可能, 因此, 现行检测及鉴定规范^[2-4]通常将构件分为一般构件和重要构件, 并分别制定不同的抽样方案进行检测和鉴定以减少工作量。然而, 所有现行检测鉴定规范均未给出具有严格理论依据的一般构件和重要构件的定量评定与分类方法。因此, 研究构件重要性的评价及分类方法具有重要的理论意义和实际应用价值。

构件重要性是指构件对整体结构性能的影响程度^[5]。构件重要性评价就是一种确定构件重要程度的方法, 构件重要性分类则是根据构件重要性评价的结果确定不同构件重要等级的方法。构件重要性的概念已应用于结构鲁棒性分析、在建结构监测及既有结构检测鉴定加固等领域。

2 构件重要性评价

结构构件重要性评价不仅取决于结构系统, 也取决于外部荷载^[6]。根据构件重要性评价中是否考虑荷载作用的影响, 评价方法可分为两类: 一类是与外荷载作用无关的评价方法, 此类方法仅评价结构系统的自身属性; 另一类是与外荷载有关的评价方法, 此类方法不仅考虑结构自身属性, 还考虑结构上的荷载属性。

2.1 与外荷载无关的评价方法

与荷载无关的构件重要性评价方法, 主要从结构的拓扑关系和刚度分布来分析结构构件重要性^[7]。

Blockley 等^[8-9]从图论的角度寻找结构中可能因为很小的损伤引起不成比例破坏的潜在损伤源, 实际上是一种结构刚度判断; 与此类似, 柳承茂^[10]、罗立胜^[5]通过在构件主轴刚度方向施加单位平衡力系, 计算构件为维持原协调关系产生的内力作为杆件的重要性系数。胡晓斌^[11]采用结构基本频率作为

反映结构自身刚度的参数,根据构件移除后结构频率的改变作为构件重要性指标,但是由于结构具有多阶频率,构件移除之后结构频率次序可能会改变,因此,该方法的合理性值得研究。NafdayAM^[12]通过采用标准化后的结构刚度(只包含结构的材料刚度)行列式表示结构的安全性,构件重要性系数则采用原结构刚度矩阵行列式与拆除构件后刚度矩阵行列式的比值表示,该指标虽然直接与结构的刚度矩阵相关,但需要计算刚度矩阵的行列式,计算过程复杂。柳承茂^[13]认为构件失效对整体结构影响面积的大小能够反映该构件在结构系统中的重要性,该方法可直接反映构件在结构中的作用范围。另外,也有将经验分析和结构概念结合的判断方法^[14-15],采用“专家打分”的方式确定影响构件重要性的因素权重,该方法虽具有较好的工程实用性,但依赖于专家经验,且仅适用于传力路径单一的简单结构。

与荷载无关的构件重要性评价方法单纯依赖于结构刚度的拓扑判断而脱离外部荷载效应的分析方法,对于研究既有结构检测鉴定的意义有限。

2.2 与外荷载有关的评价方法

结构的实际传力路径不仅与结构自身属性有关,还与荷载模式紧密相关^[7]。与荷载无关的评价方法,未考虑荷载对于传力路径的影响,可能出现对荷载传递没有贡献的构件重要性高于对荷载传递贡献大的构件。因此,国内外学者提出了与荷载相关的重要性评价方法。Charaiben^[16]、荣海橙^[17]以结构可靠性理论为基础,通过计算构件对结构整体可靠性的影响程度评判该构件的重要性,计算过程中考虑了荷载效应和失效模式的相关性。江晓峰^[18]基于现行钢结构设计规范计算剩余结构最大应力比,以此衡量构件重要性程度;与此类似,胡晓斌^[19]认为平均应力比可以用来衡量构件失效对于整体结构的影响,但应力比指标只适用于材料及截面均匀的结构。高扬^[20]通过概念移除杆件,将移除前后结构承载力系数的变化程度作为杆件重要性的衡量指标,其中结构承载力系数是指在一定比例的荷载作用下,结构极限承载力与所取设计基准值的比值。刘晓^[21]采用构件截面面积变化对空间钢结构整体极限承载系数的影响程度作为构件重要性的衡量指标,计算极限承载力时考虑了不同荷载组合的影响。张雷明^[22]分析了荷载作用下框架结构内的能量流动,取能量流动大的路径为结构最大传力路径,并根据相应荷载作用下拆除构件前后结构应变能的改变判别构件重要性。李宁^[23]从能量的角度研究荷载作用下结构的易损性和构件重要性,通过最小应变能原理来寻找结构最容易失效路径并对结构失效模式进行了搜索。詹海雷、肖南^[24-25]根据结构损伤前后整体刚度矩阵条件数的变化判断构件重要性,算例中考虑了对一般空间结构起控制作用的荷载工况。文献[26]通过加大各个构件荷载所造成的结构体系失效概率的变化评价构件重要性,可考虑不同荷载模式的情况。

3 构件重要性评价指标选择

构件重要性评价结果通常还与结构性能的评价指标选择有关^[7]。结构整体性能指标包括刚度指标、承载力指标、变形能指标、强度指标及可靠度指标等。表1中总结了当前研究文献中构件重要性的主要评价指标,并对各类指标的特点进行归纳。

构件重要性指标

表 1

评价指标	指标参数	特点
刚度指标	基本频率 标准化刚度矩阵行列式 单位平衡力系作用下的内力 冗余度	可以反映结构整体响应;没有考虑外荷载的作用; 对于复杂结构计算量大
承载力指标	应力比 极限承载力 结构承载力系数 杆件的敏感度	可考虑结构几何非线性的影响;需采用弹塑性分析,计算过程复杂

续表

评价指标	指标参数	特点
变形能指标	广义刚度 应变能 能量分布 变形比值	较好地反映结构响应；目前仅适用于线弹性材料；无法确定结构极限状态的性能
可靠度指标	结构整体失效概率 系统可靠度	计算假定较多，不适用于实际工程；构件相互关系错综复杂；需要统计数据

基于不同性能指标的研究方法，各有利弊，在实际工程检测或研究中，应根据不同结构体系选择适合的指标。

4 构件重要性分类方法

对于大型结构而言，通常结构体量庞大且体系复杂，为了使结构的检测鉴定结果层次清晰、结果可靠，需要按照一定的标准流程进行评定。参照现行国家标准《高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准》(GB 51008—2016)^[4]规定的评级层次，既有钢结构的可靠性鉴定应划分为结构构件及节点、结构系统两个层次。其中，构件的可靠性评定应考虑构件重要性等级，分等级进行评定。因此，根据构件重要程度评价的结果研究各构件重要性等级是必要的。

由现有研究文献和相应的鉴定规范可知，构件重要性等级分类方法可分为定性分析方法与定量分析方法两大类。实际工程检测鉴定中，通常采用定性分析方法来划分构件重要性等级。徐茂波^[27]根据构件在建筑结构中的位置以及是否直接受荷载作用将构件分为直接构件和间接构件。文献[28]根据构件失效后对结构的影响划分桥梁结构中构件重要等级，其中构件失效对结构的影响分别为结构整体失效、结构部分失效以及构件自身损伤三种。文献[29]根据承重构件重要性、其失效后对结构承重功能的不同影响及可能引起的破坏程度，将构件分为三个重要性级别。

基于结构承力原理和工程经验的重要性分类能够反映一般规律，但在具体应用中缺乏定量计算，且分类结果往往取决于评价人的专业水平。因此，对构件重要性等级进行定量划分是非常必要的。目前，针对构件重要性等级定量划分的研究还较少，文献[30]中通过环比评分法将得到的构件权重系数分为四个等级，分别为关键构件、重要构件、一般构件以及非重要构件。刘晓^[31]通过对所有构件重要性系数进行排序，并且计算重要性系数的累积值，按照ABC分类方法（即帕累托规则）将钢结构构件的重要性等级分为A、B、C三个等级。罗立胜^[1]采用帕累托规则将构件重要性等级分为重要构件和一般构件两个等级。帕累托规则是一种统计分类方法，其认为在任何特定群体中，重要的因子通常只占20%左右，而不重要的因子则占80%左右。

现行的既有结构可靠性鉴定的标准和规程中，仅有《钢结构检测与鉴定技术规程》(DG/T J08—2011—2007)^[2]、《工业建筑可靠性鉴定标准》(GB 50144—2008)^[3]及《高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准》(GB 51008—2016)^[4]将结构构件按照重要性分为主要构件和一般构件，分别评定其安全性等级，故其鉴定层级逻辑关系更具合理性。然而，上述规范中仅有《高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准》^[4]中按照定性的方法给出了主要构件和一般构件的分类方法，其余两本规范均未给出构件重要性分类方法。

5 总结与展望

通过对既有结构构件重要性研究现有成果的综合分析，可得到以下结论：

- (1) 既有结构构件重要性评价与分类方法应从构件重要性评价和分类方法两个方面同时进行研究。
- (2) 构件重要性评价中外部荷载因素对评价结果有影响，考虑荷载作用的评价方法不仅可以反映结

构自身拓扑关系的影响,也可以反映荷载模式的影响。

(3) 在既有结构构件重要性研究中,应针对不同结构体系、不同研究目标选择合适的指标体系。

(4) 构件重要性分类方法目前研究结果较少,且定量分析方法仅采用了简单的统计规律算法,该方向研究尚处于起步阶段。

(5) 目前研究文献中均未考虑构件自身特性(如截面形式、刚度分布)对重要性评价的影响,这是另一个需要研究的课题。

参考文献

- [1] 罗立胜. 既有钢结构损伤评估与安全性评定方法研究[D]. 上海: 同济大学, 2014.
- [2] DG/T J08—2011—2007 钢结构检测与鉴定技术规程[S].
- [3] GB 50144—2008 工业建筑可靠性鉴定标准[S].
- [4] GB 51008—2016 高耸与复杂钢结构检测与鉴定标准[S].
- [5] 罗立胜, 罗永峰. 既有网格结构构件重要性实用判定方法[J]. 结构工程师, 2017, 33(2): 109-114.
- [6] 赵宪忠, 闫伸, 陈以一. 大跨度空间结构连续性倒塌研究方法现状[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(4): 1-14.
- [7] 叶列平, 林旭川, 曲哲等. 基于广义结构刚度的构件重要性评价方法[J]. 建筑科学与工程学报, 2010, 27(1): 1-6.
- [8] Agarwal J, Blockley D, Woodman N. Vulnerability of 3-dimensional trusses[J]. Structural Safety, 2001, 23(3): 203-220.
- [9] Agarwal J, Blockley D, Woodman N. Vulnerability of structural systems[J]. Structural Safety, 2003, 25(3): 263-286.
- [10] 柳承茂, 刘西拉. 基于刚度的构件重要性评估及其与冗余度的关系[J]. 上海交通大学学报, 2005, 39(5): 746-750.
- [11] 胡晓斌. 新型多面体空间刚架结构抗连续倒塌性能研究[D]. 北京: 清华大学, 2007.
- [12] Nafday A M. System Safety Performance Metrics for Skeletal Structures[J]. Journal of Structural Engineering, 2008, 134(3): 499-504.
- [13] 柳承茂, 刘西拉. 结构安全性综合评估方法的研究[J]. 四川建筑科学研究, 2004, 30(4): 46-48.
- [14] 顾祥林, 陈少杰, 张伟平. 既有建筑结构体系可靠性评估实用方法[J]. 结构工程师, 2007, 23(4): 13-17.
- [15] 郑华彬. 基于目标使用期和整体可靠性的既有钢筋土结构鉴定与加固研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [16] Charaiben E S, Frangopol D M, Onoufriout. Reliability-based Importance Assessment of Structural Members with Applications to Complex Structures [J]. Computers and Structures, 2002, 80(12): 1113-1131.
- [17] 荣海澄, 马建勋. 结构可靠性评判中构件权系数的计算研究[J]. 西安交通大学学报, 2001, 35(12): 1300-1304.
- [18] 江晓峰. 大跨桁梁结构体系的连续性倒塌机理与抗倒塌设计研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [19] 胡晓斌, 钱稼茹. 结构连续倒塌分析改变路径法研究[J]. 四川建筑科学研究, 2008, 34(4): 8-13.
- [20] 高扬, 刘西拉. 结构鲁棒性评价中的构件重要性系数[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2575-2584.
- [21] 刘晓, 罗永峰, 王朝波. 既有大型空间钢结构构件权重计算方法研究[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(1): 125-129.
- [22] 张雷明, 刘西拉. 框架结构能量流网络及其初步应用[J]. 土木工程学报, 2007, 40(3): 45-49.
- [23] 李宁, 杨博, 姜绍飞. 基于构件重要性系数的结构易损性分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2010, 29(1): 83-86.
- [24] 詹海雷, 肖南. 杆系结构关键单元的整体与局部判定方法[J]. 空间结构, 2014, 20(1): 58-63.
- [25] Xiao N, Zhan H L, Chen H P. Robustness Analysis and Key Element Determination of Framed Structures[C]. International Conference on Sustainable Development of Critical Infrastructure, 2014: 280-288.
- [26] 罗仲伟. 桁架桥结构体系可靠度的计算及构件重要性的识别[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [27] 徐茂波, 李惠明, 刘西拉. 建筑结构体系可靠性评价的一个新方法[J]. 建筑结构学报, 1997, 18(6): 41-45.
- [28] 秦帆. 桥梁构件评级系统研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [29] 王东晶. 既有结构体系安全性的综合评定方法[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- [30] 赵冉, 魏德敏, 孙文波. 深圳宝安体育场屋盖结构的构件重要程度与安全防护研究[C]. 空间结构学术会议, 2010.
- [31] 刘晓. 既有大型刚性空间钢结构整体安全性评定研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

某高层钢结构横风向风振加速度在不同软件中的对比分析

刘伟 吕艳 孙雪萍

(浙江东南网架股份有限公司, 杭州 311209)

摘要 高层钢结构风振舒适度控制是结构设计的一项重要内容, 舒适度主要判断标准是结构的加速度响应。本文通过对工程实例 PKPM、YJK 进行建模分析计算、PMSAP 有限元核算分析、风振加速度手算复核, 对设计中出现的横风向风振加速度不满足要求的情况进行分析, 并给出一设计建议。

关键词 高层建筑; 钢结构; 风振舒适度; 横风向风振加速度; 软件

1 引言

在装配式高层钢结构建筑的设计中, 由于结构偏柔, 风荷载成为高层建筑安全性、舒适性和经济性的主要影响因素, 虽然目前还未出现因风荷载作用导致建筑物破坏的情况, 但因风振导致人不舒适的情况时有发生, 特别是在沿海地区的高层、超高层建筑。因此对风振舒适度的控制应成为装配式高层钢结构设计的重要内容。

新规范对舒适度的控制更为严格, 《装配式钢结构建筑技术标准》第 5.2.9 条规定: 高度不小于 80m 的装配式钢结构住宅以及高度不小于 150m 的其他装配式钢结构建筑应进行风振舒适度验算。在 10 年一遇的风荷载标准值作用下, 结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度计算值对于住宅、公寓不应超过 0.20m/s^2 , 对于办公、旅馆不应超过 0.28m/s^2 。本文以某高层建筑为研究背景, 使用 PKPM、YJK 建模计算、有限元软件复核算、人工手算, 对设计中出现的横风向风振加速度不满足要求的情况进行分析, 并给出设计建议。

2 工程概况

本工程位于天津某新区, 建筑抗震设防分类为乙类建筑, 抗震设防烈度为 8 度, 设计基本地震加速度为 $0.2g$, 抗震设计分组为第二组, 结构设计使用年限为 50 年, 结构安全等级为二级, 场地类别为 IV 类, 风荷载为 0.5kN/m^2 , 填充墙采用加气混凝土砌块墙。

在结构体系的选择时着重考虑下列几个因素: (1) 保证建筑使用功能; (2) 尽量减少用钢量以降低造价; (3) 尽可能地缩短施工工期, 减少施工过程中的支撑、支模及钢筋混凝土的绑扎等。

地上部分采用装配式钢结构, 地下部分采用现浇钢筋混凝土结构。结构长度 145.6m, 结构宽度 33m, 1 层层高为 6m, 2~5 层层高为 4.8m, 标准层层高为 4m, 地下 1 层, 地上 19 层, 楼高 83.7m, 塔楼采用矩形钢管混凝土框架—钢支撑体系, 抗震等级为一级, 在结构的两侧、中部以及楼梯处对称布置了 12 道抗侧刚度较大的箱形钢支撑。

矩形钢管截面为 $1000\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 50\text{mm}$ 、 $1000\text{mm} \times 1400\text{mm} \times 50\text{mm}$ 、 $1000\text{mm} \times 850\text{mm} \times 45\text{mm}$ 、 $1100\text{mm} \times 1400\text{mm} \times 55\text{mm}$ 、 $800\text{mm} \times 800\text{mm} \times 36\text{mm}$ 、 $1000\text{mm} \times 900\text{mm} \times 40\text{mm}$ 、 $900\text{mm} \times 800\text{mm} \times 42\text{mm}$, 内灌 C50~C60 强度等级混凝土, 采用 $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 40\text{mm}$ 的单斜杆箱形支撑,

钢梁与钢柱采用刚接，标准层外框架梁采用 H850×350×18×32，混凝土楼板采用钢筋桁架楼承板。

选材方面：框架柱、梁材质选用 Q345B，支撑材质为 Q235B。钢筋桁架楼承板钢筋及其楼板附加钢筋采用 HRB400，采用 10.9S 级高强度螺栓，锚栓采用 Q235 钢。

计算软件采用中国建筑科学研究院 PKPMV3.2 版，并用 YJK1.8.3、PMSAPV4.1.0 复核算算（图 1）。

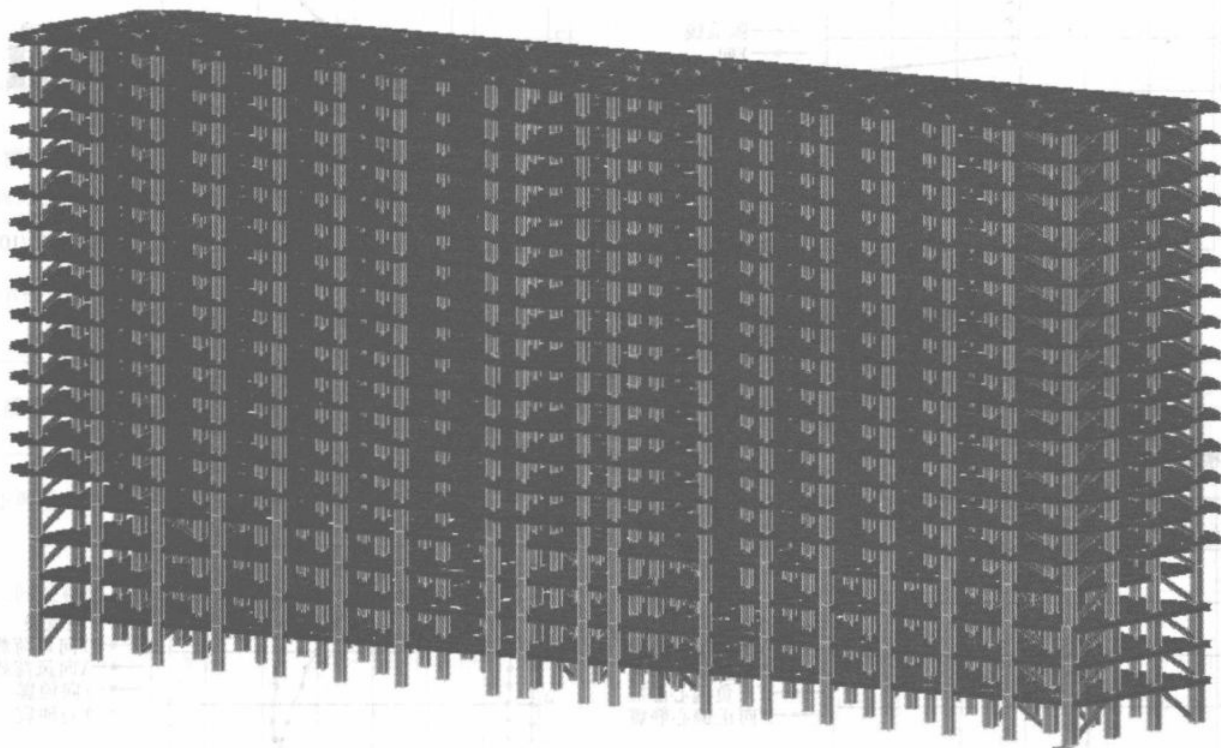


图 1 结构体系示意图

3 SATWE 结构主要分析结果

采用 PKPMV3.2 结构体系进行建模计算分析，总体指标简图汇总如图 2~图 6 所示。

(1) 主要指标简图

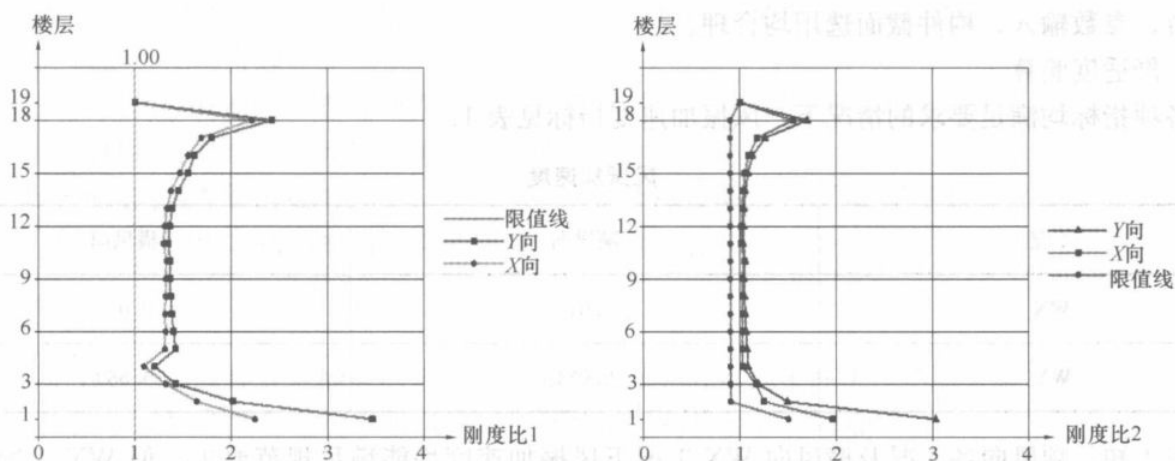


图 2 多方向刚度比简图

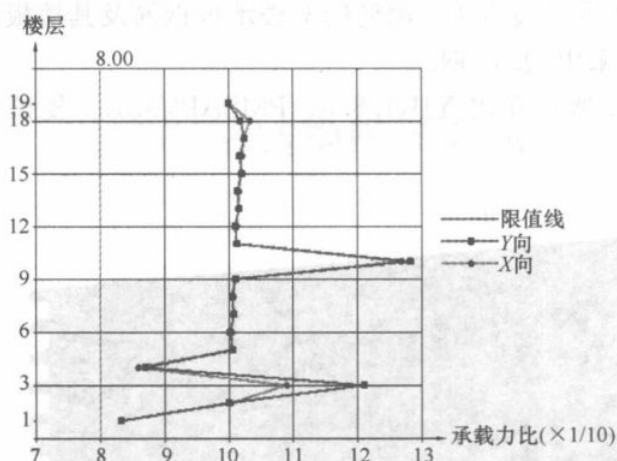


图3 多方向受剪承载力比简图

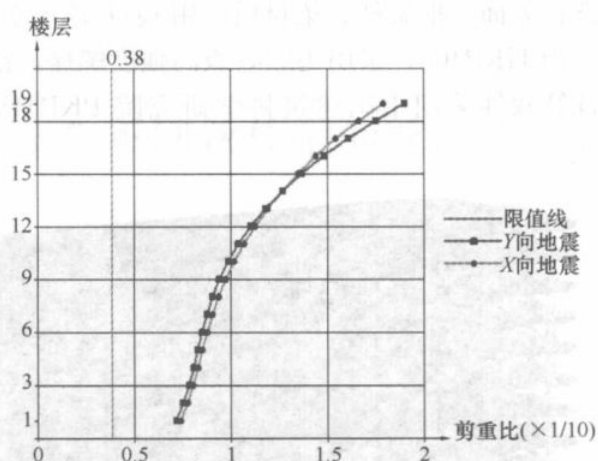


图4 地震各工况剪重比简图

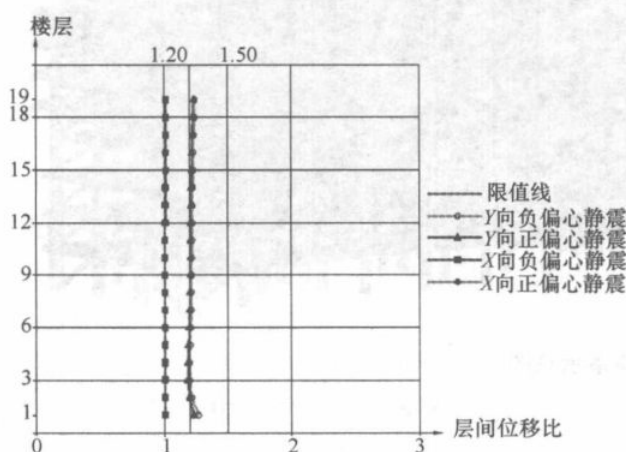


图5 层间位移比简图

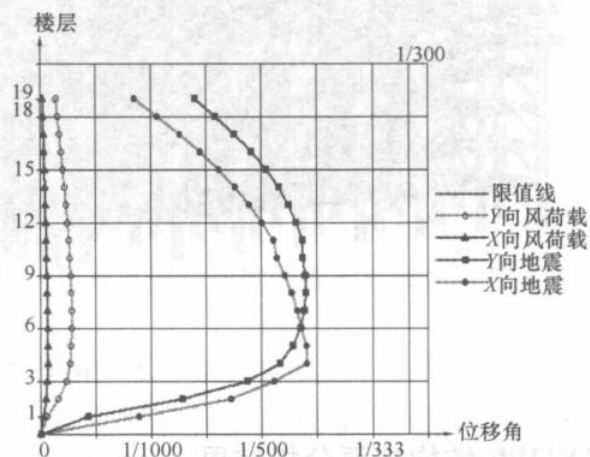


图6 最大层间位移角简图

由以上主要指标简图可知：结构未出现薄弱层、软弱层，平面、竖向较规则，结构整体刚度适中，结构布置、参数输入、构件截面选用均合理。

(2) 舒适度验算

在各项指标均满足要求的情况下，风振加速度指标见表1。

风振加速度

表1

工况	风振加速度	
	顺风向	横风向
WX	0.010	0.029
WY	0.034	0.589

由表1知，顺风向各工况及横风向WX工况下风振加速度均能满足规范要求，但WY工况下横风向风振加速度为 $0.589 > 0.280$ ，不满足规范要求。

4 PMSAP、YJK、SATWE 软件对比分析

针对风振加速度不满足的情况，采用PMSAP、YJK对该模型进行复核，计算结果汇总见表2。