



面向未来的土木工程

—— 第三届全国高校土木工程专业大学生论坛

李国强 熊海贝 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

面向未来的土木工程

——第三届全国高校土木工程专业大学生论坛

李国强 熊海贝 主编



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

面向未来的土木工程:第三届全国高校土木工程专业
业大学生论坛/李国强,熊海贝主编.--上海:同济
大学出版社,2015.4

ISBN 978-7-5608-5721-3

I. ①面… II. ①李… ②熊… III. ① 土木工程—文
集 IV. TU-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 001073 号

面向未来的土木工程——第三届全国高校土木工程专业大学生论坛

李国强 熊海贝 主编

责任编辑 高晓辉 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 26.75

字 数 667 000

版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5721-3

定 价 98.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前言

大学生的创新精神和实践能力的提高是国内教育近年来密切关注的问题。围绕此热点话题的各类比赛、论坛及会议层出不穷,然其规模和层次尚需提高。在此之际,一项全国性的着眼于提高大学生创新实践能力的论坛——全国高校土木工程专业大学生论坛应运而生。她由住房和城乡建设部全国高等学校土木工程学科专业指导委员会主办,旨在提高大学生创新精神和实践能力,为大学生创建一个轻松、愉快、青春洋溢的交流平台,展示大学生的新见解、新措施、新方法以及所取得的成绩。论坛通过论文交流、成果展示和兴趣活动等方式,激发学生对所学专业的认识、思考和对工程问题、环境问题和社会问题以及土木工程发展方向的关注,培养具有实践能力、组织与管理能力,具有创新精神、面向未来的土木工程专业高级人才。全国高校土木工程专业大学生论坛每两年举办一次,自2010年首届论坛在同济大学成功举办,2012年第二届论坛在哈尔滨工业大学成功举办,第三届论坛于2014年8月23日至25日在同济大学举行,作为同济大学土木工程系科百年庆典的主要学生活动之一。

随着全球经济的发展,材料与设备日新月异,防灾减灾能力可靠性提高,服务领域多样化的特点,信息技术、生态技术、节能技术等与土木工程的有机结合,土木工程正成为众多新技术的复合载体。未来的土木工程必将呈现出结构大型化、复杂化、多样化,施工技术精细化的特点。同时,可持续发展的理念已经成为全世界经济社会发展的共识,绿色环保、节能减排等新形势为未来土木工程的发展提出了更高的要求。把握土木工程发展趋势,抓住历史机遇,与时俱进,提升自身创造力,使我国土木工程科技跻身世界领先行列,是土木工程专业大学生的历史使命和责任,更是未来土木工程师的历史使命和责任。本届论坛以“面向未来的土木工程”为主题,内容主要包括:以展现大学生创新思维为主的创新实践成果展示,以提升同学们合作精神和动手能力为主的趣味结构竞赛,以展现土木工程本科生学术研究素养为主的论文汇报等环节。

本届论坛有来自同济大学、上海交通大学、清华大学、哈尔滨工业大学、大连理工大学、重庆大学、浙江大学、中国矿业大学、河海大学、东南大学等18所高校的90余名师生参加,共有15个土木工程专业本科生优秀创新实践成果一等奖候选项目参加答辩,56篇论文参加论文汇报,这些创新项目及优秀论文被录用在《面向未来的土木工程——第三届全国高校土木工程专业大学生论坛》一书中。

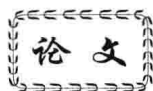
借此机会,向所有参加第三届全国高校土木工程专业大学生论坛的同学表示衷心的祝贺,向所有为此次论坛付出辛勤劳动的专家、老师们表示由衷的感谢!

在第三届全国高校土木工程专业大学生论坛的组织举办和本论文集的收集整理过程中,同济大学土木工程学院陈俊岭、沈水明、武贵老师,英国土木工程师学会(ICE)同济学生分会的吕若石、董翰林、符徐霞、徐永嘉、蒋胜光、林峰、张宇、严琛、张文津、谈识、曹政等同学等都花费了许多时间和精力,为此次论坛的成功举办和本书的出版提供了很大的支持,藉此表示感谢!

编者

2014年10月

目 录



• 可持续发展 •

- 现代土木工程局势及未来发展方向..... 徐婧琦 吕 轩(2)
- 装配式标准化钢结构节能建筑研究..... 王小雪 王 刚 王佳帅等(6)
- 节能低碳的免蒸压 PHC 管桩混凝土研究 吴小环 杨医博 战 营等(12)
- 浅析绿色电梯的可持续发展 关子香 谢 丽(18)
- 利用 TMD-TLD 联合减震控制体系的新型高层建筑雨水综合利用装置
..... 周 洲 王 勇 冯治斌等(23)
- 新型节能温差发电墙体设计 余丽玲 冯 欢 赵 旭等(29)
- 面向未来的土木工程——土木工程中的计算机技术的应用与可持续发展 ... 道吉草(35)
- 城市大型工程建设对大气颗粒物的影响及减排措施研究
..... 周 平 谢子洋 林荔敏等(40)

• 土木工程材料 •

- 高强次轻混凝土的试验研究 黄真锋 朱怡帆 孙志雄等(50)
- 面向未来的混凝土防冻措施 谭凯中 刘嫫春(57)
- 空心秸秆刨花板砖的力学性能研究 蒋丛笑 陈一鸣 雷清凤等(62)
- 碱渣粉磨制度对氯离子溶出特性影响研究 吴德立 郭文瑛 王晓晨等(68)
- 浅谈西北地区瓷砖剥落原因及利用自愈合材料的改进方法
..... 彭 翀 张晓非 赵 海等(73)
- 预制式可卷曲超薄路面功能层设计 张汉青 刘育麟 周游佳等(77)
- 磷酸镁水泥性能研究与应用进展 李 琛(83)
- 纤维改性橡胶混凝土的力学性能试验研究 刘 开 康俊涛 别思汗等(88)
- 混杂纤维改性混凝土力学性能试验研究 张亚州 张家科 何 林等(95)
- 热害环境玄武岩纤维喷射混凝土性能研究..... 周 平 黄海斌 邓志鑫等(101)
- 新型路基材料应用分析与探究..... 周 平 张家瑞 邓志鑫(107)
- 强化再生骨料混凝土的应用研究..... 肖 德 戴伟杰 陶海灵(112)
- 高温后粉煤灰混凝土抗碳化性能的研究..... 王 伟 文天禹 王 然等(118)

• 结构与构件 •

- 自复位屈曲约束支撑框架的抗震性能分析..... 黄家豪 李凌轩 周 臻等(123)
- 可恢复结构体系研究述评..... 陈宇轩 吕大刚 贾明明(131)
- 几何初始缺陷对冷却塔力学性能影响的研究..... 王正超 刘晓伟 吕大刚等(139)
- 双跨连续梁的预应力筋线型优化布置..... 曹纪兴 陈辅一 关子香(145)

填充墙刚度对框架抗震性能的影响·····	郑文智 杨 洋(150)
下承式系杆拱桥的稳定性分析·····	陈辅一(155)
框架结构在冲击荷载作用下的动力响应分析·····	曾晓虹 谢 丽(159)
悬吊楼板在巨型框架结构中的减震效应·····	张文津 胡坚城 苏奇华等(163)
钢-混凝土组合箱梁等效弯矩放大系数研究 ·····	罗春木 潘 锐 郑 啸等(171)
钢-混凝土组合箱梁临界弯矩实用计算方法 ·····	刘环辉 杨 成 常洪昌等(177)
• 数值模拟 •	
基于 OpenSees 的新型摇摆柱有限元分析 ·····	张俊驰 卞 宇 张蓝方等(183)
联体高层建筑风场的 CFD 模拟分析 ·····	金沛剑 毛佳楠(190)
风荷载作用下超大型冷却塔的非线性响应分析·····	王广庆 刘晓伟 吕大刚等(195)
基于 CFD 的混凝土轻舟船型阻力性能优化 ·····	葛 斌 胡坚城 黄蕴钰等(201)
模拟爆炸下悬索桥动态响应的研究·····	王静妤 张青天(207)
下击暴流作用下低矮建筑风荷载特性数值研究·····	王 鑫 吉柏锋 谷 倩(212)
用均匀质迭代法模拟混凝土的力学性能·····	向需文 柯 杨 李 飞(218)
钢-混凝土组合结构在程序下的参数分析 ·····	任 福 罗宇骁 周 平等(225)
三维技术在仿生空间结构设计中的应用·····	韩鹏翔 葛荟斌(237)
• 防灾减灾 •	
关于兴隆寺挡土墙破坏的工程原因分析及加固可行性方案的研究·····	方登甲(245)
利用 TLD、TMD 与颗粒阻尼器联合减震控制体系的新农村地区低层框架结构的 动力分析·····	王 勇 周 洲 冯治斌等(249)
震损底层框架房屋的最优替代传力路径研究·····	李静尧 周 龙 温利亚等(255)
在防涝型屋顶绿化工程中火山石蓄水层的建造与应用探究 ·····	····· 韩 冰 初 涛 王旭峰(260)
梁桥限位挡块震害分析及优化设计·····	韩 铮 崔 军 刘 源等(266)
多层空腔楼盖结构的滚动调谐质量减震体系研究·····	唐佳轶 程鸿飞 陈海涛等(272)
近场地震作用下结构层剪切模型的适用性分析·····	程 高 马 超 匡文字等(281)
• 其他 •	
基于大型游戏引擎的道路地形图仿真及其应用·····	姜 锋 夏 季 张晨辉等(286)
自然循环式太阳能热水雪融系统动力压头与水流阻力分析 ·····	····· 蔡 婕 许豪伦 孟 南(293)
室内污浊气体屏蔽系统·····	吕 轩(297)
BIM 在未来土木工程的应用 ·····	夏方旭(301)
结构人工智能实验分析环境——结构分析的新手段·····	徐冰洋 潘 登(306)
基于温差发电原理的沥青路面降温方案设计·····	张晓非 彭 翀 赵 海等(312)
地下管线-土相互作用离心振动台试验相似关系设计 ·····	徐海岩 王志佳(317)
基于移动计算的铁路道床填料级配特征识别的研究 ·····	····· 王云飞 焦听雷 黄 左等(321)
煤矿地面工业环境模拟设计与侵蚀机理研究·····	范 超 李友洪 吴元周等(327)

创新成果

以火山石为基材制成的屋顶绿化蓄水层·····	韩 冰 初 涛 徐永嘉(334)
悬吊楼板在巨型框架结构中的减震效应·····	张文津 苏奇华 崔中鼎(340)
吹填土地基电渗处理电极转换时间规律研究·····	徐海东 励彦德 李 翔等(345)
风电塔减震阻尼器的研究·····	毛日丰 向志华(352)
利用透明土制作土力学教学演示装置·····	谢凌君 马戎荣 张昕怡等(358)
新型装配式自保温秸秆砖的性能研究及其在建筑结构中的应用推广 ·····	····· 蒋丛笑 雷清凤 郭佳欣等(365)
EMV 法再生混凝土基本性能研究 ·····	贾 晨 陈发鑫 杨金泽等(371)
基于聚羧酸减水剂的免蒸压 PHC 管桩实验研究 ·····	战 营 吴小环 罗 健等(376)
基于振动舒适度研究的人行天桥动力模型与行人激励装置的设计与开发 ·····	····· 管永林 樊 伟 邢英兴等(381)
硫铝酸盐水泥复合调凝剂研究·····	梁新奇 刘佳彬 司徒蒋辉(385)
手持式贴片反射光弹仪 自动采集分析式手持光弹仪 ·····	····· 赵东良 王晓光 耿功伟等(391)
基于虹吸原理的雨水与雪水四季集蓄系统·····	蔡 婕 许豪伦 孟 南(395)
三维扫描技术在结构形态仿生中的应用·····	韩鹏翔 葛荟斌 梁 凯(399)
国产低屈服点钢新型耗能隔震与减震装置性能研究 ·····	····· 丁智霞 桂鹤阳 强翰霖等(405)
采用纵筋局部屈曲约束的钢筋混凝土柱·····	陈博文 侯思宇(413)

• 第 三 届 全 国 高 校 土 木 工 程 专 业 大 学 生 论 坛 •

论 文

现代土木工程局势及未来发展方向

徐婧琦* 吕 轩

(哈尔滨工业大学土木工程学院土木工程系, 哈尔滨 150090)

摘 要 随着科学技术的进步和工程实践的发展, 土木工程已发展成为内涵广泛、门类众多、结构复杂的综合体系。现代土木工程不断地为人类社会创造崭新的物质环境, 成为人类社会现代文明的重要组成部分。然而, 当下的土木工程形势若要面向未来, 需多多考虑未来的各种因素, 如人口过度增长、全球气候变暖、火山地震洪涝灾害频发等。这无疑需要土木人兢兢业业为之钻研, 将更多科技手段引入并推广至土木工程领域, 合理开发利用自然资源、研发新型材料与新型能源、研发抗灾结构等以应对无数纷杂而广泛的未知影响。

关键词 土木工程, 中国梦, 气候变化, 可持续发展, 防灾减灾, 计算机技术, 人口增长

Modern Civil Engineering Situation and the Future Development Direction

Xu Jingqi* Lv Xuan

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150000, China)

Abstract With the progress of science and technology and the development of engineering practice, the connotation of the civil engineering has developed into a broad category, large, complex integrated system. Modern civil engineering constantly create new material environment for human society, human society is an important part of modern civilization. However, the current situation of civil engineering to face the future, many consider the future of various factors, such as excessive population growth, global warming, frequent volcanic earthquake, floods, etc. Certainly need civil people conscientiously study, introduce more technology and promotion to the civil engineering field, reasonable exploitation and utilization of natural resources, research and development of new energy and new materials, research and development, disaster relief structure in response to numerous distracting and extensive unknown effects.

Keywords civil engineering, the Chinese dream, climate change, sustainable development, disaster prevention and mitigation, computer technology, population growth

* 联系作者, Email: 773654401@qq.com

1 土木工程的定义

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养维修等技术活动,也指工程建设的对象(即建造在地上或地下、陆上或水中,直接或间接为人类生活、生产、军事、科研服务的各种工程设施,例如房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水和排水以及防护工程等)。

2 现代土木工程

现代土木工程起始于 20 世纪中叶。发展至今,土木工程在建筑材料、结构理论和建造技术方面都取得了极其巨大的进步。建筑材料方面,高强低合金钢、高强混凝土、高分子材料、钢化玻璃越来越多地出现在建筑上。结构理论方面,利用电子计算机强大的运算和绘图能力,力学分析和计算的结果更加符合结果的实际情况,使得在结构设计上更为可靠。对于建筑技术,已经发展到机—电—计算机的一体化,施工过程中,不论是上天、



图 1 上海金茂大厦

入地还是翻山、下海,都已不是施工的障碍了;而焊接技术的普遍使用,也使得钢结构的发展进入了一个新的阶段。

现代土木工程造就的举世瞩目的建筑有我国台北的国际金融中心、上海金茂大厦(图 1),马来西亚吉隆坡的石油大厦双塔楼,法国的诺曼底斜拉桥等。

现代土木工程的特点是:适应各类工程建设高速发展的要求,人们需要建造大规模、大跨度、高耸、轻型、大型、精密、设备现代化的建筑物。既要求高质量和快速施工,又要求高经济效益。这就向土木工程提出新的课题,并推动土木工程这门学科前进。

3 当前土木工程技术发展趋势

3.1 高新技术在土木工程领域的应用

3.1.1 推广计算机技术在土木工程中的应用

1) 计算机在设计中的运用

计算机的普及,是人类智力解放道路上的重大里程碑,它极大地提高了人类认识世界和改造世界的能力。同时,计算机的系统软件和运用软件也经历了由初级到高级的发展过程,有力地支持了计算机技能的发挥。土木工程的设计,特别是大型、复杂工程的设计,需要大量的计算,运用计算机可以节省大量的人力和时间,提高效率,更重要的是提高了计算精度,做成了以往认为不可能做的事情。技术在工程设计中的优点:

(1) 劳动强度降低,图面清洁;

(2) 设计工作的高效及设计成果的重复利用;

(3) 精度提高;

(4) 资料保管方便。

2) 计算机在材料检测中的运用

在建筑材料质量检测中推广运用计算机技术,将对提高建筑产品的质量、经济和环境效益,起到重要作用。当前,建筑材料质量检测中的计算机运用已经有了比较大的发展,出现了一批用于试验管理和报表打印的计算机软件。

3) 计算机在仿真系统中的运用

许多工程结构是毁于台风、地震、火灾、

洪水等灾害作用。在这种小概率、大荷载作用下的工程结构性能很难一一去做实验去验证,一是参数变化条件不可能全模拟,二是实体试验成本过高,三是破坏实验有危险性,设备难以跟上。而计算机仿真技术可以在计算机上模拟原型大小的土木工程构筑物在灾害荷载作用下从变形到倒塌的全过程,从而揭示结构不安全的环节和因素。用此指导设计可大大提高土木工程的可靠性。

3.1.2 信息化施工

所谓信息化施工,就是指在施工过程中所涉及的各部分各阶段广泛运用计算机信息技术,对工期、人力、材料、机械、资金、进度等信息进行收集、存储、处理和交流,并加以科学地综合利用,为施工管理及时、准确地提供决策依据。信息化施工还可通过网络与地区或国家的工程数据库联系,在遇到新的疑难问题时可及时查询解决。信息化施工可大幅度提高施工效率和保证工程质量,减少或杜绝工程事故,有效控制成本,实现施工管理现代化。

3.1.3 智能化建筑

智能化建筑是为了适应现代信息社会对建筑物的功能、环境和高效率管理的要求,特别是对建筑物应具备信息通信、办公自动化、建筑设备自动控制和管理等一系列功能的要求而在传统的基础上发展起来的。

计算机技术的大力发展必然会加速建筑业的大力发展,我们的计算机人才可以编制出适合专门建筑结构的软件,比如2008年奥运会的鸟巢体育馆,纵观世界也没有相应的设计、模拟实际结构类型,但是我们的设计师完成了设计,并且已经建造成功,于2008年投入使用。计算机技术为土木工程的发展提供了高速发展的工具,同时土木工程的特殊性又对计算机技术提出了新的要求。

自第三次产业革命以来,社会科技有了极大的提升,计算机技术以及电子技术的产生与发展促进了社会产业结构发生很大转变。信息产业迅速成为主导社会产业发展的主要力量。对于建筑业来讲,充分利用信息技术,大力发展信息科技,同样也是提高建筑

水平的主要途径。且随着人们生活水平的提高和社会生产力的发展,人们对建筑的功能作用提出了更多的要求。建筑市场上对建筑的舒适性、便捷性、安全性要求越来越高。为了适应时代发展潮流,满足建筑市场需求,研发和推动建筑智能化发展都是非常必要的。目前,世界各国都已经开展了智能建筑的研发与应用,并且已经取得了一定的成果。实践证明,建筑智能化能够促使建筑更加节能环保,这在能源危机加剧的时代背景下就显得更加有必要。

3.2 土木工程的可持续发展性

土木工程的基本任务是改造自然,建造满足物质和精神生活的人工环境。但土木工程的发展与环境存在着矛盾,这与当前时代主题中国梦有很大差距。以混凝土、钢铁和玻璃幕墙为代表的现代城市建筑正在无节制地扩张,造成了环境破坏和人与自然的协调。因此,建筑师和土木工程师正努力树立可持续发展的建筑观,推行有效利用自然资源(如太阳能、自然通风、节能技术、材料循环利用等)的设计技术,尽量少地使用可耗尽资源,尽量多地采用可更新资源,更大循环地启用合成材料,实现现代建筑的建设以保障生态系统的良性循环为原则,真正使绿色建筑走近人们的生活。可持续发展的绿色建筑在设计上更加追随自然,提倡应用可促进生态系统良性循环,不污染环境,高效、节能、节水的建筑技术和建筑材料。它是节能环保型的,注意对垃圾、污水和油烟的无害化处理或再回收的,充分考虑保护周边环境的。可持续发展最有效手段是减少能源的消耗。同时,在工程建设中应特别重视各项土木工程的使用寿命,使之尽量延长。

3.3 高性能合成材料的开发和利用

传统材料既要改善其性能,又要增加其品种;组合材料要大力加以开发,用两种或两种以上材料组合,利用各自的优越性开发出高性能便于使用的建筑制品。发展用于抗力结构的化学合成材料,提高建筑的强度、刚度和耐久性。

4 打造应对灾害的新型土木工程结构

随着全球气候变暖,部分地区火山、地震及洪涝灾害频发,以及超高层、超大跨桥梁和大跨结构等大型复杂结构的兴建,结构设计呈现更长、更高、更柔的发展趋势。许多情况下风荷载和地震荷载已成为结构设计的控制因素。因此大型复杂结构体系抗风抗震的设计理论及其相关问题将被进一步关注。同时,以柔克刚的抗震思想在结构振动控制技术中将进一步得到体现,现代振动控制将向自适应控制、智能控制、吸震减震技术研究方向发展;土木结构健康监测、灾害结构响应控制等基础性的研究将会进一步加强。

5 人口增长等人文因素影响土木工程新形势

目前,世界人口总数超过 70 亿,人口增长率约为 1.1%。预计 2040 年前,世界人口将达到 80 亿,而 2100 年甚至达到 100 亿。如此庞大的人口数量给城市空间造成巨大压力。开发“城市地下空间”是一个重要途径,它可以有效地解决用地紧张,生存空间拥挤,交通堵塞,基础设施薄弱,生态失衡,环境恶化等一系列的“城市病”。现在人类已经认识到“地下空间,宇宙,海洋”三者都是颇具开阔前景的人类新的生活空间领域。而开发地下空间资源要比开发宇宙、海洋空间容易得多,并且更易同城市原有地下空间协调发展。

6 结论与展望

总之,我国在土木建筑方面虽然取得了一些成绩,我们还应看到,我国的土木工程还有

很多问题需要解决。譬如建立土木工程项目施工完善有效的成本管理体制。建立完善而有效的成本管理也能进一步增强企业的竞争实力。在土木工程项目的施工过程中,严格成本管理能减少施工中的浪费现象,进一步减少建筑垃圾,达到经济效益和环境效益的双赢。在成本管理过程中应在保证工程质量的过程中尽量节约,站在工程项目全局的角度考虑成本预算,争取以最小的资源消耗建设最佳的工程项目。另外,国内的不少高层建筑(包括上海的环球金融中心),其工程设计几乎全部由国外承担,钢材几乎全部从国外进口,工程总承包也大多由国外承担,只有钢结构制作与安装等工作由国内单位承担。获得完全自主知识产权,实现工程建筑的国产化,赶超国际水平,需要进一步努力。

土木工程为国民经济的发展和人民生活的改善提供了重要的物质技术基础,对众多产业的振兴发挥了促进作用,工程建设是形成固定资产的基本生产过程,因此,建筑业和房地产成为许多国家和地区的经济支柱之一。当今土木工程的发展是人类智慧的成果,土木工程是为了人类存在而存在。坚持可持续发展道路,努力创新,土木工程定会走向新的高峰。

参考文献

- [1] 叶志明. 土木工程概论[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社.
- [2] 祝彩霞,刘慧. 浅析土木工程的发展现状与发展趋势[J]. 中国高新技术企业, 2007, (15):164.
- [3] 樊江. 建筑结构 CAD[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2002.

装配式标准化钢结构节能建筑研究

王小雪^{1,*} 王 刚¹ 王佳帅¹ 郭 翔¹ 秦 乐¹ 王静峰^{1,2}

(1. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 合肥 230009;

2. 安徽土木工程结构与材料省级重点实验室, 合肥 230009)

摘 要 通过分析钢结构在市场经济中的优势地位、强大的回收率和可持续性,充分展现了钢结构在未来土木行业中的领导地位,更提出了钢结构在装配式标准化施工与节能减排方面的优越性。进而对比国内外钢结构的标准化进程,通过国际上先进国家钢结构标准化的规范制订进展,与我国缓慢、迟钝的研究及探讨比较,指出我国钢结构的装配式标准化研究严重落后的事实。最后指出钢结构的市場性价值,以及节能型钢结构多层办公楼实现装配式标准化施工对未来土木工程的发展的重要意义。

关键词 结构工程,钢结构,装配式,标准化,节能

Studies on Prefabricated and Standardized Steel Structure Energy-saving Buildings

Wang Xiaoxue^{1,*} Wang Gang¹ Wang Jiashuai¹ Guo Xiang¹ Qin Le¹ Wang Jingfeng^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Anhui Civil Engineering Structures and Materials Key Laboratory, Hefei 230009, China)

Abstract By analyzing the strong recovery and sustainability of the steel structure, and its dominant position in the market economy, the paper fully showed the leading position of the steel structure in the civil industry in the future, as well as the superiority of the steel structure in the prefabricated standardized construction, energy conservation and emissions reduction. Then, the domestic and foreign standardization process of steel structure at home and abroad was compared. In comparison with standardized specification for steel structure development in the international advanced countries, research and discussion in our country are slow, which points out that the prefabricated standardized research in steel structure in China is lagging. Finally, the paper pointed out that the marketability value and the development of prefabricated standard and energy-saving steel structure used in multilayer office buildings in the future.

Keywords structure engineering, steel structure, prefabrication, standardization, energy-saving

基金项目:校级大学生创新创业训练计划项目(2014CXCY307),教育部新世纪优秀人才计划项目(NCET-12-0838)

* 联系作者, Email: 274277185@qq.com

1 引言

随着我国钢产量的迅猛增加,钢结构建筑正日趋成熟。设计师和建设者对于钢的强度、耐久性和功能有了越来越深的认识。与此同时,基础造价低、抗震性能好、大空间分隔灵活、施工周期短以及钢材可回收等优势使得钢结构建筑越来越受到广大开发商、用户和建筑师的青睐。

通过标准化,可以有效降低成本,加快工程进度,提高经济效益。所以就钢结构办公楼而言,其标准化工作是设计、制作、安装中的一项重要基础性工作,也为设计、制作、安装建立了必要的程序和秩序。与此同时,标准化使钢结构办公楼在实现模式化、装配化,走向产业化的道路上,其产业链能够高效、准确、连续不断运行,从而获得了最佳企业效益和社会效益。

钢结构发展至今,国内外装配式标准化钢结构的研究从未间断。自钢结构标准化在美国提出之后,发达国家相继提出了本国的钢结构标准化规范并确定了装配式钢结构的标准构件。相较于国际上的迅猛发展,我国的钢结构建设仍处于自我摸索阶段,并且常常需要借鉴国外的优良案例。因此,对钢结构装配式标准化有必要做深入的研究,来规范我国的钢结构建筑。

本文通过分析钢结构在市场经济中的优势地位、回收率和可持续性,提出了钢结构在装配式标准化施工与节能减排方面的优越性。通过对比国内外钢结构的标准化进程,指出我国钢结构的装配式标准化研究严重落后的现状。最后,指出钢结构市场价值,以及节能型钢结构多层办公楼实现装配式标准化施工对未来土木工程的发展的重要意义。

2 钢结构的优势与特征

2.1 钢结构的经济优势

在商业建筑领域中,整体建筑经济都是在关于钢结构使用基本原理的基础上实现的,其中的根本原因是,在过去的 20 年,钢材

市场的占有率一直维持在 65%~70%。

最近的成本比较研究表明,建筑物上部结构一般只占总造价的 10%~15%,而结构的选择对基础、设施和包层的成本的影响力往往更显著。例如,天花板到地面区域减少 100mm 可以节省 2.5% 包覆成本(相当于节省整体建筑成本的 0.5%)。

因此,最佳实践建筑设计需要综合建筑、结构、服务、物流及构造出口等因素。值得称赞肯定的是,这种综合的设计使大跨度钢系统得以实现,并且考虑了商业建筑设计中对设施集成的控制。

最近的一个多层商业大厦的独立成本比较研究的结果可以从表 1 中看出。

表 1 钢结构办公楼的经济效益总结

因素	改善	经济效益
施工速度快	相对于网桩密集型建筑,施工时间减少 20%~30%,而这取决于项目的规模	经济效益取决于业务操作。在整体建筑成本上,利息费用节省了 1%,比早期预测的租金或使用空间减少了 2%
网桩管理成本	因为施工工期较短,且施工过程中的成套类型,导致现场管理成本降低	现场管理成本可减少 20%~30%,这可以在整体建筑成本方面节省 3%~4%
设施集成	设施与构造带的结合导致地板到地板区减少了 100~300mm,从而节省了包层成本	在地板至地面高度上减少 5%,可能会导致地板上额外的 20mm,并有类似的包层成本减少,这相当于减少约 1% 的总建筑成本
基础设施	钢结构比等效的混凝土结构的重量轻一半,这相当于整体基础负荷减少 30%	基础成本取决于围护桩和地下土质等因素,其占到总建筑成本的 5%~15%,减少基础负荷 30% 可使总建筑在成本方面上节省 2%~3%
无柱空间	大跨度钢结构建筑提供了更灵活的使用空间,这取决于建筑物的功能和它的未来用途	在空间中,一个大柱导致的空间损失约 1m ² ,约占总建筑面积的 1%,并可能带来租金收入

2.2 钢材的节能环保优势

钢可以说是最可持续的结构材料。无论何时使用钢结构,其可持续性都能得到实现,

这包括低浪费、灵活性、工厂制作、速度、资源效率高、适应性强、可拆散性、持久的吸引力、安全、可重用性和可回收性。这些固有特点带来了许多社会、环境和经济效益,能满足可持续发展的“三重底线”。

钢是一种快速、安全的建筑材料。减少现场时间意味着更低的成本、更快的回报并且不破坏当地环境。钢结构可以在工厂生产,然后运至现场安装,使它的安全问题可被预测从而没有突发事件。因为在预制过程中,钢材很容易回收得到钢铁供应链,所以没有场地浪费和其他任何浪费。它有比强度大、资源效率高等特点,这就意味着更低的成本以及更少的排放。

人们喜欢钢铁的建筑环境,这是因为其良好的透光性、开放性、通风等因素决定了其强大的适应性。随着使用期限的增加,钢结构变得愈加成熟,而不是恶化和腐烂。钢明确的长跨度意味着内部可以轻松改变。钢结构的可调整性和重新配置能力可以带给老建筑一个新的生命。而这充分体现了建筑物的寿命是其整体可持续发展的基础。

钢结构本质上是可全部或部分重用的。整个建筑可以拆除和重建或单个元素可以被重用。越来越多的建筑在设计时考虑到了这一点,并且重要是可被回收的钢结构的选择没有任何特殊的规定,任何无用的钢都将会被回收,进一步使用在建筑或其他地方。

大多数建筑材料可以回收,其一次回收后使用较少。而纯钢则是可以没有资本或性能损失的无限期回收,这被称为综合循环。这意味着钢铁总是有一个固定恒值,这就保证了可以用几乎无垃圾填埋的方法来进行处理。这说明可综合循环的钢是一种自我维持的系统,早在现代环境问题出现前,这项发现的重要性就被证实。这也代表着钢结构的可持续性被认可,并且能力极高。

广大开发商、用户和建筑师青睐钢材的高强度、强耐久性等。然而,越来越多的建筑师认识钢的对环境的极为重要的特殊贡献值、高回收含量和高复垦率。

多年来,强大的经济动力推动钢铁的回收,尤其是当今的环境问题使回收更加重要。回收节省金钱、节约能源和资源,并且可以减少固体、液体、气体废物。回收也有助于传递原料提取的能量影响和推广钢铁制造过程中的新材料。

材料回收的效率可以以回收内容的百分比或其复垦率来衡量。回收物是衡量成品中包含多少可回收的材料。复垦率衡量了回收产品的使用寿命。研究表明,钢材在回收利用方面具有出色的表现。

3 多层钢结构建筑研究现状

多年来,我国的专家们对钢结构在多层建筑的可行性、实用性以及可能遇到的问题做了大量的分析与研究。匡志平等^[1]也相继提出了产业化在土木行业的重要价值。

2003年,王立君和张俊宝^[2]对提高钢结构梁柱焊接节点抗震性能进行研究。提高梁柱焊接节点的抗震性能是钢结构抗震设计的重要内容之一(图1)。为防止梁柱焊接节点在地震中出现焊缝的脆性破坏,设计上应注意减少节点焊缝处的应力集中,改善焊缝的受力状态,设法利用钢材的塑性储备来吸收地震能量,并根据抗震设防要求和地震作用特点选用韧性达标的焊接材料(图2)。制造和安装时还应注意消除节点焊缝处的各种应力集中,包括妥善处置引弧板和垫板。

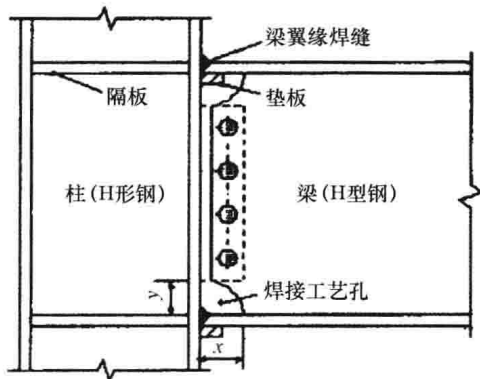


图1 梁柱焊接节点

2006年,黄怡等^[3]对多层轻钢框架结构的抗震性能进行了分析。多层轻钢结构是目

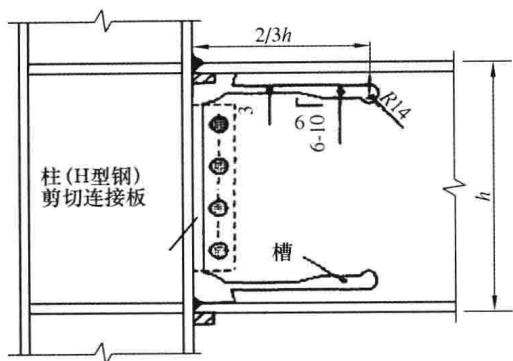


图2 槽型梁柱焊接节点

前国内外应用和发展速度最快的轻型结构形式,轻钢的结构特点主要体现在自重轻、地震作用小、基础简单;建筑表现力强、美观;采用新的设计理念,用钢量低,经济。计算表明,尽管轻钢屋面顶层存在着鞭梢作用,但相对而言,结构底层受地震作用更为严重。

2007年,王元清等^[4]针对某钢结构办公楼工程,根据现行设计规范对其桁架节点进行了全面的复核计算。对强度不满足要求的节点进行了加固设计,并通过有限元软件对节点的加固后强度进行了计算分析。最后总结了钢管结构初期设计以及加固设计过程中需要注意的问题并给出了相关建议。

2009年,亢强^[5]进行了多层钢结构住宅体系的研究,阐述了我国住宅产业化政策对钢结构住宅体系的影响,并结合当前高层钢结构住宅的应用详述了钢结构设计的要点,针对钢结构连接节点施工图的大绘图工作量,提出了一种用填写节点表的方式来结合结构平面施工图进行标准化设计的思路。

2009年,闫百慧和侯静^[6]提出了建筑钢结构的防火处理,指出钢结构有防火性差的缺点,提出了防火涂料法、发泡防火漆法和外包防火层法。

2013年,赵莹和吴学韬^[7]对冷弯薄壁型钢节点静力试验研究及分析,指出了冷弯薄壁型钢结构自重轻、构件截面特性好,工业化程度高,能广泛应用于各类工业和民用建筑的特点。节点作为这种结构形式的重要组成部分,对其结构性能的发挥起到了关键作用。

4 装配式标准化钢结构的优越性

通过标准化,能有效地降低成本,加快工程进度,提高经济效益。这是因为,现如今多层办公楼的需求量极大增加,而钢结构在多层建筑上有着明显的工程优越性和经济效益。所以就钢结构办公楼而言,其标准化工作是在设计、制作、安装中的一项重要基础性工作,使相关工作程序系统化、规范化、简单化,使钢结构办公楼在实现模式化、装配化,走向产业化的道路上,其产业链能够高效、准确、连续不断运行,以获得最佳企业效益和社会效益。

装配式施工具有下列优点:

(1) 施工进度快,工期短,造价低。据统计,按传统建筑施工,每平方米建筑面积约需2.5个工日,而装配式建筑施工仅用1个工日。可节约人力25%~30%,降低造价10%~15%。缩短工期50%。

(2) 交叉工作井然有序,方便快捷。每道工序都和设备安装一样检查精确度,保证质量。

(3) 施工现场噪音小,散装物料大大减少,废物及废水排放也很少,有利于周围环境的保护。

5 国内外装配式标准化钢结构研究比对

然而,在钢结构的设计、施工过程中,会发现由于我国的钢结构产业发展较迟,国内的钢结构标准却远远不能跟上钢结构产业的进步脚步,标准及规范都不完善,与英、美等发达国家的差距很大,造成了钢结构建筑产业的秩序紊乱,建筑质量参差不齐。钢材生产满足不了市场的需求;钢构制作标准构件少,非标构件多,质量难保证,还加大了工程成本。

我国目前虽然在建筑中逐渐兴起采用钢结构的新潮,但民用钢结构建筑由于规范尚不完整,产业化程度较低,使得我国的民用钢

结构建筑极为少见。因此,在装配式标准化多层钢结构办公楼的研究与生产中均存在明显短板。

而发达国家在钢结构产业领域已发展成熟,不管是办公楼的设计方案,还是结构设计都已形成一系列有据可寻的标准化方案,为其装配式建设打下了坚实基础。

目前已颁布装配式标准化钢结构设计规范的国家有美国、加拿大、英国、德国、澳大利亚等。随着钢在结构上用途的增加,设计及研究人员对其进行了更多的研究,设计理论日趋完善。

最早的装配式标准化钢结构理论研究起始于美国,并在美国得到了很好的发展。1939年,美国钢铁研究院(AISI)出资,在康奈尔大学乔治·温特教授^[8]的带领下,开始了装配式标准化钢结构的设计理论研究,并且做了大量的相关实验;1946年,在乔治·温特教授研究的基础上,创造出世界上第一本钢结构构件的容许应力设计规范。1991年,通过了大量的研究与整理工作,AISI发行了第一版荷载抗力系数设计(LRFD)规范;1996年,AISI又将容许应力设计(ASD)规范和荷载抗力系数设计(LRFD)规范合并成一本规范;1999年,AISI对1996年版AISI规范进行了补充,并以补充版规范的形式发表。

2001年,在美国、加拿大以及墨西哥三个国家的共同研究下,合并了美国AISI规范和加拿大的5136规范,形成了北美《钢构件设计规范》,并一直沿用至今;2004年,在对《钢构件设计规范》的继续研究和整合后,又发布了2001年版规范的补充。

很多欧洲国家都有自己的轻钢构件设计规范,欧洲在1993年发布了轻钢构件设计规范EC3,成为欧洲用得最广泛的规范。德国也发布了工业标准DIN。芬兰改进了欧洲规范EC3,并作为该国的应用文本(NAD)。20世纪60年代,澳大利亚出现了“快速安装预制住宅”的概念。

与此同时,我国的钢结构装配式标准化

研究还处于缓慢的探讨、分析阶段。

2004年,蔡立军和崔建华^[9]发表了钢结构建筑设计亟待规范化、标准化的报道。鉴于目前我国尚无钢结构建筑设计的国家标准,希望有关部门能尽快制订有关钢结构建筑设计的国家标准,尽量做到统一规范。

2014年,侯和涛等^[10]提出了预制装配式钢框架结构体系的设计及经济性分析。通过对预制(简称PK)装配式钢框架结构办公楼示范工程的介绍,提出一种适用于低层、多层的新型PK装配式钢框架结构体系。该种结构体系不但绿色节能、低碳环保,而且自重轻、施工快、工艺简单、构件全部工厂预制,可以大大促进建筑工业化的发展进程。图3、图4分别为钢结构平面布置示意图和预制复合墙板结构示意图。

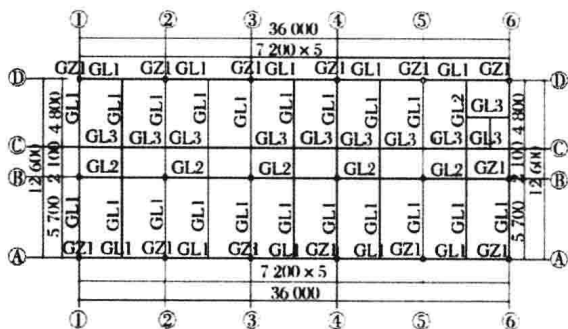


图3 钢结构平面布置示意图

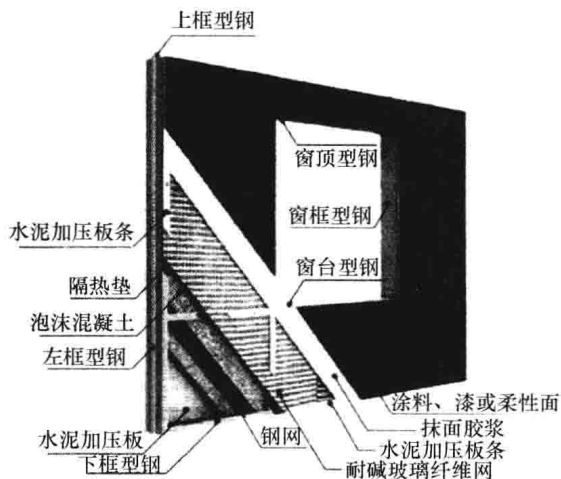


图4 预制复合墙板结构示意图

针对我国的研究空白,笔者认为我们应该从模型实验与理论分析双方面研究,从而