

大型高层建筑设计 第三方审核和优化中的几个问题

石建光

(厦门大学 土木工程系 福建 厦门 361005)

摘要 :提高建筑工程质量一直是我国建筑业管理的首要问题。工程设计质量和水平的高低直接影响着建设工程的质量、安全、功能和效益,从设计质量的更高要求和新要求出发,开展第三方审核和优化成为目前开发企业的一种选择。建筑结构作为大型高层建筑的建造成本和工期的主要专业和施工协调专业,建筑结构设计成为第三方审核和优化的重点。建筑工程从项目论证到具体实施需要经历概念设计、方案设计或初步设计、技术设计和施工图设计等一系列设计阶段,因不同设计阶段的技术重点不同,第三方审核和优化的技术要点就不同。大型高层建筑涉及建筑技术、结构技术、抗震防灾、电梯设备技术、机电设备技术、幕墙技术、室内装修、施工技术等多个方面,在各项技术的统一中寻求整体结构优化是解决问题的关键。在确定工程设计质量和水平的技术标准时,在坚持满足工程安全性、适用性和耐久性等基本要求的的基础上,尽可能寻求最经济的结构技术措施,并体现国家、社会和民众的根本利益。审核和优化的方式可以是优化设计、第三方审核、技术咨询、限额设计和设计评审等,针对项目的技术特点选择适合的技术咨询方式,调动技术人员的积极性、主动性,可以使得项目获得整体效益的最大化。

关键词 :大型高层建筑;结构设计;设计质量;第三方审核;优化设计

中图分类号 :TU318 文献标志码 :C 文章编号 :1673-1093(2016)08-0062-06

0 引言

工程质量对于建筑业乃至国家经济发展都有重要意义^[1],提高建筑工程质量一直是我国建筑业管理的首要问题。而工程设计质量和水平的高低直接影响着建设工程的质量、安全、功能和效益,关系到人民生命和财产安全。建筑结构设计第三方审核和优化主要是为了提高建筑工程质量和效益。为加强人员质量管理意识,目前开始实施了《建筑工程五方责任主体项目负责人质量终身责任追究暂行办法》(建质[2014]124号)。实际上,我国颁布的《建筑法》《建设工程质量管理条例》都对建筑工程质量提出了明确要求,确定建设单位、勘察单位、设计单位、施工单位、工程监理单位依法对建设工程质量负责。从技术角度来讲,一般所指的建筑工程质量是指在现行的法律、法规、技术标准下,对工程的安全、适用、耐久、舒适、经济、环保、美观等性能的基本要求。而对建筑工程质量的更高技术要求或工程在安全、适用、耐久、舒

适、经济、环保、美观等某一性能指标上的更高要求,则需要首先体现在设计、施工等文件和合同中,从中可以对建筑工程质量中的施工质量和设计质量提高要求。这种对建筑工程质量基本技术要求和更高技术要求分离的理念体现在了新一轮规范修订中,如《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300-2013)与《建筑工程施工质量评价标准》(GB/T 50375-2006)的验收和评价分离以及不同层次要求。合格是强制的,优良是推荐的,反映政府管理保证基本要求,鼓励社会提高要求的质量管理意识。

在目前创新发展、提质增效的背景下,提高设计质量尤为突出,而且传统的工程质量概念需要增加新的内涵^[1],设计单位也正面临经济发展新常态、新形势、新机遇、新挑战,设计企业和设计人员需要树立资源节约、环境友好、安全可靠、技术先进的工程设计理念^[2],这些都需要在设计质量要求中得到体现。

为此,从设计质量的更高要求和新要求出发,

收稿日期 :2016-04-22 ; 修回日期 :2016-05-12

开展第三方结构设计审核和优化成为目前开发企业的一种选择, 本文就开展第三方结构设计审核和优化中需要明确的几个问题进行探讨。

1 结构设计的不同阶段与设计技术要点

建筑工程设计特别是大型高层建筑工程设计, 从项目论证到具体实施需要经历概念设计、方案设计或初步设计、技术设计和施工图设计等一系列设计阶段, 以便逐步把项目涉及的工程从构想落实到具体可建造的工程蓝图上, 这是一个科学管理和技术明确的合理过程。每个设计阶段的作用不同决定了设计内容和关注的重点不同。建筑结构不仅支撑其内部功能和整体形态, 而且决定建筑工程的可建造性。建筑结构作为建筑的骨架从概念设计开始就需要论证其实现技术的合理性和措施的有效性, 并在后续的设计中逐步给予明确和确定。随建筑工程规模的扩大, 高层和超高层建筑成为建筑工程的主体, 结构造价能占总造价的 30%~35%, 结构总造价中材料直接费占总造价 50%左右, 结构的施工周期也是最长的, 所以结构设计中如何采用适应个体建筑的技术, 获得更好的抗风和抗震性能、较轻的重量、更经济的建造成本、满足各种功能要求是结构技术的关键^[3]。建筑结构作为高层和超高层建筑的主导成本之一, 也发挥着越来越重要的作用^[4]。这就需要结构设计在设计的不同阶段, 通过协调各专业需求, 在满足建筑空间和功能的要求下, 寻找最合理的技术和措施, 既保证建筑工程的各项性能, 又满足经济和可持续发展要求。不同设计阶段结构设计的内容不同(见图 1), 要针对不同设计阶段确定结构技术审核和优化的重点。

概念设计	方案设计	技术设计	施工图设计
<ul style="list-style-type: none"> • 结构实现理念 • 技术可行性 	<ul style="list-style-type: none"> • 结构方案 • 结构措施 	<ul style="list-style-type: none"> • 结构性能 • 结构参数 	<ul style="list-style-type: none"> • 施工措施 • 构造连接

图 1 不同设计阶段结构设计技术要点

从建筑工程项目开发实践来看, 在项目开发初期结合建设理念进行结构概念设计, 提出清晰的结构方案达到结构的最优化, 是项目开发最有效的方式^[5]。目前我国结构规范主要采用的处方式设计方法或指令式设计方法^[6], 很难满足项目的个性化需求, 所以概念设计阶段开展项目的专

项结构技术论证成为解决问题的有效方式^[7]。概念设计阶段主要针对建筑造型和整体尺度论证结构实现技术和技术的可行性, 如位于北京市朝阳区 CBD 核心区的中国尊大厦, 建筑高度 528 m、似古代酒器“樽”的造型变化就需要结构适应建筑变化, 在保证结构传力下完美体现建筑效果, 采用调整结构外框筒的巨型柱、巨型斜撑、转换桁架以及次框架等组成构件适应造型变化和内部功能需求的结构技术就是论证的关键^[8]。每个建筑概念方案设计的不同都需要首先论证结构技术的可行性和合理性, 为工程建设的良好效果奠定基础。

方案设计阶段或初步设计阶段则主要是结构方案和结构措施。结构方案设计可以分为结构分块、结构形式、结构体系、结构的布置、主要构件尺寸等五个方面, 其中分块主要取决于体型的规则性、体量的大小、地基的条件。结构形式主要看经济条件、场地状态、工期以及建筑的功能等。结构体系的选择取决于功能、层数、主楼高度、空间分隔、长宽比、高宽比、层高及分布等因素。结构的布置要满足功能、强度、刚度、稳定性等要求。而主要构件尺寸取决于结构的布置情况和负担荷载的大小。结构方案设计阶段最能体现结构技术的科学性和合理性, 针对工程项目的具体情况, 从满足项目的个性化需求出发, 探究更好的解决方案是结构技术的核心要求。如位于广州市天河区的一个双塔楼超高层建筑, 由两栋超高层塔楼和局部 4 层裙楼组成, 对比合并塔楼方案、分双塔楼方案的抗震性能后, 采用带防震缝的双塔楼结构方案, 建筑专业在防震缝两侧分别设置内隔墙, 外立面通过悬挑外包铝板幕墙处理, 实现了简洁、美观的立面效果^[9]。而杭州亚包大厦是一大底盘双塔结构, 对于 6 度区、近 180 m 高度的高层建筑, 钢筋混凝土框架—核心筒结构、钢框架—混凝土核心筒结构、混合框架—混凝土核心筒结构都是适用的, 通过分析比较, 在结构性能指标接近的情况下, 仅考虑结构本身的造价, 钢筋混凝土框架—核心筒结构总造价要比混合框架—混凝土核心筒结构省 35%^[10]。

技术设计和施工图设计就是对结构技术的具体落实和调整。分析结构的安全性、耐久性、抗震性、适用性和舒适性等性能指标, 计算地震作用、

风荷载、使用荷载、特殊部位的荷载等荷载参数,落实材料的品种、规格、性能及相应的产品标准,说明保护层、锚固、搭接、接长等施工要求及防腐措施等,指明施工中注意事项,确定构件详图、节点详图等。所以技术设计和施工图设计体现的是结构技术的精准性,通过精确的计算和准确的施工措施,提供便利的施工蓝图是这一阶段的关键。如位于北京丽泽商务区的国家金融信息大厦,主塔楼采用框架—核心筒结构体系,通过计算分析,采用伸臂低位设置、控制环带桁架刚度、设置底部斜撑等措施,有效降低墙肢拉应力,获得优选的结构技术措施^[11]。

明确了不同设计阶段结构设计的技术要点,发挥不同机构的技术优势,有针对性的开展第三方结构设计审核和优化的技术重点,就可以获得项目整体效益的最大化。

2 以结构技术为主线整体考量相关专业技术

大型高层建筑工程体现出多种建设模式、内部功能众多、机电设备繁杂、幕墙形式复杂、电梯设计多样等新特点,这给结构设计、抗震防灾、土建施工等建设过程带来许多新问题和新的挑战^[12],设计中涉及建筑、结构、幕墙、空调、采暖通风、给水排水、各类综合管线、电气、节能、建筑智能化(含广播系统、监控系统、网络、多媒体等)、消防、人防、安防、环保、景观绿化、基坑工程等很多专业技术,其中高层和超高层建筑涉及的主要技术可以概括为建筑技术、结构技术、抗震防灾、电梯设备技术、机电设备技术、幕墙技术、室内装饰、施工技术等八个方面(见图2)。随现代技术的快速发展,

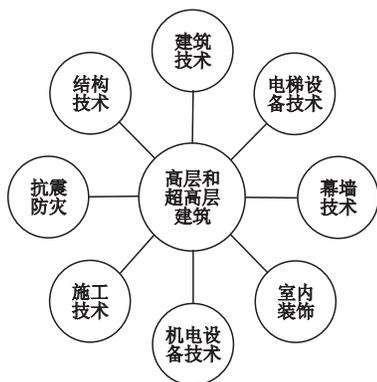


图2 大型高层建筑涉及的主要技术

各项技术和理念都更加先进和多样,这为具体工程建设项目开发提供了多种选择机会。

建筑技术主要体现在建设理念上,如可以采用单栋多功能模式、建筑综合体模式、区域集群模式、空中城市模式等不同开发方式,不同的模式决定了建筑体量的大小、功能布局、交通联系等一系列工程基础参数,对结构技术产生直接影响,在整个工程建设开发和今后使用中起决定性作用,对建筑概念设计充分进行多方面论证是保证工程效益的关键。

结构技术主要为结构分区、结构材料、上部和下部结构体系、结构布置、预制和预应力结构、地下结构、基坑围护技术等,涉及建造过程中的整体技术安排,这些整体技术策略的合理性决定了后续设计、构件加工、施工管理等一系列可建造性问题。结构技术与建筑技术密不可分、相互对应,建筑的理念必须要通过结构技术去实现,它们的完美结合往往是工程成功的典范^[13]。抗震防灾中抗震抗风与结构技术密切联系,目前性能化设计、抗震消能减震、抗风技术获得长足进步,如何在建筑结构中实施成为更加专业的技术问题^[14]。高层防火的性能化设计、消防人员疏散和烟雾模拟等参数化模拟技术的发展也为防火技术提供了多种途径。

电梯设备技术中变压变频控制电梯、双层桥厢电梯、高速电梯等为高层建筑电梯解决方案带来便利。广州西塔中电梯大堂概念、穿梭电梯、高速电梯的组合设计使得核心筒效率提高71%就是一个成功案例^[15]。随着节能减排、可持续发展的要求提高,机电设备技术包括了越来越多的内容,除常规的水、动力、照明等机电设备外,变风量空调、燃油锅炉、燃气锅炉、移峰蓄能、地源热泵、太阳能、新风供冷、余热回收、雨水利用、楼宇智能化等各种能源选择和设备技术为机电设备系统的效率提高和运营管理提供了各种便利和技术手段,项目开发初期的性能目标决定了机电设备系统的配置。随着物联网技术、智能电网技术的不断深入,将为各行各业的发展带来革命性的变革,也必将为超高层建筑注入全新的设计理念。具有可靠、自愈、兼容、经济、集成、优化等特征的智能电网将为对电能供应和电能使用管理有着更高要求的超高层建筑系统建设及使用提供有力的保

证^[16]。高层建筑幕墙的重量通常占建筑总重量的1/100~1/120,这会增加建筑结构和地基的荷载。高层建筑幕墙主要包括支承结构和面板材料。支承结构有正交梁柱金属框架系统、网格体系、刚架体系、索网结构等。面板材料有玻璃、金属板、石材等,也有新出现的双层通风幕墙和光伏幕墙^[17],不同的选择和与结构的连接构造会产生很大的结构建造差异。施工技术有深基坑支护技术、模板与脚手架技术、高性能混凝土技术、钢结构安装技术、逆作法等直接影响施工工期和造价的新技术^[18]。

以上各项技术的选择构成整个开发项目的技术实施纲领,直接影响结构技术的采用(见图3),也影响项目开发的成本、工期和效益。采用一体化的前瞻性思维,进行整体考量才可以获得可持续发展和高成本效益的结果^[19]。

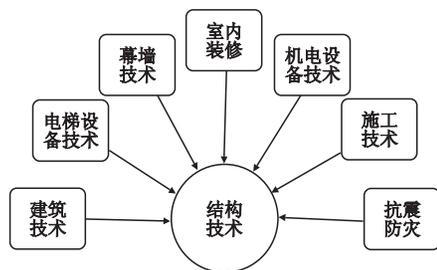


图3 大型高层建筑各项技术与结构的关系

3 第三方结构设计审核和优化的技术标准

结构设计的审核主要是审核结构设计质量。我国《建设工程质量管理条例》《建设工程勘察设计管理条例》中为保证设计质量的基本要求得到满足,明确提出设计文件应当依据项目批准文件、工程建设强制性标准、建设工程设计深度要求编制。同时为保证建筑工程设计质量的基本要求得到落实,目前已经建立了施工图设计文件审查制度,确保设计满足工程建设强制性标准要求、设计文件符合国家规定的设计深度要求。对于设计质量的更高技术要求,过去出台了《工程设计文件质量特性和质量评定指南》(建设[1995]111号)以及中国建筑设计协会1992年编制了《民用建筑工程设计质量评定标准》,这一评定标准主要为政府主管部门对全国设计单位民用建筑工程设计质量的评定和各设计单位内部对设计质量的自检评定所用^[20]。目前对建筑工程质量基本技术要求和更高技术要求分离

的理念体现在了新一轮规范修订中,如《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300-2013)与《建筑工程施工质量评价标准》(GB/T 50375-2006)的验收和评价分离以及不同层次要求,合格是强制的,优良是推荐的,反映政府管理保证基本要求,鼓励社会提高要求的质量管理意识。所以建筑工程设计质量的更高要求或特殊要求需要在设计任务委托中体现出来。

对结构专业设计质量的更高要求,可以在《民用建筑工程设计质量评定标准》中对结构专业设计质量的评定中看出来,主要体现在五个方面:贯彻执行国家建设方针、政策,各级现行规范规定、标准、规程均能符合要求;结构方案、体系布置、构造、技术经济指标合理、恰当,方便施工;设计依据、原则数据、结果正确合理、清晰齐全,与图纸吻合;制图标准、设计深度、专业会签、图面质量均能达到标准和深度、表达正确,设计图面清晰无差错;结构方案设计有创新,应用新技术、新结构、新理论、新材料等,运用先进计算机软件,综合效益具有国内同类设计先进水平。主要体现设计质量在“合规、方案构思、适用、满足性以及突破或创新”五个方面的评价。这比施工图设计文件审查中满足工程建设强制性标准、设计深度要求更加全面和强调专业技术。

从建筑结构专业设计水平来看,全国优秀建筑结构设计奖对结构技术的考查主要体现:在建筑结构设计上有所创新和发展,对提高建筑结构设计水平有指导意义;在建筑结构设计中解决了难度较大的结构问题,对提高建筑结构设计水平有指导作用;在建筑结构设计中适应建筑功能要求,对提高工程质量和施工速度有显著作用,取得显著的经济效益,这样三个方面。

从业主委托第三方结构设计审核和优化的目标来看,往往是寻求最经济的成本控制,也就是满足基本要求基础上,要严格控制设计各环节的放大,以确保工程建设成本的最优。这实际上与设计质量的更高要求是一致的,设计的提质应该带来工程的增效。所以,第三方结构设计审核和优化应该是从落实一个严格的技术标准出发,而不是单纯控制每平方米钢筋用量等材料指标。在拟定一个严格的技术标准时,应该依据满足工程安全性、适

用性和耐久性等基本要求,尽可能寻求最经济的结构技术措施,体现国家、社会和民众的根本利益如绿色、环保和资源节约等这样的基本原则。

4 第三方结构设计审核和优化的方式

工程设计属于软科学范畴,软科学所研究和处理的一切问题必须有人的参与,必须充分利用人类专家的经验来解决问题。因第三方审核和优化参与的内容和重点不同,出现了优化设计、第三方审核、技术咨询、限额设计和设计评审等多种概念和方式(见图4)。

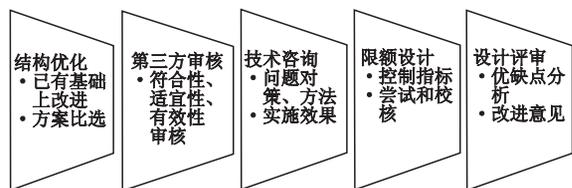


图4 结构技术咨询的不同方式

优化设计就是追求一个更好的设计,这就要求设计者精心投入和创新。不应只从本专业出发,而应从整体综合考虑,在定性与定量分析紧密结合的基础上确定最优的方案和技术。

第三方审核或设计评审主要是为了检查设计的符合性、适宜性、有效性,是从ISO9001质量管理体系借用来的概念。根据审核或设计评审的不同目的,审核或设计评审分为内部审核和外部审核。内部审核,也称第一方审核,就是由企业的内部人员,对设计院提供的设计成果进行审核。内部审核对企业质量管理体系的有效运行和不断改进有重要作用和积极意义。外部审核又分为第二方审核和第三方审核。第二方审核是由企业的客户或其代表,对本企业的质量管理体系进行审核,而第三方审核,即由质量认证机构对质量管理体系进行审核。设计中的第三方审核或设计评审就是委托有专门技术专长的第三方机构或部门对设计成果进行的检查和校对。第三方审核或设计评审可以是对概念设计、方案设计、初步设计、施工图设计等各阶段设计图纸和文件进行的审核。如万达文化集团项目管理中心设计部自2013年3月开始对文旅项目进行的施工图第三方审查工作,2013年共对6个项目、近258万m²的施工图进行了审查,共审查出问题3219条,同比2012年

相关单位的审查情况,严重问题占比由57.86%下降到22.55%。证明施工图第三方审查工作效果显著、十分必要。

技术咨询是针对项目的专门技术难题开展的技术征集和分析研究,根据项目的特点可以是一项技术问题也可以是全过程的技术服务,内容比较灵活多变。

限额设计是目前的一种设计管理手段,限定材料用量指标是最简单的管理方法,但设计的灵活和多样很难用一个材料或经济指标衡量,从调动设计人员积极主动性角度,单纯依靠这样的指标往往会起到消极作用。

第三方结构设计审核和优化是针对具体的工程问题运用结构工程的新技术、新理念、新方法等多方面知识和经验,为项目业主及其他各类客户提供咨询活动的智力服务。第三方可以帮助业主协调各专业的技术要求确定结构技术方案,指导项目设计单位进行各阶段设计工作,依据国家现行的设计规范和地方的规划要求,对各阶段设计成果文件进行复核及审查,纠正偏差和错误,提出优化建议,出具审核和优化报告^[21]。

尽管有采用人工智能技术开发的基于事例的推理系统以及按照结构分级分部优化设计步骤开发的高层建筑结构优化设计软件等软件辅助完成结构技术的选优和提高^[22,23],但依赖专门技术人员的结构技术服务还是无法取代的。通过第三方的精心投入和创新构想,从各项技术的整体综合上考虑,定性与定量分析紧密结合,不降低结构的可靠度水平下获得最大效益是审核和优化的完美结果。

5 结语

大型高层建筑工程涉及的技术领域不断扩展,要统筹管理好大型建筑工程的开发任务设计工作是核心,针对大型高层建筑工程设计中多项专业技术的配合和协调,开展第三方结构设计审核和优化是一个有效的途径。目前各项技术和理念都更加先进和多样,这为具体工程建设项目开发提供了多种选择机会。综合建筑技术、结构技术、抗震防灾、电梯设备技术、机电设备技术、幕墙技术、室内装修、施工技术等多个方面,在各项技术的统一中,寻求整体优化的结构解决方案是关键。不同的设计阶段结构技术的内容不同,充分

发挥不同机构的技术优势,有针对性的开展结构技术咨询,才可以获得项目整体的效益最大化。结构技术咨询的方式可以是优化设计、第三方审核、技术咨询、限额设计和设计评审等,针对项目的技术特点选择适合的咨询单位和方式,调动技术人员的积极主动性,可以使得项目获得可持续发展和高成本效益的结果。

参考文献:

- [1]姚兵.工程质量新概念体系的构建[J].工程管理学报,2010,24(01):2-6.
- [2]住房和城乡建设部建筑市场监管司熊士泊副司长在工程项目管理大会上的讲话[R].工程建设项目管理与总承包,2015(06):2-5.
- [3]Sai Cheong Edward Chan,Wing Lok Leung.案例研究:上海国际金融中心[R].世界高层都市建筑学会第九届全球会议,上海,金茂大厦,2012年9月19-21日.
- [4]Hsiu-Min EugmeSeah.资本成本在高层建筑中的导向[R].世界高层都市建筑学会第九届全球会议,上海,金茂大厦,2012年9月19-21日.
- [5]赵廷彤.超高层建筑的创新结构发展[R].世界高层都市建筑学会第九届全球会议,上海,金茂大厦,2012年9月19-21日.
- [6]陈肇元.我国的混凝土结构技术规范急需革新——混凝土结构设计规范的问题讨论之四[J].建筑结构,2009,(11):107-114.
- [7]汪大绥,包联进,姜文伟,等.上海中心大厦结构第三方独立审核[J].建筑结构,2012(05):13-18.
- [8]齐五辉,宫贞超,常为华,等.中国尊大厦外框筒建筑-结构一体化设计方法[J].建筑结构,2014,(20).
- [9]唐珉,陈伟军,刘洋,苏艳桃,陈晨.带防震缝的双塔楼超高层建筑结构设计[J].建筑结构,2013,(23).
- [10]叶甲淳,杨学林,谢忠良,等.杭州亚包大厦大底盘双塔超限高层建筑结构设计[J].建筑结构,2012,(08):69-72.
- [11]朱伟亮,杨春霞,张盟,等.国家金融信息大厦核心筒墙肢拉应

力控制研究[J].建筑结构,2014,(18).

- [12]张俊杰.现代超高层建筑在中国的发展[R].世界高层都市建筑学会第九届全球会议,上海,金茂大厦,2012.
- [13]Jianguang Shi,Linlin Hua and Tong Han. Estimation method of tall building structure system in architecture project design,The Structural Design of Tall and Special Buildings,Volume 20,Issue 6,October 2011:661-668.
- [14]Jianguang Shi,Tong Han. Conceiving methods and innovative approaches for tall building structure systems,The Structural Design of Tall and Special Buildings,Volume 19,Issue 5, August 2010:537-550.
- [15]万黎萍.超高层建筑核心筒设计研究[D].华南理工大学,2014.
- [16]王晔,曹承属.基于物联网技术的智能电网在超高层建筑及超高层建筑群中的应用[J].现代建筑电气,2010,(08):7-9.
- [17]赵西安.高层建筑幕墙的新结构和新系统[J].门窗,2012,(08):1-7.
- [18]叶可明,范庆国,胡玉银.上海超高层建筑施工技术的新进展[J].广东建设信息,2006,(28(06)):405-408.
- [19]Vincent Cheng Kevin K W Wan.中国可持续发展高层设计的整体考量[R].世界高层都市建筑学会第九届全球会议,上海,金茂大厦,2012.
- [20]杜雷功,王萍,邵月顺.设计文件质量评定标准综述[J].水利技术监督,2012,20(03):1-5.
- [21]石建光,陈家伟,杨信.某超限高层结构设计的第三方审核和优化[J].福建建筑,2016(1).
- [22]王晓亮,卢清刚,刘西拉,等.基于事例推理的高层建筑结构初步设计的专家系统 Hipred-3 在实践中的应用[J].建筑结构,2013(S2):341-344.
- [23]吴方伯,张骏.高层建筑结构优化设计软件——HBOPTCAD 的开发研究[J].Journal of Hunan University Naturalences,1999,26(02):78-81.

作者简介:石建光,男,内蒙包头人,厦门大学土木工程系教授、博士,主要从事高层建筑结构设计研究。

► 行业信息

港珠澳大桥主体桥梁成功合龙 大桥总长 55 km

港珠澳大桥管理局局长朱永灵 6 月 29 日宣布,江海直达船航道桥合龙段开焊,这标志着港珠澳大桥主体桥梁成功合龙。

据朱永灵介绍,本次合龙的主体桥梁工程包括 3 座通航孔桥(九州航道桥、江海直达船航道桥、青州航道桥)及深、浅水区非通航孔桥。深水

区非通航孔桥采用 110 m 跨径整幅整墩钢箱连续梁桥,浅水区非通航孔桥采用 85 m 跨径钢混组合梁。

记者在桥梁施工现场看到,青州航道桥“中国结”熠熠生辉;江海直达船航道桥“海豚”塔棚

(下转第 80 页)