

我国钢结构的发展趋势及优化设计思考

赵迪

中冶华天工程技术有限公司, 江苏 南京 210019

[摘要] 本篇文章主要介绍当前我国钢结构的现状和发展趋势, 总结了钢结构的特点和优势, 在探讨和展望未来钢结构的机遇之余, 简要分析对钢结构在结构设计及施工环节中的优化理论和措施, 希望可以为设计人员提供帮助。

[关键词] 钢结构建筑; 发展趋势; 结构设计; 优化措施

DOI: 10.33142/ec.v5i9.6802

中图分类号: TU392.5

文献标识码: A

Development Trend and Optimization Design of Steel Structures in China

ZHAO Di

MCC Huatian Engineering & Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210019, China

Abstract: This article mainly introduces the current situation and development trend of steel structures in China, summarizes the characteristics and advantages of steel structures, briefly analyzes the optimization theory and measures of steel structures in structural design and construction, and hopes to provide help for designers while discussing and looking forward to the opportunities of steel structures in the future.

Keywords: steel structure building; development trend; structural design; optimization measures

钢结构建筑是结构发展的一种主流结构, 与传统的钢筋混凝土建筑相比, 采用钢材作为主要受力构件替代了钢筋混凝土, 刚度和抗震性能更好。且因强度高、自重小、施工精度高和周期短, 可循环利用更为节能环保, 因此越来越被世界各国开始大范围的应用在工业、民用建筑中。工业上, 现代厂房更加大型化, 对厂房柱距、跨度、高度、仓储能力和起重能力的要求更高, 同时基于经济效益的追逐建成投产时间却更为缩短; 民用上, 对商场、商业办公、体育场、图书馆、教学楼等建筑更大空间和更强抗震性能的需求, 都使得钢结构得到了迅速发展并应用的领域更为宽广。而且目前我国的钢铁产量已经位居世界第一, 国家也开始倡导低碳环保、节能保温的新建筑体系, 钢结构建筑不仅可以解决钢铁冶金业的产品渠道问题, 也可以提升降低建筑施工和运行时的能源消耗、污染等问题, 提高可再生能源利用和建筑的科技含量, 缩短工期, 被誉为 21 世纪的“绿色建筑”之一。展望建筑行业的现状和未来, 钢结构建筑必然将成为今后我国工业、民用建筑的发展趋势, 因此, 为了控制钢结构建筑建设成本和降低能耗, 分析钢结构在结构设计及施工环节中的优化理论和措施有重要的实际意义和现实要求。

1 钢结构建筑的现状和发展趋势

1.1 钢结构建筑的概念

钢结构建筑是与传统木、石和砖混以及钢筋混凝土建筑相区别, 用钢梁、钢柱、钢管或钢板等轧制后的钢材做承重构件并焊接、螺栓连接或铆接等方式固定, 与外部加装隔热保温板材的墙面、屋面和楼面等, 共同组成一个整

体的新型建筑结构体系。具有较强的抗震和承载能力, 且塑性和韧性好, 可增大使用面积, 外部造型灵活多样, 节能环保, 缩短工期等特点, 但缺点是耐腐蚀性和耐火性较差等。

1.2 钢结构建筑的现状

由于我国钢铁行业发展较晚和技术原因, 七十年代钢结构建筑才开始真正起步, 真正快速发展时期却是在 20 世纪 80 年代以后。改革开放后钢产量连年攀升, 从 1996 年我国钢铁产量首次突破 1 亿吨, 到 2018 年钢铁产量达到了 9.28 亿吨, 占世界钢产量的 51.3%。目前, 我国经过市场的考验已经涌现出一批有技术有实力的龙头企业, 如宝钢、武钢、鞍钢等。三十多年来, 随着改革开放经济和钢铁行业的迅速增长以及工业、民用各行业发展的需要, 我国的钢结构建筑发展极为迅速, 国家也开始大力鼓励建筑用钢材, 钢结构技术及其应用在国家的支持下呈现快速发展的态势, 涌现了很多知名的高难度的钢结构建筑, 钢结构建筑开始大量应用于大型工业、民用建筑体系中, 获得了较大成功及良好的效益。例如国内最大的穹顶钢结构——东西向长轴跨度 212.2m 的国家大剧院, 以及令世人瞩目的 2008 年北京奥运会的主体育场——长轴 332.3m 世界上跨度最大的国家体育场“鸟巢”, 设计用钢量 4.2 万 t, 居世界体育场馆用钢量之首, 并且在设计中首次采用 Q460 这种我国自主研发生产的低合金高强度钢材。这证明钢结构建筑事业进入了蓬勃发展的全新时期。但同时也需要认识到, 我国目前钢结构建筑年均钢材用量占总钢产量的比重仅为 5% 左右。这一数据与发达国家建筑市场

钢材占有率尚有差距,因而发展前景十分巨大。

1.3 钢结构建筑的发展趋势

钢结构建筑的发展趋势主要表现在以下几个方面。

(1) 从中外合作转向国内自主设计、分析、研究开发和施工为主。之前说过,由于我国钢铁行业发展较晚和技术、设备及施工原因,七十年代发展初期绝大部分为中外合作建设,如1983年和日本合作的第一个纯钢框架结构北京长富宫酒店等。进入九十年代中期之后,伴随我国钢铁产量和钢材品种、规格的发展完全可以满足国内建设需求,一些大型建筑企事业单位和高校、研究机构等在累积多年的大型工程建设、研究分析经验之后,相关行业标准、规范都不断发展更新、完善,各种国产结构设计和工程分析软件也能满足实际需要,钢结构建筑设计、制作、安装技术逐渐接近国际顶尖水平。近年来,国内自主设计、建设,具备自主知识产权的钢结构建筑越来越多,建筑科学技术也越来越成熟完善。

(2) 轻钢结构的快速发展。主要采用热轧轻型H钢、轻型焊接型钢、高频焊接型钢、冷弯薄壁型钢、薄壁钢管和薄板等轻型钢材,单位建筑用钢量一般在 $50\text{KG}/\text{m}^2$ 以下即为轻钢结构,既有传统钢结构刚度大、承载力强抗震性好的优点,同时还具备产品制造系列化、定型化、配套化,布置灵活,修改方便,自重更轻,荷载更小,下部基础可以更小的优点。由于受力构件轻型化,单位建筑用钢量少,建设费用更低,目前被广泛应用于国内的工业、农业、商业、服务性建筑和低、多层房屋建筑等领域,还可用于旧房改造、加固和增层,建材和运输不便地区或工期要求紧、工地活动式建筑等。

(3) 大跨度钢结构的迅猛发展。伴随人类社会的发展进步和生产、娱乐物质生活需求的日益增长,大跨度钢结构的发展非常迅速,并已经广泛应用于体育文化馆、机场候机厅、会展中心等大型公共建筑中。大跨度钢结构建筑的空间结构越来越多样化,结构造型越来越新颖,施工难度越来越高。二十世纪九十年代前,国内外大跨度空间结构主要是网壳、网架结构。进入二十一世纪以来,轻质高强的合金钢索、钢棒、钢膜等新材料不断研究问世,新的结构形式如索膜结构、管桁架结构、薄膜结构、悬索结构等不断扩大应用领域,大跨度空间钢结构面积与空间都在迅速增加,目前已建成最大单跨净跨达到245m的大跨度钢结构封闭料场,是全球之首,这象征着我国钢结构建筑的发展日新月异,也日益成熟。

2 钢结构建筑的特点和优势

钢结构受力构件为钢材,质量小,强度高,能够建设一些跨度和荷载较大的结构建筑,且便于运输,缩小成本。这是单纯的钢混结构、木石及砖混结构所不具备的优势,如钢混建筑虽然密度小,但是同样的受力条件下承重构件截面较大,建筑使用面积较小,并且材料强度与钢材相比较弱,木材、砖石等材料同理,承重能力更弱。基于此,钢结构建筑在抗震防灾、丰富设计、质量提升、节能环保

方面具有诸多优势,主要体现在以下几方面:

(1) 钢结构的材料优势

钢材是各向同性材料,接近于均质等向体,某个方向上的性能和其他方向上的没有太大差别,且屈服强度和刚度高,即一定应力作用下,发生弹性变形越小。钢结构的实际受力和力学假定及结果较为相符,对提高计算和设计、施工的精确性有利。钢结构抗拉压弯剪的强度都很高,自重轻且塑性、韧性及其延性好。抗拉、抗压、抗弯及抗剪强度高适合用于跨度大、柱距大和荷载大的建筑,而塑性和韧性、延性好,钢结构承受动力荷载的适应性较强,不会轻易因超载而突然断裂,且因其自重小地震力效应相应也小也能一定程度减小地震效应,抗震性能优越,结构安全度高,可应用于大规模设施、写字楼等高层建筑,以及机场、体育场、火车站等大空间设施。

(2) 钢结构在建筑上的应用优势

钢材强度高,与钢混结构比同样跨度的钢结构建筑主要受力构件型材的断面更小,因此室内钢结构空间利用率高,建筑的有效面积增大(高使用面积系数),与钢筋混凝土结构相比可增加8%左右,资产价值升高。在大空间设施领域,使用高强度钢结构构件,可实现结构体的轻量化和大跨度,打造出没有柱子和墙壁的更为灵活开放的大空间,便于设备仪器的布置,还可以灵活应对频繁发生的设计变更。在建筑外立面风格和布局上,钢结构建筑更加灵活,室内使用面积增大后更方便根据需求不同方案分割空间。

(3) 钢结构的经济优势

钢结构构件可在工厂进行机械化、标准化、规格化、系列化生产和制作安装,质量稳定,加工强度低,工序更为简单且成品安装使用周期短。室内制作不会受到各种气候的影响,工人加工强度和作业量小,噪音、废水、废气等环境污染问题更少。现场施工组装时,仅需焊接或螺铆钉连接,机械化程度高,减少劳动力的投入以及模板等支模材料的消耗和混凝土养护时间,加快施工进度。根据统计数据,相同面积建筑物建设工期钢结构比混凝土结构可缩短1/3,再加上上部结构和基础用料都减少,工程综合造价降低,政府或开发商建设资金的周转时间也随之缩短,可以创造出可观的经济效益。

(4) 钢结构的环保优势

钢结构建筑符合新时代环保低碳的生活理念与方式。钢结构可大规模集中生产,工业化、集中化程度较高,制作完成的构件运输到工地,再进行现场安装。现场施工时间较短,噪音和污染更少,对于周境的影响也较少,还可减少对不可再生资源如砂、石的损耗,更符合现代的低碳环保的理念。并且在工厂制作钢结构时,设计、生产、施工一体化,能将节能、防水、保温隔热材料等集合于一体应用,降低节约能源效果更好。另外,钢结构拆除产生的废弃钢材可回收循环再利用。此外,钢结构建筑的现场施工水消耗较少。因此,钢结构建筑符合国家可持续发展战

略,能大力推动低碳经济健康发展。

3 钢结构建筑优化理论和措施

钢结构建筑优化设计是一个比较广义的概念,主要包含从结构形式和设计方案的合理布置到利用有限元软件根据数学理论编制程序迭代找出最佳设计方案或是成本最低方案。

(1) 结构形式和设计方案的选取及布置。不同的钢结构建筑类型所适用范围是不同的,正确的结构形式选用和合理的设计方案及构造措施对保证整体结构的稳定、节省用钢量、降低建设成本有着非常重要的意义。比方说大型工业厂房纵向跨度较大,若设计成纯框架体系则对横向变形无法有效的抵抗,影响结构的整体稳定性;若采用框架支撑体系则可以有效提高厂房横向刚度,更有利于整体稳定性。比方说,在有吊车的单层轻钢厂房中,柱间支撑中的上柱支撑可以优先考虑设置柔性支撑,下柱支撑考虑设置型钢支撑;在无吊车的轻钢单层厂房中,柱间支撑宜优先考虑设置柔性支撑。屋面水平支撑宜优先考虑设置柔性支撑。

(2) 跨度和柱距的合理选择。结构设计时,应对跨度和柱距进行几个方案的综合比较,选择经济合理的跨度和柱距。一般情况下,结构总体钢材消耗量会随着跨度增加也随之增加,跨度和柱距的大小选择和布置是否合理将直接影响钢结构的钢材消耗量。但是经过研究发现,在一定跨度范围内,结构总体用钢量随跨度增加不敏感,这类跨度称为经济跨度,因此结构厂房跨度和柱距选取尽量在合理经济跨度范围内。例如,轻钢结构厂房吊车型号荷载较大,经济跨度可控制到24~36m;没有吊车或吊车荷载较小时,经济跨度可控制到18~24m,大体上可以节省钢材5%~15%,总造价整体降低2%~7%。而柱距为7~8m时,总钢材消耗量基本保持稳定。小于7m时,总钢材消耗量随柱距增大速度较慢,柱距超过8m时由于檩条、支撑、吊车梁等构件的钢材消耗量快速上升,造成总用钢量上升。因此,对于常用刚架,建议柱距取7~8m。

(3) 材料的选择。钢结构主要受力构件和支撑、维护结构应根据受力不同合理选择材料。主梁、框架柱等由强度控制的重要受力构件一般采用高强低合金钢。而支撑、维护结构处钢材则可以选择市场常见的碳素钢,例如柱间支撑、山墙抗风柱、墙梁、屋面檩条及水平支撑等构件,这部分由抗弯或稳定控制的构件用钢量一般占总体钢材消耗量的25%~30%。选用低等级的碳素钢即可满足承载能力,亦可节约建设工程造价。结构设计人员也可充分了解各型号钢材市场价格后,对材料价格比选优化。

(4) 荷载的准确确定。设计前期准确确定荷载和受力情况极为重要,荷载的大小对于设计选择结构形式和主要受力构件大小及其材料息息相关。荷载增加,钢材用量和截面大小结构受力都会随之增加。且荷载考虑不足计算结果有疏漏,结构安全冗余度不够,直接影响工程质量和

安全。因而在设计正式确定之前,根据工艺要求估算设备荷载和全面搜集工程地质、水文、气候资料,并结合相关规范合理的确定钢结构所承受的各种荷载,周密考虑各种情况下的荷载折减系数,如楼面活荷载折减系数和多台吊车荷载共同作用下的荷载折减系数,这样既能最大程度的保证计算结果的安全可靠,又能降低主要受力构件的用钢量。

(5) 节点设计优选及钢构件连接的选用。钢构件连接涉及结构安全极为重要,可划分为焊接和螺栓连接、销钉及铆钉连接(目前已很少使用)。焊接虽然可以不削弱构件截面,但是焊接处容易产生应力集中。螺栓连接,施工工艺简单、安装方便,便于安装,也便于拆卸,与焊接连接相比容易产生变形,但对于长时间经受震动荷载的结构更适合采取螺栓连接。螺栓连接分为普通螺栓连接和高强螺栓连接两种,重要受力部位和构件常选用高强螺栓连接。设计计算时常把螺栓连接处当成铰接,螺栓类型、大小也是根据结构受力或工艺要求决定。焊缝形式以及焊材选用除在设计之初就要有所考虑之外,还要符合相应施工质量验收规范要求。焊条强度应与钢构件相适应,低强度钢构件选用低强度焊条即可,若选用高强度焊条反而会对连接处稳定性更不利,还会增加成本的浪费。直接承受动力荷载的焊接部位或主要承受荷载处厚板焊接宜选用低氢型焊条。

(6) 利用有限元计算软件进行结构优化。目前市场上有众多的有限元计算分析软件如ANSYS、MIDAS, sap2000等,这些计算软件不仅能够较为符合工程实际的模拟和分析结构整体受力,且建模和计算速度快,使得设计者可将精力完全集中于优化问题的本身,在规定的范围内编制程序定义约束限制进行迭代计算,经过多次循环优化得出最优解,即最优成本方案。

4 结语

综合全文所述,钢结构建筑技术应用和发展在我国建筑领域日趋广泛和成熟。只有充分认识该类结构的特点和深入理解设计概念,了解钢结构建筑的现状和时刻关注发展动态,并尽量在结构设计及施工环节中的进行优化,才能让钢结构建筑取得更好的经济和社会效益。

【参考文献】

- [1] 李社生. 钢结构工程施工[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
 - [2] 云雷. 钢结构优化设计的实际应用与未来发展[J]. 规划与设计, 2019(1): 1673-0038.
 - [3] 余安胜, 叶修喜. 谈轻型门式刚架厂房的优化设计[J]. 工程建设与设计, 2018(1): 1007-9467.
 - [4] 蔡明喜, 牛梦实. 浅谈门式刚架轻型房屋钢结构优化设计[J]. 甘肃冶金, 2010(1): 1672-4461.
- 作者简介: 赵迪(1986.6-)女, 毕业院校: 河海大学; 硕士研究生, 所学专业: 工程力学, 当前工作单位: 中冶华天工程技术有限公司, 职务: 设计师。