

特约专栏

## 空间设计用高性能钢

丁希凡<sup>1</sup>, 李倩薇<sup>1</sup>, 李 伟<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学设计学院, 上海 200240)

(2. 上海交通大学材料科学与工程学院, 上海 200240)

**摘 要:** 空间设计中的高性能钢及其结构是区别于传统普通建筑用钢与钢结构环保与多功能化高强度钢结构。随着建筑空间的现代化、时尚化, 对结构的要求更轻盈、更环保, 同时, 对空间需求的多样化和体验感更深入。因此, 空间设计用钢的高性能化是空间结构设计现代化、时尚化的物质基础。介绍了基于钢材材料的建筑结构、可拆卸结构和连接结构, 分析了基于上述结构的时尚建筑空间设计案例, 表明基于钢铁材料及其结构的建筑具有动态平衡美以及高科技等特点。重点介绍了高性能钢材料的高强度(结构轻量化)、耐候性(环保)、抗菌性(多样化)等特性, 分析了基于以上特性的空间设计案例。高性能钢的特殊性能能够帮助人们建立新的人与空间交互关系和新的审美认知。最后, 展望钢及其结构的高性能设计, 对未来空间设计提出畅想, 高强度钢适合具有有力表现的建筑空间、张拉结构钢适合互动空间设计、随光影响而变化的钢材适合个性化建筑表皮设计。

**关键词:** 高性能钢; 钢结构; 性能; 空间设计

**中图分类号:** TG142.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1674-3962(2019)07-0682-07

## High-Performance Steels for Spatial Design

DING Xifan<sup>1</sup>, LI Qianwei<sup>1</sup>, LI Wei<sup>2</sup>

(1. School of Design, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

(2. School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

**Abstract:** The high-performance steel structure in the spatial design refers to high-performance steel structure, which is different from the steel structure of the traditional steel material. With the modernization of modern architectural space, the requirements for the structure are wider, higher and irregular, and the demand for space experience is deeper. Therefore, the high-performance steel structure in space design is of great significance to the fashion of space design. This paper introduced the steel structure, detachable structure and connection structure of steel structure, analyzed the case of fashionable buildings based on the above structure. From the perspective of visual and tactile analysis, the building based on high-performance steel structure has a dynamic balance beauty, high-tech beauty and other characteristics. The high-strength, weather-resistant, anti-bacterial properties of high-performance steel materials were also introduced, and the spatial design cases based on the above characteristics were analyzed. The analysis showed that special performance can help people establish new trust relationships with space and new aesthetic cognition. Finally, we put forward the imagination of the future spatial design based on the high performance of the steel structure. The high-strength steel is suitable for the building with strong performance, the tension structure is suitable for the interactive space design, and the steel with the influence of light is suitable for the personalized building skin design.

**Key words:** high-performance steel; steel structure; performance; spatial design

### 1 前 言

1851 年, 设计师帕克斯顿创造性地使用玻璃和铁架

搭起一座“水晶宫”, 自此, 越来越多的钢铁和其他材料复合应用于建筑设计中。在当代, 钢筋水泥的广泛应用开创了未来空间的黄金公式——成为时代的镜子。新材料和新技术的应用极大地丰富了人们的想象力和创造力, 得到了建筑、空间设计、视觉设计师的积极响应, 将材料和技术与设计相结合, 技术的进步会推动艺术设计的进步, 从而形成新的艺术形式<sup>[1]</sup>。

材料是空间设计的物质基础。本文以高强钢材料为

收稿日期: 2018-11-28    修回日期: 2019-06-18

第一作者: 丁希凡, 女, 1969 年生, 副教授, 硕士生导师

通讯作者: 李 伟, 男, 1981 年生, 副教授, 博士生导师,

Email: weilee@sjtu.edu.cn

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.201811018

研究对象,通过对高强钢材料在空间设计呈现的视觉效果、触觉感受等体验和调研,阐述其作为设计要素的决定性作用及发展趋势。

### 1.1 空间设计

#### 1.1.1 空间设计的定义

空间设计包括建筑设计(如地标建筑设计)、室内设计、交互设计和服务设计,同时也是公共艺术。空间设计关注空间传播价值和增强体验。本文所指空间设计为狭义的建筑空间设计,即人们为满足基本需要所造的人工环境。陈志华等<sup>[2]</sup>将其定义为平面结构相异的、受力的三维形体,在荷载作用下呈现空间工作的结构。

#### 1.1.2 空间设计的体验

体验是人与人之间经历某一事件或者感受事物时所获得的共觉联系。空间设计的体验,顾名思义是空间设计产生的独特共觉。霍尔在“现象区”中表述:通过建筑的透视关系,局部与整体,细节、材料和空间的联系,气味、声音和尺度与人的体验互相反应,形成独特的体验。现象区包括的客观存在的色彩、光影、知觉……对应人的主观感知为造型、色彩、光影、质感、风格、装饰的感知。这些感知构成对空间设计的体验。

### 1.2 空间设计中的材料高性能化与设计时尚化

#### 1.2.1 材料高性能化

在空间设计中,高性能化材料是指区别于传统材料,在温度、磁场、应力、抗菌、结构、稳定性以及装饰性特性中有所提升的材料。这些材料能帮助表达与众不同的空间语言。面向设计主要需要考虑的材料特征有力学、热学、电学、光学、生态性能及综合性能。材料的高性能化就是使之在上述的性能中与传统材料或与竞争材料相比更具优势。

#### 1.2.2 设计时尚化

空间设计时尚化主要有两点:一是形式设计的时尚化,二是设计意味的时尚化。形式设计的时尚化主要由形式美法则中衍生,包括造型的个性化、色彩的时尚化、材料的时尚化。结构时尚化体现在和谐均衡、变化统一、对比、节奏韵律;色彩时尚化体现在明暗、色彩搭配、层次;材质时尚化体现在质感表达的感受、性格、气氛;而整体的空间又包含营造的听觉层次,整体的心灵震撼等。设计意味的时尚化主要包括:时代意义的显现、时代文化的结晶、民族特征、宗教特征等。

## 2 基于高性能钢的建筑结构与建筑空间设计造型时尚化

### 2.1 结构

#### 2.1.1 基于钢的建筑结构

随着世界各国高层、超高层以及大跨度结构建筑的林

立,建筑钢结构飞速发展。建筑钢结构以高性能钢(high performance steel, HPS)为主要材料制作成钢板、钢丝、钢绞线、钢棒、钢管等,使用焊接、粘连、螺栓固定以及常见的焊接方式,使材料互相连结构成建筑结构。钢结构中有如下几种典型的构件结构:

(1)桁架与网架结构 桁架结构和网架结构使用具有弯曲和拉伸特性的线材以承受更强的力并且在增大立体结构的跨度上节省大量材料,多用于大跨度结构的建筑桥梁设计<sup>[3]</sup>。

(2)拱与悬索结构 拱形是利用弧形推力的结构。郭彦林等<sup>[4]</sup>总结道:拱形钢结构的主要形式分为普通截面钢拱、腹板开孔钢拱、波纹拱板以及波浪(折)腹板钢等(统称实腹式截面拱),钢管桁架拱,索拱以及钢管混凝土拱。

(3)壳体与折板 壳体利用面材的转折或弯曲加强材料的强度,以形成立体姿态,壳体结构具有良好的抗压性能。壳体结构主要包括:类球面的扁薄壳体结构<sup>[5]</sup>、平型壳元、曲型壳元、消退型壳元<sup>[6]</sup>等。折板以折叠增强侧面受力达到结构稳定的效果。折板是由若干块平板组合而成空间薄壁结构(也称棱柱形折板),壳体结构是由空间曲面型板或加边缘构件组成的空间曲面结构,而折板网壳结构则结合了两者的优势。由于其组成单元为一定平面的平板网架,故在构件的加工制作、结构施工安装方面具有简单方便、机械化程度高、模块化、工厂定制化等特点。另外,折板式网壳受力性能接近于曲面网壳,其强度、刚度和稳定性均优于平板网架,用钢量也较网架少,建筑造型优美,较之平板网架具有更大的发展潜力<sup>[7]</sup>。尹淦生<sup>[8]</sup>将折板空间网壳结构归纳为3类:①单层折板网壳、②多维折板网壳、③组合折板网壳。折板网壳结构因其优良的力学性能、雅致优美的建筑造型而被广泛应用。

(4)弦支结构 弦支结构主要有平面弦支结构、双向弦支结构、空间弦支结构。弦支结构的本质是通过撑杆连接上弦受压杆件和下弦受压杆件,通过张拉结构在弦上施加预应力,使结构产生反挠度以减小荷载作用下结构最终挠度,从而形成自平衡体系<sup>[9]</sup>。

#### 2.1.2 可拆卸结构

可拆卸结构的应用对绿色生态化设计具有积极意义。在现代建筑钢结构的体系中的可拆卸钢结构主要包括:①高层及超高层钢结构、②高耸钢结构、③大跨度及空间钢结构。现代大跨度空间结构体系主要分为刚性结构体系、柔性结构体系、杂交结构体系<sup>[9]</sup>。

#### 2.1.3 连接结构

连接结构是三维中点与线连结成面形成的结构艺术。

建筑空间造型中节点是检验力流畅度的区域,同时也是构成建筑空间结构艺术的重要关节。

以下是钢结构中几种典型的连接方式:

(1)梁柱节点的基本连接方式有:焊接和螺栓。

(2)高层建筑中的连接方式:伸臂桁架连接。

赵宪忠等<sup>[10]</sup>选择上海中心第二分区加强层位置的试件进行了节点研究。研究表明,在单调荷载作用下,单斜杆网架具有良好的承载力,有助于实现“强节点和弱元件”的良性破坏机制,能满足良好的抗震目标。

## 2.2 基于高性能钢结构的时尚化建筑空间设计案例

奈尔维<sup>[11]</sup>曾经说过:“建筑不是简单的技术加艺术,而是技术与艺术相辅相成,两者之间具有根本区别。”由此可以得出结论,建筑中的艺术无形中启发着技术,技术的完善便是艺术的进步。结构亦是如此,虽然在目前的文献中,对结构应力模型的研究较多,关于数学模型的文献趋势正旺,但若能与艺术效果紧紧契合,则将更有助于提升建筑的表现力,创造深入人心的作品<sup>[12]</sup>。艾德华·爱伦指出:“若某种结构设计仅仅是为了支撑建筑结构,那就是浪费。”叔本华指出:“建筑的美感体现在其自重和支承方式……最动人的美形成于全面、合理地表达材料强度与荷载间的制约关系这一过程。”因此,结构表达在建筑的艺术性建构中必不可少。建筑师对建筑进行结构表现时,可以在建筑设计过程中理顺并妥善处理结构和性能的平衡关系。桁架结构、分形原理等钢结构是空间意义上的结构稳定,但是给观者的视觉心理合乎移情说,即观者能将结构的稳定感移架于主观精神的稳定感。

### 2.2.1 基于钢结构稳定性能的建筑空间时尚设计案例

北京新机场航站楼大跨度结构与造型视觉时尚化——视觉扩张与动态均衡。

北京新航站楼的指廊长 600 m,延展距离造成视觉扩张,而背后稳定性得益于钢网架结构,如图 1 所示。钢网架结构由支撑系统和屋盖钢结构组成,采用了 2028 t 河钢邯钢 Q345qE 桥梁板<sup>[13]</sup>。重要支承结构 C 型柱材料为 Q460GJC,屋顶钢结构材料为 Q345B。整体造型形成不规则的自由曲面空间,单体形状像巨大的海星。曲线几何图案对称统一。中心轴对称的设计方式与中国人“中正”之道契合。海星的造型具有科幻感,符合时代审美观念。但是,星型并不是完全闭合的,入口处一部分并非整体造型的一部分,而是视觉上融为一体,具有整体协作的意义和美感,符合瑞士美学家和艺术史家沃尔夫林在《艺术风格学》中的区分范畴:线描和绘图、广度与深度、封闭与开放、多样性与同一性以及清晰度和模糊性。



图 1 北京新航站楼效果图

Fig. 1 Beijing new terminal building rendering

### 2.2.2 基于钢连接性能的建筑空间造型时尚化案例

塔哈利法塔钢框架结构与造型视觉时尚化——高科技美学。

世界第一高塔哈利法塔 601 m 以上使用带交叉斜撑的钢框架<sup>[14]</sup>。大楼的结构为“扶壁”形核心筒,以螺旋上升的方式层层锁进,参差错约的结构表现出如同转动的魔方,这种变化感充分表现未来感。但是缩进的同时改变了塔楼的宽度,使得“风向混乱”,在每个缩进层风遇到不同的建筑形状,风漩涡永远得不到形成,使其具有抗风作用。

## 2.3 小结

随着技术的进步,现代建筑的时尚体现在突破传统的结构如直线筒型、塔型、立体型等,往更平展、或更富动感的螺旋型、多边形(如水银城市大厦)、不规则形(如碎片大厦)、Y 型(哈利法塔)等字母型,甚至其他多种有别于传统的建筑造型中发展,达到更宽广或是更高的建筑目标,在造型上更引人注目。这些结构的背后离不开钢结构的构件稳定性能以及节点连接性能的辅助。对于伸出建筑物很长距离的悬挑,使用网架桁架结构可以保证更好的受风应力,也能保证大型屋顶的构成;对于超高层通常使用的核心筒结构,伸臂桁架结构能很好地平衡建筑外部与核心筒的受力情况。正是基于结构的受力稳定,使得建筑造型能有更多的造型空间。设计上体现出高技派的审美体验,造型上富有多变与动态平衡特征。

## 3 空间设计用钢的高性能化发展趋势

材料的高性能化、结构的高性能化,在潜移默化中满足人们对建筑空间的各项需求:对空间尺度的需求、个性的需求、功能的需求、视觉的需求等。同样,由于人们对空间设计有着新的需求,促使了材料不断在向高性能化发展。北京市建筑设计研究院复杂结构研究院在“优质钢材在建筑结构中的应用”的报告中提出,复杂、



大跨空间结构、超高层结构、高层住宅结构、大科学装置等施工案例中对高性能钢的要求包括高强度、足够的延性;提高结构耗能能力,屈强比要求不低于 50%;防腐性能好、免维护等。

### 3.1 空间设计用钢的高强、耐候及特殊性能

#### 3.1.1 高强韧性

高强度结构钢(简称高强钢)通常是指采用微合金化及热机械轧制技术生产出的具有高强度(屈服强度大于等于 460 MPa)、良好延性、韧性以及加工性能的结构钢材<sup>[15]</sup>。

邱林波等<sup>[16]</sup>对国外建筑用高强钢现状进行了梳理,研究表明,经济发达国家极为重视使用高强钢,目前正在广泛推广 780 MPa 级别高强度钢。国外高强结构钢的力学性能总结如表 1 所示。高强钢目前在建筑结构中的应用主要包括大厦工字型截面柱、屋顶桁架结构、住宅结构。除了常规钢构件使用 Q345C、Q460GJD 等结构钢之外,一些关节轴承会采用 4Cr13 高强不锈钢,销轴采用 45#钢优质碳素结构钢;为满足更高的轻量化要求会设计使用拉索结构,如北京新机场采用了 1860 MPa 级高帆索(索氏体冷拔钢)。

传统高强钢提高强度的方式有晶粒细化、固溶强化、析出强化等,先进高强钢又引入新的相变强化方式,其组织包括马氏体、贝氏体和残余奥氏体。先进高强钢包括双相钢(DP 钢)、相变诱导塑性钢(TRIP 钢)和李晶诱导塑性钢(TWIP 钢),这些钢种与传统高强钢相比,强度和韧性都有所提升<sup>[17]</sup>。这些新钢种首先在汽车上进行轻量化设计使用,有部分品种如 QP 钢等已经实现规模量产,相信随着使用评价技术的完善,今后在建筑和空间设计中亦可以得到广泛应用。

表 1 建筑用高强结构钢的力学性能

Table 1 Mechanical properties of high strength structural steel for construction

Strength grade /MPa	Plate thickness /mm	Yield strength /MPa	Ultimate strength /MPa	Yield-strength ratio	Elongation /%
590	19~100	440~540	590~740	≤0.80	≥20
780	25~100	≥620	780~930	≤0.85	≥16

#### 3.1.2 耐候性能

贾良玖等<sup>[17]</sup>总结了我国耐候钢的主要类型,有耐候钢和焊接耐候钢。高耐候钢主要分为 Q265GNH、Q295GNH、Q310GNH、Q355GNH 这 4 种。焊接耐候钢主要分为 Q235NH、Q295NH、Q355NH、Q415NH、Q460NH、Q500NH、Q550NH 7 种。在欧洲耐候钢对应标准为 BS-EN10155,其中对使用频率高的耐候钢种类、各个品种

耐候钢的元素含量、力学性能以及生产要求进行了详细阐述。耐候钢最大的特点是具有耐腐蚀性。普通钢材受环境作用,表面易产生不均匀的锈蚀,这种锈蚀易造成钢结构破坏,导致脆性断裂。耐候钢中含有铜、镍等耐腐蚀元素,在使用过程中,此类耐腐蚀元素能在钢材表面形成致密的氧化物膜,继而保护钢材不受锈蚀,如图 2 所示。由于耐候钢具有耐腐蚀、寿命长的特点,广泛应用于铁路、桥梁、化工等工程的结构件中。

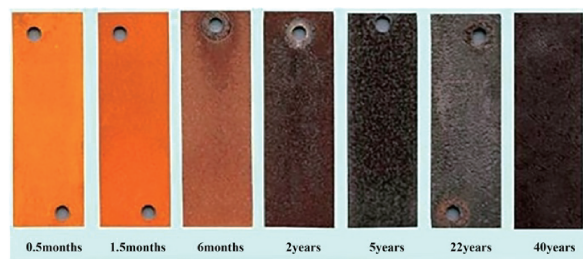


图 2 耐候钢的锈色

Fig. 2 Weathering steel rust

#### 3.1.3 特殊性能

不锈钢材料在建筑中的需求日益增长。304 钢和 430 钢的需求达到不锈钢产品的一半以上。不锈钢是无污染的绿色材料,且具有良好的抗菌性能,能成为人类的抗疾病卫士。在合金元素中,银、铋、铜、钼、钛具有较强的金属离子抗菌性能。尤其是银,作为抗菌元素,用量只需要万分之一(质量分数)即可。银可以加入任何钢使之成为抗菌钢,而不影响任何原始性能。在不锈钢中添加银离子,不会对不锈钢的加工性能和耐蚀性能造成影响。抗菌不锈钢的种类主要有涂层抗菌不锈钢、复合抗菌不锈钢、表面改性抗菌不锈钢、合金型抗菌不锈钢。除抗菌性能外,根据使用场景的不同,高强钢的性能还有低磁、无磁、超导等性能,在生活中各个细节发挥能动作用。

近期研究发现,在不锈钢表层用激光刻蚀不同的形貌,利用光的反射和折射效应,获得了不同的不锈钢表层肤色,称之为不锈钢彩色激光打印“Color laser printing”,其分辨率可达每平方英寸 1000 点<sup>[18]</sup>。这项技术将赋予采用不锈钢的空间设计更多设计维度。

#### 3.1.4 空间设计用高性能钢的新发展

##### (1) 高强韧复相组织设计

人们从自然界贝壳和骨骼的高强韧结构得到启发,发现将软相和硬相复合,尤其是设计成层片状结构,可以实现最佳的强韧性<sup>[19]</sup>。为了满足现代化建筑对高强钢综合性能的要求,采用等温淬火得到的具有贝氏体以及在板条间有残余奥氏体薄膜的纳米贝氏体钢,或者采用两相区逆相变得到的具有铁素体和奥氏体层片结构的中

锰钢等。具有复相高强韧组织的新钢种开发和该类钢在建筑领域的应用,是一个值得关注的方向。

脉冲电流回火可以在不降低硬度和强度的前提下提高试样的断后伸长率,而传统回火是降低硬度和强度以提高断后伸长率,这主要是因为脉冲电流回火在消除残余应力的同时,淬火马氏体分解较少,且析出的细小碳化物可以起到弥散强化的作用<sup>[20]</sup>。

使用水-空交替的新型热处理 QPT 工艺代替传统油(介质)淬火和回火工艺,可以使现有牌号的钢种性能实现大幅提升。研究表明,经 QPT 处理后的 Q235 钢(QPT235 钢)强度得到了大幅度的提升:屈服强度和抗拉强度分别达到 435 和 615 MPa。采用相同焊料和焊接工艺,QPT235 钢焊接接头的力学性能比 Q235 钢显著提高<sup>[21]</sup>。

### (2) 易焊接和可大线能量焊接

新日本制铁株式会社(Nippon Steel Corporation)开发用于钢结构建筑的钢板 WELTEN 系列可焊接高强板、耐腐蚀钢板、抗震用低屈服点;日本神户制钢公司(Kobe Steel, Ltd.)开发的大线能量焊接技术主要是焊接热影响区韧化技术(KST),该技术可利用析出的 TiN 抑制焊接时  $\gamma$  晶粒粗大化,同时促进  $\alpha$  相析出。将 KST 技术与 TMCP(thermal mechanical control process)技术结合,可同时获得良好热影响区(HAZ)韧性、母材高强度和高韧性<sup>[22]</sup>。

### (3) 组装免焊接

浦项制铁与浦项产业科学研究院(RIST)联合开发的超高层建筑用超高强度钢 HSA800 采用 TMCP 工艺制成,其抗拉强度为 800~950 MPa,屈服强度为 650~770 MPa。与现有建筑结构用钢 SM570 相比,最低抗拉强度提高了 40%以上。该钢种屈服比限制在 0.85 以下,确保了稳定性和抗震性。采用 HSA800 钢组装的悬臂梁没有采用焊接处理,与 SM490 钢相比,承重结构可以减重 30%,还可缩短 10%的建造周期。在加工和安装过程中可以减少二氧化碳排放量,因此在工程施工中可以降低对环境的影响,具有广阔的市场需求<sup>[23]</sup>。

## 3.2 基于高性能化高强钢的空间设计时尚化案例

### 3.2.1 基于高强钢耐候性能的建筑空间时尚设计案例

耐候钢在景观设计中重要的应用为<sup>[24]</sup>:①可塑性,利用耐候钢不同于石材木材等的塑性制作雕塑;②分割性,因其强韧性能佳,可制作薄形态进行空间分隔;③变化性,钢板的腐蚀随着时间的推移呈现色泽和肌理的变化。目前耐候钢的应用有:2010 年世博会澳大利亚馆和卢森堡馆外墙材料、挪威 Schandorff 广场城市休闲空间、武钢技术中心大厦梁和支撑柱、临安青山湖绿道等<sup>[25]</sup>。

视觉上:随着锈层不断生成致密的保护膜,受到湿度、温度、光照等不同环境变化的影响,耐候钢的色彩从鲜亮的红褐色变成暗淡的深蓝灰色。而耐候钢锈蚀的表面和粗糙的肌理,独具刚毅性格特色,适合工业风格空间。

视觉上:色彩对人的作用较为直接。从物理作用上看,耐候钢的红色使人感受到暖。在尺度上,红色等使人感受到逼近,在空旷的空间中使用红色可以使空间获得缩小感。从生理作用上看,红色使人亢奋。从心理作用看,红色最富刺激性,象征明媚的烈日<sup>[26]</sup>。

### 3.2.2 基于高强钢特殊性能的建筑空间时尚设计案例

目前已有的抗菌不锈钢有:表面涂层抗菌不锈钢、复合抗菌不锈钢、表面改性抗菌不锈钢及合金抗菌不锈钢<sup>[27]</sup>。铁素体抗菌不锈钢主要被用于室内装饰、家电。目前抗菌不锈钢在空间设计中主要用于公共场所如车站、电话亭、护栏等设施。在空间设计中使用抗菌不锈钢,尤其是公共空间中,可增加人们心中对空间的安全感,同时也传达了技术给生活带来的改变,无需担心交叉感染。视觉上铁素体抗菌不锈钢具有色彩光亮、抛光性能好的特点,在空间设计中适用于高反射率的设计部分。使用抗菌性能的钢材料不仅对人们具有良好的心理暗示作用,同时具有建筑技术审美的认识功能与教育功能,维系人与建筑之间的稳定信任关系。

## 3.3 小结

本章列举了 3 种高性能化高强钢,其性能为:高屈服强度、耐候性能以及特殊性能(以抗菌性能为例)。高屈服强度的要求在建筑结构中最为常用,新的建筑形式对空间的流动交互有更高的要求,因此需要屈服强度更强的钢材作为支撑柱,满足虚空间的设计。耐候性能的时间变化与暖色调在景观设计中较为常用。具有抗菌性能的特殊性能钢材能帮助人们建立对公共空间的心理信任关系,以及对建筑的审美认知和对材料的教育认知功能。

## 4 结 语

### 4.1 总结

本文梳理了建筑钢结构的开发与应用现状,分析了基于钢结构稳定性能而建的北京新航站楼其造型具有动态均衡之美;基于钢结构连接性能而建的哈利法塔等高层、超高层结构建筑具有视觉新意并且具有高科技美学特征。在造型上,科技风、几何风、动感不规则风格的建筑是目前的时尚建筑形式。对科技风使用的钢材料的材质需突出科技感,色彩光亮、质地坚硬。几何风格则是以脱地、大平面、硬切转折为特色,对支撑柱的受力

要求较高。动感不规则风格的建筑依然有隔断设计,但是对造型的要求更甚以往。在色彩上,高性能钢材料中的耐候钢能很好地利用色彩饱和度优势与周围绿植环境形成对比,且自身的氧化过程是一副缓慢的时间简史,值得细细寻味。总之,钢材材料的高性能化发展对建筑空间设计意义重大。设计者要保持超越的思维,用科技的手段和发展的眼光,以及颠覆性的想象立足传统建筑材料本身,认真分析现有材料的特性以及可以改进的变量,对材料进行基因设计,对结构进行多方尝试进行重组排列,搭上当下城市高速发展的顺风车,设计出低碳、绿色、节能并且风格独特、时尚顶尖的建筑空间。

## 4.2 展望

通过对钢材料高性能化与空间设计时尚化的调研,对未来空间设计中使用高性能钢进行以下展望:

### (1) 表现“力”的时尚造型——超高强度钢

在现代大跨度大屋盖的建筑物中,索桁结构的应用不仅使屋檐的延展范围扩展,同时可塑造更加丰富的流线造型。网架索桁是细密的力的结构,梁弯矩型、香蕉型等弯曲的梁结构在考验钢材抗弯性能、延性、强度的基础上又确保了曲线形态的柔美。无论是线性的柔美或是面的流曲,都依托于材料性能的不断强化与综合。建筑中更轻便易于更替的结构需要高强钢这样的绿色材料。在当代,人们对虚空间的设计要求,也对高强钢有保持受力的同时更细或者结构更简洁的要求。

### (2) 表现“内·外空间”的时尚造型——结构

早期的高技派建筑中,有许多都使用了张拉结构体系。诺曼·福斯特(Norman Foster)为雷诺汽车零件配送中心(Renault Distribution Center, 1982),布置了一系列标准的结构单元,如图3所示,中心是16 m高的细长桅杆,由钢索向4个角点悬挂起中部计算跨度为24 m的拱形钢架,形成具有波浪般韵律感的屋面<sup>[28]</sup>。

建筑空间设计不仅仅是内部的空间,还包括更多与外部虚空间的互动,例如大跨度钢屋盖、钢网壳结构与天际的糅合。具有空间表现力的时尚屋盖对具有夸张表现力的屋盖材料提出了新的要求。空间设计中的材料具有赋予物质纯粹物质性表皮特征的特点,结构的重复韵律改变了对结构的固有印象,新的结构例如重复的张拉结构等产生了新的表面视觉。细钢丝在视觉上具有节奏运动的灵活,其扭曲的线形规律可塑造起伏的曲面。如张拉结构,此类“外向”的具有视觉看点的结构在未来的建筑设计中将有更大的发展空间。

### (3) 建筑外表肤色时尚——钢结构的视觉效果

光的冷暖、温度与阴影的对比,不仅对投影面有影响,对温度、湿度、甚至电流、能量都有直接的影响,



图3 雷诺汽车零件配送中心

Fig. 3 Renault auto parts distribution center

光对材料的硬度、色彩、反射、纹理、结构等都有间接的影响。对于未来的建筑设计,可以利用建筑受光的温差,材料在受光时间的温度和非受光时间段的温度对材料造成的物理量影响,达到建筑的自我结构改变。充分利用地理条件中的湿度、温度等条件,控制钢本身的色彩肌理变化,塑造或光滑、反射性强的设计,或粗糙、反射率低,或吸光或透光的材质,给予建筑空间设计不同的视觉语言。根据材质本身的颜色,在设计幕墙结构时使用如马氏体不锈钢材料的反射性能设计更时尚新锐的表皮,使用耐候钢塑造历史感凝重的表皮,使用雾化的反射率低的材质制作成更迷幻充满未来感的表皮。

综合空间设计用钢的高强、时尚外表肤色与多功能化和基于高性能钢空间结构的多样性,即空间设计用钢的高性能化给予建筑空间设计更多的表达要素,强化了人与建筑关系的联系和自由度。高强度钢适合具有力表现的建筑空间、张拉结构适合互动空间设计、随光影响而变化的钢材适合个性化建筑肤色设计。在材料上,通过对温度、磁场、应力、抗菌等性能创新手段提升设计竞争力;在设计上,通过形式变异,视觉材质变异对材质设计提出新的要求,由两者共同塑造时尚化的空间设计。

## 参考文献 References

- [1] 钱正坤. 世界建筑风格史[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2005. QIAN Z K. World Architecture History[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2005.
- [2] 陈志华, 刘红波, 周婷, 等. 空间钢结构 APDL 参数化计算与分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013. CHEN Z H, LIU H B, ZHOU T, et al. Parametric Calculation and Analysis of APDL in Space Steel Construction[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2013.
- [3] 许之敏, 陈永平. 立体构成(第三版)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 102.



- XU Z M, CHEN Y P. Three-Dimensional Composition (Third Edition) [M]. Beijing: China Industry Press, 2012: 102.
- [4] 郭彦林, 窦超. 建筑结构学报[J], 2012, 33(07): 1-17+26.
- GUO Y L, DOU C. Journal of Building Structures[J], 2012, 33(07): 1-17+26.
- [5] 胡定钟. 吉林大学学报(自然科学版)[J], 1963(02): 191-212.
- HU D Z. Journal of Jilin University(Science Edition)[J], 1963(02): 191-212.
- [6] 龙驭球. 壳体有限元述评[C]//第三届全国结构工程学术会议论文集(上). 北京: 中国机械学会工程力学编委会, 1994: 6.
- LONG Y Q. A Review of Shell Finite Element Method[C]// Proceedings of the 3<sup>rd</sup> National Conference on Structural Engineering. Beijing: Editorial Board of Engineering Mechanics, Chinese Society of Mechanics, 1994: 6.
- [7] 董石麟, 罗尧治, 赵阳, 等. 新型空间结构分析、设计与施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- DONG S L, LUO Y Z, ZHAO Y, *et al.* Analysis, Design and Construction of New Spatial Structure[M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [8] 尹淦生. 低温建筑技术[J], 2013, 35(02): 74-76.
- YIN G S. Low Temperature Architecture Technology [J], 2013, 35(02): 74-76.
- [9] 罗永峰. 建筑钢结构稳定理论与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- LUO Y F. Theory and Application of Building Steel Structure Stability [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [10] 赵宪忠, 王斌, 陈以一, 等. 建筑结构学报[J], 2013, 34(02): 20-28.
- ZHAO X Z, WANG B, CHEN Y Y, *et al.* Journal of Building Structures[J], 2013, 34(02): 20-28.
- [11] 奈尔维. 建筑的技术与艺术[M]. 黄运升, 周卜颐 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981: 1.
- NERVI P L. Architectural Technology and Art [M]. Translated by HUANG Y S, ZHOU B Y. Beijing: China Construction Industry Press, 1981: 1.
- [12] 徐伟琦, 段翔, 吴定峰. 武汉轻工大学学报[J], 2014, 33(02): 88-92.
- XU W Q, DUAN X, WU D F. Journal of Building Structures [J], 2014, 33(02): 88-92.
- [13] 张永猛. 河钢邯钢桥梁板助力首都新机场工程[EB/OL]. (2018-03-19). [http://hebei.hebnews.cn/2018-03/19/content\\_6815981.htm?from=timeline](http://hebei.hebnews.cn/2018-03/19/content_6815981.htm?from=timeline)
- ZHANG Y M. Hegang Hangang Steel Bridge Slab Helps Capital New Airport Project [EB/OL]. (2018-03-19). [http://hebei.hebnews.cn/2018-03/19/content\\_6815981.htm?from=timeline](http://hebei.hebnews.cn/2018-03/19/content_6815981.htm?from=timeline)
- [14] 叶浩, 张逸昆, 笪津榕, 等. 商[J], 2013(11Z): 84.
- YE H, ZHANG Y K, DA J R, *et al.* Business[J], 2013(11Z): 84.
- [15] 王利, 钟勇, 陆匠心. 宝钢先进高强钢近期开发和应用进展[N]. 世界金属导报, 2017-01-03.
- WANG L, ZHONG Y, LU J X. Recent Development and Application Progress of Advanced High Strength Steel in Baosteel[N]. World Metals, 2017-01-03.
- [16] 邱林波, 刘毅, 侯兆新, 等. 工业建筑[J], 2014, 44(03): 1-5+47.
- QIU L B, LIU Y, HOU Z X, *et al.* Industrial Construction[J], 2014, 44(03): 1-5+47.
- [17] 贾良玖, 董洋. 工业建筑[J], 2016, 46(07): 1-9.
- JIA J L, DONG Y. Industrial Construction[J], 2016, 46(07): 1-9.
- [18] MINSEOK S, MYEONGKYU L. Acta Materialia[J], 2018, 159: 1-7.
- [19] KOYAMA M, ZHANG Z, WANG M, *et al.* Science[J], 2017, 355(6329): 1055-1057.
- [20] 丰燕, 谭泽熙. 热加工工艺[J], 2018, 47(10): 211-215.
- FENG Y, TAN Z X. Hot Working Technology [J], 2018, 47(10): 211-215.
- [21] 贾晓帅, 左训伟, 陈乃录. 金属学报[J], 2013, 49(01): 35-42.
- JIA X S, ZUO X W, CHEN N L. Acta Metallurgica Sinica[J], 2013, 49(01): 35-42.
- [22] 黄维, 高真凤, 张志勤. 建筑钢结构进展[J], 2015, 17(01): 1-6.
- HUA W, GAO Z F, ZHANG Z Q. Progress in Steel Building Structures [J], 2015, 17(01): 1-6.
- [23] 佚名. 鞍钢技术[J], 2015(01): 26.
- Anon. Angang Technology[J], 2015(01): 26.
- [24] 余作海. 山东林业科技[J], 2018, 48(02): 74-76+81.
- YU Z H. Journal of Shandong Forestry Science and Technology [J], 2018, 48(02): 74-76+81.
- [25] 叶勇健, 陈素文. 耐候钢的研究与应用[C]//2015 中国钢结构行业大会论文集. 山东: 中国钢结构协会, 2015: 8.
- YE Y J, CHEN S W. Research and Application of Weatherproof [C]// Proceedings of 2015 China Steel Structure Industry Conference. Shandong: China Iron and Steel Association, 2015: 8.
- [26] 许祖华. 建筑美学简明教程[M]. 武汉: 华中师范大学出版社, 2008: 183.
- XU Z H. Concise Tutorial on Architectural Aesthetics [M]. Wuhan: Central China Normal University Press, 2008: 183.
- [27] 张文毓. 装备机械[J], 2016(02): 68-71+74.
- ZHANG W Y. Equipment Machinery[J], 2016(02): 68-71+74.
- [28] 王嵩. 建筑结构 | 80 后结构与建筑跨界达人谈现代建筑结构的 14 种表现策略[EB/OL]. (2016-09-06). <http://www.weixin765.com/doc/cbjyqf.html>
- WANG S. Building Structure | Post-80s Structures and Architectural Transboundary Talkers Talk about 14 Performance Strategies of Modern Architectural Structures [EB/OL] (2016-09-06). <http://www.weixin765.com/doc/cbjyqf.html>