

# 大跨度钢结构检测技术发展应用探究

罗超

(广西壮族自治区建筑工程质量检测中心有限公司, 广西 南宁 530005)

**摘要:** 钢结构因其自重轻、强度高、造型优美和施工快捷等优点,是大跨度结构的首选形式。大跨度钢结构检测技术具有检测速度快、检测精度高、检测数据全面等特点,有着极为广泛的应用,也是保证大跨度钢结构工程质量和安全的重要手段。对新时代大跨度钢结构检测技术发展应用进行探讨,希望为施工、检测和建设单位提供参考。

**关键词:** 新时代;大跨度钢结构;检测技术;发展应用

**中图分类号:** TU758.11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1004-7344(2023)48-0181-03

## 1 大跨度钢结构检测技术应用必要性

大跨度钢结构一般是指跨度等于或大于 60m 的钢结构,可采用桁架、刚架或拱等平面结构或网架、网壳、悬索结构和索膜结构等空间结构<sup>[1]</sup>。因钢结构强度高、变形能力强等优点,特别适合建造大跨度结构的建筑物,如大会堂、体育馆和大跨度厂房等<sup>[2]</sup>。但是,钢结构在稳定性和耐久性等方面存在较大弊端,必须对这些薄弱环节进行检测以保障质量和安全,大跨度钢结构检测技术是保证大跨度钢结构工程施工质量和安全性能的重要手段。

## 2 大跨度钢结构检测技术

大跨度钢结构检测技术类型按检测具体实施地点分为见证取样检测和施工现场检测两类,见证取样检测在实验室内完成,主要包括钢材力学性能检测、钢材化学成分分析、高强度螺栓检测、钢结构焊接工艺评定试验等。大跨度钢结构施工现场检测包括钢结构构件几何尺寸检测、焊缝无损检测、外观质量检查、变形检测、现场涂装检测、应力测试等主控项目的检测内容。

### 2.1 钢材力学性能检测

钢材力学性能检测是分析、评估钢材或结构力学性能的技术手段,主要检测包括钢材拉伸性能、冲击韧性、硬度等关键指标。

(1) 拉伸试验是指把一定尺寸和形状的钢材试样装夹在试验机上,然后对试样逐渐施加拉力载荷,直至把试样拉断为止。根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量测算屈服强度、抗压强度和伸长率 3 个技术参数。

(2) 钢材冲击试验主要是为了评估钢材在承受高速冲击和震动时表现的能力,从而为大跨度钢结构的钢材选择和使用提供依据。通过冲击试验可以对钢材

的性能进行分析和比较,选用符合使用需求的钢材。实际应用最广泛的冲击试验方法是冲击韧性试验,该方法能确定钢材样品的韧性和抗冲击性能,为设计和施工提供参考。

(3) 钢材硬度是指钢材抵抗局部塑性变形或表面损伤的能力。硬度与强度有一定关系,一般情况下,硬度较高的材料其强度也较高,所以可以通过测试硬度来估算材料强度。此外,硬度较高的材料耐磨性较好。钢材硬度试验主要有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HR)、维氏硬度(HV)、里氏硬度(HL) 4 种方法。

### 2.2 钢材化学成分分析

钢材的化学成分是钢材中各种元素的质量百分比,钢材的成分分析就是鉴定分析钢材中所含元素的含量百分比。对于碳钢,一般分析 C、Si、Mn、P、S 元素,对合金钢而言,除了以上五种元素外,还要分析一些特定的合金元素。光谱分析法是指采用光谱仪器分析钢材的化学成分,因其操作简单、测定结果准确度高、能同时分析多种被测元素,易于实现自动检测,应用较为广泛。

### 2.3 高强度螺栓检测

高强螺栓连接是紧固件连接的主要形式,而紧固件连接又是最常用的钢结构的连接形式之一,因此高强度螺栓质量对于大跨度钢结构连接部位质量控制至关重要。使用万能材料试验机、扭矩系数测定装置、压力传感器和电阻应变仪等测定高强度螺栓扭矩系数和高强度螺栓抗滑移摩擦系数两项主要指标,能直接判定高强度螺栓质量,保障构件之间的高强度螺栓连接质量和安全。

### 2.4 外观质量检查

外观质量检查是所有检测项目的基础,外观质量检查包括构件布置是否与设计文件一致、构件是否有

变形或歪闪、连接处是否有缺陷等。如现场实际安装的杆件规格及位置与设计图纸基本一致,构件未发现明显影响安全及使用性能的变形、倾斜等现象,对各连接处进行目视检查,未发现目视可见的缺陷,则判定外观质量检查合格。

## 2.5 构件几何尺寸检测

构件几何尺寸检测主要使用钢卷尺及游标卡尺对具有代表性的抽取构件进行多次测量,取其代表值,通过代表值与设计值对比,在偏差允许范围内的判定为合格<sup>[9]</sup>。

## 2.6 焊缝无损检测

焊接连接是大跨度钢结构构件的主要连接形式之一,而焊缝质量是焊接连接质量最关键指标之一,焊缝无损检测能有效控制焊缝的质。所谓焊缝无损检测是指在不损坏焊缝及母材的基础上,利用超声波、射线、激光等技术和专用设备器材,按照规定的技术要求,对焊缝及母材的内部及表面的进行检查和测试的方法<sup>[9]</sup>。下面介绍五大常规焊缝无损检测技术。

### 2.6.1 目视检测

目视检测(VT)是指用人的眼睛或借助于光学仪器对焊缝表面作观察或测量的一种检测方法,是其他无损检测的基础<sup>[9]</sup>。目视检测是最简单、最基础的无损检测方法,通过目视检测主要能发现焊缝未焊透、焊缝夹渣、焊缝表面气孔、焊瘤现象及目视可见的裂纹等缺陷,能直接判断出缺陷的形状大小、具体位置以及缺陷的性质,但检测的效果受人因素为影响较大。

### 2.6.2 超声波检测

超声波检测(UT)是利用高频超声波信号传导和反射检测物体内部缺陷的一种常用无损检测方法,因其检测高效及时和成本较低,是检测焊缝内部缺陷最主要和应用最广的无损检测方法。超声波检测的特点是对焊缝内存在的面积缺陷检出率较高,但较难检测粗晶材料焊缝中存在的缺陷和体积状缺陷;能确定缺陷的位置和相对尺寸,但较难确定体积状缺陷的具体性质。

### 2.6.3 射线检测

射线检测(RT)是指利用被检构件本身及缺陷对射线产生不同吸收和散射的特性,对被检构件内部及表面质量进行判断的一种无损检测方法。射线检测能够比较准确地判断出焊缝缺陷的性质、数量、尺寸和位置,但对焊缝内部缺陷的具体深度和高度判断不够准确。另外,因射线检测有一定的辐射危险,检测时应注意人身安全和隔离周边环境。

### 2.6.4 磁粉检测

磁粉检测(MT)是一种利用漏磁和磁粉相互作用以发现表面和近表面不连续性的无损检测方法,能发现不连续性的位置、大小、形状和严重程度<sup>[9]</sup>。与其他工程建设材料不同,大跨度钢结构采用钢材是铁磁性材料可以在一定条件下被磁化,而磁粉检测能检测出钢结构焊缝中的表面开口缺陷和近表面缺陷,但难以检测几何结构复杂的构件。又因磁粉检测准确高、检测速度快和检测费用低,常被用于检测焊缝表面缺陷。

### 2.6.5 渗透检测

渗透检测(PT)是先在构件表面施涂含有荧光染料或着色染料的渗透液,一段时间后去除表面多余的渗透液,再施涂显象剂,显示出缺陷处的渗透液痕迹,以检测出焊缝的表面缺陷的一种无损检测方法。渗透检测只能检测出焊缝及母材的表面开口缺陷,无法检测出焊缝及母材内部缺陷和表面闭合型缺陷。因检测程序烦琐、检测时间久、材料贵且易燃、有毒,检测灵敏度比磁粉检测低,因此焊缝表面检测首选是磁粉检测,其次才是渗透检测。

由于每一种无损检测方法本身都有其局限性,不能适用于所有焊缝检测和所有缺陷,为了提高检测结果的准确性,开展检测前,先根据焊缝的材质、坡口型式、焊条类型、焊接条件等,初步判断缺陷的种类、形状、数量等,再根据各自无损检测方法的优缺点选择最合适的检测方法<sup>[9]</sup>。例如,检测焊缝表面细小的裂纹就不应选择射线和超声波检测,而应选择磁粉和渗透检测。而且任何一种无损检测方法都不是万能的,如果可能,应同时采用多种方法,以便保证各种检测方法互相取长补短。

## 2.7 变形检测

钢结构变形是影响结构受力性能和结构安全的重要因素,主要指标包含:结构节点挠度、桁架主平面弯曲变形,构件截面扭曲变形等。检测和控制这些变形,是控制钢结构施工质量和安全使用的首要任务。随着钢材性能的不断强化和施工技术的大幅提升,为了节约成本,大跨度钢结构构件一直在向轻量化、薄壁化发展,导致失稳现象明显增多。重视在施工过程中检测并控制钢结构的各种初始变形,可以有效降低钢结构发生失稳的风险。大跨度钢结构变形检测主要采用包括经纬仪、水准仪、全站仪、水平尺、钢尺、电阻应变仪、振弦式传感器等仪器设备,检测大跨度钢结构构件跨中垂直度、弯曲矢高、垂直度、主体结构整体垂直度、主

体结构的整体平面弯曲、钢网架挠度等主控内容。

## 2.8 现场涂装检测

因钢结构耐腐蚀性能差、耐火性能差,通常采取涂刷防腐、防火涂料来强化钢结构耐久性能。大跨度钢结构现场涂装主要包括防火涂料和防腐漆两部分,下文以防火涂料检测为例进行介绍。

通常是采取对钢结构表面喷或涂刷防火材料或包裹耐火材料等办法保护钢结构不被火焰直接烧烤而提高其抗火能力<sup>[8]</sup>。钢结构防火涂料具有施工方便快捷、防火隔热性能优良等优点,应用最为广泛。按标准规定对钢结构构件涂刷防火涂料能极大强化钢结构耐火性能,而防火涂料的产品质量和现场施工涂刷防火涂料厚度直接影响耐火性能的好坏。防火涂料涂层厚度检测是指用涂层厚度测量仪、测针和钢尺对钢结构构件进行防火涂料涂层厚度检测。

## 2.9 应力测试

大跨度钢结构的承载结构件由于加工制造、焊接变形造成的残余应力以及在使用过程中动、静载荷的作用下产生应力集中都会使其机械特性发生改变,会对承载结构件的力学性能、耐腐蚀性、疲劳强度和形状精度等产生较大的影响<sup>[9]</sup>。因此,对大跨度钢结构进行应力测试,有利于控制关键部位的应力变化,并及时采取处理措施。应力测试方法根据其原理主要分为电磁检测法、机械检测法、衍射检测法、超声波检测法等。

## 3 大跨度钢结构检测技术应用实例

某体育馆屋面为网壳结构,地上三层,地下一层,建筑总面积 21665.75m<sup>2</sup>,短向跨度为 82.8m,长向跨度 97.2m,结构设计使用年限为 50 年,结构安全等级为一级。采用正放四角锥双层网壳结构,网壳采用下弦周边柱点加中间多点支撑,周边支座采用刚接支座节点,中间支座采用橡胶板式支座节点。该网壳工程于 2019 年 10 月开工,于 2022 年 8 月完工。根据国家标准和现场实际,检测单位对该工程的钢材、螺栓球、高强度螺栓等进行了见证取样检测,在工程现场进行了构件尺寸检测、涂层厚度检测、焊缝超声波和磁粉检测、变形检测等。

(1) 对该工程钢网架杆件与端板、锥头,加肋板与螺栓球、支座的连接焊缝合计抽检 1201.6m。本次检测中 1036.2m 焊缝首次检测合格,140.3m 焊缝返修一次后检测合格,20.4m 焊缝返修二次后检测合格,4.7m 焊缝不合格,重新制作后检测合格。

(2) 本次共对 9426 个构件(弦杆、腹杆和螺栓球

等)进行防腐涂层厚度检测。其中 6356 个构件首次检测合格,2443 个构件返修一次后检测合格,627 个构件返修两次后检测合格。

(3) 本次共对 9426 个构件(弦杆、腹杆和螺栓球等)进行防火涂料涂层厚度检测,其中 7632 个构件首次检测合格,1633 个构件返修一次后检测合格,161 个构件返修两次后检测合格。

(4) 总拼完成后对 18 个挠度观测点进行观测。经检测,18 个挠度观测点均合格。屋面工程完工后再对 18 个挠度观测点进行观测。经检测,17 个挠度观测点合格,1 个观测点经处理后检测合格。

## 4 结语

综上所述,大跨度钢结构工程检测技术已被广泛应用于工程实际,为大跨度钢结构工程质量和安全提供了重要的技术支撑,为推动大跨度钢结构工程事业高质量发展发挥了积极作用。大跨度钢结构工程检测技术正在不断向数字化、智能化和自动化方向发展,从检测数据产生、数据采集、数据存取、数据处理等各个环节实现全过程数字化监管,将会大大提高大跨度钢结构检测工作效率和检测精度。

### 参考文献

- [1] 余蕾蕾.基于五模晶格的大跨度结构支座的设计与力学性能分析[D].秦皇岛:燕山大学,2022.
- [2] 王雯.钢结构大跨通廊施工挠度较大原因分析及解决[J].工业设计,2016(8):155-157.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.钢结构现场检测技术标准:GB/T 50621—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [4] 刘兵.论压力容器无损检测新技术的原理和应用[J].清洗世界,2021,37(4):115-116.
- [5] 朱颖.薄板构件损伤非线性 Lamb 波检测中的关键问题研究[D].长沙:国防科技大学,2021.
- [6] 徐文连.磁粉探伤机(仪)相关规程(规范)比较[J].中国计量,2013(2):116-117.
- [7] 杨超.无损检测与压力容器安全的关系[J].硫磷设计与粉体工程,2019(2):13-15,5.
- [8] 王琪.基于 ANSYS 的钢框架非线性抗火分析及防火涂料的应用[D].桂林:桂林理工大学,2008.
- [9] 胡斌.应力测试方法的现状及发展趋势[J].中国特种设备安全,2015,31(12):1-9.

作者简介:罗超(1988—),男,汉族,广西桂林人,本科,工程师,主要从事建筑工程质量检测工作。