

钢结构公共建筑安全检测技术探析

汪洋

(上海豪米建设工程技术服务有限公司 上海市 201805)

摘要: 对钢结构公共建筑常用的检测技术及适用范围进行了分析;从钢结构的特点、应用范围、检测技术的分类、钢材检测的必要性和优缺点等方面进行了论述;进行了钢结构力学性能检测、钢构件无损检测以及疲劳检测、锈蚀检测的研究;达到了说明检测技术对钢结构公共建筑的质量保证有重大意义的效果;解决了检测技术对不同结构部位如何应用的问题。

关键词: 钢结构、力学性能、无损检测、检测技术

0. 前言

随着科技进步,很多建筑师把钢材引进建筑领域。最早的钢结构建筑出现在英国,英国工厂的砖墙跨度较小,影响机器的布置和工人的劳动,于是,建筑师便尝试了钢框架厂房,但是当时人们对于钢材的技术性能和质量检测都知之甚少,比如耐火方面的检测就缺少认识。后期随着钢结构的发展,检测技术也不断更新,钢结构的工程事故也降低很多。

1851年,英国伦敦建造了水晶宫,以钢铁为骨架、玻璃为建材,可以说,水晶宫完全具备了现代建筑的特点,但是水晶宫的检测技术并不成熟,尤其是防火的检测并没引起设计师的重视,以至于这座划时代的建筑物在1936年毁于大火。

1. 钢结构的特点

1.1 钢材的优缺点

随着建筑师和结构师对钢材的深入研究,逐渐发现钢结构在建筑物设计中,存在许多优点,比如钢材强度高但是重量轻,材料均匀并且各向同性,施工质量好,但是工期短,用螺栓连接的钢结构建筑,还便于装卸和移动,绿色环保,节约材料。钢结构建筑越来越多的应用于工业厂房、高层建筑、大跨度公共建筑以及地标性建筑等等。钢结构也有相应的缺点,比如防火性能、耐腐蚀性都比较差,钢构件多数截面小、厚度薄,稳定性较差,并且在连接的节点部位容易发生错动,根据以上的特点,钢结构质量的检测就亟需完善和应用。

1.2 钢结构公共建筑检测技术概述

在建筑工程蓬勃发展的同时,质量的检测越来越受到技术人员的重视,因为在设计、施工、验收等阶段,只有对工程性能的检测合格,工程质量才能有所保障,建筑的安全性和耐久性才能有所归属。钢结构多数应用于公共建筑,是对质量要求较高的结构体系,特别是对设计标准、数据计算的精准度。但是,在工程设计与施工中,往往会出现质量问题,如果不及时检测,有可能留下安全隐患。现代对于钢结构公共建筑的检测,主要涉及两个方面,第一是材料本身,例如钢材的冷弯性能、塑形、韧性、力学性能等等,这些技术指标主要通过试验获得,在实验室可以检测材料质量的好坏。第二是结构体系的性能检测,例如钢材尺寸是否符合设计标准,钢构件的连接是否按照规范施工,结构内部是否存在质量缺陷,钢材防腐是否符合规范要求等等。钢结构的检测涉及多个方面,是对结构性能的综合考查。

2 工程实例分析

2.1 项目介绍

上海金虹桥国际中心商场钢结构顶棚项目建造于2014年。采用钢结构网架和膜结构结合的技术(见图1)。目前因顶棚结构积水导致钢梁出现下挠、断裂现象,故使用钢结构常用检测技术对其安全性进行全面检测,包括焊缝超声波检测、结构变形检测、涂层厚度检测、构件几何尺寸复核、结构承载力验算等等,检测依据的规范有《钢结构现场检测技术标准》、《钢结构工程施工质量验收标准》、《钢结构超声波质量探伤

及质量分级法》等等。

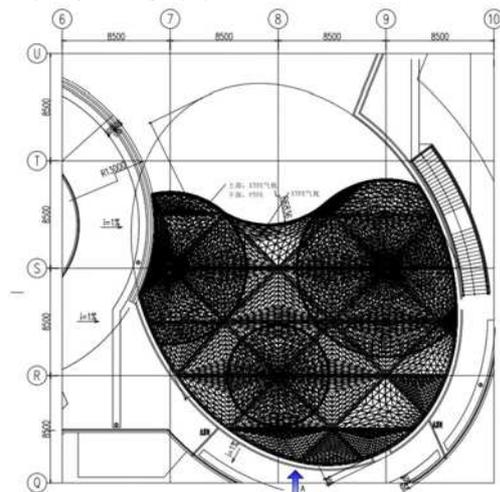


图1 钢结构顶棚平面图

2.2 钢结构挠度检测

钢结构因为材料轻质高强,所以建筑物的跨度一般很大,有的几十米,本商场顶棚最大跨度将近20米,在如此大的跨度之下,钢屋架或者钢梁的挠度检测就显着尤为重要。挠度是细长物体,比如梁、柱或者楼板的在受到外力变形时,各点沿垂直轴线方向偏移的位移量,或者沿面法线上的位移量。最大挠度经常成为结构稳定性的参考标准,在钢结构中,最大挠度的检测可以表现结构体系的安全性和适用性。

对挠度的检测,传统常用的方法是观察法,即在支座的支撑点拉直线或者拉钢丝并通过测量的方式检测结构的挠度。这种检测方法设备简单,在跨度较大的时候,可以分段多点检测,提高检测精度,但是传统的观察法检测挠度的准确性不高,而且操作范围有限,比如在山区的桥梁、峡谷的铁轨,直接观察法都收到很大的局限性。

对于本工程顶棚钢结构的检测,采用了现代新兴的挠度检测法,即添加了全站仪,首先在图纸上确定测量点的位置(见图2),

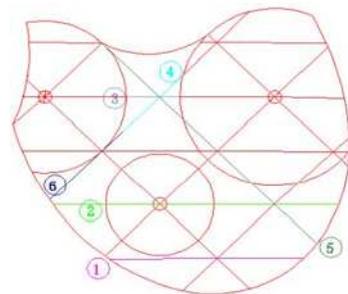


图2 钢梁挠度检测示意图

然后通过仪器计算钢结构挠度的数值，并汇编成图表（见图3），仪器检测相对精准，根据检测数据可判断钢结构各个部位的安全性能。

钢梁编号	第一点 (mm)	第二点 (mm)	第三点 (mm)	变形量 (mm)
1	14288	14166	14363	170
2	14445	14452	14482	120
3	14165	13900	14020	175
4	14036	14007	14066	109
5	14101	13993	14044	108
6	14124	14116	13996	128

图3 钢梁各点检测数据

检测结果表明：对本项目钢梁进行变形检测，检测为钢梁的相对变形量，最大下挠值为175mm，最小下挠值为20mm，均未满足《钢结构工程施工质量验收标准》对于钢梁挠度允许偏差不得超过1/1000且不大于10mm的要求；因此，本工程钢结构顶棚需要进行加固维修。

2.3 焊缝超声波无损检测

现代对于钢结构性能的检测，引进很多无损的检测技术，比较常见的有超声波检测技术、射线检测技术、磁粉检测法和渗透检测法等等。

射线检测和超声波法非常类似，都是利用穿透性进行探伤的技术。射线可以穿透钢材以及其他材质，在不同的材料中出现衰减差异，通过射线的差异性判断钢材内部、包括焊缝是否存在缺陷。检测过程中，使用的照相胶片或荧光屏对差异性射线有不同的感光反应，根据感光反应的图形可较为直观、清晰的判断钢材内部缺陷的位置、大小和形状。超声波检测分为脉冲反射法、穿透法和共振法，是通过超声波穿透力强的特点，对钢材焊缝内部是否存在质量缺陷或者连接的质量问题进行检查，超声波探伤比与X射线检测相比，灵敏度更高，并且成本低，无损害。超声波进入钢材，如果材料存在缺陷，反射波的形式与正常构件的波形会存在差异，最终通过仪器的荧光屏显示的脉冲波形，判断出钢材缺陷存在的位置和形状。超声波探伤操作简单，精准度高，对钢结构安全、质量的控制非常有效。值得注意的是，超声波检测是通过反射的波形判断材料内部的情况，被检测的钢材形状不能过于复杂或者表面粗糙等等，否则检测结果会受到干扰而失去准确性。

本工程因焊接部位相对规则，便于使用超声波检测技术，根据规范要求，对钢结构顶棚对接二级焊缝进行100%比例超声波探伤检测及部分角接焊缝进行外观检测，共检测焊缝112条，发现29条焊缝信号显示超标不满足JG/T 203-2007 B/Ⅲ级要求。焊缝平面图（见图4）和节点图（见图5）如下，部分检测数据如下（见图6）。通过检测结果可以看出，超声波检测技术精准，对焊缝不合格的部位应及时上报，让项目负责人进行加固和补焊，补焊位置应进行二次检测，如果结果仍不及格，只能对结构的构件进行拆除和替换，以防安全事故发生。

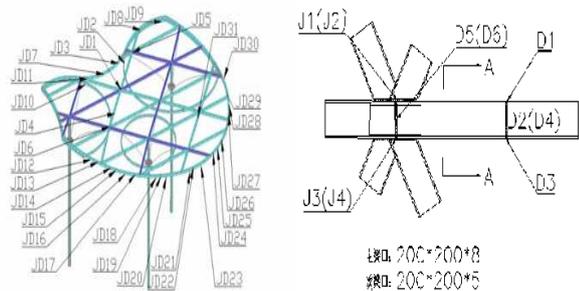


图4 焊缝平面图 图5 焊缝节点图

序号	工件及焊缝编号	焊缝长度/mm	板厚/mm	纵火长度/mm	缺陷位置/mm			缺陷性质	等级	合格与否	备注
					X	Y	z				
1	J01-J1	200	8	110	0	-1	3	Φ3+1.48	IV	不合格	返修
2	J01-J2	200	8	90	110	-2	1	Φ3+1.48	IV	不合格	返修
3	J01-J5	200	8	500	0	-1	3	Φ3+2.08	IV	不合格	返修
4	J01-J4	200	8	---	---	---	---	---	I	合格	---
5	J01-J6	200	8	149	80	-1	5	Φ3+5.48	IV	不合格	返修
6	J01-J6	200	8	/	/	/	/	/	IV	不合格	焊缝开裂(图片)
7	J02-J3	200	8	---	---	---	---	---	I	合格	---
8	J02-J2	200	8	---	---	---	---	---	I	合格	---
9	J02-J6	200	8	---	---	---	---	---	I	合格	---
10	J02-J4	200	8	---	---	---	---	---	I	合格	---
11	J02-J1	200	8	---	---	---	---	---	I	合格	---

图6 部分焊缝检测数据

2.4 钢结构锈蚀及涂层检测

钢材是一种易发生锈蚀或者腐蚀的建筑材料，锈蚀不但会影响钢结构的美观，而且还会对受力性能产生影响，锈蚀检测技术除了观测法，还添加了仪器检查和计算分析的方法。检查之前，应把钢材表面的锈皮、杂物清理干净，使钢构件露出金属光泽。然后沿钢构件长度的方向分成n个检测区段，每个区段使用测厚仪测量实际厚度，最后取各区段计算值的最小值作为检测的最终厚度。

此检测厚度对钢材锈蚀后的承载力有重要的参考价值，钢材的初始厚度减去检测厚度被称作腐蚀损伤量。初始厚度是构件未腐蚀部分实测厚度。根据我国《钢结构设计规范》，钢结构截面积的取值应考虑腐蚀损伤量。锈蚀的钢结构计算承载力时，

截面积计算公式如下： $A = (1 - \frac{\Delta t}{t}) \times A_0$ 式中，A 表示截面

积； Δt 表示腐蚀损伤量；t 表示钢材初始厚度（槽钢、工字钢和型钢，可取翼缘和腹板平均值）； A_0 表示未锈蚀截面公称面积。

在锈蚀检测中，钢材残余厚度大于5mm且腐蚀损伤量不超过初始厚度的25%时，可不考虑锈蚀的影响，但对钢构件有削弱作用；如果检测结果中，残余厚度不大于5mm或腐蚀损伤量超过初始厚度的25%时，锈蚀已经对钢结构的性能产生的严重的影响，不只是削弱，在承载力的设计中应考虑降低等级或限制使用。

对于钢材锈蚀的防护，常用的就是添加涂层的方法。涂层的厚度决定了防腐的能力，也是钢材质量检测的重要标准，对于涂层厚度的检测，本工程采用了磁性测厚仪对钢结构顶棚的重要部位进行了测定（见图7）。

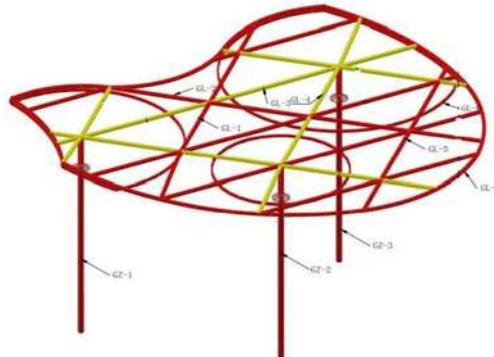


图7 涂层厚度及主要构件几何尺寸检测示意图
在检测之前，应把磁性测厚仪的精确度调整好，以保证在

全面的检测工作中，得到数据的误差较小。检测时，根据选定的范围，比如梁柱节点，首先对钢结构表面灰尘和油污进行清除，以防影响检测的数据，保证测量的精准度。磁性检测仪检测的厚度数值单位较小，本工程使用 μm ，因此必须排除环境因素的影响，并多次检测，求取平均值，对于检测出无涂层的部位应给予明确注明，本工程依据 GB50205-2020 对钢柱、钢梁涂层厚度进行检测，按照本项目设计总说明要求漆膜总厚度不低于 220 μm 进行评定，检测结果全部合格（见图 8）。

构件编号	检测区					合格与否
	测区 1	测区 2	测区 3	测区 4	测区 5	
GL-1	361	366	312	336	348	合格
GL-2	267	266	292	266	273	合格
GL-3	311	324	308	316	322	合格
GL-4	263	204	258	282	273	合格
GL-5	263	271	285	266	283	合格
GL-6	267	284	293	281	266	合格
GL-7	304	311	316	305	316	合格

图 8 钢梁涂层厚度检测结果

2.5 结构承载力检测

本工程在进行结构承载力验算时，根据原结构设计图纸，结合现场检验结果，采用中国建筑科学研究院编制 PKPM 系列软件进行建模计算。结构承载力的计算荷载根据现场检验情况，按现行荷载规范规定取值。典型荷载取值如下：（1）恒载：膜材： 0.015kN/m^2 （钢索和钢构自重按实际重量，程序自动计算）；（2）活载：轻型屋面： 0.3kN/m^2 ；（3）风荷载：基本风压值（50 年一遇）： 0.55kN/m^2 ，地面粗糙度取 C 类；（4）雪荷载：基本雪压值（50 年一遇）： 0.20kN/m^2 ；（5）地震作用参数：抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度为 0.10g ，设计地震分组为第二组，抗震设防分类为标准设防类（丙类）（6）抗震等级：框架三级；（7）建筑结构安全等级：二级。检测结果（见图 9）（见图 10）如下：

序号	检测部位	钢柱正应力强度与抗拉/抗压强度比值		钢柱稳定应力与抗拉/抗压强度比值		轴压比
		计算值	容许值	计算值	容许值	
1	一层	1.5	1.00	1.00	1.00	0.04
2	二层	1.5	1.00	1.00	1.00	0.08
3	一层	1.5	1.00	1.00	1.00	0.10

图 9 典型框架柱应力比及轴压比计算结果比较

序号	检测部位	钢梁正应力强度与抗拉/抗压强度比值		钢梁整体稳定应力与抗拉/抗压强度比值		钢梁剪应力强度与抗拉/抗压强度比值		永久和可变荷载标准值产生的挠度	
		计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值
1	一层	1.26	1.00	0.99	1.00	0.07	1.00	1/377	1/400
2	一层	1.72	1.00	0.99	1.00	0.06	1.00	1/350	1/400
3	一层	1.16	1.00	0.99	1.00	0.06	1.00	1/427	1/400
4	一层	0.54	1.00	0.99	1.00	0.06	1.00	1/2186	1/400
5	一层	2.26	1.00	0.99	1.00	0.16	1.00	1/354	1/400
6	一层	0.12	1.00	0.99	1.00	0.06	1.00	1/1261	1/400
7	一层	0.98	1.00	0.99	1.00	0.06	1.00	1/494	1/400
8	二层	6.1	1.00	0.99	1.00	0.0	1.00	1/5316	1/400

图 10 典型框架梁应力比及挠度的计算结果比较

计算结果说明：（1）钢柱正应力强度与抗拉/抗压强度比值大于容许值，不满足承载力要求；（2）钢柱稳定应力强度与抗拉/抗压强度比值大于容许值，不满足承载力要求；（3）钢柱轴压比满足承载力要求；（4）钢梁正应力强度与抗拉/抗压强度比值大于容许值，不满足承载力要求；（5）钢梁整体应力强度与抗拉/抗压强度比值小于容许值，满足承载力要求；（6）钢梁剪应力强度与抗拉/抗压强度比值小于容许值，满足承载力

要求；（7）钢梁永久和可变荷载标准值产生的挠度大于容许值，不满足承载力要求。

2.6 工程检测结论及整改意见

对于本次钢结构公共建筑的综合检测，主要结论如下：（1）金虹桥国际中心商场迎宾广场钢结构顶棚构件尺寸基本与图纸相符，满足设计要求；（2）金虹桥国际中心商场迎宾广场钢结构顶棚倾斜值、相对不均匀沉降值满足现行规范要求；（3）金虹桥国际中心商场迎宾广场钢结构顶棚钢梁挠度值超标不满足《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205-2020）；（4）金虹桥国际中心商场迎宾广场钢结构顶棚钢梁焊缝进行超声波探伤检测发现 29 条焊缝不满足《钢结构超声波质量探伤及质量分级法》，不合格比例约为 25.9%，影响建筑物的安全性；（5）本工程局部钢柱正应力强度与抗拉/抗压强度比值大于容许值，局部钢柱稳定应力强度与抗拉/抗压强度比值大于容许值，不满足《钢结构设计标准》；（6）本工程局部钢梁正应力强度与抗拉/抗压强度比值大于容许值，局部钢梁永久和可变荷载标准值产生的挠度大于容许值，不满足《钢结构设计标准》（GB50017-2017）。

本工程通过检测，问题较多，必须进行整改，否则直接影响建筑物的安全，对于整改，提出如下建议：（1）对缺欠超标焊缝和塞钢筋焊缝进行气刨返修，对发现的漏焊的区域进行重新补焊；（2）对顶棚钢梁锈蚀、漆面脱落部位采取除锈措施，涂刷防锈漆并加强维护；（3）本工程应立即根据实际使用荷载取值，适当考虑雨水积水荷载。采取合理的加固方案，并结合现场实际情况进行专业的修缮加固施工；（4）本工程修缮加固施工过程中及使用后，可在屋面设置监测点，对其变形进行监测，必要时采取局部支撑等措施，建议整改结束后，重新再进行一次检测，掌握工程结构的安全性能。

3 钢结构疲劳强度检测技术

钢材的疲劳是指在交变荷载或者重复作用下，在强度低于抗拉强度或者屈服强度的情况下发生破坏，疲劳破坏具有突发性，危害大，在工业厂房、大跨度的公共建筑中十分常见。在钢结构的检测中，对于疲劳强度常用疲劳试验机进行实验。检测过程中，把试验机上的应力谱，即应力随时间变化的图形，调节成一定的数值，否则应力的变化不对称，对于疲劳强度的测定不准确。疲劳检测结束后，会得到试件破坏经历的受力次数与最大应力之间对应的曲线函数，通过曲线可知，钢材所受应力越大，疲劳破坏经历的循环次数就越少，当应力低于某一数值时候，钢材即便经历的多次交变荷载也不易破坏。通过检测曲线可知，如果想保护钢结构的安全，在提高钢材的强度基础之上，尽量减少交变荷载的次数，或者降低荷载大小，例如在工业厂房中减少吊车的数量和载重，这样可以提高结构体系的稳定性和耐久性。

4 结语

钢结构是新时代常见的建筑形式，应用广泛，前景广阔。对于钢结构的安全和质量需要有严格的检测技术才能良好的控制。检测工作涉及钢结构建筑的方方面面，需要各个部门、不同的技术人员互相合作才能有序开展。在实际的工作中，技术人员还要结合各种检测技术的优缺点以及适用范围，方能建设出优质工程、安全工程。

参考文献

- [1]任常海. 钢结构工程的检测[J]. 黑龙江科技信息, 2010(3): 199.
- [2]李立斌. 建筑工程中钢结构检测技术的应用[J]. 中国金属结构, 2020(12): 114-115.
- [3]王军. 无损探伤技术在钢结构检测中的应用[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(07): 138-139.