

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.202003012

某钢雨棚的设计分析及节点计算

花 夏

(江苏省建筑设计研究院有限公司 第一设计院,江苏 南京 210000)

摘要:以7度区(0.10 g)某钢雨棚作为研究对象,重点分析了该钢雨棚的设计分析过程,对相关设计参数进行了介绍。对其中采用的铸钢节点进行计算分析,采用有限元方法进行计算分析得出铸钢节点的强度破坏、局部稳定破坏和节点的变形,并与设计规范进行复核,通过合理设置节点壁厚等措施,以满足设计要求。

关键词:钢雨棚;设计过程分析;节点计算

中图分类号:TU318.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5322(2020)03-0062-07

1 工程概况与研究背景

大跨度钢雨棚体系轻盈、造型多变,在建筑中应用非常广泛。这种结构形式跨度、柱距通常都比较大,为了造型美观,通常会做分叉柱,这种树形柱的支撑柱形式,本质上是在不减少钢雨棚柱距的前提下,在一定程度上减少雨棚结构的实际跨度,弯矩部分转换成了斜撑的轴力,充分利用钢结构杆件的强度^[1]。这种形式使得分叉节点相连的构件内力巨大。本工程钢柱和斜撑均为圆管。钢柱与支撑节点通常采用圆管的相贯焊接节点,并且可在圆管相贯处插板以增加强度,但是从诸多设计案例以及相关研究成果来看,相贯焊接节点对于树形柱节点这种受力复杂部位存在很多不足之处:(1)相贯节点的刚度和强度的影响因素很多,比如主管壁厚及主管、支管的管径比,无法保证绝对的刚接;(2)相贯节点的加工较为复杂,与普通焊接相比,难度较大,施工质量较难保证,在关键节点应用,需要采取额外的加强措施,例如增设插板、法兰盘、外加劲肋等,对于建筑本身的美观会产生一定的影响;(3)节点多重焊缝造成的应力集中,对节点本身的强度会造成影响。所以,对于受力复杂的节点,一般都需要专门的设计验算^[2]。

本工程位于江苏南京金马路地铁站,为地铁上盖工程,雨棚为该项目入口。雨棚通过4根钢

柱从地下室顶板上支撑,柱距为26.1 m×34.8 m,雨棚顶外包尺寸为59.2 m×52.4 m,柱顶通过3根分叉支撑起雨棚,雨棚顶为波浪造型。

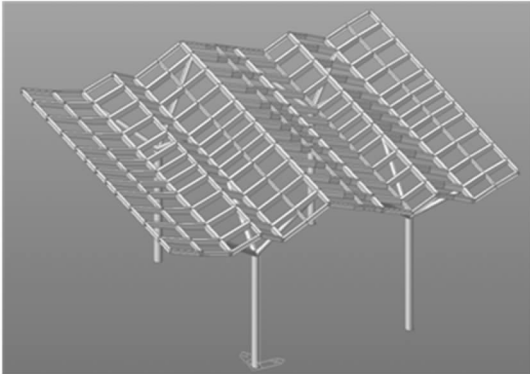


图1 钢雨棚计算模型
Fig 1 Calculation model of steel canopy

本工程出于结构安全和建筑美观的考虑,决定采用铸钢节点。伴随着工艺的提高和技术的进步,铸钢节点在工程中的应用越来越广泛。在日本、德国等发达国家,铸钢节点已经随处可见;国内铸钢件的应用刚刚兴起,最近几年,在一些大跨结构中的应用得到了非常好的效果。铸钢节点的优点很多:(1)节点刚度大;(2)节点在工厂内一体成型,各种复杂的造型易于实现;(3)在设计过程中,可以考虑预留各种接口,易于连接,可以避免多重焊缝造成的应力集中现象。

2 计算模型和设计参数

2.1 计算模型

本工程利用 Midas gen 对主体结构进行计算,计算单元均为梁单元,该雨棚与主体其余结构单元均无连接,4 个钢柱刚接于地下室顶板,钢柱与柱顶的支撑刚接,考虑到传力的简洁,支撑与雨棚顶

的钢梁与梁底铰接,这样也可以简化该节点做法。
雨棚顶面为一个波浪造型的大跨大悬挑结构,柱顶支撑为三叉造型,彼此呈 60°分布,三叉最前端支点悬挑 10 m,且彼此之间跨度为 45 m,雨棚顶部为波浪造型,在谷底处必须考虑积雪不均匀分布造成的荷载,该雨棚的造型使其受力体系极其复杂。

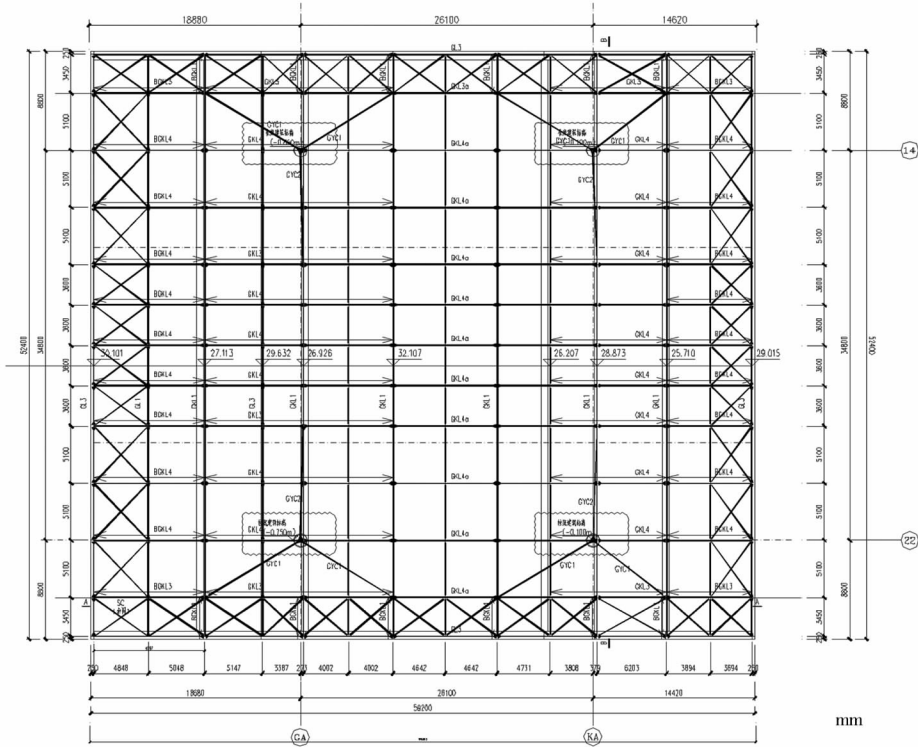


图 2 雨棚平面图
Fig 2 Canopy plan

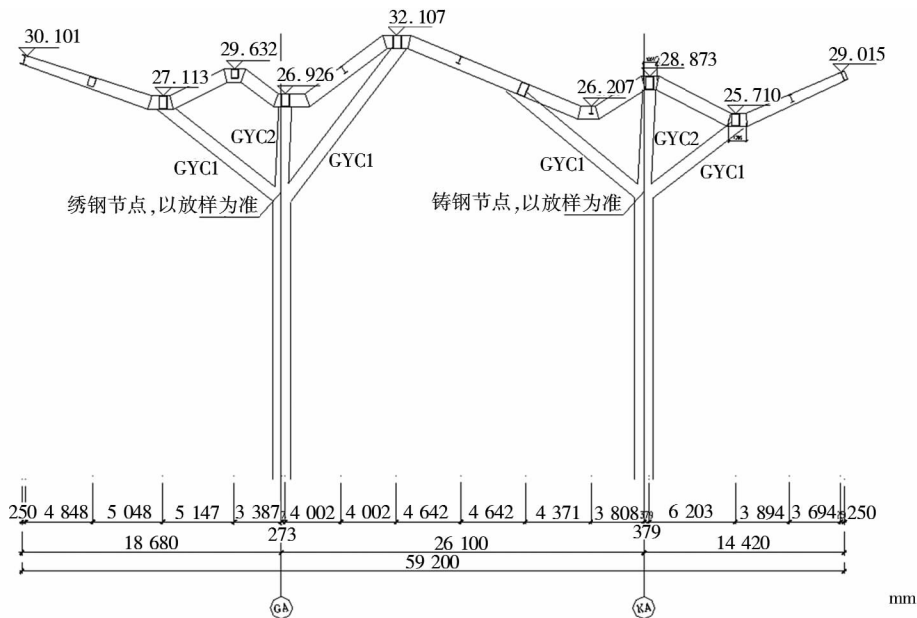


图 3 剖面图
Fig 3 Profile

2.2 设计参数

(1)荷载作用

根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)^[3]的规定,以及实际建筑使用功能取值如下:

(a)永久荷载标准值:上屋面采用张拉膜结构,下屋面考虑穿孔铝板,共计 70 kg/m²;

(b)可变荷载标准值:不上人屋面考虑 0.5 kN/m² 的活荷载,0.65 kN/m² 的雪荷载,按大者考虑,考虑 0.65 kN/m² 的雪荷载,按照文献[3] 7.2 节的规定,考虑屋面积雪不均匀造成的荷载;

(c)风荷载:计算取基本风压为 0.40 kN/m²,地面粗糙度为 B 类,考虑 -2.0 的风吸体型系数;

(d)温度作用:考虑到南京当地的施工条件和该项目的施工周期,考虑 25 ℃ 的升温和 15 ℃ 的降温荷载;

(e)地震作用:本工程的抗震设防烈度为 7

度,设计地震分组为第一组,场地土类别为 III 类,设计基本地震加速度值为 0.10 g,特征周期值为 0.45 s。

(2)建筑设计分类

根据《建筑抗震设计规范》^[4]和本工程的设计要求,该雨棚的结构设计使用年限为 50 a,建筑结构安全等级为二级,建筑抗震设防类别为丙类,建筑耐火等级为一级。

(3)荷载效应组合

为了得到该结构在实际使用中不同情况下的反应,需要进行荷载组合,根据文献[3-4]以及《建筑结构可靠性设计统一标准》^[5]的相关规定,分为承载能力极限状态和正常使用极限状态考虑荷载组合。

(4)构件截面

构件分布详见平面图,构件截面大小详见表 1:

表 1 钢结构材料表
Table 1 Material list of steel structure

构件编号	截面尺寸/mm	构件编号	截面尺寸/mm
GKZ1	圆管 1250 × 40	GKL3	□ 950 × 650 × 40 × 16
GKL1	□ 950 × 600 × 32 × 32	GKL4	□ 950 × 600 × 36 × 16
GKL2	□ 950 × 550 × 30 × 30	GKL3a	□ 950 × 650 × 32 × 16
BGKL1	□ 950 ~ 650 × 600 × 32 × 32	GKL4a	□ 950 × 600 × 30 × 16
BGKL2	□ 950 ~ 650 × 550 × 30 × 30	GL1	□ 650 × 500 × 25 × 16
BGKL3	□ 950 ~ 650 × 650 × 32 × 16	GL2	H550 × 300 × 12 × 18
BGKL4	□ 950 ~ 650 × 600 × 30 × 16	GL3	H650 × 500 × 20 × 25
SC	圆管 203 × 8	GYC1	圆管 800 × 30
GYC2	圆管 203 × 8		

2.3 计算结果

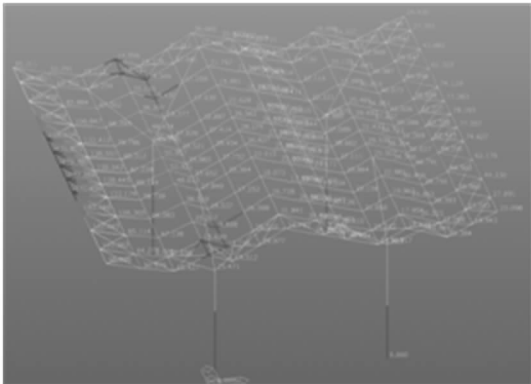


图 4 恒载下的挠度
Fig 4 Deflection under dead load

由上面结果可得,反拱构件自重这部分恒载造成的变形,挠度满足 1/250 的要求,悬挑端为

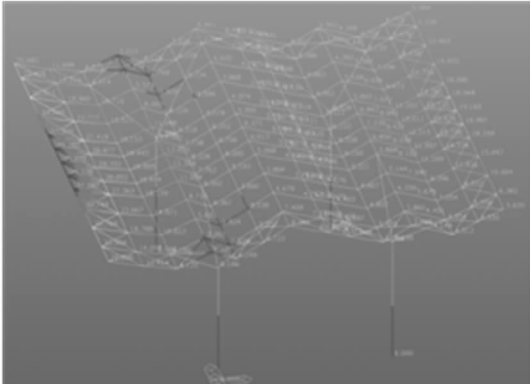


图 5 活载下的挠度
Fig 5 Deflection under live load

1/125;应力比最大为 0.91 小于 0.95,可以满足要求。由此可得,本结构是安全可靠的。

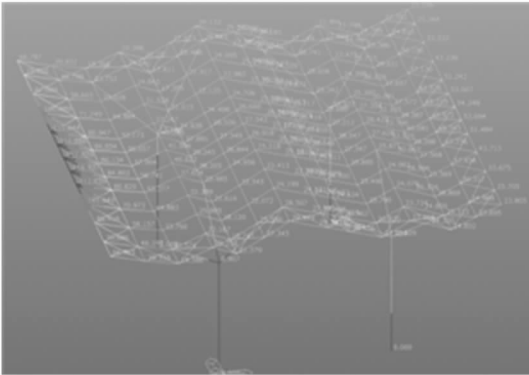


图 6 风载下的挠度
Fig 6 Deflection under wind load

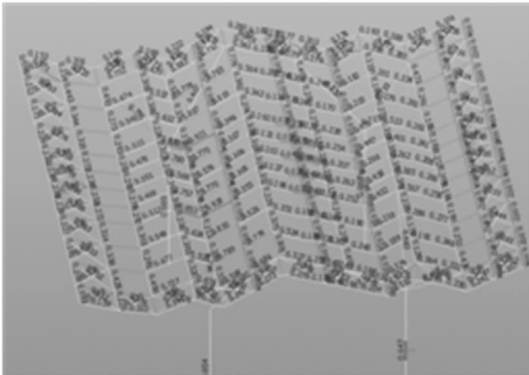


图 7 应力比
Fig 7 Stress ratio

3 铸钢节点分析

3.1 设计计算

在设计铸钢节点时,必须充分考虑施工过程中的安装顺序这一环节^[6]。由于节点的连接杆件是空间的,可以是任意方向,所以,必须利用相关有限元软件对节点进行三维设计计算,主要原则是:

- (1) 材料必须具有良好的易焊性;
- (2) 节点连接的各杆件最好中心交汇,不要产生不必要的偏心荷载;
- (3) 节点的杆件外径不得小于连接的杆件,其主要受力杆件壁厚最好为连接杆件的 2 倍,次要构件壁厚不得小于连接构件的壁厚;
- (4) 节点与构件的连接应为等强连接;
- (5) 截面变化及壁厚变化处按规范要求,平滑过渡。根据选材匹配的原则,铸钢节点的材料特性应与主结构采用的材料性能尽量匹配,由于材料本身的区别,只能尽量在各项参数选用主要

性能相当,其余参数接近的原则考虑,《一般工程与结构用低合金钢铸件》(GB/T 14408—2014)^[7]中材料牌号为 ZGD345-570 材料和《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)^[8]中的材料牌号为 ZG340-550H 材料均与主结构使用的 Q345B 材料材性接近,通过与钢结构加工厂家的沟通,最终选用 ZG340-550H 为铸钢节点的最终材料,ZG340-550H 弹性模量为 $E = 206\ 000\ \text{MPa}$,泊松比 $\mu = 0.3$,屈服强度取 $340\ \text{MPa}$,设计强度取 $265\ \text{MPa}$;材性详见下表:

表 2 ZG340-550H 铸钢化学成分表
Table 2 Chemical composition table of ZG340-550H cast steel

成分	含量
C	0.17 ~ 0.25
Si	≤0.50
Mn	1.0 ~ 1.6
P	≤0.04
S	≤0.04
Ni	≤0.3

表 3 铸钢力学性能表
Table 3 Mechanical properties table of cast steel

铸钢钢种	热处理条件/℃		铸件壁厚/mm	室温 (20 ℃)			冲击功值	
	正火或奥氏体化	回火		屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率/%	温度/℃	冲击功/J
ZG340-550H	900 ~ 980	610 ~ 660	$t \leq 100$	340	550 ~ 650	≥20	20 -40	34 27

铸钢节点采用 Midas fea 进行有限元分析,单元选取 shell 单元。铸钢件壁厚,取 50 mm 厚,在两管交界处取壁厚 75 mm。

根据 Midas gen 模型的计算结果,从模型中提取节点区各杆件荷载组合内力设计值。经对比,选择

的受力最大杆件单元编号如图 8,单元内力见表 4。

对节点区各杆件端部分别施加节点集中荷载(通过节点耦合方式,施加轴向力、剪力、弯矩和扭矩),下部钢柱顶部处作为铸钢节点的支座,施加刚性节点约束,模型如图 9。

表 4 杆件内力表
Table 4 Internal force table of member

单元	轴力/ kN	剪力 - y/ kN	剪力 - z/ kN	扭矩/ (kN · m)	弯矩 - y/ (kN · m)	弯矩 - z/ (kN · m)
11	-4 646.66	-135.72	-253.07	696.12	-2 659.35	-1 708.9
12	-4 142.05	121.02	-117.64	-825.61	-1 001.21	1 484.39
13	-3 844.29	-3.43	50.3	239.44	1314.99	-52.21

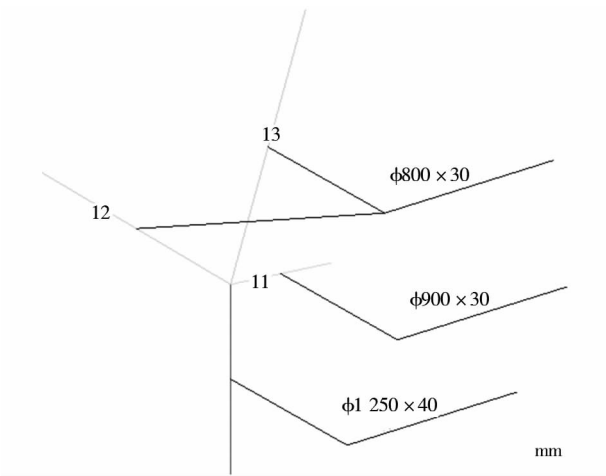


图 8 杆件编号图
Fig 8 Diagram of member number

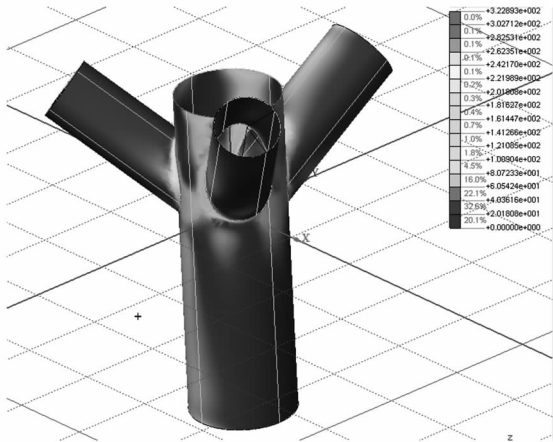


图 10 整体应力分布
Fig 10 Global stress distribution

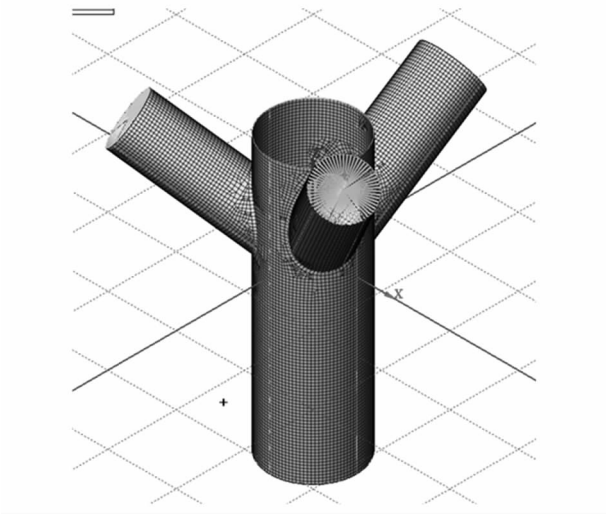


图 9 节点荷载及边界条件图
Fig 9 Diagram of node load and boundary condition

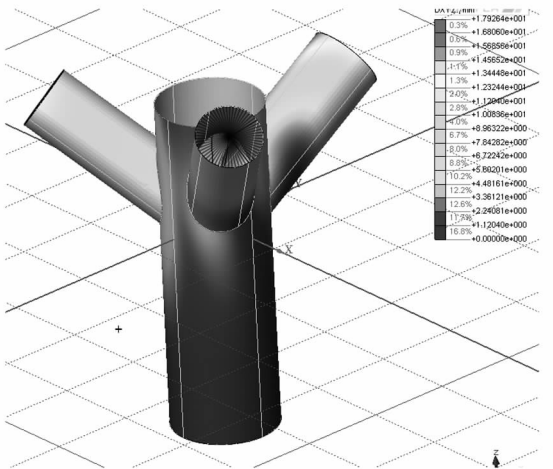


图 11 整体变形分布
Fig 11 Global deformation distribution

3.2 计算结果

由于铸钢节点具有良好的塑性特质,强度应采用 von-mises 应力,其应力分布及整体变形如图 10。

由节点 von-mises 应力分布图可知,各支管上最大应力为 322.3 MPa,中间连接处最大 von-mises 应力 303.9 MPa,位于 P900 × 30 与主管 P1250 × 40 相贯线位置处。应力超过强度设计值

263 MPa 的区域仅仅分布在各支管与主管的相贯线交界处,在连接处,我们也做了加强处理,这是符合设计意图的。

由整体应力分布图 11 可知,本节点仍处于弹性状态,所有单元应力均小于屈服强度 340 MPa,节点强度满足规范要求,节点安全可靠。同时,节点最大变形仅为 17.9 mm,其刚度满足要求。

根据《铸钢节点应用技术规程》(CECS 235—

2008) [9] 第 4.3.9 条,需补充节点弹塑性有限元分析,以求得节点极限承载力,保证节点极限承载力在节点承载力设计值的 3 倍以上。

将 Midas gen 中计算模型中提取的内力放大 10 倍分别施加到对应的位置,进行荷载-位移全过程分析,当施加到 3.76 倍荷载设计值,节点最大应力为 415.4 MPa,仍小于铸钢节点材料极限抗拉强度 550 MPa。偏安全考虑,可认为节点达到其极限承载力,如图 12。

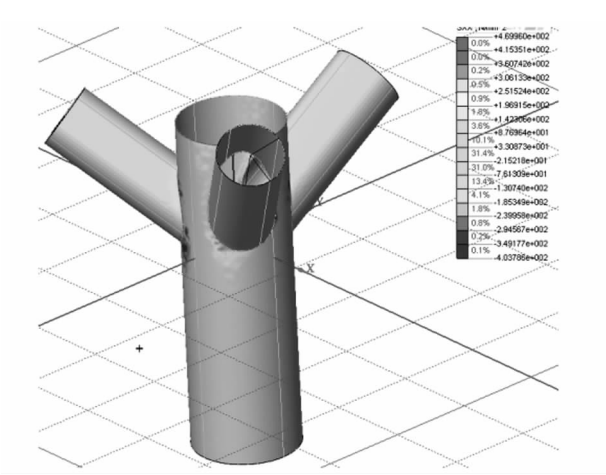


图 12 节点极限承载力应力分布
Fig 12 Stress distribution of ultimate bearing capacity of joints

4 结论

本文对于大跨度钢雨棚及铸钢节点分析,得出以下结论:

- (1) 本次钢雨棚的设计是符合相关规范要求的,并且很好地切合了建筑意图,实现了造型的需求;
- (2) 对于大跨度造型复杂的钢雨棚,受力复杂的关键部位宜采用铸钢节点;铸钢节点可大大减少结构复杂部位处的多重焊缝,对结构受力非常有利;
- (3) 铸钢节点应单独用有限元计算分析其承载能力和变形能力,如受力特别特别复杂甚至需用试验加以验证。

5 展望

随着时代的发展,各式各样轻盈的大跨度钢雨棚会越来越多,造型也会越来越多变,那对于梁柱等关键节点的要求也会随之越来越高,对铸钢节点的需求也就越来越大;随着科技的进步,钢材的种类也越来越丰富,加大了铸钢节点实现的可能;而各种有限元软件的不断成熟,也在丰富我们计算铸钢节点特性的手段 [10]。所以,我们有理由相信,铸钢节点在未来的结构中,将发挥越来越大的作用。

参考文献:

[1] 吴贤明,郭耀杰,郑翔. 高烈度区大悬挑钢结构雨棚设计分析[C]//钢结构工程研究(十)——中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会第 14 届(ISSF—2014)学术交流会暨教学研讨会论文集. 2014.

[2] 黄刚. 大跨度钢结构雨棚关键节点研究[J]. 铁道工程学报, 2013, 30(4): 100-104.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2012.

[4] 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. 建筑抗震设计规范:GB 50011—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.

[5] 住房和城乡建设部. 建筑结构可靠性设计统一标准:GB 50068—2018[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2018.

[6] 刘锡良,林彦. 铸钢节点的工程应用与研究[J]. 建筑钢结构进展, 2004, 6(1): 12-19.

[7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 一般工程与结构用低合金钢铸件:GB/T 14408—2014[S]. 北京:中国标准出版社, 2014.

[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计标准:GB 50017—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2017.

[9] 中国工程建设标准化协会. 铸钢节点应用技术规程:CECS 235—2008[S]. 北京:中国计划出版社, 2008.

[10] 房帅. 铸钢节点研究现状和展望[J]. 广州建筑, 2009, 37(6): 8-12.

Design Analysis and Node Calculation of One Steel Canopy

HUA Xia

(First Design Institute of Jiangsu Architectural Design and Research Institute Co. Ltd., Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: In this paper, a steel canopy in the 7 degree zone (0.10 g) is taken as the research object. The design and analysis process of the steel canopy is mainly analyzed, and the relevant design parameters are introduced. The cast steel joint is calculated and analyzed. The strength failure, local stability failure and deformation of cast steel joints are calculated and analyzed by using finite element method, and the design specification is rechecked. The measures such as reasonable setting of joint wall thickness are adopted to meet the design requirements.

Keywords: steel canopy; design process with analysis; node calculation

(责任编辑:张英健)

(上接第 51 页)

- [10] DEGALA S, RIZZO P, RAMANATHAN K, et al. Acoustic emission monitoring of CFRP reinforced concrete slabs[J]. Construction and Building Materials, 2009,23(5):2016-2026.
- [11] PROVERBIO E. Evaluation of deterioration in reinforced concrete structures by AE technique[J]. Materials and Corrosion, 2011,62(2):161-169

Experimental Analysis on Damage of Prestressed Reinforced Concrete Beam Based on AE

WU Chao¹, HU Qiangsheng¹, YANG Fan², YU Dongkai²

(1. Department of Architectural Engineering, Anqing Vocational Technical College, Anqing Anhui 246001, China;
2 Faculty of Civil Engineering and Mechanics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: In order to explore the relationship between the damage of prestressed reinforced concrete beam and its acoustic emission signal, acoustic emission technology is used to monitor the damage process of prestressed reinforced concrete beam. Through the three-point bending test, the real-time acoustic emission signal data of the damage of the prestressed reinforced concrete beam was collected. By analyzing the parameter distribution of AE signal amplitude and rise time under different loads, and comparing the crack changes of specimen beam during loading process, it is found that the different signal amplitude distribution has a good correlation with the damage type of concrete beam, which can evolve the damage process of specimen beam, and the concentration of high amplitude signal means the appearance of macro cracks. In addition, the damage degree of prestressed reinforced concrete beams is evaluated qualitatively by the calculation of ISA signal strength criterion.

Keywords: prestress; damage evaluation; health monitoring

(责任编辑:李华云)