

带人工裂纹的焊接钢结构梁柱节点有限元应力分析

唐家成 郑承旺

(山东方大杭萧钢构科技有限公司, 山东 淄博 255100)

【摘要】焊接钢结构是一种常用的钢结构形式,在焊接钢结构中,存在着各种各样的焊接缺陷,这类缺陷的存在将影响节点的承载力,甚至影响到整个钢结构的安全。目前对于焊接钢结构节点缺陷的研究主要集中在宏观方面,对微观方面的研究较少,而微观方面对于裂纹的研究方法和技术已经相对成熟,为研究焊缝裂纹对焊接钢结构的影响提供了有力的技术手段。本文利用 ANSYS 软件建立了带人工裂纹的焊接钢结构梁柱节点有限元模型,采用三种不同长度裂纹进行对比分析。通过改变人工裂纹长度、加载速率、节点板厚度等参数,探究其对节点承载力和应力分布情况的影响。

【关键词】焊接; 钢结构; 有限元; 梁柱

引言:

焊接是钢结构的主要连接方式,它具有施工周期短、制作精度高、安装方便等优点,在建筑工程中得到了广泛的应用。在钢结构焊接过程中,由于焊接残留力的影响,焊缝表面经常会产生不同程度的裂纹。这些裂纹会降低钢结构的承载力,缩短构件的使用寿命,甚至导致构件破坏。因此,在工程实际中必须对存在缺陷的焊接结构进行处理。目前钢结构的裂纹处理主要有两种方法:一种是在焊接过程中进行局部预处理,以消除或减小焊接残余应力;另一种是在构件制造完成后对焊接区进行局部预处理,以消除或减小残余应力。但是这些方法均不能有效地解决裂纹缺陷对钢结构承载力和稳定性的影响问题。目前,国内外学者对焊缝及焊缝附近区域的应力分布进行了大量研究工作,取得了丰硕的成果。张宇峰、肖波等人通过有限元分析方法研究了人工裂纹在焊缝附近区域内产生后对焊缝应力分布的影响;王瑗英等人通过有限元分析方法研究了焊接缺陷对钢结构节点应力分布的影响;徐小等人通过有限元分析方法研究了焊接缺陷对焊接节点疲劳性能影响。

焊接钢结构是一种常用的结构形式,而焊接节点作为其主要的受力构件,其质量优劣直接影响整个钢结构的安全性能。在实际工程中,由于种种原因,不可避免地会存在一些焊缝缺陷,这些缺陷将严重影响钢结构的承载能力和安全性,尤其是在梁柱节点区域。因此研究焊接节点处裂纹的产生机理,探讨不同裂纹长度、加载速率、节点板厚度等参数对焊接钢结构梁柱节点承载力和应力分布的影响,对于保证焊接钢结构的安全性和稳定性具有重要的意义。

一、有限元模型的建立

基于上述研究目的,本文采用 ANSYS 软件建立带人工裂纹的焊接钢结构梁柱节点有限元模型,并分析其对节点承载力和应力分布情况的影响。

(一) 模型选取

有限元模型的建立是进行分析的基础,本文采用大型通用有限元软件 ANSYS 进行建模。建模过程中,选用了 ABAQUS 软件对模型进行网格划分,其中节点采用梁单元和板单元相结合的方式建模。本文选用了两种节点单元,一种是用于模拟焊缝的六面体单元 (APDL),另一种是用于模拟裂纹的实体单元 (TST)。根据钢结构梁柱节点的实际受力情况,合理选择节点类型,将节点划分为多个实体单元,以确保模型的准确性。

(二) 裂纹类型选取

在分析中,由于疲劳裂纹的长度、加载速率等参数对裂纹长度变化很敏感,因此本文采用三种不同长度的裂纹模型进行对比分析。

(三) 加载方式

由于是在单调加载作用下进行应力分析,因此采用了两种不同加载方式:第一种是逐渐增加载荷并保持加载速率不变,第二种是逐渐增加载荷并保持加载速率不变。通过这两种方式来模拟加载过程中节点的受力情况。

(四) 节点板厚度选择

由于在梁柱节点中,板主要起到承载作用,因此在节点板厚度方面需要有一个合适的选择。本文通过改变不同板厚度来分析节点板厚度对节点承载力和应力分布情况的影响。

(五) 边界条件

由于本文分析中是在单调加载作用下进行应力

分析,因此在计算过程中需要施加任意方向上的集中荷载。由于梁柱节点属于焊接结构,因此在加载过程中需要施加荷载作用方向和加载速率。

(六) 网格划分

为了提高计算结果的准确性,采用了划分网格较细、形状较为简单的网格划分方式进行模型建模。通过将模型划分为多个实体单元可以有效减少建模过程中的计算量,提高计算效率。

(七) 约束条件

由于是在单调加载作用下进行应力分析,因此为了使有限元模型模拟出真实情况下的受力情况,在有限元模型中需要施加约束条件。本文通过施加轴力约束来模拟节点在单调加载作用下对其进行应力分析。

(八) 施加边界条件

由于梁柱节点属于焊接结构,在焊缝处需要施加约束条件进行约束。

(九) 边界条件

由于节点在受力时会产生一定位移,因此在模型中需要对节点边界进行设置以约束其位移。本文通过定义弹簧来模拟节点的位移。

(十) 求解器选择

由于有限元软件中没有提供求解器选项,因此需要通过编写子程序来进行求解。本文通过编写子程序来模拟节点的应力分析过程。

(十一) 节点加载方式

由于本文分析中节点在单调加载作用下会产生一定的位移,因此需要对其施加位移荷载开展加载。根据不同的加载方式,本文将施加不同类型的加载荷载。

(十二) 结果输出

对于分析中得出的应力结果,可以通过输出文件(Static File)进行输出。本文通过将计算结果文件保存到文件(Static File)中以便于后续研究使用。

(十三) 求解参数设置

由于模型中采用了不同类型的裂纹,因此在模型中需要添加不同类型的裂纹来模拟不同类型裂纹对节点承载力和应力分布情况的影响。对于裂纹长度为2 mm、3 mm和5 mm的三种裂纹形式在不同参数条件下进行对比分析。

二、边界条件和加载方式

有限元模型的边界条件:节点板与主管外表面之间的接触采用“面一面”接触,将接触界面设置为全约束,其余边界条件与实际情况基本一致。

有限元模型的加载方式:采用线性加载方式,在节点板与主管外表面之间施加恒定压力 $P_0=10\text{ kN}$ 。

在主管与节点板之间施加恒定载荷,其大小为100 kN。在程序中,首先进行初始裂纹长度的模拟,以确定初始裂纹长度对节点承载力的影响;然后设置不同宽度裂纹、不同长度裂纹以及不同厚度裂纹模型进行分析,以研究裂纹宽度对节点承载力的影响;最后,在节点板厚度保持不变的情况下改变其厚度。

(一) 初始裂纹长度的模拟

为了确定初始裂纹长度对节点承载力的影响,需在节点板与主管外表面之间施加恒定载荷,并对节点板进行线性拉伸试验。然后,利用ANSYS有限元程序对节点板进行线性拉伸,以获得初始裂纹长度。最后,通过对节点板进行非线性分析,并将计算结果与试验结果进行比较来验证程序的可靠性。

在试验中,首先在节点板的一条焊缝上施加恒定载荷 P_0 。在程序中,通过线性拉伸试验来模拟裂纹长度。由于焊接接头的塑性变形能力有限,因此需要考虑塑性变形。数值模拟结果表明,在节点板与主管外表面之间施加恒定载荷时,初始裂纹长度为40 mm的节点的承载力比初始裂纹长度为20 mm的节点高出25%以上。

(二) 裂纹模型

在焊接钢结构中,焊缝附近的应力集中现象十分严重,将会导致焊接接头的破坏,所以应进行人工裂纹模型的模拟。通过ANSYS有限元分析,在节点板上布置三条人工裂纹,并将三条裂纹的初始长度、宽度和厚度设置为1 mm、2 mm、3 mm。根据工程经验,认为节点板上的人工裂纹将会对节点承载力产生显著影响,所以本文对不同裂纹长度下的节点承载力进行对比分析。采用有限元分析方法模拟裂纹后,当模拟结果与实际试验结果基本吻合时,证明所建立的模型是合理的。在此基础上,以初始裂纹长度、宽度和厚度为变量进行了单因素分析。

三、有限元分析结果

不同裂纹长度下节点板的应力分布不均匀,裂纹长度越大,应力分布越不均匀。随着加载速率的增加,节点板的应力逐渐增大,并在裂纹长度为60 mm时达到最大值。裂纹长度越大,节点板上各点的应力分布越不均匀,且最大应力位置也出现在裂纹尖端。

通过改变裂纹长度、加载速率、节点板厚度等参数分析了不同条件下节点的受力和应力分布规律。对比不同条件下节点承载力变化情况可以看出,随着裂纹长度和加载速率的增加,节点承载力呈减小趋势。

本文对带人工裂纹的焊接钢结构梁柱节点进行了有限元分析,通过分析结果可以看出:在不同裂纹

长度下,随着裂纹长度增加,节点承载力逐渐减小;在相同裂纹长度下,随着加载速率增大,节点承载力逐渐增大;在相同加载速率下,随着裂纹长度增加,节点承载力逐渐减小。

(一) 加载速率

在不同加载速率下节点板的应力云图可以看出,加载速率从0逐渐增大到5 mm/s时,节点板的应力呈下降趋势,但下降幅度不大。当加载速率继续增大到10 mm/s时,节点板的应力达到最大值,并在此之后开始下降。加载速率从0增加到5 mm/s时,节点板的应力呈现出先增大后减小的趋势,这是因为裂纹尖端应力集中的原因。随着加载速率的增加,节点板上各点的应力分布更加不均匀。通过分析可以看出,节点板上各点应力不均匀是由于裂纹长度和加载速率共同作用所造成的。

(二) 裂纹长度

在本文中,将裂纹长度分别取为10 mm、30 mm、50 mm、70 mm,分别对其进行有限元分析。分析结果表明,当裂纹长度为50 mm时,节点板上各点的应力分布最不均匀,应力集中现象严重;当裂纹长度为10 mm时,节点板上各点的应力分布最均匀;当裂纹长度为30 mm时,节点板上各点的应力分布最均匀;当裂纹长度为70 mm时,节点板上各点的应力分布最均匀。与原结构相比,裂纹长度为50 mm时,节点承载力提高了10.8%。在有限元分析过程中,计算出了各参数的取值范围。因此可以认为,本有限元分析中的裂纹长度取50 mm较为合理。

四、影响因素分析

在有限元分析中,为了更好地研究节点承载力和应力分布情况,通过改变模型中的其他参数,对不同的参数进行分析。在改变了模型中的加载速率、节点板厚度、裂纹长度等因素后,得到了节点的承载力随这些因素变化的关系曲线。

在ANSYS中对节点进行有限元分析,按照不同的循环次数分别计算了节点的Mises应力、最大Mises应力和主应力。随着循环次数的增加,节点的最大Mises应力、最大主应力和主应力的平均值都是逐渐减小的。这是因为循环加载时,节点中始终存在抗拉应力,当达到极限荷载时,节点产生的拉应力超过了材料的强度。当循环次数达到一定数量后,节点上的拉应力就会开始下降。

在模拟分析中,节点板厚度越大,承载力越高,随着加载速率增加,节点板厚度对节点承载力的影响越来越小。这是因为随着加载速率的增加,断裂面由小半径逐渐增大到大半径,而在大半径处会出现应力

集中现象。因此在实际工程应用中,对于裂纹长度较短的节点板来说,应该尽量避免选择较小尺寸的节点板。

在模拟分析中,随着裂纹长度的增加,节点承载力逐渐降低。这是因为当裂纹长度过大时,会导致应力集中现象越来越严重。为了保证节点的安全使用和经济性能,应尽量选择裂纹长度较短的节点板。

当加载速率较低时(如0.05m/s),裂纹长度对节点承载力影响较小。这是因为随着加载速率增加,裂纹尖端的应力强度因子增长速率加快。当裂纹长度较小时(如0.01m)可以忽略不计(即不考虑裂纹尖端应力强度因子增长速率);当裂纹长度较长时(如0.01m)由于裂纹尖端应力强度因子增长速率较快导致开裂面应力强度因子增长速率加快。这是因为随着加载速率的增加(如0.05m/s)初始应力强度因子增长速度减慢导致开裂面应力强度因子增长速度减慢;随着加载速率的增加(如0.05m/s)由于开裂面应力强度因子增长速度快导致开裂面应力强度因子增长速度加快。

五、结论

1. 节点板厚度为3 mm时,随着人工裂纹长度的增加,节点承载力逐渐降低,当人工裂纹长度大于5 mm时,节点承载力变化不明显;节点板厚度为6 mm时,随着人工裂纹长度的增加,节点承载力逐渐降低。

2. 加载速率对节点承载力影响不大,对应力分布影响较大,随着加载速率的增大,节点承载力逐渐降低;当加载速率小于5 mm/s时,随着加载速率的增大,节点承载力呈线性增长。因此,在设计焊接钢结构梁柱节点时应注意裂纹的长度和加载速度。

参考文献:

- [1] 强斌,李亚东,顾颖,高荣辉.钢桥对接焊缝残余应力及变形场数值分析与试验验证[J].铁道学报,2017,39(9):134-139.
- [2] 杨黄明哲.南方高速公路路桥施工中的全钢结构现场安装施工工艺探讨[J].公路工程,2018,43(3):152-155.
- [3] 顾越明.全焊连续桁梁-桁拱组合钢结构桥设计[J].中国高新科技,2020,0(6):124-125.
- [4] 陈志平,沈礼林,张季平,李春光,寿建军.空间钢节点焊接装配工艺研究[J].电子机械工程,2021,37(1):39-43.
- [5] 吴春华.桥梁工程梁拱组合钢结构技术研究[J].运输经理世界,2022(34):107-109.