

低温焊接工况下管线拱桥耳板开裂机理研究

陈金义, 廖伟华, 范佐银

(上海市政工程设计研究总院集团第十市政设计院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 针对某下承式钢结构系杆管线拱桥吊耳侧板环向焊缝裂纹的病害开展理论研究。在详细调查了现场吊耳侧板裂纹情况的基础上,对吊耳节点进行了空间有限元分析。分析结果表明,引起吊耳裂缝的主要原因是:在低温环境下对吊耳节点进行现场施焊,由于吊耳侧板与盖板之间存在着较强的约束关系,阻碍了焊缝的冷缩效应,钢结构焊接残余应力和其他作用叠加下,在吊耳盖板中造成较大的应力。若对构造较复杂的节点采用工厂加工、采取反变形法、散热法等有利的措施可以有效避免低温工况下管线桥焊接裂纹。

关键词: 桥梁工程; 钢结构; 残余应力; 开裂; 有限元

中图分类号: U441+.6

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)01-0183-03

1 工程概况

1.1 总体布置

某大跨径下承式钢结构系杆管线拱桥,跨径布置为75 m+75 m,立面布置如图1所示。管线桥拱肋采用等截面二次抛物线无铰拱,矢跨比 $f/L=1/5$,拱肋宽度(两条拱肋外侧间距离) $B=3.3$ m,宽跨比 $B/L=1/22.73$ 。拱肋截面为圆形,采用外径 $D=600$ mm、壁厚 $\delta=20$ mm的Q345r钢管,采用泵送升顶法向钢管内部填充微膨胀性混凝土,进口料设置在拱肋截面钢管底部,两拱肋间在吊杆作用处设置横梁。

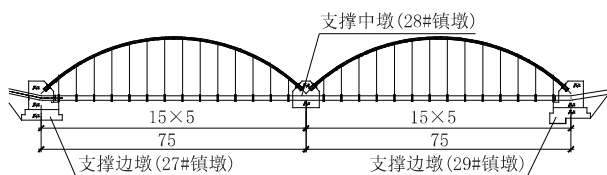


图1 某下承式钢管系杆拱桥立面布置(单位:m)

1.2 纵梁设计

纵向压力钢管采用圆管形截面,采用内径 $D=1\,300$ mm、壁厚 $\delta=24$ mm的Q345r型钢管,双压力钢管轴心到轴心之间的距离为2.7 m,为增加双压力钢管横向刚度,采用外径 $D=400$ mm、壁厚 $\delta=12$ mm的横撑进行连接,横撑间隔3.8 m,共17根,横撑内部不填充混凝土。

压力钢管平面构造和横断面构造如图2、图3所示。

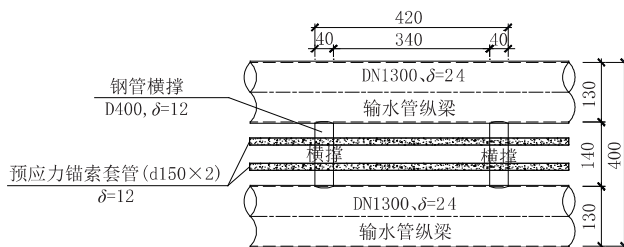


图2 压力钢管平面构造(单位:mm)

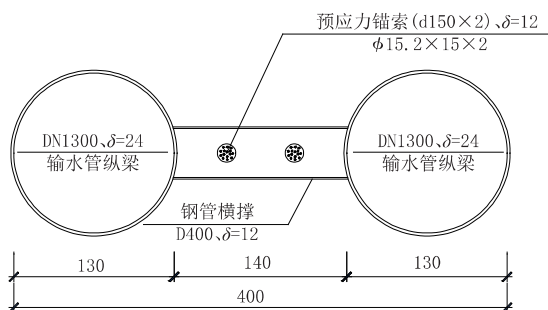


图3 压力钢管横断面构造(单位:mm)

1.3 纵梁吊耳设计

吊杆采用钢拉杆,每片拱肋下设14根吊杆。吊杆布置间距为5.0 m,每根吊杆采用由公称直径50 mm的Cr40圆钢棒材。吊杆分为上下两段,中部设置调节套筒螺母,调节量为50 mm。

吊耳处纵梁立面构造和横断面构造如图4、图5所示。

吊点由吊耳板、侧向节点板、加劲板、盖板等焊接组成。吊耳板、侧向节点板、环向盖板均厚20 mm,环向加劲板厚14 mm,吊耳贴板厚10 mm,侧向节点板内侧净距为200 mm,盖板与压力钢管之间净距为120 mm。现场焊接顺序为:先吊点耳板,后侧板及加劲,再盖板,最后焊接另一端侧板,采用CO₂气体保

收稿日期: 2022-02-27

作者简介: 陈金义(1990—),男,硕士,工程师,主要从事大跨度桥梁结构的设计和理论研究工作。

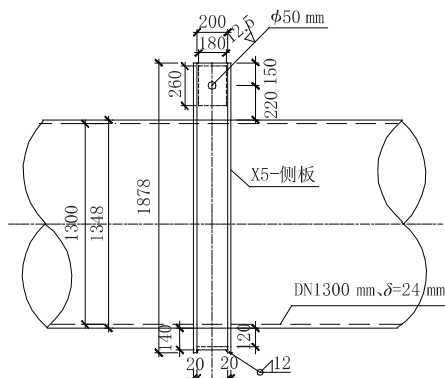


图 4 吊耳处纵梁立面构造(单位:mm)

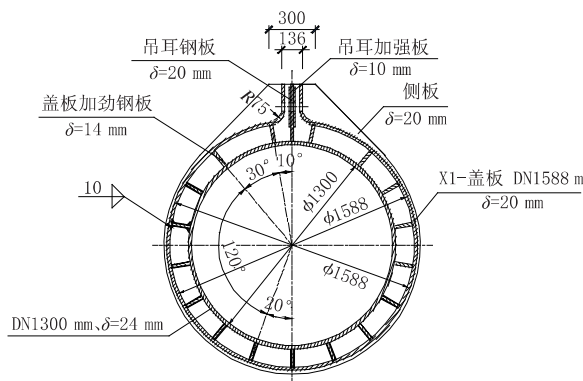


图 5 吊耳处纵梁横断面构造(单位:mm)

护焊^[1]。

2 节点侧板盖板开裂情况

2.1 施工工序介绍

施工过程中采用支架法施工,在现场将纵向压力钢管焊接成形,并根据吊杆节点位置在现场焊接节点板。11月,在压力钢管下方搭设4副钢管桩支架,利用2台100 t千斤顶对称进行顶升,顶升高度约3 cm。然后用25 t汽车吊将钢拉杆进行吊装。此时钢拉杆调节套筒为最小状态,吊装时先将上部单插耳装入钢管拱吊耳中,再将下部双插耳嵌入压力钢管吊耳中,最后利用管钳将调节套筒调整至最佳状态。

2.2 局部开裂情况

在落架之后,发现靠近 27# 镇墩、29# 镇墩短吊杆处压力钢管吊耳盖板出现开裂现象(焊趾处开裂),如图 6、图 7 所示。靠近 28# 镇墩吊点盖板未出现开裂。

3 空间有限元模型

针对上述靠近 27# 镇墩、29# 镇墩处短吊杆吊耳侧板开裂现象, 采用 Ansys 通用有限元软件建立耳板处的局部分析模型^[2-3], 如图 8 所示。压力钢管采用 Shell63 单元模拟, 重度取 78.5 kN/m^3 , 弹性模型取



图 6 侧板与盖板裂缝(一)

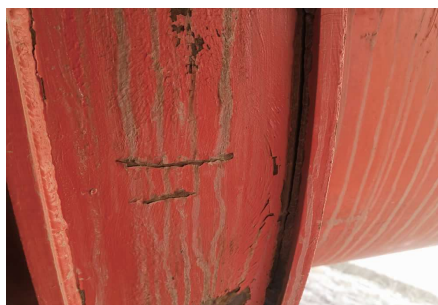


图 7 侧板与盖板裂缝(二)

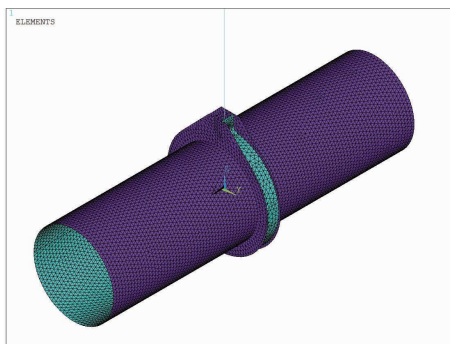
 $2.06 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$, 线膨胀系数 $1.0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}$ 。

图 8 短吊杆节点板局部有限元模型

计算主要考虑的影响因素包括成桥后基本组合、架设顶升工况、低温焊接工况作用。

3.1 基本组合工况对节点受力影响分析

整体模型采用 Midas Civil 分析, 局部模型中边界条件为管节一端固定、另一端收缩量为 2.1 mm, 在基本组合下提取吊杆力 200 kN, 端部负弯矩取 340 kN·m, 经计算得到节点的轴向应力如图 9 所示, 盖板处轴向应力为 -31~30 MPa 之间。

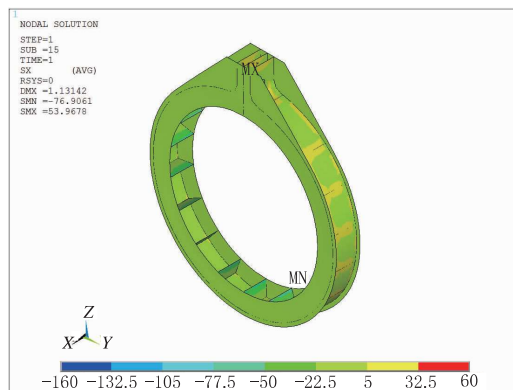


图 9 基本组合作用下吊耳轴向应力云图(单位:MPa)

3.2 架设顶升工况对节点受力影响分析

根据施工工艺,跨中顶升高度为 3 cm,局部 5 m 节段有限元模型端部顶升高差为 2 mm,经计算得到节点盖板处的 mises 应力如图 10、图 11 所示。由计算结果可以得出,加劲盖板底部产生压应力约为 2.8 MPa。

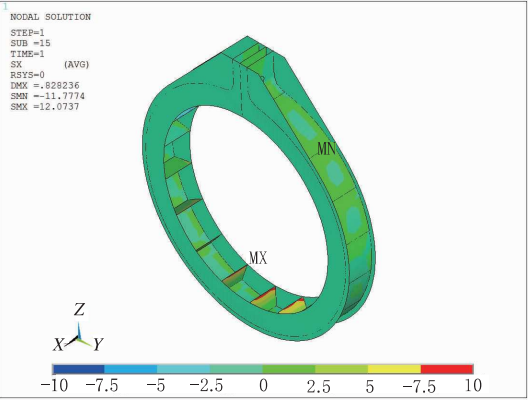


图 10 短吊杆节点板局部有限元模型(单位:MPa)

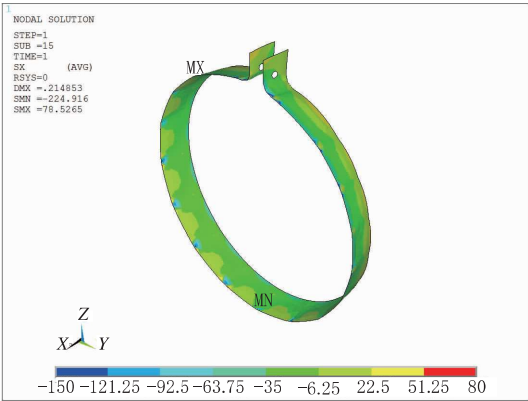


图 11 短吊杆节点板局部有限元模型(单位:MPa)

3.3 低温焊接工况对节点受力影响分析

施工过程中焊接变形收缩和整体环境温度始终是一个比较复杂的问题,焊缝的收缩变形与焊高、焊接线能量、钢板的厚度和焊缝的横截面积等因素有关。本工程由于吊耳节点尺寸较小,该构造特点为局部刚度较大,无法进行对称施焊,侧板与盖板采用单

边角焊缝。低温焊接工况下引起的变形量 $\Delta l = \alpha \Delta t l$,式中焊高取 14 mm,近缝区的温度取 1 300 ℃,得出焊接变形量为 0.21 mm,采用强制位移的方式加到焊缝处,经计算得出局部轴向应力高达 224 MPa。

3.4 开裂原因分析

从结构受力、施工工艺和局部节点焊接方面进行理论模拟分析,发现吊环局部因侧板 + 加劲横肋作用导致节点刚度较大,对侧板焊接后约束的作用较强,残余应力幅很高,外加基本组合作用下的体系内力及现场施工过程中焊缝质量存在缺陷等因素的共同作用下,可能导致焊缝处拉应力超出规范允许值^[4],是导致本次病害产生的主要原因。

4 结 论

本文针对大跨径下承式钢结构系杆管线拱桥在低温工况下现场焊接后侧板开裂这一实际问题进行了理论分析,利用通用有限元软件 Ansys 对结构局部节点进行了空间有限元分析。分析结果表明,在现场低温焊接工况下,侧板残余应力较大,焊接质量难以把控,侧板局部应力超出规范允许值,导致了本次病害的产生。今后,在遇到低温焊接小尺寸大刚度节点构造时,应采取工厂预制、现场拼装等工艺。在尺寸允许情况下,应选用对称施焊以分散应力。焊接过程中应采取预热、焊后缓冷、反变形法、散热法等措施,以避免产生吊耳局部节点开裂的问题。

参考文献:

[1] 刘沐宇,罗洪界,邓晓光.考虑焊接残余应力的构造细节疲劳性能评估[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2017,41(5): 713-718.
[2] 王进军,何雄君,杨阳.焊缝层数对斜拉桥锚拉板焊接残余应力影响[J].公路,2017,62(3): 73-78.
[3] 吴志勇.全焊钢吊杆拱桥设计关键技术[J].公路,2020,65(1): 94-98.
[4] JTG D64—2015,公路钢结构桥梁设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smedi.com 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com