

预应力混凝土箱梁桥腹板开裂参数影响分析

刘昀

(湖南交通职业技术学院,湖南 长沙 410132)

摘要:预应力混凝土箱梁裂缝是影响桥梁结构安全的重大隐患。该文对某三孔预应力混凝土变截面箱梁建立有限元模型,分析竖向预应力损失和箱梁腹板厚度对箱梁桥开裂的影响。结果表明:连续箱梁边墩支点附近的边跨现浇梁段的主拉应力值较大,且这些位置截面梁高较小,如果施工和运营阶段竖向预应力损失过大,在这些区域容易出现腹板斜裂缝;腹板厚度对斜截面抗剪承载力的影响比截面主拉应力的影响大;箱梁支点附近梁段腹板厚度较薄,容易导致斜截面抗剪承载能力不足。

关键词: 预应力混凝土;箱梁桥;开裂;参数分析

大跨径预应力混凝土梁式桥通常采用箱形截面,因其截面刚度大,整体性和连续性好,施工方便,设计理论和施工工艺也较为成熟。

箱梁桥运营一段时间后,设计和施工中的问题逐步显现,最典型的就是在腹板、顶板、底板、齿板以及横隔板等部位都易出现不同程度的裂缝。这些裂缝的存在,对结构的安全性、耐久性和正常使用产生了十分不利的影响;破坏了结构设计的计算假定条件,减小了混凝土有效截面面积,降低了安全度甚至破坏桥梁结构;钢筋失去了混凝土的保护,锈蚀速度加快,桥梁耐久性下降;降低箱梁的抗弯和抗剪刚度,导致开裂部位几何变形加大,从而引起主梁跨中下挠。预应力混凝土箱梁裂缝的存在轻则缩短桥梁使用年限,重则影响桥梁结构安全。因此,探明预应力混凝土箱梁裂缝产生机理及形成规律、改进完善设计施工措施、了解箱梁开裂后的使用性能已成为桥梁界急需解决的问题。

混凝土箱梁桥裂缝主要有两大类:结构性裂缝和非结构性裂缝。结构性裂缝是指结构承受荷载时产生的裂缝。非结构性裂缝一般是由混凝土材料组成、浇筑方法、养护条件和使用环境等多种因素影响而形成,如温度变化、混凝土收缩等因素引起的桥梁裂缝等。对于非结构性裂缝,一般通过设计和施工中的构造措施和施工工艺来加以预防和减轻,而结构性裂缝,则要分析其成因、性质和对安全性、耐久性的影响,并采取

预防措施。

箱梁腹板的斜裂缝是一种典型的结构性裂缝,其构造方面的原因通常认为有:①边中跨比偏大,支座处的剪切变形太大,腹板抗剪能力过低,故墩支点处易产生腹板裂缝;②箱梁竖向预应力筋一般都比较短且预应力损失较大,故边跨腹板易产生斜裂缝;③腹板普通钢筋网间距过大,抗裂性能不足导致斜裂缝。

以上因素对箱梁开裂的影响程度如何,有何防治措施?该文以某90 m跨径的箱梁桥为例,进行箱梁腹板斜截面开裂参数影响分析。

1 工程概况

某预应力混凝土变截面连续箱桥,跨径布置为:(60.5+90+60.5) m。该桥为单箱单室截面(图1),支点梁高和跨中梁高分别为4.8、2.3 m,顶板宽12.8 m、厚28 cm,腹板厚45 cm,底板宽6.8 m,底板边支点厚30 cm,中支点厚60 cm。

通过现场检测及踏勘,桥梁总体技术状况被评定为四类桥,需要进行大修。

2 桥梁开裂参数影响分析

采用有限元软件Midas/Civil对该桥建立全桥模

收稿日期:2021-01-13(修改稿)

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(编号:2021JJ60046);湖南省教育厅科学研究项目(编号:18C1418);湖南省交通运输厅科技项目(编号:201932)

作者简介:刘昀,女,博士,副教授。E-mail:liu-yun-sy@163.com

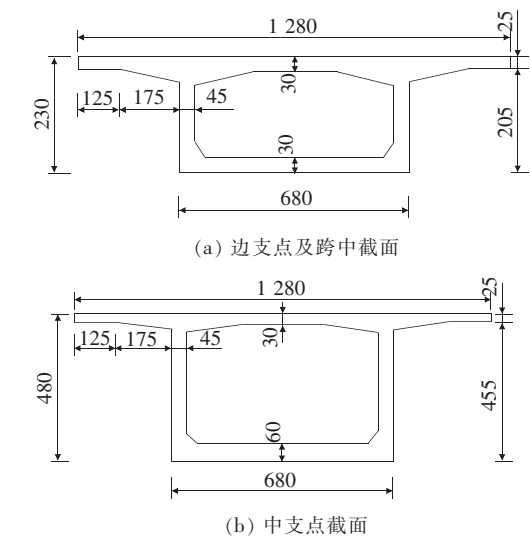


图1 箱梁截面尺寸(单位:cm)

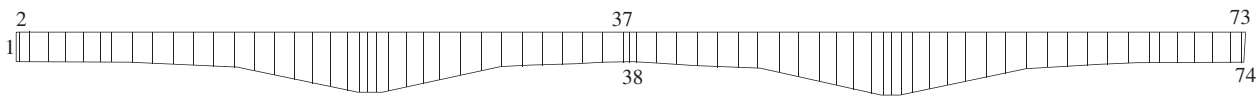


图2 结构计算模型

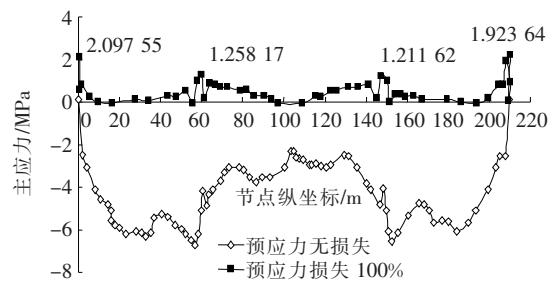


图3 运营10年后不同竖向预应力损失下主梁主应力对比

从图3可以看出:该桥运营10年后,竖向预应力损失100%后会在左、右边跨分别产生约2.10、1.92 MPa的主拉应力,在两个桥墩顶支座处的主拉应力也分别达到1.26、1.21 MPa。

不同竖向预应力损失后主梁主应力在最不利作用组合(恒载+汽车荷载+整体降温)下的变化规律如图4所示。

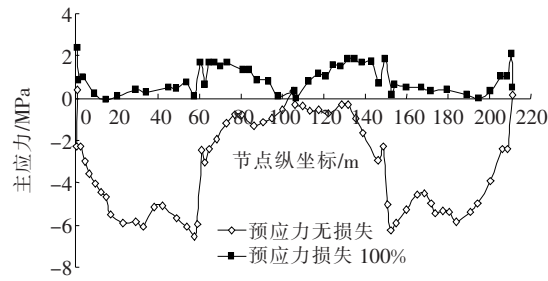


图4 最不利组合作用下不同竖向预应力损失梁截面主应力

从图4可以看出:竖向预应力损失100%后会在

型。主桥模型共80个单元,103个节点。其中边跨现浇段单元长度为0.44 m,边跨合龙段单元长度为0.15 m,标准节段长度分别为3.00、3.50 m,墩顶现浇段根据实际情况分别采用了2.00、1.50 m两种单元长度,中跨合龙段长度为1.00 m。结构计算模型见图2。

该文着重分析不同竖向预应力作用下梁截面的主拉应力变化规律,不同箱梁腹板厚度时梁截面上下缘正应力、主应力和箱梁抗剪承载力的变化规律。

2.1 斜截面抗裂性参数分析

2.1.1 竖向预应力损失影响

为突出箱梁桥竖向预应力损失对桥梁主应力分布的影响,该文将运营10年后竖向预应力损失100%的情况作为对比工况,分析不同竖向预应力损失下主梁主应力变化规律,结果见图3。

左、右边跨分别产生约2.38、2.28 MPa的拉应力,在两个桥墩顶支座处的拉应力也分别达到1.83、1.91 MPa。相比原设计状态,没有了竖向预应力的作用,边跨主梁主拉应力的压应力会减少1.99~6.27 MPa,中跨主梁主拉应力的压应力减少0.29~4.43 MPa。

以上结果说明:竖向预应力对主梁的主拉应力影响显著。在实际施工中,竖向预应力不张拉或张拉不到位、无压浆或压浆不饱满等情况常有发生,加上箱梁本身高度有限,极易受到施工质量的影响而导致预应力损失过大。竖向预应力筋损失增加时,梁截面的主拉应力的压应力储备不断变小,甚至出现主拉应力。

2.1.2 箱梁腹板厚度影响

(1) 运营10年后不同腹板厚度梁截面上、下缘正应力及主应力变化规律

在其他条件不变的情况下,运营10年后不同腹板厚度梁截面上、下缘正应力及主应力变化规律如图5~7所示。

图5显示:3条主梁上缘正应力曲线在大部分区域比较接近,在边跨1/4附近的影响稍大,墩顶和跨中压应力储备最小的区域影响约为0.45 MPa,原设计(腹板厚45 cm)全桥主梁截面上缘也没有出现拉应力。因此,腹板厚度的改变对主梁截面上缘正应力的影响不大。

图6显示的规律和图5相似,3条主梁下缘正应

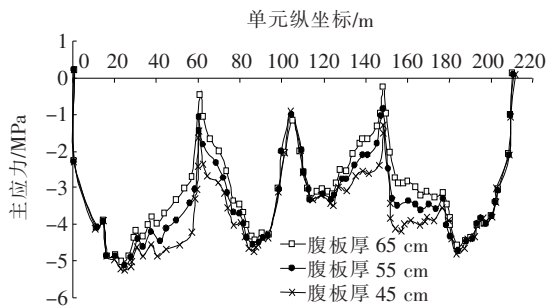


图 5 运营 10 年后不同腹板厚度主梁截面上缘正应力

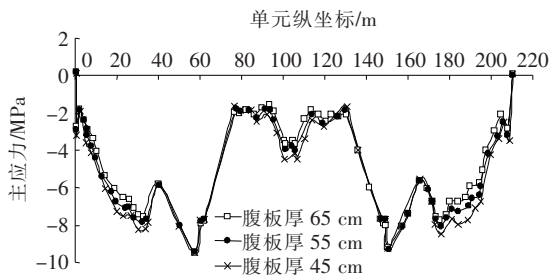


图 6 运营 10 年后不同腹板厚度主梁截面下缘正应力

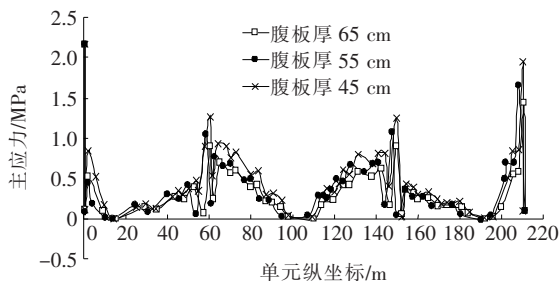


图 7 运营 10 年后不同腹板厚度主梁截面主应力

力曲线依然非常接近,腹板厚度的改变对主梁截面下缘正应力的影响也不大。

图 7 显示:两个桥墩墩顶上方的主梁主应力为 65 cm 厚腹板主梁的最大主应力(1.26 MPa)比 45 cm 厚腹板的最大主应力(1.04 MPa)减小了约 0.2 MPa,说明腹板厚度的适当增加能有效减小主梁截面的主应力。

(2) 最不利组合作用下不同腹板厚度梁截面上下缘正应力及主应力变化规律

经过对各作用效应组合对比分析,该文选取恒载+汽车荷载+整体降温的结果作为最不利组合,运营 10 年后不同腹板厚度梁截面上、下缘正应力及主应力变化规律如图 8~10 所示。

结合图 8 的计算数据不难发现,3 条曲线在大部分区域依然比较接近,但在两个墩顶上方位置的主梁在最不利组合作用下 3 种腹板厚度时均出现了拉应

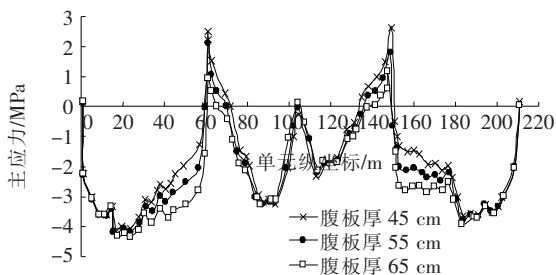


图 8 最不利组合作用下不同腹板厚度的梁截面上缘正应力

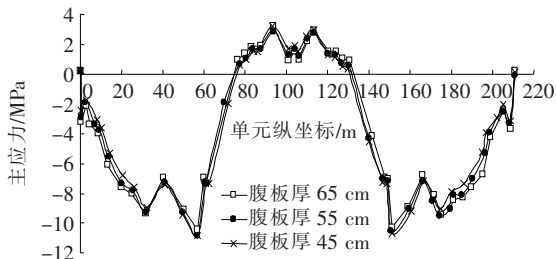


图 9 最不利组合作用下不同腹板厚度的梁截面下缘正应力

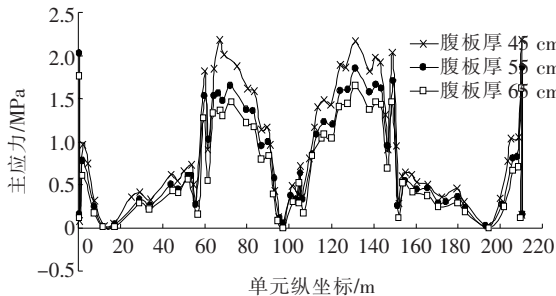


图 10 最不利组合作用下不同腹板厚度的梁截面主应力

力。不过随着腹板厚度的增加,拉应力由 2.23 MPa 减小到 0.49 MPa。因此,腹板厚度的增加能明显减小主梁截面上缘在最不利效应组合作用下的正应力。

图 9 中的 3 条曲线非常接近,因此腹板厚度的增加对主梁截面下缘在最不利效应组合作用下的正应力影响不大。

图 10 中的腹板增至 65 cm 厚时主梁主应力曲线相比腹板薄的明显偏小,尤其在桥墩墩顶朝跨中侧区域影响最明显。因此,腹板厚度增加时梁截面的主拉应力减小明显。

综合以上结论,过大的竖向预应力损失和偏薄的腹板厚度都可能使箱梁出现腹板斜裂缝,在设计和施工中适当加大腹板厚度、采取有效措施减小竖向预应力损失是避免出现此类裂缝的有效措施。

2.2 斜截面抗剪承载力参数分析

为分析箱梁抗剪承载力受腹板厚度的影响,该文选取以下 4 种荷载组合,9 个控制位置(图 11),分别加

大腹板厚度进行分析。

组合Ⅰ:恒荷载(1.0)+钢束一次张拉(1.0)+钢束二次张拉(1.0)+汽车荷载(1.4)。

组合Ⅱ:恒荷载(1.2)+钢束二次张拉(1.2)+徐变二次(1.0)+收缩二次(1.0)+汽车荷载(1.4)+整体升温(1.12)。

组合Ⅲ:恒荷载(1.2)+钢束二次张拉(1.2)+徐变二次(1.0)+收缩二次(1.0)+汽车荷载(1.4)+整体降温(1.12)。

组合Ⅳ:恒荷载(1.0)+钢束二次张拉(1.0)+徐变二次(1.0)+收缩二次(1.0)+汽车荷载(1.4)+整体升温(1.12)。

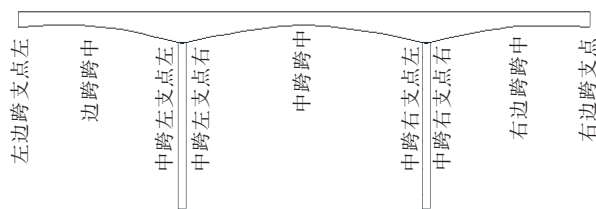


图 11 抗剪承载力控制位置

不同腹板厚度对主梁截面抗剪承载力对比结果见图 12。

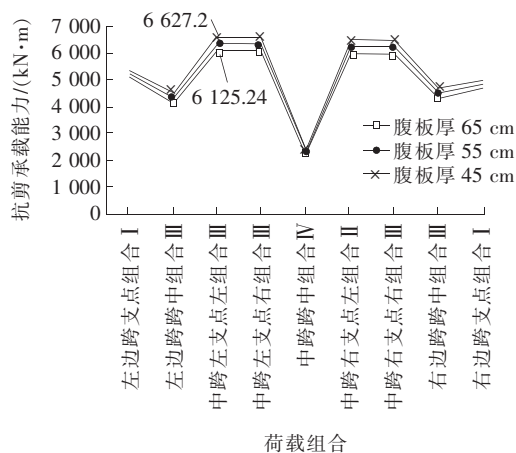


图 12 不同腹板厚度主梁抗剪承载力

由图 11 可知:

(1) 原设计采用的腹板厚度为 45 cm, 此设计状态下两边跨支点附近、中跨跨中附近抗剪承载力满足要求, 但左、右边跨跨中和中跨支座附近抗剪承载力不满足要求, 需要进行加固。

(2) 当腹板厚度由 45 cm 增加到 55 cm 时, 抗剪

承载力增加了约 4%; 当腹板厚度由 55 cm 增加到 65 cm 时, 抗剪承载力增加了约 5%。说明随着腹板厚度的增加, 梁截面的抗剪承载力在提高, 但增加幅度不大。

(3) 随着腹板厚度的增加, 梁截面在荷载组合作用下, 除跨中(跨中剪力减少了 8%) 剪力增加了 3%~5%。

3 结论

结合某预应力混凝土变截面连续箱桥的受力状态和裂缝成因参数研究, 分析了竖向预应力损失和不同腹板厚度对斜截面抗裂性和斜截面承载能力的影响, 得到如下结论:

(1) 由斜截面抗裂性验算可知, 连续箱梁边墩支点附近的边跨现浇梁段的主拉应力值较大(属于斜裂缝危险区域), 同时这些位置截面梁高又较小, 施工和运营阶段竖向预应力损失过大会导致这些区域出现腹板斜裂缝。

(2) 腹板厚度对截面主拉应力的影响较小, 而对斜截面抗剪承载力的相对影响较大。

(3) 斜截面抗剪承载力验算表明该桥箱梁支点附近梁段腹板厚度较薄, 从而导致斜截面抗剪承载力不足。

(4) 竖向预应力能够提供较大的竖向压应力储备, 从而改善腹板主拉应力。但是竖向预应力损失过大会加速腹板斜裂缝的出现。施工时可采取二次张拉或补张拉的措施进行弥补。

参考文献:

- [1] 方志. 现浇预应力混凝土连续箱梁开裂分析及其影响因素[J]. 中国市政工程, 2019(1).
- [2] 董晓兵, 伍贤智. 某连续刚构桥箱梁病害有限元分析及加固[J]. 北方交通, 2016(6).
- [3] 陈平燕. 大悬臂薄腹板连续箱梁桥腹板开裂病害原因分析及加固方法研究[J]. 公路, 2019(3).
- [4] 叶见曙. 结构设计原理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [5] 阮大伟, 陈蛟, 谢开仲, 等. PC 连续箱梁施工阶段裂缝检测及成因分析[J]. 公路, 2020(3).
- [6] 李运浦. 预应力连续箱梁早期腹板裂缝分析及防治措施[D]. 广西大学硕士学位论文, 2020.