

图2 桥梁墩顶断面(单位:cm)

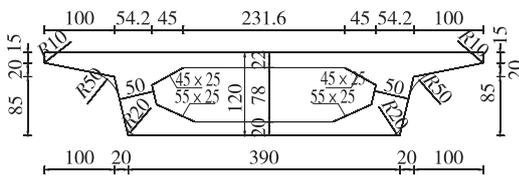
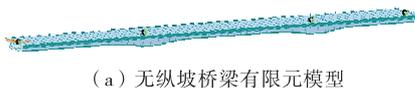


图3 桥梁跨中断面(单位:cm)

2 有限元模型

以常规无纵坡 PC 连续梁计算模型为比较对象,同时建立含纵坡的结构模型,有限元模型共 64 个节点、63 个单元。荷载考虑结构自重、二期恒载、预应力荷载、整体升温、整体降温、梯度升温、梯度降温,其中预应力钢束竖弯以顶板顶缘为参考点布设,移动荷载根据 CJJ 11-2011《城市桥梁设计规范》计算。有限元模型见图 4。



(a) 无纵坡桥梁有限元模型



(b) 含纵坡桥梁有限元模型

图4 桥梁有限元模型

3 计算结果分析

3.1 施工阶段荷载作用下结构内力

为直观分析纵坡对 PC 连续梁结构力学性能的影响,以各跨跨中节点、 $L/4$ 节点、 $L/8$ 节点(L 为桥梁各跨跨度)为研究对象,计算结构自重、预应力荷载一次效应(钢束张拉力对截面形心的内力引起的效应)与预应力荷载二次效应(超静定结构引起的钢束二次效应)下结构内力及支座反力,结果见图 5、图 6、表 1。

由图 5、图 6 可知:对于三跨连续梁,施工过程中,恒载作用下纵坡对结构内力的影响较小,结构内力的差异更多地反映在钢束作用上。该桥预应力钢束采用通长布置,两端张拉,桥梁纵坡按照 8% 控

制,预应力力臂与无纵坡桥梁有差异,造成预应力产生的弯矩不同。施工阶段钢束一次+钢束二次效应考虑纵坡时的结构弯矩比无纵坡桥梁跨中弯矩增大 1 182 kN·m,边跨弯矩减小 439~654 kN·m。

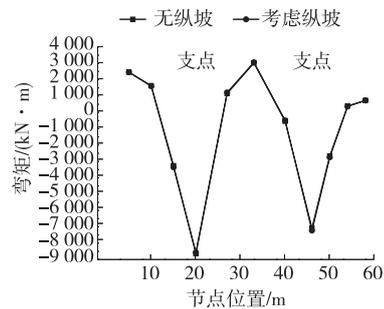


图5 有无纵坡时施工阶段恒载作用下结构内力对比

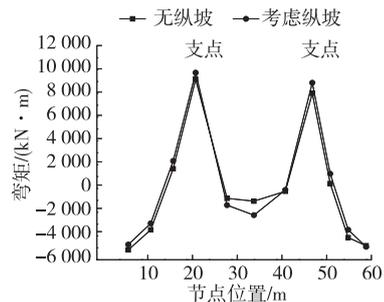


图6 有无纵坡时施工阶段钢束一次+钢束二次效应结构内力对比

表1 有无纵坡时施工阶段结构支反力对比 kN

支点	结构反力	
	无纵坡	考虑纵坡
边支点	1 201.8	1 235.3
中支点	3 305.2	3 294.3
中支点	2 966.6	2 904.7
边支点	893.2	955.8

由表 1 可知:施工过程中,纵坡对结构支反力的影响较小。

3.2 正常使用极限状态下结构内力

根据 JGT D60-2015《公路桥涵设计通用规范》,分别考虑频遇组合、准永久组合,对其取包络值。有无纵坡时桥梁结构内力、支反力对比见图 7、图 8、表 2。

由图 7、图 8 可知:对于三跨连续梁,正常运营过程中,移动荷载作用下纵坡对结构内力的影响较小;相较于不考虑纵坡的计算模型,考虑纵坡时跨中内力减小,支点位置弯矩增大。

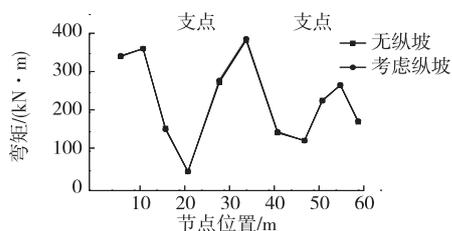


图7 有无纵坡时运营阶段移动荷载作用下结构内力对比

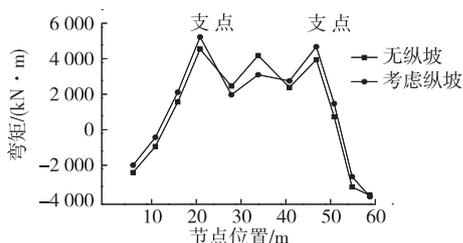


图8 有无纵坡时正常使用极限状态下结构内力对比

表2 有无纵坡时正常使用极限状态下

结构支反力对比 kN

支点	结构反力	
	无纵坡	考虑纵坡
边支点	1 405.3	1 440.1
中支点	3 649.9	3 641.7
中支点	3 304.7	3 245.3
边支点	1 112.8	1 176.7

由表2可知:纵坡对结构支反力的影响较小;考虑纵坡后,结构支反力分配更均衡。

3.3 承载能力极限状态下结构内力

基于MIDAS/Civil后处理PSC设计功能,计算含纵坡、不含纵坡结构的承载能力,计算中采用相同的预应力钢束布置方式。图9为有无纵坡结构的承载能力极限状态内力包络图。

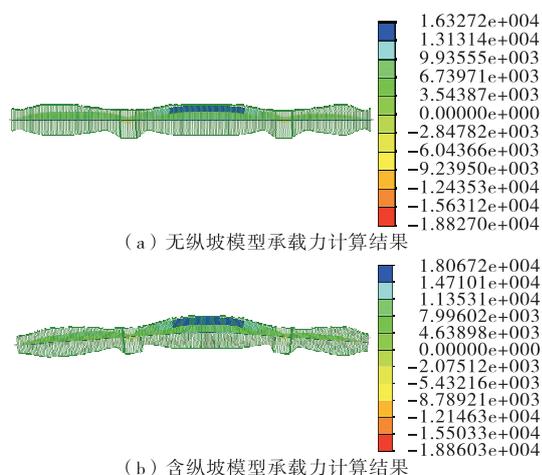


图9 承载能力极限状态内力包络图

由图9可知:承载能力极限状态下,预应力布置方式均满足规范要求;无纵坡模型承载力计算结果的安全冗余度为1.2%,考虑纵坡模型承载力计算结果的安全冗余度为9.7%,均发生在中跨跨中位置。对各荷载效应进行分析,考虑纵坡后,钢束二次效应较明显。

4 结论

(1) 相较于平直桥梁,桥梁结构考虑纵坡后,施工及正常运营阶段恒载、移动荷载作用下结构弯矩变化较小,预应力荷载引起的弯矩变化较大。

(2) 大纵坡对结构支反力的影响较小。

(3) 承载能力极限状态下,考虑纵坡后,钢束二次效应较明显,结构力学性能出现差异,纵坡使结构内力更均衡。

参考文献:

- [1] 罗超,任晓敏.连续桥梁最小纵坡设计分析[J].公路,2017(7):166-167.
- [2] 陈彦江,苏鹏,闫维明.带纵坡曲线梁桥地震响应试验研究[J].桥梁建设,2019,49(1):12-17.
- [3] 陈星光.高速公路改扩建工程纵坡设计[J].公路,2012(2):15-17.
- [4] 李世伟,廖朝华.改扩建工程大桥纵坡设计的探讨:沪宁高速公路改扩建工程陆慕大桥桥面纵坡设计[J].中外公路,2008,28(6):138-140+141.
- [5] 赵洋.大坡度桥梁设计特殊性解析与要点梳理[J].城市道桥与防洪,2017(4):74-77.
- [6] 刘军.汽车荷载离心力作用下弯坡连续刚构桥内力响应[J].公路与汽运,2015(11):143-146.
- [7] 常柱刚,张红显.曲线异形双层人行钢桁梁力学性能研究[J].铁道科学与工程学报,2018,15(6):1475-1480.
- [8] 单积明,蔡飒,伍静.山区高速公路单向纵坡箱梁桥梁体纵向滑移分析[J].水利与建筑工程学报,2017,15(2):176-182.
- [9] 刘英.基于有限元模型修正的全抗扭支承曲线梁桥爬移问题研究[D].西安:长安大学,2017.
- [10] 于杨龙.弯坡连续刚构桥收缩徐变影响机理研究[D].西安:长安大学,2014.
- [11] 肖洪波,傅鹤林,翟永,等.大纵坡桥梁受力性能分析[J].企业技术开发,2018,37(6):6-10.
- [12] 张菊辉,管仲国.匝道桥地震响应影响要素分析[J].桥梁建设,2015,45(4):58-63.
- [13] 陈娟婷,陈素华,曹菲.人行桥设计中的人体舒适度研究[J].公路与汽运,2019(5):115-117.

收稿日期:2019-12-09