

系杆拱桥结构受力分析

张宗山

(贵州大学, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 系杆拱桥兼具拱桥的跨越能力和简支梁桥对地质基础的适应能力的优点, 故而广泛应用于国内外的桥梁建设。本文以某系杆拱桥为研究背景, 用有限元软件 Midas/Civil 对桥梁进行模拟, 分析其吊杆和拱肋结构受力, 得出以下结论: (1) 恒载引起吊杆和拱肋的内力比活载较大; (2) 在恒载和活载作用下, 拱肋在拱脚处弯矩较大; (3) 对于有纵坡的系杆拱桥, 其纵向的不对称性会对拱肋弯矩产生影响。研究结果可为同类桥梁设计与后期加固提供参考依据。

关键词: 系杆拱桥; Midas/civil; 受力分析

中图分类号: U448.22+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 12—0151—03

系杆拱桥是主要由拱肋、吊杆和系梁组成的一种复合结构体系, 因其内部超静定外部简支的受力特性, 故兼具有拱桥的较大跨越能力和简支梁桥对地基适应能力两大特点。当桥面高程受到严格限制而桥下又要求有较大的净空, 或当墩台基础地质条件不佳但又要保证较大跨径时, 系杆拱桥是一种较优越的桥型^[1-4]。由于系杆拱桥设计和施工技术逐渐趋于成熟, 在许多城市建设和公路修建上得到大量运用, 如广州南沙凤凰三桥、扬州大运河桥等, 均为系杆拱桥结构^[5-6]。但随着时间推移, 许多系杆拱桥均存在服役过久, 使用负荷较大现象, 而且当时设计和施工技术不完善, 导致目前部分系杆拱桥仍存在许多问题, 如出现裂缝, 变形等病害, 甚至直接发生倒塌, 危及人民生命财产安全^[7-8]。为减少此类情况发生, 笔者以某系杆拱桥为研究背景, 以此桥的受力情况分析其内力作用机理。具体方法为, 使用有限元软件 Midas/Civil 对桥梁进行数值模拟, 以软件模型模拟桥梁真实受力情况, 并读取其各部件在荷载作用下的内力情况, 分析其吊杆和拱肋结构受力, 本文研究结果可在同类桥梁设计以及后期加固过程中提供一定的参考依据。

1 工程概况

桥梁全长 179 米, 全宽 40 米, 按整幅桥设计。桥型为全钢结构系杆拱桥。桥上设置双向 6 车道, 两侧各 6 米人行道及中央 4 米中分带。设计荷载为汽车荷载城-A, 人群荷载按城市桥梁设计规范 (CJJ 11-2011) 设计。桥梁立面布置如图 1 所示。

主梁采用扁平焊接钢箱梁, 共设 18 道纵腹板。梁两侧高 1.7m, 中间高 1.88m, 设有横坡。顶板厚 16mm, 底板厚 14mm。钢箱梁顶板采用 U 形肋 (上口

宽 300mm, 底板宽 170mm, 高 280mm, 板厚 8mm), 底板采用板肋 (高 200mm, 宽 12mm)。

拱肋采用箱型截面, 采用二次抛物线线型。计算跨径为 152m, 矢高 30m, 矢跨比 1/5.2。

全桥设 3 道拱肋, 拱圈高 20m, 宽为 1.96m, 标准断面钢板厚度为 30mm, 拱脚加强区为 60mm。

全桥拱肋共有 3×29 根吊杆, 吊杆纵向间距按 5m 设置, 横向轴线距 15.1m。吊杆上端锚固于拱肋下缘吊耳处, 下端锚固于梁底。张拉端设置在梁底。吊杆采用新型吊杆体系, 每根吊杆由高强钢绞线吊索索体与高强钢拉杆通过连接器连接形成。吊索为 15-31 高强钢绞线, 采用 GJ 钢绞线整束挤压吊杆体系锚具。

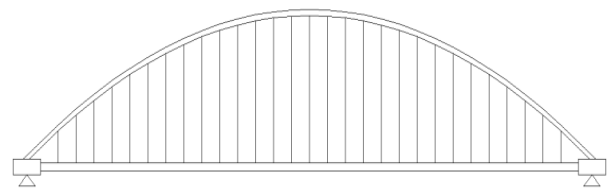


图 1 桥梁立面布置示意

2 建立模型

运用 Midas/Civil 有限元软件建立系杆拱桥计算模型, 共 384 个节点, 975 个单元。模型中拱肋、横撑、系梁均以梁单元进行模拟, 吊杆采用桁架单元模拟, 系杆拱桥计算模型如图 2 所示。模型中 X, Y, Z 坐标分别表示系杆拱桥的纵向、横向与竖向, 坐标原点 O 位于中间拱肋的一侧拱脚处, 在坐标原点处设置固定支座, 同侧另外两个拱脚处设置约束 X 和 Z 方向的活动支座, 中间拱肋另一拱脚处设置约束 Y 和 Z 方向的活动支座, 其它支座设置只约束 Z 方向的活动支座。桥梁系梁采用

梁格法进行模拟，将系梁分解成9个箱型截面，再用虚拟横梁连接起来。

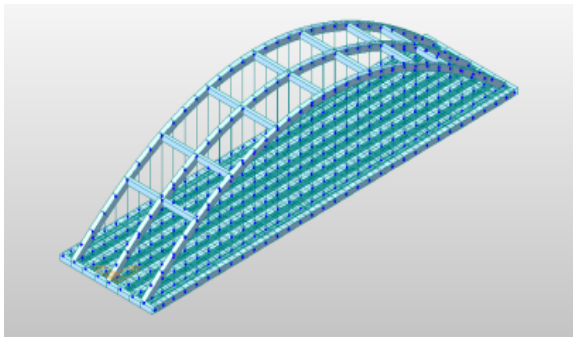


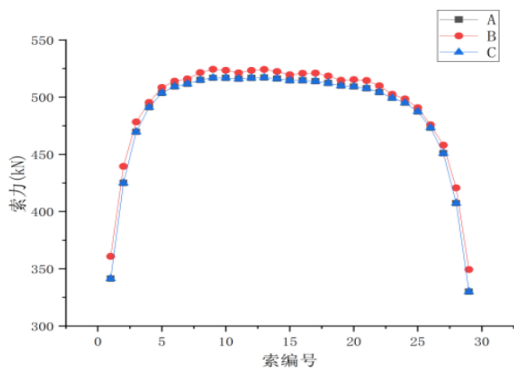
图2 系杆拱桥有限元模型

3 结构受力分析

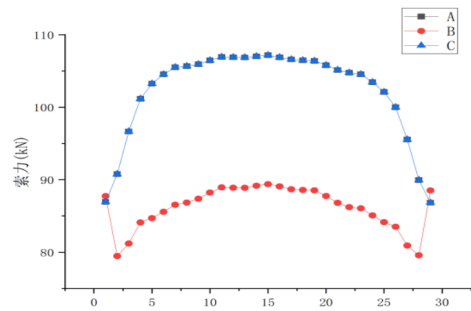
3.1 吊杆内力

吊杆作为连接系杆拱桥拱肋和承受车辆荷载系梁的一个关键构件，它通过受拉使结构成为一个整体，协调整体结构受力，系杆拱桥的结构内力分布的合理性取决于吊杆受力是否合理。通过模型对系杆拱桥吊杆结构进行数值分析，提取其内力分布数据，得到在恒载、活载作用下各吊杆的索力分布情况，如图3所示，以A、B、C分别代表左幅吊杆、中间吊杆和右幅吊杆。

根据图3可知，恒载作用下左右幅吊杆的索力变化一致，中间吊杆索力略大于左右幅吊杆索力。考虑到桥梁存在纵坡的情况可以认为拱桥两侧吊杆的索力呈对称分布，桥梁三组吊杆最大索力均出现在跨中位置。而活载作用下左右幅吊杆索力变化一致，而中间吊杆索力与左右幅变化差异相对较为明显，整体上仍呈对称分布。在恒载或活载作用下各吊杆均为受拉状态，对比恒载和活载作用下吊杆整体索力大小，可知恒载作用为引起吊杆轴力的主要因素，而活载作用对吊杆索力影响相对较小。



(a) 恒载作用



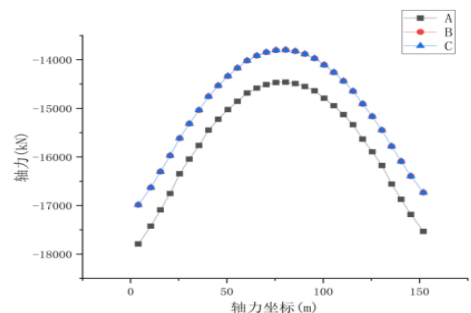
(b) 活载作用

图3 吊杆轴力变化曲线

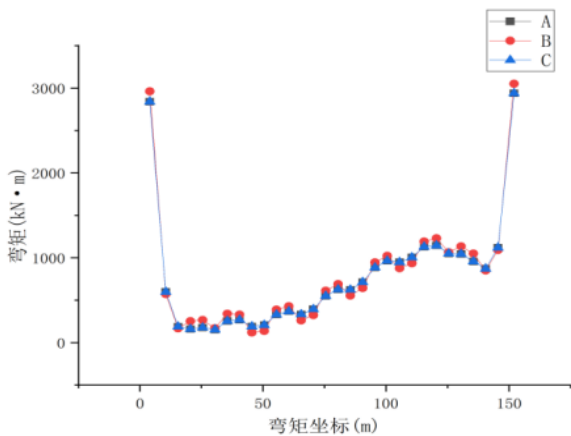
3.2 拱肋内力

拱肋是系杆拱桥中主要的承重构件，其结构构造使得拱肋主要承受轴向压力，而更少地承受弯矩，故能合理利用材料承受更大的荷载。拱肋内力的控制对全桥整体受力和成桥线形有着决定性影响，拱肋所受弯矩的大小以及分布情况直接决定了桥梁受力的合理性，拱肋的变形也将影响桥梁线性是否与设计值一致。通过对模型在恒载及活载作用下拱肋结构的轴力和弯矩进行数值分析，提取相关数据，分析得到各单元中点轴力与弯矩的变化规律如图4、5所示，用A、B、C分别表示左幅拱肋、中间拱肋和右幅拱肋。

根据图4可知，拱肋结构在恒载作用下产生较大的轴向压力，两侧各单元的轴力呈对称分布，左右幅拱肋轴力较中间拱肋小。三条拱肋均在拱顶处轴力值最小，并沿跨中向两侧拱脚逐渐递增。在恒载作用下拱肋在拱脚处弯矩较大，在拱肋中间段产生的弯矩较小，由于纵坡的影响，故弯矩图不对称，纵坡对拱肋弯矩影响较大。从图5可以看出，在活载的作用下拱肋结构均处于受压状态，两侧拱肋轴力较中间拱肋大。三条拱肋的轴力均由拱顶往拱脚逐渐增大，在拱脚处达到最大值，且两侧轴力分布呈对称趋势。拱肋全跨弯矩均为正弯矩，且三条拱肋弯矩变化趋势一致，均在1/4跨处弯矩最大，分别向跨中、拱脚处逐渐减小呈M形状。

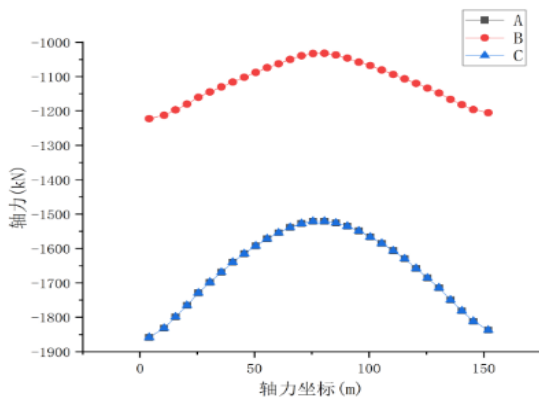


(a) 轴力

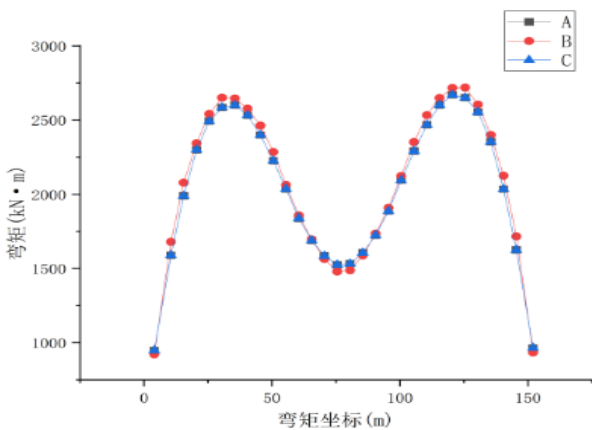


(b) 弯矩

图4 恒载作用下拱肋内力变化曲线



(a) 轴力



(b) 弯矩

图5 活载作用下拱肋内力变化曲线

4 结语

通过对某系杆拱桥进行数值模拟并对吊杆和拱肋结构受力进行数值分析,得到在恒载和活载作用下吊杆和拱肋结构的内力数据,分析其变化规律,其结果可在同类系杆拱桥设计与后期加固过程中提供一定参考依据,优化其结构受力以及外观线性,使桥梁更好地承受

荷载。

(1) 恒载作用下吊杆和拱肋的内力变化明显要大于活载作用,桥梁所受的力更多地是为了抵抗自身结构产生的自重,活载引起各构件的轴力与弯矩值仅为恒载的10倍左右,优化桥梁材料能够使自重降低,提高桥梁运营效率;

(2) 在恒载和活载作用下,拱肋在拱脚处弯矩较大,当拱桥设计时,应加强拱脚的强度以保证桥梁后期的正常运营,在后续的使用中应关注拱脚的结构损伤,进行荷载试验时着重分析拱脚受力情况;

(3) 对于有纵坡的系杆拱桥,其纵向的不对称性会对拱肋弯矩产生影响,故在对桥梁进行索力优化时应考虑到纵坡的影响,尽量使拱肋受力趋于对称,以保证桥梁承受荷载的强度。

参考文献:

- [1] 韩保勤. 钢-混凝土拱桥吊杆张拉方案比选[J]. 桥梁建设, 2015, 45(1): 114-119.
- [2] 赵铭伟. 增大截面法在拱桥加固中的应用[J]. 山西交通科技, 2017, (1): 57-60.
- [3] 欧阳辉来, 张万华. 新开河大桥拱脚设计及局部应力分析[J]. 世界桥梁, 2009, (3): 33-35.
- [4] 杨剑, 邹团结, 汪金胜. 梁拱组合拱桥拱脚局部应力分析和试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2014, (6): 25-29.
- [5] 于刚. 九堡大桥设计过程复杂节点局部分析[J]. 城市道桥与防洪, 2011, (12): 30-33.
- [6] 刘芳. 下承式钢管混凝土拱桥空间稳定性与极限承载力研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [7] 曾勇, 马如进, 谭红梅. 大跨上承式钢管混凝土拱桥的动力特性研究[J]. 中外公路, 2014, (3): 113-117.
- [8] 陈建兵, 熊秉贤, 李夏元, 等. 钢管混凝土拱桥新增吊杆加固设计[J]. 世界桥梁, 2016, 44(5): 83-88.