

# 不等高双薄壁墩结构参数对连续刚构桥力学行为影响分析

陈柏良

上海公路桥梁(集团)有限公司

**摘要:** 不等高连续刚构桥结构受力变形相对常规桥梁会产生较大差异,国内外的不等高连续刚构工程实例很多,但研究资料却比较少,针对不等高连续刚构静动力参数敏感性的研究较为欠缺,结构受力情况并不明确,有必要对此进行分析,本文单独考虑在自重、整体升温、移动荷载作用下的参数敏感性,并参用单因素变量分析法,单独改变低墩参数对成桥状态下的结构进行对比分析。纵向壁厚选用0.9m、1.2m、1.5m、1.8m、2.1m,双肢间距选用8.7m、7.7m、6.7m、5.7m、4.7m五个方案进行分析比较。

**关键词:** 不等高双薄壁墩;连续刚构桥;单因素变量分析法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.13.060

一般的大跨度桥梁设计中,为使桥墩具有一致的变形能力,一般都会设计成高度相等或相近的桥墩,但由于地形地貌的原因,采用对称等高桥墩不仅会造成施工难度加大、经济性不合理,故而采用不等高的桥墩设计<sup>[1]</sup>。由于桥墩刚度的差别,导致桥墩在受力和变形时相差比较大表现出不对称性<sup>[2]</sup>。此外,混凝土收缩、徐变、活载以及温度等对桥梁的影响明显,内力分布差异大。此外在动力作用下对结构体系的受力产生的影响会更加复杂,地震响应不明确<sup>[3]</sup>。

## 一、工程背景

该新建桥梁是云蒙山特大桥,主桥采用连续刚构跨越现有云蒙山水库堤坝及溢洪道,跨径组合为(95+175+95)m,上下行分幅设置,桥宽16.31m。起点桩号K37+082.80,终点桩号K37+664.80,桥梁全长582.0m,中心桩号为K37+373.80。

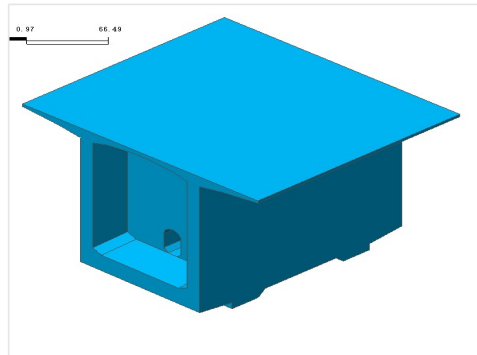
连续梁为单箱单室、变高度、不同截面结构连续梁现浇混凝土,连续梁全长365m(含两侧两端至边支座中心各1.94m)。其中控制截面的梁体高为:边跨现浇段为5.0m。

连续梁边跨现浇段顶板厚度30cm至60cm,底板厚度32cm至80cm,腹板厚度为55cm至100cm,按1.8次抛物线或折线变化;整桥单幅一共有10道横隔梁;主墩顶处设置厚1.8m的横隔梁,边墩顶设置厚度2.0m的端隔梁,12#块/17#块/20#块横隔梁厚0.6m,体外预应力转向位置加厚至1.5m。

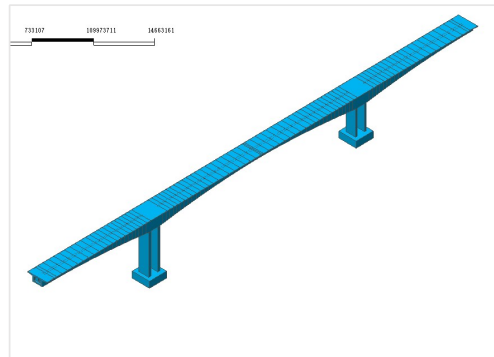
## 二、几何模型的建立

依托云蒙山特大桥主桥建立有限元模型。首先在CAD中画出箱梁各截面,然后导入Midas FEA中建立平面,再使用放样功能将相邻截面建立起相应实体单元(图2.1)。上部箱梁可以先建立0#块模型,再导入2#截面,利用1#与2#控制截面建立1#块,以此类推建立至

22#块实体。再利用镜像功能绘出对称部分箱梁实体。然后用控制截面放样方法绘出中跨以及边跨合拢段实体。最后利用截面使用扩展功能建立桥墩实体。



(a) 0#块模型建立



(b) 全桥几何模型建立

## 三、结构响应主要控制点关键截面的选取

对于大跨径连续刚构,结构响应主要控制点为支点和跨中截面附近,桥墩在墩顶墩底两端。据此本文选取主梁边跨跨中、主跨跨中、主梁墩顶,主墩取双肢墩顶与墩底等作为结构响应的分析截面,依次记为1~15,关键截面选取位置见图3.1。

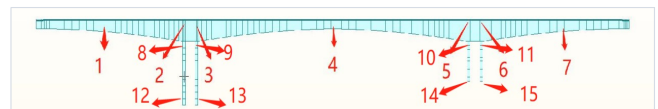


图 3.1 云蒙山特大桥关键截面选取示意图

## 四、恒载作用下双薄壁墩参数分析

连续刚构上部结构自重过大,再加上各种恒载作用,结构所受恒载作用约占70%~90%,由于恒载长期作用于结构,故容易引发各种病害,影响结构安全性、耐久性<sup>[4]-[6]</sup>。因此有必要分析恒载工况下结构的受力。

(一) 恒载作用下低墩壁厚对主梁弯矩及位移的影响

根据图4.1可知，恒载作用下，主梁跨中处挠度较大，低墩边跨跨中挠度为-47.77mm，主跨跨中挠度为-18.55mm，高墩边跨跨中挠度最大，为-54.79mm。壁厚从0.9m增加到2.1m时，高墩边跨跨中、主梁根部挠度均增大，挠度增幅最大处位于高墩主梁根部，增幅为2.33%。

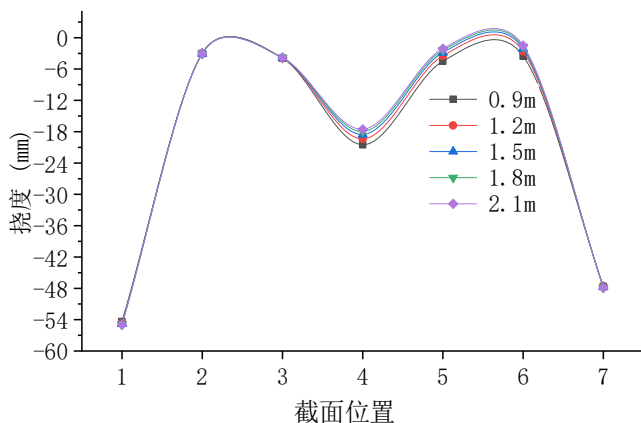


图 4.1 恒载作用下主梁挠度对比

分析可知，恒载作用下，弯矩极值位于主梁根部，低墩壁厚的增加对各跨中截面影响较大，尤其对低墩侧边跨跨中影响最大，对主梁各根部弯矩影响较小。总体上，壁厚的改变对主梁各截面弯矩影响较小。

主跨跨中、低墩主梁根部、低墩边跨跨中截面挠度得到改善，挠度降幅最大处位于低墩主梁根部，降幅为27.39%。低墩壁厚的改变对低墩根部、主跨跨中截面的挠度影响相对较大，总体上低墩壁厚的改变对主梁整体挠度影响较小。

(二) 恒载作用下低墩壁厚对桥墩内力及桥墩挠度的影响

由图4.2可知，恒载作用下，随着低墩壁厚的增加，高墩与低墩外肢负弯矩先减小，而后变为正弯矩不断增大；高墩与低墩内肢弯矩则不断增加。壁厚的改变对墩顶弯矩影响很大，壁厚从0.9m增加到2.1m时，高墩与低墩最大变幅分别为215.66%、509.83%；

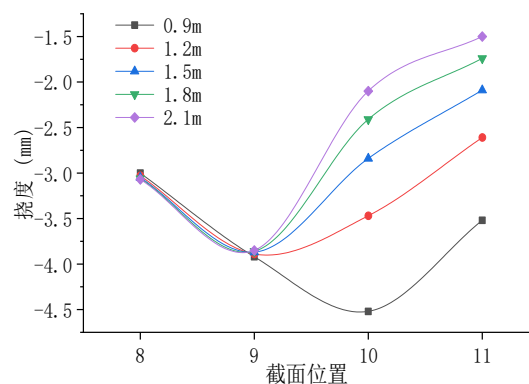
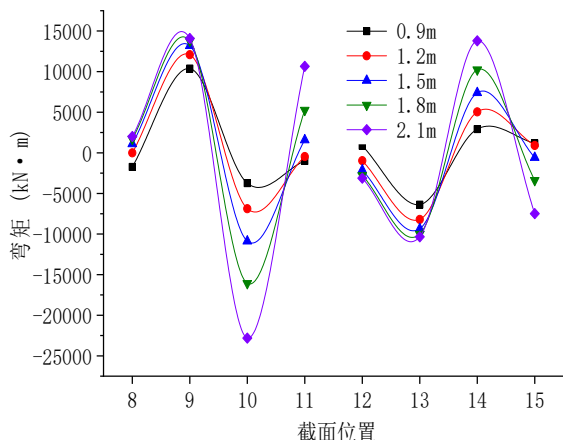


图 4.2 恒载作用下桥墩弯矩及挠度对比

此随着壁厚的不断增大，低墩墩顶弯矩相较高墩会非常敏感，当壁厚增加到2.1m时，低墩内肢墩顶弯矩由-3741.66kN·m增加到-22817.86kN·m，而高墩内肢承受的弯矩较小，为14075.76kN·m；因此壁厚过大会导致高低墩所受墩顶弯矩极不平衡。高墩墩顶挠度几乎无变化，低墩墩顶挠度减小且变化较大，最大降幅为25.85%。壁厚为0.9m时，最大挠度处位于低墩墩顶，为4.52mm。壁厚增加到2.1m后最大挠度处位于高墩墩顶，为3.85mm。这是因为随着低墩壁厚增加，其刚度随之增加，挠度就会减小。

五、纵向地震作用下双薄壁墩参数敏感性分析

不等高连续刚构受力与常规桥相比存在较大不同，因此当发生地震时，不等高双薄壁墩连续刚构桥因其自身构造特性产生的地震响应更为复杂，高低墩的受力与变形仍需研究探讨。目前对此类桥梁的抗震设计尚未有普适性的细则，因此对于不等高连续刚构桥的地震响应仍需要研究。

(一) 纵向地震作用下低墩壁厚对主梁弯矩的影响

由图5.1可知，纵向地震下，随低墩壁厚增加，各跨中截面均有大幅变化，高墩边跨跨中弯矩减小，最大降幅为41.13%，主跨跨中截面、低墩边跨跨中弯矩增幅分别为40.83%、90.63%。高墩主梁墩顶弯矩随之增加，最大增幅为41.84%。低墩左肢主梁根部弯矩减小，最大降幅为14.68%，低墩右肢根部弯矩随之增大，最大增幅为20.89%。

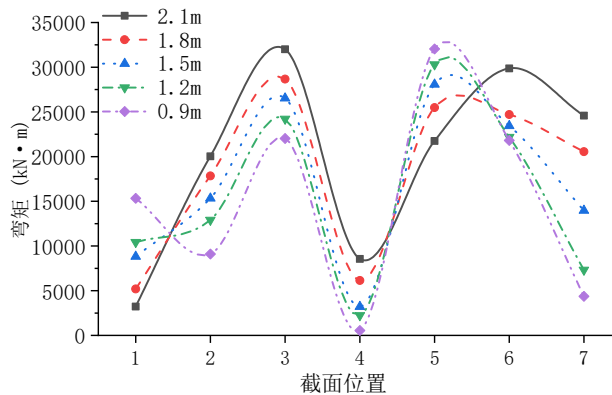


图 5.1 纵向地震作用下主梁弯矩对比

主梁最大弯矩发生在墩顶主梁根部处，当壁厚为0.9m时，低墩左肢根部弯矩最大，为32045.8kN·m；当壁厚增大到2.1m时，最大弯矩位于高墩右肢根部，为32010.71kN·m。总体上，纵向地震作用下，壁厚的改变对主梁各截面弯矩的影响均较大，各截面弯矩随壁厚增加都有大幅变化，弯矩极值主要出现在梁根部。

(二) 纵向地震作用下低墩壁厚对桥墩弯矩的影响

由图5.2可知，纵向地震作用下，高墩墩顶弯矩随壁厚增加而减小，弯矩由31254.66kN·m减小到11624.61kN·m，最大减幅为36.93%，低墩墩顶弯矩则增大，弯矩由10762.6kN·m增加到37954.7kN·m，最大增幅为77.30%。随着壁厚增加，高墩墩底弯矩逐渐减小，弯矩由28591.17kN·m减小到12614.44kN·m，最大降幅为39.86%。

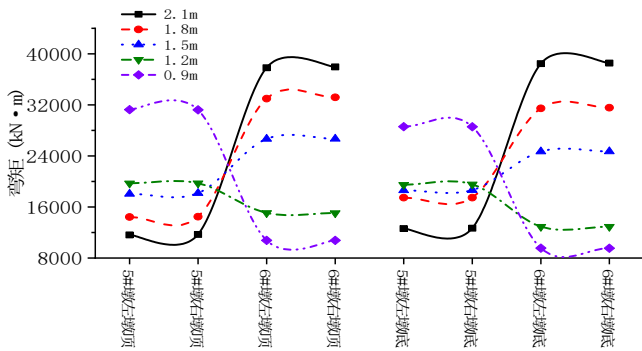


图 5.2 纵向地震作用下桥墩弯矩对比

低墩墩底弯矩逐渐增大，由9540.9kN·m增加到38550.83kN·m，墩底弯矩增幅为91.36%。分析表明纵向地震下，随着壁厚的增加，高墩侧的弯矩减小，低墩侧的弯矩增大，这就导致高低墩的竖向弯矩会出现极不平衡的情况。

(三) 纵向地震作用下低墩壁厚对墩顶位移的影响

由图5.3可知，纵向地震作用下，桥墩产生较大位移。墩顶纵向位移基本相同，以低墩内肢为例，低墩壁厚从0.9m变化到2.1m时，纵向位移从44.95mm减小到14.20mm，降幅依次为38.52%，16.81%，22.92%，19.89%。且随着壁厚增加，位移时程曲线存在较为明显的滞后性。分析表明，纵向地震下随着壁厚增加，纵向位移有较明显的减小。

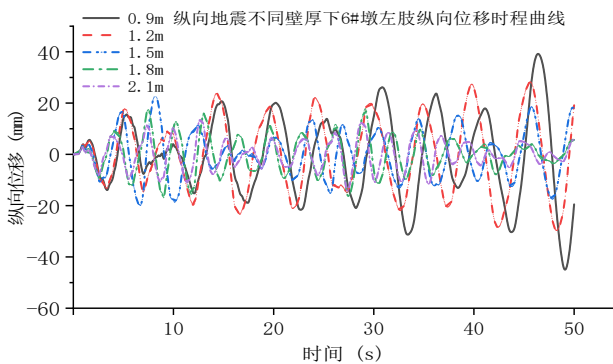


图 5.3 纵向地震作用下墩顶纵向位移对比

六、结论

(1) 恒载作用下，低墩壁厚的改变对主梁根部弯矩的影响很小，对各跨中截面弯矩影响相对较大，其中对低墩边跨跨中弯矩影响最为明显；低墩壁厚的改变对主跨跨中、低墩根部截面挠度影响较大，对主梁纵向位移影响较大，且位移变化量大致相同，均随壁厚增加向高墩侧移动；低墩壁厚的改变对桥墩弯矩与轴力的影响显著，且对低墩弯矩与轴力的影响程度大于高墩侧，壁厚增加会导致高低墩所受墩顶弯矩极不平衡；低墩壁厚的改变对低墩墩顶挠度影响较大，高墩墩顶挠度无变化，对墩顶纵向位移影响较大。

(2) 纵向地震作用下，随着壁厚增加，主梁各截面弯矩的变化均较大，弯矩极值主要出现在梁根部。且全桥的纵向位移也随之减小；对于桥墩而言，高墩侧的弯矩减小，低墩侧的弯矩增大，这就导致高低墩的竖向弯矩会出现极不平衡的情况，墩顶纵向位移有较明显的减小，且随着壁厚的增加，位移峰值出现的时间提前。

参考文献

[1] 丁孝斌. 钢管混凝土拱桥核心混凝土收缩徐变效应分析[D]. 重庆交通大学, 2021.  
 [2] 石现峰, 梁志广, 李建中. 几种常用混凝土收缩徐变模式的比较分析[J]. 石家庄铁道学院学报, 1998 (01): 8-13+31.  
 [3] 杨帆. 刚构—连续组合梁桥双肢薄壁墩设计参数的分析与优化[D]. 兰州交通大学, 2015.  
 [4] 张顺民. 大高差连续刚构桥桥墩的受力和优化设计[D]. 兰州交通大学, 2016.  
 [5] 杨帆. 连续刚构桥双肢薄壁墩设计参数的分析与优化[J]. 兰州交通大学, 2014.  
 [6] 程志友, 钱骥, 陈鑫, 何进朝. 高低墩连续刚构桥的动力特性与抗震分析[J]. 铁道建筑, 2018, 58 (07): 18-21.

基金项目：河南省重点研发与推广专项(202102310255)；上海公路桥梁(集团)有限公司科研项目(2020-KY-3)

作者简介：陈柏良, 1991.02, 男, 汉, 安徽淮北, 大学本科, 中级工程师, 研究方向：工程管理。