

## 柱系梁对双柱式高墩桥梁稳定性的影响分析浅谈

李毅

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074

**[摘要]**大部分工程建设者认为横系梁设置对双柱式桥墩抗震性能影响较大,合理设置横系梁个数和刚度能有效提高桥梁结构抗震性能。但目前国内各地区横系梁设置原则仍存在较大差异,部分工程虽处于低烈度地震区,却参照高烈度地震区设置多道横系梁,不但导致材料浪费、施工繁琐,而且还降低了结构的位移延性。文章以某6度区高速公路上一座7×30m预应力混凝土装配式T梁为工程背景,通过桥梁通用计算软件Midas civil 2023建立有限元模型,结合Pushover分析理论,研究分析下部结构在相同荷载工况时,不同墩高、不同墩系梁个数对桥梁整体稳定性的影响。研究结果表明:柱系梁的设置对桥梁稳定性提升较大;处于六级地震烈度区时,对直径1.6米的圆柱墩,墩高在20m及以下时可不设置墩系梁;处于六级地震烈度区时,对直径1.8米的圆柱墩,墩高达到30m需设置二道墩系梁方可满足桥梁稳定性要求。

**[关键词]**柱系梁;双柱式高墩;Pushover;桥梁稳定性

DOI: 10.33142/ect.v2i4.11806

中图分类号: U441

文献标识码: A

### Analysis of the Influence of Column Beam on the Stability of Double Column High Pier Bridges

LI Yi

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430074, China

**Abstract:** Most engineering builders believe that the setting of transverse beams has a significant impact on the seismic performance of double column bridge piers. Reasonable setting of the number and stiffness of transverse beams can effectively improve the seismic performance of bridge structures. However, there are still significant differences in the setting principles of transverse beams in various regions of China. Although some projects are located in low intensity earthquake zones, they refer to high intensity earthquake zones to set up multiple transverse beams, which not only leads to material waste and construction complexity, but also reduces the displacement ductility of the structure. The article takes a 7\*30m prestressed concrete prefabricated T-beam on a certain 6-degree highway as the engineering background. A finite element model is established using the bridge general calculation software Midas civil 2023, and combined with the Pushover analysis theory, the influence of different pier heights and the number of pier system beams on the overall stability of the bridge under the same load condition is studied and analyzed for the lower structure. The research results indicate that the setting of column beams significantly improves the stability of bridges; When in a seismic intensity zone of magnitude 6, for cylindrical piers with a diameter of 1.6 meters, pier tie beams may not be installed when the pier height is 20m or less; When in a seismic intensity zone of magnitude 6, for cylindrical piers with a diameter of 1.8 meters and a pier height of up to 30 meters, two pier tie beams need to be installed to meet the stability requirements of the bridge.

**Keywords:** column system beam; double column high pier; Pushover; bridge stability

### 引言

随着我们祖国的高速发展,我国的基础建设也突飞猛进、发展迅速,高速公路几乎修到每一个县城,甚至很多乡镇都通了高速公路。其中桥梁是高速公路中最重要的一种结构物之一,遇水架桥、逢沟谷架桥、跨越其它构造物也需要桥梁,桥梁的规模直接影响一条高速公路的造价、施工工期。常规跨径的预应力装配式桥梁又是所有桥梁中数量最多、运用范围最广的,这类桥梁的下部结构往往采用双柱墩或三柱墩,桥墩高度较大时会设置柱系梁,以增加整个桥梁的稳定性,提高桥梁的抗震性能和承载能力。但具体柱式墩的高度达到多少米时需要设置柱系梁,以及设置几根柱系梁尚未达成统一结论,很多地方本着“宁多勿少”、安全富余的想法,在低烈度地震区桥梁工程仍然

参照高烈度地震区桥梁工程的设计原则,无须设置墩系梁时设置一道、只需设置一道墩系梁时设置二道,带来了经济的浪费、施工的繁琐,降低了桥梁结构的延性。本文以某6度区高速公路上一座7×30m预应力混凝土装配式T梁桥为工程背景,通过桥梁通用计算软件Midas civil 2023建立有限元模型,模拟分析下部结构在相同荷载工况时,不同墩高、不同墩系梁个数时对桥梁整体稳定性的影响。

### 1 工程概况

本文所引用工程背景为一座7×30m预应力混凝土装配式T梁桥,桥梁单幅宽度为12.75m,全线按设计速度100公里/小时,路基宽度26米的双向四车道高速公路标准建设,汽车荷载等级为公路-I级。桥梁上部结构由5

片 T 梁构成, 主梁高度为 2.0m。其中, 边梁顶部宽度为 2.075m、底部宽度为 0.6m; 中梁顶部宽度为 1.75m、底部宽度为 0.6m。下部结构桥墩采用双柱墩, 桥台采用肋板式桥台, 桥墩桥台均采用桩基础。

原设计文件中, 当桥梁桥墩高度在 25m 以内时, 选用直径 1.6m 圆柱墩, 当双柱墩的两个桥墩高度小于 15m 时, 不设置墩系梁; 当双柱墩的两个桥墩高度均超过 15m 时, 设一根墩系梁。当桥梁桥墩高度在 25~30m 区间范围内时, 选用直径 1.8m 圆柱墩, 当双柱墩的两个桥墩高度均超过 25m 时, 设两根墩系梁。桥墩采用 C35 混凝土、主筋采用 42 根 HRB400 直径 28mm 的钢筋; 盖梁采用 C40 混凝土、主筋采用 21 根 HRB400 直径 28mm 的钢筋。下部结构具体构造图如下图 1~2 所示。

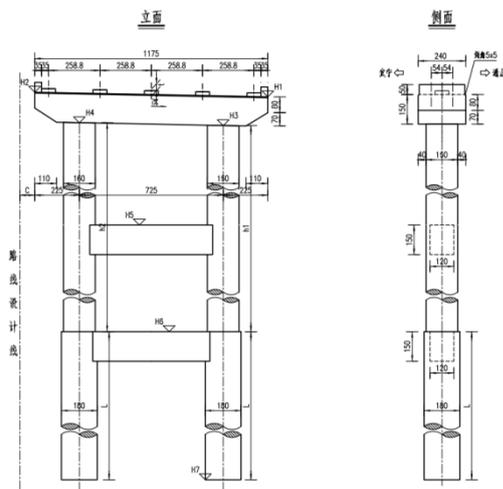


图 1 标准 1.6+1.8m 双柱墩结构图

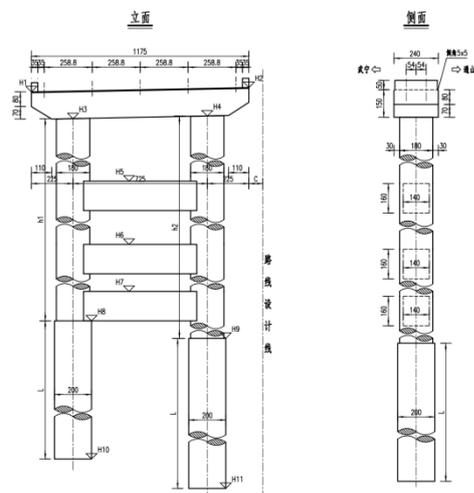


图 2 标准 1.8+2.0m 双柱墩结构图

## 2 计算理论

本文采用 Push-over 理论研究桥梁下部结构在自重、公路 I 级荷载、地震作用下, 桥墩的受力响应情况, 以探

讨桥墩墩系梁的设置情况对桥梁下部结构稳定型及承载能力的影响。

Push-over 方法是一种基于结构非线性响应进行分析的手段, 在评估结构抗震性能和设计中具有重要价值。通过合理的非线性模拟和参数设定, 选择适当的地震荷载记录, 并考虑地震波谱和时程特性等因素, 可以更准确地评估结构的抗震性能。并且, 根据许多现在已有的研究表明, Push-over 方法相较于传统的线性弹性分析, 能够提供更准确的设计和修复方案。同时, 随着计算机技术和软件工具的发展, Push-over 方法的分析和计算效率也得到了极大提高, 使其在工程实践中得到了更广泛的应用, 特别适用于桥梁工程、高层建筑、烟囱等结构类型。对于桥梁结构而言, Push-over 方法可以通过分析结构的侧向刚度、轴向力分布等指标, 评估结构的耐震能力, 从而为桥梁的抗震设防水平提供科学依据。

Push-over 方法基于结构的整体受力性能进行分析, 它通过在结构的某个关键位置施加水平推力, 逐渐增加推力大小, 直至结构达到塑性破坏为止。在此过程中, 可以绘制出结构的侧向推力-层间位移曲线, 该曲线被称为 Push-over 曲线。Push-over 曲线的形状及其特征参数能够反映出结构的受力性能和抗震性能, 进而为结构的抗震设计和性能评估提供依据。

## 3 计算分析

本桥采用桥梁通用计算软件 Midas Civil 2023 建立有限元模型, 以 X 轴为纵桥向、Y 轴为横桥向、Z 轴为竖桥向, 采用梁单元分别模拟上部结构主梁, 下部结构桥墩、盖梁、桥墩、桩基等, 建立全桥整体模型, 全桥共设有 984 个节点、1061 个梁单元, 整体模型见下图 3。根据桥墩高度的不同, 分别设定 1#墩墩高为 16m、桥墩直径 1.6m、6#墩墩高为 18m、桥墩直径 1.6m、2#墩墩高 30.5m、桥墩直径 1.8m; 3#墩墩高 34.5m、桥墩直径 1.8m、4#墩墩高 33m、桥墩直径 1.8m、5#墩墩高 31.5m、桥墩直径 1.8m。采用边界条件模拟上下构之间的联系、桩底的基础支撑, 施加桥梁自身重力荷载、公路 I 级荷载、温度荷载、横向风荷载的荷载组合作用, 得到桥墩竖向墩顶反力值, 以及墩顶在横向风荷载作用下的横向反力值。



图 3 4×30m 预应力混凝土 T 梁全桥整体模型

根据整体模型计算得到的结果, 进一步建立下部结构的局部有限元模型。选取 1.6m 墩接盖梁、1.8m 墩接盖梁的标准结构形式分别建立局部计算模型, 利用 Midas

Civil 2022 计算程序建立有限元模型进行计算，计算模型主要包括：盖梁、桥墩、墩系梁三部分。三部分均采用梁单元进行模拟，墩底进行固结约束，墩顶与盖梁弹性连接，系梁与桥墩采用共节点的方式连接，盖梁顶施加上部结构传递的竖向荷载。探讨 1.8m 桥墩在墩高 30m 时不设墩系梁、设 1 道墩系梁、设 2 道墩系梁的受力情况，以及 1.6m 桥墩在墩高 20m 时不设墩系梁的受力情况。

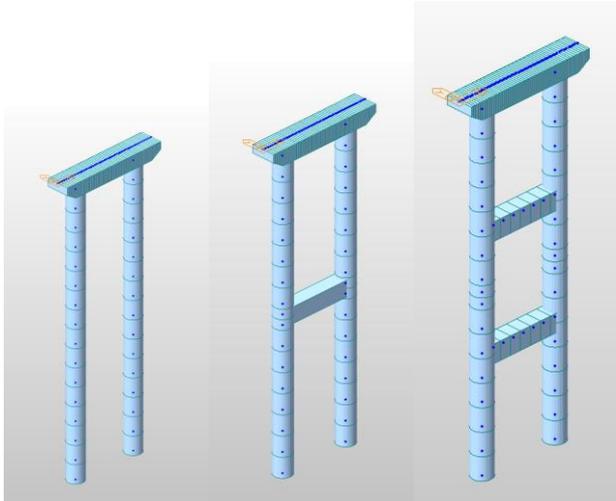


图 4 局部计算结构模型图 (0、1、2 个墩系梁)

(1) 根据下部结构局部模型，提取出墩顶与墩底截面在恒载作用下轴力值。然后采用 Midas 弯矩曲率曲线计算工具得到轴力值对应等效屈服弯矩，根据下式 (1) 计算出桥墩剪力值。

$$V_{c0} = \frac{M_n^t + M_n^b}{H_n} \quad (1)$$

式中： $M_n^t$ -单柱墩墩顶塑性较区域截面超强弯矩 (kN · m)；  
 $M_n^b$ -单柱墩墩底塑性较区域截面超强弯矩 (kN · m)；  
 $H_n$ -取墩顶塑性较中心到墩底塑性较中心的距离。

对横桥向所有桥墩剪力值求和，作为第一次迭代计算墩顶水平力，施加于盖梁中心，随后计算提取恒载和墩顶水平力标准组合工况下墩顶与墩底截面轴力值，计算对应等效屈服弯矩。重复上述计算步骤，采用迭代方式直至计算得所有桥墩总剪力值与上一次差值在 10% 以内，根据所得结果计算出墩顶水平力对应各墩顶、底塑性较特性 (屈服弯矩、曲率、 $\alpha$ )，求得刚度折减系数。

(2) 采用 Midas CDN 中 pushover 分析功能，定义 pushover 荷载工况，采用位移控制理论，将盖梁中心或者墩顶系梁中心作为控制点，根据桥墩横向变形能力定义最大位移，施加于盖梁中心或墩顶系梁中心一水平力，并添加到“荷载模式”中，定义并分配墩顶、墩底、系梁塑性较特性值，对桥墩和系梁进行刚度折减，运行 pushover 分析，在“pushover 较结果-变形”中查看桥墩各关键位置曲率，查找计算出墩顶允许变形值。最后进行桥墩受力分析，

确定桥墩在六度区地震作用下时桥墩横向剪力设计值、桥墩顶底轴力极值、桥墩刚度折减系数、塑性较特性值，进而采用 CDN 验算桥墩的塑性较抗剪强度和墩顶的位移情况。

(3) 得到计算结果如下所示：

①直径 1.8m 桥墩

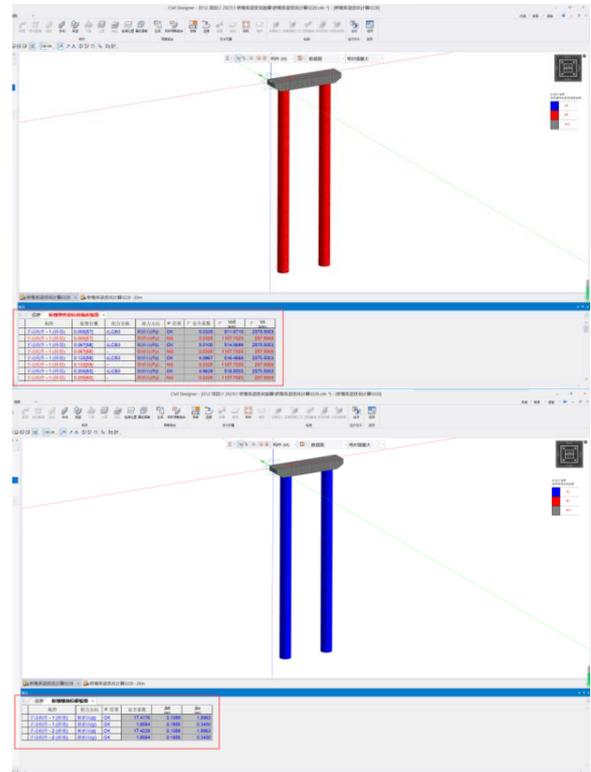


图 5 墩高 30 米无系梁计算结果

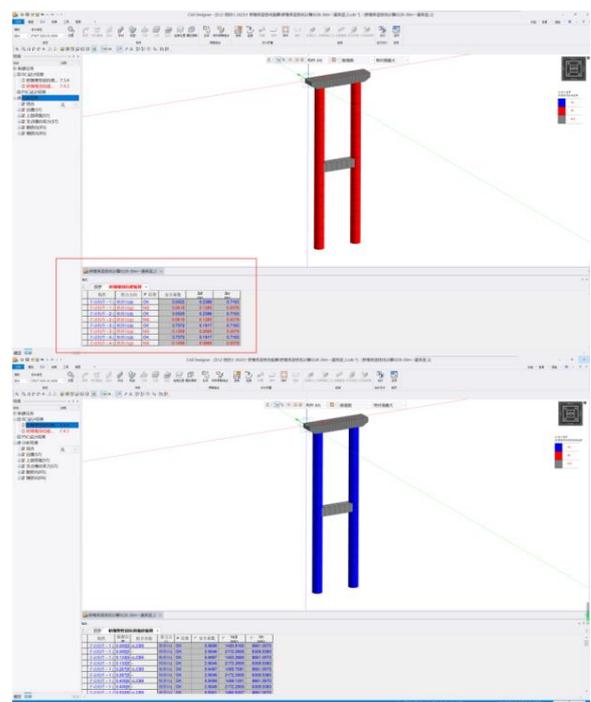


图 6 墩高 30 米 1 道系梁计算结果

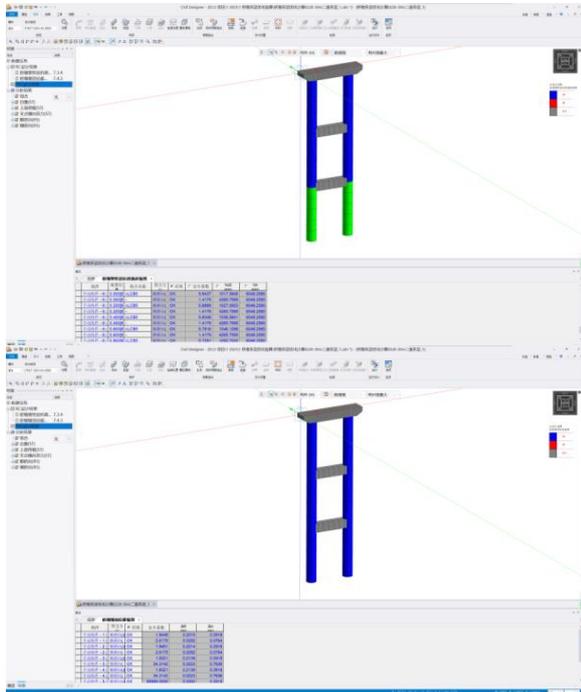


图7 墩高30米2道系梁计算结果

由上述计算结果可知，直径1.8m的30m高桥墩，当设置0道柱系梁时，墩顶横向位移计算结果可满足规范要求，但塑性铰抗剪强度无法满足规范要求；当设置1道柱系梁时，塑性铰抗剪强度可满足规范要求，但墩顶位移无法满足要求；当设置2道柱系梁时，桥墩塑性铰抗剪强度及墩顶横向位移均可满足规范要求。

#### ②直径1.6m桥墩

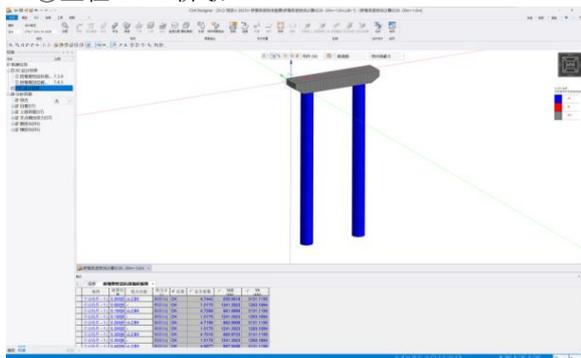


图7 直径1.6m高20m桥墩塑性铰抗剪强度计算结果

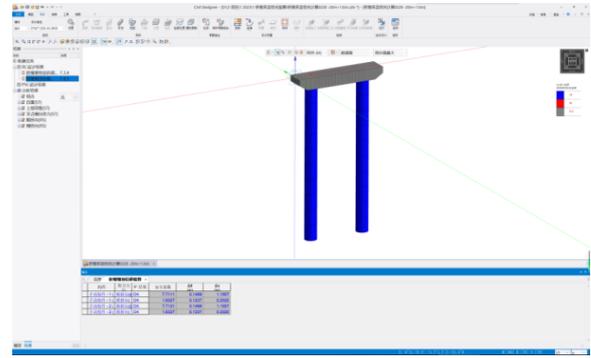


图8 直径1.6m高20m桥墩墩顶横向位移计算结果

由上述计算结果可知，直径1.6m的20m高桥墩，在设置0道系梁时，桥墩塑性铰抗剪强度及墩顶横向位移均可满足规范要求。

#### 4 结论与建议

综上所述，在地震烈度6度区，桥墩塑性铰抗剪强度及墩顶横向位移计算结果的对比分析，直径1.8m的30m高桥墩需设置两根柱系梁，可保证桥墩塑性铰抗剪强度及墩顶横向位移满足规范要求；直径1.6m的20m高桥墩，在不设置柱系梁时，桥墩塑性铰抗剪强度及墩顶横向位移均可满足要求。

但在实际工程中，由于施工单位的施工水平参差不齐、施工现场不确定因素较多，故建议按照《公路桥梁抗震设计规范》中相关条文，直径1.6m的20m高桥墩，增设一道系梁，以增加一定的安全度富余量。

#### 【参考文献】

- [1]陈阳清. 常规双柱式桥墩横系梁对桥梁抗震性能的影响[J]. 湖南交通科技, 2014, 7(2): 93-96.
- [2]孔云森. 双柱桥墩横系梁设计综述[J]. 城市建设理论研究, 2016, 14(9): 296-298.
- [3]赵利强. 系梁对柱柱式桥墩稳定性影响的研究[J]. 山西交通科技, 2014, 10(5): 57-59.
- [4]陈水生, 刘琨, 桂水荣. 横系梁对双柱式高墩桥梁抗震性能的影响[J]. 华东交通大学学报, 2017, 8(4): 01-06.
- [5]邢洪扬, 张永旺. 高墩系梁设置对桥墩横向地震响应的影响[J]. 城市道桥与防洪, 2021, 3(3): 143-148.
- [6]范立础. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [7]宋一凡. 公路桥梁动力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.

作者简介：李毅（1991.4—），汉族，硕士研究生学历，毕业院校为长沙理工大学，现就职中南勘察设计院集团有限公司。