

连续刚构桥主墩合理刚度的计算与分析

黎志谋, 黎天豪

四川文理学院建筑工程学院 四川达州

【摘要】以连续刚构桥的主墩刚度为研究对象, 结合主墩受力特征, 分析了主墩刚度的影响因素。从现有文献出发, 整理、归纳、总结了连续刚构桥主墩合理刚度的计算理论和简化计算方法, 结合工程案例, 分析了文献中实用方法的适用性和可靠性。

【关键词】连续刚构桥; 主墩合理刚度; 计算; 分析

【基金项目】本文系校级课题四川文理学院科研启动基金资助项目(项目编号: 2023QD44)的研究成果

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 6 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000130

Reasonable stiffness calculation and analysis of main piers in continuous rigid frame bridges

Zhimou Li, Tianhao Li

School of Architecture and Engineering, Sichuan University of Arts and Science, Dazhou, Sichuan

【Abstract】 Taking the stiffness of the main piers of a continuous rigid frame bridge as the research object and considering the mechanical characteristics of the main piers, this study analyzes the influencing factors of pier stiffness. Based on existing literature, the calculation theories and simplified methods for determining the reasonable stiffness of the main piers in continuous rigid frame bridges are compiled, summarized, and reviewed. Combined with engineering case studies, the applicability and reliability of the practical methods proposed in the literature are analyzed.

【Keywords】 Continuous rigid frame bridge; Reasonable stiffness of the main piers; Calculation; Analysis

连续刚构桥的突出优点是结构刚度较大, 由于采用墩梁固结设计, 所以特别适合采用悬臂施工法^[1]。相对于连续梁桥, 连续刚构桥的主墩截面尺寸不能设计得过大, 即主墩应具有合理的刚度。关于连续刚构桥的主墩合理刚度, 主要从三个方面来考虑: 一是要适应上部结构梁体在温度变化、混凝土收缩徐变、横向地震作用等因素产生的纵向水平位移, 所以通常将主墩设计成纵向抗推刚度小的柔性墩^[2]; 二是悬臂浇筑梁体节段混凝土时不可避免将产生不平衡弯矩, 此时主墩为偏压柱, 墩身截面需满足纵向抗弯的要求; 三是在偏载和横向风力的作用下, 主墩又必须具备一定的抗扭刚度。关于主墩刚度与柔度的匹配问题, 是连续刚构桥主墩截面设计的关键, 国内相关文献也有一些讨论和研究。

文献[3]统计并讨论了国内已建成的典型大跨径连续刚构桥主墩设计情况, 桥梁主跨在 160 米以上时, 主墩采用双肢空心薄壁墩, 双肢间距在 8 米以上; 跨径小于 160 米时, 主墩多采用双肢实心薄壁墩, 肢距在 8

米以下。

文献[4]和文献[5]分析了主墩纵桥向宽度尺寸对桥跨结构内力、位移和稳定性的影响。主墩刚度变化对连续刚构桥主梁内力影响不大, 在讨论主跨刚度时, 可排除主跨刚度变化对主梁内力的影响, 仅从柔性墩在连续刚构桥中的功能来研究主墩的合理刚度。

文献[6]依托三滩黄河大桥的主墩设计案例, 研究了双肢薄壁墩的肢距对桥跨结构内力、位移和稳定性的影响。肢距越大, 结构稳定性系数越大; 肢距减小, 桥墩所受弯矩减小, 轴力增大。

本文从现有文献出发, 总结了连续刚构桥主墩合理刚度的计算理论和简化计算方法, 结合工程案例, 分析了文献中实用方法的适用性和可靠性。

1 连续刚构桥主墩的计算模型

连续刚构桥为了满足上部结构的纵向水平位移, 需要将桥墩设计成抗推刚度小的柔性墩。同时, 要承受梁体悬臂施工产生的不平衡弯矩, 主墩又必须满足

第一作者简介: 黎志谋(1991-)男, 助理研究员, 硕士研究生, 主要研究方向为桥梁结构动力、稳定性及非线性分析。

基本的强度要求。在不平衡弯矩的作用下, 主墩受力类似偏心受压柱, 墩肢间距也与结构稳定性相关。至于主墩的抗扭能力, 在连续刚构桥主墩设计时, 双肢薄壁墩的抗扭能力远大于单肢墩, 闭合截面(箱形截面)的抗扭性能要优于开口截面(矩形截面)。关于提高主墩的抗扭刚度, 还可以从增加墩壁厚度或截面尺寸、墩身内部设置加强肋板等方面来考虑。综上所述, 连续刚构桥主墩的合理刚度问题即是在满足强度的条件下尽量减小主墩的抗推刚度, 赋予主墩柔性。

由于柔性墩的墩顶水平位移主要受剪力控制, 主墩墩顶弯矩对柔性墩的水平位移影响较小^[5], 故可以将主墩近似视为一端固结(下端)、一端自由(上端)的悬臂柱进行计算, 如图 1 所示。

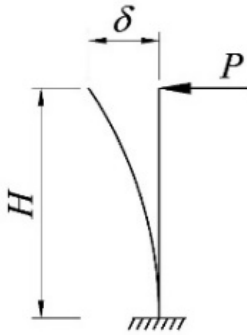


图 1 主墩计算简图

2 双肢薄壁墩设计

由图 1 所示, 产生单位纵向位移 $\delta=1$ 时, 需要施加的水平力大小 P , 即为抗推刚度的基本定义。查阅手册^[7]或结构力学^[8]教材可知, 抗推刚度 $P=K=3EI/H^3$ 。保持主墩截面积不变的情况下, 一分为二, 主墩纵向抗推刚度减小 4 倍^[2], 相对于单肢墩, 双肢薄壁墩是连续刚构桥理想的桥墩型式, 满足主墩宜采用柔性墩的设计要求。

2.1 实心双肢薄壁墩 a 、 L

如图 2 所示, a 为桥墩纵桥向尺寸, b 为横桥向尺寸, b 通常与上部结构箱梁底板宽度相同, H 为墩高。对于主墩壁厚 a 如何确定? 桥梁顺桥向的位移按温度变化、混凝土收缩徐变、地震力等引起墩顶位移最大值进行设计, 工程上以温度变化产生的墩顶位移为最大。故温度变化在主墩墩顶产生的水平推力 P 所对应的纵向水平位移 δ 为:

$$\delta = \frac{PH^3}{3EI} = \frac{PH^3}{3E \times (ba^3/12) \times 2} = \frac{2PH^3}{Ea^3b}$$

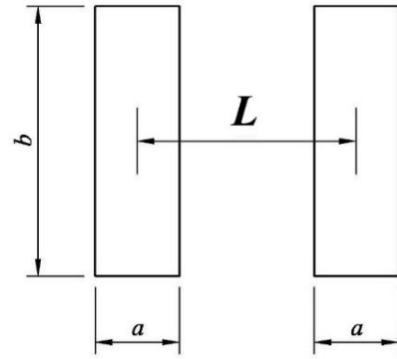


图 2 实心双肢薄壁墩

上部结构梁体由温度变化引起的变形量 δ 可以近似按材料力学的公式计算:

$$\delta = \frac{1}{2} L_k \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

式中 α 为混凝土梁的线膨胀系数, ΔT 为主梁整体温度变化量, L_k 为连续刚构桥上部结构主梁全长。故:

$$\frac{1}{2} L_k \cdot \alpha \cdot \Delta T = \frac{2PH^3}{Ea^3b}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{4P}{\alpha \cdot \Delta T \cdot L_k \cdot E \cdot b}} \cdot H \quad (1)$$

双肢薄壁墩的肢距 L 如何确定? 肢距可以通过连续刚构桥悬臂施工时处于最大悬臂状态下的不平衡弯矩 ΔM 来确定。实心双肢薄壁墩的抗弯截面模量为 W , 根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 3362-2018) 7.2.8 条并结合老规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023-1985) 5.3.4 条之规定, 当预拉区配有非预应力钢筋时, 拉应力 $\sigma_{ct}^t \leq 1.15f_{tk}'$; 当预拉区不配有非预应力钢筋时, 拉应力 $\sigma_{ct}^t \leq 0.70f_{tk}'$ 。即:

$$\frac{\Delta M}{W} = \frac{\Delta M(L+a)}{a^3b/3+abL^2} \leq 1.15f_{tk}' \text{ 或 } 0.70f_{tk}'$$

由上式, 便可以合理确定肢距 L 。但最大悬臂状态下不平衡弯矩 ΔM 的取值, 通过查阅文献和工程案例, 主要有三种考虑方法: (1) 考虑一个节段的自重, 即一端已完成 N 号块浇筑, 一端 N 号块尚未浇筑; (N 号块为最大悬臂状态下对应的最后一个节段) (2) 考

考虑一个挂篮的自重, 中跨合龙可以只采用一台挂篮, 所以其中一个 T 构单元需要拆除挂篮, 即 N 号块完成浇筑后, 先合龙中跨, 其中一个 T 构单元存在一端保留挂篮、一端拆除挂篮的情况。(3) 直接考虑最大悬臂状态两侧施工荷载的不平衡, 即一侧考虑重一点、一侧考虑轻一点。我国著名桥梁工程专家顾安邦教授建议^[5]: ΔM 可按一侧节段重量的 1.2 倍, 另一侧为 0.8 倍产生的不平衡弯矩确定。一侧节段重量包含两部分: 混凝土浇筑和挂篮及施工机具。混凝土浇筑引起的不平衡弯矩以悬臂节段最重节段自重为参考, 一个挂篮及施工机具的荷载可按最重悬浇节段自重的 0.5 倍考虑^[11]。

2.2 空心双肢薄壁墩 a 、 L

如图 3 所示, a' 为主墩腔体纵桥向宽度 b' 为主墩腔体横桥向宽度, E 为主墩混凝土弹性模量, 其他字符的含义与前述一致。同理可得:

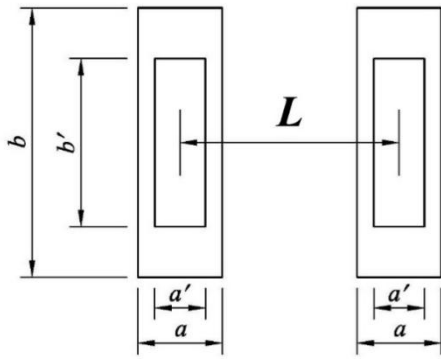


图 3 空心双肢薄壁墩

$$\frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot L_k = \frac{2PH^3}{E \times [a^3b - (a')^3b']} \quad (2)$$

一般地, $a - a' = 100\text{cm}$; $b - b' = 100\text{cm}$, 结合 (2) 式, 可确定合理的 a 值。

为满足施工中的不平衡弯矩 ΔM , 所需:

$$\frac{\Delta M}{W} = \frac{\Delta M}{\frac{a^3b - (a')^3b'}{6} + \frac{(ab - a'b')L^2}{2}}$$

$$\leq 1.15f'_{tk} \text{ 或 } 0.70f'_{tk}$$

由此, 可计算出肢距 L 。

3 实桥计算案例

广西某高速公路工程桥梁, 跨径布置为 $L_k = 35\text{m} + 60\text{m} + 35\text{m} = 130\text{m}$, 主墩按实心双肢薄壁墩设计, 桥墩

尺寸 $b = 6.75\text{m}$; 主墩高度 $H = 8.5\text{m}$, 温差 $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ 。线膨胀系数 $\alpha = 0.00001$; 桥墩混凝土弹性模量 $E = 3.15 \times 10^4 \text{MPa}$; 由温度变化在主墩墩顶产生的水平推力 (根据 MIDAS CIVIL NX 计算获得) $P = 1522.6\text{kN}$ 。

根据公式 (1) 计算主墩纵桥向尺寸:

$$\begin{aligned} a &= \sqrt[3]{\frac{4P}{\alpha \cdot \Delta T \cdot L \cdot E \cdot b} \cdot H} \\ &= \sqrt[3]{\frac{4 \times 1522.6 \times 10^3}{0.00001 \times 25 \times 130 \times 10^3 \times 3.15 \times 10^4 \times 6.75 \times 10^3} \times 8.5 \times 10^3} \\ &= 815(\text{mm}) \end{aligned}$$

为便于设计, 主墩顺桥向厚度 a 取值为 800mm 。

计算主墩承受的不平衡弯矩 ΔM :

(1) 混凝土浇筑产生的不平衡弯矩: 本桥最大悬臂 $L_{z1} = 27.0\text{m}$, 最重节段理论重力为 1125.80kN 。

$$\begin{aligned} \Delta M_{z1} &= 1125.8 \times 27 \times 1.2 - 1125.8 \times 27 \times 0.8 \\ &= 12158.64 \text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(2) 挂篮及施工机具产生的不平衡弯矩: 一个挂篮及施工机具设备荷载按最大悬浇块件重力的 0.5 倍计算。该桥为 569.40kN , 此时 $L_{z2} = 25\text{m}$, 挂篮安装在最大悬臂状态靠前 2.0m 的位置。

$$\begin{aligned} \Delta M_{z2} &= 569.4 \times 25 \times 1.2 - 569.4 \times 25 \times 0.8 \\ &= 5694.0 \text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

故:

$$\begin{aligned} \Delta M &= \Delta M_{z1} + \Delta M_{z2} = 12158.64 + 5694.0 \\ &= 17852.64 \text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

主墩混凝土标号为 C35, C35 混凝土的轴心抗拉强度标准值为 $f_{tk}' = 2.2\text{MPa}$ 。直接令 $L = 3000\text{mm}$ 时, 代入计算:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta M}{W} &= \frac{\Delta M}{\frac{a^3b/3 + abL^2}{L+a}} = \frac{\Delta M(L+a)}{a^3b/3 + abL^2} \\ &= \frac{17852.64 \times 10^6 \times (3000 + 800)}{800^3 \times 6750/3 + 800 \times 6750 \times 3000^2} \\ &= 1.36 < 0.70f'_{tk} = 2.2 \times 0.7 = 1.54 \text{MPa} \end{aligned}$$

满足规范要求, 所以, 本桥主墩可采用 $a = 0.8\text{m}$,

$L = 3.0\text{m}$ 。将主墩与主梁进行全桥有限元分析, 主墩与主梁匹配度良好, 满足全桥受力要求。

4 结论

连续刚构桥主墩的合理刚度是在满足一定强度(抗弯刚度)条件下尽量减小主墩的抗推刚度, 赋予主墩柔性。在连续刚构桥初步设计时, 可以通过满足纵向水平位移来确定主墩的纵桥向厚度。另外, 还可以通过悬臂施工阶段产生的不平衡弯矩来确定双肢薄壁墩的肢距。结合文献资料和工程计算实例, 文中总结的计算公式具有一定的合理性、可行性和适用性。

参考文献

- [1] 范立础.桥梁工程(上册)[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 刘效尧,徐岳.公路桥涵设计手册之梁桥(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 王钧利,贺拴海.大跨径连续刚构桥主墩的合理刚度分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2006,30(4),603~606.
- [4] 赵小由,刘士林.连续梁桥与连续刚构桥技术经济分析[C].中国公路学会桥梁与结构工程学会,1995.
- [5] 徐君兰,顾安邦.连续刚构桥主墩刚度合理性的探讨[J].公路交通科技,2005,22(2),59~62.
- [6] 张孟喜,杨惠林,王景春.三滩黄河大桥双薄壁桥墩的设计参数优化[J].中外公路,2004,24(3),49~52.
- [7] 浙江大学.建筑结构设计系列手册之建筑结构静力计算实用手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [8] 龙驭球,包世华,袁驷.结构力学(第四版)[M].北京:高等教育出版社,2018.
- [9] 中华人民共和国行业标准.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ 023-1985)[S].北京:人民交通出版社,1985.
- [10] 中华人民共和国行业标准.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTG 3362-2018)[S].北京:人民交通出版社,2018.
- [11] 中华人民共和国行业标准.公路桥涵施工技术规范(JTG/T 3650-2020)[S].北京:人民交通出版社,2020.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS