

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.01.050

无缝桥梁各关键结构刚度协调分配研究

张己存

(甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 随着科学技术的发展, 交通行业的技术水平也在稳步提高, 针对桥头跳车的问题, 无伸缩缝桥梁研究逐渐被用到桥梁实际应用中。而无缝桥梁又称为无伸缩缝桥梁, 分为材料无伸缩缝和结构无伸缩缝。结构无伸缩缝桥梁的台后土压力会直接传至梁板等上部结构, 桥梁各构件的刚度不同, 台后土压力对无伸缩缝桥梁产生的效应也不相同。依据研究内容及结构刚度基本理论, 建立了只包含梁板、桥台及桥台桩基三个结构的单跨整体式无缝桥梁, 分别单一的改变三者刚度, 得出其刚度变化对结构受力的影响, 并拟合绘出的影响变化曲线得到四元函数, 归纳了求解刚度协调分配系数的方法。

关键词: 无缝桥梁; 结构刚度; 协调分配系数

中图分类号: U441

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)01-0202-03

0 引言

无缝桥梁又称无伸缩缝桥梁, 分为材料无伸缩缝和结构无伸缩缝。对于结构无伸缩缝桥梁结构, 因为其结构的整体性, 当外部施加的荷载不变时, 桥梁各受力构件的刚度不同, 其分担的荷载效应不同, 对相关关键构件的荷载效应影响也不同。

无缝桥梁的主要受力构件为桥台、桩基和梁板, 三者为桥梁的关键结构。当桥台刚度的逐渐增大时, 桥梁的跨中弯矩逐渐减小, 桥梁的梁端水平位移也逐渐减小; 当梁板刚度逐渐增大, 桥梁跨中的弯矩逐渐增大, 桥梁梁端水的平位移逐渐减小; 当桩基抗弯刚度逐渐增大, 桥梁跨中的弯矩逐渐减小, 桥梁梁端的水平位移逐渐减小。通过以上分析, 三者必然存在一个最优即最合理的刚度比, 在跨中弯矩达到最大临界值时使得梁端水平位移最小, 此刚度比系数称为刚度协调分配系数^[1]。

1 刚度基本理论介绍

刚度理论分为结构刚度理论和材料刚度理论。结构刚度理论为抗力理论, 体现结构承受外部荷载的能力, 决定着结构自身与相邻结构进行荷载分配关系。材料刚度理论, 是混凝土设计时的计算裂缝的理论依据, 根据强度验算将应力控制在材料限值内即可。当桥梁结构的截面刚度(材料)等既定时, 整体刚度随着形态尺寸的增大而增大^[1]。例如抗弯刚度

(EI)由弹模(E)和惯矩(I)的乘积来反映, 当截面形式(即 I)一定时, 弯曲刚度随着弹性模量 E 的增大而增大; 当材料一定时, 即弹性模量(E)一定, 则弯曲刚度随着截面惯 I 的增大而增大。

2 刚度协调分配系数计算

梁板刚度、桥台刚度和桩基抗弯刚度对结构内力的影响, 主要是梁板抗弯刚度、桥台沿桥梁纵向抗弯刚度及桩基沿桥梁纵向抗弯刚度三者刚度的大小变化对整体结构受力的影响。即当梁板长度、桥台台高及桩长都固定不变时, 分别改变截面抗弯刚度来研究荷载效应在桥台、梁板和桩基三者的分配变化^[1]。

为了便于结构分析, 将模型建为简化的桥台和梁板刚接的单跨无缝桥梁模型, 结构上只模拟进行刚度研究的梁板、桥台和桩基三个关键结构: 梁单元数值截面梁格法建立梁板、梁单元数值截面框架形式建立桥台、梁单元数值截面建立桩基^[1]。建模见图1。

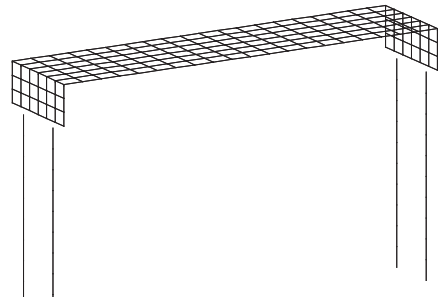


图1 台梁刚接单跨无缝桥梁数值模型图

路线平纵方案选定后, 即桥位及桥高选定, 台后填土和桩侧土的性质不会因为人为设计变化, 本文数值模型以台后填土和桩侧土的地质条件固定不变, 分别改变桥台、梁板和桩基的抗弯刚度(下文简称刚

收稿日期: 2022-09-19

作者简介: 张己存(1984—), 男, 博士, 高级工程师, 从事桥梁隧道设计工作。

度)来改变模型,计算分析后得出各关键结构内力的结果。

2.1 模型刚度协调分配系数计算

(1)跨中弯矩—关键结构刚度函数

对梁板跨中弯矩在桥台刚度、梁板刚度和桩基刚度三者分别改变时的曲线进行拟合。

由图 2 中曲线可以看出梁板跨中弯矩随着桥台刚度变化接近呈指数小于 0 的幂函数趋势变化,将图 2 中跨中弯矩—桥台刚度曲线进行拟合得 $g(x)=924.4x^{-0.0982}$ 。

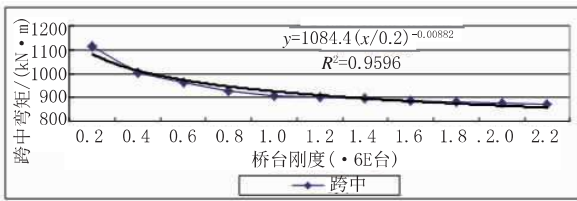


图 2 跨中弯矩—桥台刚度曲线图

由图 3 中曲线可以看出梁板跨中弯矩随着梁板刚度变化接近呈指数大于 0 的幂函数趋势变化,将图 3 中跨中弯矩—梁板刚度曲线进行拟合得 $u(x)=928.8x^{0.2114}$ 。

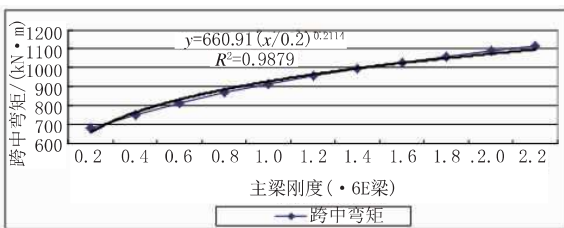


图 3 跨中弯矩—梁板刚度曲线图

由图 4 中曲线可以看出梁板跨中弯矩随着桩基刚度变化接近呈指数小于 0 的幂函数趋势变化,将图 4 中跨中弯矩—桩基刚度曲线进行拟合得 $v(x)=918.7x^{-0.629}$ 。

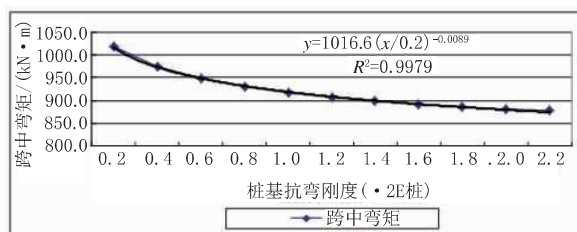


图 4 跨中弯矩—桩基抗弯刚度曲线图

以全桥为研究对象,设梁板刚度为 k_1 ,则 $k_1 = 6E_{梁} I_{单梁}$;设桥台刚度为 k_2 ,则 $k_2 = 6E'_{台} I'_{台}$, $I'_{台}$ 为桥台建模时组成框架的单框截面抗弯刚度;设桩基刚度为 k_3 ,则 $k_3 = 2E_{桩} I'_{桩}$ 。梁板弯矩值也相应乘以 6 倍,桥台弯矩值也相应乘以 6 倍,桩基弯矩值相应乘以 2 倍,则:

跨中弯矩—梁板刚度函数为:

$$M = 6u(\frac{k_1}{6}) = 928.8(\frac{k_1}{6})^{0.2114}$$

即 $M = 6u(k_1) = 928.8(k_1)^{0.2114}$;

跨中弯矩—桥台刚度函数:

$$M = 6g(\frac{k_2}{6}) = 924.4(\frac{k_2}{6})^{-0.0982}$$

即 $M = 6g(k_2) = 9.424(k_2)^{-0.0982}$;

跨中弯矩—桥台桩基刚度函数:

$$M = 6v(\frac{k_3}{2}) = 918.7(\frac{k_3}{2})^{-0.629}$$

即 $M = 2v(k_3) = 918.7(k_3)^{-0.629}$ 。

则以跨中弯矩为函数与三者刚度为自变量的函数表达式为:

$$M = f(k_1, k_2, k_3) \begin{cases} 6u(k_1) = 928.8(k_1)^{0.2114} & k_2 = 6, k_3 = 2; \\ 6g(k_2) = 9.424(k_2)^{-0.0982} & k_2 = 6, k_3 = 2; \\ 2v(k_3) = 918.7(k_3)^{-0.629} & k_1 = 6, k_3 = 6; \end{cases}$$

(2)梁端水平位移—关键结构刚度函数

对梁端水平位移在桥台刚度、梁板刚度和桩基刚度三者分别改变时的曲线进行拟合。

由图 5 中曲线可以看出梁板梁端位移随着桥台刚度变化接近呈指数小于 0 的幂函数趋势变化,将图 5 中梁端水平位移—桥台刚度曲线进行拟合得: $g(x)=3.0727x^{-0.0032}$ 。

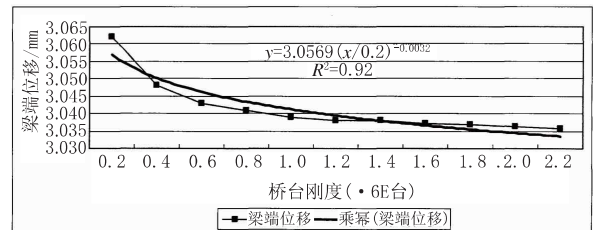


图 5 梁端水平位移—桥台刚度曲线图

由图 6 中曲线可以看出梁板梁端水平位移随着梁板刚度变化接近呈指数小于 0 的幂函数趋势变化,将图 6 中梁端水平位移—梁板刚度曲线进行拟合得: $u_1(x)=3.345x^{-0.031}$ 。

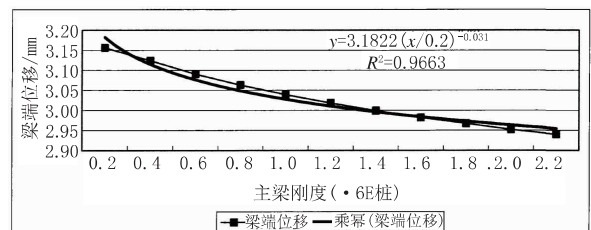


图 6 梁端水平位移—梁板刚度曲线图

由图 7 中曲线可以看出梁板梁端水平位移随着桩基刚度变化接近呈多指数小于 0 的幂函数趋势变化,将图 7 中梁端水平位移—桩基刚度曲线进行拟

合得: $v_1(x) = 3.1934x^{-0.0158}$ 。

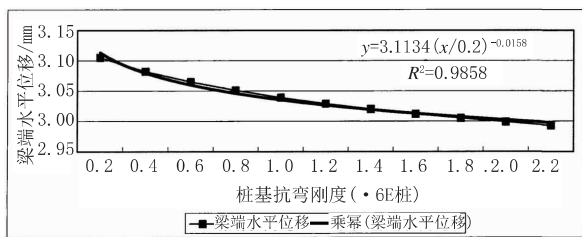


图7 梁端水平位移—桩基刚度曲线图

又梁板刚度 $6E_{梁} I_{单梁}$ 、桥台刚度 $k_2 = 6E'_{台} I'_{台}$ ($I'_{台}$ 为桥台框架建模时组成框架的单框截面抗弯刚度)、桩基刚度 $k_3 = 2E_{桩} I_{桩}$, 则:

梁端水平位移—梁板刚度函数表达式:

$$u_1\left(\frac{k_1}{6}\right) = 3.345\left(\frac{k_1}{6}\right)^{-0.031}$$

即 $u_1(k_1) = 3.345(k_1)^{-0.031}$;

梁端位移—桥台刚度函数表达式:

$$g_1\left(\frac{k_2}{6}\right) = 3.0727\left(\frac{k_2}{6}\right)^{-0.0032}$$

即 $u_1(k_2) = 3.0727(k_2)^{-0.0032}$;

梁端位移—桥台桩基抗弯刚度函数表达式:

$$v_1\left(\frac{k_3}{2}\right) = 3.1934\left(\frac{k_3}{2}\right)^{-0.0158}$$

即 $v_1(k_3) = 3.1934(k_3)^{-0.0158}$;

则以梁端水平位移为函数、以三者刚度为自变量的函数表达式为:

$$s = f_1(k_1, k_2, k_3) \begin{cases} u_1(k_1) = 3.345(k_1)^{-0.031} & k_2 = 6, k_3 = 2; \\ g_1(k_2) = 3.0727(k_2)^{-0.0032} & k_2 = 6, k_3 = 2; \\ v_1(k_3) = 3.1934(k_3)^{-0.0158} & k_1 = 6, k_3 = 6; \end{cases}$$

(3)三者刚度协调分配系数

利用数学方法及 matlab 数学软件求解最优解: 以梁板梁端位移函数 $s = f_1(k_1, k_2, k_3)$ 为目标函数, 以跨中弯矩 $f(k_1, k_2, k_3) \leq M_{cr梁}$ 和 $k_1, k_2, k_3 \geq 0$ 为约束条件, 求出 $M = f(k_1, k_2, k_3) \leq M_{cr梁}$ 在条件下、s 取最小值时的 k_1, k_2, k_3 三者刚度分配比最优解 $k_1, k_2, k_3 = 1 : 1.55 : 0.4$ 即为本文单跨无缝桥桥梁刚度协调分配系数。

2.2 刚度协调分配计算方法

对于不同桥台形式、不同梁板截面、不同桩基尺寸等多种不同的情况, 其刚度分配协调系数不同, 但求解方法仍然适用。现归纳计算方法如下:

- (1)根据设计技术条件建立仿真数值模型;
- (2)计算分析得出关键结构的刚度变化下的荷载效应(内力、应力和位移等)结果数据;
- (3)画出荷载效应(内力、应力和位移等)—关键结构刚度(桥台刚度、梁板刚度和桩基抗弯刚度等)曲线;
- (4)进行曲线拟合得出关于各个单一刚度为自变量的单变量函数;
- (5)数学方法得出以研究对象荷载效应为函数、以关键结构刚度为自变量的多自变量函数;
- (6)设定目标函数和约束条件(不要忽略刚度大于 0 的条件);
- (7)利用 MATLAB 等数学软件求解各结构协调刚度比系数。

3 结论

本文区分了结构刚度理论和材料刚度理论两种刚度理论, 并指出结构刚度理论为抗力理论, 决定着荷载在本身与其他结构上的分配, 通过单一改变桥台刚度、梁板弯度和桩基抗弯刚度, 分别得出了桥梁各关键结构部位受力的变化情况; 并计算桥台刚度、梁板刚度和桩基抗弯刚度三者刚度协调分配系数, 总结在不同跨数计算刚度协调分配系数的方法

参考文献:

- [1] 曾志刚, 张己存. 结构刚度对无缝桥梁整体受力影响研究[J]. 甘肃科技, 2013(5):98-102.
- [2] 张己存. 大温差地区无缝桥梁关键结构设计研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [3] JTG D60—2015, 公路桥涵设计通用规范[S].
- [4] JTG 3362—2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [5] 张琳琳. 无缝桥梁桥台—搭板—土相互作用数值研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2021.
- [6] 洪锦祥, 彭大文, 江新惠. 整体式桥台桥梁的台后被动土压力研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2003, 31(6):721-725.
- [7] 王天利. 半整体式桥台无缝桥梁研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.
- [8] 彭大文, 洪锦祥. 无缝桥梁的受力性能评价[J]. 世界桥梁, 2003(2): 33-39.
- [9] 彭大文, 陈晓冬, 袁燕. 整体式桥台桥梁台后土压力的季节性变化研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(1):135-139.
- [10] 美国各州公路和运输工作者协会(AASHTO). 美国公路桥梁设计规范—荷载与抗力系数设计法[M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.