



Static Load Test Calculation of Single Beam Based on Equivalent Stress Method

Shaoping Liu, Peng Qu^{*}, Xingxing Wang

China Merchants Chongqing Highway Engineering Testing Center Co., Ltd, Chongqing, China

Email address:

187238074@qq.com (Shaoping Liu), 330053966@qq.com (Peng Qu)

^{*}Corresponding author

To cite this article:

Shaoping Liu, Peng Qu, Xingxing Wang. (2023). Static Load Test Calculation of Single Beam Based on Equivalent Stress Method. *Science Discovery*, 11(6), 215-220. <https://doi.org/10.11648/j.sd.20231106.14>

Received: October 25, 2023; **Accepted:** November 23, 2023; **Published:** November 29, 2023

Abstract: Prefabricated beams are mass-produced in the beam yard. In order to grasp the mechanical properties and deformation status of prefabricated beams, static load testing is usually the most direct and effective detection method. We are accustomed to using the equivalent bending moment method for loading calculation of bridges, but the wet joints and concrete leveling layer have not yet been poured before the installation of prefabricated beams. If this part of the load is directly equivalent to the loading load, it may cause damage to the beam due to excessive loading, and even cause safety accidents during the loading process. In view of this, taking the Zhongjiawan Bridge as the engineering background, the loading load can be reduced by 37% to 50% by calculating the stress at the bottom of the beam based on the completed state of the bridge. The beam has reasonable stress and simple loading, and the static load test can be completed by using the beam back pressure. It has certain guiding significance for single beam load tests of similar bridges.

Keywords: Equivalent Stress, Single Beam, Static Load Test

基于等效应力的预制梁单梁静载试验计算方法研究

刘邵平, 屈鹏^{*}, 王星星

招商局重庆公路工程检测中心有限公司, 重庆, 中国

邮箱

187238074@qq.com (刘邵平), 330053966@qq.com (屈鹏)

摘要: 预制梁在梁场批量生产, 为了掌握预制梁的力学性能和变形状态, 静载试验是最直接有效的检测手段。我们习惯采用等效弯矩法对桥梁进行加载计算, 但预制梁架设前湿接缝和混凝土调平层尚未浇筑参与受力, 若把这部分荷载直接等效为加载荷载, 可能会导致梁体因加载量过大受损, 甚至加载过程中会引发安全事故。鉴于此, 以钟家湾大桥为工程背景, 根据成桥状态通过梁底应力反算加载荷载, 加载量可减少37%~50%, 梁体受力合理, 加载简单, 采用梁体反压即可完成静载试验。对类似桥梁的单梁荷载试验具有一定的指导意义。

关键字: 等效应力法, 单梁, 静载试验

1. 引言

预制梁具有可工厂化预制生产、吊装重量轻、施工周期短、造价相对较低、结构受力合理等特点[1, 2]，在高速公路和城市道路建设发展得到广泛应用。为了掌握预制梁的力学性能和变形状态，通常需对首片梁进行静载试验[3, 4]，检验试验梁在实际静荷载（考虑二期恒载及后期活荷载）加载作用下控制截面的静应变、静挠度，藉以判断材料性能是否符合理论要求，施工工艺是否达到预期目的。检测人员通常先建立有限元模型选取控制截面，然后采用等效弯矩法对进行加载计算，遇到护栏或人行道等桥面系暂未施工完毕的桥梁，设计弯矩值需加上该部分恒载对控制截面的弯矩值。预制梁为了减轻吊装重量，相邻梁之间设置40~80cm宽度的湿接缝，有些桥梁湿接缝宽度超过100cm。此外，为了保证桥梁的整体刚度，需要设置横隔梁和10cm厚的混凝土调平层。这些荷载产生的弯矩值甚至超过活载控制弯矩值，导致加载量过大。以某项目为例，30mT梁单梁静载试验最大加载量为697kN，加载中由于堆载过高，滑落引发安全事故。

本文以钟家湾大桥为工程背景，通过以成桥状态控制截面梁底应力控制的等效应力法[5, 6]和以控制截面弯矩值控

制的等效弯矩法[4, 6]对预制梁单梁静载试验加载计算进行分析研究：结果表明采用等效应力法计算的加载量比等效弯矩法减少37%~50%，受力模式与设计成桥状态一致；采用等效弯矩法计算的加载量偏大，控制截面梁底出现拉应力，受力模式偏离设计成桥状态。通过对两种计算方法进行研究比较，等效弯矩法不适用于单梁静载试验加载计算，应该使用等效应力法，为检测计算人员提供经验借鉴。

2. 工程概况

钟家湾大桥全长217m，上部结构采用7×30预制预应力混凝土先简支后桥面连续T梁。全桥分两联：下部结构0、7号台为桩柱式轻型桥台；其余墩均采用柱式墩。桥面系在0、7号桥台处设置80型伸缩缝、3号桥墩设置160型伸缩缝。桥台及3号墩处支座采用GJZF₄400×450×99型四氟滑板式橡胶支座，其余桥墩采用GJZ400×450×99型板式橡胶支座。全桥桥台处采用5m搭板，基础采用嵌岩桩基础。桥面标准宽度（单幅）为15.5m=3.25m（人行道）+11.75m（行车道）+0.5m（防撞护栏）。材料参数见表1。设计荷载：公路-I级，人群荷载：3.5kN/m²。其布置图见图1~图3。

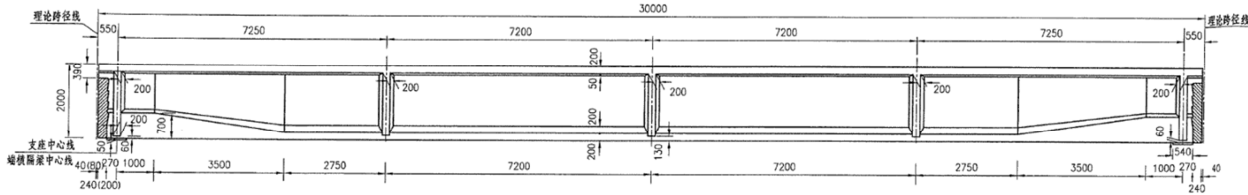


图1 钟家湾大桥T梁立面布置图（单位：mm）。

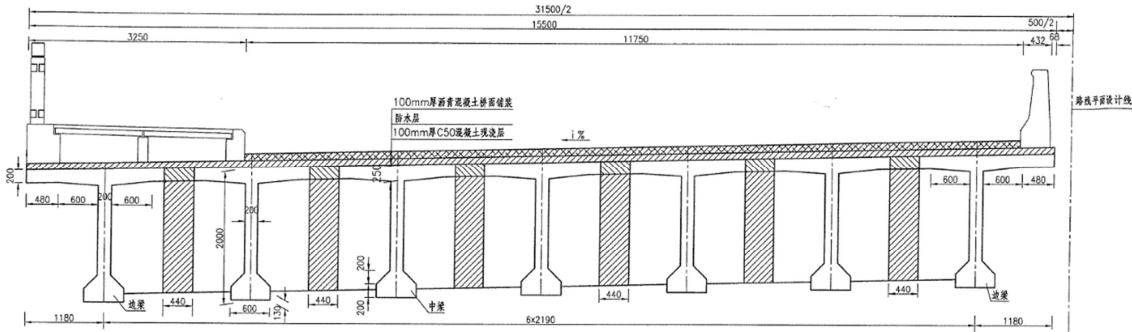


图2 钟家湾大桥横断面布置示意图（单位：mm）。

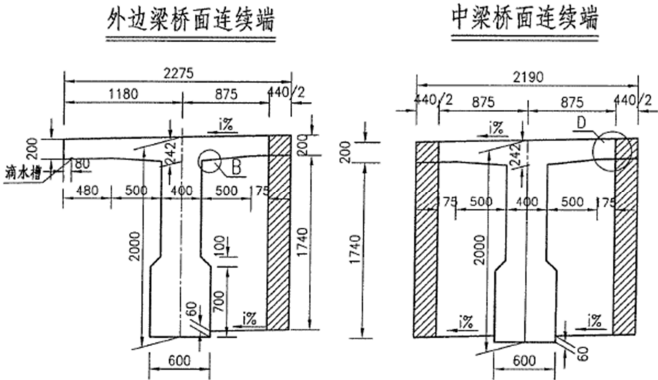


图3 钟家湾大桥预制T横断面图（单位：mm）。

表1 钟家湾大桥相关材料参数。

材料	设计强度 / MPa	容重 / kN/m ³	弹性模量 / MPa
C50预制梁及调平层	1.83（拉）/22.4（压）	26.0	3.45×10 ⁴
低松弛高强度钢绞线	1260（拉）/390（压）	78.5	1.95×10 ⁵

考虑到预制混凝土T梁目前受力状态与成桥相差甚远[7, 8]。为了综合考虑湿接缝、混凝土调平层、沥青铺装层等影响，先建立成桥状态有限元仿真分析模型，在计算汽车荷载效应时考虑多车道加载及其相应的折减系数，汽车荷载计入冲击效应，得到每片梁控制截面的活载弯矩以及二期恒载弯矩以及梁底应力值，根据梁底应力等效原则确定单梁试验荷载大小。

3. 成桥状态计算

由于预制梁尚未成型，无法预知其受力状况。我们采用“先计算其成桥状态，再反算单梁受力”的思路。假定按照既定施工工序“梁体就位→钢筋绑扎、浇筑湿接缝、横

隔板→浇筑护栏、人行道板、混凝土调平层→沥青混凝土铺装”对桥梁进行模拟分析。其对应工况描述为：梁体受力（就位）→承受湿接缝、人行道板、横隔板荷载→湿接缝、横隔板参与受力→承受栏、混凝土调平层荷载→混凝土调平层参与受力→沥青混凝土荷载→10年收缩徐变。

可以采用梁格法建立空间模型或采用横向分布系数法建立平面模型。以梁格法为例，采用桥梁结构分析专用程序Midas/Civil对结构进行计算分析，其空间有限元模型见图4。二期恒载弯矩图及活载弯矩包络图见图5和图6所示，根据计算的作用效应，选取最不利的截面（跨中）作为试验控制截面，其计算数据见表2。

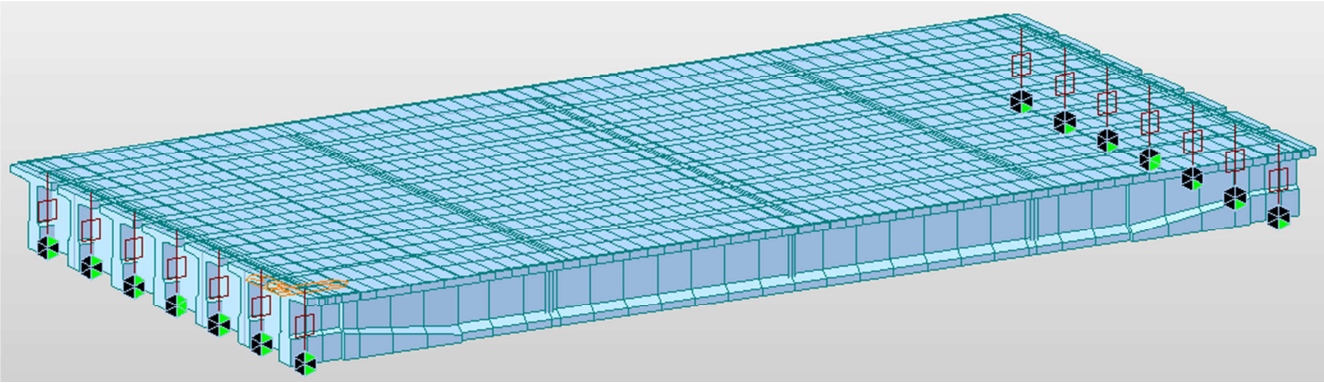


图4 钟家湾大桥有限元模型。

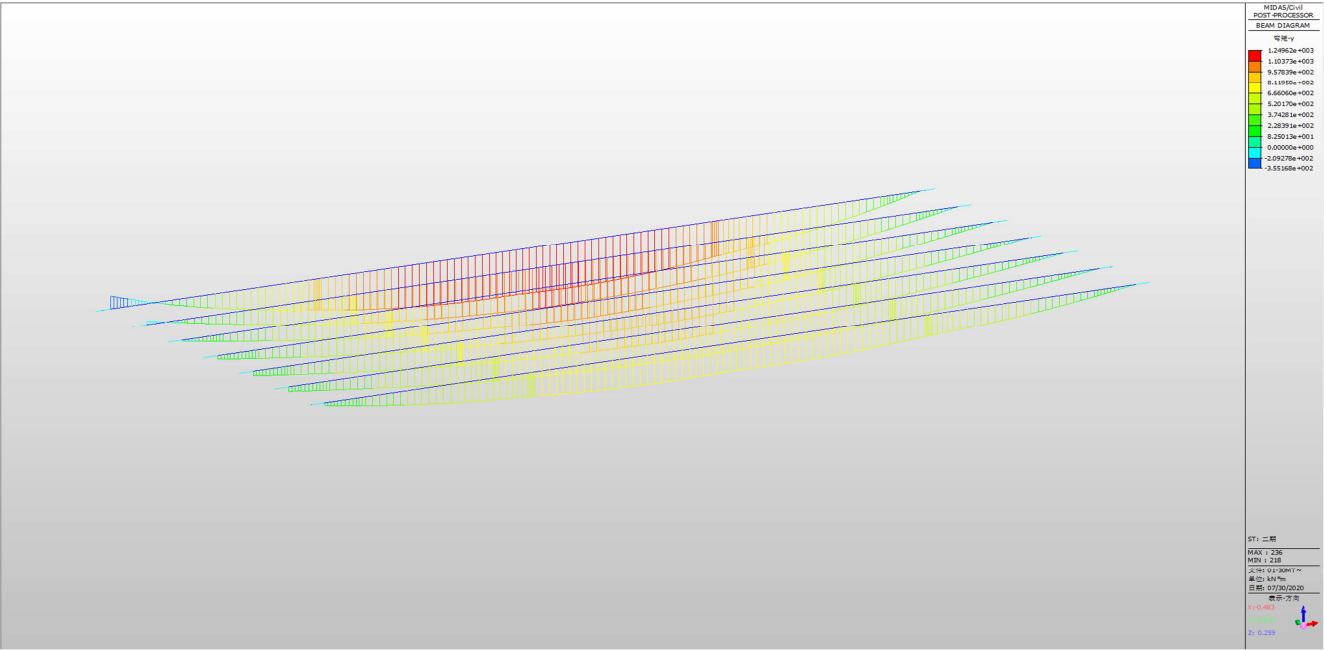


图5 钟家湾大桥二期恒载弯矩图（单位：kN.m）。

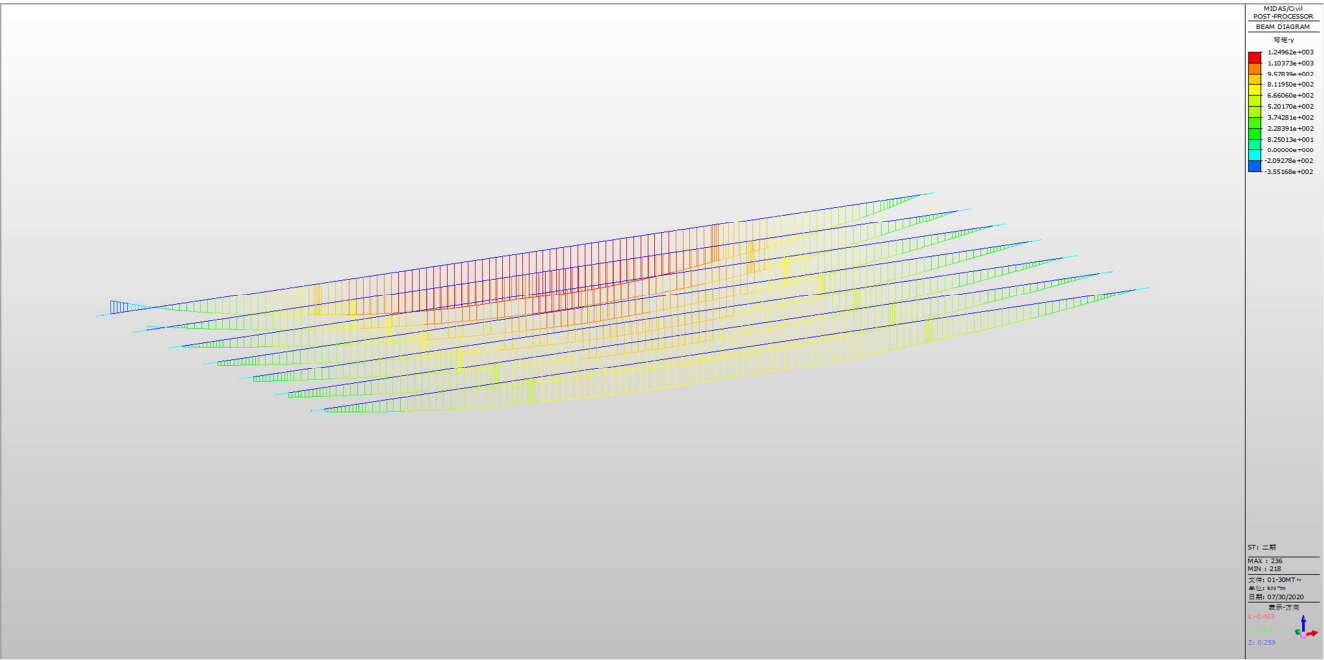


图6 钟家湾大桥活载弯矩包络图弯矩图（单位：kN.m）。

表2 钟家湾大桥等效应力法计算数据汇总。

T梁编号	二期恒载/kN.m	汽车荷载/kN.m	人群荷载/kN.m	跨中弯矩/kN.m	梁底应力增量/MPa
外侧1号梁	1226	1427	786	3439	8.48
2号梁	1115	1506	634	3255	8.06
3号梁	1001	1540	442	2983	7.39
4号梁	907	1723	309	2939	7.28
5号梁	844	1795	201	2840	7.03
6号梁	809	1937	107	2853	7.06
内侧7号梁	781	2026	16	2823	6.95

4. 加载方式设计

传统的加载方式有反力架法[3]和堆载法[7]，反力架法受力明确，操作简单，但成本高昂，适合批量检测[8-11]；堆载法成本较低但梁面较窄无法堆积大量荷载。结合预制

梁场条件，利用龙门吊将配重梁体就位作为反力梁，利用千斤顶给试验梁跨中位置单点反压加载[12-14]，加载方式为跨中集中力加载，加载方式见图7。反压点可根据计算在确保反力梁安全的前提下在0~ L/5之间进行调节，梁体单点反压力见表3。



图7 加载方式。

表3 钟家湾大桥预制梁自重及单点反压力计算。

位置	预制方量/m ³	重量/kN	可提供单点反压力/kN
30m-边梁	31.31	814.1	407.0~508.8
30m-中梁	30.72	798.7	399.4~499.2

5. 等效加重量计算

根据预应力混凝土结构原理，结合简支预制梁截面特点，由力学公式

$$\sigma = \frac{My}{I_x}$$
(1)

$$M = \frac{PL}{4}$$
(2)

将(2)代入(1)式，得出

$$P = \frac{4\sigma I_x}{Ly}$$
(3)

其中：σ——成桥状态应力；
I_x——横截面对X轴（中性轴）的惯性矩；
L——桥梁相邻支座中心距离；
y——X轴（中性轴）至梁底距离。

结合成桥状态梁底应力和加载方式，根据公式(3)，可计算出横向每片单梁的加载量，见表4。

表4 钟家湾大桥加载量计算。

T梁编号	加载量（kN）	T梁编号	加载量（kN）
外侧1号梁	430.8	5号梁	349.8
2号梁	400.8	6号梁	351.1
3号梁	367.6	内侧7号梁	353.1
4号梁	362.0		

6. 与等效弯矩法比较

采用等效弯矩法对简支预制梁进行加载计算，各种荷载在控制截面产生的弯矩值见表5，通过等效弯矩计算跨中加载量。简支预制梁在试验最大荷载作用下，控制截面梁底应力（梁体自重+预应力+试验荷载）最小值为-0.23MPa（拉应力）。

表5 钟家湾大桥等效弯矩法计算汇总。

T梁编号	二期恒载 /kN.m	湿接缝、调平层/kN.m	横隔梁 /kN.m	汽车荷载 /kN.m	人群荷载 /kN.m	跨中弯矩 /kN.m	梁底应力增量/MPa	加载量（kN）
外侧1号梁	1226	794	31	1427	786	4264	11.64	590.6
2号梁	1115	898	62	1506	634	4215	11.76	583.8
3号梁	1001	898	62	1540	442	3943	11.00	546.1
4号梁	907	898	62	1723	309	3899	10.87	540.0
5号梁	844	898	62	1795	201	3800	10.60	526.3
6号梁	809	898	62	1937	107	3813	10.64	528.1
内侧7号梁	781	794	31	2026	16	3648	9.96	505.3

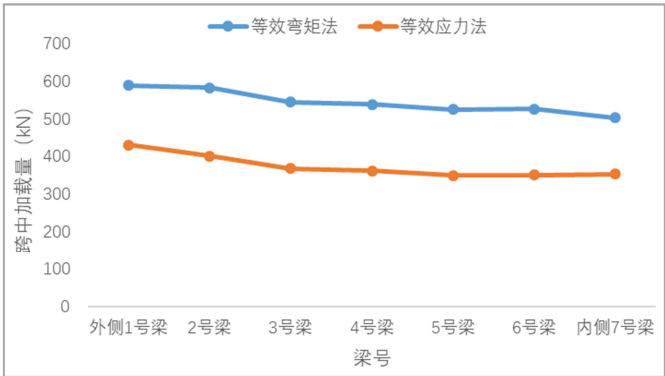
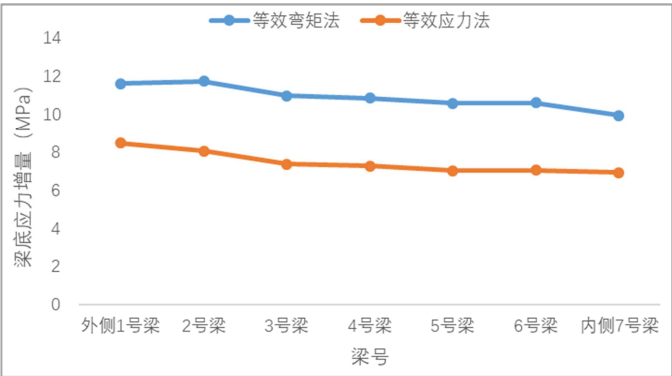


图8 等效应力法与等效弯矩法比较。

结合表2、表5以及图8，可得出以下结论：

- (1). 与等效应力比较，等效弯矩法计算的梁底应力增加37%~51%，加载量增加37%~50%。
- (2). 采用等效应力法计算加载，跨中底板应力与梁格模型吻合较好。表明了等效应力法计算与梁体正常使用状态下受力模式接近。

7. 结语

- (1). 等效弯矩法不适用于受力体系不全的单梁（I型梁、T型梁、小箱梁等梁）试验加载计算，该方法导致加载量过大，与梁体受力模式相差甚大，梁底可能出现拉应力。过大的加载量可能造成梁体受损，堆载过高会引发安全事故。

(2). 等效应力法适用于各种桥梁预制构件单梁试验的加载计算。梁体受力合理，加载简单，采用梁体反压即可完成静载试验。

参考文献

[1] 王先伟. 先张预应力箱梁的单梁静载试验 [J]. 《交通标准化》. 2012 (12), 68-70.

[2] 王培金. 装配式预应力混凝土小箱梁单梁静载试验分析 [J]. 《现代交通技术》. 2013 (3), 25-28.

[3] 马云锋, 陈军生. 桥梁单梁静载试验 [J]. 中外公路. 2006 (3), 184-187.

[4] 江京翼, 谭锋, 鞠玉财. 基于单梁静载试验的预制PC小箱梁承载能力分析方法 [J]. 西部交通科技. 2022 (10), 127-130.

[5] 蒋国富, 卓小丽, 江京翼, 等. 应力等效法在单梁静载试验中的应用研究 [J]. 兰州理工大学学报. 2022 (4), 138-143.

[6] 周叶飞, 曾明杰. 预制小箱梁单梁静载试验及承载能力评定分析 [J]. 中外公路. 2015 (2), 142-146.

[7] 关良勇, 黄应征, 张永平, 等. 30m预应力混凝土T梁单梁静载试验 [J]. 《公路交通科技: 应用技术版》. 2018 (11), 155-156.

[8] 周长青. 小箱梁承载能力检测评定技术应用 [J]. 《公路交通科技: 应用技术版》. 2017 (01), 141-143.

[9] 陆振盛. PC简支转连续T梁桥单梁静载试验研究 [J]. 《西部交通科技》. 2022 (1), 135-137.

[10] 张智博. PC简支转连续小箱梁桥单梁静载试验研究 [J]. 《华东公路》. 2022 (1), 5-6.

[11] 叶青. 简支变连续小箱梁桥单梁静载试验研究 [J]. 《北方交通》. 2017 (10), 15-18.

[12] 陈耀辉. 装配式小箱梁缺陷修复后单梁静载试验及承载能力分析 [J]. 《北方交通》. 2021 (3), 10-14.

[13] 韦宗志, 王希瑞, 唐洪泉, 等. 简支转连续小箱梁单梁静载试验方法研究 [J]. 《西部交通科技》. 2021 (6), 104-107.

[14] 张志强, 董丽娜. 既有缺陷预制T梁单梁承载能力静载试验全过程分析 [J]. 《北方交通》. 2021 (11), 22-26.

作者简介

刘邵平, 1982.11-, 男, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事桥梁监控、检测、承载能力鉴定等。

屈鹏, 1989.3-, 男, 湖北京山人, 硕士研究生, 工程师, 主要从道路工程、桥梁工程、岩土工程的检测与咨询工作。