

钢 - 混组合梁桥桥面板受力分析

刘明东¹, 贾艳敏^{1*}, 张冠华², 王佳伟²

¹东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨

²辽宁省交通规划设计院, 辽宁 沈阳

Email: 1805683719@qq.com, *yanminjia2008@126.com

收稿日期: 2021年1月23日; 录用日期: 2021年2月15日; 发布日期: 2021年2月24日

摘要

为了研究钢 - 混组合梁桥桥面板受力特征, 以旧桥改建钢 - 混组合梁桥项目为依托, 对钢 - 混组合梁桥桥面板模型进行加载试验, 并利用Abaqus有限元软件对钢 - 混组合梁桥桥面板模型的挠度及混凝土应变进行模拟分析, 有限元模型的分析结果与钢 - 混组合梁桥桥面板模型试验结果吻合良好, 通过调整主梁间距及桥面板厚度对钢 - 混组合梁桥桥面板进行参数影响因素分析。分析结果表明: 主梁间距的变化对钢 - 混组合梁桥桥面板整体刚度产生较大影响, 且主梁间距比桥面板厚度对钢 - 混组合梁桥桥面板受力影响更加显著。

关键词

钢 - 混组合梁桥, 桥面板, 有限元, 桥面板厚度, 主梁间距

Mechanical Analysis of Steel-Concrete Composite Beam Bridge Deck

Mingdong Liu¹, Yanmin Jia^{1*}, Guanhua Zhang², Jiawei Wang²

¹Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

²Liaoning Provincial Transportation Planning and Design Institute, Shenyang Liaoning

Email: 1805683719@qq.com, *yanminjia2008@126.com

Received: Jan. 23rd, 2021; accepted: Feb. 15th, 2021; published: Feb. 24th, 2021

Abstract

In order to study the mechanical characteristics of the steel-concrete composite beam bridge deck,

*通讯作者。

relying on the old bridge reconstruction project of steel-concrete composite beam bridges, the deck model of steel-concrete composite beam bridges was loaded and tested, and Abaqus finite element software was used to analyze the steel-concrete composite beam bridges. The deflection and concrete strain of the deck model are simulated and analyzed. The analysis results of the finite element model are in good agreement with the test results of the steel-concrete composite beam bridge deck model. The steel-concrete composite beam bridge is adjusted by adjusting the spacing of the main girder and the thickness of the deck. The panel performs parameter influencing factor analysis. The analysis results show that the change of the main girder spacing has a greater impact on the overall rigidity of the steel-concrete composite beam bridge deck, and the main girder spacing has a more significant impact on the force of the steel-concrete composite beam bridge deck than the thickness of the deck.

Keywords

Steel-Concrete Composite Girder Bridge, Deck, Finite Element Model, Deck Thickness, Main Girder Spacing

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

钢-混凝土组合结构桥梁近年来在我国得到了迅速的发展。在传统桥梁结构形式的基础上,发展多种新型组合结构桥梁形式,拓宽组合结构桥梁的应用领域[1]。众所周知,钢材抗拉强度高但易于失稳,混凝土抗压性能好但易于开裂。在钢-混组合梁桥中,组合梁恰好发挥了钢材和混凝土优越的材料性能,很容易被广大桥梁工程师接受和认可;但对于组合梁桥,混凝土板开裂将引起结构刚度下降、承载能力降低;外界环境中的水和有害物质侵入混凝土裂缝后,将加快混凝土板内钢筋和钢梁锈蚀,造成结构耐久性显著降低,因此,国内外学者对钢混组合梁桥桥面板做了诸多研究。李卫青[2]分别采用美国、日本和我国规范对组合梁桥面板横向局部受力(活载弯矩)进行计算,我国现行规范计算结果同美国 ASSHTO 规范相比相差较大,同日本《道路桥示方书》计算结果较为相近。贾硕[3]通过不同厚度的钢-混组合梁桥面板模型试验,分析了桥面板厚度对钢-混组合梁桥面板空间应力分布状态与传递方式、桥面板厚度与负弯矩区域的抗剪性能关系以及桥面板厚度对钢-混组合梁桥面板的极限承载力影响及变化。

为了进一步对钢-混组合梁桥桥面板进行研究,本文以某旧桥上部改建钢-混组合梁桥为依托,在实验室制作原尺寸钢-混组合梁桥桥面板模型,对钢-混组合梁桥桥面板进行详细的受力分析。

2. 试验简介

2.1. 试验模型介绍

以旧桥改建钢-混组合梁桥为背景,实桥一共五孔,单孔跨径为 13 m,每孔横桥向布置 5 片梁,每片梁翼缘板宽 1.9 m,梁内的纵向受力钢筋,梁内箍筋以及横向钢筋,采用 HRB400 级 $\phi 16$ 钢筋,钢梁采用的是热轧 H 型钢 Q345D 钢,截面尺寸为 $708 \times 304 \times 15 \times 28$ mm。现截取横桥向 3 片梁,沿桥向长 1.1 m 为试验模型,钢-混组合梁桥桥面板模型的腹板焊接十字支撑增加试验构件的刚度及稳定性。

2.2. 加载方案与测点布置

此次试验采用 MTS 多通道结构动态试验系统进行加载, 根据钢 - 混组合梁试验设计, 采用双点对称静力加载的模式, 加载等级按 50 kN 逐级加载。

试验模型的两个边钢梁中间的桥面板是结构受力的重要位置, 故在桥面板四分点位置选取 9 个试验截面 a1~a9, 每个截面对称布置 2 个混凝土应变计; 在试验模型的两板端及两个跨中选取 4 个试验截面 b1~b4, 每个截面对称布置 2 个位移计。试验模型测点布置图如图 1, 图 2。

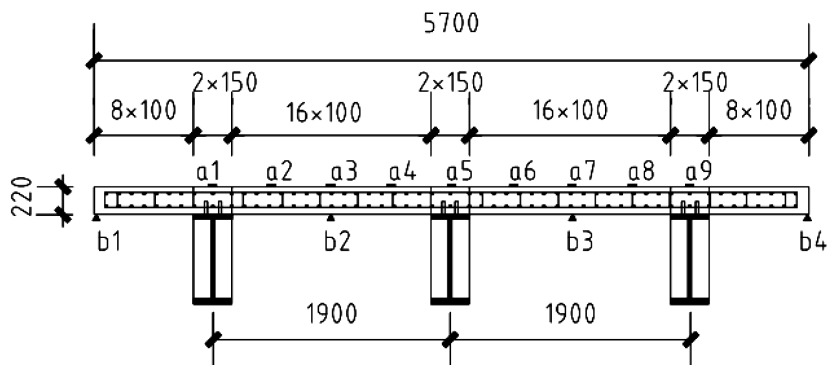


Figure 1. Elevation view of the layout of measuring points on the model elevation

图 1. 模型立面测点布置立面图

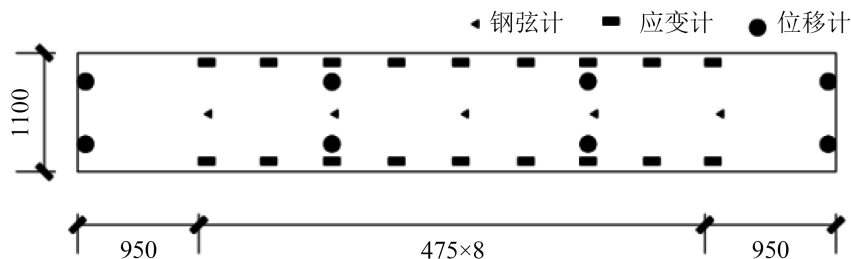


Figure 2. The layout of the model plane measurement points

图 2. 模型平面测点布置图

3. 试验结果与分析

3.1. 钢 - 混组合梁桥桥面板挠度分析

钢 - 混组合梁桥桥面板模型在试验荷载 0~850 kN 下的挠度曲线变化规律, 如图 3。

从图 3 中可以看出, 钢-混组合梁桥桥面板模型在试验加载过程中随着荷载的增大, 桥面板的竖向位移在逐渐增加, 在两跨对称加载过程中混凝土板挠度变化基本对称, 且两跨同步受力同步变形; 两跨中间产生向下的最大挠度 3.881 mm, 两悬臂端产生向上的最大挠度 4.235 mm, 两跨中间的最大位移与两端的翘起高度基本一致。桥面板横桥向的整体变形与悬臂连续梁变形基本一致, 在跨中对称荷载的作用下, 悬臂连续梁的跨中正的弯矩最大处产生向下最大挠度, 桥面板板顶产生最大的压应变; 中间负弯矩处桥面板顶板产生最大拉应变。

3.2. 钢 - 混组合梁桥桥面板应变分析

钢 - 混组合梁桥试验模型沿构件长度方向桥面板混凝土应变分布规律, 如图 4。

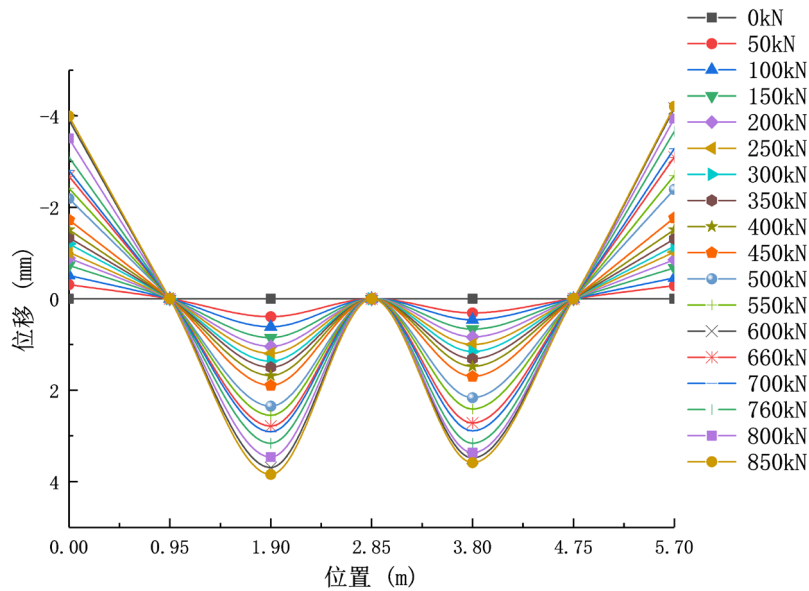


Figure 3. The distribution law of vertical deflection of bridge deck
图 3. 桥面板竖向挠度分布规律图

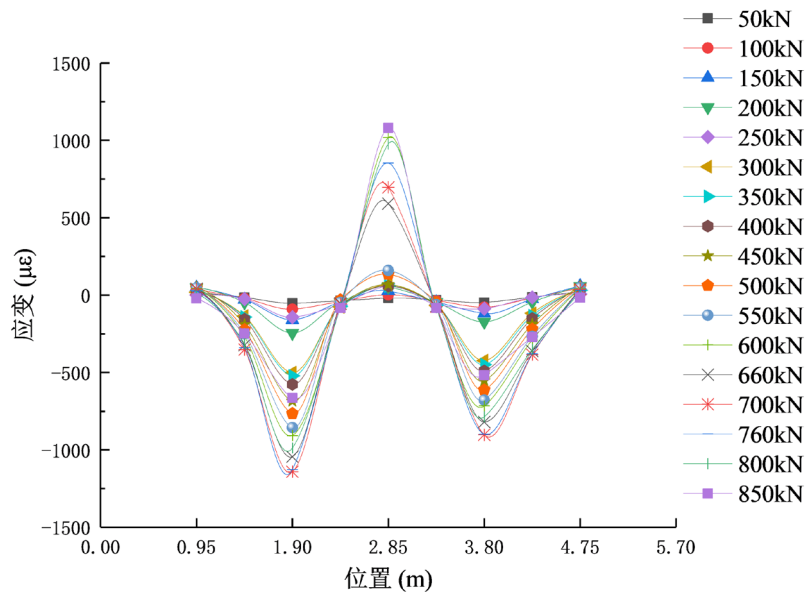


Figure 4. The distribution law of concrete strain on the top edge of the bridge deck
图 4. 桥面板顶缘混凝土应变分布规律图

从图 4 中可以看出，两个跨中及中间钢梁顶面的混凝土会产生最大应变。在荷载较小时，混凝土应变明显较小且应变增长速度较慢，可归因于对钢-混组合梁的下部钢梁焊接了十字支撑，由于框架结构承受荷载方法和梁式结构有区别，在试验开始阶段混凝土板的混凝土应变较小，当荷载继续增加到 200 kN 时，试验模型两个跨中混凝土应变明显增大。由于靠近中钢梁的两个 1/4 截面区域位于跨中正弯矩区和负弯矩区的中间过渡区域，故此截面区域混凝土应变较稳定且混凝土应变均较小。由于试验时加载点布置不绝对对称及受材料的不均匀性等因素影响，两跨顶板混凝土应变峰值存在差异，但桥面板两跨的应变及挠度变化规律曲线基本对称，符合理论结果。

4. 有限元模型介绍

4.1. 单元参数设置

利用 Abaqus 有限元软件对钢-混组合梁桥桥面板模型按实际加载过程进行数值模拟分析, 混凝土板采用实体单元 C3D8R, 钢筋采用桁架单元 T3D2, 钢筋采用内置于混凝土板的约束形式, 有限元模型图如图 5。

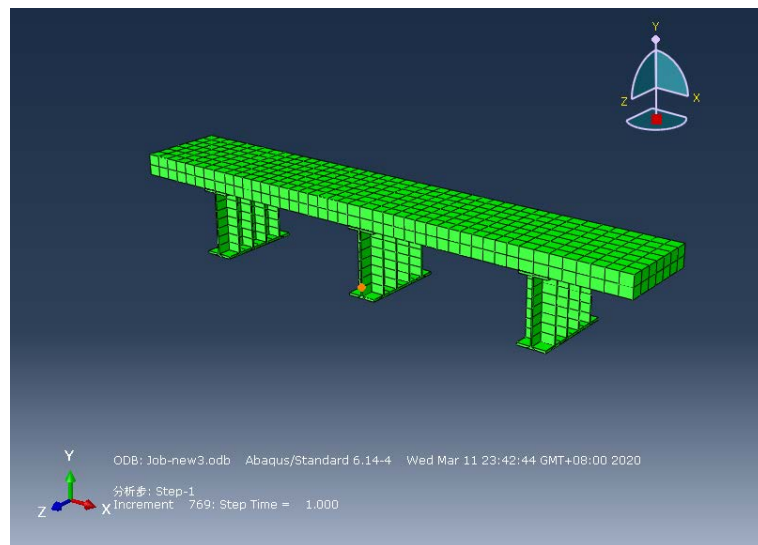


Figure 5. Finite element model diagram
图 5. 有限元模型图

4.2. 有限元结果与试验结果对比分析

在钢-混组合梁桥桥面板模型试验基础上, 建立 Abaqus 有限元分析模型对钢-混组合梁桥桥面板受力主要影响因素进行分析, 关键截面的 Abaqus 模型计算值与试验值如表 1、表 2 所示。根据表 1 和表 2 的对比验证分析, 可以发现有限元模型与试验模拟良好, 说明利用 Abaqus 对钢-混组合梁混凝土板的模拟方法合理准确。

Table 1. Main control section test strain value and finite element strain value check
表 1. 主要控制截面试验应变值与有限元模型应变值校核

测点位置	试验值	模型值	误差/%
a2	-247.67	-274.17	10.7
a3	-663.95	-712.51	7.3
a4	-88.01	-94.60	7.5
a5	652.39	705.16	8.1

Table 2. Deflection value of main control section test and finite element deflection value check
表 2. 主要控制截面试验挠度值与有限元模型挠度值校核

测点位置	试验值	模型值	误差/%
b1	4.034	4.381	8.6
b2	-3.684	-3.857	4.7

5. 有限元模拟分析

5.1. 板厚对桥面板受力影响

以桥面板的厚度为影响因素，建立主梁间距 $X = 1.9\text{ m}$ 为定量，桥面板厚度 $Y = 140\text{ mm} \sim 240\text{ mm}$ ，以 20 mm 递增的有限元模型，然后利用有限元模型对钢-混组合梁桥桥面板进行受力分析见图 6，图 7。

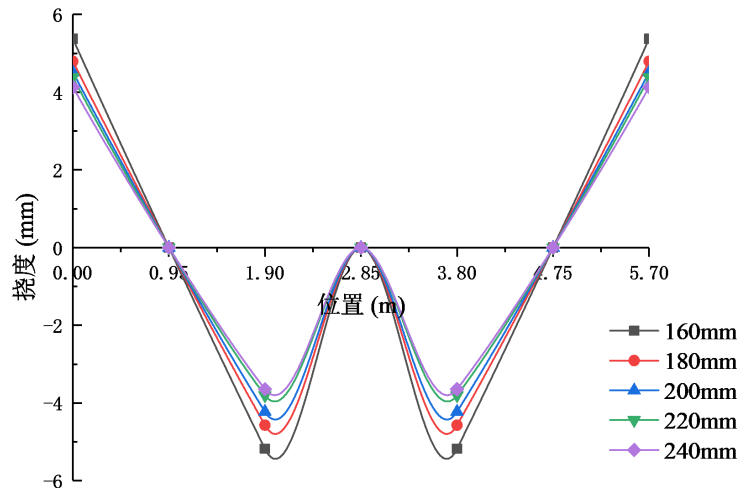


Figure 6. Deflection curve of bridge deck

图 6. 桥面板挠度曲线图

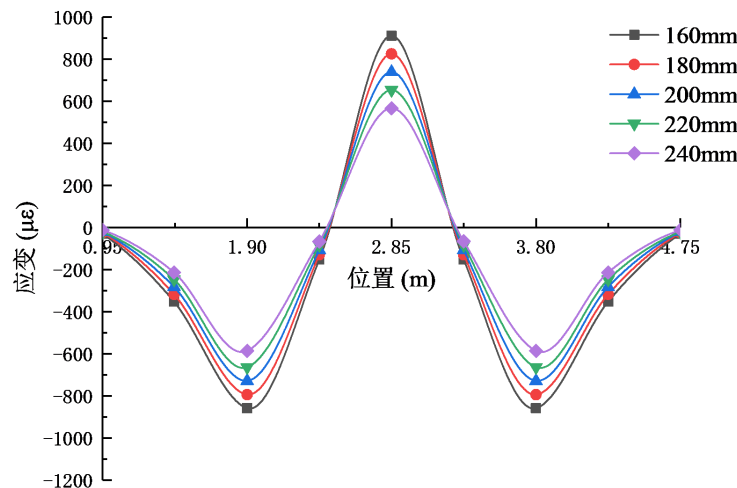


Figure 7. Strain curve of concrete on the top of bridge deck

图 7. 桥面板顶板混凝土应变曲线图

通过图 6 可以看出混凝土板的挠度曲线变化规律，不同桥面板厚度的挠度曲线均表现为在混凝土板端产生向上的最大竖向位移，跨中产生向下的竖向最大位移；图 7 可以看出，混凝土板跨中顶板产生受压最大应变，中间钢梁处顶板混凝土处于负弯矩区，产生受拉的最大应变。靠近中间钢梁的四分点处的混凝土板处于正负弯矩的过渡段应变较小。

由图 6 所示，混凝土板竖向挠度随着混凝土板厚度的增加，混凝土板的两端最大挠度由 5.174 mm 减小到 3.828 mm ，减小了 26%；桥面板跨中最大挠度由 5.383 mm 减小到 3.847 mm ，减小了 28.5%。通过

图 7 可以发现, 随着桥面板厚度的增大, 混凝土应变也在逐渐减小, 桥面板跨中混凝土的最大微应变由 858.95 减小到 586.46, 增减少了 31.7%; 负弯矩区混凝土微应变由 910.39 减小到 566.39, 减少了 37.8%。

5.2. 主梁间距对桥面板受力影响

以主梁间距为影响因素, 建立桥面板厚度 $Y = 220 \text{ mm}$ 为定量, 主梁间距 $X = 1.5 \text{ m} \sim 2.5 \text{ m}$, 按 0.2 m 宽度递增的有限元模型, 然后利用有限元模型对钢 - 混组合梁桥面板进行受力分析见图 8, 图 9。

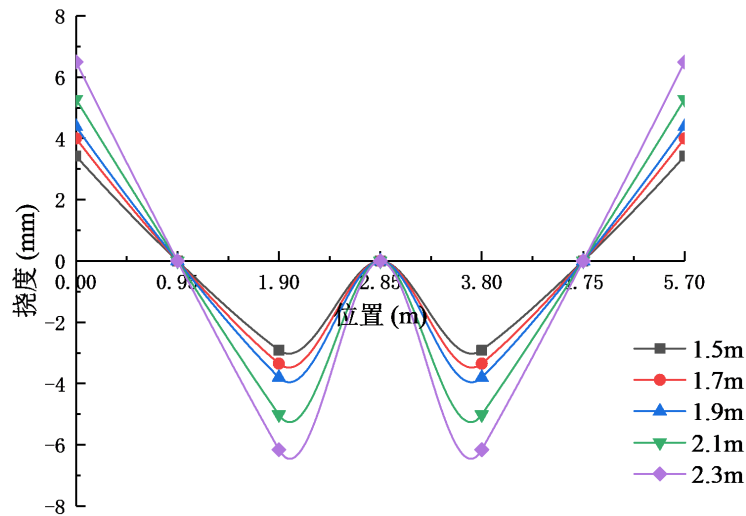


Figure 8. Deflection curve of bridge deck

图 8. 桥面板挠度曲线图

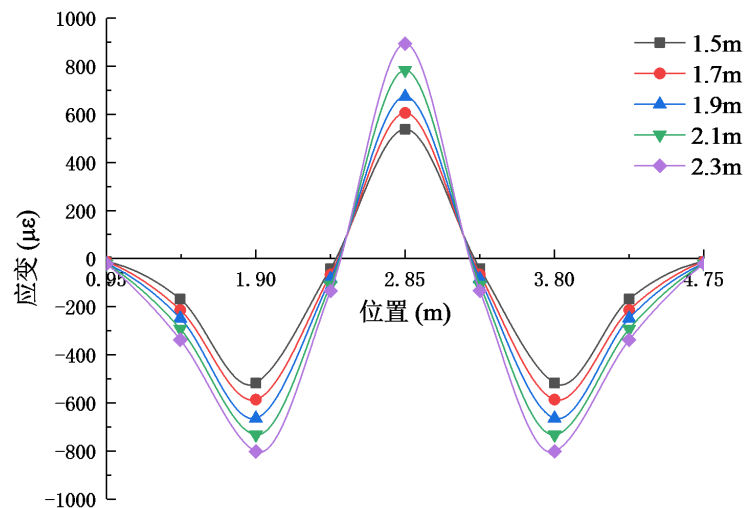


Figure 9. Strain curve of concrete on the top of bridge deck

图 9. 桥面板顶板混凝土应变曲线图

由图 8 所示, 桥面板竖向挠度随着主梁间距的增加, 桥面板的两端最大挠度由 3.019 mm 增加到 6.292 mm , 增加了 108.4% ; 桥面板跨中的最大挠度由 3.012 mm 增加到 6.159 mm , 增加了 104.5% 。通过图 9 可以发现, 随着主梁间距的增大, 混凝土应变也在逐渐增大, 桥面板跨中混凝土的最大微应变由 537.39 增加到 893.39 , 增加了 62.3% ; 负弯矩区混凝土微应变由 517.46 增加到 801.95 , 增加了 55% 。

6. 结论

本文通过对钢-混组合梁桥桥面板模型及有限元模型受力分析,得到如下结论:

- 1) 钢-混组合梁桥桥面板在试验过程中两跨同步受力同步变形,跨中最大竖向位移与两端竖向翘起高度基本一致,整体变形与悬臂连续梁变形基本一致。
- 2) 钢-混组合梁桥桥面板跨中挠度及应变随着桥面板厚度的增加均减小;桥面板跨中挠度及混凝土应变随着主梁间距的增加均增大。
- 3) 钢-混组合梁桥桥面板主梁间距的变化比桥面板厚度变化对钢-混组合梁桥桥面板的受力影响更加明显。

基金项目

公路桥梁诊治技术交通运输行业研发中心开放基金资助。

参考文献

- [1] 聂建国,陶慕轩,吴丽丽,聂鑫,李法雄,雷飞龙. 钢-混凝土组合结构桥梁研究新进展[J]. 土木工程学报, 2012, 45(6): 110-122.
- [2] 李卫青. 组合梁桥桥面板横向局部受力计算方法研究[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(2): 218-219.
- [3] 贾硕. 公路钢-混组合梁桥面板受力特性与工程对策研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东交通学院, 2019.