

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.04.022

引用格式:张朋,魏明,栾汶晓,等.灌浆波纹管连接件连接性能试验研究[J].公路与汽运,2024,40(4):98-102.

Citation:ZHANG Peng, WEI Ming, LUAN Wenxiao, et al. Experimental study on connection performance of grout bellows connectors[J].Highways & Automotive Applications, 2024, 40(4):98-102.

灌浆波纹管连接件连接性能试验研究*

张朋¹, 魏明¹, 栾汶晓¹, 陈子璇¹, 张家源², 李超³

(1.山东省公路桥梁建设集团有限公司, 山东 济南 250000; 2.中建八局第二建设有限公司, 山东 济南 250014; 3.潍坊市自然资源和规划局 潍城分局, 山东 潍坊 261021)

摘要: 考虑锚固长度和灌浆水料比参数的影响, 设置 12 组波纹管试件和 4 组现浇试件, 通过单向拉伸试验, 对比分析两种连接件的破坏形态及承载力等力学性能, 研究灌浆波纹管连接件的连接性能。结果表明, 灌浆波纹管连接件的破坏形态有混凝土劈裂、钢筋拔出和钢筋拉断 3 种, 现浇连接件的破坏形态与灌浆波纹管连接件相似, 但现浇连接件的混凝土裂缝破坏程度更严重; 受重力作用的影响, 灌浆波纹管连接件和现浇连接件上部、下部混凝土应变相差较大, 下部应变明显大于上部应变; 灌浆波纹管连接方式可靠。

关键词: 桥梁; 装配式桥梁; 灌浆波纹管; 连接性能; 破坏形态; 应变

中图分类号: U448.218

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)04-0098-05

桥梁预制拼装技术在国内外发展迅速^[1-4]。限制装配式桥梁大规模推广应用的关键是连接构造的连接性能, 特别是抗震性能。由于经济、技术等条件的限制, 早期建造的装配式钢筋混凝土桥梁大多仅对上部结构进行抗震验算, 造成下部结构的连接节点成为抗震薄弱位置^[5]。近年来对装配式桥梁下部结构连接构造的抗震性能进行了很多研究, 如尹齐、陈云钢等在考虑纵向钢筋直径和嵌入长度等参数影响的前提下, 通过试验研究了灌浆波纹管连接预制构件的可靠性^[6-7]; 陈俊等设计并测试 48 组拉拔试件, 研究装配式框架结构柱钢筋和基础的黏结性能, 建议波纹管直径与钢筋直径的比值取 2~3^[8]; 徐文杰等制作 4 根预制混凝土墩柱, 分析了灌浆缺陷对装配式墩柱的影响^[9]; 姜海西等制作 2 根波纹管立柱, 对灌浆金属波纹管连接预制拼装立柱的抗震性能进行了试验研究^[10]; Yamashita R. 等以 1:4 的缩尺比对无黏结混凝土柱的抗震性能进行了分析^[11]; Kuttub A. 等通过弯曲和轴力作用下性能试验, 研究了灌浆波纹管连接柱节点的抗震性能^[12]; Chen J. 等以波纹管直径和搭接钢筋直径之比、钢筋搭接长度为参考变量, 研究了波纹管搭接钢筋的力学性能^[13]; Popa V. 等通过试验研究了灌浆波纹管

柱的抗震性能^[14]。本文设置 12 组灌浆波纹管试件和 4 组现浇试件, 通过单向拉伸试验对两种试件的破坏形态及荷载-应变曲线特性进行对比分析, 研究灌浆波纹管连接件的连接性能, 为装配式桥梁下部结构抗震提供理论支持。

1 试验概况

1.1 试件设计及制作

设置 12 组灌浆波纹管试件和 4 组现浇试件, 每组 2 个试件, 试件参数见表 1。波纹管试件中, 第一

表 1 试件参数

试件编号	结构方式	数量/个	试件编号	结构方式	数量/个
BW-200-0.10	波纹管	2	BW-200-0.14	波纹管	2
BW-160-0.10	波纹管	2	BW-160-0.14	波纹管	2
BW-120-0.10	波纹管	2	BW-120-0.14	波纹管	2
BW-80-0.10	波纹管	2	BW-80-0.14	波纹管	2
BW-200-0.12	波纹管	2	XJ-200-C40	现浇	2
BW-160-0.12	波纹管	2	XJ-160-C40	现浇	2
BW-120-0.12	波纹管	2	XJ-120-C40	现浇	2
BW-80-0.12	波纹管	2	XJ-80-C40	现浇	2

* 基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(ZR2018PEE019)

组字母 BW 表示结构方式为波纹管;第二组数字表示锚固长度(mm);第三组数字表示灌浆料水料比。现浇试件中,第一组字母 XJ 表示结构方式为现浇;第二组数字表示锚固长度(mm);第三组数字表示混凝土强度。对两种试件分别进行单向拉伸试验,研究灌浆波纹管连接件和现浇连接件的连接性能。

制作波纹管试件时,先固定钢筋和波纹管位置,再进行注浆。将养护好的波纹管和打磨好的钢筋放入 120 mm×120 mm×200 mm 钢模具中,浇筑混凝土,并在振动台进行充分振动夯实,最后将试件放入地下养护室进行养护(见图 1)。



图 1 波纹管试件制作

1.2 材料性能试验

波纹管试件采用直径为 12 mm 的 HRB 400 钢筋,对其进行拉拔试验,结果见表 2。灌浆料采用高流动性、微膨胀、早强、无收缩的水泥基干混材料,不同水料比灌浆料的初始流动度均大于 340 mm,30 min 流动性均大于 300 mm,满足流动性要求。

表 2 钢筋材料试验结果

钢筋型号	实测屈服强度/MPa	实测抗拉强度/MPa	弹性模量/MPa
HRB 400	457	568	2.01×10^5

现浇试件采用强度为 C40 的混凝土,对混凝土试块进行抗压试验,混凝土的抗压强度平均值为 42.9 MPa。

1.3 测点布置

在试件上布置应变及位移测点,测试单向拉伸试验过程中试件的应变及位移。

(1) 钢筋应变测点布置。在波纹管试件和现浇试件下部钢筋距离混凝土边缘 30 mm 处轴向布置一个应变片。

(2) 混凝土应变测点布置。将波纹管试件和现浇试件分成 3 等份,在等分点处轴向对称布置 4 个应变片。

(3) 位移测点布置。在波纹管试件和现浇试件钢筋距离混凝土 50 mm 处设置一个位移测点。

1.4 加载方法

试验通过 MTS 万能试验机进行。试件屈服前采取力控制,速率为 500 N/s;屈服后采取位移控制,速率为 0.25 mm/s。

2 破坏形态

2.1 灌浆波纹管试件的破坏形态

如图 2、表 3 所示,灌浆波纹管试件的破坏形态有混凝土劈裂、钢筋拔出和钢筋拉断 3 种。试验过程中,试件进入屈服阶段时,混凝土两侧边界位置出现微裂缝并向中间位置发展,钢筋出现明显的滑移现象;在强化阶段,试件出现灌浆料和少量混凝土脱落现象,混凝土出现不同程度的裂缝,滑移继续加大。

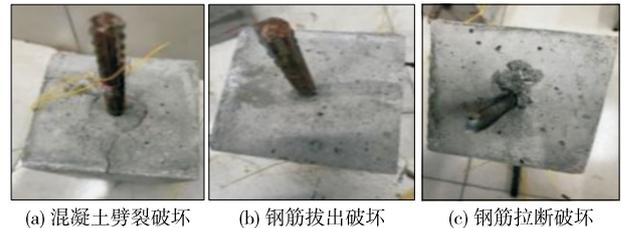


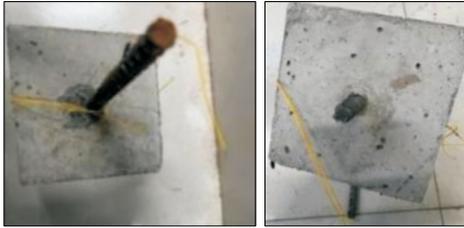
图 2 灌浆波纹管的破坏形态

表 3 灌浆波纹管试件的试验结果及破坏形态

试件编号	屈服荷载/kN	峰值荷载/kN	破坏形态
BW-200-0.10	52.25	65.07	钢筋拉断
BW-160-0.10	51.09	64.35	钢筋拉断
BW-120-0.10	52.08	63.99	钢筋拉断
BW-80-0.10	50.39	62.88	钢筋拔出
BW-200-0.12	51.97	64.75	钢筋拉断
BW-160-0.12	51.43	63.57	钢筋拉断
BW-120-0.12	49.64	62.90	钢筋拉断
BW-80-0.12	51.97	59.34	混凝土劈裂
BW-200-0.14	50.56	63.97	钢筋拉断
BW-160-0.14	49.58	62.92	钢筋拉断
BW-120-0.14	45.09	61.81	混凝土劈裂
BW-80-0.14	51.30	57.53	钢筋拔出

2.2 现浇试件的破坏形态

如图 3、表 4 所示,现浇试件的破坏形态有混凝土劈裂和钢筋拉断 2 种。现浇试件具有和灌浆波纹管试件相似的破坏形态,拉断同样出现在钢筋打磨位置,相比而言,现浇试件混凝土的裂缝破坏程度更严重。



(a) 混凝土劈裂破坏 (b) 钢筋拉断破坏

图 3 现浇试件的破坏形态

3 荷载-应变曲线特性分析

3.1 灌浆波纹管试件的荷载-应变曲线特性

3.1.1 灌浆波纹管试件的荷载-混凝土应变

如图4所示,整体来说,随着荷载的增大,灌浆

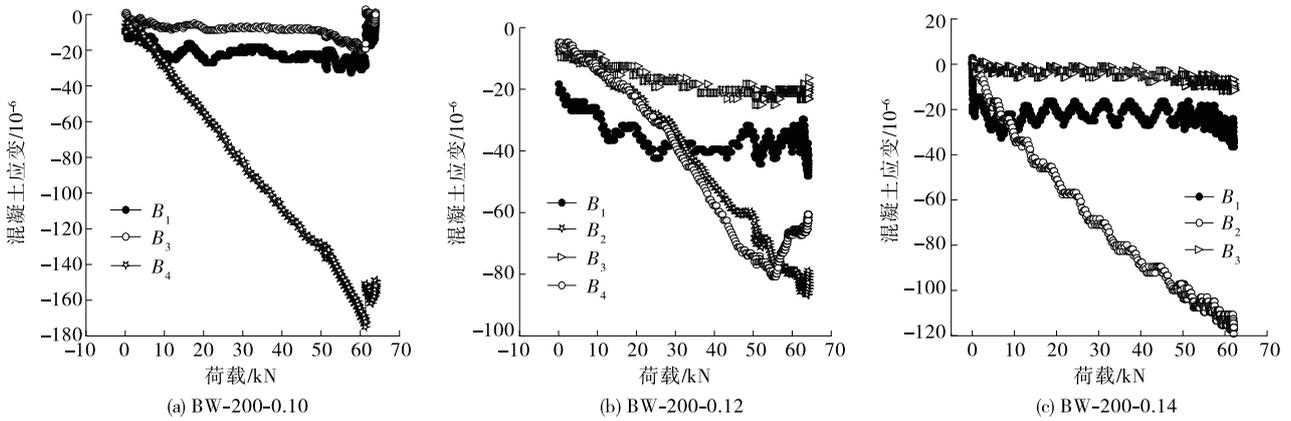


图 4 部分灌浆波纹管试件的荷载-混凝土应变曲线

3.1.2 灌浆波纹管试件的荷载-钢筋应变

如图 5 所示,灌浆波纹管试件的钢筋应变基本在 $3\ 000 \times 10^{-6}$ 左右,其中 BW-200-0.12 试件为 $5\ 000 \times 10^{-6}$, BW-200-0.14 试件为 $4\ 500 \times 10^{-6}$, BW-80-0.12 试件为 $2\ 000 \times 10^{-6}$ 左右。

3.2 现浇试件的荷载-应变曲线特性

3.2.1 现浇试件的荷载-混凝土应变

如图 6 所示,随着荷载的增大,现浇试件测点

波纹管试件测点 $B_1 \sim B_4$ 的应变呈增长趋势;受重力作用的影响,下部测点 B_2, B_4 的应变增长趋势明显大于上部测点 B_1, B_3 的应变增长趋势。

综上,灌浆波纹管试件的混凝土上部应变增长变化小,下部应变增长迅速。灌浆波纹管试件上部和下部质量差距较大,应变受到的重力作用非常明显。

$X_1 \sim X_4$ 的应变呈增长趋势。下部测点 X_2, X_4 的应变增长趋势明显大于上部测点 X_1, X_3 的应变增长趋势,下部测点 X_2, X_4 的应变基本为 -150×10^{-6} ,上部测点 X_1, X_3 的应变基本为 -40×10^{-6} 。现浇试件上部、下部应变差距大的原因与试件质量有关。除 XJ-120-C40 试件测点 X_2 的应变超过 -250×10^{-6} 外,其他试件各测点的应变均不超过 -150×10^{-6} 。

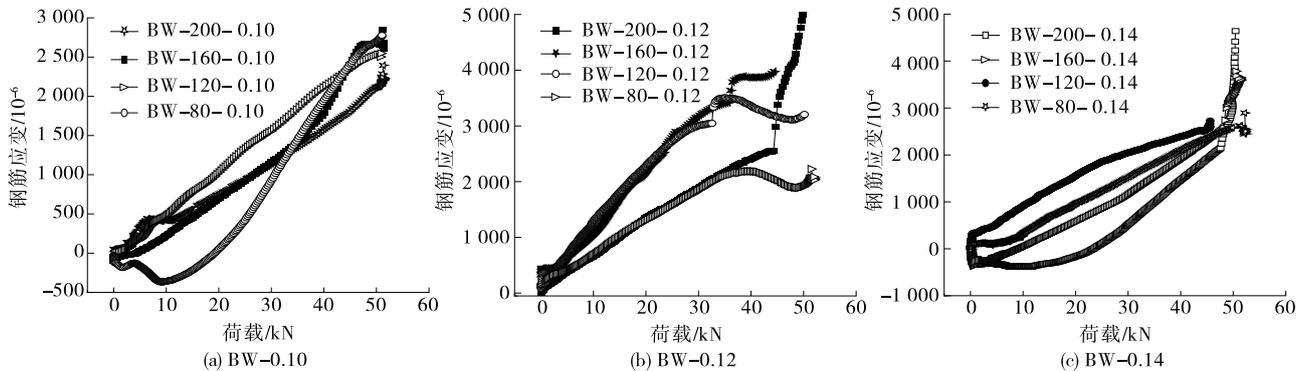


图 5 灌浆波纹管试件的荷载-钢筋应变曲线

表 4 现浇试件的试验结果及破坏形态

试件编号	屈服荷载/kN	峰值荷载/kN	破坏形态
XJ-200-C40	50.78	64.13	钢筋拉断
XJ-160-C40	42.88	61.90	钢筋拉断
XJ-120-C40	39.60	53.76	混凝土劈裂
XJ-80-C40	39.56	48.92	混凝土劈裂

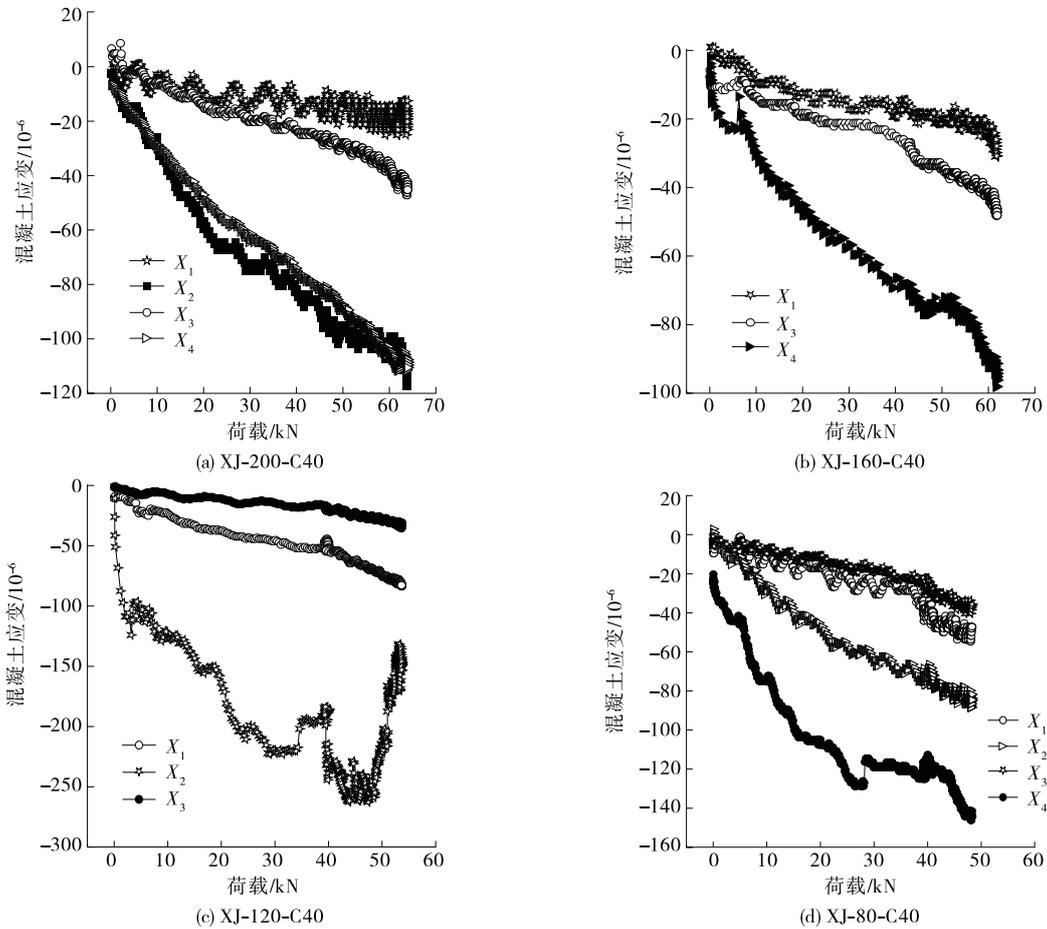


图 6 现浇试件的荷载-混凝土应变曲线

3.2.2 现浇试件的荷载-钢筋应变

如图 7 所示, XJ-200-C40 试件的钢筋应变超过 $3\ 000 \times 10^{-6}$, XJ-160-C40、XJ-80-C40 试件的钢筋应变不超过 $2\ 500 \times 10^{-6}$, 差距不是很大。

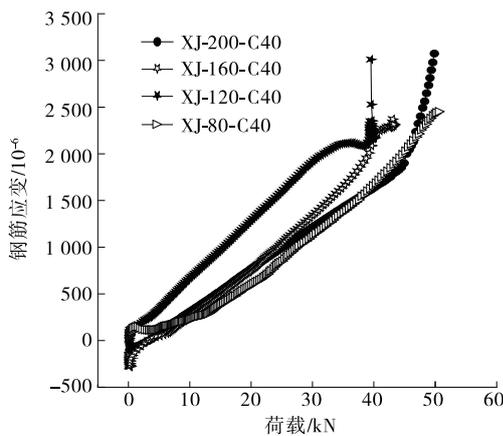


图 7 现浇试件的荷载-钢筋应变曲线

4 结论

(1) 锚固长度大和水料比小的灌浆波纹管未出

现混凝土劈裂和钢筋拔出破坏;钢筋拉断基本出现在钢筋打磨处,说明打磨处的钢筋强度有所下降。

(2) 锚固长度为 200 mm 的灌浆波纹管连接件的承载力大于锚固长度为 160 mm、120 mm、80 mm 连接件的承载力,不同水料比连接件的承载力相差不大。应选取锚固长度大且水料比较小的灌浆波纹管连接件。

(3) 受重力作用的影响,灌浆波纹管连接件和现浇连接件上部、下部混凝土应变相差较大,下部应变明显大于上部应变。

(4) 灌浆波纹管连接方式可靠。

参考文献:

[1] 项贻强,竺盛,赵阳.快速施工桥梁的研究进展[J].中国公路学报,2018,31(12):1-27.
 [2] 王志刚,余顺新,陈亚莉.桥梁快速建造技术[J].中外公路,2018,38(4):184-188.
 [3] 黄宇星,祝磊,叶桢翔,等.预制混凝土结构连接方式研究综述[J].混凝土,2013(1):120-126.
 [4] 乌云毕力格,张全卫.预制装配式建筑施工技术研究

- 究[J].建筑技术开发,2020,47(5):51-53.
- [5] 宋泽冈,施静娴,邓旭东.装配式箱形拱桥立柱节点抗震加固技术研究[J].公路与汽运,2021(6):145-151.
- [6] 尹齐,陈俊,彭黎,等.钢筋插入式预埋波纹管浆锚连接的锚固性能试验研究[J].工业建筑,2014,44(11):104-107.
- [7] 陈云钢,刘家彬,郭正兴,等.预制混凝土结构波纹管浆锚钢筋锚固性能试验研究[J].建筑技术,2014,45(1):65-67.
- [8] 陈俊,肖岩,尹齐.预埋波纹管套管的钢筋-高强浇筑料黏结锚固性能试验研究[J].建筑结构学报,2015,36(7):140-147.
- [9] 徐文杰,李书奇,陶里.浆锚搭接灌浆缺陷对装配式混凝土柱抗震性能的影响[J].建筑科学,2018,34(5):69-75.
- [10] 姜海西,王志强,沈佳伟.灌浆金属波纹管连接预制拼装立柱抗震性能试验研究[J].结构工程师,2016,32(5):132-138.
- [11] YAMASHITA R,SANDERS D.Seismic performance of precast unbonded prestressed concrete columns[J].ACI Structural Journal,2009,106(6):821-830.
- [12] KUTTAB A,DOUGILL J W.Grouted and dowelled jointed precast concrete columns:behaviour in combined bending and compression[J].Magazine of Concrete Research,1988,40(144):131-142.
- [13] CHEN J,ZHAO C H,DING F X,et al.Mechanical performance of the grouted lapped double reinforcements anchored in embedded corrugated sleeves[J].Structures,2020,28:1354-1365.
- [14] POPA V,APURCU A,OTOFANA D,et al.Experimental testing on emulative connections for precast columns using grouted corrugated steel sleeves[J].Bulletin of Earthquake Engineering,2015,13(8):2429-2447.

收稿日期:2023-08-11

(上接第 97 页)

公路与地方经济、旅游发展相融合。根据主线、互通及停车区的关系,方案设计中考虑停车区与互通独立设置、停车区与互通复合设置、停车区布设于互通区外部、停车区布设于互通区内部 4 种形式,拟订 5 种方案,通过技术、安全性、经济性比选,选取停车区布设于互通区内部的方案五作为推荐方案。

参考文献:

- [1] 交通运输部公路科学研究院.公路交通安全设施设计规范:JTGD81—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [2] 中国公路工程咨询集团有限公司.公路立体交叉设计细则:JTGT/D21—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.
- [3] 陈言.山区高速公路互通立交与服务区合并设置技术的研究[D].重庆:重庆交通大学,2022.
- [4] 张杰.郑西高速公路尧栾段白云山互通与服务区合并设计方案研究[J].公路与汽运,2020(4):138-142.
- [5] 胡铁山.高速公路与旅游业融合建设模式研究[J].公路与汽运,2021(4):23-25.
- [6] 陈国梅.高速公路开放式服务区规划设计研究[D].重庆:重庆交通大学,2017.
- [7] 黄训江.基于多元需求的“交通+旅游”高速公路新型服务区服务水平与规模研究[D].西安:长安大学,2022.
- [8] 兰北章,邝习东,傅舰峰,等.高速公路开放式服务区与区域社会经济耦合研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2014,33(1):115-118.
- [9] 高建平,肖英洁,兰北章,等.高速公路开放式服务区功能定位方法[J].长安大学学报(自然科学版),2015,35(5):43-49.
- [10] 贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司.沪昆国家高速公路贵阳至安顺段扩容工程可行性研究报告[R].贵阳:贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司,2022.
- [11] 吕晓东.高速公路互通式立交与其他设施净距研究[D].西安:长安大学,2011.
- [12] 卢超飞.高速公路服务区服务设施的合理配置研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- [13] 陈培.高速公路服务区布局与合理规模研究[D].天津:河北工业大学,2011.
- [14] 邢利霞.高速公路服务区合理规模研究[D].西安:长安大学,2012.
- [15] 张艳秋.基于消费行为分析的高速公路服务区合理规模研究[D].重庆:重庆交通大学,2019.

收稿日期:2023-04-04