

曲率半径对中小跨径连续刚构桥施工阶段力学性能的影响

谢阳福¹,叶远盛²,桂水荣²,杨宇³

(1.彭州市城市建设投资集团有限公司,四川 成都 611930;2.华东交通大学 土木建筑学院,江西 南昌 330013;
3.中铁八局集团第二工程有限公司,四川 成都 610000)

摘要:为研究逐跨节段拼装工法施工的曲线刚构桥施工阶段力学性能及曲率半径对其力学性能的影响,该文以南昌市洪都高架桥双箱标准段(35+35+35)m连续刚构桥为工程背景,通过改变曲率半径,研究曲率半径对逐跨拼装中小跨径连续刚构桥施工阶段力学性能的影响。结果表明:采用逐跨拼装工法施工时,后跨施工会影响前跨已架设主梁应力、竖向位移、横向位移、扭矩及墩底应力等力学性能,且随曲率半径的减小影响增大;曲率半径过小时,各项力学指标易超出安全容许值。综合设计与施工阶段力学性能考虑,此类桥梁曲率半径不宜小于75m。

关键词:曲线刚构桥;逐跨拼装;施工阶段;力学性能;曲率半径

中图分类号:U448.23

文献标志码:A

0 引言

近年来,国内外发生多起桥梁倾覆事件,引起社会广泛关注。调查研究表明:直线独柱墩或曲线连续梁桥因机动车超载导致偏载过大,主梁横向约束及抗扭能力不足是引发倾覆的主要原因^[1]。曲线连续梁桥内外跨径差较大,因内外侧主梁自重不同易引发横向爬移,为改善曲线梁桥抗倾覆能力,焦驰宇等^[2]提出支座预偏心及改变支座形式等方法,但因车流量不同,车辆荷载变化无规律,因而难以得出最优的设计方案。连续刚构桥因墩梁固结无需支座设计、顺桥向抗弯刚度大、横桥向抗扭性能好以及施工便利等优点,逐渐被应用于曲线桥中。

曲线连续刚构桥虽然具有良好的受力性能,但因墩身变形会对主梁受力产生影响,因而在非对称施工过程中主梁力学性能变化较大,需进一步分析研究。目前,专家学者针对悬臂施工的曲线刚构桥做了大量研究,但针对采用逐跨拼装工法施工的小跨径曲线刚构桥研究较少,因逐跨拼装工法不对称

施工的特点,导致施工过程中墩梁结构发生多次协同形变^[3],施工阶段力学性能变化与悬臂施工大不相同,且曲率半径对桥梁结构受力也有较大影响^[4-6]。本文基于南昌市洪都大道快速路改造工程,研究逐跨拼装工法施工的曲线刚构桥在施工阶段力学性能的变化特点及曲率半径对其性能的影响。

1 工程概况及模型建立

1.1 工程概况

南昌市洪都大道快速路改造高架桥全线长7600m,是南昌市一环快速路的重要组成部分。本文基于南昌市洪都高架项目双箱标准段PM144~PM147开展研究,该桥为3×35m连续刚构桥,主梁采用分离式双箱单室截面^[7],梁高2.2m,顶板厚0.25m,底板厚0.22m,腹板厚0.4m,桥面总宽25m,墩顶0#块顺桥向断面宽3.2m、高2.62m,桥墩为双柱式花瓶墩,高10.8m。主梁及墩顶0#块使用C55混凝土,桥墩采用C40混凝土。双箱标准段桥梁立面图及主梁节点编号如图1所示,桥墩横断面及墩底应力读取点布置如图2所示。

收稿日期:2022-06-17(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:12062006);江西省自然科学基金资助项目(编号:20181BAB206041,20181BAB206043)

作者简介:谢阳福,男,大学本科,工程师.E-mail:472348498@qq.com

洪都高架桥墩顶 0[#]块均采用钢管支架临时支撑进行现浇施工,主梁采用短线法预制。曲线桥均采用支架逐跨拼装施工,单跨拼装完成后张拉体外预应力束,随即拆除该跨支架;待全联拼装完成张拉全联体内束并现浇全联横向湿接缝,拆除桥墩处的钢管支撑,完成桥面铺装。

在保证 PM144~PM147 标准段的墩高、主梁中心跨径、预应力筋布置等特性相同的基础上,仅改变主梁在平面内曲率半径进行研究。因该桥跨径较小,曲率半径过大则难以体现其曲线桥力学特征,故选取曲率半径 R 分别为 50 m、75 m、100 m、125 m、150 m 进行分析。

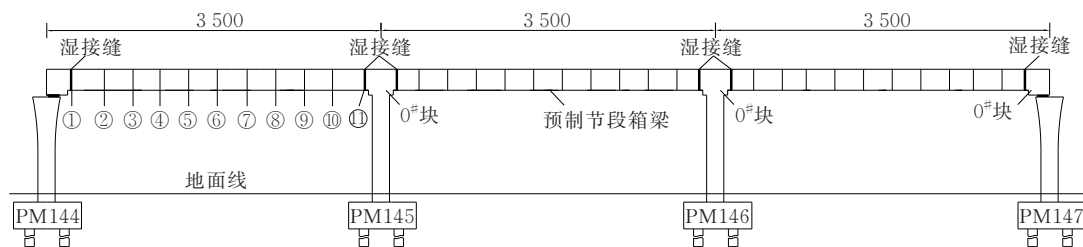


图 1 桥梁立面及主梁节点编号(单位:cm)

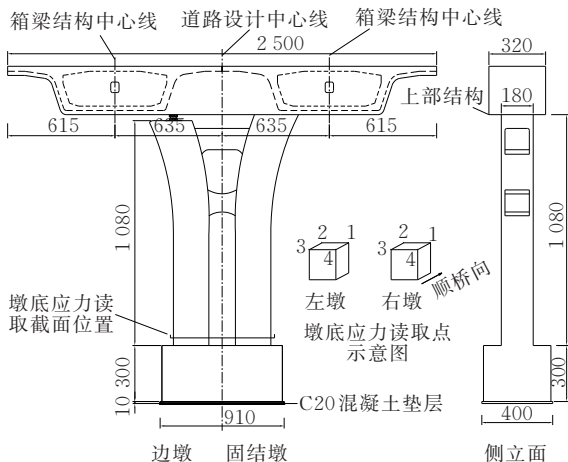


图 2 边墩及中墩横断面(单位:cm)

1.2 有限元模型

运用 Midas Civil 有限元软件建立洪都高架有限元模型,墩顶横梁处的双箱单室截面重心偏离支座中心,纯杆系模型难以模拟双幅主梁与墩顶 0[#]块处荷载横向传递过程。模型采用“实体-杆系”组合建模方式,使用 8 节点实体单元建立墩顶 0[#]块,将墩顶 0[#]块实体单元与主梁杆系单元相耦合。实体节点与杆系节点使用主从节点刚性连接,并添加纵横向无重度虚拟杆系梁,在虚拟杆系结构中施加预应力并传递到实体单元中,同时模拟出节段拼装时墩顶横梁底部临时支撑钢架。以曲率半径 $R=50$ m 模型为例,桥梁结构由 21 882 个节点、660 个梁单元及 16 576 个实体单元组成, $R=50$ m 桥梁整体有限元模型及墩顶细部图如图 3 所示。

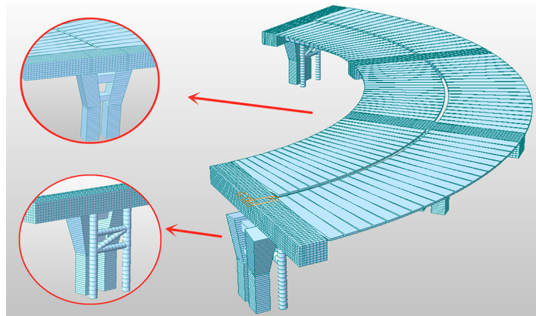


图 3 曲线刚构桥有限元模型($R=50$ m)

2 计算结果分析

为研究曲线刚构桥逐跨拼装施工阶段力学性能受曲率半径的影响,从主梁应力、竖向位移、横向位移及扭矩等方面研究不同曲率半径对施工阶段力学性能的影响。主要选取以下 5 个施工阶段的计算结果进行对比:第一跨主梁架设并张拉体外束(CS1)、第二跨主梁架设并张拉体外束(CS2)、第三跨主梁架设并张拉体外束(CS3)、张拉墩顶负弯矩束(CS4)、拆除临时支撑钢架(CS5)。

2.1 主梁应力

选取不同半径连续刚构桥的第一跨内、外幅跨中(⑥号节点)梁底应力作为参考指标,分析曲线刚构桥运用逐跨拼装施工方法时,各施工阶段的应力变化规律(图 4)。以下应力值以绝对值大小进行分析。

由图 4 可知:① 在第二跨主梁架设并张拉体外束(CS2)与第三跨主梁架设并张拉体外束(CS3)阶段,均对前跨主梁应力产生影响,各半径模型的第一

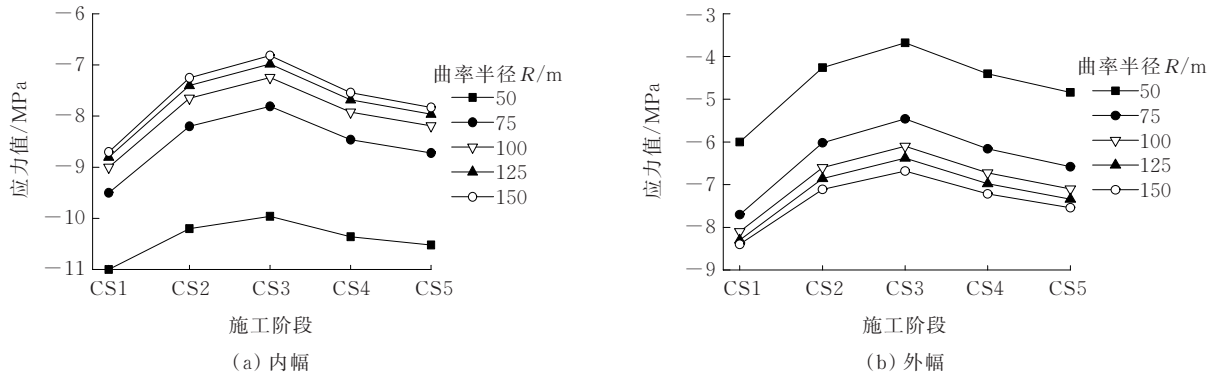


图4 第一跨跨中梁底应力

跨主梁跨中梁底压应力均减小,其中CS2阶段的影响较CS3阶段更大;②从变化幅值看,内幅主梁随曲率半径的增大,后续施工阶段对其影响越大,而施工阶段对外幅主梁的影响则随半径的增大而减小;③内、外幅应力差值随曲率半径增大而减小,比如,内幅 $R=50$ m 模型与 $R=75$ m 模型整体应力差约为 1.5 MPa,而 $R=150$ m 模型与 $R=75$ m 模型差值仅为 0.7 MPa。

经分析,造成主梁应力随施工阶段变化的原因

是后续主梁施工导致 PM145 号墩墩顶 0[#]块发生位移,使锚固在墩顶 0[#]块的体外预应力束发生二次回缩,主梁与桥墩的协同形变改变了前跨主梁反拱值。

2.2 竖向位移

分析主梁应力时,要考虑主梁反拱值随施工进展的变化^[8], $R=50$ m 模型第一跨内、外幅主梁不同施工阶段整体竖向位移值如图 5 所示,不同半径模型第一跨主梁 3/4 处(⑨号节点)竖向位移值如图 6 所示。

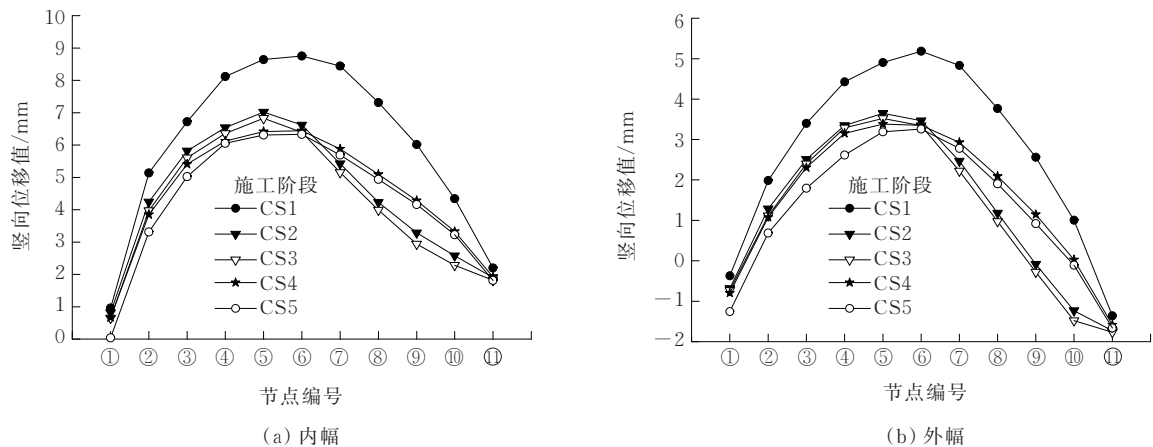
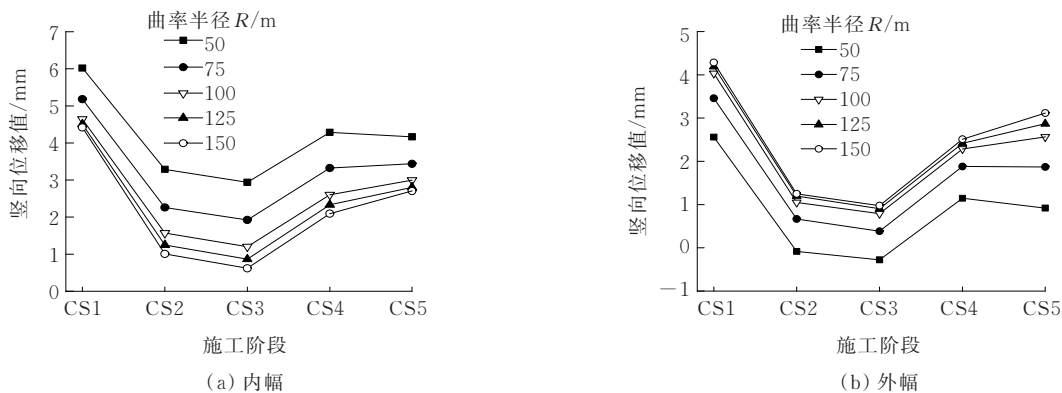
图5 第一跨竖向位移($R=50$ m)

图6 第一跨⑨号节点竖向位移

由图 5、6 可知:① 相同施工阶段下,内、外幅竖向位移不同,第一跨内、外幅主梁竖向位移最大值均出现在 CS1 阶段,该阶段 $R=50$ m 模型内幅跨中节点(⑥号节点)竖向位移为 8.86 mm,而外幅跨中节点仅为 5.25 mm,差值达 3.61 mm;② 相同施工阶段下,内幅主梁反拱值随曲率半径增大而减小,外幅主梁反拱值随曲率半径增大而增大,内、外幅竖向位移差值随曲率半径增大而减小,拆除钢管支撑后(CS5 阶段), $R=50$ m 模型内、外幅 3/4 位置处(⑨号节点)竖向位移差值约为 3.4 mm,而半径 150 m 模型差值为 0.5 mm。

2.3 横向位移

针对不同半径模型的第一跨外幅主梁,分析整桥及⑪号节点随施工阶段发展的横桥向位移变化^[9],如图 7、8 所示。以下横向位移以绝对值大小进行分析。

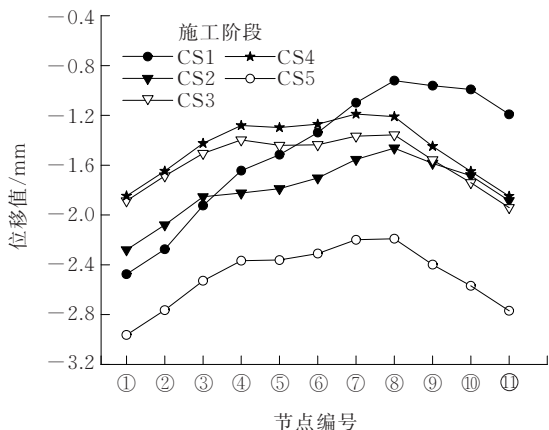


图 7 第一跨外幅横向位移($R=50$ m)

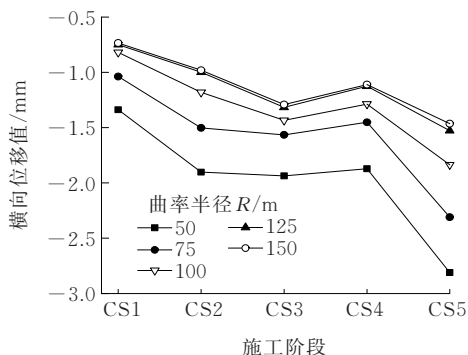


图 8 第一跨外幅⑪号节点外侧横向位移

由图 7、8 可知: $R=50$ m 模型在第一跨张拉阶段(CS1)时,靠近边跨支座①号节点因内、外幅自重差较大产生横向爬移,靠近 PM46 固结墩的⑪号节点因桥墩刚度限制,横向位移较小,跨中各节点因体外预应力束平弯,有内凹趋势;第二跨架设完成(CS2)后,第二跨自身横向偏移,使 PM46 号墩处⑪号节点横向位移增大;第三跨架设(CS3)及墩顶预应力束张拉(CS4)使第一跨主梁整体横向位移减小,拆除支撑(CS5)后,横向位移进一步增大。随着曲率半径的增大,第一跨主梁整体横向位移值减小,后续施工阶段对第一跨主梁横向位移值影响也随之减小。

2.4 主梁扭矩

读取⑪号节点处内、外幅主梁横桥向扭矩,分析不同半径模型在不同施工阶段中扭矩的变化(表 1)。以下扭矩以绝对值大小进行分析。

表 1 ⑪号节点横桥向扭矩

施工阶段	不同曲率半径(m)内幅扭矩/(kN·m)					不同曲率半径(m)外幅扭矩/(kN·m)				
	50	75	100	125	150	50	75	100	125	150
CS1	-3 564	-2 546	-2 074	-1 624	-1 458	-5 546	-3 970	-2 931	-2 315	-1 910
CS2	-2 104	-1 764	-1 667	-1 500	-1 230	-3 844	-2 870	-2 232	-1 781	-1 468
CS3	-1 830	-1 465	-1 539	-1 315	-1 081	-2 845	-2 605	-2 011	-1 588	-1 301
CS4	-1 804	-1 457	-1 544	-1 318	-1 086	-2 849	-2 617	-2 042	-1 605	-1 315
CS5	-1 751	-1 206	-1 264	-1 015	-769	-2 811	-2 457	-1 849	-1 384	-1 075

由表 1 可知:① 外幅扭矩均大于内幅,随着曲率半径的增大,内外幅⑪号节点处扭矩均呈减小趋势;② 第二跨架设完成(CS2)后,⑪号节点处扭矩减小, $R=50$ m 模型的内幅主梁扭矩减小 1 460 kN·m,外幅减小约 1 702 kN·m, $R=150$ m 模型的内幅主梁扭矩减小 228 kN·m,外幅减小约 442 kN·m,后跨施工对前跨扭矩的影响随曲率半径的增大而减小;③ 各半径模型内、外幅扭矩最大值均出现在第一跨张拉

(CS1)阶段,当半径由 $R=75$ m 增大到 $R=150$ m 时,内幅最大扭矩减小 42.7%,而当半径从 $R=75$ m 减小到 $R=50$ m 时,内幅最大扭矩增幅高达 40.0%。

2.5 固结墩墩底应力

选取 PM145 号花瓶墩两柱的墩底应力进行研究,按照图 2 中的断面及读取点布置,分别读取断面中各点不同施工阶段的应力值, $R=50$ m 模型墩底应力读取点数据如图 9 所示。

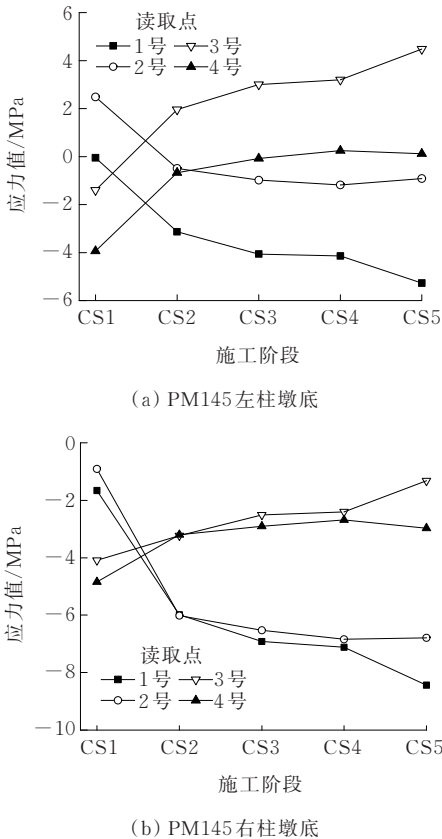


图9 PM145墩底应力($R=50\text{ m}$)

由图9可知:1、2号读取点靠近大桩号侧,随着后续主梁的架设与张拉,其压应力逐步增大,靠近小桩号侧的3、4号读取点应力变化相反,其压应力逐步减小,特别需要关注左柱3号读取点,该点位于曲线桥内侧小桩号处,应力由压应力变为拉应力,且有超出安全容许值的风险,读取各半径左柱3号读取点数据,如表2所示。

表2 PM145号桥墩左柱3号读取点应力值

施工阶段	不同曲率半径(m)左墩应力值/MPa				
	50	75	100	125	150
CS1	-1.40	-1.96	-2.15	-2.29	-2.40
CS2	1.96	1.28	1.02	0.95	0.76
CS3	3.00	1.72	1.37	1.19	0.93
CS4	3.20	1.84	1.58	1.34	1.08
CS5	4.48	2.79	2.39	2.02	1.68

由表2可知:左柱3号读取点最大拉应力出现在 $R=50\text{ m}$ 模型CS5阶段时,应力值达到4.48 MPa,随着曲率半径增大,左柱3号读取点拉应力值逐步减小, $R=150\text{ m}$ 模型该点拉应力值最小,仅1.68 MPa,

与 $R=75\text{ m}$ 模型最大拉应力值对比,增幅与减幅分别为60.6%及39.8%,曲率半径越小,应力变化幅值越大。因此逐跨拼装曲线梁桥在设计时若遇到曲率半径较小的情况,需考虑桥墩内侧墩底的抗拉能力,避免超出安全容许值。

3 结语

为研究采用逐跨拼装工法施工的曲线刚构桥在施工阶段力学性能的变化特点及受曲率半径的影响,建立5种不同半径的曲线刚构桥模型,分析不同施工阶段力学性能。结果表明:采用逐跨拼装工法施工时,后跨施工会影响前跨已架设主梁的力学性能,曲率半径越小,后续施工阶段对第一跨主梁力学性能影响越大;在相同施工阶段下,桥梁各项力学性能变化幅值随曲率半径的减小而增长,当半径从75 m减小到50 m时,第一跨末端扭矩及固结墩底部应力增幅显著提升,且有超出安全容许值的风险,综合设计与施工考虑,该类中小跨径曲线连续刚构桥曲率半径不宜小于75 m。

参考文献:

- [1] 彭卫兵,朱志翔,陈光军,等.梁桥倾覆机理、破坏模式与计算方法研究[J].土木工程学报,2019,52(12):104-113.
- [2] 焦驰宇,刘陆宇,龙佩恒,等.城市曲线梁桥爬移现象及解决措施研究[J].工程力学,2015,32(S1):177-183.
- [3] 邢世玲,徐秀丽,李枝军,等.墩-梁固结的曲线梁桥预应力作用试验研究[J].桥梁建设,2018,48(2):49-54.
- [4] 王博.大跨径曲线刚构桥曲率半径对其变形的影响研究[J].交通科技,2014(3):23-25.
- [5] 陈淮,颜浩杰,李杰,等.曲率半径变化对高墩大跨连续刚构桥静力性能的影响[J].铁道科学与工程学报,2013,10(1):6-10.
- [6] 黄斌,隆佩钦,王解军.高墩大跨小半径曲线连续刚构桥施工阶段结构分析[J].公路工程,2014,39(6):216-218,230.
- [7] 白鹏宇,丁少凌,彭元诚,等.小半径曲线刚构-连续梁桥单箱双室主梁合理构造设计研究[J].世界桥梁,2018,46(3):7-11.
- [8] 王文洋,王通,王毓晋.大跨径整孔预制箱梁张拉方式及反拱度设置研究[J].桥梁建设,2019,49(S1):74-79.
- [9] 张柳春.曲线连续刚构桥施工阶段横向位移分析[J].兰州交通大学学报,2014,33(1):119-123.