

城市快速路匝道合流区车速限制研究

薛行健^{1,2}, 宋睿¹, 晏克非¹

(1. 同济大学 道路与交通工程重点实验室, 201804 上海; 2. 中南林业科技大学 物流学院, 410004 长沙)

摘要: 为了明晰城市快速路匝道合流区交通运行最有利的车速限制策略, 基于匝道合流区限速原则, 采用快速路实测数据和数理统计分析方法, 研究匝道车辆车速分布、流量与车速关系以及车道位置、车型和车道宽度对匝道合流区的合理限速值的影响. 分析表明: 车速随车道位置由内至外依次降低, 车道宽度虽与车速呈正比, 但影响并不大, 车速主要受流量影响, 与其呈正比. 城市快速路匝道合流区与基本路段的车速特征差异较大, 应分别制定限速策略, 匝道合流区限速值应根据车道位置、车道宽度和流量情况综合进行考虑.

关键词: 城市快速路; 匝道合流区; 限速; 车速特征

中图分类号: U491.8

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2012)06-0144-05

Speed restriction on ramp merging area of urban expressway

XUE Xing-jian^{1,2}, SONG Rui¹, YAN Ke-fei¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, 201804 Shanghai, China;
2. School of Logistics, Central South University of Forestry and Technology, 410004 Changsha, China)

Abstract: To clear the best limiting speed strategy in urban expressway ramp merging area, based on the principle of limiting speed on ramp merging area, the effects of speed distribution, relationship between volume and speed, speed distribution in various lane position, vehicle type and lane width on the appropriate speed of ramp vehicles were studied by actual measured data of expressway and mathematical statistics. The result shows that the speed from inside to outside is decreased, and mainly affected by the traffic flow. Traffic speed characteristics are different between ramp merging area and basic road section, and different speed limit strategy should be formulated, the value should be determined according to the location of lanes, lane width and traffic situation integrated.

Key words: urban expressway; ramp merging area; speed limit; traffic speed characteristics

各国对城市快速路的限速都有相应的规范, 我国城市快速路的最高限速通常为 60 ~ 100 km/h, 国内外业内普遍的观点是将 85% 位车速作为限速的基础^[1-3]. 在此基础上, 多种因素等都会对车速限制形成影响^[1,4-6]. 但研究主要是针对基本路段来考虑的, 实际上, 应该根据快速路自身结构特征和交通运行状况的不同对应地进行分析. 匝道合流区就是这样一处应该进行针对性分析的区

域, 由于其在城市快速路中所处的相对特殊的位置及复杂的交通运行行为, 其对于车速的要求也与基本路段完全不同.

本文通过对城市快速路匝道合流区车速特征进行分析, 就车速与流量和交通运行特征之间的关系进行探讨, 提出与匝道合流区相适应的速度标准, 并就与之相适应的车道宽度要求进行分析.

1 匝道合流区合理车速分析

1.1 限速原则

城市快速路匝道合流区的主要车速特征是车速离散度较高(主线车速高而匝道车辆车速低), 由跟驰理论和交通波理论可知其引发的变速行为极大地影响了通行能力, 其他研究也发现车速的

收稿日期: 2011-05-20.

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2008AA11Z201);

湖南省教育厅科研项目(11C0253).

作者简介: 薛行健(1980—), 男, 讲师, 博士研究生;

晏克非(1943—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 薛行健, xxj984@126.com.

离散度与发生事故的可能性呈正比^[7]. 因此, 对于匝道合流区的车速限制应遵循以下 5 条原则: 1) 主线车辆与匝道车辆的车速差应尽可能小, 以减少匝道合流区的扰动和速度的离散, 提高通行能力和降低事故发生率; 2) 最高车速限制应该覆盖匝道合流区最大通行能力, 以确保匝道合流区的通行能力不会因为车速限制而受到折减; 3) 在条件允许的情况下应尽量提高最高车速限制值, 实现高速道路的运行效率; 4) 不同的车道位置及功能应分别进行限速; 5) 要考虑不同的车道宽度可能对限速产生约束.

1.2 匝道合流区车速特征分析

对应前述的 5 项原则, 要正确分析匝道合流区的限速值, 需要掌握主线和匝道车速特征, 主要包括两部分: 1) 匝道车辆设计车速及实际的车速分析; 2) 不同车型、车道位置和车道宽度下的流量与车速关系.

1.2.1 匝道车辆车速分布

匝道的设计速度通常为 40 km/h, 但在实际的车速分布中则不一样, 本文采集了内环和中环各两处匝道全天 24 h 的车速数据, 采用 Spss 统计软件进行分析, 如表 1 和图 1 所示. 可见内环

和中环的统计数据差别很大, 85% 位车速内环的两个匝道都在 30 km/h 以下, 而中环的两个匝道都在 50 km/h 以上, 这说明影响匝道车速分布的最大的因素在于主线的交通状况. 从帕累托图可知, 车速分布总体符合正态分布, 但内环集中度更高, 而中环则相对离散, 这从累计频率曲线中段的斜率也可以看到. 这反映出不同交通流条件下, 匝道合流区的速度限制可以做出相应的调整, 其参考范围为 30 ~ 60 km/h, 这为建成后的快速路改造提供了支持.

表 1 各匝道车速分布状况统计分析

位置	$v/(km \cdot h^{-1})$					
	均值	众数	标准差	百分位 15	百分位 50	百分位 85
内环内圈瑞金南路上匝道	27.4	28.0	7.49	24.5	29.0	33.9
内环外圈宛平南路上匝道	25.2	26.5	4.45	24.1	26.5	30.9
中环外侧真南路上匝道	47.8	48.5	5.74	45.0	48.5	53.9
中环外侧瑞广粤路上匝道	50.5	52.0	5.41	48.5	53.5	59.3

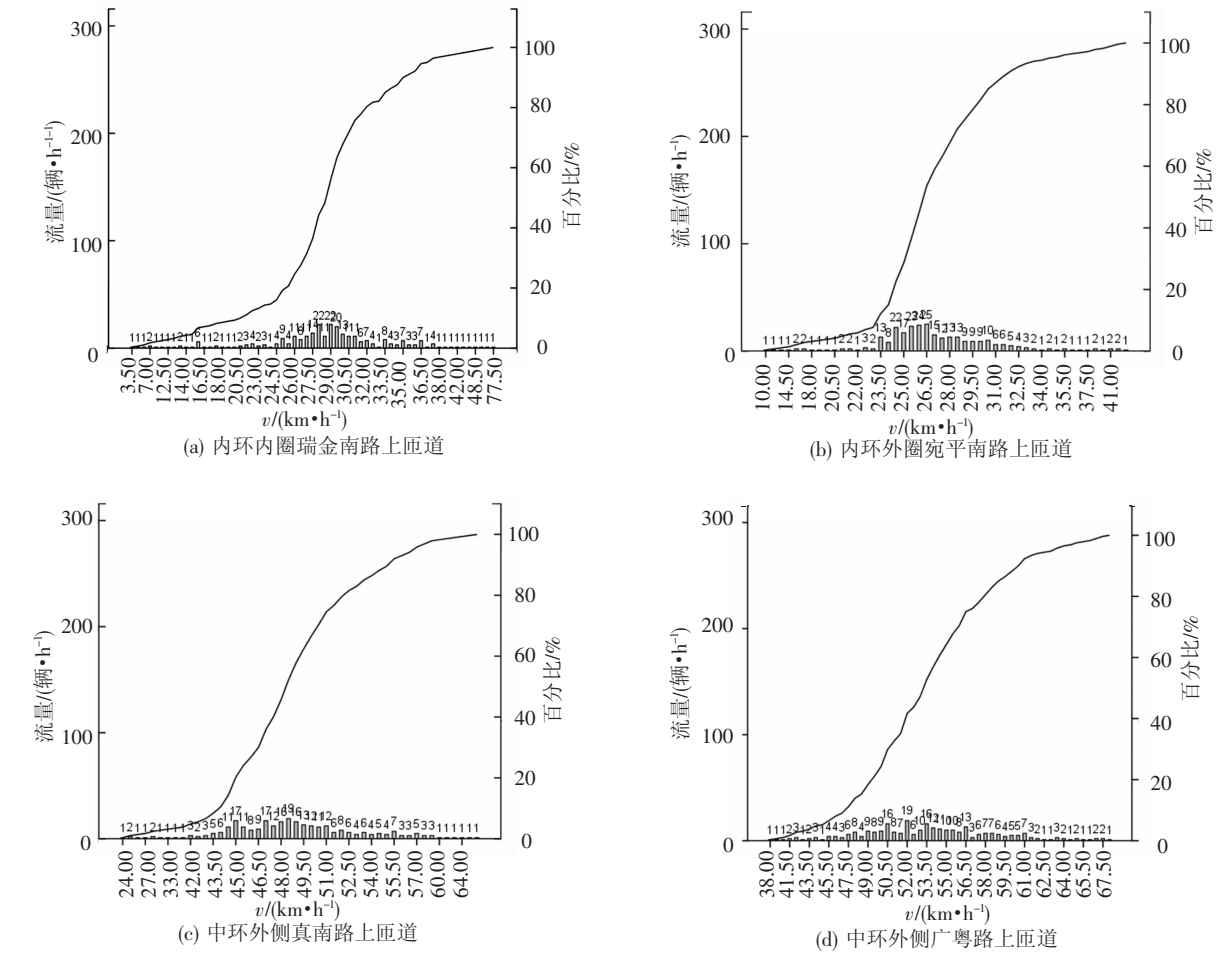


图 1 各匝道车速分布状况帕累托图

1.2.2 主线流量 - 速度关系

匝道合流区速度与流量的关系可以直接通过其散点关系图进行分析,本文从上海市快速路系统采集了匝道合流区的数据,如图 2 所示. 其中图 2(a)为小型车流的数据采集,是靠近市区中心的快速路,其交通流小型车比例均在 95% 以上,因此可将其视为小型车流;图 2(b)为大中型车速对应的流量,是其包含小型车的整体流量,因为现实交通流中不存在大中型车占绝对比重的车流. 从图中可以看到,该图较为符合格林希尔兹模型,由

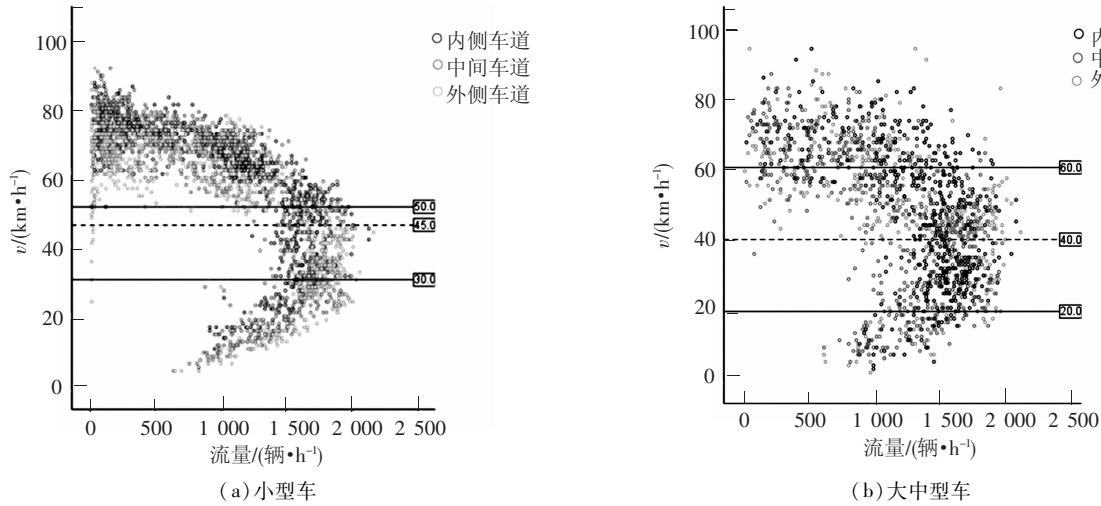


图 2 匝道合流区流量 - 速度散点关系

1.2.3 主线不同车道位置与车型车速分布

匝道合流区主线车辆车速的分布情况如表 2 所示,从表中可以看到,小型车流的速度均值约为 55 km/h,15% ~ 85% 的速度范围大约为 30 ~ 70 km/h;大中型车流的速度值则比小型车大约低 5 km/h. 主线车速的均值由外侧至内侧递增,小型车流相对大中型车流较高,其中外侧车道速度相差不大,而中间和内侧车道的速度相差较大,约为 10 km/h,特别注意的是大中型车在外侧车

于城市快速路速度相对高速公路较低,因此不存在一定流量范围内速度保持自由流的情况. 将两图进行对比可发现,大中型车的流速关系相对小型车的流速关系离散性更大,车道之间速度流量关系区别不明显,达到最大流量的速度相对较低. 从图 2(a)中可以看到,同等流量下车辆的速度总体上是外低内高,但外侧车道尤为明显,而中间车道与内侧车道的差别则主要在拥挤流状态下,内侧车道由于在流量较大的情况下受到的干扰较少,因此速度相对较高.

道的速度要高于中间和内侧车道,原因可能是外侧车道由于受到匝道车流的干扰,其流量相对较小,又由于匝道车辆的驾驶员出于安全和加速等方面的考虑,通常不愿意汇入到大中型车中,使得大中型车反而在局部拥有了相对较少的干扰,使得速度能相对较高. 表中外侧车道指从外侧数起第 1 条车道,中间车道指从外侧数起第 2 条车道,内侧车道指其他所有车道,只存在于 3 条及以上车道数量的快速路中.

表 2 匝道合流区主线车速分布统计分析

车流	位置	v/(km·h ⁻¹)					
		均值	众数	标准差	百分位 15	百分位 50	百分位 85
小型车流	内侧车道	57.11	71.0	16.6	34	62	73
	中间车道	54.67	67.0	21.21	23	63	74
	外侧车道	50.82	65.0	18.64	28	58	69
大型车流	内侧车道	57.11	71.0	16.60	34	62	73
	中间车道	54.67	67.0	21.21	23	63	74
	外侧车道	50.82	65.0	18.64	28	58	69

1.2.4 车道宽度对速度的影响

对于车速与车道宽度关系,Clinton L. Heimbach 等^[8]基于无中央分隔带的双向 4 车道城市道路发现在非高峰期,车道宽度每减少 0.3 m,平

均车速约降低 0.97 km/h;Yagar Sam 等^[9]发现当车道宽度在 3.96 m 以内时,宽度每减少 0.3 m,速度减少 1.76 km/h. 总的研究结论为车道宽度与车速呈负相关的关系,这是因为随着车道宽度

的减小,侧向交通因素的影响将增加,使得驾驶者的驾驶行为发生变化从而最终影响运行速度;但是进一步的研究发现,在一定的交通状态范围内,这种不同车道宽度之间的速度差异会不存在^[10-11].

不同车道宽度对车速的影响会根据流量发生变化,本文采集了上海市快速路外侧 1、2 车道数据,获得了不同流量范围下不同车道位置和车道宽度的车速统计分析情况,如表 3 所示.

表 3 不同车道宽度下车速统计分析																km · h ⁻¹
车道	宽度/m	车速均值			车速标准差			百分位 15 车速			百分位 50 车速			百分位 85 车速		
		600 以下	600 ~ 1200	1200 以上	600 以下	600 ~ 1200	1200 以上	600 以下	600 ~ 1200	1200 以上	600 以下	600 ~ 1200	1200 以上	600 以下	600 ~ 1200	1200 以上
内侧车道	3.00	74.0	69.5	41.9	5.0	5.5	11.3	70.0	64.0	30.0	74.0	70.0	40.5	79.0	74.0	55.2
	3.20	71.9	64.8	39.6	5.5	4.7	9.2	67.0	61.0	29.0	72.5	65.0	40.0	76.0	70.0	51.0
	3.50	72.5	52.6	41.6	4.7	6.7	13.7	62.0	30.0	16.0	68.0	55.0	26.0	73.0	61.0	45.0
	3.75	68.1	41.2	29.4	5.5	13.2	12.6	66.0	36.0	24.0	70.0	67.0	47.0	74.4	70.0	57.0
中间车道	3.00	69.8	54.2	42.2	4.2	14.9	14.2	73.0	44.0	15.3	76.0	68.0	64.0	80.0	72.0	69.5
	3.30	76.4	65.0	55.7	3.8	14.2	20.3	65.0	33.0	28.0	69.0	62.0	46.0	73.4	67.0	62.0
	3.50	69.2	52.8	43.2	4.3	12.3	16.2	57.0	9.0	14.1	61.0	42.0	26.0	65.0	59.2	46.0
	3.75	61.0	39.7	29.6	3.9	22.6	13.4	58.4	36.0	28.0	65.0	50.0	34.0	69.0	66.0	51.0
外侧车道	2.80	63.6	40.8	36.7	8.8	14.2	12.8	34.0	32.0	29.0	68.0	56.0	42.0	73.0	71.0	59.6
	3.40	66.7	46.3	37.8	15.2	14.7	9.6	67.7	57.0	24.0	73.0	64.0	47.0	77.0	70.0	56.0
	3.75	69.9	64.2	60.3	5.3	3.4	4.4	66.0	61.0	56.0	71.0	64.0	60.0	74.0	67.0	65.0

通过上表数据可知,车速随流量的增加呈现了下降的趋势,并且标准差数值更大,这说明受到的扰动更多,车辆变速愈加频繁,交通运行服务水平下降. 车道宽度与速度基本呈正比,但不明显;600 辆/h 以下与 600 ~ 1 200 辆/h 两个流量范围的速度差别较大,特别是在车道较窄的情况下比较明显,这可以用两个原因来解释:1)随着流量的增加,侧向影响增加,较窄车道横向安全间距较小的弱点体现了出来,需要降低车速与之相适应,而这在两侧都有车道的中间车道体现尤为明显. 2)外侧车道由于受到匝道汇入车辆的干扰,使得速度突变的流量临界值降低了,这种突变发生在 600 ~ 1 200 辆/h 这一流量范围内的次数增多,其影响一定程度上覆盖了车道宽度对速度的影响.

通过以上的分析可以可知,车道宽度与车速虽然整体呈现负相关性,但直接影响其实较小. 在流量较小的情况下,尽管高速情况下对于横向安全间距的要求较大,但由于车辆之间并行的机率不大,侧向影响较小,使得人为划定的车道宽度实际上没有发挥约束作用. 而在流量较大的情况下,尽管此时车辆基本处于并行状态,但由于流量增大导致的速度降低,使得对于横向安全间距的要求较小,同样限制了车道宽度对速度的影响. 所以流量应该是约束速度的主要因素,车道宽度对于车速和实际交通流运行的影响实际上并不大;对于不同限速下不同的车道宽度要求,更多的是应该从安全的角度来考虑提供一定的富余宽度.

2 匝道合流区限速建议值

基于上文分析,可以参考以下 3 条标准来对

匝道合流区进行限速:1)匝道合流区在快速路当流量较低时,可按基本路段进行限速,对于流量较高时,应该考虑根据最大通行能力对应的速度以及匝道车流速度进行限速,以降低速度离散程度,减少匝道车辆加速需求,增加合流的等待时间,提高匝道汇入流量. 流量标准可以采用白天 14 h 平均流量,流量范围的划分可以根据车流符合不同分布来确定,可根据交通流的特征划分为自由流、稳定流及限制流 3 个阶段,其对应的流量分别为≤600、600 ~ 1 200、≥1 200 辆/h,这也大致符合 Erlang 分布的 1、2、3 阶. 2)大型车道或混合车道的限速值相对小型车道应该较低,相差约为 5 km/h. 3)不同车道位置的限速应该不一样,差值也以 5 ~ 10 km/h 为宜,在流量较小时取高值,在流量较大时取低值. 4)车道宽度较小时,应该考虑相应地将限速值定得更低.

鉴于以上分析,可以对白天 14 h 合流区限速提出建议值,如表 4 所示. 考虑到大型车速度相对较低,在车道设置时,大型车道不宜设在最内侧车道;为了提高城市快速路的通行能力,有时会通过缩窄车道来增加 1 根车道,对于车道宽度低于 3.25 m 的车道,应视具体的宽度较现有限速值再降低 5 ~ 10 km/h.

表 4 匝道合流区限速建议值			
平均流量/ (辆 · h ⁻¹)	不同车道位置的速度/(km · h ⁻¹)		
	外侧	中间	内侧
≤600	70	75 (65)	80 (70)
600 ~ 1 200	60	65 (60)	70 (65)
≥1 200	50	55 (50)	60 (55)

注:括号内为大型或混行车道速度值.

3 结 论

1) 基于对上海市快速路匝道合流区的实测数据,从分析和确定匝道合流区限速的原则出发,对匝道车辆车速分布、流量与车速关系以及不同车道位置、车型和车道宽度下车速分布 3 个方面对匝道合流区的合理限速值进行分析,发现车道宽度虽与车速呈正比,但影响并不大,车速主要受流量影响。

2) 由于匝道车辆汇入的影响,匝道合流区与基本路段的车速特征存在较大的差别,在进行限速或速度设计时应该区别对待;车速上限应根据车道位置由内至外依次降低;不同流量情况下应该有不同的限速值。

参考文献:

- [1] PARKER M R. Synthesis of speed zoning practices [R]. Washington DC: US Department of Transportation, 1985.
- [2] TAYLOR W C. Speed zoning guidelines: a proposed recommended practice [M]. Washington DC: Institute of Transportation Engineers, 1990.
- [3] AGENT K R, PIGMAN J, WEBER J M. Evaluation of speed limits in Kentucky [M]. Washington DC: Transportation Research Board, 1998.

(上接第 61 页)

3) TMD 系统内刚度、质量和阻尼参数对拉索-TMD 系统的阻尼特性有较大影响,新的 TMD 设计参数优化方法同时考虑了各参数对减振系统模态参数的影响,对于斜拉索减振具有重要理论意义。

参考文献:

- [1] RAOOF M. Free-bending fatigue life estimation of cables at points of fixity [J]. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 1992, 118(9): 1747-1764.
- [2] 史家钧, 金平. 减振装置在桥梁工程中的应用[J]. 同济大学学报, 2000, 28(2): 210-214.
- [3] KRENK S. Vibrations of a taut cable with an external damper [J]. Journal of Applied Mechanics, ASCE, 2000, 67: 772-776.
- [4] MAIN J A, JONES N P. Free vibration of taut cable with attached damper I: linear viscous damper [J]. Journal of Engineering Mechanics, 2002, 128(10): 1062-1071.
- [5] MAIN J A, JONES N P. Free vibration of taut cable with attached damper II: nonlinear damper [J]. Journal

- [4] GIBREEL G M, EASA S M, EL-DIMEERY I A. Prediction of operation speed on three-dimensional highway alignment [J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(1): 21-30.
- [5] 翟润平, 周彤梅, 安荷萍. 高速公路限速控制研究 [J]. 公安大学学报: 自然科学版, 2001(6): 34-38.
- [6] 郭继孚, 郑猛, 李先. 北京城市快速路速度流量研究 [J]. 城市规划, 2000, 24(11): 42-44.
- [7] LAVE C, ELIAS P. Did the 65 mph speed limit save lives [J]. Accident Analysis and Prevention, 1994, 26(1): 49-62.
- [8] HEIMBACH C L, CRIBBINS P D, CHANG M S. Some partial consequences of reduced traffic lane widths on urban arterials [J]. Transportation Research Record, 1983 (923): 69.
- [9] YAGAR S, VAN AERDE M. Geometric and environmental effects on speeds of 2-lane highways [J]. Transportation Research Part A: General, 1983, 17A(4): 315.
- [10] 北京市市政工程设计研究总院. 北京市城市道路机动车单车道宽度的研究 [R]. 北京: 北京市市政工程设计研究总院, 2009.
- [11] 马莹莹, 杨晓光, 曾滢. 城市道路自由车速与车道宽度关联性分析 [J]. 同济大学学报, 2009, 37(12): 1621-1626.

(编辑 魏希柱)

of Engineering Mechanics, 2002, 128(10): 1072-1081.

- [6] 罗帅, 刘红军, 王刚. 考虑桥面运动的斜拉索减振模型 [J]. 深圳大学学报理工版, 2010, 27(4): 470-474.
- [7] YU Z, XU Y L. Mitigation of three-dimensional vibration of inclined sag cable using discrete oil dampers-I Formulation [J]. Journal of Sound and Vibration, ASCE, 1998, 214(4): 659-673.
- [8] XU Y L, YU Z. Mitigation of three-dimensional of inclined sag cable using discrete oil dampers-II application [J]. Journal of Sound and Vibration, 1998, 214(4): 675-693.
- [9] LI Hui, LIU Min, OU Jinping. Negative stiffness characteristics of active and semiactive control systems of stay cables [J]. International Journal Structural Control and Health Monitoring, 2008, 15(2): 120-142.
- [10] 周海俊, 孙利民. 斜拉索附加带刚度阻尼器的参数优化分析 [J]. 力学季刊, 2008(3): 198-185.
- [11] WU W J, CAI C S. Comparison of deck-anchored damper and clipped tuned mass damper on cable vibration reduction [J]. Structural Engineering and Mechanics, 2009, 32(6): 741-754. (编辑 赵丽莹)