

文章编号:1006—2106(2005)06—0020—05

无缝线路上铁路桥梁墩台制动力的计算方法

刘志勇* 段淑敏 高 伟

(石家庄铁道学院土木分院,河北 石家庄 050043)

摘要:研究目的:制动力是影响桥梁墩台设计的重要因素之一,现针对无缝线路上铁路桥梁制动力的传力特点,研究中-活载作用下无缝线路上简支梁桥墩、台顶制动力的分配规律,提出更接近于实际的制动力计算方法。

研究方法:针对无缝线路上铁路桥梁的传力特点,采用将桥梁结构、台后部分路基以及上面的轨道结构作为一个整体系统共同承受列车制动力的整体计算模型(即线-桥系统),运用有限元程序进行分析、计算。

研究结果:在对等跨度、桥墩等刚度的铁路多跨简支梁桥的墩、台顶制动力进行大量计算的基础上,找出了影响多跨简支梁桥墩、台顶制动力分配的因素及其变化规律,提出了制动力的实用计算公式。

研究结论:通过对无缝线路上铁路桥梁的墩台顶制动力分配的影响因素分析,提出了铁路桥梁墩台顶制动力的实用计算方法,经过分析该制动力实用计算方法,使用方便,操作简单,使制动力的计算更接近于实际。

关键词:铁路桥梁;无缝线路;制动力;桥墩;桥台;有限元

中图分类号: U213.9 **文献标识码:** A

1 引言

列车在桥上制动时,在轨面上将产生与列车运行方向相同的水平纵向力即轨面制动力。该力的一部分经过轨道传至桥头路基,其余部分传给桥梁结构,成为影响桥梁墩台设计的重要因素。该部分制动力称为有效制动力。目前制动力计算,以作用于桥上竖向静活载乘以一比例系数,取其值作为支座和下部结构设计的制动力。我国现行的铁路桥涵设计规范,是以列车竖向静活载的 10% 作为作用于墩顶的制动力来考虑的。50 年代、60 年代国际铁路联盟和前苏联都是如此。采用此规定设计的桥梁,经受了工程实践的考验。这些设计规则,仅适用于铺设有缝线路的桥梁,钢轨的受力和变形不起作用,而且没有计入桥墩、台刚度变化的影响。但对于无缝线路上的铁路桥梁,由于其结构的整体性增强,同时墩台刚度等因素的影响,采用 0.1 倍的竖向静活载作为墩台顶所受的制动力,显得过于笼统和缺乏理论根据。本文在研究无缝线路上铁路桥梁的墩台顶制动力分布规律的基础上,进一步研究无缝线路上铁路桥梁墩台顶制动力的实用计算方法,使制动力的计算接近于实际。

2 简支梁桥在制动力作用下的整体计算模型

2.1 制动力作用下简支梁桥的整体计算模型

计算模型如图 1 所示。其中非线性抗弯梁单元模拟轨道纵向位移阻力的非线性,梁跨中性轴上一系列高度为 y_{\perp} 的刚臂反映桥梁上翼缘的位移,活动和固定支座处高度为 y_{\perp} 的刚臂反映桥梁下翼缘两端位移。

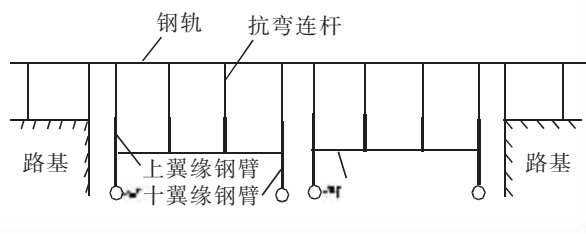


图 1 制动力作用下简支梁桥的整体计算模型

2.2 计算模型参数的选取

2.2.1 纵向位移阻力力学模型及取值

钢轨与桥梁间的纵向力是由道床来实现的,因此建立道床传递纵向力的力学模型是分析和解决桥梁纵

向力的关键问题。对有碴桥梁,线路与桥梁在传递纵向荷载时的相互作用关系,通常是由道床纵向位移阻力规律描述的。道床的位移阻力规律,道床因不同的材质、粒径尺寸、道床形状、道床密实程度而具有复杂性。国内外对此问题的研究表明:纵向位移阻力规律是一个非线性问题,在线桥发生相对位移的初始阶段,位移阻力增长很快,之后逐渐减慢。本文采用图 2 所示的理想弹塑性模型。在以下计算中,假设弹性阶段位移阻力系数为 40 kN/m,道碴层连杆间距取为 4 m。

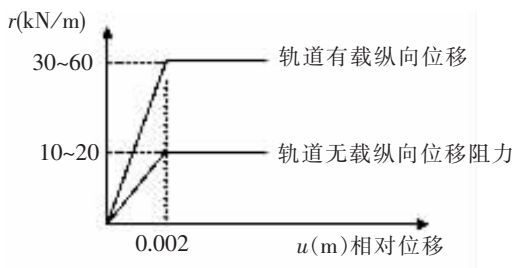


图 2 理想弹塑性假定的纵向位移阻力规律

2.2.3 列车活载

采用铁路标准中-活载,轨面制动力率取 0.15。

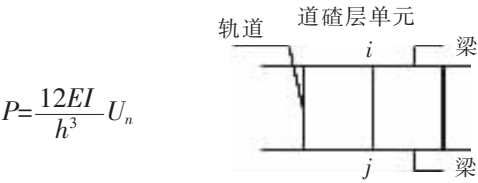
2.3 有限元计算方法

将钢轨和桥梁作为线弹性梁单元,模拟道碴层为非线性梁单元,编制了非线性有限元程序。

2.3.1 道碴层梁单元模拟

假设在一根连杆长度(l)范围内,纵向位移阻力系数 r_n (相应的线桥相对位移为 U_n),则道床传递的纵向力总和为: $R=r_n l=K_n U_n l$ 。其中, K_n 为道床纵向阻力割线模量(kN/m^2),它是 U_n 的函数。

同时假设道碴层连杆的 i 端与 j 端的相对位移即线桥相对位移为 U_n ,则根据刚度法可得:



$$P=\frac{12EI}{h^3}U_n$$

其中, E 、 I 分别为杆件的弹性模量和截面惯性矩。

为使模拟道碴层杆件传递的纵向力与连续道床传递的纵向力相等,即令 $P=R$,则有

$$\frac{12EI}{h^3}U_n=K_n U_n l$$
$$EI=\frac{K_n l h^3}{12}=K_n \frac{l h^3}{12}$$

2.3.2 非线性有限元程序的编制

采用平面有限元方法进行计算,首先建立单元刚度矩阵和单元有限元平衡方程式。单元有限元平衡方程式一般可写为: $[K]^e \cdot \{\delta\}^e - \{R\}^e = \{0\}$

其中 $[K]^e$ ——单元刚度矩阵;
 $\{\delta\}^e$ ——单元节点位移向量;
 $\{R\}^e$ ——单元荷载列向量。

单元刚度矩阵组成后,在整体坐标系下组集总体刚度矩阵和有限元平衡方程组。

总体刚度矩阵可由单元刚度矩阵组集而成:

$$[K]=\sum_n [K_e]=\sum_n \int [B]^T [D_e] [B] dV$$

其中 $[K]$ ——单元刚度矩阵;

\sum_n ——将单元刚度矩阵集为总体刚度矩阵;
 B ——几何关系矩阵;
 $[D_e]$ ——材料本构矩阵;由于道碴层阻力采用理想弹塑性模型,则 $[D_e]=\begin{cases} E & \text{当 } \varepsilon < \varepsilon_s \\ 0 & \text{当 } \varepsilon > \varepsilon_s \end{cases}$

则有限元平衡方程组的一般列式为:

$$[K(\{\delta\})] \cdot \{\delta\} - \{R\} = \{0\}$$

式中 $\{\delta\}$ ——节点位移向量;

$\{R\}$ ——整体坐标系下荷载列向量;

$[K(\{\delta\})]$ ——总体刚度矩阵。

3 墩台顶制动力的实用计算公式

在上面分析的基础上,分别对无缝线路上简支梁桥墩、台承受的制动力进行计算,研究在各种影响因素变化的情况下,墩台顶制动力的变化规律,并在大量计算的基础上,给出实用计算公式。

3.1 各种因素的影响,墩台顶制动力的变化规律

3.1.1 桥长对制动力作用的影响

表 1 为 2 孔 ~13 孔 16 m 简支梁桥在桥台刚度不变时,中间桥墩墩顶制动力随桥长变化的情况。表 1 中数据说明:随着桥梁长度的增加,作用在轨面上的总制动力增加,各墩、台上水平支座力也在增加。但当桥墩刚度较大时,支座水平力随桥长的增加而逐渐收敛,中间桥墩的水平支座力不受邻跨影响,独立承受一孔梁上的轨面制动力。也就是说,一个桥墩受到的有效制动力几乎等于一孔梁上的轨面制动力。当桥墩刚度较小时,中间桥墩支座水平力收敛所需桥长就比较长。例如对于 16 m 梁,当桥墩刚度大于 300 kN/cm 时,桥长在 13 孔以内,中间跨墩顶制动力趋于一定值;当桥墩刚度小于 300 kN/cm 时,13 孔桥长下,中间墩顶制动力仍有继续增长的趋势,但增长比较缓慢。

3.1.2 桥墩刚度对制动力作用的影响

图 3、图 4 为 7 孔 16 m 简支梁桥桥台、墩制动力随桥墩刚度变化的规律图。

表 1 16 m 简支梁桥中间桥墩墩顶制动力(kN)随桥长变化

桥长 (孔数)	桥墩刚度(kN/cm)				
	100	500	1 000	5 000	10 000
2	11.6	44.6	72.2	144.7	165.7
3	17.4	62.4	95.2	165.7	182.8
4	24.5	83.2	119.3	180.7	192.5
5	32.6	100.6	136.3	189.3	198.5
6	42.6	119.0	153.1	195.1	201.1
7	51.4	132.0	163.4	198.3	203.6
8	62.0	145.1	172.5	199.5	204.2
9	71.1	154.1	178.5	201.2	204.8
10	80.9	163.2	183.9	201.7	204.9
11	90.0	169.3	187.2	201.9	204.9
12	99.5	175.4	190.4	202.0	205.0
13	107.4	179.4	192.3	202.0	205.0

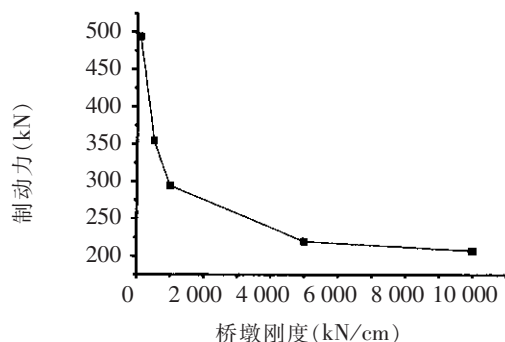


图 3 桥台台顶制动力

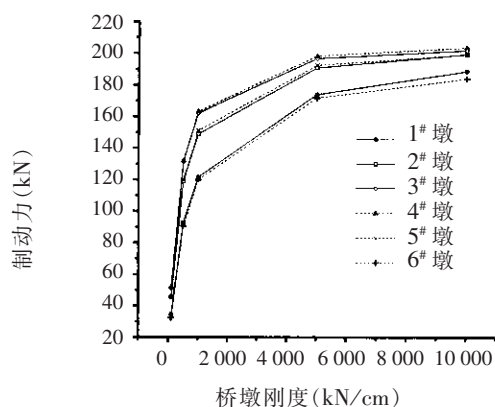


图 4 1#~6#桥墩墩顶制动力

从上图可以看出:在制动力作用下,桥墩刚度对墩、台顶支座水平力影响比较大。随着桥墩刚度的增加,桥台支座水平力呈非线性减小,各个桥墩支座水平力成非线性增加。当桥墩刚度达到某一定值(5×10^3 kN/cm)后,桥墩支座水平力的最大值增加很小,趋于一稳定值,即桥墩刚度再增加,其对支座水平力的影响可忽略不计。

3.1.3 桥梁跨度对制动力作用的影响

以 16 m、24 m、32 m 多跨简支梁桥为例,分析桥

梁跨度对制动力作用的影响。图 5 为在 3 种跨度下,5 孔简支梁桥桥墩、台支座水平力随桥梁跨度变化的规律图。

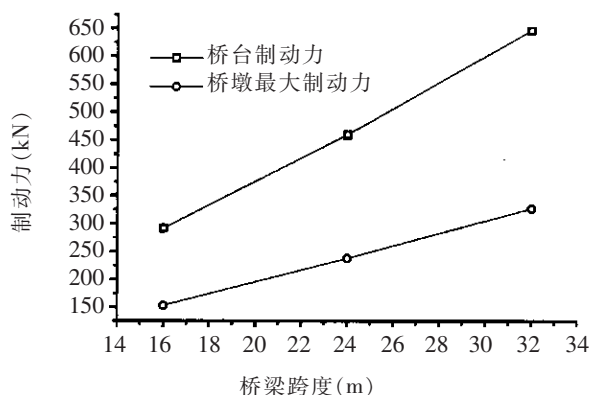


图 5 六孔简支梁桥墩台顶制动力随跨度变化图

由图中分析可知:桥梁墩、台支座水平力与桥梁跨度呈线性的变化规律。在其他影响因素保持不变的情况下,随着桥梁跨度的增大,支座水平力呈线性增加。

3.2 实用计算公式的建立

上面是对梁跨相等、桥墩刚度相等的多跨简支梁桥,制动力传递的主要影响因素(桥长、跨度、桥墩刚度、桥台刚度)进行了分析,对制动力的传递规律有了比较清楚的认识。在上面计算的基础上,通过对结果的回归分析,得到比较简便的计算公式。

对单线轨道,桥台顶制动力计算公式的适用范围是跨度 $16 \text{ m} \leq L \leq 40 \text{ m}$,下部结构纵向水平刚度 $K \geq 300 \text{ kN/cm}$;桥墩顶制动力计算公式的适用范围是桥梁孔数大于 3 孔,跨度 $16 \text{ m} \leq L \leq 40 \text{ m}$,下部结构纵向水平刚度 $K \geq 300 \text{ kN/cm}$ 。桥墩、台顶制动力可按下面公式计算,且计算结果偏于安全。

$$T_{\text{桥台}} = \frac{\left(217.00 + \frac{14.63 \times 10^4}{K} - 0.117 \left(\frac{1 \times 10^4}{K}\right)^2\right) L}{\left(1.356 + \frac{1.29 \times 10^4}{K}\right) \zeta + L}$$

$$T_{\text{桥墩}} = \frac{\left(180.13 + \frac{28.47 \times 10^4}{K} - 0.5 \left(\frac{1 \times 10^4}{K}\right)^2\right) \eta L}{\left(-13.02 + \frac{16.24 \times 10^4}{K}\right) \eta + L}$$

式中 $T_{\text{桥台}}$ ——桥台顶制动力(kN);

$T_{\text{桥墩}}$ ——桥墩顶最大制动力(kN);

L ——桥梁长度,计算中取 $n l_{\text{跨度}}$,其中 n 为桥梁孔数, $l_{\text{跨度}}$ 为一孔梁跨度(m);

K ——桥墩刚度(kN/cm);

ζ 、 η ——不同跨度,桥长对桥台顶、桥墩顶制动力的影响系数。对 16 m、24 m、32 m、40 m 梁,影响系数 ζ 分别为 1.00、1.09、1.18、1.27;影响系数 η 按下式计

算： $\eta=\frac{l_{\text{跨度}}}{16}$ 。

3.3 实用计算公式与理论计算结果的比较

下面利用近似计算公式、有限元方法，对 16 m、32 m 梁,在桥墩取不同刚度时,台顶、墩顶制动力进行计算并加以比较。结果见表 2、表 3。其中， T_{theo} 表示用有限元方法计算的桥台顶制动力， T_{apprc} 表示用近似计算公式计算的桥台顶制动力。 T'_{theo} 表示用有限元方法计算的桥墩顶制动力的最大值， T'_{theo} 表示用近似计算公式计算的桥墩顶制动力最大值。计算中桥台刚度取 1×10^5 kN/cm。

4 结论

通过对无缝线路上铁路桥梁的墩、台顶制动力分配的影响因素分析，提出了铁路桥梁墩台顶制动力的实用计算方法,经过分析该实用方法使用方便,操作简单,使制动力的计算更接近于实际。

参考文献:

[1] 高伟.混凝土简支梁桥整体稳定性及制动力传递[D].北京：北方交通大学,2001.

[2] 无缝线路试验组.有碴桥上无缝线路的试验研究[J].铁道学报,1988,(9):65-71.

[3] 陈丹华.有碴桥面简支梁铁路桥承受列车制动力的静动力分析[D].北京：北方交通大学,1999.

[4] 卜一之.高速铁路简支梁桥纵向力计算分析[J].桥梁建设,1996,(2):53-56.

[5] 李宏年.铁路桥梁轨面制动力的动态研究[J].铁道学报.1994,(9):112-117.

表 2 16 m 梁桥台顶制动力 (单位:kN)

桥长 (孔数)	桥墩刚度 (kN/cm)								
	300		误差 %	500		误差 %	5 000		误差 %
	T_{theo}	T_{apprc}		T_{theo}	T_{apprc}		T_{theo}	T_{apprc}	
2	241.8	240.8	-0.4	237.2	250.3	5.2	207.1	218.8	5.6
3	289.2	298.7	3.2	277.0	295.6	6.2	215.5	227.1	5.3
4	328.8	339.4	3.2	307.7	324.9	5.2	218.7	231.5	5.8
5	361.1	369.7	2.3	329.7	345.5	4.5	219.2	234.2	6.8
6	384.8	393.1	2.1	344.2	360.7	4.5	219.2	236.1	7.7
7	403.1	411.6	2.1	354.5	372.4	4.8	219.2	237.4	8.3
8	416.8	426.8	2.3	361.3	381.7	5.3	219.2	238.4	8.7
9	426.8	439.3	2.9	365.8	389.3	6.0	219.2	239.2	9.1
10	434.2	449.9	3.6	368.9	395.6	6.7	219.2	239.8	9.3
11	439.5	458.9	4.4	371.0	400.9	7.4	219.2	240.4	9.6
12	443.4	466.8	5.2	372.3	405.4	8.1	219.2	240.8	9.8
13	448.2	473.6	5.6	373.2	409.3	8.8	219.2	241.2	10.0

表 3 32 m 梁桥墩顶制动力比较 (单位:kN)

桥长 (孔数)	桥墩刚度 (kN/cm)								
	500		误差 %	1 000		误差 %	5 000		误差 %
	T'_{theo}	T'_{apprc}		T'_{theo}	T'_{apprc}		T'_{theo}	T'_{apprc}	
4	183.3	187.1	2.0	259.3	248.8	-4.2	374.8	359.9	-3.9
5	219.3	224.4	2.3	289.9	289.3	-0.2	383.4	377.5	-1.5
6	263.3	258.7	-1.7	326.6	324.5	-0.6	387.4	390.2	0.7
7	292.0	290.4	-0.5	346.0	355.5	2.6	390.9	399.8	2.2
8	317.9	319.8	0.5	362.0	382.8	5.4	391.2	407.4	4.1
9	335.2	347.2	3.5	370.5	407.2	9.0	393.5	413.4	5.0

(编辑 王英娜)

THE APPLICABLE CALCULATION METHOD OF PIERS’ AND ABUTMENTS’ BRAKING FORCE OF RAILWAY BRIDGE ON JOINTLESS TRACK

LIU Zhi-yong, DUAN Shu-min, GAO Wei

Department of civil Engineering, shijiazhuang Railway college

Abstract: Research purpose:Braking force is one of important influence factors in designing piers and abuments of bridge. Now according to the characteristics of transmiting braking force of railway bridge on jointless track, the law of piers’ and abutments’ braking force of the simply-supported bridges on jointless track loaded by Standard Railway Train Live Load Specidied by The People’s Republic of China is analysed, and applicable calculation method of braking force is put forward.

Research method: According to the characteristics of transmiting braking force of railway bridge on jointless track, bridge constructure, jointless track on bridge, part of subgrade on back of abutment are considered as integral calculating model, to calculate braking force of track. Based on this model,finite element method is adopted to analyse and calculate.

Research result: The influence factors and the law of piers’ and abutments’ braking force of the simply-supported railway bridge loaded by Standard Railway Train Live Load Specidied by The People’s Republic of China

are analysed, piers' and abutments' braking force considering equal span and equal piers' stiffness on the simply-supported bridges is calculated. Finally, applicable calculation method of braking force considering equal span and equal piers' stiffness on the simply-supported bridges is put forward.

Research conclusion: This method is simple, applicable and also approach the calculated data.

Key words: railway bridge; jointless track; braking force; pier; abutment finite; element

(上接第 13 页)

参考文献:

- [1] 徐学祖,王家澄,张立新.冻土物理学[M].北京:科学出版社, 2001.
- [2] Olon. N. E, Synthentic insulation in arctic roadway embankments. Proceedings of the Third International Cold Region Engineering Specialty Conference[J].Canadian Society of Civil Engineering, 1984, (2):739~752.
- [3] 黄小铭.青藏高原多年冻土区铁路路堤临界高度的确定[A].第二届全国冻土学术会议论文集[C].兰州:甘肃人民出版社,1996.
- [4] 吴紫汪,程国栋,朱林楠等.冻土路基工程[M].兰州:兰州大学出版社,1988.
- [5] 何平,程国栋.饱和正冻土中的水、热、力场耦合模型[J].冰川冻土,2000,(2):135-137.
- [6] 李萍,徐学祖.冻结缘何冻胀模型的研究现状与进展[J].冰川冻土,2000,(3):90-94.

(编辑 慕成娟)

STUDY ON THE GROUND TEMPERATURE CHARACTERISTIC OF THE PLATEAU PERMAFROST UNDERLYING THE QINGHAI-TIBET RAILWAY EMBANKMENT

LI Zhong¹, WANG Qi², SI Jian-feng¹

¹School of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Institute; ² Shijiazhuang Institute of Railway Technology

Abstract: Research purpose: this paper analysed the ground temperature of the plateau permafrost underlying the Qinghai-Tibet railway embankment and analysed on its the thawing feature. Research method: this paper is based on the measure dates for three years which have been taken from eight measure holes lain in the indicated that there are four features of the plateau permafrost. Research conclusion: the paper are four points: the first the average ground temperature of the plateau permafrost underlying the railway embankment is much higher than that under the natural ground. The second is the thawing-layer forming at 0.5m-3.5m from the ground surface that controls the change of the plateau permafrost underlying the railway embankment. The third the decline of the upper limit of the plateau permafrost underlying the railway embankment would be stoped slowly as the heat existed in the railway embankment gradually lift. The last is obviously difference features in the ground temperature between the slope exposed to the sun and the shady slope.

Key words: railway roadbed; plateau permafrost frozen soil; ground temperature characteristic; frozen soil; maximum limitation

无缝线路上铁路桥梁墩台制动力的计算方法

作者: 刘志勇, 段淑敏, 高伟, [LIU Zhi-yong](#), [DUAN Shu-min](#), [GAO Wei](#)
作者单位: 石家庄铁道学院土木分院, 河北, 石家庄, 050043
刊名: [铁道工程学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2005(6)
被引用次数: 5次

参考文献(5条)

1. 高伟 混凝土简支梁桥整体稳定性及制动力传递[学位论文] 2001
2. 无缝线路试验组 有碴桥上无缝线路的试验研究[期刊论文]-[铁道学报](#) 1988(09)
3. 陈丹华 有碴桥面简支梁铁路桥承受列车制动力的静动力分析[学位论文] 1999
4. 卜一之 高速铁路简支梁桥纵向力计算分析[期刊论文]-[桥梁建设](#) 1996(02)
5. 李宏年 铁路桥梁轨面制动力的动态研究[期刊论文]-[铁道学报](#) 1994(09)

本文读者也读过(10条)

1. 都恩伯 跨既有线高速公路桥梁施工技术及安全保通[期刊论文]-[中华民居](#)2010(12)
2. 何林兴, 王国新, 沈莲芬 特大跨径桥梁新设想[期刊论文]-[国外公路](#)2000(3)
3. 傅晓晖 山区沿河铁路桥梁设计探讨[期刊论文]-[铁道标准设计](#)2003(7)
4. 张文学, 苏木标, 高军 墩梁频率比对桥跨结构动力性能的影响研究[期刊论文]-[铁道标准设计](#)2004(8)
5. 姜晨光, 位瑞芹, 王守慧, 刘泉维, 郭海琳, [Jiang Chenguang](#), [Wei Ruiqin](#), [Wang Shouhui](#), [Liu Quanwei](#), [Guo Hailin](#) 跳板法跨江高程测量的研究与实践[期刊论文]-[铁道勘察](#)2009, 35(2)
6. 李文兵, [LI Wen-bing](#) 京沪高铁跨岔河系杆拱桥施工技术探讨[期刊论文]-[西部交通科技](#)2010(5)
7. 姚永红, 苏木标, 秦爱红, 陈明长, [YAO Yong-hong](#), [SU Mu-biao](#), [QIN Ai-hong](#), [CHEN Ming-zhang](#) 初始条件对高速铁路车桥耦合动力响应的影响[期刊论文]-[国防交通工程与技术](#)2007, 5(1)
8. 杨忠, 蒋宗全, 林茂, 沙涛, 杨明波 CRTS II 型板式无砟轨道可调高底座板模板的研制与应用[期刊论文]-[铁道建筑](#)2010(10)
9. 张海波, [Zhang Haibo](#) 长大桥梁上CRTS II 型底座板单元划分及纵联技术[期刊论文]-[铁道建筑技术](#)2010(11)
10. 张忠伟, 张锦龙, 沈璟虹, [ZHANG Zhong-wei](#), [ZHANG Jin-long](#), [SHEN Jing-hong](#) 再生制动控制参数对混合动力汽车的影响[期刊论文]-[烟台职业学院学报](#)2008, 14(4)

引证文献(5条)

1. 方利, 李成辉 刚度折减对制动力的影响分析[期刊论文]-[路基工程](#) 2011(3)
2. 蔡小培, 田春香, 李成辉 64 m简支梁桥铺设无缝线路墩顶纵向水平线刚度研究[期刊论文]-[铁道建筑](#) 2006(10)
3. 董金堂 轨道板和底座板刚度折减对桥上无砟轨道结构受力的影响分析[期刊论文]-[甘肃科学学报](#) 2012(2)
4. 熊震威, 谢铠泽, 刘浩, 王平 列车制动对刚构桥上无缝线路梁轨相对位移的影响研究[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2013(10)
5. 黄三能 钢筋混凝土拱桥桥上无缝线路设计及研究[学位论文]硕士 2006

引用本文格式: 刘志勇, 段淑敏, 高伟, [LIU Zhi-yong](#), [DUAN Shu-min](#), [GAO Wei](#) 无缝线路上铁路桥梁墩台制动力的计算方法[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2005(6)