

汽车荷载对滑坡稳定性的影响分析*

叶四桥^{1,2}, 唐红梅¹, 肖盛燮¹, 李明^{1,2}

(1. 重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074; 2. 西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031)

摘要:当前滑坡防治工程设计中,没有考虑汽车荷载对滑坡稳定性影响。将汽车荷载简化为移动恒载和汽车动力荷载,其中移动恒载量值介于2.34~6.41 kPa之间,并以冲击系数表征汽车动力荷载,冲击系数 μ 介于0.1~0.4之间。并采用工程界常用的多种稳定性分析方法,结合算例,通过不考虑同考虑汽车移动恒载、汽车动力荷载的滑坡稳定性分析对比,发现对于公路从滑坡下滑段通过的浅层滑坡(8 m以内),不考虑汽车荷载同考虑汽车移动恒载相比,稳定性系数要高4.3%~11%,不考虑汽车荷载比同时考虑汽车动荷载时稳定性系数要高5.8%~12.1%,即不考虑汽车移动恒载、汽车动力荷载的影响会人为提高滑坡的稳定性系数,且量值不可忽略。对于中厚层滑坡或公路从滑坡抗滑段通过情况,汽车荷载对滑坡稳定影响微弱,可以不予考虑。

关键词:滑坡; 汽车荷载; 冲击荷载; 稳定性分析

中图分类号: P642, O319 文献标识码: A 文章编号: 1006-7329(2006)05-0106-04

Analysis on Effect of Traffic Loads on Landslide Stability

YE Si-qiao^{1, 2}, TANG Hong-mei¹, XIAO Sheng-xie¹, LI Ming^{1,2}

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P. R. China; 2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P. R. China)

Abstract: In the design of landslide control engineering, the effect of traffic loads has not been taken into account. The authors simplified the traffic loads as mobile dead loads and traffic dynamic load. The mobile dead load ranges from 2.34 to 6.41 kPa. The impact coefficient was chosen to denote the traffic dynamic load and ranges from 0.1 to 0.4. Using several stability analysis methods widely accepted by engineers, combining two analysis samples, by the contrast of stability tests with and without consideration of the mobile dead load or the traffic dynamic load, the authors found that when the traffic load is not taken into account, the stability coefficient of shallow layer landslide (<8m) is overrated by 4.3-11 percent or 5.8-12.1 percent in comparison with the case when the mobile dead load or traffic dynamic is taken into account respectively, that is, the influence of mobile dead loads and traffic dynamic load is cannot be neglected. In case of medium deep layer landslide or the road is passing through the anti sliding section, the influence of the traffic load is a little and can be neglected.

Keywords: landslide; traffic load; impact load; stability analysis

在滑体上有公路通过的滑坡稳定性分析中,长期以来,由于趋向于认为汽车通过滑坡区段时间短,荷载量值相对小,而且对滑坡稳定性的影响机理及幅度不明确,所以在滑坡稳定性分析中,对汽车荷载没有予以考虑^[1]。对于公路从滑坡抗滑区段通过,或者滑体深厚,汽车荷载同滑体自重相比可以忽略的情况,这种处理方式是合适和安全的。与此相反,当滑体较薄,汽车荷载量值相对较大,公路从滑坡下滑区段通过的滑坡,汽车荷载以及汽车冲击力对滑坡稳定性的影响会变得

突出,如不予考虑,结果即为人为了提高了滑坡稳定性系数,是偏不安全的。

1 汽车荷载动力作用特点及取值

1.1 汽车荷载动力作用特点

汽车同公路的相互作用,是一个复杂的过程。汽车本身是一个复杂的多自由度的振动系统,通常简化为图1所示四自由度系统^[2]。

另外,汽车行驶时速度范围大,轮胎阻尼随机性

* 收稿日期: 2006-06-05

基金项目: 国家科技攻关重大项目(2004BA901A02); 重庆市重点自然科学基金项目(2005BA7008)

作者简介: 叶四桥(1978-), 男, 湖北孝感人, 讲师, 博士生, 主要从事岩土及地下工程研究。

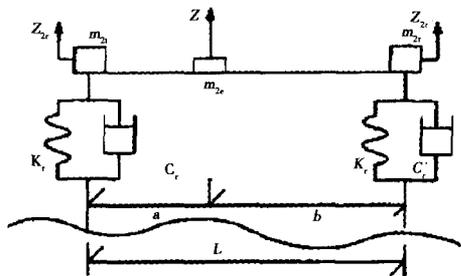


图1 简化的四自由度汽车动力模型

强,路面不平整情况复杂等都对汽车荷载及冲击力有影响,荷载大小,空间分布均具有随机性,准确确定动力荷载量值非常繁琐和困难,根据崩行成等实测结果,见图2、3^[3]。

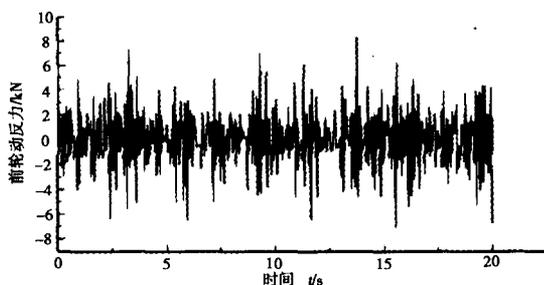


图2 车辆前轮动反力时间历程曲线

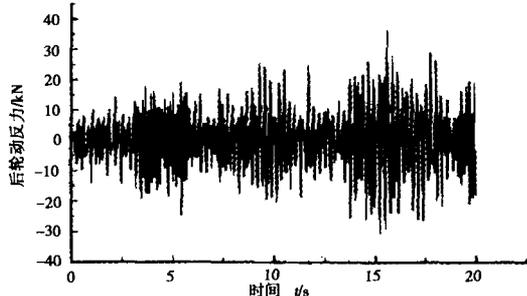


图3 车辆后轮动反力历程曲线

1.2 滑坡稳定性分析中的汽车动力荷载取值

目前,在公路路面结构及桥梁等结构设计^[4]中,通常采用以下三种方法处理:

1) 动力荷载:通过建立车辆振动模型,计算得到车辆附加动荷载,然后利用动荷载系数将动荷载的影响反映到路面结构设计或路面使用性能评估中。

2) 移动恒载:即把车辆荷载简化为沿行驶方向移动的常荷载,其大小等于车辆的自重。这种荷载形式在目前的地面结构动力学模型中较为多见,常见的有移动点源荷载、线源移动荷载和圆形均布移动荷载等。目前铁路和公路桥梁汽车荷载计算均采用这种处理方式,相应冲击力以冲击系数表征。

3) 移动随机荷载:由于路面不平整是一个典型的随机过程,所以车辆作用于路面的附加动荷载也具有随机性。车辆荷载不仅是大小变化的而且在空间分布上具有瞬态特征,另外由于路面不平整是一个随机过

程,所以车辆荷载还具有随机性。

对于汽车动力荷载的以上三种处理方式,由于汽车动力荷载的影响因素中有众多的随机性,单用前两种荷载形式描述车辆荷载在理论上是不完整的。但对于第三种形式,更接近于真实的车辆荷载,但却增加了问题的复杂性。在工程中,可根据工程特点以及研究精度要求灵活选用以上各种处理方式。

动力荷载的量值大小是随机变化的,根据周华飞等研究,将公路路面的不平整度以正弦函数来表征,研究了汽车动荷载随路面不平整度、以及汽车行驶速度的变化规律,见图4、图5^[5]。

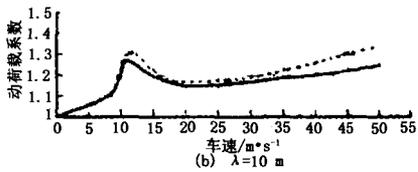
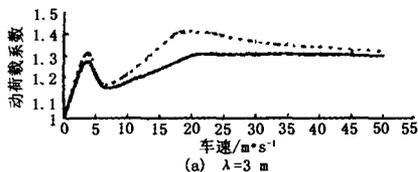


图4 动荷载系数随车速变化规律

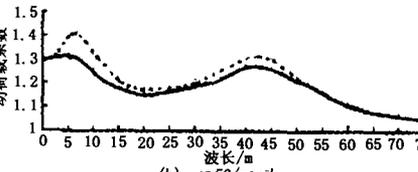
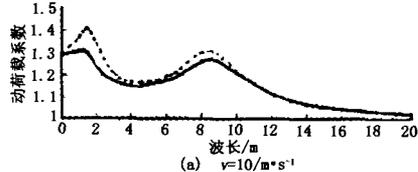


图5 动荷载系数随路面波长变化规律

由以上可见,尽管动荷载系数(冲击系数)随车速、路面波长(不平整度)有所变化,但其量值始终处于0.1~0.4之间;这与路面设计时所取的瞬态附加动荷载系数基本符合^[6]。结合我国、美、日、德、法、印各国对冲击系数的界定,最大冲击系数位于0.3~0.4之间^[7]。

其研究目的在于分析汽车动力荷载同静力共同作用时的滑坡稳定性,汽车动力荷载带来的影响为瞬时稳定性问题,作用时间短,呈不规则的周期性作用,加之边坡稳定性分析方法本身精度问题^[8],所以,在汽车动力荷载精度上可以避免路面设计动力荷载处理方法,以及桥梁结构动力分析时处理动荷载的复杂方法,如前述动力荷载方法、移动随机荷载方法等。而可以移动恒载,并考虑适当的冲击系数来处理,即计及车辆的自重,也考虑动力效应引起的附加动荷载,这个附加

动荷载的冲击系数介于0.1~0.4之间。

1.3 汽车荷载取值

由前述分析,汽车荷载包括车辆自重和汽车动力荷载;前者以移动恒载表示,后者以冲击系数量化。以汽车-20级荷载为例,见图6。

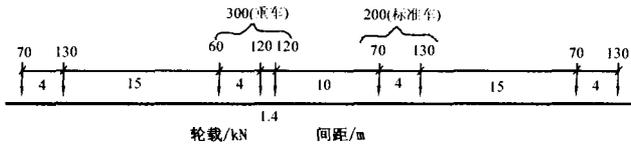


图6 汽车-20级荷载分布简图

一般而言公路通过滑坡区段长度至少足够布置车队中一辆重车和一辆标准车,则汽车移动恒载:

$$P = \frac{[(300 + 200) + n \times 200] \times m}{l \times B} \quad (1)$$

式中: P 为汽车移动恒载,kPa; n 为除基本重车及一辆标准车外,还可以布置的标准车数 $n = (l - 19.4) \div 19$,19.4m为一辆标准车和重车的分布区间长度,19m为每增加布置一辆标准车所需的间距; B 为路幅宽度,m; m 为车道数; l 为公路通过滑坡区段长度,m。

一般双车道路幅宽度为8m,四车道公路路幅宽度为18m,六车道高速公路路幅宽度25m,则一般而言,汽车荷载集度小于6.41kPa(公路通过滑坡段长度刚好摆下一辆重车和一辆标准车),大于2.34kPa(公路通过滑坡区段长度为2000m),当然,两种比较极端的情况都比较少见,多数公路通过滑坡区段长度在数百米范围内,相应的汽车荷载集度在4kPa左右。

汽车动荷载可表达为:

$$\Delta P = \mu P \quad (2)$$

式中: ΔP 为汽车动力荷载,kPa; μ 为冲击系数;其它同上。

表1 汽车荷载作用下冯石鸡村滑坡稳定性分析对比表

计算方法	稳定性系数						$\frac{F_{s1} - F_{s2}}{F_{s2}} \times 100\%$	$\frac{F_{s1} - F_{s6}}{F_{s6}} \times 100\%$
	F_{s1}	F_{s2}	F_{s3}	F_{s4}	F_{s5}	F_{s6}		
传递系数法	1.024	0.982	0.976	0.974	0.971	0.968	4.3	5.8
瑞典圆弧法	1.154	1.075	1.073	1.072	1.071	1.069	7.3	8.0
简化 Bishop 法	1.334	1.224	1.217	1.211	1.206	1.201	9.0	11.1
Janbu 法	1.234	1.112	1.108	1.106	1.103	1.101	11.0	12.1

从表1结果可见,对于这种浅层滑坡,公路从滑体上通过时不考虑汽车荷载同考虑汽车移动恒载时相比,稳定性系数要高4.3%~11%;同时考虑汽车动荷载时稳定性系数要高5.8%~12.1%,即不考虑汽车移动恒载、汽车动力荷载的影响会人为提高滑坡的稳定性系数,且量值较大,偏于危险。尤其是处于临界状态附近时,直接涉及到治理与否的稳定性评价。在目前的滑坡防治工程分析中,汽车移动恒载、汽车动力荷

2 算例1

国道319线冯家至濯水段滑坡病害极其发育,仅该段就发育有四处中小型滑坡,其共有的特点即为公路从滑坡体上通过,路基沉降、边坡变形严重。本文以冯石鸡村滑坡为例,运用工程界目前常用的分析方法^[9-16],如瑞典圆弧滑动法、传递系数法、简化 Bishop 法^[11]、Janbu 法等进行稳定性分析,仅以天然工况对比一般算法、考虑汽车荷载算法、考虑汽车冲击荷载算法之间滑坡稳定性差别,探讨公路汽车荷载对滑坡稳定性的影响。

基本参数:该滑坡长23m,宽35m,滑体平均厚度4.9m,总体积约40003m³,为小型滑坡。319国道从其中上部通过,滑体土重度19.6kN/m³,滑动面近圆弧形,滑带土参数 $c = 7.2$ kPa, $\varphi = 9.1^\circ$;代表性剖面见图7。

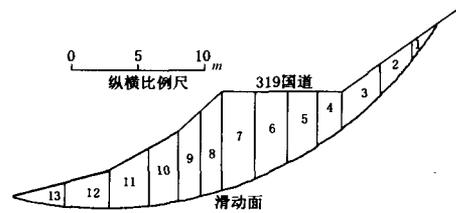


图7 冯石鸡村滑坡代表性剖面

按式(1)折算汽车荷载集度为4.5kPa,相应冲击系数 μ 取0.1~0.4。

以 F_{s1} 表征传统算法稳定性系数(不考虑汽车荷载), F_{s2} 为考虑汽车移动恒载时的稳定性系数($\mu = 0$, 不考虑动荷载), F_{s3} 为 $\mu = 0.1$ 时稳定性系数, F_{s4} 为 $\mu = 0.2$ 时稳定性系数, F_{s5} 为 $\mu = 0.3$ 时稳定性系数, F_{s6} 为 $\mu = 0.4$ 时稳定性系数。稳定性计算结果见表1。

载均没有被考虑,需要引起重视。

3 算例2

清泉路(袁家蹬)滑坡位于万州城区中部东侧的长江左岸山坡地带,属于吊岩坪滑坡群一部分。清泉路滑坡外形似梨形,公路通过滑体平均宽270m,纵向平均长度390m,其中3-3剖面(图8)上级滑坡前缘标高163m,后缘标高201.89m,滑体平均厚度15m,

体积约 81万 m^3 。该公路为规划城市次干道,四车道,公路通过处滑体厚度 12.5 m 。滑面为不规则折线形,滑体土天然重度为 20.3 kN/m^3 ,天然状态抗剪强度残值 $c = 15 \text{ kPa}$, $\varphi = 11^\circ$ 。滑坡通过区段折算汽车荷载强度为 2.6 kPa ,相应冲击系数取 $0.1 \sim 0.4$ 。由于滑面不规则,以传递系数法和 Janbu 法验算天然工况下汽车荷载对滑坡稳定性的影响。计算结果见表 2。

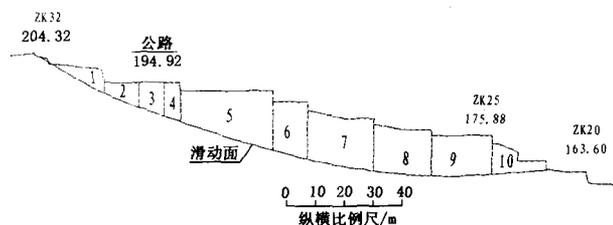


图8 万州清泉路滑坡3-3剖面

表2 汽车荷载作用下清泉路滑坡3-3剖面稳定性分析对比表

计算方法	稳定性系数						$\frac{F_{s1} - F_{s2}}{F_{s2}} \times 100\%$	$\frac{F_{s1} - F_{s6}}{F_{s6}} \times 100\%$
	F_{s1}	F_{s2}	F_{s3}	F_{s4}	F_{s5}	F_{s6}		
传递系数法	1.344	1.339	1.338	1.338	1.337	1.336	0.4	0.6
Janbu 法	1.458	1.452	1.451	1.450	1.450	1.448	0.4	0.7

从表 2 对比结果可见,不管是采用何种稳定性分析方法,考虑汽车移动恒载、汽车冲击荷载时的稳定性降低幅度均不超过 1%,同分析方法本身的精度相比完全可以忽略。即对于滑体厚度较大的情况(中层滑坡以上),完全可以不考虑汽车移动恒载及其动荷载效应,对稳定性评价影响不大,当前工程界不考虑其影响是可以接受的。

4 结论

通过汽车荷载、汽车动力荷载的量值分析,并通过两个滑坡稳定分析算例,可以得到以下结论:

1)公路从滑坡体通过时,其相应的拟静力移动恒载强度介于 $2.34 \sim 6.41 \text{ kPa}$ 之间,一般可取 4 kPa ;若考虑汽车动力荷载,其冲击系数可取 $0.1 \sim 0.4$ 。

2)公路从滑体中上部下滑段通过时,对于浅层滑坡必须考虑汽车移动恒载、汽车动力荷载对稳定性评价的影响,当前一概不考虑汽车荷载的影响有欠合理。对于中厚层滑坡稳定性分析汽车荷载影响微弱,可以不予考虑;对于公路从滑体中下部抗滑段通过时汽车荷载为有利效应,当前工程界的处理方式是合理的。

3)分析汽车移动恒载、汽车动力荷载的处理基于拟静力法,汽车荷载通过竖向加载效应影响滑坡稳定性,以一般滑体容重为 20 kN/m^3 估算,当滑体厚度为 8 m 时,汽车荷载同滑体自重的比值不超过 4%,可以看作在误差范围内,对稳定性的影响相应微弱,故可以 8 m 为界,确定在滑坡防治中考虑汽车荷载影响与否。

4)分析仅以天然状态为例,其它影响因素均没有涉及,仅为探讨汽车荷载的影响尺度;而且考虑汽车通行的随机性,时间性,计算得到的稳定性系数应看作瞬时值,可归入较核工况。

参考文献:

[1] Dov Leahchinaky. Stability analysis: generalized approach

[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1990, 116(5): 851 - 867.

[2] 徐建平,尚刚,梁乃兴. 路面不平整引起的汽车动荷载计算分析[J]. 重庆交通学院学报, 2001, 20(1): 26 - 28.

[3] 荆行成,吴朝辉,李永红. 车辆振动瞬态分析及动荷载[J]. 中南公路工程, 2004, 29(3): 41 - 44.

[4] Dongil Chang, Heehgn Lee. Impact factors for simple - span highway girder bridges[J]. Journal of Structure Engineering, 1994, 120(3): 204 - 212.

[5] 周华飞,蒋建群,毛根海. 路面不平整引起的车辆动荷载分析[J]. 中国市政工程. 2002, (3): 10 - 13.

[6] 黄仰贤. 路面分析与设计[M]. 北京:人民交通出版社, 1998.

[7] 中华人民共和国行业标准. 城市桥梁设计荷载标准[S].

[8] 陈洪凯,唐红梅,王蓉. 三峡库区危岩稳定性计算方法及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(4): 614 - 619.

[9] Morgenstern N R, Price V E. The analysis of the stability of general slip surfaces[J]. Geotechnique, 1965, 15(1): 79 - 93.

[10] K Fan, D G Fredlund, G W Wilson. An interslice functions for limit equilibrium slope stability analysis[J]. Can. Geotech Journal, 1986, 23(3): 287 - 296.

[11] Bishop A. W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes[J]. Geotechnique, 1955, (5): 7 - 17.

[12] 王桂林,张永兴,文海家. 大河坝古滑坡复活变形特征及成因分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(5): 1 - 4.

[13] 严春风,文海家,朱可善. 金龙山 II 区滑坡体的随机场有限元分析[J]. 重建建筑大学学报, 1999, 21(2): 57 - 62.

[14] Spencer E. A method of analysis for the stability of embankments assuming parallel interslice forces[J]. Geotechnique, 1967, 17(1): 11 - 26.

[15] Samma S K. Stability analysis of embankments and slopes [J]. Geotech Eng. Div., 1979, 105(GT12) 1511 - 1524.

[16] Fredlund D G, Krahn J. Comparison of slope stability method of analysis [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1977, 14(3): 429 - 439.