

文章编号:1006-2106(2006)06-0047-04

高陡边坡桥基安全距离研究*

赵 文**¹ 谢 强¹ 李 娅²

(1. 西南交通大学, 四川 成都 610031; 2. 西华大学, 四川 成都 610039)

摘要:研究目的:高陡边坡桥基位置的确定不仅关系到高边坡的稳定和桥梁的安全,也直接关系到整个桥梁的技术指标和造价。而目前相应的规范及手册中,对高陡边坡桥基位置没有明确的规定。

研究方法:荷载作用下高陡边坡岩体力学行为特征是桥基位置确定的基础。利用数值分析方法,分析不同边坡几何状态下荷载对边坡岩体应力的影响。

研究结果:根据荷载作用下边坡岩体应力影响范围的变化特征,提出高陡边坡桥基安全距离的确定原则。边坡岩体应力影响范围主要与荷载强度、桥基宽度、边坡坡度以及桥基水平距离等因素有关。根据坡面岩体应力影响系数最大值与各影响因素的关系,再利用岩体质量对应力影响系数进行限定,提出高陡边坡桥基安全距离的确定公式。

研究结论:工程实践表明,用本文方法来确定高陡边坡桥基位置是方便的、适用的。

关键词:桥基;边坡;安全距离;应力影响范围;岩体质量

中图分类号:TU45 **文献标识码:**A

Research on the Safe Bridge Foundation Position on High Steep Slope

ZHAO Wen¹, XIE Qiang¹, LI Ya²

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China; 2. Xihua University, Chengdu, Sichuan 610039, China)

Abstract: Research purposes: The bridge foundation position on high - steep slope has great effect on stability of slope and bridge, it also affects the technical index and cost of bridge. The bridge foundation position on high - steep slope is not specified definitely in current corresponding norms or hand books.

Research methods: The mechanical behavior characteristics of rock mass of slope under load are the basis of bridge foundation position determining. In this paper, the influences of load on rock mass stress in different geometric conditions of slope are analyzed with numerical method.

Research results: According to the change characteristics of influence range of rock mass stress under load, a principle of determining safe bridge foundation position on high steep slope is put forward. The stress influence range of rock mass slope is mainly related with load intensity, bride foundation width, slope angle, bridge foundation position. According to the relations between the maximum influence coefficients of rock mass stress on sloping surface and each influencing factor, a formula determining safe bridge foundation position on high steep slope is put forward at last when the influence coefficient of rock mass stress is limited by rock mass quantity.

Research conclusions: Engineering practice shows the method of determining bridge foundation on high - steep slope in this paper is convenient and applicable.

Key words: bridge foundation; slope; safe position; influence range of stress; rock mass quantity

* 收稿日期:2005-10-20

** 作者简介:赵文,1975年出生,男,讲师。

跨峡谷大桥勘测设计的技术难点之一是桥跨的大小,而桥跨的大小是由高陡边坡上桥基的位置确定的。高陡边坡桥基位置确定不仅关系到边坡的稳定和桥梁的安全,也直接关系到整个桥梁的技术指标和造价。桥基位置的变化导致桥跨增减,由此带来的桥梁造价的变化也是相当可观的。目前相应的规范及手册对高陡边坡桥基位置没有明确的规定。设计部门多采用经验坡角法^[1~3],但经验坡角法未考虑荷载的影响,且其对坡高的折减太大,往往使结果偏于保守。随着道路建设标准的提高,山区道路中出现了越来越多的峡谷高陡桥基边坡,迫切需要提供切实可行的高陡边坡桥基位置确定方法。本文利用数值分析方法,分析荷载对边坡岩体应力的影响,提出了高陡边坡桥基安全距离确定公式。

1 桥基荷载对边坡岩体应力的影响

边坡分析模型包括以下参数:坡高 H 、坡度 α 、桥基水平距离 S 、荷载强度 q 、桥基宽度 B 等,相关参数如图 1 所示。

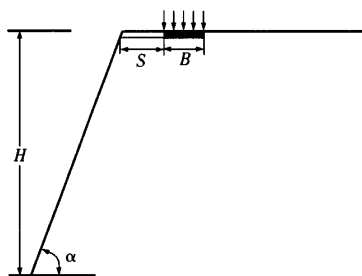


图1 边坡分析模型参数示意图

桥梁荷载作用下,必定引起边坡岩体原始应力状态的改变,桥梁荷载对边坡岩体应力的影响以应力影响系数 η 表示, η 定义如下:

$$\eta = \frac{\sigma_q}{\sigma_0} \quad (1)$$

式中 σ_q ——由桥基荷载产生的附加最大主应力;

σ_0 ——由岩体自重产生的最大主应力。

假定基本模型参数 $H = 100 \text{ m}$ 、 $\alpha = 80^\circ$ 、 $B = 10 \text{ m}$ 、 $S = 10 \text{ m}$ 、 $q = 1.0 \text{ MPa}$,则该模型下应力影响系数等值线如图2所示。从图中可以看出,荷载对基底岩体应力影响较大,对远离桥基位置的岩体应力影响越来越小。表明荷载作用主要改变基底附近岩体的应力状态。

假定以 $\eta = 0.1$ 所围成的范围表示应力影响范围,在不同模型参数条件下,边坡岩体应力影响范围可呈现如图3所示的几种基本状态。图3中a状态下,

边坡岩体应力影响范围在边坡内部;b状态下,应力影响范围刚好到达坡面;c状态下,应力影响范围包含部分坡面岩体。

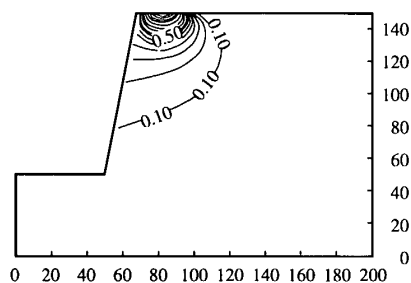


图2 应力影响系数等值线图

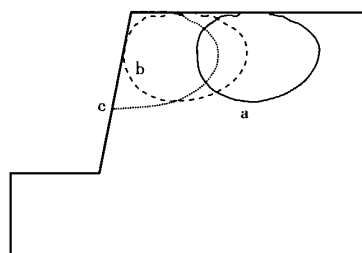


图3 应力影响范围基本状态

2 桥基安全距离公式的构建

2.1 桥基确定原则

如果岩体应力影响范围未到达边坡坡面,则坡面岩体应力不受荷载影响,坡面岩体保持原始稳定状态,桥基稳定性检算可采用常规半无限承载力计算,一般情况下,高陡边坡岩体能满足承载力要求,桥基位置是可行的,如图3中a状态;如果应力影响范围到达坡面,认为荷载对坡面岩体产生了明显的影响,坡面岩体的稳定需要作更深入的研究,桥基位置不合适,如图3中c状态;而最合适的是应力影响范围呈图3的b状态。但利用应力影响范围确定桥基位置不易表达,从图3的b状态可知,只要坡面岩体应力影响系数最大值等于确定应力影响范围的应力影响系数,则表明应力影响范围刚好到过坡面。图3中应力影响范围是假定以 $\eta = 0.1$ 为限的,实际上确定应力影响范围的应力影响系数值可根据岩体质量不同而有所不同,因此确定桥基位置最关系的两项是坡面岩体应力影响系数最大值和应力影响系数限值 η_l 。下文边坡面岩体应力影响系数最大值用 η_m 表示。

2.2 η_m 的确定

研究表明, η_m 主要与 S 、 α 、 B 、 q 有关,对于高陡边坡($H > 40 \text{ m}$)来说,坡高的变化对 η_m 影响不大。在基

本模型的基础上,其它参数不变,改变任意参数,可以获得 η_m 与各参数的关系。

2.2.1 η_m 与 q 的关系

η_m 与 q 的关系如图4所示,从图中可以看出, η_m 与 q 呈线性关系,这与理论是相符的。 η_m 与 q 的关系式如下:

$$\eta_m = 0.43q \quad (2)$$

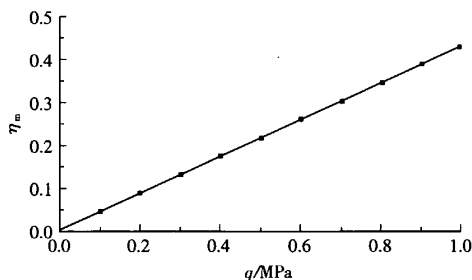


图4 η_m 与 q 的关系

2.2.2 η_m 与 S 的关系

η_m 与 S 呈指数衰减的关系,对 S 和 η_m 分别取对数, $\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(S)$ 的关系如图5所示。 $\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(S)$ 呈线性关系,拟合关系式如下:

$$\text{Log}(\eta_m) = 1.0062 - 1.4269\text{Log}(S) \quad (3)$$

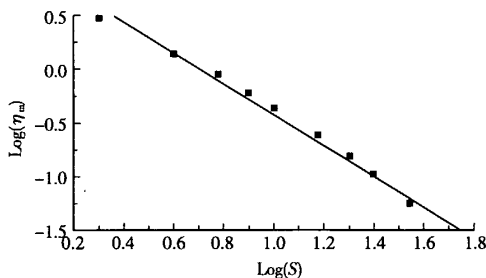


图5 $\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(S)$ 的关系

2.2.3 η_m 与 α 的关系

η_m 与 α 呈指数增长的关系,对 α 和 η_m 分别取对数, $\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(\alpha)$ 的关系如图6所示。 $\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(\alpha)$ 呈线性关系,拟合关系式如下:

$$\text{Log}(\eta_m) = -4.8357 + 2.3506\text{Log}(\alpha) \quad (4)$$

2.2.4 η_m 与 B 的关系

η_m 随 B 的增加而逐渐增加并趋于稳定, η_m 与 B 符合指数变化关系,如图7所示。拟合得 η_m 与 B 的关系式如下:

$$\eta_m = 0.56806(1 - 0.8655^B) \quad (5)$$

2.2.5 η_m 与 S 、 α 、 B 、 q 的拟合关系

$\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(S)$ 和 $\text{Log}(\alpha)$ 高度线性相关,首先对 $\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(S)$ 、 $\text{Log}(\alpha)$ 的关系进行多元线性回归,有:

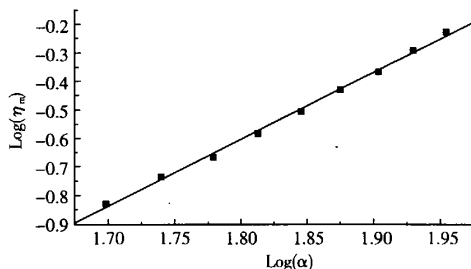


图6 $\text{Log}(\eta_m)$ 与 $\text{Log}(\alpha)$ 的关系

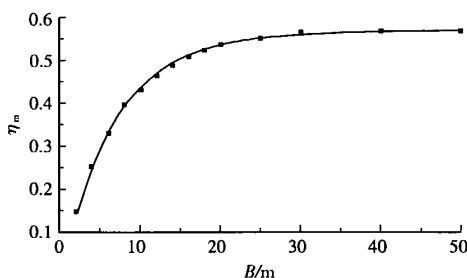


图7 η_m 与 B 的关系

$$\text{Log}(\eta_m) = -3.0142 - 1.4357\text{log}(S) + 2.1282\text{log}(\alpha) \quad (6)$$

代数变换有:

$$\eta_m = 9.6793S^{-1.4357}\alpha^{2.1282} \times 10^{-4} \quad (7)$$

上式中未包含桥基宽度 B 和荷载强度 q , 根据基本模型参数, 此时桥基宽度 $B = 10\text{ m}$, 荷载强度 $q = 1.0\text{ MPa}$ 。由于 B 和 q 是荷载的两个因素, 显然荷载越大, η_m 越大, 因此将 B 和 q 直接以乘积的形式引入式中, 但系数有所改变, 则有:

$$\eta_m = 0.001362S^{-1.4357}\alpha^{2.1282}(1 - 0.8655^B)q \quad (8)$$

上式表明, 对于任一高边坡, 给定坡度 α 、桥基水平距离 S 、桥基宽度 B 及荷载强度 q , 则可确定荷载对坡面岩体应力影响系数最大值。本文的目的不是为了求得 η_m , 而是为了获取桥基水平距离。因此对式(8)进行变换, 有:

$$S = 0.01\alpha^{1.4823}[(1 - 0.8655^B)q/\eta_m]^{0.6965} \quad (9)$$

从上式中可以看出, 当边坡坡度 α 、桥基宽度 B 、荷载强度 q 已知时, 在给定应力影响系数限值 η_l 时, 即可获得桥基水平距离。

2.3 η_l 的确定

通过对基本模型边坡岩体强度试算表明, 对于 V 类岩体, 岩体应力在自重重力基础上增加 10% ($\eta = 0.1$), 岩体安全系数降低程度在 5% 以内。道路高陡边坡通过方案比选后, 通常会选择岩体质量好的边坡, 边坡岩体质量好, 岩体在工程荷载作用下的安全储备高, 可以认为安全系数降低 5% 对岩体边坡的安全没

有影响。而对于 I 类岩体,岩体应力在自重应力基础上即使增加 20 % ($\eta = 0.2$),对其安全系数的影响也不大。因此针对不同岩体质量将应力影响系数的限值 η_i 取为 0.1 ~ 0.2,分别对应岩体质量 $RMR = 0$ 和 $RMR = 100$, RMR 的取值参考文献[4,5]。引入岩体质量系数 k_r , $k_r = 0.5 + RMR/100$, k_r 取值范围为 0.5 ~ 1.0。则岩体应力影响系数限值取 $\eta_i = 0.2k_r$ 。

2.4 桥基安全距离确定

将应力影响系数限值 $\eta_i = 0.2k_r$ 代入式(9)取代 η_m ,得高边坡桥基安全距离确定公式如下:

$$S_f = 0.031\alpha^{1.4823}[(1 - 0.8655^B)q/kr]^{0.6965} \quad (10)$$

上式中坡度 α 通过现场实测获得,桥基宽度 B 和荷载强度 q 通过以往设计经验估计,岩体质量系数 k_r 通过现场勘测获取。

3 工程实例

以宜万铁路马水河大桥万州岸为例,利用文中的方法确定桥基位置,对边坡岩体强度进行检验,验证本文方法的合理性。

3.1 工程地质概况

桥址区位于低山区,河岸附近地形较陡峭,其自然坡度 73° ,边坡高达 110 m。出露地层为大冶组薄层夹中厚层灰岩,产状为 $125^\circ \angle 24^\circ$,主要发育 3 组节理,间距 0.5 ~ 1.0 m,延长 3 ~ 5 m,节理均平直粗糙,无充填,无地下水渗出,岩体平均回弹值 34.7。桥址区地质构造较简单,为单斜构造。

3.2 桥基安全距离确定

根据岩体回弹值换算岩体单轴抗压强度 $R_c = 33.7$ MPa,查地质勘测资料得 $RQD = 66\%$,实测岩体块度为 81 cm,根据节理性质及边坡地下水情况,可得岩体质量 $RMR = 72$,则 $k_r = 0.86$ 。其它参数有边坡坡度 $\alpha = 73^\circ$,桥基宽度 $B = 6.4$ m,荷载强度 $q = 0.8$ MPa。

将以上参数代入式(10),得桥基安全距离为:

$$S_f = 0.031 \times 73^{1.4823} [(1 - 0.8655^{6.4}) \times 0.8 / 0.86]^{0.6965} = 12 \text{ m}$$

该桥在设计时采用经验坡角法,设计桥基水平距离 12.5 m,与本文方法确定的桥位相差不大。

3.3 边坡岩体强度分析

该桥位下,边坡能否保持稳定,可通过岩体强度进行分析。岩体强度参数取值 $c = 0.65$ MPa, $\varphi = 35^\circ$,边坡岩体强度如图8所示。图中颜色越深,强度储备越低,数值大于零表示满足强度要求。

从图中可以看出,在本文确定之桥位下,边坡岩体均满足强度要求,桥基底部岩体强度较附近岩体稍有降低,但强度储备仍然较高。荷载对坡面岩体强度的影响并不大,因此该桥位是合理的,本文提出的桥基安全距离确定方法是适用的。目前该桥正在修建之中,边坡的稳定性也在监测之中。

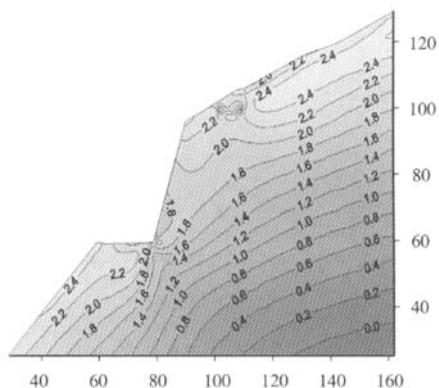


图8 马水河大桥万州岸岩体强度局部示意图

4 结论

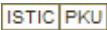
本文提出的桥基安全距离确定公式是一种新的高陡边坡桥基位置确定方法,公式中的相关参数在常规勘测中容易获取,因此能方便地应用于工程实践,并能产生显著的经验效益。

本文方法适用于等效均质高边坡,如整体结构的高边坡、节理均匀切割的高边坡等。如果边坡中存在控制性的结构面时,还需要对边坡的稳定性作更进一步的分析。

参考文献:

- [1] 李秉生. 水体对铁路岩石边坡岩体质量及坡度设计的影响[J]. 西南交通大学学报, 1991, (2): 30 ~ 33.
- [2] 谢强. 道路岩石边坡坡度确定方法的研究[J]. 中国公路学报, 2000, 13(2): 24 ~ 26.
- [3] 谢强. 铁路岩石边坡研究[D]. 成都: 西南交通大学, 1998.
- [4] Bieniawski Z. T. Engineering Rock Mass Classification[M]. Interscience Publication, Wiley, New York, 1993.
- [5] Bieniawski Z. T. The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications[A]. Proc. 4th int. cong. On rock mech, 1979, (1): 55 ~ 95.

(编辑 慕成娟)

作者: [赵文](#), [谢强](#), [李娅](#), [ZHAO Wen](#), [XIE Qiang](#), [LI Ya](#)
作者单位: [赵文, 谢强, ZHAO Wen, XIE Qiang\(西南交通大学, 四川, 成都, 610031\)](#), [李娅, LI Ya\(西华大学, 四川, 成都, 610039\)](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2006(6)
被引用次数: 3次

参考文献(5条)

1. [李秉生](#) [水体对铁路岩石边坡岩体质量及坡度设计的影响](#) 1991(02)
2. [谢强](#) [道路岩石边坡坡度确定方法的研究](#)[期刊论文]-[中国公路学报](#) 2000(02)
3. [谢强](#) [铁路岩石边坡研究](#)[学位论文] 1998
4. [Bienlawski Z T](#) [Engineering Rock Mass Classification](#) 1993
5. [Bienlawski Z T](#) [The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications](#) 1979

本文读者也读过(10条)

1. [詹志峰](#), [谢强](#), [赵文](#) [峡谷区岩质桥基岸坡稳定性系统分析方法研究](#)[期刊论文]-[四川大学学报\(工程科学版\)](#) 2003, 35(6)
2. [邓宗伟](#), [冷伍明](#), [饶杨安](#), [李志勇](#), [岳志平](#), [DENG Zong-wei](#), [LENG Wu-ming](#), [RAO Yang-an](#), [LI Zhi-yong](#), [YUE Zhi-ping](#) [高速公路桥基岸坡稳定性计算分析](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2008, 29(3)
3. [詹志雄](#), [Zhan Zhixiong](#) [赤平极射投影分析和楔形体稳定计算](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#) 2005, 31(4)
4. [赵德文](#) [离散单元法在宜万线马水河大桥岩石岸坡桥基稳定性分析的应用](#)[学位论文] 2004
5. [赵文](#) [荷载作用下高陡边坡岩体力学行为及桥基位置确定方法研究](#)[学位论文] 2005
6. [卿笃干](#), [QIGN Dugan](#) [桥基荷载作用下斜坡稳定性评价的三维有限元法](#)[期刊论文]-[公路工程](#) 2008, 33(3)
7. [赵文](#), [谢强](#), [龙德育](#) [高陡岸坡桥基合理位置确定方法](#)[期刊论文]-[中国铁道科学](#) 2004, 25(6)
8. [赵文](#), [谢强](#), [詹志锋](#) [北盘江大桥岸坡位移特征模型试验研究](#)[期刊论文]-[四川大学学报\(工程科学版\)](#) 2002, 34(4)
9. [邱恩喜](#), [荆志东](#), [王春雷](#) [朔准线边连沟大桥桥基位置选择](#)[会议论文]-2007
10. [陈以建](#), [方坚宇](#), [CHEN Yijian](#), [FANG Jianyu](#) [山区高速公路斜坡桥基位置确定方法探讨](#)[期刊论文]-[公路工程](#) 2008, 33(6)

引证文献(3条)

1. [李彬](#), [胡云端](#), [曹荣泰](#), [张建](#), [祁永辉](#) [黄土边坡输电线路杆塔合理位置分析](#)[期刊论文]-[电力勘测设计](#) 2013(4)
2. [於汝山](#), [许冬丽](#) [有限元确定河谷岸坡桥基位置的应用](#)[期刊论文]-[路基工程](#) 2010(4)
3. [赵明华](#), [尹平保](#), [杨明辉](#), [邓友生](#), [杨超炜](#) [高陡横坡段桩柱式桥梁双桩基础模型试验](#)[期刊论文]-[中国公路学报](#) 2013(4)

引用本文格式: [赵文](#), [谢强](#), [李娅](#), [ZHAO Wen](#), [XIE Qiang](#), [LI Ya](#) [高陡边坡桥基安全距离研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006(6)