

文章编号: 1008-2786-(2013)6-753-07

锚杆参数对锚固边坡抗震性能的影响

徐 乾^{1 2} 张永兴^{1 2} 陈建功^{1 2}

(1. 重庆大学 土木工程学院 重庆 400045; 2. 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室 重庆 400045)

摘 要: 提出了一种简化的锚杆岩土体相互作用的动力学模型, 结合该模型, 借助 ANSYS 有限元程序建立数值模型。为了研究了锚杆参数(弹模、横截面积、长度、间距)对锚固边坡的影响, 通过变化各个参数, 分析其对锚固边坡的抗震性能(位移、加速度和应力)的影响。分析结果表明: 锚杆参数对锚固边坡抗震性能影响强弱不一, 甚至还会起反作用。增大锚杆横截面积可以有效提高边坡抗震稳定性(位移最大降幅可达 33%, 加速度最大降幅 37.4%, 应力最大降幅 42.37%); 减小锚杆间距也可以改善边坡抗震性能(位移最大降幅可达 7.53%, 加速度最大降幅 9.85%, 应力最大降幅 38.3%); 而提高锚杆弹模并不能有效降低边坡变形, 相反还会增大边坡水平地震加速度(最大增幅可达 13.8%); 增大锚杆长度对边坡抗震性能提高不大。因此, 应通过调整合适的锚杆参数, 来改善边坡抗震稳定性。这些结论对于锚固边坡的抗震设计有一定的借鉴作用。

关键词: 锚杆参数; 锚固边坡; 抗震性能; ANSYS; 抗震稳定性

中图分类号: P642.27; TU 435

文献标志码: A

边坡常被定义为具有侧向凌空面的地质体, 承受静力荷载和动力荷载。静力荷载一般主要是边坡自重, 动力荷载主要包括: 地震荷载、爆炸荷载、工程振动荷载等。其中地震荷载是导致边坡失稳的主要形式, 世界上因为地震而引发的边坡失稳的案例不在少数。1970 年的秘鲁地震引起大量滑坡, 绝大多数人员伤亡都是由于滑坡和崩塌造成的; 1995 年的日本阪神地震, 因地震造成的仁川滑坡直接掩埋了 34 人; 2008 年的“5·12”汶川大地震中, 由于边坡失稳而造成的遇难者更是无法统计^[1]。2013 年的“4·20”雅安芦山地震, 由于地震引起的滑坡阻挡交通严重影响救援工作。此外, 地震滑坡还会造成许多次生灾害, 如堰塞湖等。

为了提高边坡的抗震稳定性, 往往要对边坡进行加固。加固措施有锚杆加固、锚索加固、土钉加固等, 其中锚杆被广泛用于加固边坡。为了研究锚杆对边坡的抗震性能影响, 国内外许多专家做了大量相关研究。Shilpa Pal 等人运用离散元方法研究了

动力荷载对于边坡稳定性的影响^[2]; Gali Madhavi Latha 和 Arunakumari Garaga 运用静力和动力方法研究了高度节理岩质边坡在地震荷载下的稳定性^[3]; Nobuaki Kato 等人运用离散元方法研究了山地边坡在强震作用下的地震稳定性, 研究结果表明离散元法可以成功而且有效地预测边坡破坏^[4]; Tomofumi Koyama 等人通过实验和离散元数值分析研究了边坡在地震作用下的地震响应, 结果发现离散元法可以有效地用来分析边坡的抗震稳定性^[5]; Yoshiyuki Okamura 等人运用振动运输理论研究了边坡在地震作用下的弹塑性动力响应, 并与实验结果对比发现该方法的精度要高于传统方法^[6]; 荒井克彦、王宗建等人通过实验研究认为当坡体内塑性变形发展到一定程度边坡才会失稳, 并通过静力计算得到了边坡失稳是对应的塑性变形值^[7]; 郑文博等人研究了在地震作用下, 预应力锚索对高陡岩质边坡稳定性影响^[8-9]; 赵体等人在研究边坡抗震稳定性时, 提出了边坡的强度储备稳定性的动态超载

收稿日期(Received date): 2013-05-09; 改回日期(Accepted): 2013-06-16。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(51027004)。[This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51027004).]

作者简介(Biography): 徐乾, 男, (1986-), 博士研究生, 主要从事岩土工程抗震研究。[Xu Qian, male, (1986-) doctor postgraduate, engaging in seismic study in geological engineering. | E-mail: xuqian0908140831@163.com]

稳定性的概念^[10];叶海林、郑颖人等人通过振动台试验,研究了锚固边坡中锚杆的动力响应,并研究了预应力锚杆对边坡的抗震性能影响^[11-13];刘建华,汪优等人研究了锚固边坡在简谐荷载作用下的动力响应,并研究了锚杆参数变化对边坡地震响应的影响^[14];邓东平、李亮等人采用拟静力分析法,研究了土钉对边坡抗震稳定性的影响^[15];然而,目前对于锚杆对边坡抗震性能的影响研究还缺乏系统研究,而且关于锚杆与岩土体的粘结机理也缺乏统一的认识。

针对该现状,本文首先提出了一种简化的锚杆岩土体动力学模型,借助 ANSYS 有限元程序研究了锚杆参数(弹模、横截面积、长度、间距)对边坡抗震稳定性的影响,从而得到一些规律,有助于锚杆抗震设计。

1 锚杆岩土体动力学模型及锚固边坡的 ANSYS 数值模型

1.1 锚杆岩土体动力学模型

锚杆与岩土体的共同作用机理十分复杂,一般认为锚杆与周围岩土体的耦合作用是通过粘结剪切力实现的,图 1 是锚杆与土体相互作用示意图。然而工程调查显示,由于施工质量缺陷以及其他不利因素影响,锚杆与岩土体并非全长粘结,而是分段粘结且是极不均匀的。对于锚固岩质边坡,提出了一种简化的锚杆与岩土体共同作用动力学模型。将岩土体与锚杆之间的作用简化为一个弹簧阻尼单元,把混凝土面板对锚杆的惯性作用等效为一个集中质量单元,如图 2(a) 所示。但考虑到锚杆与其周围岩土体粘结的不均匀性,将面板的集中质量作用以及锚杆周围岩土体对锚杆的剪切作用简化为一弹簧阻尼单元,如图 2(b) 所示。

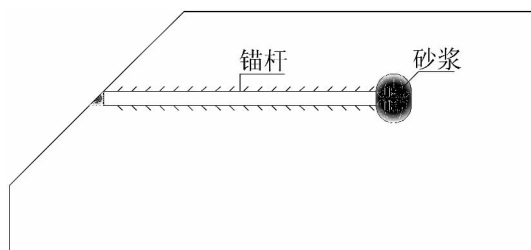


图 1 锚杆岩土体相互作用示意图

Fig. 1 Schematic of interaction between anchor and soil

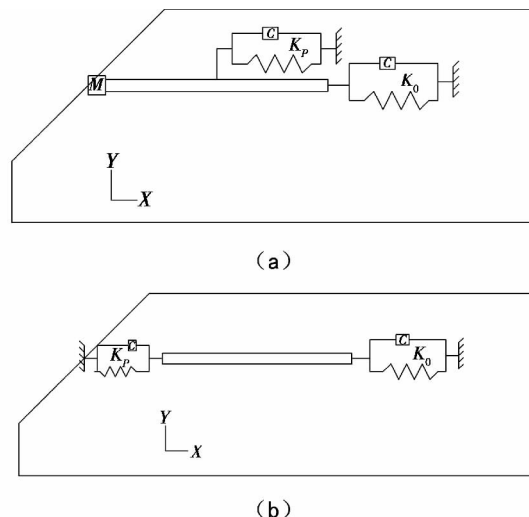


图 2 锚杆与岩土体相互作用简化模型

Fig. 2 Simplified model of interaction between anchors and soil

分析锚杆岩土体相互作用动力学模型时,还应遵循以下假定:

1. 所讨论锚杆为锚杆与周围浆体组成的复合体;

2. 锚杆周围岩土体为各向同性材料;

3. 锚杆材料为线弹性材料,且为等截面。

1.2 锚固边坡 ANSYS 数值模型

某岩质边坡,坡高 6 m,坡角 45°,边坡断面如图 3 所示。通过对多组原状岩土体物理参数进行测定,最后确定出边坡岩土体物理参数,如表 1 所示。ANSYS 建立数值模型时,用 Combine14 单元模拟锚杆与岩土体的连接,锚杆端头弹簧刚度 $K_0 = 60 \text{ kN/m}$,锚杆与岩土体之间弹簧刚度 $K_p = 160 \text{ kN/m}$,岩土体与锚杆之间的阻尼刚度 $C = 150 \text{ kPa} \cdot \text{s}^{[16]}$;用 Beam4 单元模拟锚杆复合体;用 Solid45 单元模拟土

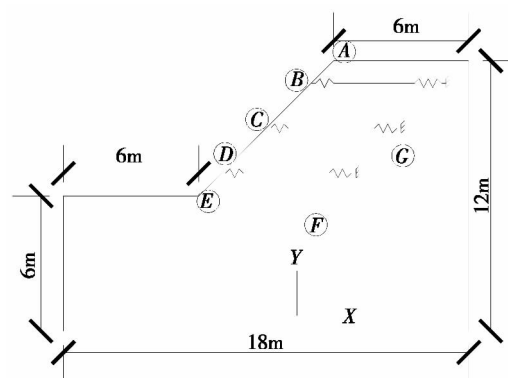


图 3 边坡断面示意图

Fig. 3 Schematic of slope section

体,岩土体材料本构模型选用 D - P 模型。ANSYS 有限元模型如图 4 所示。

表 1 岩土体参数

Table 1 Parameters of rock and soil

密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	弹性模量 $E/(\text{MPa})$	泊松比 μ	粘聚力 $C/(\text{kPa})$	内摩擦角 $\phi/^\circ$	膨胀角 Φ_f
2 390	19	0.29	115	33	0

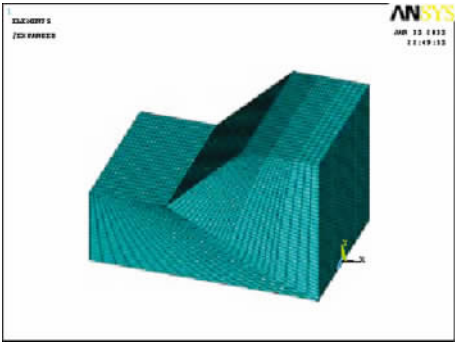


图 4 边坡有限元模型

Fig. 4 Finite element model of slope

2 地震荷载作用下锚杆参数对边坡的影响

在抗震分析时,一般需要考虑三个要素:1. 地震动强度;2. 地震动频谱特征;3. 地震动持续时间。在选用地震波时,应全面考虑地震动三要素,并根据实际情况加以调整。研究的工程所在地场地类型属 II 类场地,即一般场地类型。抗震设防烈度为 8 度,根据建筑抗震设计规范,常遇地震时程分析对应的基本加速度值为 0.2 g^[17]。地震波选取 EL - Centro 波,如图 5 所示。

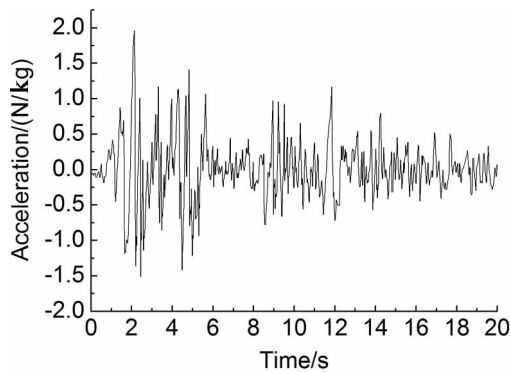


图 5 EL - Centro 地震波

Fig. 5 EL - Centro seismic wave

为提高计算效率地震持时取 15 s。地震波的加速度时程按下式调整

$$A(t)' = \frac{A'_{\max}}{A_{\max}} A(t) \tag{1}$$

式中 $A(t)$ 、 A_{\max} 为原记录的地震加速度曲线及峰值, $A(t)'$ 、 A'_{\max} 是调整后的地震加速度曲线及峰值。阻尼选用 Rayleigh 阻尼 C , C 可以由下式确定

$$C = \alpha M + \beta K \tag{2}$$

$$\alpha = 2 \frac{(\xi_i/\omega_i - \xi_j/\omega_j)}{(1/\omega_i^2 - 1/\omega_j^2)} \quad \beta = 2 \frac{\xi_j\omega_j - \xi_i\omega_i}{(\omega_j^2 - \omega_i^2)}$$

式中 α 为质量阻尼系数, β 为刚度阻尼系数,其中 ξ_i 、 ξ_j 分别为结构的第 i 阶和第 j 阶振型阻尼比, ω_i 、 ω_j 分别为结构的第 i 阶和第 j 阶振型圆频率。

分析计算时,只考虑 X 方向(水平方向)地震作用下边坡的动力响应。为反映边坡的位移响应,取 $A - E$ 五个点作为观测点,选取 A 、 F 、 G 、 E 四个点作为应力观测点,其中 A 点位于坡顶位置, E 点位于坡脚位置, F 、 G 是坡体内部节点。其位置分布如图 3 所示。分别讨论了锚杆弹性模量 E 、锚杆面积 A 、锚杆长度 L 、锚杆间距 S 对边坡抗震性能的影响。

2.1 锚杆弹性模量 E 对边坡的影响

研究了锚杆弹模 E 从 2 GPa 变化到 32 GPa 时,锚固边坡的位移响应和应力响应。其中锚杆复合体泊松比 $\mu = 0.3$,密度 $\rho = 2\,600\text{ kg}/\text{m}^3$,锚杆长度 $L = 5\text{ m}$,间距 $S = 2\text{ m}$,面积 $A = 0.017\,7\text{ m}^2$ 。分析结果如下:

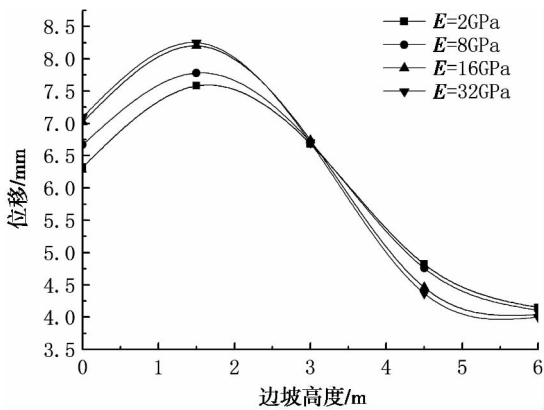


图 6 E 变化时边坡最大水平位移

Fig. 6 Slope maximum horizontal displacement with E change

随锚杆弹模的增大,锚杆对边坡的约束效果逐渐降低。通过图 6 可以发现随锚杆弹模的增大,边坡的位移响应略微增大(最大增幅 8.34%);锚杆弹模的增大使得边坡的水平地震加速度相应变大,最

大增幅大约 13.8% ,如图 7 所示; 锚杆弹模的增大 ,也使得边坡内应力逐渐增大 ,如图表 2 所示。地震荷载作用下 ,锚杆弹模的提高 ,不能有效控制边坡的变形; 相反 ,锚杆弹模的增大会放大边坡的水平地震加速度 ,增大边坡体内的应力。

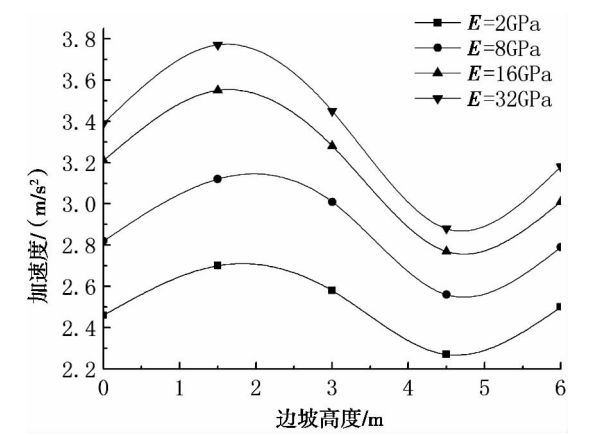


图 7 E 变化时边坡最大水平加速度
Fig. 7 Slope maximum horizontal acceleration with E change

表 2 E 变化时边坡最大 Mises 应力

Table 2 Maximum Mises stress in slope with E change

节点	Mises 应力/(kPa)			
	$E=2\text{ GPa}$	$E=8\text{ GPa}$	$E=16\text{ GPa}$	$E=32\text{ GPa}$
A	0.47	0.51	0.58	0.64
G	24.63	26.35	28.27	28.68
F	14.15	15.16	16.53	17.53
E	18.65	19.23	20.61	22.9

2.2 锚杆横截面积 A 对边坡的影响

主要讨论了锚杆复合体横截面积 A 从 78.48 mm² 变化到 1 256 mm² 时 ,锚固边坡的位移响应和应力响应。其中锚杆复合体弹模 $E=2\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.3$,密度 $\rho=2\,600\text{ kg/m}^3$,锚杆长度 $L=5\text{ m}$,间距 $S=2\text{ m}$ 。分析结果如下:

随锚杆面积的增大 ,锚杆对于边坡的约束作用逐渐增大。如图 8 和图 9 所示 ,锚杆面积的增大可以有效约束边坡变形 ,位移最大减幅约为 33%; 同时降低边坡的水平地震加速度 ,最大减幅可达 37.4%; 此外 ,随锚杆面积的增大 ,边坡体内的应力逐渐减小如表 3 所示。不难发现 ,增大锚杆横截面积可以有效约束边坡变形 ,降低边坡体水平地震加速度 ,减小边坡体内的应力。

2.3 锚杆长度 L 对边坡的影响

主要讨论了锚杆复合体长度 L 从 5 m 变化到 7

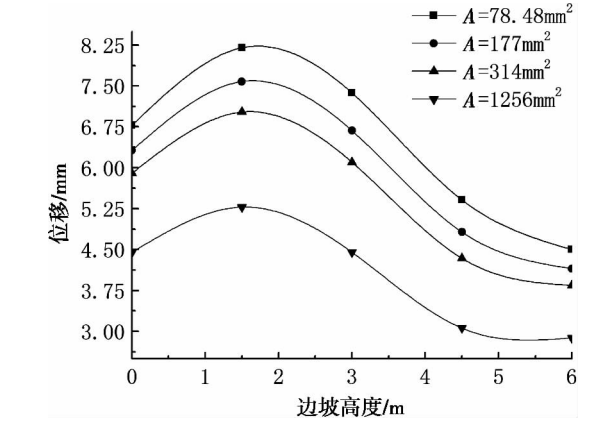


图 8 A 变化时边坡最大水平位移
Fig. 8 Slope maximum horizontal displacement with A change

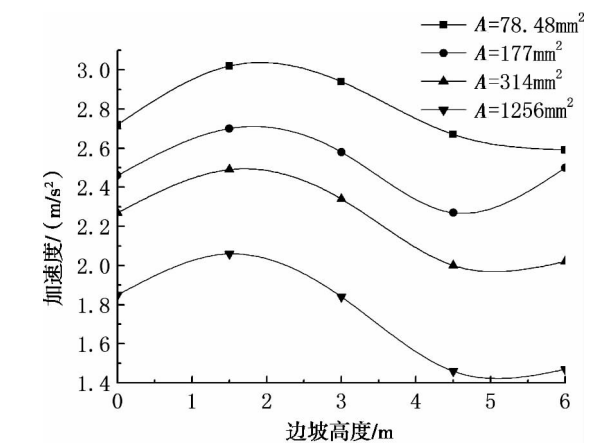


图 9 A 变化时边坡最大水平加速度
Fig. 9 Slope maximum horizontal acceleration with A change

表 3 A 变化时边坡最大 Mises 应力

Table 3 Maximum Mises stress in slope with A change

节点	Mises 应力/kPa			
	$A=78.48\text{ mm}^2$	$A=177\text{ mm}^2$	$A=314\text{ mm}^2$	$A=1\,256\text{ mm}^2$
A	0.59	0.47	0.41	0.34
G	26.43	24.63	23	17.47
F	15.27	14.15	13.16	9.7
E	20.44	18.65	17.15	12.53

m 时 ,锚固边坡的位移响应和应力响应。其中锚杆复合体弹模 $E=2\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.3$,密度 $\rho=2\,600\text{ kg/m}^3$,面积 $A=0.017\,7\text{ m}^2$,间距 $S=2\text{ m}$ 。分析结果如下:

1. 在一定范围内 ,锚杆长度的增加对于边坡的抗震性能影响较小。如图 10 所示 ,锚杆长度增加 ,边坡的变形特性几乎不受影响。

2. 锚杆长度的增加反而会放大边坡的水平地震加速度,如图 11 所示;而且长度的增加并不能有效降低边坡体内的应力,如表 4 所示。

3. 增大锚杆长度并不能提高边坡抗震稳定性,而且存在最优锚杆长度。

2.4 锚杆间距 S 对边坡的影响

主要讨论了锚杆间距 S 从 1 m 变化到 3 m 时,锚固边坡的位移响应和应力响应。其中锚杆复合体

弹模 $E=2\text{ GPa}$,泊松比 $\mu=0.3$,密度 $\rho=2\,600\text{ kg/m}^3$,锚杆长度 $L=5\text{ m}$,面积 $A=0.017\,7\text{ m}^2$ 。分析结果如下:

随锚杆间距减小,锚杆对边坡的抗震性能有一定的影响。如图 12 所示,随锚杆间距的减小,边坡的变形逐渐减小,最大减幅约 7.53%;锚杆间距的减小还会降低边坡的水平地震加速度,最大减幅可达 9.85%,如图 13 所示;间距的变化对于边坡体内的应力影响不是很大,边坡应力在很小范围内浮动,如表 5 所示。由此可见,锚杆间距对于边坡的变形有一定的控制作用,间距的增大会放大边坡的水平地震加速度,但对于边坡体内的应力影响微弱。

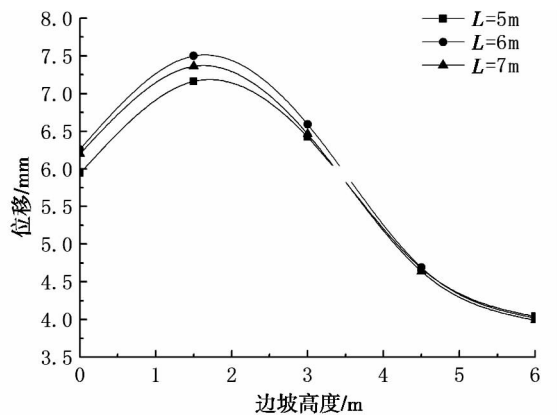


图 10 L 变化时边坡最大水平位移
Fig. 10 Slope maximum horizontal displacement with L change

表 4 L 变化时边坡最大 Mises 应力

Table 4 Maximum Mises stress in slope with L change

节点	Mises 应力/(kPa)		
	$L=5\text{ m}$	$L=6\text{ m}$	$L=7\text{ m}$
A	0.45	0.46	0.46
G	23.17	24.42	26.20
F	13.1	14.03	13.9
E	17.7	18.40	17.88

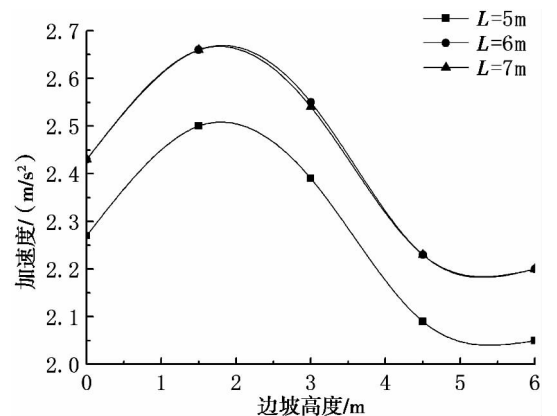


图 11 L 变化时边坡最大水平加速度
Fig. 11 Slope maximum horizontal acceleration with L change

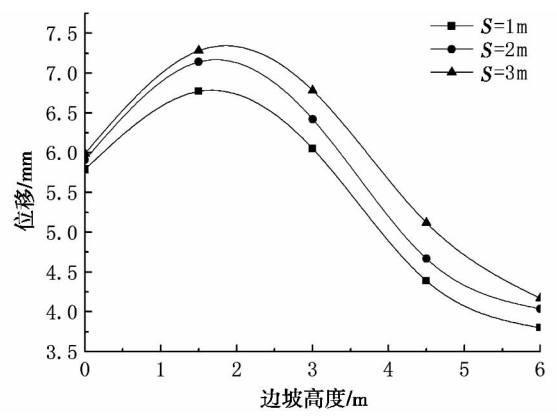


图 12 S 变化时边坡最大水平位移
Fig. 12 Slope maximum horizontal displacement with S change

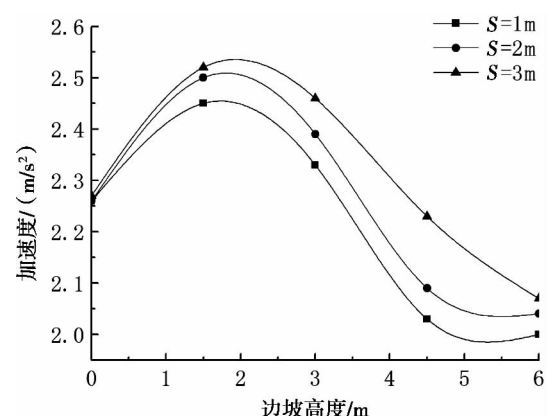


图 13 S 变化时边坡最大水平加速度
Fig. 13 Slope maximum horizontal acceleration with S change

综合以上分析,提高锚固边坡抗震稳定性,增大锚杆横截面积效果最为明显,而且容易实现(只需增大钻孔直径即可);减小锚杆间距也可以达到优化边坡抗震性能的目的;但在小范围内增大锚杆长

度,并不能有效改善边坡抗震性能;增大锚杆弹性模量,不但对边坡变形的控制作用微弱,反而会放大作用在边坡上的水平地震加速度,不利于边坡稳定。

表 5 S 变化时边坡最大 Mises 应力

Table 5 Maximum Mises stress in slope with S change

节点	Mises 应力/(kPa)		
	$S=1\text{ m}$	$S=2\text{ m}$	$S=3\text{ m}$
A	0.47	0.45	0.65
G	22.95	22.73	22.73
F	12.73	12.98	13.07
E	16.24	17.55	18.26

3 结 论

地震荷载作用下,锚杆参数对于边坡的抗震性能影响作用强弱不一,分析总结得到如下结论。

1. 锚杆弹模的增大,并不能有效约束边坡变形;相反,弹模的增加反而会放大边坡的水平地震加速度,以及增大边坡体内的应力。因此,在设计锚杆时,不需要通过增大锚杆复合体弹模来改善边坡抗震性能。

2. 随锚杆横截面积的增大,边坡的变形和坡体应力得到有效控制。因此,增大锚杆复合体的横截面积是提高边坡抗震性能的有效手段。

3. 锚杆的长度对于边坡的影响是微弱的,而且存在最优锚杆长度。一味增大锚杆长度并不能改善边坡变形,因此并不建议采用增大锚杆长度提高边坡稳定性。

4. 间距对边坡的影响作用相对较小,随间距的增大,边坡的变形稍微变大,边坡水平地震加速度和边坡应力逐渐增大,但增幅都很小,大约在 10% 以内。

综上所述,提高锚固边坡的抗震性能,最为有效的手段是增大锚杆的横截面积,选择较小的锚杆间距。而提高锚杆弹模以及增大锚杆长度并不能有效改善锚固边坡抗震性能,甚至起反作用。

参考文献(Reference)

[1] Qi Shengwen, Wu Faquan, Yan Fuzhang, et al. Dynamic responses analysis of rock slope[M]. Beijing: Science Press, 2007. [祁生文, 伍法权, 严福章, 等. 岩质边坡动力反应分析[M]. 北京: 科学出版社, 2007.]

[2] Shilpa Pal, Amir M. Kaynia, Rajinder K. Bhasin, et al. Earthquake

stability analysis of rock slopes: a case study[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2011, 45(2): 205–215

[3] Gali Madhavi Latha, Arunakumari Garaga. Seismic stability analysis of a Himalayan rock slope[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2010, 43(6): 831–843

[4] Xiaoli Chen, Nobuaki Kato, Ryosuke Tsunaki, et al. Prediction of slope failure due to earthquake[J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(16): 2888–2894

[5] Tomofumi Koyama, Satoshi Akao, Satoshi Nihiyama, et al. Earthquake response analysis for rock slope using discontinuous deformation analysis(DDA)[J]. Japan Science and Technology Information Aggregator Electronics, 2009, 65(3): 644–662

[6] Yoshiyuki Okamura, Kazunari Sako, Ryoichi Fukagawa. Analysis of seismic displacements of slopes applied vibratory conveyance theory[J]. Japan Science and Technology Information Aggregator Electronics, 2009, 65(1): 162–173

[7] Zongjian Wang, Katsuhiko Arai, Naoki Tatta, et al. Model test and numerical analysis of slope stability during earthquake[J]. Japan Science and Technology Information Aggregator Electronics, 2007, 10: 363–374

[8] Wenbo Zheng, Xiaoying Zhuang, Yongchang Cai. On the seismic stability analysis of reinforced rock slope and optimization of prestressed cables[J]. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 2012, 6(2): 132–146

[9] [Zheng Wenbo, Zhuang Xiaoying, Cai Yongchang, et al. Modeling of pre-stressed anchors in rock slope under earthquake and optimization of anchor arrangement[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(9): 1668–1676 [郑文博, 庄晓莹, 蔡永昌, 等. 地震作用下预应力锚索对岩石边坡稳定性影响的模拟方法及锚索优化研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(9): 1668–1676]

[10] Ti Zhao, Jinzhong Sun, Bin Zhang, et al. Analysis of slope stability with dynamic overloading from earthquake[J]. Journal of Earth Science, 2011, 23(3): 285–296

[11] Ye Hailin, Zheng Yingren, Lu Xin, et al. Shaking table test on anchor bars of slope under earthquake[J]. China Civil Engineering Journal, 2011, 44(Suppl.): 152–176 [叶海林, 郑颖人, 陆新, 等. 边坡锚杆地震动特性的振动台试验研究[J]. 土木工程学报, 2011, 44(增): 152–176]

[12] Ye Hailin, Zheng Yingren, Li Anhong, et al. Shaking table test studies of pre-stressed anchor cable of slope under earthquake[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(Suppl. 1): 2847–2854 [叶海林, 郑颖人, 李安洪, 等. 地震作用下边坡预应力锚索振动台试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(增1): 2847–2854]

[13] Ye Hailin, Huang Runqiu, Zheng Yingren, et al. Sensitivity analysis of parameters for bolts in rock slopes under earthquakes[J]. Chinese Journal of Geological Engineering, 2010, 32(9): 1374–1379 [叶海林, 黄润秋, 郑颖人, 等. 岩质边坡锚杆支护参数地震敏感性分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(9): 1374–1379]

[14] Liu Jianhua, Wang You, Fu Kanglin, et al. Force analysis of anchor bolts reinforcing rock slope under simple harmonic vibration load[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(Suppl. 1): 85–90 [刘建

- 华,汪优,付康林,等. 简谐振动荷载下锚杆加固岩质边坡的受力分析[J]. 岩土力学 2012, 33(增1): 85-90]
- [15] Deng Dongping, Li Liang, Luo Wei. Stability analysis of slope protected by soil nailing under earthquake loads based on pseudo static method [J]. Rock and Soil Mechanics 2012, 33(6): 1787-1794 [邓东平, 李亮, 罗伟. 地震荷载作用下土钉支护边坡稳定性拟静力分析[J]. 岩土力学 2012, 33(6): 1787-1794]
- [16] Xu Xiaohu. A study on longitudinal dynamical regulation of anchor system with small strain [D]. Chongqing: Chongqing University, 2005. [徐晓核. 锚杆锚固系统低应变纵向动力响应规律的研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.]
- [17] GB50011-2010. Code for Seismic Design of Buildings [S]. Beijing: China Architecture Press 2010. [GB50011-2010, 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2010.]

Effects of Anchor Parameters on Seismic Performance of Anchor Slope

XU Qian^{1 2}, ZHANG Yongxing^{1 2}, CHEN Jiangong^{1 2}

(1. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area (Chongqing University), Ministry of Education, Chongqing 400045, China)

Abstract: A simplified dynamic model of interaction between anchor and rock was proposed, and according to the anchor and soil dynamic model, numerical models were established by ANSYS program. And in order to analyze the effects of changes of anchor parameters (such as elasticity modulus, cross section, length and space) on anchor slope, by changing anchor parameters, it was studied the effects of anchor parameters on anchor slope seismic performances (such as displacement, acceleration and stress). And analysis results indicate that anchor parameters have different effects on seismic performance of anchor slope, some times they may play bad role in seismic stability. Increasing cross section of anchor is able to improve seismic stability effectively (maximum decreasing amplitude of displacement is up to 33%, maximum decreasing amplitude of acceleration is up to 37.4%, and maximum decreasing amplitude of stress is up to 42.37%); and reducing anchors space is also beneficial for improving seismic performance of anchor slope to some extent (maximum decreasing amplitude of displacement is up to 7.53%, and maximum decreasing amplitude of acceleration is up to 9.85%, and maximum decreasing amplitude of stress is up to 38.3%); increasing elasticity modulus cannot constrain slope deformation effectively, instead increases horizontal seismic acceleration of slope (maximum increasing amplitude is up to 13.8%); while anchor length have little effect on improve seismic performance of anchor slope. Consequently, suitable anchor parameters should be modified so as to improve seismic performances of anchor slope. And these conclusions may provide some reference for seismic design of anchor slope.

Key words: anchor parameters; anchor slope; seismic performance; ANSYS; seismic stability