

红层软岩边坡岩体工程特性研究

邱恩喜, 谢 强, 赵 文, 胡启军

(西南交通大学土木工程学院, 成都 610031)

[摘 要]通过调查研究四川地区80个红层软岩边坡的几何形状、结构面产状、边坡岩体强度等特征,探讨了块度、回弹值、回弹比、JRC、坡高与坡度的关系。提出了回弹比,分析其与坡度、稳定性间的相关关系,指出回弹比是对边坡稳定性影响的一个重要因素。确定了各因素对坡度的影响的重要性依次是块度、回弹值、回弹比、JRC和坡高。

[关键词]红层 软岩 边坡 回弹比

[中图分类号]P583;P584;TU457 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2007)05-0096-05

在我国西南、中南、华南广大地区,红层软岩普遍分布。已有的研究资料表明,红层软岩是一种特殊岩土,具有易崩解、易风化、遇水易软化等特点^[1]。特别是在西南地区,由于铁路所经地区山间谷地众多,气候湿润多雨,排水不畅,这种特殊环境地质条件下,红层沉积为特殊软粘土(俗称“松软土”,规范无正式定名)。红层几乎都是红色岩层,红色砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂岩、砂质页岩、页岩、泥岩等互层产出。如四川盆地侏罗系沙溪庙组、遂宁组、蓬莱镇组等地层。在这些软硬相间岩层中,软弱岩层成为红层岩土体薄弱部位,软弱结构面的存在是红层滑坡等病害的主要原因,软硬岩层差异风化明显,岩体中节理发育,岩体破碎,常在工程中引起边坡的崩塌破坏。随着红层地区工程建设发展,红层软岩边坡的稳定性成为影响工程建设的一个重要问题。由于红层自身特殊的工程特性决定了红层软岩边坡问题的复杂性。本文通过对四川成南高速、遂渝铁路、达成铁路、318国道、101省道等80个边坡进行调查研究,研究了红层软岩边坡岩体参数的统计特征,分析影响边坡的坡度的各个因素及其影响程度,为今后边坡工程建设中红层软岩边坡的设计中各参数的选择和合理应用提供参考。

1 红层软岩边坡及边坡岩体参数的统计特征

通过野外大量的边坡调查,得到了软岩边坡的基本特征和边坡岩体参数的统计特征。边坡的特征

调查对分析当前红层软岩边坡的现状、红层软岩边坡设计及稳定性分析提供可靠的实际依据。下面逐一分析影响软岩边坡设计和稳定性分析各主要因素的统计规律。

1.1 边坡参数

边坡工点分布为四川盆地及盆地边缘地区,该地区红层受轻微及中等程度构造作用,岩层产状呈水平或稍倾斜。从图1中可以看出,调查边坡岩层倾角分布为三部分:倾角 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 占72.3%, $11^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 占25%, $41^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 占2.7%。岩层倾角为 3° 的分布概率为27%。

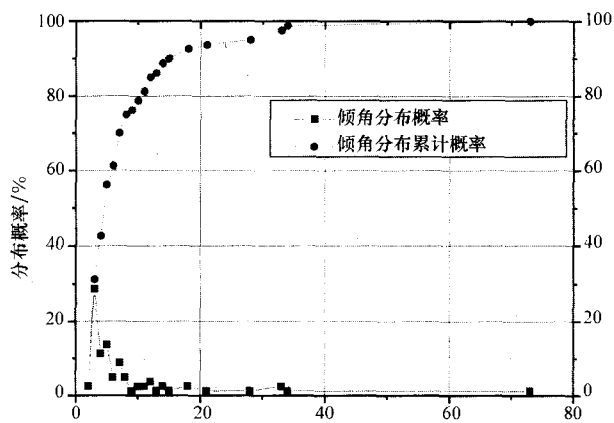


图1 岩层倾角分布曲线

边坡参数主要是坡度和坡高。在调查的80个软岩边坡当中,坡度分布曲线和累计分布曲线如图2。从图中可以看出坡度分布于两个区段,一个区段

[收稿日期]2007-06-27;[修订日期]2007-09-07。

[基金项目]铁道部科学基金项目(2004G026)

[作者简介]邱恩喜(1981年—),男,2006年毕业于西南交通大学,获硕士学位,在读博士研究生,现主要从事道路边坡工程研究。

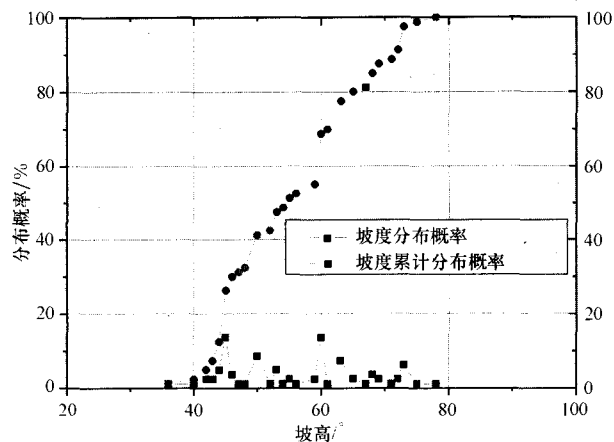


图2 坡度分布曲线

是 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$, 另一区段是 $55^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 。峰值坡度分别约为 45° 和 60° 。

坡高的分布曲线和累计分布曲线如图3所示。从图3可以看出坡高呈正态分布, 累计分布曲线为前陡后缓的折线递增。坡高分布峰值在20m附近。坡高小于40m的边坡数占边坡总数的约92%。

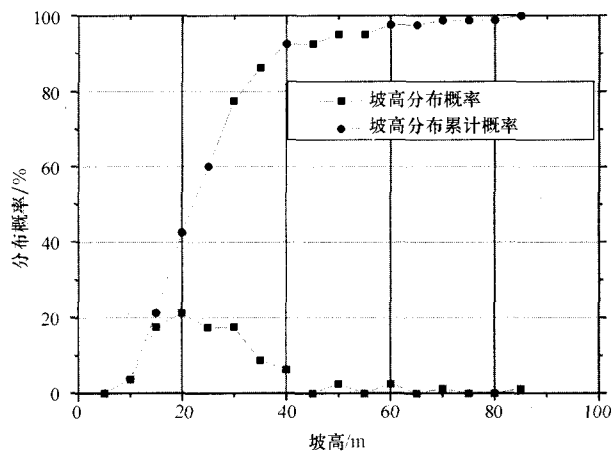


图3 坡高分布曲线

1.2 边坡岩体结构参数

边坡结构面参数主要包括结构面组数、结构面长度、结构面间距、结构面 JRC 和结构体块度。

结构面组数主要反映岩体被切割的强烈程度。统计表明, 软岩边坡中结构面组数为 3~4 组的约占 80% 以上。软岩边坡明显存在节理影响。

结构面长度反映岩体被切割的规模大小。调查统计表明, 软岩边坡结构面长度为 0.3m。

结构面间距表明结构面发育的密集情况。图4显示结构面间距峰值 0.2m, 1m 以下间距的结构面占全部样本的 95% 以上, 百分比累积曲线明显表现

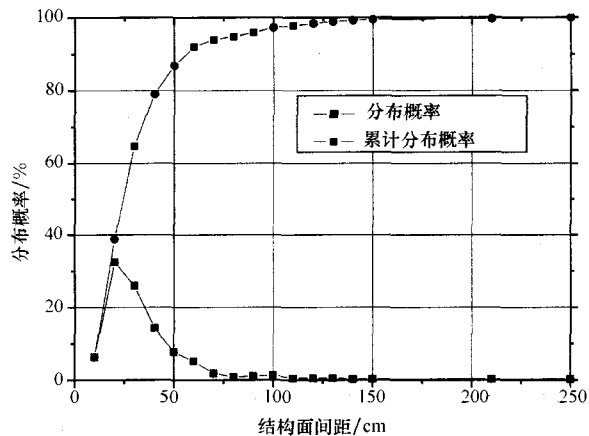


图4 结构面间距分布曲线

为对数型。

结构面粗糙度反映结构面抗剪强度性能。结构面粗糙度的分布曲线及累计分布曲线如图5。图中结构面粗糙度峰值 JRC 系数为 8, JRC 系数 8~12 的占 65%。

结构体块度是表示岩体完整程度的直观指标。结构体块度也简称块体尺寸, 是用结构面的间距按几何平均的方法求得的。块度的分布曲线及累计分布曲线如图6。图中块度呈对数正态分布, 块度峰值 30cm, 40cm 以下块体的边坡约占全部样本的 80%, 累计分布曲线表现为前陡后缓型。

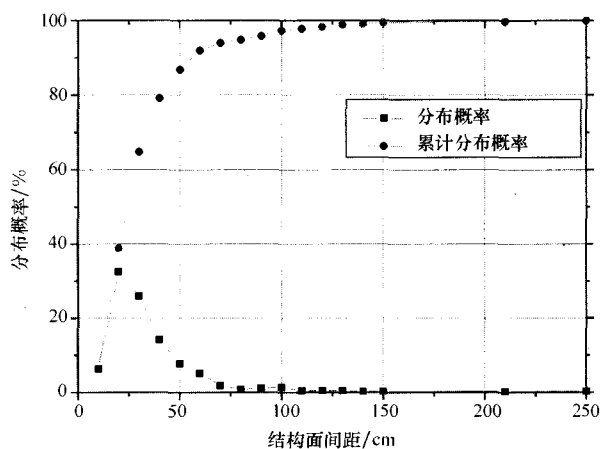


图5 JRC 分布曲线

1.3 边坡岩体回弹强度

边坡岩体回弹强度是以回弹值表示的, 它反映边坡表层岩体的强度。由于调查的 90% 以上的边坡为砂岩泥岩互层, 所得到的回弹值主要为 2 组, 回弹仪型号 HT225。图7绘出了回弹值的分布曲线和百分比累积曲线。从图可知, 边坡岩体回弹值呈较

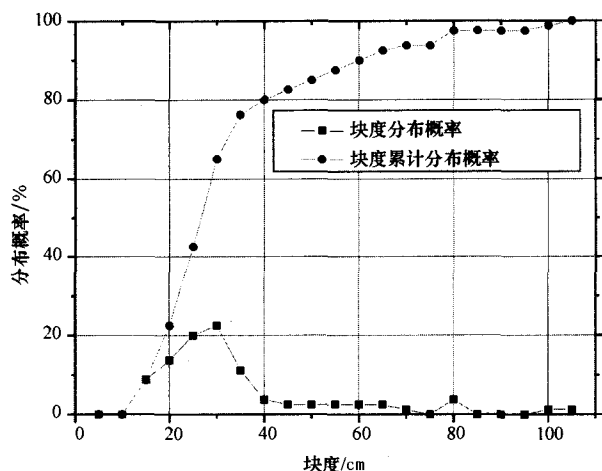


图6 块度分布曲线

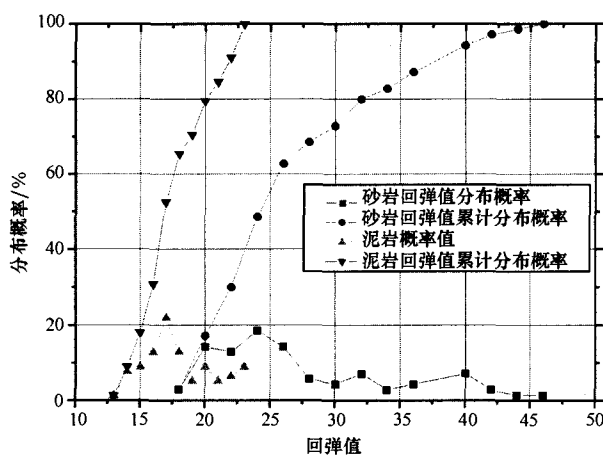


图7 回弹值分布曲线

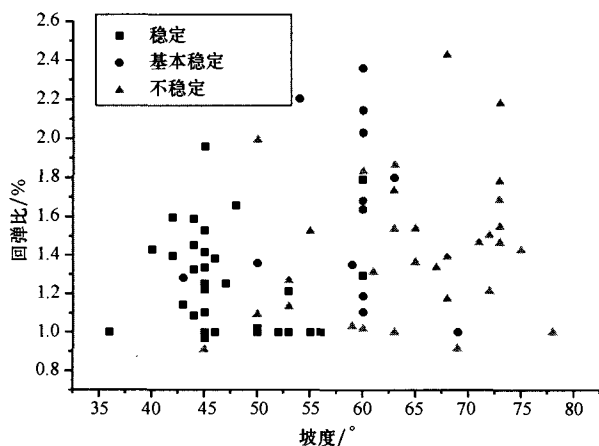


图8 边坡稳定性与回弹比及坡度间关系

规则的正态分布,泥岩峰值回弹值 17,回弹值为 15 ~ 20 的边坡占 60%。累计曲线略呈 S 型。砂岩峰值回弹值 24,回弹值为 25 ~ 30 的边坡占 50%。百

分比累积曲线略呈前陡后缓型。

在大量的调查边坡中,砂岩的强度要高于泥岩,泥岩的抗风化能力要低于砂岩,野外调查发现未做防护的边坡均出现差异风化引起的破坏。为了研究强度差异对稳定性的影响,本文提出了回弹比,即砂岩的回弹值与泥岩的回弹值的比值。图 8 绘出了回弹比、坡度与稳定性三者的关系散点图,从图中可以看出,回弹比在 1.0 ~ 1.5 的边坡占 61%, 1.5 ~ 2.0 的占 26%。稳定边坡的坡角集中在 42° ~ 46°,基本稳定边坡坡角集中在 60° 左右。不稳定的边坡坡角分布范围较大,在 60° ~ 75° 之间。随着回弹比增加,边坡的稳定性降低,可见回弹比也是影响边坡稳定性的一个主要因素,在红层软岩边坡稳定性评价中是一个不可或缺指标。

2 红层软岩边坡坡度与各因素关系的统计分析

为了弄清岩体参数对边坡坡度的影响,必须研究岩体各参数与边坡坡度的关系。大量的理论研究和试验研究已经指出岩体各结构参数对边坡坡度有直接影响,然而,各因素所起作用的大小一直难以明了。蒋爵光^[2]等人(1991)用灰色关联理论分析过岩体结构各因素在边坡分析中的相关性系数,按与坡度相关的重要性排列,各因素的顺序依次是:回弹值 0.98、粗糙度 0.98、产状 0.94、块度 0.92、结构面长度 0.87。谢强^[3]等人通过统计的方法研究了硬质边坡岩体结构各因素在边坡分析中的相关性系数,研究结果表明各因素的顺序依次是,块度 0.2551、回弹值 0.2311、长度 0.2258、JRC0.0846、组数 - 0.0084、坡高 - 0.0595。

为了更直观地阐述各因素对坡度的影响,利用调查数据作散点图来研究两者相关性和相互关系。为了排除各因素度量单位不同引起的数据差异,对原始数据作标准化处理,将数据化为 0 ~ 1 间的值。参数对应的坡度按分段取均值处理。各参数散点图特征分述如下。

1) 岩石回弹值:砂岩回弹值与坡度的关系的散点图见图 9。图示回弹值与坡度成较为均匀的带状,随着回弹值的增大,坡度增加,表明砂岩回弹值与坡度有较好的相关关系和线性关系。分析结果表明泥岩的回弹值与坡度的相关性比较差,如果不考虑红层软岩边坡的差异风化,互层中砂岩的强度对边坡坡度影响程度要大于泥岩的强度。

2) 回弹比:边坡岩石回弹比与坡度的关系散点图见图 10。图示回弹比与坡度亦呈带状分布,随着

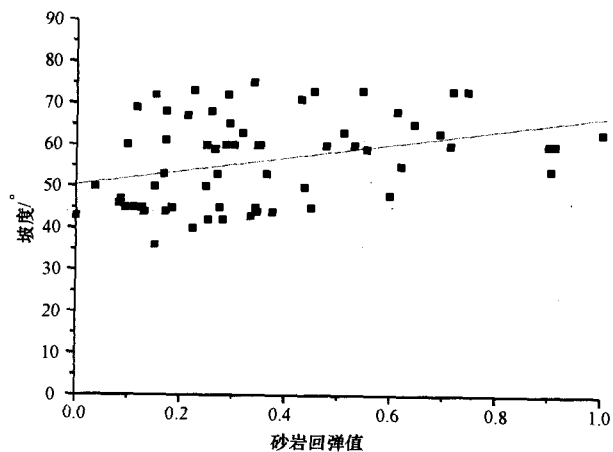


图9 回弹值与坡度的散点图

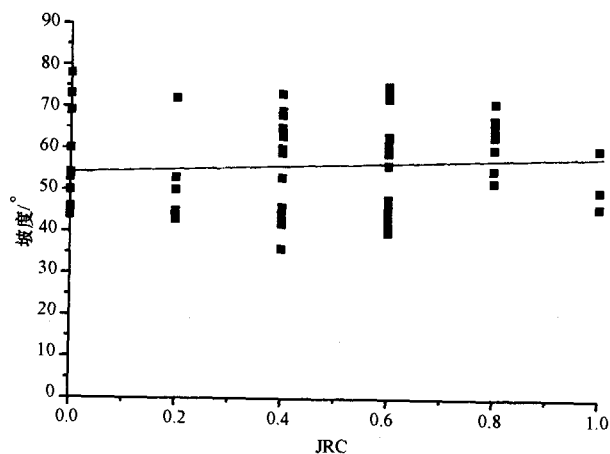


图11 JRC与坡度的散点图

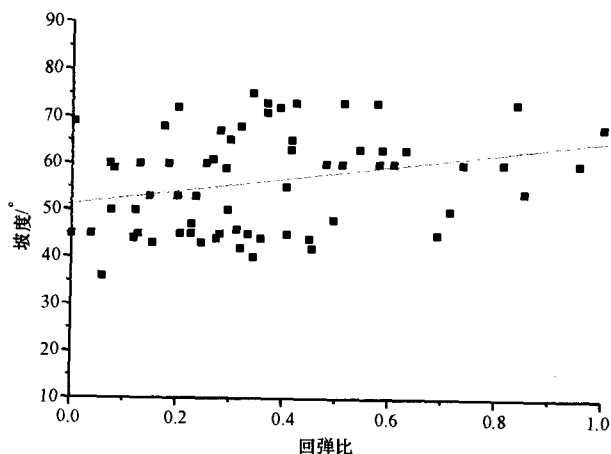


图10 回弹比与坡度的散点图

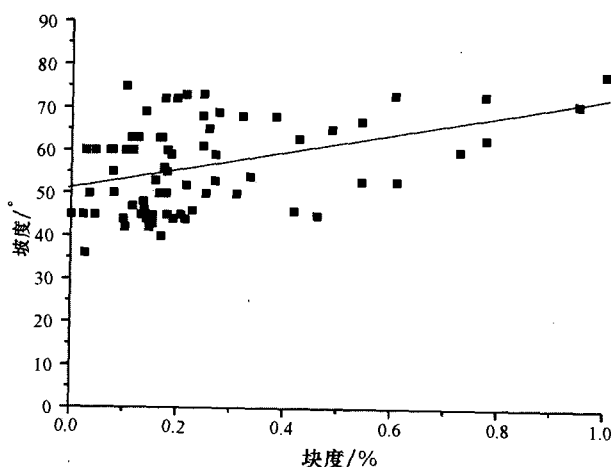


图12 块度与坡度的散点图

回弹比的增大,坡度增加,表明回弹值与坡度有较好的相关关系和线性关系。

3) 结构面组数:野外调查的边坡的结构面组数主要为3~4组,结构面组数的变化引起的坡度变化不明显,表明结构面组数与坡度的相关关系差。

4) 结构面 JRC:结构面 JRC 与坡度的关系的散点图见图 11。图中结构面 JRC 与坡度之间有较平缓的带状趋势,表明结构面 JRC 与坡度相关关系不强,数据较分散。

5) 岩体块度:岩体块度与坡度关系的散点图如图 12。在块度较小时散点较密集,随着块度增加,岩体块度与坡度呈带状增加关系,表明坡度与块度是相关的。

6) 坡高:为了探讨坡度和坡高的相互关系,将坡度和坡高的散点图绘于图 13。图中可见,散点基本上呈带状分布。随着坡高的增加,坡度有下降的趋势,表明坡高与坡度有一定相关关系。

为了对比各因素与坡度的相关性,对各散点图

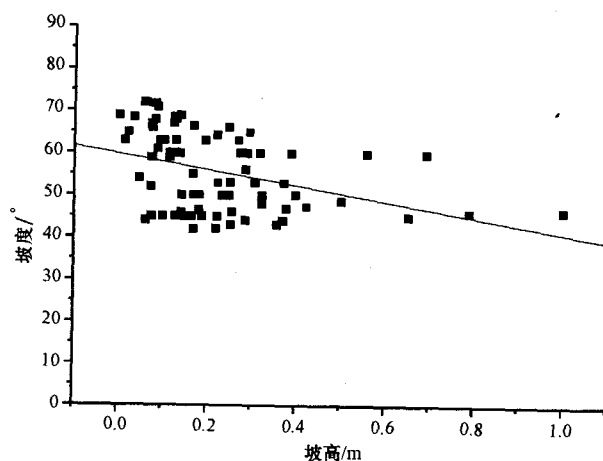


图13 坡高与坡度的散点图

分别进行线性拟合,对直线斜率大小进行对比。斜率越大,则相关关系越明显。在表 1 中,列出了各因素散点拟合直线的斜率。表中可见,按斜率大小排列的各因素对坡度影响的重要性的顺序依次是块

度、回弹值、回弹比、JRC、坡高。与文献[2][3]前述的关联分析结果对照,可以发现,除了坡高、回弹比这两个因素,其结论基本上是相同的。相对于硬岩边坡来说,红层软岩边坡坡高这个因素是不容忽视的。这里没有统计产状与坡度的关系,因为调查的红层边坡岩层的几乎为缓倾,产状变化不大,只有个别边坡由于受构造影响出现倾角较大的现象。

表1 各因素与坡度散点关系拟合直线斜率

因素	块度	回弹值	回弹比	JRC	坡高
斜率	21.19672	16.25748	13.61197	3.78849	-18.6002

3 结论

1) 统计分析了红层软岩边坡现状,构造出一个红层软岩边坡标准模型。按统计数据,标准模型的参数指标是:岩层倾角:3°。坡高 20m;坡度 45°、60°;回弹值:砂岩 24、泥岩 17;回弹比:1.5;结构面组数 4;岩体块度 30cm,结构面长度:0.3m,间距:0.2m;JRC 值:8。由此可知,当前红层软岩边坡的外观特点是坡度较陡、坡高较矮,并且有显著的岩体结构控制的特征。

2) 提出了砂岩与泥岩的回弹比与坡度间的关系与边坡稳定性间的相关关系。结果表明随着回弹比增加,边坡的稳定性降低,差异风化造成边坡失稳,可见回弹比同样是影响边坡稳定性的一个主要因素。

3) 坡度与各因素间的统计关系显示,红层软岩边坡各因素对坡度影响的重要性依次是块度、回弹值、回弹比、JRC 和坡高。与硬质边坡不同的是坡高

对坡度影响显著增强,同时回弹比也是一个重要的影响因素。

4) 针对红层软岩边坡的岩体参数、坡度与各因素相关关系的分析,确定了边坡各个因素对边坡坡度的影响度,为红层软岩边坡设计中参数的选择和合理应用提供参考。

[参考文献]

- [1] 冯启言,韩宝平,隋旺华. 鲁西南地区红层软岩水岩作用特征与工程应用[J]. 工程地质学报,1999,17(3):266~271.
- [2] 蒋爵光,钱惠国. 影响铁路岩石边坡稳定性因素的关联分析[J]. 西南交通大学学报,1991,(2):23~29.
- [3] 谢强. 铁路岩石边坡研究[D]. 西南交通大学博士学位论文. 成都:西南交通大学土木学院,1998.
- [4] 肖克强,周德培,李海波. 软岩高边坡开挖变形规律的物理模拟研究[J]. 岩土力学,2007,28(1):111~122.
- [5] 黄绍槟,程强,胡厚田. 四川红层分布及工程环境特征研究[J]. 公路,2005,(5):81~85.
- [6] 胡厚田,赵晓彦. 中国红层边坡岩体结构类型的研究[J]. 岩土工程学报,2006,28(6):689~694.
- [7] 孙乔宝,李文龙,刘宗选,等. 红层软岩的岩体结构及边坡变形特征探讨[J]. 公路交通科技,2005,22(5):47~51.
- [8] 左文贵,彭振斌,杜长学. “长·株·潭”地区“红层”工程性质的研究[J]. 地质与勘探,2005,41(5):90~91.
- [9] 任光明,宋彦辉,聂德新,陈龙. 软弱基座型斜坡变形破坏过程研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(9):1510~1513.
- [10] 赵明华,陈炳初,苏永华. 红层软岩崩解破碎过程的分形分析及数值模拟[J]. 中南大学学报(自然科学版),2005,22(5):667~671.
- [11] 杜时贵,樊良本. 岩体结构面粗糙度系数的统计估测[J]. 地球物理学报,1999,42(4):577~580.
- [12] 陈建平,唐辉明,刘佑荣,等. 京珠高速公路大悟段高边坡加固设计方法探讨[J]. 地质与勘探,2000,36(2):45~48.

RESEARCH ON ENGINEERING CHARACTERISTICS OF SOFT ROCK SLOPE MASS IN RED BEDS

QIU En-xi, XIE Qiang, ZHAO Wen, HU Qi-jun

(School of Civil Engineering Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: Through investigate 80 red beds soft rock slopes in Sichuan area, research the geometry shape, attitude of structural surface, strength characteristic of slope rock, and so on. Present the rebounding ratio, and analyse the relationship of degree of slope, rebounding value and stability, point out that rebounding ratio is a important factor of effecting the stability of slope. and discuss the relationship of lumpiness, rebounding value, rebounding ratio, JRC, height of slope and the degree of slope, confirm the influencing degree of all kinds of factors to the degree of slope, and the order is lumpiness, rebounding value, rebounding ratio, JRC and the degree of slope.

Key words: red beds; soft rock; slope; rebounding ratio