

文章编号: 1000-7598 (2011) 03-781-08

滚石冲击荷载下棚洞结构动力响应

何思明^{1,2}, 沈 均^{1,2}, 吴 永^{1,2}

(1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 成都 610041; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要: 钢筋混凝土棚洞结构是西部滚石灾害多发区最为有效的滚石防护结构, 一般通过在棚洞顶部铺设一定厚度的砂砾石垫层来达到缓冲吸能的目的。在棚洞结构设计中, 确定滚石冲击力大小是关键, 而目前国内外尚无合理的计算公式, 严重地影响了滚石棚洞结构工程应用。由于滚石冲击能量大, 冲击时间短暂, 涉及到结构大变形和复杂的能量转换关系, 因而滚石冲击荷载下棚洞结构的动力响应研究难度较大。以实际滚石棚洞结构为原型, 采用动力有限元对滚石冲击过程进行了数值仿真, 研究滚石在不同冲击角度下棚洞结构的动力力学响应, 为滚石防护工程设计提供理论基础。

关 键 词: 滚石; 斜向冲击力; 棚洞结构; 数值模拟; 动力响应

中图分类号: TU 443 **文献标识码:** A

Rock shed dynamic response to impact of rock-fall

HE Si-ming^{1,2}, SHEN Jun^{1,2}, WU Yong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: The rock shed is the most effective protective structures against rock-fall in mountainous areas; generally, a slab covered with sand-gravel cushion in the zone exposed to falling blocks, which acts as a shock absorber. To determine the impact force is key problem in design of rock shed; however, there is no reasonable calculation formula which result in great waste in project and restrict its application. Meanwhile, as large impact energy, short impact time, involving large deformation and complex energy conversion, the study of dynamic response is also difficult to carry out. This paper takes the rock shed as prototype, using the dynamic finite element method to investigate the impact response of rock shed to rock-fall. The results can provide theoretical base for rock shed design.

Key words: rock-fall; oblique impact; rock shed; numerical simulation; dynamic response

1 引 言

崩塌、落石是山区常见的地质灾害之一。为了防治滚石灾害, 通过长期的工程实践, 建立了以看(预警报装置, 设点看守)、清(清除危石)、支(支挡加固, 护坡护墙)、接(墙接同拦)、固(锚固, 喷锚封闭)为主的主动防护措施, 以及遮拦(明洞、棚洞)、防护(SNS 软网防护)、绕避(改线绕行)为主的被动工程防治措施。实践证明, 这些措施对防治崩塌落石病害都是行之有效的。从适用条件和功能来讲, 这些防治措施各具特点, “看”仅能减轻危害, 并不能防治危害; “清”对行车影响较大并极易产生新的病害; “支”、“固”首先要建立在坡面稳定且整体性好的情况下, 同时这类结构物较高, 施

工难度大, 一旦实施不好, 这些结构物本身即可成为崩塌的物质来源; 而喷锚施工时, 锚杆的锚固亦会破坏岩面; “接”是较好的结构形式, 但缺乏“遮避”的功能; “软网防护”对破碎岩面小规模落石能起到较好的防护, 但对中、大规模崩塌的防治尚未经过实践的检验; 改线绕避是最为有效且彻底的防治措施, 但投资太、工期长, 一般只在滑坡或泥石流等灾难性危害多发区采用, 而遮拦建筑物不仅投资适中, 利于机械施工, 同时具有侧向拦截和顶部遮避线路的双重功能。

伴随国家经济建设和西部大开发的需要, 我国西部山区掀起了大力建设交通基础设施浪潮。特别是 5·12 汶川大地震诱发了大规模的滚石灾害, 鉴于滚石灾害具有随机性和突发性的特点, 滚石灾害越

收稿日期: 2009-09-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 40872181); 国家重点基础研究发展计划资助 (No. 2008CB425802); 四川省科技计划项目 (No. 2008JY0004)。
第一作者简介: 何思明, 男, 1968 年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事山地灾害形成机制与防治技术研究工作。E-mail: hsm112003@yahoo.com.cn

来越突出,成为灾后恢复重建的难点问题。

Mougin 等^[1]采用模型试验方法研究了滚石对棚洞混凝土板的冲击;而 Delhomme 等^[2]综合采用数值仿真和大比例尺模型试验研究了耗能减震棚洞结构的作用机制,并给出了实用设计方法;Ronco 等^[3]利用 FEM 研究了加筋土拦石墙的动力响应,Kishi 等^[4]开展了预应力钢筋混凝土方式防护结构极限冲击抗力的试验研究。

近年来,国内学者对滚石灾害的研究也越来越重视,何思明等^[5-8]以接触力学为基础分别研究了滚石的回弹恢复系数、冲击力的计算以及滚石坡面运动轨迹的预测 ρ 。

一般认为,采用棚洞结构进行滚石灾害防治是最为有效的工程措施。典型的棚洞结构一般由两部分组成:其一是钢筋混凝土框架;其二是覆盖在框架顶部一定厚度的缓冲垫层材料,垫层材料一般为砂砾石或黏土材料。在滚石冲击作用下,通过垫层材料的缓冲作用将部分冲击压力传递到防护结构上,成为滚石防护结构设计需要考虑的主要荷载。

施加在滚石防护结构上的冲击荷载与滚石的质量、形状、冲击速度、冲击角度、垫层材料的厚度、物理力学性质等因素密切相关,如何定量评价滚石冲击压力成为滚石防护结构设计的关键^[9-13]。

目前,国内对滚石灾害的基础研究比较薄弱,国家还没有可供参考的滚石防护结构设计方面的技术规范和技术标准,广大工程技术人员对滚石灾害的防护设计无据可依,因而存在很大的盲目性。比如,在川藏公路然乌—八宿段修建的一处钢筋混凝土滚石防护结构,在竣工仅 1 a 后,就有多处被滚石砸坏,丧失了滚石防护功能。因此,开展滚石灾害对棚洞冲击响应研究,探索滚石冲击荷载下施加在棚洞上的冲击压力,进而提出合理的棚洞耐冲击设计理论和维护管理措施,对于保证这些生命线工程的安全,具有重要的科学意义和现实意义。

滚石冲击多为斜向冲击过程,冲击过程具有历时短暂,涉及到大变形和复杂的能量转换关系,因而对其进行细致研究的难度较大^[14-18]。本文以实际滚石棚洞结构为原型,采用有限元法对滚石冲击过程进行数值仿真,研究滚石在不同冲击角度下棚洞结构的动力响应,为滚石防护工程设计提供必要的依据。

2 滚石对棚洞结构冲击的数值模拟

2.1 问题描述

考察如图 1 所示的典型滚石棚洞结构,假定滚

石以不同的入射角度和不同的冲击速度冲击垫层,则棚洞结构的动力响应特征必受到冲击速度、冲击角、垫层材料厚度以及滚石性质等因影响。考虑到砂砾石垫层材料的相对刚度较小,为研究方便,将滚石简化为刚性球体。

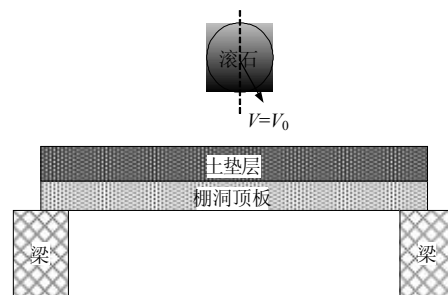


图 1 滚石冲击棚洞的计算模型

Fig.1 Calculation model of impact of rock fall on rock shed

2.2 模型材料参数及本构模型

混凝土棚洞结构采用 Drucker-Prager 本构模型,而垫层材料则满足 Mohr-Coulomb 准则,相关的计算参数见表 1。ABAQUS/Explicit 模块在分析动力冲击时,采用 Drucker-Prager 本构模型比较方便,所以要对垫层土体的本构模型进行参数转换。

表 1 垫层和混凝土的材料力学性质

Table 1 Mechanical properties of cushion and concrete

材料	ρ /(g/cm ³)	E /GPa	μ	φ /(°)	c /kPa	p_y /MPa
砂石垫层	2.00	0.039	0.3	35.0	50	
混凝土	2.40	25.00	0.2	50.2		13

三维问题中 Mohr-Coulomb 模型与 Drucker-Prager 模型参数的转换关系如下:

$$\tan \beta = \frac{6 \sin \varphi}{3 - \sin \varphi} \quad (1)$$

式中: φ 为垫层土体的内摩擦角。

$$K = \frac{3 - \sin \varphi}{3 + \sin \varphi} \quad (2)$$

$$\sigma_c^0 = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \quad (3)$$

式中: c 为垫层土体的黏聚力。

为了使屈服面保持为凸面,要求 D-P 模型的 $K \geq 0.778$, 所以式 (2) 可以写成:

$$\sin \varphi = 3 \left(\frac{1 - K}{1 + K} \right) \quad (4)$$

上式意味着 $\varphi \leq 22^\circ$, 显然这个 φ 值是不够的, 许多材料的摩擦角都大于 22° , 此时可选择 $K=0.778$, 利用式(1)求出 β , 用式(3)定义 σ_c^0 来进行处理。这样处理实质上是只用三向受压的试验来确定两者的参数转换关系, 是在不考虑中间主应力 σ_2 对破坏影响的条件下对 Mohr-Coulomb 模型的最好的标定, 故得 $K=0.778$, $\beta=40.56^\circ$, $\sigma_c^0=148.26 \text{ kPa}$ 。

2.3 数值计算模型

拟定棚洞梁截面为 $0.7 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$, 棚洞板跨度为 8 m , 厚 0.3 m , 砂砾石层厚 0.4 m , 计算宽度取 3 m 。设滚石为石灰岩, 半径为 0.5 m , 密度为 2.5 g/cm^3 , 对应质量 $m=1309 \text{ kg}$, 转动惯量 $I=130.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。由于滚石刚度相对于垫层土体大许多, 可将滚石等效成刚体, 取滚石冲击速度为 $V_0=20 \text{ m/s}$ 。冲击角度分别取 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 共6种情况。

建立的数值计算模型如图2所示, 共3个部分, 分别为梁、棚洞顶板(含垫层)和滚石, 棚洞顶板下层 0.3 m 厚部分赋钢筋混凝土属性, 上层 0.4 m 厚部分赋垫层土的属性。

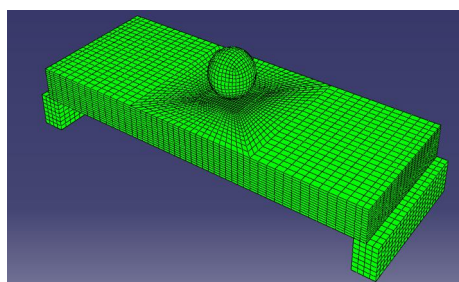


图2 数值模拟模型图

Fig.2 Model graph of numerical simulation

棚顶楼板和土垫层属性设置: 用数据面将该部分分成两部分, 分别赋钢筋混凝土和土的材料属性。

滚石设置: 在滚石刚体中心建一个参考点, 在参考点建立一个 Inertias, 添加质量和转动惯量。

接触设置: 滚石下表面区域和垫层中间 $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$ 方形区域设置面接触。

楼板和梁之间约束设置: 用 tie 命令, 将楼板和梁接触的面贴在一起, 即共节点。接触设置和此约束设置如图3亮点所示。

边界约束: 梁底部与墙体接触的节点约束3个方向自由度, 如图4所示。

分析步设置: 设一个动态显式分析步(dynamic explicit) Step-1。Step-1分析步的时间设为 0.2 s , 时间增量类型为自适应, 限定最大值为 $2 \times 10^{-5} \text{ s}$ 。

输出设置: 在时间历程输出中, 除默认的能量输出外, 另外添加接触力、接触面积输出, 即将

Domain 选为 Interaction, 选择 Contact 中的 CFN 和 CAREA, 再将 Domain 选为 Set, 先前将滚石中心设为 Set-1, 选择 Displacement 里的 U2。将场输出和时间历程输出的间隔时间都设为 0.004 s 。

加载设置: 在 Initial 分析步中, 给滚石参考点一个不同角度下的冲击速度 20 m/s , 对其进行分解。

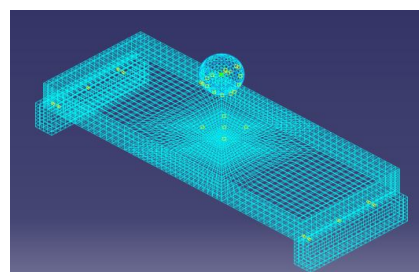


图3 棚洞梁和梁间的接触、约束设置

Fig.3 Setting contact and constraint between beam and roof

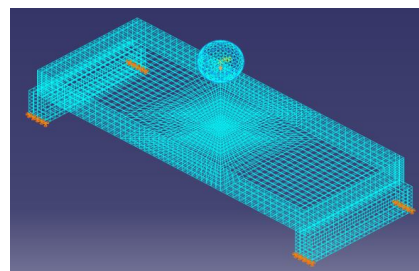


图4 边界约束设置

Fig.4 Settings of boundary constraint

3 棚洞动力响应数值计算成果

3.1 冲击接触压力与时间的关系

不同冲击角度下, 滚石冲击力(法向冲击力、切向冲击力)随时间的变化关系分别见图5和图6。结果表明: 无论是法向最大冲击力还是切向最大冲击力, 都在很短的时间内达到了最大值, 但达到最大值的时间并不同步, 切向冲击力最先达到最大值, 其后随着冲击接触时间的进一步增加而逐渐减小, 虽然曲线出现震荡的现象, 但主体趋势是一致的。

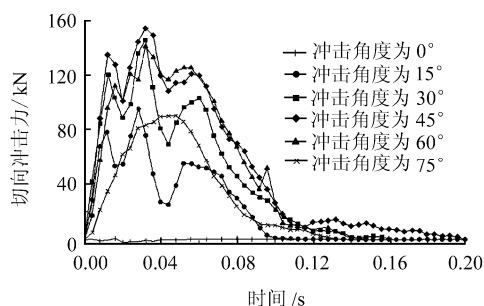


图5 切向冲击力与时间的关系

Fig.5 Relations between tangential force and impact time

从图 5 可以得出, 除法向冲击及 75° 冲击外, 斜向冲击切向冲击力在 $t = 0.028 \sim 0.032$ s 时达到最大值, 分别为 95.432、145.917、153.929、141.228 kN, 而在 $t = 0.044$ s 时, 75° 角冲击达到最大值 90.628 kN。从最大值的峰值来看, 在相同的速度下, 随着滚石冲击角度的增大切向冲击力逐渐增加, 至 45° 时达到最大, 而后随着角度的继续增加而减小。

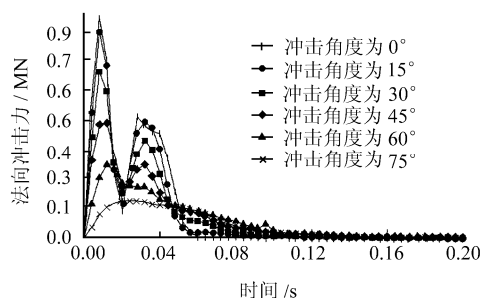


图 6 法向冲击力与时间的关系

Fig.6 Relations between normal force and impact time

法向冲击力在 $t = 0.008$ s 时, 0° 、 15° 以及 30° 冲击状态下, 冲击力达最大值, 分别是 1 120.54、1 055.2、848.466 kN; 而在 $t = 0.012$ s 时, 45° 、 60° 冲击状态下法向冲击力达到最大值, 分别是 590.188、373.078 kN; $t = 0.02$ s 时, 滚石以 75° 冲击垫层时, 法向冲击力达到最大值, 为 189.993 kN。从以上数据来看, 在相同的速度下, 随着滚石冲击角度的增大, 法向冲击力逐渐减小, 同时对应冲击力最大值时的接触时间也有所延迟。

3.2 冲击位移与时间的关系

法向位移与时间的关系曲线如图 7 所示, 随着斜向冲击角度的增加, 滚石的法向冲击深度是愈来愈小, 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 以及 75° 冲击状态下的最大法向冲击深度分别为: 0.384 96、0.373 97、0.349 28、0.306 52、0.234 31、0.130 47 m。最大压入量一般都发生在 0.04 s 左右, 即滚石速度为 0 的时刻, 随后滚石发生回弹, 垫层处的压缩变形也有部分随之恢复, 但由于冲击时产生了较大的塑性变形, 因而图中所示垫层均未恢复到初始状态, 而是仍然保持一定的永久变形。从图上可以直观地发现, 随着冲击角度的增加, 可恢复的弹性变形也呈逐渐减小的趋势。

从图 8 可知, 除法向冲击以外, 随着冲击角度的增加, 切向位移是逐渐增加的, 而且增加幅度是越来越大, 小于 45° 情况下的切向位移较小, 且随时间增长很缓慢。当超过 45° 之后, 切向位移较大, 主要是因为切向速度很大, 冲击深度较小, 摩擦耗散较小等原因所致。

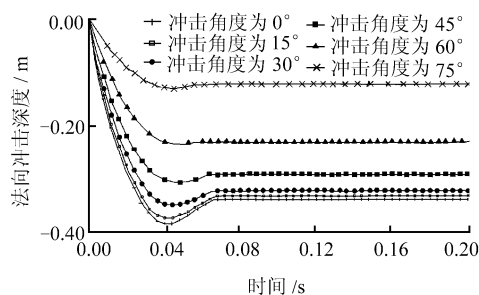


图 7 法向位移与时间的关系

Fig.7 Relations between normal displacement and impact time

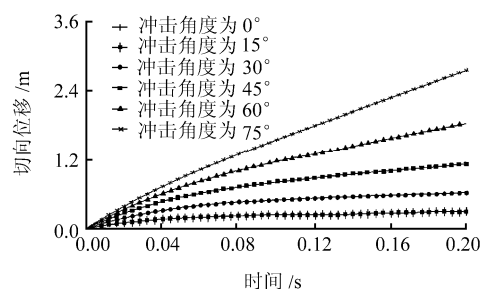


图 8 切向位移与时间的关系

Fig.8 Relations of tangential displacement and impact time

图 9 给出了滚石冲击接触过程中滚石质心的运动轨迹。结果表明, 随着滚石冲击角度的增加, 法向冲击深度逐渐减小, 切向位移逐渐增加。

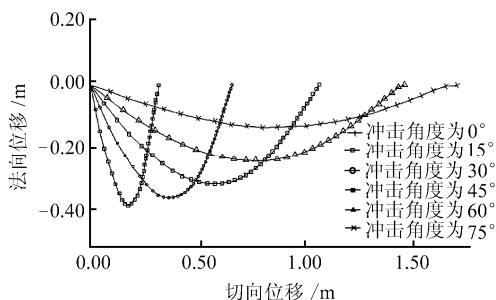


图 9 滚石运动轨迹

Fig.9 Motion tracks of rock fall

3.3 滚石冲击弹坑形状

不同冲击角度下垫层材料冲击弹坑 (永久变形) 形状如图 10 所示。随着冲击角度的增加, 法向冲击深度不断减小, 切向位移则不断增大; 当滚石冲击角度从 0° 增加到 45° 时, 冲击弹坑的一侧隆起高度不断增加, 之后随着冲击角度的继续增加, 而隆起高度则又逐渐减小 (见图 11)。也就是说, 当滚石冲击角度为 45° 时, 隆起高度达到最大值。

图 12 给出了不同冲击角度下垫层弹坑形状的模拟结果。

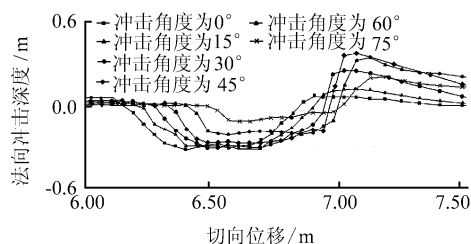


图 10 滚石冲击弹坑形状
Fig.10 Shapes of crater caused by impact of rock-fall

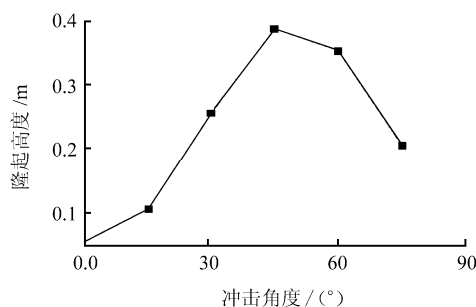


图 11 滚石冲击角度与弹坑隆起的关系
Fig.11 Relation between impact angle and crater uplift

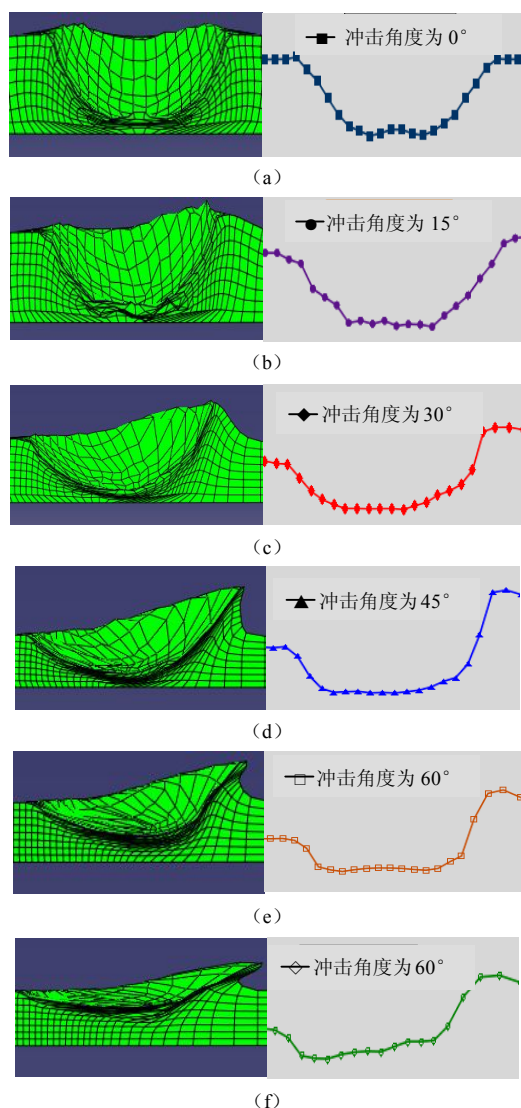


图 12 不同角度时滚石冲击弹坑形状
Fig.12 Different crater shapes under different impact angles

3.4 滚石冲击接触压力分布

表 2 为滚石在不同冲击角度下接触面上法向冲击力最大时施加在棚洞结构上的压应力和挠度。

表 2 棚洞结构上的最大压应力及挠度
Table 2 Maximum pressures and deflections on structure

角度 / (°)	时间 / s	法向最大冲击力 / kN	棚洞结构压应力 / MPa	棚洞梁挠度 / mm
0	0.008	1 120.54	9.33	2.53
15	0.008	1 055.20	8.50	2.32
30	0.008	848.47	6.06	1.75
45	0.012	590.19	5.20	2.54
60	0.012	373.08	2.75	1.24
75	0.020	189.99	1.09	1.13

图 13 给出了滚石不同冲击角度下法向冲击力最大时对应的棚洞顶板压力分布曲线。从图中可以看出: 棚洞顶板接触压应力呈抛物线分布; 随着角度的增加, 峰值压应力分布在跨度 4.0 m 左右范围内, 并呈逐渐减小趋势, 但冲击接触位置两侧的拉应力则先增大而后减小, 而且伴随斜向冲击角度的增加, 压应力分布有向右偏移的趋势, 压应力最大达到了 9.33 MPa, 而最小为 1.09 MPa。

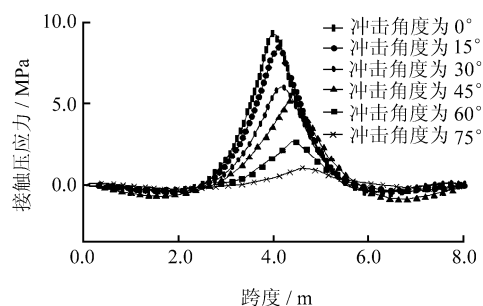


图 13 法向冲击压力最大时棚洞顶板压力分布曲线
Fig.13 Distributions of contact pressure on roof while normal impact force reaches its maximum

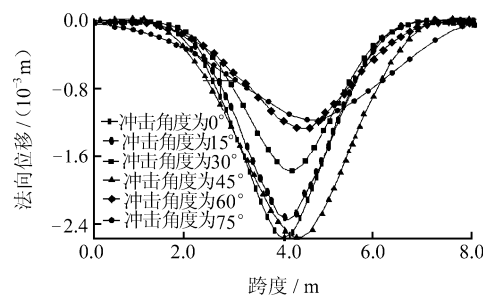


图 14 滚石法向压力最大时棚洞梁挠度曲线
Fig.14 Deflections of beam under maximum normal impact

图 14 给出了滚石不同冲击角度下法向冲击压力最大时对应的棚洞梁挠度曲线。从图 14 可以看出：在冲击压力达到最大值时，棚洞顶板的挠度是很小的。随着冲击角度的增加，挠度曲线峰值点沿 x 轴方向逐渐向右偏移，同时最大挠度值逐渐减小。

表 3 给出了滚石在不同冲击角度下法向压入深度最大时棚洞结构顶板最大压应力和棚洞梁的最大挠度。

表 3 法向最大压入深度与面板最大压应力对应表

Table 3 Maximum normal displacements on cushion and maximum contact pressures on roof

角度 / (°)	时间 / s	法向最大冲击深度 / mm	顶板最大压应力 / MPa	棚洞梁最大挠度 / mm
0	0.040	38.50	21.38	26.0
15	0.040	37.40	18.02	24.5
30	0.044	34.93	10.49	20.7
45	0.048	30.65	4.82	15.0
60	0.048	23.43	3.23	10.1
75	0.044	13.05	1.84	4.9

图 15 给出了法向冲击深度最大时棚洞结构顶板压力分布曲线。从图中可以看出：在滚石法向冲击深度达到最大时，随着角度的增加，压应力分布在冲击点 4.0 m 左右范围内，呈逐渐减小趋势；压应力的分布向右偏移的幅度较之冲击压力最大时的偏移幅度明显增加，而且冲击接触位置两侧的拉应力逐渐减小。

图 16 给出了法向冲击深度最大时棚洞梁挠度变形曲线。从图中可以看出：在冲击深度达到最大值时，棚洞梁最大挠度相比最大冲击力时的对应的棚洞梁挠度增大了几乎一个数量级。

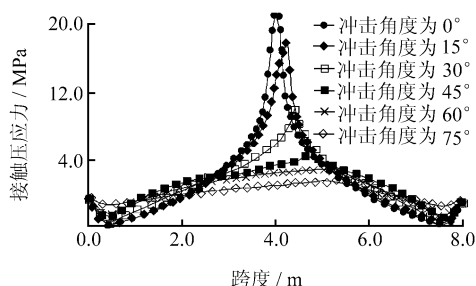


图 15 法向冲击深度最大时棚洞结构顶板压力分布曲线
Fig.15 Distributions of contact pressures on structure roof when normal impact depth arriving its maximum

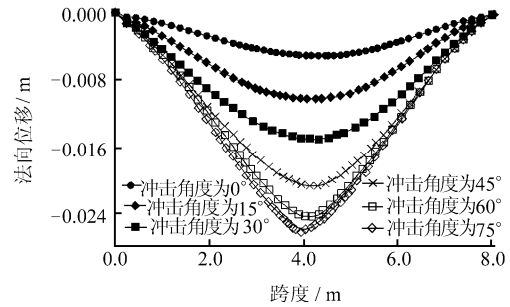


图 16 法向冲击深度最大时棚洞梁挠度曲线
Fig.16 Distributions of deflection on beam while normal impact depth arrives its maximum

3.5 滚石冲击角度对冲击特性的影响

图 17 给出了滚石冲击角度对冲击力的影响。从图中可以看出：随着冲击角度的增加，法向冲击接触力总体上呈线性减小趋势，而切向冲击力则以 45° 为对称轴，45° 之前逐渐增加，之后又逐渐减小。

图 18 给出了滚石冲击角度对垫层冲击变形的影响。结果表明：垫层法向压入深度随滚石冲击角度的增加而逐渐减小，切向压入深度则呈指数增长趋势。根据滚石碰撞恢复系数的定义，研究了滚石在不同冲击角度下碰撞恢复，结果见图 19。从图中可以发现，切向恢复系数和法向恢复系数均随冲击角度的增加而增加。

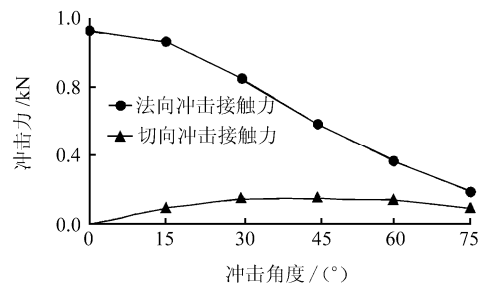


图 17 滚石冲击角度与冲击接触力之间的关系曲线
Fig.17 Relations between impact angle and impact force

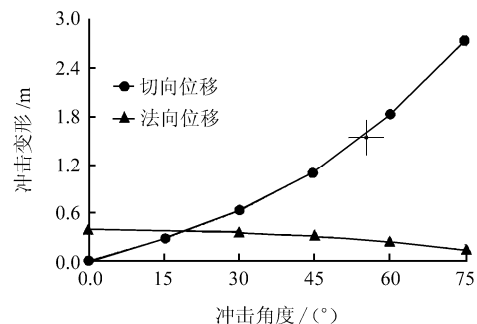


图 18 滚石冲击角度与冲击深度之间的关系曲线
Fig.18 Relations between impact angle and impact depth

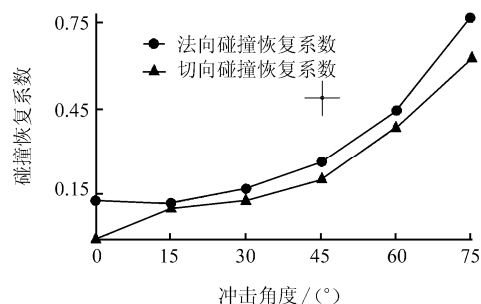


图 19 滚石冲击角度与滚石碰撞恢复系数之间的关系曲线
Fig.19 Relations between impact angle and restitution coefficient

4 结 论

将滚石简化为刚性球体, 垫层土体为弹塑性材料, 通过有限元模拟了滚石冲击荷载下棚洞结构的动力响应。通过模拟不同的冲击角度对滚石冲击特性的影响研究得出以下结论:

(1) 滚石法向冲击过程中的最大冲击压力、最大法向冲击深度均大于斜向冲击过程的相关数值, 因此, 在山区滚石防治设计中, 尤其是诸如棚洞结构这类防治设计应主要考虑法向冲击。

(2) 斜向冲击过程中, 随着冲击角度的增加, 法向冲击力总体上呈线性减小趋势, 而切向冲击力则以 45° 为对称轴, 小于 45° 之前逐渐增加, 之后又逐渐减小, 且法向冲击力始终大于切向冲击力。

(3) 斜向冲击过程中。垫层法向压入深度随滚石冲击角度的增加而逐渐减小; 切向位移则呈指数增长; 滚石速度降为 0 的时刻, 滚石发生回弹, 接触面处的弹性变形随之恢复, 但由于冲击时产生了较大的塑性变形, 因而垫层均未恢复到初始状态, 保持一定的永久变形(冲击弹坑), 而且随着冲击角度的增加, 可恢复的弹性变形逐渐减小。

(4) 斜向冲击过程中施加在棚洞顶板上的压应力均呈近似二次抛物线型分布; 冲击压力最大时对应的压应力峰值较冲击深度最大时对应的压应力峰值小, 且曲线比较平滑; 法向冲击深度最大时对应的棚洞顶板压应力分布范围较前者大; 随着冲击角度的增加, 压应力分布均向右偏移。

(5) 斜向冲击过程中, 棚洞梁挠度变形均呈二次抛物线型, 且曲线比较平滑; 冲击力最大时棚洞梁对应的最大挠度较冲击深度最大时对应的棚洞梁最大挠度小; 冲击深度最大时棚洞梁对应的弯曲变形影响范围也较冲击压力最大对应的范围大; 随着冲击角度的增加, 棚洞梁最大挠度分布曲线均向右偏移。

(6) 根据结论(4)、(5), 棚洞结构设计应以法

向冲击深度最大时对应的压应力和挠度数据进行结构设计。

(7) 滚石冲击过程中, 随着冲击角度的增加, 弹坑一侧隆起高度则以 45° 为对称轴, 冲击角度小于 45° 时, 隆起量逐渐增加, 之后又逐渐减小。

(8) 切向恢复系数和法向恢复系数均随滚石冲击角度的增加而增加。

参 考 文 献

- [1] MOUGIN J P, PERROTIN P, MOMMESSIN M, et al. Rock fall impact on reinforced concrete slab: an experimental approach [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2005, 31(2): 169—18.
- [2] DELHOMME F, MOMMESSIN M, MOUGIN J P, et al. Behavior of a structurally dissipating rock-shed: experimental analysis and study of punching effects [J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2005, 42(14): 4204—4219.
- [3] RONCO C, OGGIERI C, PEILA D, Design of reinforced ground embankments used for rockfall protection [J]. *Natural Hazards Earth System Science*, 2009, 9(4): 1189—1199.
- [4] KISHI N, KONNO H, IKEDA K. et al. Prototype impact tests on ultimate impact resistance of PC rock-sheds [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2002, 27(9): 969—985.
- [5] 何思明, 吴永, 李新坡. 滚石冲击碰撞恢复系数研究[J]. *岩土力学*, 2009, 30(3): 623—627.
HE Si-ming, WU Yong, LI Xin-po. Study on the coefficient of restitution of rock-fall [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2009, 30(3): 623—627.
- [6] 何思明, 吴永, 杨雪莲. 滚石坡面冲击回弹规律研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2008, 27(增刊 1): 2793—2798.
HE Si-ming, WU Yong, YANG Xue-lian. Study on motion of the rock-fall on slope[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(Supp.1): 2793—2798.
- [7] 何思明. 滚石冲击荷载作用下土体初始屈服特性研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2008, 27(增刊 1): 2973—2977.
He Si-ming. Study on incipient yield property of soil under rock-fall impact [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(Supp.1): 2973—2977.
- [8] 何思明. 滚石对防护结构的冲击压力计算[J]. *工程力学*, 2010, 27(9): 175—180.
He Si-ming. Calculation of compact pressure of rock-fall shield structure [J]. *Engineering Mechanics*, 2010, 27(9): 175—180.
- [9] KAWAHARA S, MURO T. Effects of dry density and thickness of sandy soil on impact response due to

- rockfall[J]. *Journal of Terramechanics*, 2005, 43(3): 329—340.
- [10] BRIZMER V, KLIGERMAN Y, ETSION I. The effect of contact conditions and material properties on the elasticity terminus of a spherical contact[J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2006, 43(18-19): 5736—5749.
- [11] LOC V Q, ZHANG XIANG, LESBURG L. Normal and tangential force-displacement relations frictional elastoplastic contact of spheres [J]. *International Journal of Solids and Structures*, 2001, 38: 6455—6489.
- [12] THORNTON C. Coefficient of restitution for collinear collisions of elastic perfectly plastic spheres [J]. *Journal of Applied Mechanics*, 1997, 64(2): 383—386.
- [13] PICHLER B, HELLMICH Ch, MANG H A. Impact of rocks onto gravel design and evaluation of experiments[J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2005, 31: 559—578.
- [14] DONG H, MOYS M H. Experimental study of oblique impacts with initial spin [J]. *Powder Technology*, 2006, 161(1): 22—31.
- [15] JOACHIM L, BERTIL S. On oblique contact of creeping solids [J]. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2002, 50(10): 2029—2055.
- [16] STRONGE W J, ASHCROFT A D C. Oblique impact of inflated balls at large deflections [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2007, 34(6): 1003—1019.
- [17] WU Cheng-qing, HAO Hong. Numerical simulation of structural response and damage to simultaneous ground shock and air blast loads [J]. *International Journal of Impact Engineering*, 2007, 34(3): 556—572.
- [18] REDDISH D J, STACE L R, VANICKKOBCHINDA P, et al. Numerical simulation of the dynamic impact breakage testing of rock [J]. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 2005, 45: 167—176.

第 10 届全国桩基工程学术会议

(1 号通知)

2011 年 10 月 14~16 日 河南 开封

随着我国城市化进程的快速推进和基础设施建设的大规模展开, 桩基成为工程中应用最广泛的基础形式, 桩基工程技术和学术研究取得了长足进步, 设计施工中涌现出诸多新的工程问题, 桩基工程研究人员和工程技术人员面临前所未有的机遇与挑战。

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会桩基础学术委员会与中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会将于 2011 年 10 月 14~16 日召开第 10 届全国桩基工程学术会议, 对我国近年来桩基工程领域的应用经验和最新研究成果进行广泛的学术交流。

会议地点选在七朝古都开封。开封是国务院首批历史文化名城和中国优秀旅游城市, 及中原经济区核心城市之一。

主办单位: 中国土木工程学会土力学及岩土工程分会桩基础学术委员会; 中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会

承办单位: 河南大学; 郑州大学; 河南工业大学; 河南理工大学; 河南省土木建筑学会

会议议题: ①理论与试验研究; ②桩基工程设计研究与实践; ③桩基施工技术 with 质量控制; ④高铁、路桥、码头工程中的桩基技术; ⑤特殊岩土中的桩基工程; ⑥桩基工程事故处理与典型案例; ⑦基桩检测与桩基风险评估; ⑧桩基工程技术标准有关问题;

论文格式要求: ①论文字数一般不超过 6 000 字 (含图表与公式)。本次会议录用论文将在《岩土工程学报》2011 年增刊上发表, 来稿请严格按照《岩土工程学报》的论文模板进行排版。②寄两份打印稿和一份电子文本, 论文中请务必注明详细通讯地址、邮编、联系电话及 E-mail 地址。

重要日期: ①2011 年 6 月 15 日前, 提交论文全文, (以当地邮戳为准); ②2011 年 7 月 15 日前, 通知作者是否录用; ③2011 年 8 月 31 日前, 提交修改后的论文; ④2011 年 10 月 14~16 日, 会议召开。

会议展位设立: 会议期间将设立标准展位, 展览内容主要包括桩基工程施工和检测的机械、设备、仪器与工艺, 新桩型, 桩基计算分析软件, 工程案例宣传等。欢迎各相关单位参展。

联系方式: ①论文投稿及相关事宜请联系: 中国建筑科学研究院地基所 李大展(信封或邮件上请注明“第 10 届全国桩基工程学术会议”字样)。

地 址: 北京市北三环东路 30 号; 邮 编: 100013; 联系电话: 010-64517585

传 真: 010-84283086; 电子邮箱: lidazhan22@163.com

②设立展位及其他会务事宜请联系: 河南大学土木建筑学院 原华(信封或邮件上请注明“第 10 届全国桩基工程学术会议”字样)

地 址: 河南省开封市金明区金明大道; 邮 编: 475004; 联系电话: 0378-3881662, 13837846452

传 真: 0378-3881662; 电子邮箱: yuanhua@henu.edu.cn

(中国土木工程学会土力学及岩土工程分会桩基础学术委员会中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会)