

# Research on the Status Quo and Development of Dangerous Rock Prevention Technology

Xuanhe Cui

School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

**Abstract:** Our country is a country with a geological disasters, dangerous rock is high steep slope hills region one of the main types of geological disasters, with a high frequency, every year, all can lead to a large number of casualties, all kinds of engineering facilities under different degree of damage, cause serious economic losses to the country. This article is based on the analysis of a large number of relevant research data at home and abroad, mainly from the destruction of dangerous rock instability mode, stability calculation, impact force calculation and prevention and control measures four aspects to analyze the existing achievements, On the basis of the development trend of the research direction were discussed. Hope research to our country mountainous area disaster prevention and control of dangerous rock engineering practice has positive significance.

**Keywords:** Dangerous rock; Instability mode; Stability calculation; Impact force calculation; Prevention and control measures

## 危岩防治技术现状及发展研究

崔烜赫

重庆交通大学土木工程学院, 重庆, 400074

**摘要:** 我国地质灾害频发, 危岩是山地高边坡灾害的主要类型之一, 而且发生频率极高, 每年均会导致大量人员伤亡, 各种工程设施受到不同程度的损坏, 给国家造成严重的经济损失。在对国内外相关资料进行研究分析后, 从危岩破坏失稳模式、稳定性计算、冲击力计算以及防治措施四个方面对现有成果进行分析, 根据结果对未来防治体系的研究方向以及发展趋势做深入探究。研究成果对我国山区危岩灾害防治工程实践有积极意义。

**关键词:** 危岩; 失稳模式; 稳定性计算; 冲击力计算; 防治措施

### 1 引言

我国的国土面积辽阔, 山区分布较为广泛, 与之相关的地质灾害也经常发生。其中, 地质灾害最主要发生的三大种类为泥石流、滑坡以及危岩崩塌, 而且这几类灾害的发生主要分布在 15 个灾害的多发地区。危岩是位于陡坡上的不稳定岩体, 一般在重力、地震、水体等诱因下发生失稳, 失稳后从岩石母体上脱落, 形成落石、崩塌。当灾害发生在居民居住区、观光景区、航道沿线、道路线路、工农业或民用设施等附近时, 不仅会给建筑物造成严重的损害, 更有可能造成人员的伤亡, 甚至导致通讯、交通中断等一系列直接或间接的经济损失。比如: 据报道, 2006 年 06 月份在四川省的康定县时济村附近, 发生了突发性的危岩崩塌灾害, 致使约有 120m<sup>3</sup> 的岩体崩塌、滑落, 这起灾害造成事故现场周边大量的人员伤亡、建筑损

毁, 并导致交通、供水、供电以及通讯的中断。

从上世纪 50 年代开始, 我国开始大量建设铁路、公路等交通基础设施, 由于不断地向山区发展, 发生危岩事故的频率也越来越大, 使各级建设部门对危岩的潜在危害进行重新审视, 经过几十年不懈的探索和研究, 我国在危岩的特点以及防治技术上, 获得了大量有效的资料和数据。基于前人的研究成果, 本文从危岩失稳模式、稳定性计算方法、冲击力计算以及防治措施四个方面进行梳理分析, 对推动我国危岩的防灾减灾具有积极意义。

### 2 危岩失稳模式

失稳模式是危岩防治研究的基础, 当我们正确确定了危岩失稳模式之后, 便可以有针对性地采用合理高效的防治措施。截止至现在来看, 在危岩失稳模式的分类研究上, 还未形成一个相对固定的评价标准,

各学会会从多个研究角度进行考虑，而提出不尽相同的分类依据。刘国明[1]按照岩体破坏时受力形式的不同，把危岩失稳分为悬臂压杆破坏以及板梁旋转移两种；张奇华[2]则把危岩失稳的模式细分成为八个种类；孙云志[3]则把其分为两种，即倾倒与滑移。

为了更好地选择适当的防治措施，根据大量的工程实践，陈洪凯[4]等认为危岩分类应依据失稳的力学机理来分析，并把其分为滑塌式危岩、坠落式危岩、倾倒式危岩（图 1-3）三种，此分类几何形态比较明显，更加容易掌握，并且已在三峡库区危岩治理中得到十分广泛的应用，实践证明该分类方法对危岩的治理行之有效。



Figure 1. Fall type dangerous rock  
图 1. 坠落式危岩



Figure 2. Slide - type hazardous rock  
图 2. 滑塌式危岩



Figure 3. Dumping hazardous rocks  
图 3. 倾倒式危岩

### 3 稳定性计算

现今在计算危岩的稳定性时，经常应用的分析法有以下四种：静力稳定性分析法、静力解析法、可靠度分析法和基于相关地质监测资料的比较辨识法。

#### 3.1 静力稳定性分析法

对于该方法的应用，首先是要确保已知危岩体的滑动面，并且能够在给定危岩材料参数条件下，确定其滑动的位移和应力等状态，同时在岩体阻滑力与滑动力相等的平衡状态下，最终计算得出材料的相关安全系数。此分析法[5]即利用沿滑移合方向具有安全储备的总阻滑力与滑动力相等为条件，来求得安全系数。

该方法虽然在一定程度上解决的危岩稳定性计算问题，但在实际的工程中难以广泛应用。原因是岩体在变形中破坏的过程相当复杂，并不是理论上完全弹性体或塑性体，因此导致该计算方法的结果与实际中的情况有一定偏差。

#### 3.2 可靠度分析法

可靠度分析法在分析危岩体的稳定性时具有明显优势，此方法的核心就在于怎样确定概率的尺度及建立与之相对应的功能函数。谢全敏[6]在对危岩的稳定性进行分析时应用了蒙特卡罗边界法。从直观上来看，这种方法就是简单的通过对危岩体的破坏概率进行求解，从而实现可进一步评价其稳定性的目的，其创新点在于可使得最终计算结果的方差大大降低。按照 G.G.Meyerhof 和 DieterD.Gensk 等学者的看法，类似于由岩质石体所组成的边坡，其最终遭受到破坏的概率往往要高于 1%。

王林峰[7]等人在可靠度理论的基础上，以长江三峡库区重庆万州太白岩南坡存在的危岩为例，对该处危岩的稳定可靠度进行了相关计算。根据其计算结果来进行的分级，与规范法和张倬元所提出的基于失稳概率两种方法进行的稳定性分级情况大致相同。

#### 3.3 比较辨识法

张奇华[2]提出了关于边坡变形产生破坏的比较辨识方法。这类比较辨识法的意义在于可以把边坡的变形和破坏的过程，与相应监测网得到的实时数据，整合在一起后再进行处理，使分析结果更加精确，具有更强的说服力。这种分析方法的不足之处在于，对大多数情况下发生的边坡变形与破坏来说，需要有相应的监测数据等资料的支撑。

#### 3.4 静力解析法

在实际的工程中，静力解析法是经常用到的分析

法,对危岩体稳定性的计算分以下 3 种情况 (图 4) :

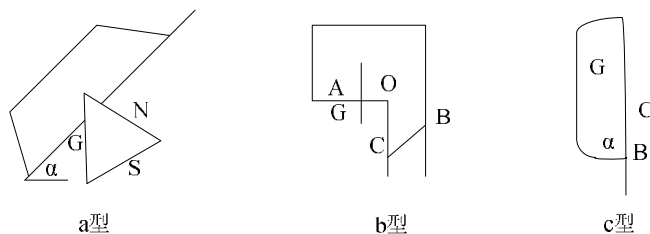


Figure 4. Stability analysis of rock mass  
图 4. 危岩体稳定性分析图

a 型: 剪切破坏, 这种情况下的稳定系数与危岩体的自重、倾斜角度、伸出长度以及岩体之间的摩擦系数、粘聚力因素等有关。

b 型: 拉应力破坏, 该情况是由于岩体重力的偏心分布而造成的, 岩体的平均抗拉强度与受到拉应力的比值即为稳定系数。

c 型: 压应力破坏, 该破坏形式下的稳定系数, 是由岩土层的平均抗压强度和岩体自身重量共同来确定的。

#### 4 冲击力计算

由于危岩体发育的不确定性, 勘察难免会有遗漏, 很多危岩体锚固施工难度较大。危岩体的崩落在时间和空间上都具有不确定性, 能正确计算落石冲击力的大小, 对于选择合适的防治措施尤为重要。现在, 国内外存在有关落石冲击力的主流计算方法为以下五种:

路基规范方法的计算公式为:

$$p = p(Z)F = 2gZ \left[ 2tg^4 \left( 45^\circ + \frac{j}{2} \right) - 1 \right] F \quad (1)$$

$$Z = V_r \sqrt{\frac{Q}{2grF}} \times \sqrt{\frac{1}{2tg^4 \left( 45^\circ + \frac{j}{2} \right) - 1}} \quad (2)$$

式中,  $P$  为落石冲击力;  $P(Z)$  即为落石在缓冲层中的受到的单位阻力;  $Z$  为落石在缓冲层当中的坠入深度;  $V_r$  为落石块体接触缓冲土层瞬间的冲击速度;  $g$  为缓冲层重度;  $Q$  为石块重量;  $j$  为缓冲层内摩擦角;  $F$  是落石等效为球体时的截面积。

隧道手册法是基于冲量定理的近似算法, 计算公式为:

$$P = \frac{Qv}{gt} \quad (3)$$

$$t = \frac{2h}{c} \quad (4)$$

$$c = \sqrt{\frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot \frac{E}{r}} \quad (5)$$

式中,  $v_0$  为落石的冲击速度;  $P$  为落石冲击力;  $Q$  为落石的重力;  $t$  为冲击的持续时间;  $h$  为缓冲土层的计算厚度;  $c$  为缓冲土层中压缩波的往复速度;  $\nu$  为回填土泊松比;  $E$  为回填土弹性模;  $r$  为回填土密度。

杨其新、关宝树针对室内试验结果, 在其数据支撑下探索出了一组经验公式, 该组公式考虑了不同的缓冲层厚度对与落石冲击力大小的影响。公式如下:

$$P = zma_{\max} \quad (6)$$

$$a = \sqrt{\frac{2gH}{t}} \quad (7)$$

$$t = \frac{1}{100} \left( 0.097mg + 2.21h + \frac{0.045}{H} + 1.2 \right) \quad (8)$$

式中,  $P$  即为落石的冲击力;  $m$  是下落石体的质量;  $z$  是和缓冲层密度相关的系数, 在试验条件下取 1;  $a_{\max}$  是落石在下落过程中所能够达到的冲击最大加速度;  $H$  是落石在做自由下落时所处的高度。

日本道路公团法建议落石最大冲击力采用的公式计算为:

$$P = 2.108 \cdot m^{\frac{2}{3}} \cdot l^{\frac{2}{5}} \cdot H^{\frac{3}{5}} \quad (9)$$

式中,  $m$  是落石自身的质量;  $l$  是拉梅常数, 通常情况下的取值为 1000kN/m<sup>2</sup>; 其余符号的意义与前

式相同。

瑞士方法是根据现场试验建立起的经验算法，落石冲击力大小按下式计算：

$$P = 1.765 \cdot M_E^{\frac{2}{5}} \cdot R^{\frac{1}{5}} \cdot (QH)^{\frac{3}{5}} \quad (10)$$

式中，ME 是在荷载板试验中所获得的缓冲土层的形变模量；其余符号的意义与前式相同。

叶四桥[8]等对以上方法进行了比较研究，他们经实验研究，落石直径的取值常为 0.4m 到 2.0m，用实测数据对上述五个公式进行验证，经过反复试验对比得出，以上各种方法计算所得到的冲击力在数值上差异很大，在相同的试验环境中，用不同的试验方法所得到的结果，相差极大。他们普遍认为目前国内常用的算法计算所得的冲击力结果都会偏小，原因是所求的冲击力为平均值，而不是实际工程中所需要的最危险值，如果按该值进行落石冲击的防护工程设计，如明洞、棚洞极有可能发生较大变形、开裂甚至破坏，这在实际的工程应用中也得到了验证。相比而言，日本道路公团和瑞士所采用的方法更符合落石实际产生的冲击力，但是由于这些公式中均有一些经验型取值，使得不同的取值对得出的结果影响很大。他们认为应该摒弃国内现有算法，推荐使用日本道路公团和瑞士方法来计算落石冲击力。

刘茂[9]等在弹性力学的基础上，运用 Hertz 接触理论对路基规范方法进行修正，最终得出了最大冲击力的计算公式，以最终求得的结果比运用日本道路公团公式结果大 40% 为基准来修正其中的相应参数的取值。为了验证公式的合理性，使得对落石冲击力的评价更加符合实际，最后将所得结果与以上几种计算方法所得结果比较，由于该方法考虑了空气阻力，故而对于大体积落石的冲击力计算结果更加合理。

## 5 防治措施

当今关于危岩防治的方法有多种，但主流技术为以下三大类，分别是主动防治、被动防治、主动-被动联合防治。

### 5.1 主动防治技术

在危岩的治理过程中，尤其是对于大体积危岩来说，主动防治技术当属优势选项。该方法是将危岩体固定在岩石母体上，使其不会失稳崩落。

支撑技术：陈洪凯[11]等对危岩支撑技术进行了

深入的探讨，并分别推导出了墙撑、柱撑在倾倒式和坠落式危岩中的计算公式。

锚固技术：锚固技术也是最常用的危岩防治措施，其施工条件要求比支撑技术低。危岩锚固是指借助锚杆、锚索等工具，将危岩体固定在岩石母体上。陈洪凯[12]等基于极限平衡理论，充分地考虑了各种危岩的破坏机理，建立起了针对各类危岩锚固的计算方法。

封填及嵌补技术：在危岩体的顶部往往都会产生拉裂缝，而拉裂缝的宽度在重力和雨水的作用下会逐步增大。此时，适合应用封填技术，对危岩体顶部的裂隙和底部出现的凹腔进行封填，起到防水和减缓危岩风化的作用。

灌浆技术：灌入的浆体可以填充其内部裂隙，提高了整体稳定性，在提高相应主控结构面上的抗剪参数的同时，还可以减小裂隙水压力。

清除技术：清除技术相对简单，却对环境条件要求很高，常见的清除方法包括人工清除和静态爆破清除等。

### 5.2 被动防治技术

对于危岩失稳可能危及到的地区，这时就需要被动防护了。

拦石墙：适用于修筑在具有一定宽度的平台上，运用结构力学的方法计算拦石墙的内力。

拦石网及拦石栅栏：拦石网可在斜坡上构筑，应用范围广。可如果落石过大，拦石网就可能就失效了。叶四桥[15]等通过对落石运动轨迹、特性的探究得出结果，并结合拦石网本身所具有的特点，提出了布设的原则和布设方法。

棚洞、明洞：在隧道出口处，对落石防护的有效方法是修建棚洞、明洞。王林峰[16]等在结构动力学的基础上，充分考虑落石冲击棚洞所具有的特点和与消能支座的弹性、粘滞性，并推算出了消能棚洞的刚度计算公式。

森林防护：在各种防护方法中，这种是比较绿色的方式，且有利于生态环境。树种宜采用乔木与乔灌木相搭配，构成有机、整体的系统，进而可以大大增加整个防护体系的性能。

### 5.3 主动-被动联合防治技术

对于大型危岩带，可采用主动-被动联合防治的措



施。

锚固-拦挡联合技术：即大型的危岩体进行锚固，小型的用拦挡，尽可能地减小危岩带来的损害。

锚固-支撑联合技术：有的危岩体体积巨大，单一采用锚固技术，既不经济也不安全，在有条件的情况下应结合支撑技术，进行复合型危岩体防治。

## 6 危岩防治体系的发展

就目前而言，关于危岩的防治研究水平还很低，在很多方面都停留在经验水平上，随着山区经济的快速发展，特别是山地公路等基础设施的建设，急需更高的防治体系来治理危岩。针对未来危岩防治技术体系的发展问题，我认为可从以下 5 个方面来进行更加深入的研究：

关于危岩的破坏模式：对于这个问题，在国内尚未形成一个统一的意见，急需在业内建立起一个相对统一的体系标准。

关于危岩形成过程中的的卸荷扩展机理：危岩体的形成以及发育，是由于内外各种因素耦合作用的结果，但是目前对于危岩体卸荷发展的过程的研究尚不明确。

关于荷载与荷载组合：在危岩防治中计算荷载和荷载组合的选取是非重要，不仅要考虑之重，也要考虑地震，水以及共同作用的影响。

关于稳定性计算方法：现有的水平还停留在平面上，应当按照三维层面进行稳定性计算，虽然难度较大，但却更加真实，符合实际。

关于锚固治理计算方法：目前多采用的是一些半经验半理论公式，一些数值模拟虽然有一定的学术价值，但和实际工程结合较差，因此，与数值计算部分相关的理论基础还有待进一步的研究。

## References (参考文献)

- [1] Liu Guomin. Chain of cliff rock mass deformation and failure mechanism and management countermeasures. Journal of Geological hazards and environmental protection. 1999, 2(1), 33-42. 刘国明. 链子崖危岩体变形破坏机制及整治对策. 地质灾害与环境保护. 1999, 2(1), 33-42.
- [2] Zhang Qihua. System identification of deformation-failure for the dangerous rock body of lianzi cliff. Journal of Chinese journal of rock mechanics and engineering. 1998, 17(5), 544-551. 张奇华. 链子崖危岩体变形破坏系统辨识. 岩石力学与工程学报. 1998, 17(5), 544-551.
- [3] Sun Yunzhi. Fengjie plum dangerous rock mass stability study. Journal of t. Journal of Yangtze River. 1994, 25(9), 48-53. 孙云志. 奉节李子坪危岩体稳定性研究[J]. 人民长江, 1994, 25(9): 48-53.
- [4] Chen Hongkai, Ouyang Zhongchun, Liao Shirong. Complex Control of Dangerous Rock and Collapse in Three Gorges Reservoir Areas. Journal of Underground Space, 2002, 2(2), 97-101. 陈洪凯, 欧阳仲春, 廖世荣. 三峡库区危岩综合治理技术及应用. 地下空间, 2002, 22(2), 97-101.
- [5] Liu Guoming, Ouyang Zhongchun, Liao Shirong. The chain of cliff rock mass stable static finite element analysis. Journal of Hohai University. 1996, 24(4), 95-98. 刘国明, 林义兴, 夏颂佑. 三峡链子崖危岩体静力稳定有限元分析. 河海大学学报. 1996, 24(4), 95-98.
- [6] Xie Quanmin, Zhu Ruigen, Chi Xiuwen. Monte-Carlo Boundary Method In Stability Analysis Of Dangerous Rock-Block Masses. Journal of Catastrophology. 1998, 13(2), 37-41. 谢全敏, 朱瑞庚, 池秀文. 危岩块体稳定性分析的蒙特卡罗边界法. 灾害学. 1998, 13(2), 37-41.
- [7] Wang Linfeng, Chen Hongkai, Tang Hongmei. Study on the calculation method of stable reliability of dangerous rock. Journal of Yangtze River. 2012, 43(23), 14-17. 王林峰, 陈洪凯, 唐红梅. 危岩稳定可靠度计算方法研究. 人民长江, 2012, 43(23), 14-17.
- [8] Ye Siqiao, Chen Hongkai, Tang Hongmei. Comparative research on impact force calculation methods for rockfalls. Journal of Hydrogeology And Engineering Geology. 2010, 37(2), 59-64. 叶四桥, 陈洪凯, 唐红梅. 落石冲击力计算方法的比较研究. 水文地质工程地质. 2010, 37(2), 59-64.
- [9] Liu Mao. Calculation of impact force of falling rock based on elastoplastic modified hertz contact theory. Journal of the Chinese journal of geological hazard and control. 2012, 23(3), 21-27. 刘茂. 基于弹塑性修正 Hertz 接触理论的落石冲击力计算方法. 中国地质灾害与防治学报. 2012, 23(3): 21-27.
- [10] Wang Yusuo, Li Junjie, Li Zhenghui, Feng Gaofei, Wu Hao, He Junnan. Assessment of rock impact force by particle flow code numerical simulation based on discrete element model. Journal of Southwest Jiaotong University. 2016, 51(1), 22-29. 王玉锁, 李俊杰, 李正辉, 冯高飞, 吴浩, 何俊男. 落石冲击力评定的离散元颗粒流数值模拟. 西南交通大学学报. 2016, 51(1), 22-29.
- [11] Chen hongkai, tang hongmei, yi shu-ying, wu 4 fei, ye 4 bridge, liu guanghua. Discussion on the calculation method of the critical rock support calculation. Journal of geological disasters and prevention in China. 2004, 15(2), 134-135. 陈洪凯, 唐红梅, 易朋莹, 吴四飞, 叶四桥, 刘光华. 危岩支撑计算方法探讨. 中国地质灾害与防治学报. 2004, 15(2), 134-135.
- [12] Chen Hongkai, Tang Hongmei, Hu Ming, Li Qiang. Research on anchorage calculation method for unstable rock. Journal of Rock mechanics and engineering. 2005, 24(8), 1321-1327. 陈洪凯, 唐红梅, 胡明, 李强. 危岩锚固计算方法研究. 岩石力学与工程学报. 2005, 24(8), 1321-1327.
- [13] Wei Aiyong, Wang Chengduan, Xiao Zhengxue, Bai Hongjie. Demolition blasting of dangerous-rock by deep-hole blasting. Journal of Blasting, 2006, 23(4), 71-73. 韦爱勇, 王成端, 肖正学, 白红杰. 用深孔控制爆破技术进行危石爆破清除. 爆破. 2006, 23(4), 71-73.
- [14] Tong Hongmei. Research on calculation method of volley-unstable rock retaining wall. Journal of The Chinese Journal of Geological Hazard and Control. 2005, 16(3), 12-15. 唐红梅. 危岩拦石墙计算方法研究. 中国地质灾害与防治学报. 2005, 16(3), 12-15.
- [15] Ye Siqiao, Tang Hongmei, Zhu Hui. Design conception of safe net system based on analysis of motion trace of rockfall. Journal of Geotechnical engineering. 2007, 29(4), 566-571. 叶四桥, 唐红梅, 祝辉. 基于落石运动特性分析的拦石网设计理念. 岩土工程学报. 2007, 29(4), 566-571.
- [16] Wang Linfeng, Chen Hongkai, Tang Hongmei. Study on cal-

- ulation method for rockfall impact and energy dissipation effect of energy dissipation shed tunnel. 2012, 33(5), 40-46.  
王林峰, 陈洪凯, 唐红梅. 消能棚洞的落石冲击计算及消能效果研究. 西南交通大学学报. 2012, 33(5), 40-46.
- [17] Zhou yonghong. The composite application of the flexible protective network in the prevention and control of the rockfall of the slope. Roadbed engineering. 2017, (05), 157-163.  
周永洪. 柔性防护网在边坡危岩落石防治中的组合应用. 路基工程. 2017, (05), 157-163.
- [18] Hai-jun Chen. Kangding yu township "the hills of heba I and its prevention and control measures of dangerous rock collapse developmental characteristics research. Southwest jiaotong university, 2017.  
陈海军. 康定县孔玉乡寸达河坝后山I区危岩崩塌发育特征及其防治措施研究. 西南交通大学. 2017.
- [19] Song hongping. Evaluation and prevention of the stability of hazardous rocks. Sichuan building materials. 2014, 43(04), 82-83+88.  
宋宏平. 试论危岩稳定性评价与防治. 四川建材. 2017, 43(04), 82-83+88.
- [20] Yang shenggui. Investigation and evaluation and prevention of geological disasters of crisis rock collapse. Enterprise technology development. 2016, 35(16), 62-64.  
杨胜贵. 危岩崩塌地质灾害调查评价与防治研究. 企业技术开发. 2016, 35(16), 62-64.
- [21] Sun caiting. Research on the calculation method of the stability of hazardous rocks in the three gorges reservoir area. Southwest jiaotong university. 2016.  
孙彩婷. 三峡库区危岩稳定性计算方法研究. 西南交通大学. 2016.
- [22] Hu cibo, wang hua jun, and the application of passive protective nets in a hazardous rock belt prevention and control project. China water transport (lower half moon). 2015, 15(01), 286-287+289.  
胡慈波, 王华俊, 卿翠贵. 被动防护网在某危岩带防治工程中的应用分析. 中国水运(下半月). 2015, 15(01), 286-287+289.
- [23] Ji renqin. Analysis and management of stability of highway high slope in chongqing. Chongqing jiaotong university, 2014.  
纪仁芹. 重庆地区公路高边坡危岩稳定性分析与治理方法. 重庆交通大学. 2014.
- [24] Zang lichao. Research on the evaluation method of critical rock stability based on relational matrix. Chengdu university of technology. 2014.  
臧立超. 基于关系矩阵的危岩稳定性评价方法研究. 成都理工大学. 2014.
- [25] Liao yunping, wang xiaowei. Analysis and prevention of the stability of knife rock in wansheng district, chongqing. Journal of chongqing jiaotong university (natural science edition). 2014, 33(03), 92-97.  
廖云平, 王小委. 重庆万盛区刀子岩危岩稳定性分析及防治. 重庆交通大学学报(自然科学版). 2014, 33(03), 92-97.
- [26] He Huang. Dangerous Rock Testing System Based on FPGA. IEEE、华中师范大学. Proceedings of 2016 First IEEE International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI 2016). IEEE、华中师范大学. 2016, 4.
- [27] Wang Wei, Yuan Wei, Wang Qizhi, Xue Kang. Earthquake-induced collapse mechanism of two types of dangerous rock masses. Earthquake Engineering Vibration. 2016, 15(02), 379-386.
- [28] Yonghuang Deng. Rapid construction of three-dimensional model of dangerous rock masses using google sketchup. The ISRM Commission Methodology. Rock Characterisation, Modelling and Engineering Design Methods—Proceedings of the 3RD Isrm Sinorock Symposium. The ISRM Commission on Design Methodology. 2013, 4.
- [29] Reinforcing a Dangerous Rock Mass Using the Flexible Network Method. Journal of Geosciences. 2005, (04), 354-358.
- [30] Effect Blasting Excavation of Yujiapeng Tunnel on Stability of Nearby Giant Dangerous Rock Masses (DRM). Journal of China University of Geosciences. 2001, (02), 49-51.
- [31] Colin Thracy .GREY CLASSIFICATION FOR EVALUATING THE STABILITY OF DANGEROUS ROCK-BLOCK MASSES. Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science. 2000, (01), 73-77.
- [32] Tuwen Chi, Muyu Liu, Quanmin Xie Wuhan University of Technology, China. Key-block probabilistic analysis and toppling deformation monitoring in dangerous rock area. Northeastern Branch of Chinese Rock Mechanics and Engineering Society, Northeastern University. New Development in Rock Mechanics and Engineering—Proceedings of the International Symposium on New Development in Rock Mechanics and Engineering. Northeastern Branch of Chinese Rock Mechanics and Engineering Society, Northeastern University. 1994, 9.