

鄂西山区山岩开裂

徐开祥 (湖北水文地质大队)

提 要

山岩开裂是指岩质边坡发生张裂变形,但未发生显著剪切变位或大规模崩落,以微量角变位及宏观深大裂缝为其主要特征的一种边坡变形形式。

根据对鄂西山区的研究,本文将该区的山岩开裂划分为若干类型,并分别进行了探讨。

从运动发展的观点看,山岩开裂变形是部分崩塌、滑动、塌陷等变形破坏的中间发展阶段,其变形最终以发生崩、滑等急剧破坏而告结束。由于山岩开裂具有较独特的变形方式和较长的持续变形时间,与人类的工程经济活动有不同程度的关联,并构成一定程度的危害。因此,在边坡变形分类中应单独划出研究,以利于研究、防治。

在鄂西山区,山岩开裂相当发育。湖北省科委和省地矿局于1981—1984年组织了鄂西山区山体稳定性和边坡变形破坏灾害地质调查,普查面积46271km²,按比例抽样(非随机抽样),调查了各类边坡变形破坏点494个,其中山岩开裂抽样调查共81个,占岩质边坡变形总量(样本总体为147)的55%。由样本导出的数称为统计量。本文的一些统计数均源出于此。

鄂西山区山岩开裂按其动力成因可归纳为剥蚀卸荷型、重力蠕变型、地震型、洞塌型、明挖型和爆破型诸类。

一、剥蚀卸荷型山岩开裂

1. 地质环境 主要发育在互(夹)层状碎屑岩之中,碳酸盐岩中亦有所见。全部位于斜坡谷肩地带,地形上为陡崖或高陡边坡。边坡结构类型多为逆向坡或缓倾山里的斜交边坡,坡体内构造结构面发育,但往往暂不具备控制边坡向临空方向滑移的软弱结构面。

2. 变形形式及表象特征 其变形形式以板状劈裂为主(图1),其特征为:坡顶面或谷肩处发生张裂。张裂缝平行临空陡崖,多呈“之”字型追踪高角度构造裂隙发育,且往往发育有多条,裂缝具上宽下窄的特点。区内山岩开裂一般宽0.5—1m,大者达10m。发育深度数十米至近百米不等。变位角度一般

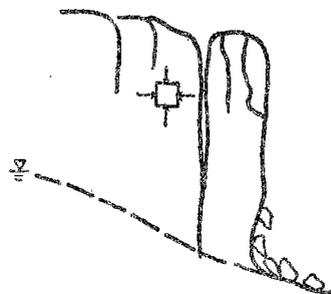


图1 剥蚀卸荷型山岩开裂

2—3度,个别达10度,受控于变形坡体高度和宽度。裂缝经长期风化或溶蚀,壁面多凹凸不平,缝内多充填泥质、块石,或有水。裂缝切割岩体呈板状、柱状、塔状等孤立岩体;形成危崖(图2)。

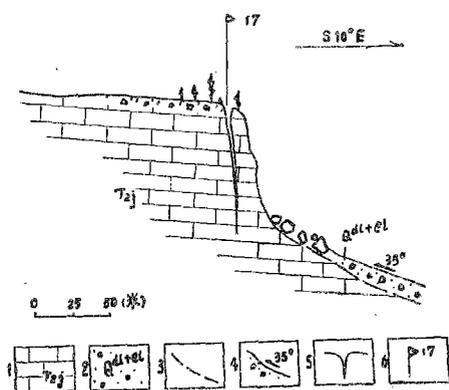


图2 建始县申西公社白棵树坪山岩开裂剖面图

1—三叠系嘉陵江组灰岩; 2—第四系坡积层粘土夹碎石; 3—基岩与堆积层界线; 4—地形坡度
5—危岩裂缝; 6—野外定点位置

3. 机制简析 该类山岩开裂主要受剥蚀卸荷作用控制。由于岩体临空一侧失去侧压,产生向临空而方向的膨胀回弹及相应的差异回弹,引起临空面附近岩体内的应力重分布,造成局部应力集中,其一般规律为:主应力的方向在河谷临空面附近发生明显变化,通常重分布后的最大主应力与临空面近于平行,而最小主应力则与之近于垂直。最大主应力由内向外

逐渐增大,到临空面处达最大值;而最小主应力的变化则由内向外逐渐减少,至临空面处变为零,有时甚至出现拉应力。这样,在临空面附近就产生了明显的主应力分异现象。与此相联系,剪应力在临空面附近,特别是在下部坡脚处,显著增大,往往因此而产生与坡面平行的压致拉裂面。在坡缘附近,坡面的径向应力和坡顶面的切向应力在一定条件下转为拉应力,形成一张力带。于是,在坡顶面及谷肩处张应力集中带形成张裂面,在平行临空面的压应力集中带形成与临空面近于平行的压致拉裂面及剪切破裂面,进一步发展成卸荷裂隙。在风化剥蚀诸营力长期作用下,逐步形成张裂缝。当边坡结构类型为逆向坡或微倾山里的斜交边坡,垂向构造结构面发育而暂不具备斜向易滑结构面时,张裂缝进一步发展形成山岩开裂。

阿特韦耳、法默等提出了板状破坏 (Slab failure) 的简单模式(图3)^[1]。由于在兰金主动土压力作用下岩块脱离里面的岩石而向外移动,不稳定性将不断发展, K_0 (静止土压力系数) 则随着很小的位移而趋向一个极小值 K_a , 此时

$$\sigma_h = \sigma_3 = \frac{Z\gamma}{N_p} - \frac{h\gamma_w}{N_p} - 2C \left(\frac{1}{N_p} \right)^{\frac{1}{2}} + h\gamma_w$$

式中 C 是岩石的内聚力, γ_w 是水的容重, $N_p = (1 + \sin\varphi)/(1 - \sin\varphi)$ 。负的内聚力项的影响,使坡缘处的岩石处于侧向拉伸状态。

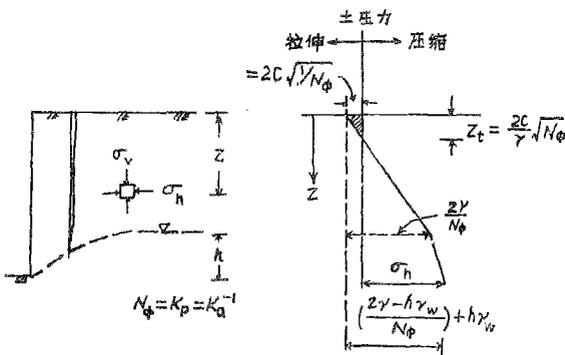


图3 板状破坏(剥壳)分析

4. 发展阶段 可分为: (1) 隐蔽变形阶段: 随着河谷下切, 高陡边坡形成, 卸荷作用加剧, 在坡体上部产生卸荷表生构造面、细微裂隙, 为隐蔽变形阶段。(2) 开裂发展阶段: 随着裂隙的形成、引张、风化剥蚀诸营力参与使之变形加快。河谷不断下切, 卸荷作用向深部发展。地表裂缝逐步发展到相当

规模, 切割坡体呈墙状、柱状、塔状等孤立岩体, 形成危崖。(3) 变形破坏阶段: 在长期风化剥蚀作用下, 孤立岩体结构松散, 强度降低, 其稳定性受到累进性破坏。在强震、暴雨等激发因素作用下, 往往产生崩滑或倾倒, 造成快速失稳破坏。

5. 稳定性分析 剥蚀卸荷型山岩开裂是以张裂变形为主的边坡变形。调查表明, 其张裂变形往往持续时间很久, 自发现开裂至今历时15年以上的占70%; (表1)。从变形发展看, 张裂变形速度很不均匀, 如建始猫坪桐麻园山岩开裂, 多年平均为5cm/a, 而巴东铎厂山岩开裂, 达166cm/a。由于山岩开裂存在的时间内大多尚不具备控制整体滑崩的结构面, 一般情况下仅有少量崩塌发生。但开裂处为坡体薄弱环节, 最终破坏势不可免, 而且带有突发性, 使最终破坏时间难以预测。因此, 凡位于危崖脚下及其影响范围内的居民或建筑物, 均应采取有效的防范措施。

表1

点号	地理位置	发现时间	自发现至今历时 (a)	发现时开裂宽度 (cm)	调查时开裂宽度 (cm)	张开速度 (cm/a)
L23	利川铜锣小溪内	1982	1	5	20	15
L28	来凤卯洞泡木坪高东坪	1952	31	5	300	9.5
Ba27	巴东两河口	1959	24		40	
Ba29	巴东铎厂	1980	3	3	500	166
J4	建始中西白果树坪	1965	18		40	
J5	建始龙坪汉王庙	1961	22	5	20	8.8
J14	建始猫坪桐麻园	1953	30	50	200	5
H18	鹤峰北佳杨家河	1982	1		70	70

全区抽样调查, 剥蚀卸荷型山岩开裂49个, 占岩质边坡变形样本总数 (147个) 的33%; 占山岩开裂样本总数 (81个) 的60.5%, 有相当程度的发育, 并在鄂西山区构成了一定程度的危害。

二、重力蠕变型山岩开裂

重力蠕变型山岩开裂(图4)其产出地层为互(夹)层状坚硬一软弱工程地质岩类, 发育在由软层(带)组成基座或垫层的坡体中。有较好的临空条件和汇水条件。

其动力机制为: 岩体作为弹塑性材料在重力荷载长期作用下产生的塑性变形效应, 称为重力塑流蠕变。其基本变形单元是岩体的塑性变形, 包括弯曲、揉皱、塑性滑移和流动。斜坡内软弱岩层在上覆岩体

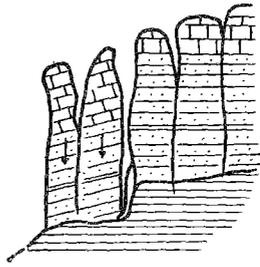


图 4 重力蠕变型山岩开裂

重力长期持续作用下,产生向临空方向的塑性蠕变,导致上覆岩体发生张裂、下沉并进一步解体,形成山岩开裂。

区内所见该类变形甚少,以宣恩县长潭易家河山岩开裂较典型(图5)。其特点是变形速度甚小,1938年发现至今历时45年,发现时宽10cm,1983年调查时90cm,多年平均为1.8cm/a。

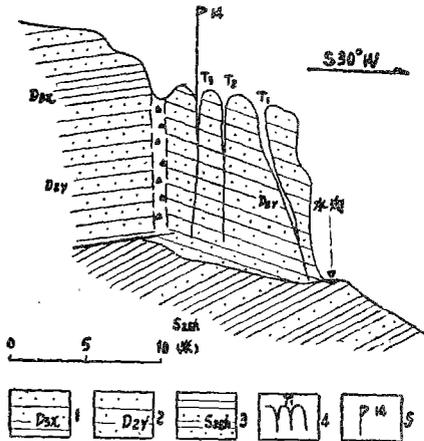


图 5 宣恩县长潭易家坪山岩开裂剖面图

1—泥盆系写经寺组砂岩与页岩 2—泥盆系云台观组石英岩 3—志留系纱帽群粉砂岩及粉砂质页岩 4—岩体开裂 5—野外定点位置

三、洞掘型山岩开裂

1. 地质环境 其产出地层是含矿地层之上的层状坚硬、次坚硬工程地质岩类。区内主要为二叠系栖霞灰岩、长兴灰岩;侏罗—三叠系香溪群石英砂岩和震旦系灯影灰岩。地形上多为临空高耸的悬崖陡壁、突出山嘴和孤峰。岩性组合具上硬下软的特点,构造裂隙较为发育,岩溶区溶蚀裂隙发育并具较丰富的地下水补给。

2. 变形形式及表象特征 其变形以张裂和扭

转为主,局部或有崩塌、陷落产生。山岩开裂后缘缝多平行临空陡崖面发育,向两侧延伸多呈大锐角或直角与临空面相交(图6),表现出与卸荷裂隙发育的不协调性。多呈“之”字型追踪高角度构造裂隙发育,且往往发育多条。裂缝具上宽下窄的特点,一般宽1—2m,最宽可达10m(图7)。发育深度一般数十米,深者可达百余米。裂缝壁面较平整,追踪溶蚀裂隙发育者壁面具溶蚀现象。裂缝切割坡体呈块状、墙状、柱状等孤立岩体,形成危崖。裂缝发育具一定规律,全部分布在井下采空区的上方,与采空区有明显的空间对应关系,主裂缝则分布在空区内侧边缘。

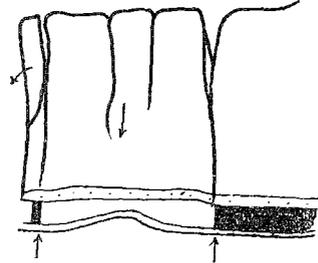


图 6 洞掘型山岩开裂

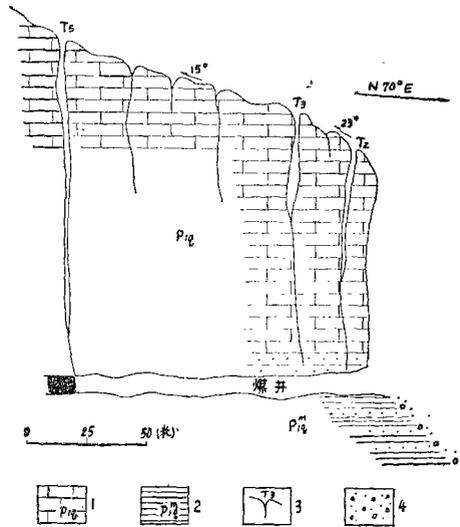


图 7 长梁石板山煤矿山岩开裂剖面图

1—二叠系栖霞灰岩; 2—二叠系栖霞组马鞍段灰岩; 3—山岩开裂; 4—崩塌碎块石

矿井下与地表开裂相对应,地压现象严重脱层、冒顶、底鼓、片帮表现剧烈。地下水流量增大,滞后期缩短,与地表裂缝有所连通,甚至顶板冒落,造成

地面塌陷，地面塌陷范围受顶板岩石崩落角的控制。

3. 动力机制 其成因主要由地下大面积采空区引起的应力调整所造成。随着大量矿石的采出和面积采空区(未予适当处理的空区)的形成，岩体原始应力的自然平衡状态受到破坏，应力重新分布并造成局部应力集中，致使矿柱、支柱被压断，井下空区顶板大面积平铺下沉，下沉变形向上传递，造成岩体向坡外倾斜，并在变形块体内侧边缘张应力集中部位产生拉张裂缝，形成山岩开裂。其变形力学机制尤如以空区边缘为支点的多层悬臂厚梁成筒支梁。由于梁上荷载分布极不均匀，促使下部变形曲线不对称分布，主要荷载分布梁段产生悬臂变形效应。在下部开挖的情况下，山体外部的下沉量远远大于其内部，且越向上这种差异越明显。同时，后缘节点的水平位移量与山体外侧节点的下沉量一致。

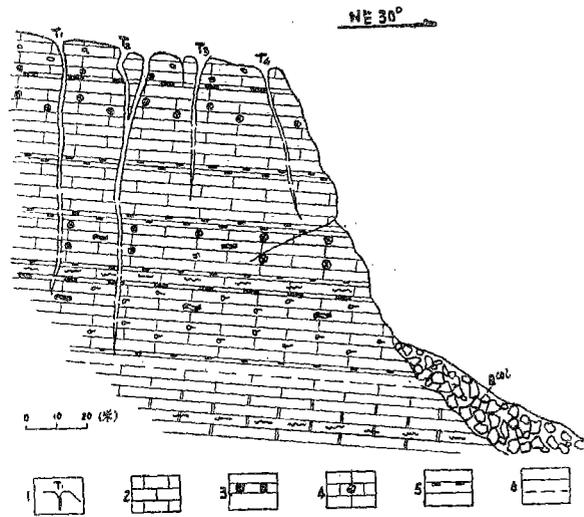


图8 新滩链子崖洞掘型山岩开裂

1—山岩开裂及编号 2—灰岩 3—糜石层 4—挺石结核 5—炭质页岩 6—煤洞

表2

点号	矿区名	开采时间	发现裂缝时间	滞后时间(年)
L 28	利川小河煤矿	数十年	1982	>7
Ba37	巴东火焰石	近百年	1953	>10
Ba38	巴东鲁家湾	数十年		>10
Ba28	巴东西坡煤矿	十余年	1981	>10
J 27	建始红灯煤矿	1969	1975	6
J 26	建始长梁石板山	数十年	1969	>20
J 28	建始横槽	1979	1981	2
J 19	建始花天河	1976	1982	6
H 14	鹤峰下坪坪子	1975	1982	7
F 44	恩施红庙五峰山	>30年	1958	>10
E 4	恩施火山顶硫磺矿	>30年	1978	>29
J 39	州矿厂	1954	1981	27

洞掘型山岩开裂不仅与空区有明显的空间对应关系。在时间上表现出明显的滞后相关(表2)。地压、开裂滞后期在6年以上的占92%，属长滞后型。

4. 发展阶段 可分为：(1)突破跳跃式变形阶段：由于空区效应使岩体内应力集中，压断矿柱、支柱，或使其深嵌入下伏软岩中，造成大面积平铺下沉，形成地表张裂缝。裂缝在变形初期变化较快，变形增量较大。这是由于干引起变形的应力突破山体内部的联结阻力后表现出来的跳跃式的急剧变形所造成的。

(2)缓慢开裂阶段：在这一阶段内，裂缝变形增量不大，变形方向具有往复的特点，如新滩链子崖山岩开裂(图8)，个别裂缝局部地段可有微显闭合现象(图9，表3)。这是经过突破后的调整变形。这期间，

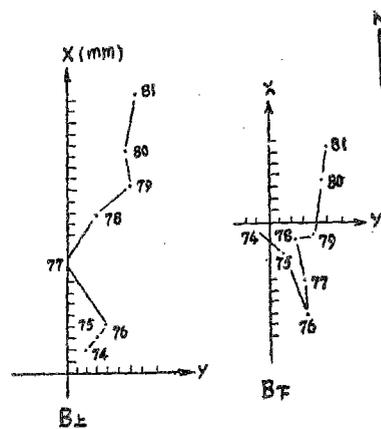


图9 链子崖裂缝观测点平面位移展点图

(据况仁杰, 1983)

残余应力继续作用，同时山体原有平衡条件遭受开裂破坏后产生新的应力集中。若后者不强烈，缓变减速则可渐趋稳定。反之，缓变至一定程度则加剧发展，进入急剧开裂阶段。(3)急剧开裂阶段：此阶段中，地表裂缝变化十分显著。裂缝迅速拉开并向深部下延(图10)。岩体发生微量剪切变位，拉裂或剪断锁固段，地表或有塌陷产生。变形体底部软弱结构面上发生剪切变位，多处被剪断并与后缘裂缝略有贯通。井下地压现象严重，前缘处发生小型崩滑。(4)强烈破坏阶段：在集中爆破放顶、暴雨或强震等激发因素作用下，使开裂岩体倾侧或滑出造成崩滑灾害，或造成

表 3 链子崖八至十二号裂缝位移观测历年坐标增量平均值成果表

(单位: mm)

点名 增量 年号	A _上		A _下		B _上		B _下	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
1974	-0.08	-4.16	0.49	-0.78	1.76	1.62	-0.68	-1.58
1975	0.68	1.37	2.00	1.78	3.74	2.97	-3.01	1.04
1976	-0.78	1.85	0.72	4.49	3.84	3.19	-8.60	3.12
1977	-0.62	-0.32	1.67	2.47	9.50	0.08	-5.94	2.80
1978	7.94	-0.54	3.96	3.28	13.47	2.64	-1.75	2.16
1979	9.41	2.10	6.11	3.71	16.27	5.77	-1.74	3.90
1980	11.91	0.40	8.29	4.51	19.28	5.7	3.19	4.17
1981	16.46	1.52	12.54	5.06	24.30	5.69	6.08	4.51

(据陆业海, 1983, 长江西陵峡, 链子岩地形变活动, 长江西陵峡新滩岩崩区调研资料汇编)

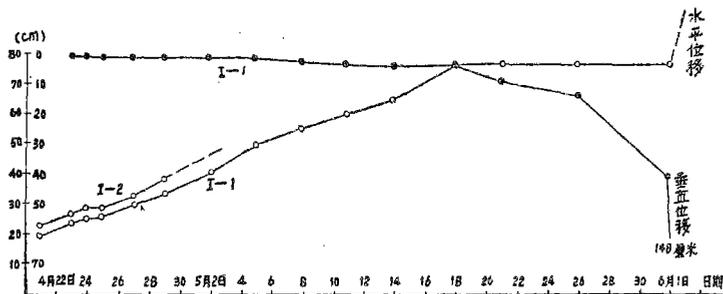


图 10 盐池河山崩前 I 号裂缝位移观测曲线
(据中央联合调查组, 1980, 湖北省宜昌地区盐池河磷矿山崩调查汇报提纲)

县盐池河磷矿山崩, 造成殷盐矿务局局机关建筑物的彻底毁灭, 284 人丧生。

需要指出的是, 并非所有的矿山都产生强烈的地压活动和山岩开裂。区内调查表明, 发生洞掘型山岩开裂的全部为采用空场法开采的矿山, 占 100%。对所留矿柱的支撑范围, 支撑矿柱承压面积, 矿柱强度、规格、矿柱诸应力值及安全系数等未能予以切合实际的计算, 生产过程中所留矿柱一般较少, 达不到安全支撑的要求。回采后, 对采空区不及时(或不进行)处理, 造成规模不等的地压活动和边坡变形。如何搞好空区处理是空场法采矿必须慎重对待的重要环节。

目前国内常用的空区处理方法是崩落围岩和充填空区等几种。用崩落围岩消除空区时, 地表必须充许崩落。对于崩落围岩带来的后果(如地面塌陷、山崩、滑坡、地表水渗入; 对农田、河床、建筑物、含水层的破坏和开拓系统的影响等), 应有充分的预计并

塌陷, 埋没矿井。这种变形破坏多为突发性, 因而而造成严重损失。

5. 稳定性评述 对于已经发生大规模地压活动和山岩开裂的矿山, 若不及时进行有效的地压控制和管理, 就有随着工程动力活动不断产生新的山岩开裂的可能。山岩开裂最终发展为坡体破坏失稳, 但失稳方式可能不同, 诸如岩崩、滑坡或塌陷, 而以突发性岩崩(山崩)形式较多见, 如建始县石板山煤矿倾倒式岩崩(3000m³, 1982年)、巴东县火焰石煤矿滑出式岩崩(30万m³, 1965年)、远安县盐池河磷矿滑出倾倒式山崩(100万m³, 1980年)。

洞掘型山岩开裂与矿山相伴生, 区内抽样调查 31 个, 占岩质边坡变形样本总数的 21%, 占山岩开裂样本总数的 38.3%, 显示了人工型的规模。山洞掘型山岩开裂发展而成的边坡变形破坏, 规模大, 危害重, 突发性强, 曾多次造成人为的重大地质灾害。如远安

事先采取相应的措施, 否则将铸成大错。

选择切实可行的采矿方法及工艺, 采取有效的地压控制和管理, 完全可以防止大规模地压活动的产生, 消除洞掘型山岩开裂及其产生的危害。

本文在技术上得到过刘广润高级工程师的指导, 附件由熊必华清绘, 在此一并致谢。

主要参考文献

- [1] 阿特韦尔等, 工程地质学原理, 成都地质学院工程地质教研室译, 中国建筑工业出版社, 1982。
- [2] 刘广润, 鄂西山区与采矿有关的环境工程地质问题, 湖北省地质科技情报第一期, 1981。
- [3] 胡海涛等, 湖北宜昌盐池河磷矿山体滑崩机理及其运动方式的研究, 第二届全国工程地质学术会议论文, 1983。
- [4] 林韵梅等, 地压讲座, 煤炭工业出版社, 1981。