

我国热带、亚热带地区崩岗侵蚀的剖析

史 德 明

(中国科学院南京土壤研究所)

崩岗在我国广东、福建、江西、湖南等地常见，它既不同于工程地质学中所指的岩块的崩塌作用，也区别于地貌中通称的冲沟或切沟。“崩”是指以崩塌作用作为重要的侵蚀方式，“岗”则指所形成的地貌形态。因此，它具有发生和形态方面的双重涵义。由于崩岗在我国热带、亚热带地区发生频繁，分布面广，其涵义确切而形象，已被广泛应用在土壤学、水土保持学、地理学等文献中。在我国南方土壤侵蚀研究中，则被作为重要的侵蚀类型之一。

崩岗侵蚀产沙量极大，单个崩岗每年产沙量可达500—1,000立方米，流失泥沙淹没农田，淤塞水库，抬高河床，破坏农业生产，妨碍水利和航运建设。由于崩岗发生突然，有时引起“暴地水”和“泥沙石流”现象，以致冲毁房屋，威胁人民生命财产的安全。1921年，江西赣县下浓村在一次暴雨中发生几处大崩岗，毁坏农田170亩，冲塌民房50余间，死伤多人。崩岗侵蚀还大量切割土地，使成为难以利用的“劣地”。如广东五华县，崩岗面积占总流失面积的30%左右，每平方公里流失面积平均有崩岗近30个；德庆县官圩乡富罗径平均每平方公里有崩岗38个，该县新圩鸡毛涌0.3平方公里面积就有崩岗39个。南方严重的崩岗侵蚀区，崩岗面积可占坡面总面积的50%以上。崩岗侵蚀给山区经济建设带来巨大障碍。研究崩岗侵蚀的成因及发展规律，为制定治理措施提供依据，是南方水土保持工作中的一项重要任务。

一、分布特征

崩岗侵蚀的分布受到一些自然和人为因素的制约，具有以下分布特征：

1、**地带性分布**。崩岗属水力侵蚀范畴。崩岗侵蚀与气候条件有着密切的联系，它的分布在相当程度上也反映地带性的特征。我国热带、亚热带地区年雨量1,000—2,500毫米，年径流深度达600—1,600毫米，加之常出现每小时30—150毫米以上的降雨，雨量大，暴雨多，为暴雨冲刷导致崩岗发生提供必要的条件。因此，崩岗侵蚀多分布在我国地处热带、亚热带的广东、江西、福建、广西、湖南以及云南、贵州等省区。

崩岗侵蚀的分布还受到与地带性有关的风化物厚度的影响。在高温多雨条件下，岩体风化迅速，多形成巨厚的风化层。以花岗岩风化层为例，其厚度常达10—20米，甚至40—50米，而且由北向南厚度递增。在相同条件下，崩岗侵蚀随着风化物厚度的增大而加剧。

2、**垂直分布**。因地形部位和高度的不同，风化剥蚀过程亦不相同。地势高，风化强度弱，坡度陡，剥蚀作用大，故风化层薄。反之，地势低而缓，风化强度大，剥蚀作用小，则风化层较厚。由于这些因素的影响，崩岗侵蚀的分布不仅有一定的高程界限，而且有垂直分布的特点。如福建安溪县官桥地区，由河谷至两侧山地因风化物厚度不同，崩岗侵蚀程度随之而异。剧烈和强度崩岗侵蚀多见于海拔150—250米、风化物厚为20—50米的花岗岩低丘陵上；轻度和中度崩岗侵蚀则见于海拔250—300米、风化物厚度为10—20米的花岗岩高丘陵上；而风化物厚度小于1米、

海拔高于300米的变质岩、火山岩山地，未发现崩岗侵蚀。江西南部地区花岗岩风化物的分布高度，大致在海拔150—350米范围内，崩岗侵蚀分布亦大体与之相适应。这里崩岗侵蚀的分布地形主要为低丘(相对高50—100米)及部分高丘(相对高100—200米)，二者多处于侵蚀盆地内，风化物厚度较大，崩岗较为集中。如江西兴国县的杨村、丁龙、古龙岗、永丰公社，赣县的田林、白鹭公社，于都县的水头公社，寻鸟县的留东、南桥公社，上犹县的金盆形，定南县的沙头公社，信丰县的龙舌、牛颈公社，龙南县的杨村公社，都属于这种侵蚀盆地。此外，广东的五华县、德庆县，福建的安溪、惠安等县境内，均有类似的花岗岩侵蚀盆地，崩岗侵蚀均严重。这些盆地在漫长的地质年代中，逐渐形成了低平的剥蚀面(与山地比较而言)，盆地内气温较高，昼夜温差大，地下水活动频繁，风化过程强，同时因地形较平缓，便于保留深厚的风化层，而在周围山地则缺乏这些条件。因而，低缓的古代侵蚀盆地是风化物发育的先决条件，而处于一定的高度范围内的花岗岩盆地，多分布现代的崩岗侵蚀，成为垂直分布的重要特征之一。

3、区域性分布。岩性是直接影响岩体的风化速度和厚度的重要因素。本地区花岗岩岩体中富含易风化的长石和云母，分别达60—64%和8—13.3%，加之，节理构造发达，有利于雨水和空气的渗入，在热带、亚热带气候条件下，更加速了岩体的风化，形成巨厚的风化层。节理的发育，特别是垂直节理的强烈发育，也有助于崩岗的形成。节理面往往成为崩岗的活动面，故花岗岩节理构造多的地区，崩岗分布也多。根据实测，兴国县杨村附近的崩岗区，两米以内85—265°方向的节理可达19条，150—330°方向的节理在同样长度内有4条。在崩岗壁边缘有很多垂直裂隙，2平方米内裂隙总长达6—12米，而且大部分平行于崩岗陡壁。这些裂隙除其它原因形成的以外，大部分由节理构造形成。赣县田村公社金沟形崩岗区，崩岗壁上分布着许多几近垂直方向的节理，其间距大致为50—100厘米，沿着节理发育的崩岗极为普遍。由于上述岩性特征，花岗岩区往往是严重的崩岗侵蚀区。

此外，以粗砂为胶结物质的砂砾岩、泥质页岩、千枚岩、玄武岩等，也易形成厚层的风化壳，崩岗亦甚多见。如江西赣县三溪公社下浓大队发育于砂砾岩上的崩岗，大的宽度可达90—100米，长达150米。反之，抗风化的基岩，如石英砂岩、红砂岩、板岩等，风化层较薄，崩岗侵蚀较少或无发生；紫色页岩虽易风化，但其碎屑物多发生泻溜易被流水冲蚀，堆积物不厚，亦难发生崩岗侵蚀。

人为活动严重破坏植被的地区，往往是崩岗集中分布的区域，使崩岗侵蚀区呈不连续的块状分布。

二、成因分析

1、疏松、深厚的风化物是崩岗侵蚀的物质基础。风化物必须疏松而且深厚，二者缺一不可。如果仅深厚而不疏松，坚如基岩则不致发生崩岗；相反，仅疏松而不深厚，如浅薄的土层亦不致发生崩岗。我国西北黄土区崩坍作用所以盛行，而热带、亚热带区多崩岗侵蚀，均与存在疏松、深厚的堆积物(黄土或风化体)有关。在崩岗发展过程中，风化物愈厚，形成的陡壁则愈高，重心就愈不稳定，其发展速度则更快，规模也更大。风化物厚度通常是衡量崩岗侵蚀程度和预测某一地区能否发生崩岗的重要指标。据调查，风化物的厚度在20—50米之间，崩岗发生最多，10—20米次多，3—10米少量，3米以下一般无崩岗发生。

土壤或土体的疏松状况可用它们的抗蚀性和抗冲性指标加以比较。有机质含量较高的土壤表层较有机质含量少的下部土层具有较大的抗蚀性，而下部心土层和粘性母质的粘粒及铁铝氧化物含量较高，则具有较大的抗冲力。当土壁层和红土层被冲蚀以后，将降低土体的抗蚀抗冲能力，

加速崩岗的发展。花岗岩风化物下部的砂土层和碎屑层不仅有机质含量少， <0.01 毫米的物理性粘粒一般仅11—20%， <0.001 毫米的粘粒通常也在5%以下，铁铝氧化物含量也不高。由于缺乏有机质、粘粒和铁铝氧化物作胶结物质，它们的抗蚀性和抗冲性均很差，水稳性指数和抗冲指数分别为5%和0.22左右（表1）。静水分散试验证明，0.7—1.0毫米的土粒在静水中1分钟内全部分散。花岗岩风化层的厚度及主要性态见表2。

由表1、表2可知，风化的砂土层和碎屑层不仅疏松而且深厚，为崩岗侵蚀提供了物质基础。在保留红土层的地段，土壤抗冲力较强，侵蚀速度较小，向下切割至砂土层或碎屑层时，抗蚀抗冲力均明显降低，下切速度加快，导致崩岗侵蚀剧烈发生，乃至球状风化层的抗冲力加强，下切速度因而减慢。

表1 花岗岩风化物及红壤的几种理化性质比较

| 层 别 | 深 度 (米) | 有机质 (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | 物理性粘粒 (<0.01 毫米, %) | 抗冲指数 | 水稳性指数 (%) | 备 注 |
|-------|------------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------|--------------|-------------------------|
| 土 壤 层 | 0—1 | 2.0—5.0 | 4.72 | 25.0 | 30—60 | 0.5—0.7 | 60—90 | 0.7—1.0厘米土粒在静水中1分钟内全部分散 |
| 红 土 层 | 1—2 | <1.0 | 5.11 | 28.06 | 40—70 | 0.7—1.0 | 50—80 | |
| 砂 土 层 | 2—20 | 0.3—0.5 | 4.27 | 22.35 | 11—20 | 0.22 | 5 | |
| 碎 屑 层 | 20—30 | <0.3 | 3.71 | 20.87 | 11—20 | 0.22 | 5 | |
| 球状风化层 | 30以下 | — | — | — | — | — | — | |

表2 花岗岩风化物厚度及主要性态

| 风 化 层 | 厚 度 (米) | 主 要 性 态 |
|-------|------------|---|
| 红 土 层 | 1—1.2 | 红棕，质地粘重，块状结构，结持紧密，透水性差，抗冲力较强，最大分子持水量20—25%，胀缩度22—28%。 |
| 砂 土 层 | 10—15 | 灰白或粉红带棕，质地砂性，散粒状结构，结持疏松，透水性较强，抗蚀抗冲力均差，最大分子持水量13—19%，饱和水量27—30%，胀缩度20—26%。 |
| 碎 屑 层 | 10—20 | 与花岗岩本色相似，质地砂性大，碎屑状结构，结持松，透水性较好，抗蚀抗冲力差，最大分子持水量、饱和水量、胀缩度与砂土层相似。 |
| 球状风化层 | 3—5 | 与花岗岩岩体颜色基本相似，矿物保持原来的晶形与结构，以物理风化为主，有较强的抗冲力。 |

2、径流和重力作用是崩岗侵蚀的动力。崩岗是在径流和重力的共同作用下形成的，二者互相联系又互相促进，使崩岗侵蚀不断发展。地表径流一散流和暴流能分散、冲刷、切割土壤（或土体），并搬运和沉积它。据人工降雨测定，在15°地表无植被花岗岩发育的红壤上，0.75毫米/分强度的降雨，5分钟后即产生地表径流，其径流系数达0.09左右。又据江西兴国城岗水土保持试

验站观测，在无任何保土措施的红壤光坡上，当降雨强度为8.8毫米/时，即使降雨量不大（2.2毫米），也能产生冲刷现象。正如上面所述，本地常年径流深600—1,600毫米，这些以散流和暴流形式出现的地表径流，对地表的刻划作用是非常强大的。如广东五华地区，在疏松的风化层上，60年内地表平均冲刷60厘米，即每年地表平均降低1厘米；南方剧烈流失区，侵蚀模数常达13,500吨/平方公里以上，即每年冲刷地表1厘米以上，在切入土层并形成陡壁以前的片蚀和浅沟阶段，由重力支配的崩坍过程不致发生。径流对崩岗侵蚀的直接作用，集中表现在下切过程中，当地势高差大，集流面上来水多，径流的切割力量加强，下切速度增快，从而加大陡壁的高度和不稳定性，为加剧崩岗发生创造条件；同时，径流对风化物中节理的破坏，不断扩大裂隙的宽度和深度，亦加速了崩坍的发展；部分水体渗入地下变为潜流，形成滑动面，也使滑坍现象增多。

但应该指出，崩岗向两侧扩展和后退，主要依赖崩坍作用。暴雨季节，土体吸水增重，并因土体水化而体积膨胀，沿着沟缘陡壁产生大致平行的裂隙。当土体重量大于其内聚力时，便失去平衡沿着这些裂隙或原有的节理方向发生崩坍，特别是在降雨量多、持续时间久的情况下，崩坍现象更为增多。随着径流继续下切和冲刷，崩岗壁又复加高，边缘裂隙也不断扩大加深，为下一次崩坍作用创造条件。因此，径流的下切及冲刷过程与崩坍过程是交替进行、互相促进的，使得崩岗不断地扩大。径流和崩坍作用与崩岗发展的关系图式见图1。实际上，大多数崩坍发生的一瞬间，径流和崩坍作用往往是同时同地存在的，二者难以截然分开。上述图式作为崩岗侵蚀总的过程而言，还是比较合适的。只是在径流和崩坍综合作用下才能产生崩岗侵蚀，二者都是不可缺少的动力。

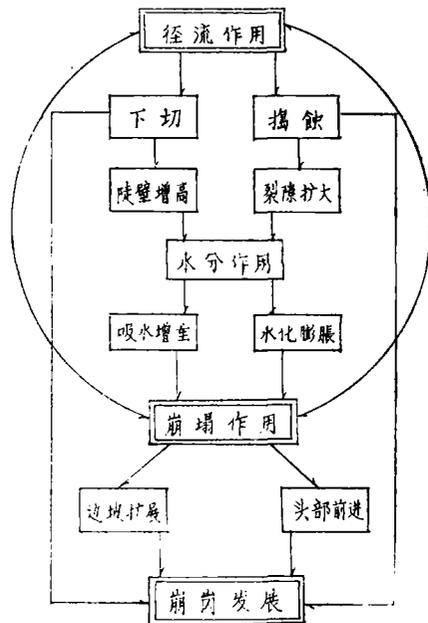


图1 径流和崩坍作用与崩岗发展的关系图

3、人为破坏活动是加速崩岗侵蚀的主导因素。在自然植被未破坏之前，由于地震在个别地段亦可能发生崩岗，但一般情况下，自然植被能保护地表，减少径流，防止冲刷和崩坍，只有当植被破坏以后，径流直接冲刷裸露的地表，才逐渐发展成崩岗。从崩岗发生的历史看，绝大多数是现代发育的，久的约有70—80年，短的只有30—40年，基本上与近百年来来的自然植被遭到严重破坏的历史相吻合。如广东五华县植被被破坏约100多年，崩岗发育已达相当严重的程度；福建安溪官桥地区崩岗侵蚀剧烈，总面积达64.5平方公里，特别是近50—60年来，由于植被遭到更大破坏，急剧加速崩岗的发展。据1956年调查，50年前（从1956年起算）该县莲美大队有5个小崩岗宽2—3米，深1—2米，长约12米，至1965年已经发展成宽70米、深25米、长约150米的大崩岗，崩岗头部每年平均前进约2.8米。目前那里的崩岗面积已占坡面总面积的50%以上。此外，从崩岗侵蚀分布情况看，约90%的崩岗都分布在植被遭严重破坏的地区；其它如不合理地开挖山圳、排水沟，乱挖矿砂以及公路、铁路两侧缺乏加固措施时，也会导致崩岗的发生。这些均说明人为活动对崩岗发展的巨大影响。

由此可见，疏松深厚的风化物以及径流和重力等自然因素，仅是崩岗发生的潜在因素，只有在人为活动破坏了自然植被的基础上，它们才为崩岗的发生和发展提供加速的条件—动力和物质基础，而人为破坏活动是崩岗侵蚀的主导因素。同泥石流相比，崩岗侵蚀受人为活动影响更大。

据有关方面调查,约70%的泥石流与人为活动有关,30%的泥石流是由地质因素直接造成而难以杜绝的;而崩岗侵蚀则近100%与人为活动有关,它并非不可预防和杜绝的。只要发挥人为因素的积极作用,对可能发生崩岗的潜在危险区,合理利用土地,维护良性的生态系统,崩岗侵蚀是可以预防的。

三、发展规律

崩岗侵蚀因其类型不同,发展规律也不尽相同,但大部分崩岗的发展过程可分为三个阶段,即初期阶段、中期阶段和末期阶段。每个阶段具有不同的侵蚀速度和侵蚀形态。

1、**初期阶段**。径流冲刷能力大于土壤(或土体)的抗蚀抗冲能力时,开始在地面刻划成许多细沟,细沟未被及时防治,则进一步发展为浅沟以至水蚀穴。在凹形坡上,径流呈扇形集合方式,先是径流的集合点上(一般在坡的中部)形成水蚀穴。这时由于破坏土体的重力与保持土体的内聚力之间仍处于平衡状态,尚未发生崩坍现象。浅沟或水蚀穴形成后,汇集了更多的径流,便逐渐向切沟过渡,形成陡峭的沟壁。切沟的横断面呈U形,狭窄而陡,沟底比降较大,基本上与坡面相一致(图2)。本阶段以径流下切作用为主,重力崩坍未显示作用,但切沟已具有一定高度的陡壁,为重力作用破坏土体的平衡创造条件;同时在凹形坡上的切沟,也由单头的发展成为多头的,向瓢形崩岗阶段过渡。

2、**中期阶段**。随着沟底下切而陡壁逐渐加高,其不稳定性增大,崩坍现象开始发生,其规模也愈来愈大,有时几十甚至几百立方米的土体崩坍下来,使边坡扩展和崩岗头部前进速度大大加快。疏散的崩落物极易为径流所挟带,造成大量的流失。崩落物在未流失之前,对崩岗壁有一定的支撑作用,一旦被流失之后,下切作用又重新复活起来;同时由于崩岗场的扩大,径流量增加,在一定程度上促进了下切过程的发展。故本阶段径流下切和崩坍作用的相互促进过程表现得

最突出,它是崩岗发展过程中最活跃的时期,流失量最大,危害也最严重。这一时期崩岗形态具有高大陡峭的崩岗壁,一般为 $65-85^\circ$,横断面较宽,纵断面比降比前一阶段显著减小,与坡面曲线不相一致(图2)。在凹形坡常形成肚大口小的瓢形崩岗,因坡的中、上部位土层深厚疏松(砂土层和碎屑层),崩坍量大,速度快,形成高大开阔的大肚子;坡下部多质地粘重的坡积、洪积物质,而且实际集流面积很小,崩坍作用慢,在出口处形成狭窄矮小的巷沟。如福建安溪县官桥、龙门公社瓢形崩岗分布很多,其中有个崩岗发育于中、上坡厚度约35米的砂土层和碎屑层上。这部分崩岗宽80米、深30—35米,横断面宽而深;出口处为厚度3—5米的网纹红土,形成高仅2.5米的巷沟,横面低矮狭小,崩岗的上下部位呈明显的不对称状态。

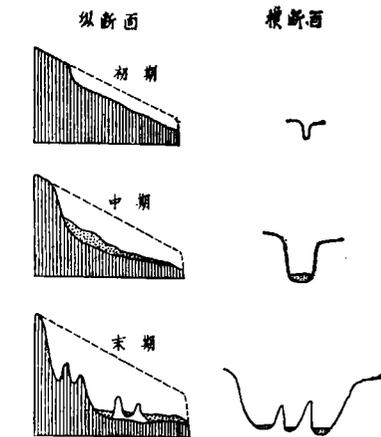


图2 崩岗侵蚀发展阶段示意图

3、**末期阶段**。崩岗进一步发展,其上部逐步扩展到集水斜坡的上缘和分水岭附近,径流的冲刷小。由于径流引起的下切和边坡切割作用已基本停止,但重力破坏土体平衡的作用仍然存在,崩坍现象亦有发生,使崩岗面积逐步扩大。因此,本阶段内破坏土体平衡的重力作用占主要的地位。崩岗进一步向分水岭和集水斜坡两侧逼近,使相邻的崩岗之间形成狭窄的刀背状或塔状峭壁;有时分水岭两侧相对发生的崩岗,可将分水岭分割而互相串通起来,仅在中间留下低矮狭窄的陡崖。这些低矮的残壁受重力破坏影响已很小,即使有崩坍产生,其速度亦很缓慢,所以崩岗发展趋向缓和甚至停止的阶段。但崩岗内崩积物的流失和

陡壁上的泻溜侵蚀仍有发生。本阶段的崩岗具有宽阔的崩岗场，场内有泥沙堆积，比降小，流失量也大为减少（图2）。

除瓢形崩岗外，条形崩岗基本上也经过这三个阶段。后者一般在下坡开始形成，逐渐溯源而上，亦可由沿径流线的一连串水蚀穴互相串通扩大而成。当切至砂土层和碎屑层时，下切和扩展速度显著增加，但由于上部集水面积不大，其发展速度比瓢形崩岗来得小。条形崩岗在直形坡或凸形坡上多呈平行或放射状排列，但到末期，相邻几个条形崩岗可以互相串通变成一个大崩岗，使整个坡面变得更加支离破碎。

除上述的一般发展程序外，有的崩岗则不具有完整的三个阶段，如弧形崩岗受上部径流影响极小，主要受曲流捣蚀、地下水及重力影响而形成，在山谷陡坡（大于 60° ）、山圳、水圳两侧，均可直接形成弧形崩岗。

四、治理措施

根据对崩岗侵蚀成因及其发展规律的分析，为了消除或削弱其发生动力——地表径流和重力作用，治理措施应以拦蓄径流、消除冲刷和稳定重心、防止崩塌为目的；同时，为了防止它的发生和发展，必须注意预防，警惕“点点沟穴，引起崩山”，要治早、治小、治好；此外，必须采取生物措施保护土壤和改良土壤，提高抗蚀抗冲能力。具体措施是上截、下堵、中绿化。

1、**上截**。截住崩岗上部来的径流，防止下切和扩张，即修挖撇水沟、竹节排水沟等，将径流引至安全地段排出；此外，采用植物防护带，围绕崩岗头部带状种植草、灌、乔木林带。带间距离和草、灌、乔木林带的数量，因坡面宽度不同而异，一般根据坡宽带多而稀、坡窄带少而密的原则加以配置，从上而下依次配置乔灌草带、灌草带和草带等。

2、**下堵**。即在坡下修建各类谷坊拦蓄泥沙，抬高侵蚀基准面，稳定坡脚，减少崩塌。如采用土谷坊、石谷坊、芒箕谷坊、编篱谷坊及生物谷坊等。根据崩岗比降和集水面积大小，选择适当位置加以修建。为了均匀地缩减基准面高差，对长而大的崩岗须分段修筑多级谷坊，节节拦沙，下一级谷坊的顶部大致与上一级谷坊的基部等高；当谷坊淤满时，再逐级加高，以继续调整侵蚀基准面。

3、**中绿化**。即在崩岗内植树造林，固土改土。实践证明，谷坊内蓄积了泥沙，改善了水分和养分状况，为植物生长提供有利条件。在崩岗内种植竹类（毛竹、芦竹、黄竹、万竹等）、杉树、桉树、乌柏、拐枣、柳树、胡枝子、紫穗槐等，对固定崩岗内泥沙，改良土壤，调整侵蚀基准面，均有良好效果；并可发展一定数量的果树林和经济林，增加收益；为了固定松散的崩落物，在上面撒播树木种子或草、灌、乔种子混播，能加速绿化进度。

为了加速崩岗壁的绿化并减少重力影响，可采用削坡开级方法，使陡壁台阶化，或修成窄梯田（宽2—3米）种植果树或经济林木，既固定了崩岗也充分利用了崩岗，这种方法在江西、广东等地得到了较好的效果。