

喀斯特地质灾害的形成条件及其环境背景

——以贵州省为例

张殿发, 邹永廖

(中国科学院 地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 贵州喀斯特环境地质灾害类型多样、分布广泛、突发性强, 其发生、发育过程不但具有明显的季节性, 且具有同步叠加、连续发生及交替出现等特点; 地质灾害的危害程度、暴发频率也在逐年增大。其形成过程主要受岩性、地貌、灾害性降水和人类经济活动等条件影响。地球内动力地质作用决定了喀斯特地质灾害的环境背景, 如广布的碳酸盐岩和陡峻的地貌特征等, 特别是晚近期的构造运动对近、现代地质灾害具有明显的控制作用; 人为活动改变了岩(土)体的平衡状态而导致环境地质灾害发生。

关键词: 喀斯特; 环境地质灾害; 影响因素; 环境背景; 人为地质作用

中图分类号: P694(273): P642.25 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2002)01-0039-04

贵州省处于世界喀斯特最复杂、类型最齐全、分布面积最大的东亚岩溶区域中心, 其范围北起四川盆地南缘山地和鄂西南高原, 南至南盘江河谷和桂西北山地, 纵跨纬度 $5^{\circ}(24^{\circ}30'N \sim 29^{\circ}13'N)$, 长约 510 km; 西起滇东黔西高原, 东至湘西丘陵山地, 横跨纬度 $6^{\circ}(103^{\circ}31'E \sim 109^{\circ}30'E)$, 宽约 570 km, 总面积 17.636万 km^2 。

脆弱的生态地质环境及不合理的人类活动, 导致喀斯特地区环境地质灾害频繁, 给经济开发、工程建设和人民生命财产造成巨大损失^[1], 已成为贵州省区可持续发展的严重障碍。因此, 对环境地质灾害的研究及防范已刻不容缓。

1 喀斯特环境地质灾害的主要类型及特点

贵州省喀斯特地区环境地质灾害类型多, 分布广, 突发性强; 不但有明显的季节性, 而且同步叠加、连续、交替出现; 其受灾范围、影响程度、暴发频率及危害性正在逐年增大^[1~5]。仅 1996 年全省发生主要环境地质灾害 500 多处, 涉及 39 个县(市)区的 161 个乡镇, 造成 174 人死亡, 441 人受伤, 毁坏房屋 10 764 间, 毁坏耕地 3 846 ha, 毁坏铁路、公路 14.42 km, 直接经济损失达 5 亿元^[5]。

1.1 喀斯特环境地质灾害的主要类型

贵州省喀斯特地区生态地质环境灾害主要包括土地石漠化、滑坡、泥石流、崩塌和岩溶塌陷等。

(1) 土地石漠化(rocky desertification): 是指在亚热带地区岩溶极其发育的自然环境背景下, 受人为活动的干扰破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积出露、生产力严重下降的土地退化现象。土地石漠化不仅使土地丧失生产力, 破坏生态环境, 而且严重影响农、林、牧业生产, 危及到人类生存条件。因此石漠化已经成为制约喀斯特地区可持续发展的重大生态环境问题。目前贵州省石漠化土地总面积达 138.88 万 ha, 约占全省土地总面积的 7.9%, 并以平均每年 508.16 km^2 的速度不断扩展^[7]。其分布特点是: 集中分布在喀斯特强烈发育的区域, 尤其集中在构造活动强烈的河流上游及河谷地带。这表明贵州省土地石漠化与特定的生态地质环境背景有某些必然的联系。

(2) 地面塌陷: 是喀斯特地区常见的一种特殊灾害, 危害严重, 可造成巨大的经济损失。其成因主要是人类工程活动所诱发。在贵州境内发生岩溶塌陷区 92 处(塌陷点 2 200 多个), 分布在 20 多个县(市、区)内, 多集中在水城、六枝、安顺、平坝、普定、清镇、

贵阳、遵义、织金等地。塌陷的形成方式有多种:或在暴雨期间土体迅速充水,地表水强烈渗透,加之地下水位骤然上升,进而产生正压冲暴作用而形成塌陷;另或在岩溶发育过程中,地下洞穴或管道因塌陷作用不断扩展,最后导致盖层在重力作用下失稳陷落。

(3) 崩塌:是山区一种常见的地质灾害,近年来仅贵州西部就发生崩塌 1 294 处,其中岩体崩塌占 97.53%,土体崩塌占 2.47%;巨型崩塌占 0.30%,大中型崩塌占 14.14%,小型崩塌占 85.54%;人为工程诱发的崩塌占 20.77%,自然因素诱发的崩塌占 70.23%^[2]。

(4) 泥石流:贵州西部有记录在案的泥石流 290 处,其中特大型者占 2.32%,大型占 2.33%,中型占 31.40%,小型占 63.95%;山坡型泥石流占 56.39%,河谷型泥石流占 43.61%^[2]。泥石流造成的危害是十分严重的,近 10 年来,在贵州西部造成的损失,据不完全统计,致死 55 人,致伤 18 人,毁坏房屋 148 间,毁坏公路 18 处,毁坏耕地 5 668.6 亩,直接经济损失数百万元。

(5) 滑坡:贵州西部已有记录的滑坡 2 036 处,其中土体滑坡占 67.77%,岩体滑坡占 32.23%;巨型者占 2.20%,大中型占 14.92%,小型占 82.88%。从滑坡形成的力学性质看,推移式占 15.30%,牵引式占 28.50%,混合式占 56.20%。由人为工程活动诱发的滑坡占 41.04%,自然因素诱发的滑坡占 58.96%^[2]。滑坡造成的危害也十分严重,据不完全统计,近 20 年来发生的滑坡已造成 170 人死亡、57 人受伤、687 间房屋受损,迫使 100 余户居民搬迁,直接经济损失数千万元。

1.2 环境地质灾害的活动特点

贵州喀斯特地区环境地质灾害类型多,分布广,突发性强;不但具有明显的季节性,而且同步叠加、连续及交替出现;地质灾害的影响程度、暴发频率及危害性在逐年增大。

(1) 灾害分布广,区域性强:从时间和空间上看,全省各县市(区)每年都有数量不等、规模不同、危害程度各异的环境地质灾害发生,但以西部地区最为严重。

(2) 自然灾害历史长,暴发频率逐年增大:以山崩滑坡为例,在 1568 年至 1934 年的 366 年中,全省共发生山崩滑坡 31 次,平均 12 年 1 次,其中影响较大并造成一定损失的 11 次,平均 33 年 1 次。近 40

年来,山崩滑坡日趋频繁,全省每年平均发生百次以上,其中造成一定损失的有四五次,远远高于以往年份。

(3) 自然灾害均以同步叠加、连续出现:贵州主要地质灾害与降雨关系密切,一般多种地质灾害同步发生,据统计,70% 以上的崩塌、89% 的滑坡和 100% 的泥石流均发生在雨季。灾上加灾,加剧了灾害的危险性,最常见的模式是暴雨→山洪→滑坡(泥石流)→石漠化。

(4) 灾害突发性强,危害性大:贵州山多坡陡,地表切割强烈,山崩、滑坡、泥石流等地质灾害不仅成灾速度快,而且危害强度大,如 1987 年 7 月 3 日,晴隆黑山箐后山体滑坡,移动速度估计达 10 m/s,当场压死 30 多人;1985 年 7 月 2 日,水城大河边煤矿滑坡,最大移动速度 30 m/s,造成 75 人死亡。

2 喀斯特环境地质灾害的形成条件

喀斯特环境地质灾害是多种自然因素和人类经济活动相互作用的综合结果。自然条件奠定了脆弱的喀斯特生态环境背景;人类工程活动改变了岩(土)体的平衡状态而导致环境地质灾害的频繁发生。

(1) 岩性条件:贵州省喀斯特地质灾害明显受到地层和岩性控制。统计表明,90.5% 的滑坡和几乎所有的泥石流都发生在土层或软质岩及软硬相间层状结构岩体中,属于硬质岩体或碎裂结构岩体滑坡的数量只占滑坡抽样总数的 9.5%;相反崩塌则易发生在碳酸岩地区或软硬相间的层状结构岩体中,尤其是上部为能干性坚硬岩体、下部为非能干性岩体或较软弱但风化强烈的岩体中。据所调查的 62 处崩塌分析,属于碳酸盐岩类的崩塌有 48 处,占总数的 72%,砂岩类 12 处,占总数的 20%;发生在其它岩类岩体中 3 处,仅占 3%。石漠化和岩溶塌陷也主要发生在碳酸盐岩地区。

泥石流多发育在二叠系、三叠系、侏罗系地层分布区,上述地层主要由泥岩、页岩、砂岩、粉砂岩、玄武岩组成,多数岩石的结构松散,软硬相间,富含粘土矿物,矿物亲水性强,稳定性差,遇水软化后抗剪强度降低,为泥石流的形成提供固体物源。崩塌主要发生在二叠系栖霞-茅口组的厚层状、块状灰岩地区,其次见二叠系峨眉山玄武岩和三叠系飞仙关组的砂岩、粉砂岩和永宁镇组、关岭组灰岩、白云岩地区;上述岩层组合大多是上部为硬质岩体,下部为软

质岩体, 软质岩易风化形成坡退, 硬质岩体受构造、溶蚀作用, 常形成节理裂隙或溶裂, 在降水或人工作用下极易卸荷崩塌。塌陷主要分布在石炭系大塘组、摆佐组、黄龙组和二叠系栖霞-茅口组的灰岩中。这些岩石性脆, 在构造作用下, 断层、裂隙发育, 有强烈的岩溶作用, 洞化程度高, 含丰富的岩溶水, 地下水在浅埋藏区段与地下水交替强烈, 岩溶盆地、洼地或槽谷中大多被不同厚度的第四纪地层所覆盖, 盖层厚度 0.5~20 m, 上述地质条件有利于塌陷形成。

(2) 地貌条件: 贵州地处云贵高原的东缘斜坡地带, 区内新构造运动强烈, 差异升降运动明显, 地形切割剧烈, 这种地貌特征是喀斯特环境地质灾害的有利条件。山地占全省总面积的 84%, 丘陵占 13%, 坡度大于 15° 的地表面积占全省总面积的 69.4%。研究表明, 滑坡、崩塌、泥石流等灾害主要发生在坡度大于 15° 的斜坡上, 石漠化的面积及发育程度与斜坡的坡度成正比。全省相对高差最大达 2 319.6 m, 一般高差在 700~1 200 m, 特别是峡谷地段, 地面起伏大, 山地与沟谷交错, 地势陡峻, 岩壁陡立, 坡度大, 势能高, 软弱结构面暴露, 危险地质体易于失稳, 有利于崩塌、滑坡和泥石流的孕育、形成和发展。岩溶塌陷则主要发生在坡度较缓的岩溶盆地中, 如水城盆地等。

(3) 灾害性降水: 区内降水充沛, 常有灾害性降水, 年降水量 86% 以上集中在 5~10 月, 多年暴雨频率为 2.7~5.5 次/年, 日最大降水量为 93.5~206.9 mm, 时最大降水量为 52.5~77.7 mm^[8,9]。泥石流在雨季(5~10 月) 最容易发生, 7 月份发生的频数最大, 大量降水为泥石流的形成提供了水力条件。当连续降雨量达 150 mm 或日降水量达 100 mm 时, 区内就有滑坡产生; 降水不但促进软岩饱水软化、增加自重, 且降低了岩体的内聚力。

(4) 人为工程活动: 20 世纪 60 年代中期以来, 由于人口猛增, 人类活动增大, 生态环境遭到严重破坏, 如掠夺性垦殖、过度砍伐、无规划采矿等破坏地面植被覆盖, 使岩石裸露, 促进地表风化、侵蚀、剥蚀作用, 深切沟谷, 使山体失稳, 给泥石流提供了物源。人类工程活动改变了洞穴及其上覆盖层(土体) 的稳定平衡状态而导致塌陷^[12], 如大量开采地下水资源和其他固体矿产, 迅猛发展城镇建设等, 经常诱发塌陷^[13]。修筑公路过程中, 高角度切坡, 地下采矿, 任意扩大采空区间, 掠夺性垦殖等, 都破坏了岩体土体结构, 增大临空面, 加速岩体风化进程, 亦易诱发滑

坡^[11]。此外, 人为工程活动强烈的矿山、边坡陡峻的公路沿线成为环境地质灾害的多发区。

3 喀斯特地质灾害的环境背景

地球内部动力地质作用决定了喀斯特环境地质灾害的形成背景。中元古宇晚期至志留纪期间, 通过大洋板块俯冲带的向洋迁移, 大陆不断向南增生, 贵州由濒临陆缘的大洋环境经过活动性大陆边缘逐渐转化为大陆地壳。泥盆纪至晚三叠纪中期, 由于扩张作用, 陆块发展经历了裂前隆起、地壳拉伸变薄、裂隙、上隆剥蚀、强烈沉陷和消亡等 6 个时期^[16]。晚三叠世晚期至今则受太平洋板块俯冲和印度洋板块与欧亚板块碰撞的影响, 贵州属于滨太平洋活动带的一部分, 初期的上升使之结束了海相沉积史, 进入内陆环境发展阶段, 由早期的大型内陆拗陷盆地变为晚期的小型断陷盆地。自中元古代晚期以来, 贵州省的古环境经历了极其复杂的沧桑巨变, 发育了四大套碳酸盐岩沉积建造, 碳酸盐岩分布面积 15 万 km², 占全省总面积的 73.6%。在垂向上, 贵州碳酸盐岩总厚度达 8 500 m, 所以, 元古代震旦纪至中生代三叠纪的碳酸盐岩地层在区内均有出露^[17]。

新构造运动对形成贵州省现代地貌格局具主导作用。燕山运动塑造了贵州地貌轮廓的雏形, 喜马拉雅运动继承并奠定了贵州现代地貌的基础。挽近期的构造运动, 在新第三纪至早更新世时期以大面积、大幅度的间歇性隆升为主, 又经历了新第三纪中-上新世末期和第四纪早更新世末期等强烈隆升阶段。其中, 早更新世末的隆升运动是贵州地史上具转折意义的构造运动: 使贵州高原掀斜隆起, 进而奠定了境内现代地貌格局, 并进入了乌江峡谷侵蚀阶段。中更新世以来, 地壳运动仍以大面积的间歇性掀斜隆升为主, 伴有局部的差异性隆升, 但隆升与相对宁静阶段的更替甚为频繁, 显示了近代隆升加剧的趋势。新生代以来自西向东大面积、大幅度掀斜上升, 使贵州高原处于我国第二大梯级向第一大梯级的过渡部位, 这种高原地势全面而深刻地影响着喀斯特生态环境。在地形、地貌上, 西南喀斯特地区表现为高原-峡谷型地貌结构, 河流切割深, 地面起伏大, 地表破碎, 从而奠定了喀斯特生态脆弱性与敏感性的环境背景。

贵州境内断裂构造发育, 并有多期活动的特点, 在断裂破碎带内, 滑坡(崩塌)、泥石流成群出现, 特

别是近期滑坡、崩塌等地质灾害的分布格局在很大程度上受构造体系的影响。区内经历了漫长的地质构造运动,遭受了不同时期、不同程度的抬升、褶皱,在长期拉折剪切作用下,断层褶皱发育,以致岩石圈表层破碎,区域性节理裂隙发育,促进岩体的分离,对滑坡的形成极为有利,在褶皱紧密、断裂发育地段最易发生滑坡。强烈的构造运动也造成岩层变位、变形、破坏,形成的断裂和裂隙破坏了岩石的完整性,受切割破坏的岩体,成为泥石流的固体物源,泥石流主要分布在 NW 向与 NE 向构造交汇部位。区内先成的地质灾害(崩塌、滑坡、先成泥石流)十分普遍,直接为泥石流形成提供大量固体物质。崩塌的形成条件和影响因素与滑坡大致相同。塌陷主要分布在六盘水构造断陷带内,并沿 NE 向或 NW 向断列展布。

参考文献:

- [1] 苏维词. 贵州主要地质灾害现状讨论[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(2): 86- 88.
- [2] 王顺祥. 贵州西部地质灾害研究[J]. 贵州地质, 1995, 12(4): 351- 361.
- [3] 邓自民, 杨泊. 喀斯特环境地质灾害[J]. 贵州科学, 1992, 10(2): 17- 21.
- [4] 柴宗新. 贵州省自然灾害区域分异规律及分析方法研究[J]. 灾害学, 1994, 9(2): 38- 43.

- [5] 肖进原. 贵州喀斯特高原自然灾害分析[J]. 贵州师范大学学报, 1996, 14(1): 70- 74.
- [6] 柳源. 论地质灾害的基本属性[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, 10(3): 15- 18.
- [7] 屠玉麟. 贵州土地石漠化现状及成因分析[A], 李菁主编. 石灰岩地区开发治理[C], 贵州人民出版社, 1996.
- [8] 杨利群, 许炳南. 贵州历年气候灾害综述[J]. 贵州气象, 1999, 23(4): 17- 22.
- [9] 田英, 于俊伟, 赵彩. 贵州季风及其灾害性天气关系的研究[J]. 贵州气象, 2000, 24(5): 6- 8.
- [10] 欧阳自远, 王世杰. 人与自然协调发展进程中的资源环境研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1996, 15(1): 45- 48.
- [11] 张殿发, 欧阳自远, 王世杰. 中国西南喀斯特地区人口、资源、环境与可持续发展[J], 中国人口·资源与环境, 2001, 11(1): 77- 81.
- [12] 康自立. 大力开展人为地质作用的研究[J]. 华东地质学院学报, 2000, 23(3): 198- 201.
- [13] 段海澎, 陈永波. 人为地质作用与人为地质灾害[J]. 四川地质学报, 1997, 17(2): 142- 147.
- [14] 商彦蕊. 自然灾害综合研究的新进展——脆弱性研究[J]. 地域研究与开发, 2000, 19(2): 73- 77.
- [15] 张春山, 张业成, 胡景江, 高庆昭. 中国大陆新构造运动与地质灾害时空分布[J]. 地质力学学报, 1999, 5(3): 84- 88.
- [16] 贵州省地质矿产局区域地质调查大队. 贵州岩相古地理图集[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1992.
- [17] 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1987.

The Contributory Factors and Environmental Setting of Karst Geohazards —A Typical Example in Guizhou Province

ZHANG Dian-fa, ZOU Yong-liao

(Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guizhou, Guiyang 550002, China)

Abstract: The karst geohazards are characterized by diversity, widespread, sudden attack; they not only have obvious seasonality, but also occur with synchroneal superposition, continuous repetition and alternative appearance. They are caused from lithology, geomorphic feature, tectogenetic movement, disastrous rainfall, and artificial geologic process. The endogenic geological processes in geological history laid down a substantial foundation for environmental geohazards; external geologic process from climate and human activity are the key to trigger and accelerate the formation and development of karst geohazards.

Key words: karst; environmental geohazards; contributory factor; artificial geologic process