

张家界砂岩峰林景观成因机制

唐云松^{1, 3}, 陈文光², 朱 诚¹

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏南京 210093; 2. 湖南省地质环境监测总站, 湖南长沙 410007;
3. 湖南省衡阳师范学院资旅系, 湖南衡阳 421008)

摘 要: 通过实地考察, 室内遥感影像分析, 得出如下结论: 张家界石英砂岩峰林地貌岩层产状平缓, 地壳水平上升, 流水沿构造破裂面的节理侵蚀及重力崩塌作用造就了石英砂岩峰林地貌的基本形态。地貌形态的物质基础是特定的岩性。石英砂岩峰林地貌主要由方山、台地、峰墙、峰丛、峰林、石门、天生桥及峡谷、嶂谷等构成。其岩石胶结良好, 刚性强, 节理发育。物理风化很强烈, 风化物 and 土壤十分疏松, 内聚力小, 抗蚀能力弱。存在着水土流失的潜在地质条件。另外, 石英砂岩峰林地貌本身的地貌特点, 水文气象要素都促使其山体风化、崩塌, 景观消亡。为了保证景区的可持续发展, 环境保护意义重大。

关键词: 石英砂岩峰林地貌; 岩性; 地质构造; 环境保护

中图分类号: P931

文献标识码: A

张家界砂岩峰林地质公园位于湖南西北部张家界市武陵源区境内, 属西南云贵高原东北沿武陵山腹地的中低山区。地理位置为 $29^{\circ} 16' 25'' \sim 29^{\circ} 24' 25'' \text{N}$, $110^{\circ} 22' 30'' \sim 110^{\circ} 41' 15'' \text{E}$ 。现辟为国家地质公园, 2004- 04 被联合国教科文组织评为世界地质公园。园内总体地势西北高东南低。最高处位于西北部昆仑峰, 海拔 1 282 m, 最低处位于东北部的吴家峪, 海拔仅有 230 m。地貌类型以石英砂岩峰林地貌为主, 次为喀斯特地貌、侵蚀构造地貌、河谷堆积地貌。峰林面积达 86 km², 共有大小峰林 3 100 多个, 峰林高差数十至 300 m 不等。以斜角成棱、兀立巍峨、分离兢颖、丛聚如林的岩峰石柱群体的充分表露为主要特色(照片 1~ 4)。

1. 张家界砂岩峰林成因机制分析

张家界砂岩峰林景观的形成, 除受一般构造运动的影响外, 还深受岩石性质、岩层组合、节理构造、地貌位置、气候、生物等因素的影响。

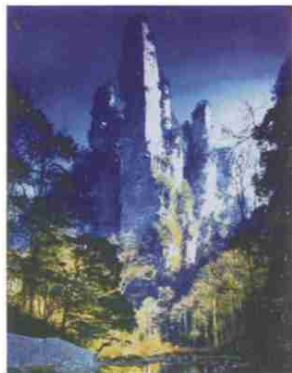
1.1 地层与岩性

园内主要为沉积岩分布, 变质岩极少, 未见岩浆岩产出。出露地层从新到老为: 第四系 Q, 白垩系 K, 侏罗系中统 J₂, 三叠系上统 T₃, 三叠系中统 T_{2b}, 三叠系下统 T_{1dy}, 二叠系上统 P₂, 二叠系下统 P₁, 泥盆系中上统 D₂₊₃, 志留系 S, 奥陶系 O, 寒武系 C, 震旦系 Z, 板溪群 P_t。其中缺失泥盆系下统、石炭系。园内出露地层中, 以志留系、泥盆系分布最广, 占地层出露面积的 70 % 以上。第四系地层分布面积很小, 以河流冲积、洪积物为主。区内构成砂岩峰林地貌的地层主要是中、上泥盆统小溪组, 厚 480. 13 m, 与下覆秀山组地层为连续沉积, 而与上覆中泥盆统云台观组地层呈假整合接触。岩性上部为灰绿、黄绿色薄中层状粉砂岩、石英粉砂岩夹石英砂岩; 中部为灰绿、黄色薄中层状泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、泥质粉砂岩, 含石英结核状管状体; 下部为灰绿、黄绿色、紫红色中~ 薄层状含钙质泥岩、粉砂岩。基底的岩层具有一定程度的可塑性, 承托巨厚地层, 其应力不均衡, 产生了众多的裂隙和节理。

收稿日期(Received date): 2004- 10- 10; 改回日期(Accepted): 2005- 01- 13。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目资助(项目号: 40271103), 湖南省教育厅科学研究项目(项目号: 04C134) [Supported by National Nature Science Foundation(No. 40271103) and Hunan Education Bureau Science Foundation(No. 04C134)]

作者简介(Biography): 唐云松, 1966 年生, 现在南京大学城资系攻读博士学位, 主攻旅游地理方向, 已发表论文十余篇。E- mail: tyunsong@ 163. com. [Tang Yungong(1966-). Ph. D. Specialized in tourism]



照片 1 张家界峰柱
Photo1. Poles in Zhangjiajie



照片 2 御笔峰
Photo2. Yubi Apex



照片 3 张家界峰林
Photo3. Apices Forest in Zhangjiajie



照片 4 张家界岩墙
Photo4. Rock Wall in Zhangjiajie

2.1.1 岩石组分及结构

构成张家界砂岩峰林地貌的岩石,主要有两种:单一的石英砂岩和石英砂岩夹页岩层。前者为巨厚层,质纯,岩层厚度 $> 520\text{ m}$,石英含量 $75\% \sim 95\%$,其胶结物多为铁质、硅质等,岩石化学性质在表生环境下十分稳定,具有较强的抗蚀性。同时,这种岩石具有坚硬的物理特性,因此构成峰柱的基座很坚固。顶部黄家碛组(D_{3h}),主要由滨海—浅海相碎屑岩类组成,岩性为灰白—肉红色巨厚层细粒石英岩状砂岩夹薄层状粉砂岩、页岩,含 $1 \sim 3$ 层鲕状赤铁矿,形成砂岩峰柱的红色“铁帽”。后者存在于巨厚层石英砂岩中,常呈若干薄层状,因其胶结物中含有钙质,抗风化侵蚀的能力较弱,易于风化剥蚀,造成崩塌。崩塌的岩块性脆而易裂,易被洪水卷入河床带走,从而形成了坡积物甚少的直立柱状峰林。它一方面降低了峰柱的坚固程度,另一方面,也有利于单个峰柱的雕塑造型,形成众多栩栩如生的拟人拟物的造型地貌。两者形成间层状层组结构,即厚层石英砂岩、石英岩状砂岩夹薄层、极薄层绢云母粉砂岩或页岩。该层组结构从造型方面来看,上部为中层和薄层居多,有利于雕塑造型。

1.1.2 砂岩产状及强度

岩层的产状是形成石英砂岩峰林地貌景观兀立巍峨的基础。石英砂岩峰林地貌景观集中分布于三官寺向斜轴部扬起端的天子山一带和桑植向斜轴部扬起端的峰峦溪,它们都是位于相同的构造部位,即北东东向宽缓向斜的扬起端,有北北东向褶皱叠加,使得北东东向向斜扬起端地层被进一步抬平,产状平缓有利于峰柱的保持。宝峰湖的砂岩岩层倾角比较大,约 26° 。岩层的下滑力大于摩擦力,上覆的岩层在轻微的外力作用下,就会崩塌,故不能形成高大的石柱、石峰、峰林,只能形成矮矮的、大大的山峰,像一个矮胖子。御笔峰、金鞭岩等岩层倾角较小,一般 $< 8^\circ$,使得岩层之间不易产生重力滑动,岩层稳定性较好,有利于形成峰林地貌。

1.2 节理和断层

园内发育了四组成X型交叉而近于直立的节理裂隙(表1)。这些裂隙将岩层切割成方形、菱形,构成“棋盘式”构造。岩层中发育完全内切穿的垂直大节理(NE、NW、近南北、近东西、NNE、NNW),节理具显著的等距性,间距一般 $15 \sim 20\text{ m}$,如图1所示。这种构造导致以柱状为主的峰林景观的形成。

千姿百态的峰林主要受节理和岩性组合的影响

响,常见的有:

方柱状由两组相互垂直的节理控制下形成,如金交椅;棱柱状是沿多组节理崩裂的产物,如石佛;针状是裂隙特别密集处的破裂崩塌产物,或由破裂的石芽构成,如黄龙泉的将军岩;棒锤状多由厚层石英砂岩构成,其基部岩层较软弱形成锤柱,如南天一柱;檐状和蘑菇状均由于顶部有坚硬的铁矿层或含铁砂岩残留而成,如老鹰咀;片状、板状系沿垂直节理劈开而成,前者竖立岩块较薄,如御笔峰,后者较厚,如淑女梳妆之镜屏;锥状发生在一面沿垂直节理,另一面沿略有倾角的节理交互劈裂处,如插旗峰;塔状、螺状生成在软硬岩层互层发育处,如海螺峰;掌状沿多组垂直节理发育,顶部略为裂开者,如手掌峰;歪斜状:沿层内之字形歪扭节理发育而成,如斜峰叠石;堡状:主要裂隙距离较宽处的产物,如古堡群碉;穹状、台状:产生在主要裂隙距离较宽处,前者顶部抗蚀力较弱,后者覆以坚硬水平岩层,如雾海金龟下的基座;屏状:沿巨大裂隙劈开者,往往沿主要节理方向似屏墙,沿次要节理方向似弧峰,如五女出征中的高耸石屏;叉状:在主柱峰上的附着岩体,上部分离开,基部已脱落者,如狗熊作揖。

在峰林、峰墙的坡麓,常有倒石堆形成,组合成顶平、壁陡、麓缓的景观。以上各种形态,据其组合形式,又可分为三种景观类型:平台方山嶂谷景观:

表 1 石英砂岩裂隙系统简表

Table 1 Simple quartzose sandstone landform flaw system

裂隙走向	NW330°	SW25°	NE50°	SE20°
裂隙面倾角	85°	87°	88°	85°
裂隙密度(条/km ²)	1100	510	800	600



图 1 张家界市武陵源世界地质公园线性构造图

Fig. 1 The world geopark Zhangjiajie's constitution

见于天子山边缘及黄石寨、腰子寨附近。峰林嶂谷景观:广泛分布于全区,以金鞭溪两侧为最典型。斜坡峰林景观:由平缓山坡上的残余志留系石英砂岩峰林构成,如金交椅一带。

沟谷的发育方向和空间组合受断裂构造控制^[1]。如百丈峡为一北东向大断层,黑草沟的一线天沿北西张节理发育。水绕四门系两组垂直断裂交叉处,形成十字形河谷。金鞭溪主要沿北东和北西两组节理发育。插旗峪与施家峪之间的棋盘格状沟谷,黑草沟流域的羽状沟谷等,均由断裂构造所控制。

1.3 风化作用

新构造运动的间歇性抬升、掀斜,使张家界山体遭受强烈风化剥蚀。流水侵蚀,冰期及间冰期融冻作用,生物化学及根劈等多种外营力的作用,造成重力崩塌。坍塌物因节理发育而易解体碎裂。

张家界风化作用的主动动力是流水。流水通过下切和侧蚀作用,不断蚀去坡面上的风化产物,使风化得以顺利进行;流水的侧蚀作用往往在坡脚掏出水洞,使上覆岩块悬空,为重力崩塌提供了可能。岩性的差异性风化,常使硬岩层相对突出而成顺层岩额或岩脊,软岩层凹进而成顺层岩槽或岩洞,顺层岩洞的风化加深为上覆岩层的崩塌创造了条件。陡崖坡的崩塌大多是沿着某一破裂面的块状崩塌,到坡脚发生机械破碎,因而坡脚常堆积由巨大石块构成的崩积物。风化作用的长期作用,形成了张家界高峻、顶平、壁陡、麓缓的基本地貌形态。与红色砂砾岩组成的丹霞地貌^[2,3]相对比,其颜色没有它鲜艳。但砂岩峰林由纯净石英砂岩组成,颜色古朴,素雅,棱角分明,刚劲峥嵘,更具有自然审美价值。

张家界处于亚热带湿润性气候区,冬春温暖,气温较高,降水量大且集中。实测最大 24 h 降水量 249 mm,3 d 降水量 312.8 mm。金鞭溪多年平均年径流量为 $9\,113.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,河川流量 $2.89 \text{ m}^3/\text{s}$,历史上最大洪峰流量达 $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此风化剥蚀和流水侵蚀、搬运作用十分强烈。索水属暴雨中心区,水流迭加性好而易形成山洪或泥石流,巨大的搬运作用,将碎裂物迅速携带而出峪口,形成冲洪积扇,故嶂谷、峡谷中巨大堆积物少,而形成“箱状”或“U”状谷,山体则按上式演化成峰林,且具“高峻、顶平、壁陡、麓缓”等特点。

这一地区还是澧水三条支流的分水岭,溯源侵

蚀作用旺盛,为深切峡谷、嶂谷和错落的柱峰产生提供了有利条件。园内水系发育,属澧水上游一级支流水的次一级支流索溪水系。该溪由西往东穿过园区,在水绕四门以上称金鞭溪,自水绕四门至索溪峪以下则称索水。因断裂抬升和侵蚀作用,在砂岩峰林区形成了激流深潭和大叠水,著名飞瀑有“天悬百练”、“鸳鸯瀑”、“吊水岩”、以及“紫草潭”、“跳鱼潭”等。

本区的生物繁盛,为岩石的风化剥蚀提供了有利条件。该区从三叠纪到第三纪为干热气候,第四纪以来,未受到冰川侵袭。因而第四纪以前的某些生物得以保存和繁衍,形成许多南北生物的汇聚场和古老生物的基因库。山峰石柱之颠、悬崖峭壁之上的青松、灌木,其根系深深扎进岩石裂隙之中,并产生有机酸,不断分解着岩石。随着植物的生长,根系挤压产生机械崩解,导致岩层从一种形态变成另一种形态,使石峰、石柱更露峥嵘。

1.4 新构造运动

该区在漫长的地史时期,经历了武陵-雪峰、加里东、海西、印支、燕山、喜山及新构造运动。发生在早第三纪末的喜马拉雅运动,使湘西北地区大面积的抬升,造成晚第三纪地层缺失。特别是第四纪以来的新构造运动,使原来的平原变为高山,高山又夷为平地,尔后地壳又再度上升,如此往复,至今这里的地壳仍在上升。园内保存完好的地质遗迹,是反映地球历史和构造运动的真实记录。第三纪以来的新构造运动,使该区不断地产生间歇性抬升。地壳的抬升、导致侵蚀基准面的下降,使得该区水动力作用加剧,流水最终切穿高角度的节理或构造裂隙软弱带,形成今日之石英砂岩峰林地貌景观。其发展演变经历了平台、方山—峰墙—峰丛、峰林—残林四个主要阶段¹⁾。随着新构造运动的抬升,本区石英砂岩峰林地貌还将进一步发展,但受两个极限的控制。一是其顶部黄家碛组赤铁矿层和含铁砂岩层,一旦这个保护盖板被剥蚀,峰林就会较快崩解。另一是云台观组的底板,一旦被切穿,水流切入下伏的松花志留系中,会动摇峰林的基础,使其倒崩,形成残林。张家界石英砂岩峰林地貌的演化发育模式,可归纳为六亚类。它是在特定的构造、特定的新构造运动和外力作用条件下形成的一种举世罕见的新型地貌。它经历着由原始构造面→台地、方山嶂谷

地貌→峰丛、峰林嶂谷地貌→斜坡残余峰林→新剥蚀地貌的发展过程。

2 景观保护

砂岩峰林地貌边坡较为陡峭。边坡上现有的物质保持相对稳定状态,乃是长期地貌发育过程的产物。地貌的岩层本身虽然比较坚硬,但裂隙较多,这种稳定性是比较脆弱的。张家界现水土流失已在局部地段出现,也表明只要管理不善,开发不当,每个坡面均可能产生水土流失现象。从上面的成因分析我们可以清楚地看出:张家界存在着很多引起水土流失的自然因素。这些潜在的自然因素,若受人为不合理的社会经济活动的影响,则可能很快成为引起新的水土流失的主要原因。这些潜在的自然因素主要有如下几个方面:

1. 张家界地貌节理发育、物理风化和化学风化均很强烈,风化物 and 土壤十分疏松,内聚力小,抗蚀能力弱。此外,砂岩产状平缓,倾角一般为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。各岩层软硬相间,风化速度不一,易形成陡崖和崩岗。在陡崖和沟壁上常发育内凹负坡,重力崩塌现象十分普遍。所以,张家界存在着水土流失的潜在地质条件。另外,张家界本身的地貌特点也是引起水土流失的重要因素。受平缓岩层控制和强烈流水下切作用,诸山峰和岗丘上部虽大部分较为平缓,有较厚的风化物堆积和土壤发育,但边坡一般较为陡峻,水土难以保存。

2. 降水量大、且多暴雨。水文气象要素是水土流失的主要驱动力,也是重要触发因素。降水量大,多暴雨,降水持续时间长等特点是区内水土流失的主要水文气象条件,溅蚀作用,地面径流极易造成流量和流速极大的山洪,产生分离和输送土块、石块的巨大冲力。该区属中亚热带山地型季风湿润气候,气候四季分明,日照充足,冬无严寒,夏无酷暑,年均气温 $14\sim 15^{\circ}\text{C}$ 。一年之中,以一月最冷,日均温度为 $1\sim 5^{\circ}\text{C}$,七月最热,日均温度为 $23\sim 27^{\circ}\text{C}$ 。五、六、十月潮湿,七、八、九月干旱,年平均相对湿度为77%。年降雨量为 $1\,200\sim 1\,600\text{ mm}$,其中春夏(4~6月)降雨最多,秋季(7~9月)次之,冬季(12~2月)最少。平均无霜期 $240\sim 300\text{ d}$ 。春夏季节是环境保护的重点季节。这时正是旅游高峰期,自然灾

1) Ministry of Land & Resources the People's Republic of China Application For Unesco Network of Geoparks Zhangjiajie Geopark (Hunan), China[湖南省国土资源厅. 张家界世界地质公园申报综合材料.]

害的防范显得尤为重要。

3. 张家界地层中的张性断裂, 石英砂岩夹页岩层中的钙质胶结物以及流水的切蚀作用是促使山体风化、崩塌形成张家界峰林地貌的重要成景因素。然而, 这些因素的继续作用, 会使高大的石峰变成矮小的石柱, 壮观的景观最终会因风化剥蚀而消失。

4. 保护植被。坚决杜绝垦林开荒。保护植被有两大好处, 一是保持水土, 景观减缓的风化, 形成良性循环; 二是维护和美化景观。

在规划景区的排水系统时, 应弄清区内断裂构造的分布情况, 尽量避免沿断裂排泄, 减缓流水对景观的下切作用。

在景区开发施工过程中, 要特别注意防止诱发岩块或山体沿断裂发生滑塌。对可能崩塌的重要景点上的岩块要想办法把它固定; 注意当地的大气环境污染, 避免酸雨出现, 因为酸雨对岩石中的钙质胶结物有很强的溶解作用, 会加速岩石破碎。野外观

察表明, 在锣鼓塔一带, SO_2 对植物的污染现象很明显, 应引起有关部门重视。

园内居民为生存需要, 在陡坡上开垦农田, 不利于峰林的保护。因此, 应迁出园内的居民, 并加强定点监测工作, 做好自然灾害的预测预报工作。

参考文献(References):

- [1] Chen Guoda. Wu LingYuan apices landform genesis or exploitation and protection [J]. *Journal of Geography and Country Research*, 1991, 9(3): 1~ 6 [陈国达. 武陵源峰林地貌的成因及其开发与保护[J]. 地理学与国土研究, 1991, 9(3): 1~ 6.]
- [2] Peng Hua. Progress of research on Danxia landforms in China. *Geographic Science*. 2000, 20(3): 203~ 211 [彭华. 中国丹霞地貌研究进展[J]. 地理科学, 20(3) 203~ 211.]
- [3] Zhu Cheng. Danxia Landform Genesis and Scenic Feature of Guanzai Mountain, Fujian Province [J]. *Acta Geographica Sinica*. 2000, 55(6): 679~ 688. [朱诚. 福建冠山丹霞地貌成因及旅游景观特色[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 679~ 688.]

A Study on Zhangjiajie Quartz Sandstone Landform Genesis

TANG Yunsong, CHEN Wenguang, ZHU Cheng

(1. Department of Urban & Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Bureau of Geology and Minerals, Hunan, Changsha 410007, China

3. Department of Geography, Hengyang Normal University, Hunan 421008, China)

Abstract: On the basis of investigation and analysis remot sensing images, the research conclusions as follows: the basic shape in Zhangjiajie is bring up by stratum flat, lithosphere uplifting, denudation along breaching joint and gravitation dilapidation etc. The substance bedrock keeping this basic shape is a specifically lithology. The rock is mostly make up of pure sandstone. The lithology is bad cementation, joint developing, physics weathering is intensity, weathering matter and soil is full loosen, cohesion is small, resisting weathering is feebleness. concave developing is frequent in steep cliff and channel, phenomena of gravitation dilapidation is at large. So, Zhangjiajie have latency geology conditions in water and soil losing. In addition, quartz sandstone landform developing characteristic and water weather etc. in pel hill weathering, falling and die out. For ensuring sight developing, the research on protecting environment is signalitily.

Key words: quartz sandstone landform, genesis; rock characteristics; environmental protection