

江西省三大世界地质公园 研学旅行地学资源及其成因综述

叶张煌¹, 尹斌², 刘嘉麒³, 伍婧³, 邓晨霞¹¹

(1. 江西科技师范大学, 南昌 330038; 2. 江西省地质调查院, 南昌 330030;

3. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 江西省拥有庐山、三清山和龙虎山三个世界地质公园, 就犹如各具特色的天然地学博物馆, 地质遗迹和景观十分丰富。青少年在研学旅行中不仅要欣赏大自然鬼斧神工, 也要去读懂穿越时空的地球故事。根据这三大地质公园中经典的地学研学旅行线路, 阐述其形成的地质背景、成因和所包含的地质意义。庐山是一座崛起于平地的地垒式断块山, 东临鄱阳湖, 北临长江, 构成了一副壮美的山江湖画卷。庐山以典型的中国大陆东部低纬度山地第四纪冰川遗迹地貌景观著称, 是中国第四纪冰川地质学的诞生地。三清山地区涵盖了自中元古代至第四纪 10 多亿年几乎连续的地层, 经历了多次重大地质事件和“三海三陆”沧海桑田的演化。中生代早白垩世三清山花岗岩基侵位于地下约 6km 处, 在独特的“隆上隆”构造背景下岩体多次抬升, 才形成了现今以尖峰陡坡为特色的幼壮年期花岗岩峰林地貌。龙虎山地区在中生代白垩纪沉积了以河口组和塘边组为代表的(近)水平的厚层红色岩系, 主要受流水侵蚀及崩塌后退等外动力地质作用的塑造, 形成顶平, 坡陡, 麓缓的典型壮年晚期丹霞地貌景观。

关键词: 地质公园; 地学资源; 成因; 研学旅行

中图分类号: F592.3

文献标识码: A

文章编号: 1007-3558 (2019) 04-0058-07

研学旅游是一种将游与学结合, 以提高学生综合素质为目的的文化教育旅游。2016 年 11 月, 教育部等 15 部委印发《关于推进中小学生研学旅行的意见》, 要求各地将研学旅行纳入必修课程。开展研学旅行, 有利于促进学生培育和践行社会主义核心价值观, 促进书本知识和生活经验的深度融合。截止 2018 年底, 江西省在读的中小学生高达 700 多万人, 从参加研学旅行的意愿调查来看, 70% 的人期望旅行时长达到 6-10 天, 能接受人均花费 3000-10000 元的比例达到 88%。巨大的客源市场将为江西旅游新业态的发展注入新动力。

“得地独厚”的地质公园是开展研学旅行活动的最佳实践地。《中国地质公园建设指南》指出, 发挥科普教育功能是建立地质公园的主要目的。同时, 91% 的游客在参观地质公园过程中有意愿了解地学知识^[1]。基于此, 地质公园能成为也必须成为研学旅行活动的良好平台。截止至 2017 年, 中国已有 35 处地质公园进入教科文组织世界地质公园名录, 是世界地质公园最多的国家, 但普遍存在“重评选、轻科普”的问题。2013 年 1 月, 中国湖南张家界、江西庐山和黑龙江五大连池被“黄牌警告”, 原

¹ 收稿日期: 2019-05-18

基金项目: 本文系江西教育科学规划项目 (18YB158) 的研究成果之一

作者简介: 叶张煌 (1973-), 男, 江西武宁人, 江西科技师范大学副教授, 博士, 研究方向为地质遗迹和地貌学研究。

因是“向公众科普地球知识”方面存在不足。

资源是研学旅行活动的客体，国内学者对地学旅游资源研究的成果主要集中在其分类与评价^[2]，而通俗易懂的成因解释甚少。江西省现拥有庐山、三清山和龙虎山三家世界地质公园，本文将阐述其经典研学旅行线路上丰富的地学旅游资源及其所包含的地质意义，让青少年在赞叹大自然鬼斧神工的同时，读懂地球沧海桑田的故事。

一、庐山：芦林湖→含鄱口→五老峰→三叠泉→大排岭

庐山位于扬子板块东段。北临长江，东临鄱阳湖，形成了一副山、江、湖的壮美画卷。庐山地处北亚热带季风温湿气候区，具海洋性特征。平均海拔 1200m，年平均气温 11.5℃，年平均降雨量 1833.5mm。庐山是一座崛起于平地的地垒式断块孤立山，经历了复杂而又漫长的过程，可划分为 3 个大的演化阶段。1996 年被列入世界文化景观遗产名录，2004 年成为首批世界地质公园网络成员之一。庐山以典型的中国大陆东部低纬度山地第四纪冰川遗迹地貌景观著称。

庐山是中国第四纪冰川地质学的诞生地。1947 年著名地质学家李四光发表专著《冰期之庐山》认为，庐山在海拔 800m 以上产生了 4 次亚冰期^[3]，这是中国地质学家在中国大陆东部首次发现第四纪冰川。但庐山第四纪是否存在冰期一直是国内外学术界争论的话题，到目前为止也无法定夺。这是自然科学发展的正常现象，不足为虑。本文采用庐山存在第四纪冰川的观点。

芦林湖和谷口：站在芦林桥头，北望大校场冰川 U 形谷，谷长约 300m，宽 170m，谷底海拔 1050–1250m。U 形谷是一种典型冰蚀地貌，又称冰蚀谷，横剖面近似 U 型而得名。在冰川运动过程中，巨厚的冰川像推土机一样，把松动的石块一块带走，这些岩石和冰川不断对地面进行下蚀和侧蚀，便形成 U 形谷。在 20 万年前芦林湖就是一个大冰窖，来自大校场 U 形谷的冰川汇集于此，冰窖圆满后便越过芦林大坝处的冰坎，再溢流到石门涧 U 形谷，最后流向山前平原。穿过诗碑园到谷口，近观庐山冰期的冰碛泥砾混杂岩剖面。冰川裹挟着其剥蚀产物向前移动。冰碛物常常是巨大的石块、粘土和砂粒混合在一起，毫无分选。冰川到达温暖的地方就地融化后，它把所携带的物质沉积下来形成冰碛泥砾混杂岩。

含鄱口：近东西向的含鄱岭是冰川刃脊。刃脊长 1250m，海拔 1100m。沿含鄱岭前行，经过含鄱亭，登上望鄱台。鄱阳湖及山前美景尽收眼底。南望庐山主峰汉阳峰，北望便是五老峰。西望有两个尖削如塔的山峰—太乙峰和犁头尖，它们是冰川遗迹之角峰。

在冰川不断扩大和后退的过程中，山坡受到显著侵蚀，两个相邻冰川间残留的陡峭山脊，形如刀状，称为刃脊。一般由三个以上的冰川所夹峙的残留山峰，形如金字塔，山坡呈凹形陡峭，顶峰突出成尖角，称为角峰。

五老峰：从登峰门沿游步道爬坡 1000m 即到五老峰第一峰，从待晴亭可眺望凌霄崖、太乙村、鄱阳湖及庐山云雾等美景，也是观看鄱阳湖日出的理想之所。庐山处于南方暖湿气流与北方冷空气之接触部位，降雨量大，加之植被发育，山体高耸、临江傍湖等因素，大量暖湿气流沿陡坡上升，与山上冷空气相遇，造就了庐山特有的多雨雪云雾的特色，年均雾日达 190.6 天。难怪唐伯虎诗云“匡庐山高高几重，山雨山烟浓复浓”。从第二峰看五小峰颇有点一览众山小的感觉。穿过五老洞，即为险峻的第三峰，脚下悬崖万丈，头上蓝天白云。第五峰海拔 1365m，游步道建成之前，营员无法到达五老峰以北，大有无限风光在险峰的意境。

三叠泉：沿山脊向三叠泉方向前进，即可近观鳄鱼石冰斗，形态高度与李四光命名的大坳冰斗有些相似。冰斗是山岳冰川最典型的冰蚀地貌。位于冰川的上部，典型的冰斗由岩盆、岩壁和岩槛组成。三面环以陡峭的岩壁，出口处有突起的岩槛，冰斗底部为封闭凹地，称为岩盆。冰川消退后积水成湖，即为冰斗湖。

从鳄鱼石冰斗前行即可到达三叠泉。营员站在悬崖平台，观看落差达 155m 的瀑布，与瀑布融为一体，体会到“飞流直下三

千尺，疑是银河落九天”的诗境。

三叠泉是地壳频繁升降，后又经过冰川侵蚀、溯源侵蚀，河流袭夺等共同地质作用的结果。三叠泉的水由涓涓细流的涧水会合，从大月山流出，经过五老峰背，由北崖悬口注入第一级大磐石上，又飞泻到二级大磐石，再喷洒到三级磐石，形成三叠。原来的七里冲向北东流，在三叠泉附近被向南流的三叠泉河袭夺，河流成直角拐弯，河流袭夺后，裂点向七里冲上溯了 2000m 之远，河流下切深度达 150~300m。在第二级磐石到第三级磐石之间，岩层上部呈现水平状，而下部则有些弯曲甚至呈拱形，有的还连续弯曲，瀑布之下的峡谷也发育大量固态流变褶皱带，之上山谷受变质核杂岩拆离断层热动力作用，出露石英砂岩^[4]。

含鄱口、五老峰至三叠泉一带出露的岩石为距今 6.8 亿年的南华纪砂岩，产状平缓，但有两组区域性垂直共轭剪切节理裂隙非常发育，常形成陡崖峭壁。

白鹿洞和大排岭：位于五老峰南麓的白鹿洞河谷中出露有 25~18 亿年早元古代深变质杂岩，命名为“星子群”，它作为我国最古老的深变质杂岩之一而载入了《中国地层典》。此外，白鹿洞书院是中国“中国四大书院”之一，成为理学传播的中心。白鹿洞往东前往大排岭，可见到第四纪最老的冰碛泥砾混杂岩及巨大的冰川漂砾。

二、三清山：小关→汾水→金沙→主景区→天梁

三清山位于华夏与扬子板块结合带，即赣东北缝合带。三清山海拔一般 1000~1800 米，为中山地形。三清山地处亚热带湿润季风气候区，四季分明，具有海洋性气候和高山气候特征。气候湿润，年平均气温 10~12℃ 之间，年降雨量在 1900mm 以上。三清山地区涵盖了自中元古代至第四纪 10 多亿年几乎连续的地层，经历了多次重大地质事件和“三海三陆”沧海桑田的演化，可以划分为三个大的演化阶段^[5-6]。早白垩世三清山花岗岩基侵位于地下约 6km 处，这是三清山花岗岩地质地貌的奠基时期，此后在独特的“隆上隆”构造背景下三清山花岗岩体多次抬升，又通过新生代的塑造，才形成了现在的这种地质地貌格局。三清山于 2008 年 7 月入选世界自然遗产名录，2012 年 9 月列入世界地质公园名录，以尖峰陡坡为特色的幼年-壮年期花岗岩峰林地貌著称。

小关：营员可观测到新元古代早期的双峰式裂谷火山岩。扬子与华夏古板块碰撞形成 Rodinia 超大陆，不久即发生裂解。三清山地处裂谷边缘，火山喷发作用非常剧烈，形成由玄武岩（基性岩）、流纹岩（酸性岩）组成的双峰式火山岩，由 SHRIMP 锆石 U-Pb 测得的年龄值为 807Ma^[7]，标志着超大陆的裂解。

汾水：在汾水可见到早寒武世荷塘组黑色页岩，是寒武纪缺氧事件之证据。推测华南地区早寒武世菌藻类低等生物大量繁殖，又因缺氧事件而死亡，后经压实成岩作用后形成黑色页岩。缺氧事件之后，至早寒武世晚期，三叶虫等生物大量出现，标志着寒武纪地球生命大爆发。

芭蕉坞：三条正断层将三清山分割成一个典型的“三角形断块山”。相对山体而言，其倾向均向外倾，即“三角形断块山”内的岩石为上升盘，以外的为下降盘。在芭蕉坞附近，可观看到鹅公岭一下西坑正断层，它是控制三清山抬升的主构造之一，走向北西—南东，沿断裂形成大的峡谷^[8]。断层面形成了片理化花岗岩，构造角砾岩。

沿公路抵达金沙后，可坐索道进入三清山主景区。索道上眺望如诗如画的花岗岩峰林，随着海拔上升，植被呈明显的垂直分带。下索道后沿游步道前行，一路可领略到诸多奇景。

巨蟒出山：高度达 128m，直径 7-10m 的高耸挺拔的花岗岩峰柱，是三清山标志性景点，属世界绝景。峰柱与旁边的指状峰墙组合形态，酷似昂首行走的蟒蛇，故名“巨蟒出山”。花岗岩体在板柱状节理切割控制下，又经风化和重力崩塌作用，沿近水平 ($50^\circ \angle 15^\circ$) 节理，产生多处崩解，见多条细晶岩脉侵入，犹如蟒蛇维系着多条彩带。巨蟒峰柱虽高，但重心稳定。三清

山的两组垂直节理使岩体沿节理面陡立，近水平节理起到“承上启下”的承接作用，正如砖块可以砌起高大的建筑一样。横节理又称损景节理，倾角越大越不稳定，容易沿节理面产生滑塌^[9]。

万笏朝天：花岗岩指状峰墙，是三清山珍稀景观之一，也是三清山式花岗岩峰林地貌景观所特有的。相对高度约200m，由七瓣朝天的峰柱组成。系花岗岩体被两组垂直节理切割，并遭受风化剥蚀和冲刷而形成，是峰墙向峰柱演化的一个典型实例。

东方女神：花岗岩峰柱造型石，峰柱高86m，是三清山标志性景点，也是世界绝景。燕山期岩浆上侵形成花岗岩后，随着地壳的上升和构造运动，产生断裂和节理，前期由二组近垂直的节理切割成柱状峰体，后经近水平节理切割和崩塌作用使峰柱成两段，再经球状风化剥蚀形成惟妙惟肖的女神形态。岩性为中粗粒似斑状黑云母钾长花岗岩。钾长石在有机酸中易发生化学分解^[10]。高大崖壁因失去支撑而发生崩塌作用，形成崩塌残余型地貌。

九天锦屏：这是一个1500m左右的地貌夷平面。这里可鸟瞰花岗岩峡谷峰林微地貌景观组合，北望壮观奇特的天门山花岗岩峰丛微地貌。

天染：在地质公园东南部的天梁发育石炭纪灰岩，形成典型的喀斯特地貌。喀斯特一词源自斯洛文尼亚一地名，与山体的花岗岩地貌完全不同。微地貌主要有溶洞、地下河、石芽与溶沟、岩溶湖、天生桥等。喀斯特地貌，又称岩溶地貌，指具有溶蚀力的水对可溶性岩石（大多为石灰岩）进行溶蚀作用等所形成的地表和地下形态的总称。石灰岩的主要成分是碳酸钙，在有水和二氧化碳时发生化学反应生成碳酸氢钙，后者可溶于水，于是空洞形成并逐步扩大。这就是自然界“水滴石穿”的现象。

三、龙虎山：前舒村→仙水岩→象鼻山

龙虎山位于欧亚大陆板块东南边部，扬子板块与华夏板块结合带东段。保护区属于亚热带温暖湿润季风气候，地貌多为丘陵地带，海拔在240~330m之间，最高峰峨尾岭海拔327.9m，年平均气温17℃。区内雨量充沛，年平均降雨量1889mm，降水季节分布不均。龙虎山于2007年加入世界地质公园网络，2010年8月成为中国第八处世界自然遗产。中国丹霞申报世界自然遗产成功，标志丹霞地貌这个在中国土生土长的地貌学“国粹”真正实现了走出国门，走向世界。龙虎山地区在中生代白垩纪沉积了以河口组和塘边组为代表的（近）水平的厚层红色粗、中粗、粒屑岩系，即红层，在构造运动及间歇抬升的背景下，主要受流水侵蚀及崩塌后退等外动力地质作用的塑造，形成顶平，坡陡，麓缓的地貌形态^[11]。龙虎山属典型壮年晚期丹霞地貌景观。

在距离游客中心2km的前舒村可远观“金枪峰”。紫红色砂砾岩经过流水冲刷重力崩塌后残留形成高70m方形石柱，石柱断面直径不足10m，柱面四周壁陡如削，仰望有孤柱撑天之状，宛如男性阳具。孤峰残丘是龙虎山丹霞地貌壮年晚期向老年期过渡的典型标志^[12]。

仙水岩景区是龙虎山碧水丹山的精华所在。乘竹筏沿芦溪河而上，即可观看当地人称之为“十不得”景点，这里选取几例。

“尼姑背和尚走不得”，即僧尼峰。为一石峰与崩塌残峰组合的丹霞造型地貌。在原有的石梁上发育多组垂直节理，经水流长期冲刷切割，沿节理侵蚀崩塌，西侧一个已被水冲蚀，崩塌成残峰，最后形成两个紧挨的顶部浑圆的石峰，远眺此景，形似一个和尚背着一个尼姑，故称僧尼峰。近观此景，西部石峰又似引颈翘首的龟头，东侧石峰形似龟身，合称“神龟翘首”。

“玉梳梳不得”，即玉梳石，崩塌堆积型象形石。该造型地貌处于靠近仙水岩的泸溪河流中央，与梳子非常相似故名玉梳石。原岩节理发育，发生崩塌，而且含有一钙泥质软弱层，恰巧崩塌岩块的层理与水平面垂直朝上，经过泸溪河流的强烈冲刷，相对软弱的岩层被冲刷成沟，相对硬的岩层形成锯齿状造型。

“仙女配不得”，即仙女岩，溶蚀风化型的天下第一绝景。高数十丈，坐南朝北，原岩节理发育，其中北西向 330° 一张性节理经水流冲刷侵蚀，岩石从石壁上崩塌下来，在水流的进一步冲刷作用下，洞穴越来越大，最终形成一个巨大的漏斗状洞穴，非常对称的向左右展开，而山体基底是一含钙软弱岩层，成弧形与其上竖状洞穴相连，酷似一裸露女性的阴部，称之为仙女岩。竖状洞穴是嶂谷的萌芽阶段。

“千载玉棺飞不动，空江斜月照寒烟”。龙虎山的崖墓是历史最悠久、数量最多、规模最大的崖墓葬，是中国崖墓葬的发源地。几乎直立的仙水岩岩壁光滑平展，岩脚下便是泸溪河。龙虎山崖墓数以百计，全部镶嵌在仙水岩一带的悬崖峭壁之上。墓穴是砂砾岩差异风化所致，岩石软弱岩层易风化剥落，冬天积水成冰，水结成冰时其体积可增大 9.2%，洞穴不断扩大。冰体对裂缝壁产生 $960\sim2000 \text{ kg/cm}^2$ 的巨大压力^[18]，冰劈作用使岩体更容易发生机械崩塌和破碎。这是形成丹霞地貌陡坡特征的一个重要因素。崖墓大都离水面 50 米以上，高的达 200 余米。据考证，龙虎山古崖墓最早追溯到距今 2600 多年前的夏商至春秋战国时期，但当时生活在这一带的古越族人如何将棺木送上百米高崖，至今是个谜。

沿着象鼻山景区游步道，可陆续欣赏到其他的丹霞奇景。

排衙峰：水流冲刷侵蚀形成的峰丛丹霞地貌。河口组和塘边组红色碎屑岩层被抬升至侵蚀基准面之上，流水沿山体垂直节理、裂隙或断裂冲刷侵蚀，部分岩块崩塌，但尚未下切至侵蚀基准面，基底仍然相连，远看犹如众衙役站岗，又如群仙迎客。当流水下切至侵蚀基准面时，以侧向侵蚀为主，常形成根部不相连的峰林。

雄师回首：水流冲刷侵蚀形成的石梁造型丹霞地貌。石梁存在含钙泥质软弱层，由于风化差异，雨水冲刷后形成水蚀槽和额状崖，这些微地貌组合成雄师的面部特征。山体形似狮头、狮身，总体构成一幅“雄师回首”。

脸谱石、神斧开山：崩塌堆积岩块形成的丹霞地貌。原岩节理非常发育，在水流和重力作用下，山体下部掏空，岩块沿节理面崩塌，一楔形岩块下落，残留在离原位不远的两条节理面间，似一把神斧劈开山体。左侧含钙泥质软弱层的岩块经水流侵蚀，瘤痕清晰可辨，似侧面脸形，故合称神斧开山、脸谱石。

牵龙洞：崩塌洞穴型丹霞地貌。走向北西 330° 和北东 40° 两条断裂交汇处岩石碎裂，地表水沿交汇处下渗，并沿其中一条断裂面，冲刷侵蚀下切，岩层中含有一钙泥质细砂软弱岩层，使得水流的侧侵作用更强，形成层状洞穴，随着下部承载体的慢慢流失，上部的岩层在重力作用下，发生崩塌，流水一方面将底部破碎岩块和砂石冲走，另一方面含钙岩层与地下水发生反应，物质呈离子态流失。最后形成巨大的崩塌洞穴。

金钟峰：水流冲刷侵蚀形成的锥状石峰。山体沿节理遭水流长期冲刷侵蚀而层层剥落，最后形成一个孤立的宛如倒挂石钟的上小下大的石峰型丹霞地貌。侵蚀岩墙上可见三组节理，山顶面不发育。

仙丹盒：水流冲刷堆积形成的石墙型丹霞地貌。山体发育两组垂直的构造节理面，在重力作用下，沿横向的节理面发生强烈崩塌作用，后经冲刷侵蚀下切和地面抬升，形成墙状山体，山腰上明显可见差异风化形成的水平洞穴，造成上部大，下部软弱岩层略缩进的长方形盒子，人们把它想象成是张天师存放仙丹的地方，故名仙丹盒。

象鼻山：溶蚀风化崩塌造成的石梁丹霞地貌景观。靠近岩体边缘局部发育数组节理，由于长期的机械物理风化，中间岩块在重力作用下发生崩塌成为穿洞，而边缘节理不发育的部分被留下来，侵蚀风化而呈浑圆状，崩落中空和石梁残余组合成一个栩栩如生的巨大宛如饮水石象景观，被誉为“天下第一象”。

结论

地质遗迹是地球演化的记录，具有重要的科学价值和科普意义，也是地学主题研学旅行的主体。在地质公园打造经典地学研学旅行是人才培养的需要，具备现实可行性。江西庐山、三清山和龙虎山是分别在第四纪冰川、中生代花岗岩地貌、丹霞地貌等方面具有全球研究对比意义的地学宝库，在此开展地学类研学旅行是建设我省“旅游强省、文化强省”的需要，是拓展研学游的最佳产品形式。

参考文献：

- [1] 何小芊, 李超男, 许甲甲. 龙虎山世界地质公园科普教育的游客感知特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32 (2): 202-207.
- [2] 何小芊, 刘宇, 熊国保. 国内外地质旅游研究现状与展望[J]. 热带地理, 2015, 35 (1): 130-138.
- [3] 尹国胜, 杨明桂. 庐山世界地质公园及其周边地区的主要地质景观[J]. 资源调查与环境, 2004, 25 (4): 304-310.
- [4] 江西庐山地质公园管理委员会. 中国江西省庐山申报世界地质公园综合报告[R]. 中华人民共和国国土资源部, 2003.
- [5] 叶张煌, 刘嘉麒, 尹国胜, 陈安泽, 王敏. 江西三清山国家地质公园的重大地质事件记录[J]. 地球学报, 2012, 33 (2): 236-244.
- [6] 叶张煌, 尹斌, 刘嘉麒, 王安建, 陈安泽, 闫强. 江西省“三清山式”花岗岩地貌景观发育机制探讨[J]. 地球学报, 2014, 35 (6): 769-775.
- [7] 王剑. 华南新元古代裂谷盆地演化：兼论与 Rodinia 解体的关系[M]. 北京：地质出版社, 2000.
- [8] 叶张煌, 刘嘉麒, 尹国胜, 陈安泽, 查奇智, 陈养青. 2013 江西三清山国家地质公园地质遗迹资源概述[J]. 资源与产业, 2013, 15 (1): 82-88.
- [9] 崔之久, 杨建强, 陈艺鑫. 中国花岗岩地貌的类型特征与演化[J]. 地理学报, 2007, 62 (7): 675-690.
- [10] 王根厚, 王训练, 余心起. 综合地质学[M]. 北京：地质出版社, 2008.
- [11] 彭华. 丹霞地貌研究进展[J]. 地理科学. 2000. 20 (3): 203-211.
- [12] 郭福生, 李晓勇, 姜勇彪, 等. 龙虎山丹霞地貌与旅游开发[M]. 北京：地质出版社, 2012.
- [13] 杨坤光, 袁晏明. 地质学基础[M]. 北京：中国地质大学出版社, 2009.