

文章编号: 1008-2786-(2018)4-501-08

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000346

丹霞地貌岩体差异胀缩特征及其成景作用

姜伏伟¹, 郭福生^{2*}, 杨安林¹

(1. 贵州理工学院 资源与环境工程学院, 贵阳 55003; 2. 东华理工大学 地球科学学院, 南昌 330013)

摘 要: 丹霞地貌的研究主要以地质构造、地层岩性、外动力条件等宏观方面为主,但这些因素是地质景观形成的普遍性因素,未能较好解释丹霞地貌景观个体特征差异性原因。龙虎山丹霞地貌区岩性物质成分复杂,种类较多。本文从微观的角度,分析其岩体差异胀缩在丹霞地貌景观成因中的作用。选取研究区主要的 6 类物质成分岩块,在热、水、热-水三种条件下进行膨胀性试验,得出热膨胀率最大相差 2.58 倍,水膨胀率相差 3.54 倍,热-水膨胀率相差 3.88 倍。由于物质成分的差异性,当外界环境条件变化时,岩体内物质发生差异性胀缩。这种差异性胀缩引起岩体表面细粒物、砾石脱落,形成凹凸形态,构成了丹霞地貌成景的基础元素。研究区胀缩引起的凹凸形态,主要形成“脸型”“头型”和“身型”三类丹霞地貌景观。

关键词: 丹霞地貌;膨胀试验;胀缩过程;成景作用

中图分类号: P931

文献标志码: A

景观成因是丹霞地貌研究的重要课题。很多学者主要从地质构造^[1-4]、地层岩性^[5-8]、沉积关系^[9-10]、外动力条件^[11-13]、发育模式^[14-15]等方面研究丹霞地貌的成景机制。这些方面属于包括丹霞地貌在内的沉积岩地质景观形成的共性因素,具有普遍性,但不能很好解释丹霞地貌景观个体特征的差异性。如在同样地质背景条件下,往往只在局部或者某个区域能够形成地质景观,其他区域未能发育地质景观。同样区域的地质景观,个体之间存在很大的差异性。这表明,除了宏观因素之外,微观因素也是丹霞地貌景观发育的重要因素。因此,从微观的角度,分析丹霞地貌景观成因具有重要的意义。

本文以龙虎山世界地质公园为例,分析丹霞地貌岩体胀缩作用对成景的影响。研究区景观发育主要影响因素为信江盆地白垩系沉积体系^[9-10]、地质构造^[16-17]和外动力条件^[18]。其中,郭国林^[19]认为

岩体的微观化学风化作用促进岩壁景观的形成;姜伏伟^[20]认为雕蚀作用(包括流水侵蚀溶蚀、温度差异风化、微观化学风化等)是研究区景观形成的核心要素。在已有研究成果的基础上,本文探讨研究区岩性差异导致的胀缩在该区成景过程的作用。

1 岩体物质成分差异性特征

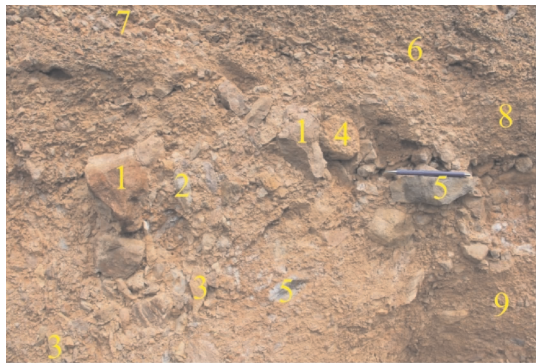
龙虎山丹霞地貌发育于冲积扇相的圭峰群河口组地层,其岩性物质成分复杂,砾石粒径差异较大,物质成分种类较多。岩性上,主要有砾岩、砂砾岩和砂岩,并夹有薄层的泥岩。砾石成分上,主要有凝灰岩、流纹岩、砂岩、花岗岩、石英等(图 1)。砾石粒径尺寸相差较大,如图 1 中砾石最大长轴 15.8 cm,最小为几毫米,相差百余倍。砾石形状差异较大,多呈次圆状、次棱角状、扁平状等,其排列方式多样,主要以单独镶嵌、筛状、叠瓦状为主。根据研究区砂岩的

收稿日期(Received date):2017-06-27;改回日期(Accepted date):2018-01-17

基金项目(Foundation item):国家自然科学基金项目(No.41772197)。[National Nature Science Foundation of China (No.41772197).]

作者简介(Biography):姜伏伟(1987-),男,江西抚州人,博士,研究方向为丹霞地貌成因。[JIANG Fuwei, (1987-), male, born in Fuzhou, Jiangxi province, Ph. D., research on Danxia Landform.] E-mail: jfwei_666@126.com.

* 通讯作者(Corresponding author):郭福生(1962-),男,博士,教授,研究方向为区域地质与地貌景观。[GUO Fusheng, (1962-), male, Ph. D., professor, research on regional geology and geomorphologic landscape.] E-mail: fshguo@ecit.cn.



1-紫红色凝灰岩 2-流纹岩 3-红褐色砂岩 4-花岗岩
5-灰绿色凝灰岩 6-石英 7-细砾 8-砂粒 9-泥质

图1 岩体物质差异性

Fig.1 Rock mass difference

薄片鉴定结果,矿物颗粒间胶结物主要为钙质和铁质,少量为碳酸盐胶结。

总体上看,研究区丹霞地貌岩体物质成分差异性较大。不同的物质成分对水、热的胀缩响应程度不同,导致差异胀缩,而形成风化裂隙,并进一步塑造造成表面的凹凸有致而成景。

2 岩体胀缩差异性特征

龙虎山丹霞地貌地层是主要以泥灰岩、片岩、细砂岩、石英砂岩、流纹岩、花岗岩等碎屑物构成。这些碎屑物的成分决定了岩体的胀缩性,因此,选择上述六种主要的碎屑物成分,在多种条件下,开展岩体膨胀性试验。

2.1 热膨胀性

随着季节性的变化,研究区岩体所处的温度环境不同。当环境温度升高时,岩体将吸收热量,导致自身温度升高而引起膨胀。使用岩土比热容测试仪、岩土导热系数测试仪分别测试研究区6组不同

物质成分岩体的热力性质,结果见表1。6组试样中,比热容最大值为745 J/(kg·K),最小值为577 J/(kg·K),相差1.29倍,热扩散系数相差2.49倍,容积热容量相差1.29倍,导热系数相差1.39倍。这说明研究区砾石的热力性质相差较大。

在分析岩体热力性质的基础上,同样的6组试样,进行热膨胀性试验。试验开始前,使用岩石切割机将岩石切割成一定间距的两个平行面。将试样一个平面朝下放入石英玻璃槽中,在另一平面上安装千分表,放入恒温恒湿箱中,见图2a。试验温度设置为10、20、30、40、50℃,每级温度维持4小时,保持湿度为80%不变。试样在恒温恒湿箱中,温度10℃保持4小时后,读取千分表读数,并依次读取其他温度下的千分表读数,试样结果见表2。表2中,6组试样热线膨胀率最大为 $1.55 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,最小为 $6.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,相差2.58倍。

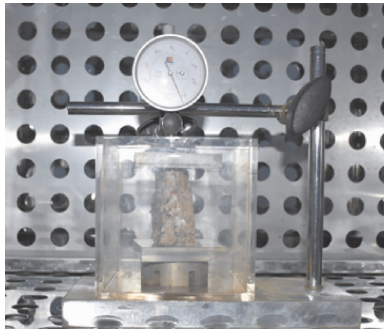
表1 岩体的热力性质

Tab.1 Thermal properties of rock mass

序号	物质成分	热扩散系数 mm ² /s	容积热容量 MJ/(m ³ ·K)	导热系数 W/(m·k)	比热容 KJ/(kg·K)
样1	凝灰岩	3.31	1.91	2.21	0.745
样2	片岩	1.47	1.48	2.18	0.577
样3	细砂岩	1.33	1.81	2.41	0.684
样4	石英砂岩	1.80	1.68	3.03	0.657
样5	流纹岩	1.60	1.50	2.40	0.618
样6	花岗岩	1.52	1.66	2.52	0.636

2.2 水膨胀性

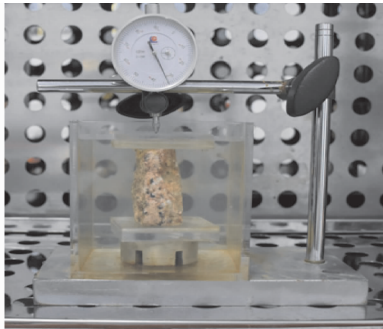
当裸露的岩体遇到降雨或坡面流时,岩体将吸收水分。由于亲水性矿物的存在及水体渗入岩体空



(a) 热膨胀性试验
(a) Thermal expansibility test



(b) 水膨胀性试验
(b) Hydro-expansibility test



(c) 热-水膨胀性试验
(c) Thermo-hydro expansibility test

图2 膨胀性试验

Fig.2 Expansibility test

隙中,将引起岩体的膨胀。为了分析龙虎山丹霞地貌岩体遇水的膨胀特性,利用自由膨胀仪,测试不同物质成分的砾石在水的作用下的膨胀性,见图 2b。按照岩体自由膨胀试验方法(工程岩体试验方法标准 GB/T 50266-2013),测试研究区同样的 6 组不同物质成分试样(和热膨胀性试验试样一致),结果见表 3。

表 3 表明,6 组试样膨胀长度为 8.5~30.1 μm 之间,线膨胀率介于 $1.70 \times 10^{-2}\%$ ~ $6.02 \times 10^{-2}\%$,其中试样 4 石英砂岩砾石的线膨胀率最大,试样 1

凝灰岩砾石最小,两者相差 3.54 倍。这说明研究区砾石在浸水后膨胀性相差数倍,差异性较大。

2.3 热-水膨胀性

若在雨水浸泡后遇到环境温度升高,或者在环境温度升高过程中遇到雨水,砾石则在热-水耦合作用下引起膨胀。在热膨胀试验基础上,在石英玻璃槽中加入水(图 2c),模拟热-水耦合条件下,测试方法和热膨胀试验一致,依然采用同样的 6 组试样(和前面 2 类试验试样一致),试验结果见表 4。在热-水耦合作用下,砾石的线膨胀率最大值

表 2 岩体热膨胀率

Tab. 2 Thermal expansion rate of rock mass

项目	样 1	样 2	样 3	样 4	样 5	样 6
千分表读数 / 10^{-6} m	10℃	576.4	572.2	481.1	596.2	321.9
	20℃	581.5	577.9	487.5	597.2	327.1
	30℃	585.9	581.1	491.2	607.3	329.5
	40℃	589.9	582.2	493.3	608.5	332.3
	50℃	600.4	584.2	498.4	617.5	335.1
膨胀长度/ μ m	23.8	12.0	17.3	21.3	13.2	30.9
试样高度/cm	5.0	5.0	5.0	5.0	3.5	5.0
线膨胀率 $1/^\circ\text{C}$	$1.19\text{E}-05$	$6.00\text{E}-06$	$8.65\text{E}-06$	$1.07\text{E}-05$	$9.43\text{E}-06$	$1.55\text{E}-05$

表 3 岩体水膨胀率

Tab. 3 Rock mass water expansion rate

项目	样 1	样 2	样 3	样 4	样 5	样 6
初始读数/ 10^{-6} m	248.0	244.3	331.9	438.0	275.0	404.9
终止读数/ 10^{-6} m	256.5	265.1	350.0	468.1	288.5	424.5
膨胀长度/ μ m	8.5	20.8	18.1	30.1	13.5	19.6
试样高度/cm	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
线膨胀率/%	0.017	0.042	0.036	0.060	0.027	0.039

表 4 岩体热-水膨胀率

Tab. 4 Rock mass Thermo-hydro expansion rate

项目	样 1	样 2	样 3	样 4	样 5	样 6
千分表读数 / 10^{-6} m	10℃	231.0	136.6	221.3	336.5	441.2
	20℃	231.5	142.5	234.8	349.2	443.5
	30℃	242.5	173.0	253	360.2	445.0
	40℃	260.1	197.2	270.2	371.7	456.1
	50℃	262.5	202.7	289.2	386.4	467.0
膨胀长度/ μ m	31.5	66.1	67.9	49.9	25.8	100
试样高度/cm	5.0	5.0	5.0	5.0	3.5	5.0
线膨胀率 $1/^\circ\text{C}$	$1.58\text{E}-05$	$3.31\text{E}-05$	$3.40\text{E}-05$	$2.50\text{E}-05$	$1.29\text{E}-05$	$5.00\text{E}-05$

$5.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, 最小值 $1.29 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, 相差 3.88 倍。可见, 相比热、水单独条件, 热-水耦合条件砾石线膨胀率相差最大。

2.4 收缩性

岩体的收缩性主要体现在冷收缩、干收缩和冷-干收缩。当外界温度降低时, 岩体温度随之下降低, 导致组成物质冷缩。受蒸发作用影响, 岩体内含水量逐渐降低, 吸水的物质逐渐脱水, 导致物质干缩。若温度降低和含水量降低同时作用时, 岩体表现为冷-干收缩。

在自然条件下, 岩体由表及里对外界环境变化的敏感性逐渐降低, 因此不同深度的岩体所体现的收缩性具有差异性。越靠近临空面, 岩体的收缩性越大, 反之亦然。

另外, 物质成分不同其收缩性不同。由于岩体的收缩性是膨胀性的逆过程, 在相同的环境变化条件下, 相同的物质成分岩体的收缩幅度和膨胀幅度一致, 如气温上升 10°C 引起的线膨胀量等于气温下降 10°C 引起的线收缩量。因此, 岩体冷收缩率、干收缩率和冷-干收缩率数值上与对应条件的热、水和热-水的线膨胀率相同。

3 岩体差异胀缩成景作用

岩体胀缩成景作用主要为三个基本过程: 岩体表面物质脱落、形成凹凸形态、凹凸形态组合成景。

3.1 岩体物质脱落

3.1.1 细粒物脱落

在漫长的地质历史时期, 裸露的岩体在环境动态变化的过程中, 将不断地经历膨胀-收缩的过程。岩体反复的膨胀收缩将引起临空面岩体的片状脱落, 其过程见图 3。

图 3 中, 假设临空面向内依次存在 3 种不同成分的物质 W_1 、 W_2 、 W_3 因环境条件变化而发生膨胀。由于环境条件对岩体发生影响的范围有限, 假设 W_3 右侧刚好不受环境条件变化影响, W_3 左侧将向临空面膨胀, 并挤压周围的岩体 (包括 W_2), 其左侧位移为 L_3 ; W_2 自身也向临空面膨胀且被 W_3 向左挤压 L_3 , 其左侧最终位移为 L_2 ; 同理, W_1 在被挤压和膨胀后, 向临空面发生 L_1 位移。在临空面位置, 若 W_1 的膨胀力超过周围细粒物质的强度, 将使得这些力学强度弱细粒物脱落。一般情况下, 在临空面的砾石发生膨胀, 其周围细粒物很容易脱落, 而使得这些

砾石出现凸起, 如图 4。



图 3 胀缩过程示意图

Fig. 3 Schematic diagram of expanding or contracting process



图 4 细粒物脱落砾石凸起

Fig. 4 Fine grain detachment with gravel bulge

3.1.2 砾石脱落

在经历一次膨胀后, 砾石周围细粒物脱落, 导致砾石 W_1 、 W_2 、 W_3 不同程度的松动。当环境条件变化引起岩体收缩时, W_1 、 W_2 、 W_3 均向自身中心收缩。收缩的过程中, 不同物质收缩的方向不同, 不出现膨胀时候的相互挤压, 如在 W_2 和 W_3 接触面上, W_2 侧面向左收缩, W_3 侧面向右收缩。而 W_2 因膨胀产生的位移包括 W_3 膨胀的挤压力, 但 W_3 收缩过程不对 W_2 产生拉力, 因此 W_2 和 W_3 间将形成 ΔS_2 裂隙。同理, W_1 和 W_2 之间产生 ΔS_1 裂隙。这样, 经历一次膨胀收缩后, W_1 将会和周围物质产生 ΔS 裂隙。若不断经历膨胀收缩后, ΔS 裂隙逐渐增大, 最终导致 W_1 的脱落, 如凸起的砾石脱落后形成凹陷, 见图 5。

3.2 形成凹凸形态

由于物质成分的复杂性, 丹霞地貌崖壁岩体胀缩差异性较大。胀缩率较大的物质, 其对周围作用



图5 砾石脱落形成凹陷

Fig. 5 Gravel falling off to form a depression

的膨胀力越大,越有可能造成周围细粒物、砾石的脱落。在相同环境条件下,力学强度强的岩体能抵抗较大膨胀力,其胀缩脱落的速度较慢。相反,力学强度较弱的岩体胀缩脱落的速度较快。脱落速度快的区域,形成凹进的形态,脱落速度较慢的区域,形成凸起形态。而凸起的那部分岩体,失去了下部岩体的支撑,很容易在重力作用下下坠,加快了岩体的凹进,见图6。

图6中,岩体的差异胀缩性形成凹凸相间的岩面形态。凹进的形态,往往组成“眼窝”、“嘴巴”、“鼻孔”等,凸起的形成往往组成“额头”、“鼻梁”、“下巴”等。这些拟人化的象形,是丹霞地貌景观细致入微、惟妙惟肖的基础。因此,胀缩引起的凹凸形态,是丹霞地貌成景的基础元素。

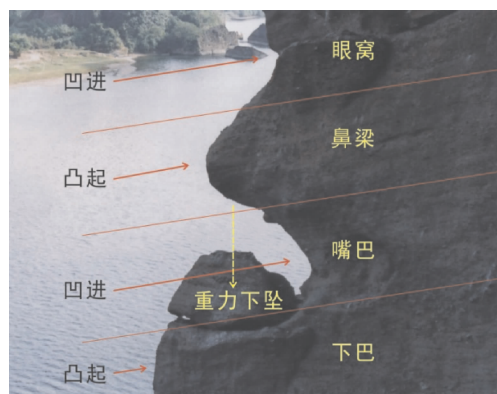


图6 岩面凹凸形态

Fig. 6 Rock surface relief pattern

3.3 凹凸形态组合成景

若岩体表面的凹凸形态之间,组合成具有一定象形体或美观形状,则形成一处景观。根据龙虎山丹霞地貌景区调查资料,岩体胀缩主要形成“脸

型”、“头型”和“身型”三类景观。

3.3.1 “脸型”景观

岩体持续的膨胀-收缩将在岩体临空面向内形成大小不一的凹洞。凹洞的形态及分布位置的不同,将组成不同的景观。如规模一致且平行的两个凹洞,中间下方合适距离存在第三个大小近似的凹洞,将组成“两眼一嘴”的“正脸型”景观(图7a)。如果岩体软硬相间,硬岩层胀缩脱落速度慢而凸起,软岩层胀缩速度快而凹进,侧面出现一个凹洞,将组成“额-眼-鼻-嘴”的“侧脸型”景观(图7b)。

3.3.2 “头型”景观

在网格状节理作用下,岩体受切割后三面崩塌,导致残余岩体三面临空。在外界环境变化作用下,残余岩体三面将同时胀缩而逐渐脱落。因岩体成分的差异性,三面岩体脱落程度不同,导致各个面形态各异,往往形成“头型”景观(图7c)。

3.3.3 “身型”景观

当岩体受节理切割四面崩塌后,残余的岩柱四面同时受到胀缩作用而导致块体脱落。由于各个面岩体及单面岩层胀缩脱落速度的差异性,速度慢的形成凸起,速度快的凹陷。凸起形成“头”“躯干”,凹陷的形成“眼”“嘴”“颈”,往往组合形成“身型”景观(图7d)。

4 讨论与结论

4.1 讨论

丹霞地貌景观以其种类多样,颜色红艳,造型独特,形态精致等特点,成为旅游热点及科普基地。它景观发育的前因后果,一直受到游客、学者的持续不断追问。彭华^[21]认为,中国的丹霞地貌发育在红色砾岩、砂砾岩、砂岩、泥岩等受区域构造控制的沉积盆地内红层上,直接影响丹霞地貌发育的外动力主要有流水、风化和重力等作用,其中流水是塑造丹霞地貌的主动力。姜勇彪^[22]认为江西弋阳丹霞地貌景观由风化作用、重力崩塌作用、流水侵蚀作用形成。朱城^[23]认为,白垩系红色砂砾岩经历垂直节理发育、风化破坏、剥蚀搬运后,差异性风化形成齐云山丹霞地貌景观。郭福生^[16]认为龙虎山丹霞地貌景观形成主要与红层、构造、外营力、空间位置有关。

上述丹霞地貌知名研究学者的成因分析,在宏



图 7 岩体胀缩成景景观

Fig. 7 Rock mass expansion and contraction landscape

观上揭示了景观成因。但在具备相同的地层条件、构造条件和外动力条件下,有些区域发育景观,另一些区域则没有,如龙虎山世界地质公园景观分布主要集中在泸溪河两侧,而峨眉峰景观很少。甚至,宏观因素相同条件下,一个崖面上形成不同类型的景观。因此,单从宏观上分析,较难细致分析丹霞地貌景观的成因,尤其是较难解释单个景观的成因特点。

本文认为,地层、构造、外动力作用是丹霞地貌景观成因的基本要素,岩性性质及其对外界环境的响应是其决定性因素。基本要素塑造了丹霞地貌景观的总体粗略形态,决定性因素塑造了景观的细致形态。热胀冷缩是岩性性质与外界环境相互作用及适应的重要表现。因此,本文认为岩体差异胀缩是丹霞地貌成景的重要因素,尤其是细致入微的象形景观(拟人、拟物型景观)的决定因素。

4.2 结论

(1)通过 6 组不同物质成分的岩体膨胀性试

验,试样结果表明研究区物质成分胀缩差异性较大,热(温度)作用下 6 组岩体线膨胀率最大相差 2.58 倍,水作用下最大相差 3.54 倍,热-水作用下最大相差 3.88 倍。

(2)由于研究区岩体的胀缩差异性,在长期持续经历膨胀-收缩后,物质成分差异的岩体间形成裂隙,导致碎屑、砾石等脱落,形成凹凸有序的岩面形态。

(3)岩体差异胀缩主要形成“脸型”、“头型”和“身型”三类景观。

参考文献(References)

- [1] 潘志新,彭华,任舫,等. 美国 Zion 国家公园红层地貌发育研究[J]. 地球学报,2016,37(1):116-126. [PAN Zhixin, PENG Hua, REN Fang, et al. A study of the development of red bed landforms in Zion national park, the United States [J]. Acta Geoscientica Sinica,2016,37(1):116-126]
- [2] 丁宏伟,王世宇,尹政,等. 张掖丹霞暨彩色丘陵地质成因及与南方丹霞地貌之对比[J]. 干旱区地理,2014,37(3):419-428.

- [DING Hongwei, WANG Shiyu, YIN Zheng, et al. Geologic origins of Danxia and colorful hills of Zhangye and comparison with Danxia landform in southern china[J]. *Arid Land Geography*, 2014, **37**(3):419-428]
- [3] 程驰,周爱国,周建伟. 广西桂平白石山丹霞地貌景观特色与成因过程[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2013, **38**(3):641-648. [CHENG Chi, ZHOU Aiguo, ZHOU Jianwei. Landscape characteristics and cause process of Danxia landforms in Baishishan of Guiping city, Guangxi province[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geoscience*, 2013, **38**(3):641-648]
- [4] 彭花明,刘林清,郭福生. 浙江江郎山丹霞地貌地质成因分析及景观保护[J]. *火山地质与矿产*, 2001, **22**(2):143-149. [PENG Huaming, LIU Linqing, GUO Fusheng. On geological genesis of the Danxia landform in Zhejiang province[J]. *Volcanology Mineral Resources*, 2001, **22**(2):143-149]
- [5] 吕文,朱诚,彭华,等. 浙江江山市江郎山岩石岩性特征及其对丹霞地貌形成的影响[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2009, **28**(4):349-355. [LYU Wen, ZHU Cheng, PENG Hua, et al. The contribution of lithological characteristics to Danxia landform genesis in Jianglang mountain, Zhejiang province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2009, **28**(4):349-355]
- [6] 张广胜,朱诚,俞锦标,等. 浙江江郎山丹霞地貌区岩性特征[J]. *山地学报*, 2010, **28**(3):301-312. [ZHANG Guangsheng, ZHU Cheng, YU Jinbiao, et al. Experimental study on lithological characteristic with Danxia landform, Jianglang mountain, Zhejiang province[J]. *Mountain Research*, 2010, **28**(3):301-312]
- [7] 陈姝,朱诚,彭华,等. 广东丹霞山洞穴景观岩体稳定性的抗压实验研究[J]. *安徽师范大学学报(自然科学版)*, 2010, **33**(2):170-174. [CHEN Shu, ZHU Cheng, PENG Hua, et al. Anti-pressure experimental study on rocks in level cave of Jinshiyan of Danxiashan in Guangdong province[J]. *Journal of Anhui Normal University (Natural Science)*, 2010, **33**(2):170-174]
- [8] 欧阳杰,朱诚,彭华,等. 湖南崀山丹霞地貌岩体抗酸侵蚀脆弱性的实验研究[J]. *地球科学进展*, 2011, **26**(9):965-970. [OU Yangjie, ZHU Cheng, PENG Hua, et al. Experimental research on vulnerability of Danxia rocks to resistance against acid erosion in Langshan, Hunan province[J]. *Advances in Earth Science*, 2011, **26**(9):965-970]
- [9] 郭福生,朱志军,黄宝华,等. 江西信江盆地白垩系沉积体系及其与丹霞地貌的关系[J]. *沉积学报*, 2013, **31**(6):954-964. [GUO Fusheng, ZHU Zhijun, HUANG Baohua, et al. Cretaceous sedimentary system and their relationship with Danxia Landform in Xinjiang basin, Jiangxi[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, **31**(6):954-964]
- [10] 朱志军,黄宝华,郭福生,等. 江西龙虎山世界地质公园白垩系辫状河相沉积及其丹霞地貌发育特征[J]. *地球学报*, 2012, **33**(3):379-387. [ZHU Zhijun, HUANG Baohua, GUO Fusheng, et al. Cretaceous braided river facies sediments and Danxia landform development characteristics in Longhushan world geopark, Jiangxi[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, **33**(3):379-387]
- [11] 黄进,陈致均,齐德利. 中国丹霞地貌分布(下)[J]. *山地学报*, 2015, **33**(6):649-673. [HUANG Jin, CHEN Zhijun, QI Deli. Distribution of Danxia landform in China (Last) [J]. *Mountain Research*, 2015, **33**(6):649-673]
- [12] 张荷生,崔振卿. 甘肃省张掖丹霞与彩色丘陵地貌的形成与景观特征[J]. *中国沙漠*, 2007, **27**(6):942-945, 1095. [ZHANG Hesheng, CUI Zhenqing. Landscape character and forming of Danxia Landform and color hill in Zhangye of Gansu Province[J]. *Journal of Desert Research*, 2007, **27**(6):942-945, 1095]
- [13] 田毓仁,刘成东,严兆彬,等. 浙江省江山市江郎山地质遗迹资源特征及成景机制探讨[J]. *地球学报*, 2010, **31**(4):585-592. [TIAN Yuren, LIU Chengdong, YAN Zhaobin, et al. Characteristics and genetic mechanism of Jianglang mountain geological heritage resources in Jiangshan City, Zhejiang Province [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, **31**(4):585-592]
- [14] 高善坤,竺国强,董传万,等. 丹霞地貌的坡地形态演化—以浙江新昌丹霞地貌为例[J]. *热带地理*, 2004, **24**(2):131-135. [GAO Shankun, ZHU Guoqiang, DONG Chuanwan, et al. The morphological development of Danxia hill slope: a case study of Xinchang Danxia landform[J]. *Tropical Geography*, 2004, **24**(2):131-135]
- [15] 杨洪玉,杨艳华,白光顺. 云南黎明高山丹霞地貌成因及其演化模式[J]. *云南地质*, 2011, **30**(3):370-372. [YANG Hongyu, YANG Yanhua, BAI Guangshun. The genesis and evolution model of high MT Danxia Geomorphology in liming, Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 2011, **30**(3):370-372]
- [16] 郭福生,姜勇彪,胡中华,等. 龙虎山世界地质公园丹霞地貌成景系统特征及其演化[J]. *山地学报*, 2011, **29**(2):195-201. [GUO Fusheng, JIANG Yongbiao, HU Zhonghua, et al. Evolution and genesis system features of Danxia landform in Longhushan world geopark[J]. *Mountain Research*, 2011, **29**(2):195-201]
- [17] 姜勇彪,郭福生,刘林清,等. 江西信江盆地丹霞地貌形成机制分析[J]. *热带地理*, 2011, **31**(2):146-152. [JIANG Yongbiao, GUO Fusheng, LIU Linqing, et al. A study on genesis of Danxia landforms in the Xinjiang Basin, Jiangxi [J]. *Tropical Geography*, 2011, **31**(2):146-152]
- [18] 姜勇彪,郭福生,胡中华,等. 龙虎山世界地质公园丹霞地貌特征及与国内其他丹霞地貌的对比[J]. *山地学报*, 2009, **27**(3):353-360. [JIANG Yongbiao, GUO Fusheng, HU Zhonghua, et al. *Mountain Research*, 2009, **27**(3):353-360]
- [19] 郭国林,郭福生,刘晓东,等. 丹霞地貌砂岩的微观化学风化作用电子探针研究[J]. *中国岩溶*, 2006, **25**(2):172-176. [GUO Guolin, GUO Fuheng, LIU Xiaodong, et al. Study by EPMA on microcosmic chemical weathering to sandstone in Danxia landform [J]. *Carsologica Sinica*, 2006, **25**(2):172-176]
- [20] 姜伏伟,郭福生,姜勇彪,等. 龙虎山丹霞地貌危岩景观成因及保护[J]. *山地学报*, 2011, **29**(2):202-209. [JIANG Fuwei, GUO Fusheng, JIANG Yongbiao, et al. Causes of formation and protection for Landscape-rock fall of Danxia landform in Longhushan[J]. *Mountain Research*, 2011, **29**(2):202-209]
- [21] 彭华. 中国丹霞地貌研究进展[J]. *地理科学*, 2000, **20**(3):203-211. [PENG Hua. A Survey of the Danxia Land form Research in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, **20**(3):

203 – 211]

- [22] 姜勇彪,郭福生,孙传敏,等. 江西弋阳县龟峰丹霞地貌景观特征与形成机制[J]. 山地学报,2008,26(1):124 – 130. [JIANG Yongbiao, GUO Fusheng, SUN Chuanmin, et al. The Features and Origin of the Danxia Landform in Guifeng Scenic Park in Yiyang County, Jiangxi [J]. Mountain Research, 2008, 26(1):

124 – 130]

- [23] 朱诚,彭华,李世成,等. 安徽齐云山丹霞地貌成因[J]. 地理学报,2005,60(3):445 – 455. [ZHU Cheng, PENG Hua, LI Shicheng, et al. Danxia Landform Genesis on Qiyun Mountain, Anhui Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(3):445 – 455]

Differential Expansion and Contraction Characteristics of Danxia Landform Rock Mass and Its Geomorphological Effect

JIANG Fuwei¹, GUO Fusheng^{2*}, YANG Anlin¹

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China;

2. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: The research on Danxia landform is mainly based on macroscopic aspects such as geological structure, stratum lithology and external dynamic conditions, but these factors are the universal factors for the formation of geological landscape, which fails to explain the differences in individual characteristics of Danxia landscapes. The lithologic composition of the Danxia landform area in Longhushan at Yingtang country, Jiangxi province, China is complex and has many types. From the microscopic point of view, this paper analyzed the role of the differential expansion and contraction of rock mass in the genesis of Danxia landform. The main six types of rock masses in the study area were selected, and expansion tests were carried out under the conditions of heating, water soaking and hydrothermal treatments. The maximum thermal volumetric expansion rate was 2.58 times. The water volumetric expansion rate was 3.54 times, and similarly the thermal-water volumetric expansion rate was obtained. The difference in expansion rate between water condition and heat condition was 3.88 times. Due to the differences in material composition, when the external environmental conditions changed, the material in the rock body underwent differential expansion and contraction, causing the fine particles and gravel on the surface of rock mass to fall off and then to form a concave and convex shape, which constituted the basic element of the Danxia landform in Longhushan. In the study area there are mainly three types of Danxia landforms, “face shape”, “head shape” and “body shape”. This paper provides a perspective from the volumetric expansion coefficient of sediments in red beds to study micro-geomorphology of Danxia landforms.

Key words: Danxia landform; expansion test; expansion and contraction process; formation of landscapes