

doi: 10.12029/gc20210110

王节涛,裴来政,张宏鑫, N'dji dit Jacques DEMBELE. 2021. 大别山南麓阳逻组砾石层砾石形貌学研究[J]. 中国地质, 48(1): 139–148.

Wang Jietao, Pei Laizheng, Zhang Hongxin, N'dji dit Jacques DEMBELE. 2021. Morphology of gravels from the Yangluo Formation in the Southern Piedment of Dabie Mountains[J]. Geology in China, 48(1): 139–148(in Chinese with English abstract).

## 大别山南麓阳逻组砾石层砾石形貌学研究

王节涛<sup>1,2</sup>,裴来政<sup>1</sup>,张宏鑫<sup>1</sup>, N'dji dit Jacques DEMBELE<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心,湖北 武汉 430205; 2. Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Bamako, Mali, bp2575)

**摘要:**阳逻组砾石层分布于大别山南麓长江北岸地区,是长江中游地区一个重要的第四纪地层单位。其成因主要有两种观点:一种观点认为阳逻组砾石层为古长江冲积物,后期经过构造抬升而在长江北岸形成阶地;另一种观点认为其为大别山南麓河流冲积扇。砾石层中的砾石形貌记录了砾石的演化历史,对砾石进行形貌学研究可以用来进行古环境重建。文章选取武汉地区黄陂区横店镇、新洲区阳逻镇附近的 25 个砾石剖面中的 2693 颗砾石的外形参数进行测量。其中横店 14 个剖面中 1377 颗砾石、阳逻 11 个剖面中 1316 颗砾石。Zingg 分类显示砾石以扁长形为主,砾石层在 Sneed-Folk 三角图中的主要分布于过渡相和河流相,砾石层中存在的大量片岩。这些特征均指示阳逻组砾石层是的物源区为大别山地区,它是大别山南麓河流形成的冲洪积扇堆积物。

**关键词:**长江;阳逻组;砾石层;砾石组构;物源分析;形貌参数;地质调查工程

**中图分类号:**P931.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2021)01-0139-10

## Morphology of gravels from the Yangluo Formation in the Southern Piedment of Dabie Mountains

WANG Jietao<sup>1,2</sup>, PEI Laizheng<sup>1</sup>, ZHANG Hongxin<sup>1</sup>, N'dji dit Jacques DEMBELE<sup>2</sup>

(1. Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan, Hubei Province 430205, China; 2. Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Bamako bp2575, Mali)

**Abstract:** As one of the most important Quaternary strata in the middle reach of Yangtze River, the gravel layers within the Yangluo Formation are distributed in the north bank of the Yangtze River at the southern foot of Dabie Mountains. There are two views on the origin of the gravel layers. One view holds that the gravel layers of Yangluo Formation are alluvial sediments of the Ancient Yangtze River, which formed terraces on the north bank of the Yangtze River after later tectonic uplifting. Another view is that they are the alluvial fans at the southern foot of Dabie Mountains. As gravel's morphology records its evolution, the study of its morphology can be used to reconstruct palaeoenvironment. In our project, 25 gravel layer profiles were chosen to select total 2693 gravels for

收稿日期:2018-09-10;改回日期:2019-03-18

基金项目:国家自然科学基金“利用沉积学和地貌学方法反演晚新生代大别山南麓水系的重组过程”(41501004)、中国地质调查局项目“武汉多要素城市地质调查”(DD20160250-6)、“长江中游宜昌-荆州和武汉-黄石沿岸段1:5万环境地质调查”(DD20160250)资助。

作者简介:王节涛,男,1983年生,高级工程师,第四纪地质学专业,长期从事第四纪地质调查、水工环境地质调查、物源分析工作;

E-mail: quaternary@163.com。

measurement of morphological parameter, including 1377 gravels from 14 profiles in Hengdian Town and 1316 gravels from 11 profiles in Yangluo Town. Zingg classification shows that most gravel is mainly oblong shape, and it is mainly distributed in the transitional and fluvial facies in the Sneed Folk triangle. There is a large amount of schist in the gravel layer. The morphological characteristics of the gravel layer of Yangluo Formation indicate that it is of alluvial-diluvial fan deposits formed by rivers at the southern foot of Dabie Mountains.

**Key words:** Yangtze River; Yangluo Formation; gravel layer; provenance; morphometric parameter; geological survey engineering

**About the first author:** WANG Jietao, male, born in 1983, senior engineer, majors in quaternary geology, engaged in quaternary geological survey, hydro-environmental geological survey and provenance analysis for a long time; E-mail: quaternary@163.com.

**Fund support:** Supported by National Natural Science Foundation of China (No. 41501004), China Geological Survey Program (No. DD20160250-6, No. DD20160250).

## 1 引 言

长江作为中国第一、世界第三的大型河流,其形成和演化研究一直是国内外地学界的研究热点。近年来,学者多采用下游沉积物的不同特征来反演水系演化过程(王张华等,2008;李庭等,2010;袁胜元等,2012;江华军等,2013;Zheng et al., 2013;缪卫东等,2016;)。采用这一研究方法时,首先需要查明沉积物的物源区是否为上游水系演化的产物。在长江中下游地区沿江两岸的狭长地带,广泛分布着一套砾石层。这套砾石层在宜昌、阳逻、九江、安庆、铜陵和南京雨花台均有大面积出露。前人对其在武汉北部的横店—阳逻一带分布的阳逻组砾石层进行了大量研究,其成因和物源一直备受争论(梅惠等, 2011; Zheng et al., 2013; 姜月华等, 2017)。主要存在两种不同的观点:一种观点认为阳逻组砾石层为古长江的河流阶地(陈华慧, 1987; 梅惠等, 2009; 梅惠等, 2011)。另一种观点认为阳逻砾石层为大别山南麓河流的冲洪积物(谢广林等, 1993)。前人对砾石层的研究方法也比较单一,研究区域局限于武汉市新洲区阳逻镇附近(黄宁生, 1993; 梅惠等, 2011)。阳逻组砾石层是长江中游重要的第四系地层,对该套砾石层进行详细研究,有助于了解该地区的沉积环境和地貌变迁历史。

## 2 地质概况

研究区位于江汉平原东缘,北部和东部为大别山变质岩系折返带,南部靠近长江(图1)。此外研究区内东北部为新洲凹陷,其东侧为桐柏—大别基底杂岩带、英山—红安超高压变质岩系折返带、木

兰山—四望高压变质岩系折返带等岩体构成的大别山山区。研究区分布有襄樊—广济断裂(襄广断裂)、团风—麻城断裂(团麻断裂)等断裂,这两条断裂在新生代均有一定的构造活动(雷东宁等, 2011)。

武汉市的阳逻组砾石层自西向东广泛分布在长江北岸地区的岗地顶部,常见其覆盖在新近系公安寨组紫红色砂岩之上(邓健如等, 1991)。砾石层顶部可见中更新统王家店组网纹红土及上覆的土壤层。研究区内除自西向东流淌的长江、汉江之外,还分布有南北向的淝水河、倒水河、举水河及其支流,此外还分布着后湖、武湖和涨渡湖等大型湖泊。

## 3 研究地点及研究方法

砾石外形记录了古水流的动力学特征,对砾石外形参数进行研究可以获得砾石的源区、搬运及沉积环境等信息。砾石的形貌学研究是对砾石层沉积环境重建的一个非常有价值的工具,已经有不少学者采用这种方法来反演古环境特征(Wentworth, 1922; Krumbein, 1940; Krumbein, 1941; Krumbein, 1942; Plumley, 1948; Carroll, 1951; Sneed and Folk, 1958; Bradley, 1970; Bradley et al., 1972; Goede, 1975; Mills, 1979; Barrett, 1980; Koster et al., 1980)。本研究选取武汉地区黄陂区横店镇、新洲区阳逻镇附近的25个砾石层剖面,共计2693颗砾石进行了砾石组构分析(图2,表1)。其中横店14个剖面统计了1377颗砾石、阳逻11个剖面1316颗砾石。

研究区内的砾石成分主要包括石英岩、石英砂岩、硅质岩和少量片岩、片麻岩等(图3)。由于片岩、片麻岩等变质岩砾石大多数呈强风化状态,轻敲即碎。砾石层中的片岩、片麻岩砾石所占比例较小,因

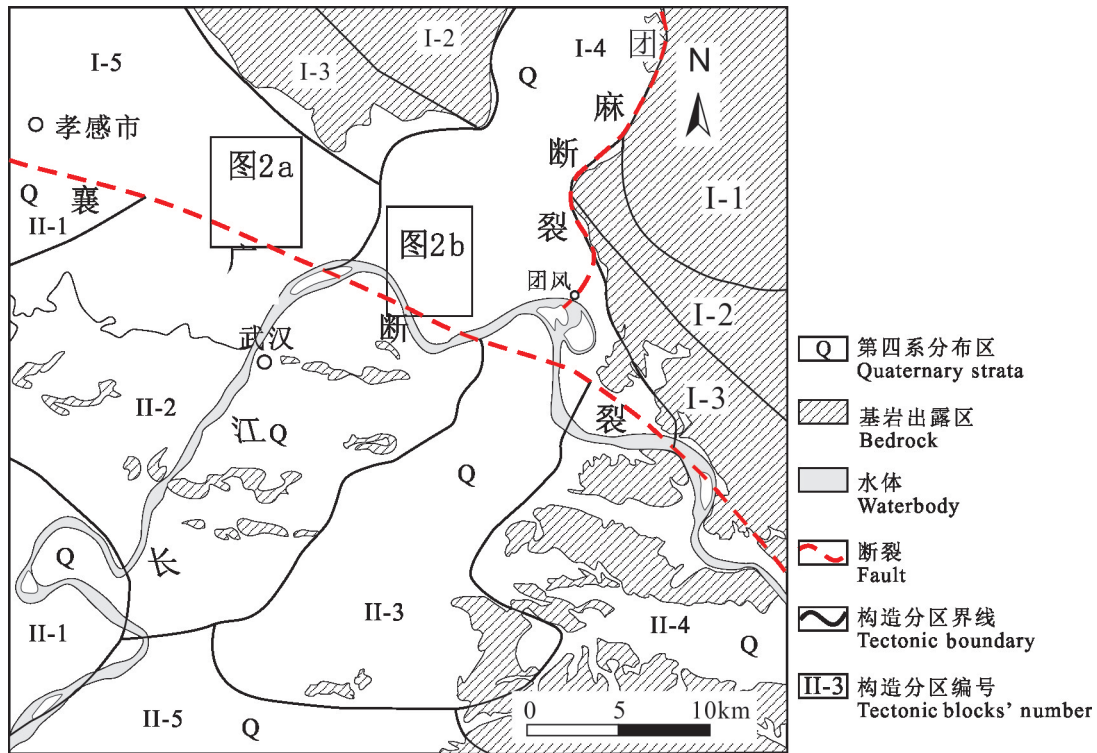


图1 武汉及邻区区域构造分区图

I—秦岭—大别造山带; II—扬子板块; I—1—桐柏—大别基底杂岩带; I—2—英山—红安超高压变质岩系; I—3—木兰山—四望高压变质岩系; I—4—麻城—新洲凹陷; I—5—随南陆缘裂谷; II—1—江汉断陷盆地; II—2—武汉台地褶皱冲带; II—3—梁子湖凹陷; II—4—大冶台地褶皱冲带; II—5—嘉鱼台地褶皱带

Fig.1 Tectonic map of Wuhan and adjacent region

I—Qinling–Dabie Mountain orogenic belt; II– Yangtze Craton; I–1– Tongbai–Dabie basement complex belt; I–2 Yingshan–Hong’an ultra high pressure metamorphic series; I–3– Mulan–Siwang high pressure metamorphic series; I–4– Macheng–Xinzhou depression; I–5– Suinan continental margin rift; II–1– Jianghan fault basin; II–2– Wuhan platform thrust belt; II–3– Liangzihu depression; II–4– Daye platform thrust belt; II–5 Jiayu platform fold belt

此本研究中主要选择各剖面中占大多数且硬度相似的石英岩、石英砂岩和硅质岩砾石,进行不同剖面之间同类砾石的对比分析和砾石形貌学研究。

砾石的长轴( $L$ ),中轴( $I$ )和短轴( $S$ )是砾石形态中3个最重要的形貌参数,是计算其他指标的基础。研究中利用Krumbein(1941)的方法,设砾石最大投影面中的最长段作为砾石长度 $L$ 值,最大投影面最宽的长度为 $I$ 值, $S$ 为垂直最大投影面的最大厚度值。所有砾石样品均被敲开,观察新鲜面,以便准确判断其岩性和风化程度。根据被测砾石的 $L$ 、 $I$ 、 $S$ 这3个基本参数值,还可以计算出常用的外形参数,包括延长比(ER, Elongation ratio)、平整系数(CF, Coefficient of Flatness)、球度(MPSI, Maximum Projection Sphericity Index)、扁长度(OPI, Oblate Prolate Index)、盘状-杆状指数(DRI, Disk

Rod Index)和扁平度(FI, Flatness Index)。各个参数的计算方法如表2所示。利用软件IBM SPSS Statistics 20计算野外测量所得到的 $L$ 、 $I$ 、 $S$ 值,并统计各个参数的范围及平均值、方差等(表3)。

计算结果显示,横店镇砾石ER值(延长比)范围从0.19到1.0,平均值为0.7469。CF(平整系数)从0.11到0.95,平均值为0.466。MPSI(球度)值从0.25到0.98,平均值为0.6581。OPI值从-22.56到30.58,平均值为-0.6604。DRI值从0到1,平均值为0.4805。F值从1.03到8,平均值为2.0467。阳逻镇砾石ER值范围为0.28~1,平均值为0.7534。CF系数0.09~0.9,平均值为0.4187。MPSI值0.23~0.95,平均值为0.6098。OPI值-27.24~21.18,平均值为-2.0847。DRI值从0到1,平均值为0.4279。F值从1.08到9.31,平均值为2.3104。

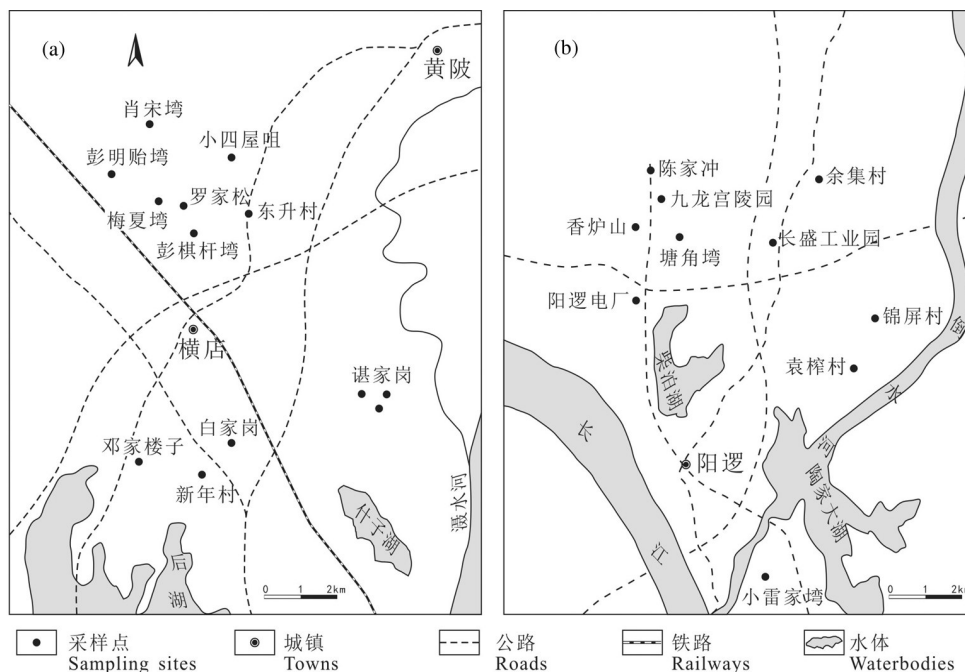


图2 横店(a)和阳逻(b)采样点位置图

Fig.2 The sampling location of gravels in Hengdian (a) and Yangluo. (b)

表1 本研究中的剖面分布位置及不同剖面砾石统计个数(HD代表横店, YL代表阳逻)

Table 1 The location of gravel layer profiles and the total number of gravels (HD for Hengdian, YL for Yangluo)

样号	位置	纬度(北纬)	经度(东经)	统计砾石外形参数个数	测量砾石倾向个数	备注
HD-1	横店镇临空南路	30°46'24.25"	114°16'46.28"	100	30	
HD-2	横店镇新年村	30°46'13.21"	114°17'38.64"	100	30	
HD-3	横店镇白家岗	30°46'38.45"	114°18'13.94"	99	30	
HD-4	横店镇谏家岗	30°47'11.21"	114°20'53.91"	100	30	
HD-5	横店镇谏家岗	30°47'11.21"	114°20'53.91"	100	30	为HD-4号上覆砾石层
HD-6	横店镇谏家岗	30°47'21.72"	114°20'37.01"	100	30	
HD-7	横店镇谏家岗	30°47'23.74"	114°21'02.94"	100	30	
HD-8	横店镇小四屋咀	30°46'13.21"	114°17'38.64"	100	20	
HD-9	横店镇彭棋杆埭	30°49'42.80"	114°17'45.30"	100	30	
HD-10	横店镇彭棋杆埭	30°49'42.80"	114°17'45.30"	100	30	为HD-9号上覆砾石层
HD-11	横店镇梅夏埭村	30°50'14.18"	114°17'28.12"	100	30	
HD-12	横店镇罗家松村	30°50'15.48"	114°17'02.13"	79	0	
HD-13	横店镇彭明貽埭	30°50'41.45"	114°16'12.85"	100	30	
HD-14	横店镇肖宋埭村	30°51'21.06"	114°16'54.02"	99	30	
YL-1	阳逻镇阳逻电厂	30°41'48.55"	114°32'50.54"	160	0	
YL-2	阳逻镇余家咀村	30°41'50.06"	114°33'05.63"	160	0	
YL-3	阳逻镇开发区	30°43'55.18"	114°33'22.02"	110	30	
YL-4	阳逻镇香炉山变电站	30°42'59.92"	114°33'06.94"	110	30	
YL-5	阳逻镇塘角埭	30°42'48.15"	114°33'35.24"	119	40	
YL-6	阳逻镇九龙宫纪念园	30°43'25.23"	114°33'34.24"	109	30	
YL-7	阳逻镇长盛工业园	30°42'47.45"	114°35'30.26"	110	30	
YL-8	阳逻镇余集村	30°43'43.62"	114°36'20.54"	110	30	
YL-9	阳逻镇袁榨村	30°40'57.09"	114°36'57.73"	109	30	
YL-10	阳逻镇锦屏村	30°41'43.24"	114°37'18.96"	109	30	
YL-11	龙口街小雷家埭	30°27'50.10"	114°35'23.91"	110	30	

表2 本研究中所使用的砾石形貌参数

**Table 2 Indices used for gravel morphology measurement**

形貌参数	公式	作者
延长比(ER)	$I/L$	Luttig, 1962; Sames, 1966
平整系数(CF)	$S/L*100$	Luttig, 1962
盘状-杆状指数(DRI)	$DRI = \frac{L-I}{L-S}$	Illenberger, 1991
扁长度(OPI)	$OPI = 10 * \frac{\frac{L-I}{L-S} - 0.5}{\frac{S}{L}}$	Dobkins Jr and Folk, 1970
球度(MPSI)	$\Psi_p = \sqrt[3]{\frac{S^2}{L*I}}$	Sneed and Folk, 1958
扁平度(FI)	$F = \frac{L+I}{2*S}$	Wentworth, 1922

## 4 讨论

### 4.1 砾石外形特征

利用MATLAB 2012b软件程序计算L、I和S的累积概率分布图,结果显示随着砾径的增大,阳逻砾石L值的累积概率曲线的斜率变化相对平缓,这表明相对于横店地区的砾石,阳逻地区的砾石L值较小(图3a)。I值显示在累积概率<0.8值时,横店地区小砾径砾石较多,而阳逻地区砾径较少。在累积概率>0.8值时,则相反。S值在0.75附近也有与S值类似的现象。这表明阳逻地区砾石,既有更大的砾石,也有更为细小的砾石组分,相对于横店地区,阳逻

地区砾石在不同类型中分布得更为分散。

Zingg(1935)提出利用砾石的L、I、S三个轴长的比例,也就是I/L、S/I两个参数,可以将砾石分为4种形状:球形(spheroids)、扁平形(discoids)、棍棒形(rods)和扁长形(blades)(图4,表4)。Zingg图解中也有基于Wadell-Krumbein球度指数(sphericity index)所添加的等球度线(Wadell, 1935; Perez, 1987; Lewis and Mcconchie, 1994; )。

计算结果显示,两地砾石外形类似,砾石中扁平形比例最大,其中横店地区为46%,阳逻地区为58%(图4,表5)。

### 4.2 砾石层的沉积环境

前人的研究表明,砾石的形貌学参数是古环境重建中一个非常有用的指标(Sneed and Folk, 1958; Luttig, 1962; Sames, 1966; Dobkins Jr and Folk, 1970; Stratten, 1974; Barrett, 1980; Els, 1988; Illenberger, 1991; Odumodu et al., 2013; Odumodu, 2014)。前人利用MPSI、ER、CF、OPI砾石形貌学参数来推测砾石的沉积环境,其中MPSI>0.65、ER>0.70、CF≥0.45、OPI≥-1.5表明沉积环境为河流环境,反之则为滨海(湖)相环境(Luttig, 1962; Sames, 1966; Dobkins Jr and Folk, 1970; Stratten, 1974; Els, 1988)。

表3 横店、阳逻两地砾石9个参数的描述性统计结果

**Table 3 Descriptive statistics for 9 parameters of gravels from Hendian and Yangluo**

组别	变量	统计个数	值的范围	最小值	最大值	总和	平均值	标准偏差	方差	偏度	峰度			
		统计量	统计量	统计量	统计量	统计量	统计量	标准误	统计量	统计量	统计量	标准误		
横店	L	1377	24.3	1.7	26	9635.6	6.9975	0.09549	3.54361	12.557	1.652	0.066	3.608	0.132
	I	1377	17.8	1.2	19	7087.5	5.1471	0.07114	2.63993	6.969	1.71	0.066	4.182	0.132
	S	1377	17.5	0.5	18	4346.5	3.1565	0.0458	1.69941	2.888	2.168	0.066	9.3	0.132
	ER	1377	0.81	0.19	1	1028.51	0.7469	0.00362	0.13442	0.018	-0.211	0.066	-0.358	0.132
	CF	1377	0.84	0.11	0.95	641.69	0.466	0.00361	0.13387	0.018	0.193	0.066	-0.207	0.132
	DRI	1377	1	0	1	661.65	0.4805	0.00657	0.24394	0.06	0.062	0.066	-0.659	0.132
	OPI	1377	53.14	-22.56	30.58	-909.37	-0.6604	0.1527	5.66625	32.106	-0.12	0.066	0.578	0.132
	MPSI	1377	0.73	0.25	0.98	906.17	0.6581	0.0032	0.11891	0.014	-0.247	0.066	-0.329	0.132
	F	1377	6.97	1.03	8	2818.27	2.0467	0.01839	0.68251	0.466	1.931	0.066	6.828	0.132
阳逻	L	1316	17.9	1.8	19.7	9120.1	6.9302	0.0762	2.7643	7.641	1.022	0.067	1.14	0.135
	I	1316	11	1.3	12.3	6754.3	5.1324	0.0542	1.96618	3.866	0.707	0.067	0.17	0.135
	S	1316	10.5	0.5	11	3703	2.8138	0.03435	1.24594	1.552	1.184	0.067	2.683	0.135
	ER	1316	0.72	0.28	1	991.53	0.7534	0.00354	0.12825	0.016	-0.307	0.067	-0.245	0.135
	CF	1316	0.81	0.09	0.9	551.07	0.4187	0.00357	0.12951	0.017	0.447	0.067	0.203	0.135
	DRI	1316	1	0	1	563.17	0.4279	0.00574	0.20826	0.043	0.114	0.067	-0.444	0.135
	OPI	1316	48.42	-27.24	21.18	-2743.51	-2.0847	0.15997	5.80311	33.676	-0.397	0.067	0.983	0.135
	MPSI	1316	0.73	0.23	0.95	802.55	0.6098	0.00325	0.11805	0.014	-0.033	0.067	-0.198	0.135
	F	1316	8.23	1.08	9.31	3040.48	2.3104	0.02232	0.80969	0.656	1.996	0.067	7.912	0.135

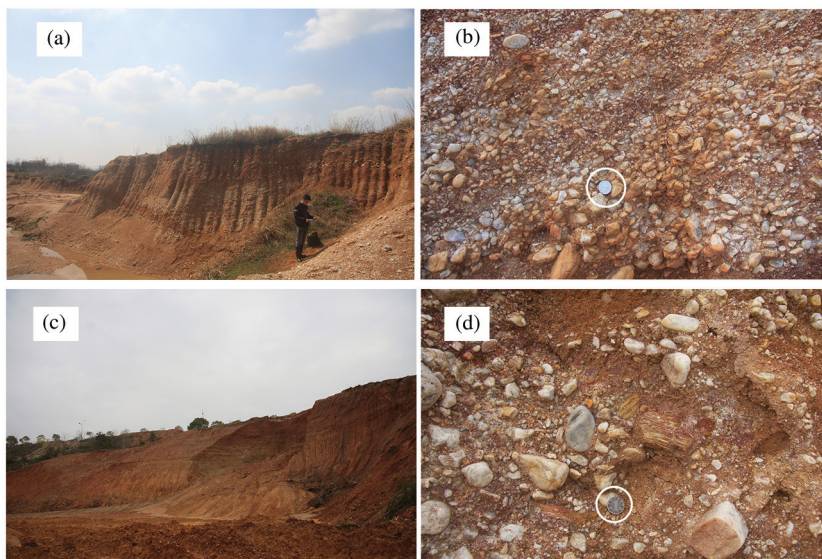


图3 砾石层野外照片

a—横店镇梅夏湾村北100 m采石场;b—横店镇肖宋湾村剖面中砾石呈现颗粒支撑结构;c—阳逻镇阳逻电厂北1.7 km处路边基坑剖面,可见厚层湖相沉积;d—砾石层中片岩呈现强风化状态.将白色圆圈内的1元硬币作为比例尺

Fig.3 Field photos of gravel layers.

a- The quarry in the 100m north of Meixiawan, Hengdian; b-Grain supported structure of gravel in the Xiaosongwan profiles of, Hengdian; c-The foundation pit at the 1.7 km north of Yangluo power station; d-Completely weathered schists in the gravel layers

前人研究中通常采用通过计算 MPSI、ER、CF、OPI 的平均值,并利用平均值结果进行沉积环境判断(Ocheli et al., 2018)。对横店附近砾石的计算结果显示,MPSI、CF、OPI 指示其为河流相砾石,而ER 值显示其为滨湖相砾石;而阳逻样品中4个参数均表明其为滨湖相砾石(图5,表6)。

砾石的沉积环境也可以采用ER、CF 和DRI 三

个参数的三角投图进行判别,三角图采用Graham 方法制作(Sneed and Folk, 1958; Dobkins Jr and Folk, 1970; Graham and Midgley, 2000)。三角图的内部可以根据砾石形状划分为10个区域,包括紧凑状(compact, c)、紧凑扁平状(compact platy, cp)、紧凑刃状(compact bladed, cb)、紧凑细长状(compact elongate, ce)、扁平状(platy, p)、刃状

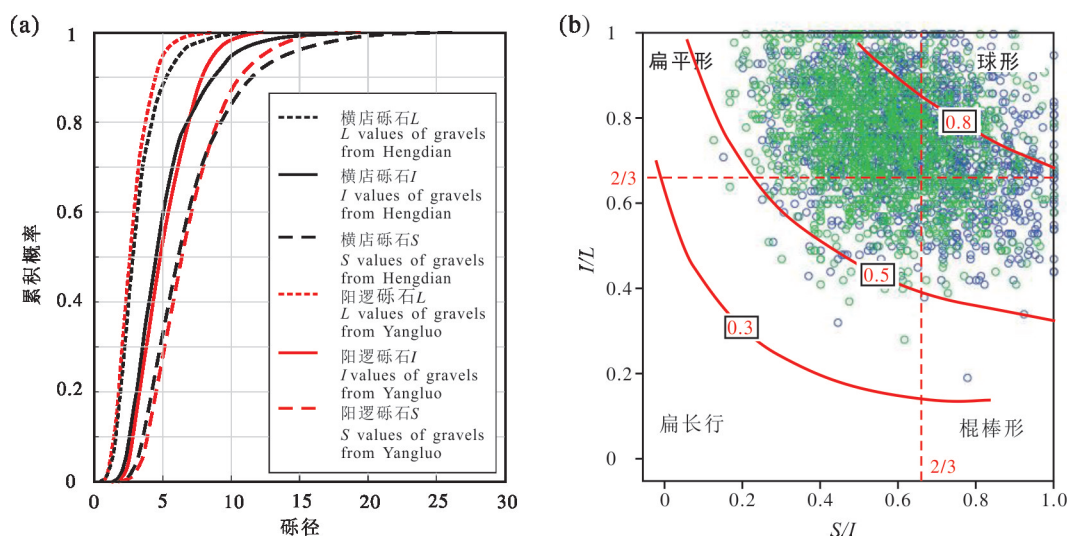


图4 L、I、S 累积概率曲线(a)和砾石 Zingg 图解(b)(其中的红色曲线代表 Wadell 球度)

Fig.4 Cumulative probability curve of L, I, S (a) and Zingg shape classification of gravels (b)

表4 Zingg砾石形状分类

Table 4 Zingg classification of gravel morphology

分类	I/L	S/I	形状
I	>2/3	<2/3	扁平形
II	>2/3	>2/3	球形
III	<2/3	<2/3	扁长形
IV	<2/3	>2/3	棍棒形

(bladed, b)、细长状(elongate, e)、极扁平状(very platy, vp)、极刃状(very bladed, vb)和极细长状(very elongate, ve)。这些不同的分区可以用来区分河流相、过渡相、滨海相砾石。其中c、cp、cb和ce表明其为河流相砾石。p(扁平状)、b(刃状)和e(细长状)通常认为是过渡相环境,而vp(极扁平状)、vb(极刃状)和ve(极细长状)的砾石通常认为形成于滨海(湖泊、海岸)环境。

采用ER、CF和DRI三角投图的结果表明,砾石主要集中在刃状(b)、扁平状(p)和紧凑刃状(cb)这三类,在河流和湖滨/海滩沉积环境划分区域内,该套砾石均有分布(图6,表7)。这表明阳逻组砾石总体上以过渡相为主,河流相为辅,而且可以发现在滨湖(海)分区内仅有少量砾石,这一结果与之前利用MPSI、ER、CF、OPI四个参数所代表的结论相悖。

产生这种差异的原因,主要是由于前人利用MPSI、ER、CF和OPI参数进行沉积环境判别时,用的是这四个参数的平均值来进行判断。这对那些典型的河流相,或者滨海(湖)相砾石进行沉积环境判别时,其结果是准确的。但是对于混杂堆积分选

表5 横店阳逻两地砾石 Zingg 的外形分类

Table 5 Zingg shape classification of gravels in Hengdian and Yangluo

Zingg 分类	横店		阳逻	
	个数	比例/%	个数	比例/%
球形	388	28	230	17
棍棒形	359	26	322	24
扁平形	631	46	765	58
扁长形	140	10	192	15

较差的冲洪积物却容易产生偏差。而采用Sneed Folk三角投图时,由于其将沉积环境进行了更为详细地划分,在对砾石的沉积环境判断时增加了过渡相这一类别,可以对河流相、过渡相和滨湖(海)相的砾石进行更为合理的划分。因此在本研究中采用Sneed Folk图解的结果作为沉积环境判断的依据,阳逻组砾石层以过渡相为主的分布特征表明其可能为近源堆积的冲洪积物。

### 4.3 砾石层的成因

野外可见黄陂区横店镇附近砾石层剖面中的砂层分选较差,夹杂了大量的细小砾石。砾石以次棱状为主,偶见次圆状的砾石,砾石的定向性较差。岩性组合较为简单,以石英岩、石英砂岩为主。新洲区阳逻镇附近砾石层自北向南砾径逐渐减小,砾石层的定向性逐渐清晰。砾石层的分选程度也逐渐增强。剖面上可见砂层自北向南逐渐增厚,砂层在剖面上所占比例逐渐增大。

对横店、阳逻两地砾石(其中横店测量380颗砾

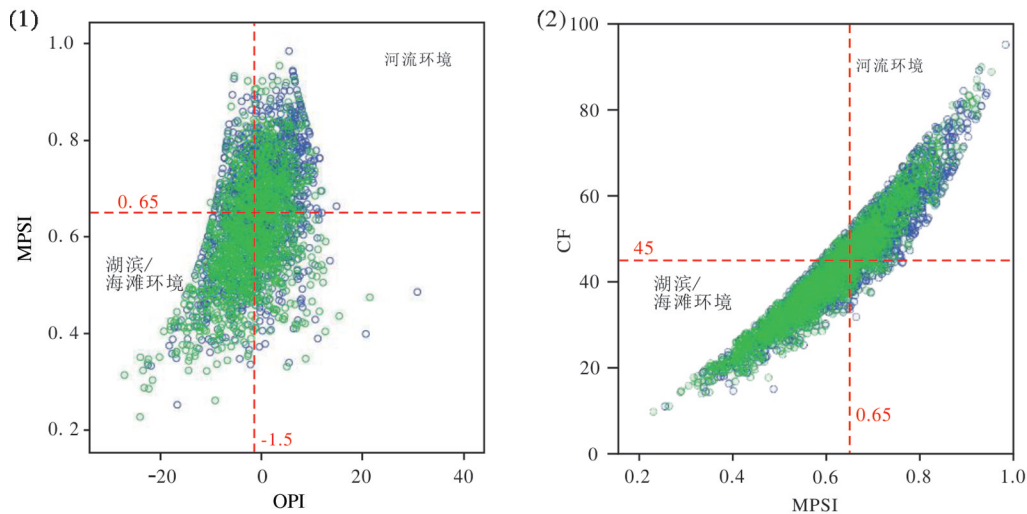


图5 OPI-MPSI(a)及MPSI-CF图解(b)(蓝色圆圈为横店,绿色圆圈为阳逻)

Fig.5 Diagrams of OPI-MPSI(a) and MPSI-CF relation (b), blue circle for Hengdian and the green's for Yangluo

表6 横店、阳逻地区砾石层所反映的沉积环境  
Table 6 The sedimentary environment deduced from gravels in Hengdian and Yangluo

判别指标	横店		阳逻	
	平均值	沉积环境	平均值	沉积环境
MPSI	0.6581	河流相	0.6098	滨湖相
ER	0.7469	滨湖相	0.7534	滨湖相
CF	0.466	河流相	0.4187	滨湖相
OPI	-0.66	河流相	-2.0847	滨湖相

石,阳逻测量280颗)最大投影面的倾向所制作的玫瑰花图(图7)显示各个方向的砾石均有一定比例。其中横店附近砾石层的倾向以N、NE、SW为主,指示着这些砾石可能来自现今潏水河、滢水方向,同时府河可能对该套砾石层有一定影响。阳逻附近的砾石层以N、NW、SE向为主,表明该地砾石主要来自潏水河、倒水河方向,同时SW流向的长江可能对阳逻组的砾石有一定的影响。而SE方向的砾石与现今地表河流水系流向相反。由此可见,古水流方向较为混乱,砾石沉积时受到了多条河流来自不同方向的影响。

砾石成分中夹杂有大量片岩、硅质岩等变质岩砾石。砾石层中的片岩常见直径大于30 cm的砾

表7 不同形态砾石个数和占比分布情况  
Table 7 The number and percentage for classification of different shapes of gravels

沉积环境	类型	横店		阳逻	
		个数	占比/%	个数	占比/%
河流相	c	57	4.14	27	2.05
	cp	132	9.59	91	6.91
	cb	191	13.87	154	11.69
	ce	143	10.38	45	3.42
过渡相	p	192	13.94	268	20.35
	b	358	26	389	29.54
	e	145	10.53	99	7.52
滨湖(海)相	vp	53	3.85	93	7.06
	vb	88	6.39	128	9.72
	ve	18	1.31	23	1.75

石,且砾石磨圆较差,以次棱为主。砾石整体风化程度较强,以中风化至强风化为主。同时砾石层中出土了大量硅化木化石。这些化石有些体型较大,部分树干化石超过3 m(陈秀娟等, 1992; 徐瑞瑚, 1992)。这些均指示着砾石并未经历远距离搬运,为附近山体遭受风化后,经流水搬运至该地。大别山地区广泛分布有大量变质岩,其中潏水河、倒水河流经的红安群即含有大量片岩,因此笔者推测红安群为片岩源区。

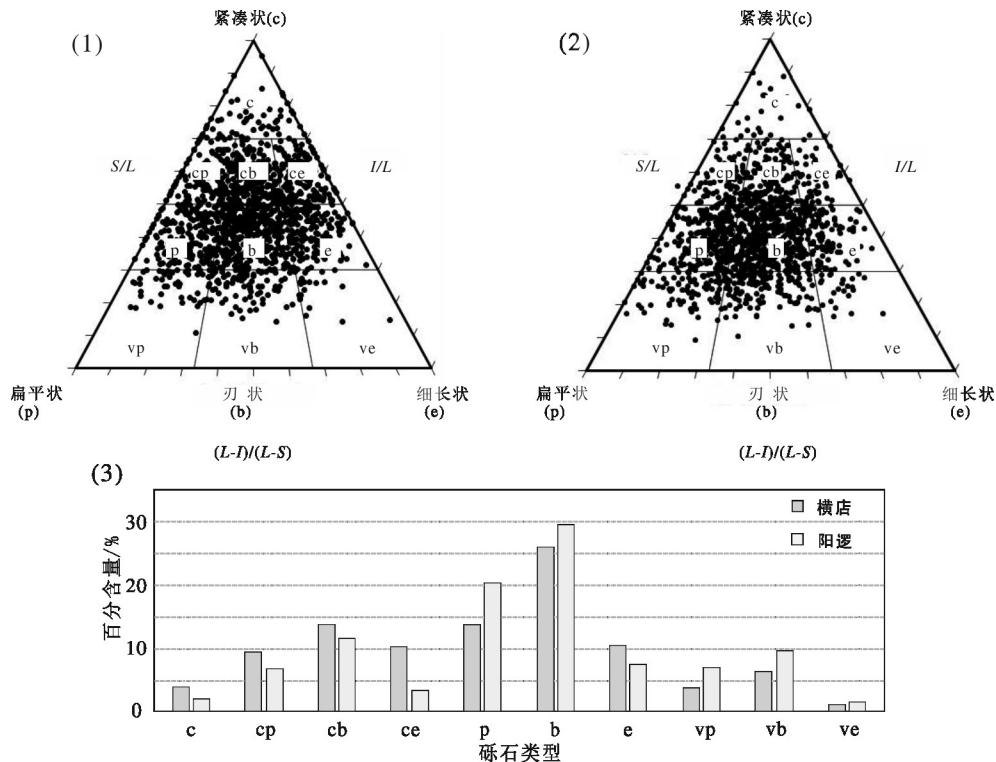


图6 横店(a)、阳逻(b)Sneed-Folk图解及不同形态砾石分布情况(c)

Fig.6 Sneed-Folk classification of gravels in Hengdian (a) and Yangluo(b), as well as distribution of different shapes of gravel (c)



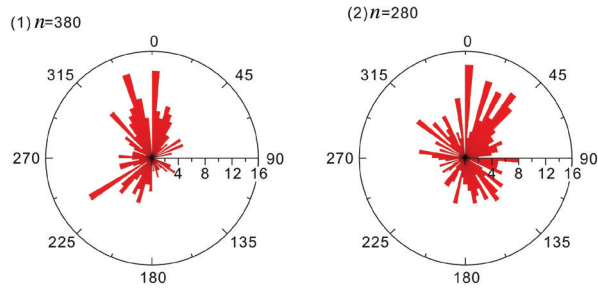


图7 砾石倾向玫瑰花图

a—黄陂区横店镇砾石层;b—新洲区阳逻镇砾石层

Fig.7 Rose diagram of gravel inclinations

a—Huangpi gravel layer in Hengdian; b—Yangluo gravel layer in Xinzhou district

## 5 结论

(1)砾石的 $L$ 、 $I$ 、 $S$ 三轴长的累积概率图显示相对于横店地区,阳逻地区砾石在不同类型中分布得更为分散。Zingg砾石分类显示砾石整体上以扁长形为主。

(2)利用MPSI、ER、CF、OPI四个砾石形态学参数所反映的沉积环境与野外实际情况有较大的偏差,而采用ER、CF和DRI三个参数进行Sneed-Folk图解所得到的结果与实际情况更为相符。根据砾石Sneed-Folk图解投点较混乱,以及砾石倾向玫瑰花图上水流方向较分散等,显示该套砾石沉积分选较差,具有过渡相和河流相成因特点,少量砾石属于滨湖相。砾石层中的片岩、玄武岩砾石表明该套砾石层的源区应为大别山地区,是大别山南麓河流所形成的古冲积扇。

**致谢:**感谢两位匿名审稿专家及编辑部老师给予的宝贵建议和修改意见!

## References

- Chen Huahui, Ma Zulu, 1987. Lower Pleistocene series in Jiangnan Plain[J]. *Earth Science*, 12(2): 129–135(in Chinese with English abstract).
- Chen Xiujuan, Xu Yongji, Li Yuefen, Qi Guofan, Xu Ruihu, 1992. Studies on some fossil wood in Yangluo town, Xinzhou County, Hubei Province [J]. *Liaoning Geology*, 4: 368–373(in Chinese with English abstract).
- Deng Jianru, Wu Weizhou, Qin Zhineng. 1991. The division of the Quaternary system of Wuhan[J]. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 13(2): 178–183(in Chinese with English abstract).
- Dobkins JR J E, Folk R L 1970. Shape development on Tahiti-nui [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 40(4): 1167–1203.
- Els B G 1988. Pebble morphology of an ancient conglomerate, the

- Middelvllei gold placer, Witwatersrand, South Africa[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5): 894–901.
- Graham D J, Midgley N G 2000. Technical communication—graphical representation of particle shape using triangular Diagrams: An excel spreadsheet method[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(13): 1473–1478.
- Huang Ningsheng, Guan Kangnian. 1993. Study on early Pleistocene gravel beds in Yangluo Area, east of Hubei Province[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 18(5): 589–596,672(in Chinese with English abstract).
- Illenberger W K 1991. Pebble shape (and size!) [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 61(5):756–767.
- Jiang Huajun, Li Changan, Zhang Yufen, Wang Jietao. 2013. The reconstruction of paleogeographic environment for the development of the Jialing River's ancient meander[J]. *Geology in China*, 40(2): 460–468(in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Lin Liangjun, Chen Lide, Ni Huayong, Ge Weiya, Cheng Hangxin, Zhai Gangyi, Wang Guiling, Ban Yizhong, Li Yuan, Lei Mingtang, Tan Chengxuan, Su Jingwen, Zhou Quanping, Zhang Taili, Li Yun, Liu Hongying, Peng Ke, Wang Hanmei. Research on conditions of resources and environment and major geological problems in the Yangtze River Economic Zone[J]. *Geology in China*, 2017, 44(6): 1045–1061(in Chinese with English abstract).
- Kang Chunguo, Li Chang'an, Zhang Yufen, Shao Lei, Jiang Huajun. 2014. Heavy mineral characteristics of the Yichang gravel layers and provenance tracing[J]. *Acta Geologica Sinica*, 88(2):254–262.
- Krumbein W C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 11(2):64–72.
- Lei Dongning, Cai Yongjian, Yu Song, Wu Jianchao, Qiao Yueqiang, Fan Guangming. 2011. Discussion on characteristic activity of Xiangfan–Guangji Fault Since the Quaternary, Hubei [J]. *Geological Science and Technology Information*, 30(06): 38–43,54 (in Chinese with English abstract).
- Lewis D W, Mcconchie D. 1994. *Analytical Sedimentology* [M]. Springer US.
- Li Ting, Li Chang'an, Kang Chunguo, Lei Wenda, Yang Jian, Wang Jietao. 2010. Sedimentary environment and geomorphological significance of the gravel bed in Yichang[J]. *Geology in China*, 37(2): 438–445(in Chinese with English abstract).
- Luttig G 1962. The shape of pebbles in the continental, fluvial and marine facies [J]. *Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ.*, 59: 253–258.
- Mei Hui, Hu Daohua, Chen Fangming, Li Zhongqiang, Zhao Jinhui. 2011. Study on the statistical analysis of gravels at Yangluo in Wuhan City[J]. *Earth and Environment*, 39(1): 42–47(in Chinese with English abstract).
- Mei Hui, Li Chang'an, Chen Fangming, Qi Guofan. 2009. ESR stratigraphically chronological study of the gravel layer in Yangluo Town, Wuhan City[J]. *Earth and Environment*, 37(1): 56–61(in

- Chinese with English abstract).
- Miao Weidong, Li Shijie, Fen Jinshun, Gao Li, E Jian. 2016. Stratigraphic division of NB5 core in the Yangtze delta area and its environmental change information[J]. *Geology in China*, (6): 2022–2035(in Chinese with English abstract).
- Mills H H. 1979. Downstream rounding of pebbles—a quantitative review [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 49(1): 295–302.
- Ocheli A, Okoro A U, Ogbe O B, Aigbadon G O. 2018. Granulometric and pebble morphometric applications to Benin Flank sediments in western Anambra Basin, Nigeria: proxies for paleoenvironmental reconstruction[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 190: 286.
- Perez F L. 1987. A method for contouring triangular particle shape diagrams[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 57(4):763–765.
- Sames C W. 1966. Morphometric data of some Recent pebble associations and their application to ancient deposits [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 36(1): 126–142.
- Stratten T. 1974. Notes on the application of shape parameters to differentiate between beach and river deposits in Southern Africa[J]. *South African Journal of Geology*, 77(3): 383–384.
- Sneed E D, Folk R L. 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas a study in particle morphogenesis [J]. *The Journal of Geology*, 66(2): 114–150.
- Wadell H. 1935. Volume, Shape, and Roundness of Quartz Particles[J]. *Journal of Geology*, 43(3): 250–280.
- Wang Zhanghua, Zhang Dan, Li Xiao, Tao Shikang, Xie Yan. 2008. Magnetic properties and relevant minerals of late Cenozoic sediments in the Yangtze River delta and their implications[J]. *Geology in China*, 35(4): 670–682(in Chinese with English abstract).
- Wentworth C K. 1922. A field study of the shapes of river pebbles[J]. *Bulletin of US Geological Survey*, 730–C:103–114.
- Xie Guanglin, Rao Yangyi, Jiang Linzhen, Fan Zhiru. 1993. Evaluation of neotectonic movement and stability of Wuhan area[J]. *Crustal Deformation and Earthquake*, 13(3): 59–65(in Chinese with English abstract).
- Xu Ruihu, Yang Limao. 1992. The genesis of silicified woods and environmental evolution at the southern foot the Dabie Mountains[J]. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 14 (1): 81–85(in Chinese with English abstract).
- Yuan Shengyuan, Li Changan, Zhang Yufeng, Shao Lei, Wang Jietao. 2012. Trace element characteristics of sediments in Jiangnan Basin: Implications for expansion of the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Geology in China*, 39(4): 1042–1048(in Chinese with English abstract).
- Zhao Xitao, Jia Liyun, Hu Daogong. 2018. Discoveries of fluvial terraces and Neogene gravels in the Hetao area, Inner Mongolia: Implications for the development of the Yellow River, antiquity of Chinese Rivers, and coexistence theory of rivers and lakes[J]. *Acta Geologica Sinica*, 92(4):845–886(in Chinese with English abstract).
- Zheng Hongbo, Peter D. Clift, Wang Ping, Ryuji Tada, Jia Juntao, He Mengying, Fred Jourdan. 2013. Pre-Miocene birth of the Yangtze River [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110: 7556–7561.
- Zingg T. 1935. Beitrag zur schotteranalyse [M]. *Min. Petrog. Mitt. Schweiz*: 39–140.

### 附中文参考文献

- 陈华慧, 马祖陆. 1987. 江汉平原下更新统[J]. *地球科学*: 129–135.
- 陈秀娟, 徐永吉, 李跃芬, 齐国凡, 徐瑞瑚. 1992. 湖北新洲阳逻镇硅化木研究[J]. *辽宁地质*: 368–373.
- 邓健如, 伍维周, 秦志能. 1991. 武汉市第四纪地层的划分[J]. *湖北大学学报(自然科学版)*, 13(2): 178–183.
- 黄宁生, 关康年. 1993. 鄂东阳逻地区早更新世砾石层研究[J]. *地球科学*, 18(5): 589–596+672.
- 江华军, 李长安, 张玉芬, 王节涛. 2013. 嘉陵江古河曲发育的古地理环境重建[J]. *中国地质*, 40(2): 460–468.
- 姜月华, 林良俊, 陈立德, 倪化勇, 葛伟亚, 成杭新, 翟刚毅, 王贵玲, 班宜忠, 李媛, 雷明堂, 谭成轩, 苏晶文, 周权平, 张泰丽, 李云, 刘红樱, 彭柯, 王寒梅. 2017. 长江经济带资源环境条件与重大地质问题[J]. *中国地质*, 44(6):1045–1061.
- 康春国, 李长安, 张玉芬, 邵磊, 江华军. 2014. 宜昌砾石层重矿物组合特征及物源示踪分析[J]. *地质学报*, 88(2):254–262.
- 李庭, 李长安, 康春国, 雷文大, 杨建, 王节涛. 2010. 宜昌砾石层的沉积环境及地貌意义[J]. *中国地质*, 37(2):438–445.
- 雷东宁, 蔡永建, 余松, 吴建超, 乔岳强, 樊光明. 2011. 湖北襄樊—广济断裂第四纪活动特征初步探讨[J]. *地质科技情报*, 30(6): 38–43, 54.
- 梅惠, 胡道华, 陈方明, 李中强, 赵锦慧. 2011. 武汉阳逻砾石层砾石统计分析研究[J]. *地球与环境*, 39(1): 42–47.
- 梅惠, 李长安, 陈方明, 齐国凡. 2009. 武汉阳逻砾石层 ESR 地层年代学研究[J]. *地球与环境*, 37(1): 56–61.
- 缪卫东, 李世杰, 冯金顺, 高立, 鄂建. 2016. 长江三角洲 NB5 孔第四纪地层划分及环境变化信息[J]. *中国地质*, (6): 2022–2035.
- 王张华, 张丹, 李晓, 陶士康, 解燕. 2008. 长江三角洲晚新生代沉积物磁性特征和磁性矿物及其指示意义[J]. *中国地质*, 35(4): 670–682.
- 谢广林, 饶扬誉, 蒋蔺珍, 范洽如. 1993. 武汉地区的新构造运动与区域稳定性评价[J]. *地壳形变与地震*, 13(3): 59–65.
- 徐瑞瑚, 杨礼茂. 1992. 大别山南麓硅化木的成因机制及环境演变[J]. *湖北大学学报(自然科学版)*, 14(01): 81–85.
- 袁胜元, 李长安, 张玉芬, 邵磊, 王节涛. 2012. 江汉盆地沉积物微量元素特征与长江上游水系拓展[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 1042–1048.
- 赵希涛, 贾丽云, 胡道功. 2018. 内蒙河套地区黄河阶地与新近纪砾石层的发现及其对黄河发育、中国河流古老性与河湖共存论的意义[J]. *地质学报*, 92(4):845–886.