三峡库区忠县向斜内部滑坡空间分布特征

朱 伟，王孔伟，魏 东，靳宝萍，张 帆
〔教育部三峡库区地质灾害教育部重点实验室(三峡大学)，湖北 宜昌 443002〕

摘 要：[目的] 对三峡库区忠县向斜内部滑坡空间分布特征进行研究，为该区地质灾害防治工作的开展提供理论依据。[方法] 在详细野外地质调查研究的基础上，应用构造地质学相关理论，以三峡库区忠县向斜为研究重点，对忠县向斜构造与滑坡分布特征之间的关系进行了深入研究。[结果] 忠县向斜局部构造可以划分为 3 个区段，分别为北部忠县向斜与万县向斜复合区段、中部忠县向斜主体区段和南部忠县向斜与 SN 向构造复合区段。[结论] 滑坡主要分布于北部和南部区段，主体区段滑坡规模较小；每个区段滑坡空间演化特征具有各自的特点，与局部构造特征改变相对应。

关键词：三峡库区；局部构造；忠县向斜；滑坡
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)04-0098-05 **中图分类号**：P642.22

文献参数：朱伟，王孔伟，魏东，等. 三峡库区忠县向斜内部滑坡空间分布特征[J]. 水土保持通报，2018，38(4)：98-102. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.016. Zhu Wei, Wang Kongwei, Wei Dong, et al. Spatial distribution characteristics of internal landslides of Zhongxian County syncline in Three Gorges Reservoir area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 98-102.

Spatial Distribution Characteristics of Internal Landslides of Zhongxian County Syncline in Three Gorges Reservoir Area

ZHU Wei, WANG Kongwei, WEI Dong, JIN Baoping, ZHANG Fan
〔*Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area (China Three Gorges University), Ministry of Education, Yichang, Hubei* 443002, *China*〕

Abstract: [Objective] The spatial distribution characteristics of landslides in the Zhong County syncline in the Three Gorges Reservoir area were studied in order to provide theoretical basis for the prevention and control of geological disasters in this area. [Methods] On the basis of detailed field geological investigation, this paper took the Zhongxian County syncline in the Three Gorges Reservoir Area as the research focus and made in-depth discussions on the relationship between Zhongxian County syncline and landslide distribution characteristics by applying relevant theories of structural geology. [Results] The local structure of Zhongxian County syncline can be divided into three sections: the composite section by Northern Zhongxian County syncline and Wanxian County syncline, the main section of Central Zhongxian County syncline, and the composite section by southern Zhongxian County syncline and SN trending structure. [Conclusion] The landslide is mainly distributed in the northern and southern sections, and the landslide scale of the main section is relatively small. The spatial evolution characteristics of landslide in each section are different correspondingly as local structural features change.

Keywords: **Three Gorges Reservoir area; local structure ; Zhongxian County syncline; landslide**

忠县向斜构造行政区划隶属于重庆市涪陵区、丰都区、忠县和万州区所管辖区域，构造上隶属于川东褶皱带。前人对该区域的研究认识较为深入，川东褶皱带整体上为一个隔挡式褶皱组合，具有断层相关褶皱的构造属性[1-3]；忠县向斜作为川东褶皱带的有机组成部分，其局部构造特征具有断层相关褶皱中断层传播褶皱的构造属性，所有这些研究都局限于基础地质以及石油地质研究领域[4-6]。针对局部构造特征与

收稿日期：2018-03-10 **修回日期**：2018-03-23
资助项目：国家自然科学基金重点项目“复杂条件下库岸边坡变形破坏机理”(51439003)；湖北省自然科学基金项目(2015CFB545)
第一作者：朱伟(1993—)，男(汉族)，湖北省武汉市人，硕士研究生，研究方向为地质工程专业。E-mail：997393770@qq.com。
通讯作者：王孔伟(1966—)，男(汉族)，山东省临朐市人，博士，副教授，主要从事地质灾害成因机理研究工作。E-mail：wangkongwei@126.com。

滑坡之间的关系及相同局部构造上多个个体滑坡之间的因果关系研究不够深入。以往的研究往往侧重于对单体滑坡认识,忽略了滑坡个体之间的联系,特别是对整个库岸空间演化规律的认识研究,大型滑坡发生与区域构造分区、局部构造类型相关[7-8],这种相关性不仅仅体现于对单个滑坡的控制,更深层次在于对整体岸坡带演化规律、个体滑坡演化之间因果关系的控制上。滑坡的形成与多种因素有关,这些因素可以分为两类[9-12],一为地质环境背景因素(先天因素),包括新老构造条件以及岩性条件等;二为触发因素,包括外动力地质因素(河流切割、卸荷等)、降雨、地震等。先天因素的研究是基础,即把受相同局部构造控制的,位于相同新构造活动区域的多个滑坡个体分布带作为整体研究,建立分布带内部滑坡个体之间在成因机理、演化特征上的关系是本文所要探讨的主要问题。为此,本研究在野外地质调查和前人工作的基础上,结合断层相关褶皱理论,对忠县向斜的局部构造特征与滑坡空间关系进行深入研究,在此基础上分析滑坡空间分布特征和空间演化规律,探讨滑坡与局部构造关联性。

1　忠县向斜局部构造特征

忠县向斜位于川东褶皱带的南东部位,为一宽缓的向斜构造,北西方向为大池干井背斜,南东方向为方斗山背斜和齐耀山背斜。忠县向斜整体呈 NE 走向,是夹持在断层传播褶皱(属于断层相关褶皱中的一种类型)之间的向斜构造,向北、向南翘起消亡。为了更清晰地了解忠县向斜整体纵向上变化特征,野外调查时自南西向北东依次选取了多条横剖面,根据局部构造特征,具体将忠县向斜段划分为 3 个区段。

1.1　南部忠县向斜与 SN 向构造复合部位(清溪场—丰都段Ⅰ)

丰都区的清溪场镇—丰都主城区附近是 SN 向褶皱与 NE-NNE 向褶皱复合部位,岩层产状多变,其中 SN 向构造是先期构造,由于 NE-NNE 褶皱叠加造成该区域应力集中,共轭剪切节理发育,造成岩石较为破碎,裂隙发育。该区的基本构造形态特征自北西至南东依次为菁口背斜、珍溪场向斜以及大耳山背斜。其中大耳山背斜为先期南北向构造的组成部分,受早期 SN 向构造制约 NE 向的大池干井背斜在立石镇一带逐渐倾伏消亡,忠县向斜也随之消亡,同样受 SN 向构造影响珍溪场向斜向 S 也逐渐仰起消亡。

长江河谷在此发育于珍溪场向斜核部,河谷蜿蜒曲流,亦发育有边滩、心滩。该区出露地层为三叠系须家河组至侏罗系蓬莱镇组,岩性为砂岩、泥岩、页岩等。岩层倾角较缓 10°～26°,长江两岸岸坡为斜向坡到横向坡,局部为顺向坡结构。

1.2　中部忠县向斜主体构造部位(丰都—石宝寨Ⅱ)

该处忠县向斜为夹持于大池干井背斜与方斗山背斜之间的向斜构造,大池干井背斜和方斗山背斜作为断层相关褶皱中的断层传播褶皱,具有不对称的特点,西翼为缓倾翼,东翼为陡倾翼。忠县向斜同时又位于控制大池干井背斜形成的断层下盘以及控制方斗山背斜形成断层的上盘,整体上来说忠县向斜西翼变形特征较东翼弱。此处忠县向斜比较开阔,向西倾角快速增大过渡为大池干井背斜的陡倾东翼,向东倾角逐渐增大,过渡为方斗山背斜的西翼。在该区域,长江河谷发育于向斜核部,长江两岸岸坡岩层近水平,长江河谷蜿蜒曲流,形成三峡库区唯一的游荡型河床发育区,边滩、心滩发育。

1.3　忠县向斜与万县向斜复合部位(石宝寨—新田镇段Ⅲ)

该区域位于忠县石宝寨—新田镇地段,大池干井背斜倾伏消亡,忠县向斜翘起与万县向斜融合。分析可得,自北西朝向南东大池干井背斜逐渐倾伏消亡,忠县向斜也逐渐仰起与万县向斜融合。长江河谷在向斜核部发育,受构造复合作用影响,形成局部应力集中,裂隙发育、岩层较为破碎。大池干井背斜逐渐消亡直至基本看不到该背斜的形态特征了,忠县向斜与万县向斜已经完全融合,向斜谷地开阔平坦,长江干流沿忠县向斜—万县向斜与方斗山背斜过渡部位流过该区域。忠县向斜局部构造特征整体表现为两头仰起,形似“帆船”,为一夹持在两个断层相关褶皱中间的向斜构造。

忠县向斜局部构造特征控制了该区域地质灾害分布,与局部构造相对应,地质灾害同样可以划分为 3 个分布区,分别为南部地质灾害分布区(SN 向褶皱与 NE-NNE 向褶皱复合部位),对应库岸段为清溪场—丰都段Ⅰ;中部地质灾害分布区(忠县向斜主体构造部位),对应库岸段为丰都—石宝寨Ⅱ;北部地质灾害分布区(忠县向斜与万县向斜复合部位),对应库岸段为石宝寨—新田镇段Ⅲ。清溪场—丰都段Ⅰ段长 45.1 km,滑坡数量 67 处(巨型滑坡 2 处,大型滑坡 20 处,中型滑坡 43 处,小型滑坡 2 处),滑坡发育的线密度 1.49,平均规模达 1.64×10^6 m^3;丰都—石宝寨Ⅱ段最长 97.8 km,滑坡数量 74 个(巨型滑坡 1 处,大型滑坡 25 处,中型滑坡 38 处,小型滑坡 11 处),滑坡发育的线密度 0.76,平均规模 1.15×10^6 m^3;石宝寨—新田镇段Ⅲ段最短 32.4 km,滑坡数量 59 个(巨型滑坡 4 处,大型滑坡 37 处,中型滑坡 13 处,小型滑坡 5 处),滑坡发育的线密度 1.82,平均规

模 3.86×10^6 m^3。对比可以看出，Ⅰ段和Ⅲ段滑坡发育密度、发育平均规模明显较Ⅱ段大，整体呈发育规模“两头大，中间小”；发育密度“两头密、中间疏”的特征(表 1)。总之，忠县向斜的局部构造特点从区域上决定了该区域地质灾害的区域分布特征，在此基础上，可以将研究区的地质灾害分成 3 个研究区段，将此区段作为进一步研究忠县向斜与地质灾害关系。

表 1 涪陵—万州长江库岸段滑坡分段情况

区 段	清溪场—丰都段(Ⅰ)	丰都—石宝寨段(Ⅱ)	石宝寨—新田镇(Ⅲ)
规模/10^4 m^3	8 519	9 348.2	13 885.5
库岸段/km	45.1	97.8	32.4
灾害数量/个	52	78	36
平均规模/10^4 m^3	163.82	115.00	385.70
规模	大	小	大
演化规律	Ⅰ—Ⅲ段，滑坡发育密度表现密—疏—密		

2 清溪场—丰都段滑坡空间演化(Ⅰ段)

上面已经讨论过，该区域为早期 SN 向构造与 NE-NNE 向构造复合部位，在后期北西向区域构造应力场的作用下，同时受早期 SN 向构造限制作用在该区域形成 NNE 向的局部构造应力场，在此作用下形成 NW 向和 NE 向两组共轭剪节理，长江干流两岸滑坡受区域性剪节理所控制，沿这些剪节理形成了许多与长江斜交的陡崖，坡体的破坏与该组节理关系密切，滑动方向与节理延伸方向相同，与长江斜交。长江河谷在该段是沿着追踪张节理发育，滑坡规模主要受控于这些节理后期表生作用以及时效变形作用过程的强弱。立石镇滑坡是这些滑坡中的一个典型代表，长江在该滑坡附近发生了转弯，造成该区沿长江方向表生作用加强，岩体卸荷裂隙发育，崩坡积堆积形成滑坡，形成以立石镇滑坡为东侧边界的小规模滑坡聚集区，向西滑坡规模整体减小。

该区岩层产状多变，只在清溪场附近的云台寺滑坡和丰都县城附近的桃园滑坡处形成局部顺向坡结构，形成该区 2 个最大的滑坡，云台寺滑坡和桃园滑坡，其他地区为斜向坡或横向坡结构，因此形成以云台寺和桃园滑坡为中心，向两侧滑坡规模减小的规律。同时桃园滑坡又位于构造复合交叉位置，为应力主要集中区。该处库岸变形以桃园(沙田)滑坡为界分为东西两部分，以西库岸破坏主要受 NE 向剪节理控制，以东则受 NW，NE 向两组剪节理控制，东侧滑坡规模整体上大于西侧，远离该处滑坡规模迅速减小(表 2—3)。总体上来说，该区滑坡发育线密度远远大于忠县向斜主题构造部位(清溪场—丰都段)，与 NE 向构造与 SN 向构造复合的局部构造特征相一致，NE 向构造与 SN 向构造复合是造成这一现象的主要原因。

表 2 云台寺滑坡附近局部构造与滑坡体规模变化特征 10^4 m^3

1 区(斜向坡)			云台寺滑坡(顺向坡)			2 区(斜向坡)		
滑坡名称	滑坡规模	控制因素	滑坡名称	滑坡规模	控制因素	滑坡名称	滑坡规模	控制因素
大竹林	140	区域节理	云台寺	1 316	区域节理顺向坡	大沱铺	72	区域节理
桂子石	111	区域节理				望河咀	62	区域节理
大门闩	168	区域节理				石马坝	80	区域节理
门闩子	140	区域节理				幺铺子	84	区域节理
马草背	28	区域节理						
滩 涝	102	区域节理						
大树咀西	15	区域节理						
塘坎脚	260	区域节理						
总 计	964		总 计	1 316		总 计	298	

表 3 桃园滑坡附近局部构造与滑坡体规模变化特征 10^4 m^3

3 区(斜向坡)			桃园滑坡(顺向坡)			4 区(斜向坡)		
滑坡名称	滑坡规模	控制因素	滑坡名称	滑坡规模	控制因素	滑坡名称	滑坡规模	控制因素
立石镇	984	区域节理	桃 园	740	区域节理顺向坡	竹子坝	26	区域节理
石板滩	78	区域节理				山王庙	74	区域节理
苦竹林	74	区域节理				岩 脚	68	区域节理
凉水函	23	区域节理				三步天	142	区域节理
簸箕石(2 个)	70+53	区域节理				张家山	136	区域节理
滩 咀	80	区域节理				大地坝	268	区域节理
老院子南	50	区域节理				鹭鸶碑	328	区域节理
						庆 林	57	区域节理
总 计	1 412		总 计	740		总 计	1 099	

3　丰都－石宝寨段滑坡空间演化(Ⅱ段)

该段为忠县向斜的主体构造段,西邻大池干井背斜,东邻方斗山背斜,为一宽缓的向斜构造,为断层传播褶皱(断层相关褶皱)有机组成部分,作为断层传播褶皱来说,其对地质灾害的控制主要体现在以下两个方面[13-15]:①断层转播褶皱是地质灾害集中发生部位。②对于断层传播褶皱来说,陡倾褶皱翼地质灾害主要表现为崩塌或者堆积型滑坡,缓倾褶皱翼主要表现为顺层滑坡地质灾害,并且地质灾害主要集中于缓倾褶皱翼向陡倾过度的部位。

忠县向斜主体构造部位(丰都—石宝寨Ⅱ段)就是位于大池干井背斜与方斗山背斜之间的向斜构造,变形相对较弱,处于地质灾害少发区域。特别是在忠县县城附近长江河谷形成游荡型河床,发育大量心滩和边滩,对岸坡起到了一定的保护作用,滑坡灾害主要与河流的冲刷作用相关,滑坡位于长江 U 型弯曲的凹岸段(图 1),形成研究区滑坡线密度最低的地区,滑坡规模也明显缩小。

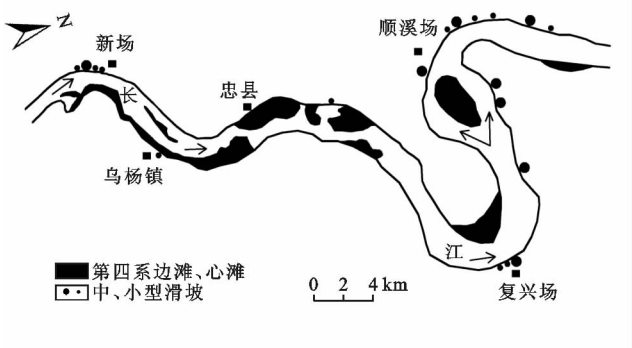


图 1　忠县－石宝寨游荡型河床与滑坡关系

忠县向斜主体构造部位的另一个滑坡相对集中区位于洋渡溪镇附近,形成以猫鼠子、洋渡溪、秦家岩滑坡为主体的 3 个局部滑坡聚集区(分别称为 1 区、2 区、3 区),整体规模上呈向北东方向滑坡规模逐渐减小的趋势(表 4),这与坡体所处断层传播褶皱的局部构造部位密切相关。其中 3 区已经逐渐过渡到忠县向斜内部,滑坡灾害的形成与河流的冲刷作用关系密切。

总体上来说该区是忠县向斜内部滑坡发育程度最低的部位,库岸段相对稳定。但是三峡水库蓄水之后由于边滩、心滩全部被淹没,岩水之间的作用进一步加强,该段库岸边坡的稳定性有待进一步观察,从 2016 年野外调查看,此段塌岸现象较其他地段多见。

表 4　洋渡溪附近滑坡体规模变化特征　　10^4 m^3

1 区		2 区		3 区	
滑坡名称	滑坡规模	滑坡名称	滑坡规模	滑坡名称	滑坡规模
何家岩	117	半 坡	168	尖包西	58
沙背河	87	罗家滩	85	槽 坊	45
王家咀	540	何家坝	73	秦家岩	185
新房子	860	花 岭	36	秦家岩上	26
猫鼠子	268	铁匠岩	146	张家河下	104
竹林弯	180	庙子河	84	张家河	63
上 湾	228			庙 上	167
				庙上南	17
				范家河	50
				高子河北	27
				高子河南	189
平均	325	平均	98	平均	85
空间变化规律		模逐渐减小			

4　石宝寨－新田镇段滑坡空间演化(Ⅲ段)

该区段是忠县向斜与万县向斜融合过渡段,大池干井背斜在此段已经倾伏消亡,忠县向斜翘倾融合于万县向斜中,滑坡主要集中于忠县向斜与万县向斜相互融合区段的黎家坝到大溪口处,向两侧滑坡规模迅速减小(表 5)。黎家坝到大溪口处为忠县向斜与万县向斜构造融合部位,形成了该区右旋扭性应力场,在该应力场的作用下形成了两组共轭剪节理系,其中一组节理方向与长江呈锐夹角,被后期库岸边坡形成的卸荷裂隙所继承,发展成为控制滑坡形成的拉裂面;另一组节理方向与长江呈近直角相交,发展成为控制滑坡形成的切割面,控制滑坡的滑动方向。在该地区岩层顺层滑动特征明显,层间节理发育,岩层产状倾角一般小于 20°,同时由于软硬岩层相间分布,在长江岸坡软岩层临空变形,上部硬岩层引张形成张裂隙,张裂隙的形成大部分借助于层间节理以及区域性横节理形成。总体上来说,该区滑坡的分布特征与忠县向斜与万县向斜的融合关系密切,主体融合部位恰恰就是滑坡分布最集中的区域,呈现出从小到大又到小的空间演化规律。

表 5　石宝寨至新田镇段滑坡空间演化特征

区 段	石宝寨—黎家坝	黎家坝—大溪口	大溪口—新田镇
规模/10^4 m^3	2 799	11 630	1 610
库岸段/km	7	20	8
灾害数量/个	22	20	14
平均规模/10^4 m^3	127.2	581.5	115.0
演化空间演化	小	大	小

5 结 论

(1) 忠县向斜局部构造可以划分为 3 个区段,分别为北部忠县向斜与万县向斜复合区段、中部忠县向斜主体区段和南部忠县向斜与 SN 向构造复合区段。

(2) 忠县向斜影响区内滑坡主要分布于南部和北部区段,主体区段滑坡规模较小,即清溪场—丰都段库岸(Ⅰ)和石宝寨—新田镇段(Ⅲ)库岸滑坡规模大,丰都—石宝寨段(Ⅱ)库岸崩滑体规模小,整体呈"两头大,中间小"、"两头密,中间疏"的规律。

(3) 研究区所划分的每个区段内滑坡空间演化特征均具有各自的特点,与忠县向斜影响区整体趋势和局部构造特征改变一致,相互对应。

[参 考 文 献]

[1] 陈洪凯,唐红梅. 三峡库区的新构造应力场及其对库岸滑坡滑动优势方向的影响[J]. 地理研究,1997,16(4):15-21.

[2] 代贞伟,魏云杰,侯时平. 三峡库区杨家水井滑坡变形失稳机理研究[J]. 工程地质学报,2016,24(4):527-534.

[3] 邓清禄,王学平. 长江三峡库区滑坡与构造活动的关系[J]. 工程地质学报,2000,8(2):136-141.

[4] 王孔伟,张帆,林东成,等. 三峡地区新构造活动与滑坡分布关系[J]. 世界地质,2007,26(10):26-32.

[5] 王孔伟,赵小明,张帆. 三峡库区谢家包背斜与滑坡分布关系[J]. 高校地质学报,2015,21(2):255-267.

[6] 黄润秋,张伟锋,裴向军. 大光包滑坡工程地质研究[J]. 工程地质学报,2014,22(4):557-585.

[7] 黄润秋. 岩石高边坡发育的动力过程及其稳定性控制[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(8):1525-1544.

[8] 梁学战,唐红梅. 三峡库区及邻近地区滑坡发育宏观地学背景分析[J]. 重庆交通大学学报. 2009,28(1):100-104.

[9] 卢书强,易庆林,易武,等. 三峡库区树坪滑坡变形失稳机制分析[J]. 岩土力学,2014,35(4):1123-1130.

[10] 王思敬. 地球内外动力耦合作用与重大地质灾害的成因初探[J]. 工程地质学报,2002,10(2):115-117.

[11] 王垚,李述靖,王学佑. 长江三峡库区崩滑地质灾害的形成与分布规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2000,11(2):24-29.

[12] 肖尚德,李智民,刘云彪,等. 湖北省清江流域滑坡分布规律与减灾对策研究[J]. 工程地质学报,2012,20(4):514-521.

[13] 肖诗荣,刘德富,胡志宇,等. 世界三大典型水库型顺层岩质滑坡工程地质比较研究[J]. 工程地质学报,2010,18(1):52-59.

[14] 张帆,王孔伟,罗先启,等. 长江三峡库区构造特征与滑坡分部关系[J]. 地质学报,2007,81(1):38-45.

[15] 王孔伟,常德龙,李春波,等. 再论"滑坡群":以三峡库区为例[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2017,47(5):1-12.

(上接第 97 页)

[16] Yu Qing, Wang Hongzhu, Li Yan, et al. Effects of high nitrogen concentrations on the growth of submersed macrophytes at moderate phosphorus concentrations[J]. Water Research, 2015,83:385-395.

[17] 郭霞. 内蒙古高原典型湖泊磷的地球化学特征[D]. 内蒙古 呼和浩特:内蒙古大学, 2014.

[18] 郑西来,张俊杰,陈蕾. 再悬浮条件 C 内源磷迁移—转化机制研究进展[J]. 水科学进展,2013, 24(2):287-295.

[19] 刘志娇. 达里诺尔湖水动力条件试验及氢氧稳定同位素研究[D]. 内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.

[20] 王志齐,李宝,梁仁君,等. 南四湖沉积物磷形态及其与间隙水磷的相关性分析[J]. 环境科学学报,2013,33(1):139-146.

[21] 温胜芳,单保庆,张洪. 巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究[J]. 环境科学,2012,33(7):2322-2329.

[22] 何江,孙英,吕昌伟,等. 岱海表层沉积物中内源磷的释放[J]. 生态学报,2010,20(2):389-398.

[23] Chuai Xiaoming, Ding Wei, Chen Xiaofeng, et al. Phosphorus release from cyanobacterial blooms in Meiliang Bay of Lake Taihu, China[J]. Ecological Engineering, 2011,37(6):842-849.

[24] 高春梅,朱珠,王功芹,等. 海州湾海洋牧场海域表层沉积物磷形态与环境意义[J]. 中国环境科学,2015,235(11):3437-3444.

[25] Liu Sumei, Zhang Jing, Li Daoji. Phosphorus cycling in sediments of the Bohaiand Yellow seas[J]. Estuarine, Coast aland Shelf Science, 2004,59(2):209-218.

[26] 张路,范成新,朱广伟,等. 长江中下游湖泊沉积物生物可利用磷分布特征[J]. 湖泊科学,2006,18(1):36-42.

[27] 朱广伟,秦伯强. 沉积物中磷形态的化学连续提取法应用研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(3):349-352.

[28] 张志斌,张学杨,张波,等. 南四湖微山湖区沉积物磷形态分布特征[J]. 环境科学,2009,30(5):1345-1350.