

## 三峡库区消落带滑坡灾害引发生态环境问题的研究进展<sup>\*</sup>

焦朋朋<sup>1,2,3</sup>, 陈洪凯<sup>1,2,3</sup>, 张金浩<sup>1,2,3</sup>, 段玉慧<sup>1</sup>, 李垠璇<sup>1</sup>, 徐浩男<sup>1</sup>

(1. 枣庄学院 城市与建筑工程学院; 2. 枣庄市矿区地质减灾与生态修复重点实验室;

3. 枣庄市公路矿区地质减灾与绿色发展技术创新中心, 山东 枣庄 277160)

**摘要:**【目的】分析三峡库区消落带滑坡灾害形成机制、崩解特性和破坏机理以及土壤污染问题研究现状的分析,指出当前研究的不足并提出展望性建议。【方法】查阅相关文献,分析当前研究进展与趋势。【结果】三峡库区岸坡经库水位升降、降雨或长期风化作用形成层状碎裂岩体结构;库水位在消落带之间反复升降,消落带泥岩处于周期性“干湿”交替环境中,泥岩内部部分可溶物质溶解,胶结作用降低,裂隙逐渐扩展,导致崩解;在库水位变化过程中,滑坡体涉及饱和-非饱和的相互转化过程,进而影响滑坡岩土体强度、局部孔隙水压力,最终引发滑坡灾害;消落带滑坡灾害引发了坡内土壤重金属含量总体呈现库区上游及下游较高、库区中游较低的空间格局,土壤处于轻度污染等级,进而促使消落带区域内土壤有机污染对库区下游生态环境具有潜在的生态风险;消落带植物的种类因水位的涨落而出现较大幅度的降低,其中草本植物占极大优势。【结论】三峡库区消落带滑坡灾害研究不够系统,对滑坡形成机制、崩解特性和破坏机理还需进一步研究;消落带土壤的侵蚀、理化性质的变化与地质灾害的关联性研究不充分;消落带滑坡区域内导致的土壤污染的研究多为现状调查,早期研究未形成权威可靠的参考背景值,导致土壤污染评价的依据不够充分;区域内土壤污染物迁移转化规律研究不够完善;除常规污染物外,对其他非常规污染物关注度不够;区域内植物群落变化的研究多数仅停留在变化特征描述上,未对形成机制开展深入探讨。

**关键词:**三峡库区;消落带;滑坡;土壤污染;研究进展

**中图分类号:**X53;X524;P642

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2022)02-0046-10

随着中国经济的发展,对淡水资源的消耗和需求不断增大。由于水资源时空分布严重不均,为了进一步满足水资源利用的需求,中国修建了大量的水库。截至2018年,中国各类水库总数量为98 822座,总库容量为 $8.953 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,其中:大型水库数量为736座,总库容量为 $7.117 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,占全部库容量的79.5%;中型水库数量为3 954座,总库容量为 $1.126 \times 10^{11} \text{ m}^3$ <sup>[1]</sup>。水库水位的周期性变化使库区出现了大面积的消落带,而消落带水位的周期性变化会引发一系列地质灾害及生态环境问题。在面临此类问题的消落带中,最为典型的是三峡库区消落带。本文着重综述三峡库区消落带的地质灾害与生态环境研究现状,探讨了相关研究的发展趋势并进行了研究展望,以期为三峡库区消落带的整治和管理提供借鉴。

### 1 三峡库区消落带概况

三峡工程是世界上最大的水利枢纽工程,而三峡水库也是中国重要的战略性淡水资源源之一<sup>[2]</sup>。三峡库区位于北纬 $28^{\circ}32' \sim 31^{\circ}44'$ ,东经 $105^{\circ}44' \sim 111^{\circ}39'$ ,涉及21个县市区,约 $632 \text{ km}^2$ 的原有陆地被淹没。三峡水库于2010年10月实现175 m正常蓄水位目标,总库容量达393亿 $\text{m}^3$ 。三峡水库采用“蓄清排洪”的调度方式,在6—9月(丰水期)为满足防洪需求以145 m水位运行,在枯水期则保持正常蓄水水位运行<sup>[3-4]</sup>。由于三峡水库独特的运行方式,在145~175 m水位高程间形成垂直高差30 m的消落带,长约662 km,面积约 $350 \text{ km}^2$ <sup>[5-7]</sup>。三峡库区及消落带范围如图1所示。三峡库区长度大,上下游区域的库岸边坡的工程地质条件存在差异,沿岸存在大量软岩区、土质库岸区及岩土质混合库岸区(图2),其中砂岩、泥岩占比为74%,碳酸岩占比为19%,其他岩

<sup>\*</sup> 收稿日期:2019-12-26 修回日期:2021-09-28 网络出版时间:2022-03-31 11:39

资助项目:国家重点研发计划“强震区特大泥石流综合防控技术与示范应用”(No. 2018YFC1505400);枣庄学院博士科研启动基金(No. 1020705)

第一作者简介:焦朋朋,男,讲师,博士,研究方向为生态环境保护与治理,E-mail:mr.jiaopeng@163.com

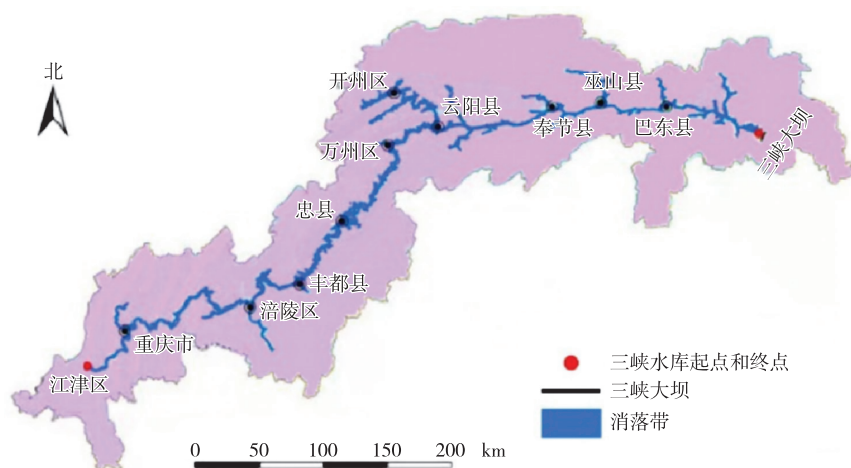
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220330.0847.002.html

石占比为7%,特别是在江津至奉节区段多为砂岩、泥岩<sup>[7]</sup>。这些区域在雨水浸润软化和库水冲刷的作用下,易形成滑坡等地质灾害。

## 2 消落带区域内滑坡灾害研究进展

### 2.1 消落带区域内滑坡形成机制研究

三峡库区消落带典型地质灾害主要有滑坡和崩塌,其中以滑坡最为严重。三峡库区蓄水后,每年3—4月为库水位缓慢消落阶段,5—6月为库水位快速消落阶段,7—8月为汛期,9—10月为蓄水阶段,11月至次年2月为库水位175 m高水位运行期。由于水库水位变动,江水对岸坡的改造作用增强,加之库岸长期受浸泡和浪击作用,导致岸坡岩体整体稳定性下降,加剧三峡库区滑坡灾害的发生<sup>[8]</sup>。经研究发现,三峡库区广泛发育巴东组地层,以泥灰岩地层为主,泥灰岩经库水位升降、降雨或长期风化作用,岸坡内裂隙扩宽,岩体逐渐解体,形成具有层状碎裂岩体结构特征的岸坡<sup>[9]</sup>。岩溶风化是强风化泥岩存在的根本原因<sup>[10-12]</sup>,泥灰岩具有灰岩和泥岩的双重特性,水流溶蚀灰岩中的钙质成分,泥岩遭受风化泥质富集,岩体结构疏松,坡体内裂隙发育,成为溶蚀液体的新通道,加剧泥灰岩的风化进程。同时,针对某一具体岸坡,坡体不同部位的岩溶风化程度不同,一般情况下,岸坡坡肩岩溶不发育,而坡脚岩溶发育显著<sup>[13]</sup>。据统计,三峡库区滑坡已查证约4 683处,其中2 000余处为典型的泥灰岩涉水型滑坡,有数以千计的滑坡未加治理,其中重大的泥灰岩涉水型滑坡有400余处<sup>[14-15]</sup>,在当前水位运行调度下,库水位对此类型滑坡灾害的影响具有长期性<sup>[16]</sup>。



注:底图来源于自然资源部标准地图服务,审图号为GS(2016)1605,下同

图1 三峡库区及消落带范围<sup>[5]</sup>

Fig. 1 The scope of water level fluctuating zone of Three Gorges reservoir

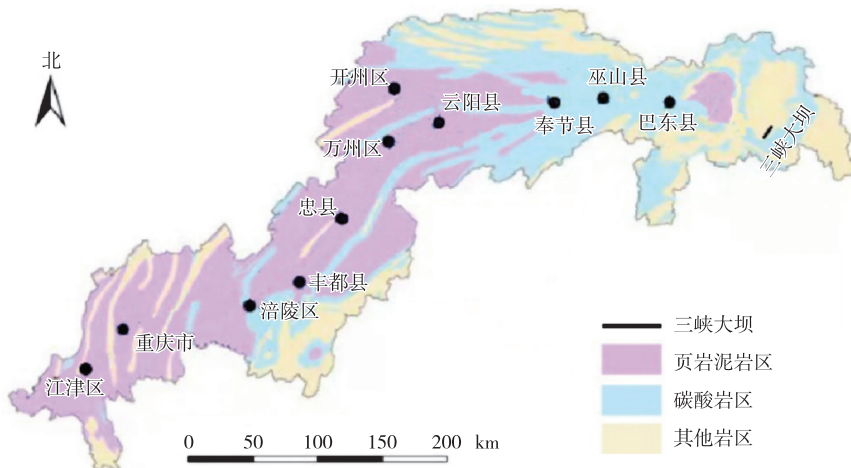


图2 三峡库区基岩空间分布情况<sup>[7]</sup>

Fig. 2 Spatial distribution of bedrocks in Three Gorges reservoir

## 2.2 消落带区域内泥灰岩滑坡崩解特性研究

三峡水库水位在消落带范围反复升降,使消落带泥岩处于周期性“干湿”交替环境中。在高水位运行期间,消落带泥岩处于饱水状态,水对泥岩产生一系列化学、物理和力学作用,泥岩内部部分可溶物质溶解,胶结作用降低,裂隙逐渐扩展,导致崩解;在低水位运行期间,泥岩处于失水干燥状态,因失水产生收缩,并因此而产生损伤,甚至发生拉压破坏。消落带泥岩在周期性“干湿”交替环境下极易发生崩解,对岸坡的稳定性产生负面影响,严重时甚至引起岸坡失稳或导致加固措施变形破坏。现阶段对消落带泥岩崩解特性的研究主要集中在两方面:一方面是对泥岩宏观结构和粒径分布变化进行测试,另一方面则利用谱学测试手段(XRD、SEM等)对泥岩崩解过程的微细观结构和矿物成分变化进行观察和测试。在此基础上,揭示泥岩崩解过程中的宏观和微观机制。张振华等人<sup>[17]</sup>选取三峡库区三叠系巴东组中风化紫红色泥岩为研究对象,对湿化和干燥过程中泥岩崩解物的质量、物质组成及微观结构和化学成分的变化进行测试。研究发现崩解物的质量在“干湿”交替作用 5 个周期后不再增加;黏土矿物中的主要成分蒙皂石矿物的含量随着“干湿”交替作用次数的增加而减少。Zhang 等人<sup>[18]</sup>采集了三峡库区巴东县三叠系巴东群 63 个强风化紫色泥岩样品,进行了室内循环水驱试验。研究表明,样品在“干湿”循环过程中发生了解。在每次润湿过程中,样品表面区域的黏土矿物通过水化作用进入浸泡液,削弱了颗粒间的胶结,加速了样品的崩解。微观结构观察和吸水率变化表明,由于湿化过程中黏土矿物含量的损失和干燥过程中样品体积的收缩,湿化过程中样品表层孔隙和裂缝增加。黏土矿物含量的降低和样品表面孔隙、裂缝的增加是样品经历“干湿”循环后崩解的主要原因,崩解过程以剥落洋葱的形式进行。Zhang 等人<sup>[19]</sup>为了研究“干湿”循环条件对消落带泥岩崩解特性的影响,对三峡库区泥岩进行了 11 个“干湿”循环的崩解试验。结果表明,在前 5 个“干湿”循环中,泥岩崩解质量迅速增加,泥岩表面的微孔、裂缝和片状团聚体普遍发育,但随后泥岩崩解质量变化不大,表面趋于光滑。经过 11 个“干湿”循环后,试验泥岩的崩解几乎趋于停止,此时对岸坡稳定性影响不大。岳全庆等人<sup>[20]</sup>通过浸水崩解试验,分析了红层软岩的崩解性、软化性情况。在天然含水率状态下浸水的岩样,水理性显现不明显,而经过“干湿”交替循环的岩样再浸水后,水理性变得非常强烈。邱珍锋等人<sup>[21]</sup>认为泥岩的崩解是裂隙扩展的过程,包括毛细裂隙吸水阶段、裂隙贯通阶段及二次崩解阶段;崩解速率、程度与泥岩的组成关系密切。对于消落带泥岩崩解研究,大多学者只考虑了周期性“干湿”交替环境对泥岩崩解特性的影响,并未合理考虑“干湿”交替与泥岩实际所处应力环境共同作用对岸坡消落带泥岩崩解特性的影响;另外,试验过程中未合理模拟水库运行期长时间库水浸泡作用对泥岩崩解特性的影响。

## 2.3 消落带区域内泥灰岩涉水型滑坡的破坏机理研究

如何有效减少三峡库区滑坡灾害导致的人员伤亡和降低经济损失是三峡库区地质灾害研究的重要内容<sup>[22]</sup>。何少其等人<sup>[23]</sup>提出了平衡集成树模型,并对麻岭背滑坡、三角滩滑坡等 26 个具有“阶跃”特征的滑坡进行了研究分析,采用平衡集成树算法,实现了海量监测数据下的有效泛化和准确分析,使“阶跃式”滑坡的突变预测达到了较高的预报水准。易庆林等人<sup>[24]</sup>利用地质调查、地质勘察资料和自动监测资料,运用地貌学和工程地质力学理论方法对三峡库区柏堡滑坡变形失稳机制进行了分析,发现柏堡滑坡的变形破坏模式为蠕滑-拉裂型,库水位上升后导致地下水抬升,泥岩软化,降低了岩土体的抗剪强度。滑坡后缘裂缝和多个剪断面逐渐贯通,当抗滑部分完全剪断时,滑坡将整体失稳。刘海燕等人<sup>[25]</sup>总结了三峡库区泥灰岩岸坡的变形破坏类型为薄-中厚层块裂式破坏、中-厚层点裂式破坏和厚-巨厚层层裂式破坏 3 种;欧光照等人<sup>[26-28]</sup>认为破坏模式可以分为滑移和滑移压致拉裂破坏 2 种;殷坤龙<sup>[29]</sup>提出了厚-薄互层泥灰岩倾倒变形破坏模式。从中可以发现,上述各位学者提出的破坏模式具有一个共性,都集中在强风化泥灰岩解体形成的岩块滑移和倾倒破坏上,这是三峡库区强风化泥灰岩岸坡破坏的基本特征。王春燕等人<sup>[30]</sup>以白家包滑坡为例,选取平均坡度、岸坡结构类型等 7 项 14 个因素作为滑坡稳定性评价指标,建立了滑坡危险性分级标准,判定白家包滑坡处于“高度危险”等级。邓合玉等人<sup>[31]</sup>利用有限元法分析发现库水位从 175 m 骤降到 145 m 时,滑坡体消落带区域空隙水压力变化明显,库水的冲刷对滑坡体稳定性影响显著,冲刷后滑坡体安全系数下降了 0.02,库水位的变化容易导致消落带局部破坏,从而使得滑坡稳定性降低,易导致重大地质灾害。李春霞等人<sup>[32]</sup>利用地质调查资料与地表监测结果,分析发现卡子湾滑坡变形与库水波动呈现明显的影响规律,库水位上升,对滑坡变形影响不明显,库水位下降,对滑坡变形影响明显,经过多次库水升降作用,滑坡体内部结构逐步“适应”库水波动,水位变动对滑坡变形的影响逐步下降。熊扬福等



人<sup>[33]</sup>对孙家庄滑坡失稳机制进行了分析,发现孙家庄滑坡的变形主要由库水的软化、浮托作用和降雨引起,其中库水的影响小于降雨的影响。Li 等人<sup>[34]</sup>利用历史记录、卫星图像、野外调查和无人机(UAV)观测,对秭归盆地462处滑坡进行了识别,建立了完整的滑坡数据库和分布图,研究发现99%以上的滑坡发生在小于47°的斜坡上,80%以上的滑坡发生在海拔600 m以下;145~155 m的低库水位大大降低了边坡的稳定性。在库水位上升和下降过程中,滑坡体均涉及饱和-非饱和的相互转化过程,进而影响滑坡岩土体强度、局部孔隙水压力,最终对滑坡稳定性产生影响,是一个复杂的过程。因此关于涉水型滑坡与库水位变化之间的关系,值得深入研究。

### 3 消落带区域内土壤污染研究进展

#### 3.1 消落带区域内土壤重金属污染研究

三峡库区消落带滑坡作为人类活动影响较为频繁的灾害,已成为当下相关学者开展研究的热点领域,诸多学者相继对该滑坡区域内土壤金属环境问题展开探索性研究工作。消落带滑坡区域内经常性淹水会导致土壤中重金属富集,从而可能造成土壤污染。在三峡库区蓄水前,陈梓云等人<sup>[35-37]</sup>研究了长江干流消落带土壤中铬、铅与镉含量,发现消落带土壤未被铬、铅与镉污染,且随着海拔的变化重金属含量变化不大。蓄水后随着消落带淹水时间的延长,土壤中的锌、铜、铅、铬、汞等重金属含量都有所降低,有效态的重金属则呈现增加趋势<sup>[38]</sup>。但就三峡库区消落带滑坡区域而言,土壤中的镉、汞、锌、铜、铅、铬及砷含量呈现中游低,上下游高的空间分布格局,这一分布趋势与三峡蓄水前的消落带土壤中重金属含量调查结果变化不大<sup>[39-41]</sup>。不同的研究人员关于同一位置不同高程的消落带土壤中重金属含量的结论差异较大,储立民等人<sup>[42]</sup>研究认为消落区土壤中金属含量在低水位处最大。邹曦等人<sup>[43]</sup>对小江流域消落区5个断面的土壤重金属含量进行监测后也认为消落区土壤中大部分重金属含量随高程升高总体呈现升高的趋势。而王业春等人<sup>[44]</sup>与王晓阳等人<sup>[45]</sup>研究认为消落区土壤中金属含量与高程并无显著相关关系。总体来看,三峡库区消落带滑坡区域内土壤重金属平均含量从大到小依次为:锌( $(77.69 \pm 22.94) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),铬( $(42.92 \pm 7.05) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),铅( $(35.46 \pm 8.23) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),铜( $(30.71 \pm 17.13) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),砷( $(21.96 \pm 6.72) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),镉( $(0.41 \pm 0.14) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),汞( $(0.08 \pm 0.02) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )<sup>[31]</sup>。库区消落带土壤处于轻度污染等级,存在中等生态风险,研究区域内的主要生态风险元素为镉,其次为砷和汞。

#### 3.2 消落带区域内土壤有机物与氮磷污染研究

三峡库区消落带82%处于轻度到中等脆弱水平,15%处于高度至极脆弱水平,消落带土壤有机物污染进一步加剧了生态风险<sup>[46]</sup>。何明靖等人<sup>[47]</sup>首次研究了三峡库区消落带土壤中有机磷酸酯(OPEs)的污染特征,发现OPEs在三峡库区消落带土壤中普遍存在,且消落带土壤中的OPEs显著高于库区农田土壤中的含量,该有机污染物在消落带土壤中的平均含量达到了 $498 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,可能成为三峡库区下游区域潜在的生态风险。杨婷<sup>[48]</sup>研究了三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸酯(PAEs)的含量,在采集的全部消落带土壤中均检出了PAEs,含量范围在 $322 \sim 737.3 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ,具有一定的环境风险。曾微<sup>[49]</sup>研究了干湿交替条件下,三峡库区消落带紫色土中邻苯二甲酸二甲酯(DMP)土-水界面迁移释放,认为在淹水过程中,DMP的源/汇不断地转换,随水中离子强度的增大,土壤对DMP的吸持作用减小,土壤中DMP向水体释放,水中DMP浓度与离子强度成正比。Zhang等人<sup>[50]</sup>研究了三峡水库消落带表层土壤全氮与全磷含量情况,在采集的57个土壤样品中,全氮含量为 $(0.865 \pm 0.423) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,全磷含量为 $(0.595 \pm 0.222) \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。不同采样点位土壤中全氮含量的变异性大,而全磷含量变异性较小。因此,应更加注意该区域土壤中的氮和磷对水库富营养化的潜在影响。

#### 3.3 消落带区域内土壤侵蚀及土壤退化

由于水位的周期性变化及消落带土壤的侵蚀,造成消落带植被种类及数量快速减退,消落带滑坡区域内优势植物以草本植物为主,且占据极大的优势地位,仅消落带上部出现了少量木本植物。有研究发现,三峡工程建成前长江天然消落带分布着83科240属405种左右的植物。在三峡工程建成后库区消落带滑坡区域内仅发现植物61科169属231种,植物的科、属和种分减少了26.5%、29.6%和43.0%<sup>[51]</sup>。

三峡库区消落带滑坡区域内土壤因水文情势、植被盖度和坡度的变化等而发生不同程度的侵蚀,Bao等人<sup>[52]</sup>研究结果表明,2008—2013年三峡库区上游的长江干流消落带土壤的平均侵蚀速率为 $32 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,是长

江支流消落带土壤平均侵蚀率的 6 倍以上。在海拔 170~175 m 的干流消落带中,土壤侵蚀率最高。但在 2013 年之后平均侵蚀速率逐步降低。长江干流消落带土壤的平均侵蚀速率的年平均减少值为  $4.1 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,而长江支流消落带土壤的平均侵蚀速率的年平均减少值只有  $1.7 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 。消落带滑坡区域内土壤侵蚀同时也造成土壤养分的流失,淹水后消落带土壤的全氮、全钾、全磷及有机质含量均有所降低,常超等人<sup>[53]</sup>研究了石宝寨消落带土壤养分含量变化,发现淹水后消落带土壤养分含量普遍下降,其中速效钾含量下降最多,达到 46.7%。不同淹水强度下消落带土壤的容重、有机质、全氮、速效钾含量差异明显。王娅傲等人<sup>[54]</sup>对杉木溪消落带土壤性质研究时也有同样的发现。长期淹水后的土壤出现有机质及全量养分累积现象,土壤的 pH 不断增加。程瑞梅等人<sup>[55]</sup>通过在三峡库区典型消落带采样分析发现,消落带土壤经过多次水位涨落后土层 pH 均明显增加,土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾含量分别降低。随着水位的周期性涨落,消落带土壤变动十分贫瘠<sup>[55-56]</sup>。Chen 等人<sup>[57]</sup>对三峡水库消落带滑坡区域内土壤养分和有机质进行了 9 年的追踪研究,发现土壤养分的时空分布与细颗粒(粉土、粘土)含量呈极显著正相关关系,消落带生物量与养分动态呈负相关关系。消落带土壤长期淹水也会造成土壤容重增大,土壤孔隙度降低,透气性变差,并且随着淹水次数的增加上述土壤物理性质变化越明显<sup>[58]</sup>。

#### 4 消落带区域内滑坡与土壤污染研究存在的不足

三峡库区消落带上下游区域的库岸边坡的地质条件存在差异,不同区域内滑坡形成机制差异明显。目前对于典型地质条件下滑坡形成机制研究不够系统深入,滑坡的破坏模式和长期演化过程研究不足,特别是水位变动、长期浸泡和浪击作用引起的岸库变坡改造,导致的岸坡岩土体整体稳定性变化研究不足。传统的综合滑坡地质力学忽视了滑坡地质结构、岩土体特征、外部作用和水岩(土)长期物理化学作用的系统作用,导致消落带区域内滑坡形成机制研究仍然需要进一步完善。特别是涉及在多相多场多因素作用下的滑坡精细地质力学模型研究尚需进一步深化。在当前水位运行调度下,库水位对此类型滑坡灾害的影响具有长期性,需要进行长时间尺度上的观测与研究。

三峡库区消落带每年仅有部分时间出露,且消落带环境的复杂性,岩土体多为碎裂状,很难取得完整岩样进行物理力学参数测试,这也为消落带区域内泥灰岩滑坡崩解特性研究增加了难度。当前,对于消落带泥岩崩解研究,多数学者只考虑了周期性“干湿”交替环境对泥岩崩解特性的影响,并未合理考虑“干湿”交替与泥岩实际所处应力环境共同作用对岸坡消落带泥岩崩解特性的影响;另外,试验过程中未合理模拟水库运行期长时间库水浸泡作用对泥岩崩解特性的影响。消落带“干湿”交替与岸坡应力共同作用下泥岩崩解研究尚不系统,缺少多方向应力的泥岩崩解研究。

当前围绕着消落带滑坡区域内开展的地质灾害调查与监测工作并不多见。原因在于目前对地质灾害防治的单体调查需求更加迫切;另外每年 6—9 月为三峡库区消落带滑坡出露时间,此时间段内气候条件较差,现场巡查和基于卫星数据的区域调查监测实施难度都较大,因而尚未从区域上对消落带滑坡的分布特征形成整体认识;消落带土壤侵蚀、理化性质变化与地质灾害的关联性研究不充分,对于滑坡的机理阐释多为定性语言描述,缺乏严格的数学模型模拟。当前对于滑坡造成的三峡库区淤堵研究缺乏系统性,也不够充分,需要进一步加强研究。

三峡库区消落带滑坡区域内土壤重金属、有机污染及环境风险研究也存在一些不足。区域内土壤环境污染的研究大多为现状调查,由于早期研究未形成权威可靠的参考背景值,导致土壤污染评价的依据不够充分;滑坡区域内土壤污染及环境风险变化研究不够系统,污染物的迁移转化规律研究不够完善。消落带土壤中污染物对三峡库区水质影响研究不够完善,与库区水质变化的相关性研究不足,需进一步加强研究。

对消落带滑坡区域内土壤理化性质和植物群落变化的研究未对形成机制开展深入探讨,多数仅停留在变化特征描述上。

#### 5 研究展望

1) 今后,应对消落带滑坡区域开展系统的调查研究,按照成因、崩解特性及破坏机理进行细致分析,并开展

监测、预警及工程防治技术的研究。三峡库区消落带岸坡所处的特殊复杂地质环境,消落带滑坡在精细化建模、岩土体多场耦合特征参数获取和消落带岸坡长期演化评价等方面尚需进一步深入研究。系统运用遥感、无人机和地面详细调查的多维度、多层级信息数据,开展“点-线-面”精细化的消落带滑坡地质灾害勘测和调查方法研究,实现库区复杂地层滑坡三维地质模型精细化建模。全面了解消落带滑坡地质体的时空演变特征,开展多场关联监测技术研究,进一步深化多场多相多因素作用下的水库滑坡精细地质力学模型研究。通过构建消落带野外原位试验场,开展滑坡原位力学试验和综合监测示范工程,获取宝贵的第一手试验、测试和监测资料,进一步检验理论和数值分析的结果,促进复杂条件(如库水波动和降雨条件等)下水库滑坡长期演化评价等方面的研究。

2) 三峡库区消落带生态是十分脆弱的,污染物会通过消落带进入水体或沉积在土壤、沉积物中,从而影响整个库区的生态环境。因此,需要研究确定统一的土壤重金属参考背景值,针对消落带滑坡区域内土壤中重金属开展迁移转化规律研究,关注含量高、危害大的其他非常规痕量重金属元素。构建更为全面的环境生态风险评价体系,除了对土壤等进行环境生态风险评价外,还应充分结合农林作物、水产养殖健康风险以及暴露人群健康风险评价。为进一步控制消落带内重金属的生态风险,应加快重金属源头探寻,控制农业、工业、矿业、船舶及生活污水,进行重金属源头遏制。

3) 开展消落带滑坡区域内土壤理化性质和植物群落变化的形成机制研究。三峡库区消落带类型多样,地势复杂,构建消落带土壤原位观测站,及时掌握消落带土壤和植被动态,长期监测氮磷等元素动态变化与土壤侵蚀现象,将非接触式观测技术(如激光雷达观测技术)与原位侵蚀实验相结合,共同研究土壤侵蚀强度与侵蚀影响。消落带植物与土壤性质均受到水位涨落的影响,同时二者之间又相互影响,需进一步研究消落带植被与生境间的相互作用,为消落带滑坡区域内生态环境修复奠定理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部. 2018 年全国水利发展统计公报[R]. 北京:中国水利水电出版社,2019.  
Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. 2018 statistic bulletin on China water activities[R]. Beijing:China Water & Power Press,2019.
- [2] HUANG C, AO L, ZHANG Z. Heavy metals sedimentation risk assessment and sources analysis accompanied by typical rural water level fluctuating zone in the Three Gorges reservoir area[J]. Environmental Earth Sciences, 2017, 76(12): 418-425.
- [3] BING H J, ZHOU J, WU Y H, et al. Current state, sources, and potential risk of heavy metals in sediments of Three Gorges reservoir, China[J]. Environmental Pollution, 2016, 214: 485-496.
- [4] WANG Y Y, WEN A B, GUO J, et al. Spatial distribution, sources and ecological risk assessment of heavy metals in Shenjia river watershed of the Three Gorges reservoir area[J]. Journal of Mountain Science, 2017, 14(2): 325-335.
- [5] 李艳艳, 徐东昱, 高丽, 等. 三峡库区消落带土壤金属污染特征的研究进展[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2019, 17(2): 152-159.  
LI Y Y, XU D Y, GAO L, et al. Reviews on soil metal pollution in water-level fluctuation zone of Three Gorges reservoir area[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2019, 17(2): 152-159.
- [6] YE C, CHENG X, ZHANG Q. Recovery approach affects soil quality in the water level fluctuation zone of the Three Gorges reservoir, China: implications for revegetation[J]. Environmental Science & Pollution Research, 2014, 21(3): 2018-2031.
- [7] BAO Y H, GAO P, HE X B. The water-level fluctuation zone of Three Gorges reservoir: a unique geomorphological unit[J]. Earth-Science Reviews, 2017, 150: 14-24.
- [8] 刘春, 姜德义, 任松. 三峡库区消落带典型地质灾害成因分析[J]. 中国矿业, 2004, 13(10): 53-55.  
LIU C, JIANG D Y, REN S. Analysis of cause of classic geological catastrophe in fluctuating belt of the Three Gorges reservoir area[J]. China Mining Magazine, 2004, 13(10): 53-55.
- [9] 殷跃平. 三峡库区边坡结构及失稳模式研究[J]. 工程地质学报, 2005, 13(2): 145-154.  
YIN Y P. Human-cutting slope structure and failure pattern at the Three Gorges reservoir[J]. Journal of Engineering Geology, 2005, 13(2): 145-154.
- [10] 张加桂. 三峡地区泥灰质岩石在岩溶和风化过程中力学性质的变化[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1073-1077.  
ZHANG J G. Variation of mechanical property of marlite in process of karstification and weathering in Three Gorges region



- [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(7): 1073-1077.
- [11] 张加桂, 陈庆宣, 蔡秀华. 三峡地区泥灰质岩石中几种表生构造及其与地质灾害的关系[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 320-324.  
ZHANG J G, CHEN Q X, CAI X H. Some supergene deformation structures in marly limestone in the Three Gorges region and their relation to geohazards[J]. Geology in China, 2003, 30(3): 320-324.
- [12] 张加桂. 三峡地区泥灰质岩石斜坡带岩溶作用及其对工程稳定性的影响[J]. 地球学报, 2005, 26(6): 565-569.  
ZHANG J G. Karst process and its impact on construction stability of the slope terrain within muddy limestone in the Three Gorges region[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2005, 26(6): 565-569.
- [13] 张加桂. 河谷斜坡带泥灰质岩石区地貌对岩溶的控制机理: 以三峡地区为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(3): 415-419.  
ZHANG J G. Mechanism of landform control over karstification in mud limestone area along valley slope zone: a case study from Three Gorges region[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(3): 415-419.
- [14] 张俊. 三峡库区万州区滑坡灾害风险评估研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2016.  
ZHANG J. Landslide risk assessment in Wanzhou county, Three Gorges reservoir[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2016.
- [15] 王佳佳. 三峡库区万州区滑坡灾害风险评估研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2015.  
WANG J J. Landslide risk assessment of in Wanzhou County, Three Gorges reservoir[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2015.
- [16] 霍志涛, 田盼, 董好刚, 等. 三峡库区蓄水以来滑坡灾情稳定性趋势分析及对策研究[J]. 华南地质与矿产, 2018, 34(4): 309-314.  
HUO Z T, TIAN P, DONG H G, et al. Analysis of landslide disaster stability trend and its countermeasures since the impoundment of the Three Gorges reservoir area[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2018, 34(4): 309-314.
- [17] 张振华, 陈爽, 崔强, 等. 水库消落带岩石崩解过程中所处湿干交替作用环境模拟研究[J]. 冰川冻土, 2016, 38(4): 1175-1182.  
ZHANG Z H, CHEN S, CUI Q, et al. Study on the simulation of cyclic wetting-drying conditions for rocks in the process of disintegration in drawdown area in reservoirs[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(4): 1175-1182.
- [18] ZHANG Z H, LIU W, HAN L, et al. Disintegration behavior of strongly weathered purple mudstone in drawdown area of Three Gorges reservoir, China[J]. Geomorphology, 2018, 315: 68-79.
- [19] ZHANG Z H, LIU W, CUI Q, et al. Disintegration characteristics of moderately weathered mudstone in drawdown area of Three Gorges reservoir, China[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2018, 11(15): 405-412.
- [20] 岳全庆, 徐磊, 邵玉冰. 鄂西巴东组红层泥岩的水理性质研究[J]. 人民长江, 2015, 46(14): 45-46.  
YUE Q Q, XU L, SHAO Y B. Research on water-physical property of red bed mudstone of Badong formation[J]. Yangtze river, 2015, 46(14): 45-46.
- [21] 邱珍锋, 杨洋, 伍应华, 等. 弱风化泥岩崩解特性试验研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(12): 266-269.  
QIU Z F, YANG Y, WU Y H, et al. Experimental research on disintegration of weakly weathered mudstone[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(12): 266-269.
- [22] 李雪, 李井冈, 刘小利, 等. 三峡库首区滑坡空间分布特征分析及危险性评价[J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36(7): 630-634.  
LI X, LI J G, LIU X L, et al. The spatial distribution characteristics and risk assessment of landslides in the head region of the Three Gorges reservoir[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2016, 36(7): 630-634.
- [23] 何少其, 刘元雪, 梁叶, 等. “阶跃式”滑坡突变预测与核心因子提取的平衡集成树模型[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(5): 27-36.  
HE S Q, LIU Y X, LIANG Y, et al. Balanced decision tree ensemble model for catastrophe prediction and key factors' extraction of step-like landslides[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2019, 30(5): 27-36.
- [24] 易庆林, 周宝, 刘平, 等. 三峡库区柏堡滑坡变形失稳机制分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2019, 41(5): 42-46.  
YI Q L, ZHOU B, LIU P, et al. Analysis of deformation and instability mechanism of Baibao landslide in Three Gorges reservoir area[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Science), 2019, 41(5): 42-46.
- [25] 刘海燕, 伍法权, 祁生文, 等. 三峡库区泥质灰岩溶蚀作用与边坡岩体破坏[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(4): 37-41.  
LIU H Y, WU F Q, QI S W, et al. The dissolution process and the rock mass breakage of marlite slope in Three Gorges reservoir region[J]. Coal Geology & Exploration, 2006, 34(4): 37-41.
- [26] 欧光照, 吴益平, 肖威, 等. 三峡库区巴东组泥灰岩顺层缓倾高边坡变形破坏模式研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(9): 164-

- 169.
- OU G Z, WU Y P, XIAO W, et al. Study on deformation mode for marl rock of Badong group with shelving dip high cutting slopes of Three Gorges[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(9): 164-169.
- [27] 罗元华, 伍法权, 常中华. 三峡库区奉节县新城区  $T_2b^3$  泥质灰岩斜坡变形破坏模式的现象学研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12): 2029-2034.
- LUO Y H, WU F Q, CHANG Z H. Phenomenology research on deformation and failure modes of slopes composed of argillaceous limestone of the third number of Badong Group ( $T_2b^3$ ) in new site of Fengjie county of Three Gorges reservoir area[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(12): 2029-2034.
- [28] 刘海燕, 李增学, 李淑进, 等. 三峡库区地表泥灰岩边坡变形机理研究[J]. 人民长江, 2010, 41(2): 6-8, 17.
- LIU H Y, LI Z X, LI S J, et al. Research on deformation mechanism of surface marl slope in Three Gorges reservoir area[J]. Yangtze river, 2010, 41(2): 6-8, 17.
- [29] 殷坤龙, 周春梅, 柴波. 三峡库区巫峡段反倾岩石边坡的破坏机制及判据[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(8): 1635-1643.
- YIN K L, ZHOU C M, CAI B. Failure mechanism and criterion of counter-tilt rock slopes at Wuxia gorge section in Three Gorges reservoir area[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(8): 1635-1643.
- [30] 王春燕, 王力. 三峡库区涉水重点滑坡危险性评价方法及防治对策: 以白家包滑坡为例[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2019, 41(5): 47-52.
- WANG C Y, WANG L. Risk assessment methods and countermeasures for key landslide in Three Gorges reservoir area: taking Baijiabao landslide for example[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Science), 2019, 41(5): 47-52.
- [31] 邓合玉, 陈勇. 库水升降条件下滑坡变形失稳机理研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 30-34.
- DENG H Y, CHEN Y. Study on mechanism of landslide deformation and instability under reservoir water rise-drawdown conditions[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Science Edition), 2018, 40(6): 30-34.
- [32] 李春霞, 肖诗荣, 袁乾博, 等. 卡子湾滑坡变形的地表位移监测成果及分析[J]. 土工基础, 2018, 32(6): 685-688.
- LI C X, XIAO S R, YUAN Q B, et al. Monitoring and analysis of ground movement at Kaziwan landslide zone[J]. Soil Engineering and Foundation, 2018, 32(6): 685-688.
- [33] 熊扬福, 吴娟娟, 王亚男. 孙家庄滑坡失稳机制分析[J]. 资源环境与工程, 2019, 33(3): 363-367.
- XIONG Y F, WU J J, WANG Y N. Analysis on the instability mechanism of Sunjiazhuang landslide[J]. Resources Environment & Engineering, 2019, 33(3): 363-367.
- [34] LI C D, FU Z Y, WANG Y, et al. Susceptibility of reservoir-induced landslides and strategies for increasing the slope stability in the Three Gorges reservoir area: Zigui basin as an example[J]. Engineering Geology, 2019, 261: 1-20.
- [35] 陈梓云, 彭梦侠. 三峡库区消落带土壤中重金属铬调查与分析[J]. 四川环境, 2001, 20(1): 53-54.
- CHEN Z Y, PENG M X. Survey on chrome level of soils in the water-level-fluctuating zone of the Three Gorges reservoir[J]. Sichuan Environment, 2001, 20(1): 53-54.
- [36] 陈梓云, 彭梦侠. 三峡库区消落带土壤中铅污染调查[J]. 土壤与环境, 2001, 10(2): 165-166.
- CHEN Z Y, PENG M X. Survey on lead pollution of the soils of the water-level-fluctuating zone of the Three Gorges reservoir [J]. Soil and Environmental Sciences, 2001, 10(2): 165-166.
- [37] 陈梓云, 彭梦侠. 三峡库区消落带土壤中镉污染调查及分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2003, 29(4): 494-495.
- CHEN Z Y, PENG M X. A survey of cadmium pollution of the soil of water-level-fluctuating zone of Three Gorges reservoirs [J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2003, 29(4): 494-495.
- [38] 张金洋, 王定勇, 石孝洪. 三峡水库消落带淹水后土壤性质变化的模拟研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(6): 120-123.
- ZHANG J Y, WANG D Y, SHI X H. Change of soil character after flooding in drawdown area of Three Gorges reservoir[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(6): 120-123.
- [39] 刘丽琼, 魏世强, 江韬. 三峡库区消落带土壤重金属分布特征及潜在风险评价[J]. 中国环境科学, 2011, 31(7): 1204-1211.
- LIU L Q, WEI S Q, JIANG T. Distribution of soil heavy metals from water-level-fluctuating zone in Three Gorge reservoir area and their evaluation of potential ecological risk[J]. China Environmental Science, 2011, 31(7): 1204-1211.
- [40] 叶琛, 李思悦, 卜红梅, 等. 三峡水库消落带蓄水前土壤重金属含量及生态危害评价[J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1264-1269.
- YE C, LI S Y, BU H M, et al. Heavy metals in soil of the ebb-tide zone of the Three Gorges reservoir and their ecological risks [J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(6): 1264-1269.
- [41] 李艳艳, 徐东昱, 高丽, 等. 三峡库区消落带土壤金属污染特征的研究进展[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2019, 17(2):



- 152-160.
- LI Y Y, XU D Y, GAO L, et al. Reviews on soil metal pollution in water-level fluctuation zone of Three Gorges reservoir area [J]. *Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, 2019, 17(2): 152-160.
- [42] 储立民, 常超, 谢宗强, 等. 三峡水库蓄水对消落带土壤重金属的影响[J]. *土壤学报*, 2011, 48(1): 192-196.
- CHU L M, CHANG C, XIE Z Q, et al. Effect of impounding of the Three Gorges reservoir on soil heavy metals in its hydro-fluctuation belt[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(1): 192-196.
- [43] 邹曦, 郑志伟, 张志永, 等. 三峡水库小江流域消落区土壤重金属时空分布与来源分析[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(4): 33-39.
- ZOU X, ZHENG Z W, ZHANG Z Y, et al. Temporal and spatial distribution and sources analyses of soil heavy metals in water-level-fluctuation zone of Xiaojiang watershed in Three Gorges reservoir[J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(4): 33-39.
- [44] 王业春, 雷波, 杨三明, 等. 三峡库区消落带不同水位高程土壤重金属含量及污染评价[J]. *环境科学*, 2012, 33(2): 612-617.
- WANG Y C, LEI B, YANG S M, et al. Concentrations and pollution assessment of soil heavy metals at different water-level altitudes in the draw-down areas of the Three Gorges reservoir[J]. *Environmental Science*, 2012, 33(2): 612-617.
- [45] 王晓阳. 三峡库区小江流域消落带土壤重金属环境质量评价[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- WANG X Y. Environmental quality evaluation with heavy metals in water-level-fluctuating zones of Xiaojiang river valleys[D]. Chongqing: Southwest University, 2011.
- [46] 周永娟, 仇江啸, 王姣, 等. 三峡库区消落带生态环境脆弱性评价[J]. *生态学报*, 2010, 30(24): 6726-6733.
- ZHOU Y J, QIU J X, WANG J, et al. Assessment of eco-environmental vulnerability of water-level fluctuation belt in Three Gorges reservoir area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(24): 6726-6733.
- [47] 何明靖, 杨婷, 杨志豪, 等. 有机磷酸酯在三峡库区土壤中污染特征[J]. *环境科学*, 2017, 38(12): 5256-5261.
- HE M J, YANG T, YANG Z H, et al. Occurrence of organophosphate esters in soils of the Three Gorges reservoir[J]. *Environmental Science*, 2017, 38(12): 5256-5261.
- [48] 杨婷. 邻苯二甲酸酯和有机磷酸酯在三峡库区消落带土壤污染特征及淹水释放特征研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- YANG T. Occurrence and distribution of the phthalate esters and the organophosphate esters in the fluctuating zone soil of the Three Gorges reservoir and release characteristics of organophosphate esters during the flooding[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [49] 曾微. 三峡库区消落带紫色土干湿交替条件下邻苯二甲酸二甲酯土-水界面迁移释放研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- ZENG W. Study on the migration and release of DMP at soil-water interface of purple soil in the fluctuating zone of Three Gorges reservoir under alternative dry-wet condition[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [50] ZHANG B, GUO J S, FANG F, et al. Concentration of nutrients in the soil in water-level-fluctuating zone of Three Gorges reservoir[J]. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 2012, 12(2): 105-114.
- [51] YANG F, LIU W W, WANG J, et al. Riparian vegetation's responses to the new hydrological regimes from the Three Gorges project: clues to revegetation in reservoir water-level-fluctuation zone[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(2): 89-98.
- [52] BAO Y H, HE X B, WEN A B, et al. Dynamic changes of soil erosion in a typical disturbance zone of China's Three Gorges reservoir[J]. *Catena*, 2018, 169: 128-139.
- [53] 常超, 谢宗强, 熊高明, 等. 三峡水库蓄水对消落带土壤理化性质的影响[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(7): 1236-1244.
- CHANG C, XIE Z Q, XIONG G M, et al. The effect of flooding on soil physical and chemical properties of riparian zone in the Three Gorges reservoir[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(7): 1236-1244.
- [54] 王娅微, 陈芳清, 张森, 等. 三峡库区水位消涨对杉木溪消落带土壤性质的影响[J]. *水生态学杂志*, 2016, 37(3): 56-61.
- WANG Y J, CHEN F Q, ZHANG M, et al. Response of soil nutrient levels and spatial distribution to water-level fluctuation on the Shanmu riverbanks in the Three Gorges reservoir area[J]. *Journal of Hydroecology*, 2016, 37(3): 56-61.
- [55] 程瑞梅, 刘泽彬, 肖文发, 等. 三峡库区典型消落带土壤化学性质变化[J]. *林业科学*, 2017, 53(2): 19-25.
- CHENG R M, LIU Z B, XIAO W F, et al. Changes of soil chemical properties in typical hydro-fluctuation belt of Three Gorges reservoir[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2017, 53(2): 19-25.
- [56] 郭燕, 程瑞梅, 肖文发, 等. 三峡库区消落带土壤化学性质年际变化特征[J]. *林业科学*, 2019, 55(4): 22-30.
- GUO Y, CHENG R M, XIAO W F, et al. Inter-annual variation of soil chemical properties in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges reservoir[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2019, 55(4): 22-30.
- [57] CHEN Y, CHEN C R, BUTLER O M, et al. Spatial and temporal dynamics of nutrients in riparian soils after nine years of operation of the Three Gorges reservoir, China[J]. *The Science of the total environment*, 2019, 664: 841-850.
- [58] 简尊吉. 三峡水库峡谷地貌区消落带土壤理化性质和植物群落对水位变化的响应[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.

JIAN Z J. Responses of soil physical and chemical properties and plant community to water level change in the water level fluctuation zone of canyon landform area of the Three Gorges reservoir[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2017.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Research Progress on Ecological Environment Problems Caused by Landslides in Water-Level-Fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir Area

JIAO Pengpeng<sup>1,2,3</sup>, CHEN Hongkai<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Jinhao<sup>1,2,3</sup>, DUAN Yuhui<sup>1</sup>, LI Yinxuan<sup>1</sup>, XU Haonan<sup>1</sup>

(1. School of City and Architecture Engineering, Zaozhuang University; 2. Zaozhuang Key Laboratory of

Geological Disaster Reduction and Ecological Restoration in Mining Areas; 3. Zaozhuang City Technology Innovation Center of Geological Disaster Reduction and Green Development in Highway and Mining Area, Zaozhuang Shandong 277160, China)

**Abstract:** [Purposes] The ecological environment pollution caused by geological disasters after the impounding of the Three Gorges reservoir area has received great attention from society. Based on the analysis of the formation mechanism, disintegration characteristics and the damage mechanism of landslide disasters in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges reservoir area, and the current research situation of the ecological environment problems, the shortcomings of the current research and some suggestions will be proposed here. [Methods] Review the relevant literature and analyze the research progress and trend. [Findings] The layered cataclastic rock mass structure is formed on the bank slope of the Three Gorges reservoir area by water level fluctuation, rainfall or long-term weathering. The water level rises and falls repeatedly at the fluctuating zone. The mudstone in the fluctuating zone is in a periodic “dry and wet” alternate environment. Some soluble substances inside the mudstone are dissolved, cementation is reduced, and the fissures gradually expand, leading to disintegration. In the process of reservoir water level change, the landslide mass involves the transformation process of saturation and unsaturated, which affects the strength of landslide rock and soil, local pore water pressure, and finally leads to a landslide disaster. In the Three Gorges reservoir area, the heavy metals content of soil is higher in the upstream and downstream than that in the middle reaches. The soil of water-level-fluctuation zone is slightly polluted, which takes certain ecological risk. Soil organic pollution in the water-level-fluctuation zone takes potential ecological risks to the ecological environment of the lower reaches of Three Gorges reservoir. The species of plants in the water-level-fluctuation zone decreased greatly due to the fluctuation of water level, among which herbaceous plants were the most dominant. [Conclusions] The research on the landslide disaster in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges reservoir area is not systematic enough, and the formation mechanism, disintegration characteristics and the failure mechanism of the landslide will need to be further studied. The research on the relationship between soil erosion, physical and chemical properties and geological disasters is insufficient. The research on soil pollution in the water-level-fluctuation zone is mostly current investigation. Early studies did not form an authoritative and reliable reference background value, resulting in insufficient basis for soil pollution evaluation. The research on the migration and transformation of soil pollutants in the region is not perfect. In addition to conventional pollutants, other unconventional pollutants are not paid enough attention. Most of the research on the change of plant communities in the water-level-fluctuation zone only stays on the description of the change characteristics, without in-depth discussion on the formation mechanism.

**Keywords:** Three Gorges reservoir; water-level-fluctuation zone; landslide; soil pollution; research progress

(责任编辑 黄 颖)