

长江三峡库区的地质灾害及其监测预警

Geological Hazards and Its Forecast Warning Based on Monitoring in the Three Gorges Reservoir Area of the Yangtze River

刘传正

(全国地质环境监测总站, 博士、研究员)

北京 100081)

一、社会经济背景与防灾需求

三峡库区移民迁建线以下淹没面积约 1 084km², 其中陆域面积 638km²。据 1985 年调查, 淹没区内计有耕地 35.7 万亩 (其中水稻田 10.95 万亩), 柑桔地 6.45 万亩; 人口 72.6 万人, 其中农村人口 33.3 万人、城镇人口 39.3 万人, 农村人口约占 46%, 考虑人口自然增长及其他因素, 规划迁移人口约 113 万人。1991~ 1992 年复查结果为: 淹没面积 632km², 淹没区计有耕地 25.73 万亩, 园地 11.02 万亩, 河滩地 15.8 万亩, 人口 82.62 万人, 其中农村人口 36.15 万人、城镇人口 48.47 万人。长江干流库段淹没或部分淹没的县级及其以上的城镇有 20 座, 其中需全迁或部分搬迁的县、市级城镇 13 座, 乡、镇级集镇 114 个, 各类工矿企业 1 599 家, 最终迁移人口达 120 万人, 其中城镇居民 61.3 万人, 占搬迁总人口的 54%, 农村迁移人口 51.9 万人, 包括 326 个乡 1 353 个村。

库区以农业、林果业为主, 纺织、造纸、水泥和磷肥等部分工矿企业、旅游业占有相当地位。

库区动态移民最终达 120 万人, 1993~ 1997 年的一期移民安置了 8.2 万人; 1997~ 2003 年二期工程将使水位上升到 135m, 需搬迁 50 万人; 2003~ 2009 年三期工程仍需移民 60 万人以上, 二期、三期移民工作比一期任务更为艰巨、时间更为紧迫。

库区的主要地质问题是水下岩土体稳定性、库岸稳定性、水位变动带(145~ 175m 之内)涉及的坡体稳定性、新迁城镇和居民点的地质环境条件及可能的变化。干支流岸线(按 180m 高程)总长约 2 507km, 两岸岸线总长约 5 014km。其中干流岸线长 667km,

两岸岸线长约 1 334km。目前已掌握的崩滑体或变形体 1 190 处, 总面积 135.9km², 体积约 34×10⁸m³, 其中长江干流岸线上 596 处, 面积 78.2km², 体积约 21.1×10⁸m³。基本淹没(2/3 部分淹没) 403 处, 剩余的 787 处, 欠稳定者和变形者共 438 处。已知的泥石流沟共 271 条, 直接入江者 99 条, 由支流间接入江者 172 条。其中危害较大的直接入江者 15 条, 间接入江者 19 条。

整个三峡库区 19 县面积约 5.4 万 km², 生活着约 1 500 万人。在支流岸坡和山区乡村等广大区域, 地质灾害经常危害公民的生命、财产和生存环境, 但目前仍多是地质灾害调查的空白区。根据社会需求, 三峡库区 19 县(市)区域地质灾害调查评价与监测预警建设作为地质灾害预警工程计划的重点项目, 已列入我国国土资源大调查计划, 它包括区域调查、评价与区划、重点问题专项研究、监测预警工程系统建设和县、乡(镇)、村三级政府组织的群测群防体系。

二、工作基础

三峡库区代表性的地质工作可分为 3 个阶段。20 世纪 50~ 70 年代, 以三峡坝址比选勘探为重点, 库区以中小比例尺的区域地质调查为主。80 年代, 结合库区移民规划选址, 先后开展过三峡工程库岸稳定性、重大崩塌滑坡监测预报及减灾对策研究, 三峡工程库区城镇移民选址的地质论证等专门性工作。90 年代以来, 结合库区移民工程迁建任务, 重点开展了移民城镇或居民点的地质工作。

1968 年以来, 先后在新滩滑坡和链子崖危岩体上持续开展监测工作, 1995 年增加监测黄腊石滑

须在市场竞争中寻找自身位置和发展空间, 使生产结构适应不断变化的市场需求结构, 并在企业的相互竞争中, 实现产业升级和层次跃迁。在这个过程中, 企业的资本运营策略和效果, 显得十分重要和关键。

参考文献

- [1] 刘伟. 工业化进程中的产业结构研究. 北京: 中国人民大学出版社, 1995. 12
- [2] 江小娟. 世纪之交的工业结构升级. 上海: 上海远东

出版社, 1995

- [3] 王延中, 杜莹芬, 陈耀. “产业升级、体制转换和国际合作”国际研讨会综述. 经济管理, 1997(3)
- [4] 闫成胤, 邱东辉. 论中国经济转轨模式的特色. 经济问题, 1997(11)
- [5] 林毅夫, 蔡昉, 李周. 资源结构升级: 赶超战略的误区. 战略与管理, 1996(5)
- [6] 阮慧, 张复明等. 山西省资源型经济转型研究(课题研究成果专辑). 生产力研究, 1998(增刊)

(责任编辑 孙立明)

坡。地方政府如巴东县建立了巴东县滑坡泥石流监测站,重庆市建立了奉节县地质灾害监测站等。1999年实施GPS试验监测重大崩滑灾害,并开始建立地质灾害信息系统。1982年实施鸡筏子滑坡治理工程;1993年以来实施链子崖危岩体和黄腊石滑坡治理工程,目前基本竣工;其它已完成的治理工程有万州豆芽棚滑坡、重庆醪糟坪滑坡—泥石流和李子林滑坡等。

以往的地质工作成果及其使用存在如下问题:

(1) 对地质灾害形成的区域地质环境背景因素重视不够,尤其是对工程地质环境与地质灾害的关系论证不够;(2) 重复工作较多,研究程度较低;(3) 对坝区的地质工作深入细致,而库区的工作较粗略,针对性较差;(4) 地质工作观念落后于社会经济发展的需求,缺乏针对性、预见性和指导性,缺乏防灾减灾的主动性,政府实施减灾政策的技术支撑不足,主动保护生态地质环境的意识薄弱。

库区地质灾害问题的复杂性及认识程度是困扰万州(万县市)、云阳、奉节、巫山和巴东等城镇移民工程建设多年的大难题。例如,巴东县新城址紧靠老城西侧,受地质灾害制约,曾3次选址、两次搬迁。奉节新城址也存在类似问题。库区水下岩土体稳定性、库岸稳定性和水位变动带(145~175m)涉及的坡体稳定性、新迁城镇和居民点的地质环境条件及可能的变化等都是急需研究的问题。

拟调查的地质灾害种类包括崩塌(含危岩体)、滑坡(含变形体)、泥石流、岩溶地面塌陷和老采矿空区诱发的崩滑流灾害,还包括移民工程中因开挖或弃土不当酿成的新生崩塌、滑坡和泥石流灾害。在工作过程中,把区域生态地质环境要素,如大气降雨、地表径流、地下水赋存特征、岩土体类型、成分、结构、区域构造、生物种群与地质环境的关系等作为地质灾害的相关因素一并调查。

三、调查评价

1. 指导思想 地质灾害调查评价与防治规划的指导思想是“以人中心”,即以人的生命、财产和生存环境的调查研究和保护为中心。在开展地质灾害调查评价的同时,进行重点问题专项研究,为攻克迁建城市新址建设过程中的地质难题、合理规划新城镇、科学开发利用地质环境和防治地质灾害服务,为三峡水库复杂岸坡再造带的防护等提供系统的理论依据和防治对策。项目工作以三峡区域地质环境开发保护的预指导为目标;以采用Web GIS技术为高起点;以GIS与数学模型整合作为新方法;以“发育度”、“风险度”和“危害度”等“三度”作为综合评价的新思路;最后实现最佳的地质灾害预警效果。

2. 调查内容 调查范围是三峡库区19县(市),即湖北省的宜昌、秭归、兴山、巴东和重庆市的巫山、巫溪、奉节、云阳、开县、石柱、忠县、丰都、涪陵(区)、武隆、长寿、渝北、巴南、万州(区)、重庆主城区等。工作任务是开展地质灾害诸灾种的实地调查、分析评价及区划研究。调查内容包括主要灾种(滑坡、泥石流、岩溶地面塌陷、地裂缝、斜坡稳定

性和水库岸坡稳定性等)的地质环境、成灾历史、目前动态和可能的危害等。

3 调查方法 野外调查使用1:5万比例尺地形图;采用目测与GPS技术结合定点;每个点均要求填写统一制定的调查表,并及时录入计算机数据库。调查方法采用专业队伍为主,地方乡镇政府配合,逐个居民点走访。调查点的确定大概有两个原则:凡是有人居住或活动的地方都调查;凡是一定比例尺(1:5万)地形图上标出的居民点或人类活动点都调查。其优点是达到一定规模或重要程度的点不被遗漏,但要求使用的地形图尽可能新。

4 评价方法 整个工作可划分为相互关联的几个阶段:(1) 地质灾害综合调查;(2) 在综合调查的基础上,建立库区地质灾害信息系统GIS(数据库、图形库);(3) 研制地质灾害综合评价与区划分析系统,开展地质灾害发生的时空规律预测,可以划分为发育度、风险度和危害度等3个层次,分别建立研究区的概念模型和量化模型,简称“三度”分析法;(4) 建立地质灾害监测预警系统和群测群防体制;(5) 协助政府建立地质灾害信息发布和减灾对策(决策、政策)。

地质灾害“发育度”——区域地质灾害发育的现状评价指标,采用层次分析或模糊评判方法进行空间量化。地质灾害“风险度”——区域地质灾害发生的风险评价,采用离散事件判别分析或概率分析进行单因子分析、多因子分析。分析因子包括地形地貌、岩组、地质结构、降雨、地表水、地下水、气候变化、人为因素和区域地质环境因素等。地质灾害“危害度”——区域地质灾害发生后对公民的生命、财产和生存环境的危害评价,重点考虑地质灾害的强度与生命财产的易损性,并用量化指标表示。采用“三度”作为制定地质灾害防治规划和针对性布设监测预警系统的量化依据。

四、重点问题专项研究

三峡库区重点问题的专项研究是为建立复杂斜坡地质环境条件下移民工程和山地人居环境的开发利用预指导技术规则,减少人为破坏地质生态环境的行为,为实现移民城镇和山区居民点在最佳生态环境下的可持续运行与发展服务。

1 问题的提出

(1) 工程地质学家们至今对工程开挖已揭露出来的、大范围分布的、较普遍地存在松动变形结构的斜坡之成因及其后期改造(尤其是巫山和奉节县新城址)认识不清,对其工程建设的可利用性和工程扰动的敏感性缺乏研究。

(2) 万州城区地层平缓但滑坡成群;奉节比巫山地形破碎,沟谷深切;巫山比奉节的斜坡结构松散;奉节一带的斜坡稳定性自西向东降低。

(3) 复杂结构斜坡的坡体中没有统一的滑面或层面,但随机地存在多个次级滑面或堆积间断面,坡体结构复杂,表现为松动、架空、块体与细土混杂,易于地下水活动,其工程地质性质比一般意义上的滑坡地区还要复杂。

(4) 针对复杂斜坡提出的学术观点有“坠覆

体”、“滑坡体”、“垮塌体”和“表生卸荷松动体”，这些观点都不能全面概括复杂斜坡的成分、结构、成因与工程地质性质，根据多年研究积累和近几年的再认识，我们提出了“复合堆积体”概念模型，它是基岩、古垮塌体、古崩滑体、现代崩滑体、第四纪沉积体和5者中任几类构成者的总概括，形成模式为山体卸荷—松动—开裂—转动—泥化—垮塌—崩滑—一阶地“超覆”等过程，最终形成复合堆积体。

2. 关键课题

(1) 高陡复杂岸坡的结构、成因与变形破坏机制研究；(2) 复杂结构岸坡的工程开挖效应；(3) 复杂岸坡在库水浸润与冲刷下的库岸再造预测；(4) 复杂岸坡开发利用的限制条件研究，提出复杂斜坡地质环境开发与保护的预指导技术规则。

五、监测预警工程

1. 总体思路

地质灾害预警工程是一种长期的、持续的、跟踪式的、深层次的和各阶段相互联系的工作，而不是随每次灾害的发生而开始和结束的活动。应从局限于科学研究或个别行业，变为有组织的社会行为。区域地质灾害预警工作和单体地质灾害的预测预报是相互依存的两个方面。三峡库区地质灾害监测预警系统的建设，就是从区域地质灾害调查评价开始，通过建立数据库、典型地点监测和群测群防，为实现政府职能、制订地区性减灾对策和移民工程建设服务。

地质灾害预警工程体系包括地质灾害调查评价(或勘查评价)、监测系统建设与运行、灾害发展趋势分析会商、预警信息传播和适度的准备反应或防治对策等5个步骤，相应包括了预测(1~10年以上)、预报(1月~1年)、临报(数日)和警报(数小时)等多个层次多种精度的预警功能。预测的时间精度较低，着重于灾害发生集中的区域，其基础是调查数据；预报、临报和警报的时间精度较高，必须有系统连续的观测或监测数据和基于正确的区域地质环境分析或地质体变形模式的综合分析。

基于实现政府部门对地质环境的管理职能，三峡库区地质灾害监测预警工程系统包括两大子系统：一是直接服务于三峡水库的建设与运营，主流与支流库岸防护和移民工程建设等的专业监测系统；二是三峡水库涉及的19县(市)行政区域内由地方政府负责组织，专业部门负责指导的群测群防预警体系。

监测预警的总体思路是，以三峡库区地质灾害调查区划成果为基础，围绕山地民居和移民工程开展工作，建立以空间数据库和分层图形库为核心内容的地质灾害信息系统(GGIS)，采用“发育度”、“风险度”和“危害度”等量化指标进行地质灾害综合评价和区划，充分利用现代观测与分析技术，建立基于RS(遥感扫描)、GPS(卫星定位系统)、GIS(地理信息系统)和SSM(地面综合监测系统)等“4S”技术为核心，以地方政府群测群防体制为外围的监测预警网络系统，实现地质环境开发保护的预指导和防灾减灾预警功能。

预警工程不但为紧急状态时疏散人群、转移财物和调动救灾设施或物资等服务，更重要的是在建设规划阶段就开始为避免或减轻灾害作出贡献。要使用一种尽可能简单的、易于理解、易于接受的语言或方式发布预警，包括书面报告或通知、无线电通讯、广播系统、信号旗、扬声器、警报器、钟和通讯员等。要避免“预警过度”，如超过了公众承受能力的长期的持续预警或多次重复的无效预警，同时应注意研究地质灾害预警的及时解除问题。

2 预警对象及相关因素

(1) 监测预警对象

严重破坏水库边岸的地段；威胁库岸沿线的城镇、码头和沿江大道的地段；威胁或破坏新建移民城镇或存在潜在危害可能的地段；威胁重要工程如桥梁、水坝等设施安全的地段；威胁水上航运和水库运营者；威胁重要自然保护区或古文化区；可能造成严重后果的工业区；可能造成严重经济损失的农业区；威胁20户或100人以上的居民点，且不宜撤离的地区。

(2) 考虑因素

重点考虑地形条件、工程地质岩组、地质结构、大气降雨和人类工程经济活动等5方面因素，其理由如下：地形因素关系着地质灾害发生的空间几何条件，由现场调查和测量获得；工程地质岩组决定着岩土体的物理力学性质，特别是水理性质，由现场调查和室内试验获得相关资料；地质结构控制着岩土体变形破坏机制和模式，由现场调查、测量和室内模拟试验获得相关资料；大气降雨特点是诱发地质灾害的重要自然因素，通过气象站、水文站和雨量站等获得资料；人类工程经济活动通过改变地形条件、地质结构和含水状态等加剧或减缓地质灾害的发展趋势。针对上述5方面因素，应强调采用西方解析思维和东方综合思维相结合的技术路线，尤其应重视后者的指导作用。

3 预警类型

(1) 空间预警

空间预警基于地质灾害的主要控制因素(如地层岩性、地质结构、地貌形态、地层突变等)和诱发因素(如降雨、地震、冰雪消融、人为活动)开展工作，控制因素是基本条件，诱发因素在不同地区或同一地区的不同地段常常表现出极大差异。如降雨条件下，暴雨型泥石流的暴发在不同地区或同一地区的不同沟谷就表现出极不相同的临界雨量，如四川南部地区为50~100mm/24h；甘肃南部地区泥石流暴发的平均雨强为10~50mm/1h；北京北山地区泥石流爆发的前期雨量为50~240mm，暴雨强度为50~100mm/1h。

1985年，美国地质调查局(USGS)和美国气象服务中心(NWS)联合在旧金山湾地区建立了泥石流预警系统，主要是依据降雨强度、岩土体渗透能力、含水量和气象变化作出综合判断，预警结果通过气象服务中心进行广播。预警网由50部射电遥测雨量器组成报警网。根据山坡岩土体的含水量必须达到某一界限值才可能在一次降雨过程中发生泥石流，一旦达到估测的界限含水量，就跟踪监听气象预报，经综合分析，确定降雨强度使泥石流发生的概

率较大时,即由气象服务中心(NWS)播报,提醒相关地区的公众注意。

不同于泥石流在降雨过程中发生,滑坡一般在一次降雨过程末期,且多在其后数天发生,因为斜坡体内地下水位的上升幅度到达最高值的时间均滞后于最大降雨强度发生时间。据研究,四川盆地暴雨滑坡的临界降雨强度为200mm/d;长江三峡云阳、奉节地区诱发滑坡复活的临界降雨量为280~300mm,且降雨强度为140~150mm/d;陕西某县斜坡失稳的年降雨阈值为1600mm;鄂西山区近10年来的滑坡多在降雨当天或雨后1~6天内发生。

香港地区采用雷达图像解译小范围地质构造,从而确定滑坡发生的潜在区域。1984年开始,1999年改进,由48个自动雨量计组成网络,将资料定时传给管理部门,若预测24小时内降雨量达到175mm或60分钟内市区内雨量超过70mm,即认为达到滑坡预报阈值,即由政府发出通报。香港平均每年约发生3次山洪滑坡暴发警报。

(2) 时间预警

时间预警基于地质体稳定状态、诱发因素强度及其持续时间和观测精度等开展工作。时间预警一般是在空间预警的基础上,通过专业技术观测,系统的理论分析和专家会商,并报有关管理部门后进行预警。

据统计,泥石流的专业预报准确率可达75~90%,如云南省东川蒋家沟泥石流在1982年7月~1984年8月间预报准确率为86%,错报3%,漏报11%。县级群测群防预警网的准确率达53%,如云南昭通地区滑坡泥石流预警系统于1990年试运行,到1996年,5年内成功预报了11起滑坡泥石流,使419人幸免于难,减灾效益明显,而系统建立前预报准确率仅约10%。群测群防预警的具体做法是,“政府负责,站点预警,以点带面,群测群防”,选定预警点,培训当地监测员,定期出墙报,经常以标语、广播进行宣传,使群众发现地质灾害前兆时即主动、及时报告。

单体地质灾害的时间预警可分为宏观前兆预警和精密监测预警。例如,乌江鸡冠岭山崩是由采煤引起的,在山崩发生前,采煤巷道出现顶板开裂、

垮塌和岩爆现象,说明洞内地压活动剧烈,据此宏观前兆发出预警,矿工紧急撤离,从而避免了200余人的伤亡。

地质灾害防治工程的施工安全预警主要基于精密监测,以保证施工扰动在地质体稳定和施工安全限度的范围之内。如长江三峡链子崖危岩体煤层采空区防治工程施工预警和三峡船闸高边坡的开挖与锚固施工监测预警。

4 预警工程工作体系

地质灾害预警工程系统必须实行双轨运行机制,即应用4S(GPS、RS、GIS和SSM)技术为核心的专业调查、监测研究工作与依靠各级地方政府部门组织的群测群防工作相结合。在此目标下,逐步地分阶段建立地质灾害预警工程的技术工作体系和组织工作体系。

六、实施效益预评价

项目实施效益包括3方面,即经济效益、社会效益和生态环境效益,评价工作也分3方面进行。

1 经济效益评价 经济效益评价从两方面考虑:一是直接效益,包括该项目实施与否可能造成的财产损失对比和项目实施与土地开发利用价值变化;二是间接效益,包括因地质灾害给历史景观的旅游造成的损失和长江断航运费及相关企业损失。

2 社会效益评价 社会效益包括城乡居民的安全、心理损伤、社会安定和政府形象等方面,其中以居民的生命安全为最重要的因素。

3 生态环境效益评价 包括生物种群的协调发展及其与人类的和谐共存、自然山水环境的特色与保护和人文景观,如岩溶洞穴、典型地层剖面、化石和古人类遗迹、石质文物景观和古文化遗迹的调查、保护与欣赏。

参考文献

[1] 刘传正. 地质灾害防治工程的理论与技术. 工程地质学报, 2000(1)

(责任编辑 肖庆山)

(上接第64页)

膜科学与技术 (双月刊)

- 全国中文核心期刊 ●中国科技论文统计源期刊 ●中国学术期刊综合评价数据库来源期刊
- 中国科学引文数据库来源期刊 ●1286种科技论文统计源期刊中影响因子排序第96名期刊
- 同类47种化工期刊中,影响因子排序第4名期刊 ●被引频次最高的前500名期刊
- 美国《化学文摘》(CA)、《科学引文索引》(SCI)、《工程索引》(EI)、美国DIALOG系统检索和收录期刊
- 中国化学文摘数据库、中国化学化工文摘、中国化学化工期刊文献总录、中国石油化工文摘等收录期刊
- 获1998年度化工系统优秀信息成果二等奖期刊
- 国内唯一报道膜技术、膜材料、膜装置、膜过程和水处理技术等内容的专业性学术刊物

主要内容: 介绍有关膜和膜技术及水处理技术的基础理论研究; 报道国内外膜科学和技术及水处理技术等最新研究成果及在石油、化工、冶金、医药、食品、环保、生物制品提纯等领域的应用成果和产业化情况; 反映该学科的发展动态和趋势及最新信息等。

读者对象: 从事膜分离技术研究、教学及应用等的科研人员、大专院校师生和工程技术人员等。

国内统一刊号: CN62-1049/TB 国际出版物连续刊号: ISSN 1007-8924 邮发代号: 54-40 全国各地邮局均可订阅。定价: 8.00元/期 全年48.00元。漏订者可到编辑部补订(另加15%邮费)。

地址: 北京市朝阳区北土城西路9号 邮编: 100029

电话: (010) 62376642 传真: (010) 62376625 E-mail: CBSC@china-bluestar.com

感谢广大读者及客户多年来给予的大力支持和良好合作, 欢迎订阅投稿及刊登广告