

三峡工程的地质勘察研究与地质灾害防治

Geological Investigation of Three Gorges Project and Control of Geological Hazards in Its Reservoir Area

刘广润/LIU Guang-run¹, 徐开祥/XU Kai-xiang²

1. 华中科技大学, 武汉 430074

2. 三峡库区地质灾害防治指挥部, 湖北宜昌 443000

1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

2. Commanding Office of Geological Hazards Control in Three Gorges Reservoir Area, Yichang 443000, Hubei Province, China

[摘要] 长江三峡水利枢纽工程的规模、效益巨大,地质条件比较复杂。地质工作在坝址选择,坝区重大地质、地震问题研究和库区地质灾害防治中发挥了重要作用。根据多年来三峡工程地质勘察研究和三峡库区地质灾害防治工作的实践,分阶段阐明了三峡工程地质勘察的主要成果和三峡水库移民区地质灾害防治工作的基本做法及主要经验。

[关键词] 三峡工程,地质勘察研究,地质灾害防治

[中图分类号] TV741, P624, X4

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2005)10-0012-05

Abstract : The Three Gorges Water Conservancy Project has a tremendous scale and benefit, its geological conditions are more complicate. The geological investigation played a significant role in the selection of the dam site, the research on major problems of geology and earthquake, and the control of geological hazards. This paper expounds main achievements of geologic investigation and elementary experiences in the control of geological hazards based on the practical work in tens of years.

Key Words : Three Gorges Project, geologic investigation, control of geological hazards

CLC Numbers : TV741, P624, X4

Document Code : A

Article ID : 1000-7857(2005)10-0012-05

收稿日期: 2005-07-28

作者简介: 刘广润,男,中国工程院院士,湖北武汉市珞瑜路 1037 号华中科技大学教授,三峡库区地质灾害防治专家组组长,主要从事工程地质与环境地质研究; E-mail: liugr@tom.com

水质恶化。这是当前三峡库区最重要的环境问题,也是影响三峡提高蓄水位的关键问题之一。

治理三峡库区水环境的根本出路在于严格控制水库上游和周边的污染源,对此国家已予以了大量投入。但是,三峡库区处于人口稠密地区,有重庆等大城市,沿岸工农业生产又具有很大规模,要在短期内完全控制污染排放有很大的难度。所以,着眼于依靠改善调度来改善库区(特别是支流)水质是一个值得探讨的途径。

目前,由于水库水位低、调节库容和装机容量小,加上电价政策不能起到鼓励水电调峰的作用,三峡电站 2 年来日调节幅度很小,非汛期库区水位日变幅也很小。这是造成支流长期成为类似静止水体的重要原因。笔者认为,这也是支流和库湾较多发生“水华”的动力学原因。从水库不恒定流数学模型的模拟结果看,如果在三峡现有机组和下游通航要求的条件下最大规模地实施调峰调度,则水库回水范围内将形成较大幅度的“潮汐”现象,增加干流水体交换量,使支流水循环状况得到改善。三峡进一步提高蓄水位后,日调节能力更大。这对抑制支流“水华”将产生积极的作用。

三峡工程具有很大的调节库容和装机容量。枯水期电厂大量参与调峰,既有利于改善供电质量,又利于改善水库的水环境状况。我国长期采用政府确定不变的水电价格,不利于发挥水电的优势。水电更多地参与电网调峰,对减小煤电等调峰造成的能源

浪费也有重要作用,对保护环境与提高能源效率都有利。因此,特提出以下 2 点建议。

1) 三峡工程在目前 139 m 水位期间相机展开较大幅度的日调节运行试验,进一步落实电厂调峰对抑制支流“水华”等方面的作用。

2) 国家应针对水电制定合理的峰谷电价政策,积极鼓励水电调峰。

参考文献 (References)

- [1] 林秉南,张仁,周建军. 对于三峡工程分期蓄水实施方案的讨论和建议. 2001-01
- [2] 国务院三峡工程建设委员会. 第十次全体会议纪要. 2001-06-13
- [3] Lin B, R Zhang, D Dai, Y Tan. Sediment research for the Three Gorges Project on the Yangtze River since 1993. Proceeding of the Ninth International Symposium on River Sedimentation [C]. Oct. 18-21, 2004, Yichang, China. Tsinghua University Press, Vol. I, 29-37
- [4] 林秉南,周建军. 2007 年抬高三峡水库水位运行问题. 2005-02-10
- [5] 国务院三峡建设委员会办公室,长江水利委员会. 长江三峡工程生态与环境监测系统水文水质同步监测年报(2004). 2005-03

(责任编辑 李慧政)

1 三峡工程概况

长江三峡工程是我国正在建设中的一座特大型水利枢纽工程,其规模和效益举世无双。大坝建在湖北省宜昌市夷陵区三斗坪镇原址,坝顶标高 185 m、坝基标高约 4 m;设计正常高水位 175 m,水库回水至重庆市江津县,水库全长 667 km,水库总库容 393 m³,其中防洪库容 221 m³;电站计划装机 32 台,总容量 2 240 万 kW;设有五级船闸与升船机,年单向通航能力 5 000 万 t;有巨大的防洪、发电与通航效益,并为南水北调创造了可靠的后备供水条件。水库建设工程自 1994 年开工,至今大坝中段及左岸工程已浇筑至 185 m 高程,右岸导流段已于 2002 年 11 月截流,至 2003 年 6 月坝前抬高水位至 135 m,实现首批机组发电。全部工程计划将于 2009 年(或可提前至 2008 年)竣工。

2 三峡工程的地质勘察研究

三峡工程的提出已有七八十年历史。解放前断续做过一些概略的勘察规划工作。其全面规划、设计及相应的大规模地质勘察是从中华人民共和国建国初期开始的,直至 1994 年开工兴建,现正处于施工高峰阶段。为三峡工程的规划、设计、施工服务的地质勘察研究至今已持续了近半个世纪,其投入的勘探工作量之大、从事的地质科技队伍之广、参与的国内外专家之多、对有关问题研究程度之深,也为世所罕见。在为工程建设的各个阶段提供所需的工程地质资料 and 解决各种各样的工程地质问题的过程中,不断拓宽勘察研究领域,不断提高有关理论与方法的科技水平,三峡地质工作基本上代表或体现了我国建国 50 年来工程地质工作的发展面貌。现分阶段概述如下。

2.1 流域规划及初设要点阶段(20 世纪 50 年代至 70 年代)的勘察研究

此阶段的工程地质勘察研究是为全面查明三峡坝、库区的基本工程地质条件。坝区工作以坝址选择为中心,库区工作以渗漏问题为重点。具体工作是以地质部(受国务院指令专门组建了三峡工程地质队,配合设计部门进行三峡勘察)为主,在长江流域规划办公室协作和中科院等科研、院校单位参加下共同完成的。在坝址选择中,进行了以南津关为代表的石灰岩坝区和以三斗坪为代表的结晶岩坝区两个坝区共 14 个比较坝段的勘察研究。除常规工程地质调查和勘探试验外,还对两坝区的突出工程地质问题,即石灰岩坝区的岩溶问题和结晶岩坝区的风化壳问题进行了专门的工程地质研究。

石灰岩坝区的岩溶问题研究是从岩溶形态调查入手,密切结合坝区地貌、岩性、地质构造和水文地质条件进行的。结果表明,坝区岩溶洞穴,有顺层状地貌阶梯面、易溶岩层、断裂构造和地下水强烈循环带集中发育的规律,沿江地下岩溶洞穴发育深度可达水面以下 200 m。每个大岩溶泉口里面都有一个地下岩溶管道系统,从泉口进行追踪开挖是探清地下洞穴网的最有效手段。对岩溶管道的连通性,用食盐和荧光红进行试验,曾取得较好的效果。对地下岩溶发育强度采用钻孔岩溶率(所遇岩溶洞穴的累积长度与孔深之比)作了概略评价。地下水位及其动态变化是反映当地岩溶发育及岩体渗透性的一面镜子。因此,从勘探伊始即逐步建立起地下水动态监测网,其成果成为评价坝区岩溶及整个工程地质条件的重要依据。

结晶岩坝区的风化壳问题研究是从风化壳岩体结构类型、风化壳岩体工程地质特征及其分带性、风化壳的厚度分布规律等方面进行的。风化壳岩体结构类型被分出球状风化、碎块风化、夹层风化、囊状风化等类型。每个类型都有其形成的原岩岩性及断裂发育背景和相应的工程地质特性。球状风化为碎屑包裹坚硬的风化球,它反映底下基岩裂隙稀疏、完整性好,而风化壳本身由于含硬球较多,增加了开挖的难度,也不便加工成砂料。碎块风化后,是较均匀的碎块状,它反映底下基岩裂隙较密、完整性较

差,而风化壳本身较易开挖并便于加工成风化砂料利用。夹层风化和囊状风化常分别在呈层状分布的岩脉之间和多条断裂穿插处形成,这给确定基岩利用高程和地基处理带来不利。

研究风化壳岩体工程地质特征及其分带性,是根据岩体矿物风化蚀变程度、岩体结构变疏松程度、岩体强度减弱(硬块与碎屑的比例降低)程度和钻孔岩芯采取率及声波纵波速等特征进行的。首次在我国进行了风化壳的四带(微、弱、强、剧)工程地质划分,为风化壳的分带利用与处理提供了依据。风化壳的厚度分布规律研究结果表明,本区风化壳的发育厚度除随结晶岩的矿物粒度及断裂发育密度加大而增厚外,总体上受河谷地貌的控制,即由枯水河槽向漫滩再向两岸逐步加厚。以三斗坪一带的黑云母石英闪长岩为例,弱风化带底板以上风化壳厚度在河槽为 0~10 m、漫滩为 10~20 m、两岸山坡一般为 30 m 左右、孤立山包或狭窄山脊可达 50~60 m。

结晶岩坝区的破裂(断裂)构造发育情况,除直接影响风化壳的结构、厚度外,还决定着岩体的完整性、透水性和稳定性,所以是坝区工程地质研究的另一重要课题。由于大部分断裂构造都胶结较好,致密坚硬的糜棱岩-角砾岩带在地表常凸出于一般疏松风化壳之上,状似岩脉,故在初期地质调查中,一概未被发现,直至 1958 年首次解剖确认出“上板桥破碎带”之后,大批断裂破碎带才被发现。对它们按产状进行了分组,按规模进行了分级,按形成时代进行了分期,按力学性质进行了体系组合。断裂结构面的倾角大多较陡,对影响稳定性较大的少部分缓倾角断裂面的延展性和抗剪强度进行了研究。同时对结晶岩的坝基渗透性,也作了相应的勘察试验及模拟研究。

对岩石强度和变形特征的研究,主要是通过大量钻孔岩芯取样在室内测试进行的。在平硐中进行过大试件的原位抗剪试验和由断裂引起的岩体变形各向异性研究。对软硬不均的风化岩体的总体强度,难以用试件的成果表达,主要是通过声波和地震波测试用动弹模进行概略评价。

在工程规划阶段(1958 年以前),设计人员一直将坝址研究重点放在南津关,1958 年春,周恩来总理视察三峡时,地质专家向总理汇报阐明了三斗坪结晶岩坝段的工程地质条件优越于南津关石灰岩坝段,推荐选用三斗坪。总理在向设计专家询问两处的投资比较情况(无大差异)后,做出指示:将坝址研究重点从南津关转到三斗坪。从此就进入了以三斗坪为中心的初设要点阶段的勘察研究。其后经过进一步的勘察比较,包括与同是结晶岩区的太平溪坝段的比较,最终还是确定三斗坪为三峡工程坝址。现经施工开挖证明,三斗坪确实是个难得的好坝址。反观南津关,在 20 世纪 80 年代的旅游开发中,顺一个大泉口(白马洞)挖进去,就在当年南津关重点(南 3)坝段左岸坝肩底下拟建地下电站厂房位置发现了一个盘旋数百米局部可行船的大溶洞,已被辟为地下公园。幸亏当年放弃了南津关,才避免了一场重大工程灾难(该溶洞可能给工程造成严重困难和危害)。

对水库渗漏条件,着重进行了通过南北两岸分水岭向清江和汉江的渗漏途径的调查。根据区域隔水层分布及分水岭区地下水出露状况判断,三峡水库没有向外流域渗漏的危险。至于通过围绕黄陵背斜南北端的石灰岩层向水库下游的长江自身河谷渗漏的可能性,也根据区域岩溶发育情况的分析,得到否定结论。

2.2 可行性论证及初设阶段(20 世纪 80 年代至 90 年代初)的勘察研究

三峡工程的准备工作经历过 20 世纪 60 年代中期至 70 年代的相对沉寂之后,在 80 年代至 90 年代初期又进行了全面深入的可行性论证及设计工作。配合论证与设计同时开展了有关重大科技问题的攻关研究。地质方面相应地开展了“三峡工程地质地震专题论证”和“长江三峡工程重大地质与地震问题研究”。为此进行了新一轮的大规模地质、地震调查和勘探、研究工作。论证工作

在水利部统一主持下进行。重大问题研究由地矿部牵头,与水利部和国家地震局共同主持,有中科院等单位参加。主要勘察研究工作的内容及成果如下。

2.2.1 坝区地壳稳定性

利用航空遥感、现场调查、位移监测和构造岩绝对年龄鉴定等手段,全面、重新研究了坝区及其外围的所有较大构造断裂的活动性。结果表明:几乎所有断裂第四纪以来都有过活动,以 Q_2 时期最盛, Q_3 较少。在有现实位移表现并属发震断裂的绝对年龄测定中,也找不到10万年以内的活动记录。这表明由地表采取的试样,难以反映断裂深部的受力及活动状况。

利用多年区域地变形测量、地震震源机制解和深钻孔地应力测量,较深入研究了区域构造应力场及坝区现实的地应力状态。研究发现,各地地震机制解与(区域地形测量所获)现代地形变应力场中当地所处应力状态有极好的吻合性。而在河谷钻孔中测得的地应力,最大水平主应力方向浅部为北东向、深部(400 m以下)为北西向。这说明,至少要在超过河谷两岸谷肩高度的深度以下,才能排除地形重力干扰。

利用长距离纵横地震测深剖面,首次揭示出坝址及邻近地区的深部地壳结构和断裂深向发育情况。排除了通过本区的中国东部重力梯度带的深大断裂成因,反映了坝区所在的黄陵背斜核部结晶岩体有贯穿地壳的深厚基础。

利用地震概率分析和地震反映分析方法,重新进行了坝区地震危险性评价。结果显示,年超越概率万分之一的地震加速度值不超过工程设防烈度。所获反映谱为枢纽工程设计提供了更为科学的地震动力参数依据。

2.2.2 坝基及船闸高边坡岩体工程问题

对坝基岩体,在岩体工程地质分类(风化岩分类、岩体结构分类)和大量岩体力学试验及测试的基础上,建立了可相互印证的多岩体质量评价体系及其数学模型,制定了建基面岩体质量定性及定量标准。对弱风化岩体的可利用性,经过强度及变形特征和加固处理效果等多方面的对比研究,得出弱风化带下部岩体经注浆加固可以利用的结论。对局部缓倾角裂面比较发育地段坝基抗滑稳定性,根据结构面的空间组合,提出概化地质模型,建立了考虑连通系数的计算评价方法。在船闸高边坡的岩体变形及稳定性研究方面,应用地质力学理论和优势面控制观点进行岩体结构划分,确定边坡变形破坏模式类型和主要定位楔体的位置;补充研究并系统提出了岩块、结构面和岩体的物理——力学参数值;用三轴应力测试和位移反分析方法确定了现场应力,并用有限元法与回归分析相结合确定了典型纵横地质断面的应力场;根据三段压水与疏干试验,计算确定了各种水文地质结构类型岩体的各向异性水文地质参数。在上述工作确定的几何边界条件、介质特性参数、地应力场、渗流场,并考虑地震力的基础上,应用岩体弹塑性力学理论进行不同荷载组合以及不同开挖条件下的三维、二维数值计算和物理模拟,以确定边坡应力应变状态及可能破坏部位,进行整体滑移和局部定位体的极限平衡计算。应根据宏观地质定性分析与计算成果相结合,进行边坡稳定性的综合评价,优化开挖边坡角,提出相应的施工程序和爆破、加固及监测方案的原则性建议。

2.2.3 水库诱发地震预测

水库诱发地震问题已引起了广泛重视,但其预测方法尚处于以条件类比为探索阶段,尚无成熟的手段。本次研究对国内外已发生的水库诱发地震震例(共102例)进行了更为深入的对比分析,总结了诱发地震的条件规律和其地震活动特点,并探讨了水库诱发地震的机理。在此基础上进行了三峡水库诱发地震的危险性评价,获得的基本认识和结论性意见如下。

1) 水库诱发地震系由水体荷载引起的应力增强和库水下渗引起的裂面强度弱化两种机制所促成。前者增量有限,只有在当

地初始应力接近临界的条件下才能起到诱发作用;后者包括增强孔隙水压力、减小结构面上的正应力和降低结构面的力学指标两方面的作用,其结果都是降低结构面的抗剪强度。这种作用是个渐进过程,符合已有震例的多数情况,故是水库诱震的主要机制。

2) 据统计分析,水库诱发地震的概率大小与水库规模、岩性、地应力状态和断裂及渗透性关系较为明显,即在高坝大库、石灰石、花岗岩等岩性,好的渗透条件和正断层或平移断层的应力状态等条件下,较易诱发地震。

3) 从水库规模和岩性条件分析,三峡水库有诱发地震的可能性。其中,有较大可能诱发地震的库段是各石灰石库段;可能诱发较强地震的库段当在九湾溪张扭性活动断裂通过库区地段,估计最高震级可达5.5级左右;近坝花岗岩库段也有诱发地震可能,估计最高震级可达4级。各地可能诱发的地震对坝区的影响烈度都不超过Ⅵ度。

2.2.4 库岸稳定性研究

进行了干支流库岸的全面调查和大型、典型滑坡、崩塌的勘探。划分了库岸类型,配合物理、数值模拟,分析、研究了顺层高边坡的变形破坏机制。采用定性分析与定量计算相结合的方法,全面评价了水库岸坡的总体稳定性及已有崩、滑残体的稳定性。对水库蓄水后岸坡稳定性的可能变化及崩、滑失稳的危害性作了预测评价,建立了大型危险性滑坡的变形监测网。主要成果如下。

1) 经过库岸稳定性分段分级评价表明,三峡水库全长1300余km的干流库岸,稳定性好和较好的占89%、稳定性较差的占10%、稳定性差的占1%。水库蓄水后,预测会造成库岸稳定性某种程度的恶化,将主要表现为一些原有滑坡的稳定程度降低或失稳,新生滑坡、崩塌的可能性较次。

2) 经过干流库岸滑坡、崩塌的全面核查和支流库岸滑坡、崩塌的重点调查,查明干支流库岸存在巨型(体积1亿 m^3 以上)、大型(1000万至1亿 m^3)、中型(100万至1000万 m^3)、小型(1万至100万 m^3)滑坡和崩塌残体404处,总体积约为30亿 m^3 。其中稳定性差和较差的有44处,体积共约3亿 m^3 。水库蓄水后,其数量可能增加到73处,体积增加至7亿 m^3 。根据新滩滑坡和鸡扒子滑坡的实例计算,滑坡失稳入江的土石方量约为其总体积的1/8~1/11。依此推算,即使上述73处滑坡、崩塌残体全部失稳崩、滑,其入库土石方也不会超过1亿 m^3 ,对水库淤积(库容寿命)无大影响,但对当地居民及建设事业将会增加危害。水库蓄水后,河道水深及断面加大,承受崩滑入江的能力提高,航道被堵塞的危险反而减少。可能失稳的大型崩塌残体、滑坡都在距坝址25km以远,预测可能造成的涌浪传播到坝址高度皆小于2.7m。

3) 对一些大型危险性滑坡、崩塌(如黄腊石滑坡、链子崖危岩体等)、上面有居民密集的古滑坡(如巴东新城黄土坡滑坡、云阳原县城区滑坡等)和经过工程治理的滑坡(如万县豆芽棚滑坡、云阳鸡扒子滑坡等)建立、健全了长期动态监测系统。监测手段包括大地变形测量、钻孔倾斜仪监测、地面、地下裂缝及滑面位移自动化监测和全球定位监测系统(GPS)。通过总结多年监测成果和新滩滑坡的成功预报经验,并吸取国内外的其它先进理论方法,全面论证了各种监测方法在三峡地区崩滑监测中的适用性,初步建立了适用于以链子崖为代表的危岩体和以黄腊石为代表的滑坡体的综合预报判据。

2.2.5 水库其它环境地质问题预测评价

除上述水库诱发地震和对水库岸坡稳定性的可能恶化影响外,还对水库蓄水后对库区两岸水文地质环境的影响、水库运营后对下游江汉平原及长江河口区水文地质及生态环境的影响,以及水库蓄水对三峡旅游景观资源的影响进行了调查研究和预测评价,其研究结果如下。

1) 水库蓄水后,库区两岸地下水的水动力场将有较大变化,而对地下水化学场和水温场无大影响,对矿产资源的淹没、浸没

损失不大。水库运营后,下游长江枯水期水位有所抬高,可能引起江汉平原沿江地区的地下水排泄减缓,致使春季地下水位偏高,影响春季作物的根系生长,增加“冷浸田”灾害。但据地下水位动态监测和地下水动力学测算,冷浸田扩大面积不大(4 000多 hm^2)。若再考虑因出库水流含沙量减少而可能引起的河床刷深(使同流量水位降低)因素,则此问题更不会太大,从而解除了湖北省的一大忧虑。三峡水库调节库容与入库水流量之比较小,每年汛后蓄水所需时间不长,只要妥善安排蓄水时间,不致引起长江河口区的地下海水入侵。

2) 在水库蓄水后三峡地质旅游景观变化预测研究中,全面展望了水库蓄水后可能造成的原有景观损失和可能出现的新景观。结果表明:水库抬高三峡江水位80~110 m,减少了峡谷两岸的相对高程,将使沿江峡谷的雄伟气势有所减色,尤其像瞿塘峡等较为短矮的峡谷变化将较显著。但另一方面,库中将会出现若干湖泊、岛屿,而一些支流充水后将会形成多处新的“小三峡”,再加上举世无双的三峡工程,总的旅游景观魅力不会降低。调查中还在水库周边地区揭示了奉节小寨天坑、天井峡地缝、巫溪夏冰洞、武隆芙蓉洞等“世界奇观”,更为开发三峡地区的旅游事业增添了一批新的宝贵景观资源。研究中还可能对遭受淹没(或其威胁)的名胜古迹及珍贵地质遗迹提出了保护对策。

2.3 枢纽工程施工及水库移民工程(20世纪90年代至今)的地质工作

枢纽工程施工和库区城镇移民迁建工程中的地质工作由长江水利委员会负责,区域性移民环境地质调查研究由地矿部(以成都中心为主)承担,皆有其它单位参与完成。

2.3.1 枢纽工程施工阶段地质工作

主要是基坑地质编录、特殊问题的补充勘察研究和敏感部位的变形或应力监测。为配合大坝坝基和船闸的开挖施工,研制成功了坝基岩体质量快速测定系统和高边坡岩体快速摄像成图系统,为保证高速度、高质量地确定坝基岩体开挖面和及时研究掌握高边坡开挖中出现的地质问题提供了有效手段。采用钻孔电视摄像仪研究坝基缓倾角断裂(结构)面的地下发育情况,以评价坝基岩体抗滑稳定性。对船闸高边坡开挖后的卸荷变形进行了监测,结果发现边坡顶部卸荷变形量约为3~5 cm。两条闸槽之间隔墙岩体出现纵向裂缝,船闸基坑底板有轻微隆起现象。

经施工开挖验证,坝址岩体质量优良,变形在预计的正常范围之内。

2.3.2 库区移民工程地质工作

三峡水库移民100余万,迁建13座县城和100多个集镇。在平地很少和滑坡、崩塌频发的库区两岸的复杂地质环境中,施加这样一个庞大的移民工程体系,不论在城镇选址和具体工程建设中都会遇到如何适应、保护地质环境条件和避免、减少地质灾害发生的问题。为此“八五”期间进行了库区移民工程环境地质研究,全面调查阐明了库区移民工程的地质环境条件,进行了移民环境地质分区评价,并对移民区的地质环境容量问题作了探讨。特别是对移民工程的主要安置场所——平缓斜坡进行了成因类型划分(分为冲洪积型、剥蚀残积型、岩溶型、人工堆积型、崩塌积型和滑坡堆积型),并建立了斜坡成因类型及其稳定性的宏观定性判别标志。

同时,经调查判明,移民区共有大型滑坡1 151处,其中压线滑坡(滑体跨越180 m高程移民线者)299处,其上共有居民7.5万人,处于180 m线以上者约4万人。这部分人的去留问题,需要依据所在滑坡的稳定状况逐处妥善研究解决。这就提出个可能有相当数量的额外移民问题。

移民工程勘察负责单位对所有移民迁建的县城和重要集镇,统一进行过移民工程规划阶段的勘察工作,为移民工程选址和工程布局提供了地质依据。有的移民新城址在未进行全面勘察之

前由地方上自行选定,结果搬到了古滑坡体上。在每个新建城区工地都派驻了施工地质工作组(站)负责解决或反映出现的地质问题,地质站与专家巡视相结合解决了大量工程施工中遇到的问题。大部分具体移民工程的设计、施工都是按规划阶段的勘察结果进行的,可能由于时间或经费等原因未进行设计阶段的详细勘察,加上在工程标准上盲目追求道路、广场的宽、大、平、直,结果出现众多不合理的深挖、高填工程和边坡失稳、堆土滑流以及岩溶塌陷等问题。多数城镇都沿未来水库岸边布置,沿岸房屋、道路建设都未予或较少考虑水库蓄水后的塌岸影响,致使一些土层、软岩或古滑坡分布地段留有隐患。

3 三峡水库移民区的地质灾害防治

由于水库沿岸地质地貌条件复杂,且处于亚热带气候区,雨量充沛,且多暴雨,故崩塌、滑坡及泥石流时有发生;古滑坡分布甚众,移民迁建区选址所看好的缓坡地带,多数都有古滑坡存在,这些古滑坡在天然条件多处于稳定状态,但在水库蓄水及移民工程的扰动下很多将会复活。移民工程及水库蓄水活动,除诱发一些古滑坡复活外,还会导致新滑坡的发生。一些县城新址,由于受滑坡影响被迫多次变迁,不少移民工程点遭受崩滑灾害破坏或严重威胁。因此,以滑坡为主的崩滑流地质灾害已成为影响三峡水库移民工程安全的重大问题。

此外,水库蓄水将会产生的水库塌岸(岸坡再造)也是影响沿岸工程安全的另一重要问题,这也是水库区特有的一种地质灾害。

国家对三峡水库沿岸的地质灾害给与了高度重视。从20世纪50年代开始,国家有关单位就分别或共同对此问题进行了长期的勘察研究和重点防治。在20世纪五六十年代的三峡规划勘察阶段,已将三峡水库的库岸稳定性作为一个重要问题进行过普查;七八十年代成功进行了新滩滑坡的监测预报和鸡扒子滑坡的阻航治理;至八九十年代,在开展三峡工程可行性论证及重大地质与地震问题科技攻关研究时,又对干支流库岸的滑坡、崩塌进行了更为全面深入的调查论证和重点勘探,对全库区岸坡稳定性及其对三峡枢纽工程和沿岸移民工程的可能影响做出了基本评价,为三峡工程决策和优化设计提供了相应的科学依据,同时还成功地进行了链子崖危岩体、黄腊石滑坡、豆芽棚滑坡及巴东二道沟滑坡的工程防治。

至21世纪初期,面临三峡水库即将蓄水,对受水库初期(135 m水位)蓄水影响的滑坡上部(回水线以上)居民区以及受淹移民新址居住区的地质环境安全必须及时(在蓄水前)做出评价,对可能遭受的地质灾害必须在较短的期限内及时完成所需预防工作。为此,国家投入大批专款(40亿),并成立了专门组织(三峡库区地质灾害防治工作领导小组及其下属的专家组),按全区统一规划和分省(湖北)市(重庆)负责组织实施的方式进行工作。在防治规划编制中,根据各灾害点的危险性和危害性以及居民搬迁与进行工程治理的经济安全比较,选择工程治理、搬迁避让和监测预警等3种防治对策。对每个单项防治工程均按可行性研究、防治工程设计及施工等阶段程序进行。

根据几十年来多方面勘察研究和本期防治规划前的专门补充调查结果,整个三峡库区移民区涉及135 m水位蓄水及二期移民新址的滑坡、崩塌共有559处。经防治规划的对策研究,确定采取工程治理的198处、搬迁避让的232处、监测预警的129处。详见表1和图1。

在防治工程的可行性研究中,首先要根据地质灾害危险性和危害性,阐明进行工程防治的必要性。如果经过可行性研究,发现进行工程防治不如采取其它对策更为适宜,可以报请改变对策。

在防治工程方案的拟定中,都须经过多方案对比选定,其依据是防治有效性、技术可行性和经济合理性。在防治工程设计中,



图 1 三峡库区地质灾害防治工作分布图

首先要确定工程的重要性等级和相应的防治安全标准。

工程的重要性等级分为:一级(影响城市);二级(影响集镇及重要交通干线);三级(影响乡村)。其相应的防治安全标准定为:在一般(基本)荷载条件下,治后安全(稳定)系数分别达到 1.25、1.20 和 1.15;特殊荷载条件下,皆不低于 1.05。

针对水库沿岸滑坡所处的动力环境特点,滑坡所受荷载(推力)有天然自重、降雨加载、水库蓄水及水位波动引起的加载和地震加载。将 50 年一遇以内的暴雨加载和库水位升高至 175 m 及由 175 m 缓降(每天 1.2 m)至 145 m 与由 175 m 骤降(每天 2.0 m)20 m 所引起的加载作为基本荷载要素。自重、暴雨和单项库水位要素之组合,形成基本荷载组合;地震荷载一般按 VI 度计算,作特殊荷载要素加于各基本荷载组合之上,形成特殊荷载组合。按其最不利者作为设计依据。

水库塌岸的破坏方式有突变式和渐进式之分。突变式即诱发滑坡或崩塌,这应按滑坡防治处理;渐进式者为通过缓慢的岸坡再造形成一定范围的削坡。水库塌岸的危害也表现在两个方面:一方面是塌岸变形影响当地(上方)建筑设施或居民的安全;另一方面是塌岸削方降低岸坡(或滑坡)整体稳定性。对塌岸是否需要采取防护措施,应视上述两方面的危害情况而定。若在可能影响范围内没有重要设施或居民点,则不必专门防护,只需加强监测预警,以维护航运安全。

至目前(2004 年 7 月)为止,经过 135 m 水位蓄水 1 年多的考验,三峡库区地质灾害防治工程均安全无恙。个别未进行防治的地点发生了滑坡,由于成功的监测预警,未造成大量人员伤亡。按计划,水库水位将在 2006 年和 2009 年(或 2008 年)分期提高至 156 m 和 175 m。与此相应的库区地质灾害防治还有大量工作要做。新一期(第三期)库区地质灾害防治规划已编制完成,现正组织实施。

表 1 三峡库区二期地质灾害防治中
工程治理、搬迁避让及专业监测点统计表

省市名称	区县名称	工程治理点数	搬迁避让点数	专业监测点数
湖北省	宜昌市宜陵区	4	1	
	秭归县	24	28	15
	兴山县	8	6	8
	巴东县	20	20	15
	合计	56	55	38
重庆市	巫山县	18	46	10
	巫溪县			1
	奉节县	19	17	13
	开县	4		14
	云阳县	14	23	12
	万州区	31	25	12
	忠县	7	31	6
	石柱县	7	7	1
	丰都县	8	7	5
	涪陵区	20	12	5
	武隆县	2		4
	长寿区	4	2	3
	巴南区		4	1
	渝中区	3		1
	江津市			3
库区	渝北区	2	2	
	江北区	1	1	
	九龙坡区	1		
	沙坪坝区	1		
	合计	142	177	91

三峡水库移民区地质灾害防治工作的主要经验如下。①要认真做好治前地质勘察,准确评价地质灾害发生的危险性、危害性和防治的必要性,这是一切地质灾害防治工作的基础。②要切实搞好移民工程的选址工作,避开古滑坡等地质灾害危险区,以免陷入极大的被动。③移民工程的设计、施工必须与当地的地质条件相适应,避免人为诱发新的地质灾害。城镇地区的滑坡防治及护岸工程应与城建工程紧密结合进行,使之互补互利。特别是排水工程必须统一规划实施。④搞好监测预警工作是掌握灾害险情动态的基本手段,也是及时做出临灾预报、减少灾害损失(特别是人员伤亡)的最后一道屏障。因此,必须自始至终抓紧抓好。在监测预警工作中,要施行专业监测与群测群防相结合,建立统一的监测预警信息系统,并层层落实人员组织及临灾应急措施预案。

参考文献(References)

- [1] 刘广润. 建国 50 年来的三峡工程地质勘察研究[M]. 北京:地震出版社, 2000. 58~63
- [2] 刘广润,徐开祥. 三峡水库沿岸移民区地质灾害防治研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4): 1~4
- [3] 长江水利委员会综合勘察局. 长江三峡工程库区地质问题的启示暨思维方式[R], 1999

(责任编辑 肖庆山)

·读者·作者·编者·

《学科发展蓝皮书——2005 卷》调整刊载内容

由我社负责组织编写的《学科发展蓝皮书——2005 卷》原定刊载内容为两部分:第一部分“学科发展篇”由各全国性学会报名参加并组织专家撰写,第二部分“学术评论篇”刊登全国百篇优秀博士论文及其候选论文中有关综述性部分的内容。根据征稿情况,近期,我社对《蓝皮书》刊载内容做了调整,取消优秀博士论文等刊载内容,改为从全国部分优秀科技类学术期刊中选录一批已发表的优秀综述性学术论文刊载。目前,论文征集工作进展顺利,各有关学术期刊编辑部予以我社大力支持,积极推荐优秀综述性学术论文。刊载内容调整后,《学科发展蓝皮书——2005 卷》的来稿将由 3 个渠道获得:一是各全国性学会组织专家撰写,二是全国部分优秀科技类学术期刊推荐,三是广大科技工作者自行投稿。《学科发展蓝皮书——2005 卷》预计 2006 年 1 月底由中国科学技术出版社出版,我社将向入选论文的学术期刊编辑部颁发收录证书。

(本刊编辑部)