

库岸地质灾害治理与交通建设开发

一体化模式

肖盛燮 陈洪凯 耿大玉 冯 晓 著
彭 凯 王多垠 缪吉伦



地质出版社

库岸地质灾害治理与交通建设开发

一体化模式

肖盛燮 陈洪凯 耿大玉 冯 晓 著
彭 凯 王多垠 缪吉伦

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书紧密围绕库岸地质灾害治理与交通建设开发一体化的全新思路,对治理与开发一体化的模式内涵、技术策略、综合效应与分解功能等,以建设沿江堤坝、公路、桥梁、铁路、港口码头为对象,构建与防灾融为一体的模式格局。从区域地质宏观构造到致灾机理微观剖析、从理论建模到工程示范应用,形成了较完备的体系。

本书可供从事相关工程技术人员、管理人员和大专院校师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

库岸地质灾害治理与交通建设开发一体化模式/肖盛燮等著.

-北京:地质出版社,2002.9

ISBN 7-116-03671-7

I. 库… II. 肖… III. ①地质灾害-治理-研究-三峡②交通运输规划-三峡 IV. ①P51②U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 069160 号

责任编辑:祁向雷 王 璞 陈 磊

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324577 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:850mm×1168mm^{1/32}

印 张:9.5 彩版:10 页

字 数:260 千字

印 数:1—800 册

版 次:2002 年 9 月北京第一版·第一次印刷

定 价:35.00 元

ISBN 7-116-03671-7/P·2300

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

教育部“春晖计划”合作项目

重庆市移民局科技计划项目

项 目 名 称：三峡库岸城区环境灾害治理与开发
一体化综合模式研究

主 研 单 位：重庆交通学院

合 作 单 位：万州区移民局

国际合作单位：维也纳理工（技术）大学

维也纳应用科技（农业）大学

项目 负责人：肖盛燮

研究报告及专著责任分工

主 编：肖盛燮

撰 著：肖盛燮 陈洪凯 耿大玉
冯 晓 彭 凯 王多垠
缪吉伦

审 核：郑颖人 张 勇 钟杰英

研究及试验人员

研 究 人 员：肖盛燮 陈洪凯 耿大玉 钟杰英 张 勇
冯 晓 彭 凯 唐红梅 王多垠 缪吉伦
胡善铨 王平义 张建华 王晓雯 何兆益
蒋宇静 王 蓉 Weinmeister Hübl 吴文雪
唐 芬 王 凯 袁建议

结构试验人员：施尚伟 陈昌静 杨 刚 彭思杰 周 兵

岩土试验人员：周 宇

序

举世瞩目的“长江三峡水利工程”将造福于千秋万代，对长江流域的防洪减灾、灌溉、发电将起到极其良好的作用，但它同时也将会引发、加剧长江三峡库区的地质灾害。在政府的大力关怀下，国家在积极建设库区的同时，投入巨额资金防治地质灾害。这是本书出版的社会背景。

本书是“三峡库岸城区环境灾害治理与开发一体化综合模式研究”项目的总结，提出了新的地质灾害治理模式。全书对“治理与开发一体化”的内涵、技术策略、库区地质灾害的预测、灾害类型及其成灾机理等作了系统明确的阐述，并对库岸堤坝一体化，桥梁、码头、公路、铁路建设与灾害治理一体化模式作了深入系统的研究，从理论建模分析到工程示范应用实践，都形成了较为完备的体系。

“灾害治理与开发建设一体化模式”是一种新的灾害治理思路。它把交通工程建设与地质灾害治理统一协调、有机结合，克服了地质灾害治理与库区开发分离实施的种种弊端。这也正是本书的精髓之处。我国是正在迅速发展的国家，也是地质灾害频发、灾害损失严重的国家，这为“治理与开发一体化模式”的思路奠定了基础。从这个意义上说，本书正是试图起到“抛砖引玉”

的作用。可以预期，我国的地质灾害防治与交通建设工程界的技术人员将从中受益。为此，谨写了上面的一点文字，并乐以为之序。

中国工程院院士
中国人民解放军
后勤工程学院教授

郑颖人

2002年8月

前 言

举世瞩目宏伟的“三峡工程”，是我党三代领导集体高瞻远瞩的决定；它融防洪减灾、根治环境、蓄水发电、开发经济于一体，是造福人民的重大时代决策。随着工程的有序进展，开发性移民将促进库岸城区的建设；库岸城区将成为环境更优美、水陆交通更繁华的亮丽风景线，进一步显示向内地辐射的黄金口岸价值和开发策源地的独特作用。为此，国家对库区环境保护、灾害防治极为重视，已投入巨额资金，有步骤地全面启动实施地质灾害治理。在这极具紧迫性的灾害根治的浩大工程中，本项目“三峡库岸城区环境灾害治理与开发一体化综合模式研究”成果的问世，必将成为“及时雨”而增强对“灾害治理开发实施一体化”的有效性。

本项目是教育部会同中国工程院、国家自然科学基金委员会、科学技术部、国家环保总局等部委专家评审，首批立项的“98 春晖计划”——“重庆市环境保护和治理项目”。项目主要宗旨是将库岸城区环境地质灾害治理与交通建设开发融为一体，使灾害治理满足交通建设的后续效应要求。交通建设应以灾害治理作为坚实基础，形成互相渗透、协调、统一的综合模式，以发挥其整体效应和分解功能作用。历时三年多的研究，从区域地质宏观构造到灾害微观剖析、从地质灾害治理到交通建设开发、从理论建模分析到工程示范应用实践，进行了全面详实研究，形成了较为完备的体系和推广应用的成果。

项目研究进程中，不少同志精心参与、合作共事、不辞艰辛、奉献才智。为此，笔者感谢有关研究和实验人员对本项目所

作的一切贡献。本专著《库岸地质灾害治理与交通建设开发一体化模式》是在项目研究报告的基础上撰写的，其署名仅列出了本书撰写的直接参与者；尤其应感谢郑颖人院士等专家在百忙中对研究报告和专著的悉心审核与评议！感谢张勇总工等人为提供依托工程及勘察材料，并热情在多次现场导引中作出的重要贡献！我们还在此向引用或参阅过的相关文献资料的著作者致以谢意！

本科研项目先后获得重庆市科委、交委、教委、重庆市移民局、万州区移民局、市政管理委员会等单位和领导的大力支持与热忱关心；获得奥地利维也纳理工（技术）大学、维也纳应用科技（农林）大学等国际专家的支持；获得重庆交通学院各级领导、职能部门及地质出版社的关心与支持。值此一并致以诚挚的谢意！

鉴于本书撰写时间仓促，以及在极为有限的条件下完成研究，难免存在错误和不足之处，敬请有关专家和广大读者批评指正！

重庆交通学院防灾减灾工程研究所

肖盛燮

2002年8月

目 录

序

前 言

第一章 绪 论	(1)
1.1 国内外地质灾害研究现状与趋势	(1)
1.2 地质灾害治理与库区开发分离实施的弊端	(3)
1.3 治理与开发一体化格局构思背景	(4)
1.4 一体化治理开发的内涵实质及意义	(6)
1.5 一体化综合模式的技术核心与策略	(8)
第二章 库岸环境地质问题及移民新区灾害防范	(11)
2.1 三峡库岸城区的环境地质灾害概述	(11)
2.2 滑坡和崩塌是库区的主要环境地质灾害	(16)
2.3 水土流失和泥石流的严重性	(21)
2.4 三峡库岸岩溶灾害的复杂性	(24)
2.5 地基土不均匀所引起的差异沉降	(25)
2.6 移民新区的环境地质灾害防范	(26)
第三章 水库蓄水后潜在地质灾害预测	(29)
3.1 蓄水后库岸稳定性的状态变化	(29)
3.2 蓄水后库区滑坡崩塌灾害的预测模型	(32)
3.3 岩溶及矿坑采空区塌陷的预测分析	(43)
3.4 水库诱发地震预测分析	(44)
第四章 库岸再造与不同高程灾害分级治理开发	(46)
4.1 库岸再造致灾成因分析	(46)
4.2 塌岸模型预测方法研究	(50)
4.3 库岸地质灾害分级防治实施规划	(55)

4.4	不同高程灾害分级治理的相互渗透性	(58)
4.5	灾害分级治理开发一体化工程“链”	(59)
第五章	典型环境灾害类型及成灾机理	(62)
5.1	灾害易发区岩土物质组成	(62)
5.2	万州地形地貌及地质构造	(63)
5.3	新构造应力场及其特性分析	(65)
5.4	典型环境灾害类型与关联结构	(66)
第六章	重复浸泡岩土体的性态变异及灾害隐患	(70)
6.1	岩土常规力学物性参数特征	(70)
6.2	不同浸泡岩土状态参数变化特征	(73)
6.3	浸泡岩土参数变化的致灾隐患	(76)
第七章	滑动面及滑体承重与抗滑结构的关联性	(78)
7.1	滑动面幅度变态的决定因素	(78)
7.2	滑动面与滑体承重变态关系	(83)
7.3	滑体承重与抗滑结构关联组合模式	(84)
7.4	滑体不同部位加载的后效分析	(91)
第八章	灾害治理组合模式的受载作用分析	(92)
8.1	受载组合模式的数值模拟	(92)
8.2	抗滑结构承受推力的计算	(105)
8.3	滑坡推力计算参数取值	(113)
8.4	滑坡治理可靠度分析	(114)
8.5	锚碇板墙的分析计算	(118)
第九章	库岸防护堤坝一体化多重功能特性研究	(132)
9.1	库岸堤坝建筑与地质灾害治理一体化	(132)
9.2	一体化堤坝的结构组成	(135)
9.3	沿江道路港口水陆立体交通功能的一体化	(140)
9.4	沿江路堤与土地综合利用	(151)
9.5	沿江路堤旅游景观与生态绿化的融合	(152)
第十章	库岸堤坝一体化结构稳定性模式	(158)
10.1	库岸堤坝与防护结构综合力学行为分析	(158)

10.2	堤坝抗滑移稳定性模式特征	(162)
10.3	堤坝抗倾覆稳定性模式特征	(169)
10.4	路堤沉降和裂隙的预测与防护	(179)
10.5	库岸堤坝的水稳定性	(187)
10.6	库岸堤坝的抗震安全性分析	(195)
第十一章	桥梁结构与抗滑支挡结构一体化模式	(206)
11.1	桥位地质灾害状况概述	(206)
11.2	桥梁结构与抗滑支挡结构一体化方案	(208)
11.3	滑体推力与桥梁结构受力组合模式	(208)
11.4	模型组合试验及其规律性	(211)
11.5	理论分析和计算	(212)
第十二章	库岸铁路与滑坡治理一体化模式	(224)
12.1	铁路跨越滑坡布局概况	(224)
12.2	铁路高架结构及抗滑桩受载特征	(226)
12.3	铁路路基与滑坡治理的计算模式	(230)
第十三章	港口码头与防护工程一体化模式	(234)
13.1	港口码头建设与地质灾害治理的协调性	(234)
13.2	港口码头与库岸防护结构的一体受载图示	(243)
13.3	护港结构一体化分析计算模型	(256)
第十四章	一体化综合模式的整体效应与功能分解	(268)
14.1	一体化模式的综合格局	(268)
14.2	一体化模式的整体效应分析	(272)
14.3	综合模式的关联作用与功能分解	(277)
14.4	治理开发一体化模式的实施价值	(281)
第十五章	万州库岸灾害治理与开发一体化工程示例	(282)
15.1	万州驷马桥护堤的实施工程与开发示例	(282)
15.2	万州清泉路滑坡治理与沿江公路建设一体化	(284)
15.3	万州红溪沟滑坡治理与港区建设一体化工程	(288)
参考文献		(290)
附 图		

第一章 绪 论

1.1 国内外地质灾害研究现状与趋势

1.1.1 国内地质灾害防治历史与现状

中国是地质灾害频发、灾害损失严重的国家之一。随着生态环境恶化、水土流失加剧,地质灾害问题日趋严峻,已广泛引起政府部门及工程界对其根治的高度重视。而由于水库修建、蓄水发电诱发库岸坍塌、滑坡等现象,其致灾机理和防护手段均具有显著地域特征,科技工程界作了大量探索:在黄河上修建的水利工程,如龙羊峡、三门峡等历史较长的水库库岸稳定性、滑坡机理、库岸变形监测报警、防范治理及开发利用等进行了较为全面的探讨,形成了适于黄土地区水库库岸稳定性判别、预测的实用方法;在福建水口水电站工程中分析了库岸地质灾害的类型、产生原因和发生规律,总结了库岸地质灾害防治的经验教训,对其他水电站的库区移民和库岸防护工作起到了一定借鉴作用,通过对水口水库库岸坍塌的长期观测研究,提出了适合我国南方山区峡谷型水库的预测方法——“两段法”及其适用范围。通过对该区地质、地貌、气象、水文条件和人类工程活动的分析,探讨了各种地质灾害的发展趋势及危险程度,进而提出了防灾减灾的思路;对湖南拓溪水库就地质灾害现状、危害程度与主要灾害类型进行了阐述,提出了诸多治理方案;此外,有的综述了水库地区水环境系统变化及水岩作用类型和机制,并提出了以此为心的水库地区环境评价和灾害预测的研究方法;有的介绍了滑坡灾害

空间预测的常用理论和方法,指出了区域滑坡空间预测、单体滑坡稳定性预测和滑坡灾害风险研究的发展趋势。针对我国规模宏大、地质、水文条件极为复杂举世瞩目的三峡水库工程,为适应移民迁建、库岸城镇开发交通发展的需要,工程界从各个方面对三峡库区库岸地质问题进行了研究,据研究文献归纳为:①从宏观上对三峡库区地质灾害特点、类型、危害性、监测预报进行分析,建立了相应的分类标准和预警信息网络模型等;②用 Scheidgger 法研究了三峡库区新构造应力场及其与库岸滑坡滑动的优势方向关系问题;③介绍了三峡库区边坡稳态 3S 实时工程分析系统的基本框架及内容;④对三峡库区城镇库岸防护、库岸崩滑体处治、库岸公路复建工程地质灾害防治等问题进行探讨,并提出了相应的原则和对策;⑤通过模型试验研究,分析了水动力学因素对库岸坍塌变形的影响;⑥针对三峡库区交通工程地质环境进行了专门探讨,提出了危害交通的地质灾害预测与防治对策。

综上所述,国内对库岸地质灾害问题进行了较为广泛的研究,侧重点是在致灾机理、稳态判别、灾害预警、防治对策等方面。但是,应该指出国内研究现状还有诸多尚待改进和完善之处:①致灾机理分析有待深化,对多种致灾因素的渗透需作全面系统考虑;②库岸稳定性判别和灾害预测模型显得较为粗略,其科学性、准确性有待进一步探讨;③库岸地质灾害治理未能同库岸城乡发展及水陆交通建设有机结合,呈现相互脱节甚至互为矛盾现象,致使灾害治理和建设开发达不到互利效果,这在人口密集、受地域地貌严格限制、用地紧张的库岸城区,显得尤为突出。

1.1.2 国外研究现状与趋势

国外对水库库岸地质灾害关注很少,对库岸地域的开发利用一般持保守态度。仅有意大利对 Vaiont 水库地质灾害进行了较为全面的分析,但未涉及水库沿岸经济、交通发展所受的影响;也有对地质灾害与交通设施的规划、选址、设计之间的关系进行过

探讨,为交管、规划部门提供了一定借鉴。国外,由于大多数国家人口压力较小和用地紧张程度不高,保持顺其自然的态势,即认为库岸地质灾害属于自然的地质活动,而勿需人为干涉,去治理、开发利用。

基于中国历史和现实国情,针对水库库岸,特别是三峡工程沿岸已形成人口密集、经济交通活动频繁的区域,以及开发的重任在负,因此,地质灾害的防治必须与库岸的再利用相结合,这既是繁荣和发展长江中上游经济的必由之路,也是三峡库岸地质灾害研究的必然趋势。

1.2 地质灾害治理与库区开发分离实施的弊端

三峡库岸地质灾害分布范围广、密集度高,因而建设沿江经济带就不可能避开这些地段,这就意味着单纯的地质环境灾害治理与单纯的开发利用均不可能取得理想的效果。库岸地质灾害治理与开发分离实施,其弊端概括起来主要有以下几个方面。

(1) 治理与开发分离将形成两者在技术上的脱节,不能达到预期目的。治理时,如不认真考虑交通和民用建筑等基础设施建设带来的负荷、边界条件、岩土物理力学性态的变化,其治理就很难求得彻底;同样,若建设开发不遵循地质灾害形成规律,造成库岸额外的稳定性丧失和工程环境恶化,就会使建设开发失去基础保障条件,从而最终导致治理工程失误。

(2) 治理与开发分离,将对工程带来扰动性和盲目性。对库岸先治理地质灾害,后开发建设交通等基础设施,将不可避免地使后后续工程对先实施的治理工程产生影响,使其稳定性受到扰动,甚至由于相互脱节的盲动性,使后建工程对先建工程起到某种损坏作用。由于受地貌地理位置的限制,交通建设不可能任意扩展和迂回绕道,这种施工场地的限制是客观存在的,若再加上设计的盲目性则必将有碍工程质量的提高。

(3) 治理与开发分离, 形成管理脱节, 必将拖长工程期限, 影响如期蓄水。由于工程是分步分期进行的, 规划、设计、管理工作程序繁多, 若相互脱节, 责任推诿, 效率低下, 就不能保质保量满足按期蓄水的要求。给整个工程带来影响, 这种人为因素实在应该避免。

(4) 治理与开发脱节使得成本上升, 经济效益降低。在库岸地质灾害治理中, 利用交通和民用设施基础作为抵御灾害的一部分, 实现治理工程和建设工程相互匹配、功能互补, 是成本较低、效益较好的理想方案; 若二者脱节, 可能在地质灾害危险区域过多地开挖和重复结构施工, 使得材料、人工等成本上升, 经济效益大为降低。

鉴于对以上诸多弊端的分析, 我们提出了三峡库岸环境地质灾害治理与交通建设开发一体化的构想, 这个构想的综合实施, 将从根本上避免治理与开发分离所带来的弊病并对工程整体起到一定的推动和促成作用。

1.3 治理与开发一体化格局构思背景

1.3.1 库岸地质灾害治理的迫切性

长江三峡自古以来, 地质灾害频发, 而滑坡和崩塌是三峡库区的主要地质灾害。据统计, 库区前沿高程在 175m 以下总计有崩塌、滑坡及变形体达 1323 处之多, 足以显示其治理工程量之大、任务之艰巨; 随着三峡工程建设的推进, 第一批机组将于 2003 年蓄水发电, 对地质灾害的治理更为紧迫, 在蓄水前对 135 m 的回水位以下的滑坡、崩塌等地质灾害实施首批根治迫在眉睫; 加之库岸城镇很多位居古滑坡或变形体上, 人口密集, 生态环境严重恶化, 人为地质灾害显著增多, 一些不科学的回填方、不合理的地基结构、不完备的排水系统等更使地质灾害有所加剧。因此, 加速对库岸城区回水变动及淹没线地带重点实施地质

灾害治理是刻不容缓的。

1.3.2 库岸城区交通建设开发的必然性

长江三峡沿线城镇,自古以来就是水陆交通繁华的地区,从历史发展的观点来看,由于交通的开发带动经济的发展,才加快了建设城镇和发展文化的进程。举世瞩目的三峡工程建设,将更加促进库区及长江中上游经济的繁荣,库岸城镇不仅将构成旅游开发亮丽的风景线而且是向内地辐射的黄金口岸。随着库区蓄水水位的升高,在淹没线以下原有的港口、码头、道路、桥梁、房屋等基础设施将被淹没。这些交通设施功能的恢复和重建,将成为必然的趋势,因为它们起着经济辐射窗口的重大作用。显然,发展库岸城区交通是实现“努力把重庆建设成为长江上游经济中心”宏伟目标的重要举措,使之形成经济增长点和开发的策源地,具有举足轻重的战略性地位,库岸交通先行开发是库区经济全面腾飞的必然。

1.3.3 治理与开发一体化时空协同性

库岸城区地质灾害治理与交通建设开发同时进行,融为一体,具有时间和空间的协同一致性。理由如下。

第一,地质灾害治理与交通恢复重建工程,均需以库内蓄水时间为期限。也就是,这些工程必须抢在蓄水之前完成。否则,水位上升后不但工程无法进行,反而将加剧灾害的严峻态势,因而治理与开发均需在极为有限的时段内进行,这就促成了时间的协同性。

第二,库岸城区地质灾害治理与交通建设开发也具有严格的空间协同性。如前所述,因为地质灾害较多地分布在库岸城区人口稠密而且处于回水变动的沿江地带,这些地带也正是水陆交通发达难以逾越回绕的必经空间。因此,在客观上形成了互相制约的协同空间。

1.3.4 一体化模式的构思背景

一体化项目是经中华人民共和国教育部会同中国工程院、国

国家自然科学基金委员会、科学技术部、国家环保总局等部委专家会议评审,首批立项的“98春晖计划”——“重庆市环境保护和治理项目”。教外司留[1999]95号文下达了“三峡库岸城区环境灾害治理与开发一体化综合模式研究”项目通知,该项目构思就是基于充分认识到库区灾害治理与交通建设开发的迫切性、必然性和一体化的协同性,其构思的指导思想是:灾害治理是保证库区环境稳定所采取的重要手段,而岸区的经济开发才是根本目的,通过灾害治理实现繁荣库区经济的目标,两者在技术措施和实施步骤上可有机地融为一体,而形成了一体化格局。这一基本思路的提出,得到了中外专家、留学人员的认同与支持,进而本项目被纳入国际合作研究项目。

1.4 一体化治理开发的内涵实质及意义

1.4.1 灾害治理必须满足交通建设的后续效应要求

灾害治理的技术稳定性不但要满足控制地质灾害的基本要求,而且还要满足交通基础设施建设对地基产生的后效作用要求,这是根治地质环境灾害的重要出发点和归宿。如果没有这样的基本认识,从而不能提供所必需的稳定性保证,则一旦后继设施建成,由于额外负荷使得治理灾害的基础不能起到安全保证作用,其后果将是不堪设想的。因此,一体化的内涵之一,就是要将灾害治理与交通建设后效作用一并纳入结构设计和稳定性验算模式中加以综合考虑。

1.4.2 交通建设应将灾害根治作为坚实基础

对三峡库岸交通建设工程而言,如果还是在地质灾害环境下进行的,其基础工程不但要满足交通建设上部功能对基础的要求,而且还要同时满足对根治地质灾害的要求,将二者结合起来作为基础承载的综合效应,才能保证既根治了灾害又满足了其上建筑交通设施对基础稳定性的需求。因此,在地质灾害环境中或