



“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·水运基础设施建设与养护
长江黄金水道建设关键技术丛书

ANTI-SEISMIC TECHNIQUES FOR
INLAND WHARVES

内河码头抗震技术

丁 敏 汪承志 等 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·水运基础设施建设与养护

长江黄金水道建设关键技术丛书

内河码头抗震技术

丁 敏 汪承志 等 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为《长江黄金水道建设关键技术丛书》之一,主要结合近 50 年来全球重大地震灾害对港口码头的影响,总结分析了地震对港口码头的破坏形式及其成因,重点对长江西部典型内河码头结构包括架空斜坡道码头、框架码头、重力式码头、桥吊码头等以及码头大型装卸设备进行了抗震性能研究,提出码头水工结构、库岸和大型装卸设备抗震设计方法、抗震措施及其施工方案。

本书可供从事港口码头结构和大型装卸设备设计、施工、监理、质检、试验、检测等工作的科技人员和有关高校师生、科研院所工作人员等参考。

Abstract

Combining with impact of global significant earthquake disasters on wharves in the last 50 years, this book concludes and analyzes forms and causes of the damages to wharves, emphatically studies anti-seismic performance of typical inland wharf structures in the western Yangtze River, including overhead slop wharf, frame wharf, gravity wharf, crane bridge wharf and related large handling equipment, finally proposes some anti-seismic design methods, measures and construction schemes for hydraulic structures of wharves, reservoir banks, large handling equipment.

This book can serve as reference for not only sci-tech personnel engaged in design, construction, supervision, inspection, testing, inspection and other work of wharf structures and large handling equipment, but also teachers and students of related specialties in colleges and universities, as well as staff members of scientific research institutes.

图书在版编目 (CIP) 数据

内河码头抗震技术 / 丁敏, 汪承志等著. —北京:
人民交通出版社股份有限公司, 2015.12
(长江黄金水道建设关键技术丛书)
ISBN 978-7-114-12630-7

I. ①内… II. ①丁… III. ①内河—码头—交通
运输建筑—防震设计—研究—中国 IV. ①TU248.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 274737 号

长江黄金水道建设关键技术丛书

书 名: 内河码头抗震技术
著 作 者: 丁 敏 汪承志 等
责任编辑: 任雪莲 张一梅
出版发行: 人民交通出版社股份有限公司
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 59757973
总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 11
字 数: 230 千
版 次: 2015 年 12 月 第 1 版
印 次: 2015 年 12 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-12630-7
定 价: 40.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

《交通运输建设科技丛书》

编审委员会

主 任 庞 松

副主任 洪晓枫 袁 鹏

委 员 郑代珍 林 强 付光琼 石宝林 张劲泉 赵之忠
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

《长江黄金水道建设关键技术丛书》

审定委员会

主 任 赵冲久

副主任 胡春宏

委 员 (按姓氏笔画排列)

王义刚 王前进 王 晋 仇伯强 田俊峰 朱汝明

严新平 李悟洲 杨大鸣 张 鸿 周冠伦 费维军

姚育胜 袁其军 耿 红 蒋 千 窦希萍 裴建军

《长江黄金水道建设关键技术丛书》

主要编写单位

交通运输部长江航务管理局

交通运输部水运科学研究院

南京水利科学研究院

交通运输部长江口航道管理局

交通运输部天津水运工程科学研究院

中交第二航务工程勘察设计院有限公司

武汉理工大学

重庆交通大学

长江航道局

长江三峡通航管理局

长江航运信息中心

上海河口海岸科学研究中心

《长江黄金水道建设关键技术丛书》

编写协调组

组 长 杨大鸣 (交通运输部长江航务管理局)

成 员 高惠君 (交通运输部水运科学研究院)

裴建军 (交通运输部长江航务管理局)

丁润铎 (人民交通出版社股份有限公司)

总 序

近年来，交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署，重点改革力度加大，结构调整积极推进，交通运输科技攻关不断取得突破，促进了交通运输持续快速健康发展。目前，我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用，而且为改善民生、促进社会和谐做出了积极贡献。

长期以来，部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力，坚持科技工作面向需求，面向世界，面向未来，加大科技投入，强化科技管理，推进产学研相结合，开展重大科技研发和创新能力建设，取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力，在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术，特大跨径桥梁建设技术，特长隧道建设技术，深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新，获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果，显著提升了行业自主创新能力，有力支撑了重大工程建设，培养和造就了一批高素质的科技人才，为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时，部积极探索科技成果推广的新途径，通过实施科技示范工程，开展材料节约与循环利用专项行动计划，发布科技成果推广目录等多种方式，推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化，营造了交通运输发展主动依靠科技创新，科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》，是深入实施创新驱动战略和科技强交战略，推进科技成果公开，加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域，将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富，有助于集中展示和推广交通运输建设重大科技成果，传承科技创新文化，并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大

交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！

王 昌 顺

2014 年 7 月 28 日

序

(为《长江黄金水道建设关键技术丛书》而作)

河流,是人类文明之源;交通,推动了人类不同文明的碰撞与交融,是经济社会发展的重要基础。交通与河流密切联系、相伴而生。在古老广袤的中华大地上,长江作为我国第一大河流,与黄河共同孕育了灿烂的华夏文明。自古以来,长江就是我国主要的运输大动脉,素有“黄金水道”之称。水路运输在五大运输方式中,因成本低、能耗少、污染小而具有明显的优势。发展长江航运及内河运输符合我国建设资源节约型、环境友好型社会以及可持续发展战略的要求。目前,长江干线货运量约 20 亿 t,位居世界内河第一,分别为美国密西西比河和欧洲莱茵河的 4 倍和 10 倍。在全面深化改革的关键期,作为国家重大战略,我国提出“依托长江黄金水道,建设长江经济带”,长江黄金水道又将被赋予新的更高使命。长江经济带覆盖 11 个省(市),面积 205.1 万 km²,约占国土面积的 21.4%。相信长江经济带的建设将为“黄金水道”带来新的发展机遇,进一步推动我国水运事业的快速发展,也将为中国经济的可持续发展提供重要的支撑。

经过 60 余年的努力奋斗,我国的内河航运不断发展,内河航道通航总里程达到 12.63 万 km,航道治理和基础设施建设不断加强,航道等级不断提高,在我国的社会经济发展中发挥了不可估量的作用。长江口深水航道工程的建成和应用,标志着我国水运科学技术水平跻身国际先进行列。目前正在开展的长江南京以下 12.5m 深水航道工程的建设,积累了更多的先进技术和经验。因此,建设长江黄金水道具有先进的技术积累和充足的实践经验。

《长江黄金水道建设关键技术丛书》围绕“增强长江运能”这一主题,从前期规划、通航标准、基础研究、航道治理、枢纽通航,到码头建设、船型标准、安全保障与应急监管、信息服务、生态航道等方面,对各项技术进行了系统的总结与著述,既有扎实的理论基础,又有具体工程应用案例,内容十分丰富。这套丛书是行业内集体智慧之力作,直接参与编写的研究人员近 200 位,所依托课题中的科研人员超过 1 000 位,参与人员之多,创我国水运行业图书之最。长江黄金水道的建设是世界级工程,丛书涉及的多项技术属世界首创,技术成果总体处于国际先进水平,其中部分成果处于国际领先水平。原创性、知识性

和可读性强为本套丛书的突出特点。

该套丛书系统总结了长江黄金水道建设的关键技术和重要经验，相信该丛书的出版，必将促进水运科学领域的学术交流和技術传播，保障我国水路运输事业的快速发展，也可为世界水运工程提供可资借鉴的重要经验。因此，《长江黄金水道建设关键技术丛书》所总结的是我国现代水运工程关键技术中的重大成就，所体现的是世界当代水运工程建设的先进文明。

是为序。

南京水利科学研究所所长
中国工程院院士
英国皇家工程院外籍院士

张健云

2015年11月15日

依托黄金水道建设长江经济带，主动适应经济发展新常态已上升为国家战略。研究长江黄金水道关键技术是推动长江经济带发展的关键，特此推出长江黄金水道建设关键技术丛书。《内河码头抗震技术》为该丛书之一。

近年来，地震频发，其破坏力巨大，给人民的生命财产造成了很大的损失，人们开始关注各种设施的抗震能力，提高设防等级，加固现有设备设施。而港口码头作为现代物流的集散地，是社会经济发展的关键环节，其一旦在地震中遭到破坏，造成的损失以及对经济的影响是非常严重的，历史上多次大地震都对港口码头造成了不同程度的破坏。我国是一个多地震的国家，因此研究码头抗震技术显得尤为重要。

本书结合西部交通建设科技项目“地震对内河港口的影响和抗震技术研究”（2009 328 222 101）的研究成果，综合国内主要港口码头地震设计成果，全面系统地介绍了内河港口码头的抗震设计方法及其措施。本书共分9章，第1章主要介绍了地震的基本常识，第2章介绍了我国港口概况及其地震烈度情况，第3章介绍了历史上发生的国内外大地震对港口码头造成的破坏情况及其成因，第4~7章介绍了内河码头结构抗震设计方法、抗震性能、抗震措施及其施工方案，第8、9章介绍了内河码头装卸设备的抗震计算方法、抗震性能及抗震措施。

本书由交通运输部水运科学研究院丁敏和重庆交通大学汪承志等著。参加本书撰写工作的有：交通运输部水运科学研究院丁敏（第1章、第8章8.8）、罗建平（第2章2.1~2.3）、邹云飞（第8章）、李益琴（第9章9.2~9.3）、俞晓红、谢岗（第4章4.1、4.2）、费海波、张德文（第9章9.1）、张鹏、赵澍（第3章3.6~3.7），重庆交通大学汪承志（第4章4.3~4.4、第5、6章）、王多银（第3章3.1~3.2、3.4~3.5、3.9~3.10、第7章），四川省交通运输厅交通勘察设计研究院郝岭、李跃卿、吴礼国（第3章3.3）。

本书主要应用于码头结构和码头装卸设备的抗震建设领域，适用于内河港口和沿海港口，可用于指导港口抗震建设，提高港口防震减灾的能力。

本书得到了交通运输部和交通运输部水运科学研究院的大力支持，有关专家对本书研究成果提出了宝贵的意见，在此对以上单位和人员均表示感谢。

由于作者水平所限，书中不当及错误之处在所难免，诚请读者指正。

作者

2015年7月

1 绪论	1
1.1 地震	1
1.2 我国地震带分布概况	4
1.3 码头抗震技术研究的意义	5
1.4 码头抗震技术的现状	6
2 我国内河码头地震烈度概况	9
2.1 我国内河码头分布概况	9
2.2 我国内河码头地震动参数区划	20
2.3 内河码头抗震设计	23
3 地震对港口码头的破坏形式及成因	25
3.1 概述	25
3.2 唐山大地震对港口码头结构的破坏状况	25
3.3 汶川地震对港口码头结构及类似结构的破坏状况	32
3.4 台湾大地震对港口码头结构的破坏及成因分析	40
3.5 日本阪神地震对港口码头的破坏状况	42
3.6 智利大地震对港口码头结构的破坏情况	44
3.7 日本“3·11”大地震对港口码头的破坏	47
3.8 印尼大地震对港口码头结构的破坏及成因分析	48
3.9 地震作用下港口码头的破坏形式及其成因	48
3.10 提高码头抗震能力的措施分析	50
4 码头结构抗震计算方法	53
4.1 结构动力学的基本理论	54
4.2 有限元分析的基本理论	58
4.3 结构动力分析的计算方法	60
4.4 结构动力的求解	63
5 内河码头结构抗震技术	65
5.1 概述	65
5.2 架空斜坡道码头抗震分析	66
5.3 架空直立式框架码头抗震分析	76

5.4	桥吊码头结构抗震分析	83
5.5	重力式码头抗震分析	88
6	西部内河码头结构抗震措施及实例分析	94
6.1	框架（架空直立式或框架墩式）码头结构抗震薄弱环节与应对措施	94
6.2	架空斜坡道码头结构抗震薄弱环节与应对措施	95
6.3	桥吊码头结构抗震薄弱环节与应对措施	96
6.4	重力式码头抗震薄弱环节与应对措施	96
6.5	内河码头结构抗震应对措施实际工程应用	97
7	内河码头抗震措施设计施工	107
7.1	概述	107
7.2	设计主要参数说明	107
7.3	抗震设计原则	109
7.4	抗震的场地条件	110
7.5	地基承载力和岸坡稳定计算	112
7.6	地震作用与结构抗震计算	114
7.7	码头结构抗震措施设计	115
7.8	码头结构抗震设计构造细节	117
8	内河码头装卸设备地震荷载计算方法	121
8.1	起重机荷载组合	121
8.2	日本规范中关于起重机地震荷载的规定	123
8.3	俄罗斯规范中关于起重机地震荷载的规定	131
8.4	美国规范中关于起重机地震荷载的规定	131
8.5	我国规范中关于起重机地震荷载的规定	133
8.6	其他国家关于起重机地震荷载的规定	134
8.7	我国其他行业抗震规范	134
8.8	不同国家、不同行业地震荷载计算方法比较	138
8.9	针对我国港口起重机的地震荷载计算方法研究	139
9	内河码头设备抗震分析实例	143
9.1	码头主要装卸设备概述	143
9.2	码头装卸设备抗震性能分析	146
9.3	内河码头装卸设备抗震措施	154
	参考文献	156
	索引	158

1.1 地震

1.1.1 地震的定义

何为地震？广义而言，地震是地球表层的震动。根据震动性质的不同，地震可分为三类：天然地震、人工地震和脉动。狭义而言，人们平时所说的地震是指能够形成灾害的天然地震。

地震又称地动、地震动，是地壳快速释放能量的过程中造成的震动，期间会产生地震波的一种自然现象，是自然灾害中危害最大的灾难之一。地震一般发生在地壳之中。地壳内部在不停地变化，由此而产生力的作用（即内力作用），使地壳岩层变形、断裂、错动，于是便发生地震。地震发生频率频繁，资料显示，地球上每年约发生 500 多万次地震，即每天要发生上万次地震，但绝大多数地震太小或太远以至于人们感觉不到；真正能对人类造成严重危害的地震每年大约有一二十次；能造成特别严重灾害的地震每年大约有一两次。人们感觉不到的地震，须用地震仪才能记录下来；不同类型的地震仪能记录不同强度、不同远近的地震。目前，世界上运转着数以千计的各种地震仪器日夜监测着地震的动向。

地震开始发生的地点称为震源，震源正上方的地面称为震中（图 1-1）。破坏性地震的地面震动最烈（激烈）处称为急震区，急震区往往也就是震中所在的地区。地震常常造成严重人员伤亡，不仅会引起火灾、水灾、有毒气体泄漏、细菌及放射物质扩散，还会造成海啸、滑坡、崩塌、地裂缝等次生灾害。

1.1.2 地震的类型

（1）按地震发生的位置分类

①板缘地震（板块边界地震）：发生在板块边界上的地震。环太平洋地震带上绝大多数地震属于此类。

②板内地震：发生在板块内部的地震。如欧亚大陆内部（包括中国）的地震多属此类。板内地震除与板块运动有关，还要受局部地质环境的影响，其发震的原因与规律比板缘地震更复杂。

③火山地震：由火山爆发时所引起的能量冲击而产生的地壳震动。

（2）根据震动性质的不同分类

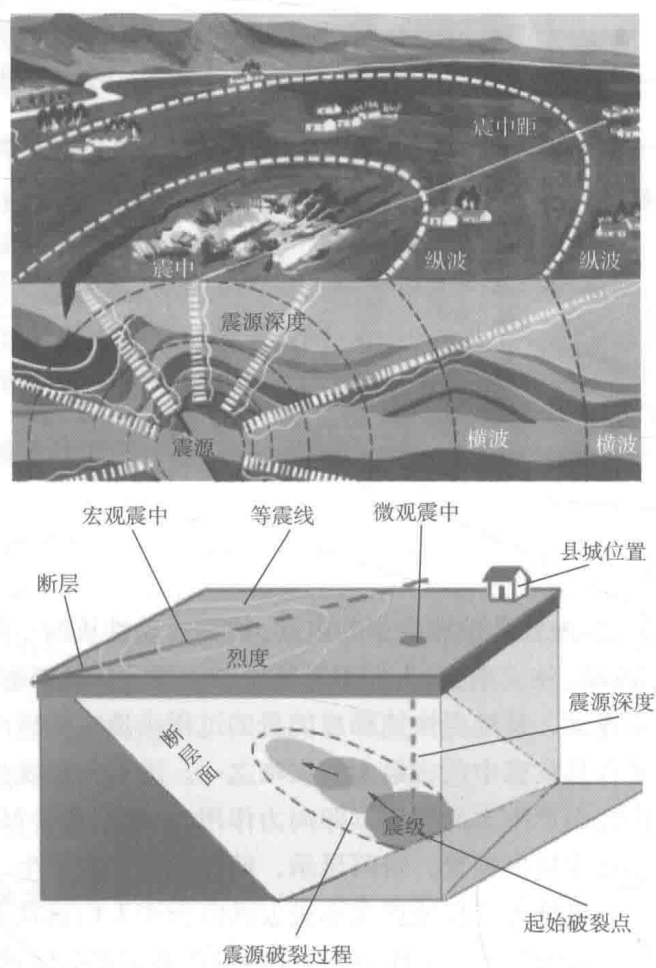


图 1-1 地震示意图

- ①天然地震：指自然界发生的地震现象。
 - ②人工地震：由爆破、核试验等人为因素引起的地面震动。
 - ③脉动：由于大气活动、海浪冲击等原因引起的地球表层的经常性微动。
- (3) 按地震形成的原因分类
- ①构造地震：由于岩层断裂，发生变位错动，在地质构造上发生巨大变化而产生的地震，所以叫做构造地震，也叫断裂地震。这类地震发生的次数最多，占全球地震总数的90%以上，破坏力也最大。
- 构造地震又可分为以下几种：
- A. 孤立型地震：有突出的主震，余震次数少、强度低；主震所释放的能量占全序列的99.9%以上；主震震级和最大余震相差2.4级以上。
 - B. 主震—余震型地震：主震非常突出，余震十分丰富；最大地震所释放的能量占全序列的90%以上；主震震级和最大余震相差0.7～2.4级。
 - C. 双震型地震：一次地震活动序列中，90%以上的能量主要由发生时间接近、地点接近、大小接近的两次地震释放。

D. 震群型地震：有两个以上大小相近的主震，余震十分丰富；主要能量通过多次震级相近的地震释放，最大地震所释放的能量占全序列的 90% 以下；主震震级和最大余震相差 0.7 级以下。

②火山地震：由于火山作用、岩浆活动、气体爆炸等引起的能量冲击而产生的地壳震动。火山地震有时也相当强烈。但这种地震所波及的地区通常只限于火山附近的几十公里范围内，而且发生次数较少，只占地震总次数的 7% 左右，所造成的危害较轻。

③陷落地震：由于地层陷落引起的地震，如地下溶洞支撑不住顶部的重量时，就会塌陷引起震动。这种地震发生的次数更少，只占地震总次数的 3% 左右，震级很小，影响范围有限，破坏也较小。

④诱发地震：在特定的地区因某种地壳外界因素诱发（如陨石坠落、水库蓄水、深井注水）而引起的地震。

⑤人工地震：地下核爆炸、炸药爆破等人为引起的地面震动称为人工地震。人工地震是由人为活动引起的地震，如工业爆破、地下核爆炸造成的震动。

(4) 按震源深度进行分类

①浅源地震：震源深度小于 60km 的地震，大多数破坏性地震是浅源地震。

②中源地震：震源深度为 60 ~ 300km。

③深源地震：震源深度在 300km 以上的地震，到目前为止，世界上记录到的最深地震的震源深度为 786km。

一年中，全球所有地震释放的能量约有 85% 来自浅源地震，12% 来自中源地震，3% 来自深源地震。

(5) 按地震的远近分类

①地方震：震中距小于 100km 的地震。

②近震：震中距为 100 ~ 1 000km 的地震。

③远震：震中距大于 1 000km 的地震。

(6) 按震级大小分类

①弱震：震级小于 3 级的地震。

②有感地震：震级在 3.0 ~ 4.5 级，人能感觉到的地震。

③中强地震：震级大于 4.5 级，小于 6 级的地震。

④强震：震级大于 6.0 级的地震，其中又把震级大于 6.0 级、小于 8.0 级的地震称为强烈破坏性地震，大于 8.0 级的地震称为巨大地震。

(7) 按破坏程度分类

①一般破坏性地震：造成数人至数十人死亡，或直接经济损失在 1 亿元以下（含 1 亿元）的地震。

②中等破坏性地震：造成数十人至数百人死亡，或直接经济损失在 1 亿元以上（不含 1 亿元）、5 亿元以下的地震。

③严重破坏性地震：人口稠密地区发生的 7 级以上地震、大中城市发生的 6 级以上地震，或者造成数百至数千人死亡，或直接经济损失在 5 亿元以上、30 亿元以下的