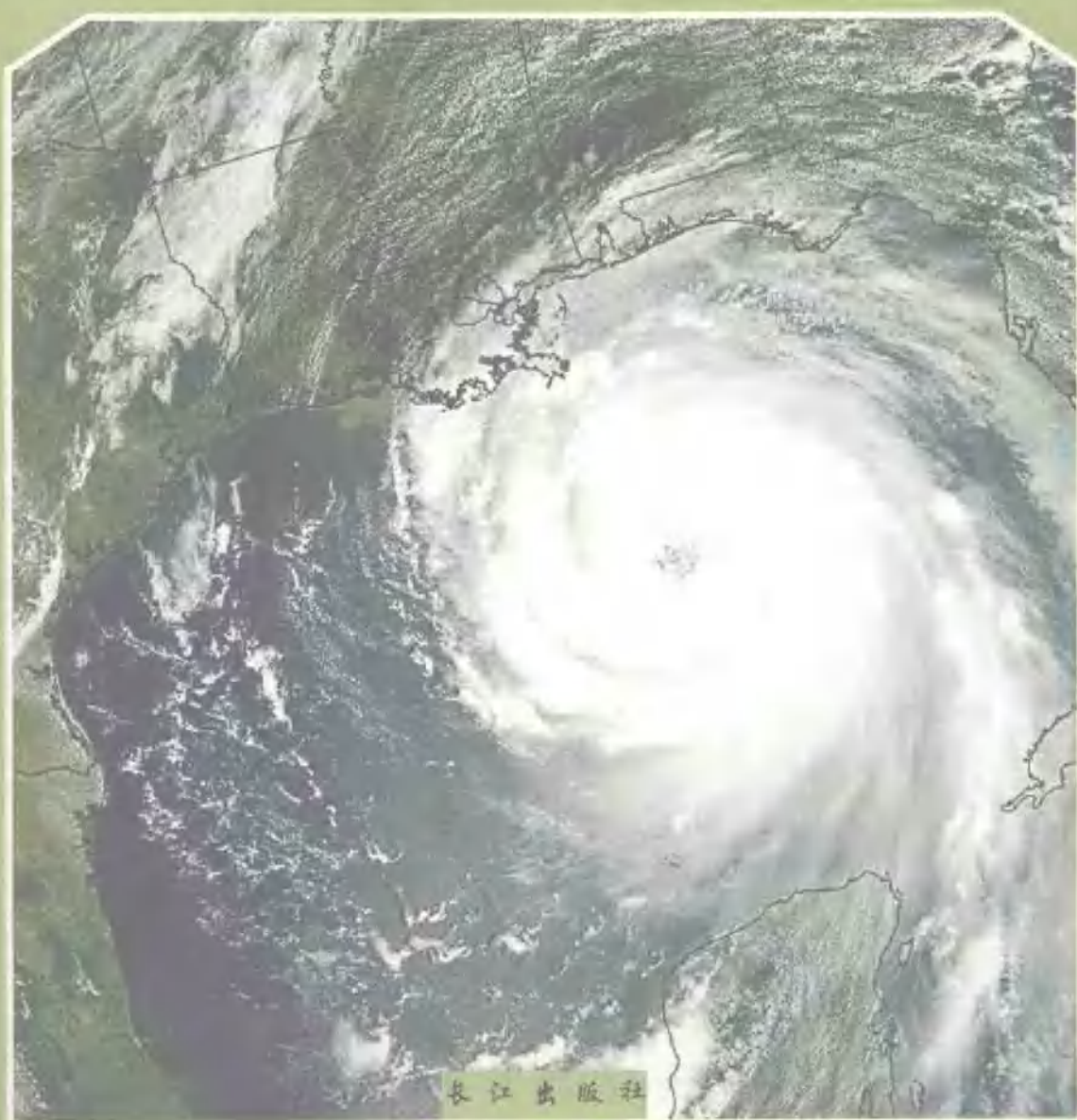


8.29 “卡特里娜” 飓风

新奥尔良堤防系统性能表现的初步研究

吕娟 王义成等 编译

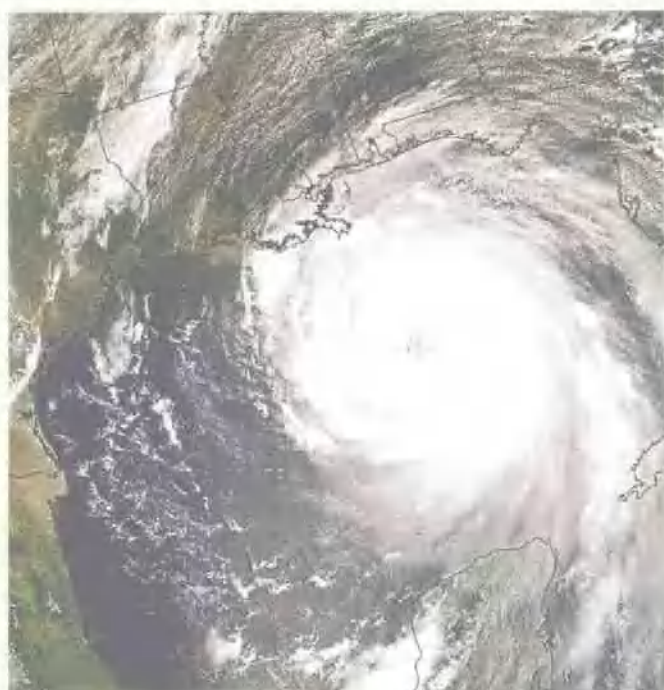


长江出版社

NO. 1「卡特里娜」飓风

新奥尔良堤防系统性能表现的初步研究

吕娟 王义成等 编译



长江出版社

图书在版编目(CIP)数据

8.29“卡特里娜”飓风——新奥尔良堤防系统性能表现的初步研究/吕娟,王义成等编译. —武汉:长江出版社,2006

ISBN 7-80708-122-8

I. 8… II. 吕… III. 堤防—防洪工程—研究—新奥尔良 IV. TV871.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 065362 号

8.29“卡特里娜”飓风

吕娟 王义成等 编译

责任编辑:赵冕 王振

装帧设计:刘斯佳

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail:cjpub@vip.sina.com

电 话:(027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉精一印刷有限公司

规 格:787mm×1092mm 1/16

7.125 印张 198 千字

版 次:2006 年 7 月第 1 版

2006 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-80708-122-8/TV · 37

定 价:38.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)



前言

2005年8月底,“卡特里娜”飓风袭击了美国密西西比、佛罗里达、阿拉巴马等九个州,受灾最严重的是路易斯安那州的新奥尔良市,造成了巨大的经济损失和人员伤亡,成为美国历史上最严重的自然灾害之一。2005年9月,加利福尼亚大学伯克利分校、美国土木工程师学会(ASCE)的研究小组以及众多工程师和科学家组成了调研小组,对新奥尔良市堤防系统在飓风中的表现进行了调研,取得了非常有价值的调研成果,形成了该调研报告。这份调研报告汇集了“卡特里娜”飓风之后,新奥尔良地区防洪系统性能相关的容易消失的数据和资料,并对多处堤防溃决事故发生的可能原因进行了初步评价,这对我国防御台风、洪水等灾害具有重要的参考价值,因此,我们组织有关人员对其进行了翻译,并正式出版发行,以期对我国的防洪建设有所借鉴和启发。限于时间和水平有限,不当之处在所难免,请广大读者批评指正。

本书编译者分工:摘要、第1章王义成、屈艳萍;第2章、第3章王章立、苏志诚;第4章苏志诚;第5章屈艳萍;第6章吴玉成;第7章、第8章姚文广、吴玉成;吕娟负责全书统稿;王义成负责全书审校。

编译者
2006年3月



“卡特里娜”飓风之后，工程师和科学家们马上组建了几个研究小组，展开了一系列的现场调研工作。本报告提交了现场调研的结果，并依此来研究新奥尔良地区防洪系统的性能。该调研工作的主要目的是及时掌握与防洪系统性能相关的容易消失的数据和资料。

初期现场调研工作持续了约两周半时间，即从2005年9月28日至10月15日。至于现场调研起始日期的确定，主要是均衡考虑了以下两方面因素：一方面是要考虑在紧急救助措施破坏或模糊现场之前，收集到重要的、容易消失的资料；另一方面是要确保资料收集工作不会对紧急措施、安全通道及后勤等工作的开展造成干扰。对于一些重要信息，调研小组有好多次是在紧急救助措施破坏现场之前的几天甚至几小时才赶来调查的。

由“卡特里娜”飓风引发的风暴潮，导致了大量的堤防决口，随后又致使新奥尔良市区约75%的地区遭受了洪水灾害。大部分堤防或防洪墙溃决是由于洪水漫顶所致，这是因为当风暴潮水位上升到防洪堤或防洪墙的顶部时，对堤防或防洪墙产生了严重的侵蚀或冲刷破坏，随后导致溃决事故的发生。

新奥尔良洪水防御系统东部的洪水漫顶是最为严重的，因为Borgne湖水先向西流至新奥尔良地区，尔后，沿着密西西比河下游河段继续向南流

动。在这些地区，严重的洪水漫顶和洪水侵蚀导致了大量溃决事件的发生。²³在内港航运运河（IHNC）及密西西比河出海口（MRGO）河道沿岸地区，洪水漫顶虽不至于那么严重，但也造成了侵蚀和堤防溃决事故。现场调查表明，除去一些地段发生了轻微的洪水漫顶或海浪溅蚀外，庞恰特雷恩湖沿岸大部分防洪堤很少甚至没有发生洪水漫顶事故。在新奥尔良东部防洪区的西北角（靠近Lakeside机场），发生了一处堤防溃决事故。继续往西，直至奥尔良东岸运河区，在第17大街运河和伦敦大道运河沿岸，发生了3处堤防溃决事故。据观测资料表明：当水位低于运河沿岸防洪墙顶部时，溃决事故就已经发生了；我们调查人员认为这3处堤防溃决事故可能是由于堤防基础遭受破坏而导致的。此外，在伦敦大道运河第四个堤防溃决段，观测到侧向位移、渗坑及砂沸等溃决前兆。

本报告提供了有关新奥尔良防洪系统性能的初步观测资料和结果，并对多处堤防溃决事故发生的可能原因进行了初步评价。大部分堤防溃决事件是由于洪水漫顶及伴随其后的洪水侵蚀所致，但是，有3处较为严重的溃决事故是由于堤身或堤基自身丧失稳定性所导致的。值得一提的是，如果在最初的设计和建造阶段能够增添或者改进一些概念上简单的细节，那么，那些因洪水漫顶而发生溃决的防洪堤的性能可能会更好一些。

为了让新奥尔良防洪系统能够抵御将来的大洪水，一些主要的修复和重建工程正在进行。下一次的飓风季节将从2006年6月开始。有关堤防系统的重建和修复工作的初步评价是建立在调查研究的基础之上的，故理由是非常充分的。此外，针对正在进行的防洪系统修复工作，这份初步报告也提出了一些建议。为了确保堤防系统能够顺利应对下一次飓风季节的到来，本报告还对防洪系统在“卡特里娜”飓风中的性能进行了评价，以便能够从中汲取教训，并予以改善。

目前，有关防洪系统在此次灾难性事件中的性能表现以及如何提高系统可靠性程度、安全防御等级等研究也正在进行之中。衷心地希望这些研究结果能够让我们对“卡特里娜”飓风有个清楚的认识和评价，同时，也希望这次的教训不仅仅对新奥尔良地区，更是对全国乃至全世界范围防洪系统的改善都起到借鉴作用。



目录



第1章 概述

- 1.1 调研工作简介/1
- 1.2 “卡特里娜”飓风/2
- 1.3 新奥尔良防洪系统简介/2
- 1.4 “卡特里娜”飓风中防洪系统的性能/8
- 1.5 报告的总体结构/14

第2章 奥尔良东岸（商业区）防洪保护区

- 2.1 概况/15
- 2.2 第17大街运河决口/17
- 2.3 伦敦大道运河决口及事故地段/26
- 2.4 内港航运运河（IHNC）西岸防洪系统性能/35





第3章 新奥尔良东部防洪保护区

- 3.1 概况/41
- 3.2 Lakefront机场/42
- 3.3 机场以东的湖滨区/43
- 3.4 “I”形防洪墙失事——近岸内航道(IWW)和密西西比河出海口(MRGO)/46
- 3.5 防洪土堤——西面和南面/50
- 3.6 其他的过渡连接问题——内港航运运河(IHNC)/52



第4章 下游第九区和圣伯纳德教区附近的防洪保护区

- 4.1 概况/53
- 4.2 内港航运运河东岸的南端决口(下游第九区)/55
- 4.3 内港航运运河东岸的北端决口(下游第九区)/60
- 4.4 近岸内航道/密西西比河出海口 Bayou Bienvenue 闸门/63
- 4.5 密西西比河出海口, Bayou Dupree和圣伯纳德教区东北部/68

第5章 佩雷克麦恩区

- 5.1 概况/73
- 5.2 Pointe a la Hache镇/75



第6章 新奥尔良防洪系统/79



第7章 受“卡特里娜”飓风影响的新奥尔良堤防系统的地面LIDAR影像研究

- 7.1 概况/85
- 7.2 研究方法/86
- 7.3 数据覆盖区域：在新奥尔良地区的堤防决口处进行LIDAR扫描/90
- 7.4 LIDAR影像处理/94
- 7.5 利用LIDAR数据分析堤防变形的实例/94
- 7.6 总结/101



第8章 调研成果总结

- 8.1 研究成果总结/102
- 8.2 关于重建的建议/104

参考文献/106

第1章 概述

1.1 调研工作简介

“卡特里娜”飓风之后,工程师和科学家们马上组建了几个研究小组,展开了一系列的现场调研工作。本报告提交了现场调研的结果,并依此来研究新奥尔良地区防洪系统的性能以及飓风所引起的洪水灾害。该调研工作的主要目的是及时掌握与防洪系统性能相关的容易消失的数据和资料,以防其在正在进行的紧急修复工作中丢失。

为了能在可利用的宝贵的时间内获取尽可能多的数据和资料,几个独立的调研小组联合起来共同进行研究。参与此项调查研究的小组有:加利福尼亚大学伯克利分校的调研小组,该小组受美国国家科学基金会(NSF)资助;美国土木工程师学会(ASCE)的地质研究所和海岸、海洋、港口及河流研究所组成的调研小组。来自路易斯安那州立大学飓风研究中心(LSU/HRC)的调研小组也参与了第一周的现场调查。此外,在现场调查过程中,这些调研小组还得到了来自工程研发中心(ERDC)美国陆军工程兵团(USACE)堤坝调查小组成员的陪同和协助。各调研小组之间共享各自的数据资料和研究成果,并在其中融入了各自的智慧和才能,这让大家受益匪浅。

初期现场调研工作持续了约两周半时间。刚开始,由USACE/ERDC和ASCE地质研究所的研究人员展开调查工作,且分别于2005年9月26日和9月28日抵达现场。随后,从受NSF资助的加利福尼亚大学伯克利分校的研究小组、ASCE地质研究所和海岸、海洋、港口及河流研究所各抽出4名成员,组成一个12人的调研小组,于2005年10月1日至10月8日进行了实地调查。在接下来的10月8日至10月15日的调查中,又有2名ASCE地质研究所成员和5名受NSF资助的研究小组成员加入到此调研小组之中来。在现场调查中,USACE/ERDC的成员一直协同NSF和ASCE的研究人员进行调查,并承担了后勤保障工作。此外,LSU/HRC的成员也协助进行了现场调查,并且对水位的测定、风暴潮的预测等提供了一些重要见解。

现场调研起始日期的确定,主要是均衡考虑了以下两方面因素:一方面是考虑抢在紧急救助措施破坏或模糊信息之前,收集到重要的、容易消失的资



料;另一方面是确保资料收集工作不会对紧急措施、安全通道及后勤等工作的开展造成干扰。值得庆幸的是,主力小组总是能及时赶到,往往是调研小组只到现场调查几天,甚至几小时之后,一些重要数据便被正在进行的紧急修护工作扰动了。在许多事故现场,就在充分调查可以初步确定防洪堤崩溃的发生机制时,重要证据却在一天之后被掩盖并破坏了,以致无法确认事故的最终原因。尽管紧急修复工作正在紧锣密鼓地开展之中,调研小组却有机会深入现场进行实地调查,大家对此深怀感激。

1.2 “卡特里娜”飓风

图 1-1 和图 1-2 所示的是“卡特里娜”飓风的风眼路径。“卡特里娜”飓风于 2005 年 8 月 25 日在佛罗里达半岛登陆,时为 1 级飓风。随后飓风进入墨西哥湾,在温暖的每水中积蓄能量,并在 8 月 28 日(星期六)最终增强为 5 级飓风后重返陆地,于 8 月 29 日(星期一)登陆新奥尔良东部地区(如图 1-2 所示)。在 8 月 29 日清晨登陆之前,飓风减为 4 级。



图 1-1 新奥尔良的位置及“卡特里娜”飓风的风眼路径示意图



图 1-2 “卡特里娜”飓风在新奥尔良登陆后的风眼跟踪轨迹

尽管这场飓风风眼只是轻微地掠过新奥尔良东部地区,但却使新奥尔良地区及其防洪系统承受了异常风荷载和风暴潮(及海浪)。

1.3 新奥尔良防洪系统简介

图 1-3 为研究区示意图。新奥尔良是一个多面环水的城市,南面濒临密西西比河,北面毗邻庞恰特雷恩湖,东面与 Borgne 湖接壤。此外,Borgne 湖与新奥尔良的发达区之间是一大片开阔的沼泽地,且 Borgne 湖与墨西哥湾水域直接相连。在新奥尔良市的东南面,密西西比河先向南蜿蜒,流经三角洲后注入墨西哥湾。



图 1-3 新奥尔良地区堤防系统的性能研究区域

新奥尔良洪水防御系统是由一系列的防洪保护区或“圩坑”构成的,且每一片圩坑都有各自的环形堤防系统,同时还建有大型水泵站。“Polder”为荷兰语(即我国的圩坑,译者注),意为由环形堤坝保护的地势很低的地区,用在此处较为贴切。

图 1-4 和图 1-5 所示为四片主要的圩坑,或称防洪保护区,它们共同构成了新奥尔良洪水防御系统。此外,还有一些小型的堤防系统,但本研究主要针对的是由美国陆军工程兵团承建的四大主要的堤防系统。图 1-4 和图 1-5 中标明了本研究所涉及的堤防溃决位置和严重受损(未出现决口)部位。图中,实心蓝星表示堤防溃决位置,实心红星表示堤防严重受损或出现较小决口的部位,黄色星表示飓风过后为方便洪水淹没区排水而故意挖开的缺口。由 US-ACE(2005)提供的原始图中已含有许多标注,在这次现场调研之后,又在其上添加了一些星形,如图 1-4 所示。

奥尔良东岸区(Orleans East Bank)为第一大防洪保护区,包括商业繁华区、法国区和花园区,如图 1-4 所示。奥尔良东岸区北靠庞恰特雷恩湖,南邻密西西比河,东接内港航运运河(当地也称“工业运河”)。而且,内港航运运河将奥尔良东岸区与其东北方向的新奥尔良东区(New Orleans East)以及正东方向的第九区(the Ninth Ward)和圣伯纳德区(St. Bernard Parish)分隔开来。三大排水渠从奥尔良东岸区北面的庞恰特雷恩湖一直延伸至该防洪保护区内,并将此保护区大型泵站抽出的水向北排入该湖。三大排水渠,自西向东依次是第 17 大街运河、奥尔良大道运河和伦敦大道运河。

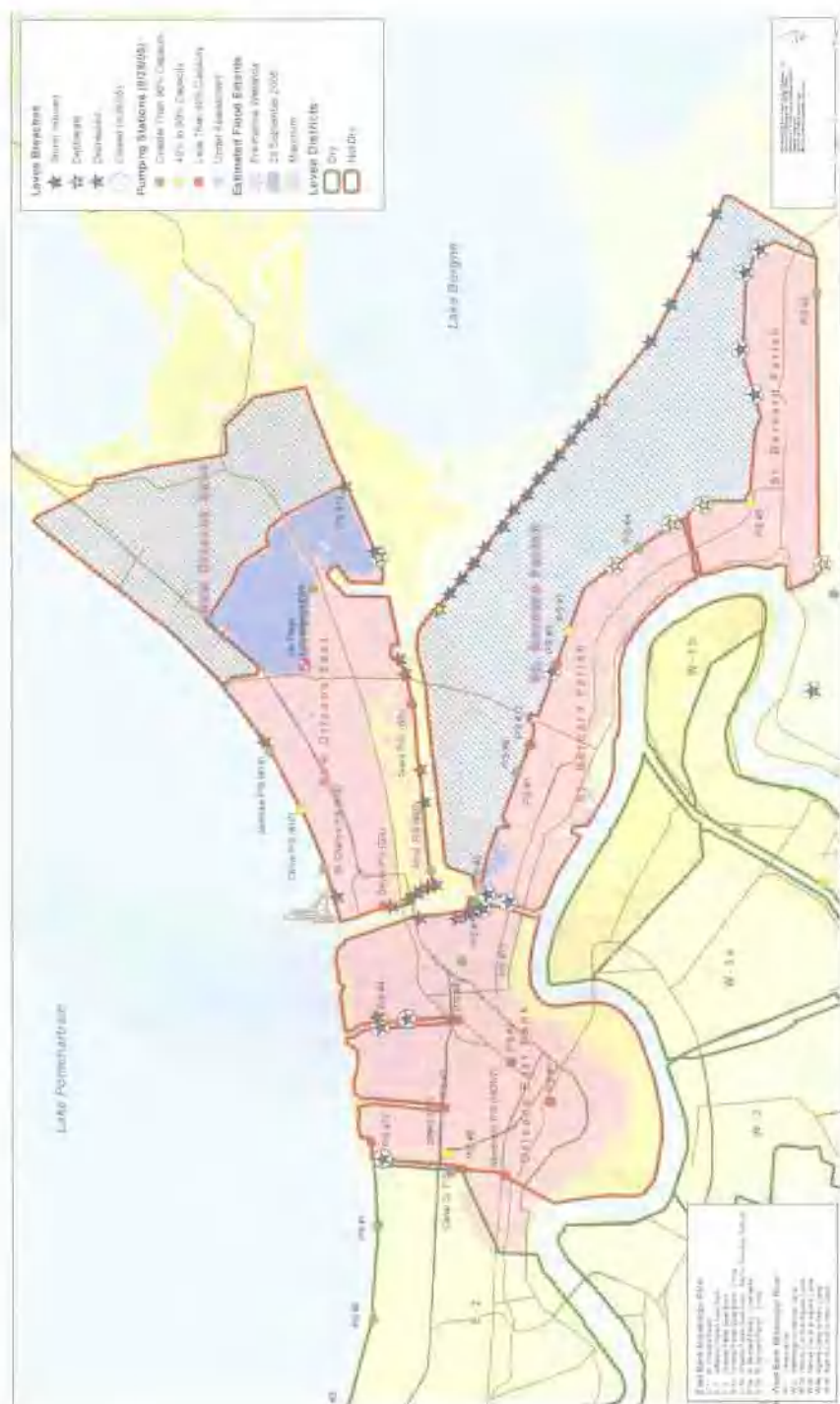


图 1-1 新奥尔良地区主要防洪保护区或圩垸区的重要特征示意图
(在 USACE 所提供的图的基础上进行了修正, 2005)



图 1-5 密西西比河下游的防洪保护区示意图(在佩雷克莱恩区内)

来源于:USACE,2005

新奥尔良东区(New Orleans East)为第二大防洪保护区,如前面图 1-4 所示。该区北靠庞恰特雷恩湖,西邻内港航运运河,南沿密西西比河出口

8.29「卡特里娜」飓风——新奥尔良堤防系统性能表现的初步研究 / 61

(MRGO), 且与海湾近岸内航道(GIW)在此会合。此外, Borgne 湖也在该区的偏东南方向。该区的东部现为大片未开发的沼泽地, 位于堤防系统之内, 且堤防系统之外为另一片沼泽地。

包括第九区和圣伯纳德区在内的两个区, 共同构成了第三大防洪保护区, 如前面图 1-4 所示。该保护区西邻内港航运运河, 北靠密西西比河出海口及海湾近岸内航道。在东北角, 密西西比河出海口向南蜿蜒(远离海湾近岸内航道), 形成一条东北方向的分界线。Borgne 湖位于该区的东侧, 密西西比河出海口和一条狭长的、未开发的沼泽地将湖与保护区分隔开来。居民区主要位于该保护区的南部和西部, 人口相当密集的第九区位于最西端, 圣伯纳德区几乎占据了整个南半部分。该区的南部和东南部均为开阔的沼泽地。东北部也是尚待开发利用的湿软沼泽地, 位于堤防系统之内。二级堤防系统将此沼泽地与位于商业区的第九区和圣伯纳德区分隔, 且由当地堤防管理委员会负责其运行和维护。

第四大防洪保护区是一条沿密西西比河的狭窄保护带, 如前面图 1-5 所示。此狭窄保护带, 不足一英里宽, 是由密西西比河沿岸及背对密西西比河的另一侧的堤防共同围成的, 任务主要是保护许多小型社区和一些公共设施及管道系统。此外, 这条保护带也为近海油田工作人员和运至墨西哥湾的石油输送提供了一个安全通道。本报告中, 此狭窄保护带被称之为“佩雷克麦恩”防洪保护区。

上述四大防洪保护区现有的环形堤防系统是 1965 年飓风“贝特西”侵袭后在美国陆军工程兵团监理下设计和修建的, 主要是提高已有堤坝的防御性能并修筑一些新的防洪墙。

1.4 “卡特里娜”飓风中防洪系统的性能

新奥尔良防洪系统, 是按其能够安全地抵御“标准设计飓风”所带来的风暴潮及浪涌来设计的。所谓“标准设计飓风”, 是指在新奥尔良附近地区迅速穿行的“典型”的 3 级飓风。然而, 实际上并不存在“典型的”飓风和由其引发的“典型”风暴潮。在整个防洪系统任何部位, 实际的风、浪及风暴潮荷载是一个与风暴位置、风速及风向、堤防走向、局部水体、渠道构造、近海等高线和植被覆盖度等相关的函数。当风暴不断移动时, 这些荷载随时间推移也不断地发生变化。

图 1-6 所示是 2005 年 8 月 28 日(即“卡特里娜”飓风登陆前一天)由路易斯安那州立大学飓风研究中心预测的风暴潮最高水位图。图中所示水位是当飓风风眼即将轻轻掠过新奥尔良东部时, 由一个数值模型计算得到的数据。不同部位的风暴潮水位的预测值和实际值均随着时间不断变化。图 1-6 所示的

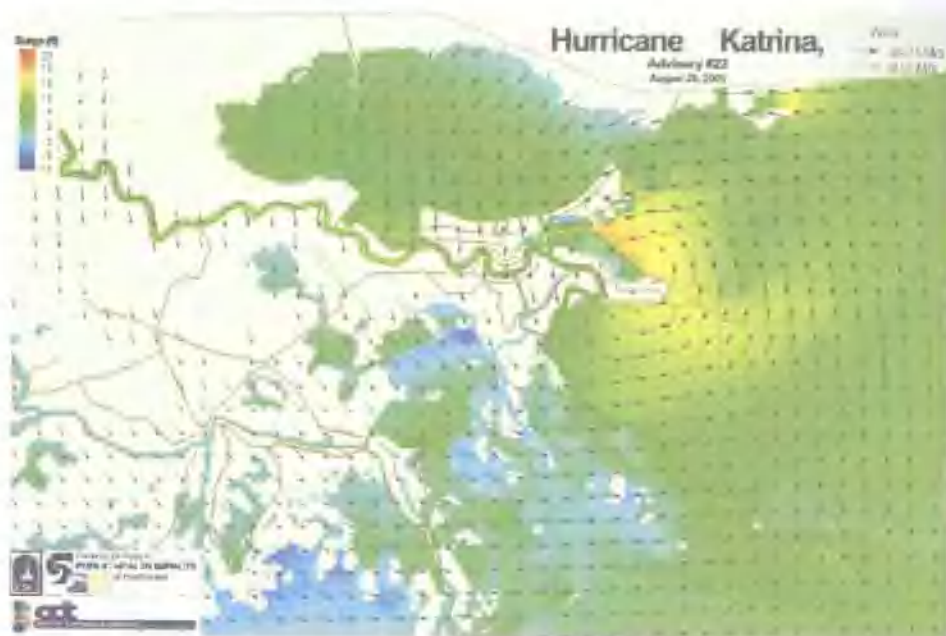


图 1-6 飓风风眼途经新奥尔良东部的邻近地区时,计算得到的风暴潮水位图
来源于:LSU 飓风研究中心,2005

值得注意的是,在整个历史发展过程中,新奥尔良地区堤防系统采用了不同的基准面作为参考高程。伴随着该地区持续的地面沉降,这一问题愈来愈复杂。由于时间所限,此次调查并没有考虑不同基准面间的差别。因此,本初步报告中提到的所有高程均视为近似高程,是以 NAVD 88 或“平均海平面”为标准进行折算后的海拔高程。

“卡特里娜”飓风从墨西哥海湾登陆新奥尔良,导致了沿岸大风暴潮的发生,致使佩雷克麦恩区沿密西西河下游的堤防发生多处洪水漫顶及决口,如前面图 1-5 所示。同时,由于 Borgne 湖与墨西哥湾直接相连,Borgne 湖的水位也相应地被风暴潮抬高了。

当飓风向北席卷新奥尔良东部地区时,逆时针方向的暴风形成了与预测相符的风暴潮,风暴潮向南涌向庞恰特雷恩湖的南岸。湖中水位迅速升高,但基本维持在沿湖堤防的堤顶高程之下。但在有些地方,尤其是沿新奥尔良东区

的海岸线一带,湖中水位几乎涨至沿湖堤防的堤顶,以至于发生中度的洪水漫顶(或至少是有风暴浪飞溅)及堤顶和内侧壁的侵蚀现象。在新奥尔良东区的西端附近,沿湖堤防就出现了一处决口。

然而,特大风暴潮是由于墨西哥湾的风暴潮抬高了 Borgne 湖中的水位所致。当风暴潮袭击新奥尔良西部时,湖水被风暴潮席卷至新奥尔良防洪系统的东翼,如前面图 1-6 所示。于是,形成了高 5.4~7.5 米(18~25 英尺)的风暴潮,沿着包括圣伯纳德区和第九区在内的第三大防洪保护区的东北边缘,风暴潮翻越堤防系统 1.5~3 米(5~10 英尺)高。有关淹没和水位变化时间表的调查正在进行之中。在此报告撰写之时,一些现场调研小组仍在继续工作,以确定更为准确的最高水位和风暴潮的发生、发展的时间。此外,已有足够的证据表明沿圣伯纳德区和第九区圩坑的东北边缘出现了大规模的漫顶现象,一扇船闸门的看守工人在工作站亲眼目睹了此处风暴潮的发生过程。风暴潮发生时,他撤退到了岗亭的瞭望塔,漂浮物朝着瞭望塔涌去。在此处,风暴潮水位高出堤防系统的堤顶至少有 1.5~3 米(5~10 英尺),这一数值与一些研究小组运用数值模型模拟得到的结果较为一致。

该地区的堤防多为土堤,且建筑材料比较粗劣,因而,洪水漫顶后很容易遭受大面积的洪水侵蚀。洪水漫过堤顶之后,先流入西南部尚未开发的沼泽地,然后漫过分隔该圩坑的发达区和未开发的沼泽地的二级堤防系统,致使其产生大量的侵蚀性裂口,如图 1-4 所示。

多方涌来的风暴潮汇集在一起,沿内港航运运河(IHNC)和密西西比河出海口(MRGO)形成了更大的风暴潮,这些风暴潮足以使这两条航道沿岸堤防系统的许多部位发生洪水漫顶。然而,相比于沿圣伯纳德圩坑东翼,此处的漫顶要轻微得多。虽然 IHNC 和 MRGO 沿岸的堤防系统发生了洪水漫顶,但绝大多数部位并没有出现决口,不过还是有一些决口使新奥尔良东区和第九区/圣伯纳德区两大区遭受了洪水淹没。

再向西,庞恰特雷恩湖沿岸的风暴潮虽然引起了水位的高涨,但还不足以漫过土堤之上的混凝土防洪墙墙顶。此防洪土堤,沿着第 17 大街运河、奥尔良大道运河及伦敦大道运河这三条排水渠而修建。然而,沿着这三条排水渠的堤防还是发生了 3 处决口,致使奥尔良东岸区圩坑发生大面积的洪水淹没事件(如前面图 1-4 所示)。

新奥尔良地区四大防洪保护区的大部分地区均遭受了灾难性的水淹。图 1-7 所示是内港航运运河沿岸堤防发生决口后,对附近的第九区造成的洪水淹没状况。新奥尔良的众多地区均遭受了类似的水淹,参见前面图 1-4 和