



钱塘江

涌潮的特性

林炳尧 编著



海洋出版社

钱塘江涌潮的特性

林炳尧 编著

海洋出版社

2008年·北京

图书在版编目(CIP)数据

钱塘江涌潮的特性/林炳尧编著. —北京:海洋出版社,2008.6
ISBN 978-7-5027-7009-9

I. 钱… II. 林… III. 钱塘江-涌潮-研究 IV. P731.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 054285 号

责任编辑:方 菁

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.25

字数:310 千字 定价:58.00 元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

序一

钱塘江涌潮是举世壮观的奇景,同时,也使钱塘江河口河槽大淤大冲,岸滩大涨大坍,给沿江人们生活带来很大威胁。2000 余年来,历朝历代都有人致力于涌潮的研究。汉唐时期的潮论、宋元时期的潮候理论、明清时期对涌潮与河床变化关系以及河口治理方略的研究都有辉煌的成就。钱塘江涌潮对于潮汐学、河口学、力学及工程学等学科的发展有着巨大的推动作用。

60 年前,我的学术生涯开始于钱塘江,一直对钱塘江涌潮有着极大兴趣。我曾从分析杭州湾具备涌潮形成条件的角度,探讨钱塘江涌潮发生的年代问题,研究结果发表在 1963 年《地理学报》和《海塘——中国海岸变迁和海塘工程》里面。

我高兴地看到,浙江省钱塘江管理局、浙江省河口海岸研究所(现为浙江省水利河口研究院)先后组织原型观测、实体模型实验、开展数值模型研究,对钱塘江涌潮的基本特性和涌潮对沿江建筑物作用等方面的认识都有相当大的进步。

这本书就是近年部分工作的总结。从潮波变形的角度,分析涌潮形成和发展的过程。把钱塘江涌潮各个方面的特性分析得比较清楚和有所创新。

客观事物是复杂的,首先需要充分了解事物的状况。何况涌潮在不同发展阶段,有着不同的形态和特点。一般容易忽略这些差异。钱塘江涌潮研究的一个特点是重视观察现象,收集实际资料。1946 年抗战胜利后,钱塘江管理局刚恢复,就在当年 10 月组织了整个河口潮汐的观测。之后,多次组织考察性观测,积累了丰富的实测资料。依据这些全面、典型的资料,本书系统地分析了涌潮自形成一直到衰竭的全过程,对涌潮的各个发展阶段有了比较完整、细致的认识。

了解现象之后,需要分析方能够对事物有进一步的认识。作者根据事物现实状况,根据所要解决的问题,构造尽可能简单直接的数学模型,再深入分析模型,从而了解涌潮的本质。看来,这是研究涌潮合适的方法。采用这种方

法,研究了潮波非线性变形的各种表现、涌潮成因及影响形成的条件、涌潮的碰撞与反射、涌潮的局部形态等有趣的问题,对涌潮的各个方面有了全面深入的认识。

我很高兴这本书的出版。实际上,钱塘江管理局与浙江省水利河口研究院对涌潮的数值模拟、涌潮动力、涌潮与建筑物相互作用等问题已经做了大量研究。希望继续对这些工作做出总结,使我们对这种特殊的潮汐现象有更深入全面的认识。



2008 年 3 月 17 日

序二

钱塘江涌潮是大自然赠予人类的壮丽景观。涌潮汹涌磅礴,激发一代又一代人的奋发精神;同时,涌潮暴躁狂虐,为害甚烈。史载,1949年前的一千余年间,重大潮灾竟有230次,严重威胁两岸人民的生存发展。人们进行了长期艰苦的努力,方才造就钱塘的繁华。

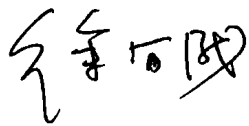
人类探索自然的愿望、兴利除害的需求推动涌潮的研究。古代,我们民族曾取得辉煌成就,近数十年来,蓬勃开展,已有长足进步。

我与作者共事多年,深知其性。凡遇问题,喜好深究,一有所得,便欣然。他于涌潮早有兴趣,但问题毕竟复杂,数年里,反复探求,仍未入门。戴泽衡老前辈见此,教导说,研究涌潮是钱塘江管理局的责任,不论从哪里入手都可以。作者豁然,遂从分析涌潮局部形态入手,得到一些成果。自此,眼界渐阔,领域渐大,如今已有十年。更可喜者,还有一批年青学者也热衷于此,研究范围日广,方法日多,成果日丰。此书就是总结部分成果写就的。

涌潮是一种复杂现象,我们对此知之还有限。今日,在科技与工程方面,有了控制涌潮为害的能力,人们的理念已有改变。认识到充溢阳刚之美的钱塘江涌潮,不仅仅是中国的,也是人类的财富。我们这一代人必须为子孙后代保护好这种不可多得的景观。于是,需要更多的人关注涌潮,研究涌潮。视野需要更宽阔,内容需要更丰富。

这本书恰逢钱塘江管理局成立100周年之际付梓,作者想必又会欣然。这本书将是一件礼品,献给漫长岁月里,为钱塘江治理建设艰苦奋斗的人们。

是为序。



2008年4月7日

前言

凡在钱塘江上兴建工程,都必须和涌潮打交道。我到钱塘江以后,陆续参加了一些海塘维护以及工程建设前期研究,得到不少关于涌潮的知识,激发了对这种特殊现象的研究兴趣,也开始对涌潮的形成条件、形态、涌潮的相互作用等问题做了一些分析。20世纪90年代中期,人们越来越关注环境和景观,保护涌潮的呼声越来越强烈,促使我们思考涌潮到底有什么“用途”以及如何对其进行保护一类问题。十多年来,逐渐认识到涌潮研究就是在改善生存发展环境、学术兴趣以及保护环境景观三种需求推动下发展的。其中,如何改善沿江生存和发展的环境始终是涌潮研究的主题。

几年前,几位师友建议我写一本关于涌潮的书,设想了写法和内容。后来受到更多同行的鼓舞和支持。浙江省钱塘江管理局更为此提供良好的条件。孰不知,支持实际上是一种压力。这本小书就是靠这些支持“压”出来的。

这本书从水力学和潮汐学角度,分析了钱塘江涌潮的特性及其相应的水力学机理。大致分四个部分:

第一部分,即第1章,从形态、形成原因以及局部流动与整体流动的关系几个方面,分析涌潮的特点;讨论涌潮研究的意义和主要方法。

第二部分,从第2章到第5章,介绍钱塘江涌潮的基本情况。第2章探讨钱塘江涌潮产生的大致年代,再从起潮点、观潮点、上溯距离的变动,分析钱塘江涌潮的近代演变过程;第3章介绍与涌潮相关的钱塘江河口概况;第4章根据近年的观测资料,分析钱塘江涌潮在溯源传播过程中变化的特点;第5章讨论涌潮强度变化规律及预报方法。

第三部分分几个专题。第6章讨论涌潮各种尺度的模型;第7章讨论浅水流动方程的主要性质;第8章分析涌波的宏观特性;第9章利用能够反映涌潮特性,又比较简单的浅水流动模型,讨论潮波变形的特点和过程、涌潮形成的原因以及涌潮发展的过程;第10章研究涌潮形成的条件,讨论存在这种特殊现象的河口所需要具备的地理学特性;第11章讨论涌波的相互作用,分析

涌波的反射、碰撞现象。从第7章到第11章,核心是浅水波、特征以及间断三个概念;第12章则利用高阶的浅水流动方程,讨论涌波的局部形态。

第四部分,即第13章和第14章,讨论钱塘江涌潮数值模拟方法。数值方法是研究涌潮有力的工具。近年来,先后引进比较适合的方法,着力研究一些应用于钱塘江实际问题时必须解决的关键问题,研制了相关的软件,在涌潮研究中已经发挥了很好的作用。第13章讨论采用 Godunov 格式的大尺度涌潮数值模拟方法;第14章介绍利用 VOF 方法研究涌波局部性质的一些成果。除介绍当前已经投入应用的方法外,着力介绍应用的情况。

配合钱塘江河口治理工程建设,还进行过大量的其他研究。如建筑物所受水动力问题,涌潮与丁坝及桥梁相互作用问题,进行过涌潮的水力学结构原形观测。这些研究有的尚未成熟,有的还没有构造相应的模型,所以只能割爱。

涌潮研究原本就是集体的工作,这本书凝聚了许多人的心血。长期以来,浙江省钱塘江管理局、浙江省河口海岸研究所(现已经与浙江省水利研究院合并,更名为浙江省水利河口研究院)累积丰富的实测资料,开展多次考察性观测,进行各类实体模型试验,所积累的知识是本书的基础。在工作中,得到很多师友,尤其林斌贵、宣伟丽、上海应用数学力学研究所戴世强教授的帮助。许多看法是在和黄世昌、余炯等同事的讨论中逐渐明晰的。上海交通大学缪国平教授、华东师范大学河口海岸研究所沈焕庭教授审阅了部分内容,提出许多中肯的意见。陈吉余院士、浙江省钱塘江管理局徐有成局长始终关心着这本小书,热心地写了序言。

周潮生(第2、3章)、曾剑(第5章)、黄世昌(第6章)、潘存鸿(第13章)、上海交通大学万德成教授(第14章)并对部分章节提出诸多意见。书中大部分插图是唐子文、曹颖精心制作的。在此,深表谢忱。

涌潮这种现象长期受人关注,也投入很大的力量研究,但是,直到现在,有些问题还不清楚,有些问题仍然存在不同的看法。事实上,争议正是科学发展的一个动力。如果这本小书能够引发讨论,引起更多人关注涌潮,研究涌潮,那么就太幸运了。书中肯定存在不少错误,衷心期望得到指正。

作者

2008年4月10日

目 次

1 概 述	(1)
1.1 什么是涌潮	(1)
1.1.1 形态	(1)
1.1.2 与整体流动的关系	(2)
1.2 涌潮研究的意义	(3)
1.2.1 人类生存发展的需要	(3)
1.2.2 促进精神文化繁荣的需要	(4)
1.2.3 学科发展的需要	(4)
1.3 研究方法	(4)
1.3.1 明确问题	(5)
1.3.2 观测现象	(5)
1.3.3 构建和分析模型	(5)
1.3.4 观测与理论分析的结合	(5)
1.4 几个约定	(6)
2 钱塘江涌潮的历史变迁	(9)
2.1 钱塘江涌潮产生的年代	(9)
2.2 古代关于钱塘江涌潮的研究	(10)
2.2.1 关于涌潮成因的研究	(10)
2.2.2 潮候研究	(11)
2.2.3 强潮河口特性研究	(11)
2.3 钱塘江河道的变迁	(12)
2.4 钱塘江涌潮的变迁	(13)
2.4.1 涌潮形成地点的变化	(13)
2.4.2 观潮地点的变化	(15)
2.4.3 涌潮上溯的距离	(17)
2.5 涌潮失期	(17)
2.6 近年一般情况	(19)
3 钱塘江河口基本情况	(22)
3.1 概况	(22)

3.2	水文	(23)
3.2.1	径流	(23)
3.2.2	潮汐	(24)
3.3	河口段河床的特性	(30)
3.3.1	河口段分区	(30)
3.3.2	沙坎顶部的变化	(31)
3.3.3	河道的游荡	(31)
3.3.4	河口段的演变特点	(34)
3.4	河口段潮位的变化	(34)
3.4.1	河口段潮位年内的变化	(35)
3.4.2	盐官高、低潮位响应曲线	(35)
3.4.3	年际变化	(37)
3.4.4	低潮位的变化	(38)
4	钱塘江涌潮的形成和发展过程	(40)
4.1	整体情况	(40)
4.2	采用的资料	(40)
4.3	涌潮的酝酿阶段	(42)
4.4	涌潮推进速度和沿程强度变化	(44)
4.4.1	涌潮沿程强度变化	(44)
4.5	潮波波形的变化	(45)
4.5.1	形成以前	(46)
4.5.2	发展阶段	(46)
4.5.3	潮位曲线双峰阶段	(48)
4.5.4	涌潮湮灭以后	(49)
4.5.5	关于双峰问题	(49)
4.6	潮流特性	(50)
4.6.1	流速沿程变化	(50)
4.6.2	最大流速平面分布的特点	(51)
4.6.3	可能最大流速	(51)
5	影响涌潮强度的主要因素	(53)
5.1	影响涌潮强度的因素分析	(53)
5.1.1	下游潮汐	(53)
5.1.2	当时流量	(54)
5.1.3	河道状况	(55)
5.2	盐官涌潮强度预报模型	(58)

5.2.1	指标选取	(58)
5.2.2	预测模型	(58)
5.3	定量分析	(61)
5.3.1	试验方案设计	(61)
5.3.2	显著性检验	(62)
5.3.3	主要因素的影响趋势	(63)
5.4	大规模围涂对涌潮的影响	(64)
5.4.1	大规模围涂工程实施后,涌潮沿程强度分布趋于稳定,现象整体下移	(64)
5.4.2	治理后,河口段潮汐特性有所变化	(65)
5.4.3	盐官站涌潮强度的变化	(68)
6	涌潮的模型	(69)
6.1	量阶分析	(69)
6.2	不同尺度的涌潮模型	(70)
6.2.1	大尺度模型	(72)
6.2.2	中尺度模型	(72)
6.2.3	小尺度模型	(72)
6.2.4	特殊模型	(74)
7	浅水流动方程基本性质	(75)
7.1	浅水流动方程	(75)
7.2	圣维南(Saint Venant)方程	(76)
7.3	方程的量阶分析	(77)
7.4	扰动波的传播规律	(77)
7.4.1	扰动波传播速度与 Froude 数	(79)
7.5	圣维南方程的特征线方程及特征关系	(79)
7.5.1	特征线方程和特征关系	(79)
7.5.2	依赖域和决定域	(81)
7.5.3	超临界流和亚临界流	(81)
7.6	简单波	(81)
7.6.1	中心简单波	(83)
8	涌波的宏观性质	(85)
8.1	关于间断	(85)
8.2	涌波前、后水力学参量基本关系	(86)
8.2.1	涌波关系	(86)
8.2.2	涌波各参量的表达式	(87)

8.3	涌波关系曲线	(88)
8.3.1	关系曲线	(89)
8.3.2	涌波和特征两种关系曲线的联系	(90)
8.4	涌波基本性质	(91)
8.4.1	涌波前、后水流的机械能	(91)
8.4.2	涌波必是涨潮波	(92)
8.4.3	涌波行进速度与特征方向的关系	(92)
8.4.4	涌波前、后水流的流型	(93)
8.5	浅水流动方程的广义解	(94)
8.5.1	浅水流动方程的积分形式	(94)
8.5.2	涌波前后水力学参数的关系	(95)
8.5.3	圣维南方程不反映涌波近傍的流动特性	(96)
9	涌潮形成、发展过程的分析	(98)
9.1	模型方程	(98)
9.2	浅水分潮的产生	(99)
9.2.1	摄动方法	(99)
9.2.2	零阶方程的解	(100)
9.2.3	一阶方程的解	(100)
9.3	行进波	(102)
9.3.1	特征线方程和特征关系	(102)
9.3.2	行进波的解	(102)
9.4	涨潮波与落潮波	(104)
9.4.1	潮位的涨率及潮波的陡度	(104)
9.4.2	涨潮波与落潮波	(104)
9.4.3	涨潮历时的变化	(106)
9.5	间断的形成	(109)
9.5.1	关于间断的方程	(109)
9.5.2	关于涌潮形成原因的讨论	(110)
9.6	涌潮运动整体分析	(111)
9.6.1	沿程潮位曲线的变化	(111)
9.6.2	关于涌波位置的方程	(113)
9.6.3	涌波对潮波的影响	(113)
9.6.4	波前、后流动对涌波的影响	(115)
9.7	定性分析方法:图解法	(116)
9.7.1	涌潮追赶落潮波($\vec{B}\vec{L}$)问题	(116)

9.7.2	落潮波弱,涌波强	(118)
9.7.3	落潮波强,涌波弱	(118)
10	涌潮形成的条件	(119)
10.1	基本方程及其特征线解	(119)
10.2	潮波在传播过程中波幅的变化	(120)
10.3	关于涌潮形成长度的方程	(123)
10.4	涌潮形成的条件	(123)
10.5	一些实例	(124)
10.5.1	盐官(2000 年)	(124)
10.5.2	陈文港(1946 年)	(126)
10.5.3	长江口北支	(126)
10.6	发生涌潮河口的特点和类型	(127)
10.6.1	涌潮的地理分布	(127)
10.6.2	发生涌潮的河口特点	(130)
10.6.3	发生涌潮的河口类型	(130)
11	涌波的反射、交叉和分解	(135)
11.1	涌波的对碰和追赶	(135)
11.1.1	两股正涌波的对碰	(135)
11.1.2	涌波在刚体壁面上的正反射	(137)
11.1.3	两股涌波的追赶	(139)
11.2	斜涌波的性质	(141)
11.2.1	斜涌波基本关系	(141)
11.2.2	涌波折射现象	(143)
11.2.3	波后流速矢端图	(143)
11.2.4	波后流型的变化	(144)
11.3	斜涌波的碰撞和反射	(145)
11.3.1	碰撞和反射现象	(145)
11.3.2	交叉潮的形成	(146)
11.3.3	涌波的斜反射	(148)
11.3.4	马赫反射	(148)
11.4	初始间断分解问题	(152)
11.4.1	流动分析	(152)
11.4.2	问题的解	(152)
11.4.3	溃坝波问题的解	(155)
11.4.4	二维间断的分解	(157)

12	涌波的形态	(159)
12.1	浅水流动高阶方程	(159)
12.1.1	压力分布的高阶近似公式	(160)
12.1.2	压力梯度表达式	(161)
12.1.3	浅水流动高阶方程	(162)
12.2	波状涌潮分析	(162)
12.2.1	波架坐标系下的涌潮方程	(162)
12.2.2	方程的无量纲形式	(163)
12.2.3	方程(12-18)的解	(163)
12.2.4	讨论	(164)
12.3	涌潮形态的数值模拟	(165)
12.3.1	方法	(165)
12.3.2	耗散系数 a	(166)
12.3.3	与试验数据的比较	(167)
12.4	涌潮的局部形态分析	(169)
13	大尺度涌潮数值模型	(171)
13.1	概述	(171)
13.1.1	数值模拟是涌潮研究的重要方法	(171)
13.1.2	数值模拟的局限	(171)
13.1.3	关于大尺度涌潮数值模型	(172)
13.1.4	有限体积法	(173)
13.2	Godunov 计算格式的基本思路	(174)
13.2.1	Godunov 格式	(174)
13.2.2	Riemann 问题中源项的处理	(175)
13.2.3	式(13-7)中的源项处理办法	(176)
13.3	二维流动的 Godunov 格式	(176)
13.3.1	法向通量计算方法	(176)
13.3.2	底坡源项离散方法	(177)
13.3.3	活动边界的处理	(179)
13.4	算例:钱塘江涌潮数值模拟(Godunov 格式)	(180)
13.4.1	地形概化及水文资料	(180)
13.4.2	模拟结果	(180)
13.4.3	无结构网格	(185)
14	涌波数值模型	(187)
14.1	概述	(187)

14.2	VOF 方法	(187)
14.2.1	流场分析	(188)
14.2.2	自由表面位置调整	(191)
14.2.3	求解步骤	(193)
14.2.4	稳定性条件	(194)
14.2.5	涌波的数值生成	(194)
14.3	涌波翻越丁坝过程以及上游河床冲刷强度分析	(198)
14.3.1	涌波翻越丁坝过程的模拟	(198)
14.3.2	冲刷强度指标的选择	(198)
14.3.3	试验结果及分析	(200)
参考文献		(202)
附录 浅水流动方程		(207)
F.1	流体力学基本方程	(207)
F.2	方程沿水深的积分	(208)
F.3	静水压力分布律及浅水流动方程	(210)
F.4	实际河道的一维浅水流动方程	(211)

1 概 述

1.1 什么是涌潮

涌潮是入海河流河口段的一种潮水暴涨现象。当涌潮来临时,前锋几乎陡立,来势汹涌,犹如万马奔腾,排山倒海,异常壮观。古代曾把这种现象称之为“涛”,亦称“暴涨潮”或“怒潮”。

自由面重力流中还有一些类似的流动,如溃坝波、地震津波、闸门骤然起闭或山体崩塌在河道或水库中产生的涌波、定常流中的水跃。如果从整个潮波中,将水位、流速变化急剧的部分“切”出一块,则涌潮与这些急变流动有相同的性状。这是一类水位、流速急剧变化的流动,是两种不同流型流动的过渡形式,统一称之为“涌波”。涌潮则是涌波的一种。

1.1.1 形态

很多作者认为只在自由表面破碎,甚至存在水滚以后方称涌潮;也有人认为“涌潮是在水流中推进的色散波”(Peregrine, 1966)。事实上,涌波有两种典型形态:强度较小时,涌波是由一系列平行向前传播的波组成的波列;强度大时,是向前推进的水滚,分别称为“波状涌波”、“漩滚涌波”(图 1-1)。



图 1-1 波状涌潮和漩滚涌潮(2007 年 8 月,邢云摄于盐官)

自由面重力流动中的波是自由表面上、下震荡形成的横波。这种震荡必定产生一定

大小的铅垂流速分量,因此产生高阶的色散效应,使涌波的波后自由面存在高频的次生波。同时,波前变陡,到一定程度,自由面失却稳定而破碎。随强度增加,波动性逐渐减弱,强度加大到一定程度后,不再具备波动性质,成为“漩滚涌波”。

不少人以为涌潮总是破碎的,这是因为人们总选在农历初三、十八前后,到钱塘江盐官一带观潮。此时涌潮比较“精彩”。当涌潮破碎以后,汹涌磅礴,气势宏伟,给人们留下深刻印象。其实,大多数中、小潮期间,沿江更广阔的区段,涌潮仅仅是一种不为人注意的、向上游推进的波列。

1.1.2 与整体流动的关系

涌波是一种局部现象。处在不同整体流动中的涌波,有着不同的特性和演变规律。涌潮是潮波传播过程中产生的一种现象,这是与其他涌波基本的区别。

首先,形成原因不同。除了定常流动中的水跃以外,形成涌波的原因大致有三类:第一类,初始时刻涌波就已经存在,如溃坝波;第二类是边界条件造成的,例如闸门突然开启产生涌波;第三类则是在初始、边界并没有突然变化的情况下,在域中“无中生有”地形成的。就成因而言,涌潮属于第三类。一些水电站、水泵站下游河道中,有时也会发现这类涌波(Cunge, 1976)。对于前两类涌波,所需要研究的是其传播、变化规律;对于第三类,则还需要研究成因问题。

涌潮是潮波的一部分。涌波前、后,或是涨潮波,或是落潮波,在与前、后潮波的相互作用中,涌潮完成了从形成到消逝整个过程的演变。

在潮波作用下,涌潮存在各个不同的发展阶段。因为浅水效应,潮波产生变形,涨潮波面逐渐变陡,终在某个时刻,于最陡处形成涌波。形成之初,涌波前、后均为涨潮波。这种态势下,涌波迅速增强,继而成为涨潮波的前锋。之后,涌波后的涨潮波仍在促进涌潮的发展;而波前的落潮波逐渐削弱涌潮,一直到波后也转化为落潮波,涌潮随即衰竭,直至消逝。

因所处的整体流动不同,涌波有不同的性状。大坝一旦溃决,下游河道即形成向下推进的涌波,上游河道形成溯源传播的膨胀波。如果忽略大坝残留、摩阻、河道宽窄深浅变化等效应,则其流动可以用黎曼(Riemann)问题描述,其传播、演变过程见图1-2。在向下游推进的相当长一段时间内,涌波后方,水位并不上涨,流速亦为常值,是为“常态区”。膨胀波的上溯反映了水库泄空过程。该波传到水库的库尾之后,产生反射波。此后,黎曼解不再适用。反射波向下游传播的速度比涌波大,终会赶上涌波。标志着水库泄空影响已经波及涌波,使其强度下降。膨胀波抵达库尾的时间 A 、库尾反射波追赶上涌波的时间地点 B 成了这种流动的两个关节点。

综上所述,从其形态及与整体流动的关系,可以给出涌潮的定义为:涌潮是水位骤然升高的涨潮波前锋,是潮波非线性畸变的结果。涌潮一般是向河口上游推进的波列,强度大时,表面破碎,进而发展成溯源推进的水滚。在发展阶段,涌潮过后,潮位继续平缓上升,直到高潮。在衰竭阶段,涌潮潮头过后,随即转为落潮。