

黄骅港外航道大风骤淤的机理及其整治

高 进

(湖南科技大学土木工程学院

湖南湘潭 411201)

〔摘要〕 黄骅港位于渤海湾西南,是建在淤泥质海岸上的人工港,在特殊大风期间,即 E 向或 ENE 向 6 级以上的海向风延时 14 小时以上时,外航道的淤积量大大超过原先的预测值,且淤积物为密实、坚硬、难以疏浚的粉沙。本研究表明,这一问题产生的原因是堤头旋涡的输沙作用,卫星图像和数模证明了堤头旋涡的存在;同时还对设置垂直和平行于海岸线防波堤的两种整治方案作了讨论。

〔关键词〕 渤海湾 淤泥质海岸 黄骅港 大风骤淤 旋涡输沙

〔中图分类号〕 U657.2

〔文献标识码〕 A

〔文章编号〕 1000-7857(2005)01-0029-03

MECHANISM AND CONTROL OF ABRUPT AGGRADATION AFTER GALES IN THE OUTERCHANNEL OF THE HUANGHUA HARBOR

GAO Jin

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan Province, China)

Abstract: The Huanghua Harbor is a man-made harbor in the muddy beach at the southwest of the Bohai Bay. The current problem is that during gales whose wind force over Grade 6 and lasting more than 14 hours in E or ENE direction from the sea, the aggradation in the outer waterway greatly exceeds the estimate and the accretion consists of hard and close-grained fine sediments which is difficult to dredge. The study on this paper shows that the above problem is caused by sediment transport of vortex, which is verified by satellite photos and numerical model. Furthermore, two kinds of control plan were compared with each other.

Key Words: Bohai Bay, muddy beach, Huanghua Harbor, abrupt aggradation after gales, sediment transport by vortex

CLC Number: U657.2

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2005)01-0029-03

1 问题的所在

在我国陕北的神木、府谷和内蒙古西部的东胜地区蕴藏着十分丰富的煤炭资源,远景贮量达 2 200 亿吨,且为低硫低磷的优质煤,人们称之为神府-东胜煤田,它是我国 21 世纪重要的能源基地。神府-东胜煤田、朔黄铁路及黄骅港的建设合称神华工程,是一项重大的跨世纪工程,其中黄骅港位于渤海湾西南,是我国西煤东运第二大通道的出海口岸。随着我国加入 WTO,对外经贸的发展加速,船舶大型化是必然的发展趋势,而航道淤积势必成为制约发展的瓶颈。目前黄骅港二期工程建设中出现了两个问题:(1) 大风骤淤量过大,大大超过了原先的预测值;(2) 淤积物为密实、坚硬不易疏浚的粉沙(俗称铁板沙),而非原先设想的由悬沙沉积的淤泥质物质(相对于淤泥质而言,粉沙粒径较粗)。这两个问题的出现多少使人们感到意外,因为黄骅港与天津港相距不远。目前在黄骅港出现的问题,在天津新港并未出现,原因何在?将二者作一对比,对研究这个问题会大有裨益。

2 黄骅港与天津港的对比分析

黄骅港与天津新港同为渤海湾中建在淤泥质海岸上的

人工港,它们之间既有相同点,也存在着差异,而且正是这些看上去不大的差异,造成了黄骅港目前所出现的问题。两者相同点是明显的,同在渤海湾,海岸都是淤泥质的,岸滩坡度又几乎一致;差异之处则在于两者的地理环境略有不同,海岸线的走向也不相同。首先,天津新港位于渤海湾的正西端,凹向内陆,滦河三角洲位于其东,并向海凸出,这就使天津新港的风区面积大为缩小,因此天津新港港区的波浪不大。其次,天津新港港区的海岸线近南北向分布,对 E 向和 ENE 向的风而言不会产生或不会产生强劲的沿岸流,因为这里的波向角不大,或几乎为零,因此沿岸流的输沙量就可忽略不计。卫星显示,渤海湾南侧在冬春季节常形成高含沙量的输沙带,黄骅港正位于其北端,而到不了天津新港港区,这就是证明。黄骅港位于渤海湾西南,港区附近的海岸线呈 NW-SE 向分布,对 E 向或 ENE 向的大风而言,它的风区面积要比天津新港港区大得多,形成大浪的频率也高,因此波浪掀沙作用强烈。事实上,在特殊大风的天气里(指 E 向或 ENE 向 6 级以上,含 6 级,海向大风延时 14 小时以上)会形成含沙量很高的沿岸流,当遇防波堤时即形成沿堤流,会把大量泥沙带至口门;加上浅滩为破浪频发区,波浪掀沙作用强烈,而沿堤流绕过堤头时“搓”出一个个立轴旋

收稿日期:2004-08-20。

作者简介:高进,男,1939~,湖南科技大学高级工程师,研究方向为水动力学、河口海岸动力学、泥沙运动理论;E-mail:

gaojinlyz@yahoo.com.cn。

涡,旋涡具有强烈吸引底沙的能力,于是就出现了黄骅港目前所存在的问题。图1所示的卫片,是由美国陆地卫星LANDSAT-7和LANDSAT-5拍摄的遥感图像^[7],并经过技术处理。图中所示的堤头旋涡,由悬沙的密度差异反映出来,单位是mg/L。

3 黄骅港外航道大风骤淤的机理——旋涡输沙作用

黄骅港在特殊大风天气间(例如2000年冬至2001年春和2002年冬至2003年春的几次大风)外航道的骤淤量大大超过了原先的预测值。物理模型计算的结果为,50年一遇的大风骤淤量约40万m³左右,且为淤泥质的,但事实并非如此。这几年的风力强度远未达到50年一遇的程度,但骤淤量已达100~300(万m³),且淤积物为密实的粉沙,在外航道3+000~6+000或至8+000段尤为明显,造成疏浚困难,而在口门附近的0~3+000段大风期间反而没有淤积(图2)。这一看似奇特现象产生的原因,可用大风期间堤头绕流时出现的旋涡输沙作用来解释。

水流中经常可以见到立轴旋涡,在分流河口的偏转河道,在桥墩后面,或在丁坝端部;由于存在较大的流速梯度,会产生一个个立轴旋涡。这是一种组合涡,类似于兰金涡(Rankine vortex),其涡核为有旋流,涡核外为有势流。旋涡的形成改变了局部水域的水动力特征,由于涡核是一个低压区,因此它能吸引底沙向旋涡中心运动。其力学机理是:当旋涡形成时,旋转所产生的离心惯性力为涡斗状涡面的内外水头差,即为压强梯度力所平衡。这个平衡是相对平均转速而言的。在底部由于滩面的摩阻作用,转速较小,其旋转所产生的离心惯性力要小于涡面的压强梯度力,故产生指向旋涡中心的底流。大风期间,滩面上的细颗粒泥沙受波浪作用而悬浮,较粗粒(这里指粉沙质)泥沙也起动。若其处于旋涡的作用范围之内,底沙就会向旋涡中心作径向运动,悬沙的浓度也会产生分异,形成不同的色调,如图1所示;又由于旋涡产生后也要随水流运动,因此会带动底沙和悬沙输移,直至旋涡因粘滞扩散而消失为止。

黄骅港海域涨潮流的方向为240°~275°,落潮流的方向为70°~95°,当潮流接近岸边时,水流必然要迁就岸线的方向,故涨潮时的沿岸流为自SE向NW,落潮时的沿岸流为自NW向SE。由于有风生流的存在,实际的流动均为向量合成流动。沿岸流流经南、北防波堤时,在口门内、外要形成立轴旋涡。口门内的旋涡在涨、落潮时都有,只是旋转方向不同;口门外的旋涡,涨潮时在北防波堤头的外侧,转向为反时针,落潮时在南防波堤头的外侧,转向为顺时针。在口门内由于含沙量低、水清,卫片上看不到此涡,但数模计算可以反映出

来(见图3),此图是在Delft-3D水动力学软件的基础上,对黄骅港水域的概化地形进行数值计算的结果,开敞水域的边界条件由东中国海潮波模型提供,时间为2000年2月27日。图3反映了由于港口建筑物的存在对该海域流场水动力特征的影响。(该图由河海大学储廉博士所作)

从上述卫片和数模反映的流场中,可以看到堤头旋涡的存在,这为旋涡输沙作用提供了佐证。图1卫片所示的旋涡直径可达10km左右,此涡是一个立轴旋涡,也是一个组合涡。由流体力学可知,其涡核半径要小于5km。由赫姆霍兹(H.V.Helmholts)涡管强度保持定理可知,水体中的立轴旋涡在流动空间中不能中断,这虽然是针对理想流体的,但对实际流体也是成立的。由于黄骅港口门水深仅2.5~3m,此涡显然会贯穿整个水体,下自滩面上至水面,即使将口门延伸到-5~-6m,甚至更深,此涡仍然如此。旋涡产生后在越堤流的带动下向下移动时,旋涡向海一侧流速较大、压强较低,旋涡向陆一侧流速较小、压强较大,故旋涡要向外海漂移,这从卫片上也可以看到。由于粘滞扩散,旋涡不久即会消失,而新的旋涡又会从堤头不断产生出来。

从实测得知,越堤流在口门的最大流速达1.17m/s(2002-04-27)。显然在特殊大风天气的某些时刻,口门的流速比此值还要大,港池口门内外所形成的旋涡,其强度也要比平时大得多。快速旋转的旋涡不仅能使细颗粒泥沙悬浮更长的时间,扩散更远的距离,而且更重要的是它能使在其影响范围内的滩面上的底沙(推移质,即在波浪掀沙过程中起动,但尚未悬浮的较粗粒的泥沙)作径向运动,方向指向旋涡中心,因为旋涡中心的压力最低。在口门附近水域,底沙作径向运动时若遇外航道,则会掉进其中,形成淤积物,并逐渐增大形成淤积体,其沉积范围从口门的0+000至6+000或8+000段。由卫片分析,立轴旋涡直径达10km以上,并要向外海运移,其作用范围正与外航道的淤积部位相符。风力愈大,旋涡的强度愈大,外航道淤积的范围也愈大。进入外航道的粗粒泥沙不仅有沿堤流输送的泥沙,而且有附近滩面上受波浪作用掀起、为旋涡吸引进入其中的泥沙。其中细小颗粒的淤泥质泥沙,由于悬浮时间较长,有足够的时间被海流带走,因此,大风骤淤为粉沙质,而不是淤泥质。以上所述就是黄骅港外航道大风骤淤的机理。2001年2月26日发生的大风骤淤,使外航道3+000至8+000段淤积,其高程超过了原先挖槽前滩面的高程(见图2),若单纯用波浪掀沙作用解释,那么波浪掀沙作用为什么没有把高出原滩面上的淤积物带走?这显然难以说通。它之所以能沉积在那里并形成淤积体,必然另外有一种动力在起作用,那就是旋涡输沙作用。至于0+000至3+000段很少淤积,并非这里没有

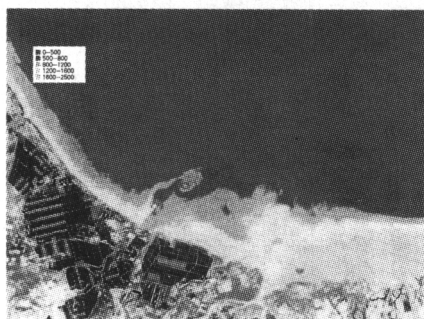


图1 2000年9月6日卫星图像和悬沙分布图

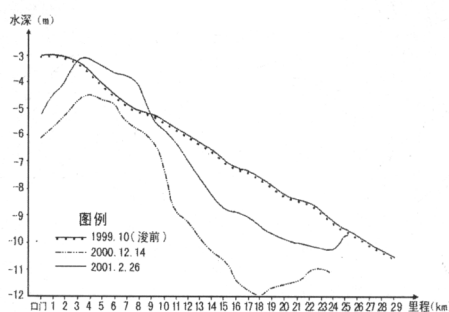


图2 黄骅港外航道淤积图(2001年冬)

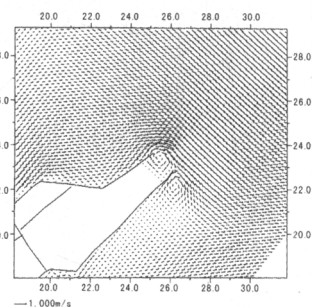


图3 数模计算结果图

发生过沉积,而是由于口门内的旋涡将此处沉积的底沙吸进港池内了,故此处形不成淤积体。

港池口门旋涡的产生是有条件的,它取决于越堤流的速度。当流速小至一定值时,流速梯度太小,便不会产生旋涡,或旋涡的强度太弱,不足以带动底沙,因此,堤头旋涡产生与否和强度大小,与潮流、风生流的大小密切相关。在平常的日子里,由于越堤流速较小,所形成的旋涡强度也不大,港区波浪掀沙作用亦弱,底部粗颗粒泥沙很少起动,旋涡吸引底沙作径向运动的能力不强,因此进入外航道的粗颗粒泥沙的量就很少,这时外航道的淤积就以悬沙沉积为主,是淤泥质的,其数量也不会大;即便是大风天气(例如W向风时),只要堤头旋涡强度不大,也会是如此;从0至6+000,甚至更远处都会有淤泥质物质沉积,因此,当不存在旋涡输沙作用或其较弱时,前期工作的结论是正确的。仅在特殊大风天气里,即出现了强大的堤头旋涡,有了另一种原先未曾预料到的动力作用——旋涡输沙作用时,才使外航道发生骤淤,且数量大、土质密、难以疏浚,因此造成预测工作的误差。

至于1985年在大口河外6+0和11+0(-2~-2.5m水深处)开挖试坑,淤积物为淤泥质,D为0.0122mm,大于0.04mm的仅占9%,那是由当地的水动力条件决定的(那儿没有旋涡输沙作用)。这与目前外航道大风骤淤、沉积物多为粉沙质是不能相提并论的,因为两者沉积时的水动力环境大相径庭。

4 物理模型试验有时为何不准

物模是常用的研究方法,它的理论基础是相似原理,有时物模试验的结果也会不准,其原因在于未能完全实现模型与原型的流动相似。具体就本文的问题来讲,在具有自由水面的明渠或海岸的浅水流动中,水流同时受重力和粘滞力的作用。从理论上讲,要同时满足佛汝德准则和雷诺准则,才能保证原型和模型的流动状态相似。为此,要求能找到一种模型试验用的流体,其运动粘滞系数是原型流体(这里是海水) ν_m 的 λ_l 倍(λ_l 是原型与模型的长度比尺),才能同时满足佛汝德准则和雷诺准则。这种流体应该是可以找到的,因为由理论物理可知,液态氦在2.16K时其运动粘滞系数趋近于零,具有所谓的超流性,只是液态氦的这种性质在物模上的实际应用,从目前看来尚有技术困难;但如果物理学家与水力学家合作攻关,利用温度来控制液氦的粘滞度,也许能解决这一难题。

目前在物模试验中,仅要求雷诺数大到一定程度后,紊流型态得到充分发展即可;而认为阻力相似并不要求雷诺数相等。于是,当流动型态进入阻力平方区后,仅考虑佛汝德数相等。对此本文提出质疑,认为流动型态进入阻力平方区后,并不能保证流动状态相似。因为原型流场中存在的旋涡在物模中没有得到反映,这又如何能体现旋涡的输沙作用呢!旋涡的产生是由于流体存在粘滞力,因此粘滞力准则应得到满足,但目前的物模试验并未考虑到这一点,这便是物模试验不准的原因所在。理论计算的黄骅港50年一遇的大风骤淤量约40万 m^3 ,而实际上目前两年一遇的E-ENE向大风造成的外航道的骤淤量为150万 m^3 ,4年一遇的E-ENE向大风外航道的骤淤量为211万 m^3 ,误差是大了一些,这就要从物模试验中寻找原因了。在物模试验中如何能全面地考虑粘滞力的作用这个问题,应予重视并加紧解决,否则物模试验仍然会得不到准确结果。

5 两种整治方案的讨论

按照经验,人们最容易接受的整治方案是把现有的南北防波堤向海延伸,即建垂直于海岸线的防波堤。从直观上讲,这是可行的,因为它使外航道封闭起来,免受风浪的侵扰,增加了安全感。为深入研究起见,现对其作如下分析。由于本海区浅滩中存在较多的粗粒物质,加上对E-ENE向风而言,风区面积较大,这两者的共同作用就使波浪掀沙作用显得更为强烈。本海区破波带有两个,一个是-2~-5m等深线之间,另一个是在-2m等深线之内。因此,当把现有的防波堤延伸至-5~-6m水深处时,按经验判断,外航道的大风骤淤量将会因此大大减少。但此方案也有两个缺点。第一,防波堤向外海延伸,随水深加大,造价必然提高。第二,防波堤延伸至-5~-6m水深处,这里对某些大浪而言仍然是破波带,骤淤还会发生,尽管发生的频率大为降低。随着时间的推移,由沿堤流带来的泥沙,会使防波堤两侧逐渐淤积,水深减小,那时波浪掀沙作用又会逐渐增强,而旋涡输沙作用依然存在,只不过把骤淤范围向外海推进了。

另一种整治方案是设置平行于海岸线的防波堤,如图4所示。既然旋涡输沙是黄骅港外航道大风骤淤的主要原因,那么整治工作的首要任务,就应该是把旋涡从口门引开,图4中的防波堤CA与BD长度大于旋涡的半径,约为5km。显然,平行设置的防波堤可以起到引涡、防浪、阻挡沿堤流三重作用,从而达到减淤的目的。但这一观点及整治方与当前流行的思维方法相左。在这里,外航道是敞开的,在大风天气里看似不安全;其实,关键的问题是口门的旋涡已不再起输沙作用。根据我们的研究成果,这应该是首选的整治方案。

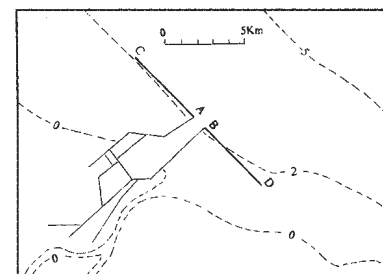


图4 外航道减淤工程示意图

参考文献与注释(References)

- [1] 严恺主编.海岸工程[M].北京:海洋出版社,2002
- [2] 薛鸿超,顾家龙,任汝述.海岸动力学[M].北京:人民交通出版社,1980
- [3] 严以新,高进,郑金海,童朝锋.长江口南港泥沙运动规律的水动力条件[J].河海大学学报,2002,30(5)
- [4] 严以新,高进,诸裕良,郑金海.长江口深水航道治理与河床演变关系初探[J].河海大学学报,2001,29(5)
- [5] 孙连成.天津港水文泥沙问题研究综述[J].海洋工程,2003(1)
- [6] 交通部天津水运工程科学研究所.黄骅港航道施工期间泥沙回淤研究及正常年份泥沙淤积预测[R],2002
- [7] 神华集团黄骅港建设指挥部,交通部天津水运工程科学研究所.1984-2003年黄骅港泥沙淤积研究资料汇编[R],2003
- [8] 交通部天津水运工程科学研究所.黄骅港一期工程泥沙淤积分析论证[R],1996
- [9] 南京水利科学研究院河港研究所.黄骅港一期工程浑水动床泥沙物理模型设计及验证试验(一)[R],1996
- [10] 南京水利科学研究院河港研究所.黄骅港一期工程浑水动床泥沙物理模型方案试验研究(二)[R],1996

(责任编辑 邱夜明)