

基于能量关系的海滩剖面形态

THE BEACH PROFILE SHAPES BASED ON THE ENERGETIC RELATIONSHIP

李志强

(中山大学河口海岸研究所 广州 510275)

中图分类号 P753 文献标识码 A 文章编号 1000-3096(2003)04-0023-03

海滩位于海陆之间的动力敏感地带,海滩剖面是近岸过程的一个重要概念。海滩剖面形态受波浪、泥沙、沿岸流、地质等诸多因素的影响,使得海滩剖面时空变化极为复杂,对其研究具有重要的理论意义。另一方面,海滩作为海岸带资源的重要组成部分,与人们的生产关系极为密切,特别是在高能量的波浪或风暴作用下,海滩的巨大变化将对海岸生产设施和海岸工程造成极大的破坏,生产和管理部门对此也给予了高度的重视,因而这种研究也具有现实运用价值。

1 不同能量状况的海滩剖面基本形态

根据海滩所受的能量状况的不同,研究者常把海滩剖面分为涌浪剖面和风暴剖面和夏季剖面等,其实质都是指经受低能和高能作用的两种海滩类型^[1]。

涌浪(低能)条件下,泥沙不断地向岸运动,海滩逐渐堆积变陡直到一个最大值,海岸线稳定甚至前进。这种离岸/向岸的泥沙运动不仅局限于碎波带,甚至还会延伸到内大陆架^[2]。低能条件下形成的涌浪或夏季剖面一般具有宽阔而直的脊状滩肩以及平滑的近岸剖面,这对于海蚀崖的侵蚀和海岸财产的保护有重要的意义,因为宽阔的滩肩可以使其免遭波浪的打击。

风暴和其它高能波浪作用将使泥沙迅速地发生离岸搬运,海滩陆上部分发生侵蚀冲刷,滩肩消失,滩面变平缓,碎波带比较宽广。由于破波带的海侧

泥沙向岸运移,而破波带以内的泥沙离岸运移,泥沙搬运方向的汇集,必然导致泥沙在破波位置上的堆积,形成沙坝。风暴剖面常常有一列以上的沙坝,每一列沙坝反映出一定尺度波浪的平均破波位置,最深的沙坝对应于最大的波浪。风暴对海滩剖面的影响是极为强烈的,特别是连续的多个风暴的作用,其对剖面的影响往往要比单个特大风暴的影响大^[2]。

2 海滩剖面形态模型

2.1 中立点假说

1887年,意大利学者 Cornaglia 在研究浅水区域波浪的不对称性对海滩泥沙的作用时,提出了海滩泥沙运动的中立线假说。他认为由于浅水波变形,海滩上存在中立线(点),在中立线(点)的岸侧方向上,底部物质向岸的方向运动,在中立线(点)海侧方向上,底部物质向海运动,中立线(点)上的物质只在中立线(点)附近来回摆动^[1]。这一理论提出以后,引起了研究人员的极大兴趣。曾科维奇 1946 年根据泥沙的中立线理论,将影响海滩斜坡的几个因素简化,首先提出了海滩平衡剖面的塑造模式。后来,随着技术的进步和发展,对海滩剖面的研究也越来越深入。研究工作主要围绕这么几个方面进行:

作者:李志强,出生于 1974 年,硕士研究生,研究方向为海岸环境与工程运用。E-mail: qiangzll1974@163.net

收稿日期:2001-10-15;修回日期:2001-11-10

(1) 形成平衡剖面的机制是什么;(2) 为什么平衡剖面是平滑上凹的;(3) 为什么到一定水深后剖面趋于水平;(4) 是否可以用一个含有波浪条件的方程来描述剖面。在这些研究成果中,提出许多的剖面形态模型。其中大部分是依照 Dean 思路,基于能量关系而建立的。

2.2 Dean 平衡剖面形态模型

Dean 假设一定大小的泥沙颗粒要在有特定波能的单位体积水中才是稳定的,由此得出:

$$\frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} (EC_g) = D^* \quad (1)$$

式中, D^* : 单位水体积的能量; E : 波能密度; C_g : 波群速度。基于浅水线性波的假设和 H_b/h_b (破波高与破波水深之比) 为常数, 得到海滩平衡剖面模型:

$$h = Ax^m \quad (2)$$

式中, h : 当地水深; x : 距岸线的距离(图 1); A : 与泥沙沉速和波周期等有关的系数, 人们把它叫做 Dean 数(Dean Number); m 是一个统计得到的系数。Dean 通过对 Hayden 等 1975 年在美国大西洋海岸和墨西哥收集的 504 条海滩剖面数据进行拟合, 发现 m 值介于 0.2 ~ 1.2 之间, 并且符合正态分布, 期望值为 2/3, 所以一般采用 2/3 作为 m 的值。Boon 和 Green 对加勒比海海滩剖面拟合发现 m 的平均值为 0.5。他们认为这主要是由于加勒比海海滩有更大的上凹性和更大的反射性。Lee 1995 年根据北卡罗来纳州 Duck 镇海滩剖面研究则发现指数随时间变化明显。

Dean 基于能量耗损关系, 第一个提出了理论化的海滩平衡剖面数学模型。但 Dean 模型过于简单, 不能将影响海滩剖面的一些重要因素考虑进去, 而且忽略了海滩剖面的一些重要形态, 比如水下沙坝和槽谷构造等, 因而存在许多不足。Lee 1994 年指出该模型对发生在破波带内的过程不明确。Komar 等 1994 年也指出 Dean 模型两个明显的不足之处: (1) 根据量纲和谐性, 指数等于 2/3, 则 A 的量纲应为 $[L^{1/3}]$, 那么 A 的物理意义不明确。(2) 对方程求导得到坡度 $S = \frac{dh}{dx} = \frac{2}{3} \frac{A}{x^{1/3}}$, 在岸线处 ($x=0$) 坡度无穷大, 不符合实际情况, 因而只适用于破波带外的剖面。

2.3 Dean 剖面模型的发展

2.3.1 Larson-Kraus 平衡剖面模型 Larson 和 Kraus 根据 Dally 1985 年的近岸波浪衰减公式得出如下的海滩平衡剖面模型:

$$x = \frac{h}{S_0} + \left(\frac{h}{A}\right)^{3/2} \quad (3)$$

式中, S_0 是滩面坡度。在浅水区模型简化为: $h = S_0 x$ 在深水区模型变为: $h = Ax^{2/3}$ 。为了实际应用, Kriebel 等建议深水和浅水的过渡区水深取:

$$h_T = \frac{4A^3}{9S_0^2} \quad (4)$$

并且认为衔接点位于 $h_T/3 S_0$ 处。这个模型反映出了滩面呈平直线性的特点。Dean 1993 年把 h/S_0 称为“重力项”, 因为在滩面段坡度较大, 重力作用最为重要。

2.3.2 Bodge 平衡剖面模型 Bodge 1992 年按照 Ball 对边缘波分析的思路, 提出了下面的剖面模型:

$$h = B(1 - e^{-Kx}) \quad (5)$$

式中, B, K 是经验系数, K 决定了海滩剖面的凹度。同样对 Hayden 等的剖面数据进行分析后, Bodge 认为该模型比 Dean 模型能更好地与实测海滩剖面形态相吻合。

Komar 1994 年对 Bodge 平衡剖面模型加以变换, 并对 e^{-Kx} 按泰勒级数展开, 取 3 阶近似, 得到:

$$K = \frac{1}{x_c} \left| \frac{3}{2} - \left| \frac{6h_c}{S_0 x_c} - \frac{1.5}{4} \right|^{1/2} \right| \quad (6)$$

式中 h_c, x_c 分别为剖面闭合处的水深和距岸线的距离。依 Sana mura 研究结果:

$$S_0 = 0.12 \left| \frac{H_b^2}{gDT^2} \right|^{-1/4} \quad (9)$$

式中, T, H_b 分别是波周期和破波高。Komar 等对尼罗河三角洲的实测剖面进行研究后认为拟合得较好, 特别是水深 3.5 m 以内的部分。

2.3.3 Dubois 剖面形态模型 Dubois^[3] 认为 Dean 平衡剖面模型把 m 值固定在 2/3 或其它常数, 而仅让参数 A 变化, 这样做出来的剖面形态模型是值得怀疑的, 不管 x 值从那里开始, 他的研究都表明: m 不是一个固定的值, 而是随着剖面的不同而变化; A 的物理含义也不相同, A 是离岸线单位距离处的水深, A 与 m 是相关的, 并且满足表达式:

$$A = ae^{-bm} \quad (9)$$

式中, a, b 是经验系数。Dubois 认为 m 不是常数, 因为海滩剖面几乎不能达到平衡状态, 而是一种

准平衡状态,另外, A 也不只是与泥沙颗粒大小有关,还与海滩底部的泥沙体积有关。由此 Dubois 认为需要一种新的海滩剖面模型,该模型中有一个常数系数反映剖面的形态,其它的分别反映波浪作用、泥沙体积和泥沙抵制搬运的能力。

2.3.4 Inman 两段剖面模型 Inman 1993 年认为,因为破波带沙坝的存在,最适合代表海滩平衡剖面的曲线是两条抛物线,每条曲线都满足 Bruun 平衡剖面模型 $h = Ax^m$,其中 $A = 1$, $m = 2/5$,接合部位在破波点。

2.3.5 Wang 三段海滩剖面模型 Wang^[5]认为海滩剖面并不是单调的,而是由槽和坝组成。由于槽和坝是长期和短期波浪条件变化的反映,不能忽略。根据对佛罗里达 Sandkey 的 122 条实测剖面的研究, Wang 将剖面分成 3 段:内碎波带、破波点沙坝向岸坡和近岸带(从沙坝顶向外)。3 段剖面的表达式分别为

内碎波带:

$$h(x) = A_1 x^{m_1} \quad (0 < x \leq X_{tr}) \quad (10a)$$

破波点沙坝向岸坡是一条平直剖面:

$$h(x) = h_{tr} + \frac{h_{bt} - h_{tr}}{x_{bt} - x_{tr}}(x - x_{tr}) \quad (x_{tr} < x < x_{bt}) \quad (10b)$$

近岸带(从沙坝顶部向海)

$$h(x) = A_2 (x - x_2)^{m_2} \quad x_{bt} \leq x \leq x_{cd} \quad (10c)$$

式中 A_1, A_2 为尺度参数, m_1, m_2 为控制剖面形态的经验参数, h_{bt}, x_{bt} 分别是沙坝顶部的水深和距岸线的距离; h_{tr}, x_{tr} 分别是槽底水深和距岸线的距离; x_2 是截距,它对近岸段的剖面形态有控制作用, Wang 经过检验发现 x_2 与 x_{bt} 有固定的比例关系: $x_2 = 0.625 x_{bt}$; x_{cd} 是剖面长度,即闭合水深距岸线的距离。

Wang 模型是在 Inman 把剖面分为两段的基础上的一个发展,基本原理与 Dean 模型是一样的,但更符合自然的情况。

2.3.6 Dean 多段剖面模型 Dean 1993 年在研究新西兰北岛海滩剖面时,根据 Dally 1985 年的近岸波浪衰减公式,同时考虑“重力项”,将泥沙分布均匀的假设推广到泥沙颗粒任意分布的情况,得出如下平衡剖面模型:

$$h(x_{i+1}) = h(x_i) + \left[\frac{1}{S_0} + \frac{3}{2} \frac{h_i^{1/2}}{A^{-3/2}} \right]^{-1} \quad (x_{i+1} -$$

$$x_i) \quad (11)$$

其中

$$A = A_n + \left| \frac{A_{n+1} - A_n}{x_{n+1} - x_n} \right| \left| \frac{x_{i+1} + x_i}{2} - x_n \right| \quad (12)$$

$h(x_i)$:距岸 x_i 处的水深, $A = 0.067 w^{0.44}$, w 是泥沙沉速, x_n :沿剖面的泥沙采样点, $x_n < x_i, x_{n+1} < x_{i+1}$ 。Dean 研究时取 $x_{i+1} - x_i = 1$,即间隔为 1 m。这实际上也是一个分段模型,将海滩剖面分为 N 段,对上式积分即得到海滩剖面形态。该模型很适合在计算机上对海滩剖面形态进行模拟。

2.3.7 J.J. Muñoz Pérez 受礁石保护的海滩剖面模型 J.J. Muñoz Pérez^[6]在研究西班牙南部海滩剖面时,提出了关于受礁石保护的海滩剖面模型,基本形态满足 Dean 模型,只是系数 A 值不同。根据 Dally 1985 年的近岸波浪衰减公式,受礁石保护的海滩剖面模型中的系数 A_{rp} 与非受礁石保护的海滩剖面模型中的参数 A 有如下关系式:

$$\frac{A_{rp}}{A} = \left| \frac{r}{r'} \right|^{4/3} \quad (13)$$

式中 r, r' 分别表示受礁石保护和非受礁石保护的海滩的破波比 H_b/h_b , J.J. Muñoz Pérez 经过分析指出受礁石保护的海滩剖面比非受礁保护的海滩剖面短而陡(图 1)。

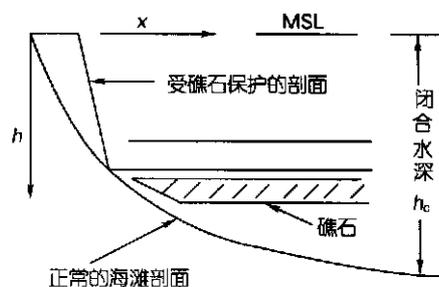


图 1 海滩剖面简图(据 J.J. Muñoz Pérez 改绘)

3 小结

(1) 海滩剖面形态是破坏力和建设力共同作用的结果^[4],所谓的平衡剖面是海滩为适应特定入射波或泥沙特征而改变自己的形态达到一个平衡或定常形态。海滩剖面包含的信息是十分丰富的,对海滩剖面的研究有十分重要的意义。

(2) Dean 对海滩剖面模型的研究作了开创性



的工作,其提出的指数模型简单明了,反映了海滩平衡剖面的基本形态,常用来判定剖面的稳定性。其它的众多剖面形态模型,多是按照 Dean 的思路,基于能量关系建立的。但海滩剖面形态很复杂,不同区域的差异性也很大,用一种模型来描述是很难的,多数情况下分段模型与实际情形更加吻合。

(3) Dally 的近岸波浪衰减关系,弥补 Dean 模型对近岸的能量变化假设的不足之处,对基于能量关系的海滩剖面形态模型的研究起到了促进的作用。

显然,能量模型的不足之处也很明显,主要表现在前提假设与实际情况相差较大,对海滩过程的描述不清楚,某些方面物理意义不够明确等方面。故有研究人员提出了动力模型,如 Lee, Kit^[4]等。

参考文献

1 柯马尔 P D, 邱建立, 等译. 海滩过程与沉积作用. 北

京:海洋出版社,1985. 219-246

- 2 Lee Guan-hong, Nicholls R J, Birkmeier W A. Storm-driven variability of the beach-nearshore profile at Duck, North Carolina, USA, 1981-1991. *Marine Geology*, 1998, 148(1-4):163-177
- 3 Dubois R N. An inverse relationship between the A and m coefficients in Bruun/Dean equilibrium profile equation. *J Coastal Res*, 1999, 15(1):186-197
- 4 Kit E, Efiim P. Dynamic models for cross shore transport and equilibrium bottom profile. *J Wat Port Coast Ocean Eng*, 1998, (5):138-146
- 5 Wang P, Davis R A. A beach profile for a barred coast-case study from Sand Key, West-Central Florida. *J Coastal Res*, 1998, 14(3):981-991
- 6 Muñoz Pérez J J, Tejedor L, Medina R. Equilibrium beach profile model for reef-protect beaches. *J Coastal Res*, 1999, 15(4):950-957

(本文编辑:李本川)