

沙滩泄水技术研究进展

曹 淼¹, 李 凌^{1,2}

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 昆士兰大学工程学院, 澳大利亚圣露西娅 QLD4072)

摘要 :从理论研究、实验室研究、野外现场试验研究及实际应用等方面介绍沙滩泄水技术研究进展。通过回顾前人的研究,以及对国外工程应用实例进行分析,阐述了沙滩泄水技术在我国应用的可行性。

关键词 :沙滩泄水 沙滩稳定 海岸增长 冲激区入渗

中图分类号 :TU46⁺.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)03-0084-05

Progress in beach dewatering technology//CAO Miao¹, LI Ling^{1,2} (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. School of Engineering, University of Queensland, St Lucia, QLD4072, Australia)

Abstract :Progress in research on beach dewatering technology that has been made through theoretical analysis, laboratory tests, field investigation and practical application is described. Based on review of previous studies and analysis of engineering projects abroad, the applicability of beach dewatering in China is also discussed.

Key words :beach dewatering; beach stabilization; shoreline acceleration; swash infiltration

海岸地区是全球城镇集中、人口密集、经济发达的地区。但是在自然因素和人为因素的共同作用下,全球的海岸都受到了严重侵蚀,导致土地大量流失、海岸构筑物破坏、海滨浴场退化、海滩生态环境恶化,海岸侵蚀已成为一种严重的环境地质灾害。目前,我国是海岸侵蚀灾害最为严重的国家之一,据估计,在 20 世纪 90 年代初约有 70% 的砂质海滩和大部分处于开阔海域的泥质岸线存在海岸侵蚀现象^[1]。

造成海岸侵蚀的自然因素包括河流改造或入海泥沙减少,海平面上升或地面沉降,海洋动力作用增强等。人为因素包括建造拦河坝,大量开采海滩泥沙、珊瑚礁,滥伐红树林,以及不适当的海岸工程建设等^[2]。传统的沙滩保护措施大多基于硬工程,如修筑海岸堤坝和防浪堤,这些工程不但耗资大,而且会对生态环境造成一些负面影响。目前世界不少地区海滩保护趋于采用像沙滩灌沙和泄水这样的软工程技术。沙滩泄水就是利用人工或重力条件下的自然排水来降低沙滩的地下水水位,增大海水在沙层中的渗透量,达到稳定沙滩的目的(图 1)。

1 研究历史

虽然沙滩泄水技术是近期才发展起来的沙滩保

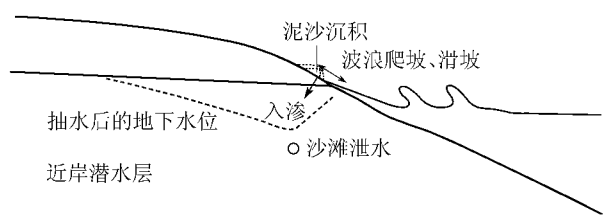


图 1 沙滩泄水技术示意图

护技术,但其相关的理论概念和实际观测却由来已久。其理论研究可以追溯到 20 世纪 40 年代关于海岸研究的两个没有直接关联的分支:冲激区入渗在决定沙滩表面侵蚀堆积趋势中所起的作用^[3]以及控制前滩饱和特性的沙滩地下水水动力学研究^[4]。而首次明确提出人工控制沙滩地下水水位可以促进海岸线生长的是美国海岸工程师 Machemehl 等^[5]。1997 年,Turner 等^[6]回顾了泄水技术的起源和发展,指出沙滩泄水对沙滩保护的积极作用在原型试验中已得到了一定证明。Bagnold^[3]在进行波浪作用下沙滩构成研究试验时发现沙滩表面某一点的梯度是由该点处上爬浪能量消散所决定,而不是通过该点所有的能量所决定。Bagnold 在试验沙滩下面放置防渗隔板,形成一个近似的高水位饱和沙滩,结果显示沙滩表面的海水入渗受到抑制而沙滩侵蚀动力加强。这个简

单的试验首次证明了非饱和沙滩上的入渗可以促进泥沙向岸传输。Longuet-Higgins 等^[7]在沙质沙滩表层以下 10 cm 处安放了 1 层防水层,不透水层上方的砂砾快速侵蚀,而不透水层两侧仅有小小的扰动。这 2 项早期研究证明了冲激浪的入渗势能是控制沙滩表面泥沙侵蚀或堆积的重要因素。

首个沙质海滩地下水水动力学研究是由 Emery 等^[8]完成的,他们的研究表明退潮时地下水出渗会导致沙滩表面侵蚀,这与 Bagnold 的泥沙试验观测结果一致。Grant 第一个给出沙滩地下水水位与沙质海岸线侵蚀或堆积趋势之间直接的联系^[9]。通过在加利福尼亚州南部海滩上对不同宽度和不同角度的沙滩断面进行的几年研究,Grant 认识到沙滩地下水水位与前滩堆积或侵蚀有很大关系。他指出低地下水水位(非饱和沙滩)会降低回浪流速和延长片状流时间从而促进泥沙沉积,而高地下水水位会促进沙滩侵蚀。Duncan^[10]对 Grant, Emery 和 Foster 的研究结果进行了归纳,用以研究加利福尼亚州圣莫尼卡海湾曼哈顿海滩上半日潮循环周期中沙滩表面消长的循环现象,发现波浪爬坡入渗会促进泥沙沉积。

大量的研究证实沙滩表面泥沙循环往复的侵蚀和堆积是地下水水位和冲流带水流相互作用的结果。Strahler^[11]在新泽西州大西洋公海海滩上建立了一个潮汐周期海岸响应模型,观测夏末岸滩的平衡。Nordstrom 等研究了受保护河口处海岸形态的循环变化^[12]。Otvos^[13]和 Schwartz 等研究了高潮线与低潮线之间沙滩形状的潮汐循环修正现象。Harrison^[14]进行了前滩滩形变化的多元分析,给出地下水水位高低与前滩侵蚀和堆积之间的经验关系。Packwood^[15]利用数学模型计算了缓坡沙滩上爬浪对多孔砂床的影响。Eliot 等^[16]建立了用以分析沙滩表面侵蚀或堆积状态的相对精密的动轴方法,确定沙滩表面饱和程度最高时会发生最大侵蚀,地下水出流线以上的非饱和区为泥沙沉积区。总的说来,高近岸地下水水位加强沙滩侵蚀和低近岸地下水水位促进泥沙沉积的作用已得到了一定的验证。

Baird 等^[17]对沙滩地下水运动的近期工作进行了总结,发现很多有关沙滩地下水的研究工作都是经验性的,需要更好的观测和物理描述来提高对沙滩地下水和冲流带泥沙运动相互关系的理解。Li 等^[18]建立了模拟沙滩地下水波动的 BEM (boundary element method) 模型,用于求解动边界条件下包括沙滩表面渗流的二维流动方程。此外, Li 等^[19]利用边界元方法解速度势的 Laplace 方程,模拟不同排水条件(人工和重力排水)下沙滩泄水对海岸地下水运动的影响。模拟结果与现场和实验室观测结果相同,

沙滩排水时地下水水位降低,渗出沙滩水流减少。模型模拟中所用的地下水水位、排水率等资料可以用来设计沙滩泄水系统。Turner 等注意到地下水位以上如果存在饱和沙滩区则地下水会产生大幅度快速的波动。Li 等^[20]将考虑了毛细作用的运动学边界条件应用于 BEM 模型,模拟矩形区域中高频海水水位波动影响下的地下水运动。Li 等^[21]发现波浪在沙滩上运动时与沙层有相互的质量交换,这种交换在冲流带总体呈海水向沙层渗透趋势。Masselink 等^[22]通过数值模拟发现虽然这一渗透相对于冲流带的平均水量小得多,但还是会导致并增强波浪变化的向岸不对称性。这种不对称性体现在波浪上坡流速和时间的增加,促进泥沙的向岸传输,减少沙滩侵蚀。Li 等^[23]用二维分析方法研究潮汐地下水波动对节律变化的海岸线的影响。计算结果证明海岸线沿岸的变化对地下水位行为有很大影响,在海角和海湾中心附近区域这种影响更加明显。Li 等^[24]建立了基于过程的数学模型(BeachWin),模拟沙滩上波浪运动、海岸地下水运动、冲流带泥沙输运和沙滩形状改变的相互作用。该模型可以直接模拟低地下水水位对沙滩形状改变的影响,并且可用来评价沙滩泄水系统的可行性。Alaee 等^[25]利用 BeachWin 模型和一系列现场数据检验了利用沙滩泄水技术抑制里海南岸的沙滩侵蚀的可行性。

2 模型试验

Machemehl 等^[5]是第一批研究通过人工处理海岸地下水来控制海岸侵蚀的工程师,他们于 1972 年进行了中沙条件下海水入渗系统对前滩稳定及增长影响效果的实验室研究,共进行了 4 组不同波高的单频波试验。试验结果表明抽取沙滩地下水会大幅度增加前滩泥沙的沉积速度,促进已被侵蚀海岸的增长或修复。Kawata 等^[26]选用正常(低波陡)和风暴(高波陡)条件下的单频波和多频波进行试验,发现沙滩泄水系统在这两种情况下对于海岸修复都有积极作用。Ogden 等^[27]进行了 1 组不规则波的二维试验,结果表明海水处于静止水位时沙滩泄水对泥沙侵蚀率或沉积率影响不大,但还是促进了岸滩的增长并使沙滩坡度增大。Weisman 等^[28]研究评测了在潮汐作用下沙滩泄水的影响效果,指出无论潮汐是否存在,降低沙滩地下水水位都会持续促进岸滩的增长和沙滩坡度增加。Heaton^[29]进行了一系列的单频和多频波试验,定量地说明了提高沙滩地下水水位会增加沙滩侵蚀量的普遍趋势。Oh 等^[30-31]做了 3 组试验,取地下水水位分别高于、低于和等于平均海平面,试验结果表明沙滩地下水水位高于海平

面时沙滩面上原本处于临界稳定状态的区域全部进入不稳定和侵蚀状态。此外,他们利用一个简单的渗流模型证明了透过沙滩表面的出渗流可能会减小表面泥沙的有效重力,从而降低沙滩稳定性。

Herrington^[32]在美国 Davidson 实验室的试验研究给出了沙滩泄水会促进海岸线增长及沙滩稳定的详细的、有力的证明。其试验报告中详细记录了在一个大约长 100 m、宽 3.5 m 的大水槽中,分别给定不同波浪条件(规则波与不规则波)所做的 7 组试验。试验区分为泄水试验区和非泄水试验区,试验波浪波陡值从 0.007 到 0.4。试验结果显示泄水区比未泄水区稳定很多。Günaydin 等^[33]在土耳其技术大学水力学实验室一个长 22.5 m、宽 1 m 的波浪槽中做的规则波试验也显示了沙滩地下水水位的变化对沙滩稳定性的影响。

3 现场试验及应用

Chappell 等^[34]进行了关于沙滩泄水技术的一个野外试验研究,利用抽水泵降低自然海滩的地下水水位,同时观测抽水沙滩形态的改变。试验结果定性说明了降低近岸地下水水位可以促进前滩增长,但由于海岸线的高动态变化,无法定量地说明抽水并对沙滩形状的影响。

Davis 等^[35]详细介绍了另一组野外试验,该试验利用新颖的重力排水系统代替机械抽水泵降低沙滩地下水水位。他们指出沙滩泄水使地下水平均水位大约降低了 0.3 m,潮汐和地下水的滞后减小,使高潮位时沙滩表面较低的位置产生了大量的地下水渗流。

1981 年, Danish Geotechnical Institute (DGI) 在丹麦海岸北部的 Hirtshals 安装了一个地下水过滤系统^[36],为附近 Danish North Sea Research Center 的蒸汽泵和水池每小时提供大约 400 m³ 海水。该处海滩由中沙组成,过滤系统由多根直径 200 ~ 300 mm 的多孔 PVC 管组成,PVC 管埋藏于海岸线向内陆 5 m、平均海平面 2.5 m 以下处,平行于海岸线形成 200 m 的断面。最初,该系统为研究中心提供了所需水量,但运行 6 个月后供水流量减少了 40%。检查发现管道和水泵均无问题,但人们注意到排水管前方的海岸线向海方向移动了 20 ~ 30 m,这说明海岸线到管道之间距离的增加降低了系统效率。为了增加输水量,1982 年末 DGI 将管道加长至 220 m,同时对邻近海滩进行了 5 个月的观测。观察发现抽水井附近的海岸线都会向海移动,即使在冬季的风暴季节也不例外。正是这项不相关的工程项目引起了人们对沙滩泄水技术作为代替传统控制沙滩侵蚀方法的

兴趣。

1983 年, DGI 在离 Danish North Sea Research Center 站 1 km 的地方(Hirtshals East)建站检测沙滩泄水对海岸线的影响,该处海滩由细沙、黏土、淤泥构成。装置运行 8 个月后的评估说明系统虽然不能防止风暴侵蚀,但即使在不理想的土壤条件下还是增加了沙滩泥沙堆积。Hirtshals 站是沙滩泄水技术作为促进海岸线稳定方法的第一个原型尺度证明。

随后, DGI 又在丹麦西部的 Thorsminde 海滩安装了 1 条长 500 m、直径 0.2 m 的多孔排水管,该处沙滩由砂砾和中沙组成。排水管埋藏在海拔 - 2.0 ~ - 2.5 m 之间,通过混凝土管道连接到距离海岸线大约 60 m 处的水泵,该泄水系统自 1985 年 1 月开始一直运行到 1991 年。DGI 指出,经过 7 年的运行,排水管附近沙滩泥沙以大约 30 m³/m 的速度堆积,而沙滩上其他地方的泥沙则以大约 25 m³/m 的速度侵蚀。排水管的有效影响长度比管道实际长度长 100 ~ 200 m,而且该系统对环境没有造成不良影响。

1988 年,在 DGI 的许可下, CSI (Coastal Stabilization Incorporation) 在佛罗里达大西洋海岸的 Sailfish Point 建立了一个长 180 m 的沙滩泄水系统(STABEACH)^[37]。该处沙滩由中沙组成,抽水速率大约为 0.075 m³/s。Dean 在系统运行 11 个月后向 CSI 提交了一份独立的报告,提出不可能把自然条件下与泄水系统影响下的海滩变化区分开。但系统运行了大约 20 个月后,他在另一份报告中又指出沙滩泄水系统促进了海岸线缓慢的增长,而与之邻近的非泄水区沙滩却表现为侵蚀,且泄水区的沙滩比邻近未泄水区沙滩稳定得多。同样,系统并未对沙滩动力产生负面影响^[38]。

1994 年,美国、丹麦和英国共建立了 5 个泄水装置。CSI 在马萨诸塞州的南塔吉特岛建立了 3 个泄水装置,DGI 在丹麦南部的 Enøe 海滨建立了 1 个泄水装置,并指出 1995 年春观测到了海滩明显增长,而往年这段时间该处海滩通常是发生侵蚀的; MMG Beach Management System UK Ltd 在英国 Towan 海湾建立了 1 个泄水装置,Burstow^[39]发现 Towan Bay 的前滩普遍发生增长。

目前,世界的很多地方都安装沙滩泄水装置来控制沙滩侵蚀趋势。1981 ~ 2004 年间,丹麦、美国、英国、日本、西班牙、瑞典、法国、意大利,以及马来群岛等地共安装了 33 个沙滩泄水装置^[40],至今已经取得了很多成功经验。

4 国内应用前景

我国北自鸭绿江口、南至北仑河口全长

18 000 km 大陆岸线的基岩岸、砂砾岸、淤泥岸及 14 000 km 珊瑚礁岸和 14 000 km 岛屿海岸皆存在海岸侵蚀现象,其中沙质海岸的侵蚀已达到 70% 以上。沿岸辽宁、河北、山东等 6 省都深受其害,海滩吞噬,岸线后退,可利用土地大面积减少,经济发展及人民生命财产安全都受到威胁。最新调查表明^[41],我国一些重点岸段侵蚀虽有部分改善,但总的侵蚀趋势仍不容乐观。除修建防护设施的辽宁省营口市盖州—鲅鱼圈岸段侵蚀速度减缓、海南省海口市新海乡新海村岸段趋于稳定外,其他岸段如辽宁省葫芦岛市绥中岸段、山东省龙口至烟台岸段、上海市崇明东滩岸段、广东省雷州市赤坎村岸段等岸段的海岸侵蚀范围和强度仍在不断增大。现今,我国传统的海岸保护措施多为丁坝、防浪堤等硬工程,不仅耗资大,而且可能对海岸生态环境造成负面影响。海岸工程导致海滩侵蚀及后退在青岛已有先例,青岛汇泉湾浴场自白浪花酒店至东海国际饭店一线,因修建一向海的码头和垂直的护岸工程,导致近 50% 面积的海水浴场丧失,同时现存沙滩出现上部粗化、下部趋向细化的情况^[42]。与重复的沙滩灌沙和硬工程设施所不同的是,沙滩泄水不仅可以提供长期的保护,而且对被保护沙滩的外观影响很小或基本没有影响,因此沙滩泄水技术这种新型的沙滩保护软工程在我国有很大的研究价值和广阔的应用前景。

经过 60 多年的理论与试验研究,沙滩泄水技术的作用已得到了证明,在丹麦等国家的实际应用也取得了一些成功经验。相对于传统的沙滩保护方法,沙滩泄水技术具有投资小、作用时间长且对生态环境负面影响小等优点,在我国有很高的应用价值。

参考文献:

- [1] 夏东兴,王文海,武桂秋,等.中国海岸侵蚀述要[J].地理学报,1993,48(5):468-476.
- [2] 盛静芬,朱大奎.海岸侵蚀和海岸线管理的初步研究[J].海洋通报,2002,21(4):50-57.
- [3] BAGNOLD R A. Beach formation by waves: some model experiments in a wave tank[J]. Journal of the Institute of Civil Engineers,1940,15:27-54.
- [4] GRANT U S. Influence of the water table on beach aggradation and degradation[J]. Journal of Marine Research,1948,7:650-660.
- [5] MACHEMEHL J L, FRENCH T J, HUANG H E. New method for beach erosion control [C]//ASCE Technical Council on Ocean Engineering and Department of Civil Engineering and College of Marine Studies, University of Delaware. Proceedings: Engineering in the Oceans, American Society of Civil Engineers Specially Conference. New York: American Society of Civil Engineers,1975:142-160.

- [6] TURNER I L, LEATHERMAN S P. Beach dewatering as a 'soft' engineering solution to coastal erosion: a history and critical review[J]. Journal of Coastal Research,1997,13:1050-1063.
- [7] LONGUET-HIGGINS M S, PARKIN D W. Sea waves and beach cusps[J]. Geographical Journal,1962,128(2):194-201.
- [8] EMERY K O, FOSTER J F. Water tables in marine beaches[J]. Journal of Marine Research,1948,7:644-654.
- [9] GRANT U S. Effect of ground-water table on beach erosion[J]. Bulletin of the Geological Society of America,1946,57:1252-1264.
- [10] DUNCAN J P. The effects of watertable and tide cycle on swash-backwash sediment distribution and beach profile development[J]. Marine Geology,1964,2:186-197.
- [11] STRAHLER A N. Tidal cycle of changes in an equilibrium beach, Sandy Hook, New Jersey[J]. Journal of Geology,1966,74:247-268.
- [12] NORDSTROM K F, JACKSON N L. Migration of swash zone, step and microtopographic features during tidal cycles on an estuarine beach, Delaware Bay, New Jersey, USA [J]. Marine Geology,1990,92:147-154.
- [13] OTVOS E G. Sedimentation-erosion cycles of single tidal periods on long island sound beaches [J]. Journal of Sedimentary Petrology,1965,35:604-609.
- [14] HARRISON W. Empirical equations for foreshore changes over a tidal cycle[J]. Marine Geology,1969,7:529-551.
- [15] PACKWOOD A R. The influence of beach porosity on wave uprush and backwash [J]. Coastal Engineering,1983,7:29-40.
- [16] ELIOT I G, CLARKE D J. Semi diurnal variation in beach face aggradation and degradation[J]. Marine Geology,1988,79:1-22.
- [17] BAIRD J A, HORN D P. Monitoring and modeling groundwater behaviour in sandy beaches[J]. Journal of Coastal Research,1996,12(3):630-640.
- [18] LI Ling, BARRY D A, PATTIARATCHI C B. Numerical modeling of tide-induced beach water table fluctuations[J]. Coastal Engineering,1996,30:105-123.
- [19] LI Ling, BARRY D A, PATTIARATCHI C B. Modeling coastal ground-water response to beach dewatering [J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering,1996,122(6):273-280.
- [20] LI Ling, BARRY D A, PARLANGE J Y, et al. Beach water table fluctuations due to wave run-up: capillarity effects[J]. Water Resources Research,1997,33(5):935-945.
- [21] LI Ling, BARRY D A. Wave-induced groundwater flow [J]. Advances in Water Resources,2000,23(4):325-337.
- [22] MASSELINK G, LI Ling. The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study [J]. Marine Geology,2001,176:139-156.
- [23] LI Ling, DONG P, BARRY D A. Tide-induced water table fluctuations in coastal aquifers bounded by rhythmic shorelines [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2002,128(10):925-933.
- [24] LI Ling, BARRY D A, PATTIARATCHI C B, et al. BeachWin:

modeling groundwater effects on swash sediment transport and beach profile changes [J]. Environmental Modeling and Software,2002,17 313-320.

[25] ALAEE M J,MOGHADDAM P R. Dewatering a solution for shore protection—the caspian sea [M]. Porto, Portugal : EUROCOAST/Portugal,2002 339-344.

[26] KAWATA Y,TSUCHIYA Y. Applicability of sub-sand filter system to beach erosion control[C]//ASCE Technical Council on Ocean Engineering. Proceedings 20th International Conference on Coastal Engineering. Taipei :ASCE,1986 :189-190.

[27] OGDEN M R,WEISMAN R N. Beach stabilization using drains—an experimental model study[J]. Coastal Sediments, ASCE,1991,2 :1955-1969.

[28] WEISMAN R N,SEIDEL S G,OGDEN M R. Effect of water-table manipulation on beach profiles[J]. J of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering,1995,121 (2) :134-142.

[29] HEATON K L. Local effects of groundwater table variation on on-shore off-shore sediment transport[D]. Thesis :University of Western Australia,1992.

[30] OH T M,DEAN R G. Beach face dynamics as affected by groundwater table elevations [R]. Florida : Coastal and Oceangraphical Engineering Department, University of Florida,1992.

[31] OH T M,DEAN R G. Effects of controlled water table on beach profile dynamics [C]//ASCE Technical Council on Ocean Engineering. 24th International Conference on Coastal Engineering. Kobe :ASCE,1994 234-235.

[32] HERRINGTON T O. Laboratory study of the stabeach erosion control system [R]. New Jersey :Coastal Stabilization Inc, 1993.

[33] GÜNAYDIN K, KABDASLI M S, AYDINGAKKO A. The effects of groundwater level on the coastal stability [C]// OZHAN E, YUKSEL Y. Turkey Coasts 01 Conference Proceedings. Ankara : Kiyı Alanları Yönetimi Türkiye Milli Komitesi,2001 579-588.

[34] CHAPPELL J, ELIOT I G, BRADSHAW M P, et al. Experimental control of beach face dynamics by watertable pumping[J]. Engineering Geology,1979,14 29-41.

[35] DAVIS G A,HANSLOW D J. Beach stabilization by drainage of the watertable [C]//BILLY L E. Proceedings of the 10th Australasian Conference on Coastal and Ocean Engineering. New York :ASCE,1991.

[36] VESTERBY H. Coastal drain system : a new approach to coastal restoration[C]//Port and Harbour Research Institute. Proceedings GEO-Coast. Yokohama, Japan : Coastal Development Institute of Technology,1991 651-654.

[37] TERCHUNIAN A V. Performance of the stabeach system at Hutchinson Island, Florida [C]//Florida Shore and Beach Preservation Association. Proceedings of the 2nd National Conference on Beach Preservation Technology. Tallahassee : Florida Shore and Beach Preservation Association,1989 229-238.

[38] DEAN R G. Independent analysis of beach changes in the vicinity of the stabeach system at Sailfish Point,Florida [R]. New Jersey :Coastal Stabilization Inc,1990.

[39] BURSTOW S. The affordable alternative : beach drainage system,newquay [C]//Great Britain,Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Flood and Coastal Defence Division. Proceedings : 30th WWF Conference of River and Coastal Engineers. London :MAFF,1995,10.2.1-10.2.8.

[40] GÜNES G. Numerical modeling of groundwater flow behavior in response to beach dewatering [D]. Turkey : Middle East Technical University,2004.

[41] 国家海洋局. 2006 年中国海洋环境质量公报 [EB/OL]. [2007-01-01]. [http ://www . coi . gov . cn/hygb/hyhj/2006/8 .](http://www.coi.gov.cn/hygb/hyhj/2006/8.htm) htm.

[42] 许国辉,郑建国. 砂质海岸与淤泥质平原海岸的生态型保护研究[J]. 地学前缘,2001,8(2) 246.

(收稿日期 2007-07-11 编辑 高建群)

·小资料·

2007 年全国各省、市、自治区风电机组装机容量

截至 2007 年,我国风电机组装机总容量已超过 590 万 kW,风电机组共计 6 469 台,分布在全国 22 个省、市和自治区,见表 1。由表 1 可知,内蒙古自治区风电机组台数最多,为 1 736 台,装机容量最大,达 156.319 万 kW,其次是吉林、辽宁、河北、黑龙江 4 省,装机容量都在 40 万 kW 以上。

表 1 2007 年全国各省、市、自治区风电机组的台数及装机容量

序号	省、市、自治区	机组数/台	装机容量/万 kW	序号	省、市、自治区	机组数/台	装机容量/万 kW
1	北 京	33	4.950	12	福 建	178	23.775
2	天 津	1	0.150	13	山 东	315	35.020
3	河 北	514	49.145	14	河 南	2	0.300
4	山 西	4	0.500	15	湖 北	16	1.360
5	内蒙古	1 736	156.319	16	湖 南	1	0.165
6	辽 宁	620	51.381	17	广 东	471	28.739
7	吉 林	624	61.226	18	海 南	18	0.870
8	黑龙江	430	40.825	19	甘 肃	428	33.830
9	上 海	18	2.440	20	宁 夏	384	35.520
10	江 苏	188	29.375	21	新 疆	418	29.931
11	浙 江	69	4.735	22	青 海	1	0.080

(吴 高摘自 2008 年 3 月 20 日《中国电力报》)