

文章编号:1002-3682(2016)01-0075-10

海滩养护工程质量评价研究进展*

杨 雯¹,王永红^{1*},杨燕雄²

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院,山东 青岛 266100;

2. 河北省地矿局 秦皇岛矿产水文工程地质大队,河北 秦皇岛 066001)

摘 要:由于自然因素和人类活动的影响等原因,世界很多海滩经受着侵蚀和破坏。而利用人工养护工程来保护和恢复海滩具有养护效果较明显、干滩面积明显增加以及不破坏环境景观的优点,目前得到越来越多国家的认可。国外由于养滩历史较久,养滩工程后的监测和质量评价不仅开展得早,而且已经成为工程的一个重要部分。评价指标已经比较完善,甚至有些国家已经将养滩效果评价列入法规框架之中。我国的海滩养护工程在十几年前才开始,虽然工程量逐年增长,但是对海滩养护工程施工后的工程监测和工程评价却较少涉及。本文对美国、荷兰、英国、丹麦以及我国等国家的海滩养护工程的工程评价工作进行总结,从而提出适用于我国工程特点的养滩工程质量评价因子和方法。

关键词:海滩养护;工程评价;评价因子

中图分类号: P753

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2016.01.008

近几十年来全球 70% 的砂质海岸遭受侵蚀,岸线平均蚀退率大于 $1 \text{ m/a}^{[1-2]}$ 。我国绝大部分砂质海岸均沦为被侵蚀的重灾区,岸线蚀退率普遍大于 $1 \sim 2 \text{ m/a}$,局部达 $9 \sim 13 \text{ m/a}^{[3]}$ 。我国 3.2 万多公里的海岸线,超过 1/3 的海岸普遍遭受侵蚀,其中渤海沿岸为 46%,黄海沿岸为 49%,东海沿岸为 44%,南海沿岸为 21%,且均具有加剧发展的趋势^[4]。在全球气候变暖背景下,21 世纪温度上升 $0.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上的可能性为 90%,上升 $4 \text{ }^\circ\text{C}$ 的可能性为 10%,到时海平面将上升 $18 \sim 59 \text{ cm}$,更加增强了海岸带侵蚀,也加剧了风暴潮对海岸带的破坏。若海平面上升 1 m ,就会带来 2 700 亿~4 750 亿美元的经济损失^[5]。另外,人类过度开发利用海岸,不合理的沿岸建筑等使海岸侵蚀更加普遍和严峻,因此海岸侵蚀防护成为各国海岸开发与保护的重要组成部分。海滩养护工程由于养护效果较明显,干滩面积明显增加等好处,因此越来越得到广泛的应用。国外养滩工程大约从 1970s

* 收稿日期:2015-11-12

资助项目:海洋公益性行业科研专项——海岛旅游海滩管理技术研究与应用示范(201405037);国家自然科学基金国际合作与交流项目——第四节中澳海洋科学技术研讨会(41410304022);国家自然科学基金项目——中国东部陆架海泥质区菌生磁铁矿的形成及环境控制因素研究(41176039)和基于模糊聚类方法的黄渤海表层沉积物物源和输移路径的磁性诊断(41376054)

作者简介:杨 雯(1991-),女,硕士研究生,主要从事海洋地质方面的研究。

E-mail: woshiyang2008@hotmail.com

* 通讯作者:王永红(1969-),女,教授,博士,主要从事海洋沉积环境和动力地貌方面研究。

E-mail: yonghongw@ouc.edu.cn

(王佳实 编辑)

年代开始,截至21世纪初,西班牙和丹麦的海滩养护工程总长度已达到525 km和515 km,德国的养护总长度达到了313 km,荷兰为291 km(表1)。而实施养护工程的抛沙年数在德国、美国、英国均已超过40 a^[6],其养滩工程的评价工作开展得早而较为成熟。在美国,养滩效果的评价已经成为工程的重要部分,需要定期公布养滩综合效果评估结果;在欧洲,荷兰和丹麦已经将养滩效果评价列入法规框架之中^[6]。目前,我国养滩工程逐渐增多,截至2009年底已有近二十处受侵蚀岸段完成或基本完成了海滩养护工程,其中13个典型养护岸段岸线总长度10.39 km,共向海滩抛沙约202.7万m³^[7]。但是这些工程少有工程后的监测工作,评价工作更为少见。因此本文拟对国内外海滩养护工程的评价工作进行总结研究,从而提出适合中国的养滩工程评价因子和体系。

表1 世界各国海滩养护的相关参数^[6]

Table 1 Parameters relevant to the beach nourishment projects in the world^[6]

参数	法国	意大利	德国	荷兰	西班牙	英国	丹麦	美国
抛沙年数(Y)	33	37	48	10	13	44	24	46
总抛沙体积(V)/×10 ⁶ m ³	12	15	50	60.2	110	20	31	144
养护岸线长度(LN)/km	35	73	128	152	200	n/a	80	350
全部养护工程总长度(LP)/km	190	85	313	291	525	n/a	515	n/a
软物质(沙和砾石)海岸 总长度(LS)/km	1 960	3 620	602	292	1 760	3 670	500	61 400
海滩养护海岸每米 年均抛沙量(AVN) /m ³ ·m ⁻¹ ·a ⁻¹	10.4	5.6	10	39.6	42.3	n/a	16	9
全部工程平均单位 抛沙量(AVP)/m ³ ·m ⁻¹	63	176	210	207	210	n/a	60	n/a
全部岸线每米平均 抛沙体积(AVS) /m ³ ·m ⁻¹ ·a ⁻¹	0.19	0.11	1.7	20.6	4.8	n/a	2.6	0.05
工程中平均养护 点的数量(ANF)	5.4	1.2	2.4	1.9	2.6	n/a	6.4	n/a
平均再养护时间 间隔(ARI)/a	6.1	31.8	19.6	5.2	4.9	n/a	3.7	n/a
$\frac{LN}{LS}/\%$	1.8	2.0	21.3	52.1	11.4	n/a	16	0.6
单项工程单位抛沙 体积范围(RUV)/m ³ ·m ⁻¹	3.3~400	19~511	30~500	31~596	70~450	n/a	10~100	n/a

注:n/a表示不适用;AVP=V/LP;ARI=Y/ANF;ANF=LP/LN

1 海滩养护工程的设计目标和要素

1.1 海滩养护工程的设计目标

海滩养护是对设计目标有预期效果的工程,通常成本较高,设计阶段需要深思熟虑。基本的设计目标包括:1)改善提升海岸的稳定性;2)改善海岸防护;3)增加沙滩宽度(表2)。这些目标应该使用设计参数进行表述,然后使用公式化设计标准,这些参数和标准为不同的养护工程提供建立性设计目标的客观依据。

表 2 海滩养护工程设计目标(根据文献[8]改编)

Table 2 The designed objectives of the beach nourishment project (revised after [8])

养滩目的	岸线稳定	海岸保护	海滩增宽
设计参数	瞬时海岸线(MKL)位置	沙丘或海滩上部体积	夏季之前的干滩宽度
参数选择(侵蚀率)	超过 10 a 瞬时海岸线每年位置的线性拟合	超过 10 a 每年海滩上部体积的线性拟合	超过 10 a 的每年宽度的线性拟合
设计标准(寿命)	若干年后 MKL 相对向海参考线	若干年后沙丘或海滩上部体积超过参考体积	若干年后干滩宽度比养滩前的最小宽度宽
评价标准参数	实际和设计寿命比值;养护之前和之后侵蚀率比率	实际和设计寿命比值	实际和设计寿命比值

注:MKL: Mean Kustlijn,其中 Kustlijn 为荷兰语海岸线的意思

第 1 个目标是指岸线稳定,就是在养滩工程施工后新建的岸线需保持稳定。这个岸线指的是设计中的瞬时岸线位置(图 1),MKL 体积为沿岸每米的沙方量,由平均低水位基准之上和之下的距离相等的 2 个水平面(其中低水位基准面上的距离指丘脚水平线到平均低水位基准面的距离,即图 1 中的 a),以及剖面与丘脚的向岸任意垂直参考线所包围形成的部分,即图 1 中斜线阴影表示的 S。这个参考线要在向陆地方向足够长的距离处选取,保证将来可能的岸线蚀退形成的新丘脚位置不会达到这个地方,用体积除以高度得到岸线相对于参考线的位置(MKL 位置)。养护的结果就是在明确定义的时期内 MKL 的位置保持在选定的靠海位置,也被称为养滩寿命,同时这也是海岸稳定性设计的设计标准。

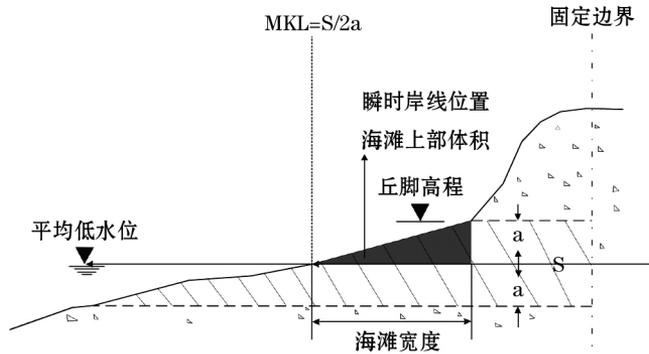


图 1 瞬时海岸线位置指示图(改绘自[8])

Fig. 1 Location of the transient shoreline (revised from [8])

第 2 个目标是指海岸保护,指防护风暴潮的侵蚀。标准的评估程序一般设定剖面上部 MKL 体积的砂为最合适的设计参数。MKL 体积的砂为沿岸每米的沙方量,由平均低潮基准面之上和之下的距离相等的两个水平面(其中潮基准面之上的距离指丘脚水平线到平均低潮基准面的距离),以及剖面与丘脚的向岸任意垂直参考线所包围形成的(图 1)。

第 3 个目标是指海滩增宽,通常是休闲度假服务的。相关联的设计参数是海滩宽度,一般其重点在干滩宽度。海滩增宽的设计标准是指养滩工程后若干米宽的海滩能够在若干年的时间内保持比养滩前所监测到的最小宽度宽^[8]。

1.2 海滩养护工程设计的要素选取

表 3 为不同国家在海滩养护工程设计时所考虑的设计要素。其中欧洲一些国家在工

程设计时考虑的设计要素(包括采用的参数、标准和评价标准参数)和养滩目的不同有关。工程实施后是否能达到预测的工程效果与工程在设计阶段的工作是否全面有很大的关系,所以注重工程设计和正确合理地选取设计要素是保证工程质量的一项重要工作。

表3 各个国家的设计要素—填沙性质和方法^[6]

Table 3 The designed elements for sand filling properties and methods in the countries of the world^[6]

要素	法国	意大利	德国	荷兰	西班牙	英国	丹麦
滩肩高度	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
滩肩宽度	Y	Y	Y		Y	Y	N
过度填沙 (填沙体积大于计算填沙量)	Y	Y	N	Y	N	N	N
每米海滩抛沙体积	Y	Y	Y	Y		Y	Y
补沙粒径/原沙粒径	>1	1	>1	1	>1	1 ^a	>1
支撑结构物的使用	Y	Y	N	N	Y/N	Y	N ^a
计算的养护周期/a	N	N	5~7	5		n/a	N
后续工程的使用	N	N	Y	Y	Y/N	Y/N	Y
工程性能评估的使用	N	N	Y/N	Y	N	Y/N	Y

注:Y表示有;N表示无;1^a表示砂质海滩补砂粒径与原砂粒径相同;N^a表示砂质海滩无支撑结构物的使用;n/a表示不适用;空白处无数据

2 养滩工程评价指标选取

2.1 养滩工程评价指标选取原则

养滩工程的评价工作的复杂性,在于影响养滩工程的控制因素在不同的海滩环境下不同。例如,Benedet等^[9]在2007年评价了佛罗里达东岸的养护,认为和不规则地形引起的波浪变形或沿岸粒度分布相比,影响侵蚀热点发展最重要的因素是由于养滩本身而引起的岸线走向的变化,导致沿岸流增强及沉积物运移潜力的增加。Browder和Dean^[10]分析了佛罗里达西北的8a养护后数据,认为养滩工程的作用与风暴的发生及潮流通道最相关。Capobianco等^[11]认为养滩的质量控制及不确定性识别的提升对预测工程作用有很重要的作用。

但是无论这些影响因素如何多变,养滩工程是有预期目标的,因此最终需要指定一个能够指示是否达到预期工程目标的主要指标。这种指标必须含有养滩的有效性因素,同时这个指标在养滩工程前后可以进行检验。实际上不同养滩工程因为工程设计目标不同,其工程评价所选取的因子也会有所不同。海滩养护工程的评价首先要考虑设计目标。如果设计目标是保持海岸线稳定,为了更好地反应工程效果,在评价时可以选择保存系数(即工程实际寿命与设计寿命之比)。如果是为了保护海岸为目的的工程,则最好选择以效率系数为主的评价因子,可以很好地反映工程前后的海滩侵蚀速率的变化。以增宽海滩为目的的工程应选择以改造系数为主的评价因子,可以更直观地反映工程实施后海滩增宽的效果。

2.2 养滩工程评价指标选取实例

2.2.1 美国

美国本土海岸线总长59 700 km,其中有4 200 km海岸受到严重侵蚀。美国早在

1922 年就开始在纽约市科尼岛公共岸滩进行了养滩工程^[12]。随后,养滩逐渐成为防止海岸侵蚀的主要手段。例如截止到 1996 年佛罗里达州的养滩地区就有 16 处之多^[12]。美国东海岸有 154 处海岸的 573 个海滩进行过人工海滩养护^[13],养滩评价工作也相应开展。Leonard 等^[14]选用保存系数(海滩的实际寿命与设计寿命之比)评估了总长为 700 km 的 154 个美国海滩养护工程,认为在美国西海岸,约有 30% 沿太平洋海岸的填沙项目寿命(原有的填沙体积的被侵蚀到原有体积 50% 时的时间)大于 5 a,而其他海岸约为 10%。Van^[15]对重要的设计参数的影响(填充长度,填充量,粒度,防波堤的存在,风暴活动)进行了评价。

总体来说,海滩养护工程的评价指标的选择主要从海滩自然演变特征方面进行评价,包括:1) 养护后海滩的寿命。寿命主要由抛置沙量满足工程前剖面沙缺失的程度及横向输沙损失率决定。海滩的存在寿命要足够长才能保证养护之初以及之后的再养护费用^[16]。2) 海滩地貌自然演变。养护工程后的海滩在波浪等的作用下,整个平面形态和剖面存在着向平衡过程演变的自然演化趋势。剖面的平衡过程,对于有大量抛沙的剖面,平衡剖面的形成取决于养护沙粒径的大小、闭合深度、滩肩高度和其他一些影响较小的因素。海滩养护工程的成功与否与这个平衡过程所需的时间有着至关重要的关系。因为对于一个“半衰期”(半衰期指养滩抛沙被侵蚀掉一半所经历的时间)为 1~2 a 的工程可能被视为是无效的,但对于“半衰期”为 5~10 a 左右的工程来讲就可以认为是成功的^[16]。3) 沙的颜色。比如将海滩沙颜色作为海滩特点来吸引游客推广旅游的地区,海滩养护沙的颜色与原始沙颜色要尽量一致。一般情况下源于滨外采沙区的养滩沙刚铺上时颜色稍微深一些,但经过几个月暴露于地表环境后颜色会变淡,这使养滩沙在颜色上要比原始海滩沙淡些,尤其是在砂的种类不同的情况下。沙色会影响海滩的温度,一般由于沙颜色较深的海滩温度较高,因此颜色不仅关系到人类的娱乐活动,也关系到筑巢海龟的生境^[16]。4) 沉积物粒径。理想的补沙粒径应该与原始粒径尽量一致。除了控制大于原始海滩沙粒径的养护沙含量外,也要控制养护沙中的黏土和粉砂所占的比例,因为它是影响海滩养护工程环境适宜性的重要因素。5) 环境适宜性。环境适宜性评价是对养护后海滩的生态适宜性的优劣程度进行定量描述,即采用一定的评价标准和评价方法对一个特定区域内的底质环境为生物群落提供的生存空间的大小和对其正向演替的适宜程度进行说明、评定和预测。每一种特征的重要性在不同养滩工程中也各不相同。还有一些人为因素会影响不同养滩工程演变评价的关注焦点。如果养滩前的海岸线侵蚀后退严重并威胁到海岸构筑物,那么关于沙色和石块含量问题的考虑可以相对减少,而用于休闲度假和促进旅游业的这些海滩在颜色和补沙粒径方面则是涉及的重点^[16]。

2.2.2 荷兰

荷兰在 1950 年就已开始了海滩养护。养滩目的为防洪、保护沙丘,防止沙滩消失、保护游览胜地,以及使疏浚的泥沙得到妥善处理。1952—1989 年间荷兰已有 50 个养滩计划得到实施,投入养滩总沙量为 6 000 万 m³。至 2002 年共在 35 段海岸补沙 200 余次,共约 110×10⁶ m³。继美国海岸研究中心编制《海滨防护手册》(1984)之后,荷兰在 1987 年专门制订了《人工海滩养滩手册》^[12]。

荷兰海滩养护工程的评估基于自然演变因素提出以下参数:1) 效率系数:抛沙前和抛

沙后海滩侵蚀率之比;2)保存系数:为抛沙海滩的实际寿命与设计寿命之比;3)改造系数:在养护寿命期间平均海滩宽度与养护前相同时间跨度内平均宽度之比;4)自然因素系数:为实际的与设计稳定沙丘寿命之比(表4);5)防洪系数:沙丘剖面维持的实际和设计寿命之比^[6-8]。Roelse^[17]在1990年对表4中列出的10个养滩工程进行评价发现有8个海滩养护工程是成功的,其中Eierland海滩1985年的填沙量在其养滩工程进行的4a后就已全部消失,没有达到预期的5a寿命。Hillen和Roelse^[18]在1995年报道了1975—1994年间海滩养护时间的评价(表4),讨论了7种可能表示评价效果的特征参数,其中5种在表4中列出。

表4 荷兰某些养滩工程评价指标及评价结果^[18-19]

Table 4 Evaluation indices and results of the beach nourishment project in the Netherlands^[18-19]

项目地点	养滩年份	设计寿命/a	抛沙体积		特征参数					评价结果		
			$\times 10^6 \text{ m}^3$	m^3/m	效率系数	保存系数	改造系数	自然因素	防洪指数	结果	效果	功能
Ameland	1980	8~10	2.20	365	>2	1.6	0.9	1.4	1.5	++	+	+
Eierland	1979	5	3.05	510	0.7	0.9	0.9	0.8	0.9	+	-	+
Eierland	1985	5	2.85	480	0.9	0.7	0.9	0.7	0.8	+	+	+
De Koog	1984	10	3.02	500	0.6	0.7	1.1	0.8	1.0	-	-	+
Callantsoog	1986	13	1.30	440	0.3	0.5	1.1	0.7	n ^c	+	--	+
Zwanenw	1987	15~20	1.70	400	0.8	0.7	1.0	0.7	1.0	+	+	-
Goeree	1977	5	1.27	420	n ^c	1.4	n ^c	n ^c	n ^c	++		
Goeree	1985	5	0.86	290	n ^c	2.4	n ^c	n ^c	n ^c	++		
Schouwen	1987	5	1.83	1 080	0.8	1.9	1.3	1.0	1.0	++	+	+
Cadzand	1989	5	1.02	560	0.3	2.1	2.4	>1	2.4	++	--	+

注:n^c表示无法确定;“++”表示效果很好;“-”表示效果中等;“+”表示效果好;“--”表示效果差;空白处表示无数据;“ $\times 10^6 \text{ m}^3$ ”为抛沙总体积;“ m^3/m ”为每米沙滩抛沙体积

2.2.3 英国

英国抛沙补滩始于1954年,起初是为抵御波浪对防波堤脚的侵蚀,从邻岸挖来大量沙砾石堆于防波堤脚下,从而使防波堤的寿命延长到40a以上。1972年开始为增宽旅游海滩,大量向海滩抛沙,沙砾主要来于滨外。1995年以后,养滩工程快速发展,平均抛沙率约 $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$,至2000年,养滩岸段约33处,抛沙35次,总沙量约 $20 \times 10^6 \text{ m}^3$,最大的补滩工程为林肯郡的Mablethorpe海滩,长24km,1996年和1998年共抛沙 $7 500 \times 10^3 \text{ m}^3$,单宽抛沙量约 $312 \text{ m}^3/\text{m}$,沙主要取自滨外^[20]。

目前,英国海滩补沙主要取自滨外沙。将滨外采来的砂补充海滩,粉砂和泥质物补到河口泥坪或填充于防波堤内,从而稳定了海岸环境,增加了休闲娱乐场地。英国所有补滩工程要按海滩管理手册^[21]评估,评估标准参数有:1)利益/费用比率,B/C利益费用比,此项为衡量工程经济效益的重要参数;2)可行性及可能的有效使用寿命;3)可抵御几年一遇的洪灾;4)环境影响因素,养护工程对沿海可再生自然资源的影响以及对人类环境质量的潜在影响^[20-22]。

2.2.4 丹麦

丹麦海滩长约7400km,西部多为北海西岸宽平砂岸,也是补沙护滩工程主要海岸。1974年开始实施海滩养护,主要采用人工抛沙和分段丁坝组合方式。至2002年养滩岸段约

14 处,共抛沙 118 次,总抛沙量 $31 \times 10^6 \text{ m}^3$,平均单宽抛沙 $8.815 \text{ m}^3/\text{m}$ 。养滩沙主要抛在滩肩和后滨,只有 3 处抛于水下滨面,沙源主要取自滨外深水区,个别用陆沙和疏浚沙^[23-24]。

丹麦养护工程评估通常是每年进行的海滩 200 m 横剖面的调查,以及每 2 a 一次的整个北海岸线的调查中对岸线的研究结果,主要的工程评估参数是:1)自然侵蚀系数,基于对剖面不同位置侵蚀率进行计算。2)使用寿命。在北海沿岸,每年的风暴潮可能会导致严重的海滩侵蚀,因此,政策规定每年补沙一次。如果抛沙量过大,可能会对沙滩产生负面的影响。实测资料表明,滨面部分的剖面补沙工程的使用寿命大约为 3 a。3)海滩养护补沙效率系数,为抛沙前和抛沙后海滩侵蚀率之比^[23]。

3 国内海滩养护工程评价工作进展

我国开展养滩工程目前还处在起步阶段。养滩工程规模小但是发展较快,沙滩类型多,工程包括软硬工程兼顾的特点^[7]。截至 2009 年底完成的海滩养护工程约有 13 处,平均单宽抛沙率约 $196.3 \text{ m}^3/\text{m}$ 。虽然国内海滩养护的工程技术在不断的发展进步中,但是施工后的定期监测和对工程实施效果的评价工作较少。目前,北戴河地区的养滩工程有较为完整的监测系统以及对工程的评价。评价指标包括效率系数和保存系数。在北戴河西海滩,采用这些参数对养护后近 3 a 的海滩进行评价,滩肩、滩面上部和下部的改造系数分别为 5.37, 2.88, 1.47, 保存系数分别为 1.01, 0.67, 0.75。通过数据可以得知滩肩的养护效果最好。近 3 a 滩面上部砂量保留原填沙量的 80%~90%,是养滩工程较为成功的案例^[25]。在北戴河二浴场海滩,采用养滩前后剖面变化量以及填沙体积变化值对北戴河中海滩二浴场的养滩效果进行评价,显示一期工程虽在短时间内恢复了海滩的使用,但经过近 4 a 的自然演化后,海滩的填沙体积仅保存了 1/3,岸线蚀退到距建筑物 10 m 附近的位置。而二期工程工使效果较好,施工半年内剩余填沙体积为 86.8%^[26]。

4 一般养滩工程质量评价因子的选择建议和应用

不同国家对养滩工程的评价参数有不同的选择,但总体上包括效率系数、保存系数、改造系数、自然因素系数、防洪系数,而中值粒径和分选系数是在养护工程前后的样品分析中较容易得到的参数,先增加中值系数和分选程度系数用以评价养护工程。这些参数的计算方法如下:

效率系数 = 抛沙前海滩侵蚀率 / 抛沙后海滩侵蚀率

保存系数 = 抛沙海滩的实际寿命 / 抛沙海滩的设计寿命

改造系数 = 抛沙后的海滩宽度 / 抛沙前的海滩宽度

自然因素系数 = 实际的稳定沙丘寿命 / 设计的稳定沙丘寿命

防洪系数 = 沙丘剖面维持的实际寿命 / 沙丘剖面维持的设计寿命

中值系数 = 养滩前滩面粒度 D_{50} / 养滩后滩面粒度 D_{50}

分选程度系数 = 抛沙前的分选系数 / 抛沙后的分选系数

评价因子有很多,对养滩工程施工后的监测要做到面面俱到十分困难,一般来说需要结合工程实际以及操作的可行性,现选取特征性强、操作度高、有代表性的参数进行工程评价。可以采用效率系数、改造系数、保存系数、中值系数、分选程度系数作为主要评价因

子,进行等级划分。并赋予评价因子适宜的权重系数,然后参考运用旅游地综合性评估模型的公式^[27],计算出各个海滩的综合得分。模型公式为:

$$E = \sum_{i=1}^n Q_i P_i, \quad (1)$$

式中, E 为海滩养滩工程的综合评价结果; n 为评价因子的个数; Q_i 为第 i 个评价因子的权重; P_i 为第 i 个评价因子的评价得分。依据这些因子可以建立我国养滩工程质量评价体系。

表5 我国养滩工程质量评价体系表

Table 5 The quality evaluation system for beach nourishment project in China

评价因子	评价因子等级划分			权重等级		
	差	良	优	非常重要	重要	一般
效率系数	<1	1~2	≥2	3	2	1
保存系数	<0.5	0.5~0.75	≥0.75	3	2	1
改造系数	<1	1~1.5	≥1.5	3	2	1
中值系数	>1	1	<1	3	2	1
分选程度系数	<1	>1		3	2	1

注:空白处代表无数据

效率系数为抛沙前后岸线蚀退速率之比,或抛沙后前滩肩宽度之比的数值来核定,一般选择后者进行计算,比率愈高,养滩效果愈好^[7]。保存系数指的是抛沙的实际寿命与设计寿命之比,或抛沙 N 年后残留抛沙量与工程实际抛沙量之比。后者的计算方法更为实用。海滩养护的实质就是通过向海滩抛沙导致海滩平衡剖面的平行外移,其目的就是要有一个较宽的新滩。残留沙的数目就是养滩工程的红利若残留所抛沙量小于50%或更小,就等于新滩宽度接近原滩宽度,意味着养滩工程的失败^[25]。改造系数为工程前后海滩宽度之比。参考保存系数,残留抛沙量小于50%或更小,就等于新滩宽度接近原滩宽度即改造系数小于1,则养滩工程失败。滩肩的宽度改变是十分直观的一个因素,清晰可见。改造系数的计算可等同于效率系数的相反数,因此评价时效率系数和改造系数任选其一即可。中值系数为工程前后的中值粒度 D_{50} 之比。中值粒径越大表示海滩砂粒径越粗,相反中值粒度越小表示砂子约细。中值系数等于1表示工程前后的中值粒度没有发生变化,大于1表示养滩工程后海滩的平均粒度变细,小于1表示工程后海滩的平均粒度变粗。

参照《海洋底质调查技术规程》要求,分选等级小于0.71为好,0.71~1.00为中等,大于1.00为差。分选程度系数若大于1则表示工程结束后分选系数减小分选性变好,相反分选程度系数小于1则表示工程结束后分选系数增大分选性变差。海滩滩面的分选系数受填沙物质的影响,填沙物质沙源地较多,相互混杂堆积会造成分选系数的变化,因此分选程度系数只是一个参考值不同的工程方案需按照实际情况具体分析。

5 结 论

1)国外对养滩工程质量评价的研究已比较成熟。荷兰、英国、丹麦、美国等国家已将评价内容写入在各自的工程施工手册或相关政策文件之中。而我国近十年开展海滩养护工程,仍处于发展阶段。工程的设计、施工等各方面尚无全面的政策规范,很多工程在施工后没有后续的维护监测,这对工程的评价工作造成了很大的阻碍。呼吁尽早建立符合

本国国情的养滩手册,对监测工作规范化。

2)不同养滩工程其是施工设计的目标与要素各不相同,其工程评价所选取的指标也会有所不同。要了解工程的目标,根据工程的目标选取适用的评价指标。美国的工程评价指标主要为海滩养护工程寿命、自然演变评价、沙的颜色、沉积物粒径和环境适宜性;丹麦的设计评估参数为自然侵蚀系数、使用寿命和海滩养护补沙效率系数;荷兰的工程评价基于自然演变选取了效率系数、保存系数、改造系数和自然因素系数,最为详尽。

3)我国的海滩养护工程的评价工作还处于刚刚起步的阶段,各项的规章制度还不完善,很多工程在施工后都没有进行后续的监测工作,这使得评价工作很难获取合理有效地数据进行评价参数的计算。对于海滩养护工作我们还要继续规范相关的制度,使工程的设计施工及后续工作更加的完善,使获取的工程数据功能最大化。

参考文献:

- [1] KOMAR P D. Beach Processes and Sedimentation[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1998: 544.
- [2] 任美愕. 海平面研究的最近进展[J]. 南京大学学报, 2000, 36(3):269-279.
- [3] 夏东兴. 海岸带地貌环境及其演化[M]. 北京:海洋出版社, 2009.
- [4] 季子修. 中国海岸侵蚀特点及侵蚀加剧原因分析[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 65-75.
- [5] TITUS G, PARK R A, LEATHERMAN S P, et al. Greenhouse effect and sea level rise: the coast of holding back the sea[J]. Coastal Management, 1991, 19(2):171-204.
- [6] HANSON H, BRAMPTON A, CAPOBIANCO M, et al. Beach nourishment projects, practices, and objectives-a European overview[J]. Coastal Engineering, 2002, 47(2):81-111.
- [7] 庄振业, 曹立华, 李兵, 高伟. 我国海滩养护现状[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(3): 133-139.
- [8] HAMM L, CAPOBIANCO M, DETTE H H, et al. A summary of European experience with shore nourishment[J]. Coastal Engineering, 2002, 47(2):237-264.
- [9] BENEDET L, FINKL C W, HARTOG W M. Processes controlling development of erosional hot spots on a beach nourishment project[J]. Journal of Coastal Research, 2007, 23(1):33-48.
- [10] BROEDER A E, DEAN R G. Monitoring and comparison to predictive models of the Perdido Key beach nourishment project, Florida, USA[J]. Coastal Engineering, 2000, 39(2-4): 173-191.
- [11] CAPOBIANCO M, HANSON H, LARSON M, et al. Nourishment design and evaluation: applicability of model concepts[J]. Coastal Engineering, 2002, 47(2):113-135.
- [12] 姚国权. 欧美日的人造海滩[J]. 海洋信息, 1990, 12(4):27-28.
- [13] VALVERDE H R, TREMBANIS A C, PIKLEY O H. Summary of beach nourishment episodes on the U. S. east coast barrier islands[J]. Journal of Coastal Research, 1999, 15(4):1100-1118.
- [14] LEONARD L A, DIXON K L, PILKEY O H. A comparison of beach replenishment on the U. S. Atlantic, Pacific and Gulf coasts[J]. Journal of Coastal Research, 1990, SI6: 127-140.
- [15] VAN R. Beach restoration and beach nourishment[EB/OL]. [2012-08-08]. <http://www.leovanrijn-sediment.com/>
- [16] DEAN R G. Beach nourishment, theory and practice[M]. Singapore: World Scientific, 2002.
- [17] ROELSE P. Beach and dune nourishment in the Netherlands[J]. Coastal Engineering, 2012:1984-1997.
- [18] HILLEN R, ROELSE P. Dynamic preservation of the coastline in the Netherlands[J]. Journal of Coastal Conservation, 1994, 1(1):17-28.

- [19] ROELSE P. Evaluation of sand nourishment projects along the Dutch coast 1975-1994[R]. Middelburg Hague; Rijkswaterstaat RIKZ, 1996.
- [20] POSFORD D. Review of lincshor renourishment strategy study[R]. Anglian Region; Report Prepared for the Environment Agency, 1998.
- [21] SIMM J D, BRAMPTON A H, BEECH, N W, et al. Beach management manual[M]. London: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 1996.
- [22] 胡广元, 庄振业, 高伟. 欧洲各国海滩养护概观和启示[J]. 海洋地质动态, 2008, 24(12): 29-33.
- [23] JAMES W R. Techniques in evaluating suitability of borrow material for beach nourishment[R]. Vicksburg, MS; US Army corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, 1975.
- [24] Laustrup C, Madsen H T. Design of breakwaters and beach nourishment[C]//American Society of Civil Engineers, 2012.
- [25] 邱若峰. 海滩养护的功效率和寿命—以北戴河海滩养护工程为例[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(3): 26-33.
- [26] 刘建涛. 北戴河中海滩二浴场养滩效果分析[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(3): 56-63.
- [27] 保继刚, 楚义芳, 彭华. 旅游地理学[M]. 河北: 高等教育出版社, 1993: 72-79

A Summary of the Quality Evaluation of Beach Nourishment Project

YANG Wen¹, WANG Yong-hong¹, YANG Yan-xiong²

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
2. Qinhuangdao Mineral Resource and Hydrogeological Brigade, Hebei Geological Prospecting Bureau, Qinhuangdao 066001, China)

Abstract: Many beaches in the world have suffered erosion and destruction due to the influences of natural factors and human activities. The beach nourishment project, which is aimed at protecting and restoring the beaches and has the advantages of obvious nourishment effect of beaches, significant increase in dry beach area and nondestructive in the environment landscapes, has been recognized by more and more countries. In the foreign countries, the beach nourishment project has been performed for a long time, and the monitoring and the quality evaluation after the project are not only carried out earlier, but also become an important part of the project. In China, however, the beach nourishment project started only more than 10 years ago. Although the number of the project increases year by year, the monitoring and the quality evaluation after the project are less. In the present paper, the evaluations of the beach nourishment projects carried out in the United States, the Netherlands, Britain, Denmark and China are summarized and the quality evaluation factors and methods suitable for the performance of the beach nourishment project in China are suggested.

Key words: beach nourishment project; evaluation of the project; evaluation factors.