

· 综 合 ·



# 双鱼岛工程设计关键技术研究

金 晖, 柯 学

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 重点介绍双鱼岛的前期填海造陆设计如何考虑与后期上盖规划之间的衔接, 并根据工程所在位置地质相对比较复杂、淤泥层厚度较大的特点, 对人工岛平面布置、护岸结构方案、陆域填筑、地基处理、特殊功能建筑等主要关键技术作重点研究。

**关键词:** 人工岛; 地质; 平面; 结构; 关键技术

中图分类号: P 752

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0001-06

## Key design technology of Shuangyu artificial island

JIN Hui, KE Xue

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** Shuangyu artificial island (commissioned by China Merchants Group Zhangzhou Economic-Technological Development Area) is the first domestic artificial island which is approved by the State Council to be fully developed for tourism, living and ecology. This paper particularly introduces how to consider the connection between Shuangyu island's preceding land reclamation design and later layout and building, and intensively researches key technology such as the artificial island layout, the structural scheme of the outer revetment, land reclamation, soil ground treatment, architecture with special function, et al. according to the features that the engineering geological location is relatively complex and the thickness of silt layer is large.

**Key words:** artificial island; geology; plane; structure; key technology

双鱼岛(招商局漳州开发区人工岛工程)是经国务院审批通过的国内第一个完全用于旅游、居住和生态开发建设的人工岛,是集城市规划和景观布局、高等级防护堤坝、生态滨水岸线、高档游艇基地、巨型人工泳池、大面积回填造陆及超软土地基处理、船(水)闸、防洪排涝、内河防渗及水体交换等为一体的综合性海岸水工程和城市开发建设工程(图1)。人工岛基本形态为两条嬉戏的海豚形成的圆形设计方案,总面积221.67万 $m^2$ ,半径为840 m,通过两座桥梁与陆地联络;人工岛沿岸分别布置了游艇及客运码头、人工泳池等工程。根据防洪、防潮和排涝工程要求确定,按重要城市(II)标准设防。

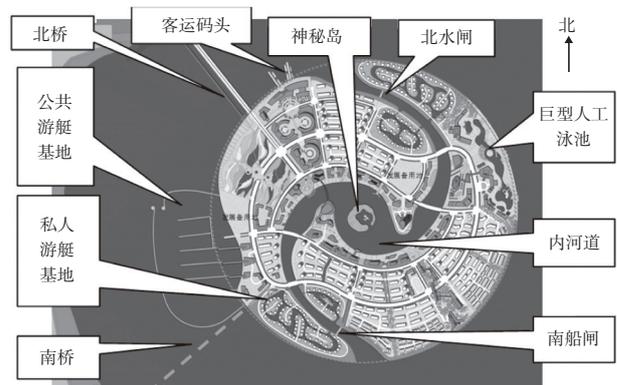


图1 双鱼岛总平面布置

人工岛工程所在地潮差大、风浪大、地质条件差且复杂。海域重现期100 a一遇(85国家高程)设计高、低潮位分别为4.62 m和-3.31 m;人

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 金晖(1972—),男,教授级高级工程师,从事道桥及岩土工程设计工作。

工岛东侧和东南侧100 a一遇设计高水位对应的 $H_{1\%}$ 为5.45 m, N向绕射后的 $H_{1\%}$ 最小为0.77 m;人工岛约60%区域(集中于东侧和南侧)地表分布着软弱淤泥,属高压缩性、高灵敏度、低强度软土,厚度变化从0.40~23.50 m,淤泥直剪粘聚力为7~13 kPa,内摩擦角为 $0.4^{\circ}$ ~ $1.5^{\circ}$ ,渗透系数为 $3 \times 10^{-7}$ ~ $8 \times 10^{-7}$  cm/s,是人工岛工程需着重处理的软弱土层。

针对双鱼岛的建设规模、使用性质和自然条件,设计提出了以下关键性技术问题,并结合现场实际施工、试验和科研等,开展技术攻关和研究。

### 1 人工岛平面布置的研究

人工岛的平面设计主要内容包括工程用海面积、地理位置与布局、外轮廓形状和主要区块功能等。双鱼岛外围设计成圆形,由两条嬉戏的海豚构成,其顺畅的流线型人工堤可最大限度降低对海洋水动力条件的影响,并尽可能减低海域泥沙淤积程度;从功能布局上,在双鱼岛的中央布置有南北走向的内河,最大限度地拓展了滨水景

观岸线;内河道总体为南北走向,呈反“S”型,为保证内河道水体要有一定的流动性、增强岛内潮流通道的海水自净能力,减少内河道内的泥沙淤积,在内河道南端和北端设置水(船)闸,并以此形成内河常水位。

### 2 人工岛护岸

人工岛护岸设计关键技术包括合理确定防御标准,以及选择护岸结构形式。

人工岛处在无掩护的敞开海域,四周必须建造护岸,以抵抗波浪的作用,其防御标准根据防护对象和开发目标的重要性、规模、保护面积等划分等级。人工岛虽然形成面积不大,但围区内设有重要的旅游、民居、生态设施,故按1级海堤标准设计<sup>[1]</sup>。

护岸结构形式(图2)侧重于结构的安全可靠性和稳定性,同时兼顾不同功能岸线的特殊使用要求,选择抛石斜坡式结构。此类结构基础稳定性较好、石料强度高、耐久性好、筑堤造价相对较低,堤基处理采用抛石爆破挤淤法。

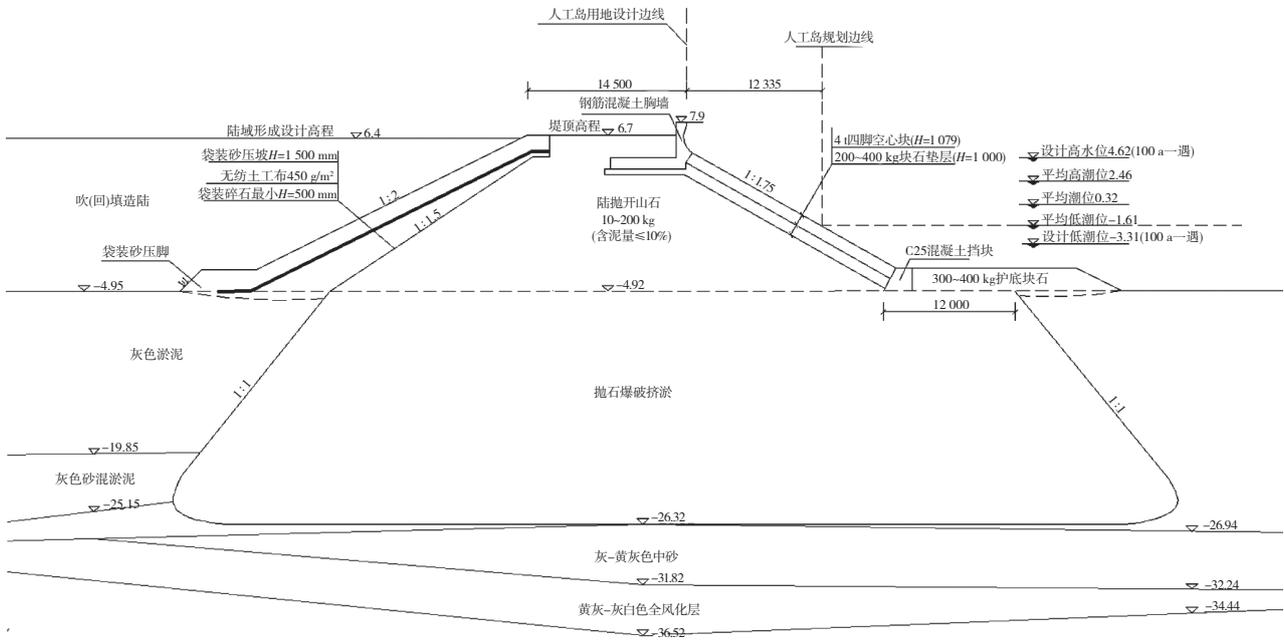


图2 护岸典型结构

从地质条件以及结构形式来分析,护岸抛石爆破施工存在以下的施工难点:淤泥厚度变化较大,对分段药量的控制及爆破设计参数的取用等较难,堤身落底宽度普遍较宽,侧向挤出淤泥路

径较长,淤泥挤出的难度增大等。本工程采取了“控制加载爆炸挤淤置换法”,通过理论计算先确定爆炸施工参数,再通过典型施工试验对爆炸参数的适用性进行验证,通过典型试验和施工中监

表1 双鱼岛外护岸抛填参数和爆破参数

护岸分段	处理天然淤泥 厚度/m	抛填参数			爆炸参数				
		堤顶爆前抛填 宽度/m	堤顶爆前抛填 高程/m	每炮抛填 进尺/m	药包间距/ m	单药包质量/ kg	药包埋深/ m	一次爆炸药 包个数/个	一次爆炸用 炸药量/kg
内侧	22.5	36.5	>7.0	7	2.5~3.5	56	>8.0	19	1 064
外侧		33.5							
内侧	15	23.9	4.5	6	2.5	35	8.1	28	980
外侧		21.1							
内侧	18	24.3	4.5	4	2.5	34	11.8	32	1 088
外侧		21.9							
内侧	13	23.9	4.5	6	2.5	36	8.3	27	972
外侧		21.7							

(检)测, 确定不同软土厚度的堤身爆破参数<sup>[2]</sup>。

### 3 人工岛填筑高程

人工岛设计高程包括造地填筑高程和将来上部建筑基础高程, 设计关键是协调处理两种高程的关系。

造地填筑高程形成一个陆上施工平台, 为后续的建筑施工提供合理的工作面。填筑高程的确定主要考虑外海高潮位的影响及与外护岸防浪墙顶高程之间的关系, 同时, 在护岸区的填筑高程还需考虑与胸墙顶高程的关系, 使其高差控制在 1.0~1.5 m, 形成良好的视野和海景景观效果。按上述要求确定填筑高程为 6.4~5.4 m, 呈“东高西低”的走势。

规划建筑基础高程是在造地高程上还需再回填平均 3.5~14.0 m, 构成一个层次高低错落有致的“馒头形”建筑群基础。考虑到人工岛大部分区域坐落于软土分布区, 对岛内建筑规划回填高程和软土区地基处理后允许回填高程必须进行协调<sup>[3]</sup>, 满足规划和安全填筑的双重要求。地基处理使软土强度不断增长, 这是人工岛不断填高的保障。按照一般经验, 当填筑高程达到 20 m 或以上, 填料及地基预压处理时间将达到 2~3 a 以上, 且会造成护岸不断增加的侧向变形。因此, 本工程规划陆域高程小于 20 m 的按原规划高程实施, 超过 20 m 的暂定填筑至高程 20 m, 在 20 m 高程平面上的填筑结构变形和稳定均可控的情况下, 可以允许人工岛局部区域继续适当再加高, 将来规划应以实际可允许填筑高程为准。

### 4 人工岛地基处理

地基处理的设计关键技术包括合理确定地基处理设计标准, 以及对深厚软弱地基的处理方法和措施。

地基处理标准必须和人工岛规划土地使用要求相适应, 近期的处理方案应能与远期城市建设中对基础的二次处理相适应。人工岛规划用地以建筑、道路及场地为主。确定大面积地基处理标准为: 岛内地基工后沉降不大于 500 mm; 20 m 范围内的差异沉降不大于 100 mm, 地表承载力在 80 kPa 以上。

人工岛陆域大部分通过直接回填开山石和海砂形成, 个别岛区吹填航道疏浚淤泥造陆, 吹填厚度约为 10 m, 加之天然软土层的厚度, 导致整个软土处理的深度深, 最深处超过 30 m, 且软土厚度起伏变化很大, 对工后沉降和不均匀沉降的控制带来很大的难度。设计采用常规的排水预压固结法, 根据现有地质资料, 将岛区细分为若干子区, 每个子区的回填层厚度和天然淤泥厚度相近, 原则上可以采取统一长度的排水板处理, 以及统一厚度的堆载土石料进行预压, 各子区采取统一的预压时间和卸载标准, 方便现场施工控制、管理和计量, 平均堆载厚度为 8~12 m。经计算分析, 在堆载自重作用下, 地基推算固结度达到 90% 以上 (相当于工后沉降小于 50 cm), 对堆载料进行高挖低填, 不足部分再由外购补充, 形成人工岛最终馒头状的规划使用高程。

鉴于人工岛是在深厚超软地基上通过高填筑形成, 近期回填和远期加高回填周期很长, 软基施工期沉降和工后持续沉降的时间也很漫长, 为

达到持续有效排水固结的效果,对塑料排水板选型也作了大量研究。对于回填开山土石料和海砂的区域采用原生C型板材处理天然软土地基,对于吹填疏浚土的区域,软土强度更低、处理厚度增大、预压时间更长,采用孔径大、井阻小、透水性好和耐久性强的高性能塑料排水板,视为特殊条件下衍生的新技术和新材料。

## 5 人工泳池方案

人工泳池在国内比较少见,设计研究的关键在于泳池的平面布置、形成效果和使用工艺。

参照智利Algarrobo的SanAlfonsodelMar度假村世界最大的人工海水泳池(长度1 013 m,面积8万 $\text{m}^2$ ),在双鱼岛东北侧设置人工泳池。在平面布置上采用与外海连通的开放式泳池方案,泳池南北狭长走向,沿海长度约为580 m,面积约为5.2万 $\text{m}^2$ 。泳池划分为浅、深水区,浅水区位于南北两端,面积合计约1万 $\text{m}^2$ ,与外海封闭,泳池水面高程与外海高水位齐平,水深为2 m,并设置水闸,泳池使用时水闸关闭,与外海隔断,需要补给水时开启;泳池中央区与外海连通,形成浅水、中水和深水之渐变式泳区,其中深水区比外海低潮位低2 m以上,确保落潮时深水区还具备使用的条件,深水区与外海分界处设置岛礁,减少波浪的侵袭,并形成天然的景观。通过上述平面布置,大部分时间段泳池能满足全天候使用的要求,在台风季、外海水质不良期,南北封闭的浅水泳区仍能维持使用,浅水和深水区还可通过自然排水,形成与外海之间自然的水体交换,大大降低未来的管理运营成本。人工泳池见图3, 4。

## 6 人工岛内河防渗

外海人工岛防渗技术比较复杂。双鱼岛内河道在南北出海口设置水(船)闸,与外海隔断,旨在形成内河常水位;陆域主要由开山土石料及海砂填筑而成,砂石料本身具有较强的透水性,在外海与内河水位差的作用下产生渗流,造成内河水量流失,水位下降;在局部区域陆域纵深较窄,可能产生较大的渗透坡降,存在渗透变形发展成为渗透破坏的可能性。为验算能否满足内河

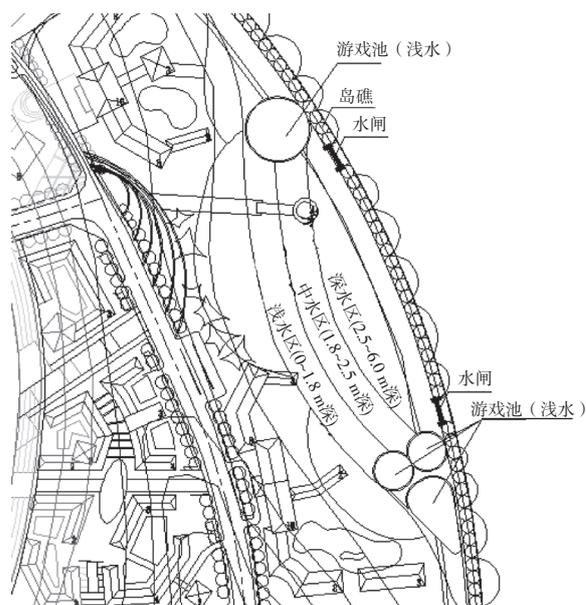


图3 人工泳池平面布置



图4 人工泳池效果图

常水位形成效果以及发生渗透破坏的可能性,本工程完成了双鱼岛内河道防渗专题研究,确定出防渗措施和防渗范围。

防渗计算包括无防渗措施下的自然渗流计算和有防渗措施的人工渗流计算。在自然渗流计算中,对不利工况下的整个渗流场内,渗流水头在 $-2.35 \sim 2.5$  m成梯度变化,渗透坡降较大值出现在南侧游艇别墅区域以及南北闸门两侧,整个流场内渗透坡降最大值为0.423;对正常工况进行非稳定渗流计算,得到由于渗流引起的内河道24 h水位下降值为55.9 cm。由此分析出防渗的重点区域为游艇别墅区域以及南北闸门两侧,渗流措施采用垂直防渗墙。拟定防渗平面方案见图5。

上下区段为防渗措施建议必做的区段,设为A方案;中间区段以100 m为间距平分分为6段,依次增加100 m长度分为 $B_1 \sim B_6$ 共6个方案。经过模型计算,A方案及 $B_1 \sim B_6$ 方案中局部区域渗透坡降最大

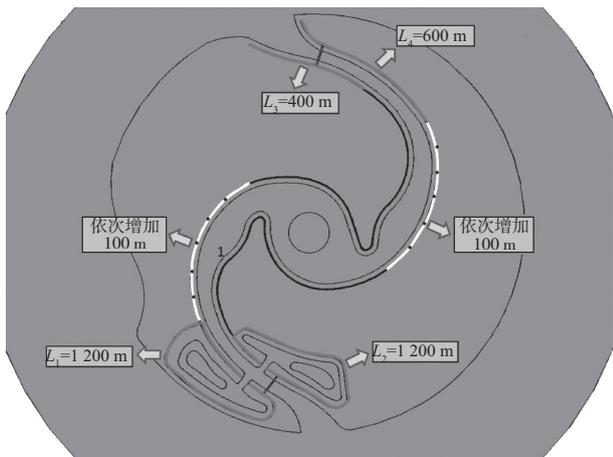


图5 防渗方案平面图

值为0.12, 小于允许坡降0.5; 渗透坡降最大值均为1.32左右, 出现在垂直防渗体处, 由于垂直防渗体的允许坡降一般大于50, 所以不会发生渗透破坏; 对正常工况进行非稳定渗流计算, 得到不同防渗方案下的内河道水位下降值, 其中A方案对应的水位下降值为26.0 cm, 基本满足使用要求。

## 7 人工岛内河水体交换

内河水体交换是保持水质和雨季蓄洪排涝的关键技术。

人工岛内河道考虑了亲水景观和岛内游船通航要求, 同时兼顾雨季蓄洪排涝等功能。为了控制内河水位、保证水质, 通过开启河道两侧闸门, 利用内外水位差进行水体的自然交换。本研究确定标准工况下水体交换时间、交换量和流态特征, 并指导后期使用。

从保持水质方面, 通过表层一定厚度的水体交换和流动, 带动下层水体的自净。设计初步确定, 内河道底高程为-1.0 m, 内河设计水深3.5 m, 水体交换高程介于设计常水位2.5 m和平均水位1.0 m之间, 通过模型分析, 第一个换水周期为落潮时打开南闸放水, 换水量占内河道的43%左右; 第二个换水周期为涨潮期打开北闸进水, 外海新进的水体由北闸门逐渐涌向南闸门, 原河道的水体大部分由南闸门排出, 当内河道水体再由2.5 m下降到1.0 m时, 大约有80%的内河道水体被排出。试验表明, 通过表层约40%的水体厚度交换, 就能基本保证河道全部水深的自净和水质。

从水体交换时间上, 通过数值模拟计算分析, 排水时按落潮期开南闸门, 选择外海大潮期潮型, 内河、外海水位均为2.5 m时排水, 排水至内河水位1.0 m时历时为69 min左右, 如河道水体排干需历时220 min左右; 引水时按涨潮期开北闸门, 选择外海平均高潮位潮型, 内河、外海水位均为1.0 m时引水, 得到引水至内河水位2.5 m时历时为108 min左右, 上述时间将用于指导将来人工岛开、闭闸门的使用管理。引排水的流态分析表明内河道最大流速不超过1.0 m/s, 人工岛的两个鱼嘴部位比其他地方狭窄, 其流速比其他部位相对要大, 可以此作为不同区域内河底材料的选择依据。

## 8 人工岛形成景观岸线的研究

人工岛在填海造陆设计中, 需适当预先融入景观设计的理念, 设计的关键在于如何形成滨水景观。滨水护岸由外护岸和内护岸组成。外护岸环绕整个岛, 与进岛大桥相交接, 主要与娱乐度假区、游艇基地、码头区、滨海特色区、滨海休闲度假区、滨海特色居住区毗邻, 将对环岛交通和堤岸景观产生作用; 内护岸主要与内湾艺术文化区、闽南商业文化区毗邻, 将和附近的休闲广场相互补, 其规划理念是: 开放性、亲水性、可游性、可赏性、可参与性、生态性和以人为本。

滨水护岸景观规划研究的方法是: 对单一的斜坡式外护岸结构进行局部的优化调整, 增加其美观性, 在将来人工岛使用中, 在局部区域适当地消除人为化、生硬化的工程痕迹, 营造和谐自然的人文景观, 见图6。

内护岸总体以直立式为主, 并沿不同的岸段适当布置斜坡式和台阶式, 充分利用地形条件和竖向坡度现状, 力图在最少的地形整治前提下(土方二次原地利用), 减少工程造价, 同时创造出丰富多变的滨水空间景观。

## 9 对人工岛总体施工组织设计的研究

本工程按陆域分区造地、分阶段交地的总建设流程进行<sup>[4]</sup>, 护岸和陆域形成作为两大主要工序, 按同步交错、不间断流水作业法进行, 另有水闸、船闸、泳池、游艇码头等各种构筑物的施工穿插其间。岛区面积大, 施工工序多, 主要施

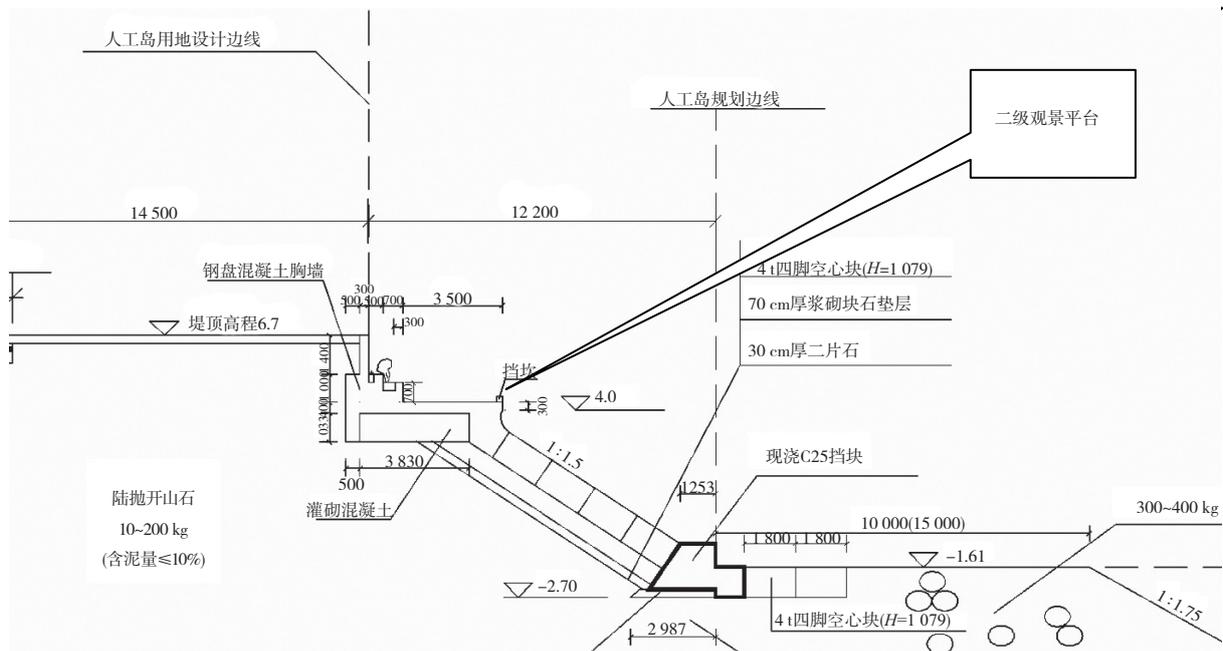


图6 外护岸斜坡式结构景观改造断面

工节点及工期安排为：外护岸爆破抛石挤淤施工（工期约9.5个月）→陆域分区整体吹（回）填施工（工期约17个月）→陆上施打塑料排水板+堆载预压（工期约25个月）→内护岸基础及结构施工（工期约8个月）→规划路网基础强夯加固施工（工期约2个月），总工期约为3 a。

施工组织安排设计中还考虑了土石方平衡，设计利用线性规划模型对实际工程的土石方平衡问题进行分析研究，得出土石方平衡的最优方案，经计算将人工岛陆域划分12个子区，按5:7的比例，其中5个子区采取先期超载预压，超载填料厚度平均为3.0 m，经超载预压后，分别卸载至后续施工区，倒载总方量为177.1万m<sup>3</sup>，理论上做到无卸载料运出人工岛。

### 10 结语

1) 漳州双鱼岛填海工程延伸和拓宽了一般滩涂围垦工程和单一使用功能人工岛的建设内涵，融规划、设计、施工、景观、使用为一体，对我国将来大规模开发可居住人工岛提供了先例和范本，具有里程碑式的意义。

2) 海上人工岛填海造陆是一项综合性的水工建筑工程，如何使填岛设计与后期上部规划开发有机结合是关键性设计技术之一，具体体现在

总平面设计需兼顾考虑滨水岸线规划和功能区分布，填筑高程设计需兼顾规划高程和天然地基允许填筑高程的关系，地基处理设计需考虑后期使用对场地承载力和残余沉降的控制要求，内河设计考虑防渗和水体交换，以确保使用期形成常水位和保持水质。通过近、远期的协调设计，力争做到造地成本最优，综合开发效益最大化。

3) 人工岛填海设计除了常规的陆域形成、地基处理和护岸结构设计外，根据其旅游、居住的功能特征，会存在一些特殊建筑物和特殊使用要求的设计，例如人工泳池、游艇基地、内河防渗、水体交换等，需从工程投资、安全可靠性以及功能需求等方面考虑，同时进行必要的模型试验论证。

### 参考文献：

- [1] 陈吉余. 中国围海工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [2] 金伟, 何维维. 爆破挤淤法处理深厚软基的典型试验研究[J]. 中国港湾建设, 2012(10): 39-42.
- [3] 曾国熙. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [4] 刘挺, 肖鹤, 凌育洪, 等. 关于人工岛设计中的研究方法探讨[J]. 华中建筑, 2010(6): 69-71.

( 本文编辑 武亚庆 )