



# 连云港港30万吨级航道一期工程围堤工程设计

侯海伟, 殷 昕, 马兴华, 杨冠川

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

**摘要:** 在连云港港30万吨级航道一期工程中, 约18 km长的围堤对整个工程的投资及施工进度影响非常大。针对当地建设条件提出爆破挤淤堤和排水板充填袋抛石混和斜坡堤组合的筑堤方案, 达到了节约投资和缩短施工工期的效果。

**关键词:** 围堤工程; 排水板充填袋抛石混和斜坡堤; 爆破挤淤

中图分类号: U 655.52

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0168-05

## Engineering design of phase I reclamation dike of 300 000 DWT waterway engineering in Lianyungang port

HOU Hai-wei, YIN Xin, Ma Xing-hua, YANG Guan-chuan

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

**Abstract:** The reclamation dike which is about 18km long in the first phase of the 300 000 DWT waterway engineering in Lianyungang Harbor has great impact on the investment and construction progress. This paper puts forward the construction proposal which combines the blasting compaction dike with the sloping dike of filling bags, which can meet the requirement of saving the cost and shortening the construction period.

**Key words:** reclamation dike work; sloping dike combining with filling bags and rocks with drained soil foundations using drainboard; blasting compaction

### 1 工程概况

连云港港30万吨级航道是江苏沿海开发的“牛鼻子”, 是该港新一轮发展的重要前提, 是临港产业的重要依托。2007年江苏省委、省政府将连云港港30万吨级航道工程作为全省重点推进的工作写入政府工作报告, 2008年该项目被列为江苏省一号工程, 作为加快连云港发展的战略要点着力推进。

连云港港建设30万吨级航道需开挖浚深, 疏浚方量大, 同时连云港港口依山傍海而建, 缺乏港口陆域。

为有效利用航道疏浚土并与港区陆域形成工程相结合, 本工程将通过建设约18 km围堤形成12.2 km<sup>2</sup>陆域, 围区纳泥方量超过1亿m<sup>3</sup>, 吹填土方以淤泥为主。

本工程围堤不仅建设规模大, 而且难度高。

一方面, 围堤建设需要与航道疏浚吹填施工相结合, 需先于疏浚吹填工程建成, 且围堤规模大, 进度快, 对建筑材料组织要求也很高; 另一方面, 本工程围堤区地质条件极差, 表层全部为淤泥, 厚度大, 含水率高, 地基承载力低<sup>[1]</sup>。

针对上述问题, 同时为满足结构稳定性要求, 本工程围堤采用爆破挤淤堤和充填袋斜坡堤相结合的筑堤形式

### 2 工程地质

徐圩围堤吹填区: 表层均为淤泥, 厚度12.1~21.9 m, 下层粉质黏土。

旗台围堤吹填区: 表层均为淤泥, 厚度4.0~25.0 m, 下层粉质黏土。

地质典型剖面见图2, 3。地质物理力学指标见表1。

收稿日期: 2012-09-27

作者简介: 侯海伟(1981—), 男, 工程师, 从事港口航道工程设计工作。

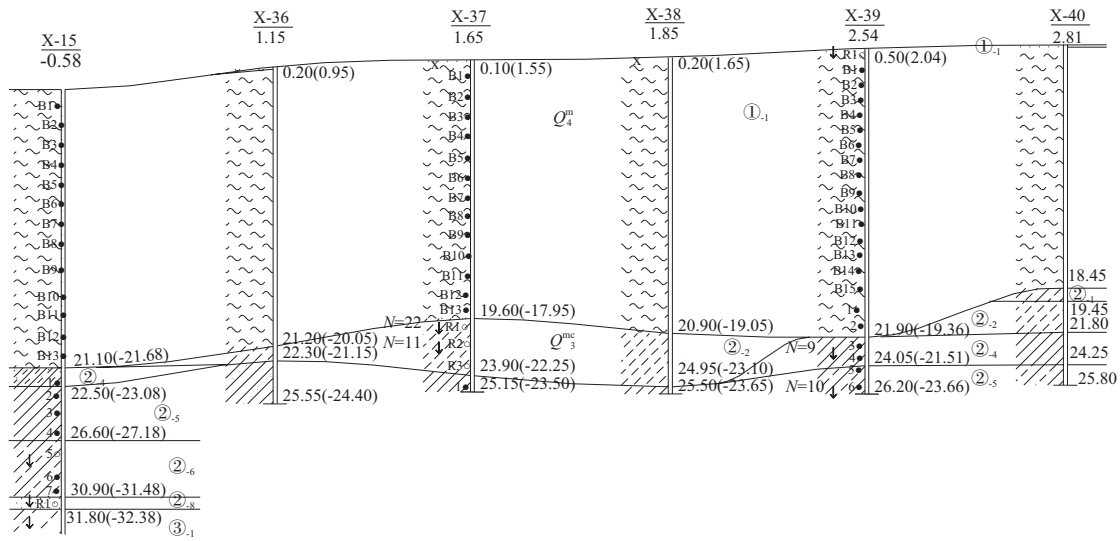


图 2 徐圩地质典型剖面

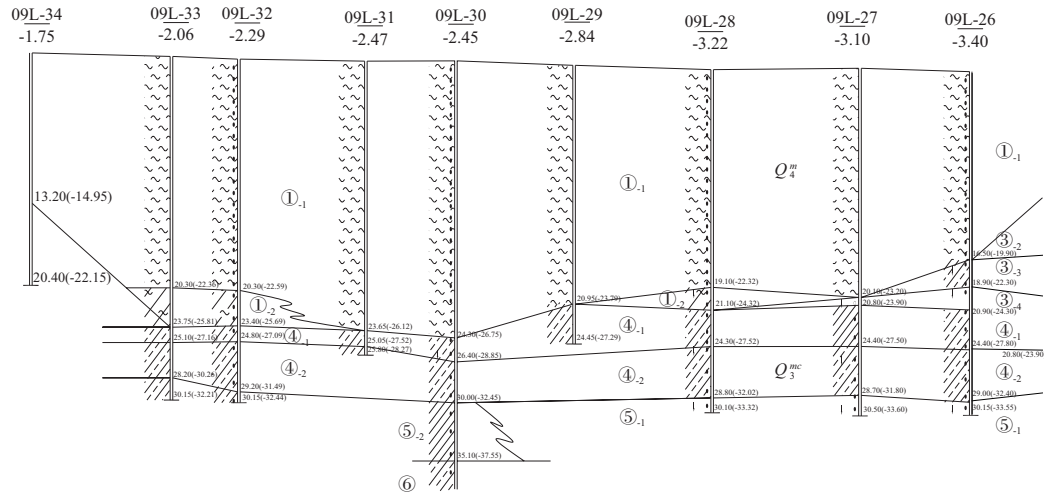


图 3 旗台地质典型剖面

表 1 地质物理学指标

围区	土层	含水率 W/%	天然密度 ( $t \cdot m^{-3}$ )	孔隙比 $e_0$	塑性指数 $I_p$	粘聚力 C/kPa		内摩擦角 $\phi/(\circ)$		地基承载力/kPa
						快剪	固快	快剪	固快	
徐圩	① <sub>2</sub>	62.4	1.64	1.716	29.9	28	21	0.8	9.1	45
	② <sub>1</sub>	26.1	1.97	0.743	12.3	32	42	11.2	16.7	200
旗台	① <sub>2</sub>	68.3	1.59	1.896	31.6	14	11	0.3	11.2	25
	② <sub>1</sub>	25.6	1.97	0.737	15.5	58	88	16.7	22.0	175

### 3 围堤工程设计

#### 3.1 平面布置

本工程共建设 2 个围堤吹填区, 分别为徐圩围堤吹填区和旗台围堤吹填区。

徐圩围堤吹填区陆域形成面积 6.62 km<sup>2</sup> (合 662 hm<sup>2</sup>, 即 9 931 亩), 围堤长度 9 037 m, 纳泥方量 4 833 万 m<sup>3</sup>。

旗台围堤吹填区陆域形成面积 5.53 km<sup>2</sup> (合 552.6 hm<sup>2</sup>, 即 8 289 亩), 围堤长度 8 609 m, 纳泥方量 5 684 万 m<sup>3</sup>。

吹填区平面布置见图 4、5 和表 2。

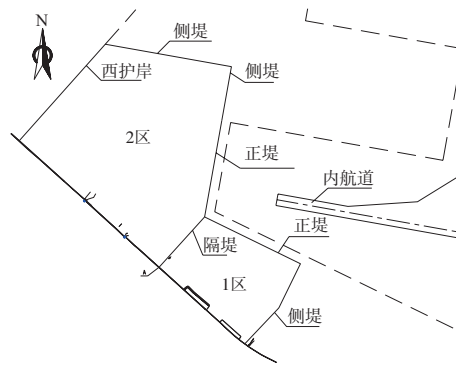


图 4 徐圩围堤吹填区平面

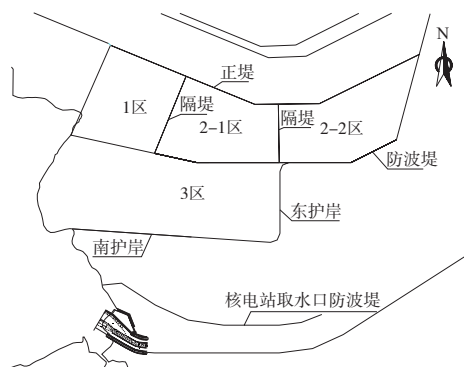


图5 旗台围堤吹填区平面

表2 围堤平面布置

围区	面积/km <sup>2</sup>	纳泥量/m <sup>3</sup>	围堤长度/m
徐圩围堤吹填区	6.62	4 833	9 037
旗台围堤吹填区	5.53	5 684	8 609
合计	12.15	10 517	17 646

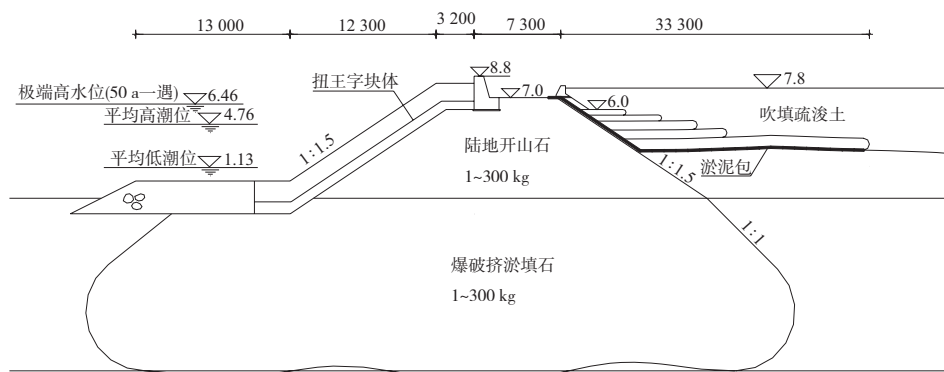


图6 爆破挤淤堤斜坡堤断面

## 3.2 围堤结构设计

### 3.2.1 结构形式选择

围堤结构形式根据使用功能、工程地质、工程造价、工期要求及当地筑堤经验，经综合比选确定，具体如下：

徐圩围堤吹填区：正堤、隔堤采用爆破挤淤堤，其余采用排水板充填袋抛石混和斜坡堤。

旗台围堤吹填区：南护岸采用排水板充填袋抛石混和斜坡堤，其余围堤推荐采用爆破挤淤堤。

### 3.2.2 围堤结构

#### 3.2.2.1 爆破挤淤斜坡堤

爆破挤淤斜坡堤断面如图6所示。

1) 堤身材料。采用规格为10~300 kg为主的自然级配的开山石，陆抛工艺，内外边坡1:1.5。

2) 地基处理。本工程围堤置换淤泥厚度6~25 m，围堤堤身高度7~12 m，根据连云港筑堤经验，采用以爆破排淤法为主、爆夯为辅的综合爆破法处理，是技术可行、经济合理的地基处理方案。

3) 爆破工艺设计。根据工程地质、置换淤泥厚度、围堤结构、周围建筑物情况等因素初步确定爆破参数，并根据工程实施过程中爆破试验结果进行调整和优化。本工程置换淤泥厚度最大达25 m，落底宽度超过60 m，爆破工艺难度大，要求高。在爆破施工过程中，先采用堤头端爆，保证堤顶位置落底，两边侧爆，保证两侧落底和总落底宽度，经断面方量平衡测算、地球物理探测、钻孔探摸法检测，爆破断面均达到了设计要求。

4) 内侧反滤及压载设计。为满足吹填需要，防止吹填土渗漏，需要在内侧设置可靠反滤层。

由于抛石结构透水性好，根据连云港特点，涨潮时水位抬高较快，当堤外水位高于堤内水位时，水位压力差对反滤结构会产生顶托作用。本围堤在内侧淤泥包上铺设反滤布，整体性好的通长充填袋结构压载。

5) 外护坡。为防止风浪及潮流作用，外侧设块石垫层及扭王字块护面。

6) 小围堰。为满足吹填需要，又不需加高堤顶高程，在围堤内侧设临时性的浆砌块石小围堰。

#### 3.2.2.2 排水板充填袋抛石混和斜坡堤

排水板充填袋抛石混和斜坡堤断面如图7所示。

1) 堤身材料。充填袋堤身结构应采用分层加载，适应淤泥层强度增长速度，确保围堤稳定。地基表层均为淤泥，其天然容许承载力低，本围堤断面底层采用通长充填袋加筋层，可以均化堤身沉降，减小堤身侧向位移，提高早期强度，以

适应堤身加载实施; 充填袋上部采用开山石, 陆推工艺, 以降低造价。

2) 地基处理。地基处理采用砂被+排水板处理, 砂被作为水平排水层, 排水板作为竖向排水层, 形成立体排水通道。排水板采用正方形布置, 间距 1.0~1.2 m。

3) 反滤结构。堤身上部为抛石结构, 同爆破挤淤堤一样, 也存在堤身透水性好和反滤结构

易受潮水顶托的缺点。围堤反滤结构结合堤身施工, 在堤身内部设置反滤层, 既可达到反滤效果, 也可解决反滤结构的压载难题。

4) 外护坡。为防止风浪及潮流作用, 外侧设块石垫层及栅栏板、四脚空心方块及扭王字块护面。

5) 小围堰。同爆破挤淤堤一样, 在围堤内侧设临时浆砌块石小围堰以满足吹填要求。

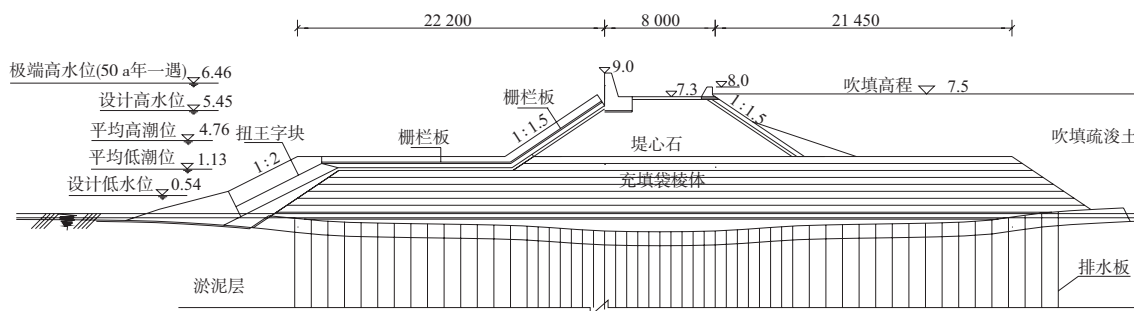


图7 排水板充填袋抛石混和斜坡堤断面

#### 4 主要经验与技术创新

本工程设计中, 在围堤结构形式选择、结构设计及材料运用方面大胆创新, 有所突破。

1) 首次在深厚淤泥港口大规模采用排水板充填袋抛石混合堤。

本次围堤设计第一次在连云港大规模地采用充填袋斜坡堤, 建设长度超过 7 km, 滩面最低高程为 -4 m, 淤泥厚度最大达到 25 m。充填袋斜坡堤在本工程的成功运用, 为连云港地区及其它深厚淤泥港口筑堤提供了另一种选择。

2) 组合使用爆破挤淤堤和排水板充填袋抛石混和斜坡堤, 发挥各自优势, 为高强度围堤工程建设提供典范。

本工程围堤长度约 18 km, 围堤功能也不尽相同, 包括码头护岸、陆域护岸、隔堤等各段。根据连云港建港经验, 以往筑堤基本全部采用爆破挤淤堤。本工程围堤根据围堤使用功能、工程地质、造价及工期要求等综合分析, 决定采用爆破挤淤堤和排水板充填袋抛石混和斜坡堤相组合的筑堤方案。

对本工程而言, 相比于以往全部采用爆破挤淤堤, 本次采用的爆破挤淤堤+排水板充填袋抛石混和斜坡堤相组合的方案具有以下优点:

①节约投资。爆破挤淤堤呈梯形断面, 置换所需的石料量随着需处理的软土层厚度加深而成倍增加, 造价也随之增高。充填袋斜坡堤充分利用淤泥地基, 砂石料用量少, 通过排水板和堤身自重排水固结, 保持地基强度增长提高地基的承载力, 同时利用充填袋的加筋作用, 加强围堤的整体性, 保证围堤稳定<sup>[6]</sup>。

经比较, 爆破挤淤堤在堤身高度大、淤泥层厚度小时造价有优势, 而充填袋斜坡堤在堤身高度小、淤泥层厚度大时经济性明显。经测算, 本工程采用的爆破挤淤堤与充填袋斜坡堤组合方案相比全爆破挤淤堤方案总造价可节省约 10%, 对单条围堤, 相比于爆破挤淤堤, 在堤身高度小、淤泥层厚度大时采用充填袋斜坡堤, 造价可节省 20%~30%。

②缩短工期。爆破挤淤堤要耗费大量石料, 淤泥厚度越大, 石料用量越多; 爆破挤淤堤只能陆上单向推进, 推进速度跟淤泥厚度有关, 并受石料供应能力、道路条件制约; 爆破挤淤堤必须全线合龙才能进行吹填、提交吹填的进度滞后。充填袋斜坡堤可水上全面展开、施工面多、施工速度快; 石料用量少, 对陆上交通压力小; 围堤合龙、全线高程达到平均潮位即可进行吹填。

因此,本次围堤通过采用爆破挤淤堤+充填袋斜坡堤的组合方案,筑堤进度、吹填进度及工程总进度均可大大提前。

3) 爆破挤淤堤反滤结构设计创新。爆破挤淤堤为透水结构,为满足吹填造陆,必须设置可靠的反滤结构。以往爆破挤淤堤设置的反滤结构基本都在潮水的顶托作用下而失效,围区吹填土流失严重,失去了反滤作用。

本次爆破挤淤堤反滤及压载结构设计,在没有成熟、可靠经验可循的情况下,仔细分析了以往反滤结构失效的原因和潮水顶托作用受力机理,最终提出了爆破挤淤堤反滤结构设计方法。具体设计时,在内侧铺设反滤布,同时充分利用内侧隆起的淤泥包,在淤泥包上充灌整体性好的通长充填袋进行压载,节省费用。根据本工程实际运用情况看,该反滤结构可有效承受潮水顶托作用,爆破挤淤堤基本没有漏泥现象,达到了预期效果。

4) 充填袋堤身结构设计创新。在充填袋斜坡堤设计时,针对当地建筑材料情况,采用组合堤身结构,下部采用通长充填袋加筋层提高围堤整体性,上部采用开山石作为堤身结构。

在本次围堤设计中,对于部分深厚淤泥、低滩高堤的情况采用了 $760\text{ g/m}^2$ 的高强机织布替代以往常用的 $230\text{ g/m}^2$ 机织布,以满足围堤整体稳定要求。

加筋材料作用为将围堤堤身、加筋层、地基作为一个整体,通过加筋层的加筋作用限制整体横向变形并减少整体水平位移,加筋材料对土体水平变形的控制作用随着土体的厚度增大而作用减弱,同时加筋材料可以均化堤身附加应力和地基的不均匀沉降量。

因此,在工程中采用土工织物加筋层可以加强堤身的整体性、保证围堤稳定、减少围堤水平位移、均化地基的不均匀沉降量<sup>[2]</sup>。

综上所述,鉴于本工程设计的如上优点,本工程的这种结构组合及结构形式可在类似地区推广。

## 5 结语

连云港港依山傍海而建,通航及掩护条件好,集输运便捷,非常适合建设全国大港,但港区陆域纵深小,建设用地资源缺乏,制约着港口的发展,必须围海形成陆域以满足港口发展需要。本工程结合航道疏浚,综合利用疏浚土,在淤泥质海滩上建筑围堤,实施吹填造陆,既解决了港区陆域发展的困境,又避免了疏浚土外抛造成的破坏环境、浪费资源以及航道回淤的问题,首次在深厚淤泥港口大规模采用排水板充填袋抛石混合堤,组合使用爆破挤淤堤和排水板充填袋抛石混和斜坡堤,发挥各自优势,为高强度围堤工程建设提供典范,并在爆破挤淤堤反滤及压载设计方面有所创新,首次解决了爆破挤淤堤吹填漏泥问题,采用高强机织布解决稳定问题和采用袋装砂、开山石组合堤身以减少砂料用量,目前本工程已全部完工,各项技术创新均达到预期,取得良好的技术效果及经济效益,其经验和创新可为同类工程所借鉴。

## 参考文献:

- [1] 顾勇,马兴华,金雪英,等.连云港港30万吨级航道一期工程初步设计报告[R].上海:中交上海航道勘察设计研究院有限公司,2010.
- [2] 燕太祥.土工织物加固后防波堤软基破坏机理实验研究[J].水运工程,2006(10):199-205.
- [3] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].
- [4] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].
- [5] JTJ 300—2000 港口及航道护岸工程设计与施工规范[S].
- [6] JTS 147-1—2010 港口工程地基规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)