

# 广西北部湾填海造陆工程地基基础及施工方法

胡纯龙

(广西地质工程勘察(设计)院,广西 南宁 530023)

**摘要:**通过对北部湾大型填海造陆工程(工业基地)的施工方法和不同岩土组合特性形成的机理研究与分类,结合该地域多项不同类型工程的地基处理与基础施工经验,总结和研究不同地基与基础类型“经济、高效、安全”的最佳施工与处理方法。

**关键词:**填海造陆工程;地基基础;施工方法;北部湾

**中图分类号:**TU47 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)06-0051-04

**Foundation of Sea Reclamation Project in Beibu Gulf of Guananxi and the Construction Method/HU Chun-long**  
(Guangxi Institute of Geo-engineering Investigation, Nanning Guangxi 530023, China)

**Abstract:** Based on the analysis on construction methods for large-scale sea reclamation project in Beibu gulf and classification of mechanism of different rock and soil combinative characteristics; and according to the foundation treatment and construction experience of different projects in this area, the optimized methods of construction and treatment for different ground and foundation were summed up.

**Key words:** sea reclamation project; ground foundation; construction method; Beibu gulf

## 1 概况

广西北部湾海岸线 159 km,得天独厚的地理优势,加上西南出海大通道交通网络的建成,东盟博览会的推动,特别是《广西北部湾经济区发展规划》和《钦州保税港》获国家批准实施,广西北部湾迎来了前所未有的发展春天和发展商机,一大批炼油、能源、造纸、钢铁、电子、冶金、业主码头等重大项目相续在广西北部湾落户和建设,形成以大项目为导向的系列临海工业园或工业基地,这些工业园基地地域的形成,主要以人工围(埝)堤(挖山、吹砂)填海造陆而成,填土厚度一般为 5~15 m(海沟)不等,出现了大规模的基础施工与地基处理系列问题。

## 2 填海造陆工程的岩土组合类型及其特性

研究填海工程地域的岩土组合类型及其特性,目的是针对性地合理选择地基基础施工与地基处理方法。根据广西北部湾的主要填土材料及来源及施工方法,主要分下列岩土组合类型与特性。

### 2.1 吹砂填海型

就地或附近海域吹运砂填海而成,以中砂为主,含有少量残贝壳,结构松散,透水性强,未完成自重固结,填海物质相对单一,承载力  $f_k = 80 \sim 120$  kPa。

### 2.2 挖山填海型

就地或附近挖山填海而成,以砂岩、泥岩(含风化)碎块混土为主(碎石土),结构疏松,透水性强,未完成自重固结,填海物质相对较单一,  $f_k = 120 \sim 150$  kPa。

### 2.3 吹砂与挖山填海混合型

一般较深(10 m左右)填海多采用此类型,其下部先吹砂,然后其上部再填挖山土而成,填料物质具有上粗(碎石土)下细(砂土)的二元松散结构,透水性强,未完成自重固结,  $f_k = 80 \sim 150$  kPa。

### 2.4 挖山基底型

为填海区后缘的挖山区,多为强或中风化砂岩、泥岩,基底持力(一般  $f_k = 400 \sim 800$  kPa)较好,为直接的良好地基。

## 3 填海造陆区基础施工与地基处理方法合理选择及效率(益)对比

填海造陆区基础施工与地基处理方法合理选择的决定条件有:建(构)筑物地基承载力  $f_k$ ;填土的岩土组合类型;填土基底的软性土( $f_k \leq 100$  kPa)有无及其分布标高等,分述如下。

3.1 建(构)筑物地基承载力  $f_k \leq 350$  kPa(相当于  $\leq 14$  层楼的荷载)的地基处理与基础施工方法合理选择及其施工特点

收稿日期:2008-12-21

作者简介:胡纯龙(1958-),男(汉族),广西人,广西地质工程勘察(设计)院副院长(原总工程师)、高级工程师,水文工程与环境地质、建筑工程专业,硕士,从事岩土工程、建筑工程、交通土建工程施工与技术管理工作,广西南宁市建政路34号, gxkxy@163.com。

3.1.1 对于吹砂填海型、挖山填海型、吹砂与挖山填海混合型这三种填土类型,其基础以下 $\geq 7$  m无自然分布软性土( $f_k \leq 100$  kPa)时

### 3.1.1.1 最佳施工方法

最佳施工方法为强夯,夯能 $\geq 2000$  kN·m,人工快速夯实填土,实现人工固结,施工效率高,施工成本低[按2005年以前比价,同时为了方便对比,其施工单价均转换成同一单位(下同), $\leq 50$  元/ $m^2$ ],消除不均匀沉降及砂土液化,提高地基承载力,平均施工速度 $V=10$  天/ $1000 m^2$ ·台机。

### 3.1.1.2 可选择的一般方法

对于吹砂填海型、吹砂与挖山填海混合型经人工挖除上部碎石填土时(因为难穿过碎石填土层),一般还可选择以下施工方法。

(1)振冲挤密。施工速度一般(为强夯的1/3),实现振冲挤密固结,消除不均匀沉降和液化,提高地基承载力。施工成本偏高(350 元/ $m^2$ ),平均施工速度 $V \approx 14$  天/ $1000 m^2$ ·台机。

(2)CF桩、搅拌桩。复合基础地基承载力 $f_k \leq 250$  kPa,施工成本较高(400~450 元/ $m^2$ ),平均施工速度 $V \approx 20$  天/ $1000 m^2$ ·台机。

(3)沉管灌注桩。施工成本高(600 元/ $m^2$ ),平均施工速度 $V \approx 20$  天/ $1000 m^2$ ·台机,但难以克服桩缩径等问题,桩质量难以保证。

### 3.1.1.3 可选择但最不合理的施工方法

(1)预制桩。桩端持力层位于强风化(砂岩、泥岩)层上,承载力较高,但施工成本较高(900 元/ $m^2$ ),平均施工速度 $V \approx 18$  天/ $1000 m^2$ ·台机,同时需人工挖除上部开山碎石填土。

(2)钻孔桩。桩端持力层位于中风化(砂岩、泥岩)层上,承载力高,但施工成本高(1100 元/ $m^2$ ),施工速度慢,平均施工速度 $V \approx 37$  天/ $1000 m^2$ ·台机。

(3)挖孔桩。无法解决孔壁崩塌和降水问题,一般不宜采用。

3.1.2 对于吹砂填海型、挖山填海型、吹砂与挖山填海混合型这三种填土类型,其建(构)筑物基础以下 $< 7$  m有自然分布软性土( $f_k \leq 100$  kPa)时

### 3.1.2.1 最佳施工方法

先在软性土层施工置换(挤密、排水、固结)导水碎(砾)石桩(桩径400 mm,桩距据验算确定),桩全部穿越软性土,并进入良好土 $\geq 1$  m;然后再进行强夯,夯能 $\geq 2000$  kN·m,达到人工快速排水与夯实填土,实现人工快速固结。施工效率高,施工成本

低(130~180 元/ $m^2$ ——视软性土厚度与地基承载力强度要求范围值有所不同)。消除不均匀沉降及砂土液化。提高整体地基承载力,平均施工速度 $V \approx 12$  天/ $1000 m^2$ ·台机。

### 3.1.2.2 可选择的一般方法

基本同于“3.1.1.2”(2)、(3),但施工成本提高20%~40%(视下卧软性土厚度有所不同)。

### 3.1.2.3 可选择但不合理的施工方法

同“3.1.1.3”(1)、(2)。

3.2 建(构)筑物地基承载力 $f_k > 350$  kPa(相当于 $> 14$ 层楼的荷载)的基础施工(与地基处理)方法合理选择及其施工特点

3.2.1 对于吹砂填海型、挖山填海型、吹砂与挖山填海混合型等区域

### 3.2.1.1 最佳施工方法

(1)预制桩。桩端持力层位于强风化(砂岩、泥岩)层上,承载力较高,施工成本约900 元/ $m^2$ ,平均施工速度 $V \approx 18$  天/ $1000 m^2$ ·台机。但需挖除上部开山碎石填土引孔。

(2)钻孔桩。桩端持力层位于中风化(砂岩、泥岩)层上,承载力高,施工成本约1100 元/ $m^2$ ,平均施工速度 $V \approx 37$  天/ $1000 m^2$ ·台机。

### 3.2.1.2 其它施工方法

(1)沉管灌注桩。该方法受引孔条件(如开山碎石填土不易通过),缩径(如软性土或水压力作用易产生缩径)等影响,不易施工或施工质量不易保证等,一般不太采用。

(2)挖孔桩。填海工程一般有强透水体(填砂或松散开山碎石土),流砂或泥流(砂土或软性土的存在),成孔极困难,且有潮汐水压塌孔的风险,所以一般不采用。

## 4 填海工程施工与地基及基础工程施工的最佳方案选择

填海工程施工工序、方法与地基及基础工程施工方案之间关系到施工成本、效率(益)、质量以及海域环境保护等问题,应特别注意特殊部位的施工与处理方法。

### 4.1 挖山区施工方法

广西北部湾挖山(取土)区以低山缓坡丘陵为主,其上一般覆盖有1~4 m不等的风化粘性土或砂类土,其下为薄层泥岩、泥质砂岩互层,土:石一般3:7左右,一般清表后多采用松动爆破加断面与平面推进施工为主,这样容易形成宽阔、平整开工面,

有利于大兵团机械队投入施工,易创造较好的施工环境与形象;有些外来(商)集团不了解本地地层结构情况,采用先施工上部土层,再爆破下部岩石的施工方法,结果易出现运输车辆沿小道上下爬坡运输,施工环境和形象较差、零乱,难以发挥机械施工效率,加大了运输成本和机械损耗。

#### 4.2 填海工程施工方法

填海工程施工前,先进行填海区的地形测量,了解基底地形变化和倾向趋势,并进行基底控制性钻探或钎探,了解软性土的分布与纵横变化情况,目的为围埝护堤施工与填海挤淤(特别是重大或特殊基础部位挤淤)或清淤提供方案,以便达到“多快好省”的效果”。重点是考虑基底淤泥的处理问题(淤泥软弱层直接关系到基础工程施工成本与质量问题):一般基底淤泥厚度 $<3\text{ m}$ 时可直接填筑挤淤(几个工程检测实例挤淤可达 $3\text{ m}$ 左右);淤泥厚 $>3\text{ m}$ 时,原则上要清淤(可用疏航挖泥船清淤),以免留下工程隐患(不均匀沉降)。

##### 4.2.1 围埝护堤施工

填海土石方施工的第一步工序是先进行围埝护堤施工,目的是尽快形成填海区域的海陆边界线与包围圈,以便及时保护填料免受或尽量少受周期性涨落潮汐和海浪对填料的侵蚀浪费(浪大时每天海浪侵蚀和向海区浪带流失填料超过 $1\text{ 万元/天}$ ),同时保护填海施工区域的环境(免受泥沙洋蚀污染海洋)。

考虑填海施工场地的底部挤淤效果,一般先作部分开放的围埝护堤施工;围埝护堤开放留口宽一般 $50\sim 100\text{ m}$ ,所处位置位于向海区倾斜的基底低洼地形或海沟处(以便更好地实现填海挤淤效果),在围埝护堤段一般最好用开(挖)山较好的石块或碎石土快速集中施工填筑形成护堤,并经 $3\sim 5$ 次浪潮冲击(使护堤尽量达到密实,以免坡面下沉开裂破坏)坡面后尽快流水施工砌石护坡,保护好护堤;护堤(坡)脚进行抛石棱体护脚,以支撑护坡的稳定。当抛石棱体护脚底部淤泥或软性土厚度 $>3\text{ m}$ 且不便于清理时,也可采用打木桩支撑基础的方法进行处理(几个工程实例证实是行之有效的便捷处理方法)。

##### 4.2.2 一般填海造陆施工方法

填海基底的淤泥最好先清除,为其上部建(构)建筑物的地基与基础施工创造“多快好省”的基础背景条件。但一般在海水下进行较大面积清淤工作,效率较低,难度和成本也较大。通过施工实践证明,

一般填海挤淤可达 $3\text{ m}$ 左右,所以多采用从陆域向海区倾斜或围埝开口低洼处填筑施工,使淤泥顺着基底地形挤起流向海区,然后集中疏航处理(有必要时)。对特殊基础部位进行特殊施工与处理,这样便能针对性地解决大面积的软基处理问题(高效),减少成本,解决大面积的由于软土引起的沉降问题(北部湾除少部分海沟和湖塘部位外,大部分基底淤泥或软土厚度 $<3\text{ m}$ ),最后进行围埝护堤“封口”工作。

##### 4.2.3 不同类型建(构)筑物基础部位施工方法

(1)对于地基承载力 $f_k \leq 350\text{ kPa}$ 的建(构)筑物,其基底处淤泥厚度 $<3\text{ m}$ 或填料厚度 $>7\text{ m}$ 部位,可采用“4.2.2”的填筑方法和强夯的地基处理施工方法进行施工;对于填料厚度 $<7\text{ m}$ ,且基底淤泥或软土厚度 $>3\text{ m}$ 无法挤完处,其处理方法见“4.2.2”,实在清淤困难,也可采用“3.1.2.1”〔置换(挤密、排水、固结)导水碎石桩联合强夯〕或在残留淤泥处作压力灌浆固结等方法进行施工。

(2)对 $f_k > 350\text{ kPa}$ 的建(构)筑物,采用“4.2.2”填筑方法和桩基(钻孔桩或预制桩)方法进行施工。

(3)潮汐带以下的深基坑部位,该部位必须要慎重处理,关系到松散填料强透水的降水和基坑支护及地下水〔特别是涨潮(一般 $3\sim 4\text{ m}$ )〕对基础工程的浮托复杂处理问题。

一般先清淤,并对基坑基底以下 $>1\text{ m}$ 的砂层(若有)进行挖除(基础外扩 $6\text{ m}$ ,用挖泥船挖除,把砂堆放于基础外作为其它填筑区的填料),然后用开山(混合碎石)土进行填筑,并经高能量强夯处理后,便可形成较密实的封底和基坑周边相对隔水层(即通过合理的施工和处理后,深基坑可采用自然放坡和集水坑疏干抽水的方法进行施工),若基坑底部砂层无法清除时,砂层部位再采用高压帷幕灌浆止水处理便可。

## 5 工程施工实例

主要典型(或代表性)工程施工实例与效果见表1。

## 6 结论与建议

(1)本文根据广西北部湾主要填海物质来源与组合关系对填海造陆工程的岩土组合与特性进行了系统的分类。

(2)对填海工程施工与地基及基础工程施工方

表1 典型工程施工实例与效果

序号	项目名称	填海(区)地基主要岩土组合结构特性	地下水 位埋深 h/m	地基(基 础)处 理方法	地基处 理面积 S/m <sup>2</sup>	承载力 $f_k$ /kPa	
						设计要 求值	地基处理 后检验值
1	广西钦州港深能码头 油气库与厂区建筑 (后中石化收购)	混合碎石(开山土)填土厚2~5 m;吹 填(中粗)砂厚4~7 m;含淤泥(20% ~40%)中砂厚1.5~3.1 m	2~3	①1号油罐振冲挤 密; ②其余为强夯	16000	$\geq 220$	①碎石填土460; ②吹(砂)填土350
2	广西钦州滨海一级公 路(No.1~No.6)	混合碎石(开山土)填土厚7~9 m;淤 泥质土厚3~5 m	5~6	强夯	10918	$\geq 230$	330
3	广西钦州港务局进港 铁路与堆场	混合碎石(开山土)填土厚2~6 m;吹 砂(中粗砂)厚4~8 m;含淤泥(20% ~40%)中砂厚1.7~3.3 m	2.5~ 5.5	强夯	148000	$\geq 240$	290
4	广西钦州港中石油土 建工程	混合碎石(开山土)填土厚6.5~12.5 m; 淤泥质土厚3~6 m;中风化泥质砂岩	3~4	①强夯; ②桩基	220000	① $\geq 250$ ; ② $\geq 3500$	①375; ②4000
5	广西钦州港天盛油气 工程与铁路专用线	混合碎石(开山土)填土厚0.5~1 m; 吹填(中粗)砂厚6~7.2 m;淤泥质土 厚3.4~5.2 m	3~5	①置换(挤密排水) 碎石桩联合强夯; ②桩基	130000	① $\geq 250 \sim 320$ ; ② $\geq 3500$	①365; ②4000
6	广西防城港疏港大道	混合碎石(开山土)填土厚5.5~7.8 m;淤泥质土厚2.5~4 m	4.5~6	强夯	47520	$\geq 250$	380
7	广西防城港散货(中 粮)码头	吹填(中粗)砂厚8~11 m;淤泥质土 厚3~5 m	3~4	强夯	250000	$\geq 250$	345
8	广西东油码头油库工 程	吹填(中粗)砂厚5~6.5 m;淤泥质土 厚4~6 m	3~4	置换(挤密排水) 碎石桩联合强夯	950000	$\geq 240$	350
9	广西钦州港深能油气 库污水处理厂深基坑	混合碎石(开山土)填土厚5~6 m,松 散,地下水渗透系数 $k = 0.1 \text{ cm/s}$ ;中 粗砂层厚4~5 m, $k = 4 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ; 2.5~4.5 m不等) 松散;强~中风化泥岩	2~4 (高~ 低潮)	先强夯,然后在局 部深基坑砂层加高 压帷幕灌浆止水	5600	$\geq 200$ ,自行设 计降水与深基 坑支护方案	$\geq 260, k = 2 \times 10^{-3}$ cm/s,深基坑,自然 放坡1:0.3,集水 坑疏干抽水

法进行最佳方案的选择,以便实现优质高效的系统工作目标和效果,特别是潮汐带以下的深基坑系统施工与处理方法(如清基、填海、地基与基坑支护及降水)得当时,可起到事半功倍的效果。

(3) 针对填海造陆工程的具体岩土组合与特性、工程系统施工方法、方案情况,合理地选择最佳(以  $f_k = 350 \text{ kPa}$  为临界值)地基处理与基础施工方案,可达到“安全、经济、高效”的效果。

(4) 通过多项主要典型(或代表性)填海工程的地基与基础及深基坑施工与检验效果实例的成功经

验总结,为广西北部湾填海造陆系统工程(特别是相同或相似类型工程)施工起到指导、借鉴、推广作用。

#### 参考文献:

- [1] 汪正荣. 地基与基础施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] 编委会. 工程地质手册(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] GB 5007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [4] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].

## 内蒙古拟在黄河中游增建一座跨河公路大桥

新华网内蒙古频道 2009-06-12 消息 内蒙古自治区拟在黄河中游的临河段增建一座跨河公路大桥。2009年6月10日,临河黄河公路大桥投资项目正式举行了签约仪式。

据了解,临河黄河公路大桥将直接连通黄河北岸巴彦淖尔市临河区与南岸的鄂尔多斯市杭锦旗的呼和木都苏木,总投资6.5亿元,大桥及连接线总长10.532 km,其中黄河大桥长4.2 km,连接线总长6.3 km,桥位在黄河北岸防洪堤约K78+500m处,北岸连接线起于巴彦淖尔市临河区富源南路,跨越包兰铁路及总干渠。连接线按一级公路标准定线,二级公路标准建设,路基宽12 m,路面宽10.5 m,桥面净宽11 m,设计荷载公路I级。

据内蒙古自治区巴彦淖尔市公路局介绍,临河黄河公路

大桥项目的方式单位已经确定,具体开工日期尚未确定,但时间不会太久,预计2010年完工。

据介绍,临河黄河公路大桥是内蒙古区域路网改造的重要组成部分,大桥的建设不仅对提高黄河两岸鄂尔多斯市和巴彦淖尔市基础设施水平意义重大,同时也将极大改善内蒙古中西部地区与内蒙南部等地区联系的交通条件,对改善杭锦旗、鄂托克旗、伊金霍洛旗、杭锦后旗、乌拉特后旗的投资环境,扩大对外开放,加快经济发展,都会起到极大的促进作用。

据了解,临河黄河公路大桥建成后将是巴彦淖尔市境内的第二座跨黄河公路大桥,也是内蒙古境内的第七座跨黄河公路大桥。