

UDC

MH

中华人民共和国行业标准

P

MH/T 5060—2022

---

# 民用机场填海工程技术规范

Technical specification for marine reclamation engineering of airport

2022-05-18 发布

2022-09-01 施行

---

中国民用航空局 发布

中华人民共和国行业标准

# 民用机场填海工程技术规范

Technical specification for marine reclamation engineering of airport

MH/T 5060—2022

主编单位：民航机场规划设计研究总院有限公司

北京中企卓创科技发展有限公司

参编单位：北京大兴机场建设指挥部

建设综合勘察研究设计院有限公司

中交第四航务工程勘察设计院有限公司

中交天津港湾工程设计院有限公司

铁科院（深圳）研究设计院有限公司

中交公路规划设计院有限公司

民航机场建设工程有限公司

上海港湾基础建设（集团）股份有限公司

批准部门：中国民用航空局

施行日期：2022年9月1日

中国民航出版社有限公司

2022 北 京

# 中国民用航空局 公告

2022 年第 6 号

## 中国民用航空局关于发布《民用机场填海 工程技术规范》的公告

现发布《民用机场填海工程技术规范》(MH/T 5060—2022), 自 2022 年 9 月 1 日起施行。

本标准由中国民用航空局机场司负责管理和解释, 由中国民航出版社出版发行。

中国民用航空局  
2022 年 5 月 18 日

## 前 言

随着我国经济社会的发展，可利用的土地资源日渐减少，机场填海工程逐渐增多。为适应填海机场建设的需要，规范机场填海工程勘测、设计与施工等，受中国民用航空局机场司委托，编制本规范。编制组深入调研，认真总结和吸收了多年来我国填海机场工程的建设经验，在编写过程中参考了国内外有关技术规范和资料，经广泛征求意见和多次专家审查，并反复讨论和修改后定稿。

本规范的主要内容包括 10 章：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 建设条件调查与勘测；5. 海堤设计；6. 陆域形成设计；7. 场地地基处理设计；8. 工程施工；9. 工程质量检验与监控；10. 工程监测。

本规范第 1 章、第 3 章由韩黎明、李强、张合青编写，第 2 章由马新岩、宓宝勇编写，第 4 章由周载阳、刘祥玉、李耀刚编写，第 5 章由宓宝勇、王勇健编写，第 6 章由姜昌山、刘祥玉、姚荣学、吴彪、李洪华编写，第 7 章由马驰、吕勇刚、张印涛、吴彪、刘冬明、侯森编写，第 8 章由宋照尚、楼晓明、姚荣学、李祯编写，第 9 章由孔愚、郭磊、郭彬编写，第 10 章由楼晓明、任庚、赵坤阳编写。

本规范为首次编制，请各有关单位在规范使用中，将发现的问题和修改意见、建议及时函告民航机场规划设计研究总院有限公司科技质量部（地址：北京市朝阳区惠新东街甲 2 号住总地产大厦；传真：010-64979430；电话：010-64922253；电子邮箱：zykjzlb@cacc.com.cn），以及民航工程建设标准化技术委员会秘书处（地址：北京市朝阳区惠新东街甲 2 号住总地产大厦；电话：010-64922342；电子邮箱：mhgcjsbwh@163.com），以便修订时参考。

主编单位：民航机场规划设计研究总院有限公司

北京中企卓创科技发展有限公司

参编单位：北京大兴机场建设指挥部

建设综合勘察研究设计院有限公司

中交第四航务工程勘察设计院有限公司

中交天津港湾工程设计院有限公司

铁科院 (深圳) 研究设计院有限公司

中交公路规划设计院有限公司

民航机场建设工程有限公司

上海港湾基础建设 (集团) 股份有限公司

主 编: 韩黎明 李 强 张合青

参编人员: 姜昌山 周载阳 宓宝勇 马新岩 刘祥玉 姚荣学 吕勇刚

马 驰 宋照尚 楼晓明 孔 愚 吴 彪 郭 磊 任 庚

张印涛 郭 彬 刘冬明 赵坤阳 李 楨 王勇健 侯 森

李洪华 李耀刚

主 审: 沈小克 刘爱民

参审人员: 马志刚 郭竟成 郑 斐 刘国楠 吴 澎 高 伟 李 童

卢永金 顾宝和 刘 强 莫景逸 卢永昌 陈 刚 朱森林

刘光庆 李军世 孙 旻 彭 瑞 腾力鹏 杨志德 刘晓青

翁训龙 赵跃平

## 目次

<b>1</b>	<b>总则</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>术语和符号</b> .....	<b>2</b>
2.1	术语 .....	2
2.2	符号 .....	3
<b>3</b>	<b>基本规定</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>建设条件调查与勘测</b> .....	<b>7</b>
4.1	一般规定 .....	7
4.2	条件调查与资料收集 .....	7
4.3	填海海域测量 .....	9
4.4	填海海域勘察 .....	10
4.5	料源调查与勘测 .....	11
<b>5</b>	<b>海堤设计</b> .....	<b>14</b>
5.1	一般规定 .....	14
5.2	技术标准 .....	15
5.3	斜坡式海堤设计 .....	18
5.4	直立式海堤设计 .....	20
<b>6</b>	<b>陆域形成设计</b> .....	<b>22</b>
6.1	一般规定 .....	22
6.2	场地高程与排水 .....	23
6.3	料源区开采设计 .....	25
6.4	分隔围堰设计 .....	26
6.5	陆域形成填筑设计 .....	27
<b>7</b>	<b>场地地基处理设计</b> .....	<b>29</b>
7.1	一般规定 .....	29
7.2	沉降分析 .....	30
7.3	地基处理试验 .....	31
7.4	地基处理设计 .....	32

<b>8</b>	<b>工程施工</b>	<b>35</b>
8.1	一般规定	35
8.2	施工组织	35
8.3	海堤与分隔围堰施工	36
8.4	填料开采与填筑施工	37
8.5	场地地基处理施工	40
8.6	不停航施工	42
8.7	绿色施工	42
<b>9</b>	<b>工程质量检验与监控</b>	<b>44</b>
9.1	一般规定	44
9.2	海堤工程质量检验	44
9.3	陆域形成质量检验	45
9.4	地基处理质量检验	46
9.5	工程监控	48
<b>10</b>	<b>工程监测</b>	<b>50</b>
10.1	一般规定	50
10.2	监测系统设计与实施	50
10.3	监测数据采集、分析与反馈	52
	附录 A 民用机场工程填料分类	54
	标准用词说明	56
	引用标准名录	57

## 1 总 则

**1.0.1** 为保证机场填海工程建设质量，指导机场填海工程的勘测、设计、施工、检验与监测，本着安全适用、技术可靠、经济合理、节约资源和保护环境的原则，制定本规范。

【条文说明】填海机场一般具有围填海面积大、填料多样、工程量巨大等特点，并受海洋地质、水文、气象等复杂环境条件的影响，涉及场地稳定、地基与填筑体沉降、水工建筑物稳定与强度等问题。为规范、指导机场填海工程，编制《民用机场填海工程技术规范》十分必要。

制定本规范的目的，是适应机场填海工程技术发展，统一机场填海工程的勘测、设计、施工、检验和监测技术标准，满足机场安全使用要求，做到技术先进、经济合理、节约资源和保护环境。

本规范主要针对现有标准不能满足机场填海工程专业性和系统性要求的现状而制定，以从根本上解决机场填海工程没有行业规范可依的问题。在本规范的编制过程中，注重协调和处理好国家海洋管理法律法规、相关海洋工程技术标准和民航行业标准《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）、《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）和《民用机场高填方工程技术规范》（MH/T 5035）的关系。《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）对挖方区土石材料性质提出了原则性规定；《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）对机场场地进行了分区并提出相应设计标准，对填海工程专项设计提出了原则要求；《民用机场高填方工程技术规范》（MH/T 5035）对填料分类进行了规定，并据此对填筑工法的选择提出了指导性意见。编制本规范，是在遵循既有规范的基础上，基于将填料性质、填筑工法、地基处理方法与机场填海工程场地分区相结合的思路，对机场填海工程的勘测、设计、施工、检验、监测作出专业性和系统性的规定。

**1.0.2** 本规范适用于新建和改（扩）建民用运输机场（含军民合用机场民用部分）的填海工程，通用机场可参考执行。

**1.0.3** 机场填海工程应符合海域使用审批程序、环境保护、地质灾害防治、水土保持、海事管理等有关规定。

**1.0.4** 机场填海工程应贯彻“平安、绿色、智慧、人文”机场建设理念。

**1.0.5** 机场填海工程的勘测、设计、施工、检验与监测，除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关技术标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 填海工程 marine reclamation engineering

在沿海淤积型潮滩岸段或河口地区建筑堤坝, 利用回淤泥沙淤积成陆域; 或在海域直接修建围堰, 通过水力吹填、水上抛填、陆上推填等形成陆域的活动。

#### 2.1.2 填海机场 marine reclamation airport

在填海形成的陆域上建设的机场, 包括由陆域向海域延伸、部分填海形成的半岛式机场, 以及在离开陆地的海域填筑形成的离岸式机场。

#### 2.1.3 海堤 sea dike

为防御风暴潮(洪)水和波浪对防护区的危害而修筑的堤防工程。

#### 2.1.4 越浪量 overtopping discharge

波浪越过堤顶的水量, 以每延米的平均流量表示。

#### 2.1.5 允许越浪量 permissible overtopping discharge limit

在设计条件下, 允许越过堤顶的单宽流量。

#### 2.1.6 设计高水位 design high water level

高潮累积频率 10% 的潮位或历时累积频率 1% 的潮位。

#### 2.1.7 设计低水位 design low water level

低潮累积频率 90% 的潮位或历时累积频率 98% 的潮位。

#### 2.1.8 极端高水位 extreme high water level

设计重现期的年极值高水位。

#### 2.1.9 极端低水位 extreme low water level

设计重现期的年极值低水位。

#### 2.1.10 陆域形成 land formation

在规定界线以内的海域, 通过填筑形成陆域的过程。

**2.1.11 分隔围堰 separation cofferdam**

在填海工程中，为将大面积填海区域分隔而修筑的围护结构。

**2.1.12 水力吹填 hydraulic reclamation**

利用泥浆泵将泥沙以水为介质，通过管道输送到指定地点进行填筑的施工方法。

**2.1.13 水上抛填 dumping and filling on water**

利用挖泥船、泥驳或甲板驳等设备，将填料运输到指定海域进行填筑的施工方法。

**2.1.14 陆上推填 dumping and filling from land**

利用运输车辆、土方机械等，将填料由陆域向水域推进填筑的施工方法。

**2.1.15 振动密实法 vibration densification method**

无外加其他填料加固砂土地基时，利用孔内振冲器或沉管反复振动，使周围土体在径向一定范围内出现瞬间的结构破坏，抗剪强度降低，土颗粒重新排列，相对密度提高，达到提高强度、减少沉降、防止液化的加固方法。

## 2.2 符号

$EHWL$  ——相应重现期的年极值高水位

$R$  ——相应重现期的  $H_{1\%}$  波浪爬高

$Z_e$  ——防浪墙顶高程

$\eta$  ——相应重现期的  $H_{1\%}$  静水面以上的波峰面高度

$\Delta$  ——防浪墙高度富裕值

### 3 基本规定

**3.0.1** 机场填海工程应根据机场总平面布置、机场所在海域开发规划、生态环境保护要求等进行勘测、设计、施工、检验和监测。

**3.0.2** 机场填海工程应综合考虑机场功能需求和防潮防洪、排水除涝要求，以及工程造价与运行成本等影响因素，统筹填海机场的规划设计、建设与运行。

【条文说明】由于填海机场临海建设，在机场运行过程中必然面临防潮防洪、防浪等问题，为了确保机场的安全运行，需要合理确定机场陆域形成高程、机场排水模式，前者涉及填海工程造价，后者涉及机场运行期间的成本。因此，需要综合考虑影响机场填海工程的相关因素，统筹规划，实现建设、运行整体经济合理。

**3.0.3** 机场填海工程应根据机场所在海域环境条件，分析研究填海过程中以及机场建成后对海洋水动力环境、海洋生物、海水交换和海底地形地貌的影响。

【条文说明】机场填海工程一般规模较大，属于区域性填海类，且多位于海岸带或近岸海域，对海洋环境的影响主要集中在近岸海域水文动力改变、海域生态系统和渔业资源受损、湿地景观破坏和水质下降等方面。为减少机场填海工程对海洋环境的影响，需要通过多学科、多专业的研究与论证（包括数值模拟、物理模拟等），采取系统性、综合性的生态用海和生态修复措施，减少填海工程对海洋资源和海洋生态系统的影响。

**3.0.4** 机场填海工程应分析其对周边码头、航道、人文与自然景观等涉水设施的影响，并制定相应的工程措施。

**3.0.5** 机场填海工程宜根据机场总平面布置和填海工程特点，按表 3.0.5 进行场地分区。

表 3.0.5 机场填海工程场地分区

分 区	范 围
飞行区道面影响区	道肩边线外延并向外侧斜投影至海底面的范围
飞行区土面区	飞行区内道面影响区以外的区域
航站区	航站区用地的投影范围
工作区	工作区用地的投影范围
预留发展区	预留发展区用地的投影范围
海堤稳定影响区	根据海堤稳定性计算分析成果确定的范围

注：道肩边线外延的尺寸和斜投影坡比视填料性质和填筑工法而定。

【条文说明】机场飞行区道面影响区内地基与填筑体的稳定、变形对飞机的安全运行有重要影响，决定了地基处理范围和填筑控制标准。

**3.0.6** 机场填海工程设计前，应调查和收集填海海域的地形地貌、工程地质条件、水文条件、气象条件、海域环境条件及料源地等资料。

**3.0.7** 机场填海工程应根据机场填海工程场地分区、填料分类和海域环境等条件选择填料和施工工艺，做到因地制宜、节约资源。

【条文说明】机场填海工程面积大、场地分区多，所需填料量大、填料来源复杂，且多受海域环境影响，较陆地机场建设涉及更多、更复杂的因素。本条文强调要综合考虑机场填海工程场地分区的建设要求、海域环境等，就近选择填料，采用环保、高效的施工工法。

**3.0.8** 机场填海工程勘测工作应根据机场工程规模与需求、设计阶段和环境条件等确定，勘测范围应包括填海海域和料源区。

【条文说明】机场填海工程面临的海域环境条件比较复杂，海底可能存在分布复杂、含水量特别大的流泥（孔隙比不小于2.4，含水量不小于85%）以及其他软弱土层，对地基处理、陆域形成方案的确定和投资有重要影响，需要根据相关技术规范和设计要求进行勘测。

填海工程所用填料，一般为陆地开采的石料、土石混合料以及海上开采的砂（土）等，其性质、储量对填筑工法的选择和陆域形成后的地基处理将产生重要影响，是勘测工作的主要内容。

**3.0.9** 海堤应满足安全、稳定、耐久性和正常工作等性能要求。

【条文说明】海堤是保护海上机场安全的重要屏障。海堤的安全问题，不仅关系其自身的安全，而且直接影响到机场的安全运行。为了确保海堤等水工建筑物和机场设施的安全，需要在详细分析机场所在海域环境条件的基础上，合理确定海堤的等级和安全标准（防洪安全标准、抗滑稳定安全系数、抗倾覆稳定安全系数、强度安全系数）。

**3.0.10** 陆域形成设计和施工应满足下列要求：

- 1 合理确定陆域形成设计高程，并适当考虑陆域形成后的沉降量；
- 2 陆域形成分区与填料选择应满足机场填海工程场地分区的建设要求；
- 3 填料性质应符合国家、行业相关技术要求；
- 4 陆域形成分区宜结合机场填海工程场地分区、临时和永久排水工程、防潮防洪工程等建设需要进行划分；
- 5 施工过程与施工速度应根据监测成果进行控制。

【条文说明】填海工程的目的是为机场提供建设用地，各场地分区对填料性质的要求可能存在差异，如飞行区道面影响区不仅要求填料均匀，而且对原地基、填筑体的沉降及不均匀沉降控制要求高；航站区、塔台等建筑物一般采用桩基础，要求填料粒径有利于桩基础施工。因此，陆域形成设计、施工需要根据机场填海工程场地分区建设的要求采用性质适宜的填料。

在填海工程实施过程中,往往需要根据填料、填筑工法等进行陆域形成分区。为了减少后期工程难度,需要考虑机场填海工程场地分区、场区临时和永久排水工程建设等要求,使陆域形成分区与机场填海工程场地分区一致,使同一场地分区内的填料和填筑工法基本一致。

**3.0.11** 填海机场场地地基处理方案,应根据机场填海工程场地分区的建设用地要求,结合陆域形成方案进行选择。

**3.0.12** 机场填海工程实施前,宜结合机场工程特点和环境条件开展现场试验研究。

**3.0.13** 机场填海工程中,应对采用的新技术、新工艺、新设备和新材料进行必要的论证和试验验证。

**3.0.14** 机场填海工程应满足绿色环保、安全文明要求。

**3.0.15** 机场填海工程应进行质量检验。

**3.0.16** 在机场填海工程实施过程中和机场运行期间,应采用数字化、智能化等技术开展实时监控和监测。

【条文说明】机场填海工程是一项复杂的系统工程,涉及因素众多、投资大、环境复杂,为了确保填海工程质量和安全,需要采用以数字化、智能化为支撑的实时监控和监测技术。

在机场填海工程中实施数字化、智能化实时监控,能够实现对各种施工数据的信息化和精准化管理,确保各种施工数据和质量检验结果的真实性、可靠性和完整性,及时发现和消除施工中可能存在的风险,提升工程质量和效率。

**3.0.17** 机场填海工程设计、施工中,应研究环境与工程间的相互影响,并满足下列要求:

- 1 研究海域气象、水文条件对工程的影响,制定工程安全措施;
- 2 研究工程地质条件对工程的影响,分析、评价可能存在的海洋工程地质问题,制定不良地质的工程处理措施;
- 3 研究水上通航条件对工程施工的影响,制定相应措施。

**3.0.18** 机场填海工程施工过程中,应根据国家相关规定开展海洋环境、水土保持等监测。

## 4 建设条件调查与勘测

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 机场填海工程应先期调查、搜集填海海域的气象、水文、海底地形地貌、地质及地震、环境条件等资料，缺少相关资料时应进行必要的观测、测绘、勘探及专项研究等工作。

**4.1.2** 机场填海工程勘测范围应包括填海海域和料源区，其中填海海域可分为海堤和填筑区，应根据填海工程的特点和机场填海工程场地分区制定勘测方案。

**4.1.3** 机场填海海域勘测工作内容、方法，应根据机场填海工程场地分区并结合工程设计、施工等要求，参考当地工程建设经验综合确定。

**4.1.4** 海堤、飞行区的勘测工作应满足海堤工程、飞行区工程的设计与施工要求；航站区、工作区等其他区域的勘测工作应满足陆域形成设计、施工要求，陆域形成后相关设施的勘测按照国家、行业和地方相关规范和标准执行。

**【条文说明】**对于航站区、工作区及其他区域，初步勘察满足陆域形成设计与施工的需要，此阶段不再进行详细勘察工作，陆域形成后可根据需要再进行拟建设施的勘察工作。

### 4.2 条件调查与资料收集

**4.2.1** 机场填海工程基本条件调查与资料收集，宜包括下列内容：

- 1 机场接口条件；
- 2 自然条件；
- 3 海域使用条件；
- 4 环境条件；
- 5 相关规划；
- 6 相关政策与法律、法规；
- 7 外部配套条件。

**4.2.2** 机场接口条件调查与资料收集，宜包括下列内容：

- 1 机场工程前期工作论证成果及相关文件；
- 2 机场总平面布置；
- 3 机场排水方式及出水口布置；
- 4 机场地势设计高程。

**4.2.3 自然条件调查与资料收集，宜包括下列内容：**

1 气象资料，包括风、雨、雾、气温、湿度、雷暴和灾害性天气等，缺少气象资料时应根据工程需要进行必要的现场观测；

2 水文资料，包括潮汐、水位、冰况、水温、盐度、水流、波浪和径流等，缺少水文资料时应根据工程需要进行必要的现场观测；

3 地形、地貌及泥沙资料，包括海岸概况、地貌、多年海床地形图、含沙量、输沙率、输沙量、颗粒级配与海床构成等；

4 地质资料，包括地形地貌、地层、地质构造、岩土性质、地下水、不良地质作用、岩土工程评价等；

5 地震资料，包括区域构造、地震史、地震基本烈度等；

6 鸟情资料；

7 海域生物资料。

**4.2.4 海域使用条件调查与资料收集，应包括下列内容：**

1 工程海域使用现状；

2 周边现有设施；

3 管道、电缆、光缆等海底管线；

4 水雷、沉船等障碍物；

5 水下文物、矿藏。

**4.2.5 环境条件调查与资料收集，应包括环境保护现状、环境容量状况和承载能力等。**

**4.2.6 相关规划调查与资料收集，宜包括下列内容：**

1 海洋功能区划；

2 国土空间规划；

3 综合交通规划；

4 产业发展规划；

5 港口总体规划；

6 海洋环境保护规划。

**4.2.7 外部配套条件调查与资料收集，宜包括下列内容：**

1 铁路、公路、水运等交通条件；

2 给排水、供电、通讯等配套条件；

- 3 建筑材料、码头、道桥、预制场、加工厂、大型船舶、机械设备等施工条件；
- 4 社会环境与人文条件；
- 5 生活物资供应条件；
- 6 海上应急救援条件。

### 4.3 填海海域测量

**4.3.1** 填海海域测量应包括平面控制测量、高程控制测量、地形测量、水位控制测量和水深测量等。

【条文说明】填海海域测量需要根据工程实际需求和行业特点开展水位控制测量和水深测量工作。水位控制测量主要包括潮汐、波浪等要素的测量。水位控制测量是高程控制测量的一部分，是为水深测量提供控制点或起算点。目前常用“GPS-RTK+测深仪”直接测水下地形。

**4.3.2** 填海海域的测量范围应根据工程特点和海域地形条件确定，并考虑填海工程中船舶航行的需要。

【条文说明】在填海工程测量中，范围适当外延是必要的，例如测量范围外延至施工船舶航行自然水深处，可指导施工船舶的安全通航。

**4.3.3** 填海海域测量应采用国家坐标系，亦可采用当地坐标系或区域坐标系，并明确与国家坐标系间的转换关系。在一个测区应采用同一坐标系。

**4.3.4** 陆域地形测量高程基准应采用 1985 国家高程基准。海域水深测量的深度基准面若采用当地理论最低潮面时，应明确当地理论最低潮面与 1985 国家高程基准的转换关系。

**4.3.5** 水深测量与陆上地形测量应互相衔接，并充分利用岸（陆）上经检验合格的控制点；当控制点的密度不能满足工程需要时，应加密控制点。

**4.3.6** 长距离跨水面传递高程，可采用电磁波测距三角高程测量法或全球导航卫星系统（GNSS）高程测量法，也可利用水面传递高程。跨水面距离大于 3.5 km 时，应根据测区具体条件和精度要求进行专项设计。

**4.3.7** 机场填海工程海域测量测图比例尺宜按表 4.3.7 确定。

表 4.3.7 测图比例尺

区域	比例尺		
	选址勘测阶段	初步勘测阶段	详细勘测阶段
海堤及相关水工建(构)筑物	1:2000~1:5000	1:1000~1:2000	1:500~1:1000
填筑区	1:2000~1:20000	1:1000~1:5000	1:1000~1:2000

【条文说明】相关水工建(构)筑物主要指水闸、排水涵管及泄水口等。

4.3.8 施工测量包括施工前、施工中和竣工后的测量,施工平面坐标系、施工高程基准和施工深度基准面应与工程设计保持一致。

4.3.9 海域平面控制测量、高程控制测量、地形测量、水位控制测量和水深测量等未做规定的部分,应符合现行国家标准及《水运工程测量规范》(JTS 131)的规定。

## 4.4 填海海域勘察

4.4.1 填海海域勘察应根据海底地质、水文及气象条件,采用钻探、原位测试、物探等多种手段相结合的方法,选择的物探方法应适用于海上作业。

4.4.2 海堤勘察应符合《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)的相关规定。

4.4.3 填筑区初步勘察应满足陆域形成设计和施工的需要,并符合下列要求:

1 应查明拟建海域海底的地质构造、地层结构、岩土工程特性以及海底不良地质作用的成因、分布、规模和发展趋势,并对场地的稳定性做出评价,对主要的岩土工程问题提出技术解决方案的建议;

2 勘探点可采用网格状布置,间距宜为 200 m~300 m,地质条件复杂时应加密;

3 勘探孔深度应满足地基处理方案设计及其地基变形计算的要求。

【条文说明】根据《民用机场勘测规范》(MH/T 5025),初步勘察阶段勘探点网格状布置的间距根据不同的勘察等级分别为:甲级,150 m~200 m;乙级,200 m~250 m;丙级,250 m~300 m。填海海域初步勘察主要满足陆域形成设计和施工的需要,考虑到一定的范围内海域地质条件一般变化较小,勘探孔间距可适当增大。

4.4.4 飞行区详细勘察应符合下列要求:

1 查明海域海底地质构造、地层结构、岩土工程特性,提供详细的岩土工程资料;

2 查明海域不良地质作用的类型、成因、分布、规模、发展趋势,并提出工程处理建议。

【条文说明】填筑区按照机场功能分为飞行区、航站区和工作区等。对于飞行区,详细勘察应满

足飞行区原地基处理设计与施工、道基沉降验算与沉降控制等要求。

**4.4.5** 飞行区详细勘察应充分利用初步勘察的成果，勘探点间距宜按表 4.4.5 确定，海底地质条件复杂时应加密。存在不良地质作用时，应进行专项勘察。

表 4.4.5 飞行区详细勘察勘探点间距

区域		勘探点布置方式	勘探点间距/m	备注
飞行区道面影响区	跑道	沿跑道中心线及道肩边线布置	75~150	跑道中心线 75 m~100 m；道肩边线 100 m~150 m
	滑行道	沿滑行道中心线布置	75~150	影响区范围较大时，滑行道两侧宜布置勘探点
	机坪	网格状布置	100~150	—
飞行区土面区		—	—	根据实际情况适当布置

注：1 飞行区勘察应采用钻探、静力触探、物探等多种勘探手段相结合的方法，各种勘探手段的比例不做限制，由工程师根据具体情况确定。采用物探手段时，测线间距应满足表中相应要求。

2 表中数值为一般情况下的勘探点间距，地质条件复杂时应加密，以满足查明地质条件为准。

【条文说明】飞行区填筑区的详细勘察工作，既考虑与《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）的协调，同时结合填海工程的特点综合确定。海洋沉积比较均匀、地层变化较平缓时，勘探点间距可适当增大。

**4.4.6** 填海海域勘察应采取海水水样进行水化学分析，取样应在高平潮、低平潮时段分别在目标海域各采取 3 组。

**4.4.7** 岩土取样和测试应符合下列要求：

- 1 取样孔在平面上宜均匀布置，其数量应不少于钻探点总数的 1/6；
- 2 每一地层每项岩土指标的数量应不少于 12 个；
- 3 原位测试和土工试验项目应提供稳定性验算、承载力验算、变形计算、固结度计算等所需的岩土参数与指标。

## 4.5 料源调查与勘测

**4.5.1** 料源调查应依据当地国土空间规划，采用资料搜集、问询和现场踏勘等方法；料源勘察宜采用钻探、物探、挖探等多手段相结合的方法。填料应按照附录 A 进行分类。

**4.5.2** 料源地调查应符合下列要求：

- 1 查明备选填海料源的地点、范围、运距、沿途交通条件等；

- 2 初步估算不同类型料源的储量，储量宜为设计需要量的 2.5~3.0 倍。

#### 4.5.3 料源地的选择应符合下列要求：

- 1 料源地与填筑区间的距离应适宜，并避开建（构）筑物、障碍物、爆炸物、水产养殖区、环境敏感区、居民聚集区、学校、医院、高压电网、高速公路、铁路等；
- 2 料源开采不应影响附近建（构）筑物、边坡、航道、河势、堤防及海岸的稳定；
- 3 料源地填料的质量、可开采量以及可供应强度应满足工程建设要求；
- 4 宜选择无覆盖层或覆盖层薄的料源地；
- 5 水上料源宜选择距填筑区较近、水深条件适宜、风浪较小、水流较平缓、管线布置较方便的区域；
- 6 当疏浚土满足要求时，可作为填料使用。

#### 4.5.4 料源地测量应满足下列要求：

- 1 料源开采初步设计及前期阶段应测绘 1：2000~1：20000 的地形图，陆上料源开采施工图设计阶段应测绘 1：500~1：2000 的地形图，水上料源开采施工图设计阶段应测绘 1：2000~1：5000 的水深图，地形复杂区域宜取大比例尺；
- 2 陆上料源地应详示测区范围内的主要建（构）筑物的位置、结构和主要植被的种类和数量；
- 3 水上料源地应详示测区范围内的主要建（构）筑物及水下障碍物等情况。

#### 4.5.5 料源勘察应满足下列要求：

- 1 查明料源地土石料的岩土类别、工程特性及水稳性；
- 2 查明料源储量，勘察的料源储量宜为设计需要量的 1.5~2.0 倍；
- 3 查明料源开采的难易程度；
- 4 提供各类填料的分类储量、土石比、填筑填挖比；
- 5 对各类填料提出填筑建议。

#### 4.5.6 陆上料源地勘察应符合下列要求：

- 1 陆上料源地勘探点的布置及土石比、填挖比的确定，应符合《民用机场勘测规范》(MH/T 5025) 的相关规定；
- 2 岩溶发育地区的料源勘察应考虑岩溶洞穴对填料储量的影响；
- 3 应考虑填料开采后形成边坡的稳定影响，并提出工程建议；
- 4 应提出水土保持措施建议。

#### 4.5.7 水上料源地勘察应符合下列要求：

- 1 水上料源地勘察宜以物探方法为主；
- 2 勘探点可按网格形布置，间距宜为 200 m~400 m，勘探点深度应满足取土深度要求；
- 3 应对不同填料的输运方式提出建议；

4 应进行水下开挖边坡稳定性的分析评价，并提出建议。

**4.5.8** 当采用固体废弃物作为填料时，应查明其种类、成分、工程特性等，评价其作为填料的工程可行性及环保可行性，对可用填料应提出建议的填筑区域。

## 5 海堤设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 填海机场海堤应根据使用要求、自然条件和海岸动力特点等进行设计,并符合下列要求:

- 1 有利于岸滩、海床稳定;
- 2 减少波能集中;
- 3 与相邻建(构)筑物和周边环境相协调;
- 4 易于修复和加固;
- 5 美观、生态、环保。

【条文说明】除防护要求外,海堤使用要求还包括越浪、洪涝排放以及导航设施保护等。

**5.1.2** 海堤设计的主要内容应包括断面形式、尺寸、计算与验算、构造等。

**5.1.3** 海堤结构形式宜根据填海深度、工程地质、海域环境等条件采用斜坡式海堤、直立式海堤或混合式海堤,并可分段采用不同的结构形式。

【条文说明】不同的海堤结构形式,具有不同的特点和适用条件,合理选择填海机场海堤结构断面形式对机场的安全运行具有非常重要的意义。

斜坡式海堤堤身断面较大,对地基条件要求较低,消浪效果好;筑堤材料可用石料和砂料等,可就地取材;施工工艺简单,不需要大型起重设备;建成后如有损坏易于维修。当水深较浅、原地基条件较差时,斜坡式结构在节省工程造价、加快施工进度等方面具有优势。

直立式海堤堤身断面较小,当水深较深、原地基条件较好时,直立式结构在节约砂石料用量、节省工程造价等方面具有优势;直立式海堤对地基条件要求高,不利于消浪,需专业预制场和大型起重设备,施工工艺复杂。

直立式与斜坡式相结合的混合式海堤,兼有直立式和斜坡式海堤的特点,适用条件在两者之间。

**5.1.4** 海堤结构选型应根据使用要求、自然条件、材料来源、施工工艺与设备,并结合人文景观、生态环保等要求,经技术经济比较后确定。

**5.1.5** 海堤设计时,应对海堤结构与波浪的相互作用进行模型试验验证,并在此基础上优化海堤结构。

**5.1.6** 海堤应依据后方区域重要程度及防护要求进行越浪设计，并符合下列规定：

- 1 当海堤后方有重要设施或特殊要求时，宜按不允许越浪设计；
- 2 对于允许越浪的海堤，应考虑越浪水流对机场设施的影响，并设集水、排水设施。

【条文说明】填海机场的海堤后方有进近灯光系统、仪表着陆系统或其他导航设备等重要设施，或远机位、下滑台场地保护区等特殊场地，这些重要设施或特殊场地若距海堤较近，海浪越过海堤冲刷、淹没上述设施或场地，可能发生设备折断、倾斜和浸泡，机位无法正常使用、场地反射信号不能满足要求等影响机场运行的不良后果。因此，需要根据海堤与上述设施、场地的相互关系和影响程度，综合考虑是否允许越浪。

**5.1.7** 海堤挡浪墙高度的设计，应综合考虑防浪及机场净空要求等因素，同时不得遮蔽机场进近灯光，并满足机场导航设施保护要求。

【条文说明】为满足防浪要求和降低工程造价，填海机场海堤一般需要设置挡浪墙，且高于机场跑道设计高程。在飞机起飞、降落过程中，跑道两端和两侧规定空域内的地貌、地物的高度需要满足限制要求，同时需要导航设施（航向台、下滑台等）的信号引导和目视助航灯光系统（进近灯光系统、跑道灯光系统）的引导。因此，为确保飞机的起降安全，海堤挡浪墙高度需要满足机场净空要求，同时不能遮蔽机场进近灯光和影响导航设施的正常运行。

**5.1.8** 当海堤前为砂质地基时，应进行堤前冲刷计算，包括立波作用下的冲刷形态及最大冲刷深度等。

**5.1.9** 海堤龙口设计方案应根据地形、地质、水文条件，以及施工总体布置、工艺等确定，内容包括龙口布置、封堵顺序及龙口保护措施与范围等。

【条文说明】在填海工程中，海堤龙口施工是一项重要内容，是海堤合龙的关键，需要对龙口施工方案进行设计。

**5.1.10** 海堤设计应根据机场排水要求，合理布置海堤排水通道。

**5.1.11** 海堤设计应考虑机场围界设施要求，并做到合理衔接。海堤应设置巡检路。

**5.1.12** 海堤宜采取工程措施、种植植物或二者相结合的消浪措施。

**5.1.13** 海堤工程设计应提出质量检验要求与监测设计方案。

## 5.2 技术标准

**5.2.1** 海堤等级应根据海堤破坏后果的严重程度或飞行区指标，按表 5.2.1 确定。

表 5.2.1 海堤等级划分表

海堤等级	破坏后果	飞行区指标
I 级	很严重	4D 及以上
II 级	严重	4D 以下

注：确定海堤等级时，从 I 级向 II 级推定，以破坏后果或飞行区指标符合其中之一为准。

【条文说明】海堤等级与其掩护对象的重要性、一旦破坏后的损失程度或影响程度密切相关，海堤掩护对象越重要，一旦破坏后的损失程度或影响程度越高，相应的设防标准越高；反之，设防标准越低。机场是重要基础设施，据此本规范将机场海堤安全等级分为 I 级和 II 级。

5.2.2 海堤防潮防洪标准应根据海堤等级，按表 5.2.2 确定。

表 5.2.2 防潮防洪标准划分表

海堤等级	设计水位重现期/年
I 级	$\geq 200$
II 级	$\geq 100$

注：防潮防洪设计水位宜考虑因气候变暖而导致当地海平面上升的影响。

【条文说明】民用机场是重要的公共基础设施。根据相关调研成果，同时结合《防洪标准》(GB 50201) 中有关民用机场 I 级、II 级的防洪标准(重现期)要求，确定 II 级海堤设计水位重现期标准不低于 100 年，I 级海堤设计水位重现期标准不低于 200 年。

5.2.3 海堤防浪标准应根据海堤等级，按表 5.2.3 确定设计波浪重现期。

表 5.2.3 防浪标准划分表

海堤等级	设计波浪重现期/年
I 级	$\geq 200$
II 级	$\geq 100$

【条文说明】参考国内外相关标准，设计波浪重现期和设计水位重现期一致。

5.2.4 斜坡式海堤设计波高累积频率应按表 5.2.4-1 执行，直立式海堤设计波高累积频率应按表 5.2.4-2 执行，且设计波高均不应超过浅水极限波高。

表 5.2.4-1 斜坡式海堤设计波高累积频率

设计内容	设计波高累积频率 $F$
确定断面主尺度	13%
护面块石或护面块体稳定重量计算	5%
护底结构稳定性验算	5%
挡浪墙的稳定性验算或结构计算	1%

表 5.2.4-2 直立式海堤设计波高累积频率

设计内容	设计波高累积频率 $F$
确定断面主尺度	1%
波浪力计算	1%
抗倾和抗滑稳定性验算	1%
明基床护肩、护坡及护底结构稳定性验算	5%

5.2.5 海堤越浪量应根据机场使用要求并结合机场排水能力综合确定，其控制标准宜按表 5.2.5 确定。

表 5.2.5 允许越浪量控制标准表

计算工况	越浪量控制标准/ $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$	计算条件
正常运营	$\leq 0.000\ 03$	常见水位组合相应波浪
极端条件	$\leq 0.05$	极端高水位组合相应波浪

注：1 当排水系统能力较强时，经论证，越浪量控制标准可适当放宽；当后方有特殊防护对象时，越浪量控制标准应当提高。

2 常见水位可采用 2~5 年一遇的高水位。

【条文说明】海堤越浪量是个较为复杂的问题，本规范对允许越浪量的规定，是根据国内外标准，并结合已建工程的设计和使用经验综合分析给出的，包括正常运营工况和极端天气工况的越浪量控制标准。

综合分析国内外相关规范，现行各规范侧重点不同，越浪限值存在差异，各国标准中考虑结构安全的越浪量不高于  $0.05 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ ，并根据海堤具体形式而定。中国香港、欧洲国家标准中考虑堤后交通安全的允许越浪量不高于  $0.000\ 03 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$ 。中国现行《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154) 和日本规范中，基于后方重要程度对越浪限值有明确规定。总体而言，考虑结构安全的允许越浪量较大，考虑交通安全的允许越浪量最小。

**5.2.6** 海堤设计使用年限应不小于 50 年。

【条文说明】设计使用年限为正常设计、施工、使用和维护条件下所达到的使用年限，正常维护包括必要的检测、防护和维修。海堤的使用年限不仅取决于机场的使用年限，同时需要考虑因气候变化引起的海平面上升因素的影响。

**5.2.7** 海堤应按设计使用年限对应的超越概率 10% 的标准进行抗震设防。

【条文说明】现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223) 规定，抗震设防烈度一般情况取 50 年内超越概率 10% 的地震烈度。由于机场为重要的公共基础设施，使用年限不小于 50 年，其抗震设防烈度根据使用年限做了相应调整。

**5.2.8** 海堤安全等级应按一级设计。

### 5.3 斜坡式海堤设计

**5.3.1** 斜坡式海堤的断面形式和尺寸，应根据海域环境条件、使用要求及施工方法等，按《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154) 确定。

**5.3.2** 斜坡式海堤堤顶高程应符合下列要求：

- 1 对于允许越浪的斜坡式海堤，堤顶高程应根据越浪量控制标准计算确定；
- 2 对于不允许越浪的斜坡式海堤，堤顶高程可按下式计算确定：

$$Z_e = EHWL + R + \Delta \quad (5.3.2)$$

式中： $Z_e$ ——防浪墙顶高程 (m)；

$EHWL$ ——相应重现期的年极值高水位 (m)；

$R$ ——相应重现期的  $H_{1\%}$  波浪爬高 (m)；

$\Delta$ ——富裕值 (m)，根据使用要求可取 0 m~1.0 m。

【条文说明】越浪量和波浪爬高的计算方法、公式可参照《港口与航道水文规范》(JTS 145)。

**5.3.3** 斜坡式海堤堤心可采用块石、袋装砂等材料，护面结构可采用抛理块石、混凝土块体等。

**5.3.4** 斜坡式海堤减少波浪爬高或越浪量的措施，可采用宽肩台、消浪块体、弧形挡浪墙，或在海堤前设置防波堤、潜堤，当水深较浅且波浪较小时可种植植物等。

**5.3.5** 斜坡式海堤护底范围应结合波浪、水流和地基等条件确定，必要时通过模型试验进行验证。

**5.3.6** 斜坡式海堤的地基处理方案应根据原地基软弱土层厚度确定，并符合下列要求：

- 1 当地基表层软弱土层厚度较小时，可采用抛石挤淤法、开挖换填法处理；

2 当地基表层软弱土层厚度较大时,可采用复合地基、爆炸排淤法、排水固结法等进行处理。

**5.3.7** 斜坡式海堤承载能力极限状态的计算或验算,应包括下列内容:

- 1 护面块体的稳定重量和护面层厚度;
- 2 栅栏板、预制面板和现浇混凝土板的强度;
- 3 挡浪墙的强度和抗滑、抗倾稳定性;
- 4 抛石棱体和垫层块石重量;
- 5 护底块石的稳定重量;
- 6 整体稳定性;
- 7 渗流分析。

【条文说明】护面块体的稳定重量、护面层厚度、抛石棱体块石重量、垫层块石重量、护底块石的稳定重量、挡浪墙抗滑和抗倾稳定性以及栅栏板等相关计算,按《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)的有关规定执行;挡浪墙的强度按《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)的有关规定执行;整体稳定性设计按《水运工程地基设计规范》(JTS 147)的有关规定执行;当堤身及后方回填料渗透性较差时,需要进行渗流分析,渗流分析可参考《堤防工程设计规范》(GB 50286)中附录 E。

**5.3.8** 斜坡式海堤正常使用极限状态的计算或验算,应包括下列内容:

- 1 地基沉降;
- 2 裂缝宽度;
- 3 堤前冲刷。

【条文说明】地基沉降计算按《水运工程地基设计规范》(JTS 147)的有关规定执行,裂缝宽度验算按《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)的有关规定执行,堤前冲刷计算按《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)的有关规定执行。

**5.3.9** 斜坡式海堤承载能力极限状态作用组合中,计算水位的选取应满足下列要求:

- 1 持久组合,计算水位应分别采用设计高水位、设计低水位、极端高水位、极端低水位;
- 2 短暂组合,计算水位应分别采用设计高水位和设计低水位或施工期短暂状态下某一不利水位;
- 3 地震组合,计算水位应按照《水运工程抗震设计规范》(JTS 146)的有关规定执行;
- 4 偶然组合,有特殊要求时,计算水位应采用相应设计条件确定的水位;
- 5 短暂状况,对未成型的斜坡式海堤应进行施工期复核,波浪重现期可采用 2~5 年。

**5.3.10** 斜坡式海堤正常使用极限状态作用组合可不考虑极端高水位和极端低水位时的情况。

**5.3.11** 斜坡式海堤挡浪墙变形缝设置、倒滤层结构、护面垫层块石重量、护底结构、护底范围及厚度等构造设计,可参照《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)。

## 5.4 直立式海堤设计

**5.4.1** 直立式海堤结构形式可采用沉箱、钢圆筒等。沉箱可采用矩形、圆形、椭圆形、花篮形等。海堤上部结构可采用现浇混凝土,临水面根据受力情况和挡浪要求可采用直立面或弧形面等。

**5.4.2** 直立式海堤的断面形式和尺寸,应根据自然条件、使用要求、施工方法等,按相关规范确定。

【条文说明】直立式海堤的设计,目前执行的规范主要有《防波堤与护岸设计规范》(JTS 154)、《码头结构设计规范》(JTS 167)、《插入式钢圆筒结构设计与施工规范》(JTS 167-13)等,具体设计时可根据具体情况选择使用。

**5.4.3** 直立式海堤堤顶高程应符合下列要求:

1 允许越浪的直立式海堤,堤顶高程应根据越浪量控制标准通过模型试验确定,越浪量控制标准可按本规范第 5.2.5 条执行;

2 不允许越浪的直立式海堤,堤顶高程可按下式计算确定,并通过模型试验进行验证:

$$Z_e = EHWL + \eta + \Delta \quad (5.4.3)$$

式中:  $Z_e$ ——防浪墙顶高程 (m);

$EHWL$ ——相应重现期的年极值高水位 (m);

$\eta$ ——相应重现期的  $H_{1\%}$  静水面以上的波峰面高度 (m);

$\Delta$ ——富裕值 (m),根据使用要求可取 0 m~1.0 m。

**5.4.4** 直立式海堤可设置反“L”形挡浪墙或弧形挡浪墙,或在直立式海堤前设置防波堤、潜堤等。

**5.4.5** 直立式海堤护底范围应结合波浪、水流和地基等条件确定,必要时通过模型试验进行验证。

**5.4.6** 直立式海堤承载能力极限状态的计算或验算,应包括下列内容:

- 1 墙底面和墙身各水平缝及齿缝计算面前趾的抗倾稳定性;
- 2 沿墙底面和墙身各水平缝的抗滑稳定性;
- 3 沿基床底面的抗滑稳定性;
- 4 基床和地基承载力;
- 5 整体稳定性;
- 6 构件的强度;

7 明基床的护肩块体或块石和护底块石的稳定重量；

8 渗流分析。

【条文说明】对墙底面和墙身各水平缝及齿缝计算面前趾的抗倾稳定性、沿墙底面和墙身各水平缝的抗滑稳定性、沿基床底面的抗滑稳定性、基床承载力、明基床基肩和坡面块体稳定重量计算等，按《防波堤与护岸设计规范》（JTS 154）、《码头结构设计规范》（JTS 167）、《插入式钢圆筒结构设计与施工规范》（JTS 167-13）等规范的有关规定执行；地基承载力验算和整体稳定性验算按《水运工程地基设计规范》（JTS 147）的有关规定执行；构件强度按《水运工程混凝土结构设计规范》（JTS 151）的有关规定执行；当堤身及后方回填料渗透性较差时，需要进行渗流分析，渗流分析可参考《堤防工程设计规范》（GB 50286）中附录 E。

**5.4.7** 直立式海堤正常使用极限状态的计算或验算，应包括下列内容：

- 1 地基沉降；
- 2 裂缝宽度；
- 3 堤前冲刷。

【条文说明】地基沉降计算按《水运工程地基设计规范》（JTS 147）的有关规定执行，裂缝宽度验算按《水运工程混凝土结构设计规范》（JTS 151）的有关规定执行，堤前冲刷计算按《防波堤与护岸设计规范》（JTS 154）的有关规定执行。

**5.4.8** 直立式海堤承载能力极限状态作用组合中，计算水位的选取应满足下列要求：

- 1 持久组合，计算水位应分别采用设计高水位、设计低水位、极端高水位、极端低水位；
- 2 短暂组合，计算水位应分别采用设计高水位和设计低水位或施工期短暂状态下某一不利水位；
- 3 地震组合，计算水位应按照《水运工程抗震设计规范》（JTS 146）的有关规定执行；
- 4 偶然组合，有特殊要求时，计算水位应采用相应设计条件确定的水位；
- 5 短暂状况，对未成型的直立式海堤应进行施工期复核，波浪重现期可采用 5~10 年。

**5.4.9** 直立式海堤正常使用极限状态作用组合可不考虑极端高水位和极端低水位时的情况。

**5.4.10** 直立式海堤基槽底宽、抛石基床规格、沉箱尺度、沉箱内填料、沉箱与上部结构的连接、护底结构厚度等构造设计，可参照《防波堤与护岸设计规范》（JTS 154）、《码头结构设计规范》（JTS 167）等。

## 6 陆域形成设计

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 陆域形成设计方案应根据场区海域环境条件、工程地质条件、机场填海工程场地分区、填料来源和性质、场地地基处理要求、施工可操作性、工期和投资等因素确定，陆域形成宜与场地地基处理相结合。

**6.1.2** 陆域形成设计应包括下列内容：

- 1 总平面布置；
- 2 场地高程与排水设计；
- 3 料源区开采设计；
- 4 分隔围堰设计；
- 5 陆域形成填筑设计；
- 6 环境保护措施。

**6.1.3** 陆域形成设计应根据机场总平面布置、各场地分区填筑要求、海域环境、海陆域联系和建设时序等，合理划分陆域形成分区。

【条文说明】机场填海工程场地分区多且衔接复杂，各场地分区填筑要求不同。如果陆域形成分区与机场填海工程场地分区边界不一致，在填料种类较多时将可能使各场地分区的填料性质及分布不均匀，由此导致地基处理的复杂性和成本增加。

由于机场填海工程规模大、填料种类多，陆域形成工程设计中需要充分考虑不同场地分区对填筑质量的要求，做好不同性质填料、不同填筑工法区域的合理过渡和衔接，提高场地的均匀性。

**6.1.4** 陆域形成设计应根据机场总平面布置、填海区域地形、工程地质条件、填料类型、填筑方法等规划清淤土处置区。

【条文说明】陆域形成过程中，挤淤或清淤等处理方式一般会产生大量的淤泥，需要结合机场填海工程场地分区的建设时序及设计要求，做好淤泥处置工作，充分利用，同时减少对环境的影响。

**6.1.5** 陆域形成填筑设计时，应分析论证施工过程中对水环境、海域生物的影响，必要时采用数

值模拟或模型试验进行分析预测，制定相应措施。

**6.1.6** 陆域形成设计应提出质量检验要求与监测设计方案。

**6.1.7** 陆域形成设计应制定环境保护措施，并符合下列要求：

- 1 应对工程可能造成的环境影响进行分析，包括影响范围和类型、影响程度的测定和控制等；
- 2 应对料源区、运料路线、填筑区、储泥坑等作业环节进行环境保护设计；
- 3 应选择对环境影响小的施工设备和工艺，确定合理的设计参数；
- 4 应进行施工及相关区域的环境监测方案设计。

**【条文说明】** 鉴于机场填海工程涉及的面积大、填料量大、水上作业以及采用大量重型施工设备，环境保护至为重要。

在机场填海工程中，涉及的环境敏感区主要包括：需要特殊保护的地区、生态敏感与脆弱区、社会关注区。

在水上填筑作业中，可采取的环保措施主要有：挖运泥船、管线密封良好，防止泄漏；完善水上作业方式，减少对水体质量的影响；提高水上作业精度，严格控制超挖；料源区、泄水口设置防污帘；填筑区泥浆采取物理、化学处理措施，加速泥浆沉淀。

在陆上作业中，可采取的环保措施主要有：减少水土流失，控制和减少粉尘、尾气的排放，控制施工机械油料跑、冒、滴、漏，控制机械噪音等。

## 6.2 场地高程与排水

**6.2.1** 陆域形成场地高程应与机场地势设计高程相衔接。机场地势设计高程应符合下列要求：

- 1 符合《民用机场飞行区技术标准》（MH 5001）对各部位坡度和障碍物限制的规定；
- 2 机场填海工程场地分区的地势应满足使用要求，并能合理衔接；
- 3 满足场区排水和内涝防治的需要；
- 4 未设高于场地地势的海堤时，应满足防潮防洪标准和允许越浪量的排水要求；
- 5 应考虑未来可能出现的场地沉降和不均匀沉降影响；
- 6 通过多方案比较，选择工程全寿命期费用较小的设计方案。

**【条文说明】** 地势设计高程，是指机场永久设施相关的地面设计高程，包括道面、土面、道路等高程。

**6.2.2** 陆域形成场地高程设计方案、排水设计方案宜结合机场永久排水模式确定。机场永久排水模式应符合下列要求：

- 1 可采用直排自流模式、二级缓冲模式等；

2 采用直排自流排水模式时,机场地势设计最低高程宜高于机场防潮防洪标准相应的水位高程;

3 采用二级缓冲排水模式时,缓冲水池或内河的设计常水位高程宜不低于平均海平面高程。

【条文说明】澳门国际机场的跑道位于陆域形成的填筑体上,采用完全自流排放的排水方式,设计水位以澳门海图基准面为准,设计高水位采用 4.75 m (重现期 214 年一遇),校核高水位采用 5.00 m (重现期 500 年一遇)。跑道中心线高程为 8.0 m,纵坡为 0,堤顶高程为 10 m。

上海浦东国际机场采取的是强排为主的排水方式。机场内雨水排放采用二级排水模式,场内各区域地面径流的收集、泵站提升排入围场河为一级排水系统,四周封闭的围场河作为机场一级排水的受纳水体;二级排水是由围场河、节制闸、翻水闸泵站组成大的排水系统,利用建在江镇河入长江的翻水闸泵站和薛家泓翻水闸泵站控制机场围场河水位。在长江高潮位时,围场河由泵站提升排入长江;当长江低潮位时,则可通过排水闸重力自流排入长江。围场河设计低水位为 1.50 m,常水位为 2.35 m,设计高水位为 3.20 m,二跑道中心线高程为 5.5 m,四跑道中心线高程为 5.4 m。以上高程为上海吴淞高程系。

深圳宝安国际机场采取的是强排为主的排水方式。一跑道时的排水情况为:飞行区 1 号雨水泵站位于飞行区西北,设有闸门,低潮位时可自流排水。2 号雨水泵站位于飞行区西南,没有闸门,完全采用强制排水。机场陆侧雨水经内排河,通过机场北端的 3 号雨水泵站提升排入福永河,最终排入大海。二跑道建设完后排水情况为:在新建海堤内侧设置调节水池(含围场河),并尽量扩大其面积,增加场内雨水调蓄能力,在海水处于高潮位、机场雨水不能直接排出时具有蓄水功能,暴雨时开泵强排,在海水处于低潮位时开闸放水。调节水池常水位标高控制在 0.5 m (与平均海水位基本一致),设计高水位为 2.0 m,调节水池池底标高为 -1.5 m ~ -2.0 m 不等。一跑道中心线高程为 3.72 m,二跑道中心线高程为 3.95 m, T3 航站楼站坪边高程为 4.63 m。以上高程为 1985 国家高程基准。

机场作为重要的交通基础设施,场地平坦无障碍,水头不高的少量海水就可能淹没整个机场,腐蚀敏感的仪器设备,难以短时间恢复运行。因此,跑道设计高程是机场建设中最敏感的内容之一。对于填海机场,从安全角度看,跑道设计高程越高越有利;从投资角度看,跑道设计高程越高,工程造价越大。跑道设计高程与机场排水模式密切相关,采用直排自流排水模式时,跑道设计高程由机场防洪标准相应的潮水位高程推算;采用二级缓冲排水模式时,跑道设计高程由缓冲水池或内河的水位高程推算。

填海机场跑道设计高程需要适当考虑一定的安全超高,一是由于填海机场场地工后沉降的理论预测值与机场运行过程中产生的实际沉降值的偏差,可能导致机场高程降低;二是海平面随全球气温升高有上升的趋势,监测资料表明,近 30 年我国沿海海平面平均上升速度为 2.6 mm/年,海平面的上升将对填海机场的安全运行产生重要影响。

**6.2.3** 陆域形成场地的交工面高程,应根据机场地势设计高程、施工期沉降量、交工时间,以

及陆域形成后需要增加或卸载土方的高度等确定。

【条文说明】陆域形成场地交工面高程，是指填海工程设计确定的陆域形成场地交工面高程。陆域形成后，为达到机场地势设计高程，通常还需要进行填方、卸载、地基处理、铺设结构层等。

6.2.4 陆域形成过程中的临时排水系统宜结合机场总平面布置、填筑方案及施工通道等设置。

## 6.3 料源区开采设计

6.3.1 填料性质和数量应满足机场填海工程的需要，其中水面以下的填料应选择受海水浸泡后物理力学指标改变较小且性能稳定的材料，材料成分应符合国家标准《围填海工程填充物质成分限值》（GB 30736）的规定；水面以上的填料应选择级配良好、含水率适宜、易于压实的材料。

【条文说明】在机场填海工程中，所用填料不能含有冶金废料、采矿废料、燃料废料、化工废料、城市生活垃圾（惰性拆建物料除外）、危险废物、农业垃圾、木质废料、明显的大型植物碎屑和动物尸体等损害海洋环境质量的材料。

由于机场各场地分区有不同的填筑要求，需要根据建设要求对填料性质、规格进行设计，例如包括航站楼、综合管廊在内的建（构）筑物可能需要打桩或开挖基坑，则不宜采用块石料填筑。

6.3.2 水上料源开采设计应符合下列要求：

- 1 设计内容应包括取料区设计、工程量计算、设备配置、工艺与运输方案、环境监测与保护设计等；
- 2 取土量大、工程条件复杂的区域，应研究开采作业对周边环境的影响；
- 3 开采方式应根据陆域形成填筑工程要求、料源性质、环境要求、拟选用设备性能及组合等确定；
- 4 开挖边坡的设计应根据边坡稳定性分析成果确定；
- 5 水上料源区距填筑区较远时，宜在填筑区附近设置储泥坑。

【条文说明】进行水上料源开采时，料源区的土质、水动力条件、开采方式与设备等均影响水下边坡的稳定，而水下边坡的稳定直接影响工程量和工程造价。因此，在进行水上料源开采设计时，需要掌握料源区各种动力因素与泥沙运动的关系，进行边坡稳定性分析，确定合理的边坡参数。

储泥坑需要避开水下建筑物、障碍物、爆炸物、水产养殖区及环境敏感区，优先选择土质较软、水下地形平坦、与取料区有航路联通、风浪较小、水流平缓的区域。储泥坑的平面尺度、深度、库容量满足抛泥船舶及吹填船舶安全作业的要求。

**6.3.3** 陆上料源开采设计应符合下列要求：

- 1 设计内容应包括开采边界与深度、边坡坡度、各类土石方量计算、开采工艺与爆破方案、开采时序、运输方式与路径、水土保持、环境保护等；
- 2 开采边界与深度、边坡坡度应根据地质条件、土石方量需求等因素综合确定，满足边坡稳定要求；
- 3 各类土石方的开采时序应结合机场填海工程场地分区对填料的要求，分层、分条有序开采；
- 4 应合理规划运输方式与路径。

## 6.4 分隔围堰设计

**6.4.1** 分隔围堰宜结合机场填海工程场地分区、分期建设要求和陆域形成方案等设置。

【条文说明】设置分隔围堰的目的是，根据各区域的填筑、地基处理和工期等要求，将大面积的填海区域快速分隔，以便形成各区域的独立、同步流水作业区；同时形成联系陆域和海堤的施工道路。

**6.4.2** 分隔围堰宜在海堤具备掩护条件下进行建设，当外围海堤不具备掩护条件时应采取防护措施。

【条文说明】当分隔围堰与海堤同步或在海堤未合龙前实施时，分隔围堰要考虑防潮功能，布置上需要统筹考虑龙口布置及截流施工的影响，还要考虑分隔围堰两侧可能出现的水位差及其作用下的渗流稳定。

**6.4.3** 分隔围堰的平面布置应符合下列要求：

- 1 应满足陆域形成填筑和地基处理作业要求；
- 2 应有利于形成独立的分区作业条件；
- 3 宜结合施工道路、正式道路等建（构）筑物布置。

**6.4.4** 分隔围堰设计应符合下列要求：

- 1 设计内容应包括结构形式、尺寸、构造、计算验算等；
- 2 应考虑施工荷载，满足使用要求；
- 3 宜分段设计，并做好各段间的衔接处理。

**6.4.5** 分隔围堰结构形式应根据地形地质条件、建筑材料、施工进度等因素进行选择，可采用土石围堰、土工织物充填袋围堰等。

**6.4.6** 分隔围堰的堰顶高程应根据潮水位、陆域形成场地高程、预留场地沉降量等因素综合确定。

6.4.7 分隔围堰应进行沉降和稳定性计算，并统筹考虑围堰与相邻场地的地基处理方案。

6.4.8 分隔围堰边坡可根据需要设置护面与倒滤层。

## 6.5 陆域形成填筑设计

6.5.1 陆域形成填筑设计应符合下列要求：

- 1 应对填筑场地进行变形和稳定性计算；
- 2 原地基存在厚层状软弱土时，应采用分层填筑设计，分层厚度及填筑速率应根据稳定性计算分析、施工工艺等因素确定；
- 3 填筑工艺应根据填料类型和来源方式确定；
- 4 同一填筑分区宜采用性质相同或相近的填料；
- 5 应结合机场填海工程场地分区的建设要求进行填料选择，减少对后续建设的不利影响。

【条文说明】填海工程场区的工程地质条件比较复杂，原地基存在的深厚软弱土层含水量高、强度低，在填筑体载荷作用下极易出现变形和挤压，产生滑移和挤出，形成强度更低、压缩性更大的淤泥包，淤泥包厚度可达数十米，面积可达数千平方米，由此造成新的地基不均匀。机场填海工程场地分区多且使用要求不同，地下管网复杂，尤其是飞行区对地基的不均匀沉降、航站区对地基填土均匀性要求高，如果在陆域形成填筑中出现大面积的淤泥包现象，将对后期工程建设造成极大的困难并付出高昂的经济代价。因此，当填海机场原地基存在厚度较大的软弱土时，在工程设计和施工过程中需要严格控制填筑厚度和填筑速率，并对可能出现的淤泥隆起、挤出采取监控和处置措施。

6.5.2 填筑工艺宜根据机场各场地分区的地基处理方案，以及填料类型、来料方式、海域条件、地形地貌等因素，选择水力吹填法、水上抛填法、陆上推填法或几种填筑工法的组合。

6.5.3 采用水力吹填法时，应根据吹填规模、设备组合以及填筑区环境等因素进行填筑设计，并符合下列要求：

- 1 水力吹填施工分区应根据机场各场地分区建设的用地要求、填料性质、吹填面积、现场条件、施工设备及方法等确定；
- 2 吹填管线应根据施工设备性能、料源区（或储泥坑）的区域划分、工程要求、现场条件等进行布置。其中：水上管线有碍航道或距离较长时宜设置水下管线；陆上管线宜平直并避免与公路、铁路和建（构）筑物交叉，水、陆管线连接处应设置连接平台并适应水位变化；
- 3 飞行区道面影响区吹填主管线宜沿跑道中心线设置；
- 4 吹填管口应远离海堤、分隔围堰坡脚以及已有建（构）筑物；
- 5 排水口的位置、数量和结构形式应根据吹填区的地形地貌、吹填区形状、吹填规模、管

线布设等因素确定；

6 吹填回水排放应满足海洋、水利和环保等要求。

**6.5.4** 采用水上抛填法时，应根据填筑规模、海域环境条件和填料性质等进行填筑设计，并符合下列要求：

- 1 抛填方向与路径宜从远离进船航道开始抛填，且抛填点应均匀布设；
- 2 应进行抛填后的填筑设计，同一填筑分区宜采用性质相近的填料进行水力吹填或陆上推填；
- 3 抛填顶高程应满足施工船舶的满载吃水及通航条件；
- 4 海堤应留有施工船舶进出的口门，并满足船舶安全通航要求。

**6.5.5** 采用陆上推填法时，应根据机场填海工程场地分区建设要求、水域条件、工程地质条件、料源条件等进行填筑设计，并符合下列要求：

- 1 需要对填筑区原地基进行处理时，宜先行实施；
- 2 临时排水方案应根据填料性质、填筑进程和场地排水条件等确定。

## 7 场地地基处理设计

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 场地地基处理方案应根据机场填海工程场地分区、工程地质条件、填料性质、填筑工法和环境条件等，经综合分析后确定。

【条文说明】填海机场场地地基处理，指的是陆域形成区域的地基处理，包括原地基软弱土和陆域形成填筑体的加固处理，机场填海工程场地地基处理主要具有以下特点：

- 1 场地分区多，建设要求各不相同；
- 2 地基处理面积大；
- 3 原地基及陆域形成后的条件复杂。

目前，国内已建有数个填海机场，各机场的地基处理方法如说明表 7.1.1 所示。

说明表 7.1.1 国内填海机场地基处理方法

机场名称	建造年代		地质条件	地基处理方案
深圳宝安国际机场	一期	1991	淤泥厚度 6 m~12 m	跑道、联络道、滑行道采用换填法，停机坪、站坪采用堆载预压法
	二期	2006	淤泥厚度 6 m~12 m	跑道采用换填法，联络道、滑行道、停机坪、站坪采用堆载预压法，一跑道、二跑道间联络道采用管桩桩网法
	三期	在建	淤泥平均厚度约 6 m，最大厚度 13.9 m	跑道采用换填、振动密实法，滑行道采用堆载预压法、振动密实法，土面区采用堆载预压法
上海浦东国际机场	一跑道	1996	软弱土厚度 20 m~30 m	垫层强夯法
	二跑道	2003		堆载预压法、降水强夯法
	三跑道	2005		冲击碾压法（古河道采用真空预压法）
	四跑道	2014		堆载预压法、冲击碾压法
香港赤鱓角国际机场	一期	1997	淤泥厚度 15 m~20 m	跑道、联络道采用换填法
	二期	2016		水泥土搅拌桩法

续表

机场名称	建造年代	地质条件	地基处理方案
澳门国际机场	2001	淤泥质土厚度 10 m~26 m	清淤换填法、堆载预压法、振动密实法
厦门新机场	2015	淤泥厚度 2 m~18 m	堆载预压法、强夯法、振动密实法

**7.1.2** 飞行区的地基处理标准应符合《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)的规定;航站区、工作区等其他区域的地基处理标准应根据场地使用要求确定。

【条文说明】《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)第4.2节对飞行区道面影响区的工后沉降和工后差异沉降进行了规定,对土面区提出了“应满足排水、管线和建筑等设施的使用要求”,其他区域的沉降变形“应符合国家现行有关技术标准的规定”。机场填海工程由于受填料、工艺及施工条件等限制,无法像陆地施工那样达到可控性的压实填筑,当对道面影响区进行加固处理后,道面区与土面区间可能产生过大的差异沉降(尤其是半岛式填海机场),设计人员可根据实际情况确定土面区的地基处理标准。

**7.1.3** 地基处理设计应提出质量检验要求与监测设计方案。

## 7.2 沉降分析

**7.2.1** 沉降分析内容应包括总沉降量、施工期沉降量、工后沉降量及工后差异沉降等。

**7.2.2** 地基沉降计算土层应包括陆域形成的填筑层、原地基土层。

**7.2.3** 地基沉降分析时,应根据场地工程地质条件、地基排水条件、使用功能、荷载及加载过程等因素,将场地划分若干代表性区域分别计算。

**7.2.4** 地基沉降应根据场地工程地质条件、使用工况和地基处理方法等,参照《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)、《复合地基技术规范》(GB/T 50783)和《吹填土地基处理技术规范》(GB/T 51064)进行计算。

**7.2.5** 原地基沉降计算的附加荷载取值,应满足下列要求:

1 飞行区道面影响区沉降计算的荷载应包括填筑体和道面荷载,机坪区域尚应考虑飞机及相关附属设施的荷载;

2 航站区、工作区和预留发展区地基沉降计算的荷载应考虑填筑体和使用荷载。

**7.2.6** 地基沉降计算的地下水位宜采用低水位。

**7.2.7** 在确定土工参数、经验系数等计算参数时，宜利用地基处理试验取得的成果。

【条文说明】场地原地基土层及填筑体沉降受土层性质、应力历史、载荷水平、加载方式等多因素影响，计算沉降量与实际可能有一定的差异，需要充分利用试验取得的沉降数据及沉降计算参数修正设计计算。

## 7.3 地基处理试验

**7.3.1** 地基处理试验应根据原地基条件、陆域形成填料性质及填筑工法、工程实际需要和环境条件，选取有代表性的区域进行，并符合下列要求：

- 1 地基处理试验方案应结合地基处理方法的特点，确定试验规模和边界条件；
- 2 应根据不同地基处理方法和参数，设置不同的试验区；
- 3 宜采用多种检测方法对比研究地基强度、变形特性，推算地基土变形、稳定性计算参数。

**7.3.2** 地基处理试验的主要内容，宜包括试验区勘察、设计、施工、检测、监测及总结等。

**7.3.3** 每个试验分区的勘探点宜不少于3个，同时应给出地层分布和参数指标的测试结果。

**7.3.4** 地基处理试验设计主要内容，宜包括试验区布置、范围、技术指标、试验工法、施工技术要求、检测和监测要求等。

**7.3.5** 试验区检测内容宜包括检测项目、方法、检测数量等。

**7.3.6** 试验区监测内容宜包括监测项目、监测点位置、监测频率等。

**7.3.7** 采用实时监控技术时，宜结合施工工艺进行现场相关性校验试验，并符合下列要求：

- 1 应确定施工过程控制参数；
- 2 应建立传感器输出特征参数与常规质量检验指标的相互关系；
- 3 应确定监控设备的定位精度和数据传输能力。

**7.3.8** 试验应保留勘察、施工、检测和监测等过程的原始记录。

**7.3.9** 试验总结报告应符合下列要求：

- 1 应包括勘察、施工、检测、监测等成果；
- 2 应分析地基处理前后的地基强度、变形特性、变形计算参数等；
- 3 应对试验成果进行分析评价，提出推荐的地基处理方案、工艺参数等。

## 7.4 地基处理设计

**7.4.1** 地基处理应根据原地基土性质、陆域形成填筑体特性和机场填海工程场地分区要求等进行设计。

**7.4.2** 地基处理应按照机场建设时序进行，并符合下列要求：

- 1 本期建设飞行区应一次处理到位；
- 2 本期建设航站区与工作区应达到陆域形成的要求；
- 3 应统筹考虑本期和远期的地基处理，合理衔接。

**7.4.3** 原地基软弱土和陆域形成填筑体的处理顺序，宜根据填料性质、填筑工法和地基处理方法等确定，并符合下列要求：

- 1 当填料为石料和土石混合料时，对深厚层软弱地基土宜在填筑前完成竖向排水体、水泥土搅拌桩等施工，对薄层软弱地基土可采用换填法或与陆域形成填筑体一并进行处理；
- 2 当填料为土料时，应根据原地基软弱土层性质和厚度，在陆域形成前、陆域形成过程中进行处理，或在陆域形成后与陆域填筑体一并进行处理。

**7.4.4** 原地基软弱土的处理方法，应根据土层厚度、填料性质和填筑工法等因素确定，并符合下列要求：

- 1 可选用清淤换填法、预压法、复合地基法等一种或多种地基处理方法；
- 2 处理后的原地基软弱土的性状，应满足陆域形成和场地分区建设的要求。

**7.4.5** 陆域形成填筑体的处理方法，宜根据填料性质、机场填海工程场地分区等因素确定，并符合下列要求：

- 1 当填料为石料或土石混合料时，可采用振动密实法、强夯法、复合地基法等方法进行处理；
- 2 当填料为砂土料时，可采用振动密实法、强夯法等方法进行处理；
- 3 当填料为粉土料或黏性土料时，可采用预压法、复合地基法等方法进行处理；
- 4 当填料为固体废弃物时，应在专项研究和现场试验验证的基础上，确定处理方案。

**7.4.6** 机场填海工程场地分区间应根据需要设置差异沉降过渡带。

**7.4.7** 清淤换填法可用于处理淤泥、高液限黏土和流泥等，其设计应符合下列要求：

- 1 应根据场地工程地质条件、海域环境和环境保护要求等进行设计；
- 2 清淤区的平面范围与深度应根据场地分区、建设要求、淤泥分布、厚度等因素确定；
- 3 清淤挖槽边坡坡度应根据边坡稳定性分析成果确定，必要时可通过现场试挖验证；
- 4 清淤的超宽与超深应根据施工设备、土体性质、水动力条件等因素进行计算确定；

- 5 对清淤后的残留厚度和回淤厚度应分别提出控制要求；
- 6 清淤土采用管道水力输送时，应对泥泵、管道的输送能力进行计算分析；
- 7 采用水下清淤换填方式时，应均匀抛填，回淤严重的地段应控制抛填的间歇时间；采用抽水后的清淤换填方式时，可进行分层填筑和压实；
- 8 清淤土可采用开敞水域处置或圈围处置，处置区的选址与设计应根据清淤土的性质、清淤方式、场址环境、生态环保要求等因素，并结合机场总平面布置确定；
- 9 设计参数应根据监测数据动态调整。

【条文说明】各类挖泥船的计算超宽、计算超深可参照《疏浚与吹填工程设计规范》(JTS 181-5)。

**7.4.8** 预压法可用于处理淤泥、淤泥质土等低渗透性的软弱土地基，其设计应符合下列要求：

- 1 应根据工程地质条件、水文条件、填海工程特点等因素选择适宜的工艺；
- 2 预压法的设计内容，应包括预压区范围、处理深度、预压载荷、排水系统、加载速率、预压时间、固结沉降、检验与监测等；
- 3 预压区范围及处理深度应根据机场总平面布置、软弱土厚度及工后沉降要求等因素确定；
- 4 预压载荷应根据场地附加荷载、工期和固结度要求等因素确定；
- 5 排水系统应根据软弱土性质与分布、工程建设要求、资源情况等进行设计；
- 6 加载速率和预压时间应根据软弱土性质、预压方式、工后沉降要求等因素确定；
- 7 预压满载时间与卸载标准应由实测沉降值、沉降速率、推算的固结度等确定；
- 8 应对固结度、沉降量、预压期地基强度增长、边界与场地稳定性等进行计算分析。

【条文说明】预压法按施加荷载的大小，分为欠载预压、等载预压、超载预压等，具体根据工程的工期、地质条件、可利用土源等情况经综合分析后确定。

设置排水系统有利于加速地基土层的排水固结，排水系统包括竖向排水及水平排水。竖向排水主要有塑料排水板、袋装砂井等，当处理深度超过 15 m 时通常采用塑料排水板。水平排水主要采用中粗砂垫层，当采用其他材料或工艺时，需进行试验论证。无垫层是近年来采用的一种新方法，其将竖向排水体与水平透水软管连接并覆盖透水土工布，由此形成水平排水系统，具体可参照《吹填土地基处理技术规范》(GB/T 51064)。

加载速率与地基土的强度增长要相适应，在加载各阶段均需要对地基的稳定性进行验算。

**7.4.9** 强夯法可用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、杂填土和素填土等地基，采取降水措施的强夯法（亦称降水强夯法）可用于处理饱和、中等渗透性粉土地基。强夯法设计应符合下列要求：

- 1 强夯设计参数应根据地基土性质、强夯试验成果等确定；
- 2 采用降水措施时，应根据地基土性质、地下水位和地基有效加固深度等确定降水深度、降水持续时间和降水方法；
- 3 强夯过程监测项目应包括夯沉量、地表沉降和隆起、孔隙水压力等；
- 4 强夯地基承载力特征值与加固土层的压缩模量应通过现场试验、原位测试、土工试验确定；

5 临近既有建(构)筑物的区域,应采取减震措施。

【条文说明】在填海工程中采用强夯法进行地基处理已有较多的成功案例,在采用该工艺时,需做好试验段施工及现场数据收集、分析。

降水强夯法,即采用降水与强夯密实相结合的方式进行处理的方法。在降水强夯过程中,降水形成负压固结;在夯击作用下,进一步提高土体中的孔隙水压力,以更高的压力水头进行排水和密实土体;经多遍夯击后,将有效消除深层软弱土的工后沉降,提高土体的固结度、强度和刚度。该方法施工速度快、费用低、效率高且加固深度可控。

随着技术的发展,在机场建设工程中出现了高能级强夯应用技术。高能级强夯,指单击夯击能大于 $6\,000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 的强夯,其通过更大的冲击能量,提高有效加固深度至 $10\text{ m}\sim 20\text{ m}$ ,甚至更大,可显著提高地基土强度和均匀性,降低压缩性,减少工后沉降,改善土体抵抗振动液化能力等,在加固处理填海地基方面具有一定优势。近年来,国内已相继开发了夯击能为 $18\,000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 、 $25\,000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 和 $30\,000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 的强夯设备,并进行了高能级强夯施工试验,开展了地基沉降、位移和孔隙水压力的动态监测,以及加固前后的原位试验、监测。试验结果表明,高能级强夯处理后,地基的压缩变形显著,有效地消除了地基的沉降,提高了地基土的密实度。

**7.4.10** 振动密实法可用于加固砂土地基,其设计应符合下列要求:

- 1 处理深度应满足地基强度、变形稳定性及液化处理深度的要求;
- 2 振动密实点间距应根据土的颗粒组成、要求达到的密实程度、地下水位和设备功率等有关因素,通过现场试验验证后确定;
- 3 处理效果宜用标准贯入、动力触探等方法检验。

**7.4.11** 复合地基可用于处理砂土、粉土、黏性土地基,其设计应符合下列要求:

- 1 应根据建设要求、工程地质和水文地质条件、工期、地区经验和环境保护要求等因素进行设计;
- 2 新近填海场地的复合地基设计时,应考虑原地基土和填筑体的欠固结状态;
- 3 复合地基的桩体截面尺寸、桩长、间距等设计参数,应根据工程地质条件、桩体材料性质和使用要求等通过计算分析确定,对于水泥基材料应考虑耐海水腐蚀问题;
- 4 复合地基的褥垫层范围、厚度和材料性质要求,应根据复合地基的形式、桩土相对刚度和工程地质条件等因素确定;
- 5 复合地基的承载力、沉降等应按国家现行技术标准的有关规定进行计算。

【条文说明】复合地基,是指天然地基在地基处理过程中部分土体得到增强,或被置换,或在天然地基中设置加筋材料,加固区是由基体和增强体两部分组成的人工地基。

复合地基作为一种行之有效的方法已在工程中得到广泛应用。复合地基种类繁多,根据成桩材料可分为散体桩复合地基、半刚性桩复合地基、刚性桩复合地基三大类。在机场填海工程中,常用的散体桩包括挤密碎石桩、强夯置换墩等,半刚性桩包括旋喷桩、水泥土搅拌桩等,刚性桩包括CFG桩、预制桩等。

## 8 工程施工

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 机场填海工程开工前，应对工程所在区域的工程地质、水文地质、气象、交通（航道）等现场条件进行资料收集、调查分析。

**8.1.2** 改（扩）建机场的填海工程应满足不停航施工的要求。

### 8.2 施工组织

**8.2.1** 填海工程应结合项目规模、环境条件、工期以及机场主体工程建设要求等要素进行施工组织设计，制定工程施工进度计划，合理调配土石方。

**8.2.2** 填海工程施工组织总体布置，应符合下列要求：

- 1 施工总平面宜结合机场填海工程场地分区、施工流向，分阶段规划；
- 2 施工分区界面应清晰合理，施工区段的划分宜减少交叉干扰；
- 3 陆上施工组织应实现“五通一平”，永临结合，合理冗余，动态调整；
- 4 生活区、办公区宜集中设置；
- 5 临时码头、预制场宜结合既有场地条件设置。

【条文说明】“五通一平”，即路通（陆上、航道）、水通、电通、网通、排水通和场地平整。临时便道需要满足材料运输、使用时间、排水等要求。

按照不同阶段施工需求进行现场总平面布置，包括拟建永久性、临时建筑物布置，临时供水、供电、施工道路、排水系统，施工机械设备配置等内容。

**8.2.3** 填海工程工期计划与施工顺序，应符合下列要求：

- 1 宜以海堤、陆域形成及飞行区地基处理为主线，确定工期计划；
- 2 海堤宜先行施工。

【条文说明】制定机场填海工程工期计划时，需要对关键工序的施工强度、资源配置及工效等进行分析，考虑各工序工艺技术间歇时间、复杂气象或潮汐时间等影响，对地基稳定要求高、沉

降时间长、工艺技术间歇时间长、上部结构建设周期长的区域先期实施,通常优先安排海堤的施工,陆域形成优先安排航站区、飞行区道面影响区的施工。

**8.2.4** 施工材料储运应在施工工效分析、测算的基础上合理组织,并符合下列要求:

- 1 应先行规划和完善施工道路、航道系统;
- 2 必要时可设置水上储泥坑或陆上储料场,储料量应满足施工需求;
- 3 临时码头、场外道路、场内道路应满足材料运输量、重载行驶的要求。

**8.2.5** 工程设备应根据填海工程规模、施工强度、海域水文条件等要素进行配置,并符合下列要求:

- 1 施工设备应满足安全、环保的要求;
- 2 运输设备应适应运输道路(航道)环境。

**【条文说明】** 由于机场填海工程规模大、施工强度高、工期较长且施工环境复杂,需要大量大型施工和运输设备,种类繁多,其中用于水上吹填的设备有机械式挖泥船(反铲挖泥船、抓斗挖泥船、链斗挖泥船等)、水力挖泥船(吸砂船、绞吸船、耙吸船等)以及其他相关设备(环保挖泥船、抛石船等),各类设备有不同的适用范围。因此,需要根据不同型号设备的规格、效率、成本费用、环保性能以及对环境条件的适应性等因素,在多方案组合分析的基础上,确定设备选型。

### 8.3 海堤与分隔围堰施工

**8.3.1** 海堤施工应按设计要求,满足相关技术规范的规定,并符合下列要求:

- 1 应合理确定施工分段、顺序、工序转换与搭接、资源配置等;
- 2 应快速形成全断面稳定结构;
- 3 堤身的加载速率应满足堤身稳定要求,并考虑浪、流和水位的影响;
- 4 堤身反滤构造应完备,排水畅通;
- 5 直立堤与斜坡堤衔接时,应先施工衔接处的直立堤。

**【条文说明】** 海堤施工的相关技术规范主要有《防波堤与护岸施工规范》(JTS 208)、《码头结构施工规范》(JTS 215)、《插入式钢圆筒结构设计与施工规范》(JTS 167-13)和《水运工程地基设计规范》(JTS 147)等。

**8.3.2** 斜坡式海堤施工应符合下列要求:

- 1 堤身宜分级填筑,并根据设计要求以及水平位移、沉降和孔隙水压力等监测信息控制填筑速率;
- 2 护面施工与堤身填筑施工之间的流水长度应根据风浪条件、施工工法等确定。

**8.3.3** 直立式海堤基槽开挖、基础加固与整平应根据水深、气象条件，分层、分段逐步推进，严格控制基槽回淤量。

**8.3.4** 海堤龙口施工应符合下列要求：

- 1 护底施工应先于相邻海堤施工；
- 2 截流应选在潮差较小的时段；
- 3 合龙施工时，设备、材料应准备充足。

**8.3.5** 分隔围堰施工应符合下列要求：

- 1 应根据场地条件、材料性质以及设计要求等选择适宜的工法；
- 2 可与海堤施工协同推进，并采取适当的防护措施。

【条文说明】在机场填海工程中，分隔围堰一般是在海堤完成后施工，主要起到填筑施工区域分隔和临时施工道路等作用。分隔围堰与海堤同步实施时，面临着海浪冲刷问题，故需采取适当的防护措施。

## 8.4 填料开采与填筑施工

**8.4.1** 陆域形成的填料开采、运输与储存应符合下列要求：

1 填料宜根据陆域形成填筑要求进行分类开采，填料的性质、规格、有害物质含量应满足设计要求；

2 水上填料开采时，应根据工程特点、工程量、工期、土质、水文、气象、水深条件和填筑施工方式等因素选择设备；

3 陆上填料开采时，应根据岩土性质、工艺要求、开采强度等因素选择设备；爆破作业应符合《爆破安全规程》（GB 6722）的规定。

**8.4.2** 陆域形成填筑应根据设计要求组织施工，并符合下列规定：

- 1 施工顺序、施工流向应根据机场建设时序规划和沉降控制要求确定；
- 2 当原地基存在软弱土层时，应严格控制填筑速率。

**8.4.3** 水力吹填施工应符合下列要求：

1 吹填方式宜根据工程要求、环境条件和拟选设备性能等综合确定；

2 吹填施工船舶、设备组合应根据水域环境、气象条件、工程规模和吹填距离等确定；

3 吹填施工前，应对吹填区内的杂物、障碍物和爆炸物等进行清理，对分隔围堰、排水通道等进行确认；

4 吹填区应根据设计要求、吹填工艺进行分区；

5 吹填管线应根据吹填分区、管口位置、架设条件和方法、填料性质等因素进行布设，吹

填区内主管线宜沿跑道中心线布设；陆上吹填施工时，吹填主管线宜选择地势平坦、交通方便的场地布置，必须穿越道路、铁路和海堤时应满足相关方面的规定；

6 吹填过程中，应按设计要求及时调整吹填管口的位置，控制吹填厚度和距离，并根据设计要求或沉降监测数据控制吹填速率；

7 吹填管口与海堤、分隔围堰、建（构）筑物之间的距离应满足设计和相关技术规范要求；

8 应采取必要措施保证吹填回水满足海洋、水利等环保要求；

9 吹填过程中，应对内外水位、海堤位移和地基沉降进行监测。

【条文说明】在确定水力吹填施工方式时，需要在充分考虑工程环境、工程量、工期、填料性质、水文、气象和水深等因素的基础上，合理确定设备类型和技术性能参数。水力吹填方式可参见说明表 8.4.3。吹填距离超过吹填施工船舶的最大合理吹填距离时，需要采用接力泵。吹填管线的规格和质量要适应吹填土质、流量和排压的要求；需要对管线状况进行跟踪检测，当因磨损致管线质量难以满足吹填要求时，需要提前更换。

说明表 8.4.3 水力吹填方式

设备组合与工艺流程		适宜范围	特点
挖运吹	耙吸船挖泥→自航运泥→通过岸排管线或艏喷将填料输送至填筑区	料源区与填筑区距离较远、料源区风浪较大的填筑工程	船型单一，运距不受限制，施工效率高，抗风浪和抗干扰能力强；但对料源区、航道和填筑区水域有水深要求
	绞吸船、斗式船、射流泵船、气动泵船等挖泥→装泥驳→拖轮泥驳运泥→吹泥船吹填至填筑区	风浪较小、料源区与填筑区距离较远的填筑工程	运距不受限制，土质适应性强；使用设备种类和数量多，组织管理工作量大，抗风浪能力弱、施工干扰大；但对航道有水深要求，吹泥作业不连续
挖运抛吹	耙吸挖泥→自航运泥→储泥坑抛泥→绞吸船吹填至填筑区	风浪较大、运距较远、填筑区附近具备设置储泥坑的大中型填筑工程	运距不受限制，土质适应性强，施工效率高，施工能力强，抗风浪和抗干扰能力强；但对水域有水深要求，储泥坑对周边水域有影响
	绞吸船挖泥→装泥驳→拖轮泥驳运泥→储泥坑抛泥→绞吸船吹填至填筑区	料源区与填筑区距离较远、风浪和流速较小、土质较硬、填筑区附近水域具备设置储泥坑的大中型填筑工程	运距不受限制，施工效率高，施工能力强，但设备种类多、施工组织复杂、对水域有较高要求，抗风浪能力较差，储泥坑对周边水域有影响
	斗式船挖泥→装泥驳→拖轮泥驳运泥→储泥坑抛泥→绞吸船吹填至填筑区	料源区与填筑区距离较远、风浪和流速较小、填筑区附近水域具备设置储泥坑的中小型填筑工程	运距不受限制，施工效率高，施工能力强，但设备种类多、施工组织复杂、对水域有较高要求，抗风浪能力较差，储泥坑对周边水域有影响
	射流泵船、气动泵船等挖泥→装泥驳→拖轮泥驳运泥→储泥坑抛泥→绞吸船吹填至吹填区	料源区与填筑区距离较远、风浪和流速较小、填筑区附近水域具备设置储泥坑的中小型填筑工程	运距不受限制，土质适应性强，施工效率高，施工能力强，但设备种类多、管理工作量大，对水域有较高要求，抗风浪能力弱，储泥坑对周边水域有影响

续表

设备组合与工艺流程		适宜范围	特点
直接吹填	绞吸船挖泥→吹填至填筑区	料源区与填筑区较近、近岸陆域形成的填筑工程	对土质的适应性强，但受绞吸船的有效吹距限制
	耙吸船挖泥→吹填至填筑区	料源区与填筑区距离适宜的填筑工程	船型单一，施工连续、船舶利用率高，土质适应性和施工能力强；但料源区与填筑区距离受限
	潜水泵船、射流泵船、气动泵船挖泥→吹填至填筑区	风浪较小、运距较近的小型填筑工程	设备简单、调遣费用低，但开挖土质仅限于淤泥和松散砂

吹填区内管线和排水口位置，需根据吹填区地形、几何形状、吹填材料性质等条件布设，按有利于吹填料沉淀、吹填料均匀分布、吹填平整度好、回水含泥量低以及有利于吹填后地基处理施工的原则确定。排水口一般布设在吹填区的死角或远离吹填管线出口，且利于排水的位置。需要根据管口的位置及方向、排水口底部高程的变化及时延伸吹填管线。排水管的口径尺寸和高程可根据排水要求和沉淀效果确定。

#### 8.4.4 水上抛填施工应符合下列要求：

- 1 抛填方式宜根据工程要求、环境条件和拟选设备性能等综合确定；
- 2 抛填施工船舶与设备组合应根据水域环境、气象条件、工程规模、抛填距离等因素确定；
- 3 抛填施工前应对抛填区场地的杂物进行清理，对分隔围堰、排水通道等进行确认；
- 4 抛填施工时，应根据水深、流速等确定抛填船位置，抛填后的水深应满足船舶行驶的安全要求；
- 5 抛填点位布置应均匀，分层填筑，抛填分层厚度及相邻段高差应满足设计要求；
- 6 抛填过程中，应采取措施减少抛填料的流失以及可能产生的污染。

【条文说明】采用水上抛填工法时，由于留有施工船舶安全航行的临时航道，海堤不能合龙，因此需要考虑抛填后防止抛填料流失以及污染附近海域的工程措施。水上抛填方式可参见说明表 8.4.4。

说明表 8.4.4 水上抛填方式

设备组合与工艺流程	适宜范围	特点
耙吸船挖泥→自航运泥→抛泥	水域宽阔、挖槽长、运距远、除岩石外的各种土质的大中型填筑工程	填料为砂（泥）料；船型单一，运距不受限制，施工效率高，抗风浪和抗干扰能力强；但对料源区、航道和填筑区水域有水深要求

续表

设备组合与工艺流程	适宜范围	特点
耙吸船挖泥→装泥驳→拖轮泥驳运泥→抛泥	水域宽阔、风浪较大、运距远、除岩石外的各种土质的大中型填筑工程	填料为砂(泥)料;运距不受限制,土质适应性强,施工效率高,抗风浪和抗干扰能力强;但对料源区水域有水深要求
斗式或绞吸船挖泥→装泥驳→拖轮泥驳运泥→抛泥	风浪较小水域的各类填筑工程	填料为砂(泥)料;运距不受限制,土质适应性强;使用设备种类和数量多,组织管理工作量大,抗风浪能力弱、施工干扰大;但对航道有水深要求
皮带船采砂→自航运输→皮带输砂→泵砂船→管线输砂	风浪较小的水域、中长距离的填筑工程	填料为砂(泥)料;皮带船具有自航能力、调遣灵活,采用船舶定位系统,可独立作业,造价低;管理复杂,安全管理难度大,污染控制难度大
石料开采→汽车运输→码头→开底驳船→自航运输→船底抛填	风浪较小的水域、中长距离、大型土石方水上抛填工程	填料为土石混合料;采用信标机定位和卫星实时定位技术,抛填石料“齐”“准”“快”;效率高、速度快;管理复杂,安全管理难度大
石料开采→汽车运输→码头→甲板驳船→自航运输→挖掘机甲板抛填	风浪较小的水域、中长距离、基床抛石工程	填料为土石混合料;平整度好;效率低,管理复杂,安全管理难度大

**8.4.5 陆上推填施工应符合下列要求:**

- 1 水、陆施工分界线宜结合水位和填料种类确定;
- 2 临时施工通道应根据机场填海工程场地分区、施工组织设计设置;
- 3 填筑方式宜根据水深、地质条件确定,宜分层、均匀填筑;
- 4 同一场地分区的填料、工艺宜相同;
- 5 推填过程中出现局部淤泥隆起时,应采取措施进行处理。

**【条文说明】**当原地基存在厚层淤泥时,填筑过程中极易产生挤淤现象,严重时将可能出现局部隆起,造成填筑体的不均匀和后期工程处理的难度。在推填过程中要严格控制施工方向、顺序、填筑厚度和衔接,并根据设计要求及时清除挤出的淤泥。

## 8.5 场地地基处理施工

**8.5.1 在陆域形成前进行原地基处理时,地基处理施工流程应与后续陆域形成填筑施工相协**

调，应减少交叉与相互干扰。

#### 8.5.2 清淤换填法施工应符合下列要求：

- 1 应根据清淤深度、填料性质、填筑厚度、工程量、工期、海域环境条件、施工船舶性能等因素，综合选择挖泥船类型和相关设备组合；
- 2 在清淤过程中，宜分段、分条和分层开挖，挖泥船宜平行于基槽有序开挖，并根据施工断面图、潮位变化情况及时调整挖泥深度；
- 3 在清淤换填过程中，应及时进行施工过程检验、记录和测绘；
- 4 施工过程和施工参数宜根据检验、监测结果及时优化和调整；
- 5 清淤施工完成后，应按设计要求及时进行填筑；
- 6 清淤土应按设计要求运送至指定区域进行处置。

#### 8.5.3 预压法施工应符合下列要求：

- 1 竖向、水平向排水体的材料应满足设计和规范要求；
- 2 塑料排水板的插打深度应可监控或可检验，回带幅度应不大于 0.5 m；
- 3 采用真空预压法时，宜结合施工勘察，检查真空预压区周边是否有渗透性较强的土层，必要时采取密封措施；
- 4 加载速率应按设计要求、监测结果及时进行控制，发现异常时应及时处置。

#### 8.5.4 强夯法施工应符合下列要求：

- 1 强夯施工机具、设备应根据设计要求进行选择；
- 2 强夯施工参数应根据设计要求，通过现场试验验证和确定；
- 3 当地下水位较高或浅部存在饱和土层时，应采取有效的降、排水措施；
- 4 强夯施工过程中，应按设计和技术规范要求完整记录夯击数、夯沉量、夯坑周边隆起量等；
- 5 当夯沉量、隆起量出现异常时，应及时查明原因，必要时调整施工方案；
- 6 强夯施工过程中，应根据施工对周边设施的影响程度采取减震措施，或调整施工工序。

#### 8.5.5 振动密实法施工应符合下列要求：

- 1 设备功率应根据地基土性质、处理深度等因素确定；
- 2 振动密实点的布置参数应符合设计要求；
- 3 大面积施工前应进行现场工艺性试验，确定施工参数；
- 4 施工分区及振密顺序宜根据现场条件确定。

#### 8.5.6 复合地基施工应符合下列要求：

- 1 施工设备应根据设计要求进行选择；
- 2 施工前，应进行现场工艺性试桩，试桩数量应不少于 3 根，并对工艺试桩的质量进行检验，验证并确定施工参数；

- 3 复合地基的桩径、桩长、桩身材料、性能指标应满足设计要求，并确保桩身质量的完整性；
- 4 水泥土搅拌桩施工时，应对喷浆量和搅拌深度进行监测、记录，搅拌桩的搅拌次数、提升速度应符合设计和相关规范要求；
- 5 高压旋喷桩施工时，应根据设计要求选择机具和施工工法，注浆材料可根据需要加入适量的外加剂和掺和料；
- 6 挤密碎石桩施工时，应根据设计桩径大小、地基土强度、桩长等因素选用施工设备，并对施工参数进行实时监测和记录；
- 7 强夯置换墩施工时，施工设备应根据土质情况、置换深度、加固要求确定，夯坑内填入的粗颗粒材料应质地坚硬，粒径和含泥量应符合设计要求；
- 8 混凝土刚性桩施工时，宜根据现场条件及工程特点选用振动沉管、长螺旋泵压灌注成桩工艺，或锤击、静压预制桩沉桩工艺；
- 9 复合地基的桩顶垫层厚度、材料性能指标应符合设计要求。

## 8.6 不停航施工

- 8.6.1 对于改扩建机场的填海工程，应按照民用机场不停航施工管理要求，编制不停航施工方案。
- 8.6.2 航班运行期间，施工船舶、机具、车辆、临时建（构）筑物的高度应符合机场对障碍物的限制要求。
- 8.6.3 既有海堤拆除施工，应在新建海堤完成后方可实施。
- 8.6.4 临近既有建（构）筑物施工时，应按设计、技术规范要求采取减震和沉降过渡措施。
- 8.6.5 材料堆放区、设备停放区、临时生活区等宜设置于主要风向的下风处；对悬浮物、扬尘等易飘散物应采取防止被风或飞机尾流吹散的措施。
- 8.6.6 对施工产生的噪声污染，应采取有效的防治措施。
- 8.6.7 对于新旧设施衔接区，应做好安全防护和标识。

## 8.7 绿色施工

- 8.7.1 机场填海工程应符合下列绿色施工要求：
  - 1 根据环境条件和施工工艺，分析施工过程中的环境敏感因子，制定生态环境保护措施；

- 2 宜结合场地条件统一规划临建设施，做到永临结合；
- 3 临时设施宜采用装配式结构；
- 4 宜采用高效、环保、信息化的施工设备；
- 5 生活污水、生活垃圾、废机油、油污、污（废）水等应集中回收和处理；
- 6 施工过程中，应开展持续的环境监测，并根据监测数据及时调整施工方案。

**8.7.2 陆上填料的开采、运输应符合下列要求：**

- 1 应根据区域环境条件，制定水土污染防治和水土保持措施；
- 2 当场地存在污染土时，应按照相关规定进行专门处理；
- 3 对不适用的材料处置应符合环保要求；
- 4 对开采区域、裸露场地和集中堆放的土石方，应及时采取覆盖、绿化、降尘等措施；
- 5 对开采后的料源地应及时复绿。

**8.7.3 水上填料开采、运输和抛卸作业应符合下列要求：**

- 1 应选择对环境影响小的挖泥设备和运输船舶；
- 2 在料源开采中，应制定降低高浓度泥浆扩散的措施；
- 3 施工中产生的油污水应进行处理；
- 4 应及时收集、处理施工过程中的废弃材料；
- 5 船舶进入储泥坑时，应在近零速度状态下进行有序抛卸。

**8.7.4 陆域形成填筑施工应符合下列要求：**

- 1 应采取有效措施控制废气排放，禁止焚烧废弃物；
- 2 应采取防止扬尘的措施；
- 3 采用吹填法施工时，应在分隔围堰内侧铺设防渗土工布，合理设置吹填回水出水口，设置吹填回水沉淀池或遮污帘，控制吹填回水中的含泥量。

**8.7.5 地基处理施工应符合下列要求：**

- 1 采用高效率、低能耗、低排放的地基处理工法；
- 2 选用低能耗、无污染或少污染的地基处理材料；
- 3 及时收集、处理施工中的废浆液和废水。

## 9 工程质量检验与监控

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 机场填海工程质量检验应包括海堤工程质量检验、陆域形成填筑工程质量检验和地基处理工程质量检验等。
- 9.1.2 机场填海工程质量检验方案应根据勘察报告、设计要求、施工工艺及相关技术规范确定。
- 9.1.3 机场填海工程应建立施工过程实时监控系統。
- 9.1.4 机场填海工程质量检验与监控，应与施工同步实施，并及时对检验、监控数据进行整理、分析和反馈。

### 9.2 海堤工程质量检验

- 9.2.1 海堤工程质量检验方案应依据设计要求和《水运工程质量检验标准》(JTS 257) 确定。
- 9.2.2 斜坡式海堤质量检验应符合下列要求：
- 1 检验内容应包括地基、堤身质量、石料块体的规格和质量、护面结构、抛石、理坡、安放等；
  - 2 检验批次宜按施工段划分，每段的长度宜不大于 200 m；在受风浪影响大的区域，宜增加检验批次。
- 9.2.3 直立式海堤质量检验应符合下列要求：
- 1 检验内容应包括堤身的安装构件型号、质量及基床等；
  - 2 检验批次宜按结构段划分。

### 9.3 陆域形成质量检验

**9.3.1** 陆域形成填筑质量检验方案宜结合机场填海工程场地分区、陆域形成方法及材料类型等确定，并按表 9.3.1 确定填料检验项目和频率。

表 9.3.1 填料检验项目和频率

序号	名称	检验项目	检验频率
1	块石料、石质混合料、砾质混合料	规格、级配、岩石抗压强度、含泥量、软化系数	岩石抗压强度、含泥量、软化系数： ①飞行区道面影响区：同一料源地，每 30 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 30 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计；每一料源地不少于 1 组； ②其他区域：同一料源地，每 50 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 50 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计；每一料源地不少于 1 组
			规格和级配：每 10 000 m <sup>3</sup> 测 1 组；不足 10 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计
2	碎石料	级配、含泥量	①飞行区道面影响区：每 10 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 10 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计； ②其他区域：每 20 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 20 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计
3	砂土料	用于排水垫层和倒滤层：颗粒分析、渗透系数	每 10 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 10 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计
		用于回填：颗粒分析	①飞行区道面影响区：每 30 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 30 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计；每一料源地不少于 1 组； ②其他区域：每 50 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 50 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计；每一料源地不少于 1 组
4	土质混合料、粉土料、黏性土料	含水率、液限、塑限、有机质含量、PH 值	①飞行区道面影响区：每 30 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 30 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计； ②其他区域：每 50 000 m <sup>3</sup> 测 1 组，不足 50 000 m <sup>3</sup> 按 1 组计

**9.3.2** 陆域形成填料应在材料到场后、填筑施工前进行抽检。其中，水力吹填应在吹填口进行抽检，水上抛填应在抛填地进行抽检，陆上推填应在卸料场进行抽检。

**9.3.3** 陆域形成场地的交工面高程应满足设计要求，交工面高程的允许偏差、检验频率和方法应符合表 9.3.3 的规定。

表 9.3.3 陆域形成交工面高程检验要求

序号	项目		允许偏差 /mm	检验频率	检验方法
1	水力 吹填	完工后平均高程不允许 低于设计高程	+200	40 m×40 m 方格网控制点	水准仪配合经纬仪、全站仪或 RTK - DGPS 测量, 取平均值
2		最大偏差	±300		水准仪配合经纬仪、全站仪或 RTK - DGPS 测量, 取最大偏差值
3	水上 抛填	完工后平均高程不允许 低于设计高程	+200		水准仪配合经纬仪、全站仪或 RTK - DGPS 测量, 取平均值
4		最大偏差: 块石料、石 质混合料、砾质混合料、 碎石料	±500		水准仪配合经纬仪、全站仪或 RTK - DGPS 测量, 取最大偏差值
5		最大偏差: 砂土料、土 质混合料	±300		
6	陆上 推填	完工后平均高程不允许 低于设计高程	+200		水准仪配合经纬仪、全站仪或 RTK - DGPS 测量, 取平均值
7		最大偏差: 块石料、石 质混合料、砾质混合料、 碎石料	±500		水准仪配合经纬仪、全站仪或 RTK - DGPS 测量, 取最大偏差值
8		最大偏差: 砂土料、土 质混合料、粉土料、黏 性土料	±300		

9.3.4 陆域形成填筑完成后, 应依据设计要求对填筑体进行检测和评价。

【条文说明】陆域形成过程受填料、填筑工法及施工条件等限制, 无法做到与陆地施工一样的可控性压实填筑, 故需要查明陆域形成填筑体的性状, 为后续地基处理设计与施工提供依据。查明填筑体性状的手段一般有钻探、物探、原位测试和室内试验等。

## 9.4 地基处理质量检验

9.4.1 地基处理质量检验应按设计要求和相关技术规范执行。

9.4.2 采用清淤换填法进行地基处理时, 质量检验应符合下列要求:

- 1 水下清淤换填施工时, 可采用单波束或多波束测量法检验水下清淤厚度, 检验断面的间距可根据清淤厚度、机场填海工程场地分区等因素确定, 且宜不大于 50 m;
- 2 对于陆上或排水后的清淤换填施工, 可采用验槽并结合 40 m×40 m 方格网控制点高程测

量检验清淤厚度；

3 清淤后的填筑材料质量检验，按本规范第 9.3 节和《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》(MH 5007) 的相关规定执行。

**9.4.3** 采用预压法进行地基处理时，质量检验应符合下列要求：

1 塑料排水板施工质量检验应符合《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》(MH 5007) 的规定；

2 砂垫层应进行颗粒分析与渗透性试验，每批料检验数量应不少于 3 组；

3 预压后应取土样进行土体的物理力学性质试验，真空预压法每个地基处理工程分区的试验数量应不少于 3 点，堆载预压法每 10 000 m<sup>2</sup> 检验 1 点；

4 预压后的原位测试，真空预压法每个地基处理工程分区的试验数量应不少于 3 点，堆载预压法每 5 000 m<sup>2</sup> 检验 1 点；

5 预压荷载、实测沉降量、沉降速率及推算的固结度、工后沉降量应符合设计要求。

**9.4.4** 采用强夯法进行地基处理时，质量检验应按《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》(MH 5007) 及相关技术规范执行，并符合下列要求：

1 原位测试内容主要包括静力触探、动力触探、标准贯入、载荷试验等，应采用不少于 2 种适宜的方法进行检验，其中载荷试验每 20 000 m<sup>2</sup> 检验 1 点，其余项目每 5 000 m<sup>2</sup> 检验 1 点；

2 采用高能级强夯法时，地基质量检验内容还宜包括超重型动力触探、高分辨率地质雷达和瑞利波法等。

**9.4.5** 采用振动密实法进行地基处理时，质量检验应符合下列要求：

1 施工过程中应检查成孔深度、振留时间等施工参数；

2 对振动密实点间土可采用标准贯入、静力触探、动力触探或其他原位测试方法进行检验，每 5 000 m<sup>2</sup> 检验 1 点；

3 应按设计要求和相关技术规范进行地基载荷试验，每 20 000 m<sup>2</sup> 检验 1 点。

**9.4.6** 采用复合地基时，质量检验应按《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》(MH 5007) 及相关技术规范执行，并符合下列规定：

1 水泥土搅拌桩成桩后 3 d 内，可采用轻型动力触探或重型动力触探进行上部桩身均匀性检测；成桩 28 d 后，可采用钻孔取芯法检验桩身水泥土强度、桩长、桩身完整性和均匀性，检验数量应不少于总桩数的 0.5%，且不少于 6 根；

2 高压旋喷桩可采用开挖检查、钻孔取芯、标准贯入、载荷试验等方法进行检验，检验数量应满足设计要求；

3 挤密碎石桩应进行碎石材料的颗粒分析，每批料的检验数量应不少于 3 组；可采用重型动力触探进行成桩质量检验，采用静力触探或标准贯入检验桩间土的加固效果，检验深度应不小于设计桩长，检验数量应不少于总桩数的 1%；

4 强夯置换墩应检验填料的粒径、含泥量与垫层厚度等,并采用超重型动力触探、高分辨率地质雷达和瑞利波法等方法进行墩体质量检验;

5 刚性桩应检验桩身强度、桩长和桩身完整性。其中,灌注桩桩身完整性检验数量应不少于总桩数的30%,预制桩桩身完整性检验数量应不少于总桩数的10%;

6 复合地基褥垫层的材料技术指标、厚度和平面尺寸等检验应满足设计要求;

7 应进行复合地基载荷试验和单桩载荷试验,检验总数量不少于总桩数的0.5%,且不少于3点;灌注桩宜在成桩28d后进行。

## 9.5 工程监控

**9.5.1** 机场填海工程监控方案宜根据机场填海工程质量控制、安全文明施工要求和施工环境条件确定。

【条文说明】工程监控是指借助视频、传感器、物联网和数字化等信息化技术,准确记录、分析监测对象在施工过程中的变化,并将结果及时反馈,用以指导设计、施工和评价工程质量的工作。本规范涉及的监控对象主要是施工现场状况、施工设备、施工过程参数等。

**9.5.2** 视频监控应符合下列要求:

1 施工现场宜建立视频监控网络,视频监控以固定摄像头的实时监控为主,无人机航拍记录为辅;

2 对于主要施工面、重要设备的施工过程、施工场地出入口,应采用实时图像记录;各部分项工程可分期采用无人机航拍记录;

3 海堤施工的重点监控区域应包括预制场、施工作业面;

4 陆域形成施工宜重点监控填筑区;

5 地基处理施工时,宜对主要机械设备的施工过程进行监控。

**9.5.3** 机场填海工程施工过程监控数据的自动采集、远程传输和分析处理系统,应符合下列要求:

1 应实时采集和处理全场施工监控数据,并对相关信息进行统计分析;

2 应实现对施工过程信息的实时查询和展示;

3 应及时评估质量薄弱点,发现涉及质量问题的施工异常应及时反馈。

**9.5.4** 水力吹填施工的监控内容宜包括施工船舶数量、位置、装舱量,以及管道流量、输送浓度等。

**9.5.5** 水上抛填施工的监控内容宜包括施工船舶数量及位置、装舱量等。

**9.5.6** 陆域形成后的土石方填筑施工的监控内容,宜包括施工机具运行轨迹、作业点定位、压

实厚度、运行速度、压实遍数、夯击数、密实度等。

**9.5.7** 地基处理施工的监控内容，宜包括施工机具数量、作业点定位、贯入深度、作业速度、处理遍数、作业时间、置换量等。

**9.5.8** 信息反馈与动态调整，应符合下列要求：

1 应及时收集、整理监控资料，分析判断施工方法、施工工艺、施工参数是否符合设计或规范要求，并给出技术建议；

2 对已确定的施工方法、施工工艺和施工参数，应分析监控指标与质量控制指标之间的关系，为施工控制提供依据；

3 应确定主要监控指标的预警值；

4 监控指标超过警示值后，应检查监控数据的可靠性、施工过程的合理性。

## 10 工程监测

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 机场填海工程监测对象应包括海堤、陆域形成、地基处理等，监测方案应根据设计要求与相关技术规范编制。

【条文说明】工程监测是指在施工及运行过程中，采用监测仪器对工程关键部位或地基各项控制指标进行监测的过程，用以验证设计、指导施工和安全预警。

**10.1.2** 工程监测应包括施工期监测和运行期监测，施工期监测设施宜与运行期监测设施相结合。

### 10.2 监测系统设计与实施

**10.2.1** 监测系统总体方案应符合下列要求：

- 1 监测点的布置应考虑工程地质条件、机场填海工程分区、施工工艺、不利工况等因素，在预测不利区域应加密；
- 2 施工期的监测宜采用可自动测读、存储、无线传输的系统；
- 3 测量基准点不应受场地沉降和施工的影响，并定期进行复测。

**10.2.2** 监测仪器的埋设应符合下列要求：

- 1 监测仪器应性能稳定和质量可靠，并经检验和标定合格后方可使用；
- 2 监测仪器应布设在施工干扰较少的部位，并进行编号、设置警示标识和采取保护措施；
- 3 应保证监测设备的埋设质量，监测过程中出现设备损坏时应及时更换。

**10.2.3** 海堤监测应符合下列要求：

- 1 海堤的监测内容、监测点布置可根据工程条件按表 10.2.3-1 选用；
- 2 斜坡式海堤的监测频率可根据工程条件按表 10.2.3-2 选用；直立式海堤在箱内填石、后方棱体回填期间的监测频率应为 1~2 次/天，回填结束后应为 1~2 次/月，直至基本稳定；在

龙口合龙期、保护期以及大潮期，连续监测时间应不少于 27 h；

3 海堤运行期的监测可参照《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTS 235) 确定。

表 10.2.3-1 海堤监测内容与测点布置要求

监测对象		监测内容	监测点布置要求
斜坡式海堤	原地基	原地基顶面沉降、分层沉降、侧向位移、孔隙水压力	总典型断面不少于 2 个，原地基顶面沉降监测点的范围为预测海底地基的主要隆起范围
	堤身	沉降、水平位移	分纵向和横向监测断面，纵向监测断面间距为 50 m~100 m，典型横向断面的沉降测点布置范围应扩大到坡脚
直立式海堤	沉箱结构体	沉降、倾斜、水平位移	每 2~3 个沉箱结构体设置 1 个监测断面
龙口		水位差、流速、流向，以及滩面的冲刷情况	龙口区域的海堤内外两侧范围

表 10.2.3-2 斜坡式海堤监测频率

监测阶段	监测频率
堤身填筑期间	1~2 次/天
堤身填筑施工完成至外坡结构工程施工开始	1~2 次/周
外坡结构工程施工期间	1 次/周
外坡结构工程施工完成后 6 个月内	1~2 次/月
堤内陆域形成期间	1~2 次/周
施工完成后直至基本稳定	1 次/3~6 个月

注：施工速度较快或出现异常情况时，应加大监测频率。

10.2.4 陆域形成监测应符合下列要求：

- 1 监测内容包括原地基沉降、填筑体沉降和分隔围堰变形；
- 2 施工过程中，分隔围堰两侧的吹填高度差超过 2 m 时，应增加对分隔围堰的水平位移监测；
- 3 沉降监测点可按网格状设置；
- 4 施工期的沉降监测宜每周不少于 1 次，陆域形成后半年内每月监测 1 次，以后可每 3 个月监测 1 次。

10.2.5 地基处理监测点宜按网格状设置，监测内容、监测要求可按表 10.2.5 选用。

表 10.2.5 地基处理的监测内容、监测要求

地基处理工法		监测内容	监测要求
预压法	堆载预压	地表沉降、孔隙水压力、侧向位移和分层沉降等	加卸载过程中 1~2 次/天, 稳压期间 1~2 次/周, 卸载后 1 次/2~3 天
	真空预压、联合堆载预压	在堆载预压监测内容基础上增加膜下真空度	
强夯法	强夯、强夯置换	地表隆起或沉降、孔隙水压力、动应力或加速度等	地表沉降在每遍夯后或地基处理结束后测读, 强夯产生的孔隙水压力、动应力或加速度采用高频采样或自动采样
	降水强夯	在强夯法监测内容基础上增加降水过程中的地下水位变化	
振动密实法		地表沉降、孔隙水压力等	地表沉降在处理结束后测读, 施工产生的孔隙水压力采用高频采样或自动采样
复合地基		地表沉降或隆起、分层沉降、桩土荷载分担、孔隙水压力、动应力或加速度等	地表沉降或隆起量在处理结束后测读, 施工产生的孔隙水压力、加速度采用高频采样或自动采样

10.2.6 地下水位与潮水位的监测, 应符合下列要求:

- 1 监测内容应包括陆域形成后地下水位与潮水位;
- 2 监测断面宜不少于 3 个, 同一断面监测点间距宜不大于 100 m;
- 3 应对地下水位、潮水位进行连续观测, 直至获得稳定的地下水位与潮水位关系。

### 10.3 监测数据采集、分析与反馈

10.3.1 监测数据采集应真实、完整, 并记录相关的工况信息; 当监测数据出现异常时, 应查明原因。

10.3.2 监测预警值应根据设计要求和相关技术规范确定。

10.3.3 监测数据应及时进行分析, 当监测数据超过预警值时应及时反馈。

10.3.4 施工期的监测成果宜提供周报, 竣工验收前应提供监测总结报告, 运行期宜提供季报或年报。

10.3.5 监测报告宜包含下列内容:

- 1 海堤位移和沉降时程曲线、分布曲线, 工后沉降和稳定性分析;
- 2 原地基沉降时程曲线;

- 3 填筑体表面与分层沉降时程曲线、分布曲线，工后沉降和差异沉降分析；
- 4 道面沉降时程曲线、分布曲线等。

## 附录 A 民用机场工程填料分类

A.0.1 民用机场工程填料可按表 A.0.1 分类。

表 A.0.1 机场工程填料分类

填料类别	分类粒组	填料亚类	亚类分类粒组	级配	岩石强度 $f_r$ /MPa	填料名称	填料代号
石料	粒径大于 60 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%	块石料	块石含量大于碎石含量	—	>30	硬岩块石料	A1
				—	5~30	软岩块石料	A2
				—	≤5	极软岩块石料	C1
		碎石料	块石含量不大于碎石含量	—	>30	硬岩碎石料	A3
				—	5~30	软岩碎石料	A4
				—	≤5	极软岩碎石料	C2
土石混合料	粒径大于 60 mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，且粒径小于 2 mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%	石质混合料	粒径大于 5 mm 的颗粒质量超过总质量的 70%	—	>30	硬岩石质混合料	A5
				—	5~30	软岩石质混合料	A6
				—	≤5	极软岩石质混合料	C3
		砾质混合料	粒径大于 5 mm 的颗粒质量超过总质量的 30%，且不超过 70%	良好	>30	硬岩良好级配砾质混合料	A7
				不良		硬岩不良级配砾质混合料	B1
				良好	5~30	软岩良好级配砾质混合料	A8
				不良		软岩不良级配砾质混合料	B2
		—	≤5	极软岩砾质混合料	C4		
		土质混合料	粒径大于 5 mm 的颗粒质量不超过总质量的 30%	—	—	砂土混合料	A9
				—	—	粉土混合料	B3
—	—			黏性土混合料	C5		
土料	粒径小于 2 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%	砂土料	砂粒含量大于细粒含量	—	—	砂土料	A10
		粉土料	砂粒含量不大于细粒含量	—	—	粉土料	B4
		黏性土料		—	—	黏性土料	C6
特殊土料	—	特殊土料	—	—	—	特殊土料	D

注：1 块石为粒径大于 200 mm，碎石为粒径大于 60 mm 且不大于 200 mm，砂粒为粒径大于 0.075 mm 且不大于 2 mm，细

粒为粒径不大于 0.075 mm。

- 2 级配良好应同时满足  $C_u \geq 5$ ， $C_c = 1 \sim 3$  两个条件，不能同时满足时为级配不良。
- 3  $f_r$  为饱和单轴抗压强度，当无法取得  $f_r$  时，可用点载荷试验强度换算，换算方法按《工程岩体分级标准》(GB 50218) 执行。
- 4 粉土料塑性指数  $I_p \leq 10$ ，黏性土料塑性指数  $I_p > 10$ 。
- 5 当土质混合料中的土料分别以砂土、粉土或黏性土为主时，土质混合料相应命名为砂土混合料、粉土混合料或黏性土混合料。
- 6 特殊土料包括膨胀土、红黏土、软弱土、冻土、盐渍土、污染土、有机质土、液限大于 50% 且塑性指数大于 26 的黏性土等。
- 7 代号 A1~A10 为 A 类填料，代号 B1~B4 为 B 类填料，代号 C1~C6 为 C 类填料，代号 D 为 D 类填料。
- 8 本表引自《民用机场高填方工程技术规范》(MH/T 5035)，表中主要依据填料粒径及其含量以及所含石料的岩石强度等进行填料分类，体现的是填料的基本物理力学性质，不仅适用于高填方工程，也适用于填海及其他民用机场工程。

## 标准用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：
  - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；  
表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。
- 2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应符合……的要求”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

## 引用标准名录

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规范，但鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

- [1] 《防洪标准》（GB 50201）
- [2] 《堤防工程设计规范》（GB 50286）
- [3] 《建筑工程抗震设防分类标准》（GB 50223）
- [4] 《围填海工程填充物质成分限值》（GB 30736）
- [5] 《复合地基技术规范》（GB/T 50783）
- [6] 《吹填土地基处理技术规范》（GB/T 51064）
- [7] 《爆破安全规程》（GB 6722）
- [8] 《工程岩体分级标准》（GB 50218）
- [9] 《民用机场飞行区技术标准》（MH 5001）
- [10] 《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）
- [11] 《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）
- [12] 《民用机场高填方工程技术规范》（MH/T 5035）
- [13] 《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》（MH 5007）
- [14] 《水运工程测量规范》（JTS 131）
- [15] 《水运工程岩土勘察规范》（JTS 133）
- [16] 《水运工程抗震设计规范》（JTS 146）
- [17] 《水运工程地基设计规范》（JTS 147）
- [18] 《港口与航道水文规范》（JTS 145）
- [19] 《防波堤与护岸设计规范》（JTS 154）
- [20] 《防波堤与护岸施工规范》（JTS 208）
- [21] 《码头结构设计规范》（JTS 167）
- [22] 《码头结构施工规范》（JTS 215）
- [23] 《插入式钢圆筒结构设计与施工规范》（JTS 167-13）
- [24] 《水运工程混凝土结构设计规范》（JTS 151）
- [25] 《疏浚与吹填工程设计规范》（JTS 181-5）

[26] 《水运工程质量检验标准》（JTS 257）

[27] 《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》（JTS 235）