

临海填砂造陆岛屿型机场地基处理效果分析

徐乐航 陈莹 吴锦堂 陈志林

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350001

摘要: 厦门翔安新机场作为世界仅有的填砂造陆岛屿型机场,其填海造陆后的工后沉降以及地基承载力对开始运营后的跑道平整度的影响一直是机场建设中需解决的重难点,同样类似的项目有日本建设于深厚吹填土层之上的关西国际机场,其在完工后天然地基仍然持续沉降,给后续机场的运营安全带来了极大隐患,日本政府耗资120亿美元试图挽救,依然无法阻止它20年后被海水淹没的命运。通过减少工后不均匀沉降对机场整体结构的不利影响研究,分析填砂造陆地基与基础需采取的合理施工工艺,并采取合适的方法进行补强。

关键词: 填砂造陆; 岛屿型机场; 地基与基础处理; 成型检测

1 概述

厦门翔安新机场作为世界上仅有的岛屿型机场,建设用地主要为填砂造陆形成,局部区域为大嶼岛陆地,世界上类似的项目有日本关西国际机场,其历经5年的填海造陆建设,使用土石方回填达1.8万 m^3 ,投入建设资金达150亿美元,于1994年建成投产,自开始运营后成为日本最忙碌的机场之一。但是伴随着每年载人总数的增加,人工岛屿也担负着非常大的工作压力,在建成一年以后,整体便下沉了60cm,在7年的运营时段里,下沉了接近12m,已超出建造之初预计的50年下沉12m的预想速度,虽然日本政府后续耗资120亿美元试图对其进行改造,却还是无法改变其20年后被海水淹没的命运。

为避免厦门翔安新机场步关西机场的后尘,对填海造陆人工岛的地基与基础处理就成为一个迫在眉睫并且绕不开的话题,为达到整体压实度要求,先行对填海造陆地块进行软基与吹填砂处理、堆载预压及场地平整等施工,形成达到一定标高并符合沉降变形、砂土液化、地基承载力的要求后,进行机场道面原地面碾压及强夯平整处理,最后进行道面结构层施工。

2 场区地质条件

厦门翔安新机场填海造陆及地基处理施工由三大部分组成^[1],分别为:大小嶼造地纳淤区地基处理一期地

块、大小嶼造地陆域形成及地基处理二期地块和大小嶼造地陆域形成及地基处理三期地块。

由于原地基存在厚度变化、性质差异较大的软土层,原地形高低不一,填海造陆后会形成一层厚度变化的吹填砂层,在后续施工过程中会成为需要重点解决的4个重难点。

2.1 地基不均匀

由于原地基存在厚度变化、性质差异较大的软土层,填海造陆形成厚度变化的吹填砂层,会造成厦门新机场地基的极不均匀。

2.2 沉降与差异沉降

场区软土厚度变化较大,其上的填砂厚度变化也较大,在填砂及工程设计荷载作用下,高压缩性的软土会产生较大的沉降和差异沉降。

2.3 砂土液化

吹填会形成一个厚薄不均的砂土层,在地震作用下有发生地震液化灾害的可能。

2.4 浅表层道基强度与刚度不足

在实施填海造陆工程后,飞行区道面影响区填海地基的表层吹填砂不易压实,道基顶部的强度与刚度不足,不具有较好的变形协调性或应力协调能力。

3 道面地基处理施工

3.1 地基处理方案比选

施工前,根据以往各填海造陆机场的施工经验,结合厦门翔安新机场现场实际特征,按照覆盖程度、加载形式差异的影响,从技术、资金和适用条件等各方面对地基处理进行方案比选^[2]。

经分析比选,堆载预压法具有施工工序少,机械设备便于操作,堆载时对地基作用的状态一致,时间可控,卸载后压实处理效果好等优点,且成本造价低、类

作者简介: 徐乐航(1996.05-),男,大学本科,助理工程师,主要从事建筑工程研究。

陈莹(1991.02-),女,大学本科,工程师,主要从事市政工程研究。

吴锦堂(1992.04-),男,大学本科,助理工程师,主要从事市政工程研究。

陈志林(1993.04-),男,大学本科,工程师,主要从事民航机场工程研究。

似工程案例多,技术成熟,能够很好地解决地基不均匀沉降的问题,适用于本工程填海造陆地基处理施工。

表1 基础处理方案比选表

名称	工艺优点	工艺缺点	单位造价	本工程适用条件	是否适用本工程
真空预压法	1. 工艺简单,便于操作 2. 技术可靠性高 3. 工程质量可控性好	1. 淤泥质土工作量大且对场地要求高 2. 难以实现雨前准备 3. 成本高	505元	1. 非岩区 2. 用砂量大、工期长、费用高	不适用
堆载预压法	1. 工序少,设备简单,便于操作 2. 作用状态一致,处理效果好 3. 时间可控(一般为8~12个月)	1. 需要预压土方 2. 排水困难	200元	1. 大量填海时可采用预压土方 2. 控制时间可控,满足工期要求 3. 处理效果好,自给适中 4. 不同区域可统一处理,不会产生较大差异沉降 5. 技术成熟	适用
真空预压法	1. 不需要预压土方 2. 时间可控(一般为4~6个月)	1. 需要多种材料及机械设备 2. 工期较为复杂 3. 可靠性低 4. 需设置密封,费用高且会导致地基不均匀	400元	1. 需大量使用密封材料 2. 施工量较大,可靠性低	不适用
静动联合排水预压法	1. 不需要预压土方 2. 费用低 3. 时间可控(一般为8~10个月)	1. 强夯处理前及非泥质土可靠性低 2. 强夯处理前不能于强夯 3. 指标要求严格,施工管理水平整度高 4. 质量可控性低	245元	1. 本工程泥质分布不均匀 2. 收编砂厚度分布不均匀	不适用
高压旋喷法	施工速度快	1. 水泥用量大 2. 施工要求高	1000元	技术成熟	不适用

3.2 填海地基处理

针对大小嵴造地纳淤区地基处理一期地块,采用环境整治工程中的河道与近海疏浚泥在该区域内新建围堰进行分块吹填补强碾压;针对大小嵴造地陆域形成及地基处理二期地块,采用海砂吹填施工。一、二期地基处理主要采用插打排水板堆载(超载)预压的方式进行施工^[3],回填砂层密实处理根据不同功能分区及条件采用强夯、振冲或分层碾压的补强方法。

一、二期造地完成,经现场取土检测验证,软基处理效果明显,根据第三方观测数据及总结报告所示,通过对工后沉降、差异沉降推算及固结度计算,地基处理效果满足使用标准要求。

针对大小嵴造地陆域形成及地基处理三期地块,采用海砂吹填施工,地基处理按机场不同功能区要求,分别采用飞行区道面区、土面区、工作区三类技术标准。大面积软基处理采用插板排水堆载预压(超载),局部因交地工期紧急采用复合地基处理^[4]。

由于该范围填海造陆后,在地基表层将形成一层普遍厚度在6m以上的砂土层,如未经密实处理,在地震作用下,存在砂土液化的可能。因此,在堆载预压完成卸载后,对吹填砂的处理方案为:吹填砂厚度小于10m的区域采用5000kN·m~8000kN·m强夯处理;厚度大于10m的区域采用振冲处理。在强夯或振冲处理完成后,进行场地平整至设计标高,处理完成后开始后续机场道面结构层施工^[5]。

3.3 原地面处理

填砂卸载后的原地面处理是保证机场跑道平整度的最主要影响因素,根据设计要求对原地面进行振动碾压和强夯处理。

3.3.1 振动碾压施工

3.3.1.1 设计参数

填海造陆地基经过处理检测满足承载力要求后,开

始道面结构层施工前,应再对原地面进行碾压和强夯处理,对地表的松砂进行压实,采用20t以上重型压路机进行振动碾压。

3.3.1.2 施工方法

(1) 开挖至设计面标高,采用挖掘机进行场地平整,如发现高低不平,及时用人工配合装载机找平,平整过程中挖掘机对原地面进行初步压实。挖方区平整在海砂开挖后进行;

(2) 采用22吨压路机以静压7遍的方式施工,每遍碾压结束后应进行相对密度、含水率以及碾压后高程检测;

(3) 由于海砂表层松散,按正反行驶的常规碾压方式压路机容易沉陷,故现场实际施工时,压路机始终保持前进状态,碾压顺序从边到中,沿线路纵向行与行之间压实重叠不应小于不小于三分之一轮迹;无漏压、无死角,确保碾压均匀。碾压过程中严格控制行驶速度,压路机行驶速度不大于2.5km/h,碾压完成后进行10m×10m方格网测量碾压后高程。各区段交接处,应互相重叠压实,纵向搭接长度不应小于2m,施工应由地基处理两侧向中心碾压。

3.3.1.3 碾压质量检测

道槽区开挖至设计面后进行原地面碾压,并在碾压完成后进行现场检测。

开挖至设计高程检测得出相对密度为0.77,碾压第一遍相对密度为0.82,碾压第二遍相对密度为0.87,根据曲线图所示,碾压第二遍时现场数据最优。随着碾压遍数增加相对密度降低,碾压五遍相对密度最低为0.75,收集干密度数据制成碾压遍数与干密度关系曲线图。

3.3.2 强夯处理

3.3.2.1 设计参数

对填砂地基原先采用堆载预压,并有后续道面承载力要求的区域,采用强夯处理,强夯处理边线为道肩边线外延2m,采用无垫层强夯。

3.3.2.2 施工方法

(1) 清理并平整施工场地;

(2) 用木桩标记第一遍夯点位置且编号,夯点定位允许偏差应为±5cm,并测量原地面高程;

(3) 起重机就位,使夯锤中心对准夯点位置,夯击点中心位移偏差应小于0.1倍的夯锤直径;

(4) 测量夯前锤顶标高,确定零高度;

(5) 将夯锤吊到规定高度,脱钩夯锤脱落自由下落;放下吊钩,测量锤顶标高,记录与零高度差值。当夯坑底倾斜大于30°时,将夯坑填平后再进行夯击;

(6) 重复步骤(1)~(5),完成一个夯点的夯击最

后两击平均夯沉量不大于50mm，满夯最后两击平均夯沉量不大于30mm；

(7) 换夯点，重复(3)~(6)点，完成第一遍全部夯点的夯击；

(8) 用推土机将夯坑填平，并测量场地高度，停歇7天，待净孔隙水压力基本消散，按上述步骤逐次完成强夯夯击遍数；

(9) 最后进行低能量满夯，夯击能为1000KN·m，夯击一遍，将表层松土压实。夯印彼此搭接部分不应小于锤底直径的1/4；

(10) 点夯和满夯施工结束，及时推平，按20m×20m方格网测量推平地面的高程，计算夯沉量；

(11) 夯击并记录夯坑深度，夯坑深度不宜大于1.2m，当夯坑过深时需停夯，向坑内填料，如此重复直至满足规定的控制标准完成夯击；

(12) 测量记录每击的夯沉量及每个夯点的夯击次数；应详细记录施工过程中的各项参数及特殊情况。

3.3.2.3 强夯质量检测

在强夯施工结束后测试地基土地表一下一定深度范围内的标贯击数当量值，当量值计算采用如下计算式：

$$A = \sum_{i=1}^N \frac{A_i \cdot H_i}{H}$$

式中：A——当量值；

A_i ——第*i*层土的测试结果；

H_i ——第*i*层土的厚度；

H——检验范围土层的总厚度。

每5000m²测试一点，且每个处理器不少于3点，测试深度与锤击数当量值应符合4000kN·m强夯区，当量值不小于25击的要求，强夯处理结束后对夯点进行标准贯入试验及沉降量检测。

3.4 地震影响效应研究

按《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)、《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010, 2016年版)规定，本工程建筑场地抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.15g，设计地震分组为第三组。结合剪切波速测试结果，根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016年版)表5.1.4-2判定，场地特征周期为0.45s。

3.4.1 砂土液化影响

场地地面下20m深度范围内存在饱和砂土①-c填砂、

②-d砂混淤泥、②-e中砂及④-b中砂，判别①填砂、②-d砂混淤泥、②-e中砂会产生液化，采用标准贯入试验判别法对其进行液化判别，并根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)第4.3.3条规定，得出在7度地震时可判定为非液化土，本工程不必考虑砂土液化的问题。

3.4.2 软土震陷

施工场地分布有软土层(②-a淤泥质土、②-b淤泥、②-c淤泥混砂)，根据勘察波速实测值，拟建工程场地软土②-a淤泥质土剪切波速平均值为123m/s，②-b淤泥、②-c淤泥混砂根据地区工程经验剪切波速一般大于90m/s，根据《岩土工程勘察规范》(DBJ 13-84-2006)表8.4.2规定，得出本工程可不考虑软土震陷的影响。

4 结论

厦门翔安新机场作为世界上仅有的填砂造陆岛屿型机场，其填海造陆后的工后沉降以及地基承载力对开始运营后的跑道平整度的影响一直是机场建设中需解决的重难点，通过对填海造陆的地基不均匀性、沉降与沉降差、砂土液化以及浅表层道基强度与刚度不足等难题开展了重点研究，经过实践表明，大面积软基处理采用堆载预压进行施工，局部特殊承载力要求部位采用强夯、振冲或分层碾压进行补强，能够克服地基不均匀、沉降与沉降差以及砂土液化的问题，通过对处理后的地基表层进行再补强，克服了浅表层道基强度与刚度不足的难题，保证了机场道面的平整度，为厦门翔安新机场未来的运营创造了必要且稳定的条件，也为未来海峡两岸的交流互通作出了卓越的贡献。

参考文献

- [1]康学增,张晴波,张忱,王费新.厦门大小嶝造地工程吹填砂起动流速试验研究[J].中国港湾建设,2017,第6期:41-144;
- [2]杨凯,刘乾烈,李达.厦门新机场填海造陆软基处理方法研究[J].建筑机械,2023,第11期:18-23;
- [3]李婉,董志良,陈正汉.塑料排水带堆载法在填海造陆复杂地基处理中的试验研究[J].水运工程,2005,第12期:55-60,63;
- [4]林晖.厦门新机场试验段吹填泥地基处理方案研究[J].铁道建筑,2014,第7期:118-120;
- [5]蓝洋.厦门新机场大小嶝造地纳泥去软基处理施工技术探析[J].中国水运,2015,第8期:305-306。