

低强度桩复合地基在机场道面沉陷病害修复中的应用研究

武俊东¹, 王文良², 冀鹏²

¹民航机场规划设计研究总院有限公司西北分公司, 陕西 西安

²民航机场建设集团西北设计研究院有限公司, 陕西 西安

Email: wujd060701@126.com

收稿日期: 2021年8月13日; 录用日期: 2021年9月11日; 发布日期: 2021年9月18日

摘要

低强度桩复合地基技术具有处理深度范围大、承载力提高幅度大、地基变形小的优点, 但存在相对工期长、经济性较差的缺点, 在西北地区大面积道面地基处理中应用较少。本文结合某机场隔离机坪道面沉陷病害的道面检测、土基勘察, 对沉陷病害原因进行了详细分析; 结合低强度桩复合地基技术的特点, 对其适用性、设计参数选取、施工工艺控制进行了探讨; 最后根据现场监测数据, 对低强度桩复合地基在道面沉陷病害修复中的应用效果进行了评价, 并对该复合地基技术应用应注意的问题进行了分析与思考。

关键词

低强度桩, 复合地基, 机场工程, 道面沉陷, 病害修复

Application Research of Composite Foundation with Low Strength Pile in the Repair of Airport Pavement Subsidence Disease

Jundong Wu¹, Wenliang Wang², Peng Ji²

¹Northwest Branch of China Airport Planning & Design Institute Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²China Airport Construction Group Northwest Planning & Design Institute Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

Email: wujd060701@126.com

Received: Aug. 13th, 2021; accepted: Sep. 11th, 2021; published: Sep. 18th, 2021

文章引用: 武俊东, 王文良, 冀鹏. 低强度桩复合地基在机场道面沉陷病害修复中的应用研究[J]. 土木工程, 2021, 10(9): 830-837. DOI: 10.12677/hjce.2021.109094

Abstract

Composite foundation with low strength pile technology is rarely used in large-area pavement foundation treatment in Northwest China. It has the advantages of large range of treatment depth, large increase of bearing capacity and small foundation deformation. However, it has the disadvantages of relatively long construction period and poor economy. Based on the pavement inspection and soil foundation investigation of the pavement subsidence disease of an airport isolation apron, the causes of the subsidence disease are analysed in detail; combined with the characteristics of composite foundation with low strength pile technology, its applicability, selection of design parameters and construction process control are discussed; finally, the application effect of composite foundation with low strength pile technology in the repair of pavement subsidence diseases is evaluated according to the monitoring data. Some analysis and thinking on the issues concerning in the application of this technology are proposed.

Keywords

Low Strength Pile, Composite Foundation, Airport Engineering, Pavement Subsidence, Disease Repair

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在机场工程中,飞行活动的道面区域面积大、重要性较高,西北地区机场道槽区普遍采用强夯法、换填垫层法、散体材料桩复合地基等进行地基处理。低强度桩(应用以素混凝土桩较多[1])复合地基技术虽然在公路交通工程中得到了广泛的应用[2],郭超、闫澍旺等对低强度桩复合地基沉降计算方法进行了研究[3],郭超对低强度桩复合地基稳定性变形协调分析进行了研究[4],由于其相对工期长、经济性较差的缺点[1],在西北地区大面积道面地基处理中应用较少。

西北地区普遍干旱、少雨,一般具有地下水位较低、地质条件较好的特点。某机场位于湟水河北岸的 III~IV 级阶地上,场区地势高差起伏较大,道槽区地基为 II 级~IV 级自重湿陷性黄土,局部区域为中硫酸盐渍土。在机场二期改扩建工程中,机坪道面区采用了强夯法、换填垫层法进行地基处理,于 2011 年底投入运行。

自 2017 年底开始,机坪多个机位的道面陆续出现了局部沉陷、接缝开裂、道面断板等一系列的水泥道面病害,道面最大相对沉陷量达 65 cm,严重影响了机场的正常运行。本文结合机坪沉陷病害的检测、勘察,对病害原因进行了详细分析;结合低强度桩复合地基技术的特点,对其适用性、设计参数选取、施工工艺进行了探讨;最后结合现场监测数据,对低强度桩复合地基技术在西北地区机场道面沉陷修复中的应用效果进行了评价,并对该复合地基技术应用效果进行了思考。

2. 道面沉陷病害情况及原因分析

某机场二期改扩建工程场区地势高差起伏较大,机坪道面普遍位于填方区,T2 指廊东侧隔离机位(见图 1)区域填方高度在 1.0~10.0 m 之间,其道面结构层总厚度 77 cm,依次为 36 cm 水泥砼面层、1 cm 厚

石屑找平层、20 cm 厚三灰稳定碎石基层、20 cm 厚二灰稳定砂砾底基层。结构层下设 30 cm 厚天然砂砾垫层以防止盐胀对道面的不利影响。

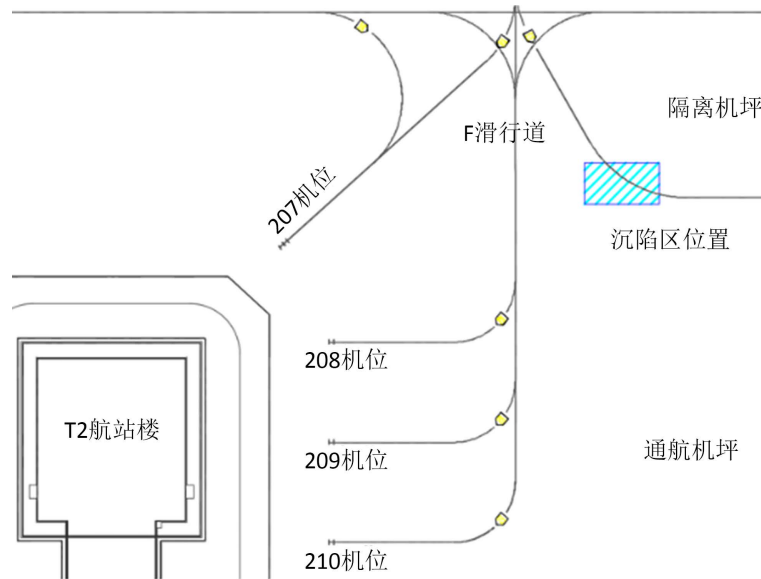


Figure 1. Position illustration of the isolation apron
图 1. 机场隔离机位位置示意

2.1. 病害情况

根据隔离机位雨后积水情况(见图 2)，隔离机位中部有明显沉陷，实测最大沉陷相对高差约 65 cm。根据 2018 年全年病害发展实测数据，相对沉陷高差、观测沉陷面积发展较为迅速(见图 3、图 4)，且无收敛趋势。雨季期间(5 月~7 月)病害发展速度更快。



Figure 2. Ponding after rain in subsidence area of the isolation apron
图 2. 隔离机位沉陷区雨后积水情况

道面表面平整度、相邻板块高差远超《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》(MH 5007-2017)的极值要求。道面表面坡度也不满足《民用机场飞行区技术标准》(MH5001-2013)及其第一修订案的要求。

由于局部沉陷过大，局部板块出现了断板现象(见图 5)。

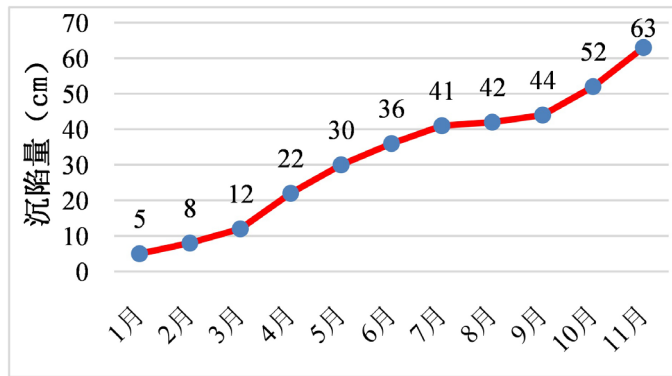


Figure 3. Central subsidence variation trend of the isolation apron
图 3. 隔离机位中部沉降量变化趋势

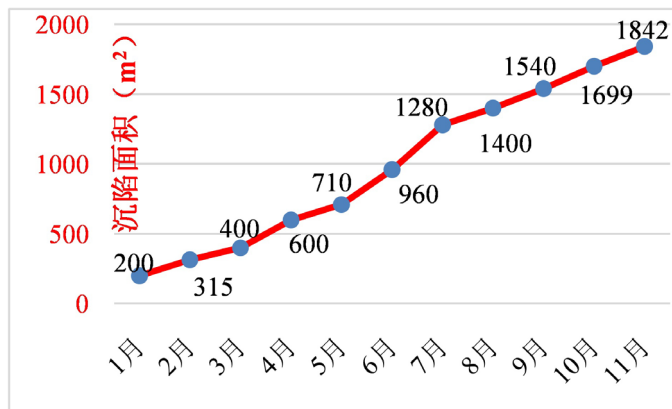


Figure 4. Subsidence area variation trend of the isolation apron
图 4. 隔离机位沉降面积变化趋势



Figure 5. Broken cement pavement plate of the isolation apron
图 5. 隔离机位水泥道面板块断板

2.2. 沉降病害原因分析

除了对沉降区病害发展趋势进行监测外，机场还对沉降区进行了道面检测、土基勘察。

1) 道面检测情况

根据检测结果，道面结构层深度范围内不存在脱空现象；沉降区道面承载力明显低于非沉降区域。

推测土基密实度不高、土基可能存在水土流失,从而导致地基及道面结构层整体下沉,当沉陷发展到一定程度,不均匀沉降引发板块断裂。

2) 土基勘察情况

结构层底部土基土层主要为:

③压实填土:属机场一、二期建设平整场地回填土,粉粒为主,层厚约 7.50~7.80 m。回填土在水平和垂直方向上物理力学性质不均匀、密实度差异性较大。压缩模量 $E_0 = 5.94$ MPa,承载力特征值 $f_{ak} = 90$ kPa。

④马兰黄土:粉粒为主,稍密为主,未揭穿。压缩模量 $E_0 = 9.53$ MPa,承载力特征值 $f_{ak} = 90$ kPa。勘察期间未见稳定地下水位。

沉陷区土基在-1.9~-10.3 m 深度范围内含水量 15.1%~24.6%,局部呈软塑~流塑状,明显高于对比孔含水量 3.7%~19.4%。

沉陷区土基密实度较低,且上部低于下部,2~6 m 深度内密实度为 0.75~0.85,6~10.3 m 深度内密实度为 0.75~0.88。土基密实度不满足《民用机场土(石)方与道面基础施工技术规范》(MH 5014-2002)及《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027-2013)对填方区道槽土基的要求[5]。

3) 沉陷病害原因分析

道面接缝渗水或周边排水沟渗漏水导致土基含水量升高,在土基密实度较低条件下,土基压缩模量降低,土基在土基及道面结构自重、飞机活荷载反复作用下出现道面沉陷变形。

道面沉陷变形发生后,出现道面接缝张开甚至发生道面断板现象,进一步加快了雨水进入地基的速度,从而加速了道面沉陷变形的发展。

3. 低强度桩复合地基设计

结合以上分析,沉陷区病害具有两个特点:

- ① -10.3 m 以上深度范围内的土基含水量高、密实度低;
- ② 沉陷区位于现机坪中央,需局部隔离后进行不停航施工。

地基处理应达到如下效果:

- ① 提高地基持力层一定深度范围内的密实度,提高地基承载力;
- ② 降低地基土压缩性,提高地基土压缩模量,控制土基工后沉降。

换填垫层法、散体材料桩复合地基受限于处理深度,无法对沉陷区整个病害深度范围内的土基进行有效加固;强夯法由于对周围现有道面、建筑物的影响、对塔台视线的遮挡等原因不适于在本例中使用。低强度桩复合地基具有处理深度范围大、承载力提高幅度大、地基变形小的优点,现结合该技术在本例中的应用情况进行分析。

3.1. 适用性分析

低强度桩属于粘结材料桩,可采用水泥粉煤灰碎石桩、低强度水泥砂石桩、素混凝土桩等。低强度桩复合地基考虑了桩土共同直接承担荷载,相比散体材料桩可以全桩长发挥桩的侧摩阻力,进而将上部荷载传递给较深土层[1]。

采用沉管法成孔的低强度桩复合地基施工工艺成熟,对周围土体有较好的挤密效果。根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012),该技术适用于处理粘性土、粉土、砂土和正常固结的素填土地基[6],对于承载力较高(如 $f_{ak} = 200$ kPa)但变形不能满足要求的地基,也可采用低强度桩复合地基技术。

综合本例中病害土基条件、道面承载能力要求、变形控制要求等因素,同时兼顾施工工期、施工周

边环境条件限制等实际情况,采用低强度桩复合地基技术对道面沉陷病害进行修复是合适的。

3.2. 设计参数选取

初步考虑对-10.3 m 以上深度范围内的含水量高、密实度低的土基均进行处理,初步测算处理后的复合地基承载力特征值在 400 kpa 左右,远远超过一般机坪土基的承载力要求(150~200 kpa)。因此,本次地基处理设计参数选取的原则为土基工后沉降控制在合理范围之内。

1) 桩径

结合施工设备和施工工艺,桩身材料选用 C20 低标号混凝土,桩径采用 $\phi 400$ mm。

2) 桩间距、桩长

桩间距主要影响复合地基置换率、复合地基的压缩模量,是控制复合地基沉降的关键参数。低强度桩复合地基沉降由三部分组成[1]: ①复合地基加固深度范围内的压缩量 s_1 ; ②加固区下卧土层的压缩量 s_2 ; ③褥垫层的压缩量,一般在施工期发生,工后沉降不予考虑。

$$s = s_1 + s_2 = s_p + \Delta + s_2 \quad (\text{式 1-1})$$

复合地基加固深度范围内的压缩量 s_1 为桩身压缩量 s_p 和桩端相对于土层的贯入变形量 Δ 之和。 Δ 结合桩端土土性按照经验确定; s_2 采用分层总和法计算。

$$s_p = \xi \frac{q_p l_p}{E_p A_p} \quad (\text{式 1-2})$$

考虑到隔离机坪已投运 8 年的实际,采用双曲线法推算隔离机位周边非沉陷区机坪的剩余工后沉降量约为 5.4 cm;根据非沉陷区对比孔土层参数,采用分层总和法计算周边非沉陷区机坪的剩余工后沉降量为 10.7 cm。参考两种方法工后沉降结算结果,设计取周边非沉陷区机坪剩余工程沉降量为 6.0 cm (均对应复合地基加固深度范围内的压缩量 s_1)。

考虑到复合地基与周围机坪的协调变形,处理后地基允许沉降 3.0 cm (变形修正系数取 2.0)作为工后沉降变形控制标准。设计桩间距取值 3.5 d (1.4 m)、设计桩长 11 m (桩端进入正常土层不小于 1.0 m)。

3) 褥垫层

为适当发挥挤密后桩间土的承载能力,在桩顶设置 60 cm 厚灰土褥垫层,为协调桩土应力比、减小差异沉降,在距垫层底部 20 cm 处铺设一层多向应力土工格栅。

4) 处理范围

在保证道面表面排水顺畅的前提下,按照道面表面坡度变化与原设计坡度相比不大于 2.0‰的原则确定沉陷区地基处理范围。处理后道面表面坡度满足《民用机场飞行区技术标准》(MH5001-2013)及其第一修订案的要求。

3.3. 施工工艺控制

1) 成孔方式

为了有效提高桩间土的密实度,低强度桩一般采用沉管法成孔。为了减小地基处理边缘沉管成孔对现有道面结构的影响,对于沉陷区边缘 4~6 排低强度桩,结合施工现场试桩情况,采用长螺旋钻孔成孔。

2) 施工顺序

拆除地基处理范围内道面结构层后,低强度桩复合地基依次按如下步骤施工:

- ①开挖至道面设计标高下-87 cm 标高处,测量放线、桩位确定、低强度桩施工,设计桩顶标高-107 cm;
- ②凿桩头 30 cm、清理桩间土,有效桩顶设计标高-137 cm;

- ③施工 20 cm 灰土褥垫层, 施工至-117 cm 标高;
- ④铺设一层多向应力土工格栅, 用于协调桩土应力比, 减小差异沉降;
- ⑤施工 40 cm 灰土褥垫层, 施工至-77 cm 标高(道面结构层底标高)。

4. 低强度桩复合地基应用效果

4.1. 应用效果评价

1) 工后沉降观测

隔离机位沉陷区病害修复工程于 2020 年 6 月完工。时隔一年, 根据现场不间断沉降观测(观测频率 1 周/次)数据, 道面表面累计工后沉降小于 9 mm, 沉降变形控制效果较好, 病害处理效果良好。

2) 复合地基承载力

根据现场施工过程中试桩结果, 单桩竖向承载力特征值不小于 550 kN, 处理后的复合地基承载力不小于 392 kpa, 远远满足飞行区机坪道面的地基承载力要求。

4.2. 低强度桩复合地基的几点思考

1) 土基透水通道隔断

某机场二期工程中, 为防止回填土(按总含盐量不超过 1%控制)盐胀对道面结构层的不利影响, 在结构层底部设置了 30 cm 厚天然砂砾垫层。

在本例沉陷病害中, 天然砂砾垫层作为透水性良好的水平方向透水通道, 当周边排水沟发生渗漏水时, 极易将地下水疏导至土基密实度较低的区域, 从而引发道面沉陷病害。

在病害修复过程中, 褥垫层采用了透水性差的灰土垫层。如采用天然砂砾垫层, 需配合增加方格网式的水平透水通道隔断措施(例如采用一定宽度灰土垫层进行隔断)。

2) 承载力控制与变形控制

本例主要从沉陷区软弱土层深度范围全部进行处理的角度确定设计桩长, 结合现场沉降观测数据、单桩承载力试桩结果, 从地基承载力达标角度而言是更容易实现的, 变形控制是确定设计桩长、桩间距的主要控制因素。

3) 与周围环境的变形协调

本例中沉陷区周围均为现状机坪道面, 设计中理解为相同条件的地基处理对象。在确定桩长的过程中未考虑在沉陷加固区与现状区域之间设置过渡段。对于两个不同作用荷载的地基处理对象(例如道面下部有下穿通道时), 应设置过渡段使两者之间的工后沉降达到平稳过渡。

4) 变形控制效果

低强度桩复合地基的沉降变形最主要部分是下卧土层的压缩量 s_2 。桩身压缩量 s_p 和桩端相对于土层的贯入变形量 Δ 相比 s_2 是很小的, 当低强度桩设计桩长较大时, 由于传递至下卧土层的附加应力引起的土基沉降量也较小, 因此低强度桩复合地基对于土基沉降变形控制具有良好的效果。

5. 结论

1) 根据对隔离机坪沉陷区的道面检测、土基勘察, 道面沉陷病害主要原因为土基含水量偏高、密实度偏低, 表面接缝渗水或周边排水沟漏水并沿纵横向透水通道渗透进一步加剧了病害的发展。

2) 探讨了在机场道面沉陷病害修复中低强度桩复合地基技术的适用性, 并以某机场道面沉陷病害修复为例提出了低强度桩复合地基设计参数选取原则及建议、施工控制措施。

3) 从某机场道面沉陷病害修复的应用、后续工后沉降观测情况来看, 低强度桩复合地基技术对土基

变形控制是较为成功的。

4) 从变形控制效果、土基透水通道隔断、与周围环境的变形协调等角度, 提出了低强度桩复合地基技术在实际过程中应注意的问题。

参考文献

- [1] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 第三版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 高伟兴. 低强度桩复合地基处理通道软土地基的研究及应用[C]//浙江省科学技术协会. 杭州市 2005 年公路交通学术论文集. 杭州: 杭州市公路学会, 2005: 88-90.
- [3] 郭超, 闫澍旺, 等. 低强度桩复合地基沉降计算方法研究[J]. 岩土力学, 2010(11): 155-159, 188.
- [4] 郭超. 低强度桩复合地基稳定性变形协调分析[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津大学, 2010.
- [5] 中华人民共和国行业标准. 民用机场岩土工程设计规范(MH/T 5027-2013) [S]. 2013.
- [6] 中华人民共和国行业标准. 建筑地基处理技术规范(JGJ 79-2012) [S]. 2012.