

· 土建施工 ·



# 双重可调式轨道基础研究与设计

韩时捷<sup>1</sup>, 王施恩<sup>2</sup>, 周亚平<sup>3</sup>

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032;

2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080; 3. 洋山同盛港口建设有限公司, 上海 201308)

**摘要:** 自动化轨道吊由于行驶速度远超港区普通轨道吊, 因此其运行精度要求及标准较高。需研究如何根据实际情况选择可行、可靠、经济的轨道基础结构形式并合理确定相关参数。通过比选目前常用轨道基础形式, 结合洋山工程实例及有限元数值模拟, 提出了一种不设桩基的新基础形式——双重可调式轨道基础, 并完善了其结构及构造设计, 基本解决了沉降易发地基上不设桩基的轨道吊设备安全高效运行问题。

**关键词:** 双重可调; 轨道基础; 可调支座系统; 变形协调

中图分类号: U 652.7<sup>+</sup>2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)09-0126-04

## Research and design on dually adjustable track foundation

HAN Shi-jie<sup>1</sup>, WANG Shi-en<sup>2</sup>, ZHOU Ya-ping<sup>3</sup>

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. Shanghai International Port( Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China;

3. Yangshan Tongsheng Port Construction Co., Ltd, Shanghai 201308, China)

**Abstract:** The requirements and standards of automation gantry crane running accuracy are very high because the rate of it is much faster than ordinary gantry crane. Researches are requested on how to choose the feasible, reliable and economical form of track foundation and how to choose reasonably the relevant parameters based on the actual situation. By comparison of the current common form of track foundation, with examples and finite element numerical simulation of Yangshan project, a new track foundation type is proposed, dual adjustable track foundation. In the meantime its structure and configuration design is improved. Based on the above researches, the problem of safe and efficient operation of gantry crane without pile foundation on the subsidence prone ground is basically solved.

**Keywords:** dually adjustable; track foundation; adjustable bearing; deformation compatibility

洋山四期工程将建设成为国内规模最大的自动化港区, 集装箱堆场区拟采用自动化轨道龙门吊(ARMG)进行装卸作业。根据装卸作业效率需求, ARMG最快运行速度达到240 m/min, 远超一般轨道龙门吊运行速度, 因此对轨道基础的平整度、顺直度及精准度要求很高。当偏差超出一定范围时, ARMG在实际使用中将会出现运行速度

减慢、车轮跳动、车轮啃轨等影响使用效率的现象。而洋山四期工程港区陆域是填海开山形成, 回填层厚度差异较大, 原始地质情况复杂, 虽经近1年的地基处理, 仍有一定量的残余沉降及不均匀沉降会发生, 很难满足运营期高标准的使用要求。因此需结合工程实际进行研究, 选择合理可靠的基础设计方案。

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 韩时捷(1975—), 男, 高级工程师, 从事港口工程软基处理及道堆结构设计。

## 1 轨道基础选型

### 1.1 地质条件分析

鉴于沉降是影响 ARMG 高效使用的重要因素, 为合理确定设计方案, 有必要对四期工程地基加固后的效果进行分析。

洋山四期工程前期陆域于 2012 年全面形成, 平均回填厚度约 17 m, 其间结合水上插板+堆载预压法及振冲法(强夯法)对软土层及回填层进行了加固处理。为了解陆域地基加固后的实际沉降情况, 在整个陆域范围内共布设了 40 处深层沉降观测点。从实测沉降统计数据及典型沉降曲线(图 1)可以看出, 成陆 3 年多后陆域部分测点的沉降速率已基本稳定在 0.1 mm/d, 曲线已基本呈收敛状态, 且所有测点近 5 个月来沉降量均小于 2 cm。因此可以认为四期工程地基经加固后, 软土主要沉降已基本完成。但由于港区内陆域地质情况复杂, 部分区域(开山回填交接区、不同加固方式交接区等)在一定年限后仍有可能出现不均匀沉降问题。

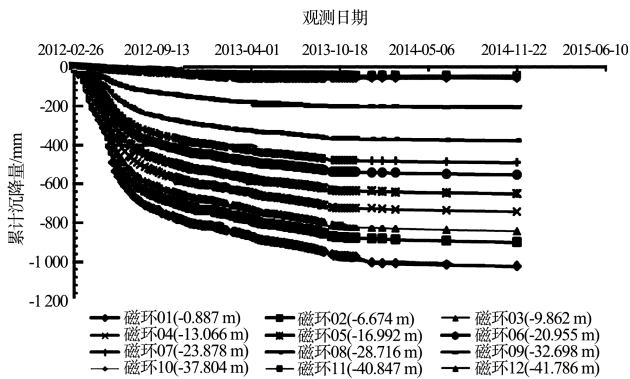


图 1 典型分层沉降点沉降曲线

### 1.2 轨道基础类型

目前国内能较好解决不均匀沉降问题的 ARMG 基础形式<sup>[1]</sup>主要有以下 2 种: 1) 轨枕道砟基础(柔性基础), 通过在使用期调整道砟厚度达到协调不均匀沉降的目的; 2) 桩基轨道梁基础(刚性基础), 通过设置桩基达到消除沉降和不均匀沉降的目的。

#### 1.2.1 轨枕道砟基础

轨枕道砟基础<sup>[2]</sup>见图 2, 是指将预制好的轨枕板或轨枕按照一定间距均匀布置在碾压振捣密实

的道砟基床上, 使其承受上部钢轨传递来的轮压荷载(包括竖向垂直力、横向和纵向水平力), 并将其分布于道床。在不均匀沉降发生后, 主要靠调整道床高程使 ARMG 轨道满足使用要求。

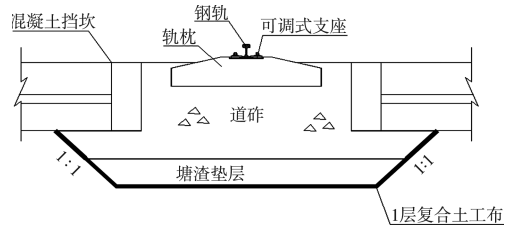


图 2 轨枕道砟基础结构

#### 1.2.2 桩基轨道梁基础

桩基轨道梁基础见图 3, 是指将桩基础打设至地基持力层, 并在上部浇筑或安装钢筋混凝土梁, 轨道轮压荷载作用于轨道梁后, 再通过桩基传递至地基持力层。由于桩基的设置, 基本可保证使用期轨道基础不发生沉降, 从而保证设备的高效运行。

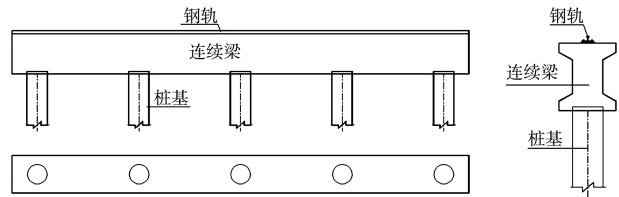


图 3 桩基轨道梁基础结构

### 1.3 轨道基础选型推荐

通常情况下, 在沉降易发区域, 桩基轨道梁方案因其使用期基本不需维护, 本应为首选方案。但综合洋山四期工程地质条件、施工能力、工期、投资及后期使用状况等多方面因素进行专题研究论证发现, 桩基轨道梁方案虽然能解决沉降问题, 但存在以下弊端: 1) 持力层埋深大, 桩长近 60 m, 需穿透 20 m 左右已密实的砂层, 陆上成桩实施可行性低; 2) 整个港区建设工期 2 年, 桩基数量近万根, 适用沉桩设备少, 工期难以保证; 3) 投资巨大, 投资是轨枕道砟方案的 3 倍以上; 4) 后期使用过程中堆场与轨道基础间仍会出现因不均匀沉降需维修。总体而言, 桩基轨道梁方案并不是最适合洋山建设现状的最佳方案。因此四期工程轨道吊基础最终考虑采用经过初期调整即可满足

运营期正常使用要求的可调整基础形式。并对如何减少今后的调整工程量、构造上如何减小不均匀沉降的影响等问题进行了研究与细化。

## 2 双重可调轨道基础方案

以往工程中常规采用的可调整轨道基础主要指轨枕道砟基础，是由道砟层、轨枕板、挡坎、土工布或土工格栅等组成。当沉降发生量较大需要调整时，加入道砟通过捣固器重新振捣密实，将轨道高程及顺直度调至运行精度允许范围内<sup>[3]</sup>。但这种调整难度相对较大且精度低，投入的人力多，调整时间长，对生产运营的干扰十分明显；且由于道砟为柔性结构，在轮压荷载及雨水长期作用下，自身亦容易发生变形，对不均匀沉降基本无协调作用。因此笔者对传统的轨枕道砟基础进行了改进，在洋山港四期工程自动化港区轨道基础设计中提出并采用了一种新基础形式——双重可调式轨道基础，即在前述轨枕道砟方案的基础上增设一U型混凝土基础槽，并设置相关排水及连接系统；同时轨枕板与钢轨系统间设置可调支座系统，见图4。

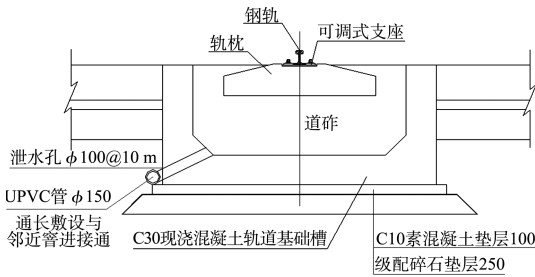


图4 双重可调式轨道基础

将道砟放置于U型槽内，增加了对松散道砟的侧向约束，使其不易变形，2.6m的槽身宽度既保证了道砟密实的作业面，又保证了基础今后较大幅度的可调整性，同时将荷载应力进行扩散，增加轨道基础的变形协调能力；可调支座系统的设置则解决了快速、精确对轨道系统进行调整的需求。新的可调整轨道基础形式在提高调整精度与便捷度、增加变形协调及约束能力等方面得到了优化。

## 3 变形协调能力比较分析

### 3.1 数值计算模型

采用二维有限元软件Plaxis-2D模拟轮压作用下有槽结构和无槽结构对下卧不均匀土层的变形协调能力，简化的几何模型见图5。

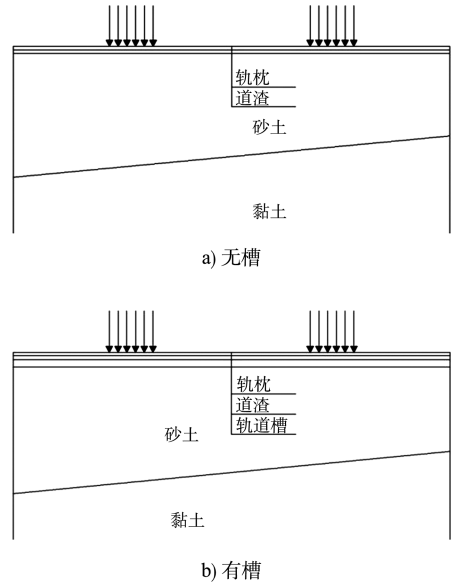


图5 模型结构

### 3.2 计算参数

对砂土、软土和道砟采用摩尔-库伦本构模型进行模拟，对轨枕板及轨道槽采用实体线弹性模型模拟。具体参数见表1。

表1 计算参数

土层	天然密度/ (t/m <sup>3</sup> )	弹性模量 E/MPa	泊松比 ν	粘聚力 C/kPa	摩擦角 φ/(°)	厚度/ m
砂土	1.8	80	0.25	1	30	10~15
软土	1.8	30	0.33	10	15	20~25
轨枕板	2.5	3.00×10 <sup>4</sup>	0.15			0.40
道砟	2.0	100	0.20	100	40	0.45
轨道槽	2.5	3.00×10 <sup>4</sup>	0.15			0.85

注：轨道槽厚度为槽刚度等效成板后厚度。

### 3.3 计算结果及结论

计算结果见图6，可以看出在同种工况条件下，有U型槽结构地基变形值范围为42~64mm，而无槽结构地基变形值范围为38~80mm。有槽结构沉降分布更为均匀、相对数值更小，与无槽结构相比，不均匀沉降变形值降幅达48%，因此说明有槽结构协调不均匀沉降能力更为突出。

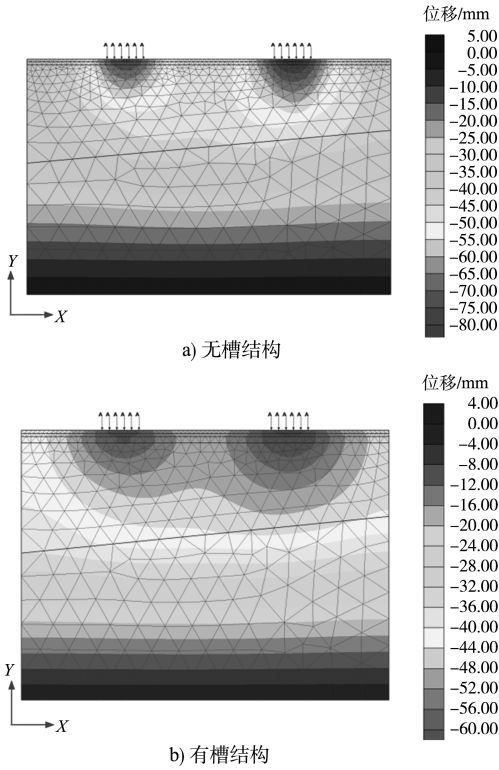


图 6 位移分布

### 4 构造设计

#### 4.1 传力杆系统

由于温度变形的需要, U 型轨道槽每隔 20 m 需设置一道 2 cm 宽伸缩缝, 伸缩缝的设置会使 U 型槽结构协调变形的能力大幅减弱, 也易发生渗水等缺陷, 故参照道路接缝的做法<sup>[4]</sup>在底板伸缩处设置传力杆系统(图 7)。传力杆采用  $\phi 25$  mm 圆钢, 一端刷二度沥青油脂防锈, 缝内设 2 cm 橡胶泡沫板, 上表面嵌填聚氨酯密封。这样既解决了轨道基础伸缩变形的需求, 也保证了基础的整体协调性。

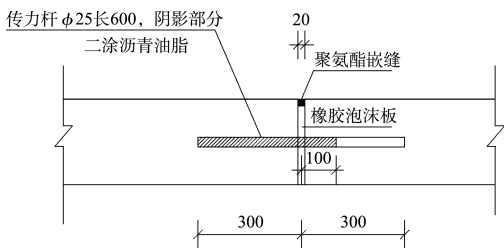


图 7 传力杆 (单位: mm)

#### 4.2 排水系统

对于整个轨枕道砟基础而言, 道砟强度的保证是轨道系统安全稳定运行的前提。但新鲜坚硬

的道砟在轮压荷载及水流反复作用下, 经风化后强度会大幅降低, 因此轨道基础的排水系统(图 8)设置是不可或缺的。利用 U 型槽结构沿轨道纵向布置 1 根  $\phi 150$  mm 的 UPVC 主排水管, 并每间隔 5 m 设置 1 根  $\phi 100$  mm 的 UPVC 支排水管, 形成完整的排水系统接入场地排水系统。为防止道砟及细颗粒石屑落入排水管内, 采用定制 PVC 网盖及土工布将排水支管封盖。

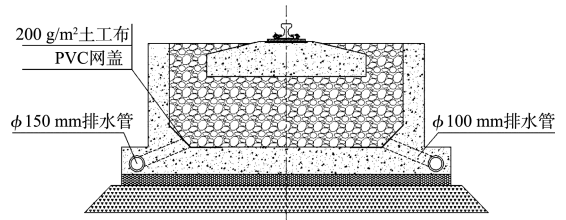


图 8 排水系统

#### 4.3 可调支座系统

可调支座系统见图 9, 包括轨枕本体内带锚筋的下层钢垫板、上层钢垫板、六角连接螺栓、硬质 PVC 套管、螺母 5 部分。下层钢垫板直接预埋在轨枕中, 上、下层钢垫板通过六角连接螺栓进行连接, 当需要进行高程调整时, 在上、下钢垫板间插入不同厚度的调节钢垫板。这种结构可调节 100 mm 以内的垂直不均匀沉降以及 6 mm 以内的水平位移, 该系统的设置可满足高精度、高效率微调的需要。

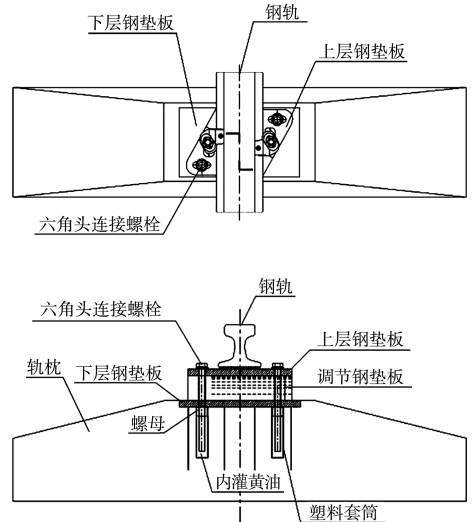


图 9 可调支座系统