



# 港口道路、堆场混凝土铺面垫层的设置

牛晓丹, 胡鹏

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

**摘要:** 回填开山石(渣)形成的港口陆域, 经过强夯和振动碾压后作为道路、堆场混凝土铺面的土基, 当前一般采用的回弹模量为 60 MPa, 并在土基上设置 200 mm 左右的碎石垫层。通过大连港建成的工程实例反算土基回弹模量, 认为混凝土铺面下采用土基回弹模量过低, 可大幅度提高, 且根据规范相关规定可不必设置垫层。

**关键词:** 混凝土铺面; 土基; 回弹模量; 垫层

中图分类号: U 652.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)07-0051-03

## Setting of gravel sub-base under concrete pavement of roads and storage yards at the port

NIU Xiao-dan, HU Peng

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

**Abstract:** The harbor land area formed by backfilling hill stones(broken bits) is served as the earth base under the pavement of roads and storage yards after dynamic compaction and vibration rolling. At present, the generally adopted rebound modulus is 60 MPa, and on the earth base, the gravel sub-base which is about 200 mm thick is set. Through the engineering project finished in Dalian port to inversely calculate the rebound modulus of earth base, it is considered that the rebound modulus of earth base adopted under the concrete pavement is too low and can be largely improved. According to relevant regulations of the specification, it is not necessary to set sub-base.

**Keywords:** concrete pavement; earth base; rebound modulus; sub-base

港口道路、堆场铺面结构可由面层、基层和垫层组成(图 1)。垫层之下为土基。港口陆域形成一般为回填开山石(渣)或吹填砂、淤泥质土, 之后进行地基处理。回填开山石(渣)形成的土基, 一般要经过强夯处理, 再进行振动碾压, 然后进行铺面施工。许多工程设置了 200 mm 左右的碎石垫层, 其目的是满足规范“各结构层材料回弹模量应自上而下递减”<sup>[1]</sup>的要求。碎石垫层之上一般为水泥或石灰粉煤灰稳定粒料, 回弹模量为 1 300~1 700 MPa。碎石垫层之下为土基, 回弹模量常取 60 MPa, 碎石垫层如级配良好, 回弹模量取 200~250 MPa, 这样就形成稳定粒料 1 300~1 700 MPa、碎石垫层 200~250 MPa、土基 60 MPa 的自上而下

递减的材料结构层。如果不设置碎石垫层, 则从 1 300~1 700 MPa 的稳定粒料直接过渡到 60 MPa 的土基, 显得相差太大而不协调。但是经过强夯和振动碾压的土基回弹模量远不止 60 MPa, 至少对于混凝土铺面就产生了是否有必要设置垫层的问题。

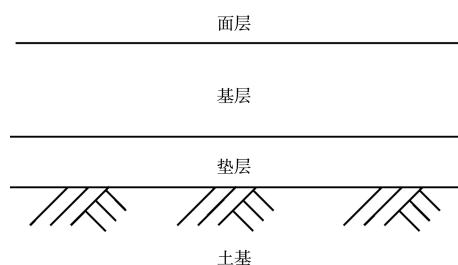


图 1 铺面结构

收稿日期: 2016-01-29

作者简介: 牛晓丹(1968—), 女, 工程师, 从事港口道路、堆场设计和技术管理工作。

## 1 从实际工程反算土基回填模量

### 1.1 铺面结构

大连港大窑湾港区一期工程5<sup>#</sup>~7<sup>#</sup>集装箱泊位箱角间面层为混凝土大板200 mm,基层为水泥稳定碎石400 mm,其下为土基,没有设置碎石垫层,见图2。作业区管理者为经营效益出发,在不允许TL45-5正面吊作业的集装箱堆场区,在其仅200 mm厚的混凝土大板面层上正面吊,运行了5 a,居然没有发现大板有任何破损<sup>[2]</sup>。

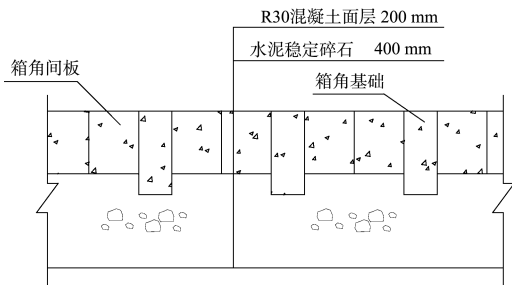


图2 集装箱堆场铺面结构

### 1.2 堆场荷载

在堆场上临时运行的设备(该堆场原设计不上正面吊,但是由于生产需要,采用了正面吊且混凝土大板面层完好无损)TL45-5正面吊荷载为控制荷载。正面吊轴质量120 t,前轮轮压为300 kN/轮,重载前轮接地面积0.46 m×0.65 m,流动机械荷载分级为P5,年运行次数300次,运行年限5 a,道路标准荷载作用次数 $N_m = 3.572 \times 10^7$ 次。

### 1.3 地质

堆场地质自上到下可分为3层:第4纪全新世海相沉积淤泥质土层,厚4~6 m;第4纪更新世洪坡积黄色砂卵石、碎石及黏性土层,一般厚1~3.5 m;震旦纪石灰岩和泥质板岩基岩层。

堆场为填海造地形成,在天然泥面上回填附近开采的开山石(渣),山体为石灰岩和泥质板岩。

### 1.4 土基回弹模量

#### 1.4.1 计算参数

轮型系数 $\alpha_i = 0.54$ ,旁侧轮或邻轴修正系数 $\beta_i = 4.3$ ,单侧轮载 $Q_i = 600$  kN,标准荷载 $Q_k = 300$  kN,荷载轮胎接地压强 $P_i = 1.0033$  MPa,标准荷载接地压强 $P_k = 1.0$  MPa,流动机械荷载重轴

轴数 $\eta_i = 1.0$ 。

水泥稳定碎石回弹模量取1500 MPa,土基回弹模量考虑混凝土大板影响增大因素<sup>[2]</sup>,经试算令其为550 MPa,混凝土弹性模量 $E_c = 30000$  MPa。

#### 1.4.2 地基综合反应模量

标准荷载当量圆直径 $D = 61.8$  cm,基层厚度 $h_s = 40$  cm。根据水泥稳定碎石基层厚度、当量圆直径和土基、基层回弹模量之比,按规范图表查得双层体系表面垂直位移系数 $W_c = 0.55$ 。计算层以下当量圆回弹模量 $E_t = (1 - \nu_0^2) E_0 / W_c \approx 900$  MPa,地基反应模量 $K = E_t / 0.95 \approx 950$  MPa。

#### 1.4.3 容许荷载弯拉应力

混凝土大板容许荷载弯拉应力为:

$$\sigma_a = K_1 K_2 K_3 K_4 f_{cm} \quad (1)$$

$$K_1 = \frac{1.17}{N_m^{0.0516}} \quad (2)$$

$$K_2 = 1.04 \ln \left( 2.8 - 1.75 \frac{\sigma_m}{f_{cm}} \right) \quad (3)$$

计算得 $K_1 = 0.48$ 、 $K_2 = 0.97$ ,另外 $K_3 = 0.85$ 、 $K_4 = 1.2$ 、混凝土设计弯拉强度 $f_{cm} = 5$  MPa,50 a一遇最大温度应力 $\sigma_m = 0.72$  MPa,得 $\sigma_a = 2.4$  MPa。

#### 1.4.4 荷载弯拉应力

根据地基综合反应模量和P<sub>5</sub>级荷载,查规范流动机械的荷载应力诺谟图(外延),估算混凝土大板标准荷载弯拉应力 $\sigma_b \leq 3.1$  MPa,荷载弯拉应力 $\sigma_c = K_d K_r \lambda \sigma_b < 2.4$  MPa。

#### 1.4.5 计算结果分析

根据容许荷载弯拉应力、荷载弯拉应力计算分析结果,混凝土大板面层强度满足规范要求,说明土基在考虑了铺面的约束作用,上层回弹模量 $E_0 \approx 550$  MPa是合适的。土基回弹模量如此之高,看起来难以接受,但仔细分析,并不难理解。

姚祖康<sup>[3]</sup>建议:“铺面采用混凝土大板结构时,地基的回弹模量值应提高3~5倍采用”。该堆场土基经过强夯和振动碾压处理的回弹模量应为 $E_0 = 400 \sim 650$  MPa。

## 2 类似工程的检验结果

水规院设计的宁波-舟山港梅山港区滚装及杂

货码头陆域由开山石(顶层为塘渣)形成的两处土基经过强夯(没有进行碾压)处理,采用弯沉车C028承载板试验仪B074进行检验,土基回弹模量分别为129.7、134.0 MPa。

### 3 垫层设置的必要性

对回填开山石(渣)形成的土基,除有特殊要求外,可不必设置垫层,理由如下:

1) 回填开山石(渣)形成的港口道路、堆场土基,经过强夯(一般能量较高)和振动碾压,回弹模量远不止60 MPa,相关试验检验证明,回弹模量达到了130 MPa左右,如含土量较多,添加适当石灰则回弹模量将达到200~700 MPa<sup>[4]</sup>。与碎石垫层的回弹模量相近或更高,各结构层材料回弹模量自上而下递减的作用不明显。

2) 根据《港口道路、堆场铺面设计与施工规范》:土基综合反应模量大于80 MPa(主干道、集装箱堆场)、60 MPa(其他铺面)时,可不设置基层,即混凝土大板可直接浇筑在土基上。对于本文实际工程而言,即使当土基回弹模量为60 MPa时,计算的地基综合反应模量将在200 MPa左右。此时,基层都没必要设置,设置垫层则更无必要。

3) 综上所述,回填开山石(渣)形成的港口、道路堆场混凝土铺面,土基经过强夯和振动碾压,在大连地区可不必设置垫层。在其他地区垫层的

设置可根据工程实际情况选择。

### 4 结论

1) 港口道路、堆场铺面,对回填石(渣)形成的陆域且经过强夯振动碾压处理,当前许多工程都设置了200 mm左右的碎石垫层。本文根据大连港实际工程的运营,考虑混凝土铺面的“约束作用”,反算土基回弹模量 $E_0 \approx 550$  MPa。经过以上分析,设置垫层“回弹模量自上而下递减”的作用不明显,反而增加了工程量、投资和施工工序,且与规范规定不符。

2) “当土基综合反应模量大于80 MPa时,可不设置基层”的规定,笔者认为,如果不设置基层,在车轴荷载反复作用下,土基的泥浆会从混凝土大板的缝隙中流出,从而破坏地基,因而基层还是需要的,但设置垫层就没有必要了。

### 参考文献:

- [1] JTJ 296—1996 港口道路、堆场铺面设计与施工规范[S].
- [2] 牛晓丹,胡鹏.正面吊作用下混凝土板规范计算厚度过大的原因探讨[J].水运工程,2012(9):200-202.
- [3] 同济大学交通运输学院.可与共学[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [4] JTJ D40—2011 公路水泥混凝土路面设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

(上接第50页)

### 参考文献:

- [1] JTS 144-1—2010 港口工程荷载规范[S].
- [2] 王新敏.ANSYS 工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007:7-11.
- [3] 博弈创作室.APDL 参数化有限元分析计算及其应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2004:13-22.
- [4] JTS 167-4—2012 板桩码头设计与施工规范[S]. [5] 刘永绣.板桩和地下墙码头的设计理论和方法[M].北京:

人民交通出版社,2006:198-201.

- [6] 任增金,只红茹.前板桩高桩码头结构形式的应用[J].水运工程,2014(3):107-110.
- [7] JTS 152—2012 水运工程钢结构设计规范[S].
- [8] JTS 167-1—2010 高桩码头设计与施工规范[S].
- [9] 杨杰,陈虹,应翰海.前板桩高桩承台结构计算模型及计算方法[J].水运工程,2009(5):44-46.

(本文编辑 武亚庆)