

中华人民共和国行业标准

港口道路与堆场设计规范

JTS 168—2017

主编单位:中交第四航务工程勘察设计院有限公司

批准部门:中华人民共和国交通运输部

施行日期:2018年3月1日

人民交通出版社股份有限公司

2017·北京

图书在版编目(CIP)数据

港口道路与堆场设计规范 / 中交第四航务工程勘察
设计院有限公司主编. —北京: 人民交通出版社股份有
限公司, 2017. 11

ISBN 978-7-114-14316-8

I. ①港… II. ①中… III. ①港口工程—道路工程—
设计规范②港口—堆场—设计规范 IV. ①U652.7
②U653.7-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 278298 号

中华人民共和国行业标准

书 名: 港口道路与堆场设计规范
著 作 者: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司
责任编辑: 董 方
出版发行: 人民交通出版社股份有限公司
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.chinasybook.com>
销售电话: (010)64981400, 59757915
总 经 销: 北京交实文化发展有限公司
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 880 × 1230 1/16
印 张: 7.5
字 数: 165 千
版 次: 2018 年 2 月 第 1 版
印 次: 2018 年 2 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-14316-8
定 价: 80.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通运输部关于发布《港口道路 与堆场设计规范》(JTS 168—2017)的公告

2017 年第 56 号

现发布《港口道路与堆场设计规范》(以下简称《规范》)。本《规范》为强制性行业标准,编号为 JTS 168—2017,自 2018 年 3 月 1 日起施行。《港口道路、堆场铺面设计与施工规范》(JTJ 296—96)中工程设计相关内容与本《规范》不一致的,以本《规范》为准。

本《规范》由交通运输部水运局负责管理和解释。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部

2017 年 12 月 11 日

制定说明

本规范是根据《交通运输部关于下达 2011 年度水运工程建设标准编制计划的通知》(交水发[2011]466 号)要求,由交通运输部水运局组织中交第四航务工程勘察设计院有限公司等单位,在总结我国近十多年来港口道路、堆场设计的经验基础上,通过深入调查研究,广泛征求有关单位和专家的意见制定而成。

《港口道路、堆场铺面设计与施工规范》(JTJ 296—96)主要针对港口道路、堆场铺面结构做出相关规定。自 1997 年 5 月颁布实施以来,对促进港口道路与堆场的建设发挥了重要作用。随着我国经济的发展,港口工程规模越来越大,使用荷载增大,铺面设计理论和方法改进,新技术、新设备和新材料的应用,原规范的适用范围和内容已不能适应我国港口道路与堆场的建设需要。为规范港口道路与堆场设计,统一港口道路与堆场设计的主要技术要求,保证港口道路与堆场工程的安全可靠、经济合理和技术先进,交通运输部水运局组织中交第四航务工程勘察设计院有限公司等单位制定了《港口道路与堆场设计规范》。

本规范共分 9 章和 7 个附录,并附条文说明。主要包括道路与堆场总体设计,地基设计,铺面结构设计,堆场构筑物结构设计,标志、标线设计,施工质量控制要求等技术内容。

本规范的主编单位为中交第四航务工程勘察设计院有限公司,参编单位为中交水运规划设计院有限公司、中交第三航务工程勘察设计院有限公司、同济大学、大连港集团有限公司、中国港湾工程有限责任公司等。

本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:卢永昌 袁静波
- 2 术语和符号:袁静波 沈迪州
- 3 基本规定:袁静波 谈至明 刘连生
- 4 道路与堆场总体设计:卢永昌 肖玉芳 文立 卢雁 贾镇
- 5 地基设计:焦淑贤 卢永昌 袁静波 徐刚
- 6 铺面结构设计:谈至明 周玉民 袁静波 廖名亮 韩冰 徐刚
- 7 堆场构筑物结构设计:刘连生 马德堂 沈迪州 李伟仪 贾镇
- 8 标志、标线设计:顾群 李雅婷 唐勤华
- 9 施工质量控制要求:林志宇 徐健

附录 A:谈至明 周玉民

附录 B:谈至明 周玉民

附录 C:谈至明 周玉民

附录 D:谈至明 周玉民

附录 E:谈至明 周玉民

附录 F:顾 群 李雅婷

附录 G:袁静波 徐 刚

本规范于 2016 年 8 月 10 日通过部审,于 2017 年 12 月 11 日发布,自 2018 年 3 月 1 日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。请各有关单位在执行过程中,将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街 11 号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:广东省广州市前进路 161 号,中交第四航务工程勘察设计院有限公司,邮政编码:510230),以便修订时参考。

目次

1 总则 (1)

2 术语和符号 (2)

2.1 术语 (2)

2.2 符号 (3)

3 基本规定 (4)

3.1 道路与堆场的分类及设计使用年限 (4)

3.2 设计荷载 (5)

3.3 铺面结构选型 (6)

3.4 流动机械标准荷载作用次数 (7)

4 道路与堆场总体设计 (8)

4.1 一般规定 (8)

4.2 平面设计 (8)

4.3 竖向设计 (8)

4.4 道路与构筑物交叉处理原则 (9)

5 地基设计 (10)

5.1 一般规定 (10)

5.2 设计要求 (10)

6 铺面结构设计 (13)

6.1 一般规定 (13)

6.2 沥青铺面 (16)

6.3 联锁块铺面 (18)

6.4 水泥混凝土铺面 (19)

6.5 独立块铺面 (24)

6.6 简易铺面 (25)

6.7 改建铺面 (25)

6.8 铺面间及铺面与其他建筑物相接处处理与构造措施 (27)

7 堆场构筑物结构设计 (31)

7.1 一般规定 (31)

7.2 轨道基础 (31)

7.3 跑道梁 (32)

7.4 集装箱箱角基础 (33)

7.5	其他构筑物	(33)
8	标志、标线设计	(35)
8.1	一般规定	(35)
8.2	港口标志	(35)
8.3	港口标线	(37)
9	施工质量控制要求	(40)
9.1	地基	(40)
9.2	粒料类基层与底基层(垫层)	(40)
9.3	稳定类基层与底基层(垫层)	(41)
9.4	沥青混合料面层	(41)
9.5	联锁块面层	(42)
9.6	水泥混凝土面层	(43)
9.7	独立块面层	(44)
9.8	路缘石	(45)
9.9	堆场构筑物	(45)
9.10	标志、标线	(45)
附录 A	流动机械的当量标准荷载作用次数系数	(46)
附录 B	铺面结构设计步骤	(57)
附录 C	铺面结构分析	(59)
附录 D	铺面材料的设计参数	(67)
附录 E	沥青面层疲劳等效温度	(71)
附录 F	标志标线图例	(73)
附录 G	本规范用词说明	(77)
引用标准名录		(78)
附加说明	本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、 总校人员和管理组人员名单	(79)
条文说明		(81)

1 总 则

- 1.0.1** 为适应港口建设发展需要,满足港口道路与堆场使用要求,统一港口道路与堆场设计技术要求,制定本规范。
- 1.0.2** 本规范适用于港口新建、改建、扩建的道路与堆场设计。
- 1.0.3** 港口道路与堆场设计应根据港口类别、使用要求、荷载情况、地基条件、材料供应、施工能力、养护条件和自然条件等,并结合实践经验,通过技术经济比较确定。
- 1.0.4** 港口道路与堆场的设计,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 铺面 Pavement

用各种建筑材料铺筑在地基上,直接承受流动机械荷载和堆货荷载的层状结构物。

2.1.2 水泥混凝土铺面 Cement Concrete Pavement

以配筋或不配筋的水泥混凝土作面层的铺面。

2.1.3 沥青铺面 Asphalt Pavement

以沥青混合料作面层的铺面。

2.1.4 联锁块铺面 Interlocking Block Pavement

以预制高强混凝土块体作面层,依靠块体之间的嵌锁作用承受和传递荷载的铺面。块体长边尺寸一般小于 25cm。

2.1.5 独立块铺面 Block Pavement

以预制混凝土块体作面层,单个块体独立受力的铺面。

2.1.6 简易铺面 Temporary Pavement

以级配碎(砾)石、泥结碎(砾)石、水泥稳定料等材料作面层的铺面。

2.1.7 刚性基层 Rigid Base

采用素混凝土、碾压混凝土、贫混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土等材料铺筑的基层。

2.1.8 半刚性基层 Semi-rigid Base

采用无机结合料稳定集料或土类材料铺筑的基层。

2.1.9 柔性基层 Flexible Base

采用热拌或冷拌沥青混合料、贯入式沥青碎石,以及不加任何结合料的粒料类等材料铺筑的基层。粒料类材料,包括级配碎石、级配砾石、级配砂砾、级配碎砾石,以及泥结碎石、填隙碎石等基层材料。

2.1.10 环境荷载 Environmental Load

铺面结构在其使用期内所承受的温度、湿度等环境变化的作用。

2.1.11 加州承载比 California Bearing Ratio(CBR)

表征地基土、粒料、稳定土强度的一种指标,即标准试件在贯入量为 2.5mm 时所施加的试验荷载与标准碎石材料在相同贯入量时所施加的荷载之比值,以百分率表示。

2.2 符 号

$P_1 \sim P_6$ ——流动机械标准荷载等级。

N_s ——铺面结构的标准荷载作用次数(次)。

w_i ——第 i 种流动机械的当量标准荷载作用次数系数。

γ_p ——铺面结构等级系数。

h_i ——第 i 层的厚度(m), i 为 c 时为水泥混凝土面层, i 为 a 时为沥青面层, i 为 I 时为联锁块或独立块面层, i 为 b 时为基层, i 为 g 时为粒料层。

E_i ——第 i 层的弹性模量(MPa)。

D_i ——第 i 层的弯曲刚度(MN · m)。

γ_d ——考虑荷载动态效应的动荷系数。

k_n ——考虑流动机械重复作用的疲劳折减系数。

k_y ——整体性材料弯拉强度的龄期增长系数。

k_T ——考虑温度应力疲劳影响的水泥混凝土弯拉强度折减系数。

k_{TM} ——考虑最大温度应力影响的水泥混凝土弯拉强度折减系数。

λ ——材料疲劳指数。

T_{pef} ——沥青面层疲劳等效温度(℃)。

3 基本规定

3.1 道路与堆场的分类及设计使用年限

3.1.1 道路与堆场分类应符合下列规定：

(1)港口道路按其交通功能分为主干道、次干道和支道,分类参照表 3.1.1 确定；

表 3.1.1 港口道路分类

主干道	全港性或作业区交通运输繁忙的主要道路
次干道	港口堆场内部、库场、流动机械库之间交通运输较繁忙的道路
支道	消防道路及港口内车辆较少的道路

(2)港口堆场按堆放货物种类,分为件杂货堆场、散货堆场、集装箱堆场、危险品堆场和商品汽车堆场等；

(3)码头前方作业地带。

3.1.2 港口道路与堆场铺面可划分为水泥混凝土铺面、联锁块铺面、独立块铺面、沥青铺面和简易铺面五类,铺面分类及面层材料选择宜符合表 3.1.2 的规定。

表 3.1.2 铺面分类及面层材料

铺面类型	面层材料
水泥混凝土铺面	素混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土和钢纤维混凝土
联锁块铺面	高强混凝土块体
沥青铺面	沥青混合料、沥青贯入式、沥青表面处治
独立块铺面	预制的六边形、四边形混凝土块
简易铺面	泥结碎(砾)石、级配碎(砾)石、水泥稳定料

3.1.3 港口铺面等级应符合表 3.1.3 的规定。

表 3.1.3 港口铺面等级

分类 \ 铺面等级	一	二	三
	主干道	次干道	支道
道路			
堆场	危险品堆场	集装箱堆场 件杂货堆场 商品汽车堆场	散货堆场
码头前方作业地带	码头前方作业地带	—	—

注:二级、三级铺面结构破坏可能产生严重后果时,可提高一个级别。

3.1.4 港口铺面设计使用年限应根据铺面等级、结构类型等,考虑环境和投资条件综合确定。各类铺面的设计使用年限不宜低于表 3.1.4 的规定。对于大型专业化港口,同类型铺面设计使用年限宜一致。

表 3.1.4 铺面设计使用年限(年)

铺面等级	一	二	三
水泥混凝土铺面	30	30	15
联锁块铺面	20	20	10
沥青铺面	15	15	8
独立块铺面	15	15	8

注:铺面结构有特殊使用要求时,可适当调整。

3.2 设计荷载

3.2.1 港口铺面结构的可变作用可分为流动机械荷载、堆货荷载和环境荷载等。流动机械荷载可分为动态的流动机械荷载,准静态的支腿(支座、支轮)荷载。

3.2.2 件杂货堆场、散货堆场铺面结构计算应采用流动机械荷载。

3.2.3 集装箱堆场铺面结构计算,采用的荷载应符合下列规定:

(1)采用单一轮胎龙门吊或轨道龙门吊装卸作业时,不同区域按不同荷载计算;行走流动机械的通道,采用流动机械荷载;集装箱箱角处取集装箱箱角荷载;

(2)采用跨运车、正面吊运机、叉车装卸作业时,分别按流动机械荷载与集装箱箱角荷载计算,取其不利者。

3.2.4 流动机械的设计荷载应根据装卸工艺流程和选用机械类型等确定,并应符合下列规定。

3.2.4.1 流动机械的设计荷载分满载和空载两种情况,满载设计荷载应取流动机械行走时常用最大载重量的最重轴的轴载,常用最大载重量可根据港口装卸工艺、货物类型及重量或经验确定,在资料缺乏时,可取现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)给出的重载最重轴的轴载标准值。

3.2.4.2 准静态的支腿(支座、支轮)设计荷载,可取流动机械额定最大荷载。

3.2.5 铺面结构的荷载等级和各荷载等级的设计标准单轮荷载应符合表 3.2.5 的规定。单一流动机械作用时,铺面结构的荷载等级应按其设计荷载轴载量或单侧轮载量确定;多种流动机械作用时,铺面结构的荷载等级宜按对铺面结构疲劳损伤最大的设计荷载轴载量或单侧轮载量确定,或按所有设计荷载中最重轴的轴载量或单侧轮载量确定。

表 3.2.5 荷载等级与标准单轮荷载

荷载等级	荷载范围		标准单轮荷载	
	轴载 (kN)	单侧轮载 (kN)	轮载 P_s (kN)	接地压强 q_s (MPa)
P_1	≤150	≤75	50	0.7
P_2	150 ~ 300	75 ~ 150	100	1.0

续表 3.2.5

荷载等级	荷载范围		标准单轮荷载	
	轴载 (kN)	单侧轮载 (kN)	轮载 P_s (kN)	接地压强 q_s (MPa)
P ₃	300 ~ 500	150 ~ 250	200	1.0
P ₄	500 ~ 700	250 ~ 350	300	1.0
P ₅	700 ~ 900	350 ~ 450	400	1.0
P ₆	> 900	> 450	500	1.0

注:当按轴载和单侧轮载划分的荷载等级不同时,荷载等级取高者。

3.2.6 集装箱箱角设计荷载,有当地港口集装箱箱重分布数据时,可按式(3.2.6)计算;当缺乏资料时,也可按现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)执行。

$$P_m = \frac{nm}{4} \left(\mu_p + \frac{2s_p}{\sqrt{nm}} \right) g$$

(3.2.6)

式中 P_m ——集装箱箱角设计荷载(kN);
 n ——堆载区的箱角数,单箱取1,单列箱取2,多列箱取4;
 m ——集装箱堆箱层数;
 μ_p ——集装箱箱重的均值(t);
 s_p ——集装箱箱重的标准差(t),集装箱空箱时, $s_p=0$;
 g ——重力加速度,取9.81m/s²。

3.3 铺面结构选型

3.3.1 道路与堆场铺面结构选型,应综合考虑港口装卸工艺、铺面等级、荷载等级、货种对面层的要求、地基条件以及施工条件等因素,通过技术经济比较确定。各类铺面结构的适用范围可参照表3.3.1确定。

表 3.3.1 铺面结构的适用范围

铺面等级 荷载等级		一						二				三		
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₁	P ₂	P ₃
铺面 类型	基层 类型													
水泥混凝土铺面	刚性、半刚性基层	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	○	○	○
联锁块铺面		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
沥青铺面		√	√	○	×	×	×	√	○	×	×	○	○	×
独立块铺面		○	×	×	×	×	×	√	○	×	×	√	√	○
联锁块铺面	柔性基层	√	○	○	×	×	×	√	√	○	×	√	√	√
沥青铺面		√	×	×	×	×	×	√	○	×	×	√	○	×
独立块铺面		○	×	×	×	×	×	√	○	×	×	√	○	×
简易铺面		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○

注:√宜;○可;×不宜。

- 3.3.2 地基条件较差、使用期沉降较大的工程宜选用能适应地基变形的铺面结构。
- 3.3.3 维修场、洗箱区、加油站、危险品堆场和其他可能造成腐蚀或污染的场地,应选用水泥混凝土铺面结构。

3.4 流动机械标准荷载作用次数

3.4.1 流动机械年运行次数应通过调查分析确定。当无资料时,可根据港口装卸工艺流程、流动机械类型及其行走路线,按式(3.4.1)计算。

$$N_i = \frac{Z_i W_i \psi \Delta}{\omega_i n_i} \tag{3.4.1}$$

- 式中 N_i ——第 i 种流动机械的年运行次数(次/年);
- Z_i ——第 i 种流动机械的装运量扩大系数,流动机械完成从码头至库场和库场至港外的二次运输时,取 2,完成一次运输时,取 1;
- W_i ——第 i 种流动机械每年所分担的货运数量(t 或 TEU 箱),如为集装箱数应计拆箱数及倒箱数;
- ψ ——不平衡系数,单条道路或通道取 1,多条道路或通道取 1.5~1.6;
- Δ ——轮迹重叠系数,跨运车通道时取 2,其他取 1;
- ω_i ——第 i 种装卸机械、运输车辆的常用起吊、装载量(t 或 TEU 箱),一次装运 1TEU 箱时取 1,一次装运 2TEU 箱时取 2;
- n_i ——可以分流的道路、通道条数。

3.4.2 铺面设计使用年限内的标准荷载作用次数可按式(3.4.2)计算。

$$N_s = t \sum_{i=1}^m \alpha_i N_i w_i \tag{3.4.2}$$

- 式中 N_s ——铺面结构的标准荷载作用次数(次);
- t ——铺面设计使用年限(年);
- m ——需换算的流动机械数量;
- α_i ——第 i 种流动机械的车道系数,按表 3.4.2 确定;
- N_i ——第 i 种流动机械的年运行次数(次/年);
- w_i ——第 i 种流动机械的当量标准荷载作用次数系数,按附录 A 确定。

表 3.4.2 流动荷载的车道系数

道路	单车道	1.0
	双车道	0.7
	不少于四车道	0.4
集装箱堆场通道	轮胎龙门吊、跨运车、底盘车	1.0
	正面吊、叉车	0.5
散货堆场	单通道	1.0
	多通道	0.5
件杂货堆场		0.3

4 道路与堆场总体设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 道路与堆场总体设计应符合工程总平面布置。
- 4.1.2 道路与堆场总体设计应根据装卸工艺流程和自然条件,合理组织港口货流和人流,减少相互干扰。
- 4.1.3 道路堆场纵坡、横坡设置与排水设计应根据陆域形成、地基处理与后期沉降情况,结合平面、工艺布置统筹考虑。
- 4.1.4 港口道路设计应考虑平、纵、横三方面要求,平面布置应顺畅、纵横坡设置应合理。
- 4.1.5 在人流密集区应设置人行道。
- 4.1.6 疏港道路设计应根据不同情况按本规范和国家现行标准的有关规定执行。

4.2 平面设计

- 4.2.1 港口道路与堆场的平面设计应满足生产作业和生产的需要,并符合现行行业标准《海港总体设计规范》(JTS 165)和《河港工程总体设计规范》(JTJ 212)的有关规定。
- 4.2.2 轮胎式集装箱龙门起重机调车道转向区宜沿通道中心线对称布置。调车道宽度应满足设备横移要求。
- 4.2.3 堆场装卸机械设备所设的附属设施基础应按设备使用要求进行布置,且避免与管沟交叉。
- 4.2.4 设独立箱角基础的集装箱堆场,箱角基础应按箱位对应布置。

4.3 竖向设计

- 4.3.1 港口陆域竖向设计应考虑地形及地基条件、排水要求、堆货高度等因素,结合港口装卸工艺综合确定。
- 4.3.2 港口陆域竖向设计的布置宜采用平坡式,当地形高差较大时可采用阶梯式。
- 4.3.3 港口场地坡度应符合现行行业标准《海港总体设计规范》(JTS 165)和《河港工程总体设计规范》(JTJ 212)的有关规定,并应符合下列规定。
 - 4.3.3.1 码头前方作业地带的地面坡度宜采用 0.5% ~ 1%。
 - 4.3.3.2 堆场地面坡度宜采用 0.3% ~ 1%。
 - 4.3.3.3 集装箱拆装箱库的地面坡度宜采用 0.5% ~ 1%;当拆装箱库一侧设置装卸站台时,地面坡度可采用 0.5% ~ 1.5%。
 - 4.3.3.4 道路和装卸机械通道设置横坡时,坡度不宜超过 2%。

4.3.3.5 拆装箱库、堆场、道路以外的场地,地面坡度宜采用 0.5% ~2%。

4.3.4 装卸设备固定行走路线的纵向坡度和横向高差应满足设备使用要求。

4.3.5 使用期沉降较大的散货、杂货堆场设计坡度可适当调整。

4.4 道路与构筑物交叉处理原则

4.4.1 道路与构筑物衔接处应控制沉降差,并平顺过渡。

4.4.2 港口道路与铁路平面交叉时,应符合现行行业标准《海港总体设计规范》(JTS 165)和《河港工程总体设计规范》(JTJ 212)的有关规定。交叉部位铺面结构设计应采取保证钢轨处行车平稳、减小沉降差的措施。

4.4.3 港口道路与跑道梁、轨道梁交叉时,应采取保证交叉处行车平稳、减小沉降差的措施。

4.4.4 管线在穿越道路时,宜垂直相交;斜交时,交角不宜小于 45°。管线应根据埋深和道路荷载大小采取相应保护措施;管线位于铺面结构范围内时,应采用结构保护措施。

5 地基设计

5.1 一般规定

- 5.1.1** 道路与堆场的地基应稳定、密实、均匀和具有足够强度。
- 5.1.2** 陆域形成采用的填料应根据材料来源、道路与堆场使用要求等综合确定。
- 5.1.3** 陆域吹填或回填的顶面高程应根据陆域设计高程、铺面结构层厚度、地基处理工艺、施工期沉降、地基承载力等要求综合确定。
- 5.1.4** 地基设计应根据陆域形成方式、地质条件、施工条件、道路与堆场使用要求、材料来源、工程投资、环保要求等因素,选择合适的地基处理方案。
- 5.1.5** 地基设计应进行地基承载力验算、沉降计算,必要时进行地基稳定验算。地基承载力验算、沉降计算与稳定验算应符合现行行业标准《水运工程地基设计规范》(JTS 147—1)的有关规定。

5.2 设计要求

- 5.2.1** 分层回填的地基压实度不宜低于表 5.2.1 中的数值。

表 5.2.1 地基压实度要求(%)

铺面底面以下深度(m)	铺 面 等 级		
	一	二	三
0~0.3	96	95	94
0.3~0.8	96	95	94
0.8~1.5	94	94	93
>1.5	93	92	90

- 注:压实度应按现行行业标准《公路土工试验规程》(JTG E40)重型击实试验所得最大干密度求得。
- 5.2.2** 一次性回填或开挖的地基顶面压实度不宜低于表 5.2.2 中的数值。地基顶面以下可采用标准贯入试验、静力(动力)触探等方法检验,满足承载力和地基变形要求。

表 5.2.2 地基顶面压实度要求(%)

铺 面 等 级	一	二	三
压实度	96	95	94

- 5.2.3** 道路与堆场地基填料应符合下列规定。
- 5.2.3.1** 地基填料宜选用级配良好的砾类土、砂类土等粗颗粒土。
- 5.2.3.2** 地基填料粒径应满足下列要求:

(1)一次性回填时,地基顶面以下 30cm 内填料最大粒径不大于 20cm;

(2)分层回填时,填料粒径应符合现行行业标准《公路路基设计规范》(JTG D30)的有关规定。

5.2.3.3 填料的最小加州承载比应符合表 5.2.3 的规定。

表 5.2.3 填料最小加州承载比要求

铺面底面以下深度 (m)	填料最小加州承载比 CBR (%)			
	荷载等级 P ₅ 、P ₆	集装箱堆场	件杂货堆场	散货堆场
0 ~ 0.3	8	8	8	6
0.3 ~ 0.8	8	8	5	4
0.8 ~ 1.5	8	5	4	3
1.5 ~ 2.0	6	4	3	2

- 注:①特殊情况可根据承载力分析计算确定;
②散货堆场可根据地基处理情况、使用要求、铺面结构类型适当放宽;
③P₄及以下对地基填料最小加州承载比的要求可参照件杂货或散货堆场。

5.2.4 地基顶面回弹模量应符合下列规定。

5.2.4.1 流动机械荷载等级为 P₃ ~ P₄、集装箱重箱堆场堆五层及以上时,地基顶面回弹模量值不应小于 60MPa。

5.2.4.2 流动机械荷载等级为 P₅ ~ P₆,地基顶面回弹模量应适当加大。

5.2.4.3 其他荷载情况地基顶面回弹模量值不应小于 35MPa。

5.2.4.4 临时性堆场地基顶面回弹模量值可适当降低。

5.2.4.5 当地基顶面回弹模量值不满足要求时,可采取改变填料、增设粒料层或用低剂量无机结合料改善等措施。

5.2.5 采用吹填疏浚软土成陆的地基,地基顶面以下的砂、砾等粗粒土层厚度应符合下列规定。

5.2.5.1 当要求地基顶面回弹模量值不小于 60MPa 时,砂、砾等粗粒土层厚度不宜小于 1.7m。

5.2.5.2 当要求地基顶面回弹模量值在 35MPa ~ 60MPa 时,砂、砾等粗粒土层厚度不宜小于 1.2m。

5.2.5.3 流动机械荷载等级为 P₅ ~ P₆时,砂、砾等粗粒土层厚度应适当增加;临时性堆场可适当减小。

5.2.6 港口道路与堆场结构层下的地基承载力特征值应满足使用要求,集装箱重箱堆场堆五层及以上时不宜小于 150kPa,其他情况时不应小于 80kPa。

5.2.7 道路与堆场设计使用年限内的地基沉降应符合下列规定。

5.2.7.1 集装箱堆场和水泥混凝土铺面地基沉降不宜大于 0.30m;除散货堆场外,其他类型道路与堆场铺面地基沉降不宜大于 0.40m,临时工程或有经验时地基沉降标准可适当调整。

5.2.7.2 地基差异沉降不宜大于 0.5%,轨道基础应满足机械设备的安装及行走要求。

5.2.7.3 沉降应满足管线、工艺设备等的要求。

5.2.8 散货堆场地基处理应满足承载力及稳定要求,场地高程在满足总平面高程布置及工艺设备要求的前提下,可根据计算的后期沉降适当预留。

5.2.9 集装箱箱角基础、固定行走路线的工艺设备基础、其他构筑物基础等应进行地基承载力验算。

5.2.10 散货堆场应进行整体稳定性验算。

5.2.11 地基变形计算应包括下列内容:

- (1)道路与堆场地基沉降及差异沉降;
- (2)局部集中荷载下构筑物的地基沉降及差异沉降;
- (3)码头前沿与后方陆域的差异沉降。

6 铺面结构设计

6.1 一般规定

6.1.1 铺面结构自上而下可由面层、基层、底基层及垫层组成。铺面结构层设计应符合下列规定。

6.1.1.1 铺面结构组合设计应使各个结构层的力学特性及其组成材料性质满足相应的功能要求。

6.1.1.2 铺面结构应设置完善的防水、排水体系,减少雨雪水、层间水等在铺面结构中滞留。

6.1.1.3 季节性冰冻地区的铺面结构总厚度不应小于其最小防冻厚度。荷载等级为 P_1 、 P_2 的铺面结构层最小防冻厚度可按表 6.1.1 确定。 P_3 及以上等级的铺面结构层最小防冻厚度宜在表 6.1.1 的数值基础上增加 100mm ~ 400mm。

表 6.1.1 铺面结构最小防冻厚度 (mm)

地基 干湿类型	地 基 土 质	当地最大冰冻深度 (mm)			
		500 ~ 1000	1000 ~ 1500	1500 ~ 2000	> 2000
中湿	黏质土	450	500	600	700
	粉质土	500	600	700	750
潮湿	黏质土	550	600	700	800
	粉质土	600	700	800	1000

6.1.2 铺面结构设计结构等级系数应按表 6.1.2 确定。

表 6.1.2 铺面结构等级系数

铺 面 等 级	一	二	三
结构等级系数 γ_p	1.05	1.0	0.95

6.1.3 面层应具有足够的强度和耐久性,表面应抗滑、耐磨、平整。

6.1.4 基层和底基层设计应符合下列规定。

6.1.4.1 基层和底基层应具有足够的承载能力、良好的抗车辙和抗疲劳开裂性能、足够的耐久性和水稳定性。

6.1.4.2 基层和底基层材料应依据铺面等级、荷载等级、结构层组合要求和当地材料供应条件等确定,缺乏工程经验时可参照表 6.1.4-1 和表 6.1.4-2 确定。

表 6.1.4-1 基层材料类型选用

铺面等级	一						二				三		
荷载等级	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₁	P ₂	P ₃
贫混凝土、碾压混凝土	○	○	√	√	√	√	○	○	√	√	○	○	○
沥青混合料	○	○	○	○	√	√	○	○	○	○	×	×	×
水泥稳定碎石	√	√	√	√	○	○	√	√	√	√	√	√	√
石灰粉煤灰稳定碎石	○	○	×	×	×	×	√	○	○	×	√	√	○
级配碎石	○	○	×	×	×	×	√	○	×	×	√	○	○

注：√宜；○可；×不宜。

表 6.1.4-2 底基层材料类型选用

铺面等级	一						二				三		
荷载等级	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₁	P ₂	P ₃
水泥稳定碎石	√	√	√	√	√	√	○	√	√	√	○	○	√
石灰粉煤灰稳定碎石	√	√	√	√	√	○	√	√	√	√	√	√	√
水泥稳定砂砾	√	√	√	√	○	○	√	√	√	√	√	√	√
水泥石灰稳定土	√	√	○	○	○	×	√	√	○	○	√	√	√
级配碎石、级配砾石	√	√	○	○	○	×	√	√	○	○	√	√	√
填隙碎石	√	○	○	○	×	×	√	○	○	○	√	√	○
未筛分碎石	○	○	○	×	×	×	√	○	○	×	√	√	○
天然砂砾	○	○	○	×	×	×	√	○	○	×	√	√	○

注：√宜；○可；×不宜。

6.1.4.3 水泥混凝土铺面设置贫混凝土、碾压混凝土基层时,基层上宜铺设沥青混合料夹层,层厚不宜小于 40mm。无机结合料稳定类基层的水泥混凝土铺面和沥青铺面,基层上宜设置封层,封层可采用单层沥青表面处治或膜层材料等;当采用单层沥青表面处治时,层厚不宜小于 6mm。

6.1.4.4 当贫混凝土 28d 弯拉强度设计值大于等于 2.5MPa,碾压混凝土 28d 弯拉强度设计值大于等于 3.0MPa 时,基层宜预设缩缝或锯切成缝,切缝深度可取层厚的 1/3 ~ 1/4,缝间距可取 5m ~ 15m,预设缩缝或切缝应用沥青等材料填封;预设缩缝或切缝的贫混凝土、碾压混凝土基层宜设置半刚性材料的底基层。水泥混凝土铺面时,基层预设缝或切缝的间距与位置应与面层板接缝相协调。

6.1.4.5 基层和底基层的结构层最小厚度,可按所选集料的公称最大粒径和压实效果的要求确定,并应符合表 6.1.4-3 的规定。沥青混合料基层的结构层最小厚度应符合现

行行业标准《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的有关规定。

表 6.1.4-3 基层和底基层结构层最小厚度

材 料 种 类	最小层厚(mm)
贫混凝土、碾压混凝土	120
水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石、水泥稳定砂砾	150
级配碎石、级配砾石、未筛分碎石	150
水泥石灰稳定土	150
填隙碎石、天然砂砾	150

6.1.4.6 铺面结构边缘,下层结构伸出宽度应根据施工设备作业要求确定,底基层或垫层宽度宜比基层每侧宽出不少于 200mm,基层宽度宜比面层每侧宽出不少于 200mm。

6.1.4.7 贫混凝土集料公称最大粒径不宜大于 31.5mm,水泥用量不应少于 170kg/m³, 28d 弯拉强度设计值不宜低于 2.0MPa。

6.1.4.8 碾压混凝土集料公称最大粒径不应大于 26.5mm,水泥用量不应少于 280kg/m³, 28d 弯拉强度设计值不宜低于 3.0MPa。

6.1.4.9 水泥稳定碎石或砾石的集料公称最大粒径不宜大于 31.5mm,小于 0.075mm 的细粒含量不应大于 5%,水泥用量宜为 3%~6%。用作基层时,28d 抗压强度设计值不宜低于 6.0MPa;用作底基层时,28d 抗压强度设计值不宜低于 4.0MPa。

6.1.4.10 石灰粉煤灰稳定碎石或砾石的集料公称最大粒径不宜大于 31.5mm,小于 0.075mm 的细粒含量不应大于 7%。石灰与粉煤灰的配比宜为 1:2~1:4;粒料与石灰粉煤灰的配比宜为 85:15~80:20。用作基层时,28d 抗压强度设计值不宜低于 4.0MPa;用作底基层时,28d 抗压强度设计值不宜低于 2.0MPa。

6.1.4.11 级配碎石的加州承载比(CBR),用作基层时不应小于 120;用作底基层时,流动机械荷载等级 P₃~P₆、集装箱重箱堆场堆三层及以上时不应小于 120,其他荷载情况不应小于 80。级配砾石或天然砂砾的 CBR 不应小于 60,用于临时、简易铺面时,其 CBR 不应小于 40。

6.1.4.12 级配碎石的级配范围可参照表 6.1.4-4 确定。级配砾石的级配范围可参照表 6.1.4-5 确定。

表 6.1.4-4 级配碎石的级配

层位	通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
基层	—	100	95~100	82~89	70~79	53~63	30~40	19~28	12~20	8~14	5~10	3~7	2~5
	—	100	79~88	70~82	61~76	49~64	30~40	19~28	12~20	8~14	5~10	3~7	2~5
底基层	—	100	79~88	70~82	61~76	49~64	30~40	19~28	12~20	8~14	5~10	3~7	2~5
	100	90~95	72~84	65~79	57~72	47~62	30~40	19~28	12~20	8~14	5~10	3~7	2~5

表 6.1.4-5 级配砾石的级配

通过下列筛孔(mm)的质量百分率(%)											
37.5	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.075
100	90~100	80~93	64~81	57~75	50~69	40~60	25~45	16~31	11~22	7~15	2~5
—	100	90~100	70~86	62~79	54~72	42~62	25~45	16~31	11~22	7~15	2~5

6.1.4.13 沥青混合料基层级配应符合现行行业标准《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的有关规定。

6.1.5 垫层设计应符合下列规定。

6.1.5.1 季节性冰冻地区,铺面结构厚度小于表 6.1.1 规定的最小防冻厚度要求时,应设置防冻垫层。水文地质条件不良区域,宜设置排水垫层。

6.1.5.2 垫层厚度不应小于 150mm。

6.1.5.3 垫层宜采用碎石、砂砾等粒料类材料。防冻垫层采用的粒料最大粒径不应超过 53.0mm,小于 0.075mm 的细粒含量不宜大于 5%。排水垫层的粒料级配应同时满足渗水和反滤的要求。

6.1.6 对于联锁块铺面或独立块铺面,宜设置基层或垫层排水系统。排水系统可采用井圈带孔雨水口、带孔集水管或排水复合板等铺面结构排水设施,排水系统的设置应与场地表面坡度方向协调一致。

6.2 沥 青 铺 面

6.2.1 沥青混合料可用作港口道路和商品汽车堆场的面层。沥青表面处治可用作临时性铺面面层。

6.2.2 沥青混合料面层宜采用双层或三层式,表面层宜选用密级配沥青混合料或沥青玛蹄脂碎石(SMA),表面层沥青混合料公称最大粒径不宜大于 16mm,中、下面层沥青混合料公称最大粒径不宜小于 16mm。各层厚度不宜小于混合料公称最大粒径的 2.5 倍。

6.2.3 沥青铺面结构在设计使用年限内,应满足下列要求:

(1)基层或底基层为刚性或半刚性的整体性材料时,基层或底基层结构不发生疲劳开裂和一次极限断裂破坏;

(2)基层为粒料时,沥青混合料面层不发生疲劳开裂损坏;基层和底基层均为粒料时,地基尚应不发生过量塑性变形损坏。

6.2.4 沥青铺面结构分析宜采用弹性层状体系模型。结构层厚度设计步骤见附录 B。

6.2.5 沥青面层疲劳开裂的极限状态应满足式(6.2.5-1)要求。

$$\gamma_p \varepsilon_a \leq k_n [\varepsilon_a] \tag{6.2.5-1}$$

$$k_n = N_s^{-0.25} \tag{6.2.5-2}$$

$$[\varepsilon_a] = 0.011 \frac{VFA^{0.68}}{E_a^{0.4}} \tag{6.2.5-3}$$

$$E_a = E_{a.20} \times 10^{-0.02(T_{pet}-20)} \tag{6.2.5-4}$$

式中 γ_p ——铺面结构设计结构等级系数,按表 6.1.2 确定;
 ε_a ——设计标准荷载作用下沥青面层的最大弯拉应变,近似计算方法见附录 C;
 k_n ——考虑流动机械重复作用的沥青面层允许弯拉应变的疲劳折减系数;
 $[\varepsilon_a]$ ——沥青混合料的极限弯拉应变;
 N_s ——设计使用年限内设计标准荷载的累计作用次数,按式(3.4.2)计算;
 VFA ——沥青混合料的沥青饱和度(%);
 E_a ——沥青面层疲劳等效模量(MPa);
 $E_{a,20}$ ——20℃的沥青混合料动态弹性模量(MPa),可按附录 D 确定;面层由两层或两层以上不同弹性模量的材料构成时,应按附录 C 等效为当量弹性模量;
 T_{pef} ——沥青面层疲劳等效温度(℃),按附录 E 确定。

6.2.6 不设纵、横向接缝的整体性材料基层或底基层疲劳开裂和一次极限断裂的极限状态应满足式(6.2.6-1)、式(6.2.6-2)要求。

$$\gamma_p \sigma_b \leq k_n k_y f_{r,b} \quad (6.2.6-1)$$

$$\gamma_p \sigma_{b,m} \leq k_d k_y f_{r,b} \quad (6.2.6-2)$$

$$k_n = 1.17 N_s^{-0.065} \quad (6.2.6-3)$$

$$k_n = 1.06 - 0.08 \lg N_s \quad (6.2.6-4)$$

式中 γ_p ——铺面结构设计结构等级系数,按表 6.1.2 确定;
 σ_b ——设计标准荷载所产生的基层或底基层的最大弯拉应力(MPa),近似计算方法见附录 C;
 k_n ——考虑流动机械重复作用的基层或底基层材料弯拉强度的疲劳折减系数,贫混凝土、碾压混凝土可按式(6.2.6-3)计算,无机结合料稳定类材料可按式(6.2.6-4)计算;
 k_y ——整体性材料弯拉强度的龄期增长系数,应通过室内试验或当地工程经验确定,在缺乏资料且不外掺早强剂时,可参照表 6.2.6 确定;
 $f_{r,b}$ ——28d 龄期的基层或底基层材料的弯拉强度设计值(MPa);
 $\sigma_{b,m}$ ——流动机械的支腿(支座、支轮)荷载所产生的基层或底基层的最大弯拉应力(MPa),近似计算方法见附录 C;
 k_d ——考虑流动机械的支腿(支座、支轮)荷载一次作用的折减系数,可取 0.95,也可根据工程经验确定;
 N_s ——设计使用年限内设计标准荷载的累计作用次数,按式(3.4.2)计算。

表 6.2.6 整体性材料弯拉强度的龄期增长系数

开放使用时的材料龄期	28d	三个月	半年	一年
水泥混凝土、贫混凝土、碾压混凝土	1.00	1.09	1.15	1.21
水泥稳定粒料	1.00	1.12	1.19	1.25
石灰粉煤灰稳定粒料	1.00	1.14	1.21	1.29

6.2.7 基层采用设纵、横向接缝的贫混凝土、碾压混凝土或素混凝土时,铺面结构验算应

按第 6.4.4 条、第 6.4.5 条进行,沥青面层和基层合并为当量面层,板间传荷和基层超宽效应系数取 0.65,计算温度应力时,当量面层厚度等于沥青面层和基层的当量总厚度减去 40mm。基层顶面应设置防止或延缓基层接缝反射至面层的技术措施。

6.2.8 地基塑性变形的极限状态应满足式(6.2.8-1)要求。

$$\gamma_p \varepsilon_z \leq k_n [\varepsilon_z] \tag{6.2.8-1}$$

$$k_n = N_s^{-0.2} \tag{6.2.8-2}$$

式中 γ_p ——铺面结构设计结构等级系数,按表 6.1.2 确定;

ε_z ——设计标准荷载作用下地基的最大压应变,近似计算方法见附录 C;

k_n ——考虑流动机械重复作用的疲劳折减系数;

$[\varepsilon_z]$ ——地基的极限压应变,可取 0.83×10^{-2} ;

N_s ——设计使用年限内设计标准荷载的累计作用次数,按式(3.4.2)计算。

6.2.9 沥青混合料应满足其高温稳定性,低温抗裂性和水稳定性等的要求。配合比设计可采用马歇尔法或选用其他方法。

6.2.10 沥青混合料材料及技术指标应符合现行行业标准《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)和《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)的相关规定。

6.3 联锁块铺面

6.3.1 联锁块应符合现行国家标准《混凝土路面砖》(GB 28635)的有关规定,块体长度可采用 200mm~250mm,宽度可采用 100mm~125mm,长宽比可采用 2:1。

6.3.2 联锁块铺面结构在设计使用年限内,应满足下列要求:

(1) 基层或底基层为刚性或半刚性的整体性材料时,基层或底基层结构不发生疲劳开裂和一次或持久极限断裂破坏;

(2) 基层和底基层均为粒料时,地基不发生过量塑性变形损坏。

6.3.3 联锁块铺面结构分析宜采用弹性有限元模型,或简化为弹性层状体系模型。结构层厚度设计步骤见附录 B。

6.3.4 不设纵、横向接缝的整体性材料基层或底基层的极限状态,在港口道路和流动机械作业区应符合第 6.2.6 条的规定,在集装箱堆货区应满足式(6.3.4)要求。

$$\gamma_p \sigma_{b.m} \leq k_d k_y f_{r.b} \tag{6.3.4}$$

式中 γ_p ——铺面结构设计结构等级系数,按表 6.1.2 确定;

$\sigma_{b.m}$ ——集装箱箱角荷载所产生的基层或底基层的最大弯拉应力(MPa),近似计算方法见附录 C;

k_d ——考虑集装箱箱角荷载持久作用的折减系数,可取 0.9;

k_y ——整体性材料弯拉强度的龄期增长系数,应符合第 6.2.6 条的规定;

$f_{r.b}$ ——28d 龄期的基层或底基层材料的弯拉强度设计值(MPa)。

6.3.5 基层采用设纵、横向接缝的贫混凝土、碾压混凝土或素混凝土时,铺面结构验算应按第 6.4.4 条、第 6.4.5 条进行,联锁块面层和基层合并为当量面层,板间传荷和基层超

宽效应系数取 0.65,计算温度应力时,当量面层厚度等于联锁块面层和基层的当量总厚度。

6.3.6 地基塑性变形的极限状态应符合第 6.2.8 条的规定。

6.3.7 集装箱重箱堆场箱角区混凝土联锁块的块体抗压强度不应低于 C_{60} ,块体厚度不应小于 100mm。流动机械作业区和堆货区联锁块的块体抗压强度不应低于 C_{50} ;荷载等级 P_1 、 P_2 时,块体厚度不应小于 80mm,荷载等级 P_3 及以上时,块体厚度不应小于 100mm。人行道混凝土联锁块的块体抗压强度不应低于 C_{40} ,块体厚度不应小于 60mm。

6.3.8 联锁块铺面砂垫层厚度宜采用 30mm ~ 50mm。砂垫层级配宜符合表 6.3.8 的规定。

表 6.3.8 砂垫层级配要求

筛孔尺寸 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
通过质量百分率 (%)	100	90 ~ 100	50 ~ 80	10 ~ 30	5 ~ 15	0 ~ 10

6.3.9 联锁块铺面块体间最大缝宽应小于 5mm,平均缝宽不宜大于 3mm。填缝砂为中细砂,含泥量应小于 3%,含水率宜小于 3%,级配宜符合表 6.3.9 的规定。填缝砂中宜添加 5% 的石灰粉,搅拌均匀,块体填缝料应填实。

表 6.3.9 填缝砂级配要求

筛孔尺寸 (mm)	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过质量百分率 (%)	100	90 ~ 100	60 ~ 90	30 ~ 60	15 ~ 30	5 ~ 10

6.3.10 联锁块铺面宜采用人字形铺筑,铺面边缘应设置边缘约束,缘石应有足够埋置深度,其下应设混凝土基座,如图 6.3.10 所示。

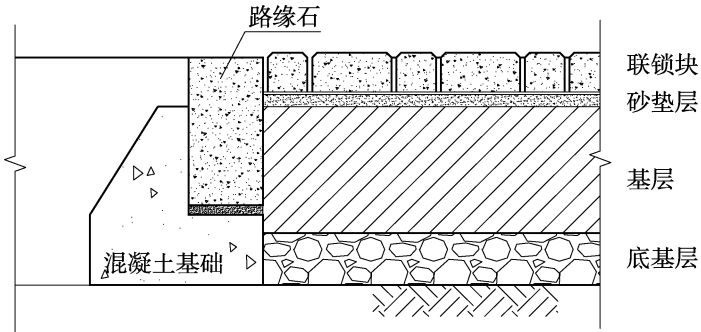


图 6.3.10 联锁块铺面的边缘约束示意图

6.3.11 砂垫层边缘及可能有漏砂隐患的区域,砂垫层下宜铺设土工布。

6.4 水泥混凝土铺面

6.4.1 水泥混凝土铺面的面层可采用设接缝的素混凝土。当面层板的平面尺寸较大或形状不规则,铺面结构下埋有地下设施,或可能产生不均匀沉降时,应采用接缝设置传力杆的钢筋混凝土面层。连续配筋混凝土、碾压混凝土、钢纤维混凝土铺面可依据其适用条件选用。

6.4.2 水泥混凝土铺面结构在设计使用年限内,应满足面层板不发生疲劳开裂和一次或持久极限断裂破坏的要求。

6.4.3 水泥混凝土铺面结构分析可采用弹性地基上双层板或实体模型。结构层厚度设计步骤见附录 B。

6.4.4 面层板疲劳开裂的极限状态应满足式(6.4.4-1)要求。

$$\gamma_p \sigma_c \leq k_n k_T k_y f_{r.c} \tag{6.4.4-1}$$

$$k_T = \min \left[0.98, 1.04 \ln \left(2.80 - 1.75 \frac{\sigma_{TM}}{f_{r.c}} \right) \right] \tag{6.4.4-2}$$

$$k_n = 1.17 N_s^{-\lambda} \tag{6.4.4-3}$$

$$\lambda = 0.053 - 0.017 \rho_f \frac{l_f}{d_f} \tag{6.4.4-4}$$

式中 γ_p ——铺面结构设计结构等级系数,按表 6.1.2 确定;
 σ_c ——设计标准荷载位于临界荷位处产生的面层板最大弯拉应力(MPa),近似计算方法见附录 C;
 k_n ——考虑流动机械重复作用的水泥混凝土弯拉强度的疲劳折减系数;
 k_T ——疲劳温度应力折减系数,即为考虑温度应力疲劳影响的水泥混凝土弯拉强度折减系数,面层板厚度大于 0.5m 时可取 1;面层板厚度小于等于 0.5m 时可按式(6.4.4-2)计算;
 k_y ——水泥混凝土弯拉强度的龄期增长系数,应符合第 6.2.6 条的规定;
 $f_{r.c}$ ——28d 龄期的水泥混凝土弯拉强度设计值(MPa);
 σ_{TM} ——50 年一遇最大温度梯度所产生的最大温度应力(MPa),近似计算方法见附录 C;
 N_s ——设计使用年限内设计标准荷载的累计作用次数,按式(3.4.2)计算;
 λ ——材料疲劳指数,素混凝土、钢筋混凝土可取 0.057;碾压混凝土可取 0.065;钢纤维混凝土可按式(6.4.4-4)计算;
 ρ_f ——钢纤维的体积率(%);
 l_f ——钢纤维的长度(mm);
 d_f ——钢纤维的直径(mm)。

6.4.5 面层板一次或持久极限断裂的极限状态应满足式(6.4.5-1)要求。

$$\gamma_p \sigma_{c.m} \leq k_d k_{TM} k_y f_{r.c} \tag{6.4.5-1}$$

$$k_{TM} = \min \left(0.95, 1 - \frac{\sigma_{TM}}{f_{r.c}} \right) \tag{6.4.5-2}$$

式中 γ_p ——铺面结构设计结构等级系数,按表 6.1.2 确定;
 $\sigma_{c.m}$ ——流动机械的支腿(支座、支轮)荷载所产生的面层板最大弯拉应力,或集装

箱箱角荷载所产生的面层板弯拉应力(MPa),近似计算方法见附录 C;

k_d ——荷载一次或持久作用折减系数,流动机械支腿(支座、支轮)荷载时可取 0.95,集装箱箱角荷载时可取 0.9;

k_{TM} ——最大温度应力折减系数,即为考虑最大温度应力影响的水泥混凝土弯拉强度折减系数,集装箱堆货区可取 1;非集装箱堆货区时可按式(6.4.5-2)计算;

k_y ——水泥混凝土弯拉强度的龄期增长系数,应符合第 6.2.6 条的规定;

$f_{r,c}$ ——28d 龄期的水泥混凝土弯拉强度设计值(MPa);

σ_{TM} ——50 年一遇最大温度梯度所产生的最大温度应力(MPa),近似计算方法见附录 C。

6.4.6 港区道路与流动机械通道的水泥混凝土面层设计厚度宜依据计算厚度加 6mm 磨耗层后,按 10mm 向上取整。

6.4.7 水泥混凝土弯拉强度设计值,集装箱堆场和荷载等级 P_3 及以上时,不宜低于 5.0MPa;荷载等级 P_1 、 P_2 时不宜低于 4.5MPa;辅助区不宜低于 4.0MPa。

6.4.8 水泥混凝土集料公称最大粒径不应大于 26.5mm。砂的细度模数不宜小于 2.5。非冰冻地区水泥用量不应少于 $300\text{kg}/\text{m}^3$,冰冻地区不应少于 $320\text{kg}/\text{m}^3$ 。冰冻地区的混凝土中应掺加引气剂。

6.4.9 普通钢纤维混凝土的钢纤维体积率宜取 0.6%~1.0%,抗拉强度大于 1400MPa 的高强钢纤维体积率不宜小于 0.4%。钢纤维混凝土面层厚度可采用素混凝土面层厚度的 0.65~0.75 倍,按钢纤维掺量确定。最小厚度不应低于 180mm。

6.4.10 岩质地基应铺设 0.1m~0.15m 贫混凝土整平层,整平层上宜加铺沥青混合料夹层,水泥混凝土面层厚度可取地基顶面回弹模量为 100MPa 时面层计算厚度的 0.7 倍,且面层厚度不应小于 180mm。

6.4.11 港口道路、流动机械荷载作业区,面层可采用拉毛、拉槽、压槽或刻槽等方法筑做表面构造,构造深度不宜小于 0.7mm;铺面等级为一、二级时,应采用刻槽法筑做表面构造。

6.4.12 接缝设计应符合下列规定。

6.4.12.1 混凝土面层板可采用矩形分块。素混凝土面层板长、宽不宜大于 5m,长宽比不宜大于 1.35,面积不宜大于 25m^2 。钢筋混凝土面层板长、宽不宜大于 10m,长宽比不宜大于 2.5,面积不宜大于 45m^2 。钢纤维混凝土面层板分块尺寸可取素混凝土面层板的 1.0~1.6 倍。

6.4.12.2 道路与流动机械通道横向施工缝应采用设传力杆的平缝形式,构造如图 6.4.12-1(a)所示。横向缩缝可采用假缝形式,铺面等级一级、荷载等级 P_3 及以上、邻近胀缝或自由端部的 3 条横向缩缝,应采用设传力杆假缝形式,构造如图 6.4.12-1(b)所示;其他情况可采用不设传力杆假缝形式,构造如图 6.4.12-1(c)所示。传力杆设置不应妨碍相邻混凝土板的自由伸缩,钢筋表面应作防锈处理。

6.4.12.3 铺面等级一级且荷载等级 P_3 及以上的堆场接缝应采用设传力杆的假缝形式,构造如图 6.4.12-1(b)所示。

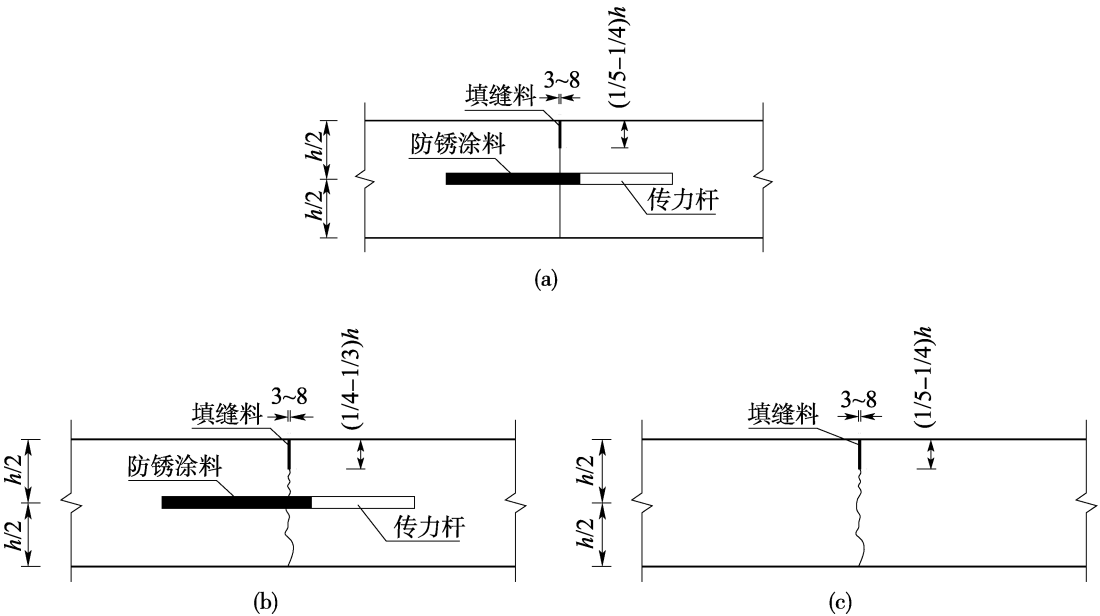


图 6.4.12-1 横向缩缝构造(单位:mm)
(a)设传力杆假缝;(b)设传力杆假缝;(c)不设传力杆假缝

6.4.12.4 道路与流动机械通道纵向接缝应采用设拉杆的平缝(施工缝)或缩缝,构造如图 6.4.12-2 所示。钢筋混凝土铺面的拉杆宜采用加长横向钢筋代替。

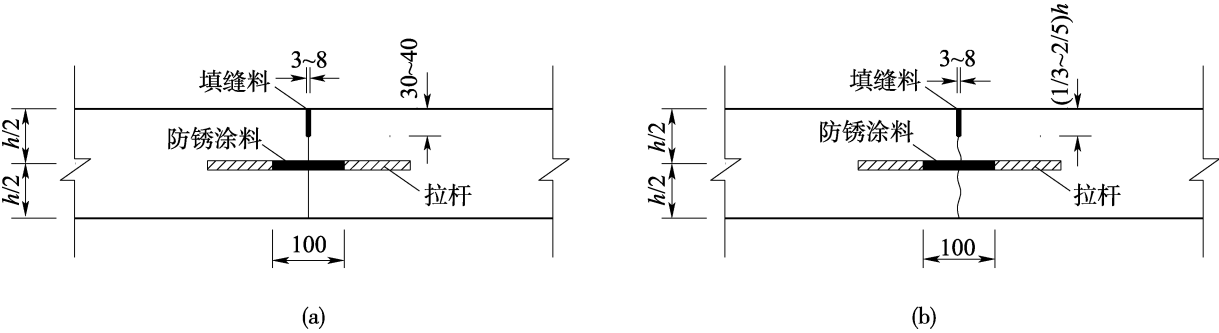


图 6.4.12-2 纵缝构造(单位:mm)
(a)纵向施工缝;(b)纵向缩缝

6.4.12.5 拉杆应采用螺纹钢筋,设在板厚中央,并应对拉杆中部 100mm 范围内进行防锈处理。拉杆的直径、长度和间距,可参照表 6.4.12-1 确定。

表 6.4.12-1 拉杆直径、长度和间距(mm)

面层厚度 (mm)	纵缝到自由边或未设拉杆纵缝的距离(m)				
	5	7.5	10	12.5	15
<250	14×700×600	14×700×500	16×700×500	16×700×400	18×800×400
250~400	16×800×500	16×800×400	18×800×400	18×800×300	20×800×300
≥400	18×800×500	18×800×400	20×800×400	20×800×300	22×800×300

注:拉杆尺寸数字为直径×长度×间距。

6.4.13.2 纵向和横向钢筋宜采用相同或相近的直径,直径差不应大于 4mm。钢筋的最小直径和最大间距应符合表 6.4.13 的规定。钢筋的最小间距不宜小于集料最大粒径的 2 倍。

表 6.4.13 钢筋最小直径和最大间距 (mm)

钢筋类型	最小直径	纵向钢筋最大间距	横向钢筋最大间距
光圆钢筋	8	150	300
螺纹钢筋	12	350	600

6.4.13.3 纵向钢筋可设在面层顶面下 1/3 ~ 1/2 厚度范围内,在不影响施工的情况下宜设在接近面层顶面下 1/3 厚度处;纵向钢筋的搭接长度不宜小于 35 倍钢筋直径,搭接位置应错开;横向钢筋应位于纵向钢筋之下;边缘钢筋至纵缝或自由边的距离宜为 100mm ~ 150mm。

6.5 独立块铺面

6.5.1 混凝土独立块宜采用四角块或六角块。四角块边长宜取 0.4m ~ 1.0m,六角块边长宜取 0.2m ~ 1.0m。混凝土抗压强度应大于 30MPa。

6.5.2 独立块铺面结构在设计使用年限内,应满足下列要求:

(1) 基层或底基层为刚性或半刚性的整体性材料时,基层或底基层结构不发生疲劳开裂和一次或持久极限断裂破坏;

(2) 基层和底基层均为粒料时,地基不发生过量塑性变形损坏。

6.5.3 独立块铺面结构分析可采用弹性层状地基板,或简化为弹性层状体系模型。结构层厚度设计步骤见附录 B。

6.5.4 整体性材料基层或底基层的极限状态应符合第 6.2.6 条的规定。地基塑性变形的极限状态应符合第 6.2.8 条的规定。

6.5.5 独立块块体厚度可参照表 6.5.5 确定。

表 6.5.5 独立块厚度参考值 (mm)

独立块边长 (m)	P ₁	P ₂	P ₃
0.2 (0.4)	120	140	160
1.0	180	220	260

注:独立块边长在 0.4m ~ 1.0m 之间时,块体厚度可内插。

6.5.6 独立块块体下应铺设厚度 30mm ~ 50mm 的砂垫层,砂垫层级配应按表 6.3.8 的规定选用。

6.5.7 独立块铺面构造应符合下列规定。

6.5.7.1 独立块块体间最大缝宽应小于 10mm,平均缝宽不应大于 5mm。缝隙内应用中细砂填实,中细砂应符合第 6.3.9 条的规定。

6.5.7.2 独立块铺面边缘应设置边缘约束,构造可参照第 6.3.10 条的规定。

6.5.8 砂垫层边缘及可能有漏砂隐患的区域,砂垫层下宜铺设土工布。

6.6 简易铺面

6.6.1 简易铺面可用于港口临时道路、临时件杂货堆场或散货堆场。

6.6.2 级配碎石铺面厚度不宜小于 150mm, 碎石材料加州承载比(CBR)不应小于 40, 压碎值不应大于 26%, 磨耗值不应大于 50。级配碎石铺面材料应采用富有棱角且表面粗糙的轧制碎石, 针片状总颗粒含量不应大于 20%, 不应含有黏土块、植物等有害杂质。

6.6.3 级配碎石铺面所用碎石最大粒径宜小于 37.5mm, 小于 0.075mm 的细粒含量不应大于 5%, 小于 4.75mm 的颗粒含量不应大于 20%。小于 0.075mm 细粒的液限应小于 28%, 塑性指数应小于 5。

6.6.4 泥结碎石铺面厚度不宜小于 160mm, 碎石应采用多棱角块体, 具有较高强度、韧性和抗磨耗能力。石料等级不宜低于Ⅳ级, 长条扁平状颗粒不宜超过 20%, 石子规格可采用 20mm~40mm; 石屑规格应为 5mm~10mm; 黏土的塑性指数应大于 11, 黏土内不得含有腐殖质或其他杂物。

6.6.5 泥结碎石铺面上应加铺磨耗层和保护层, 视当地材料情况, 可采用小于 40mm 厚的瓜子石、黏土石屑或黏土砂作为磨耗层。

6.6.6 水泥稳定碎石铺面厚度及材料要求应符合第 6.1 节的有关规定, 其中水泥含量不宜低于 8%。

6.7 改建铺面

6.7.1 铺面补强、加宽或高程调整时, 应视原铺面类型、损害状况、堆载量、交通量、场地高程、地基状况和施工条件等因素, 选用直接加铺或补强加铺, 也可根据设计要求, 对原铺面铣刨或开挖至某一结构层, 加铺一层或多层补强。

6.7.2 铺面改建时, 前期调查、检测与评价宜包括下列内容:

- (1) 原铺面结构组成、材料组成、养护历史、排水状况;
- (2) 原铺面承受荷载类型、荷载组成、交通量;
- (3) 原铺面破损情况, 包括破损类型、轻重程度、范围;
- (4) 对原铺面面层、基层、底基层、地基等钻芯取样, 进行物理、力学相关试验;
- (5) 铺面结构强度检测, 包括表面弯沉、接缝传荷能力、板底脱空状况、混凝土强度等, 评价原铺面结构承载力。

6.7.3 改建铺面应对原铺面进行损害状况评定和病害处理, 改建方案应符合现行行业标准《公路水泥混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073.1) 和《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2) 的有关规定。

6.7.4 加铺层根据原铺面类型、评价结果、改建要求等可选择沥青混合料铺面、水泥混凝土铺面、联锁块铺面、独立块铺面等面层结构, 基层可选择沥青碎石、贫混凝土、碾压混凝土、水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石、水泥稳定砂砾等。

6.7.5 原铺面为沥青混合料时, 根据原铺面的综合评定结果和改建要求可选用沥青混合料、水泥混凝土、联锁块、独立块等加铺层结构, 并经技术、经济比较确定。

6.7.6 原铺面为水泥混凝土时,根据原铺面的综合评定结果和改建要求可选用分离式或结合式水泥混凝土加铺层、沥青混合料加铺层结构,并经技术、经济比较确定。

6.7.7 分离式水泥混凝土加铺结构设计应符合下列规定。

6.7.7.1 加铺层可采用素混凝土、钢纤维混凝土、钢筋混凝土和连续配筋混凝土。

6.7.7.2 旧水泥混凝土面层与加铺层之间应设置隔离层,隔离层材料宜选用沥青混合料,厚度不宜小于 40mm。

6.7.7.3 接缝形式和位置,应按新建混凝土面层的要求布置。

6.7.7.4 结构与厚度设计应符合第 6.4 节的有关规定,旧混凝土铺面板可作为新铺面结构的基层。

6.7.7.5 素混凝土、钢筋混凝土和连续配筋混凝土加铺层的厚度不宜小于 180mm;钢纤维混凝土加铺层的厚度不宜小于 140mm。

6.7.8 结合式水泥混凝土加铺结构设计应符合下列规定。

6.7.8.1 原水泥混凝土面层应进行表面处理,与加铺层结合牢固。

6.7.8.2 加铺层的接缝形式和位置应与旧水泥混凝土面层的接缝完全对应和对齐,加铺层内可不设拉杆或传力杆。

6.7.8.3 加铺层结构设计应符合第 6.4 节的有关规定,水泥混凝土加铺层厚度可按式 (6.7.8) 计算。

$$h_{c,a} = 1.2(h_{c,n} - h_{c,d}) \quad (6.7.8)$$

式中 $h_{c,a}$ ——混凝土加铺层厚度 (mm);

$h_{c,n}$ ——适应未来荷载和使用要求的单层水泥混凝土铺面板厚度 (mm);

$h_{c,d}$ ——旧水泥混凝土铺面板厚度 (mm)。

6.7.8.4 素混凝土加铺层厚度不宜小于 100mm,钢纤维混凝土加铺层厚度不宜小于 80mm。

6.7.9 沥青混合料加铺层应符合下列规定。

6.7.9.1 沥青加铺层可采用单层或双层沥青,面层宜采用密级配沥青混合料,并根据原铺面平整度和高程情况确定设置沥青混合料调平层,沥青加铺层最小厚度宜为 80mm。

6.7.9.2 原铺面为沥青混合料铺面时,沥青加铺层厚度可按式 (6.7.9-1) 计算。

$$h_{a,a} = h_{a,n} - \alpha h_{a,d} \quad (6.7.9-1)$$

式中 $h_{a,a}$ ——沥青加铺层厚度 (mm);

$h_{a,n}$ ——适应未来荷载和使用要求的沥青混合料面层总厚度 (mm);

α ——旧沥青面层厚度折减系数。旧沥青面层基本完好,没有裂缝时,取 0.9;面层有少量非贯通裂缝时,取 0.7;面层有较多裂缝但稳定性未丧失时,取 0.5;

$h_{a,d}$ ——旧沥青面层厚度 (mm)。

6.7.9.3 原铺面为水泥混凝土铺面时,沥青加铺层厚度可按式 (6.7.9-2) 计算。

$$h_{a.a} = F(h_{c.n} - h_{c.d}) \quad (6.7.9-2)$$

式中 $h_{a.a}$ ——沥青加铺层厚度(mm);

F ——沥青层厚与水泥混凝土层厚的当量换算系数,可取 3.0~4.0,其中,沥青混合料模量高且当地气温低时取低值,反之取高值;

$h_{c.n}$ ——适应未来荷载和使用要求的单层水泥混凝土铺面板厚度(mm);

$h_{c.d}$ ——旧水泥混凝土铺面板厚度(mm)。

6.7.9.4 加铺层应采取延缓或减少旧面层接、裂缝反射至加铺层的技术措施。技术措施包括增加沥青加铺层厚度,加铺层沥青混合料中掺加纤维或橡胶等改性剂,原铺面的接、裂缝处设置应力吸收层、土工织物夹层等。

6.7.10 加铺层采用联锁块、独立块铺面时,应符合第 6.3 节和第 6.5 节的有关规定。

6.7.11 原铺面进行加宽改建时,加宽部分应按新建铺面设计,加强新旧铺面间的纵横向过渡衔接,控制新旧铺面间差异沉降,并应符合下列规定。

6.7.11.1 加宽铺面为填方地段,宜在原有铺面边坡开挖台阶,台阶宽度不应小于 1m,并在新老路基间铺设土工格栅。拓宽铺面为挖方地段,加宽地基可进行超挖回填碾压或换填等地基补强措施。软土地区拓宽铺面,应控制地基差异沉降。

6.7.11.2 加宽铺面选用的结构层材料强度不宜低于原有铺面结构材料强度。

6.7.11.3 加宽铺面类型宜与原铺面一致,采用不同铺面类型时应设置过渡段。

6.7.11.4 铺面结构衔接应考虑不同结构层间协调及施工因素,有条件时宜采用台阶搭接方式。

6.8 铺面间及铺面与其他建筑物相接处处理与构造措施

6.8.1 素混凝土面层的自由边缘、未设传力杆的平缝、与其他类型铺面相接处,可在面层边缘的下部配置钢筋,如图 6.8.1-1 所示。胀缝、施工缝和自由边的角隅宜配置角隅钢筋补强,如图 6.8.1-2 所示。补强钢筋的直径与面层厚度之比不应小于 1/20,角隅钢筋应置于面层上部,距顶面不应小于 50mm。

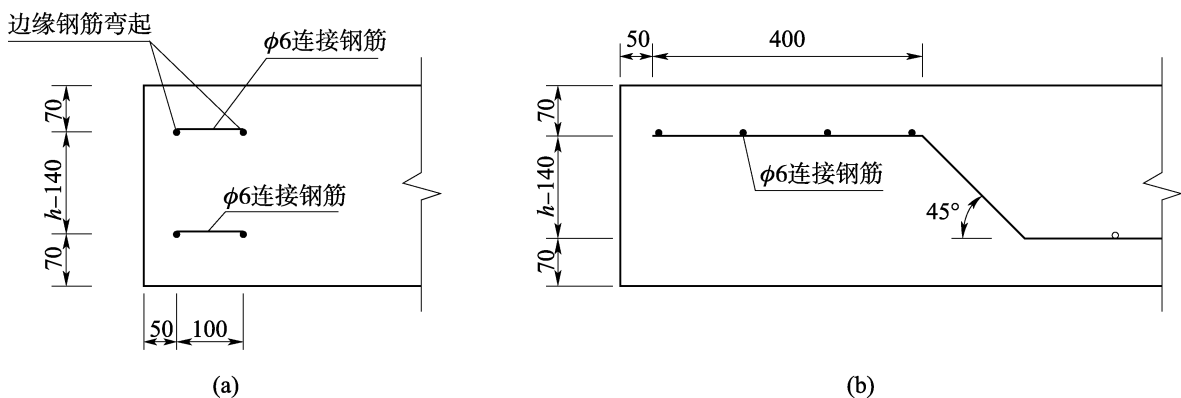


图 6.8.1-1 边缘钢筋布置 (单位:mm)

(a) 横向剖面; (b) 纵向剖面

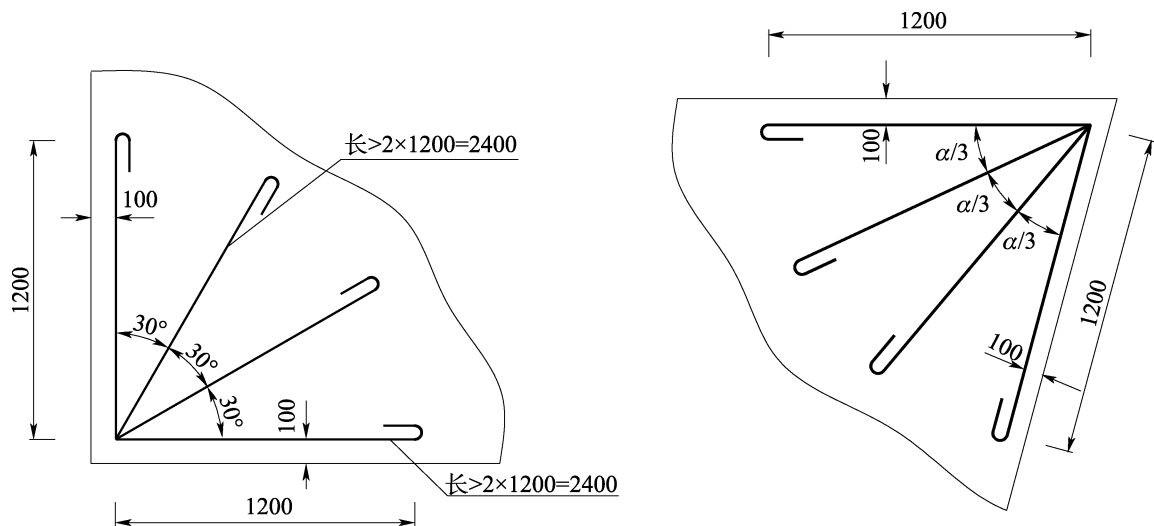


图 6.8.1-2 角隅钢筋布置 (单位:mm)

6.8.2 水泥混凝土铺面与沥青铺面相接时,应设置不小于 3m 的过渡段。过渡段的铺面应采用两种铺面呈阶梯状叠合布置,其下面铺设的变厚度混凝土过渡板的厚度不应小于 200mm,如图 6.8.2-1 所示,过渡板与混凝土面层板相接处的接缝内宜设置直径 25mm、长 700mm、间距 400mm 的拉杆。混凝土面层毗邻该接缝的 1~2 条横向接缝应采用胀缝形式。铺面等级三级时可采用简易处理,如图 6.8.2-2 所示。

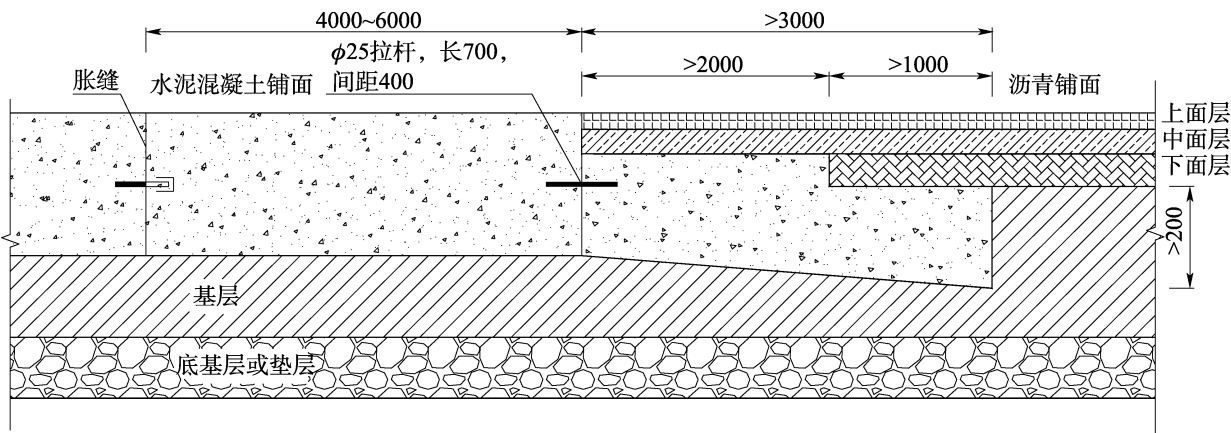


图 6.8.2-1 混凝土铺面与沥青铺面相接段的构造布置(单位:mm)

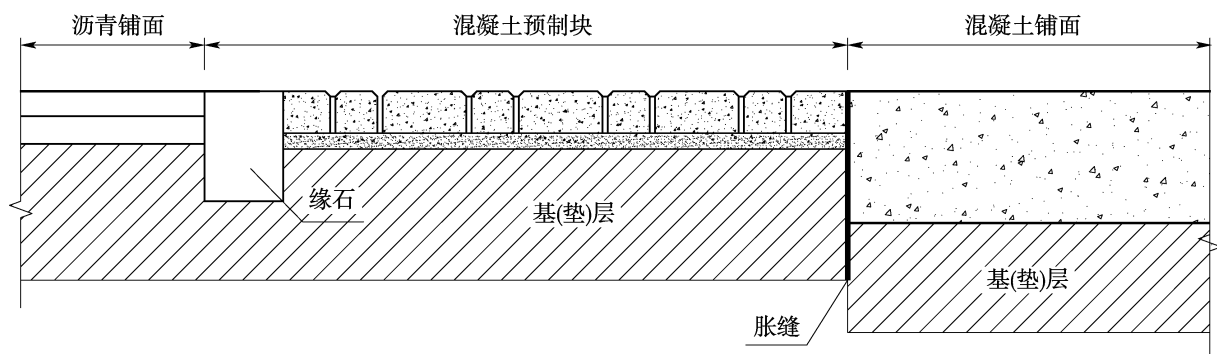


图 6.8.2-2 混凝土铺面与沥青铺面相接段的简易处理

6.8.3 水泥混凝土铺面与码头结构、桥涵等固定构造物相衔接时,紧邻构造物的板端部内应

设置双层钢筋网;或在长度为 6 ~ 10 倍板厚的范围内逐渐将板厚增加 20% ,如图 6.8.3 所示。

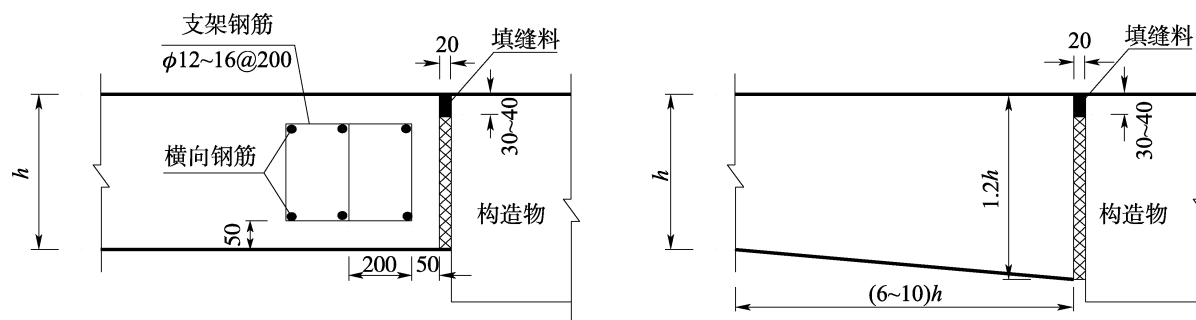


图 6.8.3 临近构造物胀缝构造(单位:mm)

6.8.4 水泥混凝土面层下有箱形构造物横向穿越,其顶面至面层底面的距离小于 800mm 时,在构造物顶宽及两侧各 $1.5(H + 1000)$ mm 且不小于 4000mm 的范围内,混凝土面层内应布设双层钢筋网,上下层钢筋网应分别设置在距面层顶面和底面 $1/4 \sim 1/3$ 厚度处,如图 6.8.4-1 所示。构造物顶面至面层底面的距离在 800mm ~ 1600mm 时,应在上述长度范围内的混凝土面层中布设单层钢筋网。钢筋网应设在距顶面 $1/4 \sim 1/3$ 厚度处,如图 6.8.4-2 所示。钢筋直径按表 6.8.4 确定,纵向钢筋间距宜为 100mm,横向钢筋间距宜为 200mm。配筋混凝土面层与相邻素混凝土面层之间应设置设传力杆的缩缝。铺面等级三级时可采用如图 6.8.4-3 所示的简易处理。

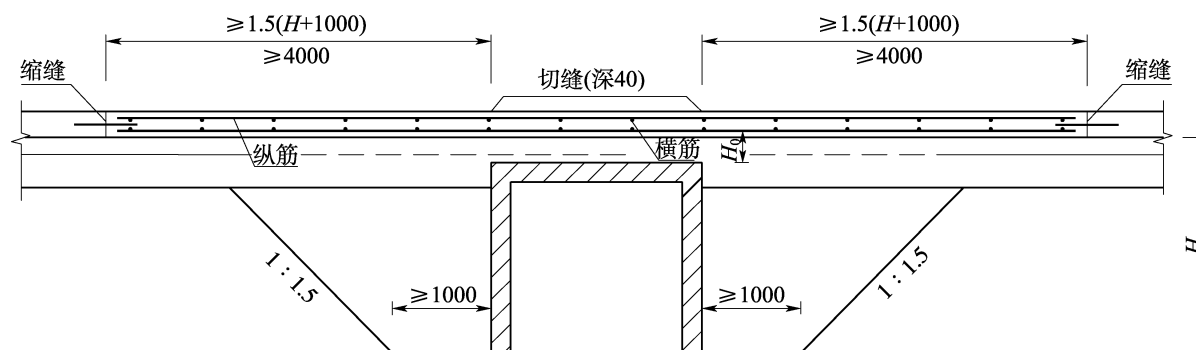


图 6.8.4-1 箱形构造物横穿时的面层配筋 ($H_0 < 800\text{mm}$) (单位:mm)

注: H 为面层底面到构造物底面的距离; H_0 为面层底面到构造物顶面的距离。

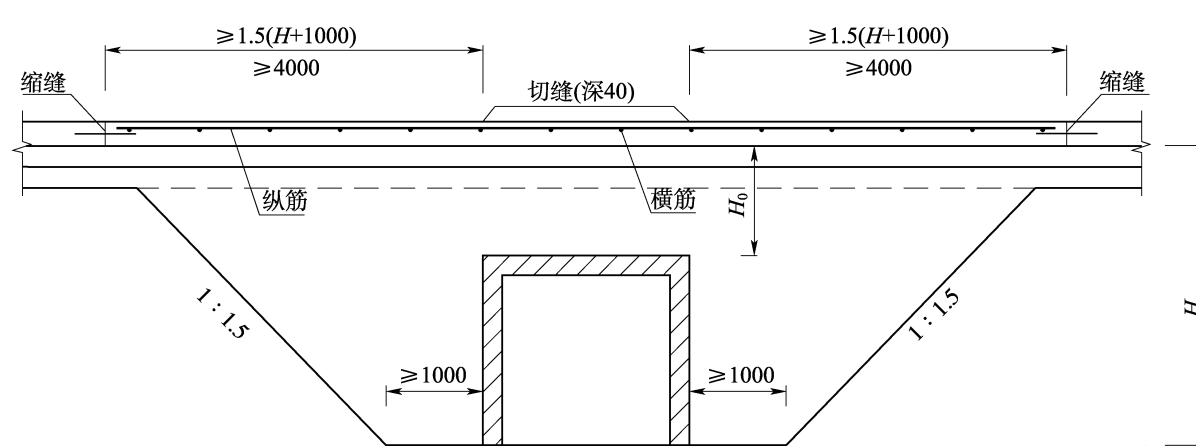


图 6.8.4-2 箱形构造物横穿时的面层配筋 ($H_0 = 800\text{mm} \sim 1600\text{mm}$) (单位:mm)

注: H 为面层底面到构造物底面的距离; H_0 为面层底面到构造物顶面的距离。

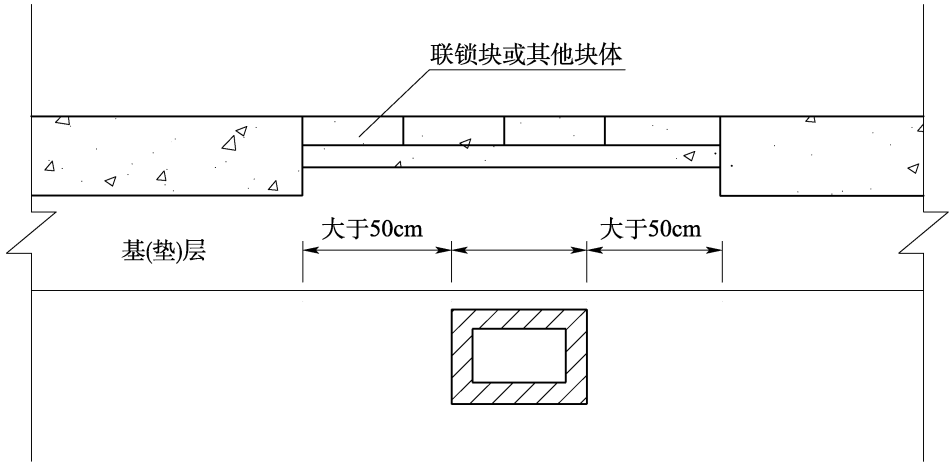


图 6.8.4-3 箱形构造物横穿时的简易处理

表 6.8.4 钢筋直径选用表

板厚 (mm)	≤250	250 ~ 300	300 ~ 350	350 ~ 400	≥400
钢筋直径 (mm)	10	12	14	16	18

6.8.5 水泥混凝土面层下有圆形管状构造物横向穿越,其顶面至面层底面的距离小于1200mm 时,在构造物两侧各 $1.5(H+1000)$ mm 且不小于 4000mm 的范围内,混凝土面层内应布设单层钢筋网,钢筋网应设在距面层顶面 $1/4 \sim 1/3$ 厚度处,如图 6.8.5 所示。钢筋尺寸和间距及传力杆接缝设置应符合第 6.8.4 条的规定。

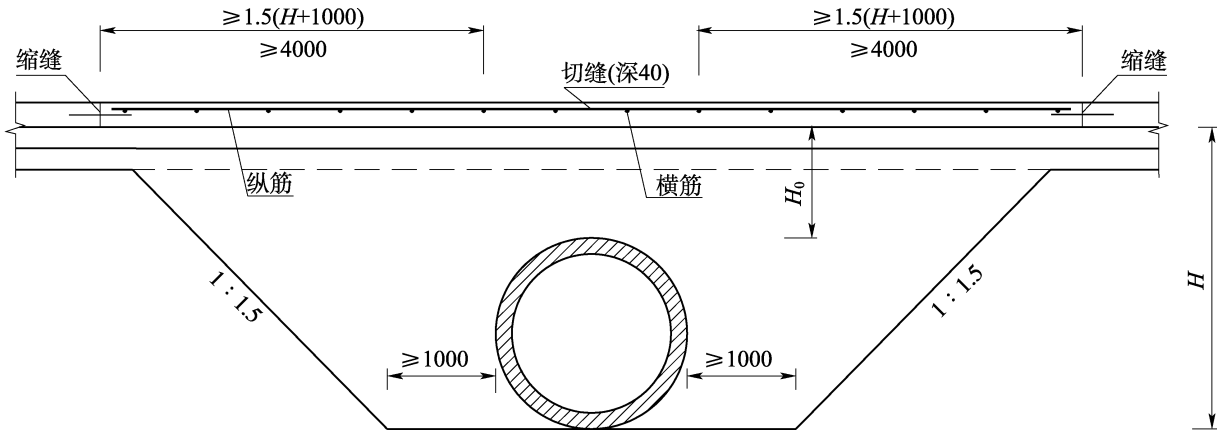


图 6.8.5 圆形管状构造物横穿时的面层配筋 ($H_0 < 1200$ mm) (单位:mm)

7 堆场构筑物结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 堆场构筑物结构的设计使用年限应符合现行行业标准《水运工程设计通则》(JTS 141)的有关规定。

7.1.2 堆场构筑物应按持久状况、短暂状况和地震状况设计,并应符合下列规定。

7.1.2.1 持久状况,结构使用期应按承载力极限状态和正常使用极限状态设计。

7.1.2.2 短暂状况,施工期或使用期临时承受某种特殊荷载时,应按承载力极限状态设计,必要时尚应按正常使用极限状态设计。

7.1.2.3 地震状况,使用期遭受地震作用时应按承载力极限状态设计。

7.1.3 堆场构筑物承受的作用可分为下列4类:

(1)永久作用,包括结构自重力、固定设备自重力、预加应力、土重、永久作用引起的土压力等;

(2)可变作用,包括流动机械荷载、堆载、可变荷载引起的土压力、上拔力、温度作用、施工荷载、打桩应力等;

(3)偶然作用,包括非正常撞击等;

(4)地震作用。

7.1.4 堆场构筑物承载能力极限状态设计应包括下列内容:

(1)结构的整体稳定、重力式结构抗倾和抗滑移等;

(2)构件的受弯、受剪、受冲切、受压、受拉和受扭等;

(3)桩的承载力等。

7.1.5 堆场构筑物正常使用极限状态设计应包括下列内容:

(1)混凝土构件的抗裂或限裂;

(2)有控制变形要求时装卸机械基础梁的挠度;

(3)装卸机械作用引起的结构振动等。

7.2 轨道基础

7.2.1 轨道基础可采用钢筋混凝土轨道梁或轨枕道砟结构。轨道梁基础根据使用要求、设计荷载、地基条件可选择天然地基、复合地基或桩基础。轨道基础设计应符合下列规定。

7.2.1.1 轨道梁应进行强度、变形计算和基础承载力验算。

7.2.1.2 轨道梁的沉降和位移不应大于设备对行走轨道变形要求。

7.2.1.3 天然地基或复合地基轨道梁可按弹性地基梁进行结构内力计算。

7.2.1.4 桩基上轨道梁可按弹性支承连续梁进行结构内力计算。

7.2.1.5 轨枕道砟基础应进行轨枕计算、道砟和地基承载力验算。

7.2.2 轨道梁构造设计应符合下列规定。

7.2.2.1 轨道梁分段长度应根据地基条件和变形缝间距确定。相邻两段轨道梁之间应设置变形缝,变形缝的宽度可采用 20mm ~ 30mm,缝内应设置填缝板和填缝料。

7.2.2.2 采用桩基结构时,应采取减少轨道梁侧移的措施;在轨道梁顶升、锚碇和车挡处桩基布置宜加密。

7.2.2.3 轨道梁的接缝处,应采取减小沉降和位移差的措施。

7.2.2.4 当轨道梁与其两侧铺面之间存在较大差异沉降、流动机械横跨轨道梁频繁时,宜在轨道梁和铺面之间设置过渡板。

7.2.2.5 轨道槽应设置排水管道,管道间距宜为 5m ~ 10m,管径宜为 75mm ~ 100mm,管道入口宜在轨道槽两侧对称布置并采用防止杂物封堵的措施。管道宜接入港口排水系统。

7.2.3 轨枕道砟构造应符合下列规定。

7.2.3.1 轨枕宜采用普通钢筋混凝土轨枕,轨枕的间距应根据轮压力大小计算确定。根据计算结果,也可采用钢筋混凝土宽轨枕。轨枕两端伸出钢轨外侧不应小于 0.5m。

7.2.3.2 斗轮机基础沿轨道长度方向应采取减少轨距偏移的构造措施。

7.2.3.3 道砟宜采用粒径 30mm ~ 70mm 的坚硬碎石,厚度不应小于 0.25m。道砟宜铺至轨枕顶面,并伸出轨枕两端不小于 0.2m。道砟应符合现行行业标准《铁路碎石道砟》(TB/T 2140)中有关一级道砟的规定。

7.3 跑道梁

7.3.1 轮胎式集装箱龙门起重机跑道梁可采用钢筋混凝土结构。跑道梁基础根据使用要求、设计荷载、地质条件可选择天然地基、复合地基或桩基础。跑道梁设计可参照第 7.2 节的有关规定进行。

7.3.2 天然地基跑道梁可由跑道梁结构、整平层、基层及垫层组成。整平层可采用厚度 100mm 的 C15 素混凝土;基层宜采用稳定类材料,垫层可用粒料类材料,基层、垫层厚度可参照第 6.1.4.5 款确定。

7.3.3 天然地基跑道梁平面尺寸及构造应符合下列规定。

7.3.3.1 跑道梁的平面、断面尺寸及分段长度应根据使用要求、龙门起重机荷载、地基情况和环境条件等因素综合确定。

7.3.3.2 跑道梁应设置缩缝,间距可取 6m ~ 12m,缩缝可采用假缝并设置传力杆。

7.3.3.3 跑道梁应设置变形缝,间距可取 30m ~ 45m。变形缝的构造应符合第 7.2.2 条的规定。变形缝处可设置传力杆或梁下设垫板。

7.3.3.4 传力杆的设置应符合第 6.4.12 条的规定。

7.3.4 轮胎式集装箱龙门起重机转场应设置调车道,调车道宜结合纵、横向道路统一设

置。调车道设计荷载可取龙门起重机空载轮压。调车道铺面结构应适当加强,也可采用钢筋混凝土地基梁结构。

7.3.5 无转向顶升装置的集装箱龙门起重机转场时,在车轮转向点处应设置转向道板,转向道板应采用钢筋混凝土结构,顶面可采用耐磨地坪材料或预埋钢板。当采用预埋钢板时,钢板与转向道板应紧密连接。

7.4 集装箱箱角基础

7.4.1 集装箱箱角基础可采用钢筋混凝土条形基础或连片式基础等形式。条形基础根据使用要求、设计荷载、地质条件可选择天然地基、复合地基或桩基础。条形基础设计可参照第 7.2 节的有关规定进行。连片式基础设计应符合第 6 章的有关规定。

7.4.2 天然地基钢筋混凝土条形基础可由条形梁、整平层、基层及垫层组成。整平层可采用厚度 100mm 的 C15 素混凝土;基层宜采用稳定类材料,垫层可用粒料类材料,基层、垫层厚度可参照第 6.1.4.5 款确定。

7.4.3 钢筋混凝土条形基础的平面布置和尺寸应符合下列规定。

7.4.3.1 条形基础应根据集装箱堆场箱位进行布置。条形基础结构应根据荷载及地基允许承载力计算确定。条形梁宽度可采用 1.0m ~ 2.0m,并应满足基础外侧距离集装箱箱角外侧不小于 0.2m,兼容非标准箱时,外侧应适当加宽。

7.4.3.2 条形梁宜设置缩缝,缩缝间距可根据箱角位置、箱角荷载和地基情况等因素综合确定,可采用 5m ~ 10m,缩缝可采用假缝并设置传力杆。

7.4.3.3 冷藏箱堆场箱角基础的平面尺寸尚应结合冷藏箱架基础布置确定。

7.5 其他构筑物

7.5.1 顶升、防风锚锭基础设计应符合下列规定。

7.5.1.1 顶升基础应进行结构强度和地基承载力验算。防风锚锭基础应进行抗拔、抗倾、抗滑移和地基承载力验算。

7.5.1.2 顶升、防风锚锭基础预埋件设置应满足设备要求。

7.5.1.3 锚锭坑应设置排水管道,并宜与港口排水系统连通。排水管道管径宜采用 75mm ~ 100mm。

7.5.2 管沟设计应符合下列规定。

7.5.2.1 管沟宜采用钢筋混凝土结构。

7.5.2.2 管沟断面净空尺寸应满足管线敷设和检修要求。

7.5.2.3 管沟分段长度应根据设计荷载、地基条件确定。管沟分段处或与其他建筑物衔接处,宜设置倒滤、防水措施。

7.5.2.4 地下水位区的管沟宜采用防水混凝土。

7.5.2.5 根据管沟内管网的使用和检修要求,宜设置活动盖板或检查井。

7.5.2.6 管沟和活动盖板接触的边角宜采取角钢包覆等保护措施。

7.5.3 路缘石的设计应符合下列规定。

7.5.3.1 路缘石可分为立缘石和平缘石,道路隔离带两侧、人行道边缘、绿化带边缘应设置立缘石,除水泥混凝土外的铺面边缘宜设置路缘石。

7.5.3.2 立缘石设置在隔离带时外露高度宜采用 150mm ~ 200mm,设置在人行道边缘时外露高度宜采用 100mm ~ 150mm。

7.5.3.3 路缘石材质宜采用水泥混凝土或天然石材。

7.5.3.4 水泥混凝土路缘石应进行成品随机抽样检验。并应满足下列要求:

- (1) 直线型路缘石强度等级达到 C40 标准;
- (2) 曲线型路缘石强度等级达到 C35 标准;
- (3) 吸水率不大于 7%。

7.5.3.5 天然石材路缘石应为同一石质,无裂纹和风化等现象。石材技术指标应符合表 7.5.3 的规定。

表 7.5.3 石 材 技 术 指 标

岩石类型	饱水极限抗压强度 (MPa)	磨 耗 率		主要岩石举例
		洛杉矶法 (%)	狄法尔法 (%)	
岩浆岩类	> 100	< 30	< 5	花岗岩
石灰岩类	> 80	< 35	< 6	石灰岩

7.5.3.6 路缘石基础应设垫层和基层,垫层和基层总厚度不宜小于 150mm。基层可采用水泥稳定碎石或贫混凝土材料,厚度不宜小于 100mm。垫层可采用砂浆类、混凝土类材料,当设计厚度为 20mm ~ 30mm 时,宜采用 M10 水泥砂浆;设计厚度为 30mm ~ 60mm 时,宜采用 C15 细石混凝土;设计厚度大于 60mm 时,宜采用 C15 混凝土。

8 标志、标线设计

8.1 一般规定

- 8.1.1** 港口标志、标线应清晰、明确、简洁,并结合港口类型及作业特点设置。
- 8.1.2** 标志、标线可单独使用,也可配合使用。
- 8.1.3** 标志、标线的设计应符合国家现行标准《道路交通标志和标线》(GB 5768)、《道路交通反光膜》(GB/T 18833)、《道路交通标志板及支撑件》(GB/T 23827)、《安全标志及其使用导则》(GB 2894)、《道路交通标线质量要求和检测方法》(GB/T 16311)、《工业企业铁路道口安全标准》(GB 6389)、《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81)、《轮廓标技术条件》(JT/T 388)和《突起路标》(JT/T 390)等的有关规定。

8.2 港口标志

- 8.2.1** 港口标志的设置应综合考虑,合理布局。标志设置应满足港口作业条件和作业特点。设置位置应为路侧或车行道上方,特殊情况可利用周边建筑物进行设置。
- 8.2.2** 港口标志根据设置区域可分为道路标志、作业区标志、进出港口门标志三类,分类应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 港口标志分类

类 型	功 能			设 置 区 域
道路标志	道路交通信息	警告标志	警告车辆、行人注意道路交通	交叉路口,铁路道口等
		禁令标志	禁止或限制车辆、行人交通行为	限制通行区域,要求停车或减速让行区域,限载、限高、限速区域等
		指示标志	指示车辆、行人应遵循的交通行为	单向通行区域,人行横道,专用道路,停车区域等
		指路标志	指示道路方向、地点、距离信息	路径指引,地点指引,沿线设施,线形诱导等
		可变信息标志	显示交通、气候等状况的变化	可变导向车道进出路口,有其他特殊要求的路段等
作业区标志	码头、引桥、堆场及仓库标识、使用、安全要求	警告标志	提醒使用者对周围环境引起注意,以避免可能发生的危险	各类作业设备行驶、吊装区域,码头前方作业地带、堆货区等
		禁令标志	禁止不安全行为措施	限载、限速区域,禁烟、禁火区域,禁止通行、禁止跨越、禁止攀登区域等
		指令标志	强制防范措施	要求佩戴安全帽、穿着救生衣区域
		提示标志	标识作业区名称,标明安全设施	堆场、仓库入口区域,紧急出口

续表 8.2.2

类 型	功 能	设 置 区 域
进出港口 门标志	管理标志	进出港闸口、检查桥
	港口平面示意及港口使用须知标志	进港口门

注:作业设备警告标志图例见附录 F。

8.2.3 标志的颜色、形状、尺寸、字符应符合下列规定。

8.2.3.1 警告标志颜色应为黄底、黑边、黑图形。形状应为等边三角形,边长 900mm、黑边宽度 65mm、黑边圆角半径 40mm、衬边宽度 6mm。“注意信号灯”、“叉形符号”、“斜杠符号”等特殊警告标志的颜色、形状应符合现行国家标准《道路交通标志和标线》(GB 5768)的有关规定。

8.2.3.2 圆形禁令、禁止标志颜色应为白底、红圈、红杠、黑图形,图形压杠,圆形外径 800mm、红边宽度 80mm、红杠宽度 60mm、衬边宽度 6mm。倒三角形禁令、禁止标志颜色应为白底、红边、黑字,三角形边长 900mm、红边宽度 90mm、衬边宽度 6mm。八角形禁令、禁止标志颜色应为红底白字,外径 800mm、白边宽度 30mm。矩形禁令、禁止标志颜色应为白底、黑边、黑字,矩形长 1200mm、宽 1700 mm、黑边框宽度 30mm、衬边宽度 6mm。

8.2.3.3 指示、指令标志颜色应为蓝底、白图形。形状应为圆形、正方形或矩形,圆形标志直径 800mm,正方形标志边长 800mm,矩形标志长 1400mm、宽 1000mm,衬边宽度均为 6mm。

8.2.3.4 指路、提示标志颜色应为蓝底、白图形、白边框、蓝色衬边。大小应根据字数、文字高度及排列情况确定。

8.2.3.5 标志的字符应规范、正确、工整,汉字高度 350mm。文字性警告标志的字高可适当降低,但最小不应小于 150mm。辅助标志、告示标志的字高不应小于 100mm。标志的字符可采用中文、中文 + 拼音或中文 + 英文的形式。标志的汉字、拼音字母、拉丁字母、数字应符合现行国家标准《道路交通标志和标线》(GB 5768)的有关规定。

8.2.4 港口标志支撑方式可采用移动式、柱式、路侧附着式、悬臂式、门架式、建筑物附着式等,设计应符合下列规定。

8.2.4.1 柱式标志板下缘距铺面的高度可取 2m ~ 2.5m,悬臂式、门架式标志板下缘离地面的高度应大于道路规定的净空高度。

8.2.4.2 标志支撑结构位于路侧净区内,应确保其对驶离道路的车辆不构成危害。立柱至道路边线距离小于 0.2m 时应设置防撞设施。

8.2.5 道路标志板不应阻挡车辆视线,宜采用附着式、单柱式或双柱式支撑结构;道路较宽或港外疏港道路可采用悬臂式或门架式支撑结构。

8.2.6 作业区标志尺寸、设置位置不应阻挡车辆和装卸设备视线。

8.2.7 进出港闸口管理标志应结合闸口结构、管理要求设置,宜采用附着式支撑结构。

8.2.8 港口平面示意及港口使用须知标志设置位置应结合景观要求,板面尺寸不宜小于 4m × 2m,内容应根据具体使用要求确定,标志宜采用多柱式支撑结构。

8.2.9 可变信息标志显示方式可采用 LED、翻板式、字幕式等,具体内容、设置位置应根

据实际使用要求确定。

8.2.10 标志材料应符合下列规定。

8.2.10.1 标志板面可采用铝合金板、挤压成型的铝合金型材、薄钢板等制造。

8.2.10.2 标志板宜由单块铝合金板加工制成。大型指路标志可分块拼接,分块数量不应多于四块,拼接应采用对接,接缝的最大间隙为 1mm,所有接缝应用背衬加强,背衬与标志板用铆钉连接,铆钉的最大间距应小于 200mm,背衬的最小宽度为 50mm,背衬的材料与板面板材相同。

8.2.10.3 标志板面应清除表面杂质。标志板背面不应涂漆,应采用适当的化学或物理方法,使其表面呈暗灰色且不反光。

8.2.10.4 标志立柱、横梁等可采用钢管、H 型钢、槽钢等材料制作。钢管顶端应设置柱帽。钢构件应进行防腐处理。

8.2.10.5 标志立柱、横梁的扣件、结合件和连接件等配件应采用热浸镀锌进行金属表面处理,锌附着量不应低于 $550\text{g}/\text{m}^2$ 。标志立柱表面颜色应采用白色或银灰色。

8.2.10.6 标志面应采用逆反射材料制作,逆反射材料应采用Ⅲ类(高强级)反光膜。

8.2.11 标志结构设计应符合下列规定。

8.2.11.1 标志板和立柱的连接部件,应安装方便、连接牢固,板面平整、美观。

8.2.11.2 各种标志的结构尺寸、连接方式应根据设置地点的风速、标志板面大小及支撑方式计算确定,标志立柱应与基础连接牢固。基础尺寸和埋设深度应根据板面承受外力的大小及地基承载力计算确定。标志结构的土建基础可采用钢筋混凝土基础,必要时也可采用桩基础。标志结构的预埋件应进行防腐处理。

8.2.11.3 标志结构设计基本风速应采用当地空旷平坦地面上离地 10m 高,重现期为 50 年 10min 平均最大风速值,且不应小于 $22\text{m}/\text{s}$ 。

8.2.11.4 交通标志结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计,并同时满足构造和工艺方面的要求。交通标志结构的荷载计算与组合、极限状态设计方法、地基基础的设计应符合国家现行标准的有关规定。

8.2.11.5 交通标志结构重要性系数应取 1.0。

8.3 港口标线

8.3.1 港口标线根据设置区域可分为道路标线、码头标线、堆场标线、特殊类型标线四类。

8.3.2 港口标线颜色、线型、宽度,除应执行本规范外,尚应符合现行国家标准《道路交通标志和标线》(GB 5768)的有关规定。

8.3.3 道路标线根据功能可分为指示标线、禁止标线、警告标线三类,并应符合下列规定。

8.3.3.1 指示标线应指示车行道、行车方向、铺面边缘、人行道等位置,包括车行道边缘线、车行道分界线、人行横道线、停车位标线、导向箭头、铺面文字及图形标记等。

8.3.3.2 禁止标线应告示港口交通的遵行、禁止、限制等特殊规定,包括停止线、让行

线、导流线、专用车道线、禁止掉头(转弯)线、禁止停车线等。

8.3.3.3 警告标线应促使港口使用者了解港口的特殊环境,提高警觉准备应变防范措施,包括车行道宽度渐变段标线、专用设备停泊标线、铁路平交道口标线、减速标线、立面标记等。

8.3.3.4 导向箭头长度可取 4.5m,图例见附录 F。

8.3.3.5 铺面文字标记尺寸宜取字高 4.5m、字宽 1.5m、纵向间距 3m。

8.3.3.6 集装箱堆场调车道区域应设置调车道标线,标线颜色为红色,线型为虚线,虚线线长 1m,线宽 0.15m,间距 1m。

8.3.3.7 港口出入口、上下桥位、急转弯及其他要求车辆减速的路段应设置减速标线或减速带。减速标线为白色反光虚线,可采用双虚线或三虚线,垂直于行车方向设置。减速标线及减速带设置见附录 F。

8.3.4 码头标线应根据作业条件和使用要求设置,并应符合下列规定。

8.3.4.1 集装箱码头装载区应设置警戒线、作业车道标线、车道分隔标线。警戒线应为单红色实线,线宽应为 120mm。

8.3.4.2 码头面车行道面通行行人处应设置人行横道线,人行横道线应与道路中心线垂直,特殊情况时其与中心线夹角不宜小于 60°。人行横道线的宽度宜取 3m,并可根据行人交通量以 1m 为一级加宽。人行横道线应为白色实线,条纹应与道路中心线平行,线宽 400mm,线间隔 600mm~800mm。

8.3.4.3 码头区轨道间车辆通行区域应设置车道分隔线,可采用填充线形式,填充线应为倾斜的平行黄色实线,线宽 100mm,间隔 500mm,倾斜角度为 45°,图例见附录 F。

8.3.4.4 检疫区等码头面特殊区域应设置控制线,控制线应为单黄色实线,线宽为 120mm,并应注明用途。

8.3.5 堆场标线应根据作业条件和使用要求设置,并应符合下列规定。

8.3.5.1 港口堆场文字标记应标明流动机械行驶方向、堆场区位、进出口提示等信息,其字高 6m、字宽 2m。

8.3.5.2 沿 RTG 跑道梁及箱区车行道边缘应设置黄色单实线,线宽 150mm。

8.3.5.3 集装箱港口堆场标准箱箱角位置标线应按工艺箱位布置设置,标线为白色单实线,呈 L 形,布置在集装箱箱角位置,标线沿箱型长度方向长度宜为 1200mm、宽度方向长度为 600mm,线宽 100mm,箱门一侧箱角标线用黄色漆三角块标识,箱位标线图例见附录 F。

8.3.5.4 集装箱港口堆场混合堆放箱区的箱角位置标线应按工艺箱位布置设置,标线为白色单实线,呈 F 形,布置在集装箱箱角位置,标线长度沿箱型长度方向宜取 1200mm~2400mm、沿宽度方向宜取 600mm,标线线宽为 100mm,箱门一侧箱角标线用黄色漆三角块标识,箱位标线图例见附录 F。

8.3.5.5 集装箱港口堆场地面编号应按箱位纵横向设置,行位编号和排位的奇数编号宜采用白色阿拉伯数字,排位的偶数编号、集装箱堆场指示标志宜采用黄色阿拉伯数字或字母。箱位编号可按字高 500mm、字宽 500mm 设置。堆场指示标志图例见附录 F。

8.3.6 其他区域或特殊类型标线包括仓库区安全设施文字标识、突起路标、轮廓标等,应符合下列规定。

8.3.6.1 安全文字标识字高不应小于 500mm。

8.3.6.2 突起路标应选用主动发光型或定向反光型。突起路标与道路标线配合使用时,颜色应与道路标线一致,布设间隔宜取 6m ~ 15m;单独用作车行道分界线时,布设间距宜取 1.0m ~ 1.2m;单独用作减速标线时,布设间距宜取 0.3m ~ 0.5m。

8.3.7 标线材料应符合下列规定。

8.3.7.1 标线应使用抗滑材料,标线表面的抗滑性能不应低于所在路段铺面的抗滑性能。

8.3.7.2 标线应采用反光标线、热熔型涂料。

8.3.7.3 港口事故多发地段可采用树脂防滑型涂料或热熔突起型涂料。

8.3.7.4 水泥混凝土铺面可采用热熔喷涂型涂料。

8.3.7.5 集装箱箱位标线可采用冷涂油漆。

8.3.8 连续设置的实线类标线应每隔 15m 左右设置排水缝,其他标线有可能阻水时,应沿排水方向设置排水缝,排水缝宽度宜取 30mm ~ 50mm。

9 施工质量控制要求

9.1 地 基

- 9.1.1** 地基整平与碾压的范围应满足设计要求。需要回填时,回填料的种类及质量应满足设计要求。
- 9.1.2** 地基碾压后的压实度应满足设计要求。压实度检验应每层、每一施工段且面积不大于 2000m²取一点。
- 9.1.3** 碾压后表面应平整、密实、接茬平顺,并无弹簧土、松散和龟裂。
- 9.1.4** 坡向和坡度应满足设计要求。
- 9.1.5** 地基碾压平整度和高程允许偏差和检验频率应符合表 9.1.5 的规定。

表 9.1.5 地基碾压允许偏差和检验频率

序 号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	平整度	20	道路每 50m ^① 一处,堆场每 100m ² 一处
2	高程	+ 5 - 15	

注:①道路以延米计时,为双车道道路每一检查段内的最低检查频率;多车道道路按车道数与双车道之比,相应增加检查数量;单车道道路按双车道道路标准。

9.2 粒料类基层与底基层(垫层)

- 9.2.1** 碎石或砂砾的规格、级配和质量应满足设计要求。
- 9.2.2** 粒料类基层与底基层(垫层)的分层厚度和压实度应满足设计要求。压实度检验应每层、每一施工段且面积不大于 2000m²取一点。
- 9.2.3** 级配碎石或填隙碎石的混合料应拌和均匀、无粗细颗粒离析现象。
- 9.2.4** 碾压后表面应平整密实,坡向和坡度应满足设计要求,嵌缝料不得浮在表面或聚集成堆,边线应整齐、无松散现象,中型压路机驶过应无明显轮迹。
- 9.2.5** 级配碎石基层与底基层(垫层)的允许偏差和检验频率应符合表 9.2.5 的规定。

表 9.2.5 级配碎石基层与底基层(垫层)的允许偏差和检验频率

序 号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	平整度	20	道路每 50m 一处,堆场每 100m ² 一处
2	厚度	± 15	
3	高程	+ 5 - 15	

9.3 稳定类基层与底基层(垫层)

- 9.3.1 稳定类层所用材料的品种及质量应满足设计要求。石灰应充分消解,土块应经粉碎。
- 9.3.2 胶凝材料的用量、粒料的粒径、级配和配合比应符合配合比设计报告的要求。
- 9.3.3 稳定类基层与底基层(垫层)的分层厚度、压实度和抗压强度应满足设计要求。压实度检验应为每层、每一施工段且面积不大于 2000m²取一点。道路抗压强度检验应为每 2000m²或每工班取一组,堆场抗压强度检验应为每 4000m²或每工班取一组。
- 9.3.4 混合料应拌和均匀,摊铺时不应有离析现象。
- 9.3.5 混合料摊铺时的含水量应满足最佳含水率要求;从加水拌和到碾压终了的时间不应超过胶凝材料的硬化时间。
- 9.3.6 碾压应平整密实、接茬平顺、表面无明显轮迹、坑洼和离析。
- 9.3.7 养护期不宜少于 7d。
- 9.3.8 稳定类基层与底基层(垫层)允许偏差和检验频率应符合表 9.3.8 的规定。

表 9.3.8 稳定类基层与底基层(垫层)允许偏差和检验频率

序 号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	平整度	20	道路每 50m 为一处,堆场每 100m ² 为一处
2	厚度	± 10	
3	高程	+ 5 - 15	

9.4 沥青混合料面层

- 9.4.1 沥青混合料的各项指标应满足设计要求。
- 9.4.2 沥青混合料的压实度应满足设计要求。压实度检验应为每层、每一施工段且面积不大于 2000m²取一点。
- 9.4.3 混合料的拌和应均匀,应无花白、粗细料分离和结团块等现象。
- 9.4.4 摊铺应平整,不应有离析现象。
- 9.4.5 压实后的表面应平整、密实、接茬平顺,不应有泛油、松散、裂缝、堆挤、烂边和粗细料集中等现象。
- 9.4.6 面层与其他构筑物相接应紧密平顺,不应有积水现象。
- 9.4.7 沥青混合料面层的允许偏差和检验频率应符合表 9.4.7 的规定。

表 9.4.7 沥青混合料面层的允许偏差和检验频率

序 号	项 目		允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	高程		± 10	道路每 20m 一处,堆场每 100m ² 一处
2	平整度		5	
3	厚度		+ 10 - 5	
4	宽度	有侧石	± 20	
		无侧石	不小于设计值	
5	道路横坡或堆场排水		± 0.5%	

9.5 联锁块面层

9.5.1 预制混凝土联锁块的质量应符合表 9.5.1 的规定。

表 9.5.1 预制混凝土联锁块的质量要求

序 号	项 目		质 量 要 求	
1	抗压强度 (MPa)		C _e 50	C _e 60
		平均值	不小于 50	不小于 60
		单块最小值	不小于 42	不小于 50
2	尺寸允许偏差 (mm)	厚度	±2	
3		边长	±2	
4		平整度	2	
5		垂直度	2	
6	外观质量	裂纹	不允许	
7		分层		
8		表面粘皮		
9		掉角尺寸(mm)	两边破坏尺寸不得同时大于 5	
10	物理参数	耐磨性	磨坑长度 (mm)	≤ 32.0
			耐磨度	≥ 1.9
11		吸水率(%)	不大于 6.5	
12		抗冻性	经冻融循环试验后,外观质量符合本表规定,强度损失不大于 20%	
13				
14		防滑性(BPN)	不小于 60	
		抗盐冻性(g/m ²)	剥落量平均值≤1000,且最大值 <1500	

- 注:①对设计有抗折强度要求的,联锁块的抗折强度尚应满足设计要求;
- ②磨坑长度与耐磨度任选一项做耐磨性试验;
- ③对无抗冻要求的工程,抗冻性可不检验;
- ④不与融雪剂接触的联锁块,序号 14 可不检验;
- ⑤检验频率:同一块形、同一强度等级,每 50000 块为一批取一组,不足 50000 块也按一批计。

- 9.5.2 联锁块面层下找平砂垫层的厚度应均匀。
- 9.5.3 铺砌应紧密、稳固,砌缝应均匀,灌缝应饱满。
- 9.5.4 面层应平整,格缝应清晰,表面应无砂浆和沥青等污染。
- 9.5.5 与立缘石和其他构筑物的交接应平顺、挤紧。
- 9.5.6 联锁块面层的允许偏差和检验频率应符合表 9.5.6 的规定。

表 9.5.6 联锁块面层的允许偏差和检验频率

序 号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	高程	± 20	道路每 20m 一处,堆场每 100m ² 一处
2	平整度	5	
3	相邻块顶面高差	3	
4	砌缝顺直	10	

注:联锁块砌缝的最大宽度不大于 5mm。

9.6 水泥混凝土面层

- 9.6.1 水泥强度、物理性能和化学成分应满足设计要求。
- 9.6.2 粗细集料、水、外掺剂及接缝填缝料应满足设计要求。
- 9.6.3 施工配合比应根据现场测定水泥的实际强度进行计算,并经试验,选择采用最佳配合比。
- 9.6.4 混凝土面层弯拉强度应满足设计要求。弯拉强度检验应满足下列要求:
- (1)一次连续浇注超过 1000m³时,每 200m³不少于一组;

(2)一次连续浇注不超过 1000m³时,每 100m³不少于一组;

(3)工作班浇注不足 100m³时,不少于一组。
- 9.6.5 接缝的位置、规格、尺寸及传力杆、拉杆的设置应符合设计要求。
- 9.6.6 混凝土应振捣密实,压抹平顺。混凝土的面层外观不应有蜂窝、麻面、裂缝、脱皮、啃边、掉角、印迹等现象。
- 9.6.7 铺面拉毛或机具压槽等抗滑措施的构造深度应满足设计要求。
- 9.6.8 混凝土面层范围内的雨水井或排水口设置应满足设计要求,与面层相接应平顺,铺面边缘无积水现象。
- 9.6.9 混凝土面层铺筑后养护应满足设计要求。
- 9.6.10 道路混凝土面层的允许偏差和检验频率应符合表 9.6.10 的规定。

表 9.6.10 道路混凝土面层的允许偏差和检验频率

序号	项 目		允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	厚度		+ 20 - 5	每伸缩缝一处
2	宽度		± 20	每 20m 一处
3	高程		± 10	
4	平整度		5	
5	相邻板块高差	纵向	3	每 20m 一处
		横向	3	每伸缩缝一处
6	分割线顺直	纵向	15	每 20m 一处
		横向	10	每伸缩缝一处
7	传力杆	位置	20	每伸缩缝一处
		外露长度	+ 20 - 10	

9.6.11 堆场混凝土面层的允许偏差和检验频率应符合表 9.6.11 的规定。

表 9.6.11 堆场混凝土面层的允许偏差和检验频率

序 号	项 目		允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	厚度		+20 -5	每伸缩缝一处
2	顶面高程		±20	每 100m ² 一处
3	平整度		6	
4	相邻板块高差		3	抽查 50%
5	分割线顺直	纵向	15	
		横向	10	
6	传力杆	位置	20	每伸缩缝一处

9.6.12 贫混凝土、碾压混凝土基层与底基层(垫层)施工质量控制应符合本节的相关规定。

9.7 独立块面层

9.7.1 预制混凝土独立块的质量应符合表 9.7.1 的规定。

表 9.7.1 预制混凝土独立块的质量要求

序 号	项 目			质 量 要 求
1	抗压(折)强度(MPa)			不小于规定的合格强度
2	尺寸允许偏差 (mm)	长度		±2
3		宽度		±2
4		厚度		±5
5		平面对 角线差	四边形	3
			六边形	7
6	外露面平整度			3

- 注:①外露面应抹平、压实,拉毛应均匀一致,不得有裂缝和飞边;
②现浇预制块的外露面不得有露石和连续性气泡;
③外露面棱角残缺长度应不大于 20mm 且不多于一处;
④检验频率:同一块形、同一强度等级,抽查 1%,且不小于 10 块。

9.7.2 独立块面层下找平砂垫层的厚度应均匀。

9.7.3 铺砌应紧密、稳固,砌缝应均匀,灌缝应饱满。

9.7.4 面层应平整,格缝应清晰,表面应无砂浆和沥青等污染。

9.7.5 与路缘石和其他构筑物的交接应平顺、挤紧。

9.7.6 独立块面层的允许偏差和检验频率应符合表 9.7.6 的规定。

表 9.7.6 独立块面层的允许偏差和检验频率

序 号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	高程	± 20	道路每 20m 一处, 堆场每 100m ² 一处
2	平整度	10	
3	相邻块顶面高差	5	
4	砌缝顺直	10	

注:砌缝的最大宽度不大于 10mm。

9.8 路 缘 石

- 9.8.1 预制混凝土路缘石的质量要求应按第 9.7.1 条规定执行。
- 9.8.2 立缘石应安砌稳固,背后填料应密实。
- 9.8.3 路缘石外露面应平顺,勾缝应密实。
- 9.8.4 安砌路缘石的允许偏差和检验频率应符合表 9.8.4 的规定。

表 9.8.4 安砌路缘石的允许偏差和检验频率

序 号	项 目	允 许 偏 差 (mm)	检 验 频 率
1	直线段平直度	10	每 20m 一处
2	相邻块错台	3	
3	缝宽	± 3	
4	顶面高程	± 10	

9.9 堆场构筑物

- 9.9.1 堆场构筑物的施工质量控制应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)中的有关规定。

9.10 标 志、标 线

- 9.10.1 标志、标线施工质量控制应符合国家现行标准《道路交通标志和标线》(GB 5768)、《道路交通反光膜》(GB/T 18833)、《道路交通标志板及支撑件》(GB/T 23827)、《安全标志及其使用导则》(GB 2894)、《道路交通标线质量要求和检测方法》(GB/T 16311)、《工业企业铁路道口安全标准》(GB 6389)、《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81)、《轮廓标技术条件》(JT/T 388)和《突起路标》(JT/T 390)等的有关规定。

附录 A 流动机械的当量标准荷载作用次数系数

A.0.1 流动机械的任一轴载可按下列公式换算为当量单轮荷载:

$$\tilde{P}_k = P_k (1 + \varphi_k) \quad (\text{A.0.1-1})$$

$$\varphi_k = \max(\varphi_{k,1}, \varphi_{k,2} \cdots \varphi_{k,m}) \quad (\text{A.0.1-2})$$

$$\varphi_{k,i} = \sum_{j \neq i}^t S_{k,ij} / S_{k,ii} \quad (\text{A.0.1-3})$$

式中 $\tilde{P}_k$ ——第 k 根轴的当量单轮荷载(kN);

P_k ——第 k 根轴的单轮荷载(kN);

φ_k ——第 k 根轴的当量单轮荷载系数;

m ——第 k 根轴的轮数;

$\varphi_{k,i}$ ——第 k 根轴的第 i 个轮载的旁侧轮影响系数, $i = 1, 2 \cdots m$, 按第 A.0.2 条确定;

$S_{k,ij}$ —— $j \neq i$ 时为第 j 个轮载在第 k 根轴的第 i 个轮载处引起的铺面结构效应, $j = i$ 时为第 i 个轮载在自身位置处引起的铺面结构效应;对于水泥混凝土面层, 其他铺面类型的刚性或半刚性基层、底基层, 为层底弯拉应力;对于粒料基层的沥青混合料面层, 为层底弯拉应变;对于除水泥混凝土铺面之外, 粒料基层的地基, 为地基顶面压应变;

t ——流动机械的总轮数。

A.0.2 流动机械的旁侧轮影响系数确定应符合下列规定。

A.0.2.1 水泥混凝土面层层底弯拉应力的当量单轮荷载, 叉车、正面吊、起重机、单侧 8 轮的龙门吊、集装箱专用拖挂车、国产平板车可只计一根轴的荷载;特种平板车可计一排两根轴的荷载;跨运车、单侧 2~4 轮的龙门吊可计一侧轮的荷载。旁侧轮影响系数可按下列公式计算:

$$\varphi_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \psi_{ij} \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$\psi_{ij} = \frac{P_j}{P_i} \exp \left[-a \left(\frac{d_{ij}}{l_{cb} + \delta_j} \right)^b \right] \quad (\text{A.0.2-2})$$

$$a = 1.34 + 0.02 \left(\frac{L}{l_{cb} + \delta_j} \right) \quad (\text{A.0.2-3})$$

$$b = 0.6 + 0.06 \left(\frac{L}{l_{cb} + \delta_j} \right) \quad (\text{A.0.2-4})$$

$$\delta_j = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{A.0.2-5})$$

$$\delta_j = \sqrt{\frac{P_j}{1000q\pi}} \quad (\text{A.0.2-6})$$

式中 φ_i ——旁侧轮影响系数;

ψ_{ij} ——旁侧轮 j 对主轮 i 的影响系数;

P_j ——旁侧轮 j 的荷载量(kN);

P_i ——主轮 i 的荷载量(kN);

a 、 b ——计算参数;

d_{ij} ——旁侧轮 j 与主轮 i 之间的中心距(m);

l_{cb} ——水泥混凝土面层与基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径(m),计算方法见附录 C;

δ_j ——流动机械旁侧轮 j 的单轮荷载当量圆半径(m),已知单轮接地面积时,按式(A.0.2-5)计算,已知单轮接地压强时,按式(A.0.2-6)计算;

L ——面层板的横缝间距,即板长(m);

A ——流动机械的单轮荷载接地面积(m^2);

q ——流动机械的单轮荷载接地压强(MPa)。

A.0.2.2 沥青面层层底弯拉应变的当量单轮荷载,可只计双轮组之间相互影响。双轮中心距可取 $3\delta_j$,旁侧轮影响系数可按式计算:

$$\varphi_i = 1 - \exp\left(-0.2 \frac{l_a}{\delta_j}\right) \quad (\text{A.0.2-7})$$

式中 φ_i ——旁侧轮影响系数;

l_a ——沥青面层相对当量地基的弯曲刚度半径(m),计算方法见附录 C;

δ_j ——流动机械旁侧轮 j 的单轮荷载当量圆半径(m),按第 A.0.2.1 款计算确定。

A.0.2.3 刚性、半刚性基层层底弯拉应力的当量单轮荷载,叉车、正面吊、起重机、单侧 8 轮的龙门吊、集装箱专用拖挂车、国产平板车可只计一根轴的荷载;特种平板车可计一排两根轴的荷载,跨运车、单侧 2~4 轮的龙门吊可计一侧轮的荷载。旁侧轮影响系数可按式(A.0.2-1)计算,任一旁侧轮对主轮的影响系数可按下列公式计算:

$$\psi_{ij} = \exp\left[-(ax_{ij}^2 + bx_{ij})\right] \frac{P_j}{P_i} \quad (\text{A.0.2-8})$$

$$x_{ij} = \ln(1 + \eta_{ij}) \quad (\text{A.0.2-9})$$

$$a = -0.20 \ln\left(\frac{E_t}{E_{sb}}\right) + 1.59 \quad (\text{A.0.2-10})$$

$$b = 0.38 \ln\left(\frac{E_t}{E_{sb}}\right) + 0.03 \quad (\text{A.0.2-11})$$

$$\eta_{ij} = \frac{d_{ij}}{l_{sb} + \left(\frac{E_t}{E_{sb}}\right)^{0.22} \delta_j \exp\left(\frac{-0.5d_{ij}}{l_{sb}}\right)} \quad (\text{A.0.2-12})$$

式中 ψ_{ij} ——旁侧轮 j 对主轮 i 的影响系数;

x_{ij} 、 η_{ij} 、 a 、 b ——计算参数;

P_j ——旁侧轮 j 的荷载量 (kN);

P_i ——主轮 i 的荷载量 (kN);

δ_j ——流动机械旁侧轮 j 的单轮荷载当量圆半径 (m), 按第 A.0.2.1 款计算确定;

l_{sb} ——面层和基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径 (m), 计算方法见附录 C;

E_{sb} ——面层和基层当量层的弹性模量 (MPa), 计算方法见附录 C;

E_t ——当量地基综合回弹模量 (MPa), 计算方法见附录 C;

d_{ij} ——旁侧轮 j 与主轮 i 之间的中心距 (m)。

A.0.2.4 地基顶面压应变的当量单轮荷载应考虑所有旁侧轮影响。旁侧轮影响系数可按式 (A.0.2-1) 计算, 任一旁侧轮对主轮的影响系数可按下列公式计算:

$$\psi_{ij} = \exp(-0.065\eta_{ij}^2 - 1.01\eta_{ij}) \frac{P_j}{P_i} \quad (\text{A.0.2-13})$$

$$\eta_{ij} = \frac{d_{ij}}{l_z + 2\delta_j \exp\left(\frac{-d_{ij}}{l_z}\right)} \quad (\text{A.0.2-14})$$

式中 ψ_{ij} ——旁侧轮 j 对主轮 i 的影响系数;

η_{ij} ——计算参数;

P_j ——旁侧轮 j 的荷载量 (kN);

P_i ——主轮 i 的荷载量 (kN);

d_{ij} ——旁侧轮 j 与主轮 i 之间的中心距 (m);

l_z ——铺面总结构相对地基的弯曲刚度半径 (m), 计算方法见附录 C;

δ_j ——流动机械旁侧轮 j 的单轮荷载当量圆半径 (m), 按第 A.0.2.1 款计算确定。

A.0.3 流动机械当量标准荷载作用次数系数可按式 (A.0.3) 计算。

$$w = \sum_{i=1}^k \left(\frac{\gamma_d \tilde{P}_i}{P_s} \right)^n \quad (\text{A.0.3})$$

式中 w ——流动机械当量标准荷载作用次数系数;

k ——流动机械的载重轴轴数;

γ_d ——考虑荷载动态效应的动荷系数, 可按表 A.0.3 取值;

$\tilde{P}_i$ ——流动机械第 i 根轴的当量单轮荷载 (kN), 可按第 A.0.1 条确定;

P_s ——标准单轮荷载的荷载量 (kN), 可按表 3.2.5 取值;

n ——换算指数,分析沥青面层层底弯拉应变时 $n = 4$;分析地基顶面压应变时 $n = 5$;分析水泥稳定类材料基层层底拉应力时 $n = 14$,其他无机结合料类材料的基层层底拉应力时 $n = 12$;分析水泥混凝土面层层底弯拉应力时 $n = 17.5$;分析贫混凝土、碾压混凝土层层底弯拉应力时 $n = 15.4$;分析钢纤维混凝土面层层底弯拉应力时 $n = 19.2$ 。

表 A.0.3 流动机械的动荷系数

铺面类型	叉车、正面吊	运输车辆	跨运车	起重机	轮胎龙门吊
沥青铺面	1.10	1.15 ~ 1.25	—	1.15	—
联锁块铺面	1.15	1.15 ~ 1.30	1.20	1.20	1.15
水泥混凝土铺面	1.10	1.1 ~ 1.25	1.10	1.15	1.10
独立块铺面	1.20	1.2 ~ 1.30	—	1.25	—

注:运输车辆行驶速度高时($\geq 30\text{km/h}$),动荷系数取高值。

A.0.4 常用流动机械的当量标准荷载作用次数系数可按下列公式计算:

$$w = k \left(\frac{\gamma_d \tilde{P}_m}{P_s} \right)^n$$

(A.0.4-1)

$$\tilde{P}_m = P_m (1 + \varphi)$$

(A.0.4-2)

式中 w ——流动机械当量标准荷载作用次数系数;

k ——与流动机械的当量单轮荷载对应的当量轴载作用次数,可按表 A.0.5-1 ~ 表 A.0.5-6 取值;

γ_d ——考虑荷载动态效应的动荷系数,可按表 A.0.3 取值;

$\tilde{P}_m$ 、 φ ——流动机械的当量单轮荷载(kN)及与此对应的当量单轮荷载系数;下角 m 为 1 时为满载, m 为 2 时为空载;各类叉车、正面吊、龙门吊需考虑空载作用,其他流动机械可不考虑空载作用; φ 可按第 A.0.5 条的规定计算;

P_s ——标准单轮荷载的荷载量(kN),可按表 3.2.5 取值;

n ——换算指数,可按第 A.0.3 条确定;

P_m ——流动机械的单轮荷载(kN)。

A.0.5 常用流动机械当量单轮荷载系数的确定应符合下列规定。

A.0.5.1 水泥混凝土面层层底弯拉应力的当量单轮荷载系数可按式(A.0.5-1)计算。

$$\varphi = A_c l_{cb}^2 + B_c l_{cb}$$

(A.0.5-1)

式中 φ ——流动机械当量单轮荷载系数;

A_c 、 B_c ——回归系数,叉车、集装箱叉车、集装箱正面吊可按表 A.0.5-1 取值,其他流动机械可按表 A.0.5-2 取值;

l_{cb} ——水泥混凝土面层与基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径(m),计算方法见附录 C,当 l_{cb} 大于 2m 时取 2m。

表 A.0.5-1 叉车、正面吊的 A_c 、 B_c 、 k

额定起重量(t) 或机械代号		满 载					空 载				k
		荷载 等级	P (kN)	q (MPa)	A_c	B_c	荷载 等级	P (kN)	q (MPa)	φ	
叉车	5	P ₁	29.75 _d	0.70	-0.211	1.097	P ₁	20.35 _s	0.70	0	1
	10	P ₂	64.0 _d	0.75	-0.169	0.932	P ₁	46.2 _s	0.75		1
	15	P ₃	75.8 _d	0.75	-0.167	0.926	P ₁	47.05 _s	0.75		1
	22	P ₄	147.8 _d	0.9	-0.087	0.651	P ₂	115.45 _s	1.0		1
	30.5	P ₅	200.5 _d	1.0	-0.086	0.623	P ₃	152.35 _s	0.9		1
	35	P ₅	223.9 _d	1.0	-0.084	0.617	P ₃	167.7 _s	0.9		1
	42	P ₅	215.0 _d	1.0	-0.070	0.567	P ₂	122.5	1.0		1
	45	P ₆	228.5 _d	1.0	-0.069	0.562	P ₂	131.5 _s	1.0		1
集装箱 叉车	FL30.5-4	P ₄	150 _d	1.0	-0.076	0.606	P ₂	110 _s	0.9		1
	FL40-4	P ₆	250 _d	0.9	-0.064	0.550	P ₂	140 _s	1.0		1
	FL45-4	P ₆	300 _d	0.9	-0.057	0.525	P ₃	200 _s	1.0		1
	FL7-8	P ₃	100 _d	0.9	-0.087	0.622	P ₁	70 _s	0.9		1
集装箱 正面吊	TL30.5-4	P ₅	220 _d	1.0	-0.070	0.563	P ₂	110 _s	1.0		1
	TL35-4	P ₆	230 _d	1.0			P ₃	180 _s	1.0		1
	TL41-4	P ₆	250 _d	1.0			P ₃	180 _s	1.0		1
	TL45-5	P ₆	300 _d	1.0	-0.061	0.522	P ₃	200 _s	1.0		1

注: P 为单轮荷载量, q 为接地压强;单轮荷载值的下角表示轮型,s为单轮,d为双轮。

表 A.0.5-2 其他流动机械的 A_c 、 B_c 、 k

额定起重量(t) 或机械代号		代 表 荷 载					回 归 系 数		<i>k</i>
		荷载等级		<i>P</i> (kN)		<i>q</i> (MPa)	<i>A_c</i>	<i>B_c</i>	
				空载	满载				
轮胎式 起重机	30	P ₂	—	92.5 _s	—	0.7	0	0	2
	25	P ₂	—	92.5 _s	—	0.7			2
	16	P ₁	—	62.5 _s	—	0.7			2
	15	P ₂	—	80 _s	—	0.7			2
	10	P ₁	—	60 _s	—	0.7			2
汽车式 起重机	70	P ₁	—	34.5 _d	—	0.7	-0.135	0.859	4
	40	P ₁	—	26.5 _d	—	0.7			4
集装箱 跨运车	SC30.3-3	—	P ₂	—	110 _s	0.9	0.050	0.162	4
	SC353-3	—	P ₂	—	120 _s	0.9	0.071	0.091	4
	SC41-3	—	P ₂	—	130 _s	0.9	0.045	0.148	4
	SC41-4	—	P ₃	—	160 _s	0.9	0.067	0.103	4

续表 A.0.5-2

额定起重量(t) 或机械代号		代 表 荷 载					回 归 系 数		k
		荷载等级		P(kN)		q (MPa)	A _c	B _c	
轮胎式 龙门吊	RTG36S30.5	P ₃	P ₄	180 _s	250 _s	0.85	0.064	0.079	4
	RTG36S35	P ₃	P ₄	210 _s	280 _s	1			4
	RTG46S35	P ₃	P ₄	220 _s	300 _s	0.9	0.062	0.084	4
	RTG46S41	P ₃	P ₄	240 _s	320 _s	1			4
	RTG56S41	P ₄	P ₄	260 _s	340 _s	1	0.059	0.077	4
	RTG56S61	P ₄	P ₅	280 _s	400 _s	1	0.055	0.088	4
	RTG57S51	P ₄	P ₅	280 _s	370 _s	1	0.060	0.042	4
	RTG66D51	P ₄	P ₅	300 _s	400 _s	1	0.051	0.047	4
	RTG34S30.5	P ₃	P ₄	180 _s	280 _s	1	0.019	0.015	2
	RTG45S35	P ₃	P ₃	150 _s	210 _s	1	0.059	0.082	4
	RTG46D41	P ₂	P ₃	130 _s	170 _s	1	-0.012	0.429	4
	RTG57D41	P ₃	P ₃	150 _s	190 _s	1	0.035	0.277	4
集装箱 拖挂车	Tr-40	—	P ₂	—	50 _d	0.9	-0.196	1.062	2
	Tr-60	—	P ₂	—	70 _d	0.9	-0.187	1.036	2
	Tr-80	—	P ₂	—	73 _d	0.9	-0.182	1.021	2
国产 平板车	20	—	P ₁	—	35 _d	0.35	-0.223	1.142	2
	25	—	P ₁	—	30 _d	0.30			3
	40	—	P ₂	—	40.75 _d	0.41			3
	50	—	P ₂	—	48.5 _d	0.50	-0.200	1.073	4
	80	—	P ₃	—	82.5 _d	0.83	-0.155	0.934	3
特种 平板车	160	—	P ₁	—	62.5 _s	0.31	-0.116	0.809	5
	220	—	P ₁	—	66 _s	0.33			7
	300	—	P ₁	—	71.75 _s	0.36			9
	420	—	P ₂	—	78.75 _s	0.39			12

注:P为单轮荷载量,q为接地压强;单轮荷载值的下角表示轮型,s为单轮,d为双轮。

A.0.5.2 沥青混合料面层层底弯拉应变的当量单轮荷载系数等于旁侧轮影响系数,可按式(A.0.2-7)计算。

A.0.5.3 整体性材料基层或底基层层底弯拉应力的当量单轮荷载系数可按式(A.0.5-2)计算。

$$\varphi = (A_b l_{sb}^2 + B_b l_{sb}) \left[1 - C_b \ln \left(\frac{E_{sb}}{20E_t} \right) \right]$$

(A.0.5-2)

式中 φ ——流动机械当量单轮荷载系数;
 A_b 、 B_b 、 C_b ——回归系数,可按表 A.0.5-3 和表 A.0.5-4 取值;

l_{sb} ——面层和基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径(m),计算方法见附录 C,
当 l_{sb} 大于 2m 时取 2m;
 E_{sb} ——面层和基层当量层的弹性模量(MPa),计算方法见附录 C;
 E_t ——当量地基综合回弹模量(MPa),计算方法见附录 C。

表 A.0.5-3 叉车、正面吊的 A_b 、 B_b 、 C_b 、 k

额定起重量(t) 或机械代号		满 载					空 载				<i>k</i>			
		荷载 等级	<i>P</i> (kN)	<i>q</i> (MPa)	<i>A_b</i>	<i>B_b</i>	<i>C_b</i>	荷载 等级	<i>P</i> (kN)	<i>q</i> (MPa)		<i>φ</i>		
叉车	5	P ₁	29.75 _d	0.70	−0.264	1.399	0.087	P ₁	20.35 _s	0.70	0	1		
	10	P ₂	64 _d	0.75	−0.192	1.222		P ₁	46.2 _s	0.75		1		
	15	P ₃	75.8 _d	0.75	−0.184	1.211		P ₁	47.05 _s	0.75		1		
	22	P ₄	147.8 _d	0.9	−0.049	0.731		P ₂	115.45 _s	1.0		1		
	30.5	P ₅	200.5 _d	1.0	−0.024	0.683		P ₃	152.35 _s	0.9		1		
	35	P ₅	223.9 _d	1.0	−0.012	0.661		P ₃	167.7 _s	0.9		1		
	42	P ₅	215 _d	1.0	−0.018	0.608		P ₂	122.5 _s	1.0		1		
	45	P ₆	228.5 _d	1.0	−0.010	0.594		P ₂	131.5 _s	1.0		1		
集装箱 叉车	FL30.5-4	P ₄	150 _d	1.0	−0.048	0.678		P ₂	110 _s	0.9		1		
	FL40-4	P ₆	250 _d	0.9	0.014	0.550		P ₂	140 _s	1.0		1		
	FL45-4	P ₆	300 _d	0.9	0.021	0.511		P ₃	200 _s	1.0		1		
	FL7-8	P ₃	100 _d	0.9	−0.113	0.768		P ₁	70 _s	0.9		1		
集装箱 正面吊	TL30.5-4	P ₅	220 _d	1.0	−0.009	0.596		P ₂	110 _s	1.0		1		
	TL35-4	P ₆	230 _d	1.0				P ₃	180 _s	1.0		1		
	TL41-4	P ₆	250 _d	1.0				0.001	0.574	P ₃		180 _s	1.0	1
	TL45-5	P ₆	300 _d	1.0				0.021	0.511	P ₃		200 _s	1.0	1

注: P 为单轮荷载量, q 为接地压强;单轮荷载值的下角表示轮型,s为单轮,d为双轮。

表 A.0.5-4 其他流动机械的 A_b 、 B_b 、 C_b 、 k

额定起重量(t) 或机械代号		代 表 荷 载					回 归 系 数			k
		荷载等级		P(kN)		q (MPa)	A _b	B _b	C _b	
轮胎式 起重机	30	P ₂	—	92.5 _s	—	0.7	0.051	0.030	0.132	2
	25	P ₂	—	92.5 _s	—	0.7				2
	16	P ₁	—	62.5 _s	—	0.7				2
	15	P ₂	—	80 _s	—	0.7				2
	10	P ₁	—	60 _s	—	0.7				2
汽车式 起重机	70	P ₁	—	34.5 _d	—	0.7	-0.122	0.947	0.017	4
	40	P ₁	—	26.5 _d	—	0.7				4

续表 A.0.5-4

额定起重量(t) 或机械代号		代 表 荷 载					回 归 系 数			k
		荷载等级		P(kN)		q (MPa)	A _b	B _b	C _b	
集装箱 跨运车	SC30.3-3	—	P ₂	—	110 s	0.9	0.105	0.082	0.117	4
	SC353-3	—	P ₂	—	120 s	0.9	0.122	−0.001		4
	SC41-3	—	P ₂	—	130 s	0.9	0.092	0.075		4
	SC41-4	—	P ₃	—	160 s	0.9	0.122	−0.001	0.125	4
轮胎式 龙门吊	RTG36S30.5	P ₃	P ₄	180 s	250 s	0.85	0.114	−0.025	0.120	4
	RTG36S35	P ₃	P ₄	210 s	280 s	1	0.110	−0.024		4
	RTG46S35	P ₃	P ₄	220 s	300 s	0.9	0.111	−0.022		4
	RTG46S41	P ₃	P ₄	240 s	320 s	1				4
	RTG56S41	P ₄	P ₄	260 s	340 s	1	0.101	−0.019		4
	RTG56S61	P ₄	P ₅	280 s	400 s	1				4
	RTG57S51	P ₄	P ₅	280 s	370 s	1	0.085	−0.029		4
	RTG66D51	P ₄	P ₅	300 s	400 s	1	0.077	−0.020		4
	RTG34S30.5	P ₃	P ₄	180 s	280 s	1	0	0	0	2
	RTG45S35	P ₃	P ₃	150 s	210 s	1	0.101	−0.001	0.121	4
	RTG46D41	P ₂	P ₃	130 s	170 s	1	0.079	−0.032	0.128	4
	RTG57D41	P ₃	P ₃	150 s	190 s	1				4
集装箱 拖挂车	Tr-40	—	P ₂	—	50 _d	0.9	−0.219	1.103	0.085	2
	Tr-60	—	P ₂	—	70 _d	0.9	−0.180	1.040	0.088	2
	Tr-80	—	P ₂	—	73 _d	0.9	−0.153	0.998		2
国产 平板车	20	—	P ₁	—	35 _d	0.35	−0.246	1.376	0.082	2
	25	—	P ₁	—	30 _d	0.30	−0.221	1.313		3
	40	—	P ₂	—	40.75 _d	0.41				3
	50	—	P ₂	—	48.5 _d	0.50	−0.178	1.200		4
	80	—	P ₃	—	82.5 _d	0.83	−0.169	1.180	0.091	3
特种 平板车	160	—	P ₁	—	62.5 _s	0.31	−0.011	0.756	0.094	5
	220	—	P ₁	—	66 _s	0.33				7
	300	—	P ₁	—	71.75 _s	0.36				9
	420	—	P ₂	—	78.75 _s	0.39				12

注:P为单轮荷载量,q为接地压强;单轮荷载值的下角表示轮型,s为单轮,d为双轮。

A.0.5.4 地基顶面压应变的当量单轮荷载系数可按式(A.0.5-3)计算。

$$\varphi = A_z l_z^2 + B_z l_z$$

(A.0.5-3)

式中 φ ——流动机械当量单轮荷载系数;

A_z 、 B_z ——回归系数,可按表 A.0.5-5 和表 A.0.5-6 取值;

l_z ——铺面总结构相对地基的弯曲刚度半径(m),计算方法见附录 C,当 l_z 大于 2m 时取 2m。

表 A.0.5-5 叉车、正面吊的 A_z 、 B_z 、 k

额定起重量(t) 或机械代号		满 载					空 载				k
		荷载 等级	P (kN)	q (MPa)	A_z	B_z	荷载 等级	P (kN)	q (MPa)	φ	
叉车	5	P ₁	29.75 _d	0.70	-0.246	1.505	P ₁	20.35 _s	0.70	0	1
	10	P ₂	64 _d	0.75	-0.177	1.292	P ₁	46.2 _s	0.75		1
	15	P ₃	75.8 _d	0.75	-0.166	1.273	P ₁	47.05 _s	0.75		1
	22	P ₄	147.8 _d	0.9	-0.005	0.722	P ₂	115.45 _s	1.0		1
	30.5	P ₅	200.5 _d	1.0	0.015	0.668	P ₃	152.35 _s	0.9		1
	35	P ₅	223.9 _d	1.0	0.030	0.640	P ₃	167.7 _s	0.9		1
	42	P ₅	215 _d	1.0	0.020	0.588	P ₂	122.5 _s	1.0		1
	45	P ₆	228.5 _d	1.0	0.029	0.570	P ₂	131.5 _s	1.0		1
集装箱 叉车	FL30.5-4	P ₄	150 _d	1.0	-0.009	0.666	P ₂	110 _s	0.9		1
	FL40-4	P ₆	250 _d	0.9	0.056	0.515	P ₂	140 _s	1.0		1
	FL45-4	P ₆	300 _d	0.9	0.066	0.469	P ₃	200 _s	1.0		1
	FL7-8	P ₃	100 _d	0.9	-0.077	0.765	P ₁	70 _s	0.9		1
集装箱 正面吊	TL30.5-4	P ₅	220 _d	1.0	0.025	0.576	P ₂	110 _s	1.0		1
	TL35-4	P ₆	230 _d	1.0	0.032	0.570	P ₃	180 _s	1.0		1
	TL41-4	P ₆	250 _d	1.0	0.041	0.545	P ₃	180 _s	1.0		1
	TL45-5	P ₆	300 _d	1.0	0.064	0.471	P ₃	200 _s	1.0		1

注: P 为单轮荷载量, q 为接地压强;单轮荷载值的下角表示轮型,s为单轮,d为双轮。

表 A.0.5-6 其他流动机械的 A_z 、 B_z 、 k

额定起重量(t) 或机械代号		代 表 荷 载					回 归 系 数		<i>k</i>
		<i>P</i> (kN)		荷载等级		<i>q</i> (MPa)	<i>A_z</i>	<i>B_z</i>	
		空载	满载	空载	满载				
轮胎式 起重机	30	P ₂	—	92.5 _s	—	0.7	0.188	−0.061	2
	25	P ₂	—	92.5 _s	—	0.7	0.182	−0.061	2
	16	P ₁	—	62.5 _s	—	0.7	0.196	−0.067	2
	15	P ₂	—	80 _s	—	0.7	0.159	−0.080	2
	10	P ₁	—	60 _s	—	0.7	0.205	−0.043	2
汽车式 起重机	70	P ₁	—	34.5 _d	—	0.7	0.241	1.217	4
	40	P ₁	—	26.5 _d	—	0.7	0.308	1.069	4

续表 A.0.5-6

额定起重量(t) 或机械代号		代 表 荷 载					回 归 系 数		k
		P(kN)		荷载等级		q (MPa)	A _z	B _z	
		空载	满载	空载	满载				
集装箱 跨运车	SC30.3-3	—	P ₂	—	110 _s	0.9	0.239	0.009	4
	SC353-3	—	P ₂	—	120 _s	0.9	0.238	-0.083	4
	SC41-3	—	P ₂	—	130 _s	0.9	0.181	0.031	4
	SC41-4	—	P ₃	—	160 _s	0.9	0.239	-0.080	4
轮胎式 龙门吊	RTG36S30.5	P ₃	P ₄	180 _s	250 _s	0.85	0.135	-0.057	4
	RTG36S35	P ₃	P ₄	210 _s	280 _s	1			4
	RTG46S35	P ₃	P ₄	220 _s	300 _s	0.9			4
	RTG46S41	P ₃	P ₄	240 _s	320 _s	1			4
	RTG56S41	P ₄	P ₄	260 _s	340 _s	1	0.122	-0.049	4
	RTG56S61	P ₄	P ₅	280 _s	400 _s	1			4
	RTG57S51	P ₄	P ₅	280 _s	370 _s	1	0.100	-0.056	4
	RTG66D51	P ₄	P ₅	300 _s	400 _s	1	0.089	-0.041	4
	RTG34S30.5	P ₃	P ₄	180 _s	280 _s	1	0	0	2
	RTG45S35	P ₃	P ₃	150 _s	210 _s	1	0.119	-0.024	4
	RTG46D41	P ₂	P ₃	130 _s	170 _s	1	0.143	0.304	4
	RTG57D41	P ₃	P ₃	150 _s	190 _s	1	0.244	0.028	4
集装箱 拖挂车	Tr-40	—	P ₂	—	50 _d	0.9	0.052	1.688	2
	Tr-60	—	P ₂	—	70 _d	0.9	0.084	1.642	2
	Tr-80	—	P ₂	—	73 _d	0.9	0.107	1.610	2
国产 平板车	20	—	P ₁	—	35 _d	0.35	-0.122	1.282	2
	25	—	P ₁	—	30 _d	0.30	0.016	1.963	3
	40	—	P ₂	—	40.75 _d	0.41	-0.144	2.597	3
	50	—	P ₂	—	48.5 _d	0.50	0.161	1.698	4
	80	—	P ₃	—	82.5 _d	0.83	0.219	1.354	3
特种 平板车	160	—	P ₁	—	62.5 _s	0.31	0.983	0.956	5
	220	—	P ₁	—	66 _s	0.33	1.430	0.629	7
	300	—	P ₁	—	71.75 _s	0.36	1.327	0.577	9
	420	—	P ₂	—	78.75 _s	0.39	1.627	0.388	12

注:P为单轮荷载量,q为接地压强;单轮荷载值的下角表示轮型,s为单轮,d为双轮。

A.0.6 荷载等级 P₁、P₂时,应计入出入港区的公路汽车、挂车等荷载的影响,公路汽车、挂车的当量标准荷载作用次数系数可按式(A.0.6)计算。

$$w = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\gamma_d P_i}{2P_s} \right)^n$$

(A.0.6)

式中 w ——公路汽车、挂车的当量标准荷载作用次数系数；
 m ——公路汽车、挂车的轴数；
 γ_d ——考虑荷载动态效应的动荷系数,可按表 A.0.3 取值；
 P_i ——公路汽车、挂车的第 i 根轴的轴载 (kN)；
 P_s ——标准单轮荷载的荷载量(kN),可按表 3.2.5 取值；
 n ——换算指数,可按第 A.0.3 条确定。

附录 B 铺面结构设计步骤

B.0.1 铺面结构设计可按下列步骤进行:

(1)铺面结构根据港口作业特点,货种对面层的要求,陆域形成方式、地基残余沉降以及施工条件等因素划分区域,选择相应的铺面类型,确定设计指标;

(2)铺面设计荷载根据流动机械荷载、堆货荷载确定,铺面结构的荷载等级根据流动机械设计荷载确定;

(3)地基顶面回弹模量参照附录 D 确定;当地基顶面回弹模量不满足第 5.2.4 条和第 5.2.5 条规定的最小值要求时,应采取处治措施;

(4)铺面结构的组合设计根据铺面类型、荷载等级确定;初拟铺面结构,包括垫层、底基层、基层和面层的材料类型和厚度;通过材料试验等手段确定垫层、底基层、基层和面层的弹性模量和泊松比;在应用附录 C 进行近似计算时,计算确定面层、基层的当量厚度、当量弹性模量和当量结构的总弯曲刚度,并记录当量面层、基层最下层材料弹性模量和泊松比;计算粒料层顶面当量地基综合回弹模量和泊松比;

(5)按照初拟铺面结构的组合情况,计算相应于设计指标的设计标准荷载累计作用次数;

(6)港口道路、堆场区的装卸和运输通道、流动机械作业区的铺面结构,按疲劳极限状态进行结构分析和验算;集装箱堆货区的铺面结构,按持久极限状态进行结构分析和验算;若不满足要求,则采取增加结构层厚度、提高材料强度等措施,重新进行结构分析和验算;

(7)对满足疲劳极限状态方程的铺面结构,验算是否承受支腿(支座、支轮)荷载的偶然作用,即按一次极限断裂状态验算;若不满足要求,则采取增加结构层厚度、提高材料强度,或加垫钢板增加接地面积等措施。

B.0.2 铺面结构的设计可按图 B.0.2 流程进行。



图 B.0.2 铺面结构设计流程图

附录 C 铺面结构分析

C.0.1 铺面结构分析应符合下列规定。

C.0.1.1 水泥混凝土铺面结构分析可采用不等平面尺寸双层板模型。面层与基层的层间接触状况可假设为竖向受压连续、受拉脱开,水平向光滑无摩擦;地基可采用文克勒地基假设。面层板块间传递荷载效应可采用剪切弹簧模拟。流动机械轮载和集装箱箱角荷载可简化为均布矩形或圆形荷载。

C.0.1.2 联锁块铺面结构有限元分析可采用联锁块、基层、地基的三维实体模型。联锁块间应考虑水平向压力、竖向摩擦力的影响,联锁块与基层间接触条件可假设为半连续状态。流动机械轮载和集装箱箱角荷载可简化为均布矩形或圆形荷载。

C.0.1.3 沥青铺面结构分析可采用弹性层状体系模型。流动机械的轮载可处理为均布圆形荷载,双轮荷载可近似为间隙等于荷载圆半径的均布双圆荷载。整体性材料层之间接触条件可假设为连续,整体性材料层与粒料层或与地基之间接触条件可假设为光滑;粒料层与地基之间接触条件可假设为连续。

C.0.1.4 联锁块、独立块面层及砂垫层可近似处理为厚度为块体厚度与砂垫层厚度之和的当量均匀弹性层。当量均匀弹性层的当量弹性模量可按表 C.0.1-1 取值。当量均匀弹性层与基层的层间接触条件系数可取 0.5 ~ 0.7,荷载和其他层间接触状况的处理同沥青铺面模型。

表 C.0.1-1 独立块、联锁块面层的当量弹性模量

独立块	独立块边长 B_1 (mm)	400		1000	
	当量弹性模量 E_1 (MPa)	2000		2500	
联锁块	块厚 h_1 (mm)	80		120	
	基层类型	刚性、半刚性	柔性	刚性、半刚性	柔性
	当量弹性模量 E_1 (MPa)	4500	6000	3500	5000

注:①表中联锁块当量弹性模量对应联锁块块间平均缝隙 3mm;平均缝隙每增加 1mm,当量弹性模量折减 10%;平均缝隙每减少 1mm,当量弹性模量增加 15%;

②其他尺寸独立块和联锁块当量弹性模量可线性插值。

C.0.1.5 利用本附录提供的铺面结构应力、应变的近似回归式计算时,铺面结构可当量处理为面层、基层和地基三层层状结构,基层为整体性材料时,粒料底基层和垫层并入当量地基;基层和底基层同为整体性材料或同为粒料时,基层和底基层合并为当量基层。

C.0.1.6 面层、基层或粒料层由两层或两层以上不同弹性模量的材料构成时,可按照弯曲刚度等效原则换算为一均匀当量结构层。两层结构时,当量结构的总弯曲刚度 D_{12} 可按式(C.0.1-1)计算,中性轴至层底的距离 $d_{12.s}$ 可按式(C.0.1-4)计算。弹性模量 E_{12} 、

当量厚度 h_{12} 可分别按式 (C.0.1-5) 和式 (C.0.1-6) 计算。若超过两层,可由上而下逐层换算。

$$D_{12} = D_1 + D_2 + D_{1.2} k_u \quad (\text{C.0.1-1})$$

$$D_i = \frac{E_i h_i^3}{12(1 - \mu_i^2)} \quad (\text{C.0.1-2})$$

$$D_{1.2} = \frac{(h_1 + h_2)^2}{4} \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1 h_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2 h_2} \right)^{-1} \quad (\text{C.0.1-3})$$

$$d_{12.s} = \frac{h_2}{2} + \frac{2D_{1.2}}{h_1 + h_2} \cdot \frac{1 - \mu_2^2}{h_2 E_2} k_u \quad (\text{C.0.1-4})$$

$$E_{12} = \frac{E_1 h_1^2 + E_2 h_2^2}{h_1^2 + h_2^2} \quad (\text{C.0.1-5})$$

$$h_{12} = \sqrt[3]{\frac{12(1 - \mu_{12}^2) D_{12}}{E_{12}}} \quad (\text{C.0.1-6})$$

式中 D_{12} ——当量结构的总弯曲刚度 ($\text{MN} \cdot \text{m}$) ;

$D_{1.2}$ ——上、下层结合时引起的弯曲刚度增加量 ($\text{MN} \cdot \text{m}$) ;

k_u ——层间接触条件系数,层间连续时, $k_u = 1$,层间光滑时, $k_u = 0$;

D_i ——第 i 层的弯曲刚度 ($\text{MN} \cdot \text{m}$) , $i = 1, 2$;

E_i ——第 i 层的弹性模量 (MPa) , $i = 1, 2$;

h_i ——第 i 层的厚度 (m) , $i = 1, 2$;

μ_i ——第 i 层的泊松比, $i = 1, 2$;

$d_{12.s}$ ——中性轴至层底的距离 (m) ;

E_{12} ——当量弹性模量 (MPa) ;

h_{12} ——当量厚度 (m) ;

μ_{12} ——当量泊松比, $\mu_{12} = \mu_2$ 。

C.0.1.7 当量地基综合回弹模量可按下列公式计算:

(1) 合并粒料层的当量地基综合回弹模量按式 (C.0.1-7) 计算;

$$E_t = \eta E_0 \quad (\text{C.0.1-7})$$

$$\eta = \left(\frac{E_g}{E_0} \right)^{0.39 + 0.26 \ln \left(\frac{h_g}{k_\delta \delta} \right)} \quad (\text{C.0.1-8})$$

$$k_\delta = \max \left[1, \left(\frac{\tilde{l}_x}{\delta} \right) \left(1.1 - \frac{h_x}{20\delta} \right) \varphi_\delta \right] \quad (\text{C.0.1-9})$$

$$\delta = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (\text{C.0.1-10})$$

$$\delta = 0.564 (0.356 + d_e) \quad (\text{C.0.1-11})$$

$$\tilde{l}_x = \sqrt[3]{\frac{2D_x(1 - \mu_0^2)}{E_0}} \quad (\text{C.0.1-12})$$

$$\varphi_{\delta} = \begin{cases} 1.20 + 0.11\ln\left(\frac{D_g}{D_x}\right) & \frac{D_g}{D_x} \leq 0.033 \\ 0.45 - 0.11\ln\left(\frac{D_g}{D_x}\right) & \frac{D_g}{D_x} > 0.033 \end{cases} \quad (\text{C.0.1-13})$$

式中 E_t ——粒料层顶面的当量地基综合回弹模量 (MPa) ;
 η ——与结构及荷载当量圆半径相关的修正系数;
 E_0, μ_0 ——地基回弹模量 (MPa)、泊松比;
 E_g, h_g, D_g ——粒料层的弹性模量 (MPa)、厚度 (m)、弯曲刚度 (MN·m)。若粒料层由多层组成,按层间连续,按第 C.0.1.6 款计算确定粒料层的当量弹性模量 (MPa)、当量厚度 (m)、当量结构的总弯曲刚度 (MN·m);
 k_{δ} ——荷载圆半径修正系数;
 δ ——荷载当量圆半径,流动机械和集装箱单箱、多列集装箱空箱的当量圆半径按表 C.0.1-2 取值;支腿(支座、支轮)荷载的当量圆半径按式 (C.0.1-10) 计算;单列、多列集装箱重箱的当量圆半径按式 (C.0.1-11) 计算;
 A ——支腿(支座、支轮)荷载的接地面积 (m²) ;
 d_e ——集装箱箱角之间的净间距 (m);
 $h_x, D_x, \tilde{l}_x$ ——当量结构层的厚度 (m)、弯曲刚度 (MN·m)、相对于地基的弯曲刚度半径 (m);下角 x 表示结构层类型,为沥青面层时 x 用 a 表示,为沥青面层和基层的当量层时 x 用 ab 表示,为水泥混凝土面层和基层的当量层时 x 用 cb 表示,为联锁块或独立块面层和基层的当量层时 x 用 lb 表示; h_x, D_x 按第 C.0.1.6 款计算确定;
 φ_{δ} ——与粒料层及面层和基层当量层的弯曲刚度之比有关的修正系数。

C.0.1-2 流动机械和集装箱箱角的荷载当量圆半径 (m)

流动荷载等级						集装箱荷载	
P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	单箱角	多列集装箱空箱
0.151	0.178	0.252	0.309	0.357	0.399	0.096	0.200

(2)在原铺面上铺筑面层时,原铺面顶面的当量地基综合回弹模量可根据落锤式弯沉仪(荷载 50kN、承载板半径 150mm)中心点弯沉的测定结果按式 (C.0.1-14) 和式 (C.0.1-15) 计算确定。

$$E_t = \frac{18621}{w_0} \quad (\text{C.0.1-14})$$

$$w_0 = \bar{w} + 1.04s_w \quad (\text{C.0.1-15})$$

式中 E_t ——原铺面顶面的当量地基综合回弹模量 (MPa) ;
 w_0 ——原铺面代表弯沉值 (0.01mm) ;
 $\bar{w}$ ——原铺面弯沉平均值 (0.01mm) ;
 s_w ——原铺面弯沉的标准差 (0.01mm) 。

C.0.2 水泥混凝土面层的荷载应力计算应符合下列规定。

C.0.2.1 水泥混凝土面层板边临界荷位处面层板最大弯拉应力可按下列公式计算：

$$\sigma_c = k_j k_L \widetilde{\sigma}_c \tag{C.0.2-1}$$

$$\widetilde{\sigma}_c = F_c \frac{d_{c.s} E_{c.s}}{D_c + D_b} P_x \overline{M}_{cb} \tag{C.0.2-2}$$

$$\overline{M}_{cb} = \ln\left(\frac{l_{cb}}{\delta}\right) + a_1 + (a_2 - a_3 \times d_e) \left(\frac{\delta}{l_{cb}}\right)^2 \tag{C.0.2-3}$$

$$k_L = 1 - \exp\left[-0.6 \left(\frac{L}{l_{cb} + \delta}\right)^{1.54}\right] \tag{C.0.2-4}$$

$$l_{cb} = 1.21 \left(\frac{D_c + D_b}{E_t}\right)^{1/3} \tag{C.0.2-5}$$

式中 σ_c ——混凝土面层板边临界荷位处面层板最大弯拉应力(MPa)；
 k_j ——考虑板间传荷和基层超宽效应系数,纵缝不设拉杆的道路可取 0.95,纵缝设拉杆的道路可取 0.85 ~ 0.90,纵、横缝设拉杆、传力杆的堆场可取 0.75 ~ 0.80;粒料基层时取高值,刚性基层时取低值,半刚性基层时取中值；
 k_L ——板长修正系数；
 $\widetilde{\sigma}_c$ ——半无限大板临界荷位处的板边荷载应力(MPa)；
 $F_c、a_1、a_2、a_3$ ——与荷载类型有关的回归系数,可按表 C.0.2 取值；
 $d_{c.s}$ ——混凝土面层中性轴至层底的距离(m),面层由单一材料构成时, $d_{c.s}$ 取面层厚度的一半;由多种材料构成时,按第 C.0.1.6 款确定；
 $E_{c.s}$ ——面层混凝土弹性模量,面层由多种材料构成时,取最下层混凝土的弹性模量(MPa)；
 $D_c、D_b$ ——混凝土面层、基层的弯曲刚度(MN·m),按第 C.0.1.6 款确定；
 P_x ——设计荷载量(MN),为标准单轮荷载时 x 用 s 表示;为 m 层堆高集装箱箱角设计荷载,或支腿(支座、支轮)最大荷载时 x 用 m 表示；
 $\overline{M}_{cb}$ ——混凝土铺面结构的弯矩系数,按式(C.0.2-3)计算；
 l_{cb} ——水泥混凝土面层与基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径(m)；
 δ ——荷载当量圆半径,按第 C.0.1.7 款确定；
 d_e ——集装箱箱角之间的净间距(m)；
 L ——面层板的横缝间距,即板长(m)；
 E_t ——当量地基综合回弹模量(MPa),按第 C.0.1.7 款确定。

表 C.0.2 荷载应力的回归系数

荷载类型		F_c	a_1	a_2	a_3
标准单轮荷载		0.131	1.39	-2.31	0
多列集装箱,支腿(支座、支轮)荷载	板边荷位	0.233	-0.118	1.29	1.17
	板中荷位	0.154	-0.326	1.74	1.30

C.0.2.2 集装箱箱角位于板中时的混凝土面板层底最大弯拉应力可按式(C.0.2-6)

计算。

$$\sigma_{c,z} = k_L \tilde{\sigma}_{c,z} \quad (\text{C.0.2-6})$$

式中 $\sigma_{c,z}$ ——集装箱箱角位于板中时的混凝土面板层底最大弯拉应力 (MPa);

k_L ——板长修正系数,按式 (C.0.2-4) 计算;

$\tilde{\sigma}_{c,z}$ ——无限大板的板中荷载应力 (MPa),计算公式同式 (C.0.2-2),其中,混凝土铺面弯矩系数 $\bar{M}_{cb}$ 的回归系数 F_c, a_1, a_2, a_3 见表 C.0.2。

C.0.2.3 定点堆放的集装箱箱角距板边净距为 d_s 时的混凝土面板层底最大弯拉应力可按下列公式计算:

$$\sigma_{c(d_s)} = \sigma_{c,z} + \varphi_c (\sigma_c - \sigma_{c,z}) \quad (\text{C.0.2-7})$$

$$\varphi_c = \exp \left[-5 \left(\frac{d_s}{l_{cb} + \delta} \right) \right] \quad (\text{C.0.2-8})$$

式中 $\sigma_{c(d_s)}$ ——定点堆放的集装箱箱角距板边净距为 d_s 时的混凝土面板层底最大弯拉应力 (MPa);

$\sigma_{c,z}$ ——集装箱箱角位于板中时的混凝土面板层底最大弯拉应力 (MPa),按式 (C.0.2-6) 计算;

φ_c ——荷载应力的集装箱箱角内移系数;

σ_c ——混凝土面层板边临界荷位处面层板最大弯拉应力 (MPa),按式 (C.0.2-1) 计算;

d_s ——集装箱箱角距板边净距 (m);

l_{cb} ——混凝土面层与基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径 (m),按式 (C.0.2-5) 计算;

δ ——荷载当量圆半径,按第 C.0.1.7 款确定。

C.0.3 水泥混凝土面层板边临界荷位处面层板最大温度应力可按下列公式计算:

$$\sigma_{TM} = \alpha_c E_{c,s} d_{c,s} T_g B_L \quad (\text{C.0.3-1})$$

$$B_L = 1.77e^{-4.48h_c} C_L - 0.131(1 - C_L) \quad (\text{C.0.3-2})$$

$$C_L = 1 - \left(\frac{1}{1 + \xi} \right) \frac{\sinh(L/3l_{cb}) \cos(L/3l_{cb}) + \cosh(L/3l_{cb}) \sin(L/3l_{cb})}{\sin(L/3l_{cb}) \cos(L/3l_{cb}) + \cosh(L/3l_{cb}) \sinh(L/3l_{cb})} \quad (\text{C.0.3-3})$$

$$\xi = - \frac{(\beta_n l_{cb}^4 - D_c) l_\beta^3}{(\beta_n l_\beta^4 - D_c) l_{cb}^3} \quad (\text{C.0.3-4})$$

$$l_\beta = \sqrt[4]{\frac{D_c D_b}{(D_c + D_b) \beta_n}} \quad (\text{C.0.3-5})$$

$$\beta_n = \frac{1}{2} \left(\frac{h_c}{E_{c,s}} + \frac{h_b}{E_b} \right)^{-1} \quad (\text{C.0.3-6})$$

式中 σ_{TM} ——50 年一遇最大温度梯度所产生的最大温度应力 (MPa);

α_c ——混凝土的线膨胀系数,根据粗集料的类型,按表 D.0.6-2 取值;

$E_{c,s}$ ——面层混凝土弹性模量,面层由多种材料构成时,取最下层混凝土的弹性模量 (MPa);

- $d_{c.s}$ ——混凝土面层中性轴至层底的距离(m),面层由单一材料构成时, $d_{c.s}$ 取面层厚度的一半;由多种材料构成时,按第 C.0.1.6 款确定;
- T_g ——港口所在地 50 年一遇的最大温度梯度(℃/m),按表 C.0.3 取值;
- B_L ——综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数,若计算结果为负值, B_L 取 0;
- h_c ——混凝土面层的厚度,面层由多种材料构成时,取其当量面层的厚度(m);
- C_L ——水泥混凝土面层的温度翘曲系数;
- ξ ——与基层结构有关的参数;
- L ——面层板的横缝间距,即板长(m);
- l_{cb} ——水泥混凝土面层与基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径(m),按式(C.0.2-5)计算;
- β_n ——面层与基层之间竖向接触刚度(MPa/m),层间不设沥青混合料夹层或隔离层时,按式(C.0.3-6)计算;设沥青混合料夹层或隔离层时, β_n 取 3000MPa/m;
- l_β ——层间接触状况参数(m);
- $D_c、D_b$ ——混凝土面层、基层的弯曲刚度(MN·m),按第 C.0.1.6 款确定;
- $h_b、E_b$ ——基层的厚度(m)、弹性模量(MPa)。

表 C.0.3 最大温度梯度标准值

公路自然区划	Ⅱ、Ⅴ	Ⅲ	Ⅳ、Ⅵ	Ⅶ
最大温度梯度(℃/m)	83 ~ 88	90 ~ 95	86 ~ 92	93 ~ 98

注:海拔高时,取高值;湿度大时,取低值。

C.0.4 沥青面层层底最大弯拉应变可按下列公式计算:

$$\varepsilon_a = \frac{d_{a.s}}{12\pi D_a} \frac{b+3}{b+1} P_x \overline{M}_a \tag{C.0.4-1}$$

$$l_a = \sqrt[3]{\frac{2D_a(1-\mu_t^2)}{E_t}} \tag{C.0.4-2}$$

$$b = a_b \left(\frac{E_t}{E_a}\right)^{0.21} \left(\frac{h_a}{\delta}\right)^{1.66} \tag{C.0.4-3}$$

- 式中 ε_a ——设计标准荷载作用下沥青面层的最大弯拉应变;
- $d_{a.s}$ ——沥青面层中性轴至层底的距离(m),按第 C.0.1.6 款确定,其中 k_u 取 1;
- b ——面层应变曲面系数;
- P_x ——设计荷载量(MN),为标准单轮荷载时 x 用 s 表示;
- $\overline{M}_a$ ——沥青面层弯矩系数,同式(C.0.2-3), l_{cb} 改为 l_a 即可,回归系数 $a_1、a_2、a_3$ 按表 C.0.5 取值;
- l_a ——沥青面层相对当量地基的弯曲刚度半径(m);
- $E_a、h_a、D_a$ ——沥青面层疲劳等效模量(MPa)、当量厚度(m)、当量弯曲刚度(MN·m), E_a 按式(6.2.5-4)计算, $h_a、D_a$ 按第 C.0.1.6 款确定;
- E_t ——当量地基综合回弹模量(MPa),按第 C.0.1.7 款确定;

- μ_t ——当量地基综合泊松比,可取下卧粒料层材料泊松比;
- a_b ——回归系数,按表 C.0.5 取值;
- δ ——荷载当量圆半径,按第 C.0.1.7 款确定。

C.0.5 沥青铺面的整体性材料基层或底基层的最大弯拉应力可按式(C.0.5)计算。

$$\sigma_b = \frac{d_{b.s}}{12\pi D_{ab}} \frac{E_{b.s}}{1-\mu_{b.s}} \frac{b+3}{b+1} P_x \overline{M}_{ab} \tag{C.0.5}$$

式中 σ_b ——设计标准荷载、流动机械的支腿(支座、支轮)荷载所产生的基层或底基层的最大弯拉应力(MPa);

$d_{b.s}$ ——沥青面层和基层或底基层当量层中性轴至基层或底基层层底的距离(m),按第 C.0.1.6 款确定,其中面层和基层或底基层层间连续,即 k_u 取 1;

D_{ab} ——沥青面层和基层或底基层当量层的弯曲刚度(MN·m),按第 C.0.1.6 款确定;

$E_{b.s}, \mu_{b.s}$ ——基层或底基层材料的弹性模量(MPa)和泊松比;基层或底基层由多层材料构成时,取其最下层材料的弹性模量(MPa)和泊松比;

b ——沥青面层和基层或底基层当量层的应变曲面系数,按式(C.0.4-3)计算,其中沥青面层疲劳等效模量 E_a 、当量厚度 h_a 改为面层和基层或底基层当量层的弹性模量 E_{ab} 、厚度 h_{ab} ;

P_x ——设计荷载量(MN);

$\overline{M}_{ab}$ ——沥青面层和基层或底基层当量层的弯矩系数;按式(C.0.2-3)计算, l_{cb} 改为 l_{ab} , l_{ab} 为面层和基层或和底基层当量层相对当量地基的弯曲刚度半径(m),按式(C.0.4-2)计算,其中面层弯曲刚度 D_a 改为面层和基层或底基层当量层的总弯曲刚度 D_{ab} 即可; a_1, a_2, a_3 按表 C.0.5 取值。

表 C.0.5 荷载应力的回归系数

荷载形式	a_b	a_1	a_2	a_3
标准单轮荷载 支腿(支座、支轮)荷载	0.11	0.766	-0.19	0
多列集装箱	0.11	0.341	0.30	0

C.0.6 联锁块、独立块铺面的整体性材料基层或底基层的层底弯拉应力可按式(C.0.5)计算,计算时将 D_{ab} 改为 D_{lb} , $\overline{M}_{ab}$ 改为 $\overline{M}_{lb}$,其中 $d_{b.s}$ 计算时面层与基层按层间半连续,层间接触条件系数 k_u ,当砂垫层厚度小于 30mm 时可取 0.7,当砂垫层厚度大于等于 30mm 时可取 0.5; D_{lb} 为联锁块、独立块面层和基层或底基层当量层的弯曲刚度,按第 C.0.1.6 款确定; $\overline{M}_{lb}$ 按式(C.0.2-3)计算,其中 a_1, a_2, a_3 按表 C.0.5 取值,计算时将 l_{cb} 改为 l_{lb} ; l_{lb} 按式(C.0.4-2)计算,其中面层弯曲刚度 D_a 改为面层和基层或底基层当量层的总弯曲刚度 D_{lb} 即可。

C.0.7 粒料基层的沥青、联锁块、独立块铺面的地基顶面竖向最大压应变可按下列公式计算:

$$\varepsilon_z = \frac{1 + 0.88\mu_0 - 2.68\mu_0^2}{E_0} \sigma_z \quad (\text{C.0.7-1})$$

$$\sigma_z = 1.08 \left(\frac{l_z}{\delta} + 0.68 \right)^{-2.11} q_x \quad (\text{C.0.7-2})$$

$$D_x = \varphi_1 D_s + D_g \quad (\text{C.0.7-3})$$

$$\varphi_1 = \min \left\{ 10, 13.7 \left[\ln \left(\frac{D_s}{D_g} \left(\frac{\delta}{h_g} \right)^3 \right) + 10 \right]^{-0.98} \right\} \quad (\text{C.0.7-4})$$

式中 ε_z ——设计标准荷载作用下地基的最大压应变；

E_0, μ_0 ——地基回弹模量(MPa)和泊松比；

σ_z ——地基顶面最大压应力(MPa)；

l_z ——铺面结构相对地基的弯曲刚度半径(m),按式(C.0.1-12)计算,其中 D_x 按式(C.0.7-3)计算；

δ ——荷载当量圆半径,按第 C.0.1.7 款确定；

q_x ——设计荷载的接地压强(MPa),为标准单轮荷载接地压强时 x 用 s 表示；为 m 层堆高集装箱箱角设计荷载接地压强,或支腿(支座、支轮)荷载接地压强时 x 用 m 表示；

D_x ——面层和粒料层当量层的弯曲刚度(MN·m)；

φ_1 ——面、基层弯矩分配系数,其中 $\ln \left(\frac{D_s}{D_g} \left(\frac{\delta}{h_g} \right)^3 \right)$ 小于 -9 时,取 -9；

D_s ——面层的弯曲刚度(MN·m),按第 C.0.1.6 款确定；

D_g ——粒料层当量层的弯曲刚度(MN·m),按第 C.0.1.6 款确定；

h_g ——粒料层当量层的厚度(m)。

附录 D 铺面材料的设计参数

D.0.1 铺面材料各项设计参数应按标准试验方法实测确定。材料强度的设计值应按概率分布的 0.85 分位值取用,材料回弹模量和弹性模量设计值应按概率分布的 0.50 分位值取用。

D.0.2 铺面材料参数的标准试验应符合下列规定。

D.0.2.1 粒料类材料的回弹模量应采用动态三轴压缩试验测定,最大粒径不大于 19mm 的试件尺寸为直径 100mm、高 200mm,其他粒料试件尺寸为直径 150mm、高 300mm。

D.0.2.2 无机结合料稳定类材料的弹性模量应采用单轴压缩模量试验测定,水泥稳定类材料的试件龄期为 90d,石灰粉煤灰稳定类材料的试件龄期为 180d,测定前试件浸水 1d。

D.0.2.3 无机结合料稳定类材料的弯拉强度测试应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51)的有关规定。

D.0.2.4 水泥混凝土、贫混凝土强度和弹性模量测试应符合现行行业标准《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)的有关规定。

D.0.2.5 沥青混合料动态模量应采用周期加载单轴压缩试验测定,试件的尺寸为直径 100mm、高 150mm,试验温度采用 20℃,加载频率道路取 5Hz,堆场取 3Hz。

D.0.3 地基回弹模量的设计值应为标准试验条件下的测定值乘以平衡湿度调整系数,条件受限时,标准条件下的地基回弹模量可参照表 D.0.3-1,平衡湿度调整系数可参照表 D.0.3-2,并结合工程经验确定。

表 D.0.3-1 标准条件下地基回弹模量参考范围(MPa)

土 组	取 值 范 围	代 表 值
级配良好砾 GW	240 ~ 290	250
级配不良砾 GP	170 ~ 240	190
含细粒土砾 GF	120 ~ 240	180
粉土质砾 GM	160 ~ 270	220
黏土质砾 GC	120 ~ 190	150
级配良好砂 SW	120 ~ 190	150
级配不良砂 SP	100 ~ 160	130
含细粒土砂 SF	80 ~ 160	120
粉土质砂 SM	120 ~ 190	150
黏土质砂 SC	80 ~ 120	100

续表 D.0.3-1

土 组	取 值 范 围	代 表 值
低液限粉土 ML	70 ~ 110	90
低液限黏土 CL	50 ~ 100	70
高液限粉土 MH	30 ~ 70	50
高液限黏土 CH	20 ~ 50	30

注:①对于砾和砂,通过率为 60% 时的颗粒粒径 D_{60} 大时,模量取高值, D_{60} 小时,模量取低值;
②对于其他含细粒的土组,小于 0.075mm 颗粒含量大和塑性指数高时,模量取低值,反之,取高值。

表 D.0.3-2 地基回弹模量平衡湿度调整系数

土 组	铺面结构层底部距地下水位的距离 (m)					
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
砾 GW、GP	0.64 ~ 0.79	0.75 ~ 0.97	0.85 ~ 1.14	0.94 ~ 1.27	1.02 ~ 1.46	1.15 ~ 1.48
含细粒土砾 GF 细粒土质砾 GM、GC	1.00 ~ 1.47	1.20 ~ 1.70	1.38 ~ 1.88	1.50 ~ 1.97	1.58 ~ 2.04	1.71 ~ 2.12
砂 SW、SP	0.56 ~ 0.66	0.61 ~ 0.78	0.65 ~ 0.89	0.69 ~ 1.02	0.73 ~ 1.09	0.80 ~ 1.21
含细粒土砂 SF 细粒土质砂 SM、SC	0.82 ~ 1.32	1.00 ~ 1.55	1.15 ~ 1.75	1.27 ~ 1.85	1.35 ~ 1.92	1.47 ~ 2.02
低液限粉土 ML	0.79 ~ 1.01	0.94 ~ 1.22	1.07 ~ 1.40	1.16 ~ 1.51	1.24 ~ 1.61	1.36 ~ 1.73
低液限黏土 CL	0.71 ~ 0.99	0.84 ~ 1.20	0.94 ~ 1.38	1.01 ~ 1.50	1.07 ~ 1.58	1.22 ~ 1.70
高液限粉土 MH 高液限黏土 CH	0.72 ~ 0.79	0.82 ~ 0.94	0.89 ~ 1.07	0.94 ~ 1.16	0.97 ~ 1.24	1.04 ~ 1.36

注:①对于砾和砂,通过率为 60% 时的颗粒粒径 D_{60} 大时,调整系数取高值, D_{60} 小时,调整系数取低值;
②对于其他含细粒的土组,小于 0.075mm 颗粒含量大和塑性指数高时,调整系数取低值,反之,取高值。

D.0.4 基层和底基层材料的设计参数取值应符合下列规定。

D.0.4.1 粒料类基层和底基层材料回弹模量设计值应为标准状态条件下的测定值乘以平衡湿度调整系数,湿度调整系数可在 1.1 ~ 1.8 范围内选取。条件受限时,可参照表 D.0.4-1,并结合工程经验确定。

表 D.0.4-1 粒料类基层和底基层材料回弹模量经验参考值 (MPa)

材料类型和层位	最佳含水率和考虑压实度要求的干密度条件下	经湿度调整后结构回弹模量
级配碎石基层	200 ~ 400	300 ~ 700
级配碎石底基层	180 ~ 250	190 ~ 440
级配砾石基层	150 ~ 300	250 ~ 600
级配砾石底基层	150 ~ 220	160 ~ 380
未筛分碎石层	180 ~ 220	200 ~ 400
天然砂砾层	105 ~ 135	130 ~ 240

注:材料性能好、级配好或压实度大时取高值,反之取低值。

D.0.4.2 无机结合料类基层和底基层材料弹性模量的设计值,当流动机械荷载作用时,应取标准试验条件下测定值的 1/2;当集装箱箱角荷载、支腿(支座、支轮)荷载作用时,应取标准试验条件下测定值的 1/3。条件受限时,可参照表 D.0.4-2,并结合工程经验确定。

表 D.0.4-2 无机结合料类基层和底基层材料弹性模量经验参考值 (MPa)

材料类型	28d 抗压强度	试件模量	流动机械荷载	集装箱箱角荷载、 支腿荷载
水泥稳定类	7.0 ~ 10	14000 ~ 24000	7000 ~ 12000	4700 ~ 8000
	3.0 ~ 7.0	10000 ~ 14000	5000 ~ 7000	3700 ~ 4700
	1.5 ~ 3.0	6000 ~ 10000	3000 ~ 5000	2000 ~ 3700
石灰粉煤灰稳定类	≥ 3.0	8000 ~ 14000	4000 ~ 7000	2700 ~ 4700
	1.0 ~ 3.0	5000 ~ 8000	2500 ~ 4000	1700 ~ 2700
石灰稳定类	≥ 1.5	4000 ~ 6000	2000 ~ 3000	1300 ~ 2000
	0.5 ~ 1.5	3000 ~ 4000	1500 ~ 2000	1000 ~ 1300

D.0.4.3 无机结合料类基层和底基层材料的弯拉强度设计值应取标准试验条件下的测定值,条件受限时,无机结合料类材料的弯拉强度设计值可按式 (D.0.4) 计算。

$$f_r = 0.21R_{28} \tag{D.0.4}$$

式中 f_r ——无机结合料类材料的弯拉强度设计值 (MPa) ;

R_{28} ——28d 龄期的浸水无侧限抗压强度标准值 (MPa) 。

D.0.5 沥青混合料的 20℃ 动态弹性模量应取单轴压缩试验测定值,条件受限时,可按式 (D.0.5) 估计。在初步设计时可参照表 D.0.5 确定。

$$\lg E_{a,20} = 3.43 + 0.024f - 0.0034PEN - 0.093P_a - 0.021V_a + 0.023VCA \tag{D.0.5}$$

式中 $E_{a,20}$ ——20℃ 的沥青混合料动态弹性模量 (MPa) ;

f ——加载频率 (Hz) ,港口道路取 5Hz,堆场取 3Hz;

PEN ——沥青针入度 (0.1mm) ;

P_a ——沥青混合料油石比 (%) ;

V_a ——压实沥青混合料的空隙率 (%) ;

VCA ——粗集料骨架的松装间隙率 (%) 。

表 D.0.5 20℃ 沥青混合料动态弹性模量经验参考值

材料类型	道路 (MPa)	堆场 (MPa)
密级配沥青混合料(细型)	5400 ~ 9500	4600 ~ 8300
密级配沥青混合料(粗型)	5700 ~ 10000	5000 ~ 9000
沥青玛蹄脂碎石	5300 ~ 9000	4700 ~ 8000
密级配沥青碎石	7000 ~ 11000	5300 ~ 8300

注:沥青标号低或 SBS 改性、混合料空隙率小时取高值,反之取低值。

D.0.6 水泥混凝土材料的强度和弹性模量的设计值应取试验测定值,条件受限时,可参照表 D.0.6-1 确定。水泥混凝土材料线膨胀系数可参照表 D.0.6-2 确定。

表 D.0.6-1 水泥混凝土强度和弹性模量经验参考值

弯拉强度 (MPa)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
抗压强度 (MPa)	7	11	15	20	25	30	36	42	49
抗拉强度 (MPa)	0.89	1.21	1.53	1.86	2.20	2.54	2.85	3.22	3.55
弹性模量 (GPa)	15	18	21	23	25	27	29	31	33

表 D.0.6-2 水泥混凝土线膨胀系数经验参考值

粗集料类型	石英岩	砂岩	砾石	花岗岩	玄武岩	石灰岩
水泥混凝土线膨胀系数 $10^{-6} (^\circ \text{C})$	12	12	11	10	9	7

D.0.7 不同种类钢筋的强度和弹性模量可参照表 D.0.7 确定。

表 D.0.7 钢筋强度和弹性模量经验参考值

钢筋种类	钢筋直径 $d (\text{mm})$	屈服强度 $f_{\text{sy}} (\text{MPa})$	弹性模量 $E_{\text{s}} (\text{MPa})$
HPB300	6 ~ 22	300	210000
HRB335	6 ~ 50	335	200000
HRB400		400	
HRB500		500	

D.0.8 铺面常见材料的泊松比可参照表 D.0.8 ,并结合工程经验确定。

表 D.0.8 常见材料的泊松比推荐值

材 料 种 类		泊 松 比
水泥混凝土		0.15
沥青混合料		0.30 ~ 0.40
联锁块、独立块层		0.30
无机结合料类	28d 抗压强度 $\geq 5 \text{MPa}$	0.20
	28d 抗压强度 $< 5 \text{MPa}$	0.25
级配碎石		0.30
砂、砂砾土		0.35
黏性土		0.40

注:沥青面层当量温度为 20℃ 时,泊松比取 0.35 ,大于 20℃ 时取高值,反之取低值。

附录 E 沥青面层疲劳等效温度

E.0.1 确定沥青面层疲劳等效温度时,铺面结构和材料的基准状况可假设为沥青面层厚度 0.18m,20℃的沥青混合料动态弹性模量 4000MPa,基层厚度 0.40m,粒料基层模量 400MPa 或半刚性基层模量 7000MPa,地基模量 80MPa;沥青面层与半刚性基层层间连续,与粒料基层层间光滑;半刚性基层与地基层间光滑;粒料基层与地基层间连续。

E.0.2 铺面结构和材料基准状况时的沥青面层基准等效温度可按下列公式计算:

$$\overline{T}_{\text{pef}} = a_T x_T^2 + b_T x_T + c_T \tag{E.0.2-1}$$

$$x_T = \mu T_a + a_x \Delta T_{\text{a,mon}} \tag{E.0.2-2}$$

式中 $\overline{T}_{\text{pef}}$ ——沥青面层的基准等效温度(℃);

a_T, b_T, c_T, a_x ——回归系数,其值见表 E.0.2;

x_T ——表征温度(℃);

μT_a ——年均气温(℃);

$\Delta T_{\text{a,mon}}$ ——月均气温的年极差(℃),即最热月平均气温和最冷月平均气温之差,通常为七月和一月平均气温之差。

表 E.0.2 回归系数取值

等效对象	a_T	b_T	c_T	a_x
面层弯拉应变	0.0123	0.681	6.630	0.033
基层弯拉应力	0.0141	0.615	7.414	0.029
地基压应变	0.0114	0.663	7.235	0.144

E.0.3 铺面结构和材料处于非基准状况时,沥青面层等效温度可按下列公式计算:

$$T_{\text{pef}} = A_h A_E \overline{T}_{\text{pef}}^{1+B_h+B_E} \tag{E.0.3-1}$$

$$A_i = a_i \ln \left(\frac{\lambda_i}{\sim \lambda_i} \right) + 1 \quad i = h, E \tag{E.0.3-2}$$

$$A_i = \left(\frac{\lambda_i}{\sim \lambda_i} \right)^{a_i} \quad i = h, E \tag{E.0.3-3}$$

$$B_i = -b_i \ln \left(\frac{\lambda_i}{\sim \lambda_i} \right) \quad i = h, E \tag{E.0.3-4}$$

$$\lambda_h = \frac{h_a}{h_b} \tag{E.0.3-5}$$

$$\lambda_E = \frac{E_{\text{a,20}}}{E_b} \tag{E.0.3-6}$$

式中 T_{pef} ——沥青面层的疲劳等效温度(℃)；
 $\bar{T}_{\text{pef}}$ ——沥青面层的基准等效温度(℃)，按式(E.0.2-1)计算；
 A_i ——与面层和基层的厚度比、模量比有关的参数，计算沥青面层弯拉应变、地基压应变的沥青面层等效温度时按式(E.0.3-2)计算；计算基层弯拉应力的沥青面层等效温度时按式(E.0.3-3)计算；
 $\tilde{\lambda}_i$ ——基准状况时面层和基层的厚度比、模量比值，其中 $\tilde{\lambda}_h = 0.45$ ；粒料基层时 $\tilde{\lambda}_E$ 取 10，半刚性基层时 $\tilde{\lambda}_E$ 取 0.57；
 B_i ——与面层和基层的厚度比、模量比有关的参数；
 a_i 、 b_i ——回归系数，按表 E.0.3 取值；
 λ_h ——面层和基层的厚度比；
 h_a 、 h_b ——面层和基层的厚度(m)，面层由两层或两层以上不同弹性模量的材料构成时，应按附录 C 等效为当量厚度；
 λ_E ——面层和基层的弹性模量比；
 $E_{a.20}$ ——20℃的沥青混合料动态弹性模量(MPa)，可按附录 D 确定，面层由两层或两层以上不同弹性模量的材料构成时，应按附录 C 等效为当量弹性模量；
 E_b ——基层模量(MPa)。

表 E.0.3 回 归 系 数 取 值

等效对象	a_E	a_h	b_E	b_h
面层弯拉应变	0.88	1.11	0.18	0.26
基层弯拉应力	1.87	5.14	0.55	1.55
地基压应变	0.69	1.54	0.15	0.52

附录 F 标志标线图例

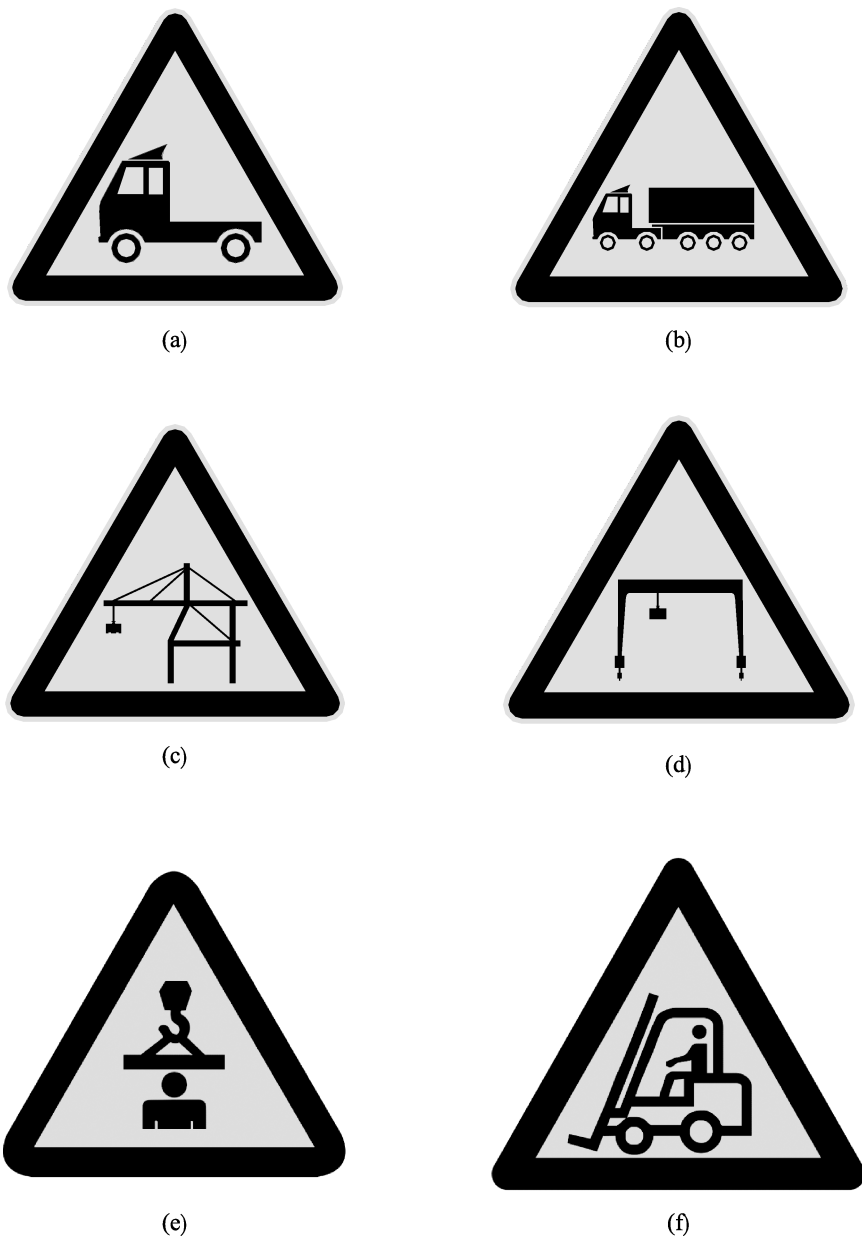


图 F.0.1 作业设备警告标志图例

(a) 当心散卡警告标志;(b) 当心集卡警告标志;(c) 当心岸桥警告标示;
(d) 当心吊机警告标志;(e) 当心吊物警告标志;(f) 当心叉车警告标志

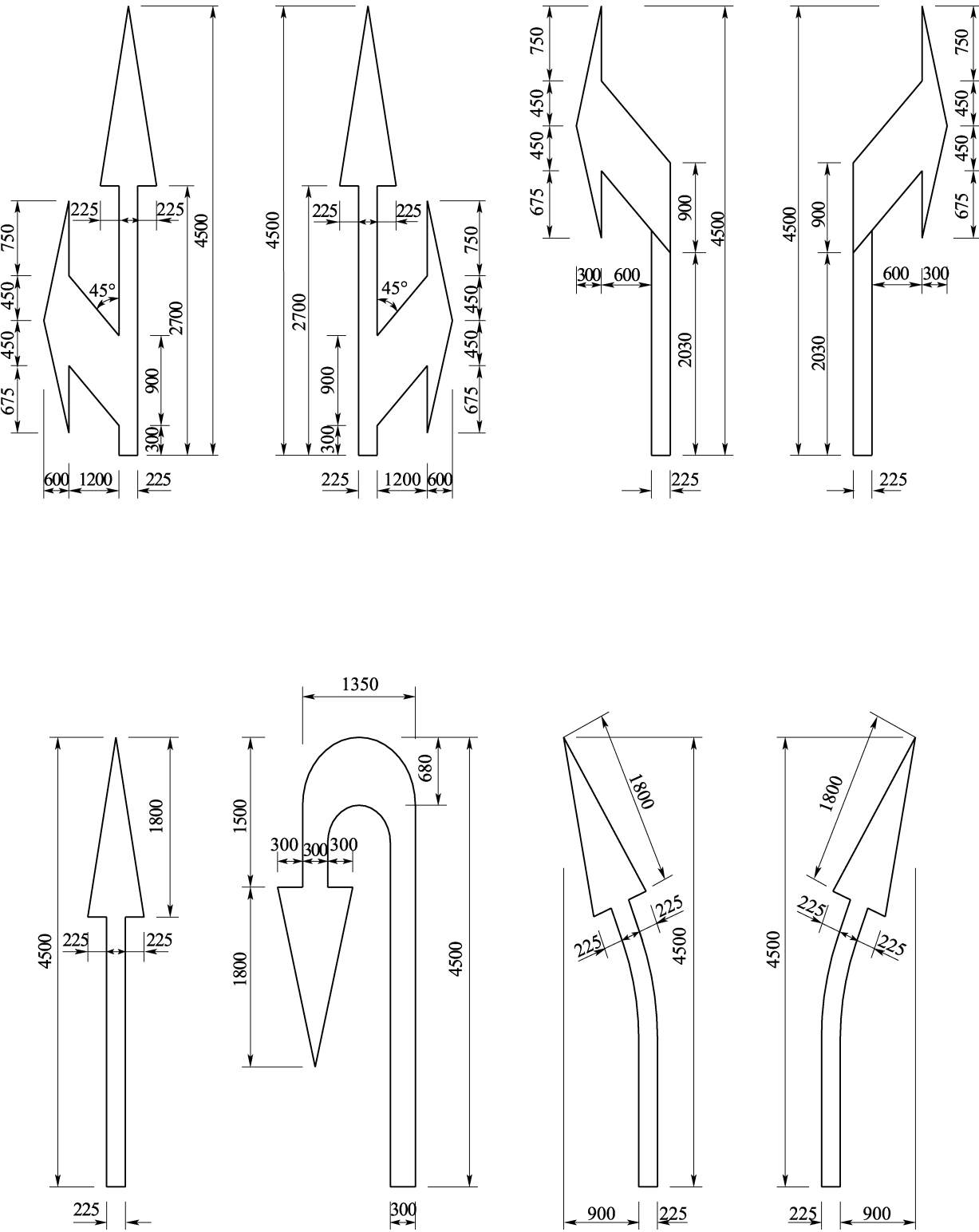
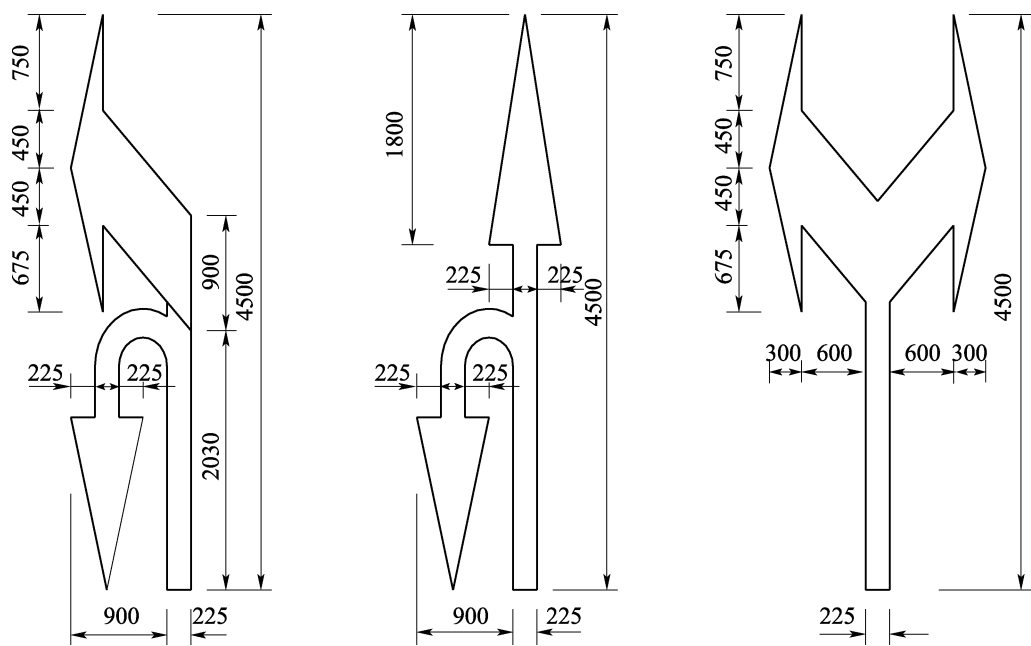


图 F.0.2 道路导向箭头 (单位:mm)



续图 F.0.2 道路导向箭头(单位:mm)

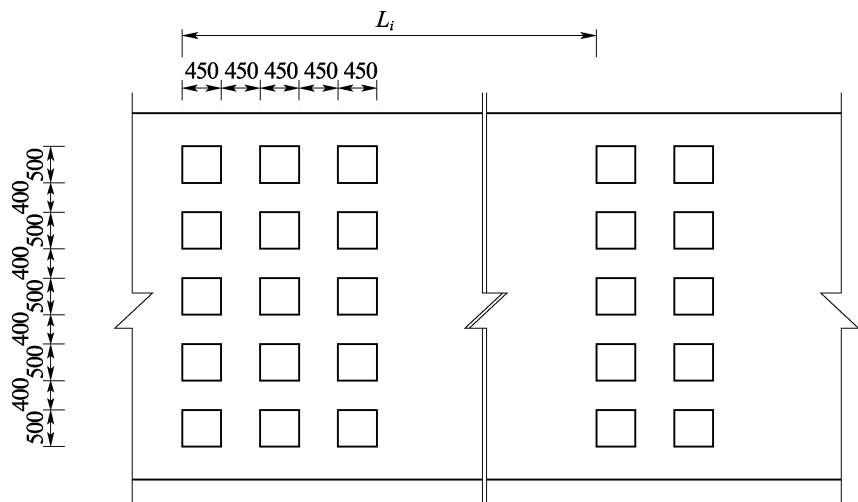


图 F.0.3 减速标线(单位:mm)

注:第一道减速标线,间隔5m,标线重复次数1次;第二道减速标线,间隔9m,标线重复次数1次;第三道减速标线,间隔13m,标线重复次数2次;第四道减速标线,间隔17m,标线重复次数2次。

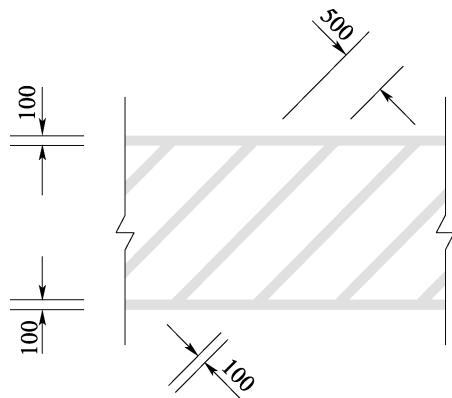


图 F.0.4 码头区车道分隔线(单位:mm)

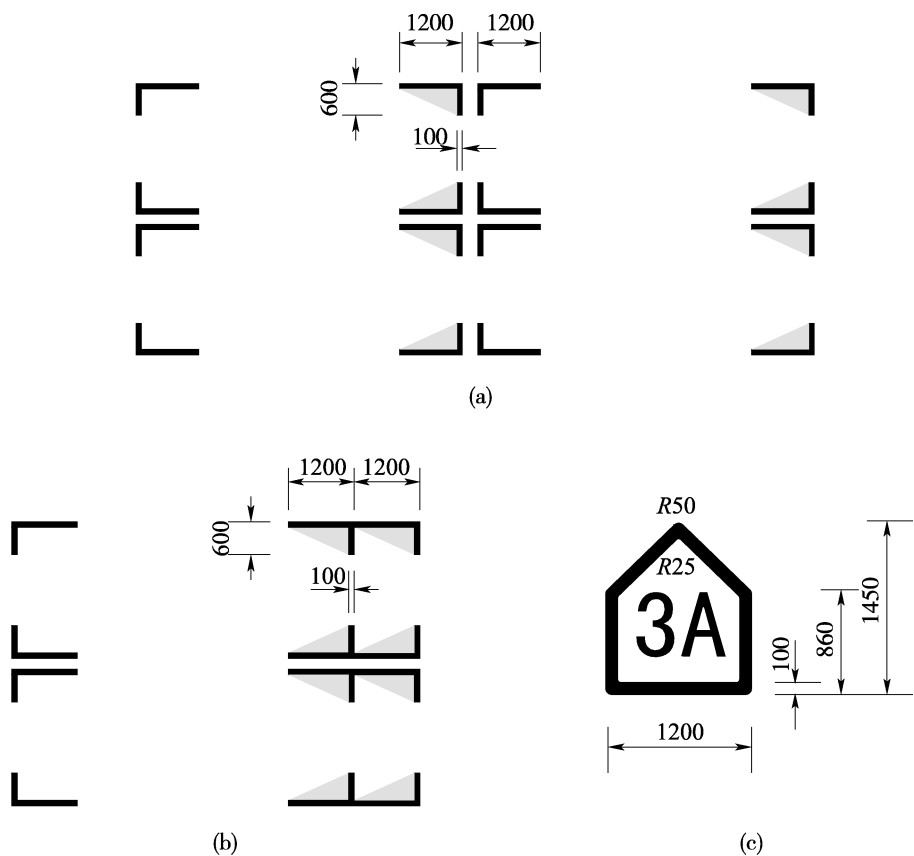


图 F.0.5 集装箱堆场标志、标线(单位:mm)

(a)集装箱堆场箱角边线图;(b)集装箱堆场混堆箱角边线图;(c)集装箱堆场指示标志图

附录 G 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度的用词说明如下:

(1)表示很严格,非这样做不可的,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,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,正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

(4)表示允许选择,在一定条件下可以这样做的采用“可”。

引用标准名录

- 1.《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158)
- 2.《混凝土路面砖》(GB 28635)
- 3.《道路交通标志和标线》(GB 5768)
- 4.《安全标志及其使用导则》(GB 2894)
- 5.《工业企业铁路道口安全标准》(GB 6389)
- 6.《厂矿道路设计规范》(GBJ 22)
- 7.《道路交通反光膜》(GB/T 18833)
- 8.《道路交通标志板及支撑件》(GB/T 23827)
- 9.《道路交通标线质量要求和检测方法》(GB/T 16311)
- 10.《水运工程设计通则》(JTS 141)
- 11.《水运工程质量检验标准》(JTS 257)
- 12.《海港总体设计规范》(JTS 165)
- 13.《水运工程地基设计规范》(JTS 147—1)
- 14.《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)
- 15.《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)
- 16.《河港工程总体设计规范》(JTJ 212)
- 17.《公路路基设计规范》(JTG D30)
- 18.《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E30)
- 19.《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)
- 20.《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)
- 21.《公路水泥混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073.1)
- 22.《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2)
- 23.《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)
- 24.《公路土工试验规程》(JTG E40)
- 25.《公路工程技术标准》(JTG B01)
- 26.《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTG E51)
- 27.《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81)
- 28.《轮廓标技术条件》(JT/T 388)
- 29.《突起路标》(JT/T 390)
- 30.《城市道路工程设计规范》(CJJ 37)

附加说明

本规范主编单位、参编单位、主要起草人、
主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中交第四航务工程勘察设计院有限公司

参 编 单 位:同济大学

中交水运规划设计院有限公司

中交第三航务工程勘察设计院有限公司

大连港集团有限公司

中国港湾工程有限责任公司

主要起草人:袁静波(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

沈迪州(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

廖名亮(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

谈至明(同济大学)

刘连生(中交水运规划设计院有限公司)

顾 群(中交第三航务工程勘察设计院有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

马德堂(中交水运规划设计院有限公司)

文 立(大连港集团有限公司)

卢永昌(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

卢 雁(中国港湾工程有限责任公司)

李伟仪(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

李雅婷(中交第三航务工程勘察设计院有限公司)

肖玉芳(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

林志宇(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

周玉民(同济大学)

贾 镇(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

徐 健(大连港集团有限公司)

徐 刚(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

唐勤华(中交第三航务工程勘察设计院有限公司)

韩冰(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

焦淑贤(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

主要审查人:李悟洲

(以下按姓氏笔画为序)

仇伯强、杨有军、肖乾、张定军、陈思周、赵嫵、郭茂忠、
喻志发、蔡波、阚卫明

总校人员:刘国辉、吴敦龙、董方、卢永昌、谈至明、袁静波、焦淑贤、
徐刚

管理组人员:袁静波(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)
谈至明(同济大学)

贾镇(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

覃杰(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

徐刚(中交第四航务工程勘察设计院有限公司)

中华人民共和国行业标准

港口道路与堆场设计规范

JTS 168—2017

条文说明

目 次

1 总则 (85)

2 术语和符号 (86)

2.1 术语 (86)

3 基本规定 (87)

3.1 道路与堆场的分类及设计使用年限 (87)

3.2 设计荷载 (87)

3.3 铺面结构选型 (88)

3.4 流动机械标准荷载作用次数 (88)

4 道路与堆场总体设计 (90)

4.1 一般规定 (90)

4.2 平面设计 (90)

4.3 竖向设计 (90)

4.4 道路与构筑物交叉处理原则 (91)

5 地基设计 (92)

5.1 一般规定 (92)

5.2 设计要求 (92)

6 铺面结构设计 (94)

6.1 一般规定 (94)

6.2 沥青铺面 (95)

6.3 联锁块铺面 (97)

6.4 水泥混凝土铺面 (97)

6.7 改建铺面 (99)

6.8 铺面间及铺面与其他建筑物相接处处理与构造措施 (100)

7 堆场构筑物结构设计 (101)

8 标志、标线设计 (102)

8.1 一般规定 (102)

8.2 港口标志 (102)

8.3 港口标线 (103)

9 施工质量控制要求 (105)

9.1 地基 (105)

9.2 粒料类基层与底基层(垫层) (105)

9.3	稳定类基层与底基层(垫层)	(105)
9.5	联锁块面层	(105)
9.6	水泥混凝土面层	(105)
附录 A	流动机械的当量标准荷载作用次数系数	(106)
附录 C	铺面结构分析	(107)
附录 D	铺面材料的设计参数	(108)
附录 E	沥青面层疲劳等效温度	(109)

1 总 则

1.0.1 ~ 1.0.3 《港口道路、堆场铺面设计与施工规范》(JTG 296—96)是包含设计与施工两部分的规范,主要针对港口道路、堆场铺面结构,未涉及港口道路与堆场相关的其他方面。按照修订后的水运工程建设标准体系,《港口道路与堆场设计规范》属于工程建设类的设计标准,是包含港口道路和多种类型堆场在内的较全面的设计标准、方法和要求。

1.0.4 国家现行有关标准主要指《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)、《海港总体设计规范》(JTS 165)、《河港工程总体设计规范》(JTJ 212)、《城市道路工程设计规范》(CJJ 37)、《公路工程技术标准》(JTG B01)、《厂矿道路设计规范》(GBJ 22)、《公路路基设计规范》(JTG D30)、《混凝土路面砖》(GB 28635)、《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)、《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)、《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)、《水运工程质量检验标准》(JTS 257)等。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 ~ 2.1.4 本规范的“铺面”,本质同公路的“路面”、机场的“道面”。

3 基本规定

3.1 道路与堆场的分类及设计使用年限

3.1.1 道路与堆场分类是为了针对不同的荷载分别计算,归纳整理进而确定铺面结构,以便取得较好的经济效果。分类方法是根据港口工程特点并参考现行行业标准《海港总体设计规范》(JTS 165)和《河港工程总体设计规范》(JTJ 212)确定的。港口其他类型堆场,如兼顾散货、件杂货或集装箱的多用途堆场,可以根据使用需要归类。

3.1.2 从使用性能和经济性比选角度,规范条文仅列出常用的港口道路与堆场铺面结构类型。对于散货堆场,一般前期沉降较大,为节省造价和方便使用,地基表面一般需做一临时硬化层(水泥稳定碎石),待沉降稳定后,再做永久性铺面。

3.1.3、3.1.4 港口铺面按在港口中的重要性及交通繁忙程度,划分为三个等级。

铺面的设计使用年限是设计规定的一个时期,即铺面结构在正常设计、正常施工、正常使用、正常维护下按预期目的使用,完成预定功能的设计使用年限。不同铺面类型选用不同的设计使用年限,以保证在设计使用年限内铺面平整并具有足够强度。设计使用年限与铺面等级、面层类型及交通量相适应。

管理者可以根据交通情况、环境、铺面寿命成本效益、采用稍长或稍短的设计使用年限。规范考虑我国的工程经验和经济发展情况,规定了一般情况下各级铺面的设计使用年限,并考虑我国各地经济发展的不均衡和港口交通量差异较大的实际情况,适当放宽限制。对于临时工程,铺面设计使用年限可以适当减短。对改、扩建工程或大修、加铺工程以及有特殊使用要求的铺面,可以根据具体情况调整设计使用年限。

3.2 设计荷载

3.2.1 引起道路与堆场铺面结构效应的原因有多种,本规范仅考虑“可变作用”。根据现行国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158)的规定,可变作用是指在设计使用年限内其量值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略不计的作用。

3.2.2 用流动机械作业(非打支腿作业)的件杂货堆场、散货堆场,铺面结构计算采用动态的流动机械荷载。采用固定设备作业(打支腿作业)的件杂货堆场、散货堆场,铺面结构计算采用准静态的支腿(支座、支轮)荷载。当两者均有时,铺面结构分别按动态的流动机械荷载和准静态的支腿(支座、支轮)荷载计算,取其不利者。

3.2.3 “取其不利者”是指按两种荷载情况分别计算时,取使铺面厚度大的荷载情况。

3.2.4 流动机械的设计荷载是指代表该流动机械参与对铺面结构疲劳损伤的值,每一流

动荷载均有对应的设计荷载。流动机械对铺面结构造成的疲劳损伤取决其行走时的轴载量,因此,对流动机械的设计荷载(轴载),特别是铺面结构最不利的关键流动机械的满载设计荷载(轴载)需加论证确定。《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)给出的流动装卸机械轴载量系根据国内、外设备制造厂家提供的产品样本,结合国内大多数码头常用的载重数据,经补充、调整和分析、核算后确定的,具有统计数据的性质;其次,流动装卸机械行走时的最重轴的轴载量也小于其起吊时最重轴的轴载量,因此,一般情况下不直接采用《港口工程荷载规范》给出的荷载值,而是依据实际工程情况予以分析。流动机械荷载值的取值,一般可以采用设备厂家提供的荷载数据,或者参照国外的计算方法(例如 Interpave 的《THE STRUCTURAL DESIGN OF HEAVY DUTY PAVEMENTS FOR PORTS AND OTHER INDUSTRIES》,计算时,不需考虑动荷系数)和工程经验经论证确定。

3.2.5 港口流动机械吨位系列长、类型多,其轮胎接地面积、轮压、轮距、轴距等不尽相同,计算困难。本规范有关荷载计算中采用了荷载分级及其标准荷载的方法,可以缩小荷载换算范围,减少荷载换算产生的误差。在铺面结构设计时,计算设计标准荷载作用下的铺面结构的应力和(或)应变,而其他荷载作用通过作用次数的换算加以考虑。

多种流动机械作用时,铺面结构的荷载等级宜按对铺面结构疲劳损伤最大的设计荷载轴载量或单侧轮载量确定,但需经过试算分析每种流动机械对铺面结构的疲劳损伤,过程比较繁琐;在满足一般工程精度要求时,可以近似取所有流动机械设计荷载中最重轴的轴载量或单侧荷载量确定铺面结构荷载等级。

近几年港口荷载日趋增重,因此,必须对原规范荷载等级进行调整,与原规范荷载分级相比,接地压强未改动,撤销了 150kN 级标准荷载, $P_4 \sim P_6$ 级标准荷载提高了 100kN。

标准单轮荷载,在应用弹性层状体系分析柔性铺面结构、无机结合料基层铺面结构响应时,处理为单轮均匀荷载。在分析水泥混凝土铺面结构响应时,处理为长宽比为 1:0.8 的矩形均匀荷载。

3.2.6 集装箱很少有满载现象,一般轻于其法定最大满载重量,其箱角荷载对堆场铺面结构的作用不应该按最大满载重量计。我国不同港口的集装箱箱重分布差距较大,其箱重的均值和标准差普遍大于英国集装箱箱重的均值和标准差,而现行行业标准《港口工程荷载规范》(JTS 144-1)中的集装箱箱角设计荷载直接套用英国标准,多数情况下是偏小的。因此,若能获得当地集装箱箱重分布参数,则可以依据其实际的箱重分布情况计算,以提高铺面结构设计的可靠性。

3.3 铺面结构选型

3.3.2 “能适应地基变形的铺面结构”主要指简易铺面、沥青铺面、联锁块铺面与独立块铺面等。

3.4 流动机械标准荷载作用次数

3.4.1 流动机械年运行次数是标准荷载作用次数计算的基础,它应通过大量现场实测、

统计分析确定。本计算公式是对港口装卸运输的一般工艺流程分析的结果,对于专业较强的泊位,计算结果可靠性较大。流动机械年运行次数的主要影响因素是流动机械分担的年货运量,常用起吊、装载量,计算时要对这两个参数做全面综合分析。

由于各港总平面布置不尽相同,计算年运行次数时,必须按具体装卸工艺流程,分析各种流动机械行走、作业的区域路线,寻出有代表性的区段来控制。在工程实践中,也可以参照国外的计算方法(例如国际航运协会 PIANC 的《Design and Maintenance of Container Terminal Pavement》)。

4 道路与堆场总体设计

4.1 一般规定

4.1.1、4.1.2 港内道路除通行货运汽车外,还通行各种流动装卸机械,车辆种类复杂,交通密度大,其布置方式直接影响到港口的通过能力。为保证道路畅通,避免交通阻塞,要求满足装卸工艺对道路的使用要求,并与港内其他设施相协调。

合理组织货流、人流是提高港口通过能力和保证安全生产的重要措施之一。港口道路与堆场平面布置,需要结合装卸工艺流程和自然条件合理布置各种运输通道。

4.1.6 位于城市道路网规划范围内的疏港道路设计可以参照现行行业标准《城市道路工程设计规范》(CJJ 37)的有关规定;位于公路网规划范围内的疏港道路设计可以参照现行行业标准《公路工程技术标准》(JTG B01)的有关规定;位于上述规划范围外的疏港道路设计可以参照现行国家标准《厂矿道路设计规范》(GBJ 22)的有关规定。

4.2 平面设计

4.2.2 轮胎式集装箱龙门起重机设有转向装置,可以从一个堆场转向另一个堆场进行作业,用于起重机转向的道路称为调车道。轮胎式集装箱龙门起重机转向目前多采用自带顶升装置的转向方式或轮胎摩擦自转向方式,转向区域位置相对固定,铺面一般需采用加强措施(钢筋混凝土铺面)。转向区域的布置,需要结合道路车道和分缝综合考虑,并沿道路中心线对称布置。

4.3 竖向设计

4.3.1 港口陆域竖向设计一般需考虑的因素有:(1)与港外现有和规划的运输线路高程相协调;(2)满足港口装卸和运输的要求;(3)合理利用地形,尽量减少土石方工程量;(4)港口陆域不被洪水、潮水及内涝水淹没;(5)改扩建港口陆域高程与现有港口陆域高程相衔接。

4.3.2 为便于港内水平运输,提高港口通过能力,港口陆域竖向设计一般采用平坡式。对于水位变幅大,地形复杂的情况,在满足工艺布置和作业要求的情况下,港口竖向设计也可采用阶梯式。

4.3.3 场地坡度确定既要有利于清洗和排水,更要满足场地货物堆垛及车辆停放和通行要求。

当堆箱高度较高时,地面坡度较大会影响作业安全和堆场作业效率,集装箱堆场坡度可以根据需要取下限,一般不超过0.5%。

港口道路纵横坡度需要结合港口总体高程和排水要求确定。堆场区道路纵横坡需要与堆场排水坡度相协调。

港口局部地段的地面坡度,在满足使用要求的条件下,可以适当加大。

4.3.4 轮胎式集装箱龙门起重机行走通道地面坡度一般不大于1%,局部坡度不大于3%。跨度两侧行走通道地面坡度要求同向,即同为上坡或下坡。如有特殊要求,按订货合同或设备技术规格书规定。

轨道式集装箱龙门起重机行走通道地面总坡度和局部坡度一般均不大于0.1%,如有特殊要求,按订货合同或设备技术规格书规定。

4.3.5 散货堆场后期沉降一般较大,按原设计坡度,往往不能满足排水要求,且易存在积水坑,在设计时适当加大坡度。

4.4 道路与构筑物交叉处理原则

4.4.3 港口道路与跑道梁、轨道梁交叉时,由于结构型式、厚度、使用荷载通常不一致,衔接部位在使用一段时间后,会存在不均匀沉降,影响道路车辆的平稳行驶,在设计阶段需要采取适当措施,减少该位置处以后可能出现的沉降差。

可以通过下列几个措施来减少相交处的沉降差:

(1)通过在道路与跑道梁、轨道梁之间铺筑混凝土预制块面层或沥青面层过渡段,待地基沉降稳定后,再铺筑永久性面层;

(2)通过在道路与轨道梁之间设置钢筋混凝土搭板,搭板长度一般不小于5m,厚度不低于0.25m;

(3)对于跑道梁、轨道梁两侧的回填材料,鉴于压实困难,可以采用砂砾或稳定土等材料;两侧铺面基层或底基层可以采用贫混凝土基层。

4.4.4 本条是为保护地下管线不受或少受外力影响而制订的。当管线从道路下方穿过时,管线一般处于地基工作区深度范围内,地基工作区深度与港口流动机械荷载等级、铺面材料、铺面结构和铺面厚度关系较大,需要根据管线埋深的不同采取不同保护措施。

5 地基设计

5.1 一般规定

5.1.2 本条对陆域形成设计时如何选择回填料提出要求。陆域形成采用的回填料往往直接影响到地基处理方案及造价,因此不能单一考虑材料来源,需要在满足道路堆场对地基的使用要求的前提下,结合地基处理方案及造价综合考虑选用合适的回填料。

5.1.3 若陆域形成采用吹填疏浚软土(主要指淤泥等软土),其吹填高程 = 地基处理交工面高程 - 满足道路堆场要求的砂、砾等粗料土层厚度 + 地基处理施工期沉降量;由于地基处理施工期实际沉降很难与计算沉降量完全吻合,若实际沉降小于计算沉降,铺面结构要求的砂、砾等粗粒土层厚度不能满足要求,此时需开挖换填。为避免这种现象,建议吹填高程采用“宁低勿高”的原则确定;对于其他的陆域形成方式(包括开挖后回填或直接回填砂石材料等),其填筑高程同样需根据地基施工期沉降、铺面结构层厚度以及铺面结构对地基填料的要求综合确定。

5.1.5 本条为地基处理设计需要考虑的因素以及需要验算的内容。

5.2 设计要求

5.2.1、5.2.2 港口铺面结构的地基需要压实,以消除和减少可能的自重和流动机械引起的压缩沉降,提高地基的强度和刚度。

本条的压实标准参考《公路路基设计规范》(JTG-D30)制定,由于码头陆域多为大面积一次性回填,地基处理交工后难以准确检验深层压实度,而公路路基多为分层回填,因此本规范根据工程实际对压实度的检验标准进行了调整,给出地基处理交工面的压实度检验标准。对于深层地基可以采用标准贯入试验等方法进行检验。

本节中地基处理交工面指铺面结构层底面。

5.2.3 本条考虑到散货堆场通常堆货荷载较大,为节省投资,通常以使用期稳定控制地基处理标准,地基后期沉降一般较大,堆场铺面结构多采用简易铺面,对填料强度的要求可以适当放宽。

5.2.4 地基顶面回弹模量能较好地反映地基所具有的部分弹性性质,在以弹性半空间地基模型表征地基的受力特性时,可以用回弹模量表示地基在瞬时荷载作用下具有的可恢复变形性质。因此,港口地基回弹模量是港口铺面结构设计中必不可少的设计参数,地基回弹模量较小的变化会对铺面结构厚度产生较大的影响。在铺面结构设计中,能否选用恰当的地基回弹模量直接关系到铺面结构的安全性和经济性。为保证地基的稳定、密实和均质,并具有足够的承载能力,需对地基顶面的回弹模量提出要求;对条件特殊的项目,条文中数值可以根据计算适当放宽。回弹模量值不满足要求时,可以采取改变填料、增设

粒料层或用低剂量无机结合料稳定等措施。

5.2.5 路面结构的损坏,除了它自身的原因之外,砂、砾等粗粒土垫层和吹填软土层的变形过大是重要原因之一。砂、砾等粗粒土垫层过厚会增加围海造陆的成本,投资不经济;而砂、砾等粗粒土垫层厚度不足,则会导致吹填软土层变形过大而导致对路面结构产生破坏,增加了后期维护的成本。因此选择合适的粒料层厚度是设计应着重考虑的问题。

本条是根据华中科技大学所做的《港口吹填软土地基材料参数与工作区影响深度专题研究报告》的结果,给出的建议值。该课题对地基顶面当量回弹模量及港口大型流动机械轮压下地基中应力及沉降进行了现场测试,并采用 FLAC3D 有限差分软件对不同工况及工作区深度各参数进行补充分析。

对缺少砂、石料的地区,可以对现状地基进行土体改良,满足铺面结构对地基填料的强度要求即可。

5.2.6 地基承载力特征值实质上就是强度条件下的容许承载力,该值可通过载荷试验等方法求得。堆场构筑物对地基承载力的要求,可以根据使用荷载通过结构计算确定。一般情况下,铺面结构下的砂石填料层均能满足本条提出的承载力要求,若地基承载力太低,则表明地基处理效果不理想,将造成使用期沉降及差异沉降较大,因此需对原地基土的处理效果提出要求。

对个别使用荷载较大的构筑物或地基处理效果不理想的区域,当结构计算要求的深度范围内地基土经处理后地基承载力仍不能满足要求时,需要采取措施局部处理。

5.2.7 地基不均匀沉降引起的铺面结构病害会严重影响铺面结构使用性能和结构寿命,必须加以控制,但是地基的不均匀沉降量难以精确计算,因此,采用不影响堆场机械设备正常行走所要求的场地坡度,作为差异沉降的控制标准。地基使用期沉降量的控制标准根据不同铺面结构类型对地基不均匀沉降的敏感程度确定。

5.2.7.1 本条考虑集装箱堆场多采用条型基础梁以及混凝土铺面结构,若使用期地基沉降过大,将影响堆场设备的正常行走以及集装箱堆放的安全性,同时亦考虑了混凝土铺面结构对地基不均匀沉降较为敏感,混凝土铺面结构本身损坏后较难维修,因此对集装箱堆场使用期沉降提出了更高的要求,对于采用柔性铺面的堆场,当地基沉降较均匀,不影响机械设备正常使用时,标准可以适当放宽。

5.2.7.2 本条主要针对不同的项目所采用的机械设备等的使用要求不同,地基处理设计需要满足不同设备厂家提出的差异沉降的要求。

5.2.8 散货堆场使用荷载通常很大,如果地基处理按照常规的工后沉降控制要求,一次性处理到位的话,工程投资较大。同时除轨道基础外,散货堆场本身对地基残余沉降的要求并不高,允许使用过程中逐步调整,因此,设计需要满足使用期堆场堆货时的地基整体稳定性,并以此作为地基处理的加固标准。需要说明的是,在投资允许的情况下,地基处理除满足上述要求外,亦可以适当考虑提高加固标准,减少使用期的工后沉降。

由于堆场使用期沉降,往往发生在工程投产初期,为避免堆场区与其他区的差异沉降过大,影响使用,可考虑在不影响总平面高程布置及工艺设备使用的前提下,根据预估的残余沉降,对场地高程给予适当预留。

6 铺面结构设计

6.1 一般规定

6.1.1.2 雨雪水易通过接、裂缝下渗,积滞于铺面结构内部,将造成两方面的危害,第一,溶蚀作用,使得基层、底基层材料软化,以致其强度降低;第二,在重复的重型流动机械荷载作用下,基层顶面容易产生冲刷,进而产生唧泥和错台破坏。因此,设计完善的防排水体系是铺面设计重要内容,不可忽视。

6.1.1.3 在季节性冰冻地区,铺面结构下的地基中的水分,在初冻期会结冰而膨胀,从而对铺面结构产生冻胀破坏;在春融期冰的融化会引起对铺面结构危害更大的翻浆破坏,因此,需依据地基土质类型、干湿状态和当地最大冰冻深度,确定铺面结构的最小防冻厚度。表 6.1.1 的铺面结构最小防冻厚度是依据控制冻胀原则得到的,对防止春融翻浆或许不太合适,在年均气温较低及春融时荷载量较重的地区,防冻厚度需要根据当地经验予以适度增加。

6.1.4.1 铺面结构中的基层和底基层主要起承重和扩散荷载的作用,在环境因素和港口荷载作用下,不先于面层出现疲劳开裂、一次极限断裂破坏,由铺面结构设计的极限状态方程控制。不因基层、底基层变形过大而导致面层沉陷、开裂,不因雨雪水下渗导致基层、底基层顶面出现溶蚀软化、冲刷唧泥病害,通过铺面结构组合、材料类型选择、混合料性能设计和防水排水系统设计等环节加以控制。

6.1.4.3 荷载等级 P_4 级及以上时,为了获得较高的结构承载力,通常采用刚性材料(贫混凝土、碾压混凝土)作基层,当面层采用水泥混凝土铺面时,常在面、基层之间设置一层沥青混合料夹层,以保证面层和基层变形协调,缓和荷载冲击和减轻因温度变化引起的面层板伸缩和翘曲效应,以及防止雨水下渗。因细粒式沥青混合料集料最大公称粒径为 13mm,层厚需要保证不小于 2.5 倍最大公称粒径,故最小厚度规定为不小于 40mm。当采用水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石、水泥稳定砂砾作基层,其上可以设置封层,封层一般采用单层沥青表面处治或适宜的膜层材料等,以有利于半刚性基层材料养生,同时可减少雨水下渗到基层及以下结构层内,亦可以保护基层不被施工车辆破坏,对增强铺面结构层的强度、稳定性与防水能力也有裨益。

6.1.4.5 各种材料的基层和底基层的结构层最小厚度,主要综合考虑以下两方面因素确定:第一,确保其结构性能和功能满足要求;第二,基层和底基层厚度不小于所选集料公称最大粒径的 3 倍,以保证施工中的实际压实效果。

6.1.4.6 底基层较基层宽、基层较面层宽,主要考虑面层、基层施工摊铺、压实的需要,以便摊铺上一层时下一层侧边留有摊铺机履带行走的空间,也有利于在压实上一层时下

一层的侧边支撑足够。同时,可以改善铺面使用期内偶尔荷载位于铺面结构边缘时的受力状态。

6.1.4.9、6.1.4.10 无机结合料稳定碎石或砾石基层或底基层的结构设计指标为弯拉强度,然而无机结合料稳定材料弯拉强度试验相对困难,因此,以 28d 抗压强度作为材料配合比设计指标。常用于施工质量控制的 7d 浸水无侧限抗压强度与 28d 抗压强度之间的对应关系,应根据所采用的水泥、集料进行试配试验确定。一般情况下,7d 浸水无侧限抗压强度与 28d 抗压强度之比为 0.85 ~ 0.70 (水泥稳定类)、0.75 ~ 0.65 (石灰粉煤灰稳定类)。

近年来,优质粉煤灰大多用于水泥行业,而低品质粉煤灰与石灰配伍效果较差,因此,铺面工程中石灰粉煤灰稳定类材料的用量逐年减少。某些低品质粉煤灰,例如脱硫粉煤灰,在条件允许时,可以通过试验确定水泥粉煤灰类材料的配合比,水泥粉煤灰类材料的强度指标参照水泥稳定类材料的标准。

6.1.5.1 垫层主要起调节铺面结构水温状况的作用,对于季节性冰冻地区,铺面结构总厚度小于最小防冻厚度要求时,需要设防冻垫层;对于水文地质条件不良区域,如挖方,地基为中湿、潮湿和过湿区域,需要设置排水垫层,以防止水溶蚀基层材料,降低其强度。

6.1.5.3 为保证排水垫层排水畅通,需防止地基细粒土渗入垫层内堵塞其孔隙,排水垫层材料的级配满足下列四项渗透和反滤要求(其中第一项为渗透要求,其他三项为反滤要求):

(1)集料通过率为 15% 时的粒径 D_{15} 不小于地基土级配在通过率为 15% 时的粒径 d_{15} 的 5 倍($D_{15} \geq 5d_{15}$);

(2)集料通过率为 15% 时的粒径 D_{15} 不大于地基土级配在通过率为 85% 时的粒径 d_{85} 的 5 倍($D_{15} \leq 5d_{85}$);

(3)集料通过率为 50% 时的粒径 D_{50} 不大于地基土级配在通过率为 50% 时的粒径 d_{50} 的 25 倍($D_{50} \leq 25d_{50}$);

(4)集料的均匀系数(D_{60}/D_{10})不大于 20。

6.1.6 可以用于铺面结构排水的排水复合板的类型包括 MiraDRAIN 9000 等。井圈带孔雨水口是一种改良型的雨水口,可以收集联锁块或独立块垫层中所含雨水。

6.2 沥青铺面

6.2.3 依据港口道路沥青铺面结构常见破坏的调查分析,沥青混合料铺面以开裂、车辙和沉陷为主要破坏形式,其中,刚性、半刚性基层沥青铺面的开裂主要由基层开裂反射形成。因此,本次制定时舍弃了上一版《港口道路、堆场铺面设计与施工规范》(JTJ 296—96)采用控制沥青铺面表面弯沉的设计标准。制定依据如下:首先,弯沉反映了地基强弱和铺面结构层总弯曲刚度,与导致沥青混合料面层、基层开裂的物理量无关,也不能控制沥青铺面出现的低温开裂、高温车辙等病害。其次,沥青混合料的性能与其所处的环境温度密切相关,而上一版规范在这方面考虑不多。再次,美国地沥青协会(AI, Asphalt Institute),壳牌石油公司设计方法(Shell)、美国各州运输官员协会力学—经验法设计指南

2002(AASHTO 2002)中的沥青铺面设计方法、我国《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)等均采用多指标设计标准。因此,本次制定采用了多指标设计标准,即在设计使用年限内,在所在地环境因素和港口荷载作用下,基层为粒料材料时,满足粒料基层上的沥青混合料面层(不含沥青贯入、沥青表处面层)不发生疲劳开裂损坏,同时,粒料基层下的地基不发生过量塑性变形损坏。基层为整体性材料,满足整体性基层不发生疲劳开裂和一次极限断裂破坏。通过多指标设计标准,来控制沥青面层疲劳破坏和车辙的严重程度,提升沥青铺面设计的质量,改善沥青铺面的使用性能。

6.2.5 由于直接测试沥青混合料极限弯拉应变的试验数据很少,很难依据试验数据确定沥青混合料的极限弯拉应变值,几十年来,世界各国关于沥青混合料的疲劳试验很多,积累了大量的试验数据,建立了多种形式的疲劳方程,因此,可以利用沥青混合料的疲劳方程间接地得到沥青混合料的名义极限弯拉应变。沥青混合料极限弯拉应变计算式(6.2.5-3)是由我国《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)中的沥青混合料的疲劳方程简化得出的。

沥青饱和度是指沥青混合料中沥青实体体积占矿料骨架实体以外的空间体积的百分率,它与沥青混合料类型、沥青用量和空隙率有关。《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40)中规定,密集配沥青混合料的沥青饱和度应在55%~85%,沥青玛蹄脂碎石的沥青饱和度在75%~85%,密级配沥青碎石的沥青饱和度在55%~70%之间。沥青饱和度过大易出现车辙损坏,考虑到港口道路的交通渠化程度较低,其上限可以适当放宽。

沥青混合料的弹性模量是设计的重要参数,与混合料的温度等众多因素有关。利用沥青混合料动态弹性模量与温度之间的回归关系式(6.2.5-4),计算不同等效温度所对应的沥青混合料的当量等效模量。而沥青混合料在标准状态下(20°C)的弹性模量与荷载作用频率、沥青针入度、沥青质量含量、混合料空隙率以及混合料粗集料骨架的松装间隙率等因素相关,一般需要通过试验确定,在缺乏条件时,可以利用经验关系估计。

6.2.6 由于装卸机械安装等原因,港口道路、堆场建成至开放使用时间间隔较长且长短不一;其次,水泥稳定材料(水泥混凝土、贫混凝土、碾压混凝土)、水泥稳定粒料、石灰粉煤灰稳定粒料的弯拉强度随龄期呈现增长趋势,因此,引入材料强度的龄期增长系数来加以考虑。近年来,水泥细度增加早强之势明显,因此,本次制定的材料强度龄期增长系数较前规范稍小些。对于出入港区的公路汽车、挂车等荷载为主的港口道路(公路汽车、挂车荷载等级 P_1),是港口土建和设备进场的对外运输通道,建成至开放使用时间较短,一般可以不考虑材料强度的龄期增长效应。

6.2.7 沥青铺面的基层为设纵、横向接缝的贫混凝土、碾压混凝土或素混凝土时,其结构已转变为弹性地基上矩形板上加铺沥青混合料罩面层的复合式铺面结构,基层开裂始于纵缝边缘,与水泥混凝土铺面的破坏特征相同,因此,铺面结构验算方法与水泥混凝土铺面结构的相同。由于沥青混合料面层的存在,接缝间的传荷能力较一般水泥混凝土铺面的更强,故板间传荷和基层超宽效应系数推荐值更小些。由于沥青混合料吸收太阳辐射能的能力比水泥混凝土的更强一些,因此,在计算当量面层厚度时,扣除40mm以抵消沥青混合料与水泥混凝土在吸收太阳辐射能的能力差异。

6.2.8 确定地基极限压应变值的数据与《公路沥青路面设计规范》(JTJ D50)的路基顶面容许竖向压应变回归式的数据相同,来自 AASHTO 试验路的 195 个路面结构以及现时服务能力 $PSI=2.5$ 的反算路基压应变数值。在统计时更顾及累计作用次数为 10^5 数量级的数据,及包含了 85% 的保证率。

地基的极限压应变 0.83×10^{-2} 是针对细粒土砂、粉土、黏土等细粒土的,对于砂、砾等粗粒土来说是偏保守的,可以根据当地工程经验或现场试验确定。

6.3 联锁块铺面

6.3.2 港口道路与堆场联锁块铺面使用状况的调查结果表明,联锁块铺面结构的损坏以联锁块块体碎断和表面沉陷为主。联锁块块体的碎断通过对块体抗压强度和厚度选择加以控制,而铺面表面沉陷主要是地基过量塑性变形,整体性基层碎裂导致的。因此,本次制定将上一版《港口道路、堆场铺面设计与施工规范》(JTJ 296—96)中粒料基层用弯沉控制改为控制粒料基层下的地基不发生过量塑性变形损坏,对整体性基层增加了控制其一次极限断裂破坏的结构极限状态。

6.3.9 联锁块铺面块体间缝宽对铺面结构的受力性能影响甚大,缝隙内应用中细砂填充。在填缝砂中添加石灰粉可起到防止缝隙砂流失作用。

6.3.10 联锁块铺面的边缘需要设置防止水平外移的边缘约束,否则边缘部位的联锁块会外移松散而致块间的荷载传递能力丧失,且松散现象会逐渐向内扩展,因此,牢固的、持久的边缘约束是必要的。

6.4 水泥混凝土铺面

6.4.1 碾压混凝土面层适用于对平整度要求不高的道路、堆场;钢纤维混凝土适用于对铺面高程有限制、荷载较大、交通密集的场所或加铺层。近年来,新型钢纤维在混凝土中的抗拨能力有较大幅度提高,混凝土开裂后的钢纤维混凝土残余弯拉强度较大(钢纤维混凝土的残余弯拉强度测试方法见《混凝土用钢纤维》(YB/T 151),它可以有效地提高铺面结构耐久性和承载力,从而减薄铺面结构厚度和(或)增大铺面板的平面尺寸。对于定点荷载,钢纤维混凝土铺面结构可以采用基于刚塑性假定的 Meyerhof 理论分析计算;对于流动荷载,如何计入钢纤维混凝土残余弯拉强度的有利作用尚无成熟的分析理论和设计方法。在工程实践中,具有高残余弯拉强度的钢纤维混凝土铺面结构设计可以参照国外的设计方法(例如国际航运协会 PIANC 的《Design and Maintenance of Container Terminal Pavement》)和工程经验论证确定。

6.4.9 钢纤维类型、长径比及掺量的选取,除考虑提高混凝土力学性能之外,尚需顾及其施工和易性,以保证钢纤维在混凝土中分布均匀。就施工和易性而言,长径比不可以过大,钢锭铣削型优于钢丝切断型、黏结成排的钢丝切断型优于散装的。

6.4.10 为了保证石质挖方基底面平整和均匀,可以用弹性模量与基岩弹性模量相近的贫混凝土整平,贫混凝土最大粒径不大于 26.5mm,整平层厚度以 0.10m~0.15m 为宜,整平层上可以加铺沥青混合料夹层。石质基岩回弹模量很大,已超出本规范的荷载应力计

算公式适用范围,因此,水泥混凝土面层厚度保守地建议取地基顶面回弹模量为 100MPa 时的水泥混凝土面层厚度的 0.7 倍。

6.4.12 混凝土铺面的接缝分纵缝和横缝两类。道路与流动机械通道的纵缝为与车辆和装卸机械行驶方向平行的接缝;堆场的纵缝通常与邻旁主要道路、流动机械通道的纵缝平行,与雨水径流方向垂直。

6.4.12.1 素混凝土、钢筋混凝土和钢纤维混凝土面层板通常采用纵缝同横缝垂直相交的矩形形式。国外有设置斜缩缝路段的经验,可以使车轴两侧的车轮不同时作用在横缝的一侧,从而减少轴载对横缝的影响,减小接缝处的挠度和应力。但斜缩缝的锐角板板角容易断裂,斜度一般不大于 1:6。

集装箱堆场的水泥混凝土铺面板平面尺寸划分,一般需要与集装箱堆放方式相协调,尽量使集装箱箱角位于板块中部,以减小板的荷载应力从而减薄板厚度。经比较验算,集装箱箱角位于板块中部的板设计厚度为 0.42m;若集装箱箱角位于板块边缘,板设计厚度将为 0.55m,两者相差 0.13m;若集装箱箱角距板边 0.2m,板设计厚度将为 0.51m。

6.4.12.2 道路与流动机械通道宽度方向面层板为 6 块或以下时,纵向接缝,无论是施工缝或缩缝,均应在缝内设置拉杆,以保证纵缝缝隙不张开。纵向施工缝有平缝和企口缝两种形式,实践经验表明,企口缝易于在阴企口上沿发生剪切断裂损坏,实践倾向于采用平缝。堆场宽度方向面层板超过 6 块时,外边缘三条纵缝应设拉杆,中间部分在铺面等级一级且荷载等级 P_3 及以上时,为了有效降低面层板纵缝边缘的应力,建议设置传力杆,如图 6.1 所示。

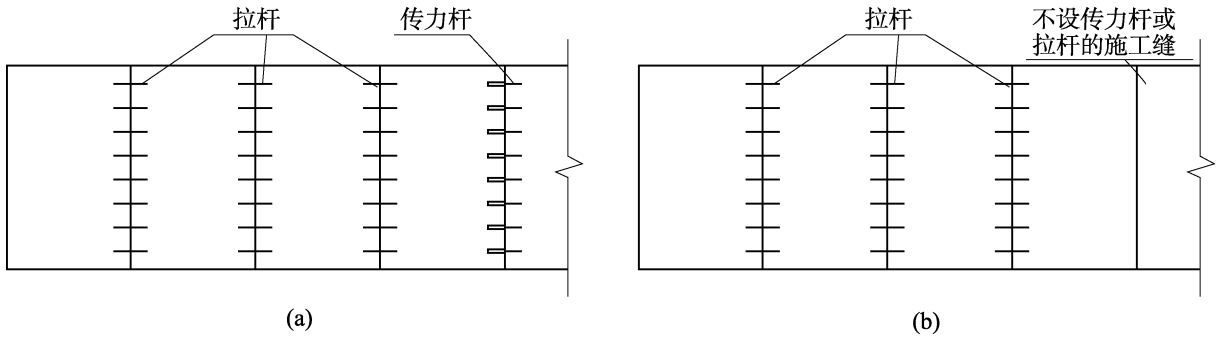


图 6.1 宽度超六块板的纵缝

(a) 铺面等级一级且荷载等级 P_3 及以上;(b) 其他

6.4.12.4 接缝部位是混凝土铺面的最薄弱处,容易产生唧泥和错台病害,除了基层不耐冲刷外,接缝传荷能力差也是一个重要原因。同时,在出现唧泥后,无传力杆的板边易发生断裂。国外各种接缝损坏预估模型显示,传力杆的设置与否对接缝碎裂损坏的影响最大,设置传力杆后,铺面结构建造费用增加 5% ~ 8%,铺面使用寿命可提高一倍以上。铺面等级一级、荷载等级 P_3 及以上,以及邻近胀缝或自由端部的 3 条横向缩缝,需要采用设传力杆假缝形式。其他情况可以采用不设传力杆假缝形式。传力杆设置不能妨碍相邻混凝土板的自由伸缩,钢筋表面需要作防锈处理,防止锈蚀影响传荷。

6.4.12.7 传力杆除了光圆钢筋外,国内外还进行了许多其他材料的尝试,如不锈钢钢筋、岩质纤维筋、塑套钢筋等,其主要目的是防止钢筋的锈蚀,特别是冰雪地区融雪剂的使用对传力杆钢筋的侵蚀。这些传力杆材料的应用效果有待进一步实用验证,特别是在尺

寸、间距、长期性能方面以及在胀缝中的应用效果等方面。国内外研究和经验表明,接缝碎裂损坏和平整度对传力杆直径的变化非常敏感,传力杆越粗,在提高接缝传荷能力、降低接缝碎裂损坏方面越有效。传力杆间距对铺面平整度、接缝碎裂损坏和结构断裂的影响不明显。

6.4.13.1 钢筋混凝土面层的配筋量在 0.05% ~ 0.25% 之间,式(6.4.13)中的混凝土与基层之间的摩阻系数 μ 值(基层为水泥、石灰、沥青稳定类时取 1.8;基层为粒料类时取 1.5)是与国外众多设计方法,如 PCA 方法及我国 2002 年颁布的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)是一致的,但在 2011 年颁布的《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2011)中,混凝土与基层之间的摩阻系数 μ 值作了较大调整,其值在 2.5 ~ 8.9 范围。研究 2011 版规范修改依据发现,此值直接来源于室内试验实测值,未考虑板长变化的缓慢性,以及长期车辆振动引起层间黏结性减弱等作用,其可信度不高故不予采用。

6.4.13.3 本节的钢筋布置是针对常用的单层钢筋网而言,当水泥混凝土面层厚度较大或因其他目的而设置双层钢筋网时,钢筋量建议增加 30% ~ 50%。

6.7 改建铺面

6.7.1 改建方案一般在保证设计使用要求的前提下,尽量减少原铺面结构开挖,减少废弃材料。改建工程中注意采取措施,加强新、原铺面之间,加宽部分与原有铺面之间的结合与衔接。

6.7.2 原铺面调查是铺面改建设计中的一项重要内容,对原铺面的调查与评价不仅是改建的依据,也是判断原铺面可利用性的标准。对原铺面进行相关调查与检测后,根据结果对铺面破损程度进行分段评价,分析损坏原因,判断其破坏层位及是否可以利用,分段拟定铺面改建工程设计方案。

6.7.4 铺面加铺层类型的选择可以依据改建后的使用功能要求,原铺面的强度、综合评价结果等综合确定。

6.7.5 当旧沥青铺面整体强度满足要求,可以直接加铺罩面,恢复表面使用功能;当原铺面有较多中度、重度裂缝时,视具体情况铣刨路面,进行必要的灌封、修补处理,采取防裂措施后再加铺沥青层;对整体强度不足或破损严重的路段,采取加铺补强层处理。

6.7.6 ~ 6.7.8 原铺面为水泥混凝土时,加铺方案可以参考下列标准选择:

(1) 当旧混凝土铺面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为优良,或面层板的平面尺寸及接缝布置合理时,可以采用结合式混凝土加铺方案、分离式混凝土加铺方案或沥青混合料加铺方案;

(2) 当旧混凝土铺面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为中等以上,或新旧混凝土板的平面尺寸不同、接缝形式或位置不对应时,可以采用分离式混凝土加铺方案或沥青混合料加铺方案;

(3) 当旧混凝土铺面的损坏状况和接缝传荷能力评定等级为次等以上时,可以采用沥青混合料加铺方案;

(4) 当旧水泥混凝土面层损坏状况严重时,可以选用打裂压稳方案或碎石化方案处治,根据铺面等级、高程和荷载状况,将处治后的旧铺面用作改建铺面的基层或底基层或垫层,并按新建混凝土铺面或沥青铺面类型进行设计;

(5) 常用铣刨、喷射高压水或钢珠、酸蚀等方法打毛旧混凝土面层表面,并涂敷黏结剂以提高新旧混凝土界面的黏结性能。

适应未来荷载和使用要求的单层水泥混凝土铺面板厚度确定方法与新建铺面的相同,符合第 6.4 节的有关规定,式(6.7.8)中系数 1.2 是考虑旧混凝土铺面板疲劳损伤等不利因素的安全储备。

6.7.9 延缓或减少沥青面层反射裂缝的常用技术措施有增加沥青加铺层厚度,加铺层沥青混合料中掺加纤维或橡胶等改性剂,旧铺面的接、裂缝处设置应力吸收层、土工织物夹层等。

旧沥青混合料铺面上沥青加铺层厚度的计算式(6.7.9-1)的力学意义为补足厚度,其中旧沥青面层厚度折减系数来源于美国地沥青学会 AI 的经验值。旧水泥混凝土铺面上加铺沥青层有改善铺面表面功能和补强结构两大作用,沥青加铺层厚度计算式(6.7.9-2)是以补强结构为目标的,沥青加铺层对原水泥混凝土面板受力状态的影响较复杂,随着沥青加铺层厚度增加,原水泥混凝土面板的荷载应力下降,但其温度应力呈先扬后抑现象,为了方便设计,针对我国气候条件、港区铺面结构特点等条件对沥青加铺层厚度进行测算,归纳提出了近似式(6.7.9-2)。

6.7.11 加宽改建设计不仅要考虑新建部分本身,还要考虑对既有工程的影响和加宽后的整体性要求。

6.7.11.1 新建地基与既有地基拼接部位采用开挖台阶是实践中常规的做法,有利于结合紧密,减少差异变形。拼接部位确保碾压密实并均匀至关重要,直接决定了拼接质量。

6.7.11.4 考虑工程经济和施工的可实现性,以及对既有铺面运营的影响等,对拼接宽度建议满足下列要求:基层、底基层台阶搭接宽度不小于 0.25m,沥青混合料铺面面层台阶搭接宽度不小于 0.15m,水泥混凝土面层台阶搭接宽度不小于 0.3m。

6.8 铺面间及铺面与其他建筑物相接处处理与构造措施

6.8.2 在混凝土面层与沥青铺面之间铺筑混凝土预制块面层过渡段,是一项过渡措施,待路基沉降稳定后,再铺筑永久性面层。在混凝土面层与沥青面层相接处,由于沥青面层难以抵御混凝土面层的膨胀推力,易于出现沥青面层的推移拥起,而形成接头处的不平整,引起跳车。过渡板上的沥青层较薄,上下层模量比较大,为防止沥青层发生剪切推移,沥青层最小厚度一般大于 40mm。对过渡板表面应进行处理,以加强沥青层与过渡板的黏结。

6.8.4 素混凝土面层的布筋范围主要取决于构筑物台背后回填路基的范围,图 6.8.4 所示的布筋范围可视为下限。对于构筑物顶部及两侧的回填材料,一般用易压实、工后再压缩量小的砂砾或低剂量石灰或水泥稳定处治材料填筑。此外,各地有采用填料内分层加设土工格栅或旋喷桩等措施的经验,设计时可以通过论证参考选用。

7 堆场构筑物结构设计

7.1.1 堆场构筑物主要包括轨道梁、跑道梁、集装箱箱角基础、顶升结构、防风锚锭结构、路缘石、沟井等。堆场构筑物设计,重力式结构需要符合现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》(JTJ 167—2)的有关规定;桩基上轨道梁结构需要符合现行行业标准《高桩码头设计与施工规范》(JTJ 167—1)的有关规定;桩基需要符合现行行业标准《港口工程桩基规范》(JTJ 167—4)的有关规定;地基基础需要符合现行行业标准《港口工程地基规范》(JTJ 147—1)的有关规定。混凝土结构设计尚需要符合现行行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151)的有关规定。

7.2.2 采用桩基时,轨道梁分段长度一般采用40m~60m,采用天然地基或复合地基时,分段长度一般采用15m~20m;分段长度可以根据项目特点和工程经验适当增减。

变形缝设置参考《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)胀缝设置。填缝板一般采用塑胶板、橡胶(泡沫)板或沥青纤维板。填缝料一般采用聚氨酯类或硅酮类常温施工式填缝料。采用桩基结构时,需要采取减少轨道梁侧移的措施。

采用桩基结构时,需要采取减少轨道梁侧移的措施,包括控制轨道梁两侧堆载、在轨道梁接缝两侧设置双桩等。

轨道梁的接缝处,需要采取措施减小沉降和位移差。天然地基轨道梁的接缝处,可以在接缝处设置垫板基础;桩基轨道梁接缝处,可以在接缝两侧设置双桩。

管道入口一般采用防止杂物封堵的措施,如采用侧壁式地漏或增设篦子。

7.2.3 普通钢筋混凝土轨枕宽度一般采用0.3m,轨枕间距一般采用0.5m~0.8m;钢筋混凝土宽轨枕又称轨枕板,宽度约为普通轨枕的两倍,密排铺设。

需要根据轨距情况,设置控制横向轨距的构造措施。包括两轨之间铺设混凝土块、设置钢筋混凝土撑杆和钢拉杆等。斗轮堆取料机基础轨距小于12m时,可以通过设置钢拉杆限制轨道向基础两侧发生位移,设置钢筋混凝土撑杆限制轨道向基础中心发生位移,拉杆、撑杆的间距一般为6m~7m。

7.3.4 考虑轮胎式集装箱龙门起重机转场行走时,其行走轨迹相对固定,轮迹横向分布位置集中,调车道铺面结构需要适当加强。

8 标志、标线设计

8.1 一般规定

8.1.1 港口标志、标线需要向使用者清晰、明确、简洁地传递港口使用及交通规则、警告、指引等信息,引起使用者的注意,并使其具有足够的发现、认读和反应时间。

8.1.2 标志和标线传递的信息不得相互矛盾,需要互为补充。

8.2 港口标志

8.2.1 港口交通标志设置需要体现港口及其路网的特点,使驾驶员准确确定自己所处的位置,找到正确的目的地;交通标志需要能加强驾驶员安全行车的意识;交通标志需要容易识别、易于理解。在设置交通标志时,需要全面考虑各种交通标志的功能,使其能够连续提供行路信息,形成完整的标志体系。

在码头、引桥、进出港口门等需要设置限载、限高、限速多种禁令标志的区域,可以将多个禁令标志列于同一标志板中,以减少标志基础数量、便于车辆及作业设备通行,如图 8.1、图 8.2 所示。



图 8.1 限载、限速标志



图 8.2 多种禁令标志

8.2.4 各类交通标志的横向位置任何部分均不得侵入道路的建筑限界以内。悬臂或门架安装的标志,考虑到标志构件施工误差、标志门架及横梁的变形下垂、铺面横坡等因素,标志净空高度需留 20cm ~ 30cm 的余量。

交通标志路侧安装时,为避免标志面眩光对驾驶员的影响,标志板面的法线需要与道路中心线平行或成一定角度,禁令标志和指示标志为 0° ~ 45°,指路标志和警告标志为 0° ~ 10°。采用悬臂、门架或附着式支撑结构时,标志的安装角度需要与道路中心线垂直。

8.2.10 选用交通标志板材料时,需要根据港口所在位置的气象条件、腐蚀程度等因素综合确定。对面积在 15m²以上的大型标志的板面结构,为便于运输、安装及养护,可以采用挤压成型的铝合金板拼接而成。钢管、H 型钢、槽钢等型钢作为标志的立柱、横梁,具有强

度高、加工性能好的优点,但易腐蚀,需要进行防腐处理。

8.2.11.2 交通标志一般采用钢筋混凝土扩大基础,位于软基上的交通标志可以采用桩基础。

8.2.11.3 当无风速记录时,可以通过查阅《港口工程荷载规范》(JTS 144—1)得到全国各地的基本风速值。

8.2.11.4 交通标志结构设计理论包含:

(1) 承载能力极限状态:对应于交通标志结构或其构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位的状态,计算时采用荷载设计值。

(2) 正常使用极限状态:对应于交通标志结构或其构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态,验算时采用相应的荷载标准值。

8.2.11.5 根据交通标志结构破坏可能产生的后果,本条确定了相应的结构重要性系数。

8.3 港口标线

8.3.1 港口设置的交通标线,在为港口使用者提供出行诱导和信息服务方面具有很重要的作用。在一些情况下,交通标线可以用来作为交通标志、交通信号的补充。交通标线还可以单独使用,来提供其他设施所无法表达的禁令、警告和指路信息。

当然交通标线也具有局限性。它的可视性会受到雪、碎屑、铺面积水等的限制。交通标线的耐久性受到材料特性、交通量、气象和所在位置的影响。因此在进行交通标线设计时,需要综合考虑港口条件、交通流特性、交通管理的需要和材料特点等因素,进行科学、合理的设置。

铺面标线尽管较薄,但仍有一定的阻水作用,尤其是南方雨水较多的地区,处理不当容易导致交通事故,因此需要按设计图纸的要求留出排水孔道。位于禁止超车线上的突起路标,在施划禁止超车线时,需要采取措施预留突起路标的位置。

8.3.3.4 港口道路导向箭头的尺寸及铺面文字标记的规格等,按照港口道路车辆行驶速度原需要按照《道路交通标志和标线第3部分:道路交通标线》(GB 5768.3)中设计速度小于40km/h的道路进行设计。但考虑到港口道路多行驶大型车辆,驾驶员视线距离地面较高,设计速度小于40km/h的道路导向箭头的尺寸及铺面文字标记的规格较小,不利于车辆安全行驶,因此结合以往港口道路标线设计经验,本规范采用设计速度大于40km/h而小于60km/h的城市道路进行设计。

8.3.3.5 铺面文字标记主要是利用铺面文字,指示或限制车辆行驶的标记,如最高限速、车道指示等。当道路同向车道数大于两条或者因地形条件等的限制无法设置交通标志时,可以采用设置铺面文字标记的方法。

8.3.3.7 受道路交叉口距离限制无法设置多道减速标线时,可以采用单道减速标线或成品减速带(橡胶或钢制)。

8.3.4.1 码头装卸区是货物运输中,箱或货装卸交换保管的具体经办区域。装卸货物的区域经常有大型车辆频繁出入,为保证在装卸货物过程中操作的最大安全性,减少装卸

货物过程中的危险性,需在装载区平台外围处设置警戒线。

8.3.4.4 码头面特殊区域控制线以码头面检疫区为设计示例,检疫区为码头面专用于划定动植物检疫对象的区域,该区域范围边界需要设置控制线以区分码头堆货区等。

8.3.5.3、8.3.5.4 集装箱箱角位置标线布置在集装箱箱角位置,是用于控制集装箱堆箱位置的标线。该标线的设置需要按工艺箱位需要设计,并可根据堆场具体结构形式适当调整标线长度,标准箱区边线如前述规范设置,混合箱区箱角边线的短边间距可以根据箱型不同而更改。

8.3.6.2 突起路标是安装于铺面上用于标示车道分界、边缘、分合流、弯道、危险路段、路宽变化、铺面障碍物位置的反光和不反光体。当车辆偏离车道时,突起路标可以给车辆驾驶人员以振动提示,以避免交通事故的发生。反光突起路标在夜间能起到视线诱导的作用。

8.3.7 德国联邦公路研究所 (BAST) 的标线使用性能模拟试验表明,采用双组分涂料施工的标线使用性能满意率最高。这种标线反光性能优良,使用寿命最长,缺点是价格偏高、施工要求严格。

对环保要求高的港口,水性涂料将是最佳选择,同时该种标线性能价格比好、反光性能优良。

9 施工质量控制要求

目前《港口道路与堆场施工规范》未编制,施工暂无具体执行规范,本章列出主要的道路与堆场施工质量控制要求供参考执行。待施工规范编制完成后,以颁布的具体要求为准。

9.1 地 基

9.1.5 本条款主要考虑道路与堆场结构层地基的纵、横坡和高程影响面层的厚度。

9.2 粒料类基层与底基层(垫层)

粒料类材料主要包括:级配碎石、级配砾石、填隙碎石、未筛分碎石、天然砂砾。

9.3 稳定类基层与底基层(垫层)

稳定类材料主要包括:水泥稳定碎石、石灰粉煤灰稳定碎石、水泥稳定砂砾、水泥稳定土、石灰稳定土。

石灰内如有未经充分消解的石灰块,灰土碾压完毕后,在拌和水、养生时水的作用下使石灰块继续消解膨胀,引起局部胀松鼓包,影响稳定层的强度和平整度,需要予以控制。

9.3.5 混合料的含水量对压实度的影响极大,故予以明确。

9.5 联锁块面层

9.5.1 相关试验参考现行《混凝土路面砖》(GB 28635)。

9.6 水泥混凝土面层

9.6.3 针对施工现场种种原因或水泥强度不稳定或储存堆放条件差、时间过长,影响水泥强度的可能情况,施工单位不注意会造成水泥混凝土铺面质量波动,达不到施工配合比设计的要求。

9.6.8 本条是对地面排水质量要求的规定,要求在控制好面层坡向、坡度的基础上,注意与雨水井、排水孔顺接,以保证排水通畅。

附录 A 流动机械的当量标准荷载作用次数系数

A.0.1 流动机械荷载对铺面结构的作用随其轴-轮构型的不同而异,不同轴-轮构型荷载对铺面累积损伤效应的处理常用两种方法,第一是采用转换的方法,将任意轴-轮构型荷载等效地转换为某一标准荷载的作用,然后进行累加;第二是逐一分析每一种轴-轮构型荷载的作用,然后累加,它较第一方法更精确但需进行大量且繁复计算分析。本规范采用前一种方法,运用应力(应变)等效原则,将其转化为当量标准荷载作用。

A.0.4 为了方便应用,将港口常见流动机械的当量标准荷载作用次数表示为式(A.0.4-1)的形式,对其当量单轮荷载系数 φ 在不同铺面结构情况下的变化规律进行分析和归纳,给出了与铺面结构相关的回归式。

A.0.6 出入港区的公路汽车、挂车等荷载对铺面结构的影响进行偏保守的处理:第一忽略邻轴影响;第二忽略旁侧轮影响;第三忽略轮型影响,即无论单轮和双轮荷载均视为单圆荷载。

附录 C 铺面结构分析

C.0.1.1 水泥混凝土铺面的基层平面尺寸通常较面层的大。面层与基层之间通常设置隔离过渡层,在铺面使用期内,因温度交变与车辆重复作用,面层与基层的层间接触会松动,故将面层与基层层间接触状况处理为竖向受压连续、受拉脱开,水平向光滑无摩擦的状态。

C.0.1.5 本节的铺面结构应力、应变的近似回归式是通过整理总结由有限元和层状理论体系的数值解得到的,可以满足工程精度要求。

C.0.1.6 面层、基层或粒料层由两层或两层以上不同弹性模量的材料构成时,可以按照弯曲刚度等效原则换算为一均匀当量结构层,并记录下层弹性模量 $E_{i,s}$ 、泊松比 $\mu_{i,s}$ 和中性轴至层底的距离 $d_{i,s}$ (i 为结构类型)。结构超过两层时,可以由上而下逐层换算。即先求出一、二层的弹性模量、当量厚度,然后将其视为新的第一层,再利用式(C.0.1-1)、式(C.0.1-4)、式(C.0.1-5)和式(C.0.1-6)求得一、二、三层总弯曲刚度,下层中性轴至层底的距离,当量厚度、弹性模量,如此重复。

C.0.1.7 原铺面顶面的当量地基综合回弹模量计算式(C.0.1-14)是根据单圆荷载直径 0.3m,层间连续,粒料层总厚度 0.2m~0.5m,粒料层回弹模量与地基回弹模量之比小于 10,地基、粒料层的泊松比均取 0.35 的条件下,按照荷载中心点弯沉等效原则前提下回归得到的。若设计的铺面结构参数超出上述范围,粒料层顶面的当量地基综合回弹模量可以应用弹性层状体系理论计算得出。

C.0.2.1 考虑板间传荷和基层超宽效应系数 k_j 的推荐值较现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)的考虑接缝传荷能力的应力折减系数 k_j 的推荐值小 0.05~0.07 (0.12),其原因是本规范计入了基层超宽效应。

C.0.2.3 非定点堆放的集装箱堆场,箱角荷载的临界荷位位于板长边边缘中部,利用式(C.0.2-7)计算其荷载应力时集装箱箱角距板边净距 d_s 取 0。

C.0.3 原规范中的温度翘曲应力系数和温度应力系数采用诺模图形式给出,本规范改为精度较高的回归计算式,以方便使用和减小查图误差。面层混凝土和地基的徐变系数与原规范的相同,分别为 0.85、0.70,并将它们计入温度应力系数 B_L 之中。

附录 D 铺面材料的设计参数

D.0.3 地基的平衡湿度状况可以分为地下水控制的潮湿类路基、气候因素控制的干燥类路基和兼受地下水和气候因素影响的中湿类路基三类。港口地下水一般较高,绝大多数处于潮湿类地基,因此,仅给出潮湿类地基的平衡湿度系数。若地下水深度超出表 D.0.3-2 值范围,可以参照《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的相关规定选用。表 D.0.3-1 给出的标准条件下地基回弹模量参考范围是针对在荷载影响深度范围内土质均匀的地基而言,对于非均质地基,可以通过现场实测,条件不足时按第 C.0.1.7 款估计,其中,荷载圆半径修正系数 k_0 取 1。

D.0.4.1 测定粒料回弹模量的标准状态为最佳含水率和考虑压实度要求的干密度条件,粒料压实后的含水量会逐渐下降,最终达到湿度平衡状态,因此,需乘以湿度调整系数来修正含水率下降对其回弹模量影响。湿度调整系数与结构层次、地下水位高度、年降雨量以及下卧层是否透水等因素有关;下设透水垫层和底基层的基层,地下水位距地基顶面的距离大于 4m 且年降雨量小于 1000mm 时湿度调整系数可取上限;下设透水垫层的底基层,地下水位距地基顶面的距离小于 2m 且年降雨量大于 1500mm 时湿度调整系数应取下限;下卧层为不透水层时,湿度调整系数可参考表 D.0.3-2 确定。

D.0.4.2 表 D.0.4-2 中的材料弹性模量是动态模量,其数据来源于《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的“无机结合料类材料的弯拉强度和弹性模量取值范围”,但数值上稍小于后者,是由于港口道路与堆场的流动机械移动速度较低,材料动态弹性模量对应的加载频率较公路的加载频率低。

D.0.5 沥青混合料在标准状态下(20℃)的弹性模量与荷载作用频率、沥青针入度、沥青混合料油石比、混合料空隙率以及混合料粗集料骨架的松装间隙率等因素密切相关,回归式(D.0.5)数据来源与《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)中采用的回归式相同,但为了方便使用,将自变量 60℃、10rad/s 下沥青剪切模量改为更常见的沥青针入度。

附录 E 沥青面层疲劳等效温度

E.0.1 沥青面层疲劳等效温度指与铺面结构在使用期内连续变化温度条件下所产生的疲劳损伤相等效的某一温度。

对于铺面结构任一设计指标的疲劳极限状态而言,在整个铺面结构使用期内,结构疲劳总损伤 D_{pf} 可以表示为:

$$D_{pf} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k \frac{n_{ij}}{N_{pf,ij}} \quad (E.1)$$

式中 m, k ——沥青面层的层均温度 T_μ 、层温度梯度 T_g 的分级数;

$n_{ij}, N_{pf,ij}$ ——沥青面层的层均温度为 $T_{\mu j}$ 、层温度梯度为 $T_{g,j}$ 的分布频谱及其所对应的结构疲劳寿命。

根据积分中值定理,可以找到一沿面层厚度均匀分布的温度 T_{pef} ,其结构疲劳寿命 N_{pef} 对应累计标准轴载作用次数的疲劳损伤与式(E.1)中的 D_{pf} 相等,即:

$$N_{pef} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k \frac{n_{ij}}{D_{pf}} = \frac{1}{D_{pf}} \quad (E.2)$$

满足式(E.2)的沥青面层均匀温度 T_{pef} 称为沥青面层等效温度。

沥青混合料面层裸露于大气环境中,经受着温度的日、月、年变化,沥青混合料是温度敏感材料,不同温度下沥青混合料的模量是不同的,从而影响到沥青混合料面层的荷载应力和结构疲劳损伤。也就是说,沥青混合料面层的结构疲劳损伤是随温度不断变化的,由于温度变化的连续性,根据积分中值定理,可以找到一沿面层厚度均匀分布的温度 T_{pef} ,其结构疲劳寿命 N_{pef} 对应累计疲劳损伤与式(E.1)中的 D_{pf} 相等,这一沥青面层均匀温度 T_{pef} 称为沥青面层等效温度。

E.0.2 沥青面层基准等效温度所对应的沥青面层疲劳寿命方程如式(E.3)所示;半刚性基层疲劳方程如式(E.4)所示;地基疲劳方程如式(E.5)所示。

$$N_a = A_N \left(\frac{1}{\varepsilon_a} \right)^{4.0} \left(\frac{1}{E_a} \right)^{1.6} \quad (E.3)$$

$$N_b = \frac{B_N}{\sigma_b^{12}} \quad (E.4)$$

$$N_z = \frac{Z_N}{\varepsilon_z^5} \quad (E.5)$$

式中 N_a ——沥青面层疲劳寿命;

ε_a ——沥青面层层底弯拉应变;

E_a ——沥青混合料的弹性模量;

- N_b ——半刚性基层疲劳寿命;
- σ_b ——半刚性基层层底弯拉应力;
- N_z ——地基疲劳寿命;
- ε_z ——地基顶面压应变;

$A_N、B_N、Z_N$ ——与材料性能及配合比有关的材料参数,此值不影响沥青面层疲劳等效温度。

E.0.3 非基准状况沥青面层等效温度近似式(E.0.3.1)适用的铺面结构条件为:沥青面层厚度 0.12m ~ 0.24m,20℃ 的沥青模量 2000MPa ~ 10000MPa,基层厚度 0.20m ~ 0.60m,基层模量 300MPa ~ 600MPa(粒料基层)或半刚性基层模量 3000MPa ~ 10000MPa,地基回弹模量 40MPa ~ 120MPa。若铺面结构参数超出上述范围,沥青面层等效温度需加论证确定。非基准状况沥青面层等效温度与基准状况沥青面层等效温度之差一般不超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。