

粒料基层上混凝土面板厚度计算

(计算示例 1)

路面结构计算书

小楷数字科技中心

2025年9月30日

一、项目概况

公路自然区划 II 区拟新建一条二级公路,路面宽 7m,路基为低液限黏土,路床顶距地下水位平均 1.2m,当地的粗集料以花岗岩为主。拟采用普通混凝土路面。经交通调查得知,设计轴载 $P_s=100\text{kN}$,最重轴载 $P_m=150\text{kN}$,设计车道使用初期设计轴载的日作用次数为 100 次,交通量年平均增长率为 5%。详见《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2011)第 92 页示例 1:粒料基层上混凝土面板厚度计算。

二、设计计算依据

本道路路面结构采用《小楷道路路面结构计算系统》V1.0 版进行计算。设计计算依据与参考的主要标准规范及资料如下:

- (1)《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)
- (2)《公路工程结构可靠性设计统一标准》(JTG 2120-2020)
- (3)《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2011)
- (4)《公路路基设计规范》(JTG D30-2015)
- (5)《公路自然区划标准》(JTJ 003-86)
- (6)设计图纸与岩土工程勘察报告

三、设计标准

- (1)路面类型:普通混凝土路面
- (2)道路等级:二级公路
- (3)设计使用年限:20 年
- (4)设计标准轴载: BZZ-100
- (5)路床顶面综合回弹模量: $\geq 60\text{MPa}$

四、交通流量分析计算

(一) 分析方法及计算公式

水泥混凝土路面设计车道在设计基准期内所承受的设计轴载累计作用次数应进行调查和分析,按设计基准期内设计车道临界荷位处所承受的设计轴载累计作用次数分为5级,分级范围见下表所示。

交通荷载分级

交通荷载等级	极重	特重	重	中等	轻
设计基准期内设计车道承受设计轴载(100kN)累计作用次数 N_e (10^4)	$>1 \times 10^6$	$1 \times 10^6 \sim 2000$	$2000 \sim 100$	$100 \sim 3$	<3

设计基准期内水泥混凝土路面设计车道临界荷位处所承受的设计轴载累计作用次数,应按下式计算确定:

$$N_e = \frac{N_s \times [(1 + g_r)^t - 1] \times 365}{g_r} \times \eta$$

式中:

N_e —设计基准期内设计车道所承受的设计轴载累计次数(轴次/车道)

t —设计基准期(a)

g_r —基准期内货车交通量的年平均增长率(以分数计)

η —临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数

车辆轮迹横向分布系数 η

公路等级		纵缝边缘处
高速公路、一级公路、收费站		0.17~0.22
二级及二级以下公路	行车道宽 $>7m$	0.34~0.39
	行车道宽 $\leq 7m$	0.54~0.62

注:车道、行车道较窄或者交通量较大时,取高值;反之取低值。

(二) 交通流量计算参数

(1) 设计车道使用初期设计轴载的日作用次数 N_s : 100 次/日

(2) 设计使用年限内交通量的年平均年增长率 g_r : 5.0%

(3) 临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数 η : 0.62

(三) 交通流量计算结果

(1) 设计使用年限内设计车道所承受的设计轴载累计轴次 $N_e=74.8$ 万轴

次/车道

(2) 交通荷载等级： 中 （ 3~100 万次 ）

五、汽车荷载应力计算

(一) 计算方法及公式

弹性地基单层板模型—适用于粒料基层上混凝土面层，旧沥青路面加铺混凝土面层；面层板底面以下部分按弹性地基处理。混凝土面层板的临界荷位位于纵缝边缘中部。

设计轴载在面层板临界荷位处产生的荷载疲劳应力应按式确定。

$$\sigma_{pr} = k_r \cdot k_f \cdot k_c \cdot \sigma_{ps}$$

式中：

σ_{pr} —设计轴载在面层板临界荷位处产生的荷载疲劳应力（MPa）

σ_{ps} —设计轴载在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力（MPa）

k_r —考虑接缝传荷能力的应力折减系数，采用混凝土路肩时， $k_r=0.87\sim 0.92$ （路肩面层与路面面层等厚时取低值，减薄时取高值）；采用柔性路肩或土路肩时， $k=1$ ；

k_f —考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数

k_c —考虑计算理论与实际差异以及动载等因素影响的综合系数

综合系数 k_c

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三、四级公路
k_c	1.15	1.10	1.05	1.00

设计轴载在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力应按式计算。

$$\sigma_{ps} = 1.47 \times 10^{-3} r^{0.70} h_c^{-2} P_s^{0.94}$$

$$r = 1.21(D_c/E_t)^{1/3}$$

$$D_c = \frac{E_c h_c^3}{12(1 - \nu_c^2)}$$

式中:

P_s —设计轴载的单轴重 (kN)

h_c 、 E_c 、 ν_c —混凝土面层板的厚度 (m)、弯拉弹性模量 (MPa) 和泊松比

r —混凝土面层板的相对刚度半径 (m)

D_c —混凝土面层板的截面弯曲刚度 (MN·m)

E_t —板底地基当量回弹模量 (MPa)

设计基准期内的荷载疲劳应力系数应按下列式计算。

$$k_f = N_e^\lambda$$

式中:

N_e —设计基准期内设计轴载累计作用次数

λ —材料疲劳指数, 普通混凝土、钢筋混凝土、连续配筋混凝土, $\lambda = 0.057$;
碾压混凝土和贫混凝土, $\lambda = 0.065$;

新建公路的板底地基当量回弹模量 E 应按下列式计算。

$$E_t = \left(\frac{E_x}{E_0} \right)^\alpha E_0$$

$$\alpha = 0.86 + 0.26 \ln h_x$$

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i^2 E_i)}{\sum_{i=1}^n h_i^2}$$

$$h_x = \sum_{i=1}^n h_i$$

上述式中:

E_0 —路床顶综合回弹模量 (MPa)

α —与粒料层总厚度 h_x 有关的回归系数

E_x —粒料层的当量回弹模量 (MPa)

h_x —粒料层的总厚度 (m)

n —粒料层的层数

E_i 、 h_i —第 i 结构层的回弹模量 (MPa) 与厚度 (m)

最重轴载在面层板临界荷位处产生的最大荷载应力, 应按下列式计算。

$$\sigma_{p,\max} = k_f \cdot k_c \cdot \sigma_{pm}$$

式中：

$\sigma_{p,max}$ —最重轴载 P_m 在面层板临界荷位处产生的最大荷载应力（MPa）

σ_{pm} —最重轴载 P_m 在四边自由板临界荷位处产生的最大荷载应力（MPa）

（二）汽车荷载应力计算参数

（1）路面结构设计及计算参数表

路面结构设计及计算参数表

序号	结构层	路面结构	厚度 (mm)	回弹模量 (MPa)	泊松比
1	面层板	普通混凝土	240	29000	0.15
2	基层	级配碎石	200	300	--
3	路床顶面	路基土	--	60	--

（2）设计标准轴载 P_s ：100 kN

（3）设计最重轴载 P_m ：150 kN

（4）考虑计算理论与实际差异以及动载等因素影响的综合系数 k_c ：1.05

（5）考虑接缝传荷能力的应力折减系数 k_r ：0.87

（6）面层板材料疲劳指数 λ ：0.057

（7）考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数 $k_f=2.162$

（三）汽车荷载应力计算结果

（1）面层板设计标准轴载在四边自由板的临界荷位处产生的荷载应力

$$\sigma_{ps} = 1.644 \text{ MPa}$$

（2）面层板设计最重轴载在四边自由板的临界荷位处产生的荷载应力

$$\sigma_{pm} = 2.406 \text{ MPa}$$

（3）面层板设计标准轴载在临界荷位处产生的荷载疲劳应力 $\sigma_{pr} = 3.246 \text{ MPa}$

（4）面层板设计最重轴载在临界荷位处产生的最大荷载应力

$$\sigma_{p,max} = 2.198 \text{ MPa}$$

六、温度荷载应力计算

(一) 计算方法及公式

弹性地基单层板温度应力计算时,在面层板临界荷位处产生的温度疲劳应力应按下列式计算。

$$\sigma_{tr} = k_t \cdot \sigma_{t,max}$$

式中:

σ_{tr} —面层板临界荷位处的温度疲劳应力 (MPa)

$\sigma_{t,max}$ —最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力 (MPa)

k_t —考虑温度应力累计疲劳作用的温度疲劳应力系数

最大温度梯度时混凝土面层板最大温度应力应按下列式计算。

$$\sigma_{t,max} = \frac{\alpha_c E_c h_c T_g}{2} B_L$$

式中:

α_c —混凝土的线膨胀系数

T_g —公路所在地 50 年一遇的最大温度梯度

B_L —综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数

综合温度翘曲应力和内应力的温度应力系数 B_L 应按下列式计算。

$$B_L = 1.77e^{-4.48h_c} C_L - 0.131 (1 - C_L)$$

$$C_L = 1 - \frac{\sinhtcost + coshtsint}{costsint + sinhtcosht}$$
$$t = \frac{L}{3r}$$

上述式中:

C_L —混凝土面层板的温度翘曲应力系数

L —面层板的横缝间距,即板长 (m)

r —面层板的相对刚度半径 (m)

温度疲劳应力系数 k_t 应按下列式计算。

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{t,\max}} \left[a_t \left(\frac{\sigma_{t,\max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right]$$

式中： a_t 、 b_t 和 c_t —回归系数，按所在地区的公路自然区划确定。

(二) 温度荷载应力计算参数

(1) 面层板水泥混凝土 28d 弯拉强度标准值 f_r : 4.5MPa

(2) 水泥混凝土的粗集料类型: 花岗岩

混凝土的线膨胀系数 $\alpha_c = 10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

(3) 水泥混凝土面层板的横缝间距 (即板长) L : 4.5m

(4) 道路自然区划: II 区

1) 回归系数: $a_t=0.828$, $b_t=1.323$, $c_t=0.041$

2) 公路所在地 50 年一遇的最大温度梯度 T_g : 88 $^\circ\text{C}/\text{m}$

(5) 考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数 $k_t=0.434$

(三) 温度荷载应力计算结果

(1) 面层板在温度梯度作用下的温度疲劳应力 $\sigma_{tr} = 0.604$ MPa

(2) 面层板在温度梯度作用下的最大温度应力 $\sigma_{t,\max} = 1.392$ MPa

七、应力组合与验算结论

(1) 水泥混凝土路面可靠度系数 γ_r : 1.13

(2) 面层板汽车荷载与温度荷载综合作用的疲劳断裂应力验算:

$$\gamma_r \cdot (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) = 4.351 \text{ MPa} \leq f_r = 4.5 \text{ MPa}$$

(3) 面层板汽车荷载与温度荷载组合作用的极限断裂应力验算:

$$\gamma_r \cdot (\sigma_{p,\max} + \sigma_{t,\max}) = 4.057 \text{ MPa} \leq f_r = 4.5 \text{ MPa}$$

(4) 设计验算结论:

水泥混凝土路面结构验算通过。

满足结构极限状态要求，所选的普通混凝土面层计算厚度 240mm 可以承受设计使用年限内设计轴载荷载和温度梯度的综合疲劳作用，以及最重轴载在最大温度梯度时的一次极限作用。