

文章编号: 0451-0712(2006)05-0120-04

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

水泥混凝土路面的可靠度分析

李珍玉, 王永和

(中南大学土木建筑工程学院 长沙市 410075)

摘 要: 水泥混凝土路面在设计、施工、管理等过程中存在许多的不确定因素,为了更好地考虑这些不确定性,新版水泥混凝土路面设计规范,以可靠度概念取代了传统的安全系数,从而使路面设计更科学。以影响水泥混凝土路面可靠度的主要结构参数为随机变量,采用疲劳概率分析模型,分析了随机变量的变异性和概率分布,编程计算某公路水泥混凝土路面的可靠度指标。

关键词: 水泥混凝土路面; 可靠度; 结构参数; 随机变量

公路工程是国家主要的基础设施之一,建造费用高、使用周期长是公路工程结构独特的特点,要保证公路结构在规定的使用期内能够承受设计的各种作用,满足设计要求的各项使用功能,是设计、施工等人员追求的目标。而公路工程结构在施工上具有长距离线性分布的特点,路用材料的不均匀性及施工管理水平的差异、混凝土路面的各项材料性能参

数和结构几何尺寸等都不是某一确定的单值变量,具有多种不确定性和模糊性。1984 年和 1994 年颁布的水泥混凝土路面设计规范采用了安全系数来考虑众多的不确定性,然而安全系数是公路工作者通过多年积累的经验得出,即其取值是靠设计者的知识和经验,因此安全系数本身具有不确定性。经过研究人员多年的努力,用来表示工程可靠的程度,即路面

基金项目:湖南省自然科学基金项目(04JJ3085);教育部高等学校博士点专项基金项目(20030533043)

收稿日期:2005-10-25

[3] 徐建力. 水泥搅拌桩质量检测与综合评定方法的探讨[J]. 市政技术,2003,21(1).

[4] 刘朝辉,唐风华. 高速公路软基处理中粉(湿)喷桩质量检测方法评述[J]. 公路交通科技,2004,21(3).

Establishment and Analysis of Testing System for Mixing Column with Cement-treated Soil of Highway Engineering in Pearl River Delta Area

ZENG Qing-jun^{1,2}, LIAO Jian-chun³, MO Hai-hong¹, LI Mao-ying², HUANG Teng⁴

(1. Dept. of Civil Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, China;

2. Guangdong Communication Polytechnic, Guangzhou 510650, China; 3. Guangdong Highway Design Institute, Guangzhou 510507, China; 4. The Hangsheng Engineering Co., Ltd. of Guangdong Province, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Through summarizing the key points of the quality tests of mixing column with cement-treated soil and the advantages and disadvantages of test methods and some field experiments in multiple expressway projects in the Pearl River Delta area, a testing system for mixing column with cement-treated soil of a combination of short-time tests and long-time tests and several test methods is put forward. Frequency, method, parameters, evaluation criteria of quality testing are also explicated in this paper. The engineering practices show that the application of such systematic testing method can meet the requirements of testing cement mixing column.

Key words: mixing column with cement-treated soil; quality testing; testing system

在使用年限内不会出现损坏的概率,出现在新版的水泥混凝土设计规范中,这就是可靠度。姚祖康结合路面结构的特点,把路面可靠度相应定义为:在规定的基准期内,在规定的交通和环境条件下,路面使用性能满足预定水平要求的概率。

本文通过实例进行分析可靠度在水泥混凝土路面中的应用。

1 工程概况

湖南省湘东地区某二级公路,全线不分干燥、潮湿路段,路面采用24 cm厚C30水泥混凝土,基层为17 cm厚、5%水泥稳定砂砾,垫层为15 cm厚级配碎石,基层上铺设0.6 cm厚沥青封层。路肩采用10 cm厚、C30混凝土块硬化。水泥混凝土路面板块划分:板长为5.0 m,特殊路段根据需要调整为4.5~5.0 m;机动车道板块宽度为2×4.5 m。

2 主要结构参数

水泥混凝土路面的主要结构参数为混凝土板厚(h)、混凝土抗弯拉强度(f_r)、混凝土抗弯拉弹性模量(E_c)和地基强度(E_t)。为了尽可能保证所收集结构参数的真实性和代表性,真实地反映实际施工水平,事先已和施工单位说明。

板厚的变异主要是由于基层顶面不平整所引起的。正在施工的水泥混凝土路面,采用板边中部基层顶面和路面板顶面2次水准测高的方法实测板厚。已完工的路段采用钻孔取样,通过测量试样的高度得出板厚,如试件不平整,需测量3点高度后取平均值。混凝土抗弯拉强度的量测如下:正在施工的混凝土路面,按交通部标准实测龄期28 d标准试件的小梁抗弯拉强度,小梁的成型养生尽可能模拟现场施工工艺;已完成的混凝土路面采用钻孔劈裂试验,计算劈裂抗弯拉强度后按公式换算成标准小梁的抗弯拉强度,最后按不同龄期、抗弯拉强度的增长曲线和换算关系换算成标准28 d的小梁抗弯拉强度。抗弯拉弹性模量试件的取样、成型、养生和抗弯拉小梁试件相同。地基回弹模量一般采用弯沉法,用贝克曼梁测量回弹弯沉。由于南方地区一般采用水泥稳定类基层,基层的强度随养生时间而增长,因此大都是测量基层顶面回弹模量。

3 可靠度分析

对该水泥混凝土路面进行可靠度分析时,采用

疲劳概率分析模型,以荷载作用表示作用效应,以路面疲劳寿命表示路面结构的综合抗力。由结构可靠度分析理论知,功能函数可表示为:

$$Z=R-S \quad (1)$$

设水泥混凝土路面在荷载作用下,抗力效应 R 为混凝土路面的广义抗力,一般为混凝土板的抗弯拉强度 f_r ;荷载效应 S 为广义荷载效应,它是水泥混凝土路面板厚、基础强度、使用年限内荷载作用次数、温度梯度等结构参数的函数。即:

$$R=f_r \quad (2)$$

$$S=\sigma_{pr}+\sigma_{tr} \quad (3)$$

式中: σ_{pr} 为标准轴载 P_s 在临界荷位处产生的荷载疲劳应力,MPa; σ_{tr} 为临界荷位处的温度疲劳应力,MPa。

将式(2)、(3)代入式(1)有:

$$Z=f_r-\sigma_{pr}-\sigma_{tr} \quad (4)$$

3.1 荷载疲劳应力

该水泥混凝土路面设计年限为20年,设计交通量为1 000辆/d标准轴次,按交通量年平均增长率 γ 为4%,计算该公路在设计基准年限内标准轴载累计作用次数 N_e 。

$$N_e=\frac{N_s[(1+\gamma)^t-1]\times 365}{\gamma}\eta=27.17 \quad (5)$$

式中: N_e 为设计基准年限内标准轴载累计作用次数,万次; N_s 为标准轴载的平均日作用次数,次/d; t 为设计年限,年; γ 为设计年限内交通量年平均增长率; η 为轮迹横向分布系数,取0.5。

荷载疲劳应力为:

$$\sigma_{pr}=k_r k_f k_c \sigma_{ps} \quad (6)$$

式中: k_r 为接缝传荷应力折减系数,取 $k_r=0.88$; k_f 为疲劳应力系数,取 $k_f=N_e^{0.057}$; k_c 为考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数,取 $k_c=1.20$; σ_{ps} 为标准轴载在临界荷位产生的应力, $\sigma_{ps}=0.077\left[0.537h\left(\frac{E_c}{E_t}\right)^{1/3}\right]^{0.60}h^{-2}$; E_c 为水泥混凝土的弯拉弹性模量,MPa; E_t 为基层顶面当量回弹模量, $E_t=13\,739\omega_0^{-1.04}$,MPa; ω_0 指基层顶面的弯沉量,0.01 mm。

3.2 温度疲劳应力

路基和路面结构外露在地表,直接感受到自然界因素的影响,路基土和路面材料的强度和刚度随路面体系内温度和湿度的升降而减少或增加。

温度疲劳应力的计算式为:

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} \quad (7)$$

式中: σ_{tm} 为最大温度梯度时混凝土板的翘曲应力, $\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_x$, MPa; α_c 为混凝土的线膨胀系数, 一般 $\alpha_c = 1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$; T_g 为最大温度梯度, 查表取为 $0.88^\circ\text{C}/\text{cm}$; B_x 为综合温度翘曲应力和内应力作用的温度应力系数; k_t 为考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数。

将荷载疲劳应力和温度疲劳应力代入功能函数, 有:

$$Z = 0.942 f_r - 2.235 \cdot 12 \times 10^{-6} f_r^{-0.323} \times (E_c h)^{1.323} - 8672.48179 h^{-1.4} \left(\frac{E_c}{E_t} \right)^{0.2} \quad (8)$$

令 $f_r = X_1, h = X_2, E_c = X_3, E_t = X_4, n = 4$ 。

功能函数可表示为:

$$Z = g(f_r, h, E_c, E_t) \quad (9)$$

由调查和实验所得该水泥混凝土路面的数据, 通过概率统计分析, 用极大似然估计平均值和标准差, 所得参数见表 1。

表 1 水泥混凝土路面参数值

参数	均值	变异系数	标准差
$f_r(X_1)$	5.13	0.10	0.47
$h(X_2)$	24.22	0.06	1.57
$E_c(X_3)$	33179.4	0.06	—
$E_t(X_4)$	350.66	0.25	—

表 2 可看出 4 个随机变量并不都服从正态分布, E_c 和 E_t 服从对数正态分布。本文采用等概率变换方法, 即按照概率分布函数值相等的原则, 将非正态随机变量变换为正态随机变量。

表 2 路面结构参数概率分布

设计参数	概率分布
f_r	正态分布
h	正态分布
E_c	对数正态分布
E_t	对数正态分布

将 X_1, X_2, X_3, X_4 变换为标准正态变量 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 :

$$X_1 = \mu_{X_1} + Y_1 \sigma_{X_1}$$

$$X_2 = \mu_{X_2} + Y_2 \sigma_{X_2}$$

$$X_3 = \exp(\mu_{\ln X_3} + Y_3 \sigma_{\ln X_3})$$

$$X_4 = \exp(\mu_{\ln X_4} + Y_4 \sigma_{\ln X_4})$$

通过 $F_{X_i}(X_i) = \Phi(Y_i)$ 将非正态变量变换为标准正态变量后, 在验算点的可靠度指标 β 为:

$$\beta = \frac{g_Y(y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*) - \sum_{i=1}^n \frac{\partial g_Y(y^*)}{\partial Y_i} y_i^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial g_Y(y^*)}{\partial Y_i} \right]^2}}$$

$$= \frac{g_X(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) - \sum_{i=1}^n \frac{\partial g_X(x^*)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial Y_i} y_i^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial g_X(x^*)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial Y_i} \right]^2}}$$

$$\alpha_{Y_i} = - \frac{\frac{\partial g_Y(y^*)}{\partial Y_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial g_Y(y^*)}{\partial Y_i} \right]^2}}$$

$$= - \frac{\frac{\partial g_X(x^*)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial Y_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial g_X(x^*)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial Y_i} \right]^2}}$$

$$y_i^* = \alpha_{Y_i} \beta \quad (i=1, 2, 3, 4)$$

编程求允许误差 $\epsilon = 0.1$ 、功能函数近似为 0 时, 可靠度指标的值, 计算流程见图 1。

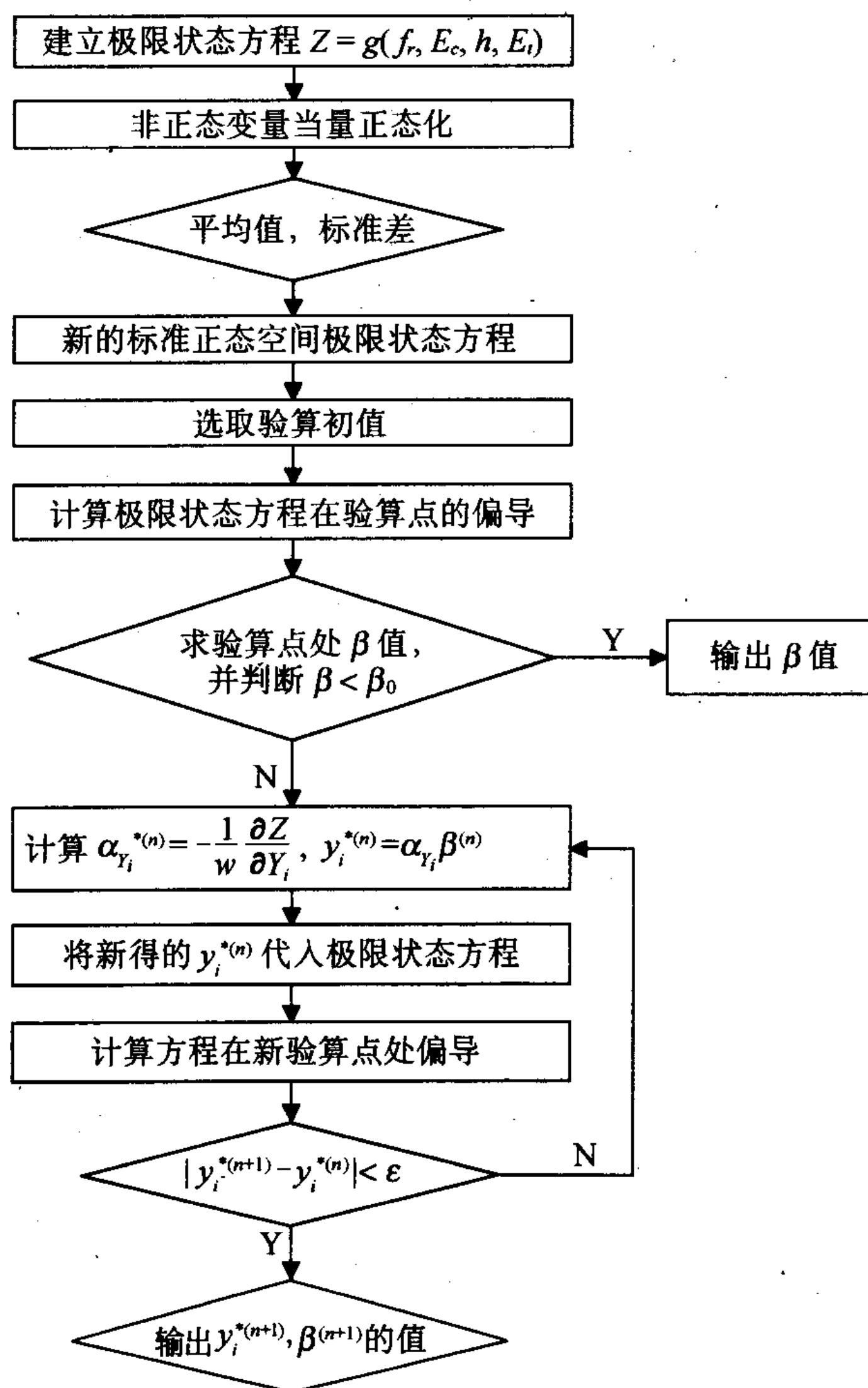


图 1 计算流程

计算得知,该公路的可靠度指标为1.16,可靠度与可靠度指标有一一对应的关系,根据规范中安全等级和可靠度、可靠度与可靠度指数之间的关系可知,该公路的可靠度为87.5%,《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTGD40—2002)中二级公路目标可靠度是85%,符合规范要求。

4 结语

传统的设计方法是通过安全系数来加以考虑的,但安全系数并不能真正反映结构实际的安全性,且其取值主要基于以往的经验。以可靠度理论为基础的设计方法,承认和揭示了结构属性中存在的确定性,并在结构设计中充分考虑到施工管理水平的影响,使得设计结果更趋科学和合理。实例证明该

方法实用性强,可靠度分析基本上反映了该公路施工质量的实际情况,用于分析道路路面结构的可靠度是可行的,在类似的水泥混凝土路面工程可靠度模拟计算中具有推广价值。

参考文献:

- [1] JTGD40—2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [2] GB50153—92,工程结构可靠度设计统一标准[S].
- [3] GB/T50283—1999,公路工程结构可靠度统一标准[S].
- [4] 谈至明,姚祖康.混凝土路面的可靠性分析[J]. 同济大学学报,1991,19(2).
- [5] 贡金鑫.工程结构可靠度计算方法[M]. 大连:大连理工大学出版社,2003.

Reliability Analyses of Cement Concrete Pavement

LI Zhen-yu, WANG Yong-he

(College of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: A lot of uncertain factors exist in the course of design, construction, and management of cement concrete pavement. In order to consider the uncertainty, traditional safety coefficient is substituted by reliability in new specifications of Cement Concrete Pavement Design for Highway, which makes the concrete pavement design more rationalization. The variability and distribution of the random variable are analyzed. Regarding the main structure parameters influencing the reliability of cement concrete pavement as the random variable, the reliability of a road is calculated by programs, using the fatigue probability analysis model.

Key words: cement concrete pavement; reliability; structure parameter; random variable

2005年全国新增高速公路6717 km

交通部发布《2005年公路水路交通行业发展统计公报》。2005年,我国交通基础设施建设取得举世瞩目的成就,运输安全得到显著提升,为“十一五”公路水路交通发展奠定了坚实基础。

统计公报显示,截至2005年年底,全国公路总里程达到193.05万km,其中去年新增高速公路通车里程6717 km;全国港口拥有生产用码头泊位35242个,其中万吨级及以上泊位1034个;全国内河航道通航里程达12.33万km,其中等级航道6.10万km;全国公路营运汽车达733.22万辆。

2005年,我国全社会完成公路客运量169.74亿人次、水路客运量2.02亿人次;完成公路货运量134.18亿t、水路货运量21.96亿t;全国港口完成货物吞吐量48.54亿t,集装箱吞吐量7564万标箱;全国交通固定资产投资6445.04亿元。