

轨道结构设计的计算机方法

杜厚智¹ 宗德明¹ 雷晓燕²

(1 南昌铁路局 2 校长办公室)

摘 要 详细论述了美国肯塔基(KENTRACK)轨道模型的分析方法¹⁹。肯塔基模型将轨道结构处理成材料非线性的三维问题¹⁹。利用单个荷载对有限根轨枕的响应及叠加原理,得到了多个荷载作用下轨道结构的挠度矩阵¹⁹。KENTRACK 程序系统采用了两个破坏准则作为设计依据:一是控制道床底部出现的最大拉应力或拉应变;二是控制道床最大永久沉降或最大竖向压应力¹⁹。控制点的应力或应变值用作轨道损伤计算¹⁹。据此,可估算轨道的设计寿命¹⁹。

关键词 轨道;数值模型;损伤计算;设计寿命

分类号 U 213.21

0 引 言

轨道结构是决定列车运量,最大行车速度和运营效率的一个主要部件¹⁹。轨道结构对安全性也有重要的影响¹⁹。从结构的观点看,轨道的作用是将轮载传递到大面积的路基上以减小由反复荷载作用引起的永久变形¹⁹。同时,轨道结构的各个组成部分本身必须有足够的强度不致破坏¹⁹。如果轨道结构设计不当,将使得轨道结构维护困难,费用增加^{[4] 19}。

在美国沥青道路协会和沥青表面研究所的资助下,肯塔基大学自 1981 年起一直在进行轨道设计计算机方法的研究^{[1] 19}。在几个铁路公司的合作下,已建立了三十多个用沥青作为道床底渣(以下简称沥青道床)的试验段¹⁹。为了确定作为设计基本参数的轨道结构系统中的应力、应变和位移,开发了功能齐全的计算机程序 KENTRACK¹⁹。设计这套软件的初始目的是专门为沥青道床轨道结构分析用的¹⁹。然而,后来发现,无论采用何种材料,设计的基本原则是相同的¹⁹。由此导致了一个功能齐全的计算机程序的出现¹⁹。这个程序不仅可用于沥青道床轨道结构,还可用于以其它材料作为底渣的普通轨道和混凝土整体道床轨道¹⁹。

轨道结构可看成由两根钢轨和一系列支承在道碴上的轨枕组成^{[2] 19}。钢轨和轨枕间的弹性垫层用弹簧模拟¹⁹。轨枕的横截面一般是不均匀的¹⁹。将轨枕分为两段分别置于两钢轨下,甚至还可完全不计轨枕的影响,而将钢轨看作通过一系列的弹簧支承直接与道碴相连¹⁹。通常假设路基为线弹性材料,其它支承体则假设为非线性材料,其变形模量随第一应力不变量而变化¹⁹。这样的层状计算模型可适应于任何类型的轨道结构,使用时只要选用合适的材料系数即可¹⁹。

另一种方法,是将轨道结构的支承部分看作文克尔(Winkler)地基上的弹性薄板¹⁹。这种模型适用于混凝土整体道床轨道分析¹⁹。在混凝土整体道床设计中,混凝土的拉应力是控制参数,路基中的应力和应变则是次要因素¹⁹。该方法不仅能节省时间而且还能真实地考虑混凝土整体道床有限宽度的影响¹⁹。

KENTRACK 程序系统采用两个破坏准则作为设计依据:一是控制道床底部出现的最大拉应力或拉应变不致使其产生裂缝;二是控制道床最大永久沉降或最大竖向压应力¹⁹。对以碎石材料作为道床(以下简称为碎石道床)的轨道,仅需控制路基和底渣顶面的最大压应力使其不超过容许值¹⁹。对沥青道床,既要考虑沥青底部的最大水平拉应力也要考虑路基顶面的最大压应力¹⁹。对混凝土整体道床,则只需控制混凝土底部的最大拉应力¹⁹。控制点的应力或应变值主要用作轨道损伤计算¹⁹。根据轨道损伤计算结果,可估算轨道的设计寿命¹⁹。

1 轨道设计的计算机方法

轨道结构从上到下,可分为轨道、弹簧、轨枕和层状基础,如图 1¹⁹。轨枕与层状基础之间的竖向接触应力均匀分布在圆周内¹⁹。对文克尔弹性薄板模型,则假设荷载通过一系列的弹簧由轨枕传至混凝土板上¹⁹。

1.1 叠加原理

轨道结构中由多个轮载引起的应力、应变和挠度可通过叠加原理由单个轮载引起的应力、应变和挠度而得到¹⁹。当单个轮载施加于钢轨上时,需要确定该荷载作用在轨枕的范围,如图 2(a)¹⁹。超过其范围的轨枕不承受荷载,可忽略不计¹⁹。由于对称性,仅需考虑作用点一边的轨枕,相应的轨枕数用 NTA 表示¹⁹。在 KENTRACK 程序中,为了减少内存,规定 NTA 的最大值为 6,总的轨枕数为 11¹⁹。当然用户可改变 NTA 限值¹⁹。计算表明,取 NTA = 6,可足够精确地满足工程使用¹⁹。图 2(b) 为 NTA = 4 时多个轮载叠加的情况¹⁹。

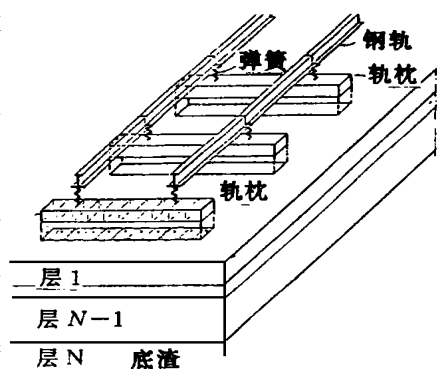


图 1 轨道结构层状计算模型

设 S_i 为荷载 P 引起的第 i 根轨枕的应力、应变或挠度, S'_i 为由 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 四个荷载共同作用引起的第 i 根轨枕的应力、应变或挠度,如图 2(b),则由叠加原理可得

$$\left. \begin{aligned} S'_1 &= S_2(P_1/P) + S_4(P_2/P) \\ S'_2 &= S_1(P_1/P) + S_3(P_2/P) \\ S'_4 &= S_3(P_1/P) + S_1(P_2/P) + S_4(P_3/P) \\ S'_9 &= S_3(P_3/P) + S_1(P_4/P) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

如果荷载是作用在两轨枕之间的钢轨上,则可利用线性插值的方法将荷载等效转换到相邻两轨枕所在的钢轨上⁽¹³⁾。

当采用层状模型时,基础是无穷域,每个轮载可看作施加于无穷域边界上的集中荷载⁽¹³⁾。当采用文克尔地基上的弹性薄板模型时,混凝土板必须选取取得足够长,使得边界效应可略去不计⁽¹³⁾。令 NTPB 代表混凝土整体道床沿纵向布置的轨枕数,则 NTPB 必须远大于 NTA⁽¹³⁾。

假设单个轮载的作用范围为 6 根轨枕是合理的,且能够得到可靠的结果^[13]这意味着作用在此范围以外的荷载不会对内部轨枕产生任何影响^[13]当然,这种假设有一定误差,但误差甚小,对控制点应力、应变和位移计算影响甚微^[13]无论是采用层状模型还是文克尔弹性薄板模型,总是先计算单个轮载作用下轨道结构的响应,再利用叠加原理获得多个轮载作用下的解答^[13]

1.2 有限元格式

在单个轮载作用下,轨道结构沿纵向 x 和横向 y 存在对称性^[13]计算中,仅需取 1/4 的轨道结构^[13]图 3 为层状计算模型有限元离散网络,结点编号从上到下,从一个横断面到另一个横断面^[13]单元编号沿轨道纵向进行,按钢轨(梁单元) — 弹性垫层(弹簧单元) — 轨枕(梁单元) 顺序编号^[13]为了计算轨枕外侧道床顶面的应力、应变和位移,可以设置 8 号结点,如图 3^[13]这个结点也可以布置在道床内任意一点,并不影响其它任何点的应力、应变和位移^[13]来自层状基础的反作用力直接施加于轨枕的每个结点上^[13]

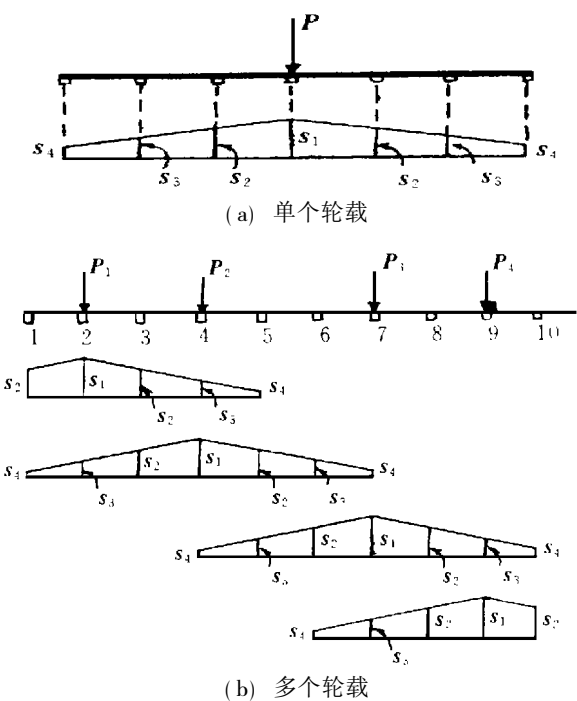


图 2 单轮及多轮荷载叠加

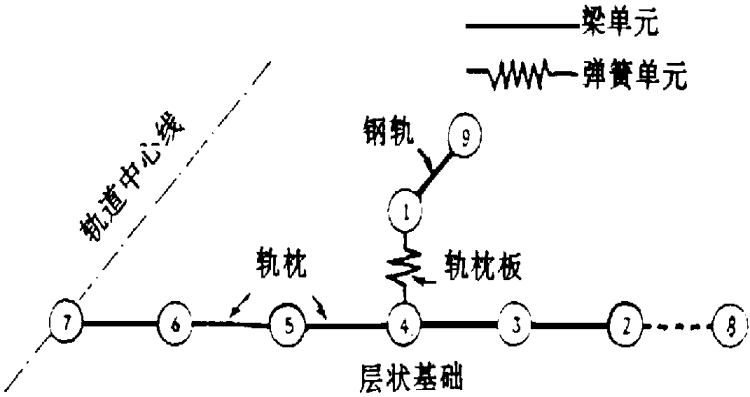


图 3 层状模型有限元离散网络

图 4 为文克尔弹性薄板模型有限元离散网络^[13]轨枕与简化成弹性薄板的混凝土整体道床之间为弹性连接,采用弹簧单元^[13]结点编号与层状模型相同,单元编号顺序为钢轨 — 垫板 — 轨枕 — 混凝土板^[13]

层状计算模型中含有 2 类单元,分别为模拟钢轨和轨枕的梁单元及一维弹簧元^[13]文克尔弹性薄板模型除上述 2 类单元外,还含有四边形板单元,其纵向边长等于两轨枕间的间距^[13]

在层状模型中,基础的反作用施加于轨枕底部,整体有限元方程可以表示成^[3]

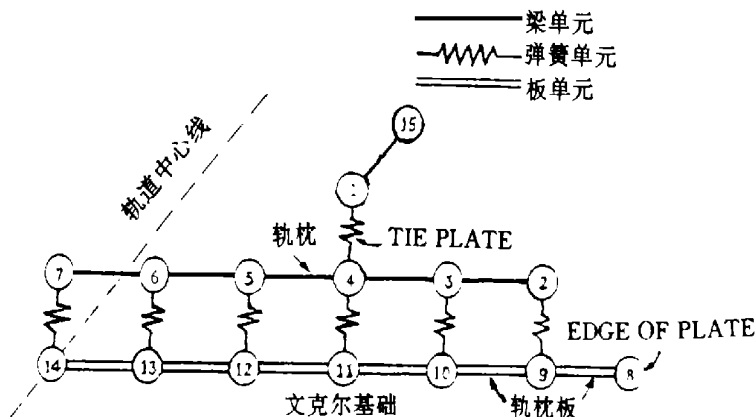


图 4 文克尔弹性薄板有限元离散网格

$$\mathbf{K} \begin{Bmatrix} \mathbf{a}_{\text{rail}} \\ \mathbf{a}_{\text{tie}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_{\text{rail}} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{F}_{\text{tie}} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

式中: $\mathbf{K}$ 为轨道结构的总刚度矩阵; $\mathbf{a}_{\text{rail}}$ 为钢轨结点位移向量; $\mathbf{a}_{\text{tie}}$ 为轨枕结点位移向量; $\mathbf{F}_{\text{rail}}$ 为由作用在钢轨上的轮载产生的等效结点荷载向量; $\mathbf{F}_{\text{tie}}$ 为由作用在轨枕底部的反作用力产生的结点荷载向量^[13]。由于轮载和路基反作用力均只涉及竖向荷载, 式(2)右端荷载项也仅包含竖向荷载, 无水平荷载和力偶^[13]。

为了确定 $\mathbf{F}_{\text{tie}}$, 可利用弹性力学中层状体边界某点 i 作用单位力时引起 j 点竖向位移的计算公式, 据此可得

$$\mathbf{G} \{ \mathbf{P}_1, \dots, \mathbf{P}_i, \dots, \mathbf{P}_n \}^T = \{ \mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_i, \dots, \mathbf{w}_n \}^T \quad (3)$$

式中: $\mathbf{G}$ 为柔度矩阵; $\mathbf{P}_i$ 、 $\mathbf{w}_i$ 分别为结点 i 的竖向力和竖向位移^[13]。

(3) 式还可以写成

$$\mathbf{F}_{\text{tie}} = \{ \mathbf{P}_1, \dots, \mathbf{P}_i, \dots, \mathbf{P}_n \}^T = \mathbf{H} \{ \mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_i, \dots, \mathbf{w}_n \}^T \quad (4)$$

式中: $\mathbf{H} = \mathbf{G}^{-1}$ ^[13]。

将式(4)代入式(2), 再把竖向位移 $\mathbf{w}$ 移到等式的左端, 于是得到

$$\bar{\mathbf{K}} \mathbf{a} = \mathbf{F} \quad (5)$$

式中: $\bar{\mathbf{K}}$ 为轨道结构修正的总刚度矩阵^[13]。解式(5)可直接得到结点位移, 进一步可得到轨道结构内各点的应力和应变^[13]。

在层状计算模型中, 路基沿竖向和水平面均为无穷域边界^[13]。为简化计算, 假设道碴和底碴在水平面上也为无穷边界, 但在厚度方向是有限的^[13]。层与层之间的位移假设是连续的^[13]。上述假设尽管不完全符合实际, 因为真实的道床在宽度方向是有限的^[13]。只要轮载作用点距道床边界的距离超过 0.9 m 时, 上述假设并不影响解的精度^[13]。

在文克尔弹性薄板模型中, 基础的反作用力是直接施加于混凝土整体道床的底部, 其有限元方程可表示为

$$\mathbf{K} \begin{Bmatrix} \mathbf{a}_{\text{rail}} \\ \mathbf{a}_{\text{tie}} \\ \mathbf{a}_{\text{plate}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{F}_{\text{rail}} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{F}_{\text{plate}} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

式中: $\mathbf{a}_{\text{plate}}$ 为简化成板单元的混凝土整体道床的结点位移向量; $\mathbf{F}_{\text{plate}}$ 为由作用在混凝土底部的反作用力产生的结点荷载向量^[13]

根据文克尔假定, 薄板中任意一点的竖向反作用力正比于该点的竖向挠度, 即

$$\mathbf{F}_{\text{plate}} = \begin{Bmatrix} \mathbf{P}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{P}_i \\ \vdots \\ \mathbf{P}_n \end{Bmatrix} = k \begin{bmatrix} A_1 & & & 0 \\ & \ddots & & \\ & & A_i & \\ & & & \ddots \\ 0 & & & & A_n \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{Bmatrix} \quad (7)$$

式中: k 为路基的弹性系数; A_i 为结点 i 处薄板接触面积^[13]

将式(7)代入式(6), 即可得到类似于式(5)的方程^[13]

1.3 材料的本构方程

如上所述, 除假设路基为线弹性材料外, 轨道结构中的其它层体既可看作弹性体也可当作非线性材料^[13]当处理成非线性体时, 其变形模量与应力状态有关^[2], 即

$$E_R = K_1 \theta^2 \quad (8)$$

式中: E_R 为变形模量; θ 为包括地压的体积应力; K_1 、 K_2 为与材料性质有关的系数^[13]计算体积应力时, 必须考虑侧压应力率 K_0 的影响, 在数值上等于 $(1 + 2K_0)$ 乘以竖向地压应力^[13]当 $K_2 = 0$ 时, 式(8)退化为线弹性材料的情况^[13]泊松比对应力和应变的影响较小, 可认为与应力状态无关, 在计算中取为常数^[13]

关于非线性方程组的解法, 可参考文献[3]^[13]

通常轨道结构分析涉及4种材料, 它们分别是路基土、石碴、沥青和混凝土^[13]计算中一般假设路基、沥青和混凝土为线弹性材料, 石碴根据分析的目的不同可当作线性材料或非线性材料^[13]在损伤计算中, K_1 的取值可随月份或季节的变化采用不同的值^[13]

1.4 运量

轨道结构设计中需要考虑的一个重要因素就是运量^[13]运量可用轮载大小和1年内作用在轨道上的次数表示^[13]普通货车有4个轮对, 前后排列^[13]由于轨道结构的控制应力发生在两轮对作用时, 因此将两轮对作为1次作用荷载是自然的^[13]然而, 实际在计算普通货车的作用次数时, 是简单地将1节货车通过时作为1次作用荷载, 这是由于相邻2节货车前后两转向架相距较近, 故将4个轮对作为1次作用荷载的缘故^[13]对于旅客列车, 相邻车厢前后两转向架相距较远, 应独立计算^[13]因此可简单地将1节车厢计算成2次作用荷载^[13]

列车运量常以通过百万吨/年货物计算(包括重车和空车)^[13]普通货车满载时重120 t(注: 美国货车), 因此普通货车每次作用荷载强度即为120 t^[13]空车约是重车的20%~25%, 对轨道设计几乎没有影响^[13]但由于列车总运量中包括空车的重量, 习惯上将空车的重量叠加到重车中, 而不单独计算^[13]因此普通货车一次荷载作用强度应为145 t^[13]

1.5 损伤分析

损伤分析有二种方法: 一是控制道床底部的最大水平拉应力, 二是控制路基或底碴顶面的最大压应力^[13]前者适用沥青和混凝土整体道床^[13]控制最大水平拉应力实际上是控制裂缝^[13]后者适用以碎石和砂料为道床材料的普通轨道结构^[13]控制其底部的最大压应力也就是控制容许的永久沉降^[13]

沥青裂缝的产生主要与沥青承受的最大拉应变有关⁽¹³⁾最大拉应变与列车容许荷载作用次数有如下关系⁽¹³⁾

$$N_c = f_4 \epsilon^{-f_5} E \alpha^{-f_6} \quad (9)$$

式中: N_c 为沥青产生裂缝时容许荷载作用次数; ϵ 为沥青底部最大拉应变; $E \alpha$ 为沥青的弹性模量; f_4, f_5, f_6 为与材料有关的常数⁽¹³⁾

混凝土裂缝的产生主要与混凝土承受的最大水平拉应力有关⁽¹³⁾最大拉应力与列车容许荷载作用次数间的关系可表示成

$$N_c = 10^{f_4 - f_5 \frac{\sigma}{M_t}} \quad (10)$$

式中: N_c 为混凝土产生裂缝时容许荷载作用次数; σ 为混凝土底部最大水平拉应力; M_t 为混凝土破坏模量; f_4, f_5 为与材料有关的常数⁽¹³⁾

(9) 和 (10) 两式中的材料系数采用了相同的记号 f_4, f_5 , 但它们的意义和取值完全不同⁽¹³⁾试验证实, 当 $\sigma \leq 0.5 M_t$ 时, 混凝土整体道床可承受无限的列车荷载作用次数⁽¹³⁾

当采用最大竖向压应力作为轨道设计准则时, 列车容许荷载作用次数可由下式计算

$$N_d = f_1 \sigma^{-f_2} E_s^{f_3} \quad (11)$$

其中: N_d 为容许荷载作用次数; σ 为路基顶面最大竖向压应力; E_s 为路基模量; f_1, f_2, f_3 为与材料有关的常数⁽¹³⁾对于以底碴顶面最大竖向压应力作为轨道设计准则时, 仍可用上式计算列车容许荷载作用次数, 这时 E_s 为底碴模量⁽¹³⁾

由于列车的运营条件和材料性质在 1 年中变化较大, 因此损伤分析需要按月或季度进行, 以确定轨道设计寿命⁽¹³⁾根据不同时期轨道中的最大拉应力和最大压应力, 按 (9)、(10)、或 (11) 即可获得该时期列车容许荷载作用次数⁽¹³⁾定义列车荷载作用率等于某时期内预测荷载作用次数除以该时期容许荷载作用次数, 则可求得各时期内列车荷载作用率⁽¹³⁾若对 1 年内各时期列车荷载作用率求和, 即得到全年的列车荷载作用率⁽¹³⁾轨道设计寿命定义为列车荷载作用率的倒数⁽¹³⁾如果将 1 年分成 12 个月, 则轨道设计寿命可按式计算

$$L = 1 \setminus \sum_{i=1}^{12} (N_p \setminus N_a) \quad (12)$$

式中: L 为轨道设计寿命, 以年为单位; N_p 和 N_a 分别为 1 个月内列车预测荷载作用次数和列车容许荷载作用次数⁽¹³⁾建议对以控制裂缝产生作为设计准则的轨道, 设计寿命取为 30 年; 而对以控制永久沉降作为设计准则的轨道, 设计寿命只需取 5 年, 因为轨道结构的永久沉降可通过正常的养护维修得到调整⁽¹³⁾

如果轨道结构是由多层碎石组成, 则必须计算出每层碎石顶部的最大压应力进行损伤分析以确定最薄弱部分, 因为整个轨道结构是受最薄弱部位控制的⁽¹³⁾

2 计算程序

KENTRACK 由 1 个主程序和 20 个子程序组成, 占内存 430 kB, 其中 130 kB 用作目标程序, 300 kB 用作数组变量⁽¹³⁾轨道最多可分为 6 层、10 个横断面⁽¹³⁾每个荷载的作用范围为 6 根轨枕⁽¹³⁾为了节省计算时间, 每层的柔度矩阵可通过插值获得⁽¹³⁾由于荷载作用附近的结点采用精确的柔度系数, 因此用插值方法计算道床内的柔度系数并不影响解的精度⁽¹³⁾图 5 为计算框图⁽¹³⁾

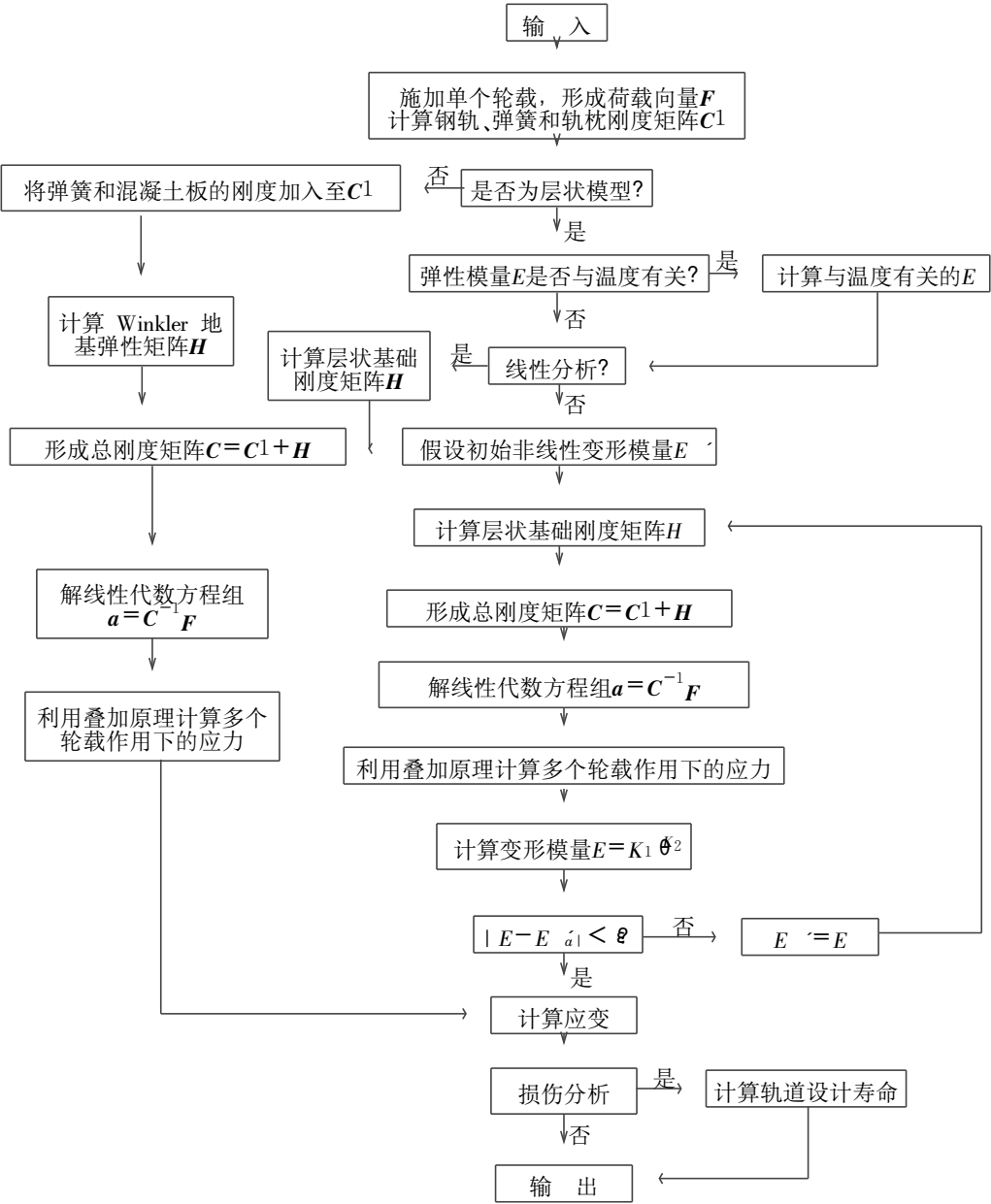


图5 计算框图

3 设计流程

由于 KENTRACK 程序强大的功能,使得我们确定各种运营、气候和材质条件下道床的厚度成为可能^[13]图 6 为典型的普通碎石道床断面和沥青道床断面^[13]我们的目的是要确定 H_b 和 H_a 。^[13]计算中,首先假设道床的厚度,据此可获得轨道设计的寿命^[13]根据设计寿命,再修改道床厚

度,反复计算、修改,直至得到符合要求的结果^[13]如前所述,对普通道床,轨道设计寿命取 5 年,对沥青道床设计寿命取为 30 年^[13]

3.1 计算参数

轨道设计最困难的问题是如何确定 (9)~(11)各式中的材料系数 $f_1\sim f_6$ ^[13]在缺乏大量试验资料的情况下,可借用公路设计中的资料; $f_1=4.837\times 10^{-5}$, $f_2=3.734$, $f_3=3.583$, $f_4=0.0795$, $f_5=3.291$, $f_6=0.853$ ^[13]由于公路的荷载情况,结构构造及工作条件等方面均与铁路不同,应结合试验加以修正^[13]在以下的算例中,轮载取为 147 kN,钢轨为 132RE(美国标准),轨枕间距为 50.8 cm,轨枕垫板的刚度系数为 1.2 GN/m,道碴的非线性模量参数 $K_1=52\text{ MN/m}^2$ ¹⁹.

3.2 确定道床厚度

表 1 普通碎石道床和沥青道床的道床设计厚度 cm

路基 材质	气候	运 量 等 级								
		次轻		轻		次重		重		
好	H_a		0	7.62	0	7.62	0	7.62	0	7.62
	H_b	冷	12.70	12.70	12.70	12.70	15.24	12.70	17.78	12.70
		中	12.70	12.70	12.70	12.70	15.24	15.24	17.78	17.78
		热	12.70	12.70	12.70	12.70	15.24	15.24	17.78	20.32
良好	H_a		0	10.16	0	10.16	0	10.16	0	10.16
	H_b	冷	12.70	12.70	20.32	12.70	27.94	15.24	33.02	20.32
		中	12.70	12.70	20.32	12.70	27.94	17.78	33.02	22.86
		热	12.70	12.70	20.32	15.24	27.94	22.86	33.02	30.48
一般	H_a		0	10.16	0	10.16	0	10.16	0	10.16
	H_b	冷	27.94	12.70	38.10	17.78	50.80	27.94	55.88	38.10
		中	27.94	12.70	38.10	20.32	50.80	35.56	55.88	45.73
		热	27.94	15.24	38.10	27.94	50.80	50.80	55.88	68.58
差	H_a		0	15.24	0	15.24	0	15.24	0	15.24
	H_b	冷	68.58	38.10	—	55.88	—	—	—	—
		中	68.58	43.18	—	60.96	—	—	—	—
		热	68.58	53.34	—	—	—	—	—	—

说明: H_a 为沥青厚度; H_b 为碎石道碴厚度;—代表厚度大于 76.2 cm,需要提高路基材质等级^[13]

普通道床和沥青道床的厚度与列车运量,路基支承和气候条件有关^[13]表 1 为由 KENTRACK 程序计算得到的普通道床和沥青道床的厚度^[13]列车运量可分为 4 个等级,分别为重运量(年通过能力 4800 万英吨,相当于年列车荷载作用 30 万次)、次重运量(年通过能力 3200 万英吨,年列车荷载作用 20 万次)、轻运量(年通过能力 1600 万吨,列车荷载作用 10 万次)、次轻运量(年通过能力 800 万英吨,列车荷载作用 5 万次)^[13]沥青模量与温度有关,在冷、中、热 3 种气候条件下分别取为 6.9,3.5,1.4 GN/m²^[13]

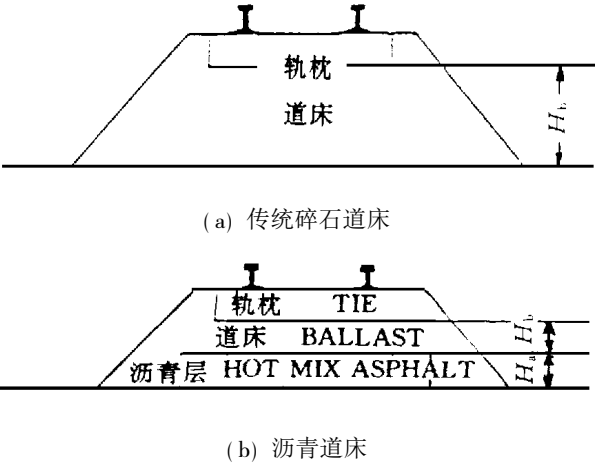


图 6 普通道床和沥青道床断面

早期研究显示减少沥青底部水平拉应力最有效的办法是增加道碴的厚度,而不是增加沥青厚度⁽¹³⁾因此在设计沥青道床时,应合理选择沥青和道床的厚度使其既满足最大拉应力又满足永久沉降的要求⁽¹³⁾沥青的最小厚度取决于路基质量⁽¹³⁾路基材质越差,沥青所需的厚度越大⁽¹³⁾路基的质量为差、一般、好时所对应的最小沥青厚度分别为 15.2 cm、10.2 cm 和 7.6 cm⁽¹³⁾必须注意,增加沥青厚度容易引起应力集中,反而不能提高轨道使用寿命⁽¹³⁾从表 1 中可得到如下结论:

- (1) 采用公路设计参数分析轨道结构能够获得满意的结果⁽¹³⁾然而,当路基质量较差时,则需大幅度增加道碴的厚度⁽¹³⁾这时,可通过在路基上铺设一层厚底渣以改善路基性能,从而减小道床的厚度⁽¹³⁾这是一种较经济的方法⁽¹³⁾
- (2) 普通碎石道床的厚度是以容许产生的永久沉降作为设计准则而得到的,而沥青道床厚度则是以控制裂缝产生为设计准则⁽¹³⁾由于使用不同的设计准则,有时可能得到沥青道床厚度大于碎石道床厚度的结果⁽¹³⁾
- (3) 除非路基的材质很差,沥青道床的厚度主要受裂纹控制⁽¹³⁾
- (4) 当路基质量很好时,气候和沥青模量对沥青道床厚度影响甚微⁽¹³⁾反之,若路基质量较差,其影响也随之增大⁽¹³⁾

参 考 文 献

1 Y H Huang, J G Roso· KENTRACK, A computer program for design of railroad trackbeds. 1988.
2 A D Kerr· 轨道力学及轨道工程· 北京:中国铁道出版社,1983
3 王勖成,邵敏· 有限单元法基本原理与数值方法· 北京:清华大学出版社,1988
4 童大坝主编· 铁路轨道· 北京:中国铁道出版社,1990

Computer Method for Design of Railroad Tracks

Du Houzhi¹ Zong Deming¹ Lei Xiaoyan²

(¹ Nanchang Railway Bureau ² President office)

Abstract The analyzing method for KENTRACK railroad model is comprehensively discussed in this paper. KENTRACK model considers the railroad track as a three dimensional system with the nonlinear material properties. By using the distribution of a single wheel load over a limited number of ties and the superposition principle, the flexibility matrix for railway structure under multiple wheels loads is developed. Two failure criteria are used in KENTRACK for design purposes: one is the maximum horizontal tensile stress or strain at the bottom of ballast, and the other is the maximum vertical permanent deformation and the maximum vertical compressive stress. These stress and train are used for damage computations. Finally the design life for railroad tracks can be predicted.

Keywords railroad track; numerical model; damage computation; design life