

繁忙线路道床维修方法的研究

执笔人 樊明德 沈骏

一、问题的提出

线路维修工作中,道床作业量占45%以上,其维修质量的好坏,直接影响到线路质量的好坏,关系到线路弹性、高低平顺稳定以及钢轨、扣件、轨枕的使用寿命,甚至整条线路的技术状态。为了扭转过去没有较明确的需要作什么样维修的确切界限,维修计划带有程度不同的盲目性,以致从经济性、合理性、适应性方面,缺乏较科学的分析和指导。太原科研所与大同工务段共同研究的课题,就是研究道床的技术状态及其运动规律,通过电测技术所取数据的分析,摸清道床在各种主要因素条件下的技术状态,提出较合理的维修周期和维修方法。

二、测试前的调查准备

调查工作(京包线上行K225+000——K380+000七年的运输情况及线路设备情况)

(一) 运输调查

1. 运输量(万吨/每年);
2. 轴重(吨);
3. 速度(公里/小时)——最大、平均、最小;
4. 运输主要货物,占总运量百分比;
5. 机车类型——以那一类为主;
6. 车流密度(对/平均每日)。

(二) 线路调查

1. 线路主要设备变更情况
包括钢轨、轨枕、扣件、联接零件;
2. 线路主要病害情况
包括线路下沉、冻害、翻浆、低坍接头、钢轨磨耗、钢轨硬弯、钢轨折断、重伤钢轨、夹板折断、零件损坏等;
3. 轨检车评分情况
4. 道床清筛周期情况
包括没有清筛过、清筛枕盒、破底清筛;
5. 维修方式

包括起道捣固、垫砂、捣垫结合、垫垫结合。

(三) 分析研究

1. 分析运输调查原始数据, 了解运输规律;
2. 分析线路调查原始资料, 掌握各种运量条件下的线路适应能力;
3. 研究线路历年来最佳状态的实际情况。

(四) 选择线路道床具有代表性类型的地点, 进行应变、垂直加速度和垂直位移的测试。

(五) 现场测试地点的选择

1. 测试应在以下四种地段分别选点进行

- (1) 七年来未破底清筛地段;
- (2) 五年来未破底清筛地段;
- (3) 二年来未破底清筛地段;
- (4) 低塌接头地点。

2. 选择点的要求

- (1) 钢轨、轨枕、扣件、联接零件类型对该线必须具有代表性;
- (2) 道碴的材质和规格、道床尺寸也应具有代表性;
- (3) 平面在直线上;
- (4) 列车能以该线最高速度通过;
- (5) 没有显著或特殊的病害; (测低塌接头除外)
- (6) 年运量5000万吨以上。

(六) 测试前的仪器调试和标定工作

1. 等强度梁的加工组装及应变盒、加速度计、垂直位移计的标定
2. 仪器调试

包括动态应变仪、示波器、阻抗变换器、测振仪、磁带记录器等;

3. 计算机模拟试验

包括模拟数据输入、编程序、计算机数据处理, 结果输出

4. 测试仪器

5. 现场电测安排

电测地点为京包线上行(大同工务段管内) $K229+715 \sim K376+620$

- (1) 柳林工区 $K305+500$ (区间工区, 七年未破底清筛)
- (2) 虽土营工区 $K335+118$ (区间工区, 五年未破底清筛)
- (3) 北沙岭工区 $K321+800$ (区间工区, 二年未破底清筛)
- (4) $K358$ 道口(属三条涧工区) 17号、27号、37号钢轨接头。

以上(1)、(2)、(3)三地点的大腰埋设应变盒二个, 加速度计二个, 位移计二个; 接头埋设应变盒二个, 加速度计二个、位移计二个; 另外在钢轨上测垂直力共帖在大腰和接头二组应变片。即每个地点共测14个测点, 三个地点共测42个测点。 $K358$ 道口三个接头埋设应变盒三个, 加速度计三个, 位移计三个, 垂直力三组共测12个测点, 总共布置了54个测点。应变盒及加速度计埋设在枕下200mm处。

三、测试结果计算和方差分析

(一) 定指标、挑因素、选水平

1. 测试出四组参数数据, (1) 道床垂直加速度; (2) 道床应变; (3) 道床垂直位移(轨枕下); (4) 列车垂直压力。将各组参数数据处理后, 计算出可以衡量出道床状态的下列指标(1) 道床系数(2) 道床残变率(3) 道床变形模量。

2. 把影响道床的各种主要因素分成若干水平来分类测试, 以求得对整段线路道床能有个比较全面的了解。测试的主要因素及其相应水平如表1:

表1

水平 \ 因素	A (年) 道床清筛年限	B (T) 垂直压力	C (km/h) 列车速度
1	7年未破底清筛	$B \geq 10$	$C \geq 80$
2	5年未破底清筛	$10 > B \geq 8$	$80 > C \geq 75$
3	2年未破底清筛	$B < 8$	$C < 75$

(二) 选用正交表排表头

选用三因素三水平, 采用正交表 $L_9(3^4)$, 第四列空着不用, 仍然正交。

正交表头设计如表2:

表2

因子	A	B	C		备注
列号	1	2	3	4	

(三) 按实验排列计算试验结果, 如表3:

(四) 初步分析试验结果

1. 道床系数C试验结果的分析

(1) 找出影响道床系数的主次关系(看表3)

道床清筛年限 > 垂直压力 > 列车速度

(2) 从正交试验结果确定最好搭配条件(看表3)考虑C值在 $8 \sim 14 \text{ kg/cm}^3$ 时为佳, 太大时趋于刚性, 太小时趋于塑性。

$$A_1 = \frac{I}{3} = \frac{119.80}{3} = 39.90$$

$$A_2 = \frac{II}{3} = \frac{55.10}{3} = 18.37$$

$$A_3 = \frac{III}{3} = \frac{40.60}{3} = 13.53$$

$$B_1 = \frac{I}{3} = \frac{55.50}{3} = 18.50$$

$$B_2 = \frac{II}{3} = \frac{73.00}{3} = 24.33$$

$$B_3 = \frac{III}{3} = \frac{87.00}{3} = 29.00$$

表 3

水 平 因 素 试 验 号	试 验 方 案				试 验 结 果				说 明		
	A	B	C	4	ϵ_i ($\mu\epsilon$)	A (g)	Y (mm)	C $\frac{2Q}{bLY}$ (kg/cm ²)		β $1.27 \times 10^{-6} \cdot \frac{F \cdot \epsilon_i}{(e, A)^{0.4}}$	M_i $\frac{Q}{F \cdot \epsilon_i}$ (kg/cm ²)
1	1	1	1	1	102	1.06	1.53	27.9	0.09664	41848	
2	1	2	2	2	75	0.92	0.86	40.6	0.03289	46565	
3	1	3	3	3	20	0.49	0.53	51.3	0.00030	135816	
4	2	1	2	3	88	0.83	2.38	17.3	0.03770	48506	
5	2	2	3	1	42	0.78	1.90	18.4	0.00550	89153	
6	2	3	1	2	19	0.66	1.40	19.4	0.00055	142965	
7	3	1	3	2	82	1.00	4.16	10.3	0.04977	52055	
8	3	2	1	3	40	0.52	2.50	14.0	0.00185	87310	
9	3	3	2	1	20	0.33	1.67	16.3	0.00012	135816	
					$T = 215.60$					$T = 0.22532$	$T = 774034$
C	I	119.80	55.50	61.30	62.60						
	II	55.10	73.00	74.20	70.30						
B	III	40.60	87.00	80.00	82.60						
	S	1185.44	166.05	61.08	67.84						
M.	I	0.12983	0.18411	0.09904	0.10226						
	II	0.04375	0.04024	0.07071	0.08321						
	III	0.05174	0.00097	0.05557	0.03985						
	S	0.00151	0.00564	0.00032	0.00068						
	I	224229	142409	272123	260817						
	II	274624	217028	230887	241585						
	III	275161	414597	271024	271632						
	S	0.057×10^{10}	1.318×10^{10}	0.0368×10^{10}	0.0154×10^{10}						

$F = b \cdot \frac{L}{2} = 2577 \text{ cm}^2$
 $S_i = \frac{I_i + II_i + III_i}{\text{水平重复数}}$
 $T = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k Y_{ij}}{MK}$

$$C_1 = \frac{I}{3} = \frac{61.30}{3} = 20.43 \quad C_2 = \frac{II}{3} = \frac{74.20}{3} = 24.73$$

$$C_3 = \frac{III}{3} = \frac{80.00}{3} = 26.67$$

确定 $A_3B_1C_1$ 为最好搭配

即两年未破底清筛, 垂直力平均在 $11T$, 列车速度大部分在 $80 \sim 90 \text{ km/h}$ 的情况下道床系数最好。

(3) 道床系数 C 的显著性检验

$$S_{\text{误}} = S_c + S_{\text{空}} = 61.08 + 67.84 = 128.92$$

平均变动 V ,

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} = \frac{1185.44}{2} = 592.72$$

$$V_B = \frac{S_B}{f_B} = \frac{166.05}{2} = 83.02$$

$$V_C = \frac{S_C}{f_C} = \frac{61.08}{2} = 30.54$$

$$V_{\text{空}} = \frac{S_{\text{空}}}{f_{\text{空}}} = \frac{67.84}{2} = 33.92$$

计算各下因

$$F_A = \frac{\frac{S_A}{f_A}}{\frac{S_{\text{误}}}{f_{\text{误}}}} = \frac{592.72}{32.23} = 18.39$$

$$F_B = \frac{\frac{S_B}{f_B}}{\frac{S_{\text{误}}}{f_{\text{误}}}} = \frac{83.02}{32.23} = 2.58$$

列表进行方差分析

方差来源	变动平方和 S_i	自由度 f_i	平均变动 V_i	f_i 值	显著性
A	1185.44	2	592.72	18.39	※ ※
B	116.05	2	83.02	2.58	
C	61.08	2	30.54		
空	67.84	2	33.92		
$S_{\text{误}}$	128.92	4	32.23		
F_{α}	$F_{0.05} = 6.94$		$F_{0.01} = 18.00$		

从表列数字可以看出道床因素起决定性影响。

2. 残变率 β 试验结果的分析

(1) 找出影响道床残变率的主次关系 (看表 3)

垂直压力 > 道床清筛年限 > 列车速度

(2) 从正交试验结果确定最好搭配条件

由于残变率越小越好, 从表 3 可以看出正交试验结果确定 $A_2B_3C_3$ 为最好搭配

即五年未破底清筛垂直力平均在 $7T$, 列车速度大部分在 75km/h 以下的情况残变率为最小。

(3) 残变率 β 的显著性检验

$$S_{\text{误}} = S_{\text{空}} + S_{\text{C}} = 0.00068 + 0.00032 = 0.001$$

平均变动 V_i

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} = \frac{0.00151}{2} = 0.00076$$

$$V_B = \frac{S_B}{f_B} = \frac{0.00564}{2} = 0.00282$$

$$V_C = \frac{S_C}{f_C} = \frac{0.00032}{2} = 0.00016$$

$$V_{\text{空}} = \frac{S_{\text{空}}}{f_{\text{空}}} = \frac{0.00068}{2} = 0.00034$$

计算各下因

$$F_A = \frac{\frac{S_A}{f_A}}{\frac{S_{\text{误}}}{f_{\text{误}}}} = \frac{0.00076}{0.00025} = 3.04$$

$$F_B = \frac{\frac{S_B}{f_B}}{\frac{S_{\text{误}}}{f_{\text{误}}}} = \frac{0.00282}{0.00025} = 11.28$$

列表进行方差分析:

方差来源	变动平方和 S_i	自由度 f_i	平均变动 V_i	f_i 值	显著性
A	0.00151	2	0.00076	3.04	
B	0.00564	2	0.00282	11.28	*
C Δ	0.00032	2	0.00016		
空	0.00068	2	0.00034		
$S_{\text{误}}$	0.00100	4	0.00025		
F_{α}	$F_{0.05} = 6.94$		$F_{0.01} = 18.00$		

垂直压力因素起较大的影响。

3. 变形模量 M 试验结果分析:

(1) 找出影响变形模量的主次关系 (看表 3)

垂直压力 > 道床清筛年限 > 列车速度

(2) 从正交试验结果的确定最好的搭配条件

由于变形模量 A_2 和 A_3 很接近所以可取 $A_2B_3C_1$ 或 $A_3B_3C_1$ 在这里取 $A_2B_3C_1$

(3) 变形模量的显著性检验

$$S_{\text{误}} = 0.0154$$

平均变动 V_i

$$V_A = \frac{S_A}{f_A} = \frac{0.057}{2} = 0.0285$$

$$V_B = \frac{S_B}{f_B} = \frac{1.318}{2} = 0.659$$

$$V_C = \frac{S_C}{f_C} = \frac{0.037}{2} = 0.0185$$

$$V_{\text{空}} = \frac{S_{\text{空}}}{f_{\text{空}}} = \frac{0.015}{2} = 0.0075$$

计算各下因

$$F_A = \frac{\frac{S_A}{f_A}}{\frac{S_{\text{误}}}{f_{\text{误}}}} = \frac{0.0285}{0.0075} = 3.80$$

$$F_B = \frac{\frac{S_B}{f_B}}{\frac{S_{\text{误}}}{f_{\text{误}}}} = \frac{0.659}{0.0075} = 87.87$$

$$F_C = \frac{\frac{S_C}{f_C}}{\frac{S_{\text{误}}}{f_{\text{误}}}} = \frac{0.0185}{0.0075} = 2.47$$

列表进行方差分析

方差来源	变动平方和 S_i	自由度 f_i	平均变动 V_i	f_i 值	显著性
A	0.057	2	0.0285	3.80	
B	1.318	2	0.6590	87.87	※
C	0.037	2	0.0185	2.47	
空	0.015	2	0.0075		
$S_{\text{误}}$	0.015	2	0.0075		
F_{α}	$F_{0.05} = 9.00$			$F_{0.01} = 99.00$	

垂直力因素起较大的影响。

上述三项指标分析结果如下表:

指 标	主 次 因 素	最 好 搭 配	显 著 因 素
道床系数C	主A B C 次	A ₂ B ₁ C ₁	A特别显著
道床残变率β	主B A C 次	A ₂ B ₃ C ₃	B显著
道床变形模量M _r	主B A C 次	A ₂ B ₃ C ₁	B显著

对各项指标进行综合分析:

1. A因素特别显著, 包括A₂、A₃
2. B因素显著, 包括B₁、B₃
3. C因素对三项指标影响都不大, 这里定为C₁

由于A₂A₃及B₁B₂都在搭配之列, 必须计算出二搭配在三种指标中的工程平均, 然后根据实际情况确定其水平。

其算法如下:

试验条件下的工程平均 = 总平均 + 主要因子在该条件下出现水平的效应。

$$\text{总平均} = \frac{\text{数据总和}}{\text{数据总个数}} = \frac{T}{9}$$

$$A_2 \text{ 效应 } a_2 = \frac{\text{II}_A}{3} - \mu \quad A_3 \text{ 效应 } a_3 = \frac{\text{III}_A}{3} - \mu$$

$$B_1 \text{ 效应 } b_1 = \frac{\text{I}_B}{3} - \mu \quad B_2 \text{ 效应 } b_2 = \frac{\text{II}_B}{3} - \mu$$

$$B_3 \text{ 效应 } b_3 = \frac{\text{III}_B}{3} - \mu \quad C_1 \text{ 效应 } c_1 = \frac{\text{I}_C}{3} - \mu$$

工程平均

$$\begin{aligned} \mu + a_2 + b_1 + c_1 & \quad \mu + a_2 + b_3 + c_1 \\ \mu + a_3 + b_1 + c_1 & \quad \mu + a_3 + b_3 + c_1 \end{aligned}$$

道床系数的工程平均

$$\begin{aligned} \mu_{A_2 B_1 C_1} &= \frac{215.50}{9} + \left(\frac{55.10}{3} - \frac{215.50}{9} \right) + \left(\frac{55.50}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &\quad + \left(\frac{61.30}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &= 23.94 + (18.37 - 23.94) + (18.50 - 23.94) \\ &\quad + (20.43 - 23.94) \\ &= 23.94 + (-5.57) + (-5.44) + (-3.51) \\ &= 9.42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{A_2 B_3 C_1} &= \frac{215.50}{9} + \left(\frac{55.10}{3} - \frac{215.50}{9} \right) + \left(\frac{87.00}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &\quad + \left(\frac{61.30}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &= 23.94 + (-5.57) + 5.06 + (-3.51) = 19.92 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{A_3B_1C_1} &= \frac{215.50}{9} + \left(\frac{40.60}{3} - \frac{215.50}{9} \right) + \left(\frac{55.50}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &\quad + \left(\frac{61.60}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &= 23.94 + (-10.41) + (-5.44) + (-3.51) \\ &= 4.58\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{A_3B_3C_1} &= \frac{215.50}{9} + \left(\frac{40.60}{3} - \frac{215.50}{9} \right) + \left(\frac{87.00}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &\quad + \left(\frac{61.60}{3} - \frac{215.50}{9} \right) \\ &= 23.94 + (-10.41) + 5.06 + (-3.51) = 15.08\end{aligned}$$

道床残变率的工程平均

$$\begin{aligned}\mu_{A_2B_1C_1} &= \frac{0.22532}{9} + \left(\frac{0.04375}{3} - \frac{0.22532}{9} \right) \\ &\quad + \left(\frac{0.18411}{3} - \frac{0.22532}{9} \right) + \left(\frac{0.09904}{3} - \frac{0.22532}{9} \right) \\ &= 0.02504 + (-0.01046) + 0.03633 + 0.00797 \\ &= 0.05888\end{aligned}$$

$$\mu_{A_2B_3C_1} = 0.02504 + (-0.01046) - 0.02472 + 0.00797 = -0.00217$$

$$\mu_{A_3B_1C_1} = 0.02504 - 0.00779 + 0.03633 + 0.00797 = 0.06155$$

$$\mu_{A_3B_3C_1} = 0.02504 - 0.00779 - 0.02472 + 0.00797 = 0.00050$$

变形模量的工程平均

$$\mu_{A_2B_1C_1} = 86004 + 5537 + (-38534) + 4704 = 57711$$

$$\mu_{A_2B_3C_1} = 86004 + 5537 + 52195 + 4704 = 148440$$

$$\mu_{A_3B_1C_1} = 86004 + 5723 + (-38534) + 4704 = 57897$$

$$\mu_{A_3B_3C_1} = 86004 + 5723 + 52195 + 4704 = 148626$$

从上述计算结果看出, 在 A_2B_1 条件下道床系数较优而残变率偏低, 变形模量虽偏小, 但实际全部道床应变都很小, 还可适应运输需要。从实际需要来看, 要求道床系数更优良一些更为重要, 最后取定条件 A_2B_1 , 即 $A_2B_1C_1$ 作为最好适应条件。

从 $A_2B_1C_1$ 条件来看, 如下表

条 件	道床应变 ϵ_s	道床加速度 A	道床弹性下沉 Y	备 注
$A_2B_1C_1$	88	0.63	2.38	C_1 相当 C_2

可见测试参数证明道床五年未破底清筛, 垂直压力平均11T列车速度在90km/h以下, 在现有的运输情况下还是能够适应的。

纵观全段

1. 振动加速度一般是比较好的, 适应性也可以。
2. 应变都小, 道床残变率和道床变形极微, 可以不作为问题考虑。

3. 道床系数较差, 在某些情况下表现出趋近于刚性状态, 缺乏应有的弹性, 不能适应运输要求。

4. 接头是弱点, 各种参数都比大腰差, 见下表:

试验号		参 数						接头/大腰 比值		
顺 号	排 列	应 变		加 速 度		位 移		应 变	加 速 度	位 移
		接 头	大 腰	接 头	大 腰	接 头	大 腰			
1	A ₁ B ₁ C ₁	140	102	1.27	1.06	3.86	1.53	137%	120%	252%
2	A ₁ B ₂ C ₂	90	75	1.16	0.92	2.03	0.86	120%	126%	236%
3	A ₁ B ₃ C ₃	50	20	0.75	0.49	1.07	0.53	250%	153%	202%
4	A ₂ B ₁ C ₁	120	88	1.15	0.83	4.56	2.38	136%	139%	192%
5	A ₂ B ₂ C ₂	78	42	1.08	0.78	3.85	1.90	186%	138%	203%
6	A ₂ B ₃ C ₃	45	19	0.92	0.66	3.25	1.40	237%	139%	232%
7	A ₃ B ₁ C ₁	115	82	1.31	1.00	5.46	4.16	140%	131%	191%
8	A ₃ B ₂ C ₂	72	40	0.78	0.52	4.85	2.50	180%	150%	194%
9	A ₃ B ₃ C ₃	40	20	0.51	0.33	4.00	1.67	200%	155%	240%
平 均								176%	139%	209%

应变差76%, 加速度差39%, 位移差109%。

接头应变值最大也不过140, 所以如上述, 不予考虑。

由于接头冲击力大, 加速度一般比大腰也大, 这是符合一般规律的, 而最大值为1.31, 所以也能适应。

接头位移与大腰的差值使接头大部分与大腰相反, 趋向于塑性, 这说明接头道床系数太小, 所以接头处都需要采取措施给予加强。

(五) 数据处理

测出数据, 经整理分类(分类看表3)后, 按下列数学模型提供编制程序的步骤, 以便输入计算机进行处理。

1. 计算平均值 \bar{X} (代表 \bar{e}_s 、 \bar{A} 、或 \bar{Y})

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

2. 计算标准方差

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

3. 检查观测数据, 舍去可疑数据。

用肖维纳判别法

(1) 计算合理误差限度 α

$$\text{根据 } \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^K e^{-\frac{u^2}{2}} du = \frac{2N-1}{4N}$$

求 $N = n$ 时的 K , $\alpha = K\sigma$

(2) 检查观测数据, 决定取舍

凡某个 $(X_i - \bar{X}) > \alpha$ 者, 则认为是可疑数据。

如只有一个可疑数据, 必须舍去; 若有一个以上的可疑数据, 则舍去其中最大者。

(3) 再计算舍去可疑数据后的 \bar{X} 、 σ 值

(4) 再重复(1)(2)决定取舍, 如无可疑数据, 则检查完成, 以最后的 \bar{X} 、 σ 值为依据。

4. 判断是否正态分布: (公式略)

四、道床维修及清筛周期、线路维修方法的一些意见

(京包上行 $K225 \sim K380.5$ 共155.5km)

(一) 京包线上行线大同工务段管内一段, 经过调查分析, 观察和选点, 应用电测技术进行测试、用微机进行数据处理后, 对其道床状态变化规律情况如下:

1. 道床板结的形成及其影响的因素

道床的表现状态, 随着使用年限的增加, 道床表现状态的演变过程为→清碴→部分清碴→全部混碴→部分板结→全部板结。其演变过程的特点有:

(1) 道床的板结, 是在上层形成, 而后向下发展, 最后形成全部板结;

(2) 道碴级配的变化, 一般粗颗粒道碴随着使用年限的增加逐渐减少, 小颗粒道碴及灰土则逐年增加。

京包线上行是以重载货运列车为主, 其经过地段大部分属于风砂和温差较大的大陆性气候, 以致道床受外界影响比较严重, 板结速度较快, 其主要因素有下列几点:

(1) 通过运量因素

每年通过运量为5000万吨/公里, 轴重22T, 行车密度为73列/天, 最大速度90km/t, 而铺的却是50kg钢轨, 使钢轨处于超应力状态, 钢轨损伤磨耗和变形比较严重, 以致重伤钢轨由80年23根至83年增至157根, 平均每年增加45根; 而低接头(钢轨头低扣)、波状磨耗、钢轨擦伤, 接头钢轨错牙等也比较严重, 因而列车通过时增加了附加动力从而加大了对道床的冲击力和垂直振动加速度, 加剧石碴的机械磨耗, 使其粉化作用和污染程度加快; 又因钢轨磨耗严重, 磨下铁粉屑也污染着道床。国外铁路对于运量与轨道上铺设钢轨重量之间的关系可参考如下表:

苏 联		西 德		美 国	
轨 重 (公斤/米)	年通过总重 (万吨公里/公里)	轨 重 (公斤/米)	年通过总重 (万吨公里/公里)	轨 重 (公斤/米)	年通过总重 (万吨公里/公里)
50	<2.500	50	1.200~2.000	50	<1.200
				57.5	1.200~1.600
65	2.500~5.000	54	2.500~3.000	66	1.600~2.000
75	>5.000	60	>4.500	70	>2.500

可见我们线路上所铺的钢轨重量与所承担的运量是不相适应的。

(2) 道床材质因素

道床主要材料是石灰岩，强度低、易粉碎，而且道碴级配没有按规定严格要求，而其抗冲击韧性和抗磨性比花岗岩差一倍还多，在超荷的冲击下，机械磨损较快，磨损后的粉屑，不但污染道床，而且因为石灰粉屑含有某些胶凝物质，也是造成板结的原因。

(3) 货物品种因素

主要货物80%是煤，散装煤的粉末在列车运行过程中，散落在道床肩部与边坡上，经风吹雨淋，渗入道床内部；由于运煤量每年超过4000万吨，洒在道床上的煤数量也就很大，这就严重污染了道床而加速了板结。

(4) 砂的因素

京包线地处风砂地带，风砂经常不断，砂子累积覆盖道床也严重造成道床污染

(5) 列车速度因素

道床板结硬化的发展与列车速度有着正变关系，列车运行速度逐年提高，本段最高速度现在达到90km/h，相应增加了对道床的冲击振动作用，由此也加速道床石碴的磨损粉化作用，根据现场实测结果来看，脏污率大、孔隙率低、道床变形模量值也大。

(6) 养路作业因素

在进行捣固作业中，采用冲击式的作业方法，加剧了石碴的机械磨损。

(7) 水的因素

雨季，由于雨水浸润道床，道床含土较多时（特别是接头区）土颗粒大量吸收水分子，在列车频繁的冲击震动下，水、土进一步形成泥浆，泥浆承压强度较低，它不仅不像原来的土那样，起到一部分传递石碴与石碴间力的作用，反而成为破坏石碴与石碴间摩擦力的润滑剂，进而造成道床下沉，石碴间隙变小，形成道床翻浆冒泥，根据分析结果，道床翻浆“临界含土量”达35%以上就会翻浆。

上述七个因素中，通过运量、货物品种、风砂为京包线道床污染比较突出的因素，而水则是道床板结的一个极为重要的因素。

所以，必须采取措施，以减缓道床板结发展的速度。

(1) 减少和防止外界对道床的污染，在这里主要是指货车撒下来的煤粉，风砂覆盖道床，和钢轨磨下的铁屑粉，也包括水的侵入，可考虑用沥青玻璃布油毡覆盖道床，或推行沥青道床，石棉矿碴道床等；另一方面，从长远考虑，线路两旁应建立完善的防风林带，逐年

有计划地绿化,以减少自然界对道床的污染。

(2) 防止石碴的破碎,目前维修采用的冲击式的作业方法,必须停止,而改为串碴与适当加垫层相结合的方法整治坑洼,以尽量避免捣碎石碴。

(3) 水是形成道床板结中最有害的物质,它不仅能分析石碴,加速其粉化而更重要的是水与铁铝氧化物作用构成胶粘物质,这些胶粘物质成为石碴粉屑的分散介质并与细粉屑形成胶团,渗入石碴间隙与石碴胶粘在一起,干燥后就形成道床板结。所以必须控制水的侵蚀,建议对正线线路每隔2—3年必须清筛土垄一遍,以延缓道床板结。

(4) 提高石碴质量

目前,维修用的石碴大部分为石灰石,强度低、易粉碎,而且粒径级配不合理,大的有,小粒径的也不少。据现场反映,他们进行过粒径分选,发现20毫米以下的竟占13%,这等于新石碴就渗进了13%的“土”。建议将石碴尽快改为级配合理的花岗岩石碴,以延长道床清筛周期。

(5) 钢轨接头是薄弱环节,由于接头振动附加荷载的作用,道床的板结的发展速度,较钢轨大腰大约提前二年左右,为此,建议在接头处为增加其弹性,轨下垫层采用18~20毫米的加厚橡胶垫层,以达到增弹减振的目的,为了尽量少的扰动粉碎石碴,采用调高式扣件和硬质石碴。

(6) 选择最佳清筛时机

清筛的时机是否恰当,也关系到清筛质量及清筛周期长短。雨季(夏季)清筛道床,由于道床含水多,清筛不易彻底,质量不好。冬季,道床冻结不能清筛,只有春秋季节为最佳。翻浆冒泥在雨季,春季清筛道床能够延长清筛周期。

(7) 采用改性道床,提高其道床表面的强度和防水性能,建议创造条件采用不同材料的碴以改善道床状态。

(二) 道床未破底清筛以七年、五年、二年为该线比较有代表性的期限。测试结果,由于散装货物(煤占80%)边走边漏,二年以上未破底清筛的道床有的已开始出现板结,板结厚度随着通过总重的增加而逐年加厚,弹性则逐年下降,根据每年运量资料和测试资料如表所示:

通过重量亿吨	破底清筛期限	板结厚度 mm	道床弹性系数	说明
0.60	二年以内	0~150	8以下	趋于塑性—未稳定阶段
0.60~1.75	二年至五年	150~250	8~18	弹性阶段—稳定阶段
1.75~2.74	五年至七年	250~300	18~28	渐趋刚性—维持阶段
2.74以上	七年以上	全部板结	28以上	趋于刚性—不稳定阶段

1. 从上表看:

(1) 板结后的道床,经过检测,板结层在150~250范围内,道床仍有一定的弹性。

(2) 通过总重超过2.74亿吨后,该线已很难维持其稳定状态。

2. 接头是薄弱环节,根据测试结果,接头垂直加速度平均为大腰的1.39倍,但接头翻浆流塌等病害,除了与列车的运输量、轴重、速度等有关因素外,与线路的平顺与否、钢轨

的磨损与头部低扣、钢轨扣件刚性的大小、夹板螺栓的松紧、轨缝太大和错牙、轨枕强度等状态有密切关系，所以整治接头道床应同时整治其他各种部件的病害方能有效，即接头应进行综合整治。

(三) 调查测试

1. 线路概况

钢轨——50kg25m。扣件——67型拱形弹片式96.112公里，69型、70型扣板式43,953公里，道钉13,435公里。

轨枕——钢筋预应力混凝土枕（其中有13.435延长公里为木枕）配置为1840根/公里。

道床——材质石灰岩，86%道床形成板结。破底清筛情况：

(1) 七年以上未破底清筛67公里；

(2) 五年至七年之间未破底清筛56公里；

(3) 五年以下未破底清筛32.5公里。

最大坡度——9.6‰。

最小半径——300m。

2. 道床测试结果（详细看电测分析报告）

(1) 破底清筛后两年内，道床未经全部压实，道床系数大部分都在 $8\text{kg}/\text{cm}^3$ 以下，应认为是未稳定阶段；

(2) 五年未破底清筛的道床板结一般达到250~300mm，坚硬，弹性较好，道床系数一般在 $18\text{kg}/\text{cm}^3$ 左右，能适应当前运输需要，但雨水泡松后，易于变形，应注意解决排水问题。一般来说，比较稳定，属于稳定阶段；

(3) 七年以上未破底清筛的道床板结都达到300mm，坚硬、弹性小，道床系数大都超过 $30\text{kg}/\text{cm}^3$ ，趋于刚性，雨水浸入泡松板结层时，顿时又变得松软，使线路变形而不易保持，达到道床不稳定的临界阶段；

(4) 不管未破底清筛时间长短，接头是薄弱环节，接头病害是最大的问题，必须作为重点去解决。

(四) 道床维修及清筛周期、维修方法方案

1. 不同条件道床的维修方法可分三类

(1) 道床未稳定线路

凡破底清筛、成段更换轨枕或经过起道修地段，两年以内，道床相对清洁，易排水易作业，但道床未经压实，变化较大，应采用重起全捣的综合维修，加强捣固夯拍，使其趋于稳定。

主要作业包括

1) 方正轨枕；2) 成段抽换失效的大小胶垫；3) 调整轨缝；4) 加强防爬锁定；5) 起道；6) 捣固；7) 夯拍；8) 拨道；9) 拧紧扣件螺栓；10) 整理道床及路肩，油刷各种标志。

通过实践及电测分析，京包线道床破底清筛周期应为七年。京包线上行155.5公里，每年需破底清筛平均22公里，经过破底清筛后第二年仍未达到稳定，仍需综合维修一次，故综合维修占全线每年维修长度的28%。

(2) 道床稳定线路

道床经过破底清筛二年后至七年,由稳定至不稳定临界阶段。这段时期弹性较好,变形小较稳定,但脏污板结、排水不良。除翻浆冒泥地段外,线路维修以不破坏道床的稳定性为好,且因道床变化较小,维修方法应采用以垫砂为主的“垫垫捣”相结合的一般维修(排水问题另外由清筛队解决)。

凡抬道在6mm以下的小坑,应采用垫板方法,整平整顺。

凡抬道在6mm至20mm或抬道量虽不足6mm,但加上原有垫板厚已超过6mm时,应撤板垫砂。

抬道量(加上原垫板厚)超过20mm时,应撤板捣固。

主要程序及作业包括:

1) 调查工作量

这是消灭有害劳动,防止无效劳动,做到针对修的一个重要手段。在维修开始前,养路工长必须分段落(一般应以500米为宜)进行维修工作量调查,不但要调查准备作业和整理作业的工作项目和数量,而且应详细调查基本作业的项目、数量和具体地点、新调查的病害要在现场作好标记,然后通过日计划安排现场作业。

2) 准备作业

更换失效轨枕及损坏扣件,方正轨枕、均匀轨缝、拧紧扣件螺栓、补充防爬设备等工作。

3) 基本作业

垫板或垫砂①决定垫砂量;②扒碴;③起道;④撤板;⑤垫砂;⑥回填。

超过20mm以上的起道量一般较少,可用手工捣固解决。

4) 整理作业

整理道床,油刷标志,修补及清扫路肩等。

这类线路占每年维修长度的43%。

(3) 道床不稳定线路

不稳定线路弹性小、雨季道床松软、翻浆冒泥整修后不易保持,旱季道床坚硬,接头坍塌,螺栓易断,枕木偏斜不易矫正,必须尽早进行破底清筛。在破底清筛之前,这种线路属于过渡性线路,应以反复补修及时消灭超限处所为主,以维持运输安全。

凡抬道在6mm以下的小坑,应采用垫板方法整平整顺。必要时垫质量高的高弹垫板。

凡抬道在6mm至20mm或抬道量虽不足6mm,但加上原有垫板已超过6mm时,应撤板垫砂,必要时,枕下可垫大胶垫以增加弹性。

抬道量(加上原垫板厚)超过20mm时,应撤板捣固。

主要程序及作业包括:

1) 加强线路检查,掌握病害规律,及时做好消灭和预防病害的发生。

2) 准备作业

更换损伤轨枕及损坏扣件,均匀轨缝,拧紧扣件螺栓,补充防爬设备等工作。

3) 基本作业

垫板(或高弹垫板)

或垫砂①决定垫砂量；②扒碴；③起道；④撤板；⑤垫砂；⑥回填；⑦或枕下垫大胶垫。

超过20mm以上的起道量一般较少，可用手工捣固。

4) 整理作业

整理道床，油刷标志，修补及清扫路肩等。

这类线路占每年维修长度29%。

2. 清筛及综合整治

(1) 破底清筛

根据测试和调查结果，破底清筛周期定为七年，即平均每年中修破底清筛22公里，占总线路长度14%。破底清筛都应按规定筛至枕下300毫米处。

(2) 枕盒清筛和打土垄

1) 对稳定及不稳定线路进行有计划清筛。根据调查结果，周期定为三年，以改善道床排水问题。

2) 对翻浆冒泥地段进行清筛。

3) 配合整治病害接头进行清筛。

(3) 整治接头

对接头钢轨低扣，磨损不均、高低错口、金属剥离、大轨缝等进行：

1) 打磨焊补；2) 更换压弯的鱼尾板调整扣件；3) 改善轨下垫层弹性；4) 调好轨缝。

并对翻浆、翻白、流塌、板结严重的接头进行：

1) 枕盒清筛；2) 起道捣固；3) 枕下垫大胶垫。

以上钢轨、配件和道床同时配合整治，称为综合整治，整治一般范围为枕盒5孔和轨枕4根。

3. 劳动组织及使用机具

为适应维修改革的实施，八五年可按下列组织形式进行维修和整治。

(1) 机械化维修工队

如有条件开天窗可在工务段直接领导下，设2~3个维修队，每队配备八台液压捣固机，除二台备用外，实行六台机群作业；每维修队以20名职工组成为宜，对全线破底清筛后第二年的清碴道床进行综合维修。

(2) 养路领工区

组织各工区对稳定线路及不稳定线路进行以垫砂为主的“垫垫捣”结合的一般维修，并对不稳定线路采取反复补修，以维持其合格状态。

临时性组成清筛队，对管内不洁道床的枕盒进行清筛，以改善道床排水，并临时性组织整段拉正轨缝、拨道等。

(3) 工程施工队

受工务段领导，负责全段的中修（清筛）基建以及外委工程。

(4) 综合领工区

受工务段领导，由钢轨整治小组、道岔整改小组，接头综合整治小组、钢轨探伤组等组

成,负责全段接头整治的打磨、焊补、直轨以及道岔加强、钢轨探伤等工作(配合养路工区对接头的捣固、清筛、垫大胶垫等)。

(5) 使用机具尽量做到科学化、机械化、合理化、力求高效率、高速度、高质量,并要求做到省力、安全。

1) 综合维修主要机具

①液压方枕器; ②倭型或液压起道机; ③拨道器; ④轨缝调整器; ⑤公斤扳手;

2) 一般维修的主要机具

①倭型或液压起道机; ②液压方枕器; ③拨道器; ④轨缝调整器; ⑤公斤扳手; ⑥运砂小车及砂斗; ⑦砂铲; ⑧以及扒碴及手工捣固工具。

3) 综合整治接头的主要机具

①钢轨打磨机; ②喷焊设备; ③电源设备。

(五) 全面质量管理

1. 建立各项工作标准化和各项现场作业标准化;
2. 广泛应用PDCA循环的工作方法,把养路工作质量不断地向前推进;
3. 建立各种控制质量的管理图;
4. 有步骤培养和提高职工的技术能力和管理能力,有计划地组织学习班,定期培训;
5. 建立技术和工作考核制度;
6. 成立若干QC小组。

道床维修及清筛周期、维修方法一览表

(京包上行K225~K380.5共155.5km)

顺序	线路类别	状态修名称	主要方法	长度 km	占总 数%	周期	费用 元/公里	组织形式	说明
1	未稳定线路	综合维修	捣固	44	28	1	4410	综合维修队	第三年进入稳定阶段包括中修捣固 工费1000,料费3410
2	稳定线路	一般维修	以垫砂为主与垫板捣固相结合	66.5	43	1	3040	领工区 养路工区	工费390 料费2650 > 每公里
3	不稳定线路	维修与补修相结合	以垫砂垫高弹垫板为主与垫枕下胶垫板、捣固相结合	45	29	1	4000	领工区 养路工区	工费520 料费3480
4	不稳定线路	中修 (破底清筛)	破底清筛道床	22	14	7	25000	工程施工队	
5	稳定与不稳定线路	结合维修清筛	清筛枕盒道床和打土垄			3	1820	领工区 清筛队	工费1720 料费100
6	全部线路	综合整治接头	打磨、喷焊、清筛、捣固、垫高弹垫板及枕下大胶垫					综合领工区	