

鐵道綫路爬行 及其防止

В·Г·阿利勃列赫特 著

人民鐵道出版社

序

苏联铁路货运量的不断增长，行車速度的提高和軸載重的增加，除了加强綫路外，需要改善綫路的經常維修方法。

上部建筑的許多病害，是由于綫路爬行的結果。在发生鋼軌縱向爬行的綫路上，差不多有一半的維修費用是用来消除这种爬行所引起的病害的。

軌縫正常尺寸的破坏，是爬行最危險的后果之一。因此，在大量鋪設长25m鋼軌的区段上，特別要对軌縫的經常維修提出更高的要求。

在无縫綫路区段上，当中間扣件維修不良时，可能产生爬行現象，由此而产生数值极大的附加縱向力。

近几年来，实行了防止綫路爬行的一系列措施。工厂供应大批的彈簧防爬器，广泛地采用防爬型的分开式扣件，工务段保証有完备的液压軌縫調整仪。

綫路工作人員，应很好的熟知造成綫路爬行的情况和原因，防止爬行的办法，各种防爬器的构造，在木枕和鋼筋混凝土軌枕的区段上采用不同长度的鋼軌时，正綫和站綫上防爬器的安装图，以及消除爬行的方法和使用仪器的方法。

作者——技术科学博士B·Г·阿利勃列赫特研究了上述問題，因之編著本書，可作为工务段长、养路領工員以及其他綫路工程技術人員作参考。

交通部工务总局总工程师

A·納烏莫夫

目 录

序

緒言

第一章 造成綫路爬行的原因	5
1. 在列車作用下軌节沿綫路移动时其彈性模量的确定.....	5
2. 機車車輛的車輪通过时軌底各点的移动.....	10
3. 在非制动区段上造成綫路爬行的原因.....	12
第二章 綫路爬行力及其数值的确定	17
1. 概述.....	17
2. 在非制动区段上計算綫路爬行力的方法.....	18
3. 二軸及三軸車輛轉向架作用在綫路上的特性及此时所产生的爬行力.....	28
4. 因制动摩擦引起的附加爬行力及其数值的确定.....	32
5. 标准載重車輛通过时綫路爬行的方向及其大小.....	37
6. 温度对鋼軌縱向移动的影响。接头在綫路形成爬行时的作用.....	45

7. 确定綫路最大爬行力的試驗.....	51
1931年工程师H·И·伊万諾夫的試驗.....	51
1938年中央科学研究院的試驗.....	53
1948~1949年莫斯科运输工程学院的試驗.....	59
1949~1950年工程师M·C·博欽科夫的試驗.....	62
1955~1956年在莫斯科——庫爾斯克—— 頓巴斯鐵路試驗地段上的資料.....	64
美国在确定軌枕上防爬器的压力数值的試驗.....	65
8. 測定綫路爬行力的試驗.....	70
9. 确定有关爬行与抵抗鋼軌縱向移动的試驗.....	75
第三章 軌节抵抗纵向移动的阻力.....	82
1. 无荷載的若干单根軌枕和联成防爬組的軌 枕抵抗移动的阻力.....	82
2. 軌节上有垂直荷載时軌枕抵抗移动的阻力.....	85
第四章 防爬設備的作用及結構.....	88
1. 防爬型中間扣件的計算方法.....	88
2. 国内外防爬器的結構及其抵抗沿鋼軌移动 的阻力的計算原理.....	97
3. 各种不同类型防爬器的試驗結果.....	104
第五章 綫路防爬鎖定图.....	106
1. 采用在正綫上的防爬鎖定图.....	106

2. 道岔和站綫的防爬鎖定·····	111
3. 窄軌鐵路綫路防爬鎖定的特性·····	115
4. 長鋼軌和無縫綫路區段上的綫路防爬鎖定·····	121
5. 在鋼筋混凝土軌枕的綫路上防爬鎖定的特性·····	124
6. 防爬設備的維修。綫路爬行及列車運行時的安全問題·····	125
第六章 綫路爬行病害的消除·····	130
1. 概述。長度為12.5、25、37.5及50m鋼軌軌縫的養護標準·····	130
2. 採用分開式中間扣件時測量長鋼軌軌縫的工作組織·····	135
3. 採用撞軌器和水力撞軌器來整正軌縫的工作組織·····	137

緒 言

綫路爬行是鋼軌在运行列車車輪的作用下沿軌枕的一種縱向移動。當鋼軌與軌枕的連接十分可靠，而枕木盒中的道碴不足和不够密實時，常常可以發現鋼軌連同軌枕在道床上縱向移動。

爬行使鐵路綫路的正常工作情況遭到嚴重破壞，其中最主要的是：

a) 在綫路區段一端接头處形成瞎縫，在另一端形成軌縫過大。在沒有軌縫的那段長度上，在夏季，溫度升高時，鋼軌內出現很大的縱向壓力，使軌節的穩定性遭到破壞；軌縫過大的地段，在冬季，當溫度降低時，鋼軌內出現過大的拉力，因而可能剪斷螺栓，並拉斷鋼軌接头；

b) 軌枕沿密實的碴床面移動，造成綫路下沉。當接头軌枕移開原來的位臵時，得到的後果更為嚴重，因為在接头處機車車輛車輪的動力作用是較大的；

в) 兩股軌綫移動不一樣，造成軌枕傾斜並使軌距變窄。

計算一下有綫路爬行地段的全部維修費用，在消除爬行所引起的病害上差不多要化去一半。

綫路爬行的現象，在十九世紀最後幾十年的年代已經知道了，在國際及全俄交通會議以及工程師代表大會上，還不只一次地把它作為討論的對象。

但是在鐵路上還沒有大量的載重量為50~60噸的四軸車輛之前，爬行是比較容易防止的，往往在整個區段上不設防爬設備。這一方面是由於車輛上的荷載不大，因而當列車通過

时产生的爬行力很小；另一方面是由于貨物列車运行速度小及对数很少，这在俄国革命前的許多鐵路來說是普遍的。此外，貨物列車沒有自动制动裝置，因此，在制动时由于摩擦引起的爬行力也是不十分大的。在1908年确定的 I-a、II-a 及 III-a 型鋼軌，規定要用裙式魚尾鉋來連接，其結構設計是將接头軌枕對鋼軌端的位置鎖定，使接头軌枕抵抗爬行力。

長為 10.67 m 的鋼軌在鐵路網上是極普遍的，但較短一些的鋪設在綫路上也很多，實際上在這種長度上，是有兩根接头軌枕在阻止不大的爬行力。應當考慮到，當列車运行速度相當小和輕型二軸車輛行駛時，由於道釘對軌底的側壓而引起的縱向阻力，在阻止鋼軌縱向位移力的總數中，占有很大的比重。

1930年到1935年，國內鐵路開始很快地裝備了有轉向架的四軸貨車。正如最近的情形（下面還要指出）對綫路爬行力的急劇增加起了決定的作用。此外，貨物車輛實行了自动制动裝置，大大的增加了列車运行速度，也促使爬行力的增大。

由於上述結果，在运行的滿載列車作用下出現的綫路爬行力，這比單位阻力和裙式魚尾鉋計入防爬體系內的接头軌枕阻力大得多。致使在沒有專用的防爬設備時，綫路爬行成為普遍的現象，因而使防止爬行成為各工務段必要的責任。在短期內，在綫路上需要製造和安裝成千上萬個防爬器，並須教會綫路工作人員在夏季和冬季時正確使用這些新的防爬設備。

為了不容許綫路有爬行，必須了解引起綫路爬行的原因，並能判定爬行力的大小和計算防爬體系內的軌枕需要量。

關於這些問題的解決，必須指出國內外許多專家的功

績。工程師М·Т·契林諾夫及舒斯特洛夫規定鋼軌因溫度作用的位移圖和軌枕抵抗位移的最大阻力；工程師О·Н·烏斯科娃，在蘇聯，她第一個研究各種防爬結構的夾持力；工程師安特列安諾夫，領工員И·金斯托巴洛夫及副教授Н·Г·依斯托明提出防爬器的定名，並做了多次努力，使其得以採用；教授К·Н·米申科及М·А·甫利什曼研究了有關機車車輪沿鋼軌滾壓時鋼軌移動的許多問題。1944年到1950年，教授Г·М·沙湖年慈，В·Н·達尼洛夫及М·Ф·維列戈，以及技術科學候補博士О·П·耶爾什科夫和Е·М·勃羅爾格完成了由列車荷載引起的軌道計算原理的全面研究工作，使了解綫路爬行力的性質上大為簡便。

在國外，有美國的德訖松，德國的齊姆麥爾曼、瓦特曼、特克斯與查爾列爾，法國的甫爾馬里約、馬爾丁及其他學者從事於綫路爬行的研究。在研究綫路爬行的問題中，必須指出德訖松教授和齊姆麥爾曼博士肯定的成績。他們提供了新的情況——由於鋼軌撓曲時引起其底部一側的加長，正與機車車輛的車輪沿鋼軌通過時引起鋼軌縱向移動的因素相同。根據這種正確的情況，他們及其他許多專家把鋼軌看成為支點間的撓曲的梁，試圖解決綫路爬行力的問題，但沒有獲得成功，這是因為沒有考慮到鋼軌基礎的縱向彈性。

為了了解綫路爬行的性質和研究其預防措施，應在列車車輪沿鋼軌運行時全面地分析鋼軌基礎的作用情況。必須確定鋼軌基礎在水平面上的彈性模量；當列車車輪運行時，研究彈性基礎和軌底相互作用的性質，分析在列車作用下軌枕抵抗移動的阻力。

莫斯科鐵路運輸工程學院引用了1947~1952年理論與實際工作上的成果，創造了綫路爬行的理論以說明這種現象的各個主要過程。同時，創造了爬行力的實用檢算法，以及在

各种不同的情况时，对縱向綫路稳定措施采取必要的鋼軌縱向移动值。所述的研究工作，在設計与計算无縫綫路和防爬型的中間扣件构造时，同样有效。

同时，鉄路上积累了在各种不同条件下很多的防爬設備維修經驗。

本書闡明綫路爬行的原因，确定最大爬行力的方法，叙述国内外采用的各种防爬結構，以及加强綫路防止爬行的实用办法，分析工作中的先进經驗。

第一章 造成綫路爬行的原因

1. 在列車作用下軌节沿綫路移动时其弹性模量的確定

在列車运行的过程中，每根軌枕承受着不断改变着的垂直荷載。当車輪直接处于所研究的軌枕上时，此荷載达到最大；当軌枕处在敵車的轉向架之間时，垂直荷載等于零。

当解决与水平力作用有关的許多問題时，必須了解鋼軌撓曲半波各点上軌枕抵抗位移的阻力。这些資料在解决爬行的原因以及在橫向力作用下計算軌道应力时是必要的，此橫向力是运行列車的車輪傳遞給鋼軌的；这些資料当鋼軌产生較大的縱向压力时，計算綫路的稳定性同样必要。

为了获得必要的計算資料，1950年莫斯科鐵路运输工程学院曾在莫斯科环城鐵路运营綫路的試驗区段上，进行了專門性的研究。在試驗过程中，每次承担新垂直荷載的軌枕沿綫路发生移动；同时进行精确度到 0.01 mm 的移动值和精确度到 10 kg 的軌枕抵抗移动阻力的測量。

为了避免在規定的荷載下偶然产生的不正确数值，对尺寸大小相等的軌枕重复試驗了多次。在每次重复試驗以前，进行了綫路整正，并夯实軌枕下的道床。

試驗是以每根軌枕承受变化在 $445\sim 5355\text{ kg}$ 的八个垂直荷載下进行的。試驗一共进行68次。在直接搁置于被試驗軌枕的鋼軌上，安設 ЦНИИ 的測量小車，在它的末端裝設頻率為 $2500\sim 2800$ 的电动振动器，其頻率应与列車以平均速度通过时所产生的頻率完全一致。

試驗是在同样大小的几根 I-a 型枕木上作的。試驗区

段的道床是中砂，不洁率小于10%。

試驗的結果得出，軌枕抵抗沿綫路移动的阻力可根据不同垂直荷載作用下沿綫路移动值的曲綫（图1）。曲綫的傾

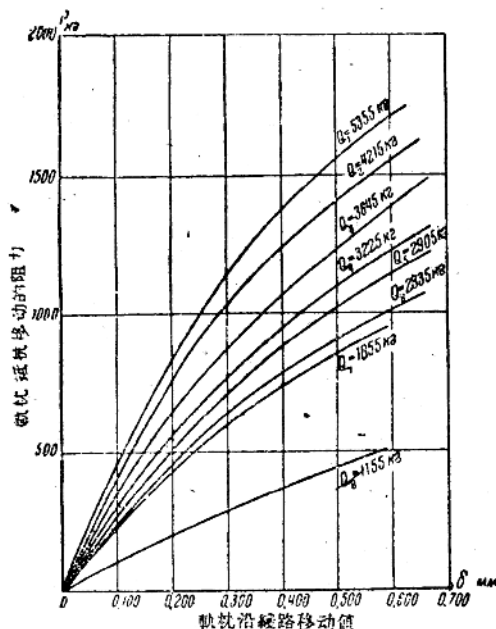


图1 枕木抵抗沿綫路移动的阻力和在不同值的垂直荷載作用下移动值的关系曲綫

斜角說明水平面內鋼軌基础对位移的阻力；对于每一条已知曲綫，这个角度不是固定不变的，它按移动的增加而减小。因此，經驗証明，基础的阻力依赖于两个因素：某一时刻內軌枕所承受的垂直荷載；軌枕对原来位置的移动值。但从图1上可以看出，所有曲綫的前半部份实际上是直的；在近似值上它們表示軌枕在彈性变形区的工作，其正确性足够作为

实际上計算之用。这样的假定可以認為，在枕木上每一次一定荷載下縱向基础的阻力不变，并可用比例系数 k_m （因次 kg/cm ）來測定，因次表示枕木移动一厘米时施于枕木的縱向力（公斤）。此系数在图表上系曲綫在前半部分傾斜角的正切。当軌枕上的荷載增加时，曲綫趋陡，比例系数值增大，因此，在分析时，此系数可按下式計算

$$k_m = k_m^0 + AQ \quad (1)$$

式中 k_m ——在一定的荷載下，軌枕沿綫路移动的比例系数（ kg/cm ）；

k_m^0 ——在沒有垂直荷載时，軌枕沿綫路移动的比例系数（ kg/cm ）；

Q ——軌枕承受的垂直荷載（ kg ）；

A ——計算道碴质量和軌枕类型的系数（ cm^{-1} ）。

式（1）中的第一項值与枕木盒的道碴填滿及其密实程度有关。

对于中砂道碴，試驗的結果得出下列数据：

$$k_m^0 = 5720 \text{ kg/cm}, A = 9.13 \text{ cm}^{-1}.$$

1953~1954年，第涅伯尔毕特罗夫斯克运输工程学院副教授И·Ф·依沙科夫以不同垂直荷載下的每一次試驗中，軌枕橫着綫路移动时对貝壳及碎石道碴的研究中；技术科学候補博士С·Н·波波夫（中央科学研究院）对碎石、卵石和混合道碴用夹持在安装压模中間的道床体抵抗移动阻力的測定中；以及阿尔汉格尔斯克林业院工程师Л·Е·沙文（对窄軌铁路砂质道床上的軌枕，按莫斯科运输工程学院的方法进行研究）均得出与图1相类似的曲綫。

比例系数与垂直荷載有关的一般特性，在上述情况下实际上是相同的，但公式（1）中 k_m^0 及 A 項的值变化极大。如当压模在平面上呈圓形或方形时的移动，这些参数值是相

同的，它与移动的方向无关；但在同一荷载的作用下压模拉成长形时（例如在靠近轨枕处），轨枕沿轨距横移时的比例系数，要比轨枕沿线路纵移时为大。这显然地说明了在垂直力的作用下，在松散材料的道床内形成了挤压区，其形状与大小和压模的构造有关，而松散材料的颗粒，在测量较多方向上的移动，比垂直方向上要困难得多。

在计算铁路线路时，一般把线路看成为支承在连续弹性基础上的梁。线路垂直面内的阻力，用钢轨的弹性模量来测定，其数值为作用于钢轨单位长度上引起 1 cm 沉落时所需的力。模量的计算单位以 kg/cm^2 计；已知的钢轨基础，其数值在计算上采用常数。

钢轨基础对水平面位移的阻力，同样可用水平面内钢轨基础的弹性模量 U_z 来测定，其数值为施于一股轨基础单位长度 (cm) 上使其移动 1 厘米所需的力 (kg/cm^2)； U_z 按下式确定

$$U_z = \frac{k_m}{2l} = \frac{k_m^0}{2l} + \frac{AQ}{2l}, \quad (2)$$

式中 l —— 轨枕中心线间的距离，或用下式表示

$$U_z^0 = \frac{k_m^0}{2l},$$

$$\text{则有 } U_z = U_z^0 + A\gamma = U_z^0 + AU_\gamma, \quad (2a)$$

式中 γ —— 已知截面的挠曲值；

U —— 钢轨基础（垂直面）的弹性模量。

利用垂直面上的弹性模量和已知的截面的挠曲值，用式 (2a) 可以求得钢轨基础在水平面内的弹性模量。

值得指出，在靠近车轮的挠曲半波区处，钢轨基础在水平面内的弹性模量，要比垂直面的为大。

例如，如 $U = 200 \text{ kg/cm}^2$ (这是标准的)， $A = 9.13 \text{ cm}^{-1}$ ，

$k_{\omega}^0 = 5720 \text{ kg/cm}$, 軌枕中心綫間的距离 $l = 55 \text{ cm}$, 則車輪下撓曲区的各段的 U_s 值列于表 1 中。

撓曲半波各点在标准情况时, 弹性模量 U 与 U_s 間的关系

表 1

截 面 位 置	撓曲值 y (cm)	U (kg/cm^2)	U_s (kg/cm^2)	$\frac{U_s}{U}$
直接作用在車輪下	0.30	200	600	3.00
在正撓曲半波距車輪 $\frac{1}{3}$ 長度处 (約 60 cm)	0.190	200	412	2.06
在正撓曲半波距車輪 $\frac{2}{3}$ 長度处 (約 120 cm)	0.062	200	166	0.84
在正撓曲半波邊緣处 (距車輪 180 cm 处)	—	200		0.26

了解这些模量間的关系在解决水平力作用的实际問題中是很重要的。前面已經指出, 这种关系随撓曲半波的长度而改变, 但对固定的截面來說, 根据一年四季温度与湿度的不同, 可以有很大的变化。在秋末冬初, 当枕木盒內的道碴已处于冻结的初期, 而軌枕下的道床基础还处于不冻状态, $\frac{U_s}{U}$ 的比值急趋最大。当道床冻透至截面下部时, 鋼軌基础

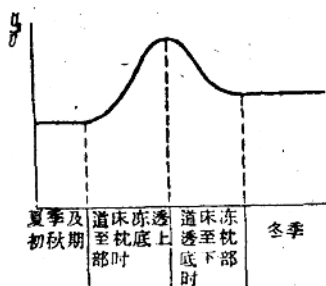


图 2 一年四季內 $\frac{U_s}{U}$ 的变化

(U_s ——水平面內鋼軌基础的弹性模量;

U ——垂直面內鋼軌基础的弹性模量)

在垂直面內的弹性模量开始增大, 因而 $\frac{U_s}{U}$ 的比值减少。但冬季时, 这个比值要比夏季时为大。

分析 $\frac{U_s}{U}$ 的关系, 可以說明許多普遍性的現象, 例如, 在寒冻初期, 在沒有温度应力自动調整的无缝綫路区段上, 綫路爬行值的急剧增长, 以及在冬季时焊接长

鋼軌要超过夏季时的縱向移动，具有整体基础以及由于輕型車輛荷载引起弯曲不大的莫斯科地下鐵道，即使水平面內的彈性模量与地上鐵道相同，也不会产生綫路的爬行。若沒有防爬設備时，100m 的軌节（P50 型）爬行得十分厉害，这是由于水平面內鋼軌基础的彈性模量很高的緣故。

2. 機車車輛的車輪通过时軌底各点的移动

当機車車輛的車輪沿鋼軌經行时，鋼軌截面产生轉动和由此而引起的各点的移动，軌底时而向前，时而往后。今研究一个車輪通过时的特征。

在运行着的車輪的前方等于撓曲半波^①的距离处，鋼軌的截面是垂直的。

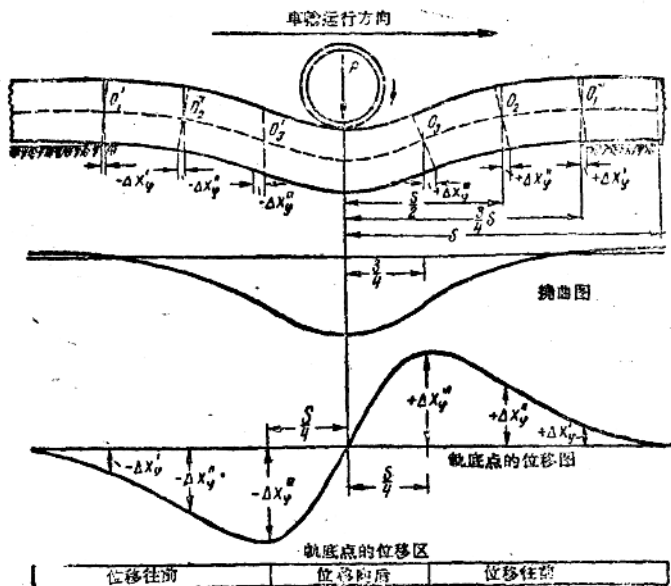
由于車輪趋近研究的截面，截面越来越向逆时針的方向轉动^②，軌底各点向車輪运行的前方移位，如图 3 所示。

当車輪处在离开研究断面四分之一的撓曲半波处时，因截面轉动而引起的軌底移动值达到最大，在图 3 中以 $+\Delta x_{\varphi}$ 表示。正号表明軌底的点向前位移。

当車輪繼續趋近于研究的截面时，截面就开始向另一边（順时針的一边）轉动，而軌底点則向原来的位置后移。直接处在車輪下的截面是直的，此时基础各点的水平移动为零。在运行車輪的后方，截面仍按順时針方向繼續轉动，軌底的点向后移，直到距 $\frac{S}{4}$ 处点的偏离不超过最大值（以 Δx_{φ} 表示）为止。負号表示向反向运行一方的后面对原来位置产生的偏移值。

① 国内鉄路上，上部建筑的撓曲半波長度 S ，一般变化在 210~310cm 之間。

② 图 3 上所分析的是說明車輪左右滾轉时的情况。当車輪向相反方向运行时，鋼軌截面的轉动将发生在另一方向上。



正如寬軌鉄路的計算中所指出的，撓曲時中性軸投影長度的縮短，與截面因轉動而引起軌底點的移動相比較，小至可以略去不計；但這個因素可以有很大的修正，並在考察鋪設於松軟地基（例如泥炭地基）的窄軌鉄路的綫路爬行時，必須予以考慮。

3. 在非制動區段上造成綫路爬行的原因

在上一節中研究了車輪在鋼軌上滾動時軌底點的移動特徵。由於軌底釘連於軌枕以及基礎表面因摩擦力而引起與軌底有關的彈性基礎，它可以連同軌底發生移動。

當軌底與基礎十分密合時，鋼軌截面的轉動不會引起其相互間的滑動，對離開運行着的車輪等距的基礎之點，對中性位置的彈性偏差值在鋼軌截面轉動時是一樣的。

沒有偏離於基礎原來位置的中性點，將處在車輪的下面。由於車輪前基礎彈性偏差引起的縱向力是在車輪運行的反方向；而車輪後基礎彈性偏差引起的縱向力，則在車輪運行的前方；按絕對值來說，這些力是相等的，也不會有綫路

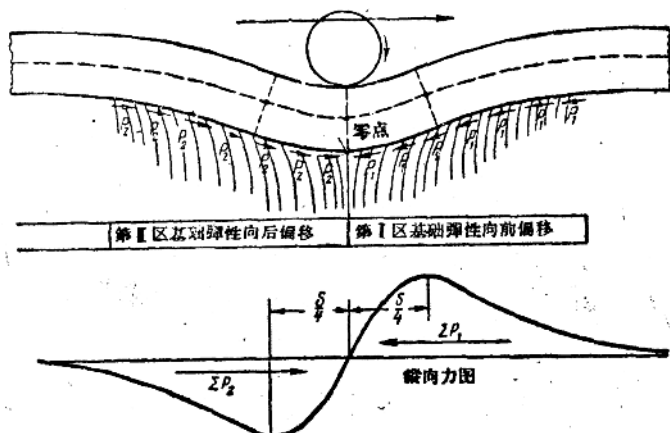


圖 4 採用彈力的中間扣件時縱向力的作用示意圖