

87.1083
RMT
10

1963年铁路科学技术论文报告会文集

第 10 辑

勘测设计



1963年铁路科学技术論文报告会文集

第 10 輯

勘 測 設 計

鐵路勘测設計及路基工程专业會議学术委員會选編

人 民 鐵 道 出 版 社

1964年·北京

1963年铁路科学技术论文报告会文集

第 10 輯

勘 測 設 計

铁路勘测设计 & 路基工程专业会议学术委员会选编

人民铁道出版社出版、发行

(北京市霞公府甲24号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 010 号

人民铁道出版社印刷厂印

书号 1973 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $10 \frac{1}{2}$ 插页 1 字数 243 千

1964年12月第1版

1964年12月第1版第1次印刷

印数 0001—1,220 册 定价 (科六) 1.40 元

目 录

铁路纵断面坡度连接的研究.....	1
铁路平面设计若干问题及其意见.....	35
新建单线分界点分布问题.....	46
铁路设计中运营费与能时消耗的规律及简化计算.....	59
铁路曲线偏角乘率计算公式的研究.....	78
铁路缓和曲线与圆曲线连续测量偏角计算的研究.....	99
现有缓和曲线改善问题的探讨.....	129
铁路初测导线、地形及水准测量的精度探讨.....	146

鐵路縱断面坡度連接的研究*

鐵道部第一設計院 陸步先 張其璋

內 容 提 要

鐵路縱断面坡度連接應保證行車安全、旅客舒適，適應運輸發展，並考慮工程運營投資的經濟合理性。本文着重從行車安全的角度，研究縱断面坡度連接對列車內力的影響。應用靜力平衡原理分析了運行速度比較均衡時的列車內力；應用非彈性體撞擊的原理分析了操縱方式突變時列車內部的沖擊，並以實際斷鉤統計資料進行初步印證；最後引用 М.М.Протодьяконов 的理論分析了豎曲線半徑對列車相對加速度的影響。從而提出使用自動車鉤時對坡度連接要求的初步意見。

第一章 緒 言

我國現行標準軌距鐵路設計技術規範中有關線路縱断面設計坡度連接的規定，基本上基於昔日蘇聯防止螺絲挽鉤斷鉤的理論。但我國使用的是自動挽鉤，其強度為螺絲挽鉤的2~3倍，而機車的牽引力比當時並無顯著增加。因此對坡度連接的要求可否放寬是值得研究的。

設計坡度連接首先要保證行車安全，並應考慮旅客舒適。本文應用普通力學〔1〕和非彈性體撞擊的原理分析了變坡點坡度代數差對列車內力和沖擊的影響；以實際斷鉤統計資料進行初步印證；最後引用柏氏理論〔2〕分析了豎曲線半徑對列車相對加速度的影響。經過粗淺分析，得出幾個基本概念，其中有一些和高林諾夫的观点不太一致〔3〕：

一、斷鉤（沖損）的最大危險在於車鉤由壓緊突然變為拉緊的巨大沖擊，而不在於持續受拉和持續受壓的狀態。

二、列車通過凸形變坡點時比通過凹形變坡點斷鉤的危險性還大，不論從持續受力對比或從產生最大沖擊對比均如此。

三、高速運行時列車的內力小，低速運行時列車的內力大。

四、變坡點引起的列車附加內力對其最大內力的影響很小，尤其在低速開汽運行時影響更小。

五、從遠近結合和整體的观点出發，不應以某一時期的車鉤強度規定變坡點坡度代數差，而應從變坡點附加內力占挽鉤牽引力的合理比例規定之。

第二章 在持續拉緊和壓緊情況下列車的內力分布

假定運行中的列車是均質的、不發生縱向變形的整體，列車內力的傳遞速度等於無限大，則列車各部分在同一瞬間具有相等的加速度。茲將列車跨過變坡點時的內力分布分析於下。（這樣假定和實際有些出入，柏氏理論把列車當作彈性杆看待，貨物列車振波傳播的速

* 本文中利用了鐵道部第一設計院平縱断面設計調查研究小組搜集的部分資料。在自動車鉤緩沖器性能、車鉤斷損情況和機車操縱等方面得到蘭西車輛段高東洲同志、蘭州局機務處趙廣余工程師和車輛處的同志們熱情幫助。

度约为60~120米/秒, 合216~432公里/小时, 与列车的计算速度 v_p 相比是大得很多的, 故假定振波传播速度为无限大, 计算结果与柏氏理论出入不大)。

一、在拉紧地段列车内力的分布及其最大值

1. 在拉紧地段列车内力的分布: [1]

如图1, 设全列车的加速度为

$$\alpha = \zeta \frac{F_K - P(w'_0 + i_2) - xq_0(w'_0 + i_2) - (L-x)q_0(w'_0 + i_1)}{P + Lq_0}$$

BC段的加速度为 $\alpha' = \zeta \frac{T_B - (L-x)q_0(w'_0 + i_1)}{(L-x)q_0}$

$$\begin{aligned} \alpha = \alpha', \quad T_B &= \frac{(L-x)q_0}{P + Lq_0} \left\{ [F_K - P(w'_0 - w''_0)] + (P + xq_0)(i_1 - i_2) \right\} \\ &= \frac{L-x}{L+\lambda} [F + (P + xq_0)\Delta i] \end{aligned} \quad (1)$$

式中 L ——机车以后列车长度;

λ ——机车当量长度

$$\lambda = \frac{P}{Q} \cdot L = \frac{P}{q_0},$$

q_0 ——单位长度列车平均重量 $q_0 = \frac{Q}{L}$;

F ——相对牵引力, $F = F_K - P(w'_0 - w''_0)$;

T_B ——列车在变坡点处的内力(拉力)。

公式(1)可以分为两项

第一项 $\frac{L-x}{L+\lambda} [F] = \frac{L-x}{L+\lambda} [F_K - P(w'_0 - w''_0)] = T'_B$, 为 $\Delta i = 0$ 时的 T_B , 这就是相

对牵引力在列车内部的分布, 如图1-a。它和坡道无关, 和变坡点无关而单独存在。

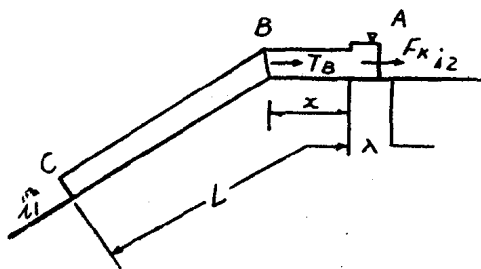


图 1

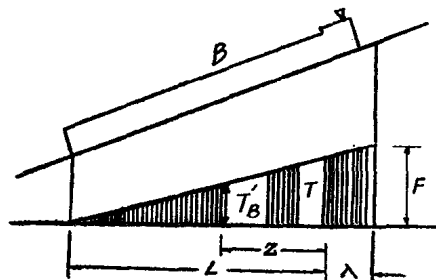


图 1-a

第二项 $\frac{L-x}{L+\lambda} (P + xq_0) \Delta i = \Delta T_B$, 为由变坡点产生的附加内力在变坡点上的数值。其分布如图1-b, 它与变坡点的位置和 Δi 大小有关, 与牵引力无关。

证明 图1-b的分布如下:

在D作截面用同样方法可以求得,

$$T_D = \frac{x_1}{L+\lambda} [F + (P + xq_0)\Delta i],$$

第一项为相对牵引力的分配,

第二项 $\frac{x_1}{L+\lambda} (P+xq_0) \Delta i$, 正如图1-b的分布。

同理, 在E作截面得:

$$T_E = \frac{1}{L+\lambda} [(L-x_2)F + (L-x)(P+x_2q)\Delta i]$$

第一项 $\frac{L-x_2}{L+\lambda} \cdot F$ 为相对牵引力的分配。

第二项 $\frac{L-x}{L+\lambda} (P+x_2q_0) \Delta i = \Delta T_B \cdot \frac{P+x_2q_0}{P+xq_0} = \Delta T_B \cdot \frac{\lambda+x_2}{\lambda+x}$, 正如图1-b的分布。

两项之和为全部列车内力的分布, 如图1-c。

从图1-a~c, 可以看出用图解法求列车内力分布是很方便的。

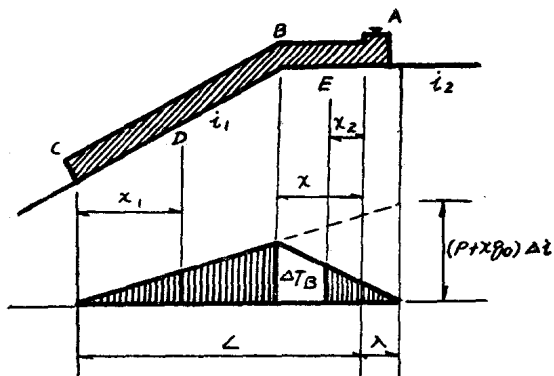


图 1-b

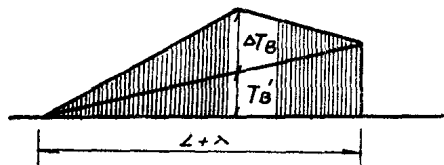


图 1-c

2. 拉紧地段的最大内力:

对(1)式进行微分 令 $\frac{dT}{dx} = 0$ 得

$$(L-x)q_0\Delta i - [F + (P+xq_0)\Delta i] = (Q-P)\Delta i - F - 2xq_0\Delta i = 0$$

$$x = \frac{L}{2} \left(1 - \frac{P}{Q} - \frac{F}{Q\Delta i} \right) \quad (2)$$

x 恒为正值, 即 $x \geq 0$

则 $\frac{Q-P}{Q} - \frac{F}{Q\Delta i} \geq 0$, $\Delta i \geq \frac{F}{Q-P}$, 此时最大内力发生的位置随 $\frac{F}{Q\Delta i}$ 变化。

反之, 当 $\Delta i < \frac{F}{Q-P}$ 时, $x \equiv 0$ (即最大内力出现在第1位车钩)。此时

$$T_0 = \frac{L}{L+\lambda} (F + P\Delta i) \quad (3)$$

从公式(1)可以看出, 当 Δi 和 x 固定时, 最大内力决定于牵引力。

速度越高, 牵引力越小, 车钩拉力 T 越小。速度相同, 牵引力相同时, Δi 越大, 车钩拉力越大。

今以实例分析牵引力和坡度代数差对列车内力的影响如表1~表3:

表中 x ——产生最大拉力时变坡点在列车中所处的位置 (自机车后钩起算的距离);

T_{max} ——最大拉力 (公斤);

F'_{kmp} ——起动挽钩牵引力 (公斤)。

表 1

解放牵引 $i_p=6\%$, $Q=2450t$, $P/Q=0.07$, $F'_{kmp}=F_{kmp}-Pw'_0=21045$ 公斤

V	F_k	x/L			T_{max}			$T_{max}/F'_{kmp}(\%)$		
		$\Delta i=6$	9	12	$\Delta i=6$	$\Delta i=9$	$\Delta i=12$	$\Delta i=6$	$\Delta i=9$	$\Delta i=12$
10	21,000	0	0	0.11	20,550	21,050	21,880	98	100	104
21	19,500	0	0.02	0.14	19,030	19,600	20,560	91	93	98
30	15,900	0	0.11	0.19	15,700	16,420	17,720	75	78	84
40	12,750	0.04	0.18	0.25	12,740	13,830	15,360	61	66	73
50	10,450	0.11	0.24	0.29	10,620	12,040	13,740	51	57	65
60	8,750	0.17	0.28	0.33	9,170	10,760	12,520	44	51	60
70	7,400	0.21	0.31	0.35	8,030	9,780	11,620	38	46	55

表 2

友好牵引 $i_p=4\%$, $Q=4000t$, $P/Q=0.06$, $F'_{kmp}=27,324$

V	F_k	x/L			T_{max}			$T_{max}/F'_{kmp}(\%)$		
		$\Delta i=4$	6	8	$\Delta i=4$	$\Delta i=6$	$\Delta i=8$	$\Delta i=4$	6	8
10	26,600	0	0	0.06	25,690	26,120	26,670	94	96	98
20	24,050	0	0	0.10	23,310	23,740	24,460	85	87	89
23	23,300	0	0	0.11	22,620	23,070	23,850	83	84	87

表 3

解放双机牵引 $i_p=6\%$, $i_{kp}=12\%$, $Q=2450t$, $2P/Q=0.14$, $2F'_{kmp}=42090$

V	$2F_k$	x/L					T_{max}					$T_{max}/F'_{kmp}(\%)$				
		$\Delta i=6$	9	12	18	24	$\Delta i=6$	9	12	18	24	$\Delta i=6$	9	12	18	24
10	42,000	0	0	0	0	0.07	38,620	39,510	40,410	42,200	44,250	92	94	96	100	105
21	39,000	0	0	0	0	0.10	35,870	36,760	37,660	39,450	41,760	85	87	90	94	99
30	31,800	0	0	0	0.07	0.16	29,460	30,350	31,250	33,240	36,190	70	72	74	81	86

附注：双机牵引时 $\Delta i < \frac{2F}{Q-2P}$ 时 $x \equiv 0$;

$$\Delta i > \frac{2F}{Q-2P} \text{ 时 } x = \frac{L}{2} \left(1 - \frac{2P}{Q} - \frac{2F}{Q\Delta i} \right).$$

从以上算例可看出：

(1) 决定列车内力的主要因素是机车的牵引力。速度越高牵引力越小，列车内力也小；正常运行中以 v_p 通过凸形变坡点车钩拉力最大，当区间因故限速运行时车钩拉力将更大。

(2) 变坡点代数差增大对车钩拉力影响幅度很小。以 V_p 时为例， $\Delta i=2i_p$ 与 $\Delta i=i_p$ 相比，才增大 5~8%。 $i_p=6\%$ ，双机牵引 12%， $\Delta i=6、12、24$ 的拉力比例为 100:105:116（考虑竖曲线的作用则仅有 112%）。

(3) 区间运行车钩拉力按上表最大数值也才相当起动挽钩牵引力的 105%，而起动时车钩的冲击力将达牵引力的 2.32~2.87 倍〔4〕。

由此可得出如下概念：

(1) 车钩拉力控制在列车起动，区间开行运行的拉力并不控制。当然区间运行的安全系数应该比站内高些，但也不应差到 2~3 倍。

(2) 坡度代数差影响最大拉力的幅度很小，企图用减小代数差的方法来缓和车钩受力状况，收效很小，而投资太大。

3. 缓和坡段和竖曲线的作用：

求解列车跨上两个或以上的变坡点的内力分布时，用图解法比较方便。

(1) 列车只跨一个变坡点时内力分布图解：

公式 (1) $T = \frac{L-x}{L+\lambda} [F + (P + xq_0) \Delta i]$ ，将其分为两项

$$T' = \frac{L-x}{L+\lambda} \times F = \frac{(L-x)/L}{(L+\lambda)/L} \times \frac{F}{Q \cdot \Delta i} \times Q \Delta i$$

$$\Delta T = \frac{L-x}{L+\lambda} (P + xq_0) \Delta i = \frac{L-x}{L+\lambda} (\lambda + x) q_0 \Delta i$$

$$= \frac{(L-x)/L}{(L+\lambda)/L} \times \frac{(\lambda + x)}{L} Q \Delta i$$

$$T = T' + \Delta T。$$

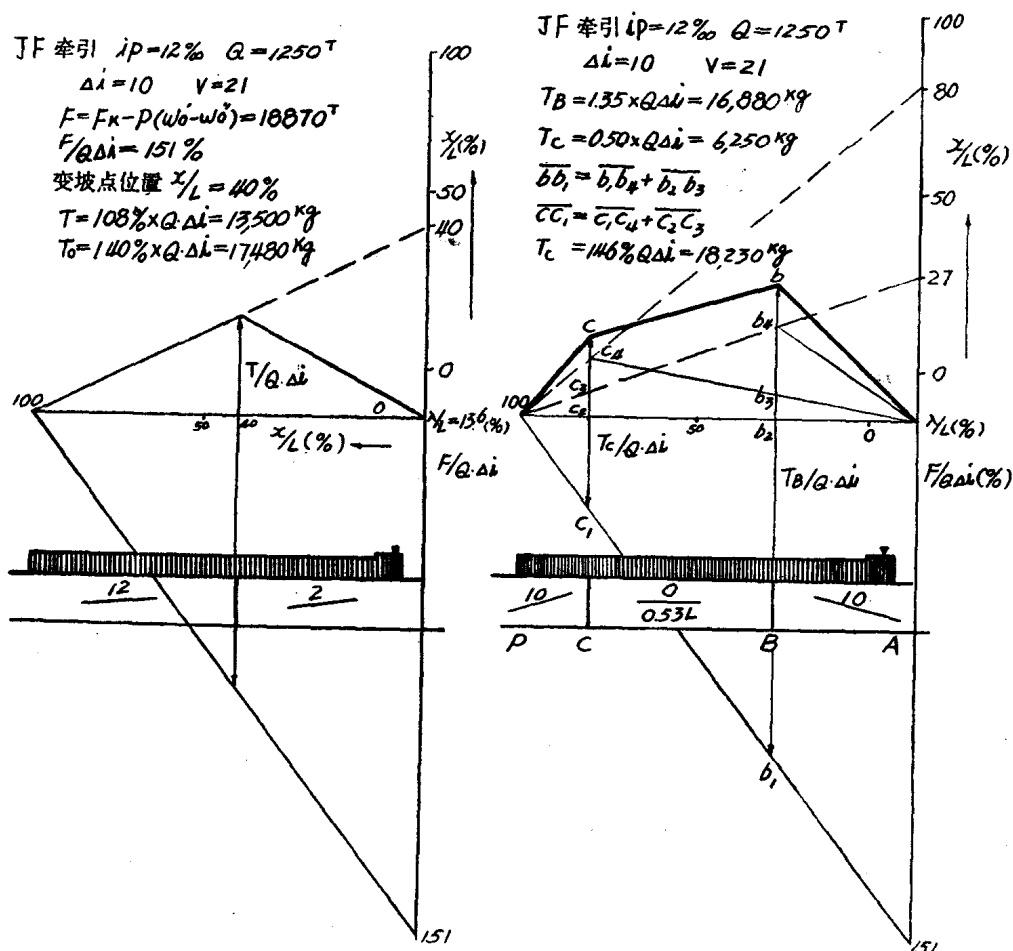


图 2-a

图 2-b

表示长度的各项均以 L (或 Q) 的 (%) 表示之, $\frac{F}{Q \Delta i}$ 以 (%) 表示之, 图解示例如

图2-a。

JF 牵引 $\Delta p = 12\%$ $Q = 1250^T$

$\Delta i = 5$ $V = 21$

图解比例 $\Delta \lambda$ 用 10

$$\overline{bb_2} = \frac{1}{2}(\overline{b_2b_3} + \overline{b_2b_4})$$

$$\overline{cc_2} = \frac{1}{2}(\overline{c_2c_3} + \overline{c_2c_4})$$

$$T_B = T_B' + \Delta T_B = 12120 + 0.165 \times Q \times 10 = 14180^g$$

$$T_C = T_C' + \Delta T_C = 3320 + 0.11 \times Q \times 10 = 4700^g$$

$$T_0 = 16600 + 0.055 \times Q \times 10 = 17290^g$$

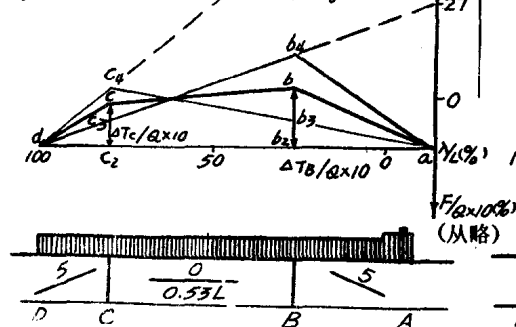


图 2-a

JF 牵引 $\Delta p = 12\%$ $Q = 1250^T$

$\Delta i_1 = 6$ $\Delta i_2 = 4$ $V = 21$

图解比例用 $\Delta \lambda = 10$

$$\overline{bb_2} = \frac{1}{10} \overline{b_2b_3} + \frac{4}{10} \overline{b_2b_4} = 0.15$$

$$\overline{cc_2} = \frac{6}{10} \overline{c_2c_3} + \frac{4}{10} \overline{c_2c_4} = 0.126$$

$$T_B = T_B' + \Delta T_B = 12120 + 0.15 \times Q \times 10 = 14400^g$$

$$T_C = T_C' + \Delta T_C = 3320 + 0.126 \times Q \times 10 = 4900^g$$

$$T_0 = 16600 + 0.054 \times Q \times 10 = 17280^g$$

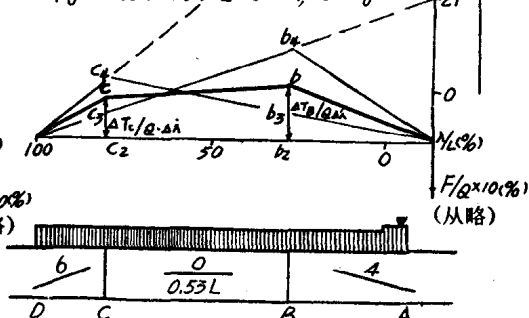


图 2-d

跨一个变坡点的最大内力

$$\Delta i = 10$$

$$\Delta T = 0.06 \times Q \times 10 = 750^g$$

$$T_{max} = 16,600 + 750 = 17350^g$$

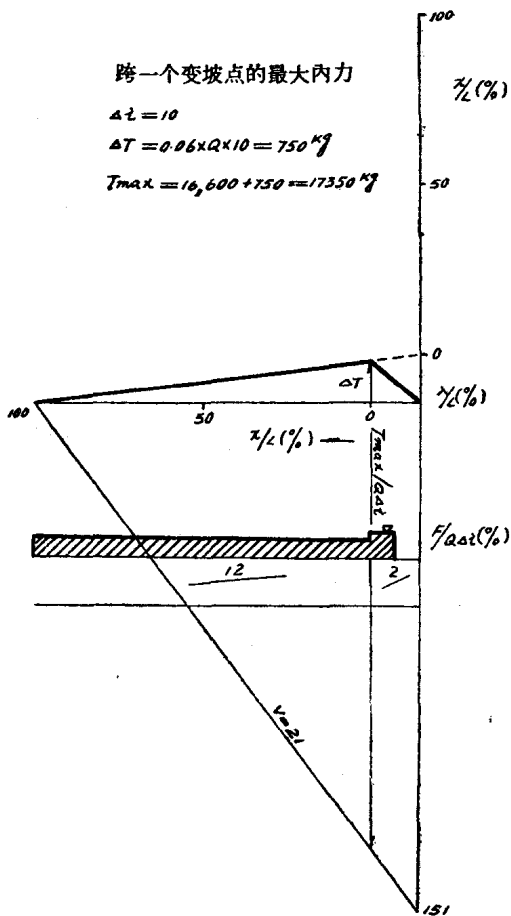


图 2-e

跨两个变坡点的最大内力

$$(1) \Delta i = 10 \quad \Delta T = 0.09 \times Q \times 10 = 1125^g$$

$$T_{max} = 16,600 + 1125 = 17725^g$$

$$(2) \Delta i = 5 \quad \Delta T = 0.045 \times Q \times 10 = 563^g$$

$$T_{max} = 17163^g$$

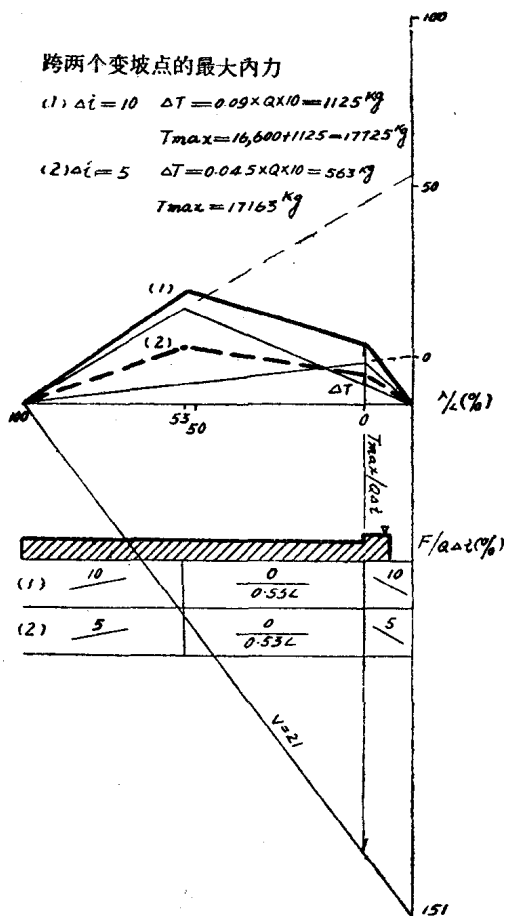


图 2-f

(2) 列车跨上两个变坡点时的内力分布及其对比如图2-b~2-g, 为了便于对比, 统一采用 $\Delta i=10$ 与 $\Delta i=5$ 的比例。当两个变坡点 Δi 不相等时应取统一 Δi 作图。速度不变时 F 的绝对值不变, 但图解比例随采用的 Δi 而变。

从这几幅图解示例中可以看出:

a. 将图2-a与2-b对比, 2-e与2-f对比, 得知, 在一个列车长度内跨上的 $\Sigma \Delta i$ (同向) 越大, 附加内力及其最大值越大。

b. 将图2-a与2-c、2-d对比, 及图2-a与图3对比, 得知 $\Sigma \Delta i$ 不变, 缓和坡段和竖曲线可以减小附加内力, 使其变化平顺, 且 $\Sigma \Delta i$ 越大, 附加内力减小得越多。

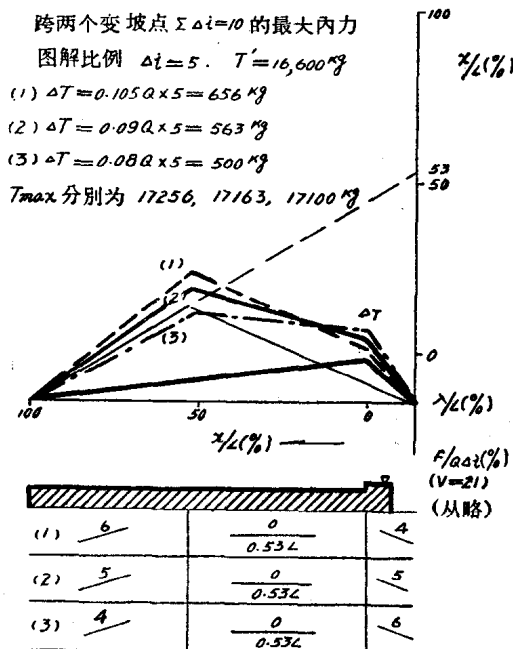


图 2-g

(1) 列车通过一个变坡点时的附加内力 ΔT :

$$\Delta T = Q \Delta i \frac{l}{L} S = Q \cdot \Delta i \cdot K \cdot S$$

式中: L ——列车长度;

l ——附加力同时作用于某截面的最大计算长度;

K ——同时作用系数;

$$l = \frac{2v}{C+v} \cdot L; \quad K = \frac{2v}{C+v};$$

v ——列车速度 (米/秒);

C ——振波传播速度, $C = \sqrt{\frac{E_H}{M}}$ (米/秒);

E_H ——将缓冲器的刚度换算为一节车辆的弹性系数 (公斤);

M ——车辆单位长度的质量 (公斤/米/秒²)。

我国30吨及以下货车使用二号车钩, 50吨及以上货车使用三号车钩, 其振波传播速度分别为:

c. 从图3-a和3-b看出: 缓和坡段和竖曲线减小最大内力 ($T_{\max} = T' + \Delta T$) 的程度随速度 (实为牵引力) 而不同, 高速时有显著减小, 低速时减小得很少。

加大竖曲线半径, 最大内力在高速时有显著减小, 低速时减小不多。

d. 缓和坡段等长, 每个 Δi 等大, 内力分布最均匀, 最大内力也较小 [如图2-g, (1)和(3)表示若上行 $T_{\max}$ 小, 则下行 $T_{\max}$ 大, (2)则往返一样大, 就减少了最大值]。

4. 应用柏洛托吉亚柯诺夫的理论验算拉紧地段列车的内力:

4. 应用柏洛托吉亚柯诺夫的理论验算拉紧地段列车的内力:

计算公式基本参照文献〔2〕, 唯假定机车挽钩牵引力在全列车内呈三角形分布。

JF 牵引. $Q=1250^T$ $L_n=400^m+L$ 机

$\Delta i=20$. 豎曲线半径 $R_v=10000^m$

$V=21$: $T_{max}=T_0=0.76 \times Q \times 20 = 19,130 \text{ kg}$, $T_{max}=0.975 T_{b1}$

$T_{b1}=0.785 \times Q \times 20 = 19,625 \text{ kg}$, (减小 2.5%)

$V=40$: $T_{max}=0.544 \times Q \times 20 = 13,600 \text{ kg}$

$T_{b2}=0.59 \times Q \times 20 = 14,750 \text{ kg}$

$T_{max}=0.922 T_{b2}$ (减小 7.8%)

設豎曲线后附加內力座标 $= (\Sigma \text{ 鏈式坡附加內力座标}) \frac{\Delta i'}{\Delta i}$

本图 $\Delta i=20$ $\Delta i'=2$

不設豎曲线的附加內力分布如 abd 折綫

設豎曲线后的附加內力分布如 aod 弧綫

不設豎曲线产生最大內力的情况:

$V=21$ 为 ab_1d $V=40$ 为 ab_2d

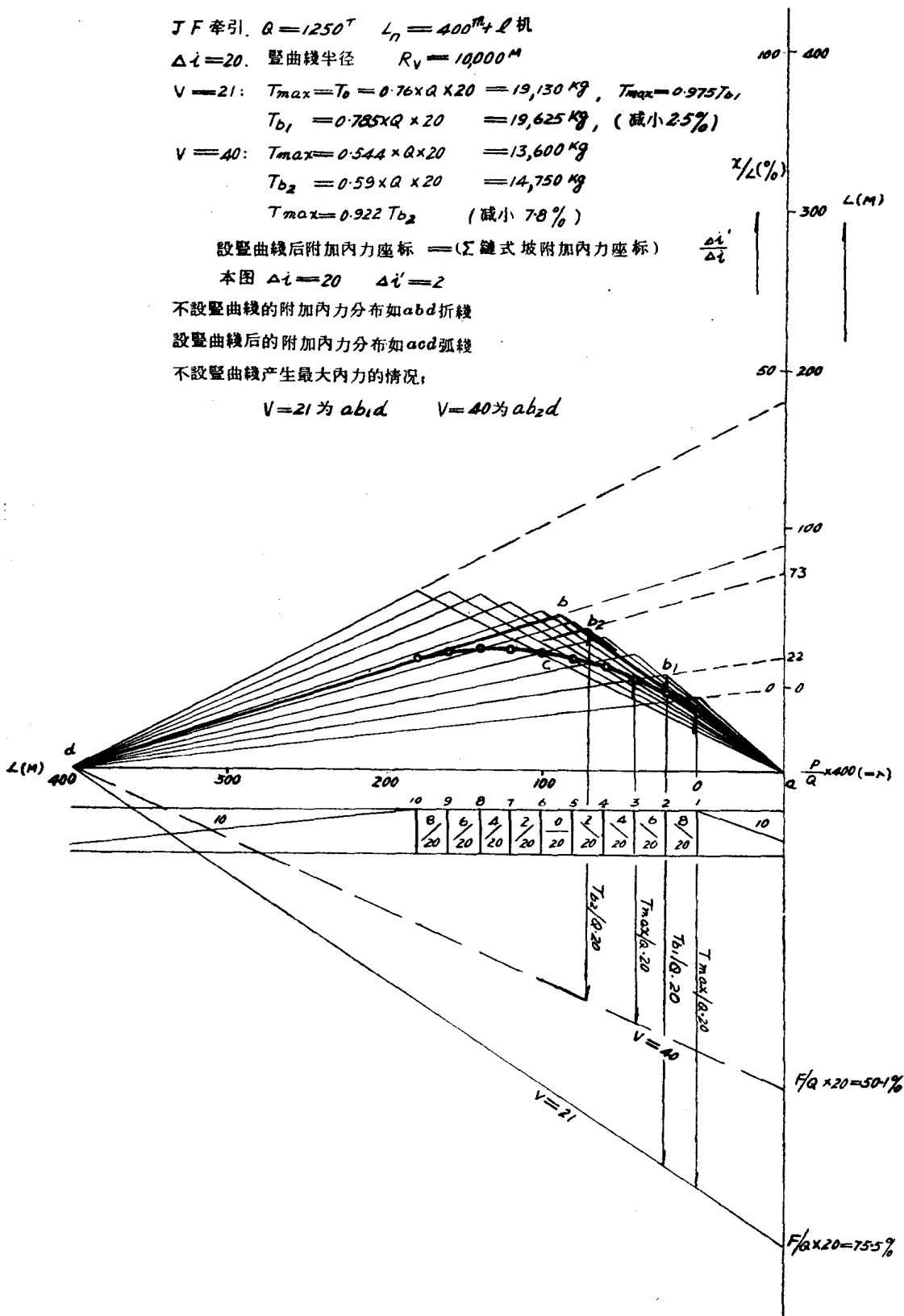


图 3-a

丁下牵引 $Q = 1250^T$ $L_n = 400^m + L$ 机
 $\Delta t = 20$ 抛物线型豎曲线 $\Delta t' = 2/40^m$
 (相当 $R_v = 20000^m$)

$$\begin{aligned} V = 21 \quad T_{max} &= T_0 = 0.73 \times Q \times 20 = 18,250 \text{ kg} & T_{max} &= 0.93 T_{b1} \\ & T_{b1} = 0.785 \times Q \times 20 = 19,625 \text{ kg} & & (\text{减小 } 7\%) \\ V = 40 \quad T_{max} &= T_0 = 0.505 \times Q \times 20 = 12,630 \text{ kg} \\ & T_{b2} = 0.59 \times Q \times 20 = 14,750 \text{ kg} \\ & T_{max} &= 0.86 T_{b2} (\text{减小 } 14\%) \end{aligned}$$

与图3-a相比, R_v 放大一倍

$$\begin{aligned} V = 21 \quad T_{max} &\text{ 减小 } 4.6\% \\ V = 40 \quad T_{max} &\text{ 减小 } 7.1\% \end{aligned}$$

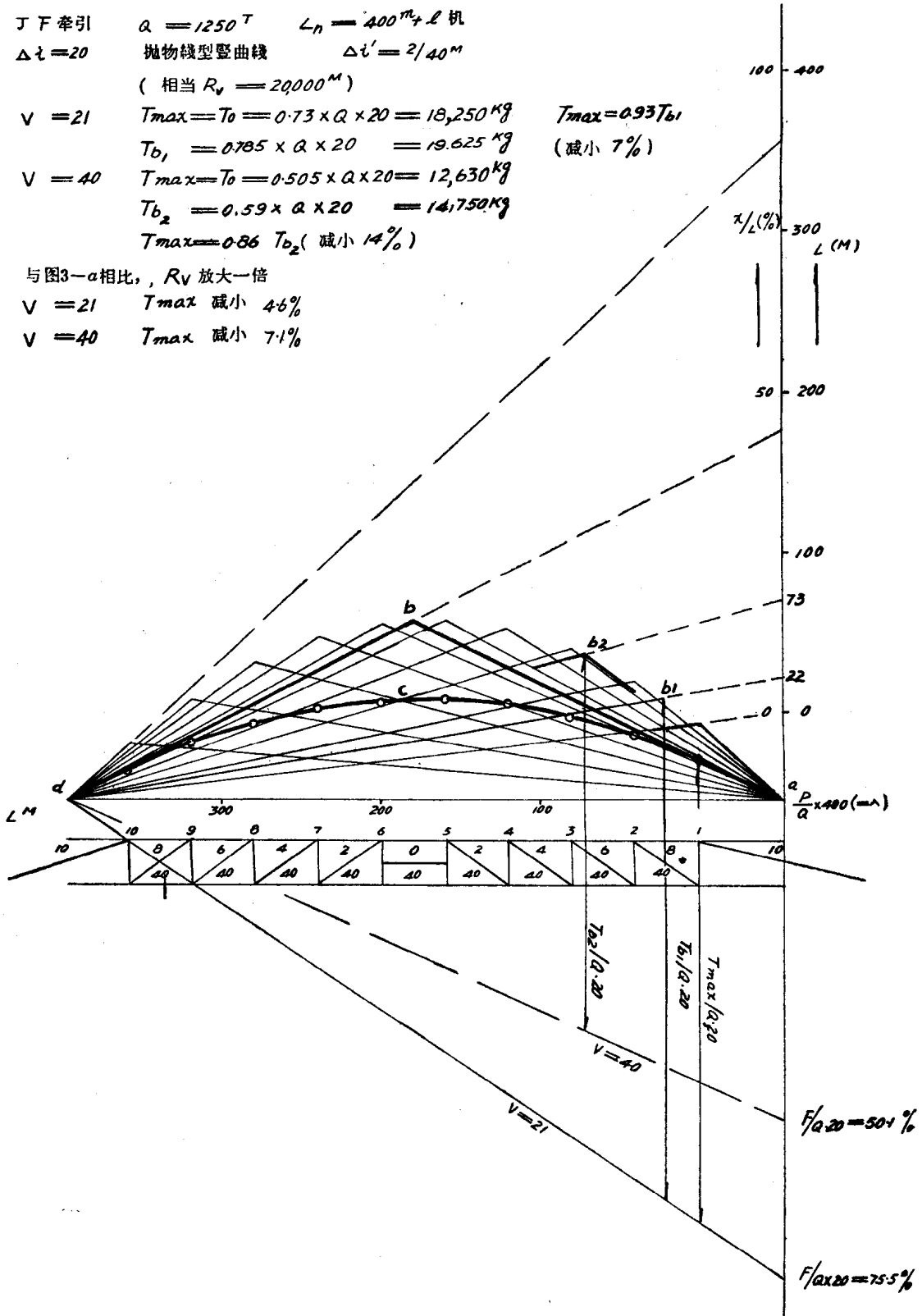


图 3-b

$$C_2 = \sqrt{\frac{1,367,000 \times 9.8}{3800}} = 59.6 \approx 60 \text{ 米/秒};$$

$$C_3 = \sqrt{\frac{25,920,000 \times 9.8}{4900}} = 118 \approx 120 \text{ 米/秒}.$$

列车组成按30吨车占30%，50吨车占70%，则车长比例各占27%和73%。振波传播速度平均值为：

$$C = 1 / \left(\frac{0.27}{C_2} + \frac{0.73}{C_3} \right) = 94.3 \approx 95 \text{ 米/秒} (\approx 340 \text{ 公里/小时})。$$

S ——振波衰减系数。柏氏假定振波传播经过5个往复完全消失，则此处

$$S = 1 - \frac{0.5K}{10}。$$

(2) 计算截面的总内力 $T = T' + \Delta T$ 。

T' ——挽钩牵引力 (F_n) 的分布值；

$$T' = \frac{L-l}{L} F_n = (1-K)(F_k - Pw'_0)。$$

今以解放牵引 $i_p = 6\%$ ， $Q = 2450t$ ， $\Delta i = 6 \sim 12\%$ 计算其最大内力如下：

$P = 170t$ ， $C = 340 \text{ 公里/小时}$ ，(简易法中 $T_{\max}$ 抄自表1)

表 4

V (公里/小时)	K_1	S_1	$\Delta T = K_1 S_1 Q \Delta i$		F_n	$(1-K_1)F_n$	$T_{\max}(\text{公斤})$ (柏氏法)		$T_{\max}(\text{公斤})$ (简易法)	
			$\Delta i = 6$	$\Delta i = 12$			$\Delta i = 6$	$\Delta i = 12$	$\Delta i = 6$	$\Delta i = 12$
1	2	3	4	5	6	7	8=4+7	9=5+7	10	11
10	0.06	1.0	881	1762	20,820	19,571	20,450	21,330	20,550	21,880
21	0.12	0.99	1762	3524	19,214	16,908	18,670	20,430	19,080	20,560
30	0.16	0.99	2350	4700	15,509	13,028	15,380	17,730	15,700	17,720
40	0.21	0.99	3090	6180	12,523	9,893	12,930	16,070	12,740	15,360
50	0.26	0.99	3820	7640	9,767	7,228	11,110	14,930	10,620	13,740
60	0.30	0.98	4410	8820	7,890	5,523	9,930	14,340	9,170	12,520
70	0.34	0.98	4850	9700	6,343	4,186	9,040	13,890	8,030	11,620

将上表两种方法计算的结果对照一下，出入很小。速度在40公里/小时以下相差在 $\pm 2\%$ 以内。50~70公里/小时 $\Delta i = 6 (=i_p)$ 差5~11%， $\Delta i = 12 (=2i_p)$ 相差8~16%。最大内力产生在低速开汽运行，故用简易法求解已够准确。且计算简便，易于掌握。

二、在压紧地段列车的内力分布及其最大值

1. 在压紧地段列车的内力分布：

公式推演的方法同前。

闭汽运行时：

设全列车的加速度为

$$\alpha = \frac{\zeta[(P + xq_0)i_2 + (L-x)q_0i_1 - (Pw'_0s + Qw'_0)]}{P + Q}$$

BC段的加速度为

$$\alpha' = \zeta \frac{(L-x)q_0(i_1-w'_0) - C_B}{(L-x)q_0}$$

变坡点B处之内力为 C_B (压力)

$$\alpha = \alpha', \quad C_B = \frac{L-x}{L+\lambda} [P(w'_{03}-w'_0) + (P+xq_0)\Delta i] \quad (4)$$

$$\Delta i = -(i_1 - i_2)$$

将 C_B 分为两部分 $C_B = C'_B + \Delta C$

$C'_B = \frac{L-x}{L+\lambda} P(w'_{03}-w'_0)$ 为相对阻力的分配, 与 i 及 Δi 无关。

$\Delta C = \frac{L-x}{L+\lambda} (P+xq_0) \Delta i$, 为变坡点附加内力在变坡点B处的数值。

它的分布如图4。

2. 压紧地段闭汽运行时的最大内力:

将(4)式进行微分, 令 $\frac{dC}{dx} = 0$ 得

$$(L-x)q_0\Delta i - [P(w'_{03}-w'_0) + (P+xq_0)\Delta i] \\ = (Q-P)\Delta i - P(w'_{03}-w'_0) - 2xq_0\Delta i = 0$$

$$x = \frac{L}{2} \left[1 - \frac{P}{Q} - \frac{P(w'_{03}-w'_0)}{Q\Delta i} \right] \quad (5)$$

$$x \geq 0, \text{ 则 } \frac{Q-P}{Q} - \frac{P(w'_{03}-w'_0)}{Q\Delta i} \geq 0, \quad \Delta i \geq \frac{P(w'_{03}-w'_0)}{Q-P}$$

$P(w'_{03}-w'_0)/(Q-P)$ 为数很小。如解放牵引, $V=10$, 其值为 $0.05 \sim 0.15$; $V=70$, 其值为 $0.4 \sim 1.2$ 。故 $\Delta i > 1$ (‰) 时 x 恒为正值。 Δi 为负值时 (为凸形变坡点) $x \equiv 0$, 通过凸形变坡点时车钩压力小于通过凹形变坡点, 无庸赘述。

将各种情况进行分析: 产生最大压力的位置, 亦即变坡点处于列车中的位置, $\frac{x+\lambda}{L+\lambda} = 0.44 \sim 0.50$ (当 $\Delta i = \frac{1}{2}i_p \sim 2i_p$ 范围内)。

$$\text{于是最大压力 } C_{\max} = \frac{L-x}{L+\lambda} [P(w'_{03}-w'_0) + (P+xq_0)\Delta i] \\ \approx 0.53 [P(w'_{03}-w'_0) + 0.47(P+Q)\Delta i]$$

从公式(4)可以看出, 压紧地段变坡点附加内力的数值和拉紧地段一样, 而相对阻力 $P(w'_{03}-w'_0)$ 比相对牵引力 $F_K - P(w'_0 - w'_0)$ 就小多了。根据具体计算, 解放牵引开汽运行 V_p 时的最大拉力, 相当闭汽运行 $V=70$ 时最大压力的 $2.4 \sim 4.4$ 倍。

3. 产生最大车钩压力的场合是在使闸行驶中特别是在紧急制动时:

单纯从理论上分析使闸行驶时的列车内力为

$$C_B = \frac{L-x}{L+\lambda} [P(B_{机} - B_{车} + w'_{03} - w'_0) + (P+xq_0)\Delta i] \quad (6)$$

产生最大压力时:

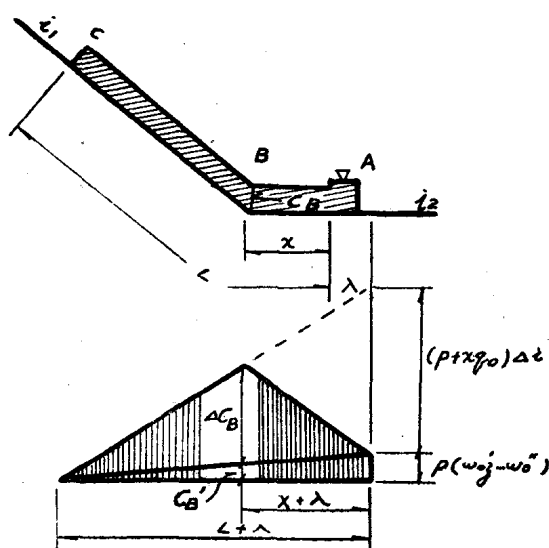


图 4

$$x = \frac{L}{2} \left[1 - \frac{P}{Q} - \frac{P(B_{\text{机}} - B_{\text{車}} + w'_{03} - w'_0)}{Q \Delta i} \right] \quad (\text{恒为正值或为 } 0) \quad (7)$$

$B_{\text{机}}$, $B_{\text{車}}$ ——分别为机车和车辆的单位制动力,

以解放为例 $B_{\text{机}} = (0.5 \sim 1) \times 0.24 \times 1000 g_{kp}$ (公斤/吨),

车辆一般为 $B_{\text{車}} = (0.5 \sim 1) \times 0.22 \times 1000 g_{kp}$ (公斤/吨)。

$B_{\text{机}}$ 是否大于 $B_{\text{車}}$ 要看具体编组情况而定。

实际上在制动初始时, 由于列车后部列车管减压迟滞现象, 前部制动力大于后部, 列车后部向前拥挤, 以致前部车钩压力很大。求算这个力是很困难的, 有待实际测验。运营的经验证明, 紧急制动有时会压断缓冲器弹簧或压弯纵梁, 此时并不会中断行车。紧急制动产生最大压力时 x 将等于 0 (即 $\Delta i < \frac{P(B_{\text{机}} - B_{\text{車}} + w'_{03} - w'_0)}{Q - P}$) 或接近于 0, 变坡点附加内力与列车前拥之力相比就小得太多了, 失去了研究的迫切性。

第三章 列车车钩由压紧状态变为拉紧状态时的冲击

许多铁路设计的著述都指出, 在列车内力符号变化的时候, 最容易发生断钩, 国外试验和我们的统计资料也证实了这一点。这些场合是列车起动 (尤其是预先压缩时)、区间运行中由闭汽改为开汽, 制动过程中小闸缓解, 和开汽运行中突然施行紧急制动等。前三者是猛一拉 (抻损), 后一种是碰撞。作为纵断面设计的因素, 本文只研究前两种。为了对比其断钩危险程度也对第三种进行一些分析。

一、计算冲击的基本公式

列车既非弹性体也不是完全的非弹性体。机车牵引列车时, 由于车钩间隙而发生冲击。经过反复冲撞车辆才被拉紧而和前面变为相同速度。冲击力的传播须经专门实验确定。今暂假定机车逐节拉紧车辆, 冲击后立即变为同一速度。(即视列车为非弹性体) 这样近似求算各种情况的冲击, 只是为了比较其冲击程度。

根据这一假定, 两个物体互相冲击时能量的变化如下:

两个物体的质量为 M_1 、 M_2 , 冲击前的速度为 V_1 、 V_2 , 冲击后的速度均为 u 。

冲击前后外力没有变化, 则冲量不变 (即 $F \cdot t = M \cdot V$);

$$M_1 V_1 + M_2 V_2 = (M_1 + M_2) u \quad u = \frac{M_1 V_1 + M_2 V_2}{M_1 + M_2} \quad (8)$$

冲击时动能的损失 (即被变形吸收了的能量) 为

$$\begin{aligned} \Delta W &= \left(\frac{1}{2} M_1 V_1^2 + \frac{1}{2} M_2 V_2^2 \right) - \frac{1}{2} (M_1 + M_2) u^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{M_1 M_2}{(M_1 + M_2)} \cdot (V_1 - V_2)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

(8) (9) 两式是以下计算列车内部冲击的基本公式。

二、影响列车内部冲击的主要因素

影响列车内部冲击的主要因素之一是相邻车体间的速度差 (ΔV)。决定 ΔV 的是列车内部相对加速度 (ζf), 和车钩的自由间隙 (δ) (包括缓冲器已被压缩的变形)。列车

内部相对加速度决定于相对加速力 (f)，即决定于开汽时使用的牵引力和坡度代数差的影响。

影响列车内部冲击的另一因素是互相冲击的质量 (M)。列车车钩全为压紧状态时开汽运行，车辆被逐节拉紧产生的冲击较小。列车前部压紧，后部拉紧状态下开汽，在车钩状态变化的交点，将发生非常大的冲击。

此外，列车编组情况也有很大影响，载重40t以下的车辆质量小，但车钩（一、二号缓冲器）压缩量大，载重50t及以上的车辆质量大，但车钩（三号缓冲器）压缩量小。

车钩的自由间隙和缓冲器压缩量：根据向兰西车辆段调查了解，钩舌间自由间隙为62毫米，缓冲器从板和从板座间间隙为3毫米两个车钩相压时自由活动量为 $62+2\times 3=68\text{mm}$ 。三号钩缓冲器由板弹簧和螺旋弹簧组成，安装时试压情况是：加压127t，压缩35mm，加压170t左右达到最大压缩量60mm，计算所得刚度 $\mathcal{H}=0.275\text{mm/t}$ 。二号钩缓冲器由环弹簧（主簧）和螺旋弹簧（小簧）组成，安装时试压情况：小簧受压11.3t达到最大压缩50mm，组合起来加压80~117t压缩 $65\pm 5\text{mm}$ （一号钩与二号钩大致相同），计算所得小簧刚度 $\mathcal{H}_1=4.42\text{mm/t}$ ，主簧刚度 $\mathcal{H}_2=0.15\text{mm/t}$ 。

二号钩压缩量：

$$C < 11.3\text{t 时 } e = C(4.42 + 0.15) = 4.57C (\text{mm}),$$

$$C > 11.3\text{t 时 } e = 0.15C + 50 (\text{mm}).$$

按列车组成中三号钩占70%，二号钩占30%，车钩综合压缩量为：

$$C < 11.3\text{t}, \delta = 2C[0.275 \times 0.7 + 4.57 \times 0.3] + 68 = 3.22C + 68 (\text{mm}) \quad (10)$$

$$C > 11.3\text{t}, \delta = 2\{C[0.275 \times 0.7 + 0.15 \times 0.3] + 50 \times 0.3\} + 68 \\ = 0.48C + 98 (\text{mm}) \quad (11)$$

具体计算时用图解法求列车内力分布，再图解各位车钩压缩量。

三、不同情况下列车内部冲击（猛一拉）计算公式

1. 压钩起动时的冲击：

(1) 起动前全列车初速为 V_0 ($V_0 = 0$)。开始机车以牵引力 F_0 前进第一个车钩的间隙 (δ_0)，速度升高为 ($V_0 + \Delta V_0$)，与第一节车冲击后速度变为 u_1 。再前进，第二个车钩间隙 (δ_1)，速度上升为 ($u_1 + \Delta V_1$)，继之与第二节车冲击。如此到冲击第 n 节车时速度为 $u_{n-1} + \Delta V_{n-1}$ 。

与第 n 节车冲击时动能的损失为 ΔW_n

$$\Delta W_n = \frac{[P + (n-1)q] \cdot q/g}{2(P + nq)} (u_{n-1} + \Delta V_{n-1} - V_0)^2 \quad (12)$$

式中 q 为每节车辆的平均重量。

(2) 列车起动时开始机车的加速度为 ζf 。

$$\zeta f_0 = \zeta F_0 / p = \zeta \frac{F_K - Pw'_0}{P}, \text{ 走第一个间隙 } \delta_0 \text{ 速度升为 } \Delta V_0;$$

$\Delta V_0 = \sqrt{2\zeta f_0 \delta_0}$ 与第一节车冲击后速度变为 u_1

$$u_1 = \frac{P\Delta V_0}{P+q} = \frac{1}{P+q} \sqrt{2\zeta f_0 \delta_0 P^2} = \frac{1}{P+q} \sqrt{2\zeta F_0 \delta_0 P}$$

$$\text{走第二个间隙 } \delta_1 \text{ 时 } \alpha = \zeta f_1 = \zeta [F_1 / (P+q)] = \zeta \frac{F_K - Pw'_0 - qw'_0}{P+q}$$