

126445

87.102

RTC

10

一九五六年全國鐵道科學工作會議

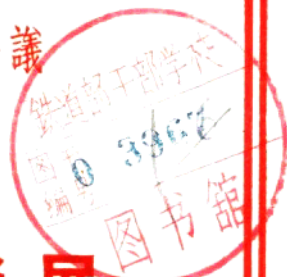
論文報告叢刊

(16)

銲接長鋼軌之發展



人民鐵道出版社



87.102
RTC
10



一九五六年全國鐵道科學工作會議
論文報告叢刊

(16)

銲接長鋼軌之發展

一九五六年全國鐵道科學工作會議論文編審委員會編

人民鐵道出版社出版

(北京市觀公府17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新华書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

(北京市建國門外七聖街)

1957年7月初版第1次印刷

平裝印1——1,200冊

書號: 789 斤本: 787×1092 點印張1 字數:

統一書號: 15043·346 定價(9)0.20元

前 言

1956年全国铁道科学工作会议征集了技术报告、总结、论文三百余篇。它的内容，包括铁路业务的各个方面，基本上显示着全体铁路技术人员和有关高等学校教师们几年来在科学技术方面辛勤劳动的成果。对现场实际工作有参考价值，对铁路新技术的采用和发展方向，有启示作用。为此，刊印丛刊，广泛流传，保存这一阶段内的科技文献，以推动科学研究的进一步开展。

会议以后，我们对全部文件进行一次整编工作，然后组织部内设计总局、工程总局、工厂管理局、人民铁道出版社、车务、商务、机务、车辆、工务、电务各局、铁道科学研究院、北京和唐山铁道学院、同济大学、大桥、定型、电务等设计事务所的有关专业同志对每篇内容仔细斟酌，选择其中对目前铁路业务有广泛交流意义，或是介绍铁路新技术方向和系统的经验总结，将性质相近的文件合订一册，单独发行。为了避免浪费，凡是其他刊物或是以其他方式刊印过的文件，除特殊必要外，一般都不再刊载。出版顺序根据编辑和定稿的先后，排定丛刊号码，交付印刷，并無主次之分。

苏联铁道科学代表团在会议期间曾经作过九次学术报告，我们已将文字整理，编入了丛刊。

文件中的论点，只代表作者意见，引用或采用时，还应由采用人根据具体情况选择判断。

丛刊方式还是一种尝试，我们缺少经验，希望读者提供意见，逐步地改进。

铁道部技术局

1957年2月

銲接長鋼軌之發展

李 秉 成

1. 引 言

鐵道建築，已有一百三十幾年的歷史，隨着綫路里程的大量發展，鐵道的運轉技術，也起了很大的變化。在技術進化中，最主要的是牽引力，車輛構造，信號及行車方式等等的重大改變。這些改變，使得鐵道運輸的能力大大地擴展。

由於機車軸重的增大，行車速度的提高，就需要進一步改進綫路的上部建築。但是，今天的綫路，雖然比較早年的已有了不少改進，基本上則仍保持着一百餘年以前的那種結構形態。就是把短至十幾公尺的鋼軌以魚尾板連接起來鋪設在散體道床所承載的互不聯系的枕木上。在這種軌道結構中，到今天還停留着在技術上沒有解決的問題，其中最主要的是鋼軌節縫的存在。

列車於軌道上行駛，在鋼軌節縫處產生強烈的衝擊作用，這種作用對軌道不斷地起着破壞影響，使節縫處的軌道發生經常變形。

節縫處的衝擊，也使鋼軌端部的內應力增加，它遠遠地超過鋼軌中間部分的應力。鋼軌的內部橫裂（transverse fissure），根據實際觀測，在很大程度上，也常在接近節縫部分發現。而鋼軌端部的外形，則更是最先受傷的地方。在綫路經常維修工作中所抽換的鋼軌，大約有40%是由於軌端的傷損。同時節縫下的枕木和道渣，其使用年限也常較鋼軌中部之下的為短。

所有這一切由於軌道節縫存在所引起的綫路變形，以及鋼軌、枕木、道渣、連接零件等受損的現象，使得綫路的全部維修費用，大約有45%集中在節縫上面。

此外，列車通過節縫，發生有節奏的震動，使乘客感到不舒適，使貨物遭受損壞。這是節縫給鐵道運輸所帶來的直接影響，這種影響的為害之大，且無法以金錢的數字來準確估計。

總之，鋼軌節縫是現行軌道結構中的最大弱點。這些弱點給鐵道運輸帶來了許多損害。隨着列車重量的增加，行車速度的提高，這種損害之程度，也隨之日益嚴重。如何掃除這些弱點，是鐵道工作者們長期企圖解決的一個問題。這個問題的解決，在鐵路運輸的技術改造中，具有其非常重大的意義。

長鋼軌的問世是基本上消滅軌道節縫的現代措施。筆者於1936~1938時期內在歐美各國的鐵道上學習了這些國家當時在試用長鋼軌方面的實際情況。其中化時間最多的是在美國東部的D.&H.鐵路。在D.&H.鐵路上，筆者所見到的最長的鋼軌是7,018呎（合2,140公尺），這是當時（1937）全世界鐵路幹綫上最長的鋼軌。而今天在露天軌道上的最大長度則已達到13,400呎（合4000餘公尺），甚至還有超過這個長度的。

鑒於我國的鐵道運輸正在大力發展，軌道節縫問題自必須加以解決，願就所見關於長

鋼軌發展的情況，加以介紹，以供我國鐵路進行技術改造的參考。惟筆者所根據的資料，以1949以前的為主，1949～1956年這一段時間內則僅是片斷所見，同時又限於水平，觀察難周，所言容有未妥之處，尚幸專家同志們加以指正。

2. 長鋼軌的脹縮問題如何解決

鋼軌敷設在綫路上，由於溫度變化所引起的脹縮，需要預留隙縫，以資調整。這是過去限制鋼軌長度的主要原因，其它限制鋼軌長度的原因，還有鋼軌的製造、運轉、以及搬運敷設等條件。

鋼軌脹縮問題之具體解決，是使用連續長鋼軌之必要的基础。茲就長鋼軌如何在溫度變化條件下取得穩定的理論加以闡述。至於長鋼軌在綫路上的全面應力，對於鋼軌之穩定自有一定影響。惟本篇之主題在於解決脹縮問題，故以下所述，系專以溫度應力為主。

(1) 溫度變化所引起之綫路上鋼軌的脹縮：

每一個單位長度的鋼軌，其由於溫度變化所引起的自由脹縮，可按下列式推求：

$$\Delta l_f = \alpha \Delta t = 0.000011 \Delta t, \dots \dots \dots (1)$$

在式中， α = 鋼的膨脹係數 ($= 0.000011$)，

Δt = 溫度變化 (攝氏度)，

Δl_f = 每一單位長度之脹縮量 (自由脹縮)。

例如，25m 長的軌條， $\Delta t = 1^\circ \text{C}$ 所引起之軌條長度變化為

$$\Delta l_f = \alpha l \times \Delta t = 0.000011 \times 1 \times 25 = 0.275 \text{ mm}。$$

當溫度差為 40°C 時，則其脹縮度為

$$0.275 \times 40 = 11.00 \text{ mm}。$$

這是過去以及現在考慮在鋼軌節縫內預留隙縫所根據的計算公式。很明顯，這個公式並未計及任何外在的鎖定作用（道釘及接縫板對制止鋼軌移動所起的作用），但是這些作用是存在的，而且這些作用隨着鋼軌長度的增加而擴大。

(2) 軌道結構對鋼軌脹縮的影響：

考慮軌道結構對鋼軌脹縮的鎖定作用，是連續長鋼軌解決鋼軌脹縮問題的基础。

如在鋼軌兩端施以外力不許鋼軌在溫度變化條件下伸張或短縮，則鋼軌兩端所引起的溫度應力為：

$$s = E \delta = E \cdot \Delta l_f = E \cdot \frac{\Delta l_f}{l} = E \alpha \Delta t \dots \dots \dots (2)$$

在式中，

δ = 單位應變，

s = 單位應力， kg/cm^2 ，

$\alpha = 0.000011$ ，

E = 彈性係數 $= 2,100,000 \text{ kg/cm}^2$ 。

以 E 及 α 之值代入 (2)：

$$s = 23.1 \Delta t (\text{kg/cm}^2)。$$

這個算式表示鋼軌內部的溫度應力，除了鋼軌應該負荷的車輪動力以外，它是附加的應力；也就是說，當溫度變化為 1°C 時，在鋼軌內部為了抑制鋼軌脹縮所引起的溫度應力

是 23.1kg/cm^2 。如果鋼軌的敷設是在平均溫度的條件下，最大的溫度差不超過 25°C 時，則鋼軌內部最大的溫度應力（壓應力或張應力）應為：

$$25 \times 23.1 = 577.5\text{kg/cm}^2。$$

倘若溫度差超過了這個度值，則溫度應力隨之增大。例如鋼軌在 60°C 時敷設，冬季的最低溫度為零下 20°C ，在這個情況下的溫度應力為

$$80 \times 23.1 = 1848\text{kg/cm}^2。$$

這裡可以明確指出，這個溫度應力之消長，它與鋼軌長度並沒有任何關聯。

倘如 $\Delta t = 80^\circ\text{C}$ ，所用之鋼軌為 50kg ，其斷面積 $A = 64\text{cm}^2$ ，則鋼軌之每端所需制止鋼軌脹縮之力量為：

$$F = SA = 23.1 \times 80 \times 64 = 118,272\text{kg}。$$

在 10m 長的軌條下當枕木排列中心間距 $C = 55\text{cm}$ 時，每端之枕木數（即軌條一半長度範圍內之枕木數） $N = 5/55/100 = 9$ 根。為了制止鋼軌的脹縮活動，每根枕木必須平均負擔一種力量 T 來把鋼軌鎖定，其數值為：

$$T = \frac{F}{N} = \frac{118,272}{9} = 13,140\text{kg}。$$

這是一個相當大的數值。在一般的軌道結構中，道釘的鎖定力，不可能達到這樣大的數值。這就足以說明 12.5m 長的軌條在通常情形下，實際是可以伸縮無阻的。不過，問題的關鍵就在於軌條的長度：如果把鋼軌的長度加以延增，則鋼軌整體長度範圍以內之枕木數量相應地增加，因而每根枕木所需負擔的鎖定力，也就跟著減少。表1就說明鋼軌連續長度與每根枕木所需制止脹縮之鎖定力的關係，二者是反比消長的。

制止鋼軌脹縮每根枕木所需之鎖定力
(根據鋼軌內部的溫度應力 $= 118,272\text{kg}$)

表 1

10m長之鋼軌銲接根數	總 長 (公 尺)	每根枕木所需的鎖定力 (kg)
1	10	13140
2	20	6570
3	30	4380
5	50	2630
15	150	876
30	300	438
45	450	292
60	600	210

過去，因為沒有考慮到軌道結構對於鋼軌脹縮活動所起的影響，所以把鋼軌的脹縮當做完全是活動無阻的，因而鋼軌長度愈大，鋼軌的脹縮量也就必然增大，而兩端所應保留的空隙也就跟著愈來愈大，這是以往所以不敢採用長鋼軌的根本原因。

現在我們考慮到結構的作用，鋼軌的脹縮就不是自由無阻的了，而可以適當地加以制止，這是連續長鋼軌之穩定的理論基礎。

實踐證明，這種理論，是完全存在的。下面再作進一步的分析。

(A) 在不考慮軌端節縫有任何控制作用的條件下，鋼軌的脹縮量：

在這個條件下，鋼軌的節縫配件不起任何制止鋼軌活動的作用。

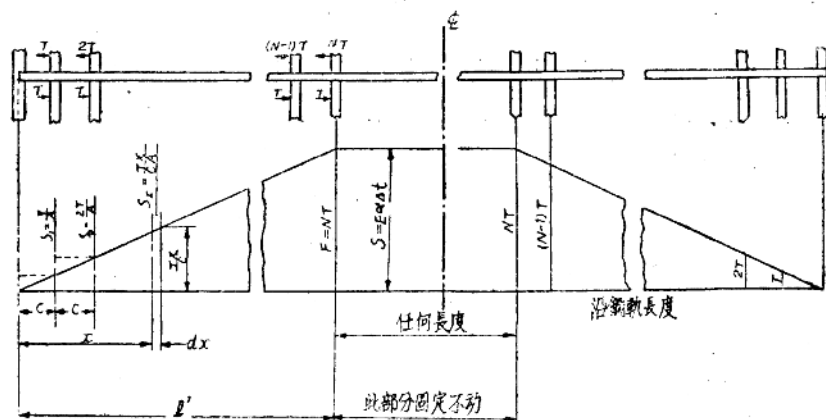


圖 1 接縫無外力限制下的鋼軌溫度應力分佈

圖 1 表示鋼軌內部溫度應力的分佈（不考慮接縫的任何作用）。

為簡化計，假定枕木對鋼軌發生制止作用的鎖定力是沿鋼軌長度上平均分佈的，就是說，每公分長度的鎖定力 $= T/C$ （公斤/公分）。在溫度上昇時，這種制止外力所須克服的為鋼軌內部的壓縮應力，反之，如溫度下降，就變為伸張應力。

照圖 1 所示情況來說，離軌端 x 長度之處，其枕木對鋼軌的鎖定力為：

$$S_x = \frac{T}{C} \times x \times \frac{1}{A} = \frac{T x}{C A} \dots \dots \dots (3)$$

同時假定在微小距離 dx 內 S_x 之值不變，照虎克氏定律：應力與應變成正比，無論其應變是由於那一種方式所引起，其基本公式為：

$$S_x = E \cdot \delta x = \frac{E(\Delta l)}{dx} \cdot dx$$

這個 S_x 應與公式 (3) 所得的 S_x 值相等，所以

$$S_x = \frac{E(\Delta l)}{dx} = \frac{T x}{C A} \dots \dots \dots (4)$$

由此式可以推求由於外力關係所制止的移動量為：

$$d(\Delta l) = \frac{T x dx}{C A E} \dots \dots \dots (5)$$

鋼軌的脹縮是向鋼軌的兩端發展的。為計算方便起見，以 $2l$ 代表一條鋼軌的全部長度，因此，鋼軌之每一端的脹縮是在鋼軌的一半長度 (l) 範圍以內發生的，也就是由鋼軌的長度中心分向兩端移動的。

以 Δl_r 代表在鋼軌溫度變化的影響下由於枕木扣著作用所制止的脹縮量，這個數值可以以把公式 (5) 積分以求之，以 $x=0 \sim x=l$ ：

$$\Delta l_r = \int_0^l \frac{T x dx}{C A E} = \frac{T x^2}{2 C A E} \bigg|_0^l = \frac{T l^2}{2 C A E} \dots \dots \dots (6)$$

經過這樣制止以後，鋼軌的脹縮度，如果沒有全部消滅，那末它已大大地小於鋼軌的

自由脹縮變了。在這個情況下，鋼軌的實際脹縮量為：

$$\Delta l = \Delta l_f - \Delta l_r = \alpha \Delta t l - \frac{T l^2}{2CAE} \dots\dots\dots (7)$$

如果一條鋼軌的長度很大，鋼軌兩端的活动範圍可以按照枕木鎖定力分佈的情況求出，以 l' 代表每一端的活动長度：

$$l' = \frac{E}{T/C} = \frac{(E\alpha\Delta t)A \cdot C}{T} \dots\dots\dots (8)$$

因此，一條長鋼軌之活动範圍為其兩端的 l' 長度，在 l' 長度以外，即長鋼軌之中段部分，即不發生任何移動，這個活动範圍稱之為發生脹縮變化的临界長度。

由圖 1 所示， l' 長度的意义已甚明显。依据模型實驗，以及从實驗觀測的結果，都証明了這種情況的存在。以公式 (8) 之 l' 数值代入 (6) 式，得出鋼軌端無任何控制外力作用的条件下所产生的鋼軌最大脹縮量為：

$$\Delta l'_{\max} = \frac{E\alpha^2(\Delta t)^2 AC}{2T} = \frac{\Delta l_f}{2} \dots\dots\dots (9)$$

根据以上演算結果，可以得出結論如下：

『一條銲接長鋼軌鋪於軌道中，在其兩端可以自由移動的条件下（即接縫無限制作用的条件下），其每端可能發生之最大脹縮量為其临界長度範圍以內的自由脹縮量之半數。』

由此可以推論，長鋼軌的兩端如其可以自由脹縮，則發生在其軌端之脹縮量，實際上与平常所用之标准長度的短鋼軌相似。這種脹縮量，沿軌條之縱向長度內進行，漸次減少，以迄临界長度之尽头而抵於零，超过临界長度之外，鋼軌即不發生任何移動。

由公式 (9) 所表示的意义，可見影响長鋼軌之最大脹縮量的因素如下：

- (1) 這種脹縮量的变化与鋼軌的全部長度無關；
- (2) 在相同的軌道上，這種变化与溫度差的平方成正比；
- (3) 在不同的軌道上，這種变化与每根枕木所發生的鎖定力成反比。

這些意見是為一系列的實際觀測所完全支持的。例如，根据德國鐵路長期使用長鋼軌的經驗指出：每一根 30 公尺的長鋼軌的脹縮量完全与 12 公尺長度的鋼軌一樣。又如美國 D. & H. 鐵路上在紐約 Mechanicville 地方對四根 854 公尺 (2800 呎) 長的鋼軌所作之長期精密的觀測所得出的實際变化，完全与上面公式 (9) 所計算的結果相符合。

這一個關於長鋼軌在軌道上發生脹縮活動的實際現象，為近代化鐵路使用長鋼軌創造了有利的条件。在鐵路工程的發展史上，這是一種富有革命意义的技術創造。

茲舉例以作進一步的說明：

例 1：設有長鋼軌， $\alpha = 0.000011$ 。

$$\Delta t = 55^\circ \text{C},$$

$$C = 55 \text{ cm},$$

$$T = 450 \text{ kg},$$

$$A = 64 \text{ cm}^2 (50\text{-kg 鋼軌}).$$

$$E = 2,100,000 \text{ kg/cm}^2.$$

試求長鋼軌的临界長度及其最大脹縮量。

解：依上述公式，

$$F = E\alpha\Delta t A = 81300\text{kg},$$

$$N = \frac{81300}{450} = 181\text{根},$$

$$\Delta l'_{\max} = \frac{E\alpha^2(\Delta t)^2 A O}{2T} = 3.040\text{cm}.$$

此所求得之最大脹縮量，將各在長軌之兩端的临界長度範圍之內出現。这个長度為 $2l' = \frac{181 \times 55 \times 2}{100} = 200$ 公尺，在長度大於 200 公尺的鋼軌，其超过这个長度以外的部分即不再發生脹縮活動，而是固定不動的。因此，長鋼軌的中間部分不論其長度為多少，對於其兩端在溫度影響下的脹縮量是毫無關係的，也就是說兩端的脹縮量总是不變的。

在長度小於临界長度的鋼軌（設如例題 1 之鋼軌長度為小於 200 公尺時），其实际脹縮量可用公式（7）求得如下：

$$\Delta l = 0.000605l - 0.0306(10^{-6})l^2 \dots\dots\dots (10)$$

由公式（10）所求得之临界長度以內各種鋼軌長度的計算脹縮量列如表 2。

由公式（10）所求得之計算脹縮量

表 2

長鋼軌的組成即 10M 鋼軌之銲接 根數	連續鋼軌 長 度 L (公尺)	由軌之一端至軌條一 半長度中點範圍以內 之枕木數量，N	Δl_f (公分)	Δl_r (公分)	Δl (实际脹縮量) (公分)
1	10	9	0.303	0.008	0.295
2	20	18	0.606	0.030	0.576
4	40	36	1.212	0.122	1.090
6	60	54	1.818	0.2740	1.544
10	100	90	3.030	0.760	2.270
15	150	144	4.545	1.710	2.835
18	180	162	5.454	2.460	2.994
20	200	180	6.060	3.020	3.040*
24	240	216	6.060	3.020	3.040
30	300	270	6.060	3.020	3.040

* 這就是 $\Delta l'_{\max}$ 。

由於最大脹縮量是與枕木對鋼軌的鎖定力 T 是成反比的，所以當 T 增大時，則 $\Delta l'_{\max}$ 勢必減小。在使用適當強度的軌道扣件時，可以將 T 提高到 2000 余公斤。現在假定以 $T = 2250$ 公斤，以代替本例題先前所用的 450 公斤，則同樣鋼軌之最大脹縮量將為以前所求得之結果的 $\frac{1}{5}$ （即 $3.04 \times \frac{1}{5} = 0.61\text{cm}$ ），同時，鋼軌之脹縮活動範圍亦隨之縮減，即 $l' = \frac{1}{5} \times 200 = 40$ 公尺，实际發揮制止作用的枕木數 N 將為 $181 \times \frac{1}{5} = 36$ 根。不过在这样大的枕木鎖定作用下，當鋼軌發生脹縮時，可以引起枕木本身在這渣中的移動，可按下述方法計算之：

設 H = 道床阻力模數，並假定每根枕木在道床中的移動是完全相等的。那末，由於鋼軌脹縮作用所帶動之枕木在道床中的移動所形成的鋼軌脹縮量，將為：

$$\Delta L_n = \frac{T}{CH} \quad \dots\dots\dots (11)$$

以 $T = 2250\text{kg}$,

$C = 55\text{cm}$,

$H = 360\text{kg/cm/cm}$ (實驗平均值)，代入公式 (11)，得

$$\Delta L_n = 0.112\text{cm}.$$

以此數與前所求得之脹縮量 0.61cm ，相加，得鋼軌之總脹縮量 $= 0.722\text{cm}$ 。

這就是說，在與前述例題相同的軌道條件下，無論鋼軌長度為 60m ， 120m 甚至 300m 或更大，其最大脹縮量將都為 0.722cm 。

從上面這個例題的情況來說，在枕木對鋼軌具有高度鎖定作用的條件下，一條長鋼軌之全部長度內所需要發揮制止作用的長度僅為 40 公尺，這就是說，在這個長度以內的軌道扣件及道床必須具備相應的強度，以滿足這種要求。情況雖然是如此，但軌道強度總仍以全部一律為宜。因為在軌道上，除了溫度變化以外，還有其他許多荷重及動蕩的因素存在「均勻的軌道強度」，是一切良好軌道所必須具備的基本條件。

以上所論，是以鋼軌端部可以自由伸縮（即軌端接縫配件不起任何控制鋼軌縱向移動的作用）的條件為其根據的；以下當再就軌端接縫配件具有對鋼軌縱向移動發揮直接限制作用的情況，加以討論。

(B) 在軌端節縫配件具有限制作用的條件下，鋼軌的脹縮量：

在節縫配件對鋼件對鋼軌脹縮活動具有直接限制作用的條件下，鋼軌內部溫度應力的分佈及其作用的情況示如圖 2。

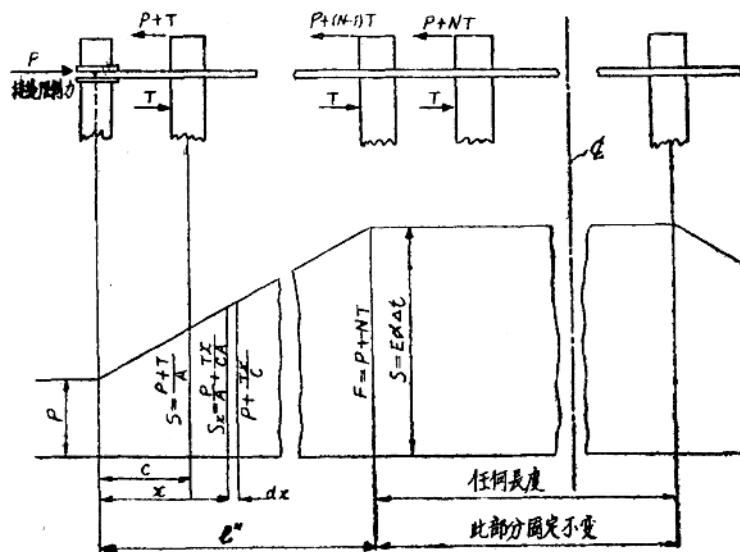


圖 2 接縫有外力限制下的鋼軌溫度應力分佈

圖 2 表示在节縫配件具有限制作用的条件下，鋼軌内部温度应力的分佈和前面 (A) 所分析的情况一样，

$$S_x = \frac{P}{A} + \frac{T_x}{\alpha A} \dots\dots\dots (12)$$

如公式 (4)，

$$S_x = E\delta x = \frac{Ed(\Delta l_r)}{dx} \dots\dots\dots (13)$$

由此得：

$$\Delta l_r = \int_0^l \frac{1}{E} \left(\frac{P}{A} + \frac{T_x}{\alpha A} \right) dx \dots\dots\dots (14)$$

$$\Delta l_r = \frac{Pl}{AE} + \frac{Tl^2}{2\alpha AE} \dots\dots\dots (15)$$

在鋼軌長度小於临界長度的兩倍时 (即 $l < \frac{C(F-P)}{T}$)：

$$\Delta l = \alpha \Delta t l - \frac{Pl}{AE} - \frac{Tl^2}{2\alpha AE} \dots\dots\dots (16)$$

临界長度 l'' ：

$$l'' = \frac{C(E\alpha\Delta t A - P)}{T} \dots\dots\dots (17)$$

以公式 (17) 之 l'' 代入公式 (16) 得

$$\Delta l_{\max}^* = \frac{C(E\alpha\Delta t A - P)^2}{2T\alpha AE} = \frac{C(F-P)^2}{2T\alpha AE} \dots\dots\dots (18)$$

(C) 从实地观测中，节縫板控制力 P 及枕木上道釘鎖定力 T 之推求：

从实地观测中推求 P 及 T 的步骤如下：

(1) 測定 Δl_1 ：在軌端受节縫板控制的条件下：由事先准备好的根据点測定軌端的移动量 Δl_1 ，以此測定时之温度与敷設鋼軌时的温度相較，求出温度差 Δt ，此即产生 Δl_1 的实际 Δt 。

(2) 測定 Δl_2 ：讓軌节自由伸縮以測定 Δl_2 ，即將节縫螺絲卸去，並將魚尾板加以松动，使軌节在完全可以自由縱向活动的情况下，以測定 Δl_2 ，这是在軌节不受任何外力限制的条件下所产生的移动量。

(3) 將所測得之 Δl_2 及温度差 Δt 值代入公式 (9)，或公式 (18)，以 $P=0$ ，来推求 T_2 。

(4) 將这样求得的实际值 T_2 ，实际温度差 Δt 及实际移动量 Δl_1 代入公式 (18) 以求 P ，得

$$P = F - \sqrt{\frac{2(\Delta l_1)T_2\alpha E}{C}} \dots\dots\dots (19)$$

这个算式还可以进一步簡化：即將具有根号之一項乘以 $\frac{\Delta l_2}{\Delta l_2}$ ，或乘以其相应值

$\frac{E\alpha^2(\Delta t)^2AC}{2T_2/\Delta l_2}$ ，得：

$$P = F \left(1 - \sqrt{\frac{\Delta l_1}{\Delta l_2}} \right) \dots \dots \dots (20)$$

由公式 (20) 可見在溫度總應力 F 的情況下，欲制止鋼軌的脹縮，必須在節縫處施以控制力 P ，這個力之大小，系與 F 成正比，或

$$P/F = \left(1 - \sqrt{\frac{\Delta l_1}{\Delta l_2}} \right).$$

上述公式 (9) 可以移項寫成如下之形式：

$$T = \frac{k(\Delta t)^2}{\Delta l'_{\max}} \dots \dots \dots (21)$$

在這個式中，

$$K = \frac{E\alpha^2 AC}{2} \dots \dots \dots (22)$$

這個 K ，稱之為軌道常數。

3. 銲接長鋼軌在國外之發展

為了減少節縫，各國鐵路對鋼軌的標準長度作過多次的修改。例如，美國鐵路最初的標準長度為30呎（9公尺）旋改為33呎（10公尺），現在則為39呎（12公尺）。

英國的標準長度由45呎而到60呎，現在則為90呎（27公尺）。現行的標準長度：蘇聯為12.5公尺，法國為24公尺，德國為30公尺，波蘭為30公尺，匈牙利為24公尺，日本為25公尺，我國為12.5公尺^①。可以說，各國都趨向於較長的標準。不過在銲接鋼軌問世以前，鋼軌的整體長度沒有超過30公尺。

銲接連續長鋼軌之應用，在於進一步消除軌道節縫。這個方法突破了一切限制鋼軌長度的常規，把標準長度的軌條在現場上加以銲接，使成為連續長軌。

鋼軌的銲接最初用之於電車軌道，這是遠在1915年以前的事。電車軌道是筑有路面的，路面對軌道起着掩護和穩定的作用。那時的連續長度達到150~210公尺（500~700呎）。1927年前後，德、法、及奧大利亞等處的鐵道幹線上最早採用了銲接的辦法，這是銲接鋼軌用於露天散體道床之上的開端。

德國當時的一般措施是將30公尺的軌條銲接成為60~120公尺的長軌。在法國的北方鐵路上，當時曾把15公尺的軌條銲接起來，使成為60公尺的長軌。在澳大利亞洲的維多利亞鐵路上，當時的銲接長度是60~78公尺（200~260呎）。

這些國家對銲接鋼軌之創造性的試用，所取得的初步經驗，奠定了應用連續長鋼軌的基礎。1933~1937年這一段時間內，美國的D. & H. 鐵路展開了在露天散體道床之綫路上採用連續長鋼軌的大規模試驗。主要的試驗有四处其中三處的情況列表3。

① 我國正在考慮提高鋼軌標準長度到25公尺的問題。

1933—1937年間D. & H. 鐵路試用銲接長鋼軌的情況

表 3

	Albany, N.Y.	Mechanicville N.Y.	Schenectady N.Y.
銲接軌連續長度	910公尺(2994呎) E.B.(東行綫) 810公尺(2660呎) W.B.(西行綫)	765公尺(2517呎) S.B.(南行綫) 765公尺(2519呎) N.B.(北行綫)	(單綫) 2140公尺(7018呎) (單綫)
銲接日期:	1933, 8—9	1934, 5	1935, 6—9
路綫情況:	曲綫及直綫	直 綫	曲綫及直綫
最大曲度:	7°—30 (R=764')	—	4° (R=1432.51呎)
坡 度	10%	3%	7%
鋼軌原來標準長度:	39呎	39呎	39呎
鋼軌類型:	130#(645kg/m)	131#(65kg/m)	131#(65kg/m)
銲接方法:	鋁鉄粉銲	鋁鉄粉銲	551—鋁鉄粉銲 70—电阻銲
銲道結構	M.&L.式扣件 双肩墊板, 枕木下道 渣厚度=14" 紅橡枕7"×9"×8'-6"	M.&L.式扣件 同左	M.&L.式扣件 同左
銲接單价: (美元)	\$19.53	\$19.12	鋁鉄粉銲: \$12.00 电阻銲: \$9.00
貨运强度:	12,104,000噸E.B. 4,285,000噸W.B.	3,000,000 N.B. 2,800,000 S.B.	9,000,000
運輸類別:	客貨混合	客貨混合	貨 运
綫路環境:	露 天	露 天	露 天
最大溫度差 (Δt)	125°F	125°F	125°F
有無爬引	無	無	無
最大軸重	26,800 #	40,000 #	40,000 #
敷設時之溫度 (大氣)	75°F	70°F	78°F
敷設時之溫度 (鋼軌)	不 詳	不 詳	不 詳

当Albany的長鋼軌敷設時, 虽然从理論上相信採用 M.&L. 軌道扣件的条件下, 可以基本上制止鋼軌的脹縮活動, 但因为过去對於这样長 (2700', 3000') 的鋼軌从来没有經驗, 所以为了防止意外, 曾在長鋼軌之一端設置活動式的膨脹節縫。

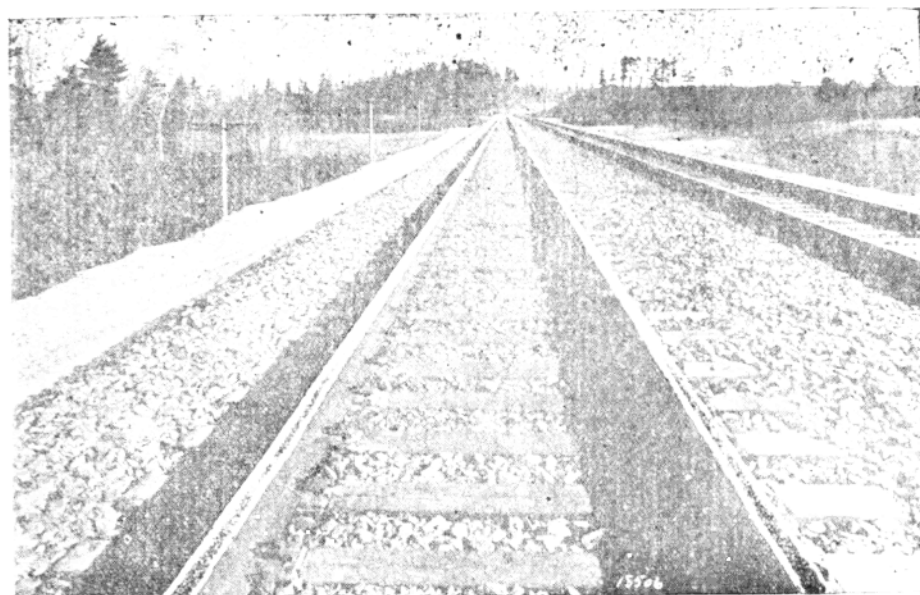


圖 3 鋪設長鋼軌的綫路
(在這段綫路上最長的鋼軌為2140公尺)

根据 Albany 的观测记录:

鋼 軌	日 期	鋼軌温度	节 縫 空 隙		鋼 軌 长 度 (公尺)
			北 端	南 端	
东 側	12'29'1933	5°F	5/16"	3/8"	910
	6/11'1934	95°F	0"	3'16"	
西 側	12'28'1933	5°F	5/16"	1/2"	910
	6'11'1934	95°F	0"	1'4"	

由此可見，在所观测的最大温度差条件下，节縫之最大空隙达到5/16"（即在5°F时，达到这个空隙）。同时根据 Schenectady 的观测，也証实了这样長的鋼軌，其脹縮的活动范围，沒有超过39呎鋼軌的活动量，在每一根枕木上，根本看不出鋼軌走动的跡象。

这是在这两个試点上根据观测所得出的关于長鋼軌在温度变化条件下的空隙变化情况。

同时根据 D.&H. 鉄路的經驗，当長鋼軌上的任何部分發生伤損时，其处理並無很大困难。在伤損时或断折所發生之处可以临时加上一付魚尾板，以便列車运行，然后将患处的鋼軌取下一截，易以良好的短軌，就地加以鉗接。在 Albany 的試点中，曾經發生伤損現象，就这样做过。

以上所介紹的是 D.&H. 鉄路試用長鋼軌的一部分經驗。当时採用鉗接鋼軌的在美国还有 Bessemer & Lake Erie 鉄路、北太平洋鉄路等等，但試驗的規模都沒有 D.&H. 鉄

路那样大。在其他許多国家中，1936年以前也进行过試用，其一般情况列如表 4。

1937年以前一部分国家試用銲接鋼軌的情况

表 4

国 家		始用年分	銲接長度	軌道結構	銲 接 方 法	备 註
德 国		1927	60m, 90m, 120m, 1936有一处 长达1000m	一小部分用 GEO 軌道結構其 余大部份为 普通軌道	(1) 鋁鉄粉銲 (2) 电阻銲	到1936年为 止德国共有 2500公里的 銲接軌道
匈 牙 利		1936 年以前	100~270m	普通軌道	(1) 鋁鉄粉銲 (2) 电阻銲	到1937年为 止共有 350 公里
法 国		1936 年以前	100m	普通軌道	(1) 鋁鉄粉銲 (2) 电阻銲	
埃 及		1936 年以前	36m	普通軌道	鋁鉄粉銲	1936年为止 有 1 公里
意 大 利		1936 年以前	36m	普通軌道	鋁鉄粉銲	
波 蘭		1936 年以前	不 詳	普通軌道	电弧銲	在华沙附近 有 200m 軌 道
澳 大 利 亞	New South Wales	1930 年以前	70m 110m 135m		鋁鉄粉銲	
	Victoria	"	72m	普通軌道	(1) 鋁鉄粉銲 (2) 电阻銲	
	South Australia	"	70m	普通軌道	电阻銲	
	Western Australia	"	60m	普通軌道	鋁鉄粉銲	

1937~1945年这一段时间是战争时期，直接受到战禍的国家非仅試驗工作不得被迫停頓，且已敷設的軌道也遭受到破坏。其他沒有直接受到战害的国家，則在繼續进行。1945年以后，以达目前为止，長鋼軌展开試用的地方更多了。例如：捷克敷設的銲接鋼軌長度已达1000公尺，波蘭的已达240公尺，法国的已达500~800公尺，日本的已达500公尺。所有这些国家，對於銲接長鋼軌的应用，已取得一定的成就。在德国，澳洲及美国等地应用的範圍則較过去更为扩大。

4. 鋼軌的銲接

由於軋鋼设备及鋼軌运输的关系，鋼軌出厂的長度是有一定限制的，因此連續長鋼軌的一个首先需要解决的基本問題是如何把短鋼軌銲接起来。

鋼軌是用对接的方式熔銲起来的。根据最近几十年来發展的經過，鋼軌銲接的主要方法有三种，鋁鉄粉銲，电阻銲及氧炔焰銲。电弧銲在近代工業中是一种重要的銲接方法，

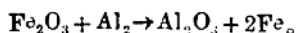
但在鋼軌銲接工作中，還沒有得到很好的成效。由於这个方法所完成的接点，其使用寿命比較起来很差，所以事实上早已很少在鋼軌銲接工作中使用。

茲將这三种現行的方法簡述如下：

A. 鋁鉄粉銲：

这是一个比較陈旧的方法，在各国鉄路上曾經广泛地被長期採用。

这个方法的原理是：鋁粉和氧化鉄粉在一起燃燒时，可得大量的高热。燃燒之后，鋁就能夺取氧化鉄的氧变为三氧化二鋁，使鉄还原。其反应式为：



在銲接鋼軌时，一方面利用 Al_2O_3 的热量来加热，靠压力把鋼軌接在一起，另一方面利用融鉄將鋼軌熔接起来。为了承受 Al_2O_3 和融鉄，一定要先做好鑄型。

这个方法的进行步驟，示如图 4，其步驟如下：

- ① 軌端加工修整；
- ② 使軌头緊貼，軌端對准；
- ③ 施以重压，將軌端压紧；
- ④ 鑄型及灌注器按裝妥當，进行熔銲；
- ⑤ 拆卸鑄型以后之銲接点。

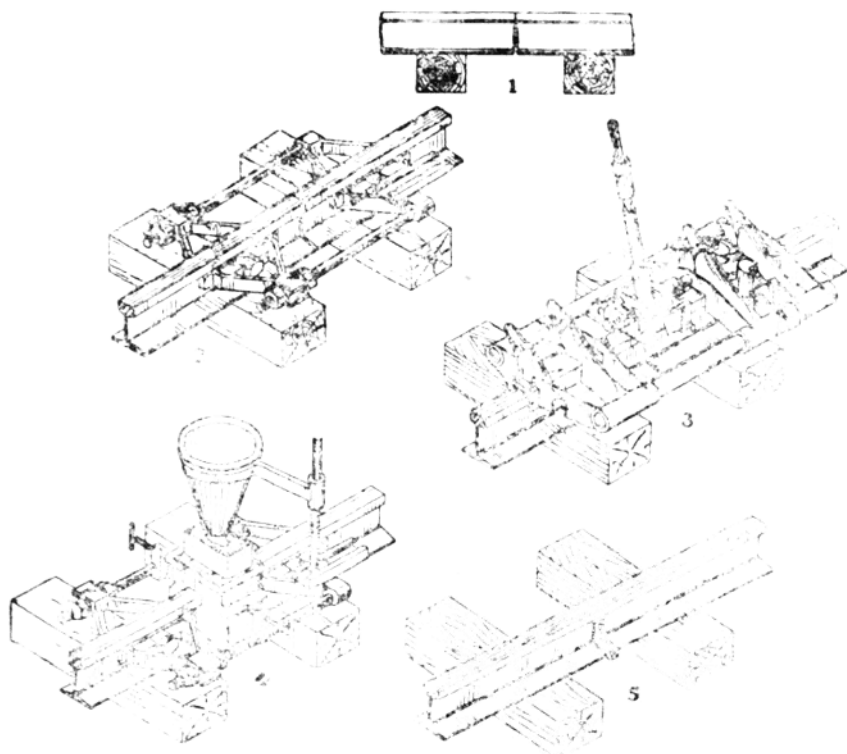


图 4 鋁鉄粉銲接法工作情况

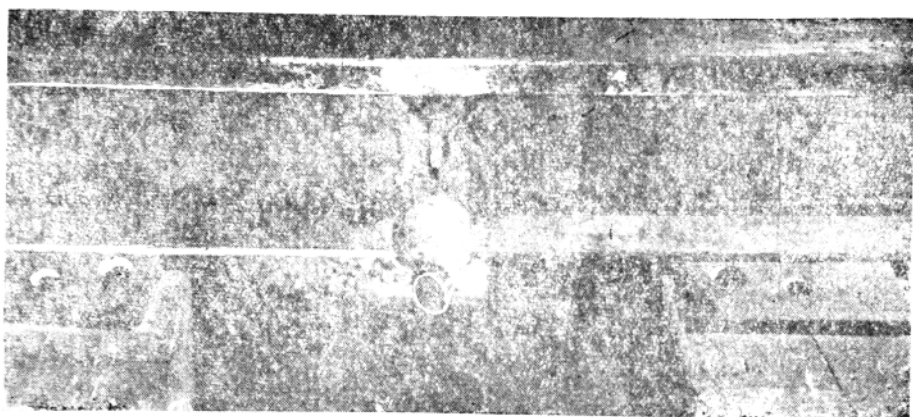


圖 5 鉛鉄法焊接以后的接点

B. 电阻焊:

电阻焊是利用电流通过电阻时的發熱原理，而將軌端加热到半流体状态，然后加以适当的压力，断絕电流，任其冷却，焊接即告完成。

鋼軌的焊接是采用电阻閃光法的。用这个方法焊接的情况示如图 6。

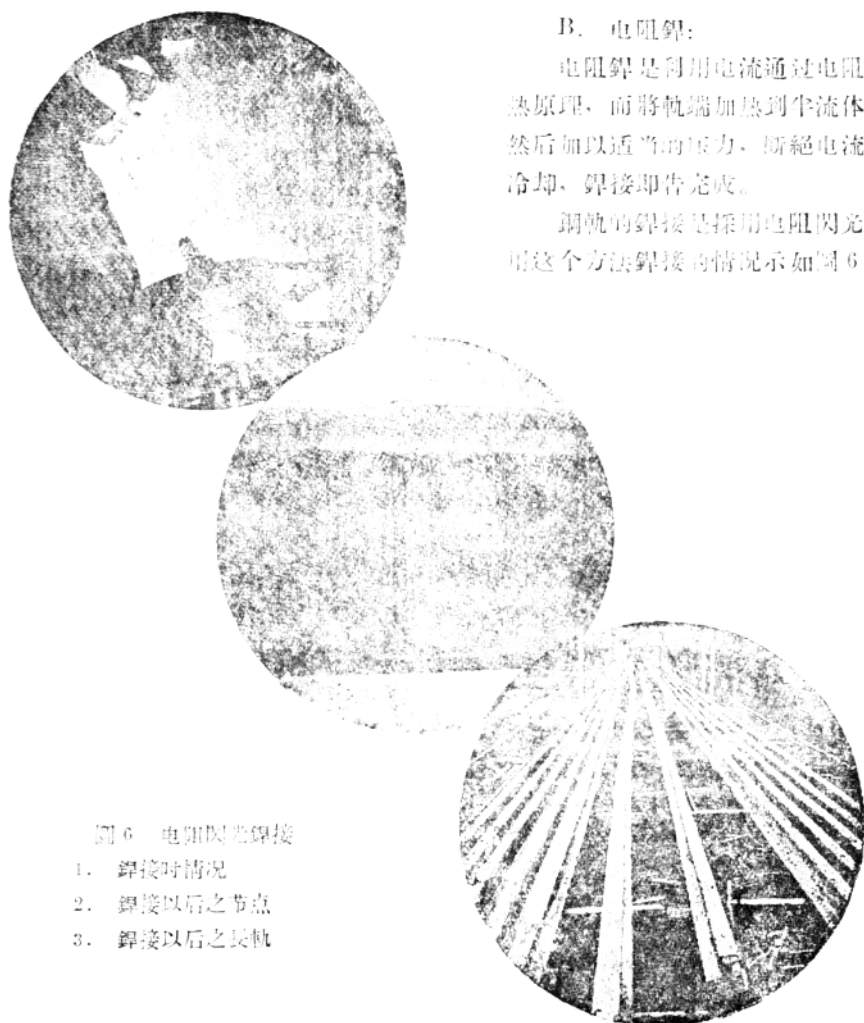


圖 6 电阻閃光焊接

1. 焊接时情况
2. 焊接以后之节点
3. 焊接以后之長軌