

Lecture #8

5.6 軌縫

一般鐵路軌道結構中，鋼軌藉扣件固定於枕木，枕木又藉道碴固定於路線上，因此，鋼軌的伸縮受到某種程度的拘限。若此種拘限力不足以抑制鋼軌的伸縮，則鋼軌與鋼軌間須預留適當的間隙，以吸收鋼軌的伸縮，防止鋼軌內部產生不正常的軸力，破壞軌道結構，危及行車安全。此種鋼軌與鋼軌間預留的間隙即為軌縫。

軌縫太大，易於冬季軌溫下降時，因鋼軌軸拉力太大而拉斷鋼軌接頭魚尾鉸或魚尾螺栓等；反之，軌縫太小，則夏季軌溫昇高時，將因鋼軌內部累積太大的軸壓力，而將軌道向側方推擠，造成軌道挫屈。

5.6.1 軌縫理論

如前述，軌縫兩項功用分別為：

- (1) 避免軌溫上昇時的軌道挫屈。
- (2) 避免軌溫下降時的軌道斷裂。

下面由此兩方面來探討適當的軌縫寬度。

1. 防止軌道挫屈所需的軌縫寬度

軌道為一種細長結構，受到相當大的軸向壓力後，可能產生側向位移，稱之為軌道挫屈。若鋼軌鋪設時預留的軌縫（設定軌縫）為 e ，鋼軌鋪設溫度為 t ，則軌溫上昇時的軌溫與軌縫關係示如圖 5-20(1)，說明如下：

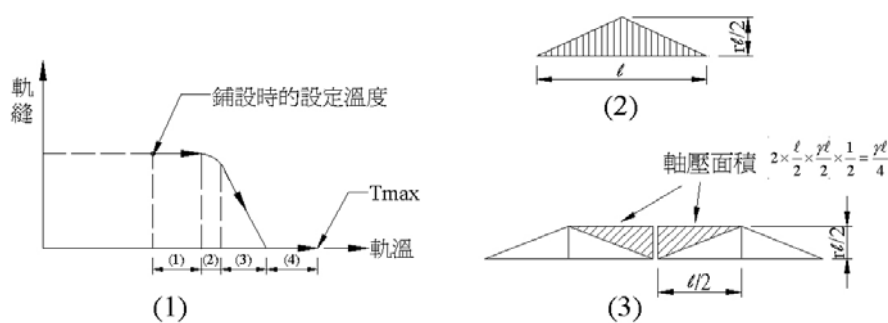


圖 5-20 軌溫上昇時軌縫、軸壓及軌縫減小量

- (1) 為魚尾鉸拘束力 R_f 的溫度換算值，等於 $R_f / EA\beta$ 。
- (2) 為鋼軌受道床縱向抵抗力 γ 拘限，產生軸向壓力，如圖 5-20(2)，其忍受限度的溫度變化量，等於 $\gamma l / 2EA\beta$ 。此溫度變化量造成的軌縫減小量為 $\gamma l^2 / 4EA$ ，示如圖 5-20 (3)。
- (3) 為軌縫自（預留軌縫 e ）－（②項軌縫減小量）縮小至軌縫 0 時的溫度變化量，

$$\text{其值為：} \left(e - \frac{\gamma \ell^2}{4EA} \right) \times \frac{1}{\beta \ell} = \frac{e}{\beta \ell} - \frac{\gamma \ell}{4EA\beta}$$

(4) 為 $t_{\max} - (t + \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3})$ 。上列式中

式中 R_f ：魚尾鉸拘束力 [F]

E ：鋼軌鋼楊氏彈性係數 [FL⁻²]

A ：鋼軌斷面積 [L²]

β ：鋼軌線脹係數 [T⁻¹]

γ ：道床縱向抵抗力 [FL⁻¹]

ℓ ：鋼軌長度 [L]

t_{\max} ：最高軌溫，超過此溫度即發生軌道挫屈。

若軌道的最低挫屈強度為 P_t ，則為防止軌道挫屈的極限式為：

$$P_t = EA\beta \left\{ t_{\max} - (t + \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3}) \right\} + R_f + \frac{\gamma \ell}{2}$$

即

$$P_t = \frac{\gamma \ell}{4} + EA\beta \left(t_{\max} - t - \frac{e}{\beta \ell} \right) \dots\dots\dots \text{(式 5-1)}$$

由上式可知防止軌道挫屈所需的軌縫與軌道挫屈強度 P_t 、鋼軌特性 $EA\beta$ 、最高軌溫 t_{\max} 、鋪設軌溫 t 、道床縱向抵抗力 γ 及鋼軌長度 ℓ 有關。

2. 防止軌道斷裂所需的軌縫寬度

軌道受到相當巨大的軸向拉力時，鋼軌接頭可能首先受拉斷裂；而鋼軌接頭斷裂又由魚尾螺栓的彎折變形開始。

設設定軌縫為 e ，鋼軌鋪設溫度為 t ，則軌溫下降時的軌縫與軌溫關係示如圖 5-22 (1)，圖中：

(1) 為魚尾鉸拘束力 R_f 的溫度換算值 $R_f / EA\beta$ 。

(2) 為鋼軌因受道床縱向抵抗力 γ 拘限，所能承受的軸向拉力，見圖 5-22(2)其溫度變化量 $\gamma \ell / 2EA\beta$ 。此溫度變化量造成的軌縫增大量為 $\gamma \ell^2 / 4EA$ ，示如圖 5-22 (3)。

(3) 為軌縫自（預留軌縫 e ）+（②造成的軌縫變化）增大至 e_{\max} 的溫度變化量，

$$\text{其值為：} \left\{ e_{\max} - \left(e + \frac{\gamma \ell^2}{4EA} \right) \right\} \times 1 / \beta \ell$$

(4) 為魚尾螺栓抵抗彎折變形抗力 R_b 的溫度換算值 $R_b / EA\beta$ 。

由圖 5-22(1)知，防止軌道斷裂的極限式為：

$$t - t_{\min} = \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4}$$

$$e_{\max} = e + \left(t - t_{\min} - \frac{R_f}{EA\beta} - \frac{R_b}{EA\beta} - \frac{\gamma \ell}{4EA\beta} \right) \cdot \beta \ell \dots\dots\dots \text{(式 5-2)}$$

式中 t_{\min} ：最低軌溫，軌溫再低即發生軌道斷裂現象。

e_{\max} ：鋼軌接頭的容許最大裂縫寬度。

由上式知防止軌道斷裂所需的軌縫與容許最大軌縫寬度 e_{\max} 、鋪設溫度 t 、最低軌溫 t_{\min} 、魚尾鉸拘束力 R_f 、魚尾螺栓抵抗力 R_b 、鋼軌特性 $E\alpha\beta$ 、道床縱向阻力 γ 及鋼軌長度等有關。

鋪設鋼軌時，預留軌縫若在(式 5-1)及(式 5-2)之間，則軌道可不因鋼軌溫度上升而挫屈，也不致因鋼軌溫度下降而斷裂，故應屬安全。

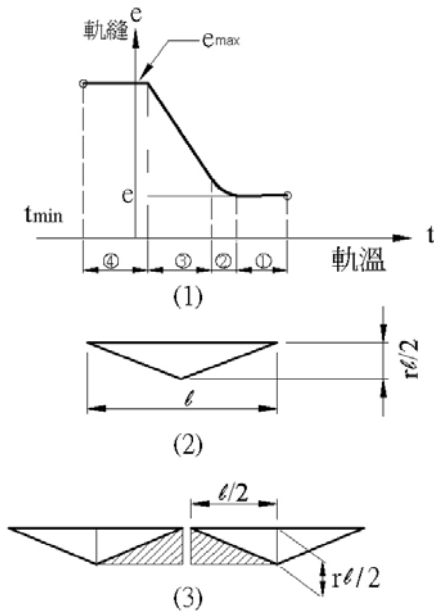


圖 5-22 軌溫下降時的軌縫、軸壓及軌縫增大量

3. 理論公式應用例

一般採用 50N 型鋼軌及雙重彈性扣件的軌道，當曲線半徑 R 等於 600 公尺，道床橫向抵抗力 $g = 400 \text{ kg/m}$ ，縱向抵抗力 $\gamma = 1.5 \times g = 600 \text{ kg/m}$ 時，軌道挫屈強度加 20% 餘裕 P_i 約為 $61t$ 。鋼軌接頭的最大軌縫 $e_{\max} = 15.3 \text{ mm}$ 。當魚尾螺栓以 $5,000 \text{ kg-cm}$ 的扭力扭緊後，魚尾鉸的拘束力 R_f 約為 $19.3t$ ，而魚尾螺栓的抗彎力 R_b 為 $3.6t$ 。50N 鋼軌的 $E\alpha\beta = 1.54 \text{ t/}^\circ\text{C}$ ， $\beta = 11.4 \times 10^{-6}$ 。若最高軌溫 $t_{\max} = 60^\circ\text{C}$ ，最低軌溫 $t_{\min} = -10^\circ\text{C}$ ，每一根鋼軌長度 ℓ 為 50m，則由(式 5-1)得防止軌道挫屈的極限式為：

$$e = -0.57t + 14.4 \quad \dots\dots\dots \text{(式 5-3)}$$

由(式 5-2)得防止軌道斷裂的極限式為：

$$e = -0.57t + 20.8 \quad \dots\dots\dots \text{(式 5-4)}$$

日本自 1960 年 5 月起採用的設定軌縫公式為：

$$e = -0.57t + 18.8 \quad \dots\dots\dots \text{(式 5-5)}$$

比較(式 5-3)、(式 5-4)、及(式 5-5)知日本採用的設定軌縫在(式 5-3)、及(式 5-4)所示的上下兩極限間，如圖 5-23 所示。對軌道挫屈及斷裂各有 4.4 mm 及 2 mm 餘裕，換算為溫度分別為：

$$\frac{4.4}{0.57} = 7.7^\circ\text{C} \quad \text{及} \quad \frac{2}{0.57} = 3.5^\circ\text{C}$$

以台灣鐵路的鋼軌長度 $l = 25\text{ m}$ ，最低軌溫 $= 0^\circ\text{C}$ 言。預留軌縫應在(式 5-6)、及(式 5-7)之間，若 $l = 50\text{ m}$ ，則(式 5-6)、及(式 5-7)之係數值分別為括號內數字。比較 $l = 25\text{ m}$ 及 50 m 之情形知道兩者之極限值差異甚大，因此；軌縫標準亦應不同。

$$(-0.57) \quad (14.4)$$

$$e = -0.285t + 6.5 \quad \dots\dots\dots (式 5-6)$$

$$e = -0.285t + 20.2 \quad \dots\dots\dots (式 5-7)$$

$$(-0.57) \quad (26.5)$$

5.6.2 軌縫變化

隨著軌溫的昇降，軌縫大小變化如圖 5-24 所示，呈一迴圈狀，迴圈上各點的軸壓、溫度變化及軌縫變化如表 5-3 所示(請參閱課本)。

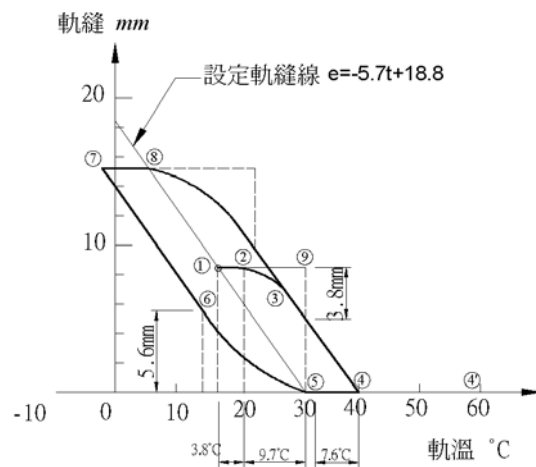


圖 5-24 軌縫變化迴圈

5.7 長軌

5.7.1 長軌總論

由於鋼軌製造、搬運、裝卸、養路作業等需要，鋼軌出廠的標準長度多在10~40公尺間。因此，軌道每隔10~40公尺即有一鋼軌接頭。但鋼軌接頭為軌道結構的最大弱點，受高速行駛列車的巨大衝擊，極易下沉、鬆動而變形弱化。為強化軌道結構，有取消鋼軌接頭的必要。往昔咸認為鋼軌溫度伸縮與其本身長度成比例；鋼軌長度太長，必增大伸縮量，須靠鋼軌接頭的軌縫來吸收此種伸縮量。但軌縫太寬，將嚴重影響行車安全及乘車舒適感，因此，無法取消鋼軌接頭。

近年研究及實證發現：將道碴、枕木、鋼軌、鋼軌扣件視為軌道整體結構，利用軌枕及道碴阻力控制其伸縮，則鋼軌伸縮僅發生於兩端各約 100 公尺範圍內，中間部份則為不動區間；鋼軌長度超過 200 公尺，即無論超過多少，其伸縮量並無變化，於是而有焊接鋼軌的出現。

焊接鋼軌長度超過在最大溫度昇降變化下，其中央部份有不動區間者，稱為連續焊接鋼軌（continuous welded rail）簡稱長軌（long rail），一般以 CWR 表示。

5.7.2 長軌理論

1. 鋼軌溫度伸縮

鋼軌長度會隨軌溫昇降而增減。鋼軌溫度與大氣溫度有關。夏季鋼軌因受太陽輻射熱的關係，通常軌溫較大氣溫度約高 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ 。冬季低溫時大氣溫度與軌溫大約相同。

鋼軌溫度變化，以一天溫度變化為小週期，隨季節遷移為大週期。由測定可知鋼軌溫度約與大氣溫度成比例，但也受當時的晴曇、時刻、季節、風速及地形所支配。

一般出廠長度鋼軌受溫度變化，將其魚尾鉸解開，其自由伸縮量幾近理論數值，即鋼軌長度變化與鋼軌鋼（rail steel）的線脹係數 $\beta (=1.4 \times 10^{-6})$ 成比例，但受軌道連結裝置、道床抵抗力大小影響。

鋪設鋼軌長度超過 50m 以上時，其伸縮受鋼軌與墊鉸間之摩擦力及枕木在道床中移動時的道床阻力拘束，難以自由伸縮。因此較長的鋼軌，其隨溫度變化伸縮僅發生在兩端 50~100m 範圍內。為扼要說明長軌的伸縮情形，請參考下述實驗：

- (1) 用枕木尺寸 15 分之 1 的木片以間距 5cm 排列，將橡膠帶釘牢於上，構成一軌框模型，木片代表枕木，橡膠帶代表鋼軌。圖 5-28 示在空中由兩端拉開的狀況，此時橡膠帶因無伸縮阻力，木片間距等距延伸。

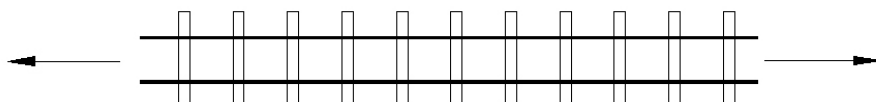


圖 5-28 長軌理論模型（自由伸縮）

- (2) 圖 5-29 係將軌框模型擺在粗糙桌子上，由兩端拉開的情形。此時枕木底面與桌面的摩擦力相當於道床阻力，可阻止橡膠的延伸，致兩端延伸較大，中央部份則保持未受張力前之間距而全無延伸，形成了所謂不動區間。

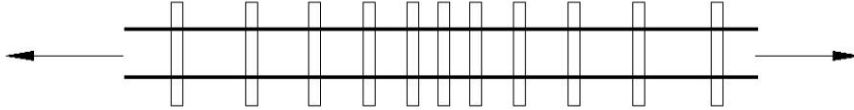


圖 5-29 長軌理論模型（受道床抵抗而延伸）

- (3) 於空中拉開軌框模型，再置於粗糙桌面後任其收縮，則如圖 5-30 所示，中央仍形成不動區間，只有兩端收縮。

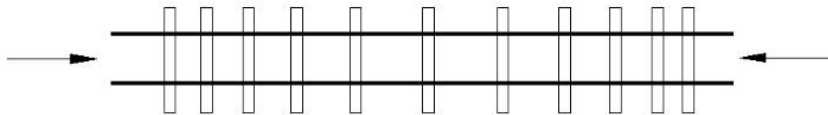


圖 5-30 長軌理論模型（受道床抵抗收縮）

2. 長軌不動區間

鋼軌中央部份不受軌溫變化影響，全年無伸縮的區間稱為長軌不動區間。不動區間之長度，隨道床阻力與溫度變化大小而異。一般鋼軌長度至少需在 200 m 以上，才有不動區間存在，如圖 5-31 所示。

3. 長軌兩端伸縮量

超過 200 m 以上的長軌，其伸縮部份仍限於兩端 $50\sim 100\text{ m}$ 範圍內，其伸縮量與鋼軌長度無關，乃依溫度變化及縱向道床阻力而決定。日本星野博士曾分析長軌伸縮理論值並經 1941 年以 200 m 長的軌道試驗證實。依其理論公式，長軌兩端伸縮量如圖 5-32 示。可見 200 m 以上長軌，其兩端的伸縮量與無限長的長軌之情形幾乎相等。長軌兩端的伸縮量雖然不大，但標準軌的接頭最大軌縫僅有 15 mm ，難於容納伸縮量，有使用伸縮接頭或緩衝軌的必要。

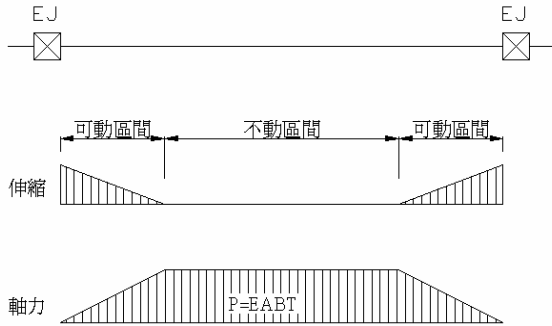


圖 5-31 長軌不動區間

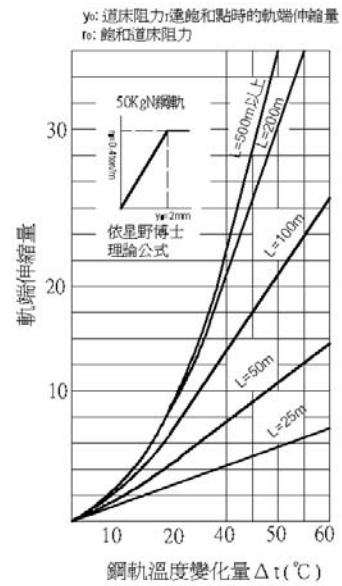


圖 5-32 溫度變化與軌端伸縮關係

4. 軌溫變化與軸力

溫度變化時，鋼軌如不受特殊阻礙，則由線膨脹係數支配其伸縮；然在縱向道床阻力阻止下，其受阻伸縮量則成為壓力或張力，蘊藏在鋼軌內形成為軸力。鋼軌自由伸縮量可依下式計算：

$$l = L \cdot \beta \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots (式 5-9)$$

- 式中 l ：伸縮量
 L ：鋼軌長度
 β ：線膨脹係數 (11.4×10^{-6})
 Δt ：溫度變化量

再由前述軌框模型說明溫度變化與軸力及伸縮的關係：先將軌框模型懸空拉開後，擺在桌上緩慢放手。枕木底面及桌面間之摩擦力可阻止橡膠縮短，使中央部份完全沒有縮短並蓄有當初在空中時所受張力。兩端附近枕木則向中央移動，兩端枕木的移動量最大。此因靠近端部橡膠拉力遞減，兩端之拉力最小。此和長軌溫度下降至低於鋪設溫度時之情形相似，溫度及伸縮量與鋼軌軸力之關係如圖 5-33。

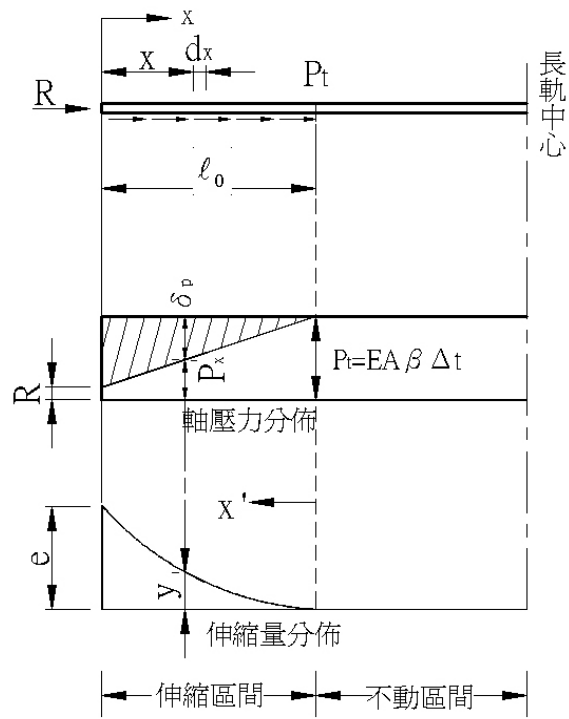


圖 5-33 鋼軌軸力與伸縮量分佈圖

5.7.3 伸縮接頭與緩衝軌

長軌兩端之伸縮量比標準長度鋼軌之伸縮量大，但長度在 200m 以上者其伸縮量大致相同。一年當中長鋼軌因溫度變化關係至少有 30 ~ 40mm 伸縮，此伸縮量實非普通接頭所能處理。作為長軌與長軌或長軌與標準長度鋼軌之接續，為處理 30mm 以上伸縮，一般採用的方法有：(1)伸縮接頭(2)緩衝軌。

1. 伸縮接頭

長軌兩端使用伸縮接頭吸收伸縮量的方法始自法國國鐵，日本及台鐵於實施長軌化即採用伸縮接頭，安裝在長軌兩端，儘量使軌距無變化，且給予車輪轉移之際無衝擊發生，並吸收全部的伸縮量。

伸縮接頭由於構造上不像緩衝軌具有相當於接頭阻力之摩擦阻力，故使用伸縮接頭時，長軌兩端所發生的伸縮量比裝緩衝軌大，接頭附近枕木的移動量亦較大。但因伸縮接頭有足夠的容許伸縮量，縱然鋼軌發生爬行等異常伸縮，仍無魚尾螺栓彎曲或折斷之虞。日本國鐵及台鐵所採用伸縮接頭之摩擦阻力約 200 ~ 250kg。

伸縮接頭依構造分為三大類型圖 5-50 (a)式兩頭鋼軌由 A、B 點向軌距內外做直線的彎曲，內軌順外軌所彎曲角度並將其削削如尖軌，日本及台鐵均採用此型。該構造頗易使車輪順利轉移，如對傾斜部份加工完善，則無車輪衝擊發生，惟隨著鋼軌伸縮有軌距變化，若為保持軌距不變，則因伸縮關係兩鋼軌間有發生隙縫 (gap) 的缺點。

圖 5-50 (b)構造係將一根鋼軌依曲率作彈性向外彎曲，另一根鋼軌則按其曲率削尖，此型軌距與伸縮量無關，常成定值，彎曲軌時常對尖軌作彈性壓擠，故兩鋼軌間無隙縫發生為其優點。

圖 5-50 (c)概不使用圖 5-50 (a)及圖 5-50 (b)的尖軌，於削成鈍端的兩軌間，另輔以第三根短軌做接長的構造。該型因無削尖的傾斜部份，雖可縮短伸縮接頭的長度，但為使輪緣不致撞觸空缺部份起見，則需在其對側裝設護軌。且常有內外軌的伸縮接頭位置不一致的缺點等。

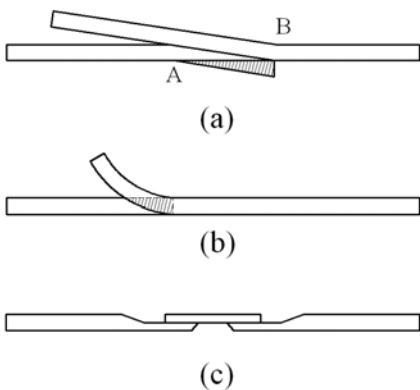


圖 5-50 伸縮接頭構造

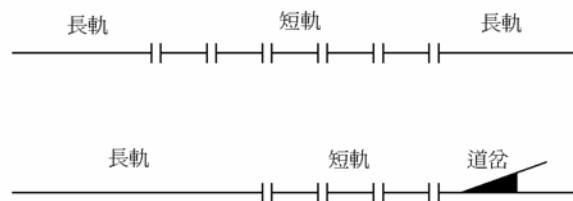


圖 5-51 緩衝軌標準配置圖

2. 緩衝軌

處理焊接長軌的伸縮，不使用伸縮接頭或其他特殊構造的接頭，而使用三根或三根以上普通鋼軌，以其接縫變化緩和長軌伸縮，此情況下所鋪設的標準鋼軌或短軌，稱為緩衝軌。如圖 5-51。

日本國鐵以往使用過緩衝軌處理長軌伸縮，嗣經顧慮長軌異常伸縮及爬行，自 1956 年起多改用伸縮接頭；惟如在溫度變化較小或因地制宜不計劃在該長軌兩端繼續鋪設長軌或無鋼軌爬行之虞的地段，使用緩衝軌較諸鋪設伸縮接頭經濟。

3. 絕緣接頭

連續焊接長軌區間，每逢號誌或平交道地點悉需裝置絕緣接頭分隔電路，此種絕緣接頭強度須足以承受長軌巨大軸力。近年來化學樹脂頗為發達，遂有膠接絕緣接頭（insulated glued joints）的出現，常用者可分二大類①polyester resins、②epoxy resins。前者施工風雨無阻，後者初凝亦快，一旦凝固質如鋼鐵，適用範圍甚廣。樹脂的功用在固定接頭的活動部份，確保接頭的固定，使此種絕緣接頭的魚尾鈹及魚尾螺栓等零件與鋼軌連結成一剛性結構，接頭強度幾乎與一般鋼軌無異，故可承受長軌內的巨大軸力。

5.7.4 長軌焊接方法

長軌焊接方法大別為 1.瓦斯壓接法、2.閃電對頭焊、3.封閉式電弧焊及 4.熱劑焊接四大類。就施工的機動性及簡易性，以及品質的可靠性言，四類方法各有其優點與缺點。實際應用時，可依施工場地、時間等情況採取適當方法。各種焊接方法說明如下：

1. 瓦斯壓接法 (gas pressure welding)

瓦斯壓接法是將兩根鋼軌接口對合壓緊，再以瓦斯火焰加熱接口，軟化鋼軌，而使兩根鋼軌接合成一根。

瓦斯壓接法與它法不同點在鋼軌加熱溫度只達 $1,300^{\circ}\text{C}$ ，尚未達鋼的熔融點，因此接口強度接近鋼軌本身（稱母材）強度，品質極佳。

初期的瓦斯壓接機械設備笨重，必須在工廠或臨時焊接基地施工；近年已有小型設備，總重量只約 450 公斤，大大提高瓦斯壓接作業的機動性。

2. 閃電對頭焊 (flash butt welding)

將兩根鋼軌接口輕輕對合，並分別接上大電流的正負極。重複開通再切斷電源，利用電阻加熱鋼軌，並產生火花，至鋼軌接口達熔融狀態後，順鋼軌軸向加上衝擊壓力，使鋼軌接合成一體。

閃電對頭焊機械設備十分精密，且為全自動，因此甚省人工，又可達到極高的品質，目前深受各國喜愛。但因控制系統複雜，一但故障，檢修及停工損失極大。

以往使用閃電對頭焊設備十分龐大，必須具備固定廠房。近年已有可搬動的小型機器問世，提高此法的機動性。

3. 封閉式電弧焊 (enclosed arc welding)

鋼軌與焊條通上直流電，使產生電弧，電弧熱量熔化焊條，將鋼軌熔接。本法機動性大，適於工地現場焊接，但工作人員的技術影響品質極大。

4. 熱劑焊接 (aluminothermic welding)

熱劑焊接法源自德國，乃根據氧化鐵與鋁作用，還原為鐵的原理。

此種化學反應極強烈，同時發生大量反應熱，使反應產生的鐵達熔融狀態，理論上溫度約達 $3,100^{\circ}\text{C}$ 。反應產生的氧化鋁及其他添加劑稱為爐渣，比重較輕，浮在熔融鐵上層。反應完成後，將熔融鐵導入鋼軌接縫處預先裝妥的鑄模內，硬化後將兩根鋼軌溶接。

熱劑焊接法機動性高，不需龐大設備，且在工地施工費時甚短，唯其可靠性較差。晚近加以改良，可靠性增高，頗受歡迎。

5.7.6 隧道內長軌

1. 隧道環境及氣溫

隧道內鋼軌，往往因漏水、煤煙、散砂等等不良條件綜合造成腐蝕，壽年顯較隧道外一般路線之鋼軌為短。又隧道內由於照明、工作空間、列車待避等等關係，維修困難，因此取消隧道內鋼軌接頭遠比一般路段迫切。

日本國鐵隧道的長鋼軌比一般軌道早先施鋪，通常隧道長度在500m以上均儘量長軌化，以期減輕路線養護工料費用。

隧道內的氣溫，受隧道長度、風向及地熱影響，通常全年的溫度變化甚小且頗穩定(-5°C~30°C之間)，故隧道內長軌的軸力及伸縮量亦小。

2. 隧道內之鋼軌伸縮及軸力

隧道內之鋼軌溫度較一般區間變化小，因此長軌鋪設條件之伸縮量或軸力亦小，故軌道構造、鋪設規定及養護限制，不必按一般軌道之長軌處理。

以上所謂隧道內長軌，係指在隧道內單獨鋪設長軌。倘長軌只部份在隧道內，則其伸縮及軸力就相當複雜。

隧道位於長軌不動區間的情形，由於隧道內外溫度差別，長軌中央部份依然發生伸縮，從而產生鋼軌軸力之變化。

如隧道位於長軌伸縮區間，不僅伸縮區間之長度延長，伸縮量及軸力變化亦變複雜。此情形之異常伸縮量及軸力，比隧道外長軌小，所以本身雖然不成問題，仍屬鋼軌異常伸縮，故除短隧道外儘可能避免之。

總之，隧道長度在100m以上者，即宜單獨鋪設長軌。再者，宜儘量避免隧道外之長軌端鋪入隧道內。

3. 隧道內長軌構造

隧道內鋪設長軌，首需軌枕PC化、石碴碎石化，以確保必要的橫向道碴阻力，同時為阻止鋼軌與軌枕間的滑動，採用彈性扣件或防爬器，形成鋼軌之伸縮最小的結構。

隧道內軌溫變化小，軌材腐蝕加速，應避免使用易於腐蝕的扣件、螺栓及軌枕。

對於隧道內長軌之軌道構造應注意下列各點：

- (1) 100m以上隧道長軌化時，最好單獨鋪設。
- (2) 不必硬性規定採用PC枕及碎石道床，但在二級線，曲線半徑600公尺以上之路線，其環境良好，鐵件不易銹蝕，且非撒砂區間，採用PC枕較有利，但於直流電化區間為防電蝕，應避免採用PC軌枕。
- (3) 隧道內長軌之兩端不應鋪出隧道口，又鄰近隧道口之鋼軌如非長軌時，則無鋪設伸縮接頭必要，也不必考慮緩衝鋼軌。
- (4) 隧道內溫度變化範圍在鋪定溫度±20°C以內。
- (5) 長軌之長度並無限制，同一長隧道內有因漏水頗易腐爛之處，或頹損致壽年較短關係，須儘量使用重軌。

- (6) 隧道內長軌的連接軌材須用經熱處理者。
- (7) 應避免鋼軌發生爬行，故在連續焊接長軌兩端各 50 公尺範圍內，裝設充足之防爬器，俾伸縮量達到最低限度；在中間部份應儘量平均大量裝設防爬器，防止鋼軌裂損時之裂縫擴大。
- (8) 為考慮經濟，長軌宜避免鋪設於半徑不滿 800 公尺之曲線地段。
- (9) 隧道內之道碴應填至軌枕上面，道碴肩寬須在 300 公厘以上。

5.7.7 長軌鋪設條件與鋪定溫度

1. 長軌鋪設條件

並非任何路線地段均可鋪設長軌，鋪設長軌須注意下列各點：

- (1) 曲線
 - ①. 一般區間：曲線半徑在 800m 以下的路線，其鋼軌磨損較劇烈應避免鋪設長軌。倘為提高行車速率，道碴橫向阻力良好者，可酌予放寬到 600m。
 - ②. 隧道內之長軌，限鋪設在曲線半徑 800m 以上地段。
 - ③. 反向曲線，連續成為一根長軌者，其半徑應在 1,500m 以上。
- (2) 坡度變更點之豎向曲線半徑應在 3,000m 以上。
- (3) 隧道內長軌
 - ①. 一般區間內之長軌，不宜延伸入與一般路段自然條件不同之隧道內。
 - ②. 隧道內長鋼軌，限鋪設在隧道內部全年溫度變化甚小地段。
- (4) 橋樑：原則上橋長 25m 以上無石碴地段之橋樑不鋪長軌。
- (5) 路基：務須堅固，如排水不良或噴泥者應先改善，若路盤軟弱不便換土，宜力避長軌化。
- (6) 爬行：鋼軌爬行顯著地段，不得鋪設長軌。蓋伸縮接頭對鋼軌爬行僅有 30 公厘之處理能力，如爬行量超過設計範圍，則該長軌須重行鋪定。
- (7) 鋼軌損壞：鋼軌易受車輪空轉損壞或成波狀磨損等地段應避免鋪設長軌。

目前各國皆在研究突破限制條件，擴大長軌鋪設範圍，以提高乘車舒適感，全面長軌化將指日可待。長軌鋪定溫度係指於軌長適當時切斷鋼軌，並扣緊長軌扣件時的軌溫。

長軌鋪定溫度之決定須使：夏季軌溫升到最高溫仍不發生軌道挫屈 (buckling)，冬季軌溫降到最低溫仍不發生鋼軌斷裂 (fracture) 為原則。

5.8 鋼軌爬行（rail creepage）

鋼軌受壓即陷下，車輪前方則稍為浮起。因此隨著列車的前進，軌道發生波狀運動。若鋼軌與枕木的扣緊不良，則鋼軌將向車行方向爬行；若鋼軌扣緊於枕木，則鋼軌連同枕木一起爬行。同時煞車與接頭之衝擊等亦會把鋼軌向前推。反之，上坡地段，動輪與鋼軌的摩擦力，將使鋼軌向後（向下）爬行。

爬行的主要原因是軌道的波狀運動，路基不良地段及列車進站煞車地段最易發生。

爬行影響鋼軌接縫的均勻分佈，擾亂枕木配列。欲防止爬行，須阻止鋼軌對枕木的相對移動及鋼軌與枕木的同時移動。前者可用防爬器（anticreeper）；後者可埋設短枕木截。為確保枕木間隔可以角鋼將數根枕木連結。兩軌中間無法埋設短枕木截時，亦可於路肩打樁，再以支材將枕木支住。

彈性扣件因扣緊力強，可充分防止爬行，故使用彈性扣件路線無需再加設防爬器等，但須改良道碴並加強砸道。

(insulated glued joints) 的出現，常用者可分二大類① polyster resins ② epoxy resins。前者施工風雨無阻，後者初凝亦快，一旦凝固質如鋼鐵，適用範圍甚廣。樹脂的功用在於固定接頭的活動部份，確保接頭的固定，使此種絕緣接頭的魚尾板及魚尾螺栓等零件與鋼軌連結成一剛性結構，接頭強度幾乎與一般鋼軌無異，故可承受長軌內的巨大軸力。

4. 長軌焊接方法⁽³⁾

長軌焊接方法大別為(1)瓦斯壓接法、(2)閃電對頭焊、(3)封閉式電弧焊及(4)熱劑焊接四大類。就施工的機動性及簡易性，以及品質的可靠性言，四類方法各有其優點與缺點。實際應用時，可依施工場地、時間等情況採取適當方法。各種焊接方法說明如下：

1) 瓦斯壓接法 (gas pressure welding)

瓦斯壓接法是將兩根鋼軌接口對合壓緊，再以瓦斯火焰加熱接口，軟化鋼軌，而使兩根鋼軌接合成一根。圖示如圖 5-50。

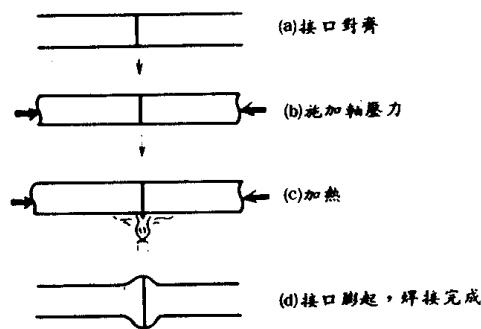


圖 5-50 瓦斯壓接法示意圖⁽³⁾

瓦斯壓接法與他法不同點在鋼軌加熱溫度只達 1300°C，尚未達鋼的熔融點，因此接口強度接近鋼軌本身（稱母材）強度，品質極佳。

初期的瓦斯壓接機械設備笨重，必須在工廠或臨時焊接基地施工；近年已有小型設備，總重量只約 450 公斤，大大提高瓦斯壓接作業的機動性。

瓦斯壓接法的施工次序如下：

- (1) 鋼軌接口研磨整修，

- (2) 接口對準靠密，
- (3) 加軸壓力（壓力大小視鋼軌種類而異），
- (4) 瓦斯火焰加熱至 $1200 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ ，
- (5) 接口逐漸受壓鼓起，至壓縮長度約達 24 mm 止，
- (6) 熄火但維持軸壓，鋼軌再壓縮 2 ~ 3 mm，
- (7) 停止軸壓，剪除鼓起鋼材，
- (8) 軌溫降至 600°C 以下後再加熱至 850°C ，
- (9) 矯正整直鋼軌，
- (10) 自然冷卻後，研磨整修軌面並詳細檢查焊接品質。

2 閃電對頭焊 (flash butt welding)

參考圖 5-51，將兩根鋼軌接口輕輕對合，並分別接上大電流的正負極。重複開通再切斷電源，利用電阻加熱鋼軌，並產生火花，至鋼軌接口達熔融狀態後，順鋼軌軸向加上衝擊壓力，使鋼軌接合成一體。

閃電對頭焊機械設備十分精密，且為全自動，因此甚省人工，又可達到極高的品質，目前深受各國喜愛。但因控制系統複雜，一但故障，檢修及停工損失極大。

以往使用閃電對頭焊設備十分龐大，必須具備固定廠房。近年已有可搬動的小型機器問世，提高此法的機動性。

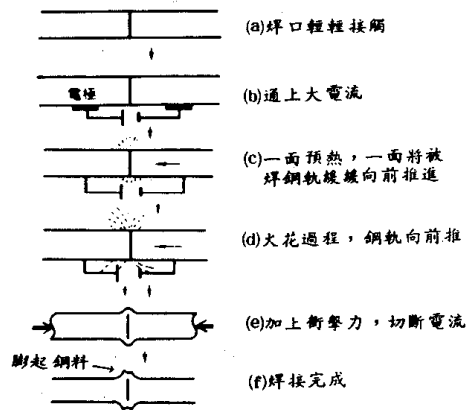


圖 5-51 閃電對頭焊示意⁽⁸⁾

閃電對頭焊的施工順序如下：

- (1) 接口研磨整修，
- (2) 接口對準靠密，
- (3) 預熱（電流 15000 ~ 22000 A，電壓 6.2 ~ 6.3 V）鋼軌前移 40 ~ 42 mm，
- (4) 加軸向衝擊力（30 ~ 40 噸，鋼軌前移 13 ~ 15 mm），切斷電源，
- (5) 剪除鼓起鋼料，
- (6) 矯正正直並研磨檢查。

3 封閉式電弧焊（enclosed arc welding）

鋼軌與焊條通上直流電，使產生電弧，電弧熱量熔化焊條，將鋼軌溶接。本法機動性大，適於工地現場焊接，但工作人員的技術影響品質極大。

焊接施工順序如下：

- (1) 接口研磨整修，
- (2) 調整接縫至 17 ± 13 mm，並調整高低及方向，接縫處稍為拱起，
- (3) 軌底裏側填銅條，兩端裝軟鋼條，
- (4) 預熱（約 500 °C），
- (5) 通電以產生電弧，依圖 5 - 52 順序焊接，熔接部份以銅塊圍繞。

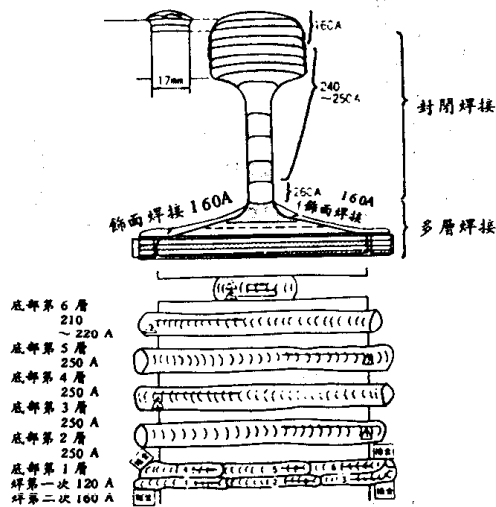


圖 5 - 52 封閉式電弧焊順序⁽⁸⁾

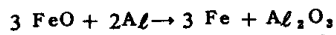
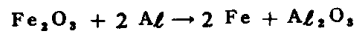
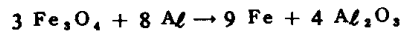
(6)熱處理(680 ± 30 °C, 10分鐘),

(7)爐中冷卻(約 30分鐘),

(8)研磨、整平、校正及檢驗。

4 熱劑焊接 (aluminothermic welding)

熱劑焊接法源自德國，乃根據氧化鐵與鋁作用，還原為鐵的原理：



此種化學反應極強烈，同時發生大量反應熱，使反應產生的鐵達熔融狀態，理論上溫度約達 3100 °C。反應產生的氧化鋁及其他添加劑稱為爐渣，比重較輕，浮在熔融鐵上層。反應完成後，將熔融鐵導入鋼軌接縫處預先裝妥的鑄模內，硬化後將兩根鋼軌溶接。反應過程圖示如圖 5-53。

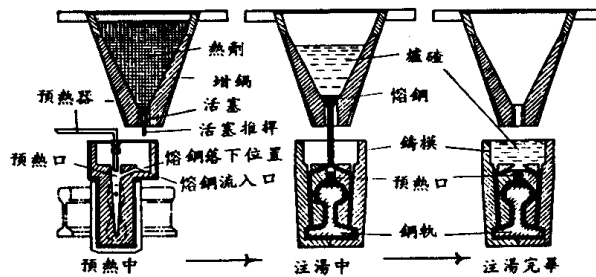


圖 5-53 熱劑焊接示意圖 ⁽¹⁰⁾

熱劑焊接法機動性高，不需龐大設備，且在工地施工費時甚短，唯其可靠性較差。晚近加以改良，可靠性增高，頗受歡迎。

5 鋼軌之焊接強度

鋼軌焊接部份之機械強度，可分為靜態彎曲強度及疲勞強度。靜態彎曲強度如圖 5-54 a b，將經焊接之鋼軌試體做單純彎曲試驗，由其發生撓度與荷重，求獲彎曲強度。焊接強度，一般以鋼軌之焊接接頭強度佔母材強度的百分比表示，稱為「接頭效率」。

例題：

####軌道### (第五章)

99.33 鋼軌長度伸縮公式 $\Delta L = 0.0000114 \Delta t$ 中，t是：

(A)鋼軌張力 (B)鋼軌壓力 (C)溫度 (D)彈性係數

98.20 列車輪重作用於鋼軌，力量傳至鋼軌下方之木枕，致使木枕承受彎矩之作用，從力學原理觀之，決定理想木枕長度時，應考量下列何者？

(A)木枕中央承受彎矩應最小

(B)鋼軌正下方之木枕彎矩值應最小

(C)木枕中央承受彎矩應最大，使木枕發揮彈性功能

(D)鋼軌底部與木枕中央之彎矩值相等

3.4####軌縫###

99.11 下列何者不是調整適當軌縫的決定因素？

(A)最高、最低軌溫 (B)路線坡度

(C)魚尾鉸拘束力及魚尾螺栓抗彎折變形能力 (D)鋼軌長度

99.10 對於鋼軌的描述，何者錯誤？

(A)鋼軌之大小通常以單位長度之重量來表示，重量越大斷面勁度越強

(B)一般鋼軌長度至少需在200公尺以上，在鋼軌中央部分才有不受軌溫變化影響之不動區間存在

(C)各為25公尺長度的60公斤鋼軌與50公斤鋼軌，在鋼軌自由非拘束狀態下，軌溫升高攝氏10度後，兩鋼軌伸長量相同

(D)各為25公尺長度的60公斤鋼軌與50公斤鋼軌，在鋼軌兩端固定後，軌溫升高攝氏10度後，兩鋼軌受到軸力相同

97.14 鋼軌因為外力阻止其膨脹伸長而發生挫屈破壞，這個阻止鋼軌因為氣溫升高而伸長的外力主要來自於兩者。第一項是因為軌縫密合之後的鋼軌接頭束制力；另一項為下列何者？

(A) 魚尾鉸抗壓力 (B) 魚尾鉸與鋼軌間之摩擦抵抗力

(C) 螺栓熱膨脹係數 (D) 鋼軌與道床間之摩擦抵抗力

3.5####焊接長軌###

99.20 下列長軌焊接方法中，何者最易自動化又可達到較好的品質，有較佳之彎曲強度及焊接點強度接近母材強度？

(A)瓦斯壓接法 (gas pressure welding) (B)閃電對頭焊 (flash butt welding)

(C)封閉式電弧焊 (enclosed arc welding) (D)熱劑焊接 (aluminothermic welding)

99.22 鋪設長焊軌時，對於軌溫應注意事項，何者錯誤？

(A)鋪軌時之軌溫高於鋼軌零應力溫度時，會比低於鋼軌零應力溫度時容易調整

(B)鋪設長軌時須使整根鋼軌之軌溫一致，才能減少鋼軌應力發生

- (C)軌溫量測應力求正確，並記錄鋼軌鋪定溫度
- (D)為使長軌鋪定後其兩端能夠保持正確位置，務必計算丈量準確後鋸軌預留焊接寬度
- 98.47 長焊鋼軌又稱為連續焊接鋼軌，簡稱長軌。關於應力下列何者為非？
- (A)長焊鋼軌內存在極大軸力，為穩定軌道，須有扣件將鋼軌扣緊在枕木上
- (B)長焊鋼軌在冬季產生軸拉力，為避免鋼軌拉斷，須有足夠之焊接強度
- (C)長焊鋼軌在夏季產生軸壓力，為防止鋼軌挫屈，有賴道床橫向抵抗力及適當軌框橫向勁性
- (D)施工品質良好之長軌，其應不受外部環境影響而有應力存在
- 98.49 緩衝軌之功能與下列何者相同？
- (A)防脫護軌 (B)鋼軌伸縮接頭 (C)導軌 (D)尖軌
- 98.24 鋪設長軌之路線，全年無伸縮之區間稱為長軌不動區間。一般長焊鋼軌之長度在多少以上才會有不動區間存在？
- (A)100公尺 (B)200公尺 (C)1000公尺 (D)2000公尺
- 97.8 長軌解除應力作業的目的為何？
- (A) 延長鋼軌使用壽命 (B) 減輕鋼軌偏磨耗 (C) 避免軌道不整之發生 (D) 避免發生挫屈或斷軌
- 97.12 在常見的長軌銲接方法中，既不需要大量電源，也不使用外來之銲接材質的是那一種銲接方法？
- (A) 瓦斯壓接法 (B) 閃電對頭銲 (C) 封閉式電弧銲 (D) 熱劑銲接
- 97.13 要確保長軌穩定安全，必須注意的技術關鍵很多，包括鋪設溫度、銲接品質等等，其中不包括下列那一項？
- (A) 道床橫向阻抗力 (B) 扣件之扣夾力
- (C) 妥善設置兩端伸縮接頭 (D) 增加紅外線偵測裝置
- 97.19 完成長軌鋪設鎖定時，發現實際鎖定溫度比設計鋪定溫度低攝氏六度，若沒有採取改正補救措施，請問未來較容易發生何種破壞？
- (A) 低溫季節之斷軌意外 (B) 高溫季節之挫屈破壞
- (C) 高溫季節之魚尾鉸破壞 (D) 低溫季節之螺栓扭曲或拉斷
- 97.11 依據鋼軌容許最大軸壓力 $P=E\alpha\Delta t$ 可以估計防範軌道挫屈之溫度界限。據此可見，將50 kg/m 鋼軌提升更新為60 kg/m 鋼軌，下列那一項因素會顯著增加鋼軌抵抗挫屈之能力？
- (A) 鋼軌熱膨脹係數 (B) 鋼軌斷面積 (C) 鋼軌彈性模數 (D) 鋼軌溫差
- 97.14 鋼軌因為外力阻止其膨脹伸長而發生挫屈破壞，這個阻止鋼軌因為氣溫升高而伸長的外力主要來自於兩者。第一項是因為軌縫密合之後的鋼軌接頭束制力；另一項為下列何者？
- (A) 魚尾鉸抗壓力 (B) 魚尾鉸與鋼軌間之摩擦抵抗力
- (C) 螺栓熱膨脹係數 (D) 鋼軌與道床間之摩擦抵抗力