



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

铁路轨道

第四章 无缝线路

第四节 钢轨内温度力分布

主讲：王建西

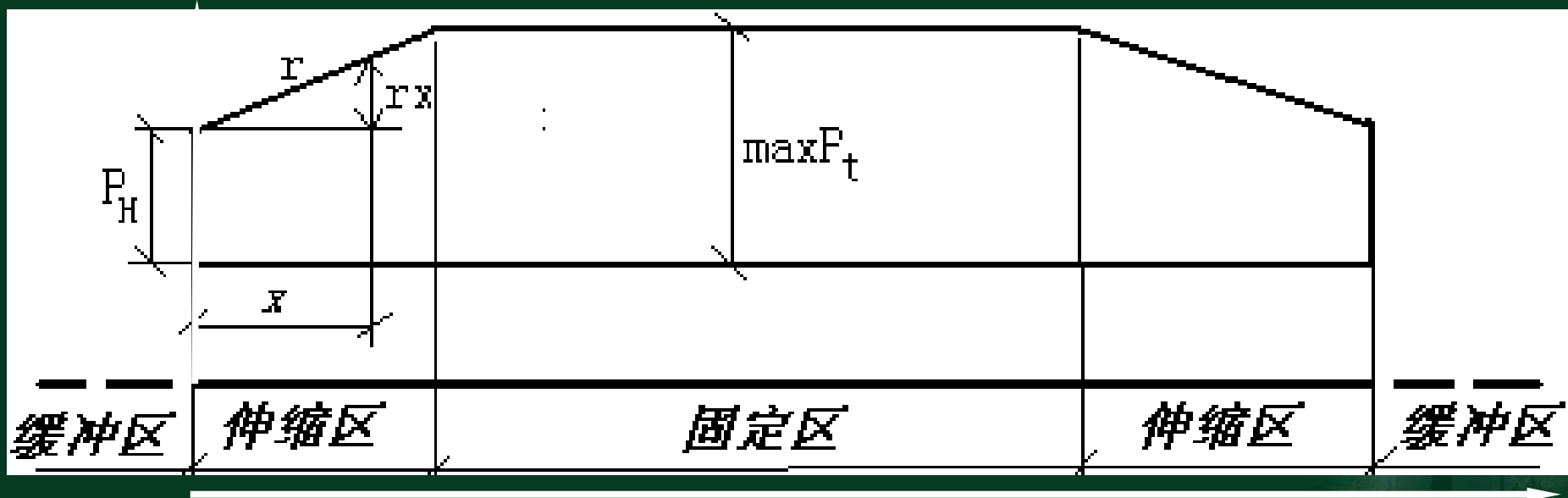
目录

- 一、温度力分布图
- 二、长钢轨的内力图
- 三、温度力峰值对稳定性的影响

一、温度力分布图

- 常用温度力分布图来表示温度力沿长轨条的纵向分布规律

温度力分布图的横坐标表示钢轨的长度，纵坐标表示钢轨的温度力（拉力为正，压力为负）。



一、温度力分布图

- 基本温度力图
指无缝线路锁定后，轨温单向变化时，温度力沿钢轨纵向分布的规律。
- 求解温度力分布的基本条件
钢轨内部温度力与钢轨外部阻力随时保持相平衡。
- 温度力分布特征
温度力纵向分布不均匀。温度力的分布不仅与外部阻力和轨温变化幅度等因素有关，而且还与轨温变化过程有关。

一、温度力分布图

- 纵向阻力特点

纵向阻力包括接头阻力和道床阻力。

接头阻力特点：

通常假定钢轨接头阻力 P_H 为一常量。当长轨条中的温度力 P_t 小于接头阻力 P_H 时，钢轨与夹板之间不发生任何相对位移。温度力与接头阻力相等是钢轨与夹板发生相对移动的临界状态，只有当温度力大于接头阻力时，两者才发生相对移动。

一、温度力分布图

则钢轨与夹板发生相对移动的轨温变化幅度为：

$$\Delta t_H = \frac{P_H}{2.50F} (^\circ\text{C})$$

式中： P_H 为接头阻力

F 为钢轨面积

当轨温反向变化时，长轨条中的温度力减小，当温度力变化幅度小于接头阻力时，接头阻力不反向；当温度力变化幅度大于接头阻力时，接头阻力开始反向，但钢轨与夹板不发生相对反向移动；当长轨条中的温度力反向变化幅度大于2倍接头阻力时，钢轨与夹板才发生相对反向移动。

一、温度力分布图

道床阻力特点：

接头阻力被克服后，如温度力继续上升，则钢轨产生位移，道床阻力开始阻止钢轨的伸缩。

道床纵向阻力的产生是体现在道床对轨枕的相对位移阻力，随着轨枕位移根数的增加，道床阻力也相应增大。

道床纵向阻力是以阻力梯度的形式分布。即将单根轨枕的阻力换算成钢轨单位长度的阻力 r ，并取常量，因此，在钢轨的各个截面，温度力是不相等的。

二、长钢轨的内力图

- 研究对象

以秋季无缝线路锁定后，轨温下降为例，分析长轨节温度力分布与钢轨伸缩的情况。

- 基本情况

有砟轨道，锁定轨温略高于中间轨温，且扣件阻力大于道床纵向阻力。

二、长钢轨的内力图

- 研究工况
 - (1) 温度力小于等于接头能达到的最大阻力值阶段
 - (2) 温度力大于接头阻力至达到最大温度（拉）力阶段
 - (3) 轨温反向变化时长轨节的温度力分布

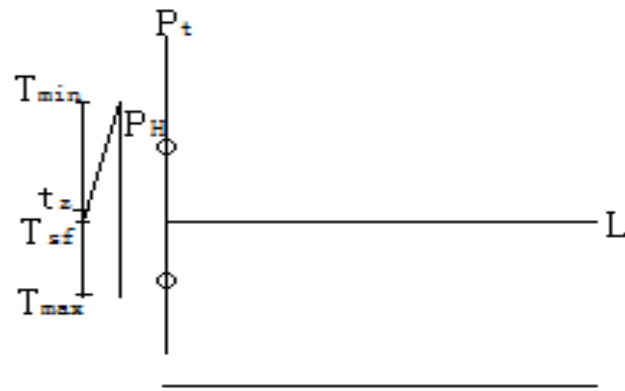
二、长钢轨的内力图

- 工况1：温度力小于等于接头能达到的最大阻力值阶段
- 首先温度力与钢轨接头平衡。接头阻力与钢轨中的温度力相等。当温度力达到 P_H 前，钢轨与夹板不产生相对移动。此时轨温变化为：

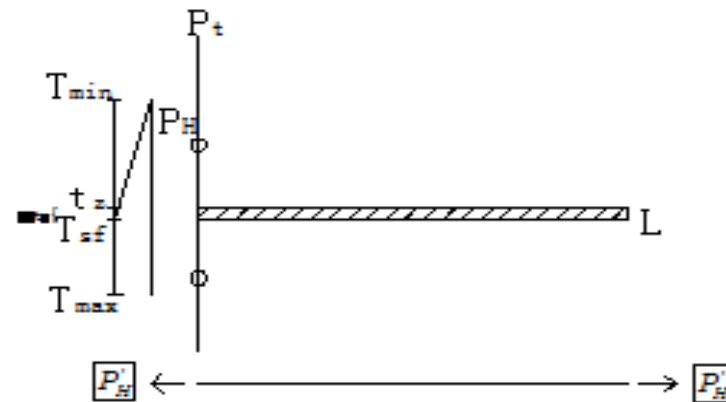
$$\Delta t_H = \frac{P_H}{2.50F} (^\circ\text{C})$$

- 该阶段道床阻力还未参与进来。

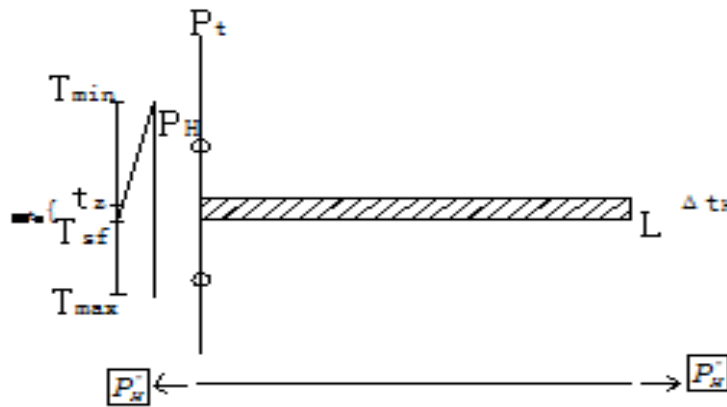
二、长钢轨的内力图



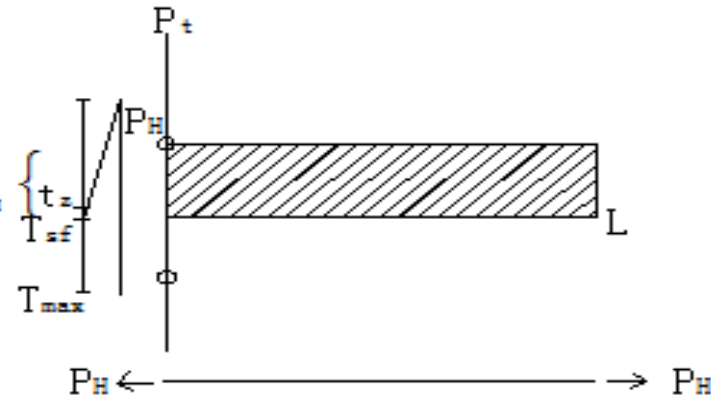
(a) 刚刚锁定, $\Delta t=0, P_t=0 < P_H$



(b) 轨温下降幅度 $\Delta t < \Delta t_1$,
平衡式 $P_t = 2.5 \Delta t_1, F = P'_H < P_H$



(c) 轨温下降幅度 $\Delta t < \Delta t_2$,
平衡式 $P_t = 2.5 \Delta t_2, F = P'_H < P_H$



(d) 轨温下降幅度 $\Delta t < \Delta t_3$,
平衡式 $P_t = 2.5 \Delta t_3, F = P_H$

二、长钢轨的内力图

- 工况2：温度力大于接头阻力至达到最大温度（拉）力阶段

当轨温继续下降，接头阻力能达到的最大值被克服，钢轨与开始缩短，由于扣件阻力大于道床阻力，钢轨与轨枕组成的轨道框架产生与道床之间的相对位移，道床阻力开始阻止钢轨缩短，这样钢轨内温度拉力继续增长。因为道床纵向阻力是体现在道床对轨枕的位移阻力，所以随着轨温下降，按顺序从轨端开始克服每根轨枕下的道床纵向阻力。轨温降得愈多，需要克服阻力的轨枕也愈多，相应的温度力也逐渐按一定的斜率增加。

二、长钢轨的内力图

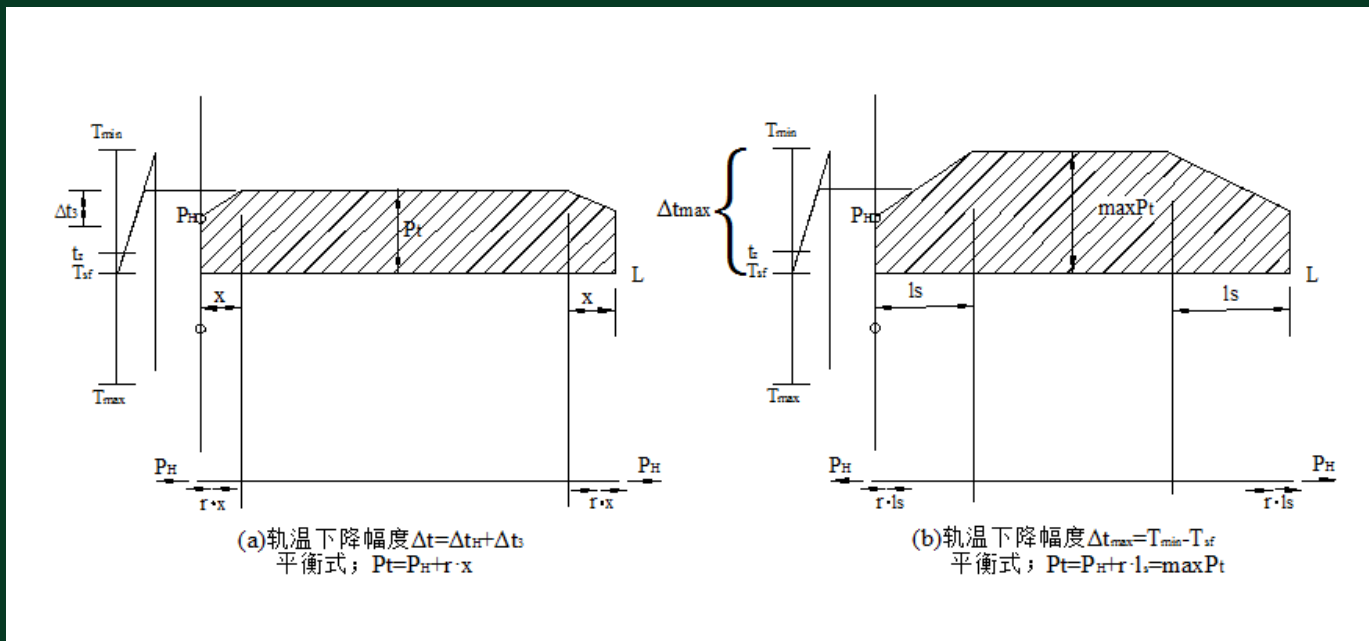
设单位道床阻力为 r ，根据力的平衡原理，克服了接头阻力 P_H 以后，轨温又下降 Δt_3 时，为了平衡 Δt_3 引起的温度力 P_{t3} 所需要的道床阻力为：

$$P_{t3} = 2.5F\Delta t_3 = r \cdot x$$

$$x = \frac{2.5F\Delta t_3}{r}$$

x ——从轨端算起道床纵向阻力被克服的长度（mm）

二、长钢轨的内力图

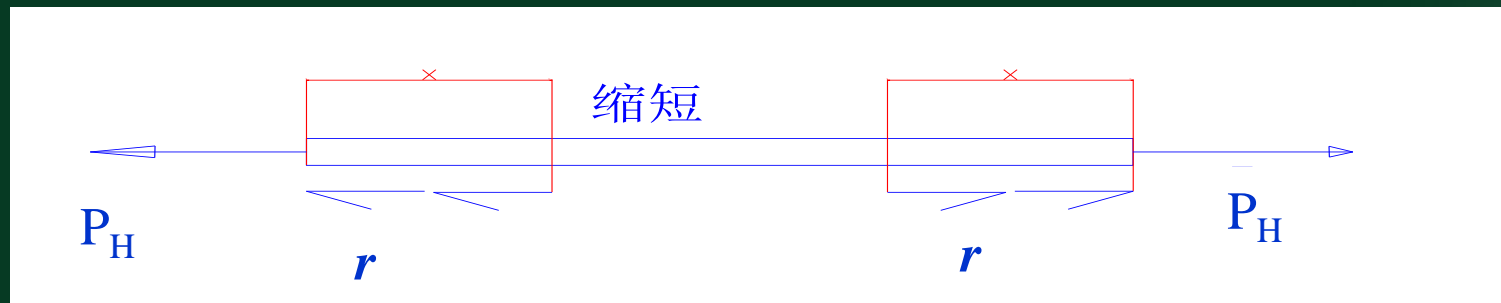
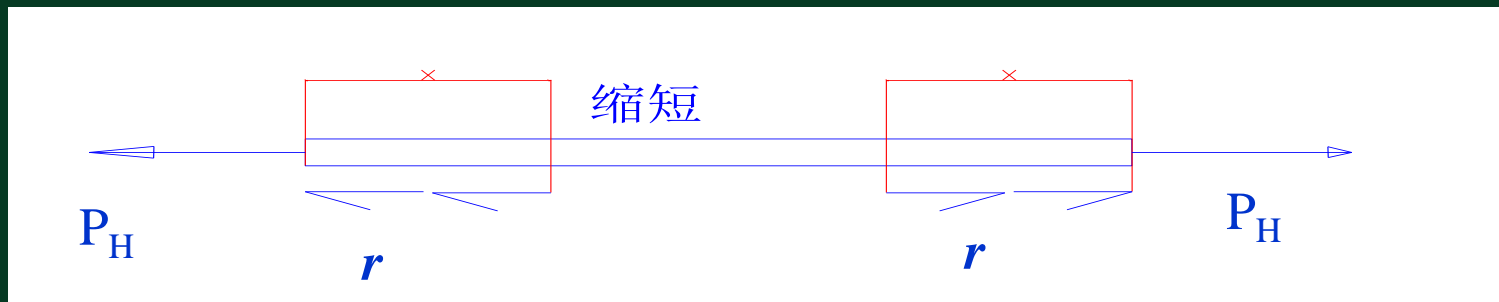


当轨温下降到最低值时，用来克服道床纵向阻力的轨枕根数达到最多，即达到最大值，称为伸缩区长度 l_s 。

$$l_s = \frac{\max P_t - P_H}{r} = \frac{2.5F \Delta t_{\max} - P_H}{r} \quad (mm)$$

轨温从 $T=T_{sf}$ 下降到 T_{min} 的过程

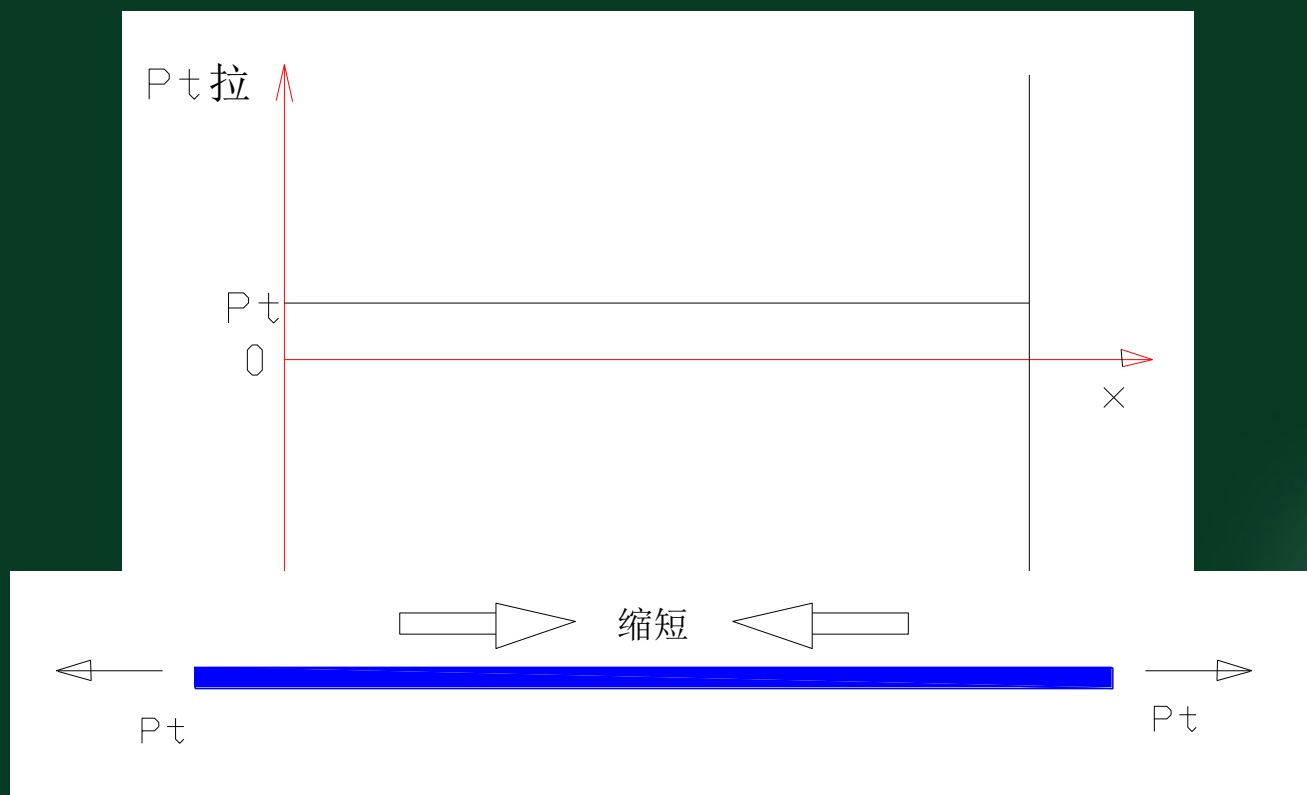
- 当 $T=T_{sf}$ 时，长钢轨内温度力 $P_t = 0$ ，接头阻力为零



当T开始下降，钢轨有收缩趋势

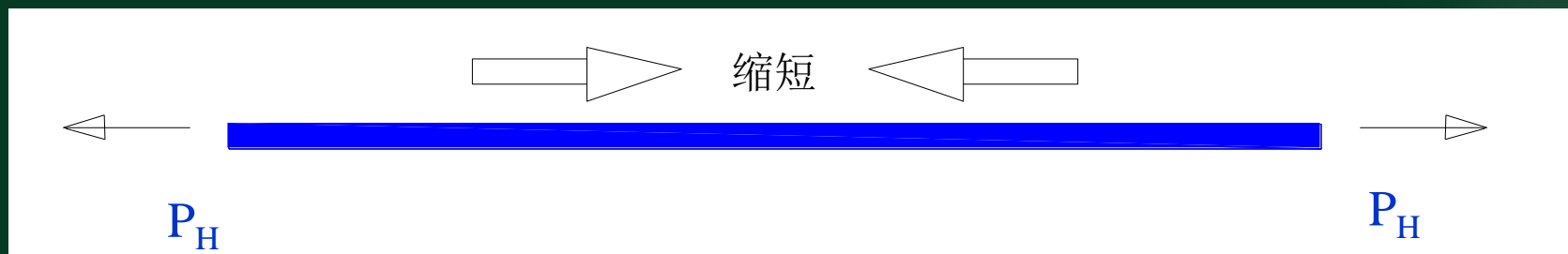
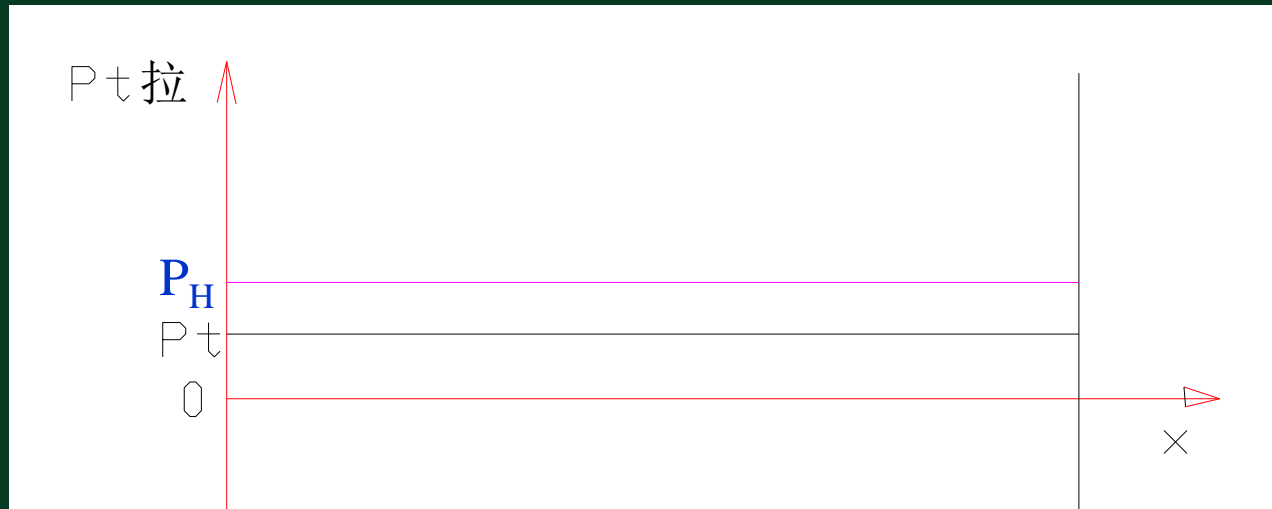
- 接头阻力开始起作用，钢轨内温度力与接头阻力平衡

$$P_t = 2.50\Delta T \cdot F = 2.50(T_{sf} - T) \cdot F$$



当轨温下降到 $T = T_H$ 时

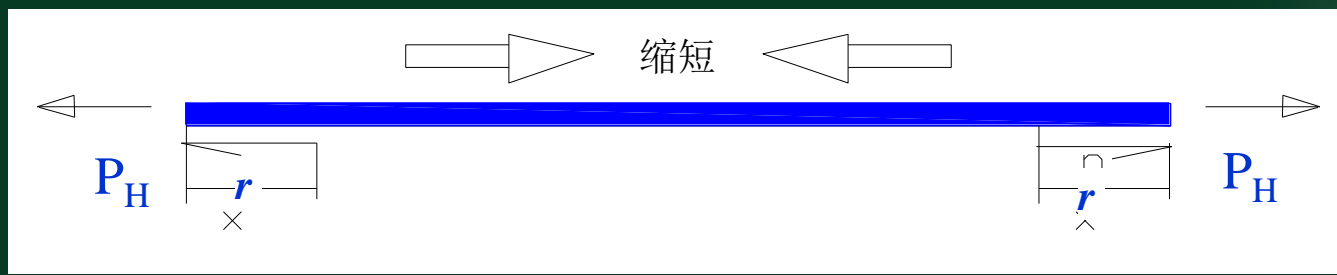
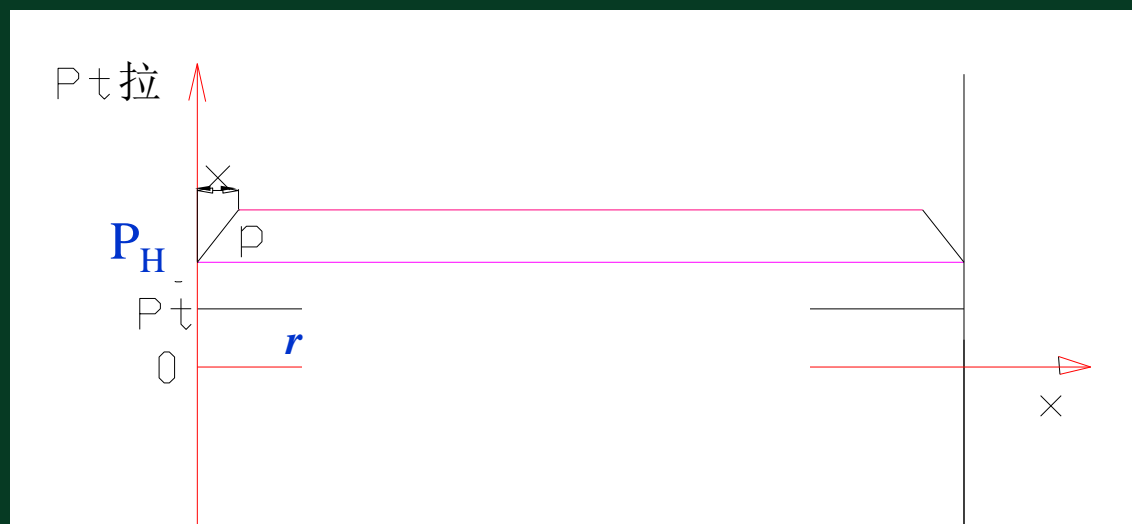
- 钢轨内温度力 $P_t = P_H = 250(T_{sf} - T_H) \cdot F$



轨温继续下降，钢轨开始缩短

- 道床阻力开始起作用，钢轨内温度力与阻力平衡

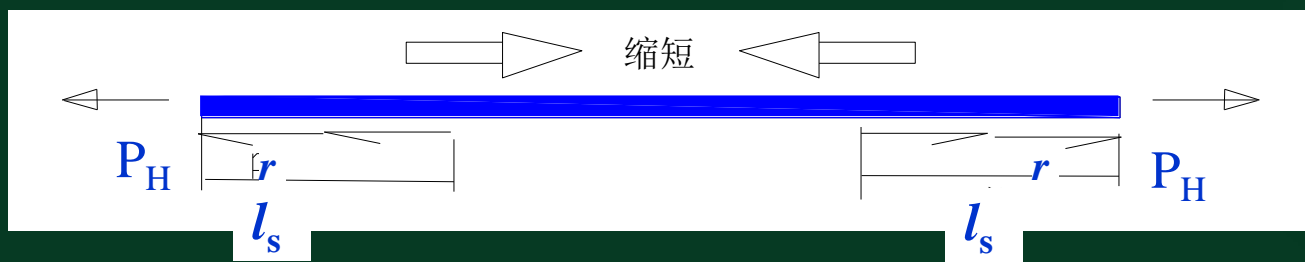
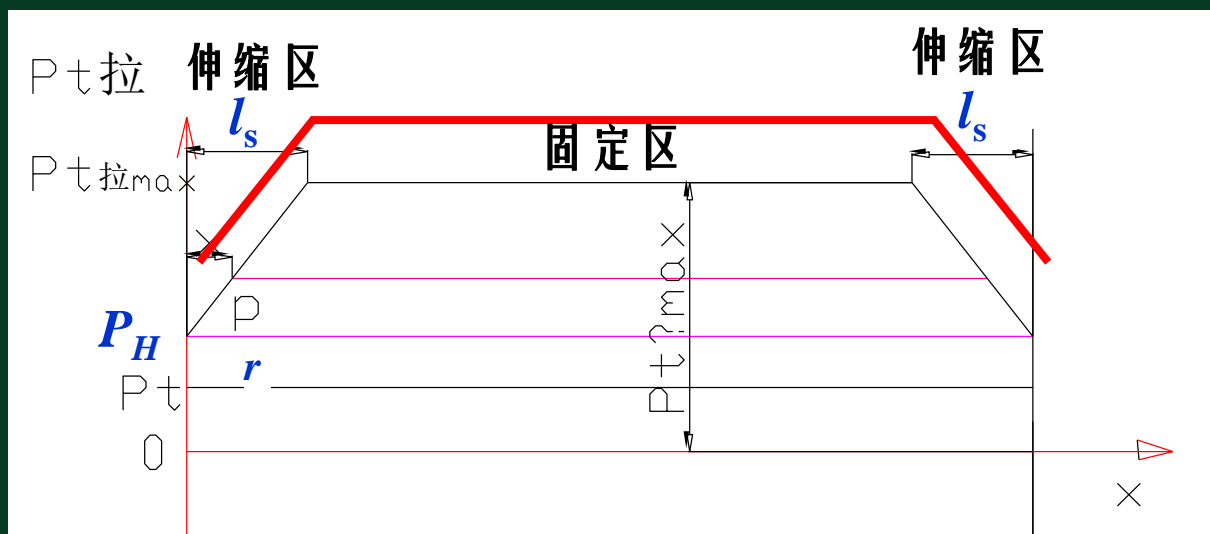
$$P_t = 250(T_{sf} - T) \cdot F = P_H + rx$$



当 $T=T_{\min}$ 时，温度拉力最大

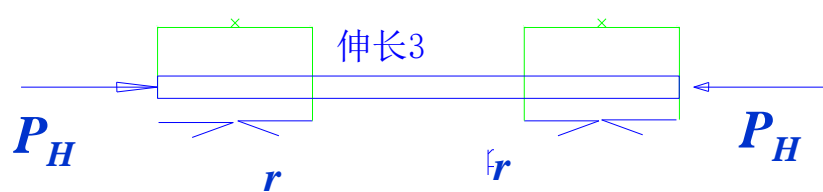
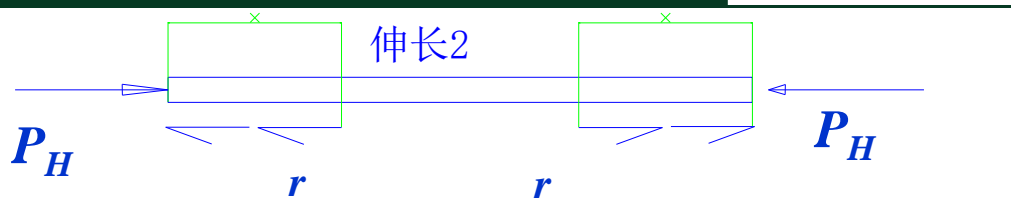
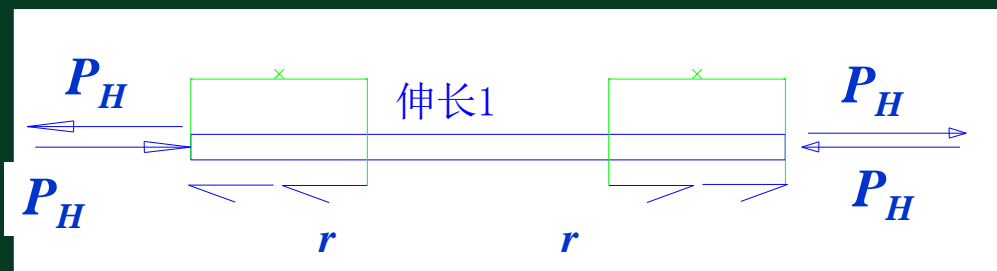
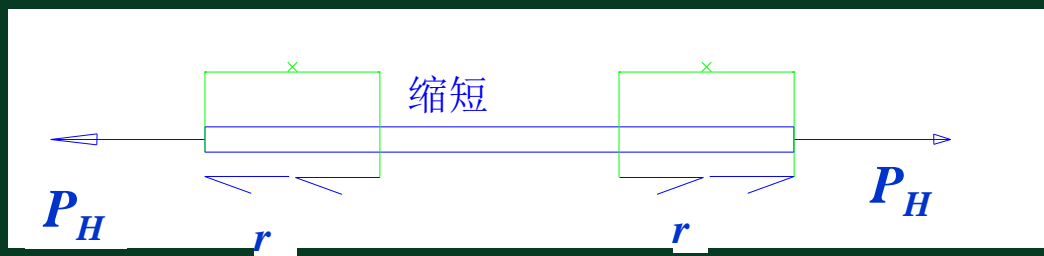
- 长钢轨内温度力为

$$P_{t拉max} = P_H + rl_s = 250(T_{sf} - T_{\min}) \cdot F$$



反向升温过程

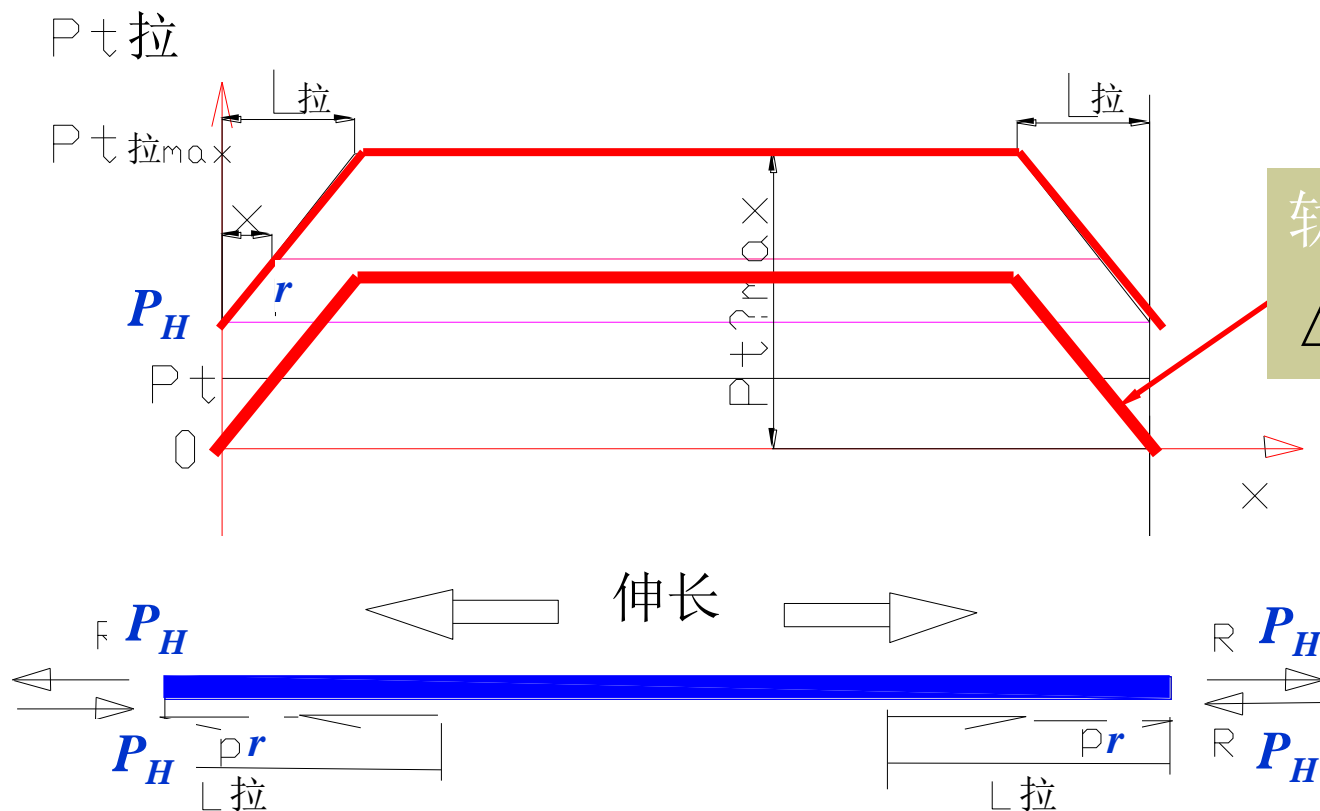
- 初始状态为



反向升温，钢轨有伸长趋势

- 反向接头阻力起作用

$$P_t = P_H + rL_{\text{拉}} - P_H = 250(T_{sf} - T) \cdot F$$

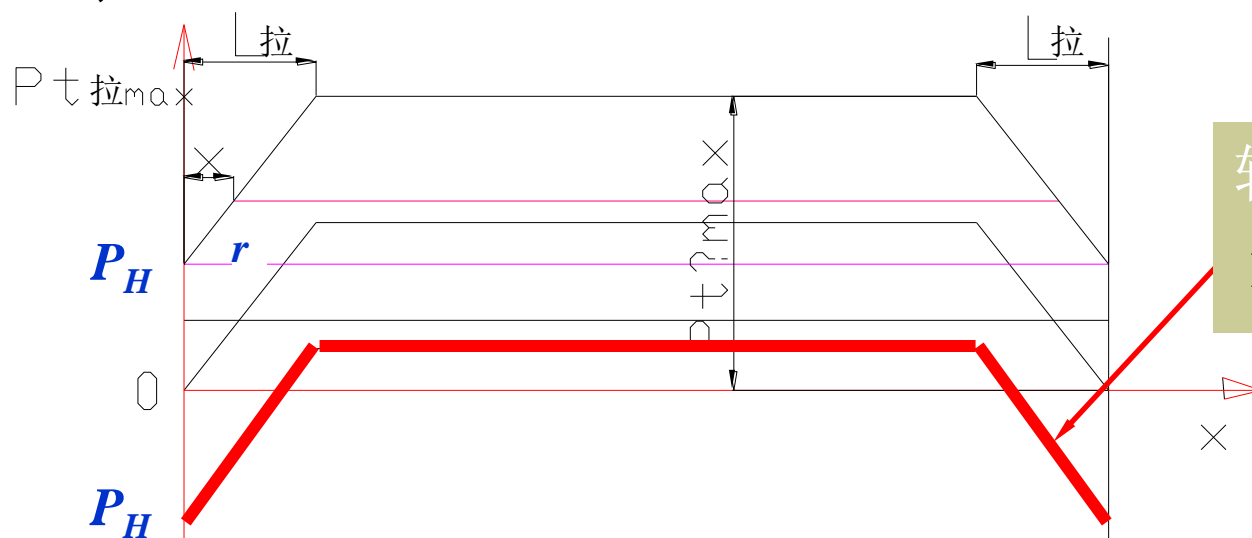


轨温继续升高

- 反向接头阻力起作用

$$P_t = P_H + rL_{\text{拉}} - P_H - P_H = 250(T_{sf} - T) \cdot F$$

P_t 拉



轨温变化
 $2\Delta t_H$ 后。

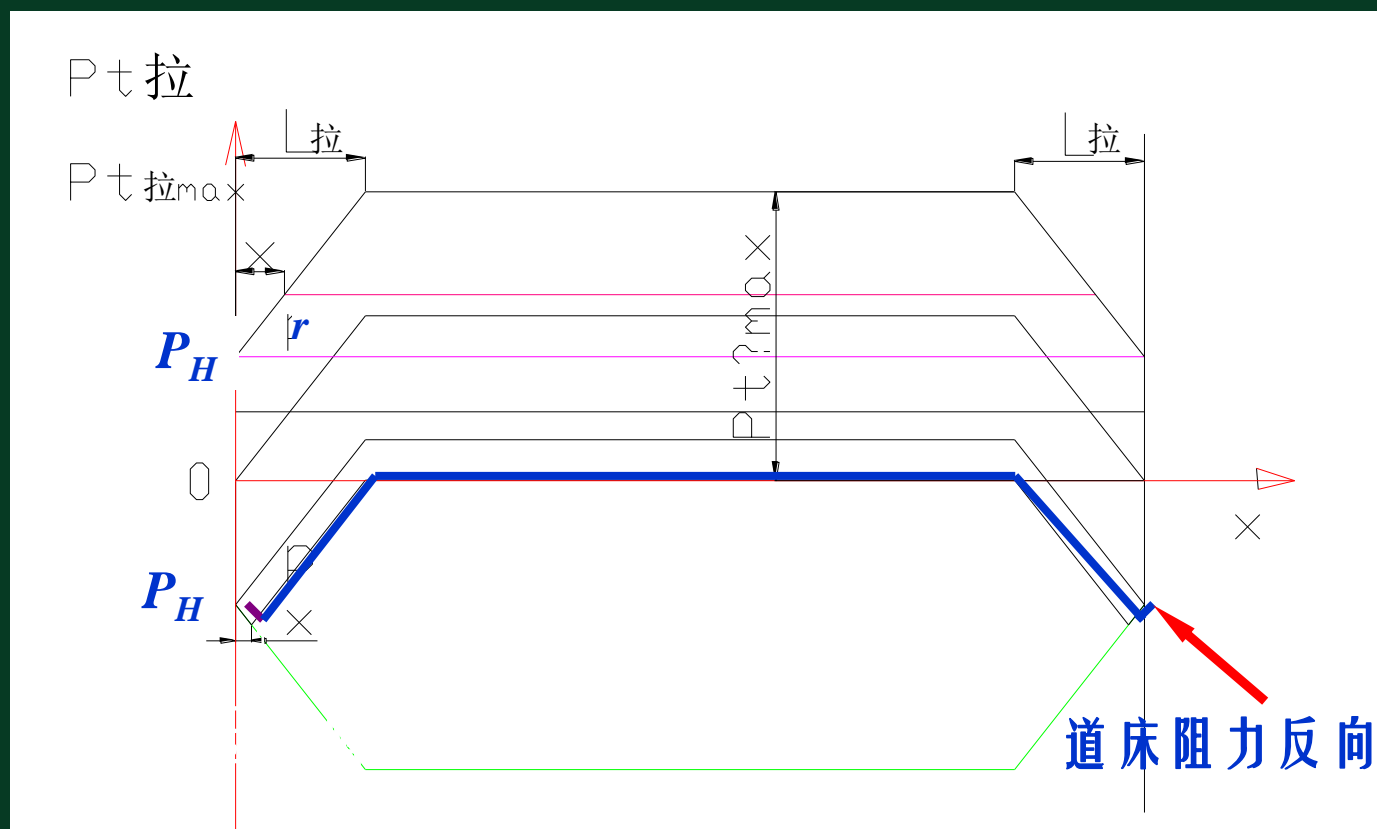
← 伸长 →



轨温继续升高，钢轨开始伸长

- 反向道床阻力起作用，克服2倍道床阻力

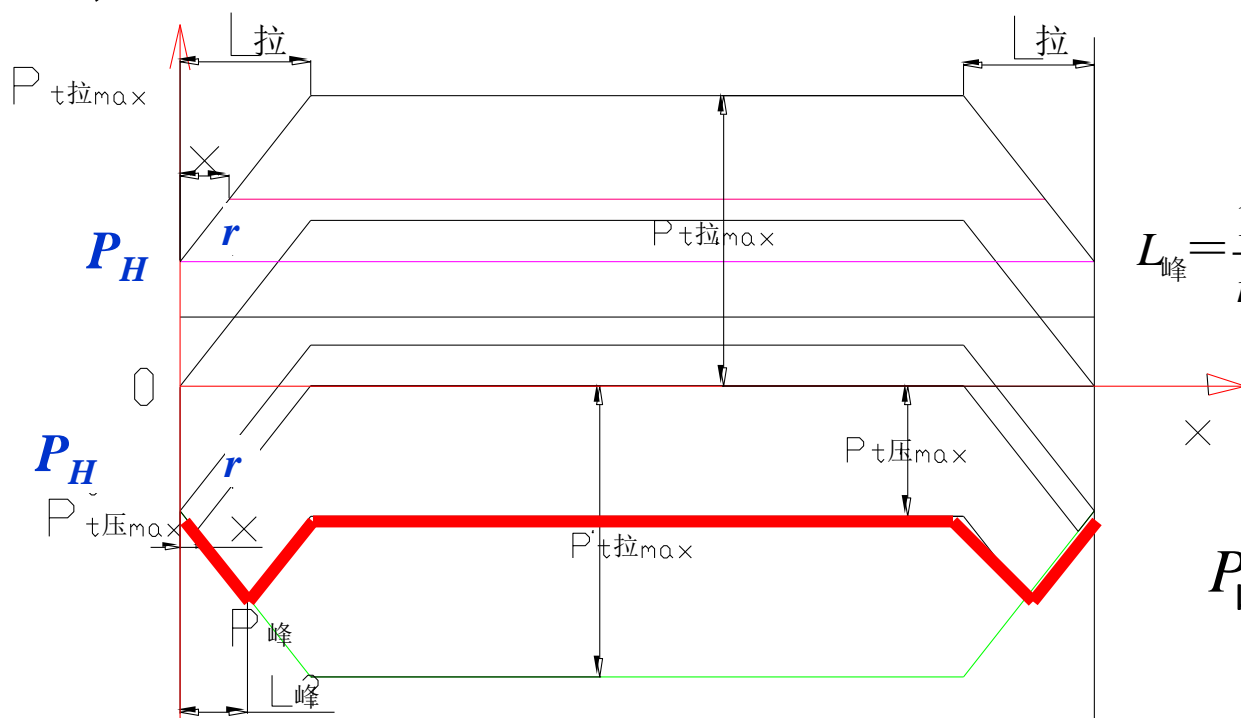
$$P_t = 250(T - T_{sf}) \cdot F = rL_{\text{拉}} - P_H - 2rx$$



当轨温升高到最高轨温Tmax时

$$\text{当 } T_{sf} > t_z P_{t\text{压max}} = 250(T_{\text{max}} - T_{sf}) \cdot F$$

P_{t拉}



$$L_{\text{峰}} = \frac{1}{r} \left(\frac{P_{t\text{拉max}} + P_{t\text{压max}}}{2} - P_H \right)$$

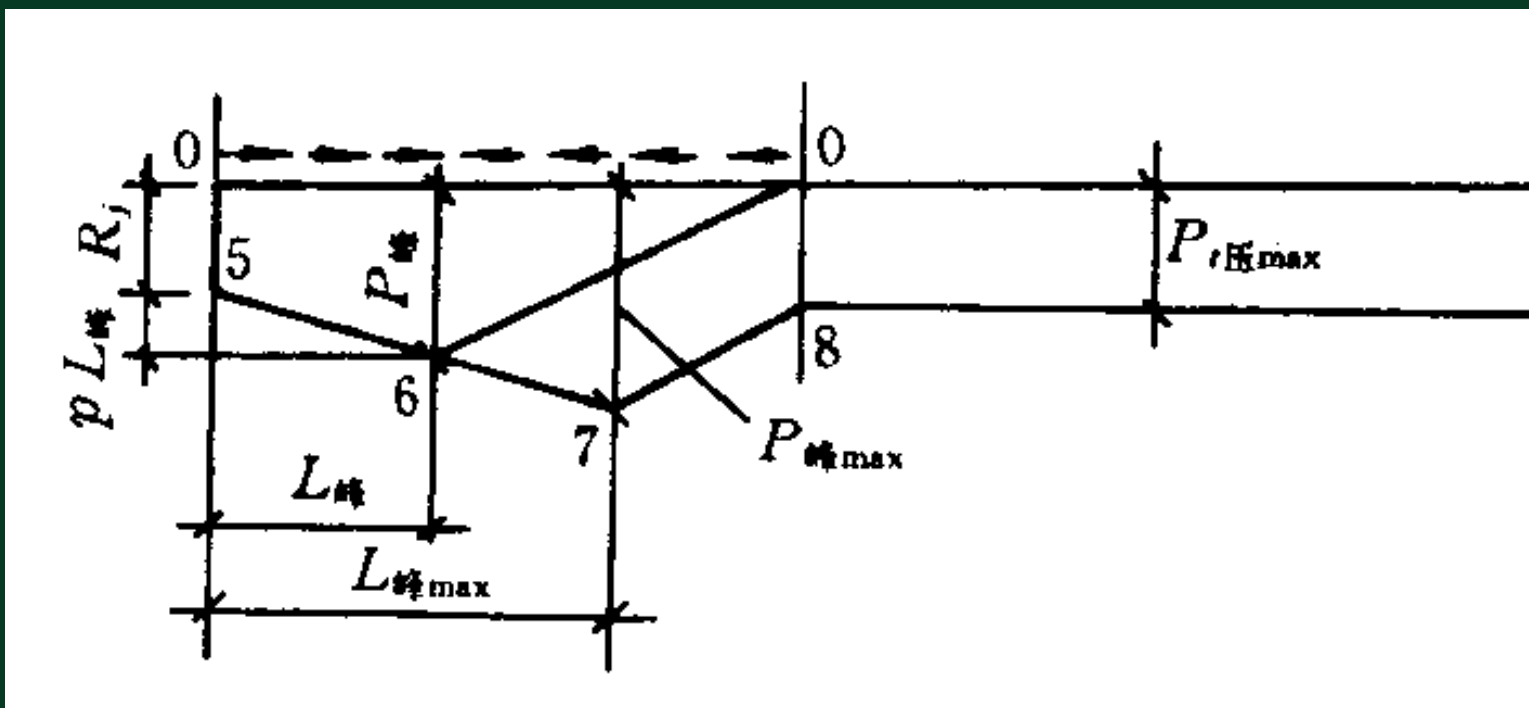
$$P_{\text{峰}} = \frac{P_{t\text{拉max}} + P_{t\text{压max}}}{2}$$

← 伸长 →



三、温度力峰值对稳定性的影响

- 春夏之交，丧失稳定



本节总结

- 温度力分布度





谢谢！