

بررسی محاسبات دستگاههای تعویض خط جوشکاری شده پیوسته راه آهن

جبار علی ذاکری* و فن جون جیه**

دانشکده راه آهن دانشگاه علم و صنعت ایران

گروه مهندسی خط دانشگاه جیاوتونگ شمالی پکن - چین

(دریافت مقاله: ۸۱/۱۱/۱۹ - دریافت نسخه نهایی: ۸۳/۸/۱۸)

چکیده - دستگاههای تعویض خط پیوسته برای خطوط جوشکاری شده طویل خصوصاً هنگام عبور از ایستگاه راه آهن بسیار مهم است. براساس نظریه‌های مقاومت معادل و مقاومت غیر خطی و اصول توزیع نیرو در دستگاه تعویض خط، روش نظری جدیدی برای محاسبات مربوط به آنها در خطوط پیوسته توسعه داده شده است. طراحی دستگاه تعویض خط پیوسته و نصب آن بر اساس محاسبات نظری روش جدید تطابق بسیار خوبی با موارد واقعی دارد. بر اساس محاسبات نظری و داده‌های حاصل از آزمایشها ثابت شده است که محاسبات نظری صحیح بوده و مقادیر پارامترهای محاسباتی قابل قبول اند.

واژگان کلیدی: محاسبات نظری مربوط به دستگاه تعویض خط، دستگاه تعویض خط در خطوط جوشکاری شده پیوسته

Analysing of Continuous Welded Turnouts

J. A. Zakeri and F. J. Jie

School of Railway Engineering, Iran University of Science & Technology
Railway Track Department, Northern Jiaotong University, Beijing, China

Abstract: Continuous welded turnouts are important for CWR track through the railway station. According to equivalent resistance and non-linear theories and the principle of force diagram, a new method of theoretical calculation for continuous welded turnouts was developed. The continuous welded turnouts designed and installed according to the new theory behaved fairly well. The data collected on sites basically agreed with those of theoretical calculation. It was proved that the calculation theory is correct and values of calculation parameters are reasonable.

Keywords: Calculation theory of turnouts, Continuous welded turnout

** - استاد

* - استادیار

p_0 مقاومت طولی بالاست بر حسب واحد طول ریل	a فاصله تراورسهای دستگاه خطوط
P_0 نیروی حرارتی در پاشنه دستگاه تعویض خط	b فاصله محور تا محور ریل اصلی و ریل داخلی
p_a مقاومت ناشی از سختی تراورسهای دستگاه تعویض خط	EI سختی افقی جانبی تراورسهای دستگاه خطوط
p_b مقاومت ناشی از لنگر مقاوم پابندها	f سطح مقطع عرضی ریل
p_c مقاومت پابندها	i شماره تراورس
P_m نیروی مقاوم پاشنه	K_1 سختی ناشی از تراورسهای دستگاه تعویض خط
P_t نیروی حرارتی وارده بر هر دو انتهای دستگاه تعویض خط	K_2 سختی ترکیبی
r_0 مقاومت طولی بالاست به ازای واحد طول ریل	L طول تراورس دستگاه خطوط
ΔP_i نیروی اضافی منتقل شده به وسیله تراورس i ام	l فاصله محور تا محور دو ریل خارجی دستگاه خطوط
ΔP_t نیروی حرارتی اضافی وارده به ریل اصلی (ناشی از سختی تراورس)	M لنگر مقاوم پابندها
$\Delta P'_t$ نیروی حرارتی اضافی وارده به ریل اصلی (ناشی از لنگر مقاوم پابندها)	n شماره تراورسی که چهار ریل آن در انتقال نیرو موثرند
	p مقاومت طولی بالاست

۱- مقدمه

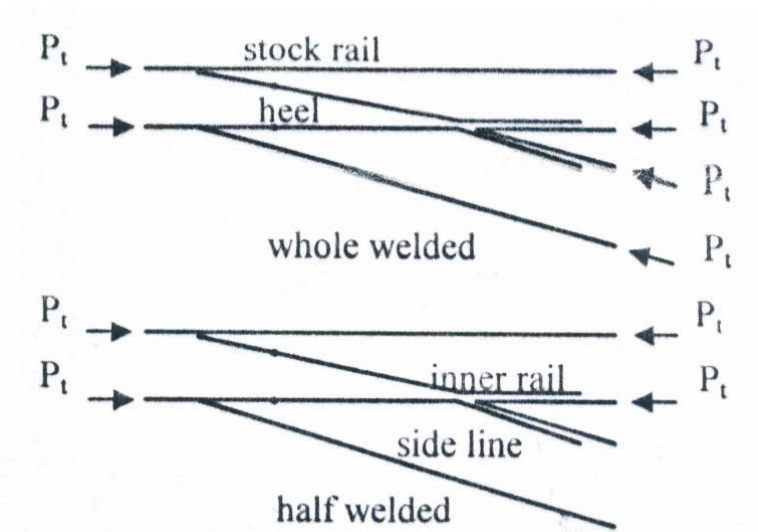
خط نیز با ریلهای طویل جوشکاری شده اند. به این ترتیب با تغییر دمای ریل هر دو انتهای دستگاه تعویض خط جوشکاری شده طویل تحت معرض نیروهای حرارتی، شکل (۱)، قرار می گیرند. نیروهای وارده به ریل اصلی همدیگر را متعادل می کنند، با وجود این، تنها یک انتهای ریل داخلی در معرض نیروهای حرارتی قرار می گیرد. این عمل، باعث انقباض یا انبساط ریل داخلی نسبت به اجزای دیگر دستگاه تعویض خط شده و قسمتی از نیرو به صورت نیروی حرارتی اضافی به ریل اصلی وارد خواهد شد [۲].

هدف اصلی نظری وار برای دستگاه تعویض خط پیوسته، محاسبه انبساط یا انقباض ریل داخلی، نیروی گرمایی اضافی در ریل اصلی، نیروهای وارده به اجزای دیگر این دستگاه و کنترل مقادیر آنهاست که در حدود مجاز قرار گیرند.

اگر چه تعداد زیادی از دستگاههای تعویض خطوط CWR در کشورهای اروپای غربی نصب شده اند و تغییرات دمایی سالیانه آنها کمتر از ۹۰ درجه سانتیگراد است لیکن هیچ مطالعه اساسی برای ارائه نظریه های محاسباتی و آزمایشهای تجربی بر روی

طول خطوط جوشکاری شده طویل (CWR) هم در خطوط مخصوص با سرعتهای زیاد و هم در خطوط اختصاص یافته به قطارهای باری سنگین به سرعت افزایش یافته است. در کل دو نوع خط CWR وجود دارد که به ترتیب خطوط CWR بدون دستگاه تعویض خط و با دستگاه تعویض خط نامیده می شوند. خطوط CWR بدون دستگاه تعویض خط به منظور افزایش طول ریل به اندازه طول بلاک به کار می روند که در این حالت مشکل فنی چندانی وجود ندارد. در خطوط نوع دوم، لازم است که دستگاههای تعویض خط ایستگاهها به صورت جوشکاری شده طویل در آیند. در این صورت نیرو و تغییر شکل دستگاه تعویض خط مشکلات فنی بیشتری را برای طراحی، نصب و نگهداری خطوط CWR به وجود می آورد [۱].

سوزنهای جوشکاری شده طویل یکی از مشکلات فنی خطوط CWR با دستگاه تعویض خط هستند. تمامی درزها در دستگاه تعویض خطوط، جوشکاری شده و یا با چسب مخصوص به هم متصل شده اند و هر دو انتهای دستگاه تعویض



شکل ۱- نیروهای وارده بر دستگاه خطوط CWR

$$p = p_0 + p_a + p_b \quad (1)$$

که در آن p_0 مقاومت طولی بالاست به ازای هر ریل است. برای تراورسهای چهارریله، در ریل داخلی داریم:

$$p_0 = \frac{r_0}{2a}(1-b) \quad (2)$$

در ریل اصلی:

$$p_0 = \frac{r_0}{2a}(L-1-b) \quad (3)$$

برای تراورسهای دو ریله داریم:

$$p_0 = \frac{r_0}{2a} \quad (4)$$

به این ترتیب مقاومت تبدیل شده سختی تراورسهای دستگاه خطوط برابر خواهد بود با:

$$p_a = \frac{\Delta P_t}{a} = \frac{6EI}{(3lb^2 - 4b^3)a} f = K_1 f \quad (5)$$

مقاومت تبدیل شده لنگر مقاوم پابندها برابر خواهد بود با:

$$p_b = \frac{\Delta P_t'}{a} = \frac{2M}{ab} \quad (6)$$

معادله مربوط به تغییر طول ریل داخلی و مقاومت معادل p غیرخطی است به همین دلیل روش محاسباتی تکراری برای محاسبه انبساط و انقباض به کار می رود.

هنگامی که p بزرگتر از p_c ، مقاومت پابندها، باشد ریل بر روی

این نوع دستگاهها صورت نگرفته است. آقایان شیگه رو میورا و هیده آکی یاناگوا [۳] از ژاپن تحقیقاتی را با استفاده از نظریه اندر کنش نیروهای بین ریلها انجام داده اند. این نظریه ها بر اساس شرایط آب و هوایی کشور چین بررسی شده و آزمایشهای صحرائی توسط پروفیسور فن جون جیه و همکاران [۴] در این مورد صورت گرفته و تطابق بین نظریه و نتایج آزمایشها در این مقاله تشریح شده اند.

۲- طراحی دستگاه تعویض خط در خطوط

جوشکاری شده طویل

۱-۲ محاسبه انقباض و انبساط ریل داخلی

عوامل زیادی در انبساط و انقباض ریل داخلی موثرند. سه عامل اصلی عبارتند از: مقاومت بالاست، سختی تراورسهای زیر دستگاه تعویض خط و گشتاور مقاوم پابندها. با توجه به پیچیدگی این دستگاهها و متفاوت بودن ابعاد آنها، مقاومت در برابر انقباض و انبساط ریل داخلی در نقاط مختلف متفاوت است. بنابراین، پارامتر مقاومت معادل در محاسبه انقباض و انبساط ریل داخلی مورد استفاده قرار می گیرد. مقاومت طولی معادل برابر است با:

$$f_{n-1} = \frac{\Omega_n + \Omega_{n-1}}{EF} = \frac{a^2 p_n / 2 + (ap_n + ap_n + ap_{n-1})a / 2}{EF}$$

$$= \frac{3a^2 p_n + a^2 p_{n-1}}{2EF}$$

$$= \frac{3a^2 p_n + a[r_0(l_{n-1} - b_{n-1}) / 2 + K_{l(n-1)} f_{n-1} + 2M / b_{n-1}]}{2EF}$$

$$f_{n-1} = \frac{3a^2 p_n + a[r_0(l_{n-1} - b_{n-1}) / 2 + 2M / b_{n-1}]}{2EF - K_{l(n-1)} a} \quad (13)$$

با استفاده از مقادیر f_{n-1} و p_{n-1} می‌توان مقدار P_{n-1} را به شرح زیر محاسبه کرد.

$$P_{n-1} = P_n + p_{n-1} a = (p_n + p_{n-1}) a \quad (14)$$

بنابراین مقادیر P_i, p_i, f_i هر تراورس دستگاه تعویض خط قابل محاسبه اند. با در دست داشتن مقادیر فوق برای اولین تراورس پس از پاشنه دستگاه خطوط، P_1, p_1, f_1 مقدار P_0 محاسبه می‌شود یعنی:

$$P_0 = P_1 + p_1 a' \quad (15)$$

که در آن a' فاصله بین پاشنه دستگاه تعویض خط و اولین تراورس پس از پاشنه است. در شکل (۲) داریم:

$$P_0 \approx P_t - P_m \quad (16)$$

فاصله ریل در پاشنه دستگاه خطوط برابر است با:

$$f_0 = f_1 + \frac{(P_1 + P_t - P_m) a'}{2EF} \quad (17)$$

۲-۲- محاسبه نیروهای اضافی تغییرات دمایی در ریل اصلی

ابتدا لازم است مشخص شود که چطور نیروهای دمایی از ریل داخلی به ریل اصلی منتقل می‌شوند. معمولاً نیروی دمایی از طریق بدنه پاشنه دستگاه تعویض خط، سختی خمشی تراورس و لنگر مقاوم پابند به ریل اصلی منتقل می‌شود و مقاومت بالاست نیز در انتقال نیرو مؤثر است.

نیروهای منتقل شده از طریق لنگر مقاوم پابندها نسبتاً کوچک‌اند و به همین دلیل در قسمتی از دستگاه تعویض خط که دو ریل دارند قابل صرف‌نظر کردن هستند. نیروهای منتقل شده از طریق سختی خمشی تراورسها سهم معینی را به خود اختصاص می‌دهند. به این ترتیب ماکزیمم مقدار نیروهای منتقل

صفحه زیر خواهد لغزید. بنابراین لازم است به جای p مقدار p_c قرار داده شود.

مقدار انبساط یا انقباض ریل داخلی قبل از محاسبات (x) فرض می‌شود یعنی زمانی که نیروهای گرمایی P_t وارده بر هر دو انتهای ریل و مقاومت معادل P_m در پاشنه سوزن^۱ معلوم‌اند، مقاومت معادل p به صورت مقدار ثابتی مابین دو تراورس منظور می‌شود، شکل (۲)، تغییر طول ریل داخلی از مقدار x (مربوط به آخرین تراورس) محاسبه می‌شود. مقاومت معادل تراورس n ام برابر خواهد بود با:

$$p = p_0 + p_a + p_b = \frac{P_{0n}}{a} + \frac{K_{ln} f_n}{a} + \frac{2M}{ab_n} \quad (7)$$

از شکل (۲) تغییر مکان نقطه n به شرح ذیل محاسبه می‌شود:

$$f_n = \frac{\Omega_n}{EF} = \frac{a^2 p_n}{2EF} = \frac{a(P_{0n} + K_{ln} f_n + 2M/b_n)}{2EF} \quad (8)$$

یعنی:

$$f_n = \frac{aP_{0n} + 2M/b_n}{2EF - K_{ln} a} \quad (9)$$

اگر آخرین تراورس دارای ۴ ریل باشد داریم:

$$f_n = \frac{ar_0(l_n - b_n) / 2 + 2M/b_n}{2EF - K_{ln} a} \quad (10)$$

که در آن:

E : ضریب کشسان ریل

F : سطح مقطع ریل

K_{ln}, l_n, b_n مقادیر مربوط به نقطه n ام است، شکل (۳).

هنگام محاسبه f_n ، مقاومت معادل نسبی P_n به دست می‌آید بنابراین P_n از شکل (۲) قابل محاسبه خواهد بود یعنی:

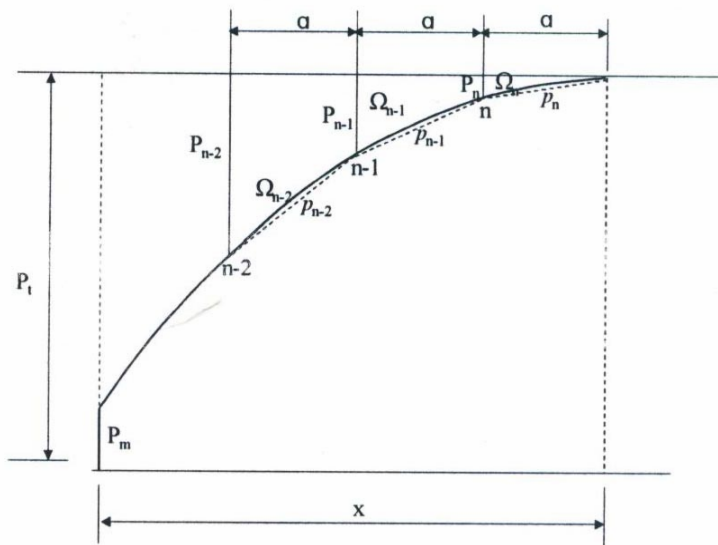
$$P_n = ap_n \quad (11)$$

به همین روش، مقدار p فاصله بعدی تراورسها قابل محاسبه‌اند یعنی:

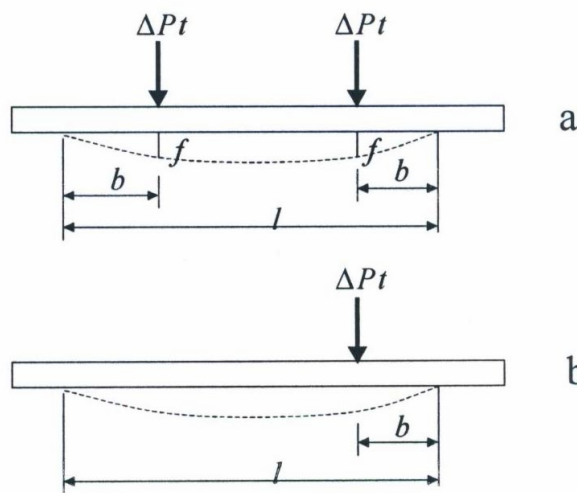
$$p_{n-1} = p_0 + p_a + p_b = \frac{r_0(l_{n-1} - b_{n-1})}{2a} + \frac{K_{l(n-1)} f_{n-1}}{a} + \frac{2M}{ab_{n-1}} \quad (12)$$

$K_{l(n-1)}, l_{n-1}, b_{n-1}$ مقادیر مربوط به نقطه $n-1$ هستند.

مطابق شکل (۲) تغییر مکان $n-1$ برابر است با:



شکل ۲- نیروی ناشی از حرارت در ریل داخلی



شکل ۳- ΔP_t وارده بر تراورسهای دستگاه خطوط

نیروی گرمایی اضافی که از طریق لنگر مقاوم ناشی از پابندها به ریل اصلی منتقل می شود برابر است با:

$$\Delta P_t' = \frac{2M}{b} \quad (20)$$

با فرض مقاومت طولی بالاست برابر با Q ، نیروهای گرمایی اضافی که در هر نقطه از دستگاه تعویض خط به ریل اصلی منتقل می شوند برابرند با:

$$\Delta P_t = \Delta P_t + \Delta P_t' - Q \quad (21)$$

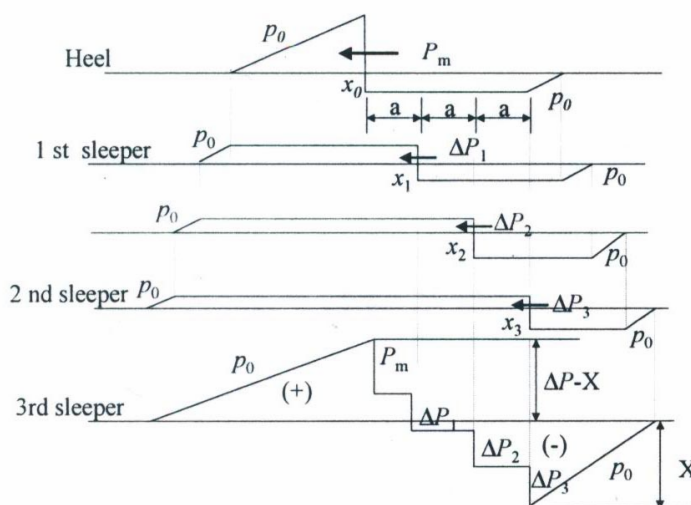
اگر n برابر تعداد تراورسهای دستگاه تعویض خط باشد که

شده در قسمتی از دستگاه تعویض خط که چهار ریل دارند، اتفاق می افتد.

بر اساس اصول مقاومت مصالح، نیروی گرمایی اضافی که از طریق سختی خمشی تراورس به ریل اصلی منتقل می شود برابر است با [۲]:

$$\Delta P_t = \frac{6E'J'}{3lb^2 - 4b^3} f = K_1 f \quad (\text{شکل } a - 3) \quad (18)$$

$$\Delta P_t = \frac{3EI \cdot 1}{(lb - b^2)^2} f = K_2 f \quad (\text{شکل } b - 3) \quad (19)$$



شکل ۴- نمودار نیروهای اضافی ریل اصلی

یک طرفه جوشکاری شده (فقط در مسیر اصلی جوشکاری شده و در مسیر انشعابی درز دارند) و دارای تکه مرکزهای متحرک اند و تغییرات دمایی ۵۵ درجه برای آنها منظور شده است. شکل (۵) نشان می دهد که ماکزیمم نیروی گرمایی اضافی در پاشنه دستگاه خطوط اتفاق می افتد و به این ترتیب لازم است که پایداری خط و مقاومت ریل و مقاومت ادوات نگهدارنده پاشنه کنترل شوند. همچنین لازم است که تغییر شکل انقباضی و انبساطی زبانه ریل و زبانه تکه مرکزی کنترل شوند.

۳- تحلیل دستگاههای تعویض خط CWR از طریق

آزمایش و مشاهده

به منظور کنترل نظریه تشریح شده در فوق (دستگاه تعویض خط CWR)، از نتایج آزمایشهای مرکز تحقیقات راه آهن چین استفاده شده است.

در این آزمایشها ۱۴ نوع مختلف دستگاه تعویض خط CWR نصب شده و آزمایشهای صحرائی بر روی آنها صورت گرفته اند [۴]. در طول انجام تحقیق، نیروهای گرمایی اضافی وارده بر ریل اصلی تغییر مکان زبانه ریل (تیغه سوزن) و تکه مرکزی اندازه گیری شده اند.

در انتقال نیرو شرکت می کنند، شکل (۴)، مقادیر نیروهای گرمایی اضافی ریل اصلی به صورت زیر خواهد بود:

$$\Delta P_0 = P_m$$

$$x_0 = \frac{\Delta P_0^2}{2(nap_0 + P_m)}$$

$$x_i = \frac{\Delta P_i^2 + 2\Delta P_i(ip_0a + \sum_{k=0}^{i-1} \Delta P_k - \sum_{k=0}^{i-1} x_k)}{2(nap_0 + \sum_{k=0}^i \Delta P_k)}$$

$$\Delta P = \sum_{i=0}^n \Delta P_i$$

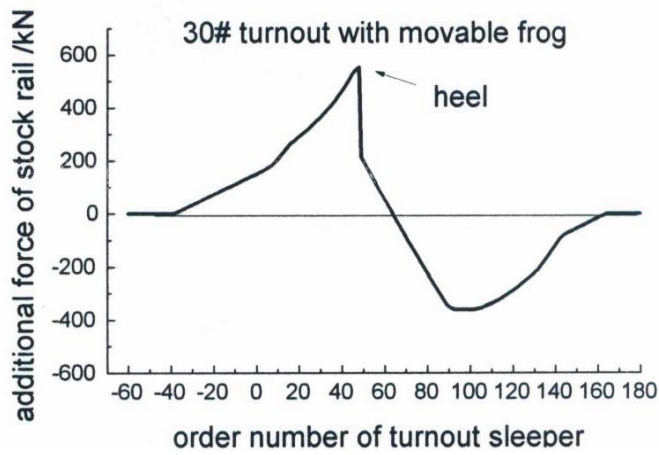
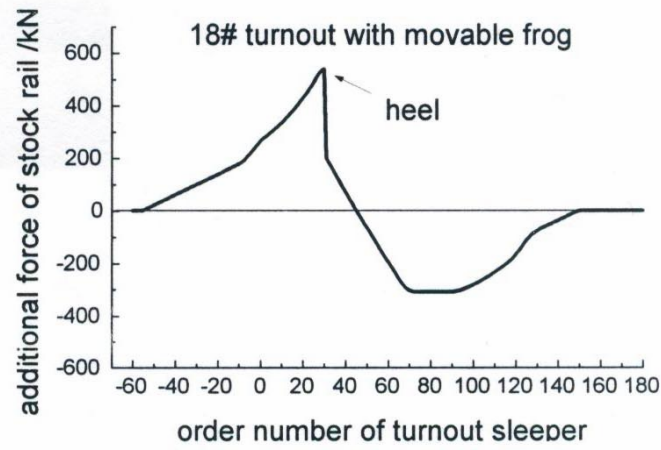
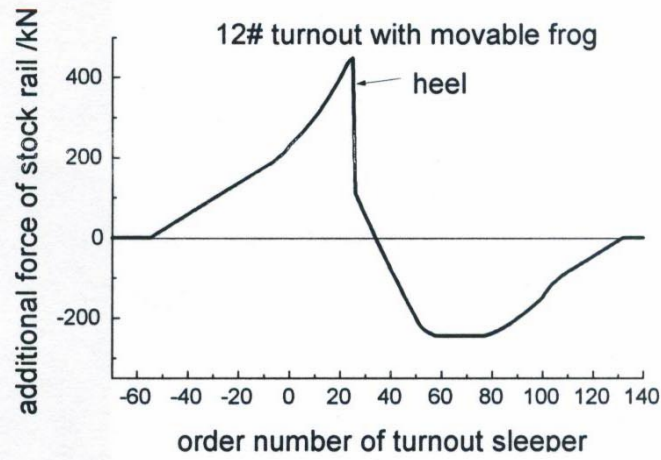
$$X = -(x_0 + \sum_{i=0}^n x_i) \quad (22)$$

$$\Delta P_i = \Delta P_{ti} + \Delta P_{ti}' - Q_i \quad (23)$$

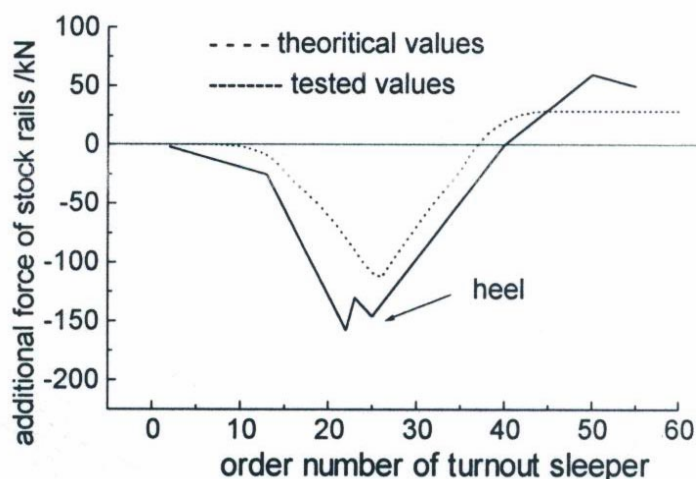
۳-۲- تحلیل نتایج محاسبات

بر اساس نظریه تشریح شده در فوق، نیروها و تغییر شکلهای دستگاه تعویض خط نمرة ۱۲ و ۱۸ و ۳۰ با ریل 60kg/m با جوشکاری طویل محاسبه شده است.

شکل (۵) نتایج محاسبات نیروهای گرمایی اضافی وارده بر ریل اصلی را نشان می دهد. تمامی دستگاههای تعویض خط



شکل ۵- نیروی گرمایی اضافی ریل اصلی



شکل ۶- نیروهای گرمایی اضافی نظری و مقادیر اندازه گیری شده

جدول شماره ۱- مقایسه مقادیر محاسباتی و نتایج آزمونها

(1)	Turnout with movable frog				turnout with rigid frog	
	calculating values		testing values		calculating values	testing values
	inner rail	frog rail	inner rail	frog rail	inner rail	inner rail
19 °C	4.9	3.4	4.5	3.5	/	/
14 °C	/	/	/	/	2.6	3.0
29 °C	6.8	4.2	7.0	5.0	/	/

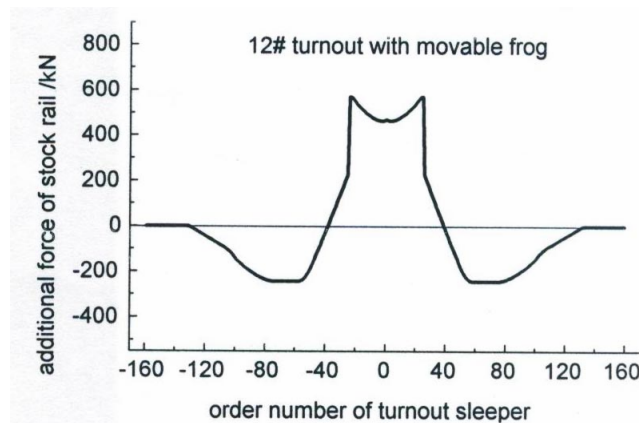
(۱) نوع دستگاه خطوط (۲) تغییرشکلها بر حسب میلیمتر (۳) تغییرات دما

جدول شماره ۲- نتایج محاسباتی ماکزیمم فواصل مختلف محصور شده بوسیله حایل تیغه برای

ریل 60 kg/m و نمره دستگاه ۱۲

restricted distances /mm	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		(6)	
	/kN	/kN	/kN	/kN	absolute mm	relative mm	absolute mm	relative mm
7	381.4	197.9	169.2	152.4	16.01	13.92	6.95	5.62
8	350.9	175.7	142.9	152.4	17.01	15.47	6.95	5.22
9	318.6	153.5	115.7	152.4	18.01	16.97	6.95	4.81
10	286.3	133.2	89.3	152.4	19.01	18.36	6.95	4.42

(۱) ماکزیمم نیروی کششی اضافی (۲) ماکزیمم نیروی فشاری اضافی (۳) نیروی برشی وارده بر بولتهای حایل در پاشنه سوزن (۴) نیروی برشی وارده بر بولتهای حائل در انتهای ریل بالی (۵) تغییر مکان نقطه نظری سوزن (۶) تغییر مکان نقطه نظری تکه مرکزی متحرک



شکل ۷- نیروهای گرمایی اضافی نظری و نتایج آزمونها

۳-۱- طراحی، نصب دستگاه خطوط CWR

با همکاری راه آهنهای پکن، هاربین و اورومچی، دستگاه تعویض خط نمرة ۱۲ با ریل ۷۵ kg/m جوشکاری شده طویل با تکه مرکزی متحرک و همچنین دستگاه تعویض خط نمرة ۱۲ با ریل جوشکاری شده طویل ۶۰ kg/m و با تکه مرکزی متحرک و صلب (مجموعاً ۱۴ دستگاه) طراحی و نصب شده‌اند. تمامی این دستگاهها در مسیر اصلی به صورت CWR جوشکاری شده و در مسیر انشعابی دارای درزند. این دستگاهها به ترتیب طی سالهای ۱۹۹۵ - ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ نصب شده و مشاهدات نشان می‌دهند که در این مدل رفتار کاملاً خوبی داشته‌اند [۴].

۴- نتیجه گیری

بر اساس محاسبات نظری و نتایج آزمایشها، پیشنهادهاى زیر برای جوشکاری و نصب دستگاه تعویض خط CWR ارائه می‌شوند.

۱- دستگاه تعویض خط CWR بایستی در محدوده دمایی طراحی شده (دمایی که ریل بدون تنش است) نصب شود. با توجه به پیچیدگی دستگاههای تعویض خط CWR و فقدان تجربه کافی در آزاد سازی تنشهای گرمایی این دستگاهها، لازم است که از نصب و اتصال دستگاههای جوشکاری شده طویل در خارج از محدوده دمایی طراحی خودداری شود. این عمل در نگهداری دستگاههای جوشکاری شده طویل مفید و مؤثر خواهد بود.

۳-۲- تحلیل نیروها و تغییر مکانهای دستگاه تعویض خط

جوشکاری شده طویل

نیروهای گرمایی اضافی و تغییر مکانهای ریل در دستگاههای تعویض خطوط اشاره شده در فوق مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. شکل (۶) نتایج محاسبات و آزمایشهای انجام شده را نشان می‌دهد. همچنین جدول شماره (۱) مقادیر تغییر مکان ریلها را هم در تیغه سوزن و هم در زبانه تکه مرکزی نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۶) و جدول (۱) می‌توان نتیجه گرفت که نتایج آزمایشها با نتایج محاسبات نظری تطابق خوبی دارند.

۲- دستگاه تعویض خط پیچیده ترین قسمت خطوط CWR بوده و لازم است که بر اساس مقررات خاصی نگهداری شود. همچنین توجه خاصی به تکمیل بالاست، محکم نگهداشتن پابندها و پیچ و مهره‌های با مقاومت زیاد مبذول شود.

۳- حایل تیغه در پاشنه سوزن تحت تاثیر همان نیروهای اضافی قرار می‌گیرد و اگر ضرورت داشته باشد، باید مقاومت و تعداد آنها بر اساس نتایج محاسبات نظری افزایش یابند. به این ترتیب زبانه ریل و ریل بالای شکل تکه مرکزی منبسط و

منقبض نخواهد شد.

با مقاومت بالا در انتهای ریل اصلی مورد استفاده قرار گیرند.

۶- هنگامی که تعدادی از دستگاہ تعویض خط CWR در کنار هم نصب شوند، نیروهای گرمایی اضافی آنها به همدیگر افزوده می‌شوند، ولی مقادیر اضافی کمتر از حاصل جمع این نیروها برای هر یک از دستگاہهای منفردند، شکل (۷)، بنابراین کافی است که نیروها فقط برای دستگاہ خطوط منفرد کنترل شوند.

تشکر و قدردانی

در پایان از حمایت‌های مالی انستیتو تحقیقات راه آهن چین و دانشگاه جیاوتونگ شمالی پکن در انجام آزمایشات مختلف در نواحی مختلف چین تشکر و قدر دانی می‌شود.

۴- ماکزیمم فاصله محصور بین حایل‌های تیغه ریل در نیروها و تغییر مکان‌های دستگاہ تعویض خط CWR تاثیر دارد (مراجعه به جدول ۲)، بنا براین لازم است به منظور بهبود رفتار این دستگاہها این فاصله به دقت انتخاب شود.

۵- در دستگاہ تعویض خط جوشکاری شده یک طرفه که خط انشعابی به صورت جوشکاری شده به دستگاہ خطوط متصل نشده است، باید ریل اصلی خط انشعابی در جهت زبانه ریل حرکت کند. به منظور کاهش تغییر مکان نسبی بین زبانه تیغه و ریل اصلی خط انشعابی لازم است که ریل اصلی انشعابی بر اساس مقررات خاصی در قسمت قابل حرکت^۲ خط CWR، محکم شود و همچنین پیچ و مهره‌های

واژه‌نامه

1. heel point
2. breathing zone

مراجع

1. Esveld, C., *Modern Railway Track* 2nd ed., MRT Production, Germany, 2001.
۲. ذاکری ج.ع.، "جزوه درسی دستگاہ تعویض خطوط راه آهن" دانشگاه علم و صنعت ایران، ص ۶۷-۵۸، ۱۳۸۱.
3. Shigeru Miura and Hideaki Yanagawa, "Characteristics of Axial Force in Rail at Turnout Integrated with Continuous Welded Rail," Rep of RTRI, 1989.
4. Fan junjie, Gu Ai jun, Zakeri, J. A., and Chen yue yuan, "On-Site Tests in Continuous Welded Turnouts in Chinese Railway," Research Report No. njtu-12, Northern Jiaotong University, 2000.