

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 جیائوتونگ 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 ایسـتگاه راه آهـن بسـیار مهـم اسـت. براساس نظریههای مقاومت معادل و مقاومت غیر خطی و اصول توزیع نیرو در دستگاه تعویض خط، روش نظری جدیدی برای محاسبات مربوط بـه 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 داده های حاصل از آزمایشها ثابت شده است که محاسبات نظـری صـحیح بـوده و مقـادیر 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, Chnia

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

* – استادیار 🛛 ** – استاد

فهرست علائم

۱- مقدمه

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 RWC 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 شدهاند و هر دو انتهای دستگاه تعویض

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 میگیرند. نیروهای وارده به ریل اصلی همدیگر را متعادل میکنند، با وجود این، تنها یک انتهای ریل داخلی در معرض نیروهای حرارتی قرار میگیرد. 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 کنتـرل مقادیر آنهاست که در حدود مجاز قرار گیرند.

اگر چه تعداد زیادی از دستگاههای تعویض خطوط CWR در کشورهای اروپای غربی نصب شدهاند 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



()) $\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 + \mathbf{p}_a + \mathbf{p}_b$ که در آن p₀ مقاومت طولی بالاست به ازای هر ریل است. برای تراورسهای چهارریله، در ریل داخلی داریم: $p_0 = \frac{r_0}{2a}(l-b)$ $p_0 = \frac{r_0}{2a}(L-l-b)$ برای تراورسهای دو $p_0 = \frac{r_0}{2a}$ (۴) به این تر تیب مقاوم تراورسهای دستگاه خطوط برابر خواهد بود با: $p_a = \frac{\Delta P_t}{a} = \frac{6EI}{(3lb^2 - 4b^3)a}f = K_1f$ (**b**) مقاومت تبديل شده لنگر مقاوم پابندها برابر خواهد بود با: $p_b = \frac{\Delta P_t'}{a} = \frac{2M}{ab}$ (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، مقاومت یابندها، باشد ریل بر روی

این نوع دستگاهها صورت نگرفته است. آقایان شیگه رو میورا و هیده آکی یاناگاوا [۳] از ژاپن تحقیقاتی را با استفاده از نظریه اندر کنش نیروهای بین ریلها انجام داده اند. این نظریهها بر اساس شرایط آب و هروایی کشور چین بررسی شده و آزمایشهای صحرایی توسط پروفسور فن جون جیه و همکاران [1] در این مورد صورت گرفته و تطابق بین نظریه و نتایج آزمایشها در این مقاله تشریح شدهاند.

۲ – طراحی دستگاه تعویض خط در خطوط جوشکاری شده طویل

۲–۱ محاسبه انقباض و انبساط ریل داخلی

عوامل زیادی در انبساط و انقباض ریل داخلی موثرند. سه عامل اصلی عبارتاند 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:

صفحه زیر خواهد لغزید. بنابراین لازم است بـه جـای p مقـدار p_c قرار داده شود.

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

$$p = p_0 + p_a + p_b = \frac{P_{0n}}{a} + \frac{K_{1n}f_n}{a} + \frac{2M}{ab_n}$$
 (V)

$$f_{n} = \frac{\Omega_{n}}{EF} = \frac{a^{2}p_{n}}{2EF} = \frac{a(P_{0n} + K_{1n}f_{n} + 2M/b_{n})}{2EF}$$
(A)

$$r_{n} = \frac{aP_{0n} + 2M/b_{n}}{2EF - K_{1n}a}$$
(9)

$$f_{n} = \frac{ar_{0}(l_{n} - b_{n})/2 + 2M/b_{n}}{2EF - K_{1n}a}$$
(1.)

که درآن:

$$p_{n-1} = p_0 + p_a + p_b = \frac{r_0(l_{n-1} - b_{n-1})}{2a} + \frac{K_{1(n-1)}f_{n-1}}{a} + \frac{2M}{ab_{n-1}}$$
(17)

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

$$\begin{split} f_{n-1} &= \frac{3a^2 p_n + a[r_0(l_{n-1} - b_{n-1})/2 + 2M/b_{n-1}]}{2EF - K_{1(n-1)}a} \qquad (17) \\ &= \mu_{n-1} l_{n-1}a l_{n-1} l_{n-1}a l_{$$

$$f_0 = f_1 + \frac{(P_1 + P_t - P_m)a'}{2EF}$$
 (1V)

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

CID

۳٨٤



$$\Delta P_{t} = \frac{3EI \cdot l}{(lb - b^{2})^{2}} f = K_{2}f \quad (\forall -b)$$
(14)

استقلال، سال ۲۴، شمارهٔ ۱، جلد دوم، شهریور ۱۳۸۴

www.SID.ir

اتفاق مىافتد.

برابر است با[۲]:

 (Λ)

 $\Delta P_t' = \frac{2M}{b}$ با فرض مقاومت طولی بالاست برابر با Q، نیروهای گرمایی اضافی که در هر نقطه از دستگاه تعویض خط به ریال اصلی $\Delta P_i = \Delta P_t + \Delta P_t ' - Q$ (11) اگر n برابر تعداد تراورسهای دستگاه تعویض خط باشد که

Heel P_0 r_{x_0} r_{x_0} r_{x_0}

شکل ٤- نمودار نیروهای اضافی ریل اصلی

در انتقال نيرو شرکت میکنند، شکل (٤)، مقادير نيروهای کرمایی اضافی ريل اصلی به صورت زير خواهد بود: $\Delta P_0 = P_m$ $x_0 = \frac{\Delta P_0^2}{2(nap_0 + P_m)}$ $x_i = \frac{\Delta P_i^2 + 2\Delta P_i (ip_0 a + \sum_{k=0}^{i-1} \Delta P_k - \sum_{k=0}^{i-1} x_k)}{2(nap_0 + \sum_{k=0}^{i} \Delta P_k)}$

$$\Delta P = \sum_{i=0}^{n} \Delta P_i$$
$$X = -(x_0 + \sum_{i=0}^{n} x_i)$$
(YY)

$$\Delta P_{i} = \Delta P_{ti} + \Delta P_{ti} - Q_{i}$$
^(YY)

۲-۳- تحلیل نتایج محاسبات

بر اساس نظریـه تشـریح شـده در فـوق ، نیروهـا و تغییـر شکلهای دستگاه تعـویض خـط نمـره ۱۲ و ۱۸ و ۳۰ بـا ریـل 60kg/m با جوشکاری طویل محاسبه شده است.

شکل (۵) نتایج محاسبات نیروهای گرمایی اضافی وارده بـر ریل اصلی را نشان میدهد. تمـامی دسـتگاههای تعـویض خـط

یک طرفه جوشکاری شده (فقط در مسیر اصلی جوشکاری شده و در مسیر انشعابی درز دارند) و دارای تکه مرکزهای متحرکاند و تغییرات دمایی ۵۵ درجه برای آنها منظور شده است. شکل (۵) نشان میدهد 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.

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 ۱۶ نوع مختلف دستگاه تعویض خط CWR نصب شده و آزمایشهای صحرایی بر روی آنها صورت گرفتهاند[٤]. در طول انجام تحقیق، نیروهای گرمایی اضافی وارده بر ریل اصلی تغییر مکان زبانه ریل (تیغه سوزن) و تکه مرکزی اندازه گیری شدهاند.

377



شکل ٥- نیروی گرمایی اضافی ریل اصلی



~					
1 . 1 1 .	-1 1	. 1 *	. 17 1	1 4	- I - A
ه تتابيح ارمونها	محاسبانہ	مفادد	۱ – مقایسه	شماده	حدهان
	5	J#			• • • • •

	Turnout with movable frog				turnout with	rigid frog		
(2)	calculating values		testing values		calculating values	testing values		
(3)	inner rail	frog rail	inner rail	frog rail	inner rail	inner rail		
19 ℃	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

حایل تیغه برای	ور شده بوسيله	مختلف محص	باكزيمم فواصل	محاسباتی م	اره ۲– نتایج	جدول شم
		ه دستگاه ۱۲	_ی 60 kg/m و نم	ريل		

						/		
restricted	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		(6)	
distances					absolute	relative	absolute	relative
/mm	/kN	/kN	/kN	/kN	mm	mm	mm	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 (٤) نیروی برشی وارده بر بولتهای حائل در انتهای ریل بالی (٥) تغییر مکان نقطه نظری سوزن (٦) تغییر مکان نقطه نظری تکه مرکزی متحرک



٤- نتيجه گيري

براساس محاسبات نظری و نتایج آزمایشها، پیشنهادهای 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.
- 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 می گیرد و اگر ضرورت داشته باشد، باید مقاومت و تعداد آنها براساس نتایج محاسبات نظری افزایش یابند. به این ترتیب زبانه ریل و ریل بالی شکل تکه مرکزی منبسط و

۳-۱- طراحی، نصب دستگاه خطوط CWR

با همکاری راه آهنهای پکن، هاربین و اورومچی، دستگاه تعویض خط نمره ۱۲ با ریل ۷۵ kg/m جوشکاری شده طویل با تکه مرکزی متحرک و همچنین دستگاه تعویض خط نمره ۱۲ با ریل جوشکاری شده طویل ۸۶ kg/m و با تکه مرکزیهای متحرک و صلب (مجموعاً ۱۶ دستگاه) طراحی و نصب شدهاند. CWR ممیایی دستگاهها در مسیر اصلی به صورت CWR تمامی این دستگاهها در مسیر اصلی به صورت CWR به ترتیب طی سالهای ۱۹۹۰ – ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ نصب شده و مشاهدات نشان میدهند که در این مدل رفتار کاملاً خوبی داشتهاند[٤].

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 (٦) نتایج محاسبات و آزمایشهای انجام شده را نشان میدهد. همچنین جدول شماره (١) مقادیر تغییر مکان ریلها را هم در تیغه سوزن و هم در زبانه تکه مرکزی نشان میدهد. بر اساس شکل (٦) و جدول (١) میتوان نتیجه گرفت که نتایج آزمایشها با نتایج محاسبات نظری تطابق خوبی دارند.

منقبض نخواهد شد.

- ٤- ماکزیمم فاصله محصور بین حایلهای تیغه ریل در نیرو ها و تغییر مکانهای دستگاه تعویض خط CWR تاثیر دارد (مراجعه به جدول ۲)، بنا براین لازم است به منظور بهبود رفتار این دستگاهها این فاصله به دقت انتخاب شود.
- ٥- در دستگاه تعویض خط جوشکاری شده یک طرفه که خط انشعابی به صورت جوشکاری شده به دستگاه 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

واژەنامە

با مقاومت بالا در انتهای ریـل اصـلی مـورد اسـتفاده قـرار گیرند.

۲- هنگامی که تعدادی از دستگاه 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 دستگاههای منفردند، شکل (۷)، بنابراین کافی است که نیروها فقط برای دستگاه خطوط منفرد کنترل شوند.

تشکر و قدردانی

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

- 1. heel point
- 2. breathing zone
- 1. Esveld ,C., *Modern Railway Track* 2nd ed., MRT Production, Germany, 2001.
- ۲. ذاکری ج. ع.، "جزوه درسی دستگاه تعویض خطوط راه آهن "دانشگاه علم و صنعت ایران، ص ۲۷–۵۸، ۱۳۸۱.
- 3. Shigeru Miura and Hideaki Yanagawa, "Characteristics of Axial Force in Rail at Turnout

مراجع

Integrated with Continiuous 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.