
Abstract

The wheel-rail relationship is one of the most fundamental issues of the vehicle-track system, which directly affects the wheel-rail interaction and vehicle-track performance. The wheel wear problem, which is strongly related to the wheel-rail relationship, is especially prominent in high-speed and heavy-haul trains, with serious wear affecting the service life of wheelsets and the running safety of trains. Under the established vehicle-track system structure, optimizing the wheel profile and finding a wheel profile that brings low wheel wear is an economical and effective way. Based on the wheel-rail rolling contact theory, combined with the vehicle-track system dynamics, this work researches the prediction of regular and irregular wheel wear and establishes a wheel profile multi-objective optimization system. The main contents of this work include:

(1) This work detailedly derives three classical virtual penetration non-Hertzian wheel-rail contact models (i.e., the Kik-Piotrowski, STRIPES, and ANALYN models) and presents a new wheel-rail normal contact model considering wheelset yaw based on the projection method, ANALYN, and Sun's approximate expression, abbreviated as ANALYN-YAW, and the correctness of the model is verified by CONTACT and the Modified Semi-Hertzian Model.

(2) Based on ANALYN-YAW, FaStrip, and the wear model developed by the University of Sheffield (USFD), a wheel wear prediction method called ANALYN-YAW-FaStrip-USFD is presented. To improve the prediction accuracy, an automatic adjustment strategy based on the Kriging surrogate model and particle swarm optimization algorithm is introduced to adjust the wear rate of the USFD model. The result predicted by the ANALYN-YAW-FaStrip-adjusted USFD method is compared with a field test result from an electric locomotive (E-Lok) serving on the Blankenburg-Rübeland railway line.

(3) A brief overview of the possible formation mechanisms of wheel out-of-roundness (OOR) and the proposed countermeasures are given, and a long-term wheel irregular wear prediction method is presented based on ANALYN-FaStrip-USFD. The evolution of wheel OOR for a tank wagon with two Y25 bogies and the Manchester benchmark passenger vehicle under different wheel profiles is simulated to explore the relationship between the wheel profile and wheel OOR.

(4) The wheel profile optimization methods proposed in the past two decades are reviewed, and a wheel profile fine-tuning system (WPFTS) is then developed, which comprehensively considers the influence of wheel profile on wheel damage, vehicle stability, vehicle safety, and passenger comfort. Three cases are introduced to show how WPFTS recommends a wheel profile according to train operators' needs. Among them, a wheel profile with high shape stability, a wheel profile for mitigating the development of wheel OOR, and a wheel profile considering hunting stability and derailment safety are developed, respectively.

Zusammenfassung

Die Rad-Schiene-Beziehung ist eine der grundlegendsten Fragen des Fahrzeug-Schiene-Systems, die sich direkt auf die Rad-Schiene-Interaktion und das Fahrzeug-Schiene-Verhalten auswirkt. Das Problem des Radverschleißes, das eng mit der Rad-Schiene-Beziehung zusammenhängt, tritt besonders bei Hochgeschwindigkeits- und schweren Güterzügen auf. Wobei der Verschleiß die Lebensdauer der Radsätze und die Fahrsicherheit der Züge stark beeinträchtigt. Unter den durch das Fahrzeug-Schienesystem gegebenen Randbedingungen, bildet die Optimierung des Radprofils hin zu einem Radprofil, welches einen geringen Radverschleiß verursacht, einen wirtschaftlichen und effektiven Weg. Basierend auf der Rad-Schiene-Rollkontakttheorie in Kombination mit der Dynamik des Fahrzeugsystems untersucht diese Arbeit die Vorhersage von regelmäßigem und unregelmäßigem Radverschleiß und etabliert ein Mehrziel-Optimierungssystem für Radprofile. Die Hauptinhalte dieser Arbeit umfassen:

(1) Diese Arbeit leitet detailliert drei klassische nicht-Hertzsche Rad-Schiene-Kontaktmodelle ab (d.h. das Kik-Piotrowski-, das STRIPES- und das ANALYN-Modell) und präsentiert ein neues Rad-Schiene-Normalkontaktmodell unter Berücksichtigung des Radsatzgierens, basierend auf der Projektionsmethode, ANALYN und dem approximativen Ausdruck von Sun, abgekürzt als ANALYN-YAW. Die Korrektheit des Modells wird durch CONTACT und dem modifizierten Semi-Hertz Modell verifiziert.

(2) Basierend auf ANALYN-YAW, FaStrip und dem an der Universität of Sheffield (USFD) entwickelten Verschleißmodell wird eine Methode zur Vorhersage des Radverschleißes Namens ANALYN-YAW-FaStrip-USFD vorgestellt. Um die Vorhersagegenauigkeit zu verbessern, wird eine automatische Anpassungsstrategie eingeführt, die basierend auf dem Kriging-Surrogatmodell und dem Algorithmus der Partikelschwarmoptimierung, die Verschleißrate des USFD-Modells anpasst. Das mit ANALYN-YAW-FaStrip-USFD vorhergesagte Ergebnis wird mit dem Feldtest-Ergebnissen einer Elektrolokomotive (E-Lok), die auf der Bahnstrecke Blankenburg-Rübeland eingesetzt wird, verglichen.

(3) Es wird ein kurzer Überblick über die möglichen Entstehungsmechanismen von Rad-Unrundheiten (OOR) und die vorgeschlagenen Gegenmaßnahmen gegeben und eine Methode zur langfristigen Vorhersage von unregelmäßigem Radverschleiß auf der Basis von ANALYN-FaStrip-USFD vorgestellt. Um die Beziehung zwischen dem Radprofil und Rad-OOR zu untersuchen, wird die Entwicklung von Rad-OOR für einen Kesselwagen mit zwei Y25-Drehgestellen und dem Referenz-Personenwagen aus dem Manchester Benchmark mit verschiedenen Radprofilen simuliert.

(4) Die in den letzten zwei Jahrzehnten vorgeschlagenen Radprofil-Optimierungsmethoden werden überprüft, und anschließend wird ein Radprofil-Feinabstimmungssystem (WPFTS) entwickelt, das den Einfluss des Radprofils auf Radschäden, Fahrzeugstabilität, Fahrzeugsicherheit und Fahrgastkomfort umfassend berücksichtigt. An drei exemplarischen Fällen wird gezeigt, wie WPFTS ein Radprofil entsprechend den

Anforderungen der Zugbetreiber empfiehlt. Unter ihnen werden ein Radprofil mit hoher Formstabilität, ein Radprofil zur Abschwächung der Entwicklung von Rad-OOR und ein Radprofil, den Sinuslauf und Entgleisungssicherheit berücksichtigt, entwickelt.