

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA VAN GIA TỐC TRONG HỆ THỐNG PHANH KHÍ NÉN

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE RELAY VALVE IN PNEUMATIC BRAKE SYSTEM

Trần Trọng Đạt

Viện Cơ khí Động lực, Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Phanh khí nén là một trong những hệ thống phanh phổ biến trên các dòng xe tải cỡ lớn. Ưu điểm của nó là lực phanh lớn và lực điều khiển nhẹ nhàng. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của phanh khí là độ chậm tác dụng và khó kiểm soát thời gian gia tăng áp suất đồng nhất trong các bầu phanh. Một trong các giải pháp cho vấn đề này là sử dụng van gia tốc. Các phương pháp truyền thống thường dùng các phương trình toán học để miêu tả sự di chuyển của dòng khí khi đi qua các cụm. Phương pháp này có nhược điểm là không mô tả được chính xác ở tất cả các trạng thái. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng một phần mềm chuyên dụng để mô phỏng hệ thống nhằm đánh giá hiệu quả của van gia tốc trong hệ thống phanh khí có thông số đường kính ống dẫn khí khác nhau. Các kết quả chỉ ra rằng thông số kích thước của đường ống khí và van gia tốc ảnh hưởng lớn đến thời gian phản ứng của hệ thống phanh khí nén. Nghiên cứu đã cho thấy sử dụng van gia tốc và lựa chọn đường kính ống dẫn khí hợp lý có thể giảm 50% thời gian chậm tác dụng của hệ thống phanh khí.

Từ khóa: Phanh khí nén; Tổng phanh khí nén; Van gia tốc; Thời gian chậm tác dụng.

ABSTRACT

Pneumatic brake systems are among the most common braking systems in large trucks. Their advantages include strong braking force and small control force. However, the biggest drawback of pneumatic brakes is the slow response and difficulty in controlling the uniform pressure increase time in the brake chambers. One solution to this issue is the use of an relay valve. Traditional methods often employ mathematical equations to describe the airflow displacement as it passes through the assemblies. However, this method has the disadvantage of not accurately describing all states. In this study, we utilized specialized software to simulate the system to evaluate the effectiveness of the relay valve in pneumatic brake systems with different diameter specifications for air ducts. The results indicate that the dimensions of the air ducts and the relay valve significantly affect the response time of the pneumatic brake system. The research demonstrated that utilizing an relay valve and selecting appropriate air duct diameters can reduce the response time of the pneumatic brake system by up to 50%.

Keywords: Pneumatic brake system; Dual brake valve; Relay valve; Response time.

1. TỔNG QUAN

Phanh khí nén là một trong các đối tượng được nghiên cứu khá nhiều trong lĩnh vực ô tô hiện nay do đây là hệ thống phổ biến trong các dòng xe tải [1-7]. Phanh khí nén cho thấy được các ưu điểm không thể thay thế như lực phanh lớn trong khi lực điều khiển nhẹ nhàng, độ chậm tác dụng cao nhưng giá thành lại rẻ hơn hệ thống phanh thủy khí. Do vậy, hệ thống này vẫn được sử dụng nhiều trong các dòng xe tải hiện nay. Ngoài ra, tổng phanh khí là một cụm chi tiết được sử dụng trong cả phanh khí nén và phanh thủy khí. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của phanh khí là sự chậm tác dụng [1, 6, 8, 9] từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả phanh cũng như động lực học của xe khi sự gia tăng áp suất đầu ra khác nhau giữa các nhánh. Sự gia tăng áp suất của hệ thống cũng đã được quy định trong tiêu chuẩn ECE R13. Từ những thực tế trên, nghiên cứu hoạt động của tổng phanh và sự ảnh hưởng của các thông số kết cấu đến sự gia tăng áp suất đầu ra là cần thiết.

Trong các nghiên cứu về phản ứng của hệ thống phanh khí, nhiều nghiên cứu thường coi các van là các tiết lưu và một khoang thể tích [10]. Các nghiên cứu này giúp đơn giản hóa hệ thống và phù hợp cho các hệ thống phức tạp, tuy nhiên khó xem xét các tác động của các kết cấu cũng như hoạt động cụ thể của các cụm van. Nghiên cứu của tác giả Zhe Wang và các đồng tác giả công bố năm 2017 kết luận rằng, tổng phanh và đường ống chiếm tới 80% tổng độ trễ của toàn hệ thống. Trong đó, độ trễ gây ra bởi đường ống và các đầu nối có thể lên đến 30% [1, 8]. Từ nghiên cứu của các tác giả có thể thấy để giảm độ trễ của hệ thống thì quá trình giảm độ trễ trên tổng phanh và đường ống là một trong những giải pháp quan trọng.

Nghiên cứu nhằm giảm thời gian phản

ứng của hệ thống, Ren He và Zhecheng Jing đã sử dụng buồng phanh tích năng của hệ thống phanh tay như một biện pháp hỗ trợ cho buồng phanh chính nhằm giảm thời gian chậm tác dụng. Các kết quả cho thấy phương pháp mới có thể giảm 0,19s trong thời gian phản ứng của hệ thống [11]. Ngoài ra, thuật toán điều khiển cũng sẽ ảnh hưởng đến thời gian phản ứng. Tác giả Devika đã kết luận rằng bộ điều khiển PID tốt có thể giảm 40% thời gian trễ trong hệ thống phanh ABS khí nén [6].

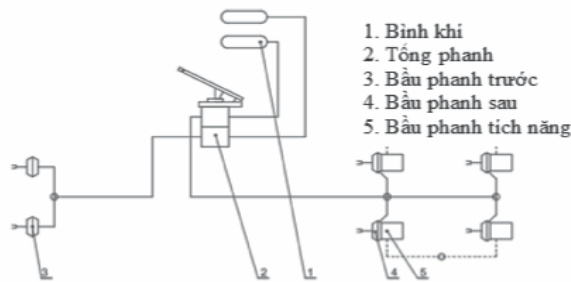
Van gia tốc là một thành phần quan trọng trong việc giảm thời gian phản ứng của hệ thống phanh khí nén. Palanivelu và đồng tác giả [12] chỉ ra rằng loại van và số lượng van gia tốc có ảnh hưởng đáng kể đến thời gian tăng áp và xả áp ở các buồng phanh trong hệ thống, đặc biệt là ở cầu sau. Sự chênh lệch tổng thời gian phản ứng có thể đạt được khoảng 0,23s.

Nghiên cứu của chúng tôi tập trung vào mô phỏng các cụm van của hệ thống phanh khí, từ đó khảo sát hiệu quả của van gia tốc với các hệ thống phanh có thông số kết cấu khác nhau như sự khác nhau về đường kính ống dẫn, chiều dài ống dẫn nhằm đưa ra các khuyến cáo khi thiết kế hệ thống phanh khí có van gia tốc.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu này, bài báo chỉ sử dụng sơ đồ rút gọn của hệ thống phanh với các thành phần và kết cấu như trong hình 1 để nghiên cứu. Do trên hệ thống phanh khí nén, van gia tốc thường được bố trí trên đường ra cầu sau hoặc các cầu có chiều dài đường ống lớn. Đồng thời, tổng phanh sử dụng là loại dẫn động độc lập hai dòng, do đó hoạt động của nhánh cầu trước không ảnh hưởng đến nhánh cầu sau.



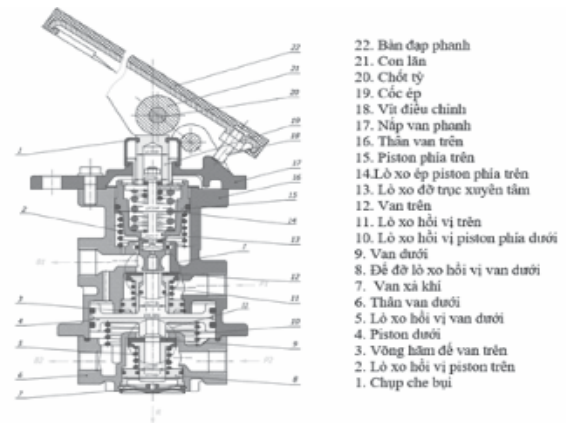


Hình 1. Sơ đồ hệ thống

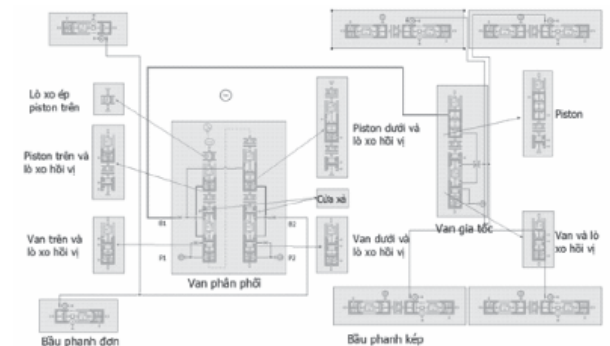
2.1. Mô hình hóa tổng phanh

Khi mô phỏng hoạt động của tổng phanh có thể tập trung vào các kết cấu chính tạo ra hai khoang: khoang trên và khoang dưới. Khoang trên gồm piston phía trên (15), van trên (12), lò xo ép piston phía trên (14) và các lò xo hồi vị; khoang dưới gồm piston dưới (4), van dưới (9) và các lò xo hồi vị. Khi đạp phanh, bàn đạp phanh đẩy con lăn đè cốc ép xuống, cốc ép này nén lò xo ép (14), lò xo này có độ cứng rất lớn so với các lò xo hồi vị còn lại, lò xo (14) đẩy piston phía trên (15) chạm vào van trên (12), lúc này khoang trên đóng đường xả ra khí trời, sau đó cả hai cùng đi xuống mở tiếp van 2, lúc này nguồn cấp khí vào P1 thông với B1. Đối với khoang dưới có hoạt động tương tự khoang trên: van trên (12) đẩy piston dưới (4) đi xuống chạm vào van dưới (9) đóng đường xả ra khí trời, sau đó tất cả cùng đi xuống mở van dưới (9), lúc này nguồn cấp khí P2 thông với B2. Còn đối với hoạt động khi giữ bàn đạp, áp suất khí ở hai khoang sẽ tăng dần tạo thành áp lực đẩy ngược lên các pít-tông trên và dưới làm các pít-tông này di chuyển ngược lên bằng cách nén lò xo 14 đến khi các van 12 và 9 đóng lại áp suất ra các bầu phanh không tăng lên nữa. Áp suất ra các bầu phanh phụ thuộc vào lượng dịch chuyển của các pít-tông trên và dưới. Khi nhả bàn đạp, van trên và van dưới giữ nguyên vị trí đóng còn hai piston bị đẩy lên bởi lò xo hồi vị tách khỏi hai van mở cửa xả, xả hết khí

ra khí trời. Với các hoạt động đó khi mô phỏng tổng phanh, bài báo đã tập trung vào mô phỏng cho các cụm kết cấu bao gồm: tổng phanh, bầu phanh đơn cho cầu trước và bầu phanh kép cho cầu sau.

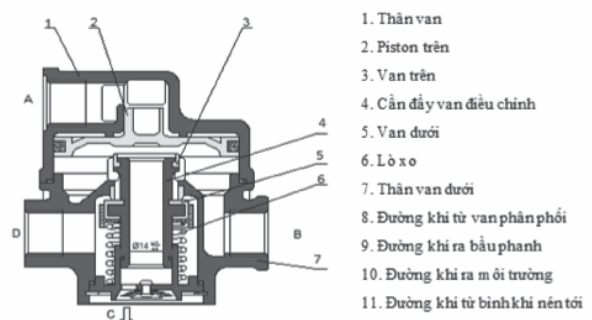


Hình 2. Cấu tạo của tổng phanh



Hình 3. Sơ đồ mô phỏng hệ thống trong phần mềm mô phỏng.

2.2. Mô hình hóa van gia tốc



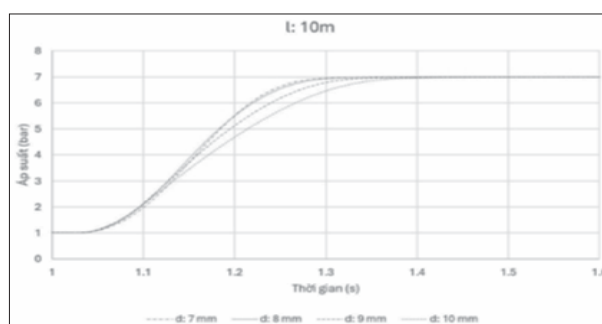
Hình 4. Cấu tạo van gia tốc

Van gia tốc có công dụng giảm quãng đường đi của khí nén, làm giảm thời gian chậm tác dụng của phanh. Khi không có khí nén vào đường A (không đạp bàn đạp phanh), van dưới 6 đóng, van trên 3 mở. Đường B thông ra khí quyển, không có khí nén đến bầu phanh. Khi có khí nén từ van phân phối đến đường A (đạp bàn đạp phanh), khí nén đẩy piston trên đi xuống, đóng van trên (đường B ngăn không thông ra môi trường), piston trên tiếp tục đi xuống, van dưới mở ra thông đường D và đường B cấp khí nén từ bình tới bầu phanh.

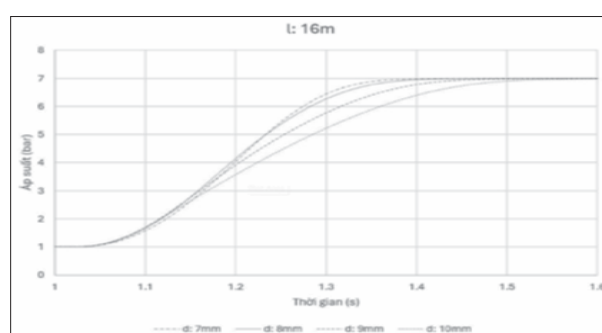
Khi dùng đạp bàn đạp phanh tại một vị trí, áp suất tại A không tăng, tuy nhiên khí từ khoang D tiếp tục cấp vào khoang B, áp suất phía dưới piston trên tiếp tục tăng trong khi áp suất phía trên piston không tăng, sự chênh lệch này làm cho piston trên di chuyển lên trên cho đến khi lực tác dụng phía trên và phía dưới piston trên cân bằng, cả hai van lúc này đóng ổn định áp suất trong bầu phanh. Khi thôi cấp khí từ van phân phối đến A, dưới tác dụng của lò xo hồi vị, cần đẩy 4 và piston đi lên, đóng đường thông từ B sang D và mở đường thông từ B ra môi trường, xả khí ở bầu phanh ra môi trường.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các kết quả trong hình 5 và 6 đã chỉ ra rằng, chiều dài đường ống quyết định lớn đến thời gian phản ứng của hệ thống. Khi chiều dài đường ống tăng 6m hay 60% có thể gia tăng thời gian tăng áp của bầu phanh thêm 0.2s tương ứng với gần 50%. Điều này cũng chỉ ra ảnh hưởng của tổng phanh là không đáng kể khi chiều dài đường ống lớn. Trong trường hợp không có van gia tốc, đường kính ống tăng lên sẽ làm tăng thời gian phản ứng của hệ thống khoảng 0.05s, khoảng 16% tổng thời gian tăng áp, trong khi đường kính ống 7 và 8 mm có sự sai khác không đáng kể.

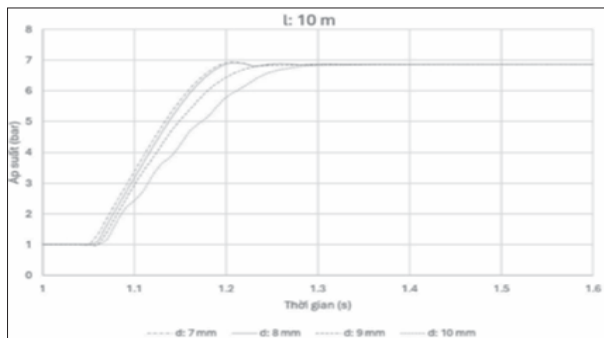


Hình 5. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 10m và không có van gia tốc

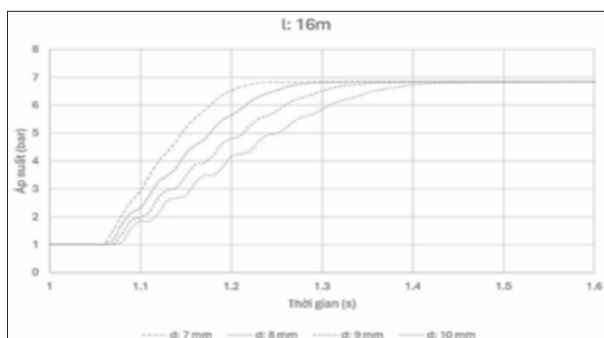


Hình 6. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 16m và không có van gia tốc

Van gia tốc cho thấy vai trò rõ rệt trong giảm thời gian phản ứng của hệ thống. Van gia tốc có thể giảm 28% đến 50% thời gian phản ứng tương ứng với đường kính ống thay đổi từ 10 đến 7mm với hệ thống có chiều dài đường ống 10m. Giá trị này khá tương đồng ở hệ thống có chiều dài đường ống 16m. Các kết quả trong hình 7 và 8 cũng cho thấy đường kính ống khí cấp cho van gia tốc tỷ lệ nghịch với thời gian phản ứng. Đường kính ống khi giảm từ 10 mm xuống 7 mm có thể giảm thời gian phản ứng của hệ thống khoảng 70% khi chiều dài đường ống là 16m và 40% tương ứng với chiều dài đường ống là 10m. Đây là con số rất lớn cho thấy ảnh hưởng lớn của đường kính ống đến hoạt động của hệ thống. Điều này được lý giải bởi vì thể tích của van gia tốc nhỏ nên lượng khí đi vào rất ít. Khi tăng đường kính ống có thể giảm cản, tuy nhiên lại tăng lượng khí cần cung cấp cho thể tích ống.



Hình 7. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 10m và có van gia tốc



Hình 8. Khảo sát với hệ thống có chiều dài đường ống 16m và có van gia tốc

4. KẾT LUẬN

Các kết quả trong bài báo đã chỉ ra thông số đường ống dẫn khí và van gia tốc ảnh hưởng rất lớn đến thời gian phản ứng của hệ thống phanh khí nén. Chiều dài đường ống gia tăng sẽ làm gia tăng đáng kể thời gian phản ứng, trong khi đường kính trong của đường ống lại cho thấy xu hướng ngược lại. Đường ống có đường kính 7 mm là đường kính tối ưu cho hệ thống trong các trường hợp khảo sát, đặc biệt là trong hệ thống có van gia tốc. Van gia tốc có thể giảm từ khoảng 20 đến 50% thời gian phản ứng trong hệ thống ở tất cả các chiều dài đường ống. Từ các kết quả có thể kết luận rằng, đối với các hệ thống có chiều dài đường ống từ 10 đến 16 m sử dụng van gia tốc và đường ống khí có đường kính khoảng 7mm sẽ đem lại hiệu quả cao trong việc giảm thời gian chậm tác

dụng của hệ thống phanh khí nén. ❖

Ngày nhận bài: 12/4/2024

Ngày phản biện: 26/5/2024

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Yang, F., et al., *A new method for analysing the pressure response delay in a pneumatic brake system caused by the influence of transmission pipes*. Applied Sciences, 2017. 7(9): p. 941.
- [2]. Bu, F. and H.-S. Tan, *Pneumatic brake control for precision stopping of heavy-duty vehicles*. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2006. 15(1): p. 53-64.
- [3]. Miller, J.I. and D. Cebon, *A high performance pneumatic braking system for heavy vehicles*. Vehicle System Dynamics, 2010. 48(S1): p. 373-392.
- [4]. Miller, J.I., L.M. Henderson, and D. Cebon, *Designing and testing an advanced pneumatic braking system for heavy vehicles*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of mechanical engineering science, 2013. 227(8): p. 1715-1729.
- [5]. Pi, D., et al., *A novel pneumatic brake pressure control algorithm for regenerative braking system of electric commercial trucks*. IEEE Access, 2019. 7: p. 83372-83383.
- [6]. Devika, K., N. Sridhar, H. Patil, and S.C. Subramanian, *Delay compensated pneumatic brake controller for heavy road vehicle active safety systems*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2021. 235(13): p. 2333-2346.
- [7]. Chen, Z., et al., *Fault injection strategies for air brake system of high-speed train with AMESim/Simulink co-simulation*. IFAC-PapersOnLine, 2022. 55(6): p. 803-808.
- [8]. Wang, Z., et al., *An experimental study on hysteresis characteristics of a pneumatic braking system for a multi-axle heavy vehicle in emergency braking situations*. Applied Sciences, 2017. 7(8): p. 799.
- [9]. Acarman, T., U. Ozguner, C. Hatipoglu, and A.-M. Igusky, *Pneumatic brake system modeling for systems analysis*. 2000, SAE Technical Paper.
- [10]. Kulesza, Z. and F. Siemieniako, *Modeling the air brake system equipped with the brake and relay valves*. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2010(24 (96): p. 5-11.
- [11]. He, R. and Z. Jing, *Study on braking stability of commercial vehicles: An optimized air brake system*. Advances in Mechanical Engineering, 2019. 11(5): p. 1687814019848593.
- [12]. Palanivelu, S., J. Patil, and A.K. Jindal, *Modeling and optimization of pneumatic brake system for commercial vehicles by model based design approach*. 2017, SAE Technical Paper.