

NGUYÊN NHÂN SUY GIẢM HỆ THỐNG BẢO VỆ CATHODE SỬ DỤNG DÒNG ĐIỆN NGOÀI CHỐNG ĂN MÒN CHO ĐƯỜNG ỐNG DẪN NƯỚC LÀM MÁT

Nguyễn Thị Lê Hiền, Phạm Vũ Dũng, Ngô Ngọc Thương, Phạm Thị Hương

Viện Dầu khí Việt Nam

Email: hienntl@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Hệ thống bảo vệ cathode sử dụng dòng điện cưỡng bức kết hợp sơn phủ được thiết kế và lắp đặt để chống ăn mòn cho đường ống dẫn nước làm mát trong môi trường đất. Để chống sụt lún, đường ống này được gia cường bằng hệ thống giá đỡ vật liệu thép nhúng kẽm nóng.

Bài báo giới thiệu kết quả khảo sát đánh giá nguyên nhân gây hư hỏng, ảnh hưởng của hệ thống giá đỡ đến hiệu quả bảo vệ cathode, từ đó đề xuất giải pháp khắc phục sự cố, bảo vệ đường ống dẫn nước làm mát an toàn và hiệu quả.

Từ khóa: Cathode, anode, dòng điện cưỡng bức, chống ăn mòn, phân bố điện thế (CIPS), chênh lệch điện thế (DCVG).

1. Giới thiệu

Bảo vệ chống ăn mòn kim loại bằng sơn phủ kết hợp bảo vệ cathode là biện pháp hữu hiệu bảo vệ các công trình ngầm, đáy bồn bể chứa và các công trình biển... Khi hệ thống bảo vệ cathode được thiết kế hợp lý và hoạt động tốt, các công trình ngầm được bảo vệ an toàn. Dưới tác động của môi trường khắc nghiệt và điều kiện vận hành, các công trình ngầm, các thiết bị, phụ kiện, hệ thống anode, cáp dẫn... của hệ thống bảo vệ cathode có thể bị xuống cấp và xảy ra các sự cố như: công trình ngầm bị bong tróc lớp sơn phủ, diện tích bảo vệ thay đổi dẫn đến điện thế bảo vệ không đảm bảo. Các đầu nối tiếp xúc điện kém, cáp điện đứt, chình lưu có sự cố... dẫn đến điện thế phân bố không đều, có vị trí không được bảo vệ, có vị trí đạt giá trị điện thế quá bảo vệ, kéo theo hiện tượng giải phóng hydro gây giòn kim loại và bong tróc lớp sơn phủ... [1]. Hậu quả là công trình không được bảo vệ như thiết kế, thậm chí có trường hợp điện thế của công trình tăng bất thường dẫn đến tốc độ ăn mòn kim loại có thể lớn hơn nhiều lần so với công trình không được bảo vệ cathode, gây thủng đường ống, bể chứa...

Theo các tài liệu của NACE RP 0169 [2] đang được áp dụng rộng rãi trên thế giới, việc kiểm tra tổng thể hệ

thống bảo vệ cathode phải được tiến hành định kỳ hàng năm. Đối với hệ thống cấp nguồn, các chi tiết dễ gặp sự cố như: công tắc đảo chiều dòng điện, các diode, các đầu nối, điện cực so sánh... cần được kiểm tra định kỳ 2 tháng/lần.

Bài báo giới thiệu các nghiên cứu, phân tích, đánh giá nguyên nhân gây hư hỏng, xuống cấp của hệ thống bảo vệ cathode sử dụng dòng điện ngoài, chống ăn mòn cho đường ống ngầm dài 300m (gồm đường ống dẫn nước làm mát và đường ống hồi lưu nước làm mát). Hệ thống bảo vệ chống ăn mòn đã hoạt động trên 3 năm. Sau khi lắp đặt, hệ thống bảo vệ cathode làm việc hiệu quả, điện thế bảo vệ công trình được kiểm soát trong khoảng điện thế từ $-0,85V/CSE$ đến $-1,2V/CSE$, đường ống ngầm được bảo vệ an toàn. Tuy nhiên, gần đây trong khu vực nhà máy có hiện tượng sụt lún đất nền, yêu cầu phải gia cố lại. Để cố định đường ống, dây cáp phủ kẽm đã được sử dụng để treo cố định đường ống thép vào hệ thống dầm thép phủ kẽm. Hệ thống dầm thép phủ kẽm được đặt cố định trên các trụ bê tông cốt thép. Việc gia cường đường ống ngầm bằng cách treo/tiếp xúc trực tiếp đường ống đang được bảo vệ cathode với hệ thống giá đỡ kim loại có nguy cơ ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả của hệ thống bảo vệ cathode, dẫn đến thay đổi dòng điện yêu cầu của hệ thống bảo vệ cathode.

Ngày nhận bài: 10/9/2018. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 10 - 19/9/2018.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 18/5/2019.

2. Điều kiện khảo sát, đánh giá

2.1. Đối tượng nghiên cứu, đánh giá

Hệ thống bảo vệ cathode gồm 1 biến áp chỉnh lưu đặt ngoài trời, công suất đầu ra 20V - 5A và 1 giếng anode gồm 4 anode MMO nhằm chống ăn mòn cho 2 đoạn đường ống dẫn nước làm mát (đường ống dẫn nước cấp và đường ống dẫn nước hồi lưu), có tổng chiều dài khoảng 300m. Biến áp chỉnh lưu sử dụng loại tự động điều chỉnh điện thế bảo vệ nằm trong khoảng -0,85V/CSE đến -1,2V/CSE. Hệ thống được lắp đặt 2 trạm kiểm tra (test post) để theo dõi, kiểm tra điện thế của công trình.

2.2. Kiểm tra điện thế bảo vệ

Điện thế bảo vệ của công trình được kiểm tra tại các trạm kiểm tra bằng cách đo điện thế công trình cần bảo vệ so với điện cực tham chiếu là sulfate đồng (copper sulfate electrode - CSE) ngay tại thời điểm ngắt mạch tức thời (điện thế Instant off - V_{off}).

Điện thế bảo vệ phân bố dọc theo toàn bộ tuyến ống được tiến hành sử dụng kỹ thuật đo phân bố điện thế (close interval survey potential - CISP), trên thiết bị GX Data logger và các đầu dò đo điện thế của MC Miller (Mỹ). Khoảng cách đo phân bố điện thế 1m/ 1 vị trí đo [3].

2.3. Đo chênh lệch điện thế

Để khảo sát đánh giá khả năng bong tróc lớp phủ của công trình ngầm, khảo sát sự chênh lệch điện thế của công trình (direct current voltage gradient - DCVG) đã được tiến hành đồng thời với phép đo phân bố điện thế CISP [4].

2.4. Kiểm tra dòng điện anode

Dòng điện anode được kiểm tra bằng cách sử dụng ampe kim. Dòng điện anode được xác định dòng điện tổng và dòng điện thành phần của từng anode MMO.

2.5. Kiểm tra hoạt động của biến áp - chỉnh lưu

Biến áp chỉnh lưu được kiểm tra mọi tiếp xúc điện, các chỉ số trên đồng hồ và kiểm tra chính xác của các giá trị đo điện thế và dòng điện đầu vào và đầu ra.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Điện thế bảo vệ của công trình

Kết quả kiểm tra điện thế bảo vệ của công trình trước và sau khi lắp đặt hệ thống giá đỡ ống được biểu diễn như trên Bảng 1.

Điện thế V_{on} là hiệu điện thế của công trình đang được bảo vệ cathode so với điện cực tham chiếu đặt gần đường ống. Điện thế V_{on} được xác định bằng Volke, giá trị hiển thị trên Volke (V_m) được biểu diễn như công thức (1) [5]:

$$V_m = V_{on} = V_p + IR \quad (1)$$

Trong đó:

V_p : Điện thế phân cực của công trình ngầm (điện thế bảo vệ);

IR: Điện thế rơi;

I: Cường độ dòng điện trong hệ thống;

R: Tổng điện trở tiếp xúc và điện trở đất... của hệ thống.

Do đó, để xác định chính xác điện thế bảo vệ của công trình ngầm (V_p) bằng Volke, cần phải giảm thiểu R_p bằng cách đặt điện cực so sánh sát đường ống hoặc ngắt nguồn điện ($I = 0$) và đo điện thế tức thời (V_{off}).

Các kết quả đo điện thế tại trạm kiểm tra đã cho thấy điện thế bảo vệ đường ống đều âm hơn -0,85V/CSE, thỏa mãn yêu cầu điện thế bảo vệ cho các đường ống ngầm [2].

Điện thế đo tại trạm kiểm tra cho phép phản ánh điện thế tại các vị trí đường ống tại vị trí đặt điện cực so sánh gần trạm kiểm tra, không phải điện thế bảo vệ của toàn bộ đường ống. Do đó, phương pháp khảo sát điện thế dọc theo đường ống ngầm đã được tiến hành để xác định kết quả điện thế phân bố dọc theo hệ thống đường ống ngầm.

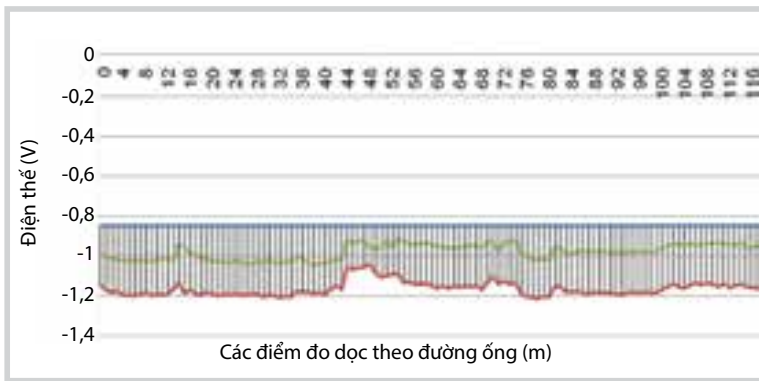
3.2. Kết quả khảo sát phân bố điện thế (CIPS)

Kết quả khảo sát sự phân bố điện thế V_{on} và V_{off} dọc theo đường ống được biểu diễn trên Hình 1 và 2.

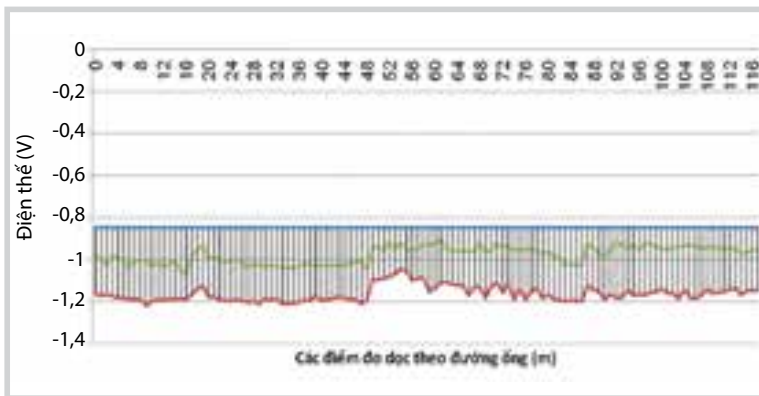
Các kết quả khảo sát phân bố điện thế dọc theo 2 đường ống dẫn nước làm mát và đường ống dẫn nước

Bảng 1. Điện thế V_{on} và V_{off} đo tại các trạm kiểm tra tại các thời điểm khác nhau

TT	Thời điểm khảo sát	Đường ống	Điện thế (mV/CSE)	
			V_{on}	V_{off}
1	5/2016	Đường ống dẫn nước làm mát	-1.197	-1.050
		Đường ống hồi lưu	-1.205	-1.037
2	10/2017	Đường ống dẫn nước làm mát	-1.495	-1.113
		Đường ống hồi lưu	-1.470	-1.117



(a) Đường ống dẫn nước làm mát



(b) Đường ống hồi lưu nước làm mát

Hình 1. Điện thế phân bố dọc theo hệ thống đường ống ngầm khảo sát tháng 5/2016



(a) Đường ống dẫn nước làm mát



(b) Đường ống hồi lưu nước làm mát

Hình 2. Điện thế phân bố dọc theo hệ thống đường ống ngầm khảo sát tháng 10/2017

hồi lưu cho thấy biến thiên điện thế V_{on} và V_{off} gần như cách đều nhau chứng tỏ không có hiện tượng dòng điện dò hoặc bất thường của đường ống. Điện thế V_{off} của 2 đường ống tại thời điểm khảo sát đều nằm trong ngưỡng được bảo vệ (âm hơn $-0,85V/CSE$). Khoảng cách giữa điện thế V_{on} và V_{off} biểu thị giá trị điện thế rơi giữa điện cực tham chiếu và đường ống. Giá trị điện thế rơi tương ứng tại tháng 5/2016 là $0,15V$ và tại tháng 11/2017 là khoảng $0,3V$, khẳng định có sự thay đổi điện trở tiếp xúc hoặc/và điện trở đất hoặc dòng điện cathode áp đặt để bảo vệ đường ống.

3.3. Kết quả kiểm tra biến thiên điện thế (DCVG)

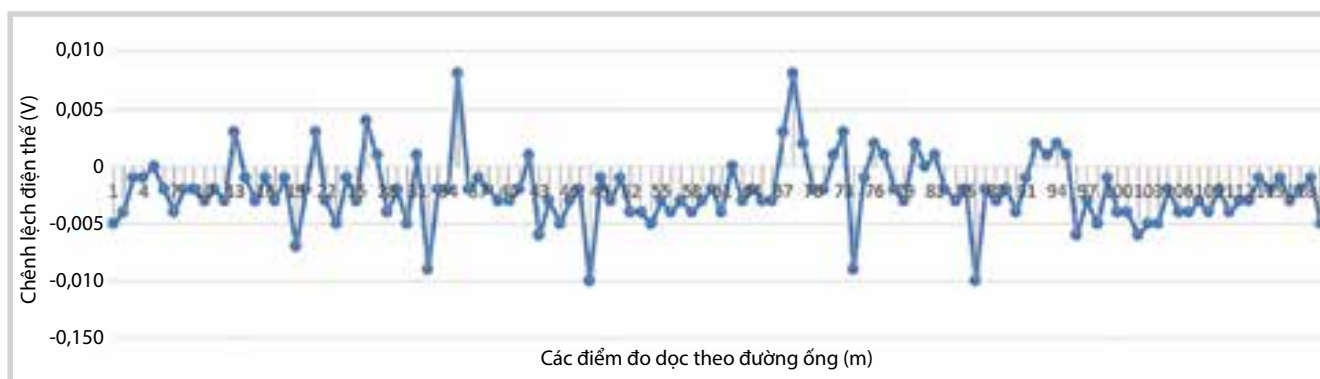
Để đánh giá hiện tượng bong tróc lớp phủ của đường ống ngầm đang được bảo vệ cathode, khảo sát sự chênh lệch điện thế đã được thực hiện như Hình 3.

Do điện thế bảo vệ cathode luôn được tự động khống chế trong khoảng điện thế an toàn, không có hiện tượng quá điện thế bảo vệ, do đó độ bám dính của lớp phủ gần như không bị ảnh hưởng. Vì vậy, kết quả khảo sát sự chênh lệch điện thế dọc theo đường ống dẫn nước làm mát và đường ống hồi lưu nước làm mát đều không đáng kể, giá trị chênh lệch điện thế $|\Delta E| < 0,01V$, chứng tỏ chưa xuất hiện hiện tượng hư hỏng, bong tróc lớp phủ.

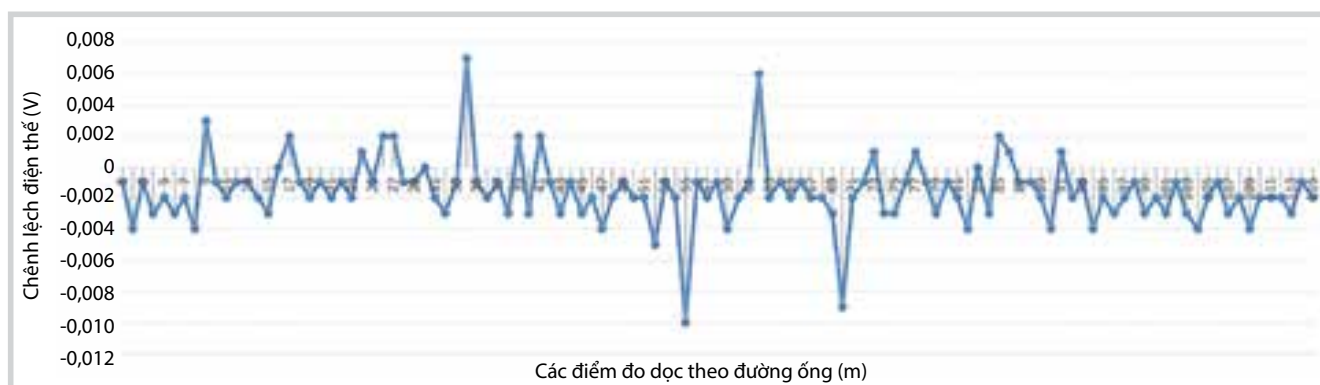
3.4. Dòng điện anode

Các kết quả khảo sát dòng điện anode thu được tại thời điểm trước và sau khi lắp đặt hệ thống giá đỡ đường ống được thể hiện trong Bảng 2.

Đối với điện thế bảo vệ đường ống, không thấy rõ sự khác biệt trước và sau khi lắp đặt hệ thống giá đỡ ống do biến áp chỉnh lưu tự động thay đổi điện thế áp đặt để có thể sinh ra dòng điện phù hợp cho phép điện thế đường ống luôn trong khoảng điện thế yêu cầu để bảo vệ an toàn và hiệu quả cho đường ống ngầm. Ngược lại, dòng điện anode đã có sự thay đổi đáng kể sau khi lắp hệ thống giá đỡ. Dòng điện yêu cầu tăng lên trên 5 lần so với dòng điện trước khi lắp đặt giá đỡ ống và có xu hướng tăng dần. Dòng điện tăng



(a) Đường ống dẫn nước làm mát



(b) Đường ống hồi lưu nước làm mát

Hình 3. Sự chênh lệch điện thế dọc theo đường ống nước làm mát

Bảng 2. Dòng điện của từng anode đơn và dòng điện anode tổng

TT	Thời điểm khảo sát	Dòng điện anode (mA)				
		A1	A2	A3	A4	Tổng
1	5/2016	0,18	0,27	0,24	0,26	0,95
2	10/2017	1,03	2,03	1,93	0,37	5,36

Bảng 3. Bảng khảo sát máy biến áp chỉnh lưu

Thời điểm khảo sát	Chỉnh lưu số	Nguồn thiết kế	AC Input		DC Output		Điện trở mạch ngoài (Ω)
			V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	
5/2016	1	1 pha	228	0,106	1,2	0,94	1,277
10/2017	1	1 pha	230	0,102	1,89	5,45	0,347

chỉ có thể do diện tích cần bảo vệ tăng lên, hiện tượng bong tróc lớp phủ gần như không đáng kể, do đó có khả năng do hệ thống giá đỡ tiếp xúc điện với đường ống và diện tích yêu cầu được bảo vệ lúc này gồm các đường ống ngầm và toàn bộ hệ thống giá đỡ tiếp xúc điện với đường ống. Dòng điện anode tăng đột biến dẫn đến các nguy cơ:

- Dòng điện tăng vượt xa so với thiết kế gây vượt ngưỡng làm việc của biến áp chỉnh lưu.
- Dòng anode phát quá lớn có thể dẫn đến hiện tượng giảm tuổi thọ của anode so với thiết kế.
- Theo thời gian, khi diện tích yêu cầu bảo vệ tăng

cao (do lớp phủ xuống cấp, hoặc diện tích giá đỡ tiếp xúc điện với đường ống tăng thêm...), dòng điện cực đại do biến áp chỉnh lưu cung cấp không đáp ứng được yêu cầu, lớp kẽm trên bề mặt giá đỡ sẽ đóng vai trò anode hy sinh để bảo vệ chống ăn mòn cho đường ống, gây giảm tuổi thọ của hệ thống giá đỡ.

Các nguy cơ trên có thể gây ra các sự cố khó lường, ảnh hưởng đến an toàn vận hành của hệ thống.

3.5. Đánh giá hiệu quả làm việc của biến áp chỉnh lưu

Biến áp chỉnh lưu được kiểm tra trực quan vẫn trong tình trạng làm việc tốt, tuy nhiên giá trị dòng điện đầu ra ở trạng thái quá tải, dòng điện vượt ngưỡng (5A) của biến

áp chỉnh lưu. Bảng 3 biểu diễn kết quả đo dòng điện và điện thế đầu vào và đầu ra của biến áp chỉnh lưu.

3.6. Thảo luận

Hệ thống bảo vệ cathode chống ăn mòn cho đường ống dẫn nước làm mát được thiết kế cho phép kiểm soát điện thế bảo vệ công trình một cách tự động. Do đó, khi hệ thống vận hành, biến áp chỉnh lưu sẽ tự động điều chỉnh dòng điện cung cấp để điện thế bảo vệ tại các trạm kiểm tra luôn nằm trong giới hạn điện thế bảo vệ cho phép. Do đó, kết quả khảo sát điện thế dọc theo hệ thống đường ống (CIPS) cho giá trị phân bố điện thế tương đối đồng nhất, điện thế bảo vệ nằm trong khoảng giới hạn điện thế bảo vệ theo tiêu chuẩn (-1,2V/CSE đến -0,85V/CSE).

Do việc khống chế, kiểm soát điện thế bảo vệ của đường ống nên không xảy ra hiện tượng quá thế, do đó không xảy ra hiện tượng bong tróc cathode. Kết quả khảo sát chênh lệch điện thế dọc theo đường ống tại mỗi khoảng cách khảo sát 1m cho thấy điện thế chênh lệch gần như không đáng kể, chưa phát hiện được tín hiệu bất thường chứng tỏ lớp sơn phủ trên đường ống chưa bị hư hỏng, bong tróc.

Kể từ khi lắp đặt hệ thống giá đỡ đường ống, biến áp chỉnh lưu có dòng điện đầu ra tăng bất thường từ 0,94A lên 5,45A và vượt ngưỡng vận hành của biến áp chỉnh lưu. Để phân tích và xác định nguyên nhân dòng điện tăng bất thường, dòng điện đầu ra (i) của biến áp chỉnh lưu được có giá trị tính theo công thức sau:

$$i = I \times S \quad (2)$$

Trong đó:

i: Cường độ dòng điện bảo vệ cathode (A);

I: Mật độ dòng điện bảo vệ cathode (A/m²);

S: Diện tích cần bảo vệ (m²).

Điện thế bảo vệ của đường ống vẫn trong ngưỡng bảo vệ cho phép dự đoán mật độ dòng điện yêu cầu (I) không thay đổi đáng kể so với giai đoạn trước và cũng không phát hiện hiện tượng bong tróc, hư hỏng bất thường lớp sơn phủ trên đường ống. Do đó, việc tăng đột biến cường độ dòng điện (i) đầu ra của biến áp chỉnh lưu sau khi lắp đặt hệ thống giá đỡ anode chủ yếu do sự tiếp xúc trực tiếp của giá đỡ với đường ống gây tăng diện tích (S) cần bảo vệ. Việc tăng đột biến dòng điện yêu cầu nếu không có biện pháp khắc phục kịp thời sẽ có nguy cơ hư hỏng, cháy nổ..., biến áp chỉnh lưu khi vận hành liên tục trong điều kiện quá tải và xuống cấp điện cực anode trở dẫn đến giảm tuổi thọ anode. Hệ thống bảo vệ cathode

có nguy cơ hoạt động không hiệu quả, đường ống không được bảo vệ an toàn.

Để khắc phục sự cố dòng điện yêu cầu tăng vượt ngưỡng, có thể áp dụng biện pháp sau:

- Cách điện toàn bộ đường ống với hệ thống giá đỡ sẽ khắc phục được nguyên nhân gây ra sự cố. Tuy nhiên, cần phải đào toàn bộ hệ thống ngầm, thay thế hoặc cách ly đường ống với hệ thống giá đỡ bằng các vật liệu bền môi trường và có khả năng cách điện, chi phí rất lớn. Hệ thống bảo vệ cathode làm việc trong điều kiện quá tải, có thể đã bị hỏng, xuống cấp nên ngay cả khi xử lý cách điện hệ thống giá đỡ và đường ống vẫn có thể không đáp ứng yêu cầu như thiết kế ban đầu.

- Lắp đặt bổ sung hệ thống bảo vệ cathode giúp bảo vệ cả đường ống và hệ thống giá đỡ. Biện pháp này được đề xuất sử dụng, có thể bảo vệ an toàn cho công trình ngầm.

Trên cơ sở các kết quả khảo sát đánh giá cho thấy việc cải hoán, thay đổi kết cấu kim loại của các công trình ngầm đang được bảo vệ cathode cần được cân nhắc đến yêu cầu kỹ thuật, tránh ảnh hưởng đến hiệu quả làm việc của hệ thống bảo vệ cathode và tránh ảnh hưởng của hệ thống bảo vệ cathode đến các công trình phụ cận.

4. Kết luận

Hệ thống bảo vệ cathode kết hợp với sơn phủ bảo vệ an toàn cho đường ống ngầm trong trường hợp hệ thống hoạt động hiệu quả. Kết quả khảo sát hệ thống bảo vệ cathode sử dụng chống ăn mòn cho các đường ống dẫn nước làm mát được đề cập trong bài báo đang trong tình trạng hoạt động không an toàn. Việc lắp đặt thêm hệ thống giá đỡ bằng thép nhúng kẽm tiếp xúc trực tiếp với đường ống ngầm, đồng nghĩa với việc thay đổi diện tích cần bảo vệ của hệ thống bảo vệ cathode dẫn đến công suất của biến áp chỉnh lưu không còn được đáp ứng.

Do đó, hệ thống bảo vệ cathode cần được sớm thiết kế lại trên cơ sở các dữ liệu thực tế và thay thế/bổ sung biến áp chỉnh lưu để có thể cung cấp dòng điện lớn hơn, đáp ứng yêu cầu vừa bảo vệ chống ăn mòn cho đường ống, vừa chống ăn mòn cho hệ thống giá đỡ.

Các kết quả đánh giá đã cho thấy, việc kiểm tra điện thế tại các trạm kiểm tra là cần thiết nhưng chưa đủ để đánh giá hiệu quả bảo vệ của hệ thống bảo vệ cathode. Việc khảo sát định kỳ tổng thể cho phép đảm bảo hệ thống bảo vệ cathode làm việc hiệu quả, công trình ngầm được bảo vệ an toàn. Việc lắp đặt thêm các hệ thống bằng kim

loại kết nối, tiếp xúc điện với các công trình ngầm đang được bảo vệ cathode cần cân nhắc thận trọng không làm ảnh hưởng đến hệ thống bảo vệ cathode và tăng nguy cơ ăn mòn đối với các công trình ngầm.

Tài liệu tham khảo

1. A.W.Peabody. *Peabody's control of pipeline corrosion (2nd edition)*. NACE International the Corrosion Society. 2001.

2. NACE. *Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems*. 1983.

3. M.C.Miller Co., Inc. *CIS training manual - Gx version*.

4. M.C.Miller Co., Inc. *DCVG Training Manual - Gx version*.

5. Phan Công Thành, Phạm Ngọc Hiệu, Trương Quang Trường, Nguyễn Thị Lê Hiền. *Đánh giá hệ thống bảo vệ cathode cho các công trình ngầm bằng kỹ thuật CIS và DCVG*. Tạp chí Dầu khí. 2015; 4: trang 45 - 50.

ROOT CAUSE OF DEGRADATION OF ICCP SYSTEM AGAINST CORROSION FOR COOLING WATER PIPELINES

Nguyen Thi Le Hien, Pham Vu Dung, Ngo Ngoc Thuong, Pham Thi Huong

Vietnam Petroleum Institute

Email: hienntl@vpi.pvn.vn

Summary

The impressed current cathodic protection (ICCP) combined with coating has been designed and installed to protect underground cooling water pipelines against corrosion. In order to prevent sagging, the pipelines are supported by zinc galvanised steel racking system.

This paper presents the results of the survey finding the root causes of damage and the impact of the racking system on the performance of the cathodic protection system. From these results, recommendations have been made regarding measures to assure the safe and efficient operation of the cooling water pipelines.

Key words: Cathode, anode, impressed current, protection against corrosion, close interval potential survey (CIPS), direct current voltage gradient (DCVG).