

CHƯƠNG 4

OXY HOÀ TAN

4.1 KHÁI NIỆM CHUNG

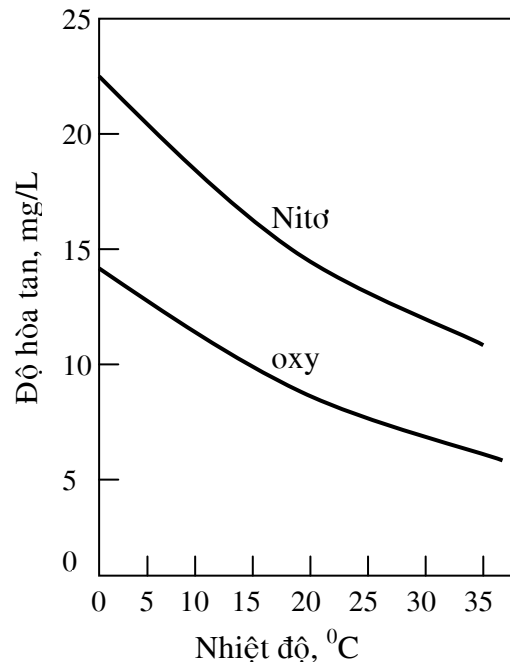
Tất cả các sinh vật sống bị phụ thuộc vào oxy ở dạng này hoặc dạng khác để duy trì quá trình trao đổi chất nhằm sản sinh ra năng lượng cho sự tăng trưởng hoặc sinh sản. Quá trình hiếu khí là vấn đề được quan tâm nhất khi chúng cần oxy tự do.

Các kỹ sư môi trường quan tâm đến điều kiện khí quyển có liên quan đến môi trường chất lỏng, nước là chất lỏng lớn nhất và quan trọng nhất.

Tất cả các chất khí của khí quyển hòa tan trong nước ở các mức độ khác nhau. Cả nitơ và oxy được phân loại là các chất hòa tan kém và vì chúng không phản ứng với nước về mặt hóa học, nên độ hòa tan tỷ lệ thuận với áp suất riêng phần của chúng. Hơn nữa, định luật Henry có thể được sử dụng để tính toán khối lượng có mặt của các chất khí ở trạng thái bão hòa tại bất cứ nhiệt độ đã cho nào. Độ hòa tan của cả nitơ và oxy thay đổi một cách đáng kể theo nhiệt độ trong dãy mà các kỹ sư môi trường quan tâm. Hình 4.1 trình bày đường cong độ hòa tan của hai chất khí trong nước cất hoặc là nước có hàm lượng chất rắn thấp nằm cân bằng với không khí tại áp suất 760 mmHg. Độ hòa tan sẽ nhỏ hơn trong nước muối.

Độ hòa tan của oxy khí quyển trong các nguồn nước ngọt nằm trong khoảng từ 14,6 mg/L ở 0°C đến khoảng 7 mg/L ở 35°C dưới áp suất 1 atm. Vì nó là khí hòa tan ít, độ hòa tan của nó thay đổi tỷ lệ thuận với áp suất của khí quyển tại nhiệt độ đã cho. Vì tốc độ oxy hóa sinh học tăng cùng với nhiệt độ và nhu cầu oxy cũng tăng một cách tương ứng, điều kiện nhiệt độ cao, khi độ oxy hòa tan có khả năng hòa tan thấp nhất là việc liên quan lớn nhất đối với kỹ sư môi trường. Hầu hết các điều kiện tới hạn liên quan đến độ thiếu hụt oxy hòa tan, trong thực tế, kỹ thuật môi trường xuất hiện vào những tháng hè khi nhiệt độ cao và độ hòa tan oxy ở mức thấp nhất. Vì lý do này thường thường mức độ hòa tan oxy khoảng 8 mg/L là cao nhất dưới các điều kiện tới hạn.

Độ hòa tan thấp của oxy là yếu tố chính giới hạn khả năng làm sạch của các nguồn nước tự nhiên và cần phải xử lý chất thải để loại bỏ các chất ô nhiễm trước khi xả vào nguồn tiếp nhận. Trong quá trình xử lý sinh học hiếu khí, độ hòa tan giới hạn của oxy là quan trọng nhất vì nó kiểm soát tốc độ hấp thụ oxy của môi trường.



Hình 4.1 Độ hòa tan của oxy và nitơ trong nước cất được bão hòa không khí ở áp suất 760 mmHg.

Độ hòa tan của oxy trong nước muối thấp hơn so với nước ngọt. Vì lý do này, độ hòa tan đối với nhiệt độ đã cho giảm liên tục từ nước ngọt đến nước cửa sông và nước biển. Việc ảnh hưởng này được chỉ thị trong Bảng 4.1, liệt kê độ hòa tan của oxy phụ thuộc vào nhiệt độ và hàm lượng clorua. Nồng độ clorua được sử dụng như sơ đồ hỗn hợp nước biển và nước ngọt trong mẫu nước. Nồng độ của clorua trong nước biển khoảng 19.000 mg/L.

Trong nước ô nhiễm giá trị bão hòa cũng thấp hơn trong nước sạch. Tỷ số giá trị trong nước ô nhiễm và nước sạch tham khảo như hệ số β . Tốc độ oxy hòa tan trong nước ô nhiễm thường nhỏ hơn trong nước sạch và tỷ số này được tham khảo như giá trị α . Cả hai giá trị α và β là thông số thiết kế quan trọng trong việc lựa chọn thiết bị thổi khí.

Bảng 4.1 Độ hòa tan của oxy trong nước trong cân bằng với không khí khô ở áp suất 760 mmHg và chứa 20,9% oxy

Nhiệt độ °C	Nồng độ clorua, mg/L				
	0	5.000	10.000	15.000	20.000
0	14,6	13,8	13,0	12,1	11,3
1	14,2	13,4	12,6	11,8	11,0
2	13,8	13,1	12,3	11,5	10,8
3	13,5	12,7	12,0	11,2	10,5
4	13,1	12,4	11,7	11,0	10,3
5	12,8	12,1	11,4	10,7	10,0
6	12,5	11,8	11,1	10,5	9,8
7	12,2	11,5	10,9	10,2	9,6
8	11,9	11,2	10,6	10,0	9,4
9	11,6	11,0	10,4	9,8	9,2
10	11,3	10,7	10,1	9,6	9,0
11	11,1	10,5	9,9	9,4	8,8
12	10,8	10,3	9,7	9,2	8,6
13	10,6	10,1	9,5	9,0	8,5
14	10,4	9,9	9,3	8,8	8,3
15	10,2	9,7	9,1	8,6	8,1
16	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0
17	9,7	9,3	8,8	8,3	7,8
18	9,5	9,1	8,6	8,2	7,7
19	9,4	8,9	8,5	8,0	7,6
20	9,2	8,7	8,3	7,9	7,4
21	9,0	8,6	8,1	7,7	7,3
22	8,8	8,4	8,0	7,6	7,1
23	8,7	8,3	7,9	7,4	7,0
24	8,5	8,1	7,7	7,3	6,9
25	8,4	8,0	7,6	7,2	6,7
26	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6
27	8,1	7,7	7,3	6,9	6,5
28	7,9	7,5	7,1	6,8	6,4
29	7,8	7,4	7,0	6,6	6,3
30	7,6	7,3	6,9	6,5	6,1

4.2 Ý NGHĨA MÔI TRƯỜNG CỦA OXY HÒA TAN

Trong chất thải lỏng, oxy hòa tan là yếu tố xem sự thay đổi sinh học được thực hiện bằng sinh vật hiếu khí hay kỵ khí. Loại thứ nhất sử dụng oxy tự do để oxy các chất hữu cơ hoặc vô cơ và sản xuất ra các sản phẩm cuối cùng không độc hại, ngược lại loại sau thực hiện các oxy hóa như vậy qua việc khử qua muối không hữu cơ như sulfate và sản phẩm cuối cùng thường rất có hại. Vì cả hai loại vi sinh vật thường có mặt ở khắp

nơi trong tự nhiên, nó là điều quan trọng trong điều kiện thuận tiện cho sinh vật hiếu khí (điều kiện hiếu khí) phải được duy trì; ngược lại vi sinh vật kỵ khí sẽ chiếm đa số và kết quả tạo thành mùi hôi thối. Vì vậy, việc đo oxy hòa tan là rất quan trọng để duy trì điều kiện hiếu khí trong các nguồn nước tự nhiên tiếp nhận các chất ô nhiễm và trong quá trình xử lý hiếu khí được thực hiện để làm sạch nước thải sinh hoạt và công nghiệp.

Việc xác định oxy hòa tan thường được sử dụng cho các mục đích khác nhau. Nó là một trong những thí nghiệm đơn lẻ quan trọng nhất mà người kỹ sư môi trường sử dụng. Trong hầu hết các trường hợp liên quan đến việc kiểm soát ô nhiễm các dòng chảy, nó là sự mong muốn để duy trì điều kiện thuận lợi cho việc tăng trưởng và sinh sản của quần thể cá và các loại sinh vật nước khác.

Việc xác định oxy hòa tan phục vụ như cơ sở của thí nghiệm BOD; vì vậy, chúng là cơ sở của hầu hết các thí nghiệm phân tích quan trọng được sử dụng để đánh giá nồng độ ô nhiễm của nước thải sinh hoạt và công nghiệp. Tốc độ oxy hóa sinh hóa có thể được đo bằng việc định lượng oxy dư trong hệ thống ở thời gian nhất định.

Các quá trình xử lý hiếu khí phụ thuộc vào oxy hòa tan và thí nghiệm cho nó là cần thiết như công cụ kiểm soát tốc độ thổi khí để làm chắc chắn rằng khối lượng không khí được cung cấp đủ để duy trì điều kiện hiếu khí và cũng để tránh việc sử dụng quá mức không khí và năng lượng.

Oxy là yếu tố quan trọng trong quá trình ăn mòn sắt và thép, đặc biệt trong hệ thống phân phối nước và trong lò hơi. Tách oxy từ nước cấp cho lò hơi bằng phương pháp vật lý và hóa học là thực tế thường gặp trong công nghiệp và năng lượng. Thí nghiệm oxy hòa tan phục vụ như phương tiện kiểm soát.

4.3 LẤY MẪU ĐỂ XÁC ĐỊNH OXY HÒA TAN

Cần phải cẩn trọng trong khi lấy mẫu để xác định oxy hòa tan. Trong hầu hết các trường hợp, mức độ oxy hòa tan sẽ thấp hơn bão hòa và việc tiếp xúc với không khí sẽ dẫn đến làm sai kết quả. Vì lý do này, thiết bị lấy mẫu đặc biệt tương tự như thiết bị được mô tả trong "Standard Methods" là cần thiết. Tất cả các mẫu như vậy được thiết kế dựa trên nguyên tắc là việc tiếp xúc với không khí là không thể tránh được trong thời gian chai lấy mẫu được làm đầy.

Hầu hết các mẫu nước dùng để xác định oxy hòa tan được thu gom tại hiện trường, ở đó không thuận tiện để thuận tiện để thực hiện toàn bộ các xác định. Vì giá trị oxy có thể thay đổi một cách dễ dàng theo thời gian do hoạt động sinh học, nếu mẫu nước không được ổn định ngay sau khi lấy mẫu. Qui trình bình thường là xử lý mẫu với các loại hóa chất thông dụng được sử dụng trong thí nghiệm xác định oxy hòa tan và sau đó tiến hành định phân khi mẫu nước được mang về phòng thí nghiệm. Qui trình này sẽ cho kết quả thấp đối với các mẫu nước có nhu cầu iot cao và trong trường hợp này, tốt hơn là bảo quản mẫu bằng cách thêm vào 0,7 mL acid sulfuric đậm đặc và 0,02 g natri azide. Khi thực hiện điều này xong, cần phải cho thêm 3 mL iot kiềm (alkali - iodide) thay vì bình thường là 2 mL vì mẫu chứa một lượng acid dư. Kết quả tốt hơn cũng thu được nếu mẫu "ổn định" được giữ trong phòng tối và trong nước đã cho đến

khi việc phân tích có thể được hoàn thành. Việc xử lý hóa học sử dụng trong “ổn định” là đủ để dừng tất cả các hoạt động sinh học và việc định phân cuối cùng có thể được thực hiện sau đó 6 giờ.

4.4 LỰA CHỌN HÓA CHẤT TIÊU CHUẨN ĐỂ ĐO OXY HÒA TAN

Hầu hết các phương pháp xác định oxy hòa tan phụ thuộc vào phản ứng giải phóng ra khối lượng iod tương đương với khối lượng oxy hiện diện ban đầu, cùng với việc đo tiếp theo khối lượng iod giải phóng ra bằng dung dịch chuẩn. Thiosulfate natri là chất khử thường được sử dụng và dung dịch tinh bột được sử dụng để xác định điểm kết thúc. Tất cả các phản ứng trong thí nghiệm oxy hòa tan liên quan đến quá trình oxy hóa và khử. Tuy nhiên, tinh bột được sử dụng như chất chỉ thị điểm kết thúc và tạo thành phức iod - tinh bột với iod tự do từ dung dịch loãng để tạo thành màu xanh và chuyển thành không màu khi tất cả iod tự do bị khử thành ion iod.

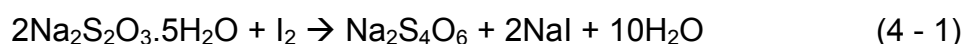
Lựa chọn dung dịch Thiosulfate N/40

Trọng lượng tương đương của oxy là 8. Vì nồng độ (normality) của hầu hết các chất định phân sử dụng trong phân tích nước và nước thải được điều chỉnh sao cho mỗi millilit dung dịch chuẩn tương đương với 1,0 mg của chất được đo, như vậy sử dụng dung dịch thiosulfate N/8. Vì vậy, khi dung dịch thiosulfate N/40 ($N/8 \times 1/5$) được sử dụng để định phân 200 mL mẫu, giá trị oxy hòa tan tính bằng milligram trên lít là tương đương với thể tích định phân tính bằng mililit. Điều này loại bỏ sự tính toán không cần thiết.

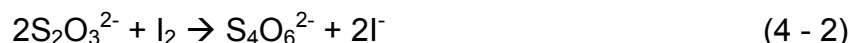
Chuẩn bị và chuẩn dung dịch thiosulfate N/40 (0,025 N)

Sodium thiosulfat ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) có thể tồn tại dưới dạng tinh khiết. Tuy nhiên, do có chứa gốc nước, nó có thể bị khô đi để tạo thành hợp chất có thành phần xác định và thậm chí có thể mất nước ngay ở nhiệt độ phòng trong điều kiện độ ẩm thấp. Do vậy, cần phải điều chế thiosulfat dưới dạng dung dịch có nồng độ cao hơn nồng độ cần thiết và chuẩn lại chúng mỗi khi sử dụng.

Khối lượng đương lượng sodium thiosulfate không thể được tính dựa vào công thức của nó và sự thay đổi hóa trị của những chất khử. Chúng có thể được tính toán dựa vào các chất oxy hóa như trong trường hợp iodine.

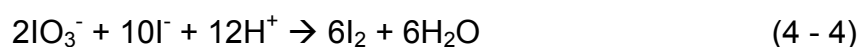
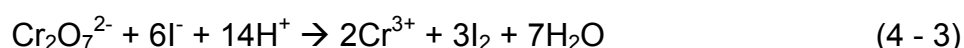


Từ Phương trình (4 - 1) có thể tính là mỗi phân tử thiosulfate natri ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) thì tương đương với một nguyên tử iodine. Khi mỗi nguyên tử iodine nhận một electron trong quá trình phản ứng để tạo thành ion iodine, có nghĩa là mỗi phân tử thiosulfate cung cấp một điện tử khi oxy hóa thành tetrathionate hay,



Từ những lý do trên, có thể kết luận là khối lượng đương lượng của thiosulfate natri bằng với khối lượng phân tử ; và nên sử dụng một lượng dư bằng khoảng 1/40 của khối lượng phân tử, (khoảng 6,205 g) để điều chế một lít dung dịch có nồng độ lớn hơn N/40 một chút. Thông thường thì 6,5 g là đủ.

Dung dịch thiosulfate có thể được chuẩn bằng potassium dichromate hoặc potassium bi-iodate. Cả hai có thể tồn tại ở dạng tinh khiết 100%. Thông thường điều chế dung dịch N/40 bằng cách cân chính xác tinh thể bằng cân phân tích và pha loãng chúng với một thể tích xác định bằng bình định mức. Cả hai chất chuẩn này phản ứng với ion iodide trong dung dịch acid để giải phóng iodine:



Lượng iodine giải phóng bằng với lượng chất oxy hóa sử dụng. Do đó, nếu sử dụng 20 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ N/40 hay $\text{KIO}_3 \cdot \text{HIO}_3$ thì sẽ có chính xác 20ml N/40 dung dịch thiosulfat được sử dụng trong chuẩn độ.

Phản ứng giữa $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ và I^- không xảy ra ngay lập tức mà cần có khoảng 5 phút để hoàn tất phản ứng. Sản phẩm Cr^{3+} cho màu xanh greenish-blue với tinh bột. Điều này có thể khắc phục bằng cách pha loãng mẫu trước khi chuẩn độ. Chuẩn độ bằng potassium bi-iodate được sử dụng phổ biến và nó là chất chuẩn duy nhất được giới thiệu trong "Standard Methods".

Dung dịch thiosulfate bị ảnh hưởng bởi hoạt động của vi khuẩn và bởi CO_2 . Vi khuẩn sulfur oxy hóa thiosulfate thành sulfate dưới điều kiện kỵ khí. CO_2 làm giảm pH là nguyên nhân của sự phân hủy ion thiosulfate thành SO_3^{2-} và S. Các ion SO_3^{2-} biến đổi thành SO_4^{2-} dưới tác dụng của oxy hòa tan. Để bảo quản dung dịch thiosulfat khỏi ảnh hưởng của vi khuẩn và CO_2 ta có thể cho vào dung dịch 0,4g NaOH/ Lit. Kết quả là pH cao phòng tránh sự tăng trưởng của vi khuẩn và giữ cho pH không bị tụt xuống khi có một lượng nhỏ thừa CO_2 trong dung dịch. Tránh hiện tượng thừa NaOH vì điều này cũng có thể làm dung dịch mất tính ổn định.

4.5 PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH OXY HÒA TAN

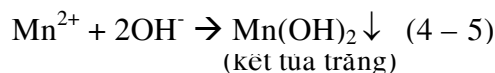
Phương pháp đo oxy hòa tan cổ điển được thực hiện bằng cách đốt nóng mẫu để đuổi khí hòa tan và xác định oxy từ mẫu khí thu được này nhờ áp dụng phương pháp phân tích khí. Phương pháp này đòi hỏi một lượng mẫu lớn và thời gian thực hiện dài.

Phương pháp Winkler hay Iodometric và những cải biến của chúng là những kỹ thuật tiêu chuẩn để xác định oxy hòa tan hiện nay. Việc xét nghiệm tùy thuộc vào lượng O_2 oxy hóa Mn^{2+} tạo thành một trạng thái hóa trị cao hơn dưới điều kiện kiềm và manganese ở trạng thái này có khả năng oxy hóa I^- thành I_2 trong môi trường acid. Do đó, lượng I_2 được giải phóng bằng với lượng oxy hòa tan hiện diện trong mẫu. Iodine được đo với dung dịch tiêu chuẩn thiosulfate natri và được gọi tên là oxy hòa tan.

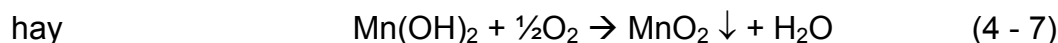
Phương pháp Winkler

Phương pháp Winkler nguyên gốc bị ảnh hưởng của rất nhiều chất làm cho kết quả không chính xác. Ví dụ: một số chất oxy hóa như nitrite và Fe_{3+} có thể oxy hóa I^- thành I_2 làm cho kết quả cao hơn, các chất khử như Fe_{2+} , SO_3^{2-} , S^{2-} , và polythionate khử I_2 thành I^- và làm cho kết quả nhỏ đi. Phương pháp Winkler nguyên gốc chỉ có thể được áp dụng với nước tinh khiết.

Các phản ứng trong phương pháp Winkler gồm:

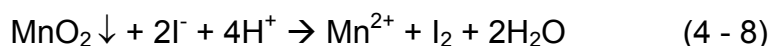


Nếu không có oxy hiện diện, kết tủa trắng $\text{Mn}(\text{OH})_2$ sẽ được hình thành khi thêm vào mẫu MnSO_4 và alkali-iodine reagent ($\text{NaOH} + \text{KI}$). Nếu oxygen hiện diện trong mẫu, một số Mn (II) được oxy hóa thành Mn(IV) và tạo kết tủa nâu. Phương trình phản ứng như sau:



Quá trình oxy hóa Mn(II) thành MnO_2 , người ta thường gọi là sự cố định oxy, quá trình xảy ra chậm, đặc biệt là ở nhiệt độ thấp. Cần phải lắc mạnh mẫu ít nhất trong 20 giây. Trong trường hợp nước hơi mặn hay nước biển thì cần phải lắc lâu hơn.

Sau khi lắc mẫu một thời gian đủ để tất cả oxy phản ứng, các kết tủa được phép lắng để phân thành 2 lớp ít nhất là cách bề mặt nước sạch 5 cm kể từ đỉnh, sau đó thêm acid sulfuric vào. Trong điều kiện pH thấp cho kết quả là oxy hóa I^- thành I_2 .



I_2 không hòa tan trong nước, nhưng dạng phức với iodine thừa tạo thành dạng hòa tan tri - iodate, do đó tránh thất thoát I_2 khỏi dung dịch:



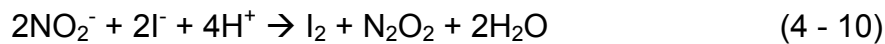
Nên đậy kín mẫu và lắc ít nhất trong 10 giây để phản ứng xảy ra hoàn toàn.

Bây giờ mẫu đã sẵn sàng để chuẩn độ với thiosulfate N/40. Sử dụng thiosulfate N/40 để chuẩn 200 mL mẫu. Thêm vào các chất sử dụng trong phương pháp Winkler, phải pha loãng mẫu do đó cần phải lấy một lượng mẫu lớn hơn 200 mL để chuẩn. Khi sử dụng chai 300 mL cần dùng 2 mL MnSO_4 và 2 mL alkali-KI. Khi cho 4ml dung dịch này vào phải thao tác sao cho chúng đầy xấp xỉ 4ml mẫu từ trong chai ra ngoài và cần phải hiệu chỉnh lại. Khi cho vào 2 mL acid, không xảy ra sự oxy hóa, do vậy không cần phải hiệu chỉnh cho thao tác này. Để thực hiện việc hiệu chỉnh khi cho vào 2 chất phản ứng đầu tiên ta sử dụng 203ml mẫu để chuẩn độ.

Chuẩn 200 mL mẫu với thiosulfate N/40, từ đó tính lượng oxygen mg/L.

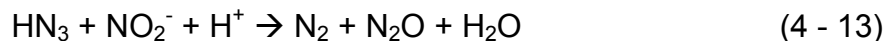
Biến đổi Azide của phương pháp Winkler

Ion nitrite là một trong những ion thường gặp gây ảnh hưởng trong quá trình xác định oxy hòa tan. Ảnh hưởng này xảy ra trong nước sau khi xử lý sinh học, trong nước sông và trong mẫu ủ BOD. Nó không oxy hóa Mn_{2+} nhưng nó oxy hóa I^- thành I_2 trong môi trường acid. Nó thường gây ảnh hưởng bởi tính khử của nó, N_2O_2 , được oxy hóa bởi oxygen đi vào trong mẫu trong khi chuẩn độ, nó chuyển hóa thành NO_2^- và gây biến đổi chu kỳ phản ứng đến nỗi có thể dẫn đến sai kết quả phân tích (thường làm tăng kết quả phân tích). Các phản ứng bao gồm:



Khi có sự hiện diện của nitrite thì không thể có sản phẩm cuối cố định. Ngay lập tức, màu xanh của chỉ thị tinh bột biến mất, những dạng nitrite từ phương trình phản ứng sẽ phản ứng với nhiều I^- tạo thành I_2 và màu xanh của hồ tinh bột sẽ quay trở lại.

Hiện tượng Nitrite dễ dàng khắc phục bằng cách sử dụng sodium azide (NaN_3). Rất dễ trộn azide vào alkali-KI. Khi thêm acid sulfuric vào các phản ứng tiếp theo xảy ra và NO_2^- bị phá hủy:



Bằng cách này, ảnh hưởng của nitrite được ngăn chặn và phương pháp Winkler trở nên đơn giản và phổ biến.

4.6 PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN CỰC MÀNG ĐO OXY HÒA TAN

Sử dụng màng điện cực để đo DO ngày càng được phổ biến do sự phát triển của chúng. Loại này đặc biệt hữu hiệu đối với việc xác định profile DO trong dòng chảy. Điện cực có thể thấp hơn đối với sự biến đổi độ sâu và nồng độ DO, có thể đọc từ màn hình nối với điện cực trên bề mặt dòng chảy. Chúng cũng có thể lưu trữ trong bể xử lý sinh học để giám sát mức DO ở mọi thời điểm. Tốc độ sử dụng oxygen sinh học cũng có thể được xác định bởi vị trí lấy mẫu chất lỏng trong 1 chai BOD và sau đó đưa điện cực vào để quan sát tốc độ phá hủy oxygen. Chúng cũng có thể được sử dụng để đo nhanh DO khi kiểm định BOD. Ưu điểm của nó sẽ thấy rõ khi phải phân tích một lượng mẫu lớn. Khả năng dễ mang theo khi đi đo đạc làm cho màng điện cực trở thành một thiết bị tuyệt vời.

Màng điện cực thường được kiểm tra bằng cách đo mẫu đã được phân tích chỉ tiêu DO bởi phương pháp Winkler. Do đó, mọi lỗi từ kỹ thuật phân tích Winkler sẽ được hoàn thiện bằng điện cực. Trong suốt quá trình đo DO, một vấn đề rất quan trọng là mẫu phải

di chuyển qua điện cực để tránh đọng chậm kết quả nếu oxygen bị phá hủy ngay tại màng khi nó bị giảm ở cathode. Màng điện cực rất nhạy với nhiệt độ do đó nhiệt độ đo xung quanh phải tương đồng với đo DO. Vì vậy, cần phải chính xác hoặc thiết bị phải được chế tạo cùng với thiết bị đo nhiệt độ.

4.7 ÁP DỤNG SỐ LIỆU OXY HÒA TAN

Số liệu oxy hòa tan được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Nhiều ứng dụng được thảo luận dưới các điều kiện tổng quát trong Mục 4.1.