



**BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ QUỐC GIA**

**TỔNG
LUẬN**

**KHOA HỌC
CÔNG NGHỆ
KINH TẾ**

ISSN 0866 - 7721

Số 2 - 2024

QUẢN LÝ VÒNG ĐỜI ẮC QUY LITHIUM - ION XE ĐIỆN



Hà Nội, tháng 2-2024

CỤC THÔNG TIN VÀ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ QUỐC GIA

Địa chỉ: 24, Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội

Tel: (024) 38262718, Fax: (024) 39349127

BAN BIÊN TẬP

TS. Trần Đắc Hiến (Trưởng ban)

ThS. Nguyễn Lê Hằng; ThS. Phùng Anh Tiên, ThS. Nguyễn Phương Anh

MỤC LỤC

GIỚI THIỆU.....	1
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT.....	2
I. ẮC QUY LITHIUM ION - BỘ PHẬN MẮU CHÓT CỦA XE ĐIỆN	3
1.1. Một số nét về thị trường ắc quy xe điện	3
1.2. Các dạng Ắc quy Li-ion dựa trên thành phần hóa chất	5
II. VÒNG ĐỜI THỨ CẤP VÀ TÁI CHẾ.....	8
2.1. Vòng đời thứ cấp	9
2.2. Các công nghệ tái chế ắc quy Li-ion hết tuổi thọ.....	12
2.3. Khó khăn, thách thức trong việc tháo rời và tái chế ắc quy	15
2.4. Các mô hình quản lý vòng đời ắc quy khác.....	23
III. QUẢN LÝ VÀ CHIA SẺ DỮ LIỆU VỀ ẮC QUY XE ĐIỆN	25
3.1. Các chủ thể trong vòng đời ắc quy xe điện.....	25
3.2. Dữ liệu ắc quy xe điện và chia sẻ dữ liệu ắc quy xe điện.....	28
3.3. Một số sáng kiến và quy định về sử dụng, quản lý vòng đời của ắc quy xe điện	35
KẾT LUẬN	44

GIỚI THIỆU

Một trong những mục tiêu quan trọng nhất của Hội nghị lần thứ 26 Các bên tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về Biến đổi khí hậu (COP26) là đưa phát thải ròng toàn cầu về 0 vào giữa thế kỷ, giữ cho nhiệt độ Trái đất tăng không quá 1,5°C. Để có thể hoàn thành mục tiêu chiến lược này, một số giải pháp thiết thực đã được đề xuất và nhận được sự đồng thuận của nhiều nước. Giải pháp liên quan tới vận tải xanh, được hơn 100 chính phủ, quốc gia, thành phố và các hãng sản xuất xe hơi nhất trí, thông qua Tuyên bố Glasgow về “*Không phát thải cho ô tô và xe tải*” nhằm chấm dứt việc bán động cơ đốt trong vào năm 2035 tại các thị trường hàng đầu và vào năm 2040 trên toàn thế giới. Như vậy, trong tương lai rất gần, xe điện sẽ thay thế xe động cơ đốt trong ở nhiều nước trên toàn thế giới.

Là bộ phận chính cung cấp năng lượng cho xe điện, ắc quy xe điện sẽ giữ vai trò chủ chốt trong tiến trình làm cho phương tiện giao thông sạch hơn đồng thời giải quyết vấn đề biến đổi khí hậu và cải thiện chất lượng môi trường. Ắc quy Lithium-ion (Li-ion) hiện là lựa chọn hiệu quả nhất cho các phương tiện xe điện. Vì vậy, việc quản lý vòng đời (sửa chữa, tái sử dụng, tái chế và thải bỏ) ắc quy Li-ion một cách phù hợp phải được tính toán kỹ lưỡng trong quá trình phát triển và triển khai chúng.

Việt Nam là nước rất tích cực chủ động triển khai và thực hiện các cam kết từ Hội nghị COP26. Những nỗ lực đưa mức phát thải ròng về “0” của chúng ta vào năm 2050 đang được cộng đồng quốc tế đánh giá tích cực. Trong đó, ngành giao thông vận tải được xác định sẽ đóng vai trò dẫn dắt trong tiến trình chuyển đổi xanh. Cụ thể, chính phủ đã ban hành một loạt các chính sách ưu đãi, hỗ trợ cho các ngành sản xuất, lắp ráp ô tô điện, các chính sách khuyến khích sử dụng ô tô điện và đưa các sản phẩm pin nhiên liệu, ắc quy lithium hiệu năng cao, dung lượng lớn thuộc danh mục công nghệ cao được ưu tiên phát triển. Hiện tại, xe ô tô điện, bus điện đã hiện diện phổ biến ở nhiều thành phố lớn của nước ta. Đi đôi với phát triển xe điện, việc quản lý vòng đời ắc quy xe điện cũng là một thách thức đối với các cấp quản lý. Nhằm giúp các nhà hoạch định chính sách có thêm thông tin về lĩnh vực mới mẻ này, Tổng luận “*Quản lý vòng đời ắc quy Lithium-ion xe điện*” được Cục Thông tin khoa học và công nghệ quốc gia biên soạn với sự tham khảo từ các tài liệu quốc tế uy tín. Hy vọng đây sẽ là một tài liệu bổ ích đối với các nhà nghiên cứu, hoạch định chính sách và bạn đọc quan tâm.

Xin trân trọng giới thiệu.

**CỤC THÔNG TIN KHOA HỌC VÀ
CÔNG NGHỆ QUỐC GIA**

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

OEM	Nhà sản xuất thiết bị gốc
EVB	Ắc quy xe điện
EV	Xe điện
SOH	Tình trạng sức khỏe
SOC	Tình trạng sạc
CAGR	Tỷ lệ tăng trưởng kép hằng năm

I. ẮC QUY LITHIUM ION - BỘ PHẬN MẮU CHÓT CỦA XE ĐIỆN

1.1. Một số nét về thị trường ắc quy xe điện

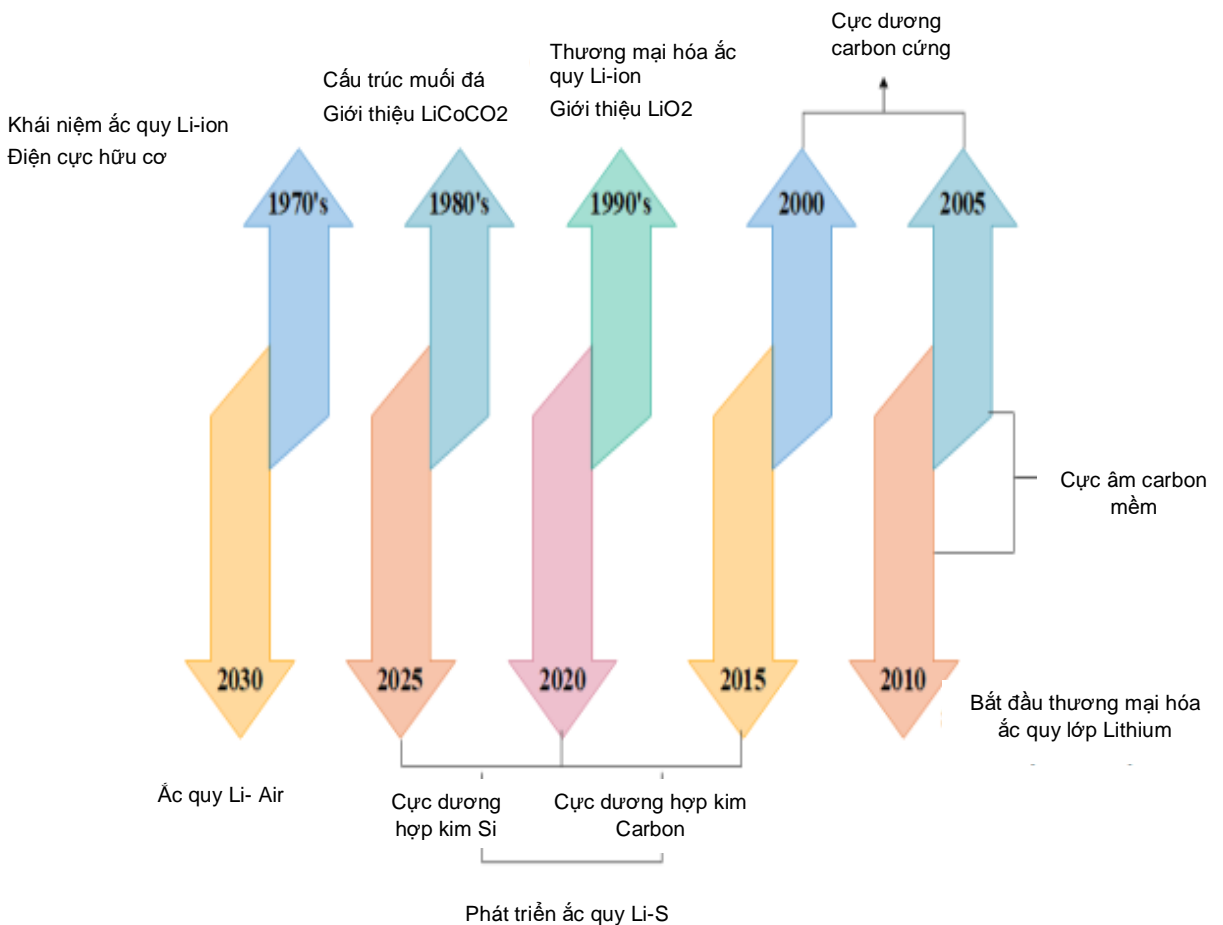
Doanh số bán xe điện hàng năm đã tăng mạnh trong 10 năm qua từ hàng nghìn lên hàng triệu chiếc mỗi năm. Mức tăng này phần lớn là nhờ những tính năng hấp dẫn của xe điện, đó là hiệu suất lái xe tốt hơn, mật độ năng lượng ắc quy được cải thiện, chi phí thấp hơn, giảm tác động tới môi trường và tất nhiên còn cả những ưu đãi và thời hạn được các chính phủ trên khắp thế giới đặt ra. Lệnh cấm bán xe chạy xăng và dầu diesel tới năm 2030 đã có hiệu lực trên giấy tờ ở Ấn Độ, Ireland, Hà Lan, Đan Mạch, Na Uy và Vương quốc Anh. Nhiều nước khác và một số tiểu bang của Mỹ cũng đã đặt mục tiêu tới năm 2035 chỉ bán hoàn toàn xe điện. Tại Mỹ, Trung Quốc, Liên minh châu Âu (EU), Vương quốc Anh và Canada, doanh số bán xe điện đã tăng 41% lên khoảng 3 triệu chiếc năm 2020. Tới tháng 9 năm 2021, lần đầu tiên xe điện chiếm 10% thị trường vận tải hành khách toàn cầu. Năm 2019, BloombergNEF đưa ra dự báo đến năm 2030, doanh số bán hàng hàng năm của xe điện sẽ đạt hơn 20 triệu chiếc trên toàn cầu.

Do nhiều chính phủ cam kết giảm sử dụng xăng và xe chạy bằng diesel tới năm 2030, nên dự kiến xe điện sẽ thay thế phần lớn phương tiện vận tải hiện nay. Hầu hết các loại xe điện hiện đều sử dụng ắc quy Li-ion. Tổng luận này tập trung vào lĩnh vực quản lý vòng đời của ắc quy Li-ion, vì vậy sẽ không đề cập đến ắc quy niken hiđrua kim loại (NiMH), là loại đã được sử dụng thành công trên xe điện hybrid trong 20 năm qua. Hiện nay, hơn 50% xe điện hybrid mới sử dụng ắc quy Li-ion. Các kích thước của ắc quy NiMH nằm trong khoảng từ 0,6 -1,4 kWh, còn kích thước của ắc quy Li-ion xe điện nằm trong khoảng từ 40-100 kWh. Do đó, với mức độ thâm nhập thị trường của xe điện rất lớn, thì lượng ắc quy Li-ion hết hạn sử dụng sẽ lớn hơn ắc quy NiMH rất nhiều.

Kể từ khi ra mắt thị trường vào năm 1991, ắc quy Li-ion do hãng Sony thương mại hóa đã được sử dụng rộng rãi trong ô tô, điện thoại thông minh và máy tính xách tay. So với ắc quy axit-chì tiêu chuẩn, chúng hiệu quả hơn gấp ba lần và có tuổi thọ lên đến 20 năm. Nếu một chiếc xe được trang bị ắc quy Li-ion, nó sẽ có công suất dự trữ điện cao hơn và đỡ cồng kềnh hơn khiến cho chiếc xe chạy tốn ít năng lượng hơn.

Ắc quy Li-ion gồm bốn thành phần thiết yếu: cực dương (anode), cực âm (cathode), chất điện phân và dải phân cách. Một bình ắc quy Li-ion hoạt động được nhờ quá trình xảy ra phản ứng hóa học liên quan đến lithium. Thị trường ắc quy Li-

ion đang bùng nổ vì chúng là phương pháp hiệu quả nhất để cung cấp năng lượng cho nhiều loại phương tiện vận tải điện. Trong những năm gần đây, nhiều khoản đầu tư đã được rót vào để phát triển công nghệ. Kết quả là, các nhà sản xuất ô tô cũng như chế tạo thiết bị gốc (OEM) bắt đầu đề ra những kế hoạch điện hóa các loại xe của họ. Doanh số xe điện giúp thúc đẩy ngành công nghiệp này bùng nổ năm 2020, bất chấp đại dịch Covid-19 đang diễn ra. Đối với xe điện sử dụng ắc quy Li-ion, thị trường được dự đoán sẽ trị giá hơn 70 tỷ USD tới năm 2026. Hình 1¹ thể hiện quá trình phát triển công nghệ ắc quy Li-ion.



Hình 1. Quá trình phát triển của Ắc quy Li-ion

Ở ắc quy Li-ion thông thường, điện cực âm được làm bằng carbon (C), còn điện cực dương thường được làm bằng oxit kim loại (MnO) (MO). Các ion lithium có thể được trữ trên cả cực dương và cực âm. Chất điện phân giữa các điện cực này

¹ S. Rangarajan, S.; Sunddararaj, S.P.; Sudhakar, A.; Shiva, C.K.; Subramaniam, U.; Collins, E.R.; Senjyu, T. Lithium-Ion Batteries-The Crux of Electric Vehicles with Opportunities and Challenges. *Clean Technol.* 2022, 4, 908-930. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040056>

được đi qua 24 ion lithium, có chức năng lưu trữ và giải phóng năng lượng. Muối lithium sẽ biến đổi khi chúng được sử dụng trong dung môi hữu cơ làm chất điện phân (tiêu chuẩn), làm tuổi thọ cực dương bị giảm đi khi điện áp cao chạy vào vật liệu làm cực dương. Để giải quyết vấn đề này, một loại ắc quy Li-ion hoàn toàn mới được tạo ra cho xe điện, có độ dày gấp ba lần ắc quy điển hình. Tăng tỷ lệ thể tích của các điện cực tích hoạt, ví dụ bằng cách tăng độ dày của vật liệu điện cực, là một kỹ thuật hiệu quả cho phép phát triển ắc quy Li-ion với các lớp điện cực dày hơn. Ắc quy LIPO² được hưởng lợi từ tỷ lệ điện cực trên dòng điện cao (tỷ lệ E/I). Một ô pin (cell)³ bé hơn với tỷ lệ bộ gom điện/thể tích thấp hơn sẽ tiết kiệm năng lượng hơn. Chi phí sản xuất có thể được giảm đi bằng cách không cần thực hiện thêm các bước cắt và dập ghim. Loại ắc quy này đã được sử dụng ở các sản phẩm của hãng Hitachi. Hiện tại, xe điện có thể lái trên quãng đường xa gấp đôi nhờ những tiến bộ của công nghệ mới này. Các điện cực thông thường giờ đã dày gấp đôi khiến cho ắc quy có thể giữ nhiều ion lithium hơn.

Hiện nay, trên thị trường có một số nhà sản xuất ắc quy xe điện hàng đầu, trong đó có Panasonic, Automotive Energy Supply Corporation, Robert Bosch, SAMSUNG SDI, Công ty TNHH Công nghệ Ắc quy Năng lượng Mới Pride Bắc Kinh, Công ty BYD Ltd, Daimler, Mitsubishi và Công ty Power International Thiên Năng của Trung Quốc. Những nhà sản xuất ắc quy xe điện đáng chú ý khác gồm Tesla, Nissan và Toyota.

Cơ hội thị trường cho ắc quy Li-ion đang phát triển mạnh. Tới năm 2024, thị trường ắc quy Li-ion được kỳ vọng đạt giá trị 90,01 tỷ USD. Ở giai đoạn dự kiến 2020-2026, thị trường được dự đoán phát triển với Tỷ lệ tăng trưởng kép hằng năm (CAGR) là 20% nhờ sự bùng nổ của ngành công nghiệp ô tô điện, nhu cầu điện tử tiêu dùng mạnh, sự chuyển đổi sang các thiết bị điện tử thông minh, các thiết bị đeo thông minh và giá ắc quy Li-ion giảm đi. Quy mô thị trường ắc quy Li-ion toàn cầu được dự kiến đạt 58,61 tỷ USD năm 2021 và sẽ đạt mức 278,27 tỷ USD đến năm 2030 với CAGR tăng 18,9% từ 2022 đến 2030.

1.2. Các dạng Ắc quy Li-ion dựa trên thành phần hóa chất

Lithium coban oxit

Ắc quy lithium coban oxit và ắc quy Li-ion coban là những tên gọi của loại ắc

² Pin Lithium-Ion Polyme

³ Cell: Một cell trong ắc quy bao gồm cực dương và cực âm được phân tách bằng chất điện phân được sử dụng để tạo ra điện áp và dòng điện. Một ắc quy có thể được tạo thành từ một hoặc nhiều cell.

quy này. Loại ắc quy này được chế tạo từ hai kim loại nặng là lithium cacbonat và coban. Do mật độ năng lượng riêng của chúng cao, nên loại ắc quy này thường phổ biến ở các thiết bị di động như điện thoại di động, máy tính xách tay và máy ảnh kỹ thuật số. Cực dương được làm bằng oxit coban, còn cực âm được làm bằng graphit (than chì), với các ion lithium chạy giữa chúng khi các điện cực dẫn điện. Loại ắc quy này không phải là lựa chọn tiết kiệm năng lượng nhất nếu xét về tuổi thọ ắc quy. Hơn nữa, chúng không an toàn như các loại ắc quy khác.

Lithium mangan oxit

Oxit mangan lithium được lưu trữ trong ắc quy oxit mangan lithium, thường được gọi là ắc quy spinel mangan hoặc bộ pin (cells) Li-mangan (hoặc mangan lithium-ion). Công nghệ ắc quy gốc này ban đầu được tạo ra vào những năm 1980 và được công bố lần đầu tiên vào năm 1983 trên tạp chí Materials Research Bulletin. Bộ pin (cells) Li-ion thương mại đầu tiên của Moli Energy, được sản xuất năm 1996, sử dụng oxit mangan lithium làm vật liệu cực âm. Ắc quy oxit mangan Lithium-ion có độ ổn định nhiệt cao hơn các loại ắc quy Li-ion khác, khiến cho chúng được sử dụng an toàn hơn. Dụng cụ điện, xe máy điện và nhiều loại thiết bị điện tử khác đều sử dụng loại ắc quy này. Ắc quy oxit mangan lithium được sử dụng trong nhiều ứng dụng, bao gồm máy tính xách tay và xe điện.

Lithium sắt phốt phát (LFP)

Loại ắc quy này còn được gọi là "ắc quy li-phốt phát" do hàm lượng phốt pho có trong cực âm. Do điện trở thấp nên chúng là loại ắc quy an toàn. Chúng có thể được sạc lại trong thời gian dài mà không bị hỏng nhờ có vòng đời dài. Nhờ có vòng đời dài, ắc quy lithium phốt-phát là phương án tốt cho nhiều ứng dụng. Tuy nhiên, ắc quy lithium phốt-phát không mạnh bằng các loại ắc quy khác do có điện áp thấp hơn. Loại ắc quy này được sử dụng phổ biến trong xe đạp điện và các thiết bị khác cần ắc quy có tuổi thọ dài và mức độ an toàn cao. Những loại ắc quy này còn được sử dụng trong ô tô điện, phương tiện đang ngày càng trở nên phổ biến.

Lithium niken coban nhôm oxit

Ắc quy niken coban nhôm oxit (NCA) hiện được sử dụng trong xe điện và hệ thống lưu trữ lưới. Ắc quy NCA rất có tiềm năng trong ngành công nghiệp ô tô, mặc dù chúng không hữu dụng trong các thiết bị tiêu dùng. Dù có mật độ năng lượng tốt hơn và tuổi thọ dài hơn, nhưng ắc quy NCA kém an toàn và đắt hơn các loại ắc quy Li-ion khác. Để bảo đảm an toàn cho người lái xe, ắc quy NCA phải được hỗ trợ bởi các thiết bị giám sát. Khi số lượng xe điện tăng lên thì nhu cầu về ắc quy NCA cũng

tăng theo do ứng dụng của chúng trong những loại phương tiện đó tăng lên.

Lithium titanat

Lithium titanat, hay Li-titanat, là loại ắc quy đang có tốc độ phát triển rất nhanh, có thể được sử dụng theo nhiều cách. Ắc quy lithium titanat có thể được sạc lại chỉ sau vài phút nhờ công nghệ nano tiên tiến của nó. Loại ắc quy này đã được sử dụng trong ô tô và xe đạp điện, hiện giờ có thể được sử dụng trong xe buýt điện. Ắc quy có điện áp nội tại hoặc mật độ năng lượng cao đã có mặt trên thị trường, nhưng loại ắc quy lithium-ion này vẫn có một số nhược điểm. Bên cạnh đó, mật độ năng lượng của ắc quy lithium titanat cao hơn so với ắc quy không phải lithium-ion là một lợi thế. Với việc sử dụng các loại ắc quy này, lưới điện thông minh và lưu trữ năng lượng tái tạo đều có thể được hưởng lợi. Theo Battery Space, những loại ắc quy này cũng có thể được sử dụng làm hệ thống dự phòng quan trọng trong hệ thống điện.

Lithium niken mangan coban oxit (NMC)

Loại ắc quy này là sự kết hợp của niken và mangan. Cả ắc quy Li-ion và ắc quy coban oxit đều được gọi chung là "ắc quy NMC", sử dụng nhiều thành phần nguyên liệu thô giống nhau. Mật độ năng lượng của ắc quy NMC cao hơn so với mật độ năng lượng của các loại ắc quy lithium-ion khác. Loại ắc quy này được sử dụng hầu hết trong các công cụ công suất cao và hệ thống truyền động trên xe ô tô. Có ba thành phần chính trong hỗn hợp cực âm, gồm: niken, mangan và coban. Coban có giá thành khá đắt. Giá ắc quy Li-ion có thể giảm nhiều hơn nếu các nhà sản xuất ắc quy chọn chuyển đổi sang công thức hóa học có tỷ lệ niken lớn hơn và do đó cần ít coban hơn. Loại ắc quy này thường sử dụng trong xe điện bởi tỷ lệ tự phát nhiệt của nó thấp.

Bảng 1. Các đặc điểm của ắc quy Li-ion

	Các thông số ắc quy Li-ion	Giá trị
1	Tỷ lệ tự xả	1-5%/tháng
2	Mật độ năng lượng khối lượng	100 - 180 Wh/kg
3	Mật độ năng lượng thể tích	200 - 300 Wh/L
4	Mật độ năng lượng	1000 – 5000 W/kg
5	Hiệu suất sạc/xả	95 -99%
6	Độ bền chu kỳ	500 – 15 000 chu kỳ
7	Chi phí tiêu biểu	0,20 – 2,5 USD

Vòng đời của ắc quy xe điện dựa trên lithium gồm bốn giai đoạn riêng biệt: vật liệu thô ban đầu, sản xuất ắc quy, vận hành và quản lý khi hết hạn. Sau khi những vật liệu thô này được các nhà máy sơ chế xử lý, các công ty sản xuất ắc quy tiếp quản và bắt đầu sản xuất ắc quy và lắp ráp chúng thành bộ. Sau đó chúng được gửi đến các nhà sản xuất ô tô để sử dụng tích hợp vào xe điện. Việc thiếu quản lý có thể dẫn đến lãng phí những vật liệu quan trọng trong ắc quy ở cuối quy trình sản xuất. Mục đích của giai đoạn quản lý khi hết hạn là hoàn thành toàn bộ chu trình. Tùy theo trạng thái của ắc quy, nó sẽ được tái chế hoặc tái sử dụng cho mục đích khác. Để bảo đảm rằng ắc quy hoạt động lâu bền, các công ty và chính phủ phải hợp tác chặt chẽ để đạt được mục tiêu này.

Đến nay, khâu nguyên liệu cùng với khâu sản xuất và vận hành ắc quy, đều đã được kiểm tra và chứng minh kỹ lưỡng. Do những bất cập về mặt kinh tế nên vẫn chưa thể mở rộng lĩnh vực tái chế. Ví dụ, chỉ có 6% ắc quy Li-ion được thu gom để tái chế ở Australia trong năm tài chính 2017-2018. Trong khi đó, tái chế ắc quy xe điện có khả năng tối đa hóa lợi ích môi trường vì nhiều lý do, trong đó ít nhất là do sự thiếu hụt niken, coban và lithium được dự báo trong tương lai. Tái chế đã được chứng minh là một chiến lược hiệu quả.

II. VÒNG ĐỜI THỨ CẤP VÀ TÁI CHẾ

Ắc quy Li-ion là loại ắc quy phổ biến nhất ở xe điện. Chúng ta có thể đã quá quen với loại ắc quy này do nó được sử dụng rộng rãi trong các thiết bị di động như điện thoại thông minh và máy tính xách tay. Yếu tố chính để phân biệt là kích cỡ (size). Công suất và kích thước của bộ ắc quy kéo (traction battery) trên ô tô điện lớn hơn rất nhiều so với ở điện thoại và máy tính xách tay. Về mặt công suất cho tới trọng lượng, ắc quy Li-ion là giải pháp tốt nhất. Loại ắc quy này lưu trữ năng lượng cực kỳ hiệu quả. Hiệu suất nhiệt cao cũng rất tốt, đồng thời có tỷ lệ năng lượng trên trọng lượng cao, một đặc tính rất quan trọng đối với hiệu suất của ắc quy xe điện. Ô tô có thể đi đoạn đường xa hơn với một lần sạc mà trọng lượng ắc quy lại nhẹ hơn (đối với cùng một kWh công suất). Ngoài ra, loại ắc quy này có mức “tự xả” thấp, có nghĩa là nó trội hơn bất kỳ loại ắc quy nào khác về khả năng duy trì mức sạc đầy. Ắc quy Li-ion cũng có thể được tái chế, khiến chúng trở thành một giải pháp tuyệt vời cho những ai quan tâm đến vấn đề môi trường khi mua xe điện.

Nhu cầu tiêu thụ xe điện tăng nhanh sẽ đòi hỏi phải có kế hoạch trước thời điểm ắc quy hết hạn sử dụng ở ô tô. Hiện tại, các nhà sản xuất xe điện đưa ra chế độ

bảo hành ắc quy từ 8-10 năm và chịu trách nhiệm về mọi sửa chữa hoặc thay thế. Nếu bảo hành bị vô hiệu vì bất kỳ lý do nào hoặc nếu ắc quy đã hết vòng đời sử dụng hữu ích đối với xe điện hoặc hết tuổi thọ của xe, thì những loại ắc quy này có thể trải qua các hướng khác nhau như: tái sản xuất, tân trang⁴, đổi⁵ và tái sử dụng theo mục đích khác (hay còn gọi là vòng đời thứ cấp) và cuối cùng có thể được tái chế.

Sau thời hạn bảo hành, ắc quy thường hoạt động lâu hơn do các nhà sản xuất thiết bị gốc (OEM) thực hiện các số dư (margin) thiết kế. Một số chuyên gia cho rằng ắc quy xe điện (EV) có thể hoạt động tốt thêm 2-6 năm nữa ngoài thời gian bảo hành, khiến cho ắc quy có thể hoạt động từ 12-16 năm. Tuổi thọ theo dự kiến này có thể bị ảnh hưởng bởi hành vi sạc (ví dụ: sạc nhanh hoặc xả ắc quy liên tục sẽ làm giảm tuổi thọ của ắc quy) hoặc các điều kiện môi trường, chẳng hạn như tiếp xúc với nhiệt độ quá cao hoặc quá lạnh.

Theo Hiệp hội Ắc quy Tiên tiến của Mỹ, một bộ ắc quy có thể mất 20% dung lượng và điện năng khi chiếc xe hết tuổi thọ. Do đó, họ khuyến nghị nên tăng thêm 20% cho dung lượng và năng lượng của ắc quy khi mới bắt đầu sử dụng. Nói cách khác, ắc quy sẽ hết tuổi thọ khi mất hơn 20% dung lượng hoặc điện năng. Tùy theo thói quen lái xe và khoảng cách của từng cá nhân, ắc quy có dung lượng thấp hơn có thể tiếp tục hoạt động tốt dưới ngưỡng này.

Theo hệ thống phân cấp quản lý chất thải của Cơ quan Bảo vệ Môi trường Mỹ, cách tốt nhất để quản lý vòng đời là loại bỏ nguy cơ lãng phí ngay từ đầu (giảm thiểu và tái sử dụng), tiếp theo là tái chế để ngăn ngừa lãng phí và thu hồi các vật liệu có giá trị, sử dụng năng lượng trong chất thải sản xuất ra điện và thải bỏ với vai trò là phương sách cuối cùng. Tổng luận này sẽ bỏ qua giai đoạn sửa chữa và tân trang, mà tập trung vào vòng đời thứ cấp và tái chế.

2.1. Vòng đời thứ cấp

Thị trường ắc quy vòng đời thứ cấp

Ắc quy vòng đời thứ cấp là những bộ ắc quy xe điện đã kết thúc vòng đời sử dụng đầu tiên, có mục đích sử dụng vượt ra khỏi mục đích sử dụng trên ô tô. Dung lượng còn lại có thể đủ cho hầu hết các ứng dụng lưu trữ năng lượng; ắc quy vòng đời thứ cấp có thể tiếp tục hoạt động thêm 10 năm nữa hoặc lâu hơn.

⁴ Tân trang (refurbishing): kiểm tra bộ ắc quy, thay các ô pin cell bị lỗi bên trong bằng các ô pin cell mới

⁵ Đổi (swapping): Đổi ắc quy đã dùng cạn lấy ắc quy mới

Giá trị của ắc quy vòng đời thứ cấp

Một số chuyên gia nghiên cứu vòng đời thứ cấp của ắc quy cho rằng giá trị của ắc quy vòng đời thứ cấp lớn hơn mức tiết kiệm chi phí khi sử dụng ắc quy hiện có để chế tạo ắc quy mới. Ngoài giá trị được đo bằng tiền trên kilowatt giờ, giá trị ắc quy vòng đời thứ cấp còn được thể hiện qua những cơ hội sau:

- *Cấp điện cho những người không có khả năng tiếp cận tới nguồn điện.* Người dân sống ở những khu vực có ít hoặc không có cơ sở hạ tầng năng lượng hoặc không có hỗ trợ lưới điện an toàn (ví dụ: mất điện luân phiên ở Nam Phi hoặc lưới điện không ổn định ở Puerto Rico sau cơn bão Maria) có nhu cầu năng lượng phục vụ cho các nhu cầu cơ bản của con người gồm nhiệt, nước, dịch vụ y tế, giáo dục và nhiều thứ khác. Ắc quy vòng đời thứ cấp có thể cung cấp giải pháp lưu trữ năng lượng tái tạo với chi phí kinh tế ở những khu vực này.

- *Thách thức chuỗi cung ứng đối với ắc quy mới.* Nguồn dự trữ khoáng sản quan trọng cho các hóa chất quan trọng của ắc quy đang bị thiếu hụt hoặc chỉ tập trung ở một số khu vực trên thế giới, nơi vi phạm nhân quyền và lao động trẻ em tại mỏ (và trong chuỗi cung ứng) đang lan tràn. Các chuỗi cung ứng cũng có thể bị gián đoạn (ví dụ: trong đại dịch COVID-19), khiến cho nguồn cung ắc quy mới bị chậm hàng tuần hoặc hàng tháng. Ngoài ra, công suất xử lý khoáng sản để sản xuất ắc quy mới hiện không đủ để đáp ứng các đơn hàng trên toàn thế giới và thời hạn chuyển đổi sang phương tiện vận tải không phát thải.

- *Bù trừ chi phí tái chế ắc quy Li-ion.* Hiện tại, ắc quy Li-ion có hàm lượng coban hoặc niken cao có giá trị dương (thậm chí tính cả chi phí vận chuyển) khi được tái chế. Tuy nhiên, ắc quy Li-ion như ắc quy lithium sắt photphat có hàm lượng niken hay coban thấp hoặc không có ở cực âm thường có giá trị âm khi được tái chế; nghĩa là chi phí tái chế vượt quá giá trị của vật liệu được thu hồi, chẳng hạn như sắt. Mặt khác, ắc quy phù hợp với vòng đời thứ cấp hiện đang tạo ra doanh thu và ít gây ô nhiễm môi trường hơn. Ví dụ: khi các bộ ắc quy xe tải khai thác chạy bằng lithium sắt phosphate không còn được sử dụng để cấp điện cho chiếc xe nhưng vẫn còn nhiều năng lượng dư lại, thì chúng có thể trở thành hệ thống lưu trữ cố định năng lượng tái tạo vòng đời thứ cấp ngoài lưới. Việc này có thể bù đắp chi phí nhiên liệu cho các máy phát điện diesel tại mỏ và lượng khí thải phát sinh.

- *Tiềm năng kinh tế.* Ý kiến không tán thành với ắc quy vòng đời thứ cấp là khi giá ắc quy mới tiếp tục giảm đi, thì việc dành thời gian, tiền bạc và công sức cho ắc quy đã qua sử dụng sẽ không còn thực tế nữa. Tuy nhiên, đối với các ứng dụng có nhu cầu thấp hơn như dự phòng ở vùng nông thôn, nơi việc sử dụng ắc quy Li-

ion mới là không khả thi, thì giảm chi phí cho ắc quy có thể mở ra những cánh cửa mới. Phòng thí nghiệm Năng lượng tái tạo quốc gia của Mỹ đã phát triển một công cụ phân tích công nghệ - kinh tế để mang lại cái nhìn sâu sắc về tiềm năng kinh tế của các ứng dụng vòng đời thứ cấp tùy thuộc vào các yếu tố kinh tế và kỹ thuật khác nhau.

• *Tăng quy mô cung cấp ắc quy vòng đời thứ cấp.* Hiện tại, nhiều ắc quy xe hybrid và xe điện đang hoạt động tốt kể cả sau thời hạn bảo hành vì chúng không được nạp thường xuyên như thiết kế. Nếu xu hướng này tiếp diễn, thì sẽ ngày càng có nhiều ắc quy phù hợp với vòng đời thứ cấp. Nguồn cung lớn và ổn định hơn có thể làm giảm chi phí sản xuất trên mỗi kilowatt giờ.

Sự phát triển và thách thức của thị trường ắc quy vòng đời thứ cấp

Ngành công nghiệp ắc quy vòng đời thứ cấp đã phát triển từ việc phục hồi 18650 ô pin cell từ máy tính xách tay và các thiết bị tiêu dùng khác (1 kWh) sang phát triển các hệ thống lưu trữ năng lượng 10 kWh hoặc lớn hơn. YouTube có nhiều ví dụ về những phát triển kiểu “Powerwall” bằng cách sử dụng phần cứng và phần mềm hệ thống quản lý ắc quy có sẵn hoặc tự phát triển. Một số kiểu phát triển chưa sẵn sàng để thương mại hóa, trong khi một số khác đã được “sản phẩm hóa” để sử dụng làm hệ thống lưu trữ năng lượng mặt trời dân dụng. Đáng lưu ý nhất, đặc biệt đối với các nhà sản xuất nhỏ và tự làm, nhiều sản phẩm không được chứng nhận UL hoặc CSA để bảo đảm chúng đã được thử nghiệm độc lập nhằm đáp ứng các tiêu chuẩn được công nhận về an toàn và hiệu suất. Các quy ước UL 1973 (lưu trữ năng lượng), UL 1974 (chuyển đổi EV vòng đời thứ cấp sang lưu trữ năng lượng cố định), Lưu trữ năng lượng UL 9450 và UL 9450a (phòng chống cháy nổ) rất tốn kém và có thể dễ dàng bị các nhà sản xuất nhỏ bỏ qua. Do đó, một số sản phẩm này được bán trong nước cho những người tiêu dùng chưa biết hoặc được vận chuyển ra nước ngoài tới các quốc gia có thể không yêu cầu các tiêu chuẩn an toàn về điện và cháy nổ như vậy. Những sản phẩm như vậy có thể gây ra nguy cơ cháy nghiêm trọng nếu kỹ thuật và việc thiếu thử nghiệm che giấu các lỗi phần cứng hoặc phần mềm chưa được phát hiện. Ngoài ra, cơ hội tái chế những bình ắc quy này có thể rất ít hoặc không có ở những quốc gia này.

“Thách thức lớn” trong vòng đời thứ cấp

Gạt những vấn đề này sang một bên, giá trị có thể thu được từ ắc quy vòng đời thứ cấp đã khơi dậy mối quan tâm của các OEM ô tô cũng như các doanh nhân. Các OEM có mô hình dịch vụ ắc quy hoặc cho thuê ắc quy có thể tận dụng việc sở hữu ắc quy khi hết vòng đời đầu tiên để thu lợi từ vòng đời thứ cấp. Việc này cũng có

thể gây phiền phức cho nhà phát triển vòng đời thứ hai vì nó đòi hỏi một số bước quan trọng. Các công ty vòng đời thứ cấp phải đối mặt với “thách thức lớn” trong việc nhận diện thị trường; thiết kế, xây dựng, thử nghiệm hệ thống và chứng nhận UL/CSA; tiếp thị hệ thống ắc quy vòng đời thứ cấp mới. Thách thức này cũng bao gồm:

1. Nhận diện những khách hàng cần giải pháp mà hệ thống vòng đời thứ cấp có thể mang lại nhiều giá trị hơn.

2. Tìm kiếm thị trường, thiết kế giải pháp và cung cấp dịch vụ và hỗ trợ khách hàng, bao gồm:

- Tìm kiếm nhân lực giỏi trong các lĩnh vực tiếp thị, bán hàng và kỹ thuật.
- Cung cấp đủ cùng kiểu mẫu mã, chủng loại ắc quy vòng đời thứ cấp.
- Cân đối các công suất điện khác nhau của các mô-đun để việc cân bằng ngăn pin cell hoặc mô-đun được an toàn.
- Xây dựng hoặc sử dụng hệ thống và phần cứng quản lý ắc quy.
- Chứng nhận UL hoặc CSA ắc quy.
- Bán hàng và hỗ trợ chăm sóc khách hàng lâu dài.
- Kết hợp và tích hợp các thành phần hóa học khác nhau của ắc quy từ nhiều xe điện khác nhau.

Ngày càng có nhiều công ty chuyên về các bộ phận khác nhau của hệ sinh thái vòng đời thứ cấp (ví dụ: thiết bị thử nghiệm, logistic ngược, tái sử dụng theo mục đích khác). Việc hợp tác có thể làm giảm bớt độ khó ở “thách thức” vốn cần thiết để một công ty riêng lẻ có thể cung cấp đầy đủ giá trị cho khách hàng.

2.2. Các công nghệ tái chế ắc quy Li-ion hết tuổi thọ

Mục tiêu chính của tái chế ắc quy Li-ion là thu hồi các khoáng chất quan trọng như niken, coban và lithium từ cực âm, cùng với các hợp chất khác như than chì cao cấp từ cực dương. Ắc quy xe điện cũng có các vật liệu có khả năng tái chế khác như thép, nhôm, đồng và nhựa, nhưng Tổng luận này sẽ tập trung vào các khoáng chất ắc quy quan trọng được sử dụng ở cực âm và cực dương. Để thu hồi những vật liệu này từ ắc quy Li-ion, có ba công nghệ chính hiện đang trong các giai đoạn thương mại hóa khác nhau: nhiệt luyện, thủy luyện và tái chế trực tiếp. Lắp ráp cơ khí là một phần của ba công nghệ này. Ngoài các phương pháp này, xử lý cơ học (thông qua tháo rời, nghiền, băm nhỏ và tách) cũng là một yếu tố chính của bất kỳ công

nghe tái chế nào. Ngoài ra còn có các phương pháp mới đang được phát triển, gồm sử dụng robot để tháo rời hiệu quả hơn, siêu âm để cải thiện việc tách kim loại, loại bỏ tạp chất bằng hóa học khối khối đen (black mass)⁶, tách bằng mạ điện hoặc hóa điện, v.v.. Tổng luận này tập trung vào các công nghệ tái chế khả dụng, lưu ý rằng tái chế trực tiếp vẫn chưa được sử dụng rộng rãi.

Bảng 2. Lợi thế và bất lợi của các công nghệ tái chế ắc quy Li-ion

	Nhiệt luyện	Thủy luyện	Tái chế trực tiếp
Các dạng tái chế	Nóng chảy	Lọc hóa chất	Vật lý/Hóa chất
Các yêu cầu xả/xé nhỏ	Không nhiều	Có, cần thiết	Có, cần thiết
Nước thải	Ít nhất	Nhiều	Một ít
Vật liệu được thu hồi	Các hợp kim Coban, Niken, Đồng (xi Li +Al) hoặc carbonat Li	Kim loại hoặc muối Li ₂ CO ₃ hoặc LiOH	Catot, anode, chất điện phân, kim loại
Cần phân loại?	Không	Có, mức độ ít	Có
Các yêu cầu năng lượng	Cao	Trung bình	Thấp
Chi phí vốn	Cao	Trung bình	Trung bình (vẫn chưa rõ)
Triển khai thương mại?	Có (châu Âu và châu Á)	Có (Mỹ, châu Âu, châu Á)	Không

Nguồn: Gaines (2018); Harper và đồng nghiệp (2019), Assefi và đồng nghiệp (2020)

Nhiệt luyện (Pyrometallurgy)

Nhiệt luyện là quy trình xử lý nhiệt ắc quy ở nhiệt độ cao trong lò để chiết xuất kim loại và các hợp chất trung gian, những chất này có thể được xử lý thêm để tạo ra các tiền thân cấp độ ắc quy. Nguyên liệu cho nhà máy nhiệt luyện có thể là toàn bộ ắc quy hoặc khối đen. Đầu ra có thể là hợp kim kim loại và các sản phẩm phụ khác như xỉ. Những hợp kim này sau đó được tinh chế thêm để tạo ra các hóa chất đầu vào cực âm của ắc quy Li-ion. Nhiệt luyện tiêu tốn rất nhiều năng lượng và các nhà máy cần có vốn đầu tư lớn.

Như bất kỳ quá trình nung chảy nào, cần loại bỏ tạp chất trong hợp kim nóng chảy ở trong lò. Việc này được thực hiện bằng cách bổ sung thêm các khoáng chất nổi lên bên trên cùng của hợp kim nóng chảy. Lớp này được gọi là xỉ hoặc cặn. Rất không may, loại cặn này cũng giữ luôn cả các hợp chất lithium nhẹ hơn (về mật độ). Sau đó, cặn được rót ra và được tách ra khỏi hợp kim đã nấu chảy. Kết quả cuối

⁶ *Black mass: khối đen, gồm một lượng lớn kim loại lithium, mangan, coban và niken*

cùng là lithium thu được thường bị lẫn trong đồng xỉ trừ khi được thu hồi trong quy trình thủy luyện kim bô sung. Xi cặn có thể được cho thêm vào bê tông để làm cho nó cứng hơn cho các ứng dụng thương mại. Mặc dù về mặt kỹ thuật có thể tinh chế xỉ thêm nữa để thu hồi các hợp chất lithium, nhưng cách này lại không khả thi về mặt kinh tế. Umicore, nhà sản xuất vật liệu cực âm (cathode) lớn từ quặng và ắc quy tái chế, công bố, họ có thể thu hồi lithium trong quy trình mới kết hợp thủy luyện. Natri sunfat có giá trị thấp là sản phẩm phụ của quá trình xử lý thủy luyện.

Thủy luyện (Hydrometallurgy)

Quy trình thủy luyện (luyện kim bằng nước) sử dụng phương pháp xử lý hóa chất để chiết xuất các hợp chất chính ở khối đen, bao gồm cả hợp chất lithium. Quy trình này sử dụng các dung dịch ăn mòn như axit vô cơ, axit hữu cơ, kiềm hoặc thậm chí là các dung dịch vi khuẩn để hòa tan kim loại ở cực âm thành muối có thể được sử dụng làm tiền chất để tạo ra cực âm mới. Quy trình này bao gồm một loạt các phương pháp hóa học như kết tủa, chiết dung môi và lắng đọng điện phân để tạo ra các hợp chất theo mong muốn. Quy trình này có tốc độ thu hồi hợp chất kim loại cao, bao gồm cả các hợp chất lithium. Các nhà máy thủy luyện sử dụng ít năng lượng hơn nhiều so với nhà máy nhiệt luyện. Ngoài ra, quy mô nhà máy cũng có thể nhỏ hơn quy mô của nhà máy nhiệt luyện rất nhiều, do đó cần ít vốn đầu tư hơn, có thể dễ được cấp phép về môi trường hơn và cho phép trì hoãn việc bị thu tóm. Các quy trình thủy luyện hiện nay được coi là phương pháp thích hợp để tái chế ắc quy Li-ion. Hiện đã có các máy thương mại và một số công ty khởi nghiệp đang xây dựng nhà máy ở Mỹ và Canada dựa trên phương pháp thủy luyện.

Tái chế trực tiếp

Tái chế trực tiếp liên quan đến việc thu hồi cực âm trong khi vẫn duy trì cấu trúc phân tử của nó, thay vì phá vỡ nó thành các kim loại cấu thành để tái xử lý thành cực âm của ắc quy. Loại bỏ các bước này khiến cho tái chế trở nên có tính khả thi về mặt kinh tế nhất. Trong tái chế trực tiếp, nguyên liệu khối đen (từ hoạt động băm nhỏ và tách rời) cần phải được tinh chế hơn. Một số tạp chất được loại bỏ trong quá trình băm nhỏ, chẳng hạn như keo dính và nhựa trong khối đen. Những thứ này không có giá trị và việc chờ theo chúng chỉ khiến cho chất thải đi sâu hơn vào chuỗi sản xuất, thêm gánh nặng chi phí vận chuyển trọng lượng và khối lượng không cần thiết trong một xe tải hoặc container. Quy trình tái chế trực tiếp bao gồm:

- Loại bỏ keo dính.
- Tách cực âm khỏi cực dương và các thành phần khác.

- Tách các cực âm khác nhau ra theo công thức ban đầu của chúng.
- Làm mới cực âm bằng kỹ thuật “relithiation”⁷ (cực âm cũ có thể bị mất lithium).
- Loại bỏ tạp chất.
- Nâng cấp khả năng tái chế để sản xuất vật liệu cực âm mới có thể cạnh tranh với các cực âm mới.

Ví dụ: nếu một bộ ắc quy Li-ion chủ yếu được làm từ oxit mangan coban niken với cực âm có tỷ lệ các chất tương đương nhau (NMC111), thì các quy trình tái chế trực tiếp sẽ cho ra cùng công thức NMC111, hợp chất này cần được tái nạp lithium, loại bỏ tạp chất và sau đó được nâng cấp tái chế lên thành một cực âm mới chẳng hạn như có hàm lượng niken cao hơn còn coban thấp hơn. Tái chế trực tiếp vẫn đang trong giai đoạn R&D, nhưng các phân tích chỉ ra rằng phương pháp này có thể ưu việt về mặt kinh tế và môi trường hơn nhiều so với thủy luyện. Các nhà máy thí điểm cần chứng minh công nghệ này có thể được triển khai một cách kinh tế ở quy mô thương mại. Như đã nêu ở phần trên, ắc quy Li-ion được tạo thành từ nhiều hóa chất với các công thức cải tiến được cập nhật thường xuyên và còn sẽ được tiếp tục cải tiến trong tương lai, do đó những biến động ở thành phần hóa chất này có thể gây ra những thách thức về mặt kỹ thuật và kinh tế ở các quy trình tái chế trực tiếp.

2.3. Khó khăn, thách thức trong việc tháo rời và tái chế ắc quy

Giá trị hay chi phí?

Trong năm loại ắc quy xe điện Li-ion hàng đầu trên thị trường (không bao gồm NiMH, là loại chủ yếu được sử dụng trong xe điện hybrid), chỉ có hai loại ắc quy hiện đang tạo ra doanh thu thuần sau khi trừ chi phí logistic và tái chế. Bảng 3 liệt kê năm loại hỗn hợp hợp chất cực âm chính và chỉ ra giá trị dương hoặc âm dựa trên hầu hết các thị trường tái chế ngày nay.

Khi cơ sở hạ tầng tái chế ắc quy tăng lên trên toàn cầu và nhu cầu về các khoáng sản ắc quy xe điện tiếp tục tăng cao, các chuyên gia dự đoán đối với hầu hết các hóa chất, giá trị khoáng sản thu hồi được sẽ sớm vượt quá chi phí logistic và chế biến, cho phép các nhà tái chế trả tiền để mua ắc quy đã qua sử dụng. Giá trị dương này có thể có tác động sâu rộng tới việc khuyến khích tái chế và ngăn cản những tình huống nguy hiểm ví dụ như tồn dư tích trữ.

⁷ Kỹ thuật “Tái nạp lithium”

Bảng 3. Giá trị tái chế của các hóa chất ắc quy Li-ion chính hiện tại

	Định giá giá trị dương tiềm năng
Từ viết tắt Cực âm	Tên cực âm và Công thức chung
LCO	Ôxit coban mangan niken lithium (LiCO_2 hoặc LCO)
NMC ($\text{N}_x\text{M}_y\text{C}_z$)	Ôxit coban mangan niken lithium ($\text{LiN}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$)
NCA	Ôxit nhôm coban niken lithium (LiNiCoAlO_2)
Định giá giá trị âm	
Từ viết tắt	Tên và Công thức chung
LFP (cực âm)	Phốt phát sắt lithium (LiFePO_4)
LTO (cực dương)	Lithium titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Nguồn: Harper và đồng nghiệp (2019)

Chi phí vận chuyển

Khoảng từ 50% trở lên chi phí tái chế bất kỳ loại ắc quy Li-ion là chi phí vận chuyển, vì nhiều lý do:

- Kích thước và trọng lượng của ắc quy xe điện
- Ắc quy xe điện có thể cồng kềnh và khó đóng gói theo cách tận dụng tối đa sức chứa của xe tải, làm tăng chi phí vận chuyển.
- Thể tích thấp
- Tỷ lệ vận chuyển cao hơn từ các lô vận chuyển hàng lẻ, chưa đầy xe tải (LTL)
- Yêu cầu đóng gói và bốc xếp đặc biệt đối với ắc quy bị hỏng, bị lỗi hoặc bị thu hồi.
 - Các quy định về đóng gói của Bộ Giao thông Vận tải Mỹ đối với ắc quy bị hư hỏng, bị lỗi hoặc bị thu hồi sẽ làm tăng thể tích kích thước của từng loại ắc quy này trong xe tải, làm giảm hơn nữa số lượng ắc quy mà xe tải có thể chứa.
- Có rất ít cơ sở tái chế có nghĩa là phải vận chuyển ắc quy đi một quãng đường dài để tái chế

Kể từ tháng 10 năm 2019, chi phí vận chuyển tăng lên đều đều, tiếp sau đó là tăng vọt vào năm 2021 do ảnh hưởng của đại dịch COVID-19 lên chuỗi cung ứng toàn cầu. Thiếu hụt cả tài xế xe tải chuyên nghiệp lẫn container vận tải liên hợp, cùng với những gián đoạn khác, đã gây sức ép lên mạng lưới giao thông. Do đó, chi phí vận chuyển tái chế ắc quy đã tăng lên rất nhiều, làm giảm tỷ suất lợi nhuận ròng tiềm năng.

Đáp ứng các yêu cầu quy định trong quy trình Logistics ngược ắc quy

Theo yêu cầu của luật pháp Mỹ và quốc tế, việc vận chuyển vật liệu nguy hiểm (dán nhãn “hazmat”) đòi hỏi người gửi hàng, người vận chuyển và người nhận phải được đào tạo và được cấp chứng nhận để cung cấp dịch vụ, vận chuyển, nhận và ký vận đơn (chứng từ vận chuyển) một cách hợp pháp khi vận chuyển ắc quy xe điện và các ắc quy Li-ion khác.

Khi ô tô hết tuổi thọ sử dụng, ắc quy xe điện được tách ra và vận chuyển thông qua hình thức vận chuyển chưa đầy xe tải (LTL) hoặc vận chuyển đầy xe tải (FTL), thì chi phí có thể khá khác nhau. Để tránh vận chuyển nhiều lần, quan trọng là cần chẩn đoán hiện trạng của ắc quy và vận chuyển chúng đến nhà tân trang, nhà phát triển vòng đời thứ cấp, hoặc máy xử lý đủ tiêu chuẩn gần nhất và nếu có thể, vận chuyển bằng hình thức FTL. Việc tập hợp các lô hàng LTL vào một nhà kho rồi vận chuyển lại đến một máy xử lý sẽ làm tăng thêm chi phí không cần thiết và lượng khí thải carbon. Sử dụng cùng một hãng vận chuyển, phương pháp "gộp trong quá trình vận chuyển" có thể tập hợp các chuyến nhật hàng LTL phân tán về mặt địa lý được thiết kế đến cùng một địa chỉ và thời gian để chúng được tập hợp tại nhà ga địa phương gần nhất với hãng vận chuyển và được vận chuyển dưới dạng một khối lượng LTL hoặc lô hàng FTL duy nhất. Gộp trong quá trình vận chuyển có thể áp dụng với FTL hoặc các container được định hướng và phối hợp để vận chuyển bằng đường sắt hoặc đường biển.

Các quy định của chính phủ Mỹ cho phép ắc quy NiMH và ắc quy lithium có vách bao kín bên ngoài cứng được vận chuyển dưới dạng hàng nguy hiểm (hazmat) khi được buộc chặt vào pallet. Tuy nhiên, nếu lớp vỏ ngoài của ắc quy Li-ion không cứng hoặc bị vỡ thì phải sử dụng container vận chuyển. Công suất watt-giờ và tình trạng lành lặn (tức là tình trạng bị hư hỏng, bị lỗi hoặc bị thu hồi) sẽ xác định loại yêu cầu vận chuyển và đóng gói hàng hóa nguy hiểm. Chi phí vận chuyển FTL có thể giao động từ vài trăm đô la cho việc sử dụng một lần trong container không được Liên hợp quốc xếp hạng (ví dụ trên pallet) cho đến hàng nghìn đô la cho vật liệu đóng gói hàng nguy hiểm được Liên hợp quốc xếp hạng cần để vận chuyển ắc quy Li-ion bị hỏng, bị lỗi hoặc bị thu hồi. Tái sử dụng nhiều lần bao bì đóng gói hàng nguy hiểm còn nguyên vẹn sẽ giúp tiết kiệm chi phí đóng gói rất nhiều, ngay cả khi tính đến chi phí vận chuyển hàng trả lại.

Giảm chi phí và tác động vận chuyển

Đường sắt so với đường cao tốc

Sử dụng đường sắt để vận chuyển đường dài có thể giảm chi phí. Mặc dù thời

gian giao hàng bằng đường sắt có thể lâu hơn một chút nhưng chi phí vận chuyển hàng bằng đường sắt đa phương thức ở Mỹ vào năm 2021 thấp hơn khoảng 30% so với chi phí vận chuyển cùng chuyến hàng bằng xe tải. Ví dụ, với quãng đường vận chuyển từ Los Angeles, California, đến Syracuse, New York, nếu sử dụng đường sắt sẽ góp phần ngăn không tạo ra khoảng 4.410 pound khí thải nhà kính so với việc vận chuyển bằng xe tải trong chuyến đi dài 2.768 dặm này, tương đương với 1,6 pound carbon dioxide mỗi dặm.

Mô hình “trục và nan hoa”

Vật liệu cực âm trong ắc quy xe điện mà các nhà tái chế đặc biệt quan tâm là một thành phần của các ô ngăn cell tạo nên các mô-đun chiếm phần lớn khối lượng đóng gói ắc quy xe điện. Do đó, việc phân rã một bộ ắc quy “gần nhà” nơi có rất nhiều thị trường cho các vật liệu phi cực âm và sau đó chỉ phải vận chuyển các mô-đun hoặc các cell để phục hồi cực âm sẽ hiệu quả về khía cạnh kinh tế.

Một cách mà thị trường đang giải quyết vấn đề này là sự xuất hiện và phát triển của các doanh nghiệp tái chế sơ cấp chuyên tháo rời các bình ắc quy và vận chuyển nguyên liệu xuống hạ nguồn để tới bước phục hồi cuối cùng. Tùy thuộc vào thiết kế của ắc quy, những doanh nghiệp này thường vận chuyển toàn bộ mô-đun có chứa các cell hoặc, nếu có thể, tháo ra và đóng gói các cell để vận chuyển tới công đoạn xử lý sâu hơn.

Ngoài ra, một số công ty tái chế ắc quy lớn hơn đã áp dụng mô hình “hub-and-spoke”⁸ (trục và nan hoa) trong đó các cơ sở xử lý ban đầu được đặt ở vị trí chiến lược để giảm chi phí vận chuyển. Những cơ sở này đôi khi bao gồm các hoạt động băm nhỏ để nghiền và tách các vật liệu mô-đun và cell để tạo ra bột khô đen, chứa vật liệu cực âm. Sau đó, vật liệu làm cực âm được chuyển đến các hoạt động phục hồi cực âm cuối cùng, để sản xuất ra các khoáng chất cấp độ ắc quy.

Hiện tại, khi mà chúng ta vẫn đang trong những giai đoạn đầu của quá trình chuyển đổi sang điện khí hóa giao thông vận tải, kỹ thuật xe điện tập trung chủ yếu vào đạt được mức hiệu suất ắc quy tốt nhất với chi phí thấp nhất. Một biện pháp cắt giảm chi phí là sử dụng các bộ phận không thể bảo trì được trong một bình ắc quy xe điện, dẫn đến việc tháo dỡ tốn kém khi hết vòng đời đầu tiên. Tuy nhiên, ngày càng có nhiều nhà OEM thiết kế các bình ắc quy xe điện có tính tới khả năng bảo trì. Các điều khoản thiết kế tương tự tạo điều kiện cho khả năng bảo trì cũng thuận

⁸ Mô hình “trục và nan hoa”, có điểm trung tâm, hay trục chính “hub” và các nan hoa “spoke” phát ra để kết nối hub với các điểm vệ tinh.

lợi làm giảm chi phí tái sử dụng và tái chế. Hộp 1 và Bảng 4, 5 cung cấp cái nhìn tổng quan về những thách thức khi tháo rời ắc quy xe điện để tái chế.

Những hạn chế trong khâu tháo rời

Tốc độ phát triển nhanh chóng của xe điện và các quy định sắp được ban hành có thể sẽ rất nhanh buộc các kỹ sư xe điện có cái nhìn rộng hơn về thiết kế có tính tuần hoàn. Những ý kiến ủng hộ việc ắc quy xe điện có thể được bảo trì/có thể tái sử dụng cũng trở nên thuyết phục hơn khi các cell trở nên an toàn, rẻ và hiệu quả hơn. Các nhà sản xuất ô tô và nhà cung ứng đang sử dụng hoặc phát triển các cách thức để giải quyết những vấn đề này. Một ví dụ là việc sử dụng keo dính và tem niêm phong tiện dụng mà trong một số trường hợp có thể được tái sử dụng. Khai thác chi phí liên quan đến các quyết định thiết kế và đóng gói ở mọi cấp độ sẽ giúp đẩy nhanh quá trình chuyển đổi này.

Vật liệu nhiệt

Sự an toàn và ổn định của các cell ắc quy phụ thuộc vào việc duy trì nhiệt độ bên trong trong giới hạn cụ thể. Nếu nhiệt độ vượt quá mức tới hạn ở một trong hai đầu, thì hiện tượng thoát nhiệt có thể xảy ra, phá hủy ắc quy hoặc thậm chí tệ hơn là gây cháy nổ.

Tỏa nhiệt là một phản ứng dây chuyền trong một cell ắc quy và rất khó để dừng lại một khi nó bắt đầu diễn ra. Nó xảy ra khi nhiệt độ bên trong ắc quy đạt đến điểm gây ra phản ứng hóa học bên trong ắc quy. Phản ứng hóa học này thậm chí còn sản sinh ra nhiều nhiệt hơn, khiến nhiệt độ tăng cao hơn, gây ra các phản ứng hóa học tiếp theo tạo ra thêm nhiều nhiệt. Ở hiện tượng tỏa nhiệt, nhiệt độ của ắc quy tăng cực kỳ nhanh (tính bằng mili giây) còn năng lượng tích trữ trong ắc quy được giải phóng đột ngột. Phản ứng dây chuyền này tạo ra nhiệt độ cực cao (khoảng 400°C). Những mức nhiệt này có thể gây ra hiện tượng thoát khí trong ắc quy và tạo ra ngọn lửa nóng đến mức gần như không thể dập tắt được.

Một số yếu tố có thể dẫn đến hiện tượng tỏa nhiệt, gồm các lỗi bên trong có thể gây ra đoản mạch, tác động hoặc thủng từ bên ngoài và thậm chí là sạc quá mức. Mặc dù ắc quy được thiết kế để giảm thiểu những sự cố này nhưng vẫn phụ thuộc nhiều vào vật liệu cách điện để ngăn chặn sự tỏa nhiệt (hay là quá nóng) và giúp ngăn chặn chúng nếu chúng xảy ra. Trong quy trình kỹ thuật, bảo vệ các bộ phận có điện áp cao là điều tối quan trọng (ví dụ: các cell được tách thành các mô-đun).

Cho mãi tới gần đây, các nhà sản xuất cell, nhà tích hợp gói và nhà sản xuất xe điện chỉ tập trung vào giảm giá thành ắc quy, tăng năng lượng và kéo dài tuổi thọ ắc

quy đồng thời đáp ứng các yêu cầu về an toàn. Vì vậy, thiết kế để tái chế và sử dụng thứ cấp không phải là ưu tiên hàng đầu. Hiện giờ, giá thành của ắc quy giảm đi còn hiệu suất được cải thiện lên nhiều nên việc tái chế và tái sử dụng cũng được chú ý nhiều hơn. Sự quan tâm này đã tăng mạnh trong năm qua, đặc biệt là do các vấn đề gần đây về chuỗi cung ứng và chính sách của chính phủ về sản xuất ắc quy và vật liệu ắc quy trong nước. Với ưu tiên cao nhất là mức độ an toàn, chuyển từ vật liệu nhiệt truyền thống sang các vật liệu thay thế dễ tháo lắp và tái chế hơn có thể là một quá trình chuyển đổi tương đối khó khăn. Tuy nhiên, tốc độ phát triển và áp dụng các hóa chất an toàn hơn, ít xảy ra cháy hơn có thể giúp đẩy nhanh quá trình chuyển đổi này. Các quy định về khả năng bảo trì hoặc tái sử dụng tối thiểu cũng sẽ góp phần đưa quá trình chuyển đổi này thành một trong những thuộc tính quan trọng mà các kỹ sư phải xem xét.

Các công nghệ mô phỏng tiên tiến cũng mang lại một cách tiết kiệm chi phí để các kỹ sư ắc quy thử nghiệm các vật liệu và thiết kế khác nhau có thể có tác động tích cực đến khả năng tái chế.

Tổng quan về những thách thức tháo rời ắc quy EVB⁹ để tái chế

Hộp 1. Những thách thức tháo rời ắc quy để tái chế

Các OEM phát triển các bộ ắc quy theo yêu cầu của bạn hàng, khác với các bộ ắc quy của các OEM khác. Sự không đồng nhất trong thiết kế của bộ ắc quy là một thách thức khi tháo rời các bộ ắc quy để tái chế.

Thiết kế điện khác nhau

Thiết kế cơ học khác nhau

Không xác định được trạng thái sạc của ắc quy hoặc mô-đun. Ắc quy phải được đoản mạch trước khi tháo rời

Đầu ốc vít bị cắt cụt hoặc bị biến dạng có thể khiến khó mở

Bộ ắc quy của xe bị hỏng do va chạm có thể bị biến dạng

Khó tháo bộ dây dẫn điện do mạch điện phức tạp

Vẫn còn nguồn điện cao thế cho đến khi tháo bỏ các liên kết mô-đun/bó dây điện

Thiếu dữ liệu/thông số kỹ thuật về tình trạng mô-đun ở nhiều loại ắc quy xe điện

Thiếu dán nhãn và dấu hiệu nhận biết

Nguy cơ hỏa hoạn tiềm ẩn

Có thể giải phóng các loại khí độc hại như hydro florua, carbon monoxide, v.v

Khó tách sạch các cực âm và cực dương để tái chế trực tiếp

Chất hàn kín và keo dính được sử dụng để sản xuất mô-đun có thể gây khó khăn cho việc tháo dỡ.

⁹ Ắc quy xe điện

<p>Các hợp chất có khả năng phản ứng cao được hình thành từ điện phân</p> <p>Khả năng đoản mạch ắc quy hoặc cell trong quá trình tháo gỡ</p> <p>Các hóa chất không phải lúc nào cũng được nhận biết hoặc có thể là độc quyền</p> <p>Các cell hình trụ có thêm thách thức (tháo các tấm xoắn ốc của cực âm, cực dương và dải phân cách)</p> <p>Có thể khó mở ốc vít và giá đỡ bị rỉ sét</p> <p>Kết nối điện bằng hàn ghép nối hoặc hàn laser</p> <p>Khung xe có thể bị biến dạng trong quá trình sử dụng</p> <p>Trọng lượng ắc quy nặng</p> <p>Thao tác với các giắc cắm (đặc biệt là chỗ lắp các tab khóa)</p> <p>Vật liệu dạng bột rất mịn gây rủi ro cho nhân viên ở gần (hạt nano)</p>

Bảng 4. Danh sách các bộ phận được thu hồi từ ắc quy trong quá trình tái chế

Các mô-đun	Các cell (50 -60% tổng khối lượng ắc quy)
Các thanh đồng cái (busbar) điện áp cao	Hệ thống quản lý ắc quy(BMS)
Linh kiện điện tử (như BMS và các bộ phận khác)	Dây dẫn điện cao thế và hạ thế
Vỏ hộp ắc quy	Vỏ cell
Đầu nối	Công tắc
Các thành phần khác	

Bảng 5. Sử dụng kỹ thuật thủy luyện hoặc nhiệt luyện, có thể thu hồi được những kim loại sau (tùy thuộc vào quy trình tái chế và thành phần hóa chất của cell) (lượng nguyên liệu thô có thể thu hồi theo EU được đề cập cho từng nguyên tố)

Liti	Lên tới 35%
Coban	Lên đến 90%
Niken	Lên tới 90%
Than chì	---
Mangan	Lên tới 90%
Nhôm	Lên tới 90%

Nguồn: Kapil Baidya, Tata Motors.

Nhựa và vật liệu composite

Một thách thức tái chế ắc quy nữa liên quan đến nhựa và vật liệu composite. Các hỗn hợp Polycarbonate rất phù hợp để sản xuất mô-đun, bộ phận vỏ, giá đỡ cell và bộ giảm xóc cho ắc quy ô tô điện. Chúng nhẹ nhưng rắn chắc và ổn định về kích

thước, tùy theo yêu cầu chúng còn được phủ chất chống cháy.



Hình 2. Tháo dỡ bộ ắc quy - Vật liệu nhựa nhiệt

Mặc dù những loại nhựa nhiệt dẻo này có thể góp phần giảm trọng lượng ắc quy và có khả năng chống nhiệt, nhưng trừ khi được lựa chọn cẩn thận, những vật liệu này thường khó hoặc không mang tính thực tế để tái chế thành vật liệu ban đầu (xem Hình 2). Một lần nữa, các bài tập mô phỏng có thể giúp đẩy nhanh quá trình chuyển đổi sang các vật liệu thân thiện với môi trường hơn. Nhựa nhiệt dẻo có thể gây trở ngại cho việc sửa chữa bộ ắc quy và

tái sử dụng cell trong các ứng dụng thứ cấp, cũng như cản trở khả năng tái chế chúng trở lại công thức ban đầu. Tuy nhiên, mật độ của những vật liệu này thấp dự kiến sẽ không ảnh hưởng đến việc tái chế và thu hồi các kim loại được sử dụng trong ắc quy Li-ion và thực sự hữu ích cho việc tách khỏi các thành phần khác sau các quy trình băm nhỏ cơ học.

Dung môi và dung dịch tháo dỡ mới

Tất nhiên, khó khăn cũng thúc đẩy sự đổi mới sáng tạo. Một ví dụ là phương pháp tẩy hóa chất¹⁰ cho phép tháo rời không cần dùng sức các cell ắc quy một cách thụ động khỏi các mô-đun và các hộp được gắn với nhau bằng keo dính. Những vật liệu cải tiến này làm phồng các keo dính (urethane, acrylic, silicone và epoxies) cho đến khi sức ép bên trong polime nền vượt quá lực liên kết của nó với cell, khiến keo dính, lớp phủ và băng dính rời ra khỏi thành cell và tẩy làm mát vì thế mà các cell có thể được thu hồi một cách thụ động. Vật liệu rắn còn sót lại sau đó có thể được lọc và loại bỏ. Giải pháp tái chế lọc có thể được tái sử dụng nhiều lần để tiếp tục tái chế các cell. Những quy trình như thế này không chỉ tối ưu hóa việc tháo gỡ mà còn giảm chi phí xử lý chất thải nguy hại bằng các quy trình tuần hoàn.

Ủy ban châu Âu và các cơ quan lập pháp trên toàn cầu đang đề xuất và ban hành luật nhằm thúc đẩy việc tái sử dụng và tái chế ắc quy xe điện để bảo vệ môi trường và bảo đảm nguồn cung lâu dài khoáng chất và vật liệu ắc quy. Nhiều quy định trong số này quy định trách nhiệm về chi phí tái chế cho các nhà sản xuất xe.

¹⁰ Bath chemistry

Để giảm những chi phí này, các nhà chế tạo thiết bị gốc (OEM) xe điện sẽ hợp tác chặt chẽ hơn với các nhà cung ứng ắc quy về các thiết kế giúp giảm chi phí tháo rời và tái chế cũng như thu hồi nhiều vật liệu hơn. Quy định về Ắc quy do Ủy ban châu Âu đề xuất cũng bao gồm các yêu cầu công bố mức hàm lượng tái chế trong ắc quy tới năm 2025 và tăng mức yêu cầu này lên tới năm 2030 và tăng tiếp vào năm 2035. Những loại hình ưu tiên này sẽ giảm chi phí tái chế đồng thời tăng mức thu hồi vật liệu.

2.4. Các mô hình quản lý vòng đời ắc quy khác

Dịch vụ ắc quy

“Dịch vụ ắc quy” là mô hình kinh doanh trong đó người tiêu dùng có thể mua dịch vụ ắc quy hằng tháng từ nhà OEM xe điện hoặc công ty sở hữu ắc quy thay vì mua ắc quy kèm theo ô tô. Ưu điểm của mô hình kinh doanh này là bằng cách loại trừ chi phí ắc quy khỏi tổng giá thành của xe điện, chi phí trả trước của xe sẽ được giảm xuống, giúp giảm gánh nặng tài chính cho người tiêu dùng và có thể tạo ra nhiều doanh số bán xe điện hơn. Điều này cũng giúp người tiêu dùng thoát khỏi nỗi lo ắc quy bị chai nhanh chóng. Nhà OEM hoặc công ty sở hữu ắc quy sẽ giải quyết các vấn đề quản lý giá trị như bảo trì, cứu hộ và nguy cơ lỗi thời. Bằng cách duy trì quyền sở hữu, nhà OEM xe điện vừa có cơ hội tái sử dụng ắc quy cho lần sử dụng thứ cấp và bảo đảm tái chế có trách nhiệm, giảm thiểu rủi ro. Hiện tại, Renault và Nio là hai trong số rất ít OEM cung cấp tùy chọn này cho một số mẫu xe nhất định.

Cho thuê ắc quy

Ở mô hình cho thuê ắc quy, người tiêu dùng sẽ không có quyền sở hữu ắc quy lần không phải trả tiền mua trước. Họ sẽ có quyền sử dụng độc quyền ắc quy trong một thời gian nhất định và sẽ phải trả tiền cố định hằng tháng, còn chính chiếc xe có thể được mua hoặc được thuê, làm giảm chi phí mua trả trước. Mô hình kinh doanh này chuyển một phần rủi ro từ người tiêu dùng sang OEM và giảm bớt những bất ổn về giá trị còn lại của chiếc xe. OEM sẽ cung cấp dịch vụ thay ắc quy khi được yêu cầu. Khi công nghệ ắc quy tiên bộ hơn, khách hàng sẽ có thể đổi bộ ắc quy cũ bằng bộ ắc quy mới hơn và được cải tiến hơn. Theo mô hình kinh doanh này, các OEM sẽ có cơ hội bán lại ắc quy cũ hơn cho thị trường lưu trữ cố định để sử dụng thứ cấp. Theo Viện McKinsey, các OEM có thể tăng thêm hơn 1.000 USD doanh thu cho mỗi chiếc xe nhờ chương trình cho thuê ắc quy thành công trong thời hạn thuê giả định là 5 năm.

Một thách thức mà mô hình này là khi người tiêu dùng quyết định bán chiếc

xe điện đã qua sử dụng của họ. Vì họ không sở hữu ắc quy nên họ phải giải quyết vấn đề này với OEM. Do vậy, một số OEM sử dụng mô hình này để giảm giá mua xe đã ngừng cung cấp dịch vụ này. Tuy nhiên, việc này làm phát sinh những vấn đề mới cho OEM: không giữ quyền sở hữu ắc quy gây cản trở khả năng quản lý hoàn toàn phần còn lại vòng đời ắc quy, làm giảm bớt cơ hội sử dụng thứ cấp và khả năng xác thực việc tái chế khi ắc quy hết tuổi thọ.

Phí xử lý môi trường

Mô hình này đặt trách nhiệm tái chế ắc quy lên người sử dụng xe bằng cách tính phí cho họ tại thời điểm mua (khi xe còn mới). Số tiền trả cho tái chế do một tổ chức bên thứ ba nắm giữ và được sử dụng để thanh toán cho việc tái chế ắc quy vào thời gian và địa điểm ắc quy được đưa ra khỏi thị trường. Mô hình này xem xét doanh thu có được từ ắc quy ở xe ô tô hết tuổi thọ được bán lại vào thị trường vòng đời thứ cấp hoặc được tái chế để thu hồi kim loại có giá trị. Mô hình này giúp các OEM không gặp những vấn đề phức tạp, nhưng làm tăng giá xe mới tại thời điểm mua (điều này có thể làm giảm khả năng thâm nhập thị trường).

Mô hình thị trường tự do

Trong mô hình thị trường tự do, kinh tế cung và cầu tự nhiên sẽ định hướng kết quả, cụ thể là ắc quy hết tuổi thọ sẽ đi về đâu và ai sẽ là người cuối cùng trả tiền cho việc tái chế chúng. Mô hình này sẽ định giá những bộ ắc quy của ô tô hết tuổi thọ, có thể được tân trang lại hoặc sử dụng thứ cấp, đồng thời giảm giá trị một chiếc ô tô cũ có ắc quy cần được thay thế, yêu cầu người mua mới phải dự trù ngân sách để trả cho bộ ắc quy mới. Các công ty hoạt động ở cuối chuỗi giá trị - đặc biệt là các công ty tái chế ô tô - sẽ bị phạt trong mô hình này vì họ sẽ chứa chấp ắc quy xe điện cũ và phải đối mặt với chi phí tái chế. Việc này sẽ làm giảm giá trị mà họ có thể trả cho một chiếc xe trong cuộc đấu giá, đồng thời gây ra vấn đề an toàn với những bộ ắc quy xe điện đã qua sử dụng được tích trữ trong bãi. Mô hình này có người được lợi và người không được lợi rõ ràng.

Mô hình kép: dịch vụ Ắc quy/Cho thuê & phí xử lý môi trường

Cách tiếp cận hai mô hình sẽ hoạt động dựa trên quyết định mua so với dịch vụ/cho thuê của người tiêu dùng. Nếu người tiêu dùng chọn dịch vụ hoặc cho thuê khi họ mua xe (cả hai tùy chọn đều tương đương trong ví dụ này), thì OEM sẽ chịu trách nhiệm thanh toán cho việc quản lý ắc quy khi xe hết tuổi thọ và chi phí này được tính vào dịch vụ/giá thuê. Nếu người mua ô tô chọn mua xe (bằng tiền mặt hoặc tài chính truyền thống/cho thuê), thì họ sẽ phải trả phí xử lý môi trường bao

gồm chi phí quản lý ắc quy khi ô tô hết tuổi thọ. Mô hình này đặt quyền quyết định vào tay người mua mà khiến họ không cảm thấy bị chính phủ áp buộc là lựa chọn duy nhất.

Xe điện và ắc quy cấp năng lượng cho chúng là chìa khóa để điện khí hóa giao thông vận tải và giảm tác động của biến đổi khí hậu. Các nhà sản xuất và những chủ thể liên quan khác đều nhận thức được những thách thức trong chuỗi cung ứng đối với khoáng chất của ắc quy cũng như tầm quan trọng của việc đổi mới thiết kế ắc quy và các công nghệ phục hồi để có thể làm giảm chi phí tạo điều kiện thuận lợi cho quy trình tái chế.

Tuy nhiên, thời gian là điều cốt yếu vì các cơ quan quản lý trên toàn cầu đang đề xuất và thực hiện các quy định có tác động sâu rộng đến các nhà sản xuất xe điện. Thu hút sự tham gia của các chủ thể liên quan ngay lúc này và tạo ra các giải pháp kinh tế tuần hoàn có lợi nhuận sẽ giúp giảm bớt những tác động này và có thể ngăn chặn một số điều khoản gây bất lợi nhất đang được đề xuất.

III. QUẢN LÝ VÀ CHIA SẺ DỮ LIỆU VỀ ẮC QUY XE ĐIỆN

Phần này sẽ trình bày về các chủ thể trong chuỗi cung ứng và chuỗi giá trị trong vòng đời của ắc quy. Sự tham gia thích hợp của các chủ thể liên quan, các nhà hoạch định chính sách và cơ quan quản lý trong quá trình quản lý vòng đời cũng có thể làm giảm bớt chuỗi cung ứng vật liệu ắc quy Li-ion cho xe điện trong tương lai.

3.1. Các chủ thể trong vòng đời ắc quy xe điện


Bảng 6 xác định các chủ thể chính trong vòng đời của ắc quy xe điện từ khâu sản xuất đến giai đoạn bảo hành, cho đến giai đoạn có thể tái sử dụng và tái chế khi hết vòng đời. Cần lưu ý rằng luồng ắc quy xe điện trong vòng đời của chúng không hề tuyến tính và hình ảnh trong Bảng 6 chủ yếu nhằm xác định tất cả các chủ thể tham gia xử lý ắc quy, không nhất thiết phải theo thứ tự.

Vòng đời bắt đầu với việc lắp ắc quy vào xe và chuyển tới đại lý, sửa chữa, vòng đời thứ cấp và tái chế.

Như được trình bày ở các phần trước, quá trình tái chế thường được tiến hành theo hai giai đoạn, trong đó nhà tái chế sơ cấp tháo dỡ các mô-đun, cell hoặc cực âm rồi chuyển những vật liệu đó sang nhà tái chế thứ cấp, những nhà tái chế này sẽ sử dụng phương pháp tái chế nhiệt luyện, thủy luyện hoặc có thể là tái chế trực tiếp để thu hồi cực âm. Mặc dù Bảng 6 không thể hiện rõ các nhà cung cấp dịch vụ logistic, nhưng họ là các chủ thể chính và có chung những thách thức trong việc bảo

đảm bảo quy đã được nhận diện chính xác và biết rõ tình trạng sức khỏe của chúng để bảo đảm các khâu như đóng gói và dán nhãn tuân thủ các quy định vận chuyển.

Bảng 6. Chủ thể ngành công nghiệp ắc quy xe điện (không bao gồm các cơ quan quản lý hoặc các hiệp hội liên quan)

<p>Rất nhiều nhà vận chuyển khối đen và các loại ắc quy mới, dùng rồi, bị hỏng, vòng đời thứ cấp, v.v..</p> 	Nhà sản xuất cực âm/cực dương
	Nhà sản xuất cell
	Nhà sản xuất bộ ắc quy
	Nhà sản xuất xe điện
	Đại lý bán xe điện hoặc người bán hàng trực tuyến
	Người sở hữu đoàn xe điện
	Nhà đấu giá xe điện
	Nhà cung cấp dịch vụ tân trang/dịch vụ bộ ắc quy được cấp phép
	Nhà cung ứng ắc quy thị trường thứ cấp
	Nhà cung cấp thiết bị tình trạng sức khỏe của ắc quy
	Ga-ra sửa chữa xe điện
	Nhà tái chế xe điện
	Tái sử dụng vòng đời thứ cấp của ắc quy
	Chủ sở hữu/người sử dụng ắc quy hết hạn vòng đời thứ cấp
	Nhà tái chế ắc quy

Các chủ thể trong vòng đời ắc quy xe điện quan tâm tới những dữ liệu nào nhất

Tháng 3 năm 2020, Tổ công tác của Hiệp hội Các nhà cung ứng Ắc quy có trách nhiệm với môi trường (SP) đã tiến hành một cuộc khảo sát với các thành viên của mình để xác định những thách thức và cơ hội đối với việc quản lý ắc quy xe điện. SP là diễn đàn dành cho các nhà sản xuất ô tô toàn cầu và các nhà cung ứng theo cấp độ của họ, cùng nhau hợp tác hướng tới tầm nhìn chung về một ngành công nghiệp ô tô tác động tích cực đến môi trường. Tổ công tác, gồm phần lớn là đại diện của các OEM ô tô cũng như các nhà tái chế và tái sử dụng ắc quy xe điện, đã xác định các thông tin và dữ liệu về ắc quy xe điện mà các thành viên cho biết họ muốn tiếp cận. Bảng 7 xác định kết quả của các dữ liệu và thông tin cần thiết này. Cần lưu ý có tổng cộng 20 người tham gia trả lời khảo sát, 5 trong số đó là các OEM xe điện. Như vậy, kết quả vẫn chưa thể

hiện cái nhìn bao quát của toàn ngành.

Bảng 7. Những dữ liệu được người trả lời khảo sát SP xác định là cần được tiếp cận

1	Nhận dạng bất kỳ cơ sở tái sử dụng theo mục đích khác và/hoặc tái chế ắc quy nào được OEM chỉ định
2	Yêu cầu về vận chuyển (quy định, chẳng hạn như đóng gói, giấy phép và dán nhãn)
3	Xác định các bộ phận để trả lại cho nhà OEM xe hoặc các bên được chỉ định
4	Cần có các công cụ và hướng dẫn tháo gỡ và an toàn chủ đạo
5	Trạng thái sạc điện
6	Tình trạng sức khỏe
7	Điện áp ắc quy mới
8	Hoá chất
9	Ngày sản xuất (hộp, mô-đun, cell)
10	Sơ đồ cấu hình ắc quy
11	Hóa đơn vật liệu ắc quy
12	Số nhận dạng xe (VIN) hoặc các thông số nhận dạng khác
13	Trọng lượng và kích thước.

Nguồn: Suppliers Partnership for the Environment, 2021

Ở khảo sát của SP, những dữ liệu sau được người tham gia khảo sát quan tâm nhất:

1. Hoá chất
2. Cần có các công cụ và hướng dẫn an toàn và tháo gỡ chủ đạo
3. Tình trạng sức khỏe.

Hiệp hội tái chế ô tô và Viện Công nghiệp tái chế phế liệu của Mỹ cũng tham gia tìm hiểu những thông tin mà các nhà tái chế ô tô và các nhà xử lý phế liệu khác khi xử lý ắc quy xe điện muốn biết. Bảng 8 thể hiện thông tin quan trọng nhất đối với các thành viên, với một số kết quả trùng lặp.

Ngoài ra, Hiệp hội Tái chế ô tô cũng hỏi thành viên của mình một câu hỏi tổng quát: Liệu việc tiếp cận thông tin về ắc quy xe điện như kiểu dáng và nhãn hiệu xe, tình trạng, lịch sử, trạng thái sạc, v.v.. trước khi chấp nhận hoặc mua một chiếc xe điện có mang lại lợi ích không? Trong số 30 người trả lời, 83% nói có và chỉ 17% nói không.

Bảng 8. Kết quả khảo sát mẫu từ các thành viên của Viện Công nghiệp Tái chế Phế liệu về Giá trị của thông tin về các thuộc tính EVB liên quan đến việc xử lý

Cấp độ giá trị	Thông tin gỡ bỏ/vận chuyển an toàn	Thông tin thị trường	Điều kiện/Tình trạng sạch	Tuổi	Kiểu dáng/nhãn hiệu xe	Lịch sử vòng đời chi tiết	Hồ sơ hoạt động chi tiết
Không/rất ít	0	5	11	26	47	47	58
Vừa phải	16	26	32	32	16	32	21
Rất cao	84	68	58	42	37	21	21
Xếp hạng	1	2	3	4	5	6	7

Viện Công nghiệp tái chế phế liệu cũng đã hỏi các thành viên tái chế ô tô của mình xem thông tin nào về ắc quy sẽ có giá trị nhất. Kết quả với thứ tự ưu tiên như sau:

1. An toàn lao động
2. Thông tin thị trường
3. Tình trạng/trạng thái sạch/tình trạng sức khỏe

Từ những cuộc khảo sát này, có thể thấy hiện tại, ngoài thị trường tái sử dụng, giá trị (để tái chế) của ắc quy Li-ion (ắc quy xe điện hoặc hybrid) là âm và đó là chi phí mà những nhà tái chế ô tô hoặc phế liệu không chấp nhận. Vì thế, cần có một cuộc đối thoại ngay lập tức với TẤT CẢ các chủ thể liên quan để tìm ra giải pháp hợp lý cho vấn đề đang ngày càng thu hút sự chú ý này với hy vọng không có sự can thiệp/quy định nặng nề của chính phủ. Phần sau của Tổng luận sẽ trình một loạt các công nghệ mới đã xuất hiện và tiếp tục phát triển có thể giúp các chủ thể trong hệ sinh thái ắc quy xe điện tiếp cận và chia sẻ thông tin để quản lý ắc quy tối ưu. Những công nghệ này sẽ được xác định và thảo luận trong tổng luận này.

3.2. Dữ liệu ắc quy xe điện và chia sẻ dữ liệu ắc quy xe điện

Dữ liệu ắc quy xe điện

Rào cản và cơ hội tiếp cận dữ liệu ắc quy

Do mức độ phức tạp và rủi ro liên quan tới dữ liệu, nên các OEM xe điện có quan điểm về việc chia sẻ dữ liệu của ắc quy rất khác nhau. Một số dữ liệu của hệ thống quản lý ắc quy (BMS) được coi là tài sản trí tuệ và do đó là dữ liệu độc quyền. Cũng có những quan ngại cho rằng một số dữ liệu nhất định có thể xâm

phạm quyền riêng tư của người tiêu dùng. Một vài nhà OEM có thể xem xét việc chia sẻ những dữ liệu nhất định có tính phí hoặc với vai trò là một phần trong việc sử dụng bộ ắc quy của họ ở các ứng dụng đòi thứ cấp. Một số OEM tham gia cung cấp ắc quy và dữ liệu liên quan cho các nhà tích hợp và lắp đặt bên thứ ba. Khi số lượng ắc quy vòng đời thứ cấp tăng lên trong những năm tới và tiềm năng thương mại các ứng dụng đòi thứ cấp được cải thiện, thì các OEM khác có thể cân nhắc tham gia vào các ứng dụng vòng đời thứ cấp.

Tiếp cận tình trạng sức khỏe (SOH) và tình trạng sạc (SOC) của Ắc quy khi BMS còn nguyên vẹn

BMS là trung tâm thông tin của ắc quy. Nó kiểm soát và giám sát việc sạc và xả của ắc quy có thể sạc lại trong xe điện, cùng với điện thoại di động, máy tính xách tay và vô số thiết bị tiêu dùng. Nhiệm vụ của BMS là giữ ắc quy an toàn và ở tình trạng tốt.

Trong suốt thời gian hoạt động trên ô tô, BMS truyền dữ liệu quan trọng về ắc quy tới hệ thống chẩn đoán trên xe, hệ thống này sẽ theo dõi và điều chỉnh hiệu suất của xe. Với các công cụ thích hợp, các đại lý và các nhà cung cấp dịch vụ ô tô độc lập có thể tiếp cận thông tin này để cung cấp dịch vụ bảo hành hoặc sửa chữa.

Dữ liệu BMS qua Viễn thông

Dữ liệu về ắc quy (nhiệt độ, dòng điện, điện áp và trạng thái sạc với vai trò là hàm thời gian) cũng có thể được chia sẻ qua viễn thông, về cơ bản là một thiết bị theo dõi được lắp đặt trên xe cho phép truyền và lưu trữ dữ liệu đo từ xa, có thể bao gồm cả vị trí, tốc độ, khả năng tăng tốc, thông tin phanh, v.v.. Tiêu chuẩn GB/T của Trung Quốc yêu cầu các hệ thống viễn thông trên xe phải truyền dữ liệu ắc quy tới hệ thống phân tích dựa trên điện toán đám mây của quốc gia để công bố trên bảng điều khiển khả dụng trong phạm vi công cộng. Việc này sẽ cung cấp cho nhà sản xuất ắc quy những thông tin quan trọng để yêu cầu bảo hành và có thể cũng có giá trị đối với các chủ thể liên quan khác, những người này có thể nâng cao tính an toàn và hiệu quả trong quy trình của họ bằng cách biết về các tính chất hóa học, tình trạng sức khỏe và các thông tin quan trọng khác của ắc quy. Cần lưu ý rằng dữ liệu cũng có thể được phân vùng để chỉ một số dữ liệu nhất định mới có thể được truy cập bởi một số bên được cấp phép nhất định.

Ghi lại tình trạng sức khỏe của ắc quy bên ngoài xe: kiểm tra siêu âm

Một thách thức đối với thị trường ắc quy Li-ion vòng đời thứ cấp là phân loại các cell hoặc mô-đun để hiểu rõ tình trạng tình trạng sức khỏe (SOH) của ắc quy. Việc này nhằm hai mục đích:

1. Nhóm các ắc quy có SOH tương tự thành một chuỗi để ắc quy có thể được sạc và xả ở tốc độ hoặc cấu hình như nhau.

2. Biết được thời lượng sử dụng còn lại của ắc quy để hiểu được giá trị thương mại và những ứng dụng phù hợp (chẳng hạn như tái sử dụng hoặc tái chế).

Kiểu đánh giá này (đo điện áp, dòng điện và nhiệt độ) thường được thực hiện bằng các máy kiểm tra dung lượng¹¹ ắc quy truyền thống sử dụng một quy trình được gọi là đếm coulomb, về cơ bản hoàn thành một đến hai chu kỳ sạc/xả hoàn chỉnh và đo các electron vào và các electron ra để xác định công suất sử dụng của cell hoặc mô-đun. Quy trình này chính xác nhưng cũng rất tốn thời gian và đòi hỏi nhân viên được đào tạo sử dụng thiết bị đắt tiền cấp phòng thí nghiệm. Gần đây, một công nghệ kiểm tra ắc quy nhanh đã được phát triển bằng cách sử dụng kỹ thuật siêu âm, có thể thực hiện đánh giá SOH với kết quả tương tự như thiết bị kiểm tra cấp phòng thí nghiệm chỉ trong vòng vài giây. Những người vận hành không có kỹ thuật cũng có thể sử dụng thiết bị này, làm giảm đáng kể chi phí chuẩn bị ắc quy cho các ứng dụng vòng đời thứ cấp.

Thiết bị kiểm tra siêu âm, sau khi được xác thực thêm và giảm chi phí, có thể giải quyết thách thức lớn cho các công ty sản xuất ắc quy vòng đời thứ cấp nhưng có thể không khả dụng mấy đối với các chủ thể liên quan như gara và nhà tái chế ô tô.

Xác định các phương pháp nắm bắt SOH vòng đời thứ cấp

Hiệp hội Các nhà sản xuất ô tô châu Âu yêu cầu Ủy ban châu Âu xem xét chứng nhận trạng thái của ắc quy xe điện sau vòng đời đầu tiên dựa trên các phương pháp thử nghiệm được chuẩn hóa để đo lường mức hiệu suất thay vì dựa vào quyền truy cập mở vào dữ liệu BMS để đưa ra quyết định về sửa chữa, tái sử dụng, và vòng đời thứ cấp. Tuy nhiên, chuẩn hóa kiểm tra SOH có thể gây khó khăn cho đổi mới sáng tạo trong việc tìm ra các cách thức mới để tạo ra và tính toán dữ liệu SOH. Như vậy, thị trường có thể cần thêm thời gian để trưởng thành ở lĩnh vực này.

Chia sẻ dữ liệu ắc quy xe điện

Internet Vạn vật (IoT) hỗ trợ kiểm tra và theo dõi ắc quy và các bộ phận quan trọng

Để quản lý hiệu quả một tài sản, sản phẩm hoặc vật liệu từ góc độ tuần hoàn, điều quan trọng là phải biết nguồn gốc của nó - nguyên liệu cần thiết để tạo ra đến từ đâu, ai sở hữu, tính chất hóa học và tình trạng của nó cả về tính năng vật lý lẫn

¹¹ Battery cycler

SOH. Việc này đòi hỏi phải truy xuất nguồn gốc nguyên liệu của ắc quy, theo dõi thời gian sử dụng của nó và chia sẻ dữ liệu quan trọng với tất cả những chủ thể liên quan. Công nghệ tối tân hiện tại để thực hiện việc này trước tiên là kích hoạt một đối tượng bằng IoT (ví dụ kết nối ắc quy xe điện và các thành phần chính với Internet) hoặc cấp cho nó một “danh tính kỹ thuật số” cho phép kết nối với một hệ thống quản lý thông tin dựa trên đám mây có khả năng báo cáo các hoạt động đo lường chính dựa trên việc tuân thủ các tuyên bố và hiệu suất hoạt động bền vững.

Nếu đối tượng không có khả năng kết nối (ví dụ: điện thoại di động vốn đã được kết nối), thì bộ nhận dạng kỹ thuật số an toàn và/hoặc cảm biến có thể được tích hợp vào đối tượng để hỗ trợ thu thập và kết nối dữ liệu tự động. Có rất nhiều công nghệ nhận dạng và thu thập dữ liệu tự động (AIDC) tiên tiến có thể được áp dụng một cách an toàn hoặc được nhúng trong một đối tượng, cho phép nó kết nối với đám mây thông qua các phương tiện thụ động. Những công nghệ này bao gồm thẻ nhận dạng tần số vô tuyến (RFID) hoặc thẻ tần số siêu cao (RAIN) sử dụng các tiêu chuẩn khác nhau (được hỗ trợ bằng ắc quy hoặc thụ động) hoặc các giải pháp ID tự động phổ biến khác như thẻ giao tiếp trường gần (NFC), công nghệ đèn hiệu, hoặc thẻ Bluetooth (Một số ắc quy Li-ion 12-V, 100-Ah tiêu dùng được kích hoạt Bluetooth và có ứng dụng Android hoặc iOS để tham vấn BMS). Các đầu nối có hoặc không có khả năng cảm biến và có thể gửi hoặc nhận dữ liệu từ thiết bị, chẳng hạn như thông tin nhiệt độ được cảm biến ghi lại hoặc dữ liệu giao dịch.

Công nghệ RFID hoặc NFC được phát triển tốt, với các tiêu chuẩn quản lý liên quan đến kết nối và cơ sở hạ tầng được triển khai hỗ trợ kết nối. RFID đã được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp ô tô từ việc triển khai các bộ tiếp sóng tần số thấp được sử dụng để truy cập khóa tự động hoặc nhận dạng và quản lý các bộ phận bằng RAIN RFID. Nhận dạng và quản lý các bộ phận bằng RAIN, RFID cũng đang được sử dụng rộng rãi để nhận dạng và quản lý lớp xe.

Trừ khi các thẻ hoặc cảm biến đó kết nối trực tiếp với BMS hoặc hệ thống quản lý phương tiện trên xe, nếu không chúng sẽ cần có kết nối với đám mây. Việc này chỉ được hỗ trợ khi các thẻ này được kết nối thông qua bộ phận cơ sở hạ tầng của chúng, chẳng hạn như một đầu đọc RFID, đọc từ một chiếc điện thoại thông minh hoặc máy tính bảng (trong trường hợp NFC) hoặc theo cách ngang hàng thông qua một thiết bị NFC tương tự, chẳng hạn như một chiếc điện thoại thông minh được biểu thị cho một điện thoại thông minh khác và trao đổi thông tin xác thực hoặc thanh toán hoặc kích hoạt kết nối.

Các công nghệ nhận dạng và thu thập dữ liệu tự động truyền thống và phổ biến như mã vạch, ma trận dữ liệu hoặc mã QR có thể được sử dụng để kích hoạt các cảm biến được kết nối với đám mây. Một số OEM, đặc biệt là các nhà sản xuất ắc quy, đã cài một ID ắc quy liên quan đến sản phẩm hoặc tiêu chuẩn của riêng họ như GS1 và Dịch vụ thông tin mã sản phẩm điện tử (EPCIS), cho phép đọc và áp dụng mở trên toàn chuỗi cung ứng thông qua các thiết bị phổ thông như máy quét mã vạch 2D hoặc điện thoại di động/máy tính. Tuy nhiên, những ID ắc quy này thường được một công ty riêng và các cộng tác viên của công ty đó sử dụng và thường không được cung cấp rộng rãi cho các chủ thể khác.

Các công nghệ IoT mới có thể được tích hợp vào một sản phẩm thay vì gắn lên bề mặt của nó. Chúng bao gồm hình mờ kỹ thuật số, thẻ Bluetooth hoặc đèn hiệu thụ động và chủ động (chạy bằng ắc quy) và mã QR an toàn (hiển thị cả dữ liệu có thể đọc được mở và dữ liệu được mã hóa mà chỉ có thể truy cập được bằng ứng dụng độc quyền và hệ thống quản lý khóa).

Các khía cạnh thu thập thông tin bằng cảm biến khác như nhiệt độ, vị trí, độ ẩm, định hướng, áp suất và độ rung được kết nối với đám mây thông qua các mạch dẫn như Dịch vụ vô tuyến gói tổng hợp, 4G/5G, RFID, Bluetooth công suất thấp hoặc công nghệ đèn hiệu khác hỗ trợ rất nhiều cho việc kết nối các vật thể làm tăng giá trị từ kết nối IoT.

Chia sẻ dữ liệu trong suốt vòng đời của ắc quy

Ắc quy và các bộ phận quan trọng được IoT hỗ trợ là một cách tiếp cận để chia sẻ thông tin về ắc quy với các tác nhân trong suốt vòng đời, những tác nhân này liên quan tới ắc quy vì những mục đích như bảo dưỡng, vòng đời thứ cấp và tái chế. Một số sáng kiến và quy định toàn cầu được nêu ở đây đã xác định blockchain là công nghệ tiên tiến để hỗ trợ chia sẻ dữ liệu an toàn, bất biến trong các hệ sinh thái được cấp phép, nơi những thông tin cập nhật về ắc quy là những nguồn được nắm rõ và đáng tin cậy, đồng thời thông tin được tải lên là hợp lệ.

Blockchain, với vai trò là một nền tảng cho chuỗi cung ứng được kết nối IoT, hỗ trợ kết nối tất cả hoặc các chủ thể được cấp phép trong mạng. Blockchain cho phép thu thập dữ liệu độc lập và phân tán được hỗ trợ bởi các cấu trúc hợp đồng thông minh được mã hóa được kích hoạt bởi các sự kiện giao dịch được xác định trước. Những người tham gia vào mạng hoạt động theo chính sách quản trị dữ liệu đã được thống nhất.

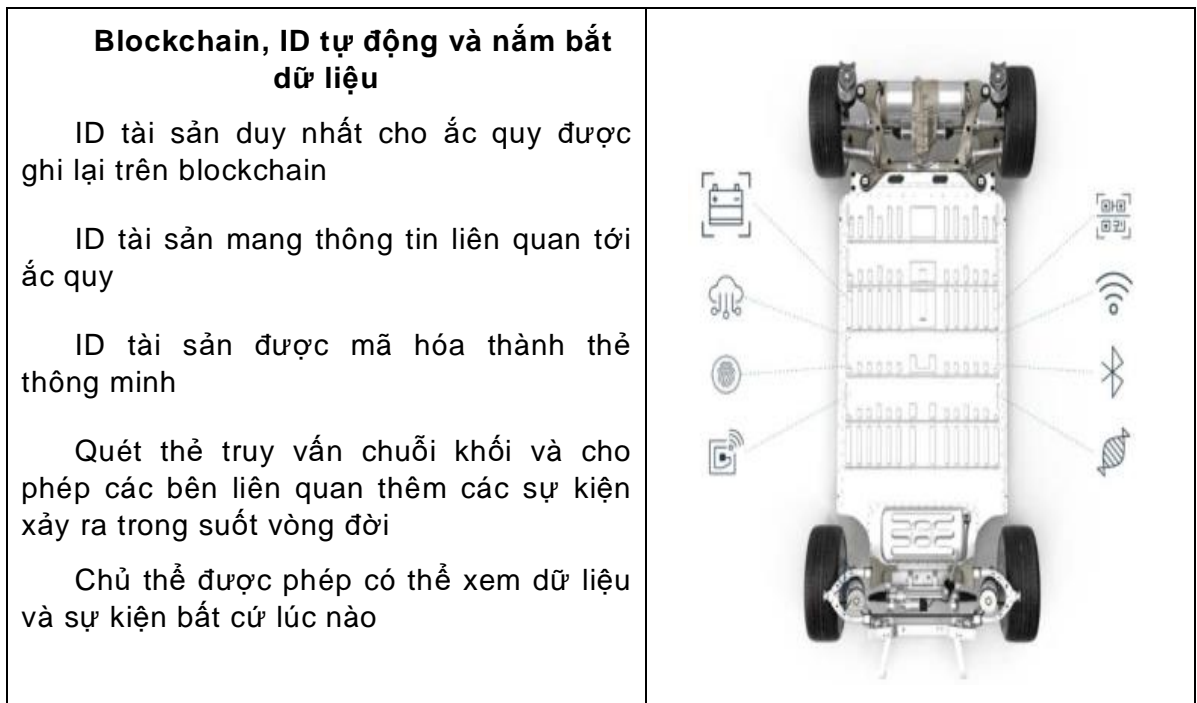
Quan trọng là phải phân biệt các giải pháp blockchain của doanh nghiệp với các giải pháp được sử dụng trong tiền điện tử. Tiền điện tử, như Bitcoin, chạy trên các nền tảng blockchain công khai mà bất kỳ ai có kết nối internet đều có thể truy cập được. Chúng cũng cần công suất tính toán khổng lồ để thực hiện các thuật toán toán học phức tạp, còn được gọi là “đào”. Mặt khác, các blockchain riêng tư lại chỉ đòi hỏi một phần rất nhỏ năng lượng cần cho tiền điện tử. Ví dụ: Hyperledger Fabric Raft, một loại khung blockchain hỗ trợ các giải pháp riêng tư, sử dụng năng lượng cho mỗi giao dịch ít hơn 10 tỷ lần so với của Bitcoin.

Về bản chất, các công nghệ IoT đang hỗ trợ chuỗi hành trình sản phẩm¹² trên toàn hệ sinh thái, làm tăng độ tin cậy và tính minh bạch hơn, đồng thời trong một số trường hợp, cho phép phát hiện hành vi giả mạo hoặc gán cờ vi phạm an ninh trong chuỗi cung ứng.

Ắc quy Li-ion và công nghệ thông tin tiên tiến: Hộ chiếu Ắc quy

Blockchain và IoT hoạt động hiệu quả được thể hiện rõ ràng ở loại tài sản có rủi ro cao/cơ hội cao như ắc quy Li-ion. Những loại ắc quy này không chỉ nguy hiểm khi xử lý mà còn khiến chuỗi cung ứng gặp rủi ro do phụ thuộc quá nhiều vào các mỏ nhỏ và thủ công có thể liên quan đến lao động trẻ em và xung đột lao động cũng như các vấn đề môi trường nghiêm trọng. Các chủ sở hữu thương hiệu muốn bảo đảm nguồn cung cấp bền vững các kim loại và khoáng chất quan trọng (ví dụ: coban và lithium) bằng cách theo dõi ắc quy để bảo đảm phục hồi tối đa tài nguyên để tái sử dụng thành ắc quy mới. Liên minh Ắc quy Toàn cầu tập trung mạnh vào các sáng kiến truy xuất nguồn gốc và tuần hoàn cho lĩnh vực kinh tế còn non trẻ này, bao gồm cả việc tính toán và bù trừ phát thải khí nhà kính trong vòng đời. Liên minh Ắc quy toàn cầu và các tổ chức ắc quy hàng đầu thế giới khác gọi việc quản lý ắc quy được hỗ trợ bởi công nghệ là Hộ chiếu Ắc quy (Battery Passport).

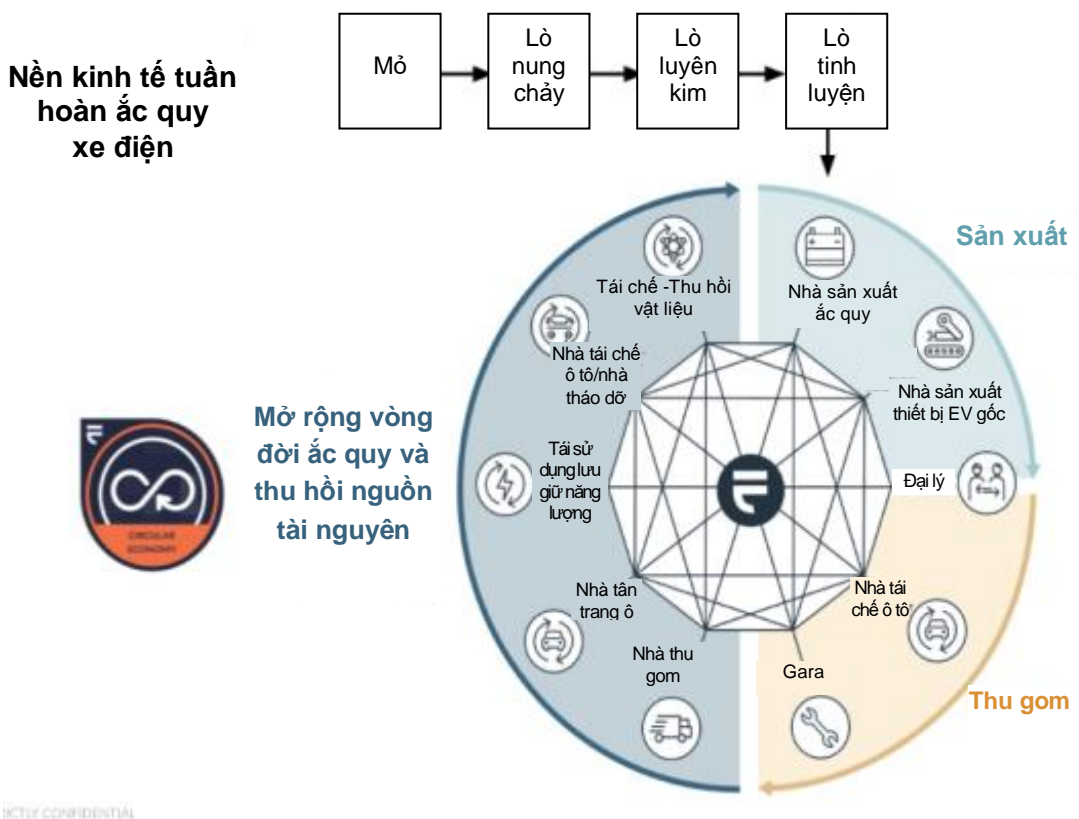
¹² Chain of custody



Hình 3. Blockchain, ID tự động và nắm bắt dữ liệu

(Nguồn: Everledger (<https://everledger.io/>))

Battery Passport hỗ trợ tính minh bạch bằng cách cho phép người dùng sử dụng, lưu trữ và tìm kiếm thông tin tài sản quy theo yêu cầu và cung cấp thông tin đó cho các chủ thể khác trong vòng đời ắc quy. Làm cho thông tin ắc quy có thể truy cập và xác thực dễ dàng, blockchain đã khiến cho sự tin cậy bền vững và lan rộng khắp các ngành công nghiệp. Bằng cách tạo một danh tính duy nhất (tức là bản sao kỹ thuật số) của một tài sản, người dùng có thể theo dõi hành trình của nó trên một nền tảng an toàn, không thể thay đổi và riêng tư. Các tuyên bố về tính bền vững và tuân thủ được hỗ trợ bằng bằng chứng chung thực tế về kiểm toán và chứng nhận.



Hình 4: Chia sẻ dữ liệu trên một nền tảng blockchain

Nguồn: Lauren Roman, Everledger (<https://everledger.io/>)

3.3. Một số sáng kiến và quy định về sử dụng, quản lý vòng đời của ắc quy xe điện

Sau đây là một số sáng kiến toàn cầu đang được thực hiện và các quy định hiện hành và được đề xuất có thể ảnh hưởng đến quản lý vòng đời của ắc quy xe điện.

Các sáng kiến về sản xuất và sử dụng ắc quy xe điện bền vững

Ngày càng có nhiều nước cam kết cấm bán xe động cơ đốt trong và đề ra các mục tiêu chính thức về doanh số bán ô tô điện, báo hiệu sự cần thiết phải chuyển sang sử dụng các phương tiện không phát thải để đáp ứng các mục tiêu về khí hậu và chất lượng không khí. Tại Mỹ, bang California yêu cầu các nhà sản xuất ô tô có doanh số bán hàng năm từ 4.501 đến 60.000 xe phải sản xuất ô tô điện bằng 8%-9% tổng doanh số bán hàng của họ tới năm 2025. Ngoài ra, những đạo luật đã được thông qua ở Ấn Độ, Ireland, Hà Lan, Đan Mạch, Na Uy và Vương quốc Anh sẽ cấm

bán xe chạy bằng xăng và dầu diesel tới năm 2030. Phần dưới đây trình bày một số sáng kiến đang diễn ra trên toàn cầu nhằm đẩy nhanh việc áp dụng xe điện.

Sáng kiến của Trung Quốc

Trong thập kỷ qua, chính phủ Trung Quốc đã chi từ 60 tỷ đến 100 tỷ USD để tăng thị trường nội địa cho ắc quy lithium, trợ cấp cho sản xuất xe điện giá rẻ (ví dụ khoảng 4.500 USD) và giúp các công ty xây dựng cơ sở hạ tầng khai thác và tinh chế lithium để hỗ trợ họ. Kết quả là Trung Quốc đã chiếm lĩnh toàn bộ thị trường ắc quy lithium. Mặc dù đầu tư và ưu đãi của chính phủ Trung Quốc đã giảm dần trong vài năm qua, nhưng các công ty Trung Quốc vẫn tự đầu tư, đặc biệt là vào chuỗi cung ứng nội địa.

Liên minh Ắc quy toàn cầu

Liên minh Ắc quy toàn cầu là sự hợp tác của các tổ chức hoạt động nhằm thiết lập nên chuỗi giá trị ắc quy bền vững. Họ đã làm việc với các chủ thể trong ngành công nghiệp để phát triển khái niệm Hộ chiếu Ắc quy, nhằm mang lại khả năng chia sẻ thông tin và dữ liệu một cách an toàn để xác định, xác thực và theo dõi nguồn cung cấp khoáng sản một cách có trách nhiệm, vòng đời ắc quy, tái chế có trách nhiệm và lượng khí thải carbon dioxide của ắc quy xe điện. Các chương trình tác động có mục tiêu của họ bao gồm thiết lập các quy tắc cho các chuỗi cung ứng khoáng sản ắc quy có trách nhiệm và bền vững, chương trình nền kinh tế carbon thấp và nền kinh tế tuần hoàn cho ắc quy lithium-ion.

Thỏa thuận xanh của EU: Kế hoạch hành động chiến lược về Ắc quy

Mục tiêu của Kế hoạch hành động chiến lược về Ắc quy là đưa châu Âu dẫn đầu toàn cầu về sản xuất và sử dụng ắc quy bền vững trong bối cảnh nền kinh tế tuần hoàn và đề xuất luật để bảo đảm chuỗi giá trị ắc quy an toàn, tuần hoàn và bền vững cho tất cả các loại ắc quy. Hơn 120 chủ thể công nghiệp và đổi mới đã tham gia và nhất trí về các khuyến nghị cho các hành động ưu tiên sau:

- Tiếp cận an toàn nguyên liệu thô.
- Hỗ trợ sản xuất cell ắc quy ở quy mô lớn và tạo ra chuỗi giá trị cạnh tranh hoàn chỉnh ở châu Âu.
- Tăng cường vai trò lãnh đạo công nghiệp thông qua nghiên cứu và đổi mới của EU.
- Phát triển và củng cố lực lượng lao động có tay nghề cao ở tất cả các khâu trong chuỗi giá trị ắc quy.

- Hỗ trợ tính bền vững của ngành sản xuất ắc quy của EU với ít tác động đến môi trường.
- Bảo đảm tính nhất quán với khung quy định và tạo thuận lợi rộng hơn để hỗ trợ ắc quy.

Kế hoạch của Chính phủ Mỹ

Nhận thấy tầm quan trọng vai trò của các vật liệu chính của ắc quy và những thách thức về nguồn tài nguyên sẵn có ở Mỹ, Sắc lệnh hành pháp 13817 đã xác định nhu cầu “*phát triển các công nghệ tái chế và tái xử lý khoáng sản quan trọng*” là một phần của chiến lược rộng hơn nhằm “*bảo đảm nguồn cung an toàn và đáng tin cậy các khoáng sản quan trọng*”.

Bộ Năng lượng Mỹ (DOE) là cơ quan dẫn đầu nỗ lực giảm phụ thuộc vào các vật liệu này thông qua việc giảm khối lượng cần để sản xuất ắc quy bằng cách tái chế các vật liệu đã được sử dụng. Bộ đã ban hành “Kế hoạch nghiên cứu nhằm giảm thiểu, tái chế và phục hồi các vật liệu quan trọng trong Ắc quy lithium-Ion” vào tháng 6 năm 2019. Các điểm chính của sáng kiến này bao gồm:

- Phát triển thể hệ cực âm tiếp theo có hàm lượng coban thấp hoặc không có coban cho ắc quy Li-ion
- Thành lập trung tâm R&D tái chế ắc quy lithium, tập trung vào các quy trình tái chế tiết kiệm chi phí để thu hồi các vật liệu quan trọng của ắc quy lithium.
- Ra mắt Giải thưởng Tái chế Ắc quy Li-ion để phát triển các giải pháp đổi mới nhằm cho phép thu thập, phân loại, lưu trữ và vận chuyển ắc quy Li-ion đã qua sử dụng một cách an toàn và với giá thành phải chăng.

Từ đó đã đạt được những thành tựu lớn dưới nhiều cam kết tài trợ khác nhau:

- 40 triệu USD tài trợ cho ngành công nghiệp, trường đại học và phòng thí nghiệm quốc gia để phát triển cực âm có hàm lượng coban thấp hoặc không có coban.
- Tài trợ 15 triệu USD/3 năm để thành lập trung tâm R&D Tái chế ReCell tại Phòng thí nghiệm Quốc gia Argonne với sự hỗ trợ của Phòng thí nghiệm Năng lượng tái tạo quốc gia và Phòng thí nghiệm Quốc gia Oak Ridge.
- Tài trợ 5,5 triệu USD cho chuỗi Giải thưởng Tái chế Ắc quy Li-ion đầu tiên.
- Chính quyền Biden đặc biệt chú ý đến chuỗi cung ứng và sản xuất lithium-ion, vì những loại ắc quy này là một thành phần quan trọng trong xe điện góp phần khử carbon ở phương tiện giao thông vận tải. Sự chú trọng này được thể hiện qua Sắc lệnh hành pháp 14017, sau này dẫn đến báo cáo kêu gọi một

số sáng kiến nhằm củng cố chuỗi cung ứng và sản xuất của Mỹ với các chiến lược được xác định trong Kế hoạch chi tiết quốc gia về ắc quy lithium do Hiệp hội Ắc quy tiên tiến Liên bang phát triển. Một trong những khuyến nghị chính của kế hoạch là cho phép tái sử dụng khi hết vòng đời và tái chế các vật liệu quan trọng trên quy mô lớn và tạo ra chuỗi giá trị cạnh tranh hoàn chỉnh ở Mỹ. Những sáng kiến này đã trở thành hiện thực trong Luật Cơ sở hạ tầng lưỡng đảng vào ngày 5 tháng 11 năm 2021, cung cấp nguồn tài trợ đáng kể cho việc thí điểm ắc quy xe điện vòng đời thứ cấp trong các dịch vụ lưới điện, R&D tái chế và tái sử dụng ắc quy, đồng thời mở rộng chuỗi cuộc thi Giải thưởng Tái chế Ắc quy. Luật Sản xuất quốc phòng được ban hành (tháng 4 năm 2022) đã tập trung nhiều hơn vào việc tìm nguồn cung ứng khoáng sản ắc quy và bảo đảm phát triển chuỗi cung ứng năng lượng ắc quy quốc gia của Mỹ.

- Ngày 19 tháng 10 năm 2022, DOE thông báo dành 2,8 tỷ USD trong nguồn tài trợ của Luật Cơ sở hạ tầng lưỡng đảng cho 20 dự án trên 12 tiểu bang để phát triển Quy trình Xử lý vật liệu ắc quy và Tái chế sản xuất Ắc quy
 - Cực âm lithium, than chì, niken, sắt photphat cấp độ ắc quy
 - Muối điện phân lithium, chất phân tách và keo dính PDVF
 - Cực dương silicon cấp độ ắc quy, cực dương sơ bộ và cực dương lithium
 - Cực âm từ khoáng chất hoặc ắc quy tái chế
- Ngày 16 tháng 11 năm 2022, DOE thông báo dành gần 74 triệu USD tài trợ từ Luật Cơ sở hạ tầng lưỡng đảng cho 10 dự án nhằm thúc đẩy hoạt động tái chế và tái sử dụng ắc quy trong nước, củng cố chuỗi cung ứng ắc quy của quốc gia.
- Miễn thuế Xe sạch (Clean Vehicle Credit) đã được sửa đổi theo Luật Giảm lạm phát vào tháng 8 năm 2022 và hiện đưa ra các yêu cầu mới về tìm nguồn cung ứng/lắp ráp ắc quy. Những yêu cầu này có hiệu lực từ ngày 1 tháng 1 năm 2023 (Chính sách về ắc quy và Tìm kiếm khách lẻ năm 2022 của DOE). Để đủ điều kiện miễn thuế, các phương tiện phải đáp ứng một số tiêu chí nhất định liên quan đến việc khai thác và chiết xuất các khoáng sản quan trọng, xử lý, tái chế và sản xuất các bộ phận của ắc quy. Luật cũng bỏ giới hạn mỗi nhà sản xuất ô tô chỉ được hưởng miễn thuế xe điện cho 200.000 chiếc xe. Nếu một chiếc xe đáp ứng được các yêu cầu mới về tìm nguồn cung ứng/lắp ráp, thì nó sẽ đủ điều kiện được miễn thuế trị giá 3.750 USD cho các khoáng chất quan trọng, 3.750 USD cho việc lắp ráp các bộ phận của

ắc quy, hoặc được miễn tổng số tiền lên tới 7.500 USD nếu đáp ứng cả hai yêu cầu. Các yêu cầu tìm nguồn cung ứng mới cho xe điện nhằm mục đích phát triển chuỗi cung ứng linh kiện và khoáng sản ắc quy ở Bắc Mỹ và giữa các quốc gia mà Mỹ ký hiệp định thương mại tự do. Tỷ lệ yêu cầu tìm nguồn cung ứng tăng lên mỗi năm cho đến năm 2029.

Mục tiêu của Chính quyền các bang ở Mỹ

Ngày 23 tháng 9 năm 2020, Thống đốc California Gavin Newsom đã ký Sắc lệnh hành pháp N-79-20, đặt ra các mục tiêu về phương tiện không phát thải sau đây cho California:

- 100% số xe ô tô chở khách và xe tải hạng nhẹ mới được bán ở tiểu bang sẽ là xe không phát thải tới năm 2035.
- 100% phương tiện vận tải hạng trung và hạng nặng là xe không phát thải ở tiểu bang tới năm 2045, nếu khả thi, và đến năm 2035 đối với xe tải chở hàng.
- Vận hành thiết bị và phương tiện địa hình không phát thải 100% tới năm 2035, nếu khả thi.

Ngoài những mục tiêu này, California còn đề ra các mục tiêu trung gian bao gồm đạt 5 triệu phương tiện không phát thải lưu thông trên đường California tới năm 2030 và 250.000 trạm sạc công cộng và dùng chung cũng như 200 trạm tiếp nhiên liệu hydro tới năm 2025. Trong quý đầu năm 2021, hơn 860.000 xe tải hạng nhẹ không phát thải đã được bán ra, với doanh số bán xe không phát thải chiếm hơn 9% thị phần.

Sau khi California công bố lệnh cấm, New Jersey và New York cũng theo sát với những mục tiêu tương tự. Ngày 15 tháng 4 năm 2021, cơ quan lập pháp của Bang Washington đã thông qua dự luật “Ô tô sạch 2030”, đề ra mục tiêu yêu cầu tất cả các phương tiện vận tải hạng nhẹ có mẫu năm 2030 trở lên phải chạy bằng điện. Dự luật này đã đưa Washington trở thành tiểu bang đầu tiên của Mỹ thông qua lệnh cấm xe chạy bằng xăng về mặt pháp lý và hiện là tiểu bang có lệnh cấm xe chạy bằng xăng sớm nhất ở Mỹ.

Liên minh Ắc quy châu Âu

Được thành lập vào năm 2017, Liên minh Ắc quy châu Âu là tổ chức hợp tác giữa Ủy ban châu Âu, các nước EU, ngành công nghiệp và cộng đồng khoa học. Do ắc quy là một phần chiến lược trong quá trình chuyển đổi kỹ thuật số và sạch, đồng thời là công nghệ hỗ trợ quan trọng của châu Âu, nên chúng rất cần thiết đối với năng lực cạnh tranh của ngành ô tô. Liên minh này nhằm mục đích đưa châu Âu dẫn

đầu toàn cầu về sản xuất và sử dụng ắc quy bền vững. Mục đích là đầu tư vào sản xuất vật liệu lithium-ion, cell và ắc quy ở châu Âu. Hơn 3 tỷ USD đã được phân bổ vào năm 2021.

Các quy định về quản lý sử dụng ắc quy xe điện

Trách nhiệm của nhà sản xuất Trung Quốc

Theo Chương trình Trách nhiệm của nhà sản xuất Trung Quốc hay Tiêu chuẩn GB/T (GB/T 3404-2017), các OEM xe điện phải chịu trách nhiệm pháp lý về cả tái chế ắc quy lẫn đánh giá tiềm năng của vòng đời thứ cấp. Những hướng dẫn do Bộ Công nghiệp và Công nghệ thông tin Trung Quốc ban hành đã thúc đẩy các nhà OEM chuẩn hóa ắc quy và thiết kế các sản phẩm có thể được tháo rời dễ dàng.

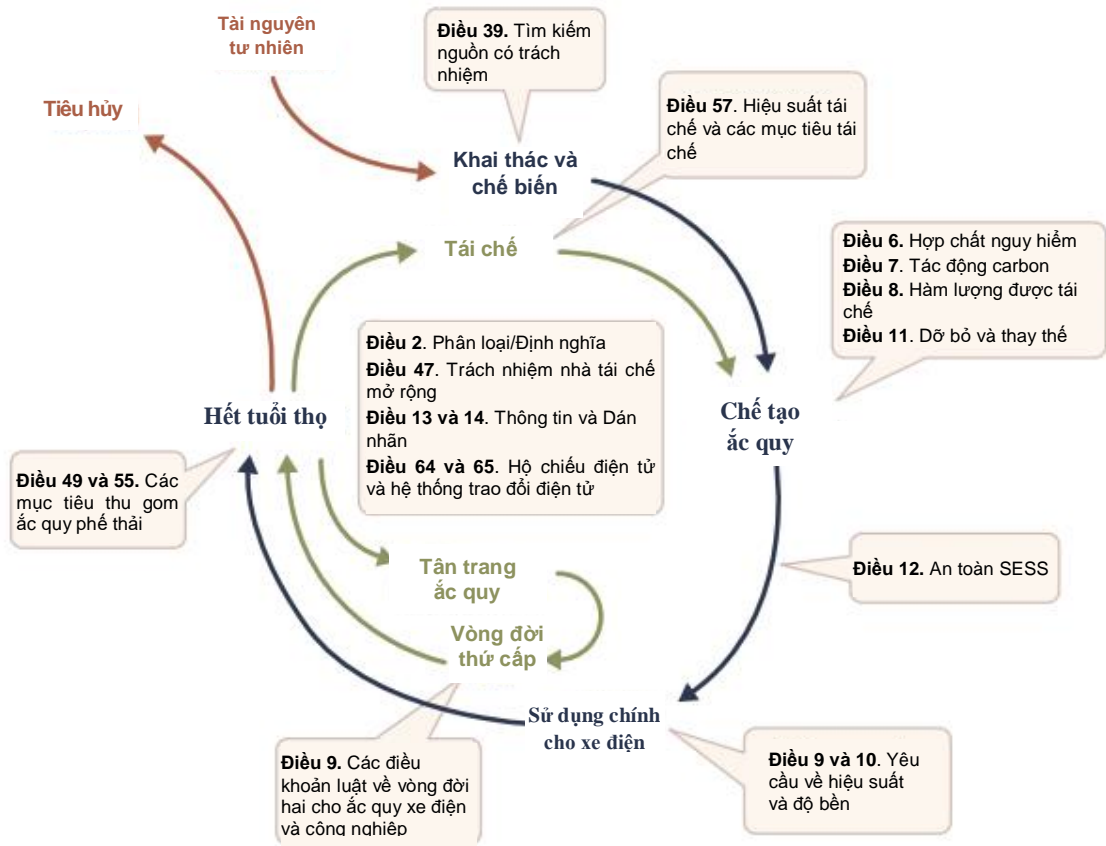
Tiêu chuẩn GB/T được ban hành vào ngày 1 tháng 2 năm 2018 xác định các cấu trúc và cách biểu diễn mã hóa cũng như các bộ phận ắc quy mà chúng được áp dụng lên (ví dụ: gói, mô-đun, cell). Quy định này cho phép truy xuất nguồn gốc các ắc quy mới và ắc quy vòng đời thứ cấp, đồng thời định rõ các yêu cầu ghi nhãn và hệ thống theo dõi liên quan.

Quy định về ắc quy do Ủy ban châu Âu đề xuất

Luật của EU về ắc quy phế thải được thể hiện trong Chỉ thị về Ắc quy năm 2006, nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực của ắc quy đối với môi trường, giảm thiểu chất thải, tăng cường thu gom và bảo đảm quản lý đúng cách khi ắc quy hết tuổi thọ. Chỉ thị giải quyết vấn đề này bằng cách xác định các biện pháp tổ chức các chương trình tái chế và thu gom, đồng thời yêu cầu các nhà sản xuất ắc quy và các sản phẩm kết hợp với ắc quy phải chịu trách nhiệm tổ chức các chương trình thu hồi và tái chế ắc quy. Ủy ban châu Âu đã đề xuất một Quy định mới về Ắc quy với các phụ lục vào ngày 10 tháng 12 năm 2020. Quy định này nhằm bảo đảm ắc quy được đưa vào thị trường EU mang tính bền vững và an toàn trong toàn bộ vòng đời của chúng. Hình 5 thể hiện quy định của EU áp dụng cho ắc quy và các bên liên quan trong toàn bộ vòng đời của nó.

Phần quan trọng nhất của Quy định về Ắc quy là hộ chiếu ắc quy, cung cấp cho người dùng/chủ sở hữu quyền tiếp cận tới thông tin về các vật liệu chính trong ắc quy xe điện, cũng như truy tìm nguồn gốc của chúng. Tái chế cũng sẽ là một phần quan trọng. Ủy ban châu Âu đang xem xét đưa ra tỷ lệ thu hồi cụ thể cho các vật liệu chính được sử dụng trong ắc quy, chẳng hạn như lithium, coban và niken. Việc tăng tỷ lệ thu gom ắc quy đã qua sử dụng dự kiến sẽ đặt nền móng cho mức hàm lượng được tái chế bắt buộc trong ắc quy mới kể từ năm 2030. Quy định về Ắc

quy định kiến có hiệu lực vào tháng 1 năm 2022, nhưng đã bị trì hoãn do nhiều bên liên quan đang tranh cãi về các phần khác của quy định. Gần đây, quy định này mới được EU thông qua vào ngày 12/7/2023.



Hình 5: Đề xuất quy định về ắc quy của EU

Luật về ắc quy của Đức

Sửa đổi Luật về Ắc quy lần đầu tiên được công bố vào ngày 9 tháng 11 năm 2020 và có hiệu lực vào ngày 1 tháng 1 năm 2021. Luật về Ắc quy của Đức quy định rằng các nhà sản xuất ô tô điện sẽ thu hồi ắc quy từ xe của họ miễn phí hoặc chỉ định một đối tác xử lý. Việc thu hồi bình ắc quy theo yêu cầu pháp lý được áp dụng cho các trường hợp phải thay ắc quy động cơ do giảm dưới mức dung lượng tối thiểu được bảo đảm. Luật cũng cho phép không cần vứt bỏ những bình ắc quy này mà thay vào đó có thể được sử dụng trong ứng dụng vòng đời thứ cấp cho những năm sau. Ngoài ra, luật còn giải quyết vấn đề xử lý ắc quy trong trường hợp bị hỏng, chẳng hạn như trong một vụ tai nạn xe, và ai sẽ chịu trách nhiệm vứt bỏ ắc quy.

Luật Khuyến khích sử dụng hiệu quả tài nguyên của Nhật Bản

Theo điều luật này của Nhật Bản, ắc quy Li-ion được coi là sản phẩm tái chế từ tài nguyên cụ thể và các nhà sản xuất được yêu cầu đẩy mạnh việc tự thu gom và tái chế. Ngoài ra, các nhà sản xuất ắc quy và nhà sản xuất các sản phẩm có chứa ắc quy, chẳng hạn như OEM ô tô, có trách nhiệm công bố thông tin hàng năm về các chỉ số tự thu gom và tái chế ắc quy phế thải được bịt kín mà họ tiến hành riêng lẻ hoặc tập thể.

Cơ quan Bảo vệ Môi trường California

Tổ Tư vấn Tái chế Ắc quy Lithium-ion Ô tô được thành lập để tư vấn cho Cơ quan Lập pháp California về các chính sách liên quan đến việc thu hồi và tái chế ắc quy Li-ion được bán cùng với các phương tiện cơ giới trong tiểu bang, với mục tiêu bảo đảm rằng gần như 100% ắc quy lithium-ion ô tô ở tiểu bang được tái sử dụng hoặc tái chế khi hết tuổi thọ một cách an toàn và tiết kiệm chi phí. Tổ tư vấn được lãnh đạo bởi Cơ quan Bảo vệ Môi trường California, Cục Kiểm soát Chất độc hại và Cục Tái chế và Phục hồi Tài nguyên. Các thành viên bổ sung tới từ cộng đồng môi trường; thợ tháo dỡ ô tô; đại diện công và tư nhân tham gia vào việc sản xuất, thu gom, xử lý và tái chế ắc quy xe điện; và các bên liên quan khác. Nhóm tư vấn được thành lập vào năm 2019 để đáp ứng Dự luật Hạ viện 2832. Dự thảo cuối cùng về các khuyến nghị gửi tới Cơ quan Lập pháp California được công bố vào ngày 16 tháng 3 năm 2022. Hai đề xuất chính sách nêu rõ trách nhiệm quản lý khi hết hạn đã nhận được hầu hết sự ủng hộ:

- Trao đổi lỗi với bộ chống quay ngược của xe.
- Nhà sản xuất thu hồi.

Chính sách trao đổi lỗi và chống quay ngược của xe xác định trách nhiệm đối với ắc quy không còn bảo hành và phân công trách nhiệm về EVB như sau:

1. *Xe điện vẫn đang hoạt động*: Đơn vị tháo dỡ ắc quy có trách nhiệm tái sử dụng, sử dụng lần thứ cấp hoặc tái chế và chương trình trao đổi lỗi sẽ được sử dụng để theo dõi và xác nhận việc quản lý phù hợp. Đây thực chất là một chương trình ký gửi một số bộ phận ô tô nhất định. Khách hàng trả tiền cọc cho một bộ phận mới và khoản tiền đặt cọc này sau đó sẽ được hoàn lại khi bộ phận đó được trả lại.

2. *Xe điện khi hết tuổi thọ được nhà tái chế hoặc tháo dỡ ô tô thu mua*: Nhà tháo dỡ hoặc tái chế ô tô có trách nhiệm tái sử dụng, tân trang, vòng đời thứ cấp, hoặc tái chế ắc quy đã hết tuổi thọ.

3. *Xe điện đã hết tuổi thọ và không được nhà tháo dỡ hoặc tái chế ô tô mua lại:* Nhà sản xuất xe có trách nhiệm bảo đảm xe được tháo dỡ đúng cách và ắc quy được tái sử dụng, tân trang, tái sử dụng theo mục đích khác hoặc tái chế đúng cách.

Theo đề xuất thu hồi của nhà sản xuất, nhà sản xuất ô tô chịu trách nhiệm quản lý ắc quy khi hết tuổi thọ đầu tiên, bao gồm chi phí vận chuyển và tái chế cũng như ghi lại cách xử lý thích hợp.

Quyền sửa chữa của Massachusetts

Ngày 4 tháng 11 năm 2020, cử tri Massachusetts đã thông qua luật “Quyền sửa chữa” với tỷ lệ áp đảo 75% để cung cấp dữ liệu ô tô cho chủ phương tiện và gara. Biện pháp này mở rộng một điều luật trước đó bằng cách bao gồm thêm dữ liệu viễn thông để có thể hỗ trợ chủ sở hữu và cửa hàng sửa chữa truy cập dữ liệu của phương tiện vận tải để sử dụng cho việc chẩn đoán và sửa chữa. Điều luật này tác động đến các mẫu xe bắt đầu từ năm 2022.

Những dự luật về “quyền sửa chữa” đang thu hút sự chú ý trên khắp nước Mỹ và cả nước ngoài. Theo Hiệp hội Sửa chữa, 34 tiểu bang của Mỹ đang soạn thảo hoặc thực thi luật về quyền sửa chữa. Hầu hết các luật này liên quan đến “sản phẩm điện tử kỹ thuật số” hơn là ô tô nói riêng, nhưng chúng ảnh hưởng trực tiếp đến tất cả những chiếc xe ô tô mới hiện có hệ thống điện tử rộng. Thử nghiệm đầu tiên về các luật chia sẻ dữ liệu ảnh hưởng đến ắc quy xe điện này là tiêu chuẩn GB/T của Trung Quốc, như được nêu ở phần trên. Luật yêu cầu dữ liệu viễn thông phải được truyền lên một đám mây để chia sẻ công khai. Ngoài việc sửa chữa, việc chia sẻ những dữ liệu này có thể làm tăng mức độ an toàn, giúp vòng đời thứ cấp của ắc quy tiết kiệm hơn.

KẾT LUẬN

Trong suốt lịch sử, loài người đã tạo ra những sản phẩm, vật chất để cải thiện cuộc sống. Trong quá trình đó, con người thường không nghĩ đến hậu quả từ việc tạo và sử dụng những sản phẩm đó sẽ tác động tiêu cực đến chính họ và môi trường đặc biệt là về lâu dài như thế nào, chẳng hạn như tác động bất lợi của chai nhựa tới đại dương. Giờ đây có thể thấy rõ những hoạt động chế tạo, sử dụng và vứt bỏ một cách vô trách nhiệm của chúng ta đã đưa hành tinh này tiến tới một quỹ đạo nguy hiểm. Tuy vậy, con người cũng đang sáng tạo ra những giải pháp, công cụ để thay đổi những thói quen xấu đó, khiến chúng ta trở thành những nhà quản lý có trách nhiệm đối với hành tinh của chúng ta. Việc này phần nào được thể hiện ở lĩnh vực ắc quy xe điện.

Số lượng xe điện trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng đang tăng rất nhanh. Vấn đề quản lý ắc quy xe điện hết hạn sử dụng vì thế cũng trở nên ngày càng quan trọng, đặc biệt là trong bối cảnh nhận thức về tác động của biến đổi khí hậu của người dân đang dần tăng. Theo Tổng cục Tiêu chuẩn đo lường chất lượng Việt Nam, tính đến cuối năm 2022, cả nước ta có khoảng 2 triệu xe máy điện và 11 nghìn xe ô tô điện đang vận hành, con số này đang gia tăng với tốc độ không hề nhỏ. Đạt được bước tiến này phần lớn là do môi trường chính sách ngày càng thuận lợi. Ngành công nghiệp xe điện trong nước cũng đặt ra những kế hoạch đầy tham vọng để phát triển một hệ sinh thái hoàn chỉnh cho việc phát triển xe điện, bao gồm cả việc cung cấp các giải pháp sạc điện và ắc quy. Năm 2022, Việt Nam công bố áp dụng miễn thuế trước bạ cho ô tô điện trong khoảng thời gian 3 năm. VinFast, hãng sản xuất xe ô tô, đã công bố dừng sản xuất xe xăng để tập trung cho xe điện. Một số hãng xe sang như Mercedes-Benz, Volvo, Porsche cũng đã đưa các mẫu xe điện của hãng tới thị trường trong nước. Tương lai của thị trường xe điện Việt Nam là rất sáng sủa.

Số lượng xe bus, taxi và ô tô điện tăng lên cũng có nghĩa là đặt ra những thách thức rất lớn về việc quản lý ắc quy sau vòng đời của xe điện, cần phải tìm ra các giải pháp để đồng thời thúc đẩy giao thông điện và bảo vệ tài nguyên, giảm chi phí sản xuất ắc quy mới thông qua tái chế vật liệu. Dự kiến chỉ trong vòng 7 tới 10 năm nữa, Việt Nam sẽ phải đối mặt trực tiếp với những thách thức này.

Mặc dù, Việt Nam đã có định hướng chính sách và các quy định pháp luật về quản lý chất thải nguy hại. Tuy vậy, định hướng chính sách và các quy định pháp luật về quản lý ắc quy nói chung, ắc quy của các phương tiện xe điện nói riêng chưa được đề cập nhiều. Hiện nay, cũng chưa có nhiều doanh nghiệp chuyên trách về thu

gom, vận chuyển và xử lý chất thải theo nhóm chất thải, theo nguồn phát thải. Bởi vậy, việc ban hành các quy định, quy chuẩn kỹ thuật về chất thải nguy hại là áp dụng sau khi sử dụng, đặc biệt là từ các phương tiện giao thông, đang là yêu cầu cấp thiết.

Cách tiếp cận chính sách kinh tế tuần hoàn có thể tạo cơ hội kinh doanh cho các nhà sản xuất áp dụng xe điện, nhà cung cấp bên thứ ba và các chủ thể khác trong chuỗi cung ứng công nghiệp. Để tạo điều kiện thuận lợi cho những thay đổi này, chính phủ có thể tạo ra một môi trường thuận lợi bằng cách phát triển các chính sách và quy định, giải quyết nhu cầu xây dựng năng lực, củng cố khung thể chế, thiết lập mạng lưới tái chế và tái xử lý vật liệu, đồng thời thúc đẩy phát triển ngành công nghiệp ô tô hiệu quả hơn. Khuyến khích việc cung cấp hướng dẫn kỹ thuật về quản lý áp dụng và áp dụng thứ cấp, nhằm tạo cơ sở kỹ thuật cho các nhà sản xuất, tổ chức tái chế và nhà quản lý nghiên cứu và phát triển phương pháp quản lý phù hợp cho giai đoạn cuối vòng đời của xe điện. Ngoài ra, chúng ta nên phát triển một chiến lược để hỗ trợ việc tái sử dụng áp dụng xe điện đồng thời nên tích cực tham gia vào việc phát triển tiêu chuẩn quốc tế thông qua các ủy ban kỹ thuật.

Rõ ràng, xe điện sẽ đóng một vai trò quan trọng trong việc giảm lượng khí thải carbon và ngăn chặn những tác động ngày càng tồi tệ của biến đổi khí hậu. Triển vọng về một nền kinh tế tuần hoàn của áp dụng xe điện rất hứa hẹn. Công nghệ áp dụng xe điện phát triển để giảm nhu cầu sử dụng các loại khoáng chất đất đỏ của áp dụng và hỗ trợ việc sửa chữa và tháo dỡ hiệu quả hơn. Các công nghệ tái sử dụng và thu hồi với lượng khí thải carbon nhỏ hơn cũng đang được phát triển và sẽ được triển khai với số lượng ngày càng tăng, tiếp tục làm giảm lượng khí thải carbon. Công nghệ theo dõi và nhận dạng vật liệu có thể giúp các nhà sản xuất bảo đảm nguồn cung ứng bền vững, tính đến lượng phát thải khí nhà kính trong chuỗi cung ứng và chuỗi giá trị, đồng thời giúp hợp lý hóa các quy định có thể gây ra gánh nặng.

Hiện tại, Việt Nam đang từng bước thâm nhập vào thị trường xe điện thế giới, với bước tiến là nhà máy sản xuất xe điện Vinfast được khánh thành tại Mỹ. Nếu xây dựng được một hệ sinh thái công nghiệp hỗ trợ đủ mạnh, Việt Nam có thể trở thành trung tâm sản xuất xe điện của khu vực. Việc quản lý vòng đời của áp dụng xe điện, cũng như xây dựng nền kinh tế tuần hoàn áp dụng xe điện sẽ là một mắt xích quan trọng trong tham vọng lớn này. Các công nghệ, tiêu chuẩn về quản lý, thu hồi và xử lý áp dụng xe điện đang trong giai đoạn phát triển và hứa hẹn tiềm năng ứng dụng. Đó cũng là một lợi thế nếu chúng ta nhanh nhạy bắt kịp với lĩnh vực công nghiệp còn khá non trẻ này.

Biên soạn: Trung tâm Thông tin và Thống kê KH&CN

Tài liệu tham khảo

1. S. Rangarajan, S.Sunddararaj, S.P. Sudhakar, A.Shiva, C.K.Subramaniam, U.Collins, E.R. Senjyu, T. Lithium-Ion Batteries - The Crux of Electric Vehicles with Opportunities and Challenges. *Clean Technol.* 2022, 4, 908 - 930. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040056>
2. Global EV Outlook 2023: Catching up with Climate ambitions. IEA, 2/2023
3. New market. New entrants. New challenges. *Battery Electric Vehicles.*; Deloitte, 2019
4. Azevedo, Marcelo, Nicolò Campagnol, Toralf Hagenbruch, Ken Hoffman, Ajay Lala, and Oliver Ramsbottom. 2018. "Lithium and cobalt: A tale of two commodities." McKinsey & Company report, June 22, 2018. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/ourinsights/lithium-and-cobalt-a-tale-of-two-commodities>
5. Battery University. 2021. "BU-203: Types of Lithium-ion." Last updated Oct. 22, 2021. <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>
6. Gaines, Linda. 2018. "Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course." *Sustainable Materials and Technologies* 17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.e00068>
7. Neubauer, Jeremy S., Eric Wood, and Ahmad Pesaran. 2015. "A Second Life for Electric Vehicle Batteries: Answering Questions on Battery Degradation and Value." *SAE International Journal of Materials and Manufacturing* 8 (2): 544–553. <https://doi.org/10.4271/2015-01-1306>
8. Pesaran, Ahmad, Lauren Roman, and John Kincaide. 2023. *Electric Vehicle Lithium-Ion Battery Life Cycle Management*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5700-84520. <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/84520.pdf>.
9. Martinez-Laserna, E., I. Gandiaga, E. Sarasketa-Zabala, J. Badedo, D.-I. Stroe, M. Swierczynski, and A. Goikoetxea. 2018. "Battery second life: Hype, hope or reality? A critical review of the state of the art." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 93: 701-718. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.035>