

ΟΔΗΓΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ · 7 ΛΕΠΤ. · 24 ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ 2026

LFP, NMC και ιόντα νατρίου από την πλευρά της πυροπροστασίας: τι σημαίνει η χημεία των κυψελών για το φράγμα

Θερμοκρασία έναρξης, ποσότητα αερίων, έκλυση θερμότητας: η χημεία των κυψελών καθορίζει την εικόνα κινδύνου ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες – και, κατά συνέπεια, το αν ο θερμικός διαχωρισμός πρέπει να σχεδιαστεί πρωτίστως έναντι της θερμότητας ή έναντι των αερίων.

Γιατί η χημεία των κυψελών μετατοπίζει τον στόχο προστασίας

Το «σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με μπαταρίες» (BESS) δεν αποτελεί, από την πλευρά της πυροπροστασίας, ομοιογενή κατηγορία. Το αν μια κυψέλη βασίζεται σε φωσφορικό σίδηρο-λίθιο (LFP), σε νικέλιο-μαγγάνιο-κοβάλτιο (NMC) ή σε ιόντα νατρίου μεταβάλλει ριζικά τρία μεγέθη: τη θερμοκρασία από την οποία ξεκινά η θερμική διαφυγή (thermal runaway), τη θερμότητα που εκλύεται κατά τη διάρκειά της και την ποσότητα και τη σύσταση των αερίων εκτόνωσης (vent gas). Για τον σχεδιασμό του φράγματος προκύπτει μια απλή, αλλά συχνά παραγνωρισμένη συνέπεια: ο κυρίαρχος στόχος προστασίας εξαρτάται από τη χημεία – άλλοτε προέχει ο θερμικός διαχωρισμός, άλλοτε η διαχείριση των αερίων και του κινδύνου έκρηξης.

Η δομική διαφορά βρίσκεται στο υλικό της καθόδου: οι κυψέλες NMC χρησιμοποιούν ένα οξείδιο στρωματικής δομής, το οποίο σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να απελευθερώσει οξυγόνο και να τροφοδοτήσει την πυρκαγιά από μόνο του. Η δομή ολιβίνη του LFP, αντίθετα, συγκρατεί σταθερά το οξυγόνο – η αντίδραση εξελίσσεται αισθητά λιγότερο βίαια, αλλά σε καμία περίπτωση ακίνδυνα.

NMC: υψηλή έκλυση θερμότητας, πρώιμη θερμική διαφυγή

Οι κυψέλες NMC περνούν συγκριτικά νωρίτερα σε θερμική διαφυγή – οι τυπικές θερμοκρασίες έναρξης (onset) κυμαίνονται, ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης και τη μέθοδο μέτρησης, χονδρικά στην περιοχή των 170–210 °C – και αντιδρούν τότε με τη μεγαλύτερη βιαιότητα. Συγκριτικές έρευνες μετρούν στις κυψέλες NMC τις υψηλότερες θερμοκρασίες αερίων εκτόνωσης (σε πρόσφατη μελέτη περίπου 1.050 °C, έναντι περίπου 446 °C στις LFP) και τη μεγαλύτερη ποσότητα αερίων ανά αμπερώριο. Σε αυτά προστίθενται συχνά έξοδος φλόγας, εκτόξευση σπινθήρων και σωματίδια κυψελών, που δρουν ως πηγές ανάφλεξης για τις γειτονικές περιοχές.

Για τον θερμικό διαχωρισμό αυτό σημαίνει: στα συστήματα NMC κυριαρχεί το θερμικό φορτίο. Τα διαχωριστικά τοιχώματα και οι επενδύσεις πρέπει να παραλαμβάνουν για σύντομο χρονικό διάστημα πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πυκνότητες θερμικής ροής, χωρίς να επιτρέπουν κρίσιμη άνοδο της θερμοκρασίας στην πίσω πλευρά. Μονωτικά υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες, με ελεγμένη συμπεριφορά άνω των 1.000 °C,

μηχανικά σταθερές επιφανειακές στρώσεις έναντι της πρόσκρουσης σωματιδίων και ενδιάμεσες στρώσεις μεταξύ των δομοστοιχείων (modules) που αναστέλλουν τη διάδοση αποτελούν εδώ τα βασικά συστατικά της λύσης.

LFP: λιγότερη πυρκαγιά, μεγαλύτερος κίνδυνος ταχείας ανάφλεξης

Το LFP δικαίως θεωρείται θερμικά σταθερότερο: υψηλότερη θερμοκρασία έναρξης, μικρότερη έκλυση θερμότητας, σπανιότερα αυτοσυντηρούμενες πυρκαγιές. Από αυτό όμως συχνά εξάγεται το λανθασμένο συμπέρασμα ότι το LFP δεν είναι κρίσιμο από πλευράς πυροπροστασίας. Οι συγκριτικές μετρήσεις δείχνουν μεν τη μικρότερη ποσότητα αερίων ανά χωρητικότητα (σε πρόσφατη μελέτη περίπου 0,02 mol/Ah έναντι περίπου 0,07 mol/Ah στις NMC), αλλά με το υψηλότερο ποσοστό υδρογόνου στα αέρια εκτόνωσης – στην ίδια έρευνα περίπου 41%.

Σημείωση: Το παράδοξο του LFP — Ακριβώς επειδή τα αέρια εκτόνωσης του LFP συχνά δεν αναφλέγονται αμέσως, μπορούν να συσσωρευτούν απαρατήρητα στο περίβλημα ή στον χώρο. Αν το πλούσιο σε υδρογόνο νέφος συναντήσει αργότερα μια πηγή ανάφλεξης, υπάρχει κίνδυνος καθυστερημένης ταχείας ανάφλεξης (deflagration) – ένα σενάριο που σε αρκετά πραγματικά συμβάντα αποτέλεσε την κύρια αιτία των ζημιών. Στο LFP ο στόχος προστασίας μετατοπίζεται επομένως από το απλό φράγμα πυρκαγιάς προς την ανίχνευση αερίων, τον αερισμό και την εκτόνωση πίεσης κατά NFPA 68/69.

Για την επένδυση αυτό σημαίνει: δεν αρκεί να απομονώνει τη θερμότητα, αλλά πρέπει και να υποστηρίζει τη διαχείριση των αερίων – να διατηρεί ελεύθερες τις καθορισμένες οδούς απαγωγής, να μη φράζει τις επιφάνειες εκτόνωσης πίεσης και να μη δημιουργεί η ίδια πηγές ανάφλεξης ή κοιλότητες όπου συσσωρεύονται αέρια.

Ιόντα νατρίου: πολλά υποσχόμενα, αλλά όχι ακίνδυνα

Οι κυψέλες ιόντων νατρίου εμφανίζουν στις πρώτες συγκριτικές έρευνες ευνοϊκό προφίλ ασφάλειας: θερμοκρασίες έναρξης περίπου στο επίπεδο του LFP (τάξη μεγέθους 220–260 °C) και αισθητά χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες αερίων εκτόνωσης από ό,τι και οι δύο χημείες λιθίου. Επίσης, η δυνατότητα εκφόρτισης των κυψελών στα μηδέν βολτ για τη μεταφορά και την αποθήκευση μειώνει τους κινδύνους στον κύκλο ζωής.

Ωστόσο, και οι κυψέλες ιόντων νατρίου εκλύουν σε περίπτωση σφάλματος εύφλεκτα αέρια – με σημαντικά ποσοστά υδρογόνου, μονοξειδίου του άνθρακα και ατμών ηλεκτρολύτη. Επιπλέον, η βάση δεδομένων είναι ακόμη περιορισμένη: υπάρχουν μόλις λίγες ανεξάρτητες μελέτες και σχεδόν καθόλου δοκιμές πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας σε επίπεδο συστήματος. Για τον σχεδιασμό ισχύει επομένως: οι απαιτήσεις για θερμικό διαχωρισμό, απαγωγή αερίων και εκτόνωση πίεσης δεν πρέπει να μειώνονται γενικευμένα· αντίθετα, πρέπει να ζητούνται δεδομένα δοκιμών ειδικά για το έργο (π.χ. κατά UL 9540A) και η διαστασιολόγηση να στηρίζεται σε αυτά.

- NMC: σχεδιασμός του φράγματος πρωτίστως έναντι υψηλών θερμοκρασιών, θερμικής ροής και σωματιδίων
- LFP: έμφαση στην ανίχνευση αερίων, τον αερισμό, την εκτόνωση πίεσης και την κατασκευή χωρίς πηγές ανάφλεξης
- Ιόντα νατρίου: ευνοϊκό προφίλ, αλλά μείωση των απαιτήσεων σχεδιασμού μόνο βάσει αξιόπιστων δεδομένων δοκιμών
- Για όλες τις χημείες: η συμπεριφορά διάδοσης από τις εκθέσεις δοκιμών υπερισχύει των στοιχείων των φύλλων τεχνικών δεδομένων (TDS)

Συχνές ερωτήσεις

Χρειάζεται καν φράγμα πυρκαγιάς ένα σύστημα αποθήκευσης LFP;

Ναι. Το LFP αντιδρά λιγότερο βίαια από το NMC, εκλύει όμως σε περίπτωση σφάλματος ένα πλούσιο σε υδρογόνο, αναφλέξιμο μείγμα αερίων και, σε περίπτωση διάδοσης σε πολλές κυψέλες, μπορεί να εκλύσει σημαντική θερμότητα. Το φράγμα παραμένει απαραίτητο – συμπληρωμένο με συνεπή διαχείριση των αερίων μέσω ανίχνευσης, αερισμού και εκτόνωσης πίεσης.

Αποτελούν τα συστήματα αποθήκευσης ιόντων νατρίου τη λύση στο πρόβλημα της πυροπροστασίας;

Αποτελούν πρόοδο, όχι λευκή επιταγή. Οι πρώτες μελέτες δείχνουν υψηλότερες θερμοκρασίες έναρξης και ηπιότερες αντιδράσεις από ό,τι στο NMC, όμως και οι κυψέλες ιόντων νατρίου εκλύουν εύφλεκτα αέρια. Όσο οι δοκιμές πυρκαγιάς μεγάλης κλίμακας σε επίπεδο συστήματος σπανίζουν, ο σχεδιασμός της προστασίας πρέπει να παραμένει συντηρητικός και να στηρίζεται σε δεδομένα δοκιμών ειδικά για το έργο.

Μπορεί ένα φράγμα για συστήματα NMC να χρησιμοποιηθεί αμετάβλητο σε LFP;

Θερμικά είναι τότε συνήθως υπερδιαστασιολογημένο, λειτουργικά όμως ενδέχεται να είναι λανθασμένο: στο LFP μετρά κυρίως το να μην εμποδίζει το περίβλημα την απαγωγή αερίων και την εκτόνωση πίεσης και να μη δημιουργεί μη αεριζόμενες κοιλότητες. Η διαστασιολόγηση πρέπει πάντα να προκύπτει από την έκθεση δοκιμών που αφορά τη συγκεκριμένη χημεία και το συγκεκριμένο σύστημα.

Συζητήστε μαζί μας το έργο σας

Απάντηση εντός 24 ωρών, τις εργάσιμες ημέρες.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200

Διαβάστε online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/zellchemie-brandschutz