

Lần đầu gặp một dàn pin mặt trời nóng "lệch tông", tôi cứ tưởng đó là chuyện bình thường của mùa nắng. Nhưng rồi tiếng quạt inverter không nghe, mùi nhựa cháy lại đến, và nhiệt độ bề mặt trên một vài module cứ tăng đều như có ai cầm bếp áp sát.

Trong hệ điện năng lượng mặt trời, tấm pin nóng lên bất thường không chỉ là cảm giác "nóng hơn các tấm khác". Nó thường là dấu hiệu của một vấn đề thực tế: dòng chạy không đúng đường, điểm tiếp xúc kém, cell bị hỏng, hoặc module bị làm việc trong trạng thái mất cân bằng. Nếu để kéo dài, hậu quả có thể là suy giảm công suất nhanh, lão hóa sớm lớp encapsulant, cháy connector, nặng hơn là nguy cơ sự cố an toàn.

Bài viết này là câu chuyện thực địa về cách nhận diện, đo đạc, khoanh vùng và xử lý hiện tượng tấm pin nóng lên bất thường, theo kiểu làm nghề ngoài nắng, không phải theo sách vở.

Dấu hiệu nhận biết, trước khi sự cố trở thành "sự kiện"

Nhiều người chỉ quan tâm đến sản lượng, xem app hay đồng hồ thấy tụt công suất rồi mới lo. Nhưng với nhiệt bất thường, bạn thường có cơ hội "bắt sớm" nếu biết nhìn đúng thứ.

Tấm pin khỏe thường có độ ấm tăng theo nhiệt độ môi trường. Tuy nhiên, khi nói "nóng bất thường", thường xuất hiện một trong các biểu hiện sau:

Mảng nóng cục bộ, kiểu như một góc hoặc một dải dọc trên module nóng hơn phần còn lại. Nhiệt không tỏa đều mà tập trung tại vùng có bóng râm một phần, chỗ đấu nối, hoặc vùng bị nứt vi mô. Nếu bạn từng đi bảo trì sau vài mùa mưa, sẽ thấy những đường nhỏ như tóc trên kính hoặc lớp keo, nhiệt dễ "lộ mặt" ở đó.

Hoặc dàn pin nóng "cả cụm" nhưng lại đi kèm hiệu suất tụt khác thường, inverter phát cảnh báo lỗi string, hoặc xuất hiện hiện tượng tự giới hạn (derating) sớm. Cái này không phải lúc nào inverter báo thẳng tên lỗi, nhưng nhiệt thì báo trước.

Ngoài ra, có những dấu hiệu "địa phương" khiến tay nghề bắt phải chú ý: vỏ connector đổi màu, đầu cáp có dấu ố nâu, mùi nhựa nóng, bề mặt module có chấm đen nhỏ li ti. Chạm gần, bạn không cần chạm tay trực tiếp quá lâu, chỉ cần nhìn và ngửi là đủ để biết có cái gì đó đang chạy sai.

Tôi nhớ một ca ở xưởng nhỏ. Dàn 5 kWp chạy vẫn đều, đến buổi trưa nắng gắt thì một module ở cuối dãy nóng lên rõ rệt. Chủ nhà nói "chắc tấm đó chịu nắng thôi". Tôi đo thấy dòng string của module đó nhảy bất thường so với những module cùng nhóm, inverter vẫn chạy nhưng sản lượng thấp hơn dự kiến. Khi mở connector, chỉ cần

nhìn vết lõi đồng bị sạm và lỏng, là đủ hiểu: tiếp xúc kém tạo ra điện trở tại điểm nối, dòng đi qua sinh nhiệt cục bộ, và nhiệt cứ "ăn" dần vào nhựa bọc và encapsulant.

Vì sao tấm pin nóng lên: không phải do "nắng nhiều" theo nghĩa đơn giản

Pin mặt trời là thiết bị quang điện, dòng và điện áp phụ thuộc vào bức xạ, nhiệt độ cell, và đặc tính tải. Khi điều kiện làm việc lệch khỏi trạng thái bình thường của hệ, nhiệt sẽ nổi lên theo vài cơ chế chính.

1) Điểm nối kém và điện trở tiếp xúc tăng

Đây là nguyên nhân gặp nhiều nhất trong những ca "nóng cục bộ". Connector DC, đầu MC4, hoặc mối hàn, mối siết bu-lông liên kết thanh dẫn, nếu lắp không đúng lực siết, bấm dập sai, hoặc có bụi ẩm lọt vào, sẽ làm tăng điện trở tại điểm đó. Điện trở tăng thì nhiệt sinh ra tăng theo quy luật rất thẳng tay: công suất nhiệt tỷ lệ với bình phương dòng qua.

Kể cả khi nhà lắp đặt ban đầu làm đúng quy trình nhưng thi công ngoài trời, có thể gặp lỗi do rung, do kéo cáp căng, hoặc do bước lắp sau làm va chạm khiến connector bị cạy nhẹ. Một nửa mùa nắng chưa làm thành sự cố ngay, nhưng nhiệt cục bộ thì có thể tăng rõ chỉ sau vài tuần.

2) Bị mất cân bằng do mismatch string hoặc module có cell suy yếu

Các module trong cùng string thường được ghép dựa theo điều kiện cùng loại và cùng dải thông số. Nếu một module yếu hơn, dòng qua nó trong quá trình quét điểm làm việc (operating point) có thể chênh lệch. Khi có bypass diode, vấn đề có thể biểu hiện như nóng ở ranh giới liên quan tới vùng hoạt động bị bypass.

Mismatch cũng xuất hiện khi thay module không đúng chủng, hoặc thay một module sau sự cố nhưng không match tương đương. Kết quả là dàn vẫn chạy, nhưng chạy "không mượt", một vài tấm làm việc kém hơn và nhiệt tích tụ tại vùng liên quan.

3) Shading một phần, dù bóng nhỏ cũng đủ làm pin nóng

Bóng râm từ ăng-ten, cột, cạnh mái, hoặc chim đậu, có thể chỉ che một phần module. Nghe thì nhỏ, nhưng điện quang điện không "hiểu" cảm giác của con người. Nó biến trạng thái đó thành dòng không đồng nhất trên cell, thường kéo theo hoạt động của bypass diode và sinh nhiệt.

Tôi từng xử lý một hệ trên mái tôn. Chỉ có một đoạn mái lồi lên làm bóng râm lướt qua dãy pin vào khoảng 10 giờ sáng. Dàn chạy vẫn đủ điện, nhưng ba module ở ngay vùng bóng đó lúc nào cũng nóng hơn. Khi tháo và thay vị trí che chắn, nhiệt trở về bình thường, sản lượng ổn lại.

4) PID, sụt cách điện hoặc ẩm xâm nhập

PID (Potential Induced Degradation) là hiện tượng suy giảm do hiệu ứng điện thế và môi trường, thường làm nóng và gây mất ổn định cách điện. PID không phải lúc nào cũng khiến pin "nóng rõ rệt" bằng dấu hiệu mắt thường, nhưng trong một số hệ, người vận hành nhận ra dàn chạy yếu đi kèm hiện tượng tấm ấm bất thường.

Ẩm xâm nhập do ron kém, keo đóng gói lỏng theo thời gian, hoặc nước đọng ở cạnh frame cũng có thể làm tăng rò và tạo điểm nóng. Nếu hệ thống tiếp địa và cách điện không đạt, nguy cơ càng tăng.

5) Microcrack và hư hỏng cell, kính, hoặc encapsulant

Vết nứt vi mô trên cell đôi khi không làm tắt module ngay. Nhưng nó làm thay đổi đường dẫn dòng nội bộ. Dưới nắng mạnh, vết nứt có thể tạo "điểm nóng" do dòng chạy lệch. Kết quả là module nóng cục bộ và có thể tăng tốc suy giảm hiệu suất.

Lỗi này thường xuất hiện sau vận chuyển, lắp đặt trên mái rung, hoặc trong quá trình bảo trì kéo lê dây, đi lại không che chân đỡ. Nó không luôn "đổ ngay" thành cháy, nhiều khi nó âm ỉ cho tới khi bạn đo hoặc kiểm tra bằng camera nhiệt.

Cách kiểm tra đúng thứ tự, đừng lao vào sờ và vội thay

Khi thấy tấm pin nóng bất thường, tâm lý thường muốn làm ngay: tháo connector, cắt điện, hoặc thay cả string. Nhưng nếu làm vội, bạn có thể phá mất bằng chứng ban đầu hoặc làm phát sinh lỗi mới.

Điểm quan trọng là kiểm tra theo thứ tự: an toàn trước, sau đó xác định nguồn nhiệt, tiếp theo mới truy tìm nguyên nhân.

Trước tiên, luôn cắt DC tại combiner hoặc DC isolator (tùy cấu hình), đảm bảo inverter ở trạng thái an toàn và chờ xả điện. Nếu hệ có AFCI, lỗi có thể chưa hiển thị ở inverter ngay. Cứ coi an toàn là điều kiện tiên quyết.

Sau đó, nhìn bằng mắt: vùng nào đổi màu, có vết cháy sém, connector nào bị lỏng hoặc có dấu ố. Tiếp theo là đo bằng phương pháp phù hợp. Nhiều kỹ thuật viên chỉ dùng camera nhiệt, nhưng camera nhiệt mà không biết nhiệt độ nền và điều kiện bức xạ thì dễ suy diễn.

Trong thực tế, tôi thường làm theo một checklist gọn để khoanh vùng nhanh, ít "đụng bừa":

- Kiểm tra bằng mắt thường vị trí nóng hơn rõ rệt, ưu tiên vùng gần connector, dọc thanh busbar, và khu vực bị bóng râm một phần
- Chụp ảnh camera nhiệt để so sánh tương đối giữa các module trong cùng string tại cùng thời điểm
- Đo điện áp string DC khi hệ ở điều kiện ổn định, xem string nào lệch nhiều hơn các string khác
- Kiểm tra độ siết và tình trạng connector, nắp đầu cáp, dấu ẩm hoặc dấu sạm do quá nhiệt
- Nếu nghi rò cách điện hoặc PID, yêu cầu đo cách điện và kiểm tra tiếp địa theo tiêu chuẩn áp dụng cho hệ

Checklist này không thay cho quy trình của công ty, nhưng đủ để đi đúng đường khi bạn đang đứng trên mái giữa nắng.

Phân biệt "nóng vì môi trường" và "nóng vì lỗi" bằng cách nào

Nhiệt độ tấm tăng theo nhiệt độ môi trường và bức xạ. Một module ở trung tâm mái thường nóng hơn module rìa do gió và góc tới khác nhau. Vì vậy, để kết luận "bất thường" bạn cần so sánh.

Cách thực dụng: so sánh theo cụm. Cùng string thường chịu cấu hình giống nhau. Nếu một module nóng hơn hẳn những module cùng nhóm trong cùng khoảng thời gian, khả năng do lỗi nội tại hoặc điểm nối nằm ở module đó.

Một dấu hiệu nữa là xu hướng theo thời gian. Pin bình thường sẽ nóng dần rồi giảm khi mây kéo qua hoặc khi mặt trời xuống. Nếu module "đứng nhiệt" cao bất thường ngay cả khi bức xạ giảm, hoặc vẫn nóng sau khi bạn điều chỉnh mức tải, khả năng có điểm điện trở hoặc bypass diode đang hoạt động bất thường.



Nếu bạn có dữ liệu SCADA, hãy đối chiếu sản lượng theo thời gian. Lỗi do shading thường có mô hình rất "lặp lại": cùng khung giờ bóng chạy qua thì công suất tụt và nhiệt lên. Lỗi do connector kém thường ít lặp theo vị trí bóng, mà lặp theo module và tăng theo dòng chạy.

Khi camera nhiệt và số đo cùng kể một câu chuyện

Camera nhiệt là vũ khí mạnh, nhưng nó chỉ đáng tin khi bạn hiểu giới hạn.

Thứ nhất, camera nhiệt phụ thuộc vào hệ số phát xạ (emissivity). Kính và bề mặt khác nhau sẽ phản ánh khác nhau. Đừng chụp một tấm rồi kết luận tuyệt đối nhiệt độ mà không hiệu chỉnh. Chỉ nên dùng so sánh tương đối giữa các vị trí cùng loại bề mặt trong cùng ảnh.

Thứ hai, bề mặt quá nóng có thể làm sai cảm nhận "điểm nóng" do nắng phản xạ. Nếu trời lóa, nên chụp nhanh, cùng góc chụp, cùng thời điểm. Tôi thường chụp hai lần: một lần khi bức xạ cao và một lần ngay sau khi mây che. Nếu điểm nóng biến mất ngay khi giảm bức xạ, đó có thể là vấn đề vận hành. Nếu điểm nóng vẫn còn, đó có thể là lỗi điện trở cục bộ.

Kết hợp với số đo điện áp string, bạn sẽ có bức tranh rõ. Ví dụ, string có module lỗi thường có điện áp hoặc đường đặc tính lệch. Một số hệ không cho đo trực tiếp dòng string bằng đồng hồ thường, nhưng điện áp string, quan sát inverter báo lỗi, và so sánh giữa các string vẫn giúp khoanh vùng.

Nguyên nhân hay gặp nhất trong thực tế thi công và cách xử lý tương ứng

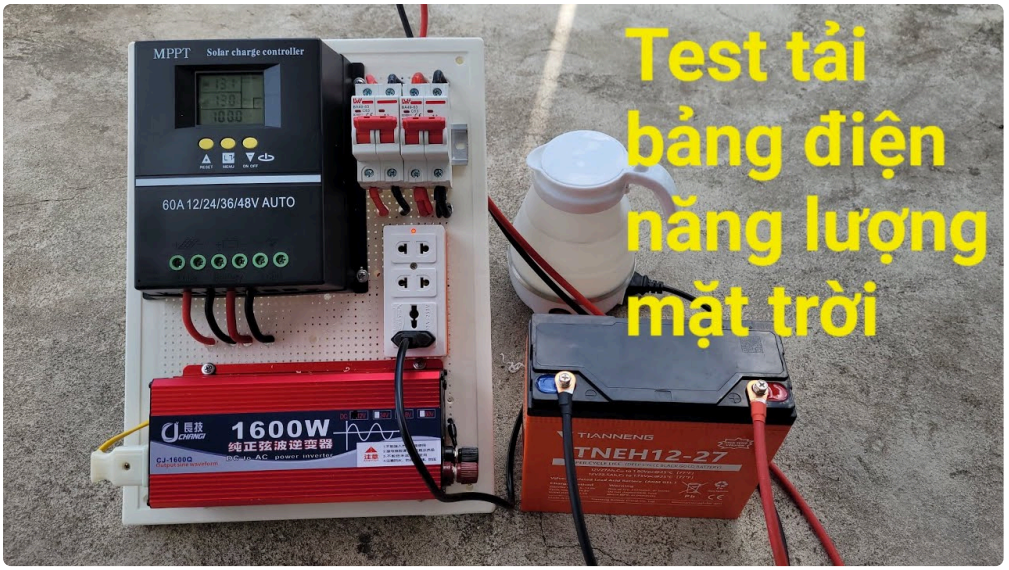
Điểm nóng ở connector hoặc cáp DC

Khi thấy nhiệt tập trung ở vị trí connector, xử lý thường bắt đầu bằng tháo kiểm tra. Nếu vết sạm đen, connector nóng chảy hoặc lõi bị oxy hóa, bạn không nên "lắp lại cho chạy". Thay mới toàn bộ đoạn connector và kiểm tra lại bấm cốt, lực kẹp, chiều cắm đúng, và tình trạng cáp có bị xước không.

Một lỗi ít được chú ý là thi công xong nhưng không cố định cáp, để gió rung làm connector vi chuyển động. Vi chuyển động tạo ra cọ xát, tăng oxy hóa và làm lỏng dần. Nhiều lần xử lý xong vẫn tái xuất nếu chỉ thay connector mà bỏ qua việc chống rung và bố trí đường cáp.

Nhiệt tập trung ở dãy module do bóng râm một phần

Nếu nhiệt đi theo đường bóng, bạn cần xử lý nguyên nhân tạo bóng, không chỉ che thêm. Thỉnh thoảng che bằng tấm bìa hoặc tôn phụ lại làm tăng nhiệt ở vị trí mới. Cách đúng hơn là điều chỉnh hướng, thay vị trí lắp, hoặc quản lý chướng ngại trên mái, ví dụ ăng-ten, ống gió, dây đi ngang.



Nếu bóng do cây hoặc công trình trong khu dân cư, cần kiểm tra theo mùa. Mùa mưa lá nhiều, mùa khô cây thưa, nhiệt bất thường cũng thay đổi theo.

Module có dấu hiệu hư cell hoặc kính, encapsulant xuống cấp

Với hư hỏng nội tại, bạn cần kiểm tra module dưới ánh nắng và quan sát dấu nứt. Nếu có dấu hiệu như đường nứt vi mô, chấm nóng lặp lại đúng vị trí, và điện áp module lệch, thường giải pháp là thay module. Cố "chữa chữa" bằng dán keo không phải lúc nào cũng hiệu quả và không an toàn.

Thực tế nghề cho thấy nhiều vấn đề chỉ biểu hiện khi có tải. Module có thể "ổn" lúc không đo ở điểm làm việc, nhưng khi chạy nắng gắt thì lộ nhiệt cục bộ. Vì vậy, kiểm tra phải có điều kiện tương tự khi sự cố xảy ra.

Nghi ngờ rò cách điện, PID hoặc cách điện không đạt

Nếu sau khi kiểm tra connector và bóng râm mà nhiệt vẫn bất thường, đặc biệt kèm theo lỗi inverter hoặc bất thường theo thời tiết ẩm, bạn nên chuyển sang kiểm tra cách điện và hệ thống tiếp địa. Nhiều sự cố thuộc nhóm này không chỉ là "tấm nóng", mà là hệ đang làm việc với điều kiện cách điện không tối ưu.

Việc xử lý thường liên quan đến kiểm tra tiếp địa, rà lại chống sét, cách bố trí dây, và đánh giá điều kiện môi trường. Đây không phải phần "tự làm cho nhanh" vì liên quan an toàn điện và đo đạc chuyên dụng.

Một ca thực địa: khi tấm nóng đến từ chuyện tưởng như nhỏ

Hệ của một khách ở ngoại ô có cấu hình khá chuẩn, lắp đặt gọn gàng, inverter chạy bình thường. Đến ngày trời nắng gắt, anh gọi vì thấy "một tấm" có cảm giác nóng khác.

Khi lên mái, tôi nhìn thấy đúng một module có dải nhựa quanh mép frame ố vàng nhẹ. Không cháy thành mảng lớn, nhưng nó đủ để biết nhiệt đã lên cao hơn mức bình thường. Camera nhiệt cho thấy vùng nóng tập trung sát mép nơi connector nối vào dây string.

Lúc kiểm tra connector, tôi thấy một dấu hiệu quen thuộc: đầu cắm không ngậm đều, và khi tách ra có vết sạm trên bề mặt lõi đồng bên trong. Tệ hơn, cáp bị kéo hơi căng, đặt vào tình trạng chịu lực lặp khi gió giật. Kết luận không cần kéo dài: điện trở tiếp xúc tăng, nhiệt sinh tại connector, và do cáp chịu lực mà lỗi lặp lại theo thời tiết.

Xử lý xong, thay connector, bố trí lại đường cáp có chùng hợp lý và cố định chống rung, đồng thời vệ sinh khu vực lắp để tránh bụi ẩm. Hai tuần sau, nhiệt trở lại bình thường và sản lượng không còn tụt ở khung giờ cao điểm.

Tôi kể ca này vì nó nhắc một bài học nghề: đôi khi nguyên nhân nằm ở thứ nhỏ hơn cả module, nhưng hậu quả thì lại rất rõ trên bề mặt pin.

Các quyết định kỹ thuật nên cân nhắc trước khi thay thế hàng loạt

Khi gặp tấm nóng bất thường, cảm giác "thay cả dàn cho xong" rất dễ xuất hiện. Nhưng thay theo cảm xúc thì tốn tiền và đôi khi che mất nguyên nhân gốc.

Bạn nên cân nhắc theo dấu hiệu:

Nếu nhiệt tập trung đúng một hoặc vài module và đi kèm điện áp lệch string, thường ưu tiên kiểm tra module đó, connector đó, và chướng ngại bóng tại vị trí đó.

Nếu nóng nằm ở toàn cụm hoặc nhiều string có dấu hiệu tương tự, có thể vấn đề đến từ thiết kế hoặc vận hành: đấu nối sai thông số, mismatch dây, lỗi combiner, hoặc điều kiện cách điện. Khi đó, xử lý theo "điểm" có thể không đủ.

Nếu hệ mới lắp, nhiệt bất thường xuất hiện sớm, thường liên quan thi công: bấm cốt không chuẩn, siết lực không đạt, hoặc đi cáp chịu lực. Hệ đã vận hành lâu thì xác suất hư hỏng theo thời gian, connector lão hóa, hoặc nước xâm nhập tăng lên.

Không có một công thức duy nhất. Làm nghề nhiều sẽ cho bạn thói quen: đo, so sánh, khoanh vùng, rồi mới quyết.

Phòng ngừa để không phải leo mái lần nữa

Phần phòng ngừa thường bị xem nhẹ vì nó không tạo cảm giác "đang giải quyết sự cố". Nhưng nếu bạn đã từng đứng lắp đặt điện mặt trời giữa nắng và nghe tiếng mùi nhựa nóng, bạn sẽ hiểu vì sao phòng ngừa đáng tiền.

Dưới đây là những việc thực tế giúp giảm rủi ro tấm nóng bất thường khi vận hành dài ngày:

- Dùng connector, cáp DC và quy trình bấm cốt đúng chuẩn, kiểm tra độ kín nước và cố định chống rung sau lắp đặt
- Thiết kế đường cáp có chùng hợp lý, tránh kéo căng gây lực lên đầu cắm và thanh busbar
- Kiểm tra bóng râm theo mùa, đặc biệt khu vực gần rìa mái, đường ống và vật thể gắn thêm
- Bảo trì định kỳ bằng vệ sinh và kiểm tra trực quan vùng connector, frame, và dấu hiệu ố sạm, nứt vi mô
- Nếu khu vực ẩm cao, xem xét kiểm tra cách điện, tiếp địa và tình trạng cách chống sét theo chu kỳ phù hợp

Phần phòng ngừa quan trọng nhất đôi khi lại nằm ở hậu thi công: cố định cáp và giảm rung. Trong nhiều hệ, gió không chỉ thổi qua mái, nó còn "làm việc" lên connector theo cách khiến bạn phải trả giá sau vài mùa.

Những hiểu lầm khiến người ta xử lý sai

Có vài hiểu lầm xuất hiện liên tục trong các buổi tiếp nhận bảo trì:

Một là nghĩ rằng tấm càng nóng thì càng "ra nhiều điện". Thực tế, nhiệt cao thường làm giảm hiệu suất chuyển đổi quang điện. Module hoạt động kém hơn, dòng và điện áp thay đổi theo nhiệt độ cell, và nếu nhiệt do lỗi điện trở thì còn nguy hiểm hơn.

Hai là cứ thấy giảm sản lượng là quy ngay lỗi inverter. Inverter hiển thị theo điều kiện hệ, nhưng nhiệt bất thường nhiều khi xuất phát từ một module hoặc string. Nếu chỉ thay inverter thì bạn không giải quyết nguồn sinh nhiệt.

Ba là chỉ vệ sinh bề mặt mà bỏ qua kiểm tra connector. Bụi bẩn có thể làm giảm hiệu suất, nhưng bụi bẩn thường tạo vấn đề về sản lượng và phân bố nhiệt đều hơn. Còn nóng cục bộ gần connector thường là dấu hiệu của điện trở tiếp xúc hoặc lỗi đấu nối.

Khi nào cần dừng vận hành và gọi đội chuyên môn

Nếu bạn ngửi thấy mùi nhựa cháy, thấy vết cháy sém trên connector, hoặc thấy module có dấu hiệu biến dạng, nứt sâu, hoặc bong tróc tại encapsulant, đừng cố chạy để "xong kỳ nắng". Hãy ưu tiên an toàn và khoanh vùng.

Một số trường hợp có thể chỉ là nhiệt cục bộ do bóng râm, xử lý nhanh sẽ ổn. Nhưng khi có dấu hiệu cháy sém, đó không còn là bài toán tối ưu hiệu suất nữa, mà là rủi ro an toàn điện và nguy cơ lan nhiệt.

Với các hệ điện năng lượng mặt trời, đặc biệt dàn trên mái tôn hoặc mái có vật liệu dễ cháy, nhiệt bất thường không phải chuyện xem nhẹ. Nếu bạn không có thiết bị đo cách điện và camera nhiệt, hoặc không có quy trình cắt DC an toàn, hãy để đội có kinh nghiệm xử lý. Thi công và lắp đặt điện năng lượng mặt trời vốn đã đòi hỏi kỷ luật, bảo trì cũng vậy.

Lắp đặt và vận hành: chất lượng không chỉ nằm ở lúc nghiệm thu

Trong nhiều hợp đồng, mọi người tập trung vào nghiệm thu ban đầu: điện áp, dòng, sản lượng dự kiến. Nhưng hiện tượng tấm pin nóng lên bất thường là bài kiểm tra dài hạn của chất lượng thi công và sự phù hợp điều kiện thực tế.

Một hệ làm tốt ngay từ đầu thường cho bạn sự yên tâm: connector được bấm đúng, cáp được cố định hợp lý, đi tuyến không bị rung, module được chọn cùng dải thông số, và bố trí giảm bóng râm. Khi chạy lâu, nhiệt vẫn tăng theo nắng, nhưng không "đột biến" theo điểm.

Còn hệ có chi tiết thi công sơ sài, chỉ cần một lỗi nhỏ tại điểm nối, theo thời gian sẽ trở thành nóng lên bất thường và có thể kết thúc bằng sự cố khó chịu. Tôi xem đây là bài học nghề: điện năng lượng mặt trời nhìn thì tĩnh, nhưng vận hành là một quá trình liên tục, mọi điểm tiếp xúc đều có câu chuyện của nó.

Nếu bạn đang khai thác hoặc vận hành hệ, hãy coi việc quan sát nhiệt như một thói quen. Một lần phát hiện sớm có thể tránh được cả một đợt thay thế tốn kém. Và nếu bạn đang cân nhắc lắp đặt điện năng lượng mặt trời, hãy chọn đơn vị chú ý cả những thứ "nhỏ": connector, lực siết, chống rung, và đường đi cáp. Chính những thứ đó thường quyết định tấm pin có bao giờ nóng lên bất thường hay không.