



Série SolarPega & SolarPegaF

Manual de Operação e Manutenção de Módulo Fotovoltaico Leve-Rígido

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

Data de Publicação: 2026-05-09 | Versão: ZKFN-ATSD-LG-OMM-342

Índice

1. Visão Geral do Manual, Direitos e Responsabilidades	- 3 -
1.1 Âmbito de Aplicação	- 3 -
1.2 Isenção de Responsabilidade	- 3 -
1.3 Escopo de Responsabilidade	- 3 -
1.4 Termos de Garantia	- 4 -
1.5 Informações de Suporte Técnico	- 4 -
2. Procedimentos Operacionais de Segurança para O&M	- 4 -
2.1 Avisos Gerais de Segurança	- 4 -
2.2 Requisitos de Segurança do Pessoal de O&M	- 5 -
2.3 Atividades de O&M Proibidas.....	- 6 -
3. Especificações de Inspeção de O&M	- 7 -
3.1 Requisitos Gerais de O&M.....	- 7 -
3.2 Frequência e Itens de Inspeção	- 9 -
3.3 Inspeções Especiais.....	- 10 -
4. Limpeza dos Módulos Fotovoltaicos	- 10 -
4.1 Determinação da Frequência e Momento da Limpeza	- 10 -
4.2 Requisitos de Qualidade da Água para Limpeza	- 11 -
4.3 Procedimento Padrão de Limpeza.....	- 11 -
4.4 Requisitos de Inspeção Pós-Limpeza	- 12 -
5. Diagnóstico de Falhas Comuns e Solução de Problemas	- 13 -
5.1 Degradação Anormal da Potência do Módulo	- 13 -
5.2 Efeito de Ponto Quente no Módulo	- 14 -
5.3 Falhas na Fiação e Conectores dos Módulos.....	- 15 -
5.4 Diagnóstico de Falhas no Lado do Inversor e em Nível de String.....	- 16 -
6. Reparo e Substituição de Módulos.....	- 16 -
6.1 Requisitos Gerais para Substituição de Módulos	- 16 -
6.2 Procedimento de Substituição para Módulos Montados com Adesivo	- 17 -
6.3 Procedimento de Substituição para Módulos Montados com Grampos/Suportes	- 18 -
6.4 Verificação do Sistema Após a Substituição do Módulo	- 19 -
7. Medidas de Resposta a Emergências	- 19 -



7.1 Resposta a Emergências para Vazamento Elétrico do Módulo.....	- 19 -
7.2 Resposta a Emergências de Incêndio em Módulos.....	- 19 -
7.3 Resposta a Emergências de Clima Extremo.....	- 20 -
8. Registros de O&M e Gestão de Arquivos.....	- 21 -
8.1 Sistema de Gestão de Registros de O&M.....	- 21 -
8.2 Classificação e Arquivamento.....	- 22 -
8.3 Relatório Anual de O&M.....	- 22 -
9. Apêndice.....	- 23 -
9.1 Perguntas Frequentes (FAQ).....	- 23 -
9.2 Lista de Verificação de Ferramentas e Instrumentos Comuns de O&M.....	- 24 -
9.3 Suporte Técnico e Informações de Contato.....	- 25 -
9.4 Notas de Revisão do Manual.....	- 25 -

1. Visão Geral do Manual, Direitos e Responsabilidades

1.1 Âmbito de Aplicação

Este manual é o documento oficial de orientação de O&M emitido pela Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd. (doravante denominada "ZKFN SOLAR") para as séries SolarPega (SolarPega, SolarPegaL) e SolarPegaF (SolarPegaF, SolarPegaFL) de módulos fotovoltaicos TOPCon de silício cristalino rígido e leve (doravante denominados "Módulos"). Este manual abrange todos os aspectos operacionais ao longo de todo o ciclo de vida do sistema fotovoltaico após a comissionamento conectado à rede, incluindo: inspeção de rotina e testes especializados, limpeza de módulos, diagnóstico e localização de falhas, reparo e substituição de módulos, resposta a emergências e gerenciamento de registros de O&M.

Este manual destina-se a integradores de sistemas, empreiteiros gerais EPC, provedores de serviços de O&M e pessoal profissionalmente qualificado envolvido na operação e manutenção das séries de módulos mencionadas acima. Qualquer pessoa responsável pela operação, inspeção ou reparo deste produto é obrigada a ler, compreender totalmente e cumprir rigorosamente todas as disposições deste manual antes de iniciar o trabalho. O não cumprimento dos procedimentos operacionais, precauções de segurança e especificações técnicas estabelecidas neste manual pode resultar em ferimentos pessoais graves ou danos materiais. A operação e manutenção de módulos fotovoltaicos exigem habilidades profissionais e só podem ser realizadas por pessoal qualificado com a certificação adequada. A entidade de O&M deve fornecer notificação por escrito das diretrizes de segurança e manutenção contidas neste manual ao cliente final.

1.2 Isenção de Responsabilidade

A ZKFN SOLAR reserva-se o direito de modificar este manual sem aviso prévio devido a atualizações de tecnologia do produto, melhorias de processo ou atualizações de normas. A versão mais recente deste manual será publicada simultaneamente no centro de download do site oficial da ZKFN SOLAR. Clientes e partes de O&M são responsáveis por verificar proativamente e garantir o uso da versão mais recente. Qualquer desvio operacional resultante do uso de uma versão desatualizada deste manual será de responsabilidade exclusiva do usuário.

O não cumprimento pelo cliente dos requisitos estabelecidos no manual de O&M (incluindo alterações publicadas no site oficial da ZKFN SOLAR durante o período de O&M) durante a operação e manutenção dos módulos resultará na anulação da garantia limitada do produto fornecida ao cliente.

A ZKFN SOLAR não oferece garantia, expressa ou implícita, em relação a qualquer informação contida neste manual. Usuários e pessoal de O&M devem realizar levantamentos técnicos no local do projeto para garantir que os métodos de O&M adotados estejam em conformidade com as leis, regulamentos e códigos de construção locais.

1.3 Escopo de Responsabilidade

Independentemente de a O&M dos módulos ser realizada de acordo com as instruções deste manual, a ZKFN SOLAR não assume responsabilidade legal por qualquer dano decorrente do processo de O&M (incluindo, mas não se limitando a, ferimentos pessoais e danos materiais resultantes do manuseio dos módulos e manutenção do sistema).

Em caso de discrepância entre diferentes versões linguísticas deste manual, a versão em chinês prevalecerá.



Este manual é fornecido exclusivamente para orientação operacional de O&M. Nenhuma declaração neste manual, expressa ou implícita, constituirá um certificado de garantia.

1.4 Termos de Garantia

Todos os produtos das séries SolarPega e SolarPegaF da ZKFN SOLAR são cobertos por uma garantia de produto de 15 anos e uma garantia de potência linear de 30 anos. A cobertura específica da garantia, os procedimentos de reclamação e as cláusulas de exclusão serão regidos pelo documento oficial de garantia fornecido no momento da compra do produto.

Os principais materiais auxiliares utilizados com os módulos, incluindo grampos, adesivos estruturais e conectores compatíveis com MC4, devem utilizar modelos de especificação recomendados ou certificados pela ZKFN SOLAR para garantir a compatibilidade, confiabilidade e segurança geral do sistema. Danos ao produto ou sistema causados pelo uso de hardware não certificado não são cobertos pela garantia.

1.5 Informações de Suporte Técnico

Para documentação de suporte técnico mais detalhada, coordenação de soluções específicas de projeto ou assistência com problemas anormais de O&M, entre em contato com a ZKFN SOLAR através dos seguintes canais oficiais:

Linha Direta de Atendimento: (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)

E-mail de Suporte Técnico: tech-support@zkfnsolar.com

Site Oficial: www.zkfnsolar.com

Endereço da Base de Fabricação: Building 1, Xinshenglin, Lvhaihui Intelligent Manufacturing Industrial Park, Zona de Desenvolvimento Econômico de Jining, Cidade de Jining, Província de Shandong

2. Procedimentos Operacionais de Segurança para O&M

2.1 Avisos Gerais de Segurança

1. Todo o trabalho de O&M deve ser executado em total conformidade com as regulamentações locais e regionais, bem como com as normas elétricas nacionais ou internacionais aplicáveis.
2. Perigo de Choque Elétrico e Queimadura: Os módulos fotovoltaicos são dispositivos geradores de energia CC. Quando suas superfícies são expostas à luz, a tensão CC estará presente nos terminais positivo e negativo e nos conectores, mesmo que não estejam conectados a um circuito. A tensão de um arranjo fotovoltaico composto por vários módulos conectados em série pode atingir níveis que colocam em risco a segurança pessoal. É proibido que pessoas que não tenham recebido treinamento profissional ou autorização toquem nos terminais, conectores ou partes energizadas expostas do módulo de qualquer forma. O contato com componentes energizados pode resultar em queimaduras graves ou choque elétrico fatal.
3. Proibição de Operações de Interrupção com Carga: Antes de executar qualquer trabalho de substituição de módulo, cabeamento ou modificação do sistema, é essencial primeiro garantir que os sistemas do lado CC e do lado CA estejam completamente desenergizados, e implementar medidas rigorosas de verificação de desenergização e anti-religamento. É proibido, em qualquer circunstância, desconectar conectores ou conexões elétricas sob carga. A desconexão com carga gerará um arco CC perigoso e destrutivo, que pode causar incêndio, danos ao equipamento e ferimentos pessoais graves.

4. Manuseio de Módulos Danificados: Módulos encontrados com danos de aparência durante as inspeções de O&M (incluindo, mas não se limitando a, penetração na superfície, trincas, arranhões no backsheet com penetração, trincas na caixa de junção ou entrada de água interna) devem ser imediatamente isolados e programados para substituição. Módulos danificados são irreparáveis e apresentam um risco extremamente alto de fuga de corrente elétrica e choque elétrico, pois seu desempenho de isolamento falhou completamente. É proibido, por qualquer motivo, desmontar módulos, remover componentes do módulo ou modificar a fiação dos diodos de bypass. As tampas da caixa de junção do módulo devem permanecer firmemente fechadas em todos os momentos.
5. Risco de Curto-Circuito Positivo-Negativo: É proibido conectar diretamente os conectores positivo e negativo de um único módulo, pois isso causará um curto-circuito no módulo. Antes de executar trabalhos de O&M, todas as tampas de isolamento dos conectores ou anéis de vedação devem ser inspecionados e confirmados como intactos e devidamente assentados, para evitar curtos-circuitos causados por falha de isolamento, que podem levar a riscos de incêndio ou choque elétrico.
6. Limites de Parâmetros Ambientais e Elétricos: A faixa de temperatura ambiente operacional estável projetada para os módulos é de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$. A tensão máxima de circuito aberto do sistema sob qualquer temperatura ambiente mínima esperada não deve exceder a tensão máxima do sistema de CC 1500V indicada na etiqueta do produto do módulo. A operação além dos parâmetros nominais é proibida durante a O&M.
7. Segurança contra Incêndio: Se ocorrer um incêndio no local de O&M, em condições seguras para fazê-lo e sem risco para o pessoal, a fonte de alimentação de todo o sistema fotovoltaico (incluindo os lados CC e CA) deve ser desconectada primeiro. Posteriormente, o combate a incêndio deve ser conduzido de acordo com os códigos de incêndio elétrico usando agentes extintores não condutores, como pó químico seco ou dióxido de carbono. É proibido pulverizar diretamente água ou espuma nos módulos e no sistema elétrico sem primeiro desconectar a fonte de alimentação.
8. Classe de Aplicação e Aviso: Esta série de módulos é Classe de Aplicação A (equivalente à IEC 61730-1 Classe de Segurança II), adequada para sistemas acessíveis ao público. Quando a tensão de circuito aberto do sistema exceder 50V, de acordo com as normas de segurança, avisos proeminentes de "Perigo: Choque Elétrico" devem ser afixados perto dos dispositivos de conexão da string e em locais de fácil acesso, como inversores.

2.2 Requisitos de Segurança do Pessoal de O&M

1. Requisitos de Qualificação: Todo o pessoal responsável pela operação, inspeção e reparo de sistemas fotovoltaicos deve ter concluído o treinamento profissional de O&M de sistemas fotovoltaicos, possuir certificados de qualificação relevantes válidos (incluindo, mas não se limitando a, certificado de eletricista de baixa tensão, certificado de eletricista de alta tensão, certificado de trabalho em altura) e estar completamente familiarizado com todas as especificações de segurança neste manual e regulamentações governamentais locais relevantes.
2. Regra de Trabalho em Dupla: Para minimizar os riscos associados a operações individuais (como choque elétrico acidental, queda de altura, etc.), todas as inspeções no local, limpeza, reparos e trabalhos de fiação devem ser realizados por pelo menos duas pessoas trabalhando juntas. Operações individuais de alto risco são proibidas.
3. Equipamento de Proteção Individual (EPI): O pessoal de O&M deve usar corretamente equipamentos de proteção individual certificados durante as operações, incluindo, mas

não se limitando a: luvas de proteção antiderrapantes, roupas de trabalho isolantes de manga longa e sapatos isolantes antiesmagamento. Ao trabalhar em bordas de telhados ou em qualquer área onde exista risco de queda (diferença de altura superior a 2 metros), um cinto de segurança de absorção de choque com gancho duplo deve ser usado em todos os momentos e fixado com segurança a uma linha de vida ou ponto de ancoragem instalado de forma independente. Além disso, guarda-corpos ou redes de segurança devem ser instalados abaixo da superfície de trabalho.

4. Ferramentas e Joias: Somente ferramentas que atendam aos padrões de segurança e sejam devidamente isoladas podem ser usadas durante o trabalho. É proibido usar qualquer joia de metal (como relógios, anéis, colares, pulseiras, etc.) durante o serviço. Tais itens podem causar condução de corrente não intencional, levando a riscos de curto-circuito, ou podem arranhar a superfície do módulo durante o trabalho.
5. Clima Adverso: Inspeções externas, limpeza ou trabalhos de reparo de qualquer tipo são proibidos em condições de chuva, neve, neblina ou tempestade, ou quando a velocidade instantânea do vento no local atingir ou exceder o Nível 4 (aproximadamente 7,9 m/s). Ambientes úmidos aumentam significativamente o risco de choque elétrico. O pessoal de O&M deve garantir que todos os módulos, ferramentas e pontos de conexão elétrica estejam em condições limpas e secas antes de iniciar o trabalho.
6. Controle de Área: Sinais de aviso claros e barreiras devem ser instalados no local de O&M e nas áreas de armazenamento de módulos. É proibida a entrada de pessoal não autorizado, crianças ou outros indivíduos irrelevantes para evitar acidentes.
7. Proteção contra Exposição à Luz: Em todos os momentos, mesmo quando os módulos ainda não foram conectados a um sistema completo, eles constituem uma fonte de energia enquanto estiverem expostos à luz. É proibido tocar diretamente na caixa de junção, nas extremidades dos cabos ou nos contatos metálicos dentro dos conectores com as mãos nuas, sem medidas de proteção.

2.3 Atividades de O&M Proibidas

Para garantir o desempenho do módulo, a segurança pessoal e a validade da garantia, as seguintes atividades são estritamente proibidas durante as operações de O&M:

1. Danos Físicos e Revestimentos: É proibido usar objetos pontiagudos para arranhar, golpear, dobrar ou impactar as superfícies frontal e traseira dos módulos. É proibido aplicar tinta, adesivos, fita adesiva ou qualquer tipo de revestimento em qualquer área da superfície do módulo. É proibido perfurar, cortar ou lixar qualquer parte do módulo (a menos que se obtenha confirmação prévia por escrito do pessoal técnico profissional da ZKFN SOLAR).
2. Danos a Cabos e Conectores: É proibido arranhar, cortar, esmagar ou puxar os cabos e conectores instalados de fábrica do módulo de qualquer maneira. É proibido expor cabos e conectores à luz solar direta ou à água por períodos prolongados sem proteção adequada.
3. Manuseio e Pressão Inadequados: É proibido levantar, carregar ou arrastar módulos segurando pela caixa de junção, cabos de saída ou conectores. Os módulos devem ser carregados com ambas as mãos apoiando a parte inferior. É proibido aplicar pressão inadequada, ficar em pé, andar, subir ou pular sobre a superfície do módulo. É proibido permitir que os módulos colidam, esfreguem ou impactem qualquer objeto duro ou pontiagudo.

4. Concentração Artificial de Luz: É proibido usar espelhos, lupas, lentes ou outros dispositivos ópticos para concentrar luz solar adicional ou luz artificial na superfície do módulo.
5. Imersão em Água e Empilhamento: É proibido colocar módulos por períodos prolongados ou permanentemente em ambientes onde a água possa se acumular ou onde estejam continuamente expostos à umidade. Durante todas as etapas de armazenamento, manuseio e O&M, é proibido colocar módulos com a face voltada para baixo, empilhar módulos uns sobre os outros ou aplicar cargas compressivas nos módulos.
6. Matéria Estranha na Superfície e Sombreamento: É proibido aplicar adesivo estrutural, selante ou qualquer substância estranha na área efetiva de captação de luz das células do módulo durante a O&M. Após a conclusão da O&M, todos os cabos de saída e cabos de jumper devem ser roteados de forma clara e fixados de forma confiável. É proibido que condutores, grampos ou outros objetos sombreiem a área efetiva de captação de luz das células.
7. Fontes de Poluição e Fontes de Ignição: É proibido instalar saídas de emissão contínua ou aberturas de exaustão para vapores de óleo, poeira ou gases quimicamente corrosivos ao redor dos módulos. É proibido armazenar fontes de chama aberta ou materiais inflamáveis e explosivos próximos aos módulos.
8. Carregamento Inadequado: Após concluir as inspeções de O&M, é proibido colocar qualquer objeto pesado, ferramenta ou objeto com fulcros pontiagudos na superfície do módulo, para evitar danos induzidos por estresse de longo prazo.
9. Prevenção de Afrouxamento: Os módulos devem permanecer sempre em condição de fixação segura para suportar todas as cargas potenciais (incluindo cargas de vento e neve). O afrouxamento do módulo que puxa os cabos de conexão, levando a falha de isolamento, fuga elétrica e arco elétrico, é uma fonte de risco significativa para sistemas fotovoltaicos distribuídos.
10. Proibição de Desmontagem: É proibido desmontar módulos ou remover qualquer parte componente dos módulos. Caixas de junção danificadas e conectores danificados representam riscos potenciais de choque elétrico e risco de laceração.

3. Especificações de Inspeção de O&M

3.1 Requisitos Gerais de O&M

3.1.1 Gestão de Prevenção de Sombreamento

Durante a operação de módulos fotovoltaicos rígidos leves, é estritamente proibido o sombreamento parcial ou total por sombras (incluindo, mas não se limitando a cabos, terminais, tampas de ventilação, equipamentos de monitoramento, inversores, sombras de árvores, parapeitos, guarda-corpos, etc.). Durante as inspeções de O&M, novas fontes de sombreamento devem ser minuciosamente investigadas e prontamente removidas.

Após eventos de chuva ou neve, a superfície do módulo deve ser inspecionada em até 24 horas, e o acúmulo de poeira na superfície do módulo deve ser enxaguado para evitar que a poeira se misture com a água da chuva, formando manchas de lama que permanecem na superfície do módulo, causando sombreamento localizado severo.

Siga uma combinação de inspeção de rotina e testes especializados. Realize periodicamente uma triagem visual para sombreamento por detritos, integridade da aparência do módulo e condição da caixa de junção. Remova prontamente objetos de sombreamento localizados,

como poeira superficial e fezes de pássaros. Implemente medidas eficazes de prevenção de sombreamento e acúmulo de poeira para a usina.

3.1.2 Inspeção de Segurança da Estrutura de Montagem

1. Método de Colagem com Adesivo Estrutural: Em cada inspeção, a condição das áreas coladas deve ser verificada para determinar se há abertura do adesivo, descolamento, levantamento de cantos ou bordas. Concentre a inspeção na qualidade da colagem nos quatro cantos e nas áreas das bordas dos módulos. Quaisquer anomalias encontradas devem ser prontamente registradas e programadas para reparo.
2. Método de Fixação com Grampos/Suportes: Em cada inspeção, a firmeza dos grampos e suportes e o aperto dos parafusos devem ser verificados. Ao mesmo tempo, o estado de segurança das estruturas de suporte relevantes do edifício deve ser examinado. Para parafusos M8 usados na fixação dos grampos, o torque de aperto deve ser mantido na faixa de 15~20 N·m.

Nota: Os módulos rígidos leves ZKFN SOLAR podem ser pisados para manutenção sob condições específicas, sem causar danos aos módulos, resolvendo os desafios de acesso na O&M de módulos leves. Para condições e requisitos específicos de pisabilidade, consulte o Manual de Instalação do Módulo Fotovoltaico ZKFN SOLAR SolarPega e SolarPegaF Series.

3.1.3 Inspeção de Segurança Elétrica

1. Concentre-se em inspecionar a integridade da vedação das conexões e o aperto dos conectores fotovoltaicos, e investigue se os cabos CC apresentam sinais de danos, envelhecimento, compressão ou tensão.
2. Verifique a consistência da especificação e do modelo dos conectores fotovoltaicos. Se os conectores fotovoltaicos utilizados não corresponderem aos conectores originais dos módulos fotovoltaicos em especificação ou modelo, isso pode facilmente causar folga excessiva na interface de encaixe e falha na estrutura de vedação, permitindo que umidade e poeira externas invadam a cavidade do conector, resultando em oxidação e corrosão dos pinos internos, aumento da resistência de contato, levando a aquecimento anormal do conector, queima por arco elétrico e representando sérios riscos de segurança.

Aviso: Em todo o lado CC de todo o sistema fotovoltaico — desde os cabos de saída instalados de fábrica nos módulos, jumpers fabricados em campo (cabos de extensão de strings), até os terminais de entrada de caixas de combinação e inversores — em qualquer posição onde sejam necessárias conexões de plugue, deve-se garantir que os conectores macho e fêmea sejam do mesmo fabricante e pertençam à mesma série de modelo de produto.

3.1.4 Prevenção de Pontos Quentes

Realize inspeções de termografia infravermelha periodicamente. Para pontos quentes leves (diferença de temperatura < 20°C), realize monitoramento de rastreamento e registre a tendência de mudança. Módulos com pontos quentes severos de alta temperatura (diferença de temperatura ≥ 20°C) devem ser imediatamente retirados de serviço e programados para substituição. Elimine a operação de módulos com falhas, previna riscos de incêndio por alta temperatura e garanta a geração de energia segura e estável do arranjo.

3.1.5 Proibição de Desmontagem de Módulos

Os módulos fotovoltaicos são equipamentos elétricos hermeticamente integrados, e a desmontagem em campo apresenta múltiplos riscos incontroláveis. É estritamente proibido que qualquer pessoa desmonte painéis frontais de módulos, caixas de junção, backsheets,

células internas ou outros componentes no local de operação e manutenção ou durante processos de reparo. Não é permitida a remoção não autorizada das estruturas de vedação instaladas de fábrica e dos pontos de conexão elétrica do módulo.

3.2 Frequência e Itens de Inspeção

3.2.1 Itens de Inspeção Mensal

Uma inspeção abrangente do sistema fotovoltaico deve ser realizada pelo menos uma vez por mês por pessoal de operação e manutenção treinado e profissional. Durante as operações, o pessoal de inspeção deve usar luvas isolantes de borracha e botas isoladas em todos os momentos. As inspeções mensais devem incluir os seguintes itens:

- ✧ Verificação de Limpeza da Superfície do Módulo: Inspeccione visualmente a superfície receptora de luz do módulo quanto a poeira, fezes de pássaros, manchas de óleo e outros contaminantes; determine se operações de limpeza precisam ser agendadas.
- ✧ Verificação da Integridade da Aparência do Módulo: Inspeccionar os módulos um a um quanto a trincas, quebras, arranhões, deformações, descoloração, delaminação, bolhas e outras anomalias na superfície do módulo
- ✧ Inspeção de Objetos de Sombreamento: Verificar novas fontes de sombreamento sobre e ao redor das superfícies dos módulos (crescimento de árvores, novas estruturas, acúmulo de fezes de pássaros, etc.)
- ✧ Inspeção da Caixa de Junção e Conector: Verificar se as caixas de junção estão seguras, se as tampas estão bem fechadas, se os conectores estão totalmente encaixados e se há sinais de marcas de queimadura por arco elétrico
- ✧ Inspeção de Cabos e Fiação: Verificar se os cabos de conexão entre módulos estão soltos, envelhecidos ou danificados; se as amarrações dos cabos estão em boas condições; e se o roteamento dos cabos está em conformidade
- ✧ Inspeção da Estrutura de Montagem: Para o método adesivo, verificar a condição de colagem dos módulos (abertura do adesivo, descolamento, levantamento de cantos); para o método de grampo, verificar o aperto dos grampos/fixadores
- ✧ Verificação de Dados de Monitoramento: Verificar através do sistema de monitoramento se os dados de corrente, tensão e potência das strings estão dentro das faixas normais; sinalizar strings anormais

3.2.2 Itens Adicionais de Inspeção Trimestral

Além de completar todos os itens de inspeção mensal, as seguintes inspeções especializadas devem ser adicionadas a cada trimestre:

- ✧ Varredura Abrangente por Imagem Térmica Infravermelha: Usar uma câmera de imagem térmica infravermelha para realizar a varredura de pontos quentes em todos os módulos, bloco por bloco, registrando pontos de anomalia de temperatura
- ✧ Inspeção de Fusíveis e Dispositivos de Proteção do Arranjo: Verificar se os fusíveis, disjuntores e chaves seccionadoras do lado CC estão funcionando normalmente
- ✧ Inspeção do Sistema de Drenagem: Verificar se as calhas e condutores de drenagem do telhado estão desobstruídos e se há riscos de acúmulo de água ao redor dos módulos
- ✧ Inspeção do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas e Aterramento: Verificar se as conexões dos condutores de descida do aterramento estão seguras e se os valores de resistência de aterramento estão dentro da faixa especificada
- ✧ Verificação Pontual do Torque dos Conectores: Realizar reinspeção de aperto em pelo menos 10% dos conectores para garantir que não haja afrouxamento

3.2.3 Itens Adicionais de Inspeção Anual

Além de completar todos os itens de inspeção mensais e trimestrais, uma inspeção aprofundada abrangente deve ser realizada uma vez por ano:

- ✧ Teste de Curva IV: Utilizar um traçador de curva IV para realizar testes de características de potência em cada string ou em pelo menos 30% dos módulos, avaliando o desvio entre o desempenho real de geração de energia e os valores nominais
- ✧ Inspeção EL (Imagem por Eletroluminescência): Realizar inspeção EL em módulos com degradação anormal de potência para detectar defeitos internos, como microtrincas nas células, dedos de grade quebrados e soldagem fria
- ✧ Reinspeção de Torque de Todos os Pontos de Conexão Elétrica: Realizar reinspeção do torque de aperto de todos os pontos de conexão elétrica do lado CC (incluindo conectores, terminais e terminais da caixa de combinação)
- ✧ Avaliação de Segurança da Estrutura de Suporte do Telhado: Realizar uma inspeção de segurança abrangente da estrutura de suporte de carga do telhado, suportes de montagem e pontos de ancoragem, avaliando corrosão, deformação e afrouxamento
- ✧ Teste de Resistência de Isolamento: Utilizar um megômetro (faixa de 1000V CC recomendada) para medir a resistência de isolamento entre a string e o terra, confirmando que atende aos valores especificados pela norma relevante
- ✧ Emitir Relatório Anual de O&M: Compilar os dados de inspeção do ano, registros de tratamento de falhas e tendências de degradação de desempenho para produzir o Relatório Anual de Análise de O&M da Usina Fotovoltaica

3.3 Inspeções Especiais

Inspeções especiais devem ser organizadas imediatamente após eventos climáticos extremos ou condições operacionais especiais:

- ✧ Após Tempestade com Raios: Usar câmera termográfica para verificar se as temperaturas das caixas de junção dos módulos em áreas de risco de descarga atmosférica estão anormalmente elevadas; verificar se os dispositivos de proteção contra raios foram acionados
- ✧ Após Ventos Fortes: Verificar se os grampos e fixadores dos módulos soltaram ou afrouxaram; se os módulos foram virados ou deslocados pelo vento; e se a camada de impermeabilização do telhado está intacta
- ✧ Após Granizo/Neve: Inspeccionar os módulos bloco por bloco quanto a trincas ou quebras causadas pelo impacto do granizo; verificar deformação dos módulos devido à carga de neve
- ✧ Após Tempestade de Areia: Verificar se há marcas de impacto de areia nas superfícies dos módulos; providenciar prontamente operações de limpeza para remover o acúmulo de poeira da superfície

4. Limpeza dos Módulos Fotovoltaicos

4.1 Determinação da Frequência e Momento da Limpeza

1. Frequência de Limpeza de Rotina: Em geral, os módulos devem ser limpos pelo menos uma vez por mês para manter a limpeza da superfície. Em áreas com poeira severa (num raio de 50 metros), como fábricas de cimento, áreas de mineração e ao longo de estradas empoeiradas, a frequência de limpeza deve ser aumentada para pelo menos uma vez a cada quinze dias.

2. Condições de Limpeza Baseadas em Gatilhos: Quando a geração de energia da usina cair mais de 5% em relação aos níveis normais, e falhas de equipamentos e fatores meteorológicos forem descartados, os módulos devem ser limpos. A limpeza também deve ser programada quando qualquer uma das seguintes condições for atendida:
 - ◆ A inspeção visual mostrar que a superfície do módulo está visivelmente suja, com uma camada de poeira perceptível
 - ◆ A comparação da geração de energia entre strings limpas e strings a serem limpas no mesmo momento mostrar um desvio $\geq 4\%$
 - ◆ A potência de saída do arranjo fotovoltaico cair abaixo de 85% do estado inicial (saída ao final da última limpeza)
3. Janela de Tempo Ideal para Limpeza: As operações de limpeza devem ser realizadas quando a irradiância estiver abaixo de 200 W/m^2 . Recomenda-se o início da manhã, final da tarde ou dias nublados. É estritamente proibido limpar módulos fotovoltaicos sob condições climáticas com força do vento superior a 4, chuva forte ou neve intensa.

4.2 Requisitos de Qualidade da Água para Limpeza

A água de limpeza deve atender aos seguintes padrões para evitar formação de incrustações ou corrosão na superfície do módulo:

- Dureza Total (como CaCO_3): $\leq 200 \text{ mg/L}$
- Sólidos Dissolvidos Totais (TDS): $\leq 500 \text{ mg/L}$
- Valor de pH: 6,5 ~ 8,5
- Sólidos Suspensos: $\leq 50 \text{ mg/L}$
- Cloretos (como Cl^-): $\leq 250 \text{ mg/L}$

Nota: Quando as condições permitirem, deve-se dar preferência ao uso de água amaciada ou água desionizada para a limpeza, a fim de prevenir, desde a origem, a formação de depósitos de incrustações de difícil remoção na superfície do módulo.

4.3 Procedimento Padrão de Limpeza

Etapa 1: Preparação

- ✧ O pessoal de limpeza deverá usar equipamento de proteção individual completo, incluindo luvas isolantes, botas isolantes, capacete de segurança e cinto de segurança
- ✧ Verificar se as ferramentas de limpeza (pano macio, rolo macio, balde de água limpa, detergente neutro, etc.) estão completas e limpas
- ✧ Confirmar que as placas de sinalização foram colocadas na área de limpeza e que pessoas não autorizadas não podem entrar na zona de trabalho
- ✧ Verificar se as condições meteorológicas atendem aos requisitos para a operação de limpeza (sem chuva ou neve, velocidade do vento abaixo do Nível 4, irradiância abaixo de 200 W/m^2)

Etapa 2: Enxágue Inicial

- ✧ Enxágue a superfície do módulo com água limpa de cima para baixo para remover poeira e detritos soltos
- ✧ Evite diferenças significativas de temperatura entre a água de limpeza e a temperatura da superfície do módulo (recomenda-se que a diferença de temperatura não exceda 10°C) para evitar danos por choque térmico aos módulos

- ✧ É estritamente proibido usar jato de água de alta pressão a curta distância direcionado às juntas da caixa de junção e conectores para lavagem

Etapa 3: Limpeza Profunda

- ✧ • Para sujeira geral, limpe suavemente em uma única direção usando um pano macio ou rolo macio umedecido com água limpa; evite esfregar repetidamente para frente e para trás
- ✧ • Quando houver aderências persistentes, como manchas de óleo, na superfície do módulo, use um detergente líquido neutro não abrasivo (pH 6,0~8,0) para auxiliar na limpeza
- ✧ • É proibido usar solventes orgânicos contendo componentes ácidos ou alcalinos para limpar os módulos
- ✧ • É proibido usar ferramentas duras, como escovas de aço, lâ de aço ou raspadores metálicos, para limpar a superfície do módulo
- ✧ • É proibido usar limpadores a vapor ou jatos de água de alta temperatura
- ✧ • É proibido imergir o módulo inteiro em água

Etapa 4: Enxágue e Secagem

- ✧ • Enxágue completamente a superfície do módulo com bastante água limpa para garantir que não haja resíduos de detergente
- ✧ • Use um pano macio e limpo (recomenda-se pano de microfibra) para secar as gotas de água residuais da superfície do módulo; evite a secagem natural ao ar, que pode deixar manchas de água
- ✧ • A parte traseira do módulo geralmente não requer limpeza; se a limpeza da parte traseira for necessária, deve-se tomar cuidado extra para evitar que a solução de limpeza penetre no interior do módulo ou nas superfícies de vedação da caixa de junção

Etapa 5: Verificação da Eficácia da Limpeza

- ✧ • Uma string representativa com a sujeira mais severa pode ser selecionada primeiro para limpeza como referência
- ✧ • Se a melhoria na potência após a limpeza for inferior a 5%, geralmente não é necessário realizar uma limpeza em todo o conjunto nas condições atuais
- ✧ • A verificação acima deve ser realizada sob condições de irradiância estável (clima claro, irradiância estável, sem cobertura de nuvens) para garantir a validade dos dados de comparação

4.4 Requisitos de Inspeção Pós-Limpeza

4.4.1 Inspeção Visual

- ✧ • A aparência geral dos módulos deve estar visualmente limpa e brilhante, livre de manchas residuais e marcas d'água
- ✧ • Realizar verificações pontuais de acúmulo residual de poeira na superfície do módulo
- ✧ • Confirmar que não há novas marcas de arranhões na superfície do módulo
- ✧ • Confirmar que não há rachaduras ou danos causados por ação humana na superfície do módulo

4.4.2 Inspeção Estrutural

- ✧ • Verificar se os módulos limpos apresentam inclinação ou curvatura
- ✧ • Verificar se os terminais dos módulos apresentam sinais de desprendimento ou afrouxamento

- ✧ • Verificar se os conectores permanecem secos e limpos, e se os anéis de vedação estão intactos

4.4.3 Registros e Arquivamento

Preencher o Registro de Limpeza de Módulos Fotovoltaicos, incluindo: data da limpeza, pessoal responsável, escopo da limpeza (números das strings), método de limpeza, consumo de água e dados comparativos de potência das strings antes e após a limpeza, entre outros.

5. Diagnóstico de Falhas Comuns e Solução de Problemas

5.1 Degradação Anormal da Potência do Módulo

Sintomas da Falha

A potência de saída do módulo é significativamente inferior à potência nominal, e a taxa de degradação da potência excede a faixa normal (degradação no primeiro ano > 1%, degradação anual do 2º ao 30º ano > 0,4%), ou ocorre uma queda rápida inesperada de potência em um curto período.

Análise da Causa da Falha

- ✧ Módulos operando por longo período em ambientes de alta temperatura e alta umidade, levando ao envelhecimento acelerado das células e dos materiais de encapsulamento
- ✧ Acúmulo de poeira e sujeira na superfície do módulo por longo período sem limpeza, resultando em declínio contínuo da transmitância de luz
- ✧ Microtrincas internas nas células e dedos coletores quebrados dentro do módulo, afetando a coleta eficaz da corrente fotogerada
- ✧ Falha do diodo de bypass dentro da caixa de junção (falha de curto-circuito ou circuito aberto), causando a paralisação de parte das strings de células dentro do módulo
- ✧ Sombreamento localizado persistente na superfície do módulo, desencadeando efeitos de ponto quente de longo prazo que causam degradação permanente das células
- ✧ Contato deficiente do conector ou envelhecimento do cabo, resultando em aumento anormal da resistência em série

Métodos de Diagnóstico e Solução de Problemas

- ✧ Teste de Potência: Utilize um traçador de curva IV profissional ou um testador de potência de módulo fotovoltaico para medir a potência de saída real do módulo, confirmando o grau de degradação de potência e o padrão anormal da curva IV
- ✧ Inspeção Visual: Inspeccione cuidadosamente a superfície do módulo quanto a poeira, sujeira, arranhões, trincas, etc.; verifique se a caixa de junção está intacta e sem abaulamentos ou deformações
- ✧ Inspeção por Imagem Térmica: Utilize uma câmera termográfica infravermelha para detectar se existem efeitos de ponto quente e pontos de aquecimento anormais no módulo
- ✧ Inspeção EL: Realize inspeção por imagem de eletroluminescência (EL) em módulos com suspeita de defeitos internos para confirmar a presença de microdefeitos, como microtrincas, dedos de grade quebrados e soldagem fria
- ✧ Se causado por acúmulo de poeira/sujeira na superfície → Providenciar limpeza imediatamente
- ✧ Se causado por sombreamento localizado → Remover a fonte de sombreamento e otimizar o ambiente ao redor do módulo

- ✧ Se o diodo interno da caixa de junção estiver danificado → Substituir pela caixa de junção do mesmo modelo (deve ser realizada por pessoal autorizado da ZKFN SOLAR)
- ✧ Se o módulo apresentar envelhecimento severo (degradação de potência superior a 20%) ou defeitos internos irreversíveis → Substituir o módulo
- ✧ Se o módulo ainda estiver dentro do período de garantia e confirmado como um problema de qualidade do produto → Envie uma solicitação de serviço pós-venda à ZKFN SOLAR de acordo com os procedimentos de garantia

5.2 Efeito de Ponto Quente no Módulo

Sintomas da Falha

A inspeção por termografia infravermelha revela áreas localizadas do módulo com temperaturas significativamente mais altas do que as áreas normais ao redor (diferença de temperatura $\geq 20^{\circ}\text{C}$). Pontos quentes severos podem causar descoloração e bolhas nos materiais de encapsulamento da superfície do módulo, queima do backsheet, derretimento e deformação da caixa de junção e, em casos extremos, podem desencadear chamas abertas.

Análise da Causa da Falha

- ✧ Presença de objetos de sombreamento localizados na superfície do módulo (folhas, fezes de pássaros, aglomerados de poeira, sombras de edifícios, etc.); as células sombreadas passam de unidades geradoras de energia para cargas consumidoras de energia, consumindo a energia elétrica gerada pelas células normais adjacentes e formando altas temperaturas localizadas
- ✧ Degradação do desempenho de células individuais dentro do módulo (queda de eficiência, aumento da resistência em série), criando incompatibilidade elétrica com outras células normais na mesma string
- ✧ Células que apresentam microdefeitos, como microfissuras e dedos de grade quebrados, onde o fluxo de corrente local obstruído leva ao aquecimento concentrado
- ✧ Falha do diodo de bypass, incapaz de desviar e proteger a string de células sombreadas quando ocorre sombreamento

Medidas de Tratamento

Tratamento Imediato: Remova imediatamente objetos de sombreamento da superfície do módulo; desenergize e isole módulos com pontos quentes severos para evitar a escalada da falha.

Inspeção e Avaliação: Use uma câmera termográfica infravermelha para determinar precisamente a localização e a distribuição de temperatura dos pontos quentes; realize inspeção EL nos módulos afetados por pontos quentes para avaliar o grau de dano interno nas células.

Disposição Graduada:

- ✧ Pontos quentes menores (diferença de temperatura $< 20^{\circ}\text{C}$) sem danos internos visíveis → Continue o rastreamento e monitoramento após remover objetos de sombreamento; adicione à lista de observação prioritária para a próxima inspeção
- ✧ Pontos quentes moderados (diferença de temperatura $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$) → Recomende desenvolver um plano de substituição e concluir a substituição durante a próxima parada programada
- ✧ Pontos quentes severos (diferença de temperatura $\geq 40^{\circ}\text{C}$) ou módulos já apresentando danos visíveis na aparência → Devem ser imediatamente retirados de serviço e substituídos

Medidas Preventivas

- ✧ Durante a fase de projeto e instalação do arranjo de módulos, os layouts devem ser planejados racionalmente para evitar sombreamento entre módulos
- ✧ Limpe periodicamente a vegetação e detritos ao redor dos módulos que possam formar fontes de sombreamento
- ✧ Garanta que a funcionalidade do diodo de bypass do módulo permaneça intacta; verifique periodicamente de forma indireta por meio de teste de curva IV
- ✧ Realizar inspeções abrangentes de termografia infravermelha trimestralmente, estabelecer um arquivo de referência de temperatura dos módulos e identificar prontamente tendências anômalas de temperatura

5.3 Falhas na Fiação e Conectores dos Módulos

Sintomas de Falha

Tensão e corrente de saída do módulo instáveis ou completamente ausentes; temperaturas anormalmente elevadas nos terminais e conectores (quentes ao toque ou pontos quentes visíveis na termografia infravermelha); descoloração por oxidação e marcas de queima por arco elétrico nas superfícies dos terminais; em casos graves, derretimento e deformação das carcaças plásticas dos conectores com odor de queimado.

Análise das Causas da Falha

- ✧ Conectores não totalmente encaixados na posição, resultando em aumento da resistência de contato e aquecimento localizado
- ✧ Falha na vedação do conector (anel de vedação envelhecido, danificado ou solto), com intrusão de umidade e poeira causando oxidação e corrosão dos pinos
- ✧ Conectores macho e fêmea de fabricantes diferentes ou de séries de modelos diferentes, resultando em grande tolerância de ajuste na interface e contato não confiável
- ✧ Cabos de saída com camada de isolamento envelhecida, rachada e danificada devido à exposição prolongada, causando fuga de corrente ou curto-circuito
- ✧ Erros de fiação (polaridade positiva e negativa invertida) ou topologia incorreta de fiação das strings
- ✧ Conectores sob tensão prolongada do cabo, causando afrouxamento do pino interno

Procedimento de Solução de Problemas

- ✧ Desenergização Segura: Primeiro, desconecte a fonte de alimentação do combinador e do inversor correspondentes, realize a verificação de desenergização (verifique usando um multímetro) e pendure placas de aviso "Não Ligar"
- ✧ Localização da Falha: Use um multímetro para testar sequencialmente continuidade, tensão e valores de resistência de contato em cada terminal, localizando o ponto de falha
- ✧ Terminal Solto → Reaperte com o torque especificado usando ferramentas especializadas (aplique força adequada para evitar danos por aperto excessivo)
- ✧ Oxidação/Corrosão do Terminal → Corte a seção danificada e substitua por um novo conector do mesmo modelo e especificação
- ✧ Incompatibilidade do Modelo do Conector → Substitua todos os conectores por modelos compatíveis certificados pela ZKFN SOLAR

- ✧ Dano no Cabo → Substitua por cabo CC específico para energia solar da mesma especificação, garantindo que a bitola do fio e a classificação de tensão correspondam ao original
- ✧ Erro de Fiação → Refazer a fiação de acordo com as marcações corretas de polaridade positiva/negativa e o diagrama de fiação do string
- ✧ Restauração e Verificação: Após concluir a fiação, restaure a energia, meça a tensão de circuito aberto do string, a corrente de curto-circuito e a corrente de operação, confirmando que a falha foi eliminada e os parâmetros estão normais

5.4 Diagnóstico de Falhas no Lado do Inversor e em Nível de String

Sintomas de Falha

O sistema de monitoramento exibe potência de saída persistentemente baixa ou zero para uma string específica; o inversor relata falha de resistência de isolamento muito baixa, alarmes de sobretensão/subtensão CC; a corrente da string desvia significativamente do nível médio de outras strings no mesmo arranjo.

Etapas de Diagnóstico

- ✧ Etapa 1: Identificar o número da string com falha e a localização física correspondente através da plataforma de monitoramento
- ✧ Etapa 2: Sob condições seguras de desenergização, medir a tensão de circuito aberto (Voc) da string e comparar com strings normais no mesmo arranjo. Se a Voc estiver significativamente mais baixa, isso indica curto-circuito no módulo, curto-circuito no diodo de bypass ou dano severo ao módulo dentro da string
- ✧ Etapa 3: Medir a corrente de curto-circuito (Isc) da string. Se a Isc estiver significativamente mais baixa, pode haver acúmulo severo de poeira no módulo, sombreamento, envelhecimento ou mau contato do conector
- ✧ Etapa 4: Medir a string segmento por segmento, estreitando progressivamente o intervalo da falha até localizar o módulo problemático específico
- ✧ Etapa 5: Realizar diagnósticos adicionais, como teste de curva IV e inspeção EL no módulo problemático identificado, determinar o tipo de falha e tomar as medidas de tratamento correspondentes

6. Reparo e Substituição de Módulos

6.1 Requisitos Gerais para Substituição de Módulos

1. Identificação e Mitigação de Riscos: Antes das operações de substituição, devem ser identificados de forma abrangente os riscos potenciais durante o processo operacional, incluindo, mas não se limitando a: lacerações em pessoas devido ao manuseio de ferramentas, quedas de altura (para trabalhos em telhados ou em altura), riscos de choque elétrico durante a desconexão/reconexão do circuito e projeção de detritos durante a remoção de módulos antigos, etc. Medidas de mitigação específicas devem ser desenvolvidas para cada risco.
2. Briefing de Segurança Pré-Trabalho: Um "Briefing de Segurança Pré-Trabalho" deve ser realizado antes de cada operação de substituição. O supervisor de trabalho deve explicar a todo o pessoal participante o conteúdo do trabalho do dia, as atribuições específicas das tarefas, as precauções de segurança e os procedimentos de resposta a emergências. Devem ser feitos registros por escrito e assinados por todo o pessoal antes do início do trabalho.

3. Verificação do Novo Módulo: Antes da substituição, cada novo módulo deve ser inspecionado individualmente quanto à aparência (confirmando a ausência de arranhões superficiais, trincas, deformações e que os terminais estão intactos e sem defeitos). O modelo do módulo, potência nominal, parâmetros elétricos e outras informações da placa de identificação devem ser verificados quanto à consistência com o módulo antigo, garantindo a compatibilidade elétrica entre módulos antigos e novos antes de serem colocados em serviço.
4. Conduta Profissional: É proibido usar força excessiva para alavancar, golpear ou dobrar módulos à força, para evitar causar quebra do módulo ou ferimentos em pessoas. Durante o processo de remoção, deve-se tomar cuidado para proteger as superfícies dos módulos adjacentes e as conexões elétricas contra danos.
5. Descarte de Resíduos: Módulos residuais, fragmentos de vidro, acessórios danificados e outros itens gerados pela substituição devem ser coletados separadamente e armazenados centralizadamente. Módulos danificados devem ser descartados profissionalmente de acordo com os requisitos de gerenciamento de resíduos perigosos. O descarte aleatório ou a mistura com resíduos comuns de construção são proibidos.

6.2 Procedimento de Substituição para Módulos Montados com Adesivo

Aplicável aos módulos SolarPega / SolarPegaL (sem moldura). As etapas específicas de substituição são as seguintes:

1. Preparação do Plano: Antes da substituição do módulo, deve ser elaborado um Plano de Implementação de Substituição de Módulo Rígido Leve, definindo o processo operacional, as atribuições de pessoal, as medidas de segurança e os critérios de aceitação de qualidade.
2. Confirmação de Desenergização: Antes de iniciar o trabalho, a alimentação do inversor e do quadro de distribuição correspondente ao módulo deve ser desconectada. Uma placa de aviso "Não Ligar, Pessoal Trabalhando" deve ser pendurada no ponto de desconexão. Um electricista certificado deve usar um multímetro para verificar a ausência de tensão em ambos os lados do ponto de desconexão antes que o trabalho subsequente possa começar.
3. Cobertura do Módulo: Cubra completamente a superfície frontal do módulo a ser substituído com material opaco (como pano preto bloqueador de luz ou papelão grosso) para bloquear a luz e evitar que o módulo gere alta tensão
4. Desconexão Elétrica: Use ferramentas de destravamento especializadas para separar os conectores positivo e negativo do módulo; faça marcações nos cabos
5. Remoção do Módulo Antigo: Use ferramentas como estiletes e raspadores para cortar cuidadosamente o adesivo estrutural ao longo da interface de colagem, separando gradualmente o módulo antigo do substrato do telhado. Durante a operação, controle a força e o ângulo para evitar danificar os módulos adjacentes e a camada de impermeabilização do telhado
6. Limpeza do Substrato: Remova completamente os resíduos de adesivo estrutural e detritos do substrato do telhado, garantindo que a superfície de colagem esteja seca, limpa e plana. Se necessário, realize o lixamento do substrato para restaurar a rugosidade da superfície
7. Instalação do Novo Módulo: Siga rigorosamente os procedimentos padronizados no Manual de Instalação de Módulos Fotovoltaicos ZKFN SOLAR SolarPega & SolarPegaF Series para aplicação de adesivo, posicionamento do módulo, pressionamento com rolo e alinhamento
8. Proteção durante a Cura: Durante o período de cura do adesivo estrutural (24 horas a 25°C~40°C de temperatura ambiente, 48 horas a 10°C~25°C, 72 horas a 0°C~10°C), é estritamente proibido aplicar qualquer perturbação ao módulo, incluindo, mas não se limitando a, mover o módulo, conectar cabos ou realizar outros trabalhos pisando no

módulo. Barreiras de proteção e placas de aviso devem ser instaladas na área de substituição

9. Conexões Elétricas: Após a cura completa do adesivo estrutural, reconecte os conectores de acordo com a correspondência correta de polaridade positiva/negativa marcada, garantindo que estejam totalmente encaixados e que um som audível de "clique" de travamento seja ouvido
10. Teste de Energização: Remova o material de cobertura, feche o interruptor para restaurar o fornecimento de energia. Use um multímetro ou traçador de curva IV para medir os parâmetros de saída do novo módulo, confirmando a compatibilidade com outros módulos na mesma string e a operação normal
11. Registros e Arquivamento: Registre em detalhes a data da substituição, motivo da substituição, número de série do módulo antigo e tipo de falha, número de série do novo módulo e dados de teste iniciais, informações do pessoal operante, etc.; atualize o arquivo de O&M da usina

6.3 Procedimento de Substituição para Módulos Montados com Grampos/Suportes

Aplicável aos módulos SolarPegaF / SolarPegaFL (com moldura traseira). As etapas específicas de substituição são as seguintes:

1. Preparação do Plano: Antes da substituição do módulo, deve ser elaborado um Plano de Implementação de Substituição de Módulo Rígido Leve Fixado por Grampo, definindo o processo operacional e as medidas de segurança.
2. Confirmação de Desenergização: Igual ao Requisito 2 do Procedimento de Substituição por Fixação Adesiva.
3. Cobertura do Módulo: Igual ao Requisito 3 do Procedimento de Substituição por Fixação Adesiva.
4. Desconexão Elétrica: Igual ao Requisito 4 do Procedimento de Substituição por Fixação Adesiva.
5. Remoção do Módulo Antigo: Use uma chave dinamométrica para afrouxar e remover os parafusos de fixação do grampo até o torque especificado, remova os grampos em sequência e mova cuidadosamente o módulo antigo para fora da superfície de instalação. Durante a operação, tome cuidado para evitar colisões com os módulos adjacentes.
6. Inspeção da Superfície de Instalação: Limpe detritos e ferrugem da superfície de instalação; verifique se os grampos/suportes apresentam deformação, ferrugem ou folga. Se forem encontradas anomalias, os acessórios danificados devem ser reparados ou substituídos antes de prosseguir para a próxima etapa.
7. Instalação do Novo Módulo: Posicione o novo módulo no local designado, ajustando a posição do módulo para garantir folgas periféricas uniformes. Instale os grampos em sequência, apertando uniformemente os parafusos M8 com um torque de 15~20 N·m. Observe que os grampos devem pressionar a área de suporte de carga designada da moldura traseira do módulo e não devem pressionar a área efetiva da célula acima.
8. Conexões Elétricas: Igual ao Requisito 9 do Procedimento de Substituição por Fixação Adesiva.
9. Teste de Energização: Igual ao Requisito 10 do Procedimento de Substituição por Fixação Adesiva.
10. Registros e Arquivamento: Mesmo que o Requisito 11 do Procedimento de Substituição por Montagem Adesiva

6.4 Verificação do Sistema Após a Substituição do Módulo

Após concluir a substituição do módulo, além do teste individual do novo módulo, o desempenho geral da string afetada também deve ser verificado:

- ✧ Medir a tensão de circuito aberto (Voc) e a corrente de curto-circuito (Isc) da string, comparando com os valores de projeto da string e com strings normais no mesmo arranjo
- ✧ Monitorar a corrente de operação da string para confirmar um bom casamento de corrente entre o novo módulo e os módulos existentes na string
- ✧ Observar os dados de geração de energia por pelo menos um dia inteiro de sol pleno para confirmar que a potência da string retornou aos níveis normais
- ✧ Se as condições permitirem, realizar uma varredura por termografia infravermelha da área do módulo recém-substituído para confirmar a ausência de pontos de aquecimento anormais

7. Medidas de Resposta a Emergências

7.1 Resposta a Emergências para Vazamento Elétrico do Módulo

Ao descobrir um alarme de vazamento elétrico do módulo ou uma situação suspeita de vazamento, o pessoal de O&M deve executar imediatamente os seguintes procedimentos de tratamento:

- ✧ • Evacuação de Emergência de Pessoal: Afaste-se imediatamente da área de vazamento; não toque no módulo com vazamento nem nos componentes metálicos ao redor; simultaneamente, impeça a entrada de outras pessoas
- ✧ Desenergização Segura: Profissionais certificados, usando luvas isolantes classificadas para o nível de tensão adequado, devem utilizar uma haste de manobra isolada para desconectar a caixa combinadora e a fonte de alimentação do inversor correspondentes, e pendurar placas de sinalização
- ✧ Detecção de Falhas: Utilize um testador de resistência de isolamento (faixa de 1000V CC) para medir a resistência de isolamento à terra da string com vazamento, segmento por segmento, usando o método de eliminação seccional para localizar o módulo com vazamento
- ✧ Investigação da Causa: Inspeccione o módulo com vazamento quanto a condições como entrada de água na caixa de junção, falha de vedação do conector, danos no isolamento do cabo e danos por penetração na camada traseira
- ✧ Providências de Reparo: Substitua o módulo defeituoso, cabos ou conectores danificados com base na causa do vazamento. Após a conclusão do reparo, realize novamente o teste de resistência de isolamento para confirmar a restauração a níveis aceitáveis
- ✧ Restabelecimento de Energia: Somente após todos os testes serem aprovados, as placas de sinalização podem ser removidas e a energia pode ser restabelecida. Após o restabelecimento, o monitoramento contínuo deve ser realizado por pelo menos 1 hora para confirmar a ausência de anomalias

7.2 Resposta a Emergências de Incêndio em Módulos

Os módulos da série SolarPega da ZKFN SOLAR passaram nos testes e certificação padrão Classe C da UL790 para desempenho contra incêndio, demonstrando boa resistência ao fogo. Se ocorrer um incidente de incêndio em módulo no local de operação e manutenção, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- ✧ Desconecte imediatamente todas as fontes de alimentação do lado CC e do lado CA do sistema fotovoltaico afetado pelo fogo
- ✧ Se o fogo for pequeno e as condições de segurança permitirem, use um extintor de pó químico seco ou extintor de dióxido de carbono para suprimir o fogo na origem. É estritamente proibido usar extintores de água ou espuma diretamente nos módulos e equipamentos elétricos energizados
- ✧ Se o incêndio for grande demais para ser controlado de forma independente, ligue imediatamente para o 119 para reportar o incêndio, comunicando claramente informações-chave como "incêndio em usina fotovoltaica, perigo de alta tensão CC", e organize toda a equipe para evacuar para uma área segura
- ✧ Após o incêndio ser extinto, realize uma investigação sistemática da causa do incêndio, avalie o nível de danos de cada módulo e equipamento elétrico, e prepare o Plano de Análise e Restauração do Incidente de Incêndio
- ✧ Somente após confirmar que todos os riscos de segurança foram eliminados (incluindo segurança estrutural, isolamento elétrico e integridade dos módulos) a usina poderá ser gradualmente restaurada para operação de acordo com o plano de restauração

7.3 Resposta a Emergências de Clima Extremo

7.3.1 Tempestade/Inundação

- ✧ Após a emissão de um alerta de tempestade, inspecione e limpe detritos das calhas de drenagem e condutores do telhado para garantir que o sistema de drenagem esteja desobstruído
- ✧ Forneça proteção impermeável ou realoque inversores, caixas de combinação, hosts de monitoramento e outros equipamentos internos ou em áreas baixas para uma elevação segura
- ✧ Durante a tempestade, cesse todas as operações externas de O&M. Se ocorrer inundação na usina, desconecte imediatamente todas as fontes de energia remotamente ou no local
- ✧ • Após as águas da inundação baixarem, realize tratamento de secagem, limpeza e teste de isolamento em todos os módulos, cabos, conectores e equipamentos elétricos afetados pela água. Somente após confirmar a ausência de riscos de segurança, as operações poderão ser gradualmente restauradas

7.3.2 Ventos Fortes/Tufão

- ✧ Após a emissão de um alerta de ventos fortes, inspecione minuciosamente as condições de fixação dos grampos e suportes dos módulos e reforce quaisquer parafusos soltos
- ✧ Remova objetos soltos ao redor do conjunto de módulos que possam ser facilmente levados pelo vento (placas de publicidade, coberturas temporárias, materiais soltos, etc.)
- ✧ Durante o tufão, desligue a alimentação elétrica da usina e evacue todo o pessoal para uma área segura
- ✧ Após o evento de vento, inspecione minuciosamente os módulos quanto a deslocamento, desprendimento, deformação e danos; inspecione se os suportes de montagem e as estruturas do telhado estão intactos. Repare as áreas danificadas e somente reinicie a usina após passar por uma inspeção completa

7.3.3 Nevasca/Baixa Temperatura

- ✧ Durante uma nevasca, use periodicamente um removedor de neve macio (material de silicone ou borracha) para limpar o acúmulo de neve das superfícies dos módulos. Durante a operação, tome cuidado para evitar que a ferramenta colida com caixas de junção e conectores

- ✧ Em ambientes de baixa temperatura, verifique se conectores e terminais apresentam sinais de formação de gelo. Se houver formação de gelo, aguarde o degelo natural e a secagem completa antes de realizar operações
- ✧ Ao limpar a neve, é estritamente proibido pisar nos módulos (É permitido pisar quando forem atendidas as condições de instalação de pisada. Consulte as instruções de operação de instalação para detalhes), para evitar causar microfissuras nas células internas ou danos à estrutura de encapsulamento
- ✧ Após eventos de neve, inspecione as superfícies dos módulos quanto a rachaduras ou deformações causadas pela carga de neve ou ciclos de congelamento e degelo; módulos danificados devem ser programados para substituição imediata

7.4 Resposta de Emergência a Descargas Atmosféricas

A temporada de tempestades é um período de alto risco para usinas fotovoltaicas sofrerem descargas atmosféricas. Se o sistema de monitoramento apresentar interrupção generalizada na comunicação dos módulos, disparo de inversores, ou a inspeção in loco revelar marcas evidentes de raios nos módulos (como perfuração na caixa de junção, pontos de queimadura por arco na superfície do módulo), os seguintes procedimentos de manuseio devem ser imediatamente iniciados:

- ✧ Desconectar imediatamente todas as fontes de alimentação da usina; o pessoal deve evacuar prontamente para uma área interna segura
- ✧ Após a passagem da tempestade, inspecionar de forma abrangente o sistema de proteção contra raios e aterramento: verificar se os condutores de descida do aterramento estão rompidos ou fundidos; medir se a resistência de aterramento ainda atende aos requisitos de projeto (geralmente exigido $\leq 4\Omega$)
- ✧ Inspeccionar a aparência dos módulos bloco por bloco; usar uma câmera termográfica infravermelha para escanear pontos de aquecimento anormais
- ✧ Medir a resistência de isolamento e as características IV das strings afetadas por raios; substituir módulos que foram perfurados ou que tiveram desempenho severamente degradado
- ✧ Verificar se os dispositivos de proteção contra surtos (DPS) dentro dos inversores e caixas de combinação foram ativados ou danificados; se danificados, devem ser prontamente substituídos

8. Registros de O&M e Gestão de Arquivos

8.1 Sistema de Gestão de Registros de O&M

A completude e precisão dos registros de O&M formam a base para a gestão de ativos da usina, reivindicações de garantia, avaliação de desempenho e rastreamento de falhas. Recomenda-se estabelecer princípios de gestão de arquivos de "cobertura de ciclo de vida completo, sistemas duplos eletrônico e em papel, igual ênfase em segurança e utilização." Através da coleta padronizada de registros e gestão regulamentada de arquivos, alcançar rastreabilidade do processo de O&M, localizabilidade de problemas e suporte à tomada de decisão, formando um ciclo fechado de gestão de "Registrar – Arquivar – Utilizar – Otimizar."

Os registros de O&M devem abranger as seguintes categorias:

- ✧ Registros de Inspeção: Registrar data da inspeção, pessoal responsável, escopo da inspeção (strings/áreas), resultados da inspeção (condição da aparência dos módulos, dados de parâmetros operacionais, problemas identificados e tratamento no local), acompanhamento de questões não resolvidas

- ✧ Registros de Limpeza: Registrar data da limpeza, pessoal responsável, escopo da limpeza, método de limpeza, consumo e qualidade da água, dados comparativos de potência de strings representativos antes e após a limpeza
- ✧ Registros de Tratamento de Falhas: Registrar data e hora da ocorrência da falha, número de série e localização do módulo com falha, descrição dos sintomas da falha, análise da causa da falha, métodos e etapas específicas de tratamento, resultados do tratamento, assinatura do pessoal de reparo, lista de materiais e peças sobressalentes utilizadas no reparo
- ✧ Registros de Substituição de Módulos: Registrar data da substituição, informações do módulo antigo substituído (número de série, modelo, anos em serviço, tipo de falha), informações do novo módulo (número de série, modelo, dados iniciais de teste de desempenho elétrico), pessoal operacional responsável pela substituição
- ✧ Registros de Resposta a Emergências: Registrar hora e local do incidente de emergência, tipo e gravidade do incidente, medidas específicas de resposta a emergências e processo de execução, resultados da resposta e avaliação de impacto subsequente, pessoal envolvido na resposta
- ✧ Registros de Testes Especializados: Registrar data, escopo, método, dados brutos e conclusões da análise de testes especializados, como teste de curva IV, inspeção EL, varredura por termografia infravermelha e teste de resistência de isolamento

8.2 Classificação e Arquivamento

Recomenda-se que a gestão de arquivos adote um sistema de classificação de quatro níveis: "Classificação Primária – Classificação Secundária – Grupo de Arquivos – Documento":

- ✧ Categoria de Arquivos Básicos: Inclui documentação de fábrica dos módulos (certificado de conformidade, relatório de teste de fábrica, lista de parâmetros técnicos), contratos de aquisição, acordos de garantia, desenhos de construção do sistema, relatórios de aceitação de conclusão, etc. Os grupos de arquivos são organizados por "Projeto – Tipo de Equipamento"
- ✧ Categoria de Arquivos de Processos de O&M: Compila os diversos registros de O&M mencionados acima, com grupos de arquivos organizados por "Ano – Tipo de O&M – Área". Entre estes, os registros de inspeção devem ser resumidos mensalmente e encadernados conforme necessário; os registros de tratamento de falhas devem ser estabelecidos separadamente como "um caso, um arquivo", incluindo materiais de suporte, como relatórios de teste e fotografias comparativas antes e após o reparo
- ✧ Categoria de Arquivo de Monitoramento de Desempenho: Armazena separadamente dados de testes profissionais, como testes de curva IV, inspeções EL e varreduras de pontos quentes. Estabeleça um "Livro de Desempenho Específico do Módulo" indexado pelo número de série do módulo, registrando os principais dados de desempenho em cada ponto de teste ao longo de todo o ciclo de vida, e compile anualmente o Relatório de Análise de Degradação de Desempenho do Módulo
- ✧ Categoria de Arquivo de Gestão de Conformidade: Inclui cópias dos certificados de qualificação do pessoal de O&M, certificados de calibração de instrumentos de teste, certificados de reciclagem e descarte de módulos residuais, registros de inspeção regulatória do setor, registros de treinamento de segurança, etc., garantindo que as atividades de O&M sejam totalmente conformes e rastreáveis em todo o processo

8.3 Relatório Anual de O&M

Um Relatório Anual Abrangente de Análise de O&M de Usina Solar Fotovoltaica deve ser preparado e submetido a cada ano. O relatório deve conter, no mínimo, o seguinte conteúdo:

- ✧ Estatísticas anuais de geração de energia e análise comparativa contra valores de projeto e o mesmo período do ano anterior
- ✧ Resumo estatístico anual de operações de inspeção e limpeza (número de inspeções, número de limpezas, número e distribuição de tipos de problemas identificados e resolvidos)
- ✧ Análise de tendência de degradação de desempenho do módulo (com base em dados de curva IV e inspeção EL)
- ✧ Análise estatística de falhas (distribuição de tipos de falha, taxa de falha, tempo médio de reparo, avaliação de impacto na geração de energia)
- ✧ Estatísticas anuais de custos de O&M, e recomendações de plano e orçamento de O&M para o ano seguinte
- ✧ Principais áreas de foco e recomendações de melhoria para o ano seguinte

9. Apêndice

9.1 Perguntas Frequentes (FAQ)

P1: Qual é o intervalo de manutenção recomendado para os módulos fotovoltaicos rígidos leves da série SolarPega da ZKFN SOLAR? Quais são os principais itens a verificar?

R: Recomenda-se realizar inspeções abrangentes pelo menos uma vez por mês, verificando o desempenho operacional de todos os módulos, a segurança e confiabilidade das conexões elétricas, a estabilidade da estrutura de montagem e a limpeza da superfície dos módulos. Os principais itens de inspeção incluem: integridade da aparência dos módulos, firmeza das conexões elétricas, integridade da caixa de junção e conectores, limpeza da superfície e condições de sombreamento, estabilidade da estrutura de suporte de montagem, integridade do sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramento, status operacional do sistema de monitoramento e normalidade da potência de saída das strings. Também é recomendado limpar os módulos pelo menos uma vez por mês para garantir a eficiência da geração de energia fotovoltaica.

P2: Se uma pequena quantidade de poeira aparecer na superfície do módulo, mas não atingir o limite de acionamento de limpeza de uma queda de 5% na potência, a limpeza é necessária?

R: Se a camada de poeira for fina e houver previsão de chuva a curto prazo, a limpeza pode ser adiada enquanto se monitora continuamente as tendências de potência através do sistema de monitoramento. No entanto, se a poluição do ar local for severa, a poeira contiver substâncias pegajosas propensas a formar crostas, ou não houver previsão de precipitação efetiva na próxima semana, recomenda-se agendar a limpeza com antecedência para evitar que o acúmulo prolongado de poeira endureça formando uma crosta, o que aumentaria a dificuldade de limpeza subsequente e afetaria continuamente a transmitância de luz.

P3: Se os módulos congelarem no inverno, pode-se usar água quente diretamente para derreter o gelo?

R: É estritamente proibido usar água quente para enxaguar ou derramar diretamente sobre os módulos congelados. Diferenças severas de temperatura entre frio e quente causarão estresse de choque térmico no painel de vidro e nos materiais de encapsulamento, podendo levar à quebra do vidro do módulo ou falha da camada de encapsulamento. Recomenda-se esperar que a temperatura ambiente suba para permitir que o gelo derreta naturalmente, ou usar um raspador de gelo dedicado de silicone/plástico (ferramentas metálicas são estritamente proibidas) para remover suavemente o gelo da superfície. Após o gelo derreter

completamente e a superfície do módulo secar, inspecione o módulo em busca de sinais de entrada de água ou danos.

P4: Se a degradação da potência do módulo exceder a faixa normal, mas o módulo ainda estiver dentro do período de garantia, como solicitar o serviço pós-venda?

R: Primeiro, organize o arquivo completo de operação e manutenção do módulo (incluindo dados de inspeção, relatórios de teste de potência da curva IV, fotografias de falhas, imagens de inspeção EL, etc.), entre em contato com o departamento de serviço pós-venda da ZKFN SOLAR e envie o Formulário de Solicitação de Serviço Pós-Venda no Período de Garantia com os materiais de suporte relevantes. A ZKFN SOLAR providenciará que técnicos autorizados realizem verificação e testes no local. Após a confirmação de que o problema é um defeito de qualidade do produto, serão fornecidos serviços de reparo ou substituição correspondentes de acordo com a política de garantia.

Q5: O pessoal de O&M pode pisar nos módulos para limpeza ou manutenção?

R: Os módulos rígidos leves da série SolarPega da ZKFN SOLAR podem ser pisados para manutenção sob condições específicas, sem causar danos aos módulos. No entanto, as operações de pisar devem cumprir rigorosamente as condições e requisitos técnicos relevantes (consulte o Manual de Instalação para condições específicas), incluindo: restrições de área para pisar, requisitos de material da sola (calçados de sola macia), medidas de distribuição de carga, etc. Antes de confirmar que as condições são atendidas, pisar diretamente na superfície do módulo é estritamente proibido.

Q6: Como determinar se um módulo precisa ser substituído em vez de reparado?

R: Os módulos devem ser substituídos diretamente, em vez de reparados, em qualquer uma das seguintes circunstâncias: ① A superfície do módulo apresenta rachaduras penetrantes ou estilhaçamento extenso; ② A caixa de junção está severamente derretida, deformada ou queimada; ③ A imagem térmica infravermelha mostra pontos quentes severos (diferença de temperatura $\geq 40^{\circ}\text{C}$); ④ A inspeção EL mostra microfissuras extensas nas células (área de fissura excede 30% da área da célula); ⑤ A potência de saída do módulo degradou mais de 20% em relação ao valor nominal; ⑥ A entrada de água dentro do módulo fez com que a resistência de isolamento permanecesse persistentemente abaixo do valor padrão e não pudesse ser recuperada.

9.2 Lista de Verificação de Ferramentas e Instrumentos Comuns de O&M

A seguir estão as ferramentas comuns e instrumentos de teste recomendados para O&M de usinas fotovoltaicas:

- ✓ Multímetro Digital (classificação CAT III 1500V) — Medição de tensão CC, corrente e continuidade
- ✓ Amperímetro CC Tipo Alicates — Medição da corrente operacional da string sem interromper o circuito
- ✓ Traçador de Curva IV — Medição da curva característica corrente-tensão de módulos/strings
- ✓ Câmera de Imagem Térmica Infravermelha — Detecção de pontos quentes, investigação de pontos de aquecimento em conectores
- ✓ Megômetro de Resistência de Isolamento (DC 500V/1000V) — Medição da resistência de isolamento entre a string e o terra
- ✓ Equipamento de Inspeção EL — Detecção de defeitos internos, como microtrincas nas células, dedos quebrados e soldagem fria



- ✓ Torquímetro (0~30 N·m) — Verificação do torque de aperto de conexões elétricas e parafusos de braçadeiras
- ✓ Ferramentas Especializadas de Montagem/Desmontagem de Conectores MC4 — Separação e acoplamento seguros de conectores
- ✓ Megômetro de Resistência de Aterramento — Teste periódico de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas e aterramento
- ✓ Kit de Limpeza Específico para Sistemas Fotovoltaicos (rolo macio, pano de microfibra, rodo para água desmineralizada, etc.)

9.3 Suporte Técnico e Informações de Contato

Linha Direta de Atendimento Pós-Venda: (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)

E-mail de Suporte Técnico: tech-support@zkfnsolar.com

Site Oficial: www.zkfnsolar.com

Endereço da Base de Fabricação: Prédio 1, Xinshenglin, Parque Industrial de Manufatura Inteligente Lvhaihui, Zona de Desenvolvimento Econômico de Jining, Cidade de Jining, Província de Shandong

9.4 Notas de Revisão do Manual

Este manual é a Versão A01, lançada em 09 de maio de 2026. A ZKFN SOLAR revisará e aprimorará periodicamente o conteúdo do manual com base em atualizações tecnológicas dos módulos, atualizações de normas do setor e feedback dos usuários. As versões revisadas serão publicadas através do centro de download do site oficial e notificadas aos usuários registrados por e-mail e outros canais. Os usuários podem obter a versão mais recente gratuitamente. Caso os usuários descubram algum problema ou tenham sugestões de melhoria ao utilizar este manual, podem enviar um e-mail para tech-support@zkfnsolar.com, e avaliaremos prontamente e incorporaremos ao plano de revisão.

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

www.zkfn-solar.com

Linha de Atendimento: (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)