



Série SolarVela & SolarNoah

Manual de Operação e Manutenção do Módulo Fotovoltaico Flexível Leve

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

Data de Publicação: 2026-05-09 | Versão: ZKFN-ATSD-FLX-OMM-122



Índice

1. Visão Geral do Manual, Direitos e Responsabilidades	- 3 -
1.1 Âmbito de Aplicação	- 3 -
1.2 Isenção de Responsabilidade	- 3 -
1.3 Âmbito 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 para Pessoal de O&M	- 5 -
2.3 Requisitos de Segurança do Equipamento	- 6 -
2.4 Atividades de O&M Proibidas.....	- 7 -
3. Especificações de Inspeção de O&M	- 8 -
3.1 Requisitos Gerais de O&M.....	- 8 -
3.2 Frequência e Itens de Inspeção	- 9 -
3.3 Inspeções Especiais.....	- 10 -
4. Limpeza dos Módulos Fotovoltaicos	- 10 -
4.1 Requisitos Básicos de Limpeza	- 11 -
4.2 Métodos de Limpeza	- 11 -
4.3 Momento da Limpeza.....	- 11 -
4.5 Precauções de Limpeza	- 12 -
4.6 Inspeção Pós-Limpeza	- 12 -
5. Reparo e Substituição de Módulos.....	- 12 -
5.1 Requisitos Gerais de Substituição	- 12 -
5.2 Procedimento de Substituição de Módulo de Montagem Adesiva (Série SolarVela).....	- 13 -
5.3 Procedimento de Substituição de Módulo Fixado por Grampo (Série SolarNoah)-	14 -
5.4 Verificação do Sistema Após Substituição do Módulo	- 15 -
6. Diagnóstico de Falhas Comuns e Solução de Problemas	- 15 -
6.1 Degradação Anormal da Potência do Módulo	- 15 -
6.2 Efeito de Ponto Quente no Módulo	- 16 -
6.3 Falhas de Fiação e Conectores dos Módulos.....	- 17 -



6.4 Diagnóstico de Falhas no Lado do Inversor e em Nível de String.....	- 17 -
7.1 Resposta de Emergência a Vazamento Elétrico em Módulos	- 18 -
7.2 Resposta de Emergência a Incêndio em Módulos.....	- 18 -
7.3 Resposta a Emergências por Desastres Naturais	- 19 -
7.4 Resposta a Emergências por Descargas Atmosféricas	- 20 -
8. Registros de O&M e Gestão de Arquivos	- 20 -
8.1 Sistema de Gestão de Registros de O&M.....	- 20 -
8.2 Sistema de Classificação e Arquivamento de Documentos.....	- 21 -
8.3 Relatório Anual de O&M	- 22 -
9.1 Perguntas Frequentes (FAQ)	- 22 -
9.2 Lista de Verificação de Ferramentas e Instrumentos Comuns de O&M	- 23 -
9.3 Suporte Técnico e Informações de Contato	- 24 -
9.4 Notas de Revisão do Manual	- 24 -

1. Visão Geral do Manual, Direitos e Responsabilidades

1.1 Âmbito de Aplicação

Este manual de O&M (doravante designado como "este Manual") é emitido pela Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd. (doravante designada como "ZKFN SOLAR") e aplica-se a todos os aspetos operacionais ao longo de todo o ciclo de vida dos módulos fotovoltaicos leves das séries SolarVela e SolarNoah (doravante designados coletivamente como "Módulos"), abrangendo: inspeção de rotina e testes especializados, limpeza de módulos, diagnóstico de falhas e resolução de problemas, reparação e substituição de módulos, resposta a emergências, e gestão de registos e arquivos de O&M.

A série SolarVela é composta por módulos flexíveis conformáveis instalados através de colagem direta com adesivo estrutural, sem necessidade de calhas ou suportes, adequados para telhados de telha metálica colorida tipo T e ondulada, e superfícies de membranas impermeáveis em telhados planos. A série SolarNoah é composta por módulos leves com moldura rígida traseira, instalados através do sistema de fixação rápida Quick-Clamp, permitindo remoção não destrutiva, adequados para vários tipos de telhados de telha metálica colorida (incluindo tipos de junta vertical e trapezoidal) e cenários de telhados planos. Ambas as séries estão equipadas com a tecnologia exclusiva TSR-Armor™ Anti-Micro-Crack da ZKFN SOLAR.

Este Manual destina-se a entidades de O&M qualificadas e pessoal de O&M. As referidas entidades e o seu pessoal operacional têm a obrigação de ler, compreender na totalidade e cumprir rigorosamente todas as disposições deste Manual antes de iniciar os trabalhos, e devem fornecer divulgação por escrito dos requisitos de segurança e manutenção relevantes ao proprietário final.

1.2 Isenção de Responsabilidade

A ZKFN SOLAR reserva-se o direito de modificar este Manual sem aviso prévio devido a atualizações tecnológicas 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. Os clientes e as partes de O&M são responsáveis por verificar proativamente e garantir a utilização da versão mais recente. Qualquer desvio operacional resultante da utilização de uma versão desatualizada deste Manual será da exclusiva responsabilidade do utilizador.

O incumprimento 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 qualquer garantia, expressa ou implícita, relativamente a qualquer informação contida neste Manual. Os utilizadores e o pessoal de O&M devem realizar levantamentos técnicos no local do projeto para garantir que os métodos de O&M adotados cumprem as leis, regulamentos e códigos de construção locais.

1.3 Âmbito de Responsabilidade

Independentemente de a O&M dos módulos ser realizada de acordo com as instruções deste Manual, a ZKFN SOLAR não assume qualquer responsabilidade legal por danos decorrentes do processo de O&M (incluindo, mas não se limitando a, lesões pessoais e danos materiais resultantes do manuseamento dos módulos e da 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 SolarVela e SolarNoah da ZKFN SOLAR são cobertos por uma garantia de produto de 12 anos e uma garantia de potência linear de 25 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 substituídos durante a O&M, incluindo módulos, grampos, adesivos estruturais e conectores, 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 projetos 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 Contato: tech-support@zkfnsolar.com

Site Oficial: www.zkfnsolar.com

Endereço da Base de Fabricação: Prédio 1, Xinchenglin, Parque Industrial Inteligente Lvhaihui, 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, uma tensão CC estará presente nos terminais positivo e negativo e nos conectores, mesmo que não estejam conectados a um circuito. A tensão de uma matriz fotovoltaica composta 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 ou autorização profissional entrem em contato com os terminais, conectores ou partes vivas 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 Desconexão Sob Carga: Antes de realizar 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 antirreligamento. É proibido, em qualquer circunstância, desconectar conectores ou

conexões elétricas sob carga. A desconexão sob carga gerará um arco CC perigoso e destrutivo, que pode causar incêndio, danos ao equipamento e ferimentos graves.

4. **Manuseio de Módulos Danificados:** Módulos encontrados com danos aparentes durante as inspeções de O&M (incluindo, mas não se limitando a, penetração na superfície, rachaduras, arranhões no backsheet com penetração, rachaduras 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 das caixas de junção dos módulos 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 realizar o trabalho 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. **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.
7. **Classe de Aplicação e Aviso:** Esta série de módulos é da Classe de Aplicação A (equivalente à Classe de Segurança II da IEC 61730-1), adequada para sistemas acessíveis ao público. Quando a tensão de circuito aberto do sistema exceder 50V, de acordo com as regulamentações 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 para Pessoal de O&M

1. **Requisitos de Qualificação:** Todo o pessoal responsável pela O&M de sistemas fotovoltaicos deve ter concluído treinamento profissional de O&M em 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 deste Manual e com os regulamentos governamentais locais relevantes antes de iniciar o trabalho de O&M.
2. **Regra de Trabalho em Dupla:** Para minimizar os riscos associados a operações individuais (como choque elétrico acidental, queda de altura, etc.), todo o trabalho de O&M, manuseio e cabeamento no local deve ser realizado 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 isolantes, sapatos isolantes e capacete de segurança. Quando o trabalho em altura estiver envolvido, um cinto de segurança de absorção de choque

com gancho duplo deve ser usado em todos os momentos e firmemente ancorado a um ponto de ancoragem independente e confiável. Ao usar equipamentos de teste, como multímetros e termômetros infravermelhos, o equipamento deve ser operado corretamente de acordo com o manual do equipamento para evitar danos ao equipamento ou lesões pessoais.

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 sob 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. Conscientização de Segurança: O pessoal de O&M deve estabelecer uma mentalidade de "Segurança em Primeiro Lugar". É estritamente proibido entrar em contato com as partes metálicas energizadas dos módulos sem desconectar a fonte de alimentação. É estritamente proibido fumar ou usar chamas abertas perto do conjunto de módulos. Se perigos de segurança, como vazamento elétrico do módulo ou incêndio, forem descobertos, o trabalho deve ser imediatamente interrompido, a fonte de alimentação desconectada e os procedimentos de emergência correspondentes iniciados.

2.3 Requisitos de Segurança do Equipamento

1. Segurança do Circuito: A fiação do conjunto de módulos fotovoltaicos deve estar em conformidade com as especificações de segurança elétrica. Os terminais devem estar firmemente conectados para evitar afrouxamento e oxidação. O interruptor principal, disjuntores, fusíveis e outros dispositivos de proteção do conjunto de módulos devem ser incluídos no escopo da inspeção periódica para garantir que funcionem corretamente e possam desconectar prontamente a fonte de alimentação em caso de curto-circuito ou sobrecarga do circuito. É estritamente proibida a modificação não autorizada do método de conexão do circuito do módulo ou a adição de cargas extras.
2. Segurança contra Incêndio: A área ao redor do conjunto de módulos deve permanecer desobstruída. O armazenamento de materiais inflamáveis e explosivos (como gasolina, diesel, caixas de papelão, solventes químicos, etc.) é estritamente proibido. A usina deve estar equipada com uma quantidade adequada de tipos apropriados de equipamentos de combate a incêndio (extintores de pó seco, extintores de dióxido de carbono). O equipamento de combate a incêndio deve ser incluído no plano de inspeção periódica para garantir que permaneça dentro do período de validade e em condições utilizáveis. O pessoal de O&M deve dominar o método básico de combate a incêndio em usinas fotovoltaicas: primeiro desconectar a fonte de alimentação, depois usar o equipamento de combate a incêndio apropriado para supressão.
3. Declaração de Isenção de Aterramento do Módulo: Considerando que o design de todos os módulos das séries SolarVela e SolarNoah não incorpora qualquer moldura metálica externa não isolada (borda), o próprio módulo constitui uma estrutura completa de Isolamento Classe II (equivalente à Classe de Segurança II da IEC 61730-1). Portanto, não é necessário tratamento explícito de aterramento de qualquer parte do corpo do

módulo. Esta declaração de isenção não altera os requisitos gerais de aterramento para proteção contra raios e aterramento elétrico de proteção do sistema fotovoltaico.

2.4 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, escalar ou pular sobre a superfície do módulo. É proibido permitir que os módulos colidam, rocem 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 acumular ou onde estejam continuamente expostos à umidade. Durante todas as fases de armazenamento, manuseio e O&M, é proibido colocar módulos com a face para baixo, empilhar módulos uns sobre os outros ou aplicar cargas de compressão nos módulos.
6. Matéria Estranha na Superfície e Sombreamento: É proibido aplicar adesivo estrutural, selante ou qualquer substância estranha na área efetiva de recepção de luz das células do módulo durante a O&M. Após a conclusão da O&M, todas as linhas 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 recepção de luz das células.
7. Fontes de Poluição e Fontes de Ignição: É proibido instalar saídas de emissão contínua ou aberturas de exaustão para fumos de óleo, poeira ou gases quimicamente corrosivos ao redor dos módulos. É proibido armazenar fontes de chama aberta ou materiais inflamáveis e explosivos perto dos módulos.
8. Carregamento inadequado: Após concluir as inspeções de O&M, é proibido colocar quaisquer objetos pesados, ferramentas ou objetos com pontos de apoio pontiagudos sobre a superfície do módulo, para evitar danos causados por tensão prolongada.
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 traciona 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 peça componente dos módulos. Caixas de junção danificadas e conectores danificados representam riscos elétricos potenciais e riscos de laceração.

3. Especificações de Inspeção de O&M

3.1 Requisitos Gerais de O&M

3.1.1 Gerenciamento de Prevenção de Sombreamento

Durante a instalação e operação de módulos fotovoltaicos leves, é estritamente proibido o sombreamento local 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, novas fontes de sombreamento emergentes devem ser minuciosamente investigadas e prontamente removidas.

Após eventos de chuva ou neve, a superfície do módulo deve ser inspecionada dentro de 24 horas, e a poeira acumulada na superfície do módulo deve ser enxaguada 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 teste especializado. Periodicamente, realize 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 prevenção de acúmulo de poeira para a usina.

3.1.2 Inspeção de Segurança da Estrutura de Montagem

1. Método de Colagem com Adesivo Estrutural (Série SolarVela): Em cada inspeção, a condição das áreas coladas deve ser verificada para determinar se há abertura do adesivo, descolamento, levantamento de cantos ou levantamento de 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 Grampo/Suporte (Série SolarNoah): Em cada inspeção, a firmeza dos grampos e suportes e o aperto dos parafusos devem ser verificados. Ao mesmo tempo, a condição de segurança das estruturas de suporte relevantes do edifício deve ser examinada. Para parafusos M8 usados na fixação dos grampos, o torque de aperto deve ser mantido dentro da faixa de 15~20 N·m.

3.1.3 Inspeção de Segurança Elétrica

Concentre-se em inspecionar a integridade da vedação das conexões e a fixação dos conectores fotovoltaicos, e investigue se os cabos CC apresentam sinais de danos, envelhecimento, compressão ou tensão.

Verifique a consistência da especificação e do modelo dos conectores fotovoltaicos. Se os conectores fotovoltaicos usados 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, causando oxidação e corrosão dos pinos internos,

aumento da resistência de contato, levando ao 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 no módulo, cabos de interligação (cabos de extensão de string) feitos em campo, até os terminais de entrada dos combinadores e inversores — em qualquer posição onde sejam necessárias conexões de plugue, deve ser garantido 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 menores (diferença de temperatura $< 20^{\circ}\text{C}$), realize monitoramento de rastreamento e registre a tendência de mudança. Módulos com pontos quentes de alta temperatura severos (diferença de temperatura $\geq 20^{\circ}\text{C}$) devem ser imediatamente retirados de serviço e programados para substituição. Elimine a operação de módulos com falhas, evite 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. A remoção não autorizada das estruturas de vedação instaladas de fábrica e dos pontos de conexão elétrica do módulo não é permitida.

3.2 Frequência e Itens de Inspeção

3.2.1 Inspeção de Rotina (Mensal)

Uma inspeção abrangente dos equipamentos do sistema de geração de energia solar fotovoltaica distribuída deve ser realizada pelo menos uma vez por mês por pessoal de operação e manutenção profissional treinado. Durante as operações, o pessoal de inspeção deve usar luvas isolantes de borracha e botas isoladas em todos os momentos. A inspeção e o exame dos módulos fotovoltaicos devem incluir os seguintes itens:

- Se a superfície receptora de luz do módulo fotovoltaico está limpa e se há acúmulo de poeira, fezes de pássaros, manchas de óleo ou outros contaminantes e novo sombreamento
- Se os fios de conexão entre os módulos estão soltos, queimados ou envelhecidos, e se as amarras dos cabos estão em boas condições
- Se as caixas de junção dos módulos fotovoltaicos estão seguras, as tampas das caixas estão bem fechadas e os conectores estão totalmente encaixados
- Se os módulos fotovoltaicos apresentam deformação, rachaduras, quebras, descoloração, delaminação, bolhas ou outras condições anormais
- Se os fixadores de montagem dos módulos (grampos, suportes) estão soltos e se as áreas coladas dos módulos montados com adesivo estão intactas
- Se as conexões entre os suportes de montagem dos arranjos estão seguras e se a conexão entre os suportes e o sistema de aterramento é confiável
- Verificar através do sistema de monitoramento se os dados de corrente, tensão e potência de cada string estão dentro das faixas normais

3.2.2 Itens Adicionais de Inspeção Trimestral

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

- Utilizar uma câmera termográfica infravermelha para realizar varredura de pontos quentes em todos os módulos, bloco por bloco, estabelecendo um arquivo de temperatura dos módulos
- Verificar se os fusíveis do arranjo, disjuntores, chaves seccionadoras e outros dispositivos de proteção estão funcionando normalmente
- Verificar se o sistema de drenagem do telhado está desobstruído e se há riscos de acúmulo de água ao redor dos módulos
- Inspeccionar o sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramento, medindo se os valores de resistência de aterramento estão dentro da faixa especificada (geralmente exigido $\leq 4\Omega$)
- Realizar reinspeção de torque em pelo menos 10% dos pontos de conexão elétrica

3.2.3 Itens Adicionais de Inspeção Anual

Além de concluir todos os itens de inspeção mensal e trimestral, uma inspeção aprofundada abrangente deve ser realizada uma vez por ano:

- Utilizar um traçador de curva IV para realizar testes de características de potência em cada string ou em pelo menos 30% dos módulos
- Realizar inspeção EL (imagem por eletroluminescência) em módulos com degradação anormal de potência para detectar defeitos internos
- Realizar reinspeção abrangente do torque de aperto em todos os pontos de conexão elétrica do lado CC
- Realizar uma avaliação abrangente de segurança da estrutura de suporte do telhado (estrutura de carga, pontos de ancoragem, inspeção de ferrugem)
- Utilizar um megôhmetro (faixa de 1000V CC) para medir a resistência de isolamento string-terra
- Emitir um relatório anual de análise de O&M, resumindo os dados operacionais do ano e as tendências de mudança de desempenho

3.3 Inspeções Especiais

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

- Após Tempestade com Raios: Utilizar uma 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 descargas atmosféricas foram acionados
- Após Ventos Fortes: Verificar se os grampos e fixadores dos módulos fotovoltaicos se soltaram ou afrouxaram; se os módulos foram virados ou deslocados pelo vento forte; se o telhado permanece estável
- Após Granizo/Neve: Inspeccionar os painéis frontais dos módulos fotovoltaicos bloco por bloco quanto a trincas ou quebras; verificar se há deformação dos módulos causada pela carga de neve
- Após Tempestades de Areia: Verifique se há marcas de impacto de areia nas superfícies dos módulos; providencie prontamente operações de limpeza para remover o acúmulo de poeira da superfície

4. Limpeza dos Módulos Fotovoltaicos

4.1 Requisitos Básicos de Limpeza

Os módulos fotovoltaicos devem manter as superfícies limpas durante a operação. Em geral, a limpeza deve ser realizada pelo menos uma vez por mês, com a frequência aumentada adequadamente em condições ambientais naturais adversas. Em áreas com poeira intensa (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. Os módulos fotovoltaicos devem ser limpos prontamente quando estiverem visivelmente sujos para garantir a eficiência de conversão fotoelétrica do módulo. A limpeza deve ser programada quando qualquer uma das seguintes condições for atendida:

- A inspeção visual mostra que a superfície receptora de luz do módulo está visivelmente suja, com uma camada de poeira visível
- Usando um medidor de watt-hora CC de alta precisão para medir simultaneamente em tempo real a produção de energia de 2 strings a serem limpas e 2 strings limpas, o valor de comparação difere em $\geq 4\%$
- A produção de energia do arranjo fotovoltaico cai abaixo de 85% do estado inicial (produção na conclusão da última limpeza)
- Os dados de monitoramento da usina mostram que a produção de geração caiu mais de 5% em relação aos níveis normais, e falhas de equipamento e fatores meteorológicos foram descartados

4.2 Métodos de Limpeza

Recomenda-se o uso de um pano macio úmido, esponja ou rolo macio para remover manchas superficiais dos módulos fotovoltaicos leves ZKFN SOLAR. Para manchas persistentes, um agente de limpeza neutro (como limpador de vidros, detergente neutro, líquido de lavar louça) ou surfactante (desengordurante, removedor de manchas) pode ser usado para auxiliar na limpeza. O uso de escovas de aço, palha de aço, raspadores de metal, escovas de cerdas duras ou ferramentas similares como implementos de limpeza é proibido.

Sequência Padrão de Limpeza: Primeiro, enxágue de cima para baixo com água limpa para remover poeira solta, depois limpe suavemente com um pano macio umedecido com água limpa ou solução de limpeza neutra e, finalmente, enxágue completamente com bastante água limpa e seque com um pano macio e limpo. É proibido o uso de solventes corrosivos para limpeza ou objetos duros para esfregar os módulos fotovoltaicos.

4.3 Momento da Limpeza

Para evitar sombreamento artificial durante as operações de limpeza que possa causar efeitos de ponto quente, reduzir perdas de geração da usina fotovoltaica e garantir a segurança dos profissionais de limpeza, a limpeza deve ser realizada evitando períodos de alta temperatura, forte irradiância e horário ideal de geração fotovoltaica. Para evitar choque elétrico nos profissionais de limpeza e danos aos módulos fotovoltaicos causados pela alta tensão e alta corrente da usina fotovoltaica, a limpeza deve ser realizada durante períodos em que a irradiância esteja abaixo de 200 W/m^2 , geralmente escolhendo o início da manhã, final da tarde, período noturno ou dias nublados.

4.4 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: ≤ 50 mg/L

Nota: Onde as condições permitirem, água amaciada ou água deionizada deve ser usada preferencialmente para evitar depósitos de incrustações na superfície do módulo.

4.5 Precauções de Limpeza

As seguintes especificações de segurança e operacionais devem ser rigorosamente observadas durante as operações de limpeza:

- É estritamente proibido pisar nos módulos flexíveis da série SolarVela (sem moldura) para operações de limpeza
- É estritamente proibido que o fluxo de água respingue na parte traseira do módulo e nas áreas de fixação dos cabos
- As operações de limpeza são proibidas em condições climáticas severas, como chuva forte, neve intensa, areia soprada e granizo
- Evitar forças externas e outros impactos mecânicos ou compressão nos módulos
- É proibido o uso de gás de alta pressão ou ar comprimido para limpar as superfícies dos módulos com jatos, para evitar que a pressão do vento cause danos ao módulo
- Evitar diferenças significativas de temperatura entre a temperatura da água de limpeza e a temperatura da superfície do módulo (recomenda-se que a diferença de temperatura não exceda 10°C)
- Ao limpar com água pressurizada, recomenda-se pressão de água de 0,1~0,2 MPa
- É estritamente proibido, em qualquer momento, utilizar um jato de água de alta pressão a curta distância direcionado às juntas da caixa de junção e aos conectores para lavagem
- É proibido andar, ficar em pé ou sentar sobre os módulos durante a limpeza
- A caixa de junção dos módulos da série SolarVela está localizada na parte frontal do módulo; durante a limpeza, as ferramentas devem evitar a área da caixa de junção para evitar o descolamento da fita de vedação ou danos ao invólucro

4.6 Inspeção Pós-Limpeza

Após concluir as operações de limpeza, as seguintes inspeções devem ser realizadas e documentadas por escrito:

- A aparência geral dos módulos deve estar visualmente limpa e brilhante, livre de manchas residuais e marcas d'água
- Não há novos riscos ou trincas causadas por ação humana na superfície do módulo
- Os módulos não apresentam inclinação ou curvatura, e os terminais não apresentam desprendimento ou afrouxamento
- Os conectores permanecem secos e limpos, com os anéis de vedação intactos
- Registrar a data da limpeza, o pessoal responsável, o escopo da limpeza, o método de limpeza e os dados comparativos de potência das strings antes e depois da limpeza

5. Reparo e Substituição de Módulos

5.1 Requisitos Gerais de Substituição

Antes das operações de substituição de módulos, os riscos potenciais durante o processo de operação devem ser integralmente identificados (incluindo, mas não se limitando a: cortes em pessoas devido ao manuseio de ferramentas, quedas de altura, riscos de choque elétrico durante a desconexão/reconexão de circuitos e projeção de detritos durante a remoção de

módulos antigos, etc.), e medidas de mitigação específicas devem ser desenvolvidas para cada risco. Uma "Reunião de Segurança Pré-Trabalho" deve ser realizada antes de cada operação. O supervisor de trabalho deve explicar o conteúdo do trabalho do dia, as atribuições específicas das tarefas, as precauções de segurança e os procedimentos de resposta a emergências a todos os participantes. Registros escritos devem ser feitos e assinados por todos os funcionários antes que o trabalho possa começar.

Antes da substituição, cada novo módulo deve ser inspecionado individualmente quanto à aparência (confirmando que não há arranhões na superfície, trincas, deformações e que os terminais estão intactos, 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 os módulos antigo e novo antes que possam ser colocados em serviço.

É proibido usar força excessiva para alavancar os módulos, para evitar 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. Módulos residuais, fragmentos de vidro, acessórios danificados e outros itens devem ser coletados separadamente e armazenados centralmente. 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 é proibido.

Aviso: Ao substituir módulos, a superfície frontal do módulo a ser substituído deve ser completamente coberta com material opaco (como pano preto de bloqueio de luz ou papelão grosso). Módulos expostos à luz solar gerarão alta tensão, o que é extremamente perigoso.

5.2 Procedimento de Substituição de Módulo de Montagem Adesiva (Série SolarVela)

Aplicável a módulos flexíveis conformáveis da série SolarVela. As etapas de substituição são as seguintes:

3. Preparação do Plano: Antes da substituição do módulo, um Plano de Implementação de Substituição de Módulo Leve deve ser preparado, definindo o processo operacional, as atribuições de pessoal, as medidas de segurança e os critérios de aceitação de qualidade
4. Confirmação de Desenergização: Antes de iniciar o trabalho, a alimentação do inversor e da caixa de combinação correspondente ao módulo deve ser desconectada. Uma placa de aviso "Não Ligar, Pessoal Trabalhando" deve ser pendurada no ponto de desconexão. Após um eletricitista certificado confirmar a desenergização usando um multímetro, o trabalho subsequente pode começar
5. Cobertura do Módulo: Cubra completamente a superfície frontal do módulo a ser substituído com material opaco para bloquear a luz
6. Desconexão Elétrica: Utilize ferramentas de desbloqueio especializadas para separar os conectores positivo e negativo do módulo; faça a marcação dos números dos cabos
7. Remoção do Módulo Antigo: Utilize ferramentas como estiletes e raspadores para cortar cuidadosamente o adesivo estrutural específico para PV ao longo da interface de colagem, separando gradualmente o módulo antigo do substrato do telhado. Durante a operação, controle a força e o ângulo de corte para evitar danificar os módulos circundantes e a camada de impermeabilização do telhado
8. Limpeza do Substrato: Remova completamente o adesivo estrutural residual e detritos do substrato do telhado, garantindo que a superfície de colagem esteja seca, limpa e plana. Se necessário, realize uma leve lixamento na superfície do substrato para restaurar a rugosidade superficial

9. Instalação do Novo Módulo: Siga rigorosamente os procedimentos padronizados no Manual de Instalação de Módulos Fotovoltaicos das Séries SolarVela e SolarNoah da ZKFN SOLAR para aplicação de adesivo, posicionamento do módulo, pressionamento com rolo e alinhamento
10. Proteção durante a Cura: Durante o período de cura do adesivo estrutural (tempos de cura de referência: 24 horas a 25°C~40°C, 48 horas a 10°C~25°C, 72 horas a 0°C~10°C), é estritamente proibido aplicar qualquer perturbação ao módulo. Barreiras de proteção e placas de aviso devem ser instaladas na área de substituição
11. Conexões Elétricas: Após a cura completa do adesivo estrutural, reconecte os conectores de acordo com a correspondência de polaridade positiva/negativa marcada, garantindo que seja ouvido um som de travamento "clique" audível
12. Teste de Energização: Remova o material de cobertura, feche o interruptor para restaurar o fornecimento de energia. Meça os parâmetros de saída do novo módulo, confirmando a compatibilidade com outros módulos na mesma string
13. Registros e Arquivamento: Registre detalhadamente todas as informações sobre o processo de substituição, incluindo data da substituição, motivo da substituição, números de série dos módulos antigo e novo e dados de teste, pessoal operante, etc.; atualize o arquivo de O&M da usina

5.3 Procedimento de Substituição de Módulo Fixado por Grampo (Série SolarNoah)

Aplicável a módulos de estrutura traseira rígida da série SolarNoah. As etapas de substituição são as seguintes:

1. Preparação do Plano: Antes da substituição do módulo, deverá ser elaborado um Plano de Implementação para Substituição de Módulo 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: Utilize uma chave dinamométrica para afrouxar e remover os parafusos de fixação do grampo até o torque especificado, remova os grampos em sequência e retire cuidadosamente o módulo antigo 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 primeiro ser reparados ou substituídos
7. Instalação do Novo Módulo: Posicione o novo módulo no local designado, ajustando as folgas periféricas para que fiquem uniformes e consistentes. Instale os grampos em sequência, apertando uniformemente os parafusos M8 com um torque de 15~20 N·m. Os grampos devem pressionar a área de suporte de carga designada da estrutura 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: Igual ao Requisito 11 do Procedimento de Substituição por Fixação Adesiva

5.4 Verificação do Sistema Após Substituição do Módulo

Após a conclusão da 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 para confirmar que a potência da string retornou aos níveis normais
- Realizar varredura de imagem térmica infravermelha na área do módulo recém-substituído para confirmar a ausência de pontos anormais de aquecimento

6. Diagnóstico de Falhas Comuns e Solução de Problemas

6.1 Degradação Anormal da Potência do Módulo

Sintomas da Falha

A potência de saída do módulo é significativamente menor que a potência nominal, e a taxa de degradação da potência excede a faixa normal, ou ocorre uma queda rápida inesperada de potência em um curto período.

Análise de Causa de 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 não limpos por longo período na superfície do módulo, resultando em declínio contínuo da transmitância de luz
- Microtrincas internas nas células e dedos de grade quebrados dentro do módulo, afetando a coleta efetiva da corrente fotogerada
- Falha do diodo de bypass dentro da caixa de junção (falha em curto-circuito ou circuito aberto), causando a parada de operação de strings parciais 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
- Mau contato do conector ou envelhecimento do cabo, resultando em aumento anormal da resistência em série

Métodos de Diagnóstico e Solução de Problemas

- Use um traçador de curva IV profissional para medir a potência de saída real do módulo, confirmando o grau de degradação de potência e o padrão anormal da curva IV
- Inspeccione cuidadosamente a superfície do módulo quanto a poeira, sujeira, arranhões, trincas, etc.; verifique se a caixa de junção está intacta
- Utilize uma câmera termográfica infravermelha para detectar se existem efeitos de ponto quente e pontos de aquecimento anormais
- Realize inspeção EL em módulos suspeitos de terem defeitos internos para confirmar a presença de microfissuras, dedos de grade quebrados, soldagem fria, etc.
- Se for causado por acúmulo de poeira/sujeira na superfície → Limpe o módulo imediatamente

- Se for causado por sombreamento localizado → Remova a fonte de sombreamento e otimize o ambiente ao redor do módulo
- Se o diodo interno da caixa de junção estiver danificado → Substitua 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 → Substitua o módulo
- Se o módulo ainda estiver dentro do período de garantia e for confirmado como um problema de qualidade do produto → Solicite o serviço pós-venda de acordo com os procedimentos de garantia

6.2 Efeito de Ponto Quente no Módulo

Sintomas de Falha

A inspeção termográfica 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 incêndio.

Análise de Causa de 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, consumindo a energia elétrica gerada pelas células normais adjacentes e formando temperaturas elevadas 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 apresentando 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

Tratamento e Medidas Preventivas

Tratamento Imediato: Remover imediatamente os objetos de sombreamento da superfície do módulo; desenergizar e isolar módulos com pontos quentes severos para evitar a escalada da falha.

Disposição Graduada:

- Pontos quentes leves (diferença de temperatura $< 20^{\circ}\text{C}$) sem danos internos visíveis → Continuar rastreamento e monitoramento após remover os objetos de sombreamento
- Pontos quentes moderados (diferença de temperatura $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$) → Recomendar o desenvolvimento de 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. Periodicamente, limpe a vegetação e os detritos ao redor dos módulos que possam formar fontes de sombreamento. Realize inspeções abrangentes de termografia infravermelha trimestralmente, estabelecendo um arquivo de linha de base de temperatura dos módulos.

6.3 Falhas de 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 dos invólucros plásticos dos conectores com odor de queimado.

Análise de Causa 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 destacado), com entrada de umidade e poeira causando oxidação e corrosão dos pinos
- Conectores macho e fêmea de diferentes fabricantes ou diferentes séries de modelos, resultando em grandes tolerâncias 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 elétrica ou curto-circuito
- Erros de cabeamento (como polaridade positiva e negativa invertida) ou topologia de cabeamento de string incorreta
- Conectores sob tensão prolongada do cabo, causando afrouxamento do pino interno

Procedimento de Solução de Problemas

- Desenergização Segura: Primeiro, desconecte a caixa combinadora e a fonte de alimentação do inversor correspondentes, confirme a desenergização 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
- Oxidação/Corrosão do Terminal → Corte a seção danificada e substitua por um novo conector do mesmo modelo e especificação
- Incompatibilidade de Modelo do Conector → Substitua todos os conectores por modelos compatíveis certificados pela ZKFN SOLAR
- Dano no Cabo → Substitua por cabo CC específico para sistemas fotovoltaicos da mesma especificação, garantindo que a bitola do fio e a classificação de tensão correspondam às originais
- Erro de Cabeamento → Recabeie de acordo com as marcações corretas de polaridade positiva/negativa e o diagrama de cabeamento da string
- Restauração e Verificação: Após concluir a fiação, restaure a energia, meça a tensão de circuito aberto da string, a corrente de curto-circuito e a corrente de operação, confirmando que a falha foi eliminada e os parâmetros estão normais

6.4 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: Identifique o número da string com falha e a localização física correspondente através da plataforma de monitoramento
- Etapa 2: Sob condições seguras de desenergização, meça a tensão de circuito aberto (Voc) da string e compare 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: Meça 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: Meça a string segmento por segmento, estreitando progressivamente o intervalo da falha até localizar o módulo problemático específico
- Etapa 5: Realize diagnósticos adicionais, como teste de curva IV e inspeção EL no módulo problemático identificado, determine o tipo de falha e tome as medidas de tratamento correspondentes

7. Medidas de Resposta a Emergências

7.1 Resposta de Emergência a Vazamento Elétrico em Módulos

Ao detectar um alarme de vazamento elétrico em módulos ou suspeita de vazamento, o pessoal de O&M deve executar imediatamente os seguintes procedimentos:

- Evacuação de Emergência de Pessoal: Afaste-se imediatamente da área de vazamento; não toque no módulo com vazamento nem em seus componentes metálicos adjacentes; simultaneamente, impeça a entrada de outras pessoas
- Desenergização Segura: Profissionais certificados, utilizando luvas isolantes com classificação de tensão adequada, devem usar uma haste de manobra isolada para desconectar a caixa de combinação e a fonte de alimentação do inversor correspondentes, e afixar placas de sinalização de advertência
- Detecção de Falhas: Utilize um medidor de resistência de isolamento para medir a resistência de isolamento à terra da string com vazamento, segmento por segmento, empregando o método de eliminação seccional para localizar o módulo com vazamento
- Investigação de Causas: Inspeccione o módulo com vazamento quanto a condições como entrada de água na caixa de junção, falha na vedação do conector, danos no isolamento do cabo e danos por penetração no backsheet
- 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 a aprovação em todos os testes, as placas de sinalização de advertência podem ser removidas e a energia pode ser restabelecida. Após o restabelecimento, deve-se realizar monitoramento contínuo por pelo menos 1 hora para confirmar a ausência de anomalias

7.2 Resposta de Emergência a Incêndio em Módulos

O desempenho ao fogo dos módulos fotovoltaicos leves das séries SolarVela e SolarNoah da ZKFN SOLAR foi aprovado nos testes e certificação UL790 Classe C (Norma da Underwriters Laboratories para Ensaios de Fogo em Coberturas). Esta classificação indica que os módulos apresentam bom desempenho ao fogo em cenários de incêndio simulados, incluindo taxa limitada de propagação de chamas, baixo risco de gotículas inflamáveis e conformidade com requisitos rigorosos de resistência ao fogo.

Se ocorrer um incidente de incêndio em um módulo no local de O&M, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- Desconectar imediatamente a fonte de alimentação principal do conjunto de módulos fotovoltaicos (incluindo as fontes de alimentação do lado CC e do lado CA) para evitar a propagação do fogo e incidentes de choque elétrico
- Se o fogo for pequeno e as condições de segurança permitirem, usar um extintor de pó seco ou extintor de dióxido de carbono para suprimir o fogo na origem. É estritamente proibido usar água ou espuma para combate direto ao fogo para evitar risco de choque elétrico
- Se o fogo for muito grande para ser extinto de forma independente, ligar imediatamente para 119 para relatar o incêndio, comunicando claramente ao corpo de bombeiros informações-chave como "incêndio em usina fotovoltaica, perigo de alta tensão CC", e organizar a evacuação de todo o pessoal para uma área segura
- Após o fogo ser extinto, conduzir uma investigação sistemática da causa do incêndio, avaliar o nível de danos de cada módulo e equipamento elétrico, e preparar o Plano de Análise e Restauração do Incidente de Incêndio
- Somente após confirmar que todos os riscos de segurança foram eliminados (segurança estrutural, isolamento elétrico e integridade dos módulos) a usina pode ser gradualmente restaurada à operação de acordo com o plano de restauração

7.3 Resposta a Emergências por Desastres Naturais

7.3.1 Chuva Intensa/Inundação

- Antes da chegada de uma chuva intensa, inspecionar se o sistema de drenagem do conjunto de módulos está desobstruído e limpar detritos das saídas de drenagem
- Realocar equipamentos importantes dentro da usina (como hosts de monitoramento, inversores) para locais mais elevados ou implementar medidas de proteção contra água
- Durante a tempestade, cessar todas as operações externas de O&M. Se ocorrer inundação na usina, desconectar imediatamente todas as fontes de alimentação
- Após a recessão das águas da inundação, realizar 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 podem ser gradualmente retomadas

7.3.2 Ventos Fortes/Tufão

- Antes da chegada de ventos fortes, inspecionar de forma abrangente a condição de fixação dos grampos e suportes dos módulos, e reforçar quaisquer parafusos soltos
- Remover objetos soltos ao redor do conjunto de módulos que possam ser facilmente levantados pelo vento
- Durante o tufão, desligar a fonte de alimentação da usina e evacuar todo o pessoal para uma área segura
- Após o evento de vento, inspecionar de forma abrangente se os suportes e módulos apresentam deformação, deslocamento, danos ou outras condições. Reparar as áreas danificadas e reiniciar a usina somente após passar pela inspeção abrangente

7.3.3 Nevasca/Baixa Temperatura

- Durante uma nevasca, usar periodicamente um removedor de neve macio (material de silicone ou borracha) para limpar a neve acumulada das superfícies dos módulos,

prevenindo sombreamento por neve ou deformação dos módulos devido à carga excessiva de neve

- 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, para evitar mau contato ou danos operacionais causados pelo gelo
- É estritamente proibido pisar nos módulos flexíveis da série SolarVela ao remover neve. Pisar nos módulos flexíveis SolarVela pode facilmente causar danos irreversíveis, como ruptura do backsheet e microtrincas nas células, além de comprometer simultaneamente a capacidade de vedação do módulo, desencadeando falhas subsequentes, como entrada de umidade e curto-circuito
- As ferramentas de limpeza não devem entrar em contato com as caixas de junção. A caixa de junção dos módulos da série SolarVela está localizada na parte frontal do módulo. Se as ferramentas entrarem em contato com a caixa de junção durante a limpeza, isso pode facilmente causar descolamento da tira de vedação, danos ao invólucro ou afrouxamento dos terminais internos e mau contato da linha, o que pode, por sua vez, levar a riscos de segurança, como vazamento elétrico e ruptura do circuito. Durante as operações, o alcance da limpeza das ferramentas deve ser controlado para evitar a área da caixa de junção. Se necessário, uma pequena escova de cerdas macias pode ser usada para limpar separadamente uma pequena quantidade de neve ao redor da caixa de junção

7.4 Resposta a Emergências por Descargas Atmosféricas

A estação de tempestades é um período de alto risco para usinas fotovoltaicas sofrerem descargas atmosféricas. Se o sistema de monitoramento mostrar interrupção generalizada da comunicação dos módulos, disparo de inversores, ou a inspeção no local revelar marcas óbvias de descarga atmosférica nos módulos (como perfuração da caixa de junção, pontos de queimadura por arco na superfície do módulo), os seguintes procedimentos de manuseio devem ser iniciados imediatamente:

- Desconecte imediatamente todas as fontes de alimentação da usina; o pessoal deve evacuar prontamente para uma área interna segura
- Após a passagem da tempestade, inspecione completamente o sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramento: verifique se os condutores de descida do aterramento estão quebrados ou fundidos; meça se a resistência de aterramento ainda atende aos requisitos de projeto (geralmente exigido ser $\leq 4\Omega$)
- Inspecione a aparência dos módulos bloco por bloco; use uma câmera termográfica infravermelha para escanear pontos de aquecimento anormais
- Meça a resistência de isolamento e as características IV das strings afetadas por descargas atmosféricas; substitua os módulos que foram perfurados ou que tiveram desempenho severamente degradado
- Inspecione se os dispositivos de proteção contra surtos (SPDs) 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 eletrônico e físico de dupla via, 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 "Registro – Arquivo – Utilizar – Otimizar."

O pessoal de O&M deve registrar detalhadamente as informações relevantes para cada atividade de O&M, abrangendo as seguintes categorias:

- Registros de Inspeção: Registrar data da inspeção, pessoal da inspeção, escopo da inspeção, resultados da inspeção (condição visual do módulo, dados de parâmetros operacionais, problemas identificados e tratamento no local), acompanhamento de questões não resolvidas
- Registros de Limpeza: Registrar data da limpeza, pessoal da limpeza, escopo da limpeza, método de limpeza, consumo e qualidade da água, dados comparativos de potência de string representativa antes e depois da limpeza
- Registros de Tratamento de Falhas: Registrar data de ocorrência da falha, número de série e localização do módulo com falha, descrição do sintoma 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 usadas no reparo
- Registros de Substituição de Módulos: Registrar data da substituição, informações do módulo antigo (número de série, modelo, anos de serviço, tipo de falha), informações do módulo novo (número de série, modelo, dados de teste de desempenho elétrico inicial), pessoal operacional da substituição
- Registros de Resposta a Emergências: Registrar a hora e o 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 a data, escopo, método, dados brutos e conclusões da análise de testes especializados, como teste de curva IV, inspeção EL, varredura de termografia infravermelha e teste de resistência de isolamento

8.2 Sistema de Classificação e Arquivamento de Documentos

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 Arquivo Básico: Inclui documentação da fábrica de módulos (certificado de conformidade, relatório de teste de fábrica, lista de parâmetros técnicos), contratos de aquisição, acordos de garantia, desenhos "as-built" do sistema, relatórios de aceitação de conclusão, etc.
- Categoria de Arquivo 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." Os registros de inspeção devem ser resumidos diariamente e encadernados mensalmente; os registros de tratamento de falhas devem ser estabelecidos separadamente como "um caso, um arquivo," incluindo materiais de suporte, como relatórios de teste, fotografias comparativas pré e pós-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 "Registro de Desempenho Específico de Módulo" indexado pelo número de série do módulo, registrando dados-chave 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 de certificados de qualificação de 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 Fotovoltaica deve ser preparado e submetido a cada ano. O relatório deve conter, no mínimo, o seguinte conteúdo:

Um Relatório Anual Abrangente de Análise de O&M de Usina 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 em relação aos valores de projeto e ao mesmo período do ano anterior.
- Estatísticas resumidas das operações de inspeção e limpeza anuais (número de inspeções, número de limpezas, número e distribuição de tipos de problemas identificados e resolvidos)
- Análise da tendência de degradação do desempenho dos módulos (com base em dados de inspeção de curva IV e EL)
- Análise estatística de falhas (distribuição de tipos de falha, taxa de falhas, tempo médio de reparo, avaliação de impacto na geração de energia)
- Estatísticas de custos anuais 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

9.1 Perguntas Frequentes (FAQ)

P1: Qual é o intervalo de manutenção para os produtos de módulos fotovoltaicos leves ZKFN SOLAR? Quais são os principais itens a verificar?

R: Recomenda-se realizar inspeção e manutenção abrangentes pelo menos uma vez por mês, verificando o desempenho operacional de todos os módulos e a segurança e confiabilidade do sistema elétrico. Os módulos devem ser limpos pelo menos uma vez por mês para garantir a eficiência da geração de energia fotovoltaica. Os principais itens de inspeção incluem: se a aparência dos módulos apresenta algum dano; se as conexões elétricas estão seguras; se as caixas de junção e conectores estão intactos; se as superfícies dos módulos estão limpas e livres de sombreamento; se as estruturas de suporte de montagem estão estáveis; se o sistema de proteção contra descargas atmosféricas e aterramento está normal; se o sistema de monitoramento está operando normalmente; e se o sistema fotovoltaico apresenta alguma saída de energia anormal.

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 no 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.

Q3: 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 módulos cobertos de gelo. Diferenciais severos de temperatura entre frio e quente causarão estresse de choque térmico no painel do módulo e nos materiais de encapsulamento, podendo levar à quebra do módulo ou falha na camada de encapsulamento. Recomenda-se aguardar o aumento da temperatura ambiente para permitir que o gelo derreta naturalmente, ou usar um raspador de degelo 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 estiver seca, inspecione o módulo quanto a sinais de entrada de água ou danos.

Q4: Os módulos flexíveis das séries SolarVela & SolarNoah podem ser pisados para limpeza ou manutenção?

R: Não. As séries SolarVela e SolarNoah são módulos solares flexíveis. Qualquer forma de pisada pode causar danos irreversíveis, como ruptura da lâmina traseira e microfissuras nas células solares. Além disso, compromete o desempenho de vedação dos módulos, gerando falhas subsequentes como infiltração de umidade e curtos-circuitos elétricos. Para operações de limpeza e manutenção, devem ser utilizadas passarelas exclusivas e o acesso só é permitido pela periferia dos módulos.

Q5: 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 O&M 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.

Q6: A caixa de junção dos módulos da série SolarVela está localizada na parte frontal do módulo. Quais são os cuidados especiais durante a limpeza?

R: A caixa de junção dos módulos da série SolarVela está localizada na parte frontal (superfície de recepção de luz) do módulo, o que é uma característica estrutural de seu design de encapsulamento flexível. Durante as operações de limpeza, atenção especial deve ser dada: as ferramentas de limpeza (pano macio, rolo, rodo de água) devem evitar a área da caixa de junção para evitar que o impacto da ferramenta cause descolamento da tira de vedação da caixa de junção, danos ao invólucro ou afrouxamento dos terminais internos. Recomenda-se o uso de uma pequena escova de cerdas macias para limpar separadamente uma pequena quantidade de poeira ao redor da caixa de junção. É estritamente proibido, em todos os momentos, usar jato de água de alta pressão direcionado à caixa de junção e suas juntas para enxaguar.

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 alicate — Medição da corrente operacional da string sem interromper o circuito
- Traçador de Curva IV — Medição da curva característica corrente-tensão de módulos/strings; diagnóstico de degradação de desempenho
- Câmera Termográfica Infravermelha — Detecção de pontos quentes, investigação de aquecimento em conectores e terminais
- Testador de Resistência de Isolamento (faixas DC 500V/1000V) — Medição da resistência de isolamento string-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 para Conectores MC4 — Separação e acoplamento seguros de conectores
- Testador 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, escova de cerdas macias, 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

Base de Fabricação: Edifício 1, Xinshenglin, Parque Industrial 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 melhorará 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. Se os usuários descobrirem algum problema ou tiverem 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 Direta de Atendimento:(+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)