



SolarPega & SolarPegaF Series

Manuel d'utilisation et de maintenance des modules PV légers et rigides

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

Date de publication : 2026-05-09 | Version : ZKFN-ATSD-LG-OMM-342

Table des matières

1. Présentation du manuel, droits et responsabilités	- 3 -
1.1 Domaine d'application.....	- 3 -
1.2 Clause de non-responsabilité	- 3 -
1.3 Étendue de la responsabilité	- 3 -
1.4 Conditions de garantie	- 4 -
1.5 Informations sur le support technique.....	- 4 -
2. Procédures de sécurité pour l'exploitation et la maintenance	- 4 -
2.1 Avertissements généraux de sécurité	- 4 -
2.2 Exigences de sécurité du personnel O&M.....	- 5 -
2.3 Activités d'exploitation et de maintenance interdites	- 6 -
3. Spécifications d'inspection d'exploitation et de maintenance	- 7 -
3.1 Exigences générales d'exploitation et de maintenance	- 7 -
3.2 Fréquence et éléments d'inspection	- 9 -
3.3 Inspections spéciales	- 10 -
4. Nettoyage des modules photovoltaïques	- 11 -
4.1 Détermination de la fréquence et du moment du nettoyage.....	- 11 -
4.2 Exigences de qualité de l'eau de nettoyage	- 11 -
4.3 Procédure de nettoyage standard.....	- 12 -
4.4 Exigences d'Inspection Après Nettoyage.....	- 13 -
5. Diagnostic des pannes courantes et dépannage	- 13 -
5.1 Dégradation anormale de la puissance du module.....	- 13 -
5.2 Effet de point chaud du module.....	- 14 -
5.3 Défauts de câblage et de connecteurs des modules.....	- 15 -
5.4 Diagnostic des défauts côté onduleur et au niveau des chaînes	- 16 -
6. Réparation et remplacement de modules.....	- 17 -
6.1 Exigences générales pour le remplacement des modules	- 17 -
6.2 Procédure de remplacement pour les modules montés par adhésif.....	- 18 -
6.3 Procédure de remplacement pour les modules montés avec pinces/fixations.....	- 19 -
6.4 Vérification du système après remplacement du module	- 19 -
7. Mesures d'intervention d'urgence	- 20 -
7.1 Intervention d'urgence en cas de fuite électrique du module.....	- 20 -

7.2 Intervention d'urgence en cas d'incendie de module	- 20 -
7.3 Intervention d'urgence en cas de conditions météorologiques extrêmes....	- 21 -
8. Gestion des enregistrements et des archives d'exploitation et de maintenance...	- 22 -
8.1 Système de gestion des enregistrements d'exploitation et de maintenance-	22 -
8.2 Classification et archivage	- 23 -
8.3 Rapport annuel d'exploitation et de maintenance	- 23 -
9. Annexe	- 24 -
9.1 Foire aux questions (FAQ)	- 24 -
9.2 Liste de contrôle des outils et instruments courants d'exploitation et de maintenance.....	- 25 -
9.3 Assistance technique et coordonnées.....	- 26 -
9.4 Notes de révision du manuel.....	- 26 -

1. Présentation du manuel, droits et responsabilités

1.1 Domaine d'application

Ce manuel est le document officiel d'orientation pour l'exploitation et la maintenance émis par Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd. (ci-après dénommé « ZKFN SOLAR ») pour les séries SolarPega (SolarPega, SolarPegaL) et SolarPegaF (SolarPegaF, SolarPegaFL) de modules photovoltaïques TOPCon en silicium cristallin rigides et légers (ci-après dénommés « Modules »). Ce manuel couvre tous les aspects opérationnels tout au long du cycle de vie du système photovoltaïque après la mise en service raccordée au réseau, y compris : l'inspection de routine et les tests spécialisés, le nettoyage des modules, le diagnostic et la localisation des défauts, la réparation et le remplacement des modules, les interventions d'urgence, et la gestion des enregistrements d'exploitation et de maintenance.

Ce manuel est destiné aux intégrateurs de systèmes, aux entrepreneurs généraux EPC, aux prestataires de services O&M et au personnel professionnellement qualifié engagé dans l'exploitation et la maintenance des séries de modules mentionnées ci-dessus. Toute personne responsable de l'exploitation, de l'inspection ou de la réparation de ce produit est tenue de lire, de comprendre pleinement et de respecter strictement toutes les dispositions de ce manuel avant de commencer le travail. Le non-respect des procédures d'exploitation, des consignes de sécurité et des spécifications techniques énoncées dans ce manuel peut entraîner des blessures graves ou des dommages matériels. L'exploitation et la maintenance des modules PV nécessitent des compétences professionnelles et ne peuvent être effectuées que par du personnel qualifié détenant la certification appropriée. L'entité O&M doit fournir une notification écrite des consignes de sécurité et de maintenance contenues dans ce manuel au client final.

1.2 Clause de non-responsabilité

ZKFN SOLAR se réserve le droit de modifier ce manuel sans préavis en raison de mises à niveau technologiques des produits, d'améliorations de processus ou de mises à jour des normes. La dernière version de ce manuel sera publiée simultanément sur le centre de téléchargement du site officiel de ZKFN SOLAR. Les clients et les parties O&M sont responsables de vérifier et de s'assurer de l'utilisation de la dernière version. Tout écart opérationnel résultant de l'utilisation d'une version obsolète de ce manuel relèvera de la seule responsabilité de l'utilisateur.

Le non-respect par le client des exigences énoncées dans le manuel O&M (y compris les modifications publiées sur le site officiel de ZKFN SOLAR pendant la période O&M) lors de l'exploitation et de la maintenance des modules entraînera l'annulation de la garantie limitée du produit fournie au client.

ZKFN SOLAR ne fournit aucune garantie, expresse ou implicite, concernant les informations contenues dans ce manuel. Les utilisateurs et le personnel O&M doivent effectuer des études techniques sur site du projet pour s'assurer que les méthodes O&M adoptées sont conformes aux lois, réglementations et codes du bâtiment locaux.

1.3 Étendue de la responsabilité

Que la maintenance des modules soit effectuée conformément ou non aux instructions de ce manuel, ZKFN SOLAR n'assume aucune responsabilité légale pour tout dommage survenant au cours du processus O&M (y compris, mais sans s'y limiter, les blessures corporelles et les dommages matériels résultant de la manipulation des modules et de la maintenance du système).

En cas de divergence entre les différentes versions linguistiques de ce manuel, la version chinoise prévaudra.

Ce manuel est fourni uniquement à titre de guide opérationnel O&M. Aucune déclaration dans ce manuel, qu'elle soit expresse ou implicite, ne constitue un certificat de garantie.

1.4 Conditions de garantie

Tous les produits des séries SolarPega et SolarPegaF de ZKFN SOLAR sont couverts par une garantie produit de 15 ans et une garantie de puissance linéaire de 30 ans. La couverture spécifique de la garantie, les procédures de réclamation et les clauses d'exclusion sont régies par le document de garantie officiel fourni au moment de l'achat du produit.

Les principaux matériaux auxiliaires utilisés avec les modules, y compris les pinces, les adhésifs structurels et les connecteurs compatibles MC4, doivent utiliser des modèles de spécifications recommandés ou certifiés par ZKFN SOLAR pour garantir la compatibilité, la fiabilité et la sécurité globales du système. Les dommages au produit ou au système causés par l'utilisation de matériel non certifié ne sont pas couverts par la garantie.

1.5 Informations sur le support technique

Pour une documentation de support technique plus détaillée, une coordination de solutions spécifiques au projet ou une assistance pour les problèmes anormaux d'exploitation et de maintenance, veuillez contacter ZKFN SOLAR via les canaux officiels suivants :

Ligne d'assistance téléphonique : +86 400 6768 100

E-mail du support technique : tech-support@zkfnsolar.com

Site Web officiel : www.zkfnsolar.com

Adresse du site de fabrication : Building 1, Xinchenglin, Lvhaihui Intelligent Manufacturing Industrial Park, Jining Economic Development Zone, Jining City, Shandong Province

2. Procédures de sécurité pour l'exploitation et la maintenance

2.1 Avertissements généraux de sécurité

1. Tous les travaux d'exploitation et de maintenance (O&M) doivent être effectués en totale conformité avec les réglementations locales et régionales ainsi qu'avec les normes électriques nationales ou internationales applicables.
2. Risque de choc électrique et de brûlure : Les modules PV sont des dispositifs générateurs de courant continu (CC). Lorsque leurs surfaces sont exposées à la lumière, une tension CC sera présente aux bornes positive et négative et aux connecteurs, même s'ils ne sont pas connectés à un circuit. La tension d'un champ PV composé de plusieurs modules connectés en série peut atteindre des niveaux mettant en danger la sécurité des personnes. Il est interdit aux personnes n'ayant pas reçu de formation professionnelle ou d'autorisation de toucher de quelque manière que ce soit les bornes, les connecteurs ou les parties actives exposées des modules. Tout contact avec des composants sous tension peut entraîner des brûlures graves ou un choc électrique mortel.
3. Interdiction des opérations de coupure en charge : Avant d'effectuer tout travail de remplacement de module, de câblage ou de modification du système, il est essentiel de s'assurer d'abord que les systèmes côté CC et côté courant alternatif (CA) sont complètement hors tension, et de mettre en œuvre des mesures strictes de vérification de la mise hors tension et d'anti-refermeture. Il est interdit en toutes circonstances de déconnecter des connecteurs ou des connexions électriques sous charge. La

déconnexion en charge générera un arc CC dangereux et destructeur, pouvant provoquer un incendie, des dommages matériels et des blessures graves.

4. Manipulation des modules endommagés : Les modules présentant des dommages esthétiques lors des inspections O&M (y compris, mais sans s'y limiter, la pénétration de la surface, la fissuration, les rayures du feuillet arrière avec pénétration, la fissuration du boîtier de jonction ou l'infiltration d'eau interne) doivent être immédiatement isolés et programmés pour remplacement. Les modules endommagés sont irréparables et présentent un risque extrêmement élevé de fuite électrique et de choc électrique, car leurs performances d'isolation ont complètement échoué. Il est interdit, pour quelque raison que ce soit, de démonter les modules, de retirer les composants des modules ou de modifier le câblage des diodes de dérivation. Les couvercles des boîtiers de jonction des modules doivent rester fermement fermés à tout moment.
5. Risque de court-circuit positif-négatif : Il est interdit de connecter directement les connecteurs positif et négatif d'un seul module, car cela provoquerait un court-circuit du module. Avant d'effectuer des travaux O&M, tous les bouchons d'isolation des connecteurs ou les joints d'étanchéité doivent être inspectés et confirmés comme étant intacts et correctement en place, afin d'éviter les courts-circuits causés par une défaillance de l'isolation, ce qui pourrait entraîner un risque d'incendie ou de choc électrique.
6. Limites environnementales et des paramètres électriques : La plage de température ambiante de fonctionnement stable conçue pour les modules est de -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$. La tension en circuit ouvert maximale du système à toute température ambiante minimale prévue ne doit pas dépasser la tension maximale du système de 1500 V CC indiquée sur l'étiquette du produit du module. Le fonctionnement au-delà des paramètres nominaux est interdit pendant l'O&M.
7. Sécurité incendie : En cas d'incendie sur le site O&M, dans des conditions où cela peut être fait en toute sécurité et sans risque pour le personnel, l'alimentation électrique de l'ensemble du système PV (y compris les côtés CC et CA) doit d'abord être coupée. Ensuite, la lutte contre l'incendie doit être menée conformément aux codes de prévention des incendies électriques en utilisant des agents extincteurs non conducteurs tels que la poudre sèche ou le dioxyde de carbone. Il est interdit de pulvériser directement de l'eau ou de la mousse sur les modules et le système électrique sans avoir d'abord coupé l'alimentation électrique.
8. Classe d'application et avertissement : Cette série de modules est de classe d'application A (équivalente à la classe de sécurité II de la norme CEI 61730-1), adaptée aux systèmes accessibles au public. Lorsque la tension en circuit ouvert du système dépasse 50 V, conformément aux règles de sécurité, des panneaux d'avertissement bien visibles « Danger : Choc électrique » doivent être apposés à proximité des dispositifs de connexion des chaînes et dans des endroits facilement accessibles tels que les onduleurs.

2.2 Exigences de sécurité du personnel O&M

1. Exigences de qualification : Tout le personnel responsable de l'exploitation, de l'inspection et de la réparation des systèmes PV doit avoir suivi une formation professionnelle O&M sur les systèmes PV, détenir des certificats de qualification valides pertinents (y compris, mais sans s'y limiter, le certificat d'électricien basse tension, le certificat d'électricien haute tension, le certificat de travail en hauteur) et être

parfaitement familiarisé avec toutes les spécifications de sécurité de ce manuel et les réglementations gouvernementales locales applicables.

2. Règle de travail à deux personnes : Pour minimiser les risques associés aux opérations en solo (tels que les chocs électriques accidentels, les chutes de hauteur, etc.), toutes les inspections sur site, le nettoyage, les réparations et les travaux de câblage doivent être effectués par au moins deux personnes travaillant ensemble. Les opérations à haut risque en solo sont interdites.
3. Équipement de protection individuelle (EPI) : Le personnel d'exploitation et de maintenance doit porter correctement un équipement de protection individuelle certifié pendant les opérations, y compris, mais sans s'y limiter : des gants de protection antidérapants, des vêtements de travail isolants à manches longues et des chaussures isolantes anti-écrasement. Lorsque vous travaillez en bord de toiture ou dans toute zone présentant un risque de chute (dénivelé supérieur à 2 mètres), un harnais de sécurité antichute à double mousqueton doit être porté en permanence et solidement attaché à une ligne de vie ou à un point d'ancrage installé indépendamment. De plus, des garde-corps ou des filets de sécurité doivent être installés sous la surface de travail.
4. Outils et bijoux : Seuls les outils conformes aux normes de sécurité et correctement isolés peuvent être utilisés pendant le travail. Le port de bijoux en métal (tels que montres, bagues, colliers, bracelets, etc.) est interdit pendant le service. Ces articles peuvent provoquer une conduction de courant involontaire entraînant des risques de court-circuit, ou peuvent rayer la surface du module pendant le travail.
5. Conditions météorologiques défavorables : Les inspections extérieures, le nettoyage ou les travaux de réparation de quelque nature que ce soit sont interdits par temps de pluie, de neige, de brouillard ou d'orage, ou lorsque la vitesse instantanée du vent sur site atteint ou dépasse la force 4 (environ 7,9 m/s). Les environnements humides augmentent considérablement le risque de choc électrique. Le personnel d'exploitation et de maintenance doit s'assurer que tous les modules, outils et points de connexion électrique sont dans un état propre et sec avant de commencer les travaux.
6. Contrôle de zone : Des panneaux d'avertissement et des barrières clairs doivent être installés sur le site d'exploitation et de maintenance et dans les zones de stockage des modules. L'entrée du personnel non autorisé, des enfants ou d'autres personnes non concernées est interdite pour éviter les accidents.
7. Protection contre l'exposition à la lumière : À tout moment, même lorsque les modules ne sont pas encore connectés à un système complet, ils constituent une source d'énergie tant qu'ils sont exposés à la lumière. Il est interdit de toucher directement la boîte de jonction, les extrémités des câbles ou les contacts métalliques à l'intérieur des connecteurs à mains nues sans mesures de protection.

2.3 Activités d'exploitation et de maintenance interdites

Pour garantir les performances des modules, la sécurité des personnes et la validité de la garantie, les activités suivantes sont strictement interdites pendant les opérations d'exploitation et de maintenance :

1. Dommages physiques et revêtements : Il est interdit d'utiliser des objets tranchants pour rayer, frapper, plier ou heurter les surfaces avant et arrière des modules. Il est interdit d'appliquer de la peinture, des adhésifs, du ruban adhésif ou tout type de revêtement sur toute zone de la surface du module. Il est interdit de percer des trous, de couper ou de meuler toute partie du module (sauf confirmation écrite préalable obtenue du personnel technique professionnel de ZKFN SOLAR).

2. Dommages aux câbles et connecteurs : Il est interdit de rayer, couper, écraser ou tirer les câbles et connecteurs installés en usine du module de quelque manière que ce soit. Il est interdit d'exposer les câbles et connecteurs à la lumière directe du soleil ou à l'eau pendant des périodes prolongées sans protection adéquate.
3. Manipulation et pression inappropriées : Il est interdit de soulever, transporter ou traîner les modules en saisissant la boîte de jonction, les câbles de sortie ou les connecteurs. Les modules doivent être transportés à deux mains en soutenant la base. Il est interdit d'appliquer une pression inappropriée, de se tenir debout, de marcher, de grimper ou de sauter sur la surface du module. Il est interdit de laisser les modules entrer en collision, frotter ou heurter des objets durs ou tranchants.
4. Concentration artificielle de lumière : Il est interdit d'utiliser des miroirs, des loupes, des lentilles ou d'autres dispositifs optiques pour concentrer un supplément de lumière solaire ou artificielle sur la surface du module.
5. Immersion dans l'eau et empilement : Il est interdit de placer les modules pendant des périodes prolongées ou de manière permanente dans des environnements où l'eau peut s'accumuler ou où ils sont continuellement exposés à l'humidité. Pendant toutes les étapes de stockage, de manipulation et d'exploitation et de maintenance, il est interdit de placer les modules face vers le bas, de les empiler les uns sur les autres ou d'appliquer des charges de compression sur les modules.
6. Corps étrangers en surface et ombrage : Il est interdit d'appliquer de l'adhésif structurel, du mastic ou toute substance étrangère sur la zone de réception lumineuse effective des cellules du module pendant l'exploitation et la maintenance. Une fois l'exploitation et la maintenance terminées, tous les câbles de sortie et câbles de dérivation doivent être acheminés clairement et fixés de manière fiable. Il est interdit que des conducteurs, des pinces ou d'autres objets fassent de l'ombre à la zone de réception lumineuse effective des cellules.
7. Sources de pollution et sources d'inflammation : Il est interdit d'installer des sorties d'émission continues ou des événements d'évacuation pour les fumées d'huile, la poussière ou les gaz chimiquement corrosifs autour des modules. Il est interdit de stocker des sources de flamme nue ou des matériaux inflammables et explosifs à proximité des modules.
8. Chargement inapproprié : Après avoir terminé les inspections d'exploitation et de maintenance, il est interdit de placer des objets lourds, des outils ou des objets avec des points d'appui tranchants sur la surface du module, afin d'éviter les dommages dus au stress à long terme.
9. Prévention du desserrage : Les modules doivent toujours rester dans un état de fixation sécurisé pour résister à toutes les charges potentielles (y compris les charges de vent et de neige). Le desserrage des modules qui tire sur les câbles de connexion, entraînant une défaillance de l'isolation, des fuites électriques et des arcs électriques, est une source de risque importante pour les systèmes PV distribués.
10. Interdiction de démontage : Il est interdit de démonter les modules ou de retirer tout composant des modules. Les boîtes de jonction endommagées et les connecteurs endommagés présentent tous deux des risques électriques potentiels et des risques de coupure.

3. Spécifications d'inspection d'exploitation et de maintenance

3.1 Exigences générales d'exploitation et de maintenance

3.1.1 Gestion de la prévention de l'ombrage

Pendant le fonctionnement des modules PV rigides légers, tout ombrage local ou global (y compris, mais sans s'y limiter, les câbles, bornes, chapeaux d'évent, équipements de surveillance, onduleurs, ombres d'arbres, acrotères, garde-corps, etc.) est strictement interdit. Lors des inspections d'exploitation et de maintenance, les nouvelles sources d'ombrage doivent être minutieusement identifiées et rapidement éliminées.

Après des épisodes de pluie ou de neige, la surface des modules doit être inspectée dans les 24 heures, et la poussière accumulée sur la surface des modules doit être rincée pour éviter que la poussière ne se mélange à l'eau de pluie et forme des taches de boue restant sur la surface des modules, provoquant un ombrage localisé sévère.

Respecter une combinaison d'inspection de routine et de tests spécialisés. Effectuer périodiquement un contrôle visuel pour détecter l'ombrage par débris, l'intégrité de l'apparence des modules et l'état des boîtes de jonction. Retirer rapidement les objets d'ombrage localisés tels que la poussière de surface et les déjections d'oiseaux. Mettre en œuvre des mesures efficaces de prévention de l'ombrage et de l'accumulation de poussière pour la centrale.

3.1.2 Inspection de sécurité de la structure de montage

1. Méthode de collage par adhésif structural : À chaque inspection, l'état des zones collées doit être vérifié pour déterminer s'il y a ouverture de l'adhésif, décollement, soulèvement des coins ou des bords. Concentrer l'inspection sur la qualité du collage aux quatre coins et aux zones de bord des modules. Toute anomalie constatée doit être rapidement enregistrée et programmée pour réparation.
2. Méthode de fixation par pinces/supports : À chaque inspection, la fermeté des pinces et des supports ainsi que le serrage des boulons doivent être vérifiés. En même temps, l'état de sécurité des structures de support pertinentes du bâtiment doit être examiné. Pour les boulons M8 utilisés pour le serrage des pinces, le couple de serrage doit être maintenu dans la plage de 15 à 20 N·m.

Remarque : Les modules rigides légers ZKFN SOLAR peuvent être piétinés pour la maintenance dans des conditions spécifiques sans endommager les modules, résolvant ainsi les défis d'accès dans l'exploitation et la maintenance des modules légers. Pour les conditions et exigences spécifiques de piétinement, veuillez vous référer au Manuel d'installation des modules PV ZKFN SOLAR SolarPega et SolarPegaF Series.

3.1.3 Inspection de sécurité électrique

1. Se concentrer sur l'inspection de l'intégrité de l'étanchéité des connexions et du serrage des connecteurs PV, et vérifier si les câbles CC présentent des signes de dommages, de vieillissement, de compression ou de tension.
2. Vérifiez la cohérence des spécifications et des modèles des connecteurs PV. Si les connecteurs PV utilisés ne correspondent pas aux connecteurs d'origine des modules PV en termes de spécifications ou de modèles, cela peut facilement entraîner un jeu d'interface excessif et une défaillance de la structure d'étanchéité, permettant à l'humidité et à la poussière extérieures de pénétrer dans la cavité du connecteur, provoquant l'oxydation et la corrosion des broches internes, une augmentation de la résistance de contact, entraînant un échauffement anormal du connecteur, une brûlure par arc électrique, et posant de graves risques de sécurité.

Avertissement : Sur tout le côté CC de l'ensemble du système PV — depuis les câbles de sortie installés en usine sur les modules, les câbles de dérivation fabriqués sur site (câbles

d'extension de chaîne), jusqu'aux bornes d'entrée des boîtes de combinaison et des onduleurs — à tout endroit où des connexions par fiche sont nécessaires, il doit être garanti que les connecteurs mâles et femelles proviennent du même fabricant et appartiennent à la même série de modèles de produits.

3.1.4 Prévention des points chauds

Effectuez des inspections par imagerie thermique infrarouge de manière périodique. Pour les points chauds mineurs (différence de température $< 20^{\circ}\text{C}$), effectuez un suivi et enregistrez la tendance d'évolution. Les modules présentant des points chauds à haute température sévères (différence de température $\geq 20^{\circ}\text{C}$) doivent être immédiatement mis hors service et programmés pour remplacement. Éliminez le fonctionnement des modules avec défauts, prévenez les risques d'incendie à haute température, et assurez une production d'énergie sûre et stable du champ.

3.1.5 Interdiction de démontage des modules

Les modules PV sont des équipements électriques intégrés hermétiquement, et le démontage sur site présente de multiples risques incontrôlables. Il est strictement interdit à tout personnel de démonter les panneaux de face des modules, les boîtes de jonction, les feuilles arrière, les cellules internes ou d'autres composants sur le site d'exploitation et de maintenance ou lors des processus de réparation. Le retrait non autorisé des structures d'étanchéité installées en usine et des points de connexion électrique du module n'est pas permis.

3.2 Fréquence et éléments d'inspection

3.2.1 Éléments d'inspection mensuelle

Une inspection complète du système PV doit être effectuée au moins une fois par mois par du personnel de maintenance formé et professionnel. Pendant les opérations, le personnel d'inspection doit porter en permanence des gants en caoutchouc isolants et des bottes isolantes. Les inspections mensuelles doivent inclure les éléments suivants :

- ✧ Vérification de la propreté de la surface des modules : Inspectez visuellement la surface de réception de la lumière des modules pour détecter la poussière, les déjections d'oiseaux, les taches d'huile et autres contaminants ; déterminez si des opérations de nettoyage doivent être planifiées.
- ✧ Contrôle d'intégrité de l'apparence des modules : Inspecter un par un les modules pour détecter fissures, cassures, rayures, déformations, décolorations, délaminages, bulles et autres anomalies sur la surface des modules
- ✧ Inspection des sources d'ombrage : Vérifier la présence de nouvelles sources d'ombrage sur et autour des surfaces des modules (croissance d'arbres, nouvelles structures, accumulation de fientes d'oiseaux, etc.)
- ✧ Inspection des boîtes de jonction et des connecteurs : Vérifier que les boîtes de jonction sont bien fixées, que les couvercles sont fermés hermétiquement, que les connecteurs sont complètement enfichés, et qu'il n'y a aucun signe de marques de brûlure par arc électrique
- ✧ Inspection des câbles et du câblage : Vérifier que les câbles de connexion entre modules ne sont pas desserrés, vieillis ou endommagés ; que les attaches de câbles sont en bon état ; et que le cheminement des câbles est conforme
- ✧ Inspection de la structure de montage : Pour la méthode par collage, vérifier l'état de liaison des modules (ouverture du collage, décollement, soulèvement des coins) ; pour la méthode par serrage, vérifier le serrage des pinces/fixations

- ✧ Vérification des données de surveillance : Vérifier via le système de surveillance que les données de courant, tension et puissance des chaînes sont dans les plages normales ; signaler les chaînes anormales

3.2.2 Points d'inspection trimestriels supplémentaires

En plus de réaliser tous les points d'inspection mensuels, les inspections spécialisées suivantes doivent être ajoutées chaque trimestre :

- ✧ Scan thermographique infrarouge complet : Utiliser une caméra thermographique infrarouge pour effectuer un balayage des points chauds sur tous les modules, bloc par bloc, en enregistrant les points de température anormaux
- ✧ Inspection des fusibles et des dispositifs de protection du réseau : Vérifier que les fusibles côté DC, les disjoncteurs et les interrupteurs de sectionnement fonctionnent normalement
- ✧ Inspection du système de drainage : Vérifier que les gouttières et les descentes d'eau pluviale ne sont pas obstruées et qu'il n'y a pas de risques d'accumulation d'eau autour des modules
- ✧ Inspection du système de protection contre la foudre et de mise à la terre : Vérifier que les connexions des conducteurs de descente de mise à la terre sont sécurisées et que les valeurs de résistance de mise à la terre se situent dans la plage spécifiée
- ✧ Contrôle ponctuel du couple des connecteurs : Effectuer un resserrage de vérification sur au moins 10 % des connecteurs pour garantir l'absence de desserrage

3.2.3 Éléments supplémentaires de l'inspection annuelle

En plus de réaliser tous les éléments d'inspection mensuels et trimestriels, une inspection approfondie complète doit être effectuée une fois par an :

- ✧ Test de la courbe IV : Utiliser un traceur de courbe IV pour effectuer un test des caractéristiques de puissance sur chaque chaîne ou sur au moins 30 % des modules, en évaluant l'écart entre les performances de production d'énergie réelles et les valeurs nominales
- ✧ Inspection EL (imagerie par électroluminescence) : Effectuer une inspection EL sur les modules présentant une dégradation anormale de la puissance afin de détecter les défauts internes tels que les micro-fissures des cellules, les doigts de grille cassés et les soudures froides
- ✧ Resserrage du couple de tous les points de connexion électrique : Effectuer un resserrage du couple de serrage de tous les points de connexion électrique côté DC (y compris les connecteurs, les bornes et les bornes du boîtier de combinaison)
- ✧ Évaluation de la sécurité de la structure de support de toit : Effectuer une inspection de sécurité complète de la structure porteuse du toit, des supports de montage et des points d'ancrage, en évaluant la rouille, la déformation et le desserrage
- ✧ Test de résistance d'isolement : Utiliser un testeur de résistance d'isolement (plage DC 500V/1000V recommandée) pour mesurer la résistance d'isolement chaîne-terre, en confirmant qu'elle répond aux valeurs spécifiées par la norme pertinente
- ✧ Émettre le rapport annuel d'O&M : Compiler les données d'inspection de l'année, les enregistrements de traitement des défauts et les tendances de dégradation des performances pour produire le Rapport annuel d'analyse d'exploitation et de maintenance de la centrale photovoltaïque

3.3 Inspections spéciales

Des inspections spéciales doivent être organisées immédiatement après des événements météorologiques extrêmes ou des conditions d'exploitation particulières :

- ✧ Après un orage : Utiliser une caméra thermique pour vérifier si les températures des boîtes de jonction des modules dans les zones à risque de foudre sont anormalement élevées ; vérifier si les dispositifs de protection contre la foudre se sont déclenchés
- ✧ Après un vent fort : Vérifier si les pinces et fixations des modules se sont détachées ou desserrées ; si les modules ont été retournés ou déplacés par le vent ; et si la couche d'étanchéité du toit est intacte
- ✧ Après une chute de grêle/neige : Inspecter les modules un par un pour détecter les fissures ou bris causés par l'impact de la grêle ; vérifier la déformation des modules due à la charge de neige
- ✧ Après une tempête de sable : Vérifier s'il y a des marques d'impact de sable sur les surfaces des modules ; organiser rapidement des opérations de nettoyage pour enlever la poussière accumulée en surface

4. Nettoyage des modules photovoltaïques

4.1 Détermination de la fréquence et du moment du nettoyage

1. Fréquence de nettoyage de routine : En général, les modules doivent être nettoyés au moins une fois par mois pour maintenir la propreté de la surface. Dans les zones à forte poussière (dans un rayon de 50 mètres), comme les cimenteries, les zones minières et le long des routes poussiéreuses, la fréquence de nettoyage doit être augmentée à au moins une fois toutes les deux semaines.
2. Conditions de nettoyage basées sur des déclencheurs : Lorsque la production d'énergie de la centrale chute de plus de 5 % par rapport aux niveaux normaux, et après avoir exclu les défauts d'équipement et les facteurs météorologiques, les modules doivent être nettoyés. Le nettoyage doit également être programmé lorsque l'une des conditions suivantes est remplie :
 - ◆ L'inspection visuelle montre que la surface du module est visiblement encrassée avec une couche de poussière visible
 - ◆ La comparaison de la production d'énergie entre les chaînes nettoyées et les chaînes à nettoyer au même moment montre un écart $\geq 4\%$
 - ◆ La puissance de sortie du champ PV tombe en dessous de 85 % de l'état initial (puissance à la fin du dernier nettoyage)
3. Fenêtre de temps de nettoyage optimale : Les opérations de nettoyage doivent être effectuées lorsque l'irradiance est inférieure à 200 W/m^2 . Le petit matin, la fin d'après-midi ou les jours nuageux sont recommandés. Le nettoyage des modules PV dans des conditions météorologiques avec un vent de force supérieure à 4, de fortes pluies ou de fortes chutes de neige est strictement interdit.

4.2 Exigences de qualité de l'eau de nettoyage

L'eau de nettoyage doit respecter les normes suivantes pour éviter la formation de tartre ou la corrosion sur la surface du module :

- Dureté totale (en CaCO_3) : $\leq 200 \text{ mg/L}$
- Solides dissous totaux (TDS) : $\leq 500 \text{ mg/L}$
- Valeur du pH : 6,5 ~ 8,5
- Matières en suspension : $\leq 50 \text{ mg/L}$

- Chlorures (exprimés en Cl⁻) : ≤ 250 mg/L

Remarque : Lorsque les conditions le permettent, il est recommandé d'utiliser de préférence de l'eau adoucie ou de l'eau déminéralisée pour le nettoyage, afin d'éviter dès l'origine la formation de dépôts de tartre difficiles à éliminer sur la surface des modules.

4.3 Procédure de nettoyage standard

Étape 1 : Préparation

- ✧ Le personnel de nettoyage doit porter un équipement de protection individuelle complet, comprenant des gants isolants, des bottes isolantes, un casque de sécurité et un harnais de sécurité.
- ✧ Vérifier que les outils de nettoyage (chiffon doux, rouleau souple, seau d'eau propre, détergent neutre, etc.) sont complets et propres.
- ✧ Confirmer que des panneaux d'avertissement ont été placés dans la zone de nettoyage et que le personnel non autorisé n'est pas autorisé à pénétrer dans la zone de travail.
- ✧ Vérifier que les conditions météorologiques répondent aux exigences des opérations de nettoyage (pas de pluie ni de neige, vitesse du vent inférieure à force 4, irradiance inférieure à 200 W/m²).

Étape 2 : Rinçage initial

- ✧ Rincez la surface du module avec de l'eau propre de haut en bas pour éliminer la poussière et les débris légers
- ✧ Évitez des différences de température importantes entre l'eau de nettoyage et la température de surface du module (la différence de température ne doit pas dépasser 10°C) pour prévenir les dommages par choc thermique aux modules
- ✧ Il est strictement interdit d'utiliser un jet d'eau à haute pression à courte distance dirigé vers les joints de la boîte de jonction et les connecteurs pour le rinçage

Étape 3 : Nettoyage en profondeur

- ✧ • Pour les salissures générales, essuyez doucement dans une seule direction à l'aide d'un chiffon doux ou d'un rouleau souple humidifié avec de l'eau propre ; évitez les frottements répétés en va-et-vient
- ✧ • Lorsque des adhérences tenaces telles que des taches d'huile sont présentes sur la surface du module, utilisez un détergent liquide neutre non abrasif (pH 6,0~8,0) pour faciliter le nettoyage
- ✧ • Il est interdit d'utiliser des solvants organiques contenant des composants acides ou alcalins pour nettoyer les modules
- ✧ • Il est interdit d'utiliser des outils durs tels que des brosses métalliques, de la laine d'acier ou des grattoirs métalliques pour essuyer la surface du module
- ✧ • Il est interdit d'utiliser des nettoyeurs à vapeur ou des jets d'eau à haute température
- ✧ • Il est interdit d'immerger l'ensemble du module dans l'eau

Étape 4 : Rinçage et Séchage

- ✧ • Rincer soigneusement la surface du module avec une quantité suffisante d'eau propre pour garantir qu'aucun résidu de détergent ne subsiste
- ✧ • Utiliser un chiffon doux et propre (un chiffon en microfibre est recommandé) pour sécher les gouttelettes d'eau résiduelles à la surface du module ; éviter le séchage naturel à l'air qui pourrait laisser des traces de taches d'eau

- ✧ • La face arrière du module ne nécessite généralement pas de nettoyage ; si un nettoyage de la face arrière est nécessaire, il faut veiller tout particulièrement à empêcher la solution de nettoyage de pénétrer à l'intérieur du module ou sur les surfaces d'étanchéité de la boîte de jonction

Étape 5 : Vérification de l'Efficacité du Nettoyage

- ✧ • Une chaîne représentative présentant l'encrassement le plus sévère peut être sélectionnée en premier pour un nettoyage de référence
- ✧ • Si l'amélioration de la puissance après nettoyage est inférieure à 5 %, il n'est généralement pas nécessaire d'effectuer un nettoyage complet de l'ensemble du champ dans les conditions actuelles
- ✧ • La vérification ci-dessus doit être effectuée dans des conditions d'irradiance stables (temps clair, irradiance stable, absence de couverture nuageuse) pour garantir la validité des données de comparaison

4.4 Exigences d'Inspection Après Nettoyage

4.4.1 Inspection Visuelle

- ✧ • L'aspect général des modules doit être visuellement propre et brillant, exempt de taches résiduelles et de traces d'eau
- ✧ • Effectuer des contrôles ponctuels pour détecter toute accumulation résiduelle de poussière sur la surface du module
- ✧ • Confirmer qu'il n'y a pas de nouvelles rayures sur la surface du module
- ✧ • Confirmer qu'il n'y a pas de fissures ou de dommages causés par l'homme sur la surface du module

4.4.2 Inspection structurelle

- ✧ • Vérifier si les modules nettoyés présentent une inclinaison ou une flexion
- ✧ • Vérifier si les bornes des modules présentent des signes de détachement ou de desserrage
- ✧ • Vérifier si les connecteurs restent secs et propres, et si les joints d'étanchéité sont intacts

4.4.3 Enregistrements et archivage

Remplir le Registre de nettoyage des modules PV, comprenant : date de nettoyage, personnel de nettoyage, périmètre de nettoyage (numéros de chaîne), méthode de nettoyage, consommation d'eau, et données comparatives de puissance des chaînes avant/après nettoyage, etc.

5. Diagnostic des pannes courantes et dépannage

5.1 Dégradation anormale de la puissance du module

Symptômes de panne

La puissance de sortie du module est nettement inférieure à la puissance nominale, et le taux de dégradation de la puissance dépasse la plage normale (dégradation de la première année > 1 %, dégradation annuelle de l'année 2 à l'année 30 > 0,4 %), ou une baisse rapide inattendue de la puissance se produit sur une courte période.

Analyse des causes de la panne

- ✧ Fonctionnement prolongé des modules dans des environnements à haute température et humidité élevée, entraînant un vieillissement accéléré des cellules et des matériaux d'encapsulation

- ✧ Accumulation de poussière et de saleté non nettoyée à long terme sur la surface du module, entraînant une baisse continue de la transmittance lumineuse
- ✧ Microfissures internes des cellules et doigts de grille cassés dans le module, affectant la collecte efficace du courant photo-généré
- ✧ Défaillance de la diode de dérivation dans la boîte de jonction (défaillance en court-circuit ou en circuit ouvert), provoquant l'arrêt de fonctionnement de certaines chaînes de cellules dans le module
- ✧ Ombrage localisé persistant sur la surface du module, déclenchant des effets de points chauds à long terme entraînant une dégradation permanente des cellules
- ✧ Mauvais contact du connecteur ou vieillissement du câble, entraînant une augmentation anormale de la résistance série

Méthodes de diagnostic et de dépannage

- ✧ Test de puissance : Utilisez un traceur de courbe IV professionnel ou un testeur de puissance de module photovoltaïque pour mesurer la puissance de sortie réelle du module, confirmant le degré de dégradation de la puissance et le motif anormal de la courbe IV
- ✧ Inspection visuelle : Inspectez soigneusement la surface du module pour détecter la poussière, la saleté, les rayures, les fissures, etc. ; vérifiez si la boîte de jonction est intacte et exempte de gonflement ou de déformation
- ✧ Inspection par imagerie thermique : Utilisez une caméra thermique infrarouge pour détecter si des effets de points chauds et des points de chauffage anormaux existent sur le module
- ✧ Inspection EL : Effectuez une inspection par imagerie électroluminescente (EL) sur les modules soupçonnés de présenter des défauts internes pour confirmer la présence de micro-défauts tels que des microfissures, des doigts de grille cassés et des soudures froides
- ✧ Si cela est dû à une accumulation de poussière/saleté en surface → Planifiez un nettoyage rapidement
- ✧ Si cela est dû à un ombrage localisé → Supprimez la source d'ombrage et optimisez l'environnement environnant du module
- ✧ Si la diode interne de la boîte de jonction est endommagée → Remplacez-la par une boîte de jonction du même modèle (doit être effectué par le personnel autorisé de ZKFN SOLAR)
- ✧ Si le module présente un vieillissement sévère (dégradation de puissance supérieure à 20 %) ou des défauts internes irréversibles → Remplacez le module
- ✧ Si le module est encore sous garantie et qu'il est confirmé qu'il s'agit d'un problème de qualité du produit → Soumettre une demande de service après-vente à ZKFN SOLAR conformément aux procédures de garantie

5.2 Effet de point chaud du module

Symptômes de défaut

L'inspection par imagerie thermique infrarouge révèle des zones localisées du module avec des températures nettement plus élevées que les zones normales environnantes (différence de température $\geq 20^{\circ}\text{C}$). Les points chauds sévères peuvent provoquer une décoloration et un bullage des matériaux d'encapsulation de surface du module, une brûlure de la feuille arrière, une fusion et une déformation du boîtier de jonction, et dans les cas extrêmes, peuvent déclencher des flammes nues.

Analyse des causes du défaut

- ✧ Présence d'objets d'ombrage localisés sur la surface du module (feuilles, fientes d'oiseaux, amas de poussière, ombres de bâtiments, etc.) ; les cellules ombragées passent d'unités de production à des charges consommatrices d'énergie, consommant l'énergie électrique générée par les cellules normales adjacentes et formant des températures élevées localisées
- ✧ Dégradation des performances de cellules individuelles dans le module (baisse de rendement, augmentation de la résistance série), créant un déséquilibre électrique avec les autres cellules normales de la même chaîne
- ✧ Cellules présentant des micro-défauts tels que des microfissures et des doigts de grille cassés, où le flux de courant local obstrué conduit à un échauffement concentré
- ✧ Défaillance de la diode de dérivation, incapable de dériver et de protéger la chaîne de cellules ombragée lorsque l'ombrage se produit

Mesures de traitement

Traitement immédiat : Retirer immédiatement les objets d'ombrage de la surface du module ; désexciter et isoler les modules présentant des points chauds sévères pour éviter l'escalade des défauts.

Inspection et évaluation : Utiliser une caméra thermique infrarouge pour déterminer précisément l'emplacement et la distribution de température des points chauds ; effectuer une inspection EL sur les modules affectés par les points chauds pour évaluer le degré de dommage interne des cellules.

Disposition graduée :

- ✧ Points chauds mineurs (différence de température $< 20^{\circ}\text{C}$) sans dommage interne visible → Continuer le suivi et la surveillance après avoir retiré les objets d'ombrage ; ajouter à la liste d'observation prioritaire pour la prochaine inspection
- ✧ Points chauds modérés (différence de température $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$) → Recommander l'élaboration d'un plan de remplacement et effectuer le remplacement lors de la prochaine interruption programmée
- ✧ Points chauds sévères (différence de température $\geq 40^{\circ}\text{C}$) ou modules présentant déjà des dommages visibles sur l'apparence → Doivent être immédiatement mis hors service et remplacés

Mesures préventives

- ✧ Lors de la phase de conception et d'installation du réseau de modules, planifier rationnellement les dispositions pour éviter l'ombrage entre modules
- ✧ Nettoyer périodiquement la végétation et les débris autour des modules qui pourraient former des sources d'ombrage
- ✧ Assurer l'intégrité fonctionnelle des diodes de dérivation des modules ; vérifier périodiquement indirectement via des tests de courbe IV
- ✧ Effectuer des inspections complètes par imagerie thermique infrarouge sur une base trimestrielle, établir une archive de référence de température des modules, et identifier rapidement les tendances anormales de température

5.3 Défauts de câblage et de connecteurs des modules

Symptômes de défaut

Tension et courant de sortie du module instables ou totalement absents ; températures anormalement élevées aux bornes et connecteurs (chauds au toucher ou points chauds visibles en thermographie infrarouge) ; décoloration par oxydation et marques d'arc

électrique apparaissant sur les surfaces des bornes ; dans les cas graves, fusion et déformation des boîtiers en plastique des connecteurs avec une odeur de brûlé.

Analyse des causes de défaut

- ✧ Connecteurs non enclenchés complètement en position, entraînant une augmentation de la résistance de contact et un échauffement localisé
- ✧ Défaillance de l'étanchéité du connecteur (vieillesse, endommagement ou décollement du joint d'étanchéité), avec intrusion d'humidité et de poussière provoquant l'oxydation et la corrosion des broches
- ✧ Connecteurs mâles et femelles provenant de fabricants différents ou de séries de modèles différentes, entraînant de grandes tolérances d'ajustement de l'interface et un contact peu fiable
- ✧ Câbles de sortie dont la couche d'isolation vieillit, se fissure et s'endommage en raison d'une exposition prolongée, provoquant des fuites électriques ou des courts-circuits
- ✧ Erreurs de câblage (polarité positive et négative inversée) ou topologie de câblage de chaîne incorrecte
- ✧ Connecteurs soumis à une tension prolongée du câble, provoquant un desserrage interne des broches

Procédure de dépannage

- ✧ Mise hors tension sécurisée : Déconnectez d'abord le boîtier de combinaison et l'alimentation de l'onduleur correspondants, effectuez une vérification de mise hors tension (à l'aide d'un multimètre) et apposez des panneaux d'avertissement "Ne pas fermer"
- ✧ Localisation du défaut : Utilisez un multimètre pour tester séquentiellement la continuité, la tension et les valeurs de résistance de contact à chaque borne, afin de localiser le point de défaut
- ✧ Borne desserrée → Reserrez au couple spécifié à l'aide d'outils spécialisés (exercez une force appropriée pour éviter tout dommage dû à un serrage excessif)
- ✧ Oxydation/Corrosion de la borne → Coupez la section endommagée et remplacez-la par un nouveau connecteur du même modèle et de la même spécification
- ✧ Incompatibilité du modèle de connecteur → Remplacez tous les connecteurs par des modèles compatibles certifiés ZKFN SOLAR
- ✧ Câble endommagé → Remplacez par un câble CC spécifique au photovoltaïque de même spécification, en vous assurant que la section du fil et la tension nominale correspondent à l'original
- ✧ Erreur de câblage → Recâblez conformément aux marquages de polarité positive/négative corrects et au schéma de câblage des chaînes
- ✧ Rétablissement et vérification : Après avoir terminé le câblage, rétablissez l'alimentation, mesurez la tension en circuit ouvert de la chaîne, le courant de court-circuit et le courant de fonctionnement, en confirmant que le défaut a été éliminé et que les paramètres sont normaux

5.4 Diagnostic des défauts côté onduleur et au niveau des chaînes

Symptômes de défaut

Le système de surveillance affiche une puissance de sortie anormalement basse ou nulle pour une chaîne spécifique ; l'onduleur signale un défaut de résistance d'isolement trop

faible, des alarmes de surtension/sous-tension continue ; le courant de la chaîne s'écarte significativement du niveau moyen des autres chaînes du même champ.

Étapes de diagnostic

- ✧ Étape 1 : Identifier le numéro de la chaîne défectueuse et son emplacement physique correspondant via la plateforme de surveillance
- ✧ Étape 2 : Dans des conditions de mise hors tension sécurisées, mesurer la tension en circuit ouvert (Voc) de la chaîne et la comparer avec les chaînes normales du même champ. Si la Voc est significativement plus basse, cela indique un court-circuit de module, un court-circuit de diode de dérivation, ou un endommagement grave du module dans la chaîne
- ✧ Étape 3 : Mesurer le courant de court-circuit (Isc) de la chaîne. Si l'Isc est significativement plus bas, il peut y avoir une accumulation sévère de poussière sur les modules, un ombrage, un vieillissement, ou un mauvais contact des connecteurs
- ✧ Étape 4 : Mesurer la chaîne segment par segment, en réduisant progressivement la plage de défaut jusqu'à localiser le module problématique spécifique
- ✧ Étape 5 : Effectuer des diagnostics supplémentaires tels que des tests de courbe IV et une inspection EL sur le module problématique identifié, déterminer le type de défaut, et prendre les mesures de traitement correspondantes

6. Réparation et remplacement de modules

6.1 Exigences générales pour le remplacement des modules

1. Identification et atténuation des risques : Avant les opérations de remplacement, les risques potentiels au cours du processus doivent être identifiés de manière exhaustive, y compris, sans s'y limiter : les lacérations du personnel dues à la manipulation d'outils, les chutes de hauteur (pour les travaux en toiture ou en hauteur), les risques d'électrocution lors de la déconnexion/rétablissement du circuit, et les projections de débris lors du retrait des anciens modules, etc. Des mesures d'atténuation spécifiques doivent être élaborées pour chaque risque.
2. Briefing de sécurité pré-travail : Un « Briefing de sécurité pré-travail » doit être effectué avant chaque opération de remplacement. Le superviseur des travaux doit expliquer à tout le personnel participant le contenu du travail du jour, les affectations de tâches spécifiques, les précautions de sécurité et les procédures d'intervention d'urgence. Des enregistrements écrits doivent être réalisés et signés par tout le personnel avant que les travaux puissent commencer.
3. Vérification du nouveau module : Avant le remplacement, chaque nouveau module doit être inspecté individuellement pour son apparence (en confirmant l'absence de rayures, fissures, déformations en surface, et que les bornes sont intactes sans défauts). Le modèle du module, la puissance nominale, les paramètres électriques et autres informations de la plaque signalétique doivent être vérifiés par rapport à l'ancien module pour assurer leur conformité, garantissant la compatibilité électrique entre les anciens et nouveaux modules avant qu'ils puissent être mis en service.
4. Conduite professionnelle : Il est interdit d'utiliser une force excessive pour faire levier, frapper ou plier les modules de force, afin d'éviter de provoquer la rupture des modules ou des blessures au personnel. Pendant le processus de retrait, il faut veiller à protéger les surfaces des modules adjacents et les connexions électriques contre les dommages.
5. Élimination des déchets : Les modules usagés, les fragments de verre, les accessoires endommagés et autres articles générés par le remplacement doivent être collectés séparément et stockés de manière centralisée. Les modules endommagés doivent être

éliminés professionnellement conformément aux exigences de gestion des déchets dangereux. Le rejet aléatoire ou le mélange avec des déchets de construction ordinaires est interdit.

6.2 Procédure de remplacement pour les modules montés par adhésif

Applicable aux modules SolarPega / SolarPegaL (sans cadre). Les étapes de remplacement spécifiques sont les suivantes :

1. Préparation du plan : Avant le remplacement du module, un Plan de mise en œuvre du remplacement des modules rigides légers doit être préparé, définissant le processus opérationnel, les affectations du personnel, les mesures de sécurité et les critères d'acceptation de la qualité.
2. Confirmation de la mise hors tension : Avant de commencer les travaux, l'alimentation du boîtier de combinaison et de l'onduleur correspondant au module doit être déconnectée. Un panneau d'avertissement « Ne pas fermer, personnel au travail » doit être accroché au point de déconnexion. Un électricien certifié doit utiliser un multimètre pour vérifier l'absence de tension des deux côtés du point de déconnexion avant que les travaux ultérieurs puissent commencer.
3. Recouvrement du module : Recouvrir complètement la face avant du module à remplacer avec un matériau opaque (tel qu'un tissu noir anti-lumière ou un carton épais) pour bloquer la lumière et empêcher le module de générer une haute tension
4. Déconnexion électrique : Utiliser des outils de déverrouillage spécialisés pour séparer les connecteurs positif et négatif du module ; effectuer le marquage des câbles
5. Retrait de l'ancien module : À l'aide d'outils tels que des cutters et des grattoirs, couper soigneusement l'adhésif structural le long de l'interface de collage, en séparant progressivement l'ancien module du substrat de toiture. Pendant l'opération, contrôler la force et l'angle pour éviter d'endommager les modules environnants et la couche d'étanchéité de la toiture
6. Nettoyage du substrat : Éliminer soigneusement les résidus d'adhésif structural et les débris du substrat de toiture, en veillant à ce que la surface de collage soit sèche, propre et plane. Si nécessaire, effectuer un ponçage du substrat pour restaurer la rugosité de surface
7. Installation du nouveau module : Suivre strictement les procédures standardisées du Manuel d'installation des modules photovoltaïques ZKFN SOLAR SolarPega & SolarPegaF Series pour l'application de l'adhésif, le placement du module, le pressage au rouleau et le positionnement
8. Protection pendant le durcissement : Pendant la période de durcissement de l'adhésif structural (24 heures à une température ambiante de 25°C~40°C, 48 heures à 10°C~25°C, 72 heures à 0°C~10°C), il est strictement interdit d'appliquer toute perturbation au module, y compris mais sans s'y limiter, déplacer le module, connecter les câbles ou effectuer d'autres travaux en se tenant sur le module. Des barrières de protection et des panneaux d'avertissement doivent être installés dans la zone de remplacement
9. Connexions électriques : Après le durcissement complet de l'adhésif structural, reconnecter les connecteurs conformément à la correspondance correcte des polarités positive/négative marquée, en s'assurant qu'ils sont complètement enfichés et qu'un son de verrouillage « clic » audible est entendu
10. Test de mise sous tension : Retirer le matériau de recouvrement, fermer l'interrupteur pour rétablir l'alimentation électrique. Utiliser un multimètre ou un traceur de courbe IV pour mesurer les paramètres de sortie du nouveau module, en confirmant la compatibilité avec les autres modules de la même chaîne et le fonctionnement normal

11. Enregistrement et archivage : Enregistrer en détail la date de remplacement, la raison du remplacement, le numéro de série de l'ancien module et le type de défaut, le numéro de série du nouveau module et les données de test initiales, les informations du personnel opérateur, etc. ; mettre à jour les archives d'exploitation et de maintenance de la centrale

6.3 Procédure de remplacement pour les modules montés avec pinces/fixations

Applicable aux modules SolarPegaF / SolarPegaFL (avec cadre arrière). Les étapes de remplacement spécifiques sont les suivantes :

1. Préparation du plan : Avant le remplacement du module, un plan de mise en œuvre du remplacement de module rigide léger fixé par pinces doit être préparé, définissant le processus opérationnel et les mesures de sécurité.
2. Confirmation de mise hors tension : Identique à l'exigence 2 de la procédure de remplacement par montage adhésif.
3. Couverture du module : Identique à l'exigence 3 de la procédure de remplacement par montage adhésif.
4. Déconnexion électrique : Identique à l'exigence 4 de la procédure de remplacement par montage adhésif.
5. Retrait de l'ancien module : Utiliser une clé dynamométrique pour desserrer et retirer les boulons de fixation des pinces au couple spécifié, retirer les pinces dans l'ordre, et déplacer soigneusement l'ancien module hors de la surface d'installation. Pendant l'opération, veiller à éviter toute collision avec les modules environnants.
6. Inspection de la surface d'installation : Nettoyer les débris et la rouille de la surface d'installation ; vérifier si les pinces/supports présentent des déformations, de la rouille ou du jeu. Si des anomalies sont détectées, les accessoires endommagés doivent d'abord être réparés ou remplacés avant de passer à l'étape suivante.
7. Installation du nouveau module : Positionner le nouveau module à l'emplacement désigné, ajuster la position du module pour garantir des écarts périphériques uniformes. Installer les pinces dans l'ordre, en serrant uniformément les boulons M8 à un couple de 15 à 20 N·m. Noter que les pinces doivent appuyer sur la zone de charge désignée du cadre arrière du module et ne doivent pas appuyer sur la zone de cellules efficaces au-dessus.
8. Connexions électriques : Identique à l'exigence 9 de la procédure de remplacement par montage adhésif.
9. Test de mise sous tension : Identique à l'exigence 10 de la procédure de remplacement par montage adhésif.
10. Enregistrement et classement : Identique à l'exigence 11 de la procédure de remplacement par fixation adhésive

6.4 Vérification du système après remplacement du module

Après avoir effectué le remplacement du module, en plus des tests individuels du nouveau module, les performances globales de la chaîne concernée doivent également être vérifiées :

- ✧ Mesurer la tension en circuit ouvert (Voc) et le courant de court-circuit (Isc) de la chaîne, en les comparant aux valeurs de conception de la chaîne et aux chaînes normales du même champ
- ✧ Surveiller le courant de fonctionnement de la chaîne pour confirmer une bonne correspondance de courant entre le nouveau module et les modules existants de la chaîne
- ✧ Observer les données de production d'énergie sur au moins une journée d'ensoleillement complet pour confirmer que la puissance de la chaîne est revenue à des niveaux normaux

- ✧ Si les conditions le permettent, effectuer un balayage par imagerie thermique infrarouge de la zone du module nouvellement remplacé pour confirmer l'absence de points de chauffe anormaux

7. Mesures d'intervention d'urgence

7.1 Intervention d'urgence en cas de fuite électrique du module

En cas d'alarme de fuite électrique d'un module ou de suspicion de situation de fuite, le personnel d'exploitation et de maintenance doit immédiatement exécuter les procédures de traitement suivantes :

- ✧ • Évacuation d'urgence du personnel : S'éloigner immédiatement de la zone de fuite ; ne pas toucher le module qui fuit ni ses composants métalliques environnants ; empêcher simultanément toute autre personne d'entrer
- ✧ Mise hors tension sécurisée : Des professionnels certifiés portant des gants isolants adaptés au niveau de tension approprié doivent utiliser une perche de manœuvre isolée pour déconnecter l'alimentation du boîtier de combinaison et de l'onduleur correspondants, et apposer des panneaux d'avertissement
- ✧ Détection de défaut : Utiliser un testeur de résistance d'isolement (plage DC 500V/1000V) pour mesurer la résistance d'isolement à la terre de la chaîne qui fuit, segment par segment, en utilisant la méthode d'élimination sectionnelle pour localiser le module qui fuit
- ✧ Enquête sur la cause : Inspecter le module qui fuit pour détecter des conditions telles qu'une infiltration d'eau dans le boîtier de jonction, une défaillance d'étanchéité du connecteur, des dommages à l'isolation du câble et des dommages par perforation de la feuille arrière
- ✧ Disposition de réparation : Remplacer le module défectueux, les câbles ou les connecteurs endommagés en fonction de la cause de la fuite. Une fois la réparation terminée, retester la résistance d'isolement pour confirmer le retour à des niveaux acceptables
- ✧ Rétablissement de l'alimentation : Ce n'est qu'après la réussite de tous les tests que les panneaux d'avertissement peuvent être retirés et l'alimentation rétablie. Après le rétablissement de l'alimentation, une surveillance continue doit être effectuée pendant au moins 1 heure pour confirmer l'absence d'anomalies

7.2 Intervention d'urgence en cas d'incendie de module

Les modules de la série SolarPega de ZKFN SOLAR ont passé avec succès les tests et la certification de performance incendie selon la norme UL790 Classe C, démontrant une bonne résistance au feu. En cas d'incendie de module sur le site d'exploitation et de maintenance, les procédures suivantes doivent être respectées :

- ✧ Déconnecter immédiatement toutes les alimentations côté DC et côté AC du système photovoltaïque touché par l'incendie
- ✧ Si l'incendie est de petite taille et que les conditions de sécurité le permettent, utiliser un extincteur à poudre sèche ou un extincteur au dioxyde de carbone pour éteindre le feu à la source. Il est strictement interdit d'utiliser des extincteurs à eau ou à mousse directement sur les modules et les équipements électriques sous tension
- ✧ Si l'incendie est trop important pour être maîtrisé de manière indépendante, appelez immédiatement le 119 pour signaler l'incendie, en communiquant clairement les informations clés telles que « incendie de centrale photovoltaïque, danger haute tension CC », et organisez l'évacuation de tout le personnel vers une zone sécurisée

- ✧ Une fois l'incendie éteint, menez une enquête systématique sur la cause de l'incendie, évaluez le niveau de dommages de chaque module et équipement électrique, et préparez le Rapport d'analyse de l'incident d'incendie et le Plan de restauration
- ✧ Ce n'est qu'après avoir confirmé que tous les risques de sécurité ont été éliminés (y compris la sécurité structurelle, l'isolation électrique et l'intégrité des modules) que la centrale peut être progressivement remise en service conformément au plan de restauration

7.3 Intervention d'urgence en cas de conditions météorologiques extrêmes

7.3.1 Pluie torrentielle/Inondation

- ✧ Après émission d'un avertissement de pluie torrentielle, inspectez et nettoyez les débris des gouttières et des descentes pluviales du toit pour garantir que le système de drainage est dégagé
- ✧ Assurez une protection contre l'eau ou déplacez les onduleurs, les boîtiers de combinaison, les hôtes de surveillance et autres équipements intérieurs ou situés en zone basse vers une altitude sécurisée
- ✧ Pendant la pluie torrentielle, cessez toutes les opérations d'exploitation et de maintenance en extérieur. En cas d'inondation de la centrale, déconnectez immédiatement toutes les alimentations électriques à distance ou sur place
- ✧ • Après le retrait des eaux de crue, effectuez un traitement de séchage, un nettoyage et des tests d'isolation sur tous les modules, câbles, connecteurs et équipements électriques affectés par l'eau. Ce n'est qu'après avoir confirmé l'absence de risques de sécurité que les opérations peuvent être progressivement rétablies

7.3.2 Vent fort/Typhon

- ✧ Après l'émission d'un avertissement de vent fort, inspectez minutieusement l'état de fixation des pinces et des supports de modules, et resserrez tout boulon desserré
- ✧ Dégagez les objets lâches autour du champ de modules qui pourraient être facilement emportés par le vent (panneaux publicitaires, couvertures temporaires, matériaux en vrac, etc.)
- ✧ Pendant le typhon, coupez l'alimentation électrique de la centrale et évacuez tout le personnel vers une zone sécurisée
- ✧ Après l'événement venteux, inspectez minutieusement les modules pour détecter tout déplacement, décollement, déformation ou dommage ; vérifiez l'intégrité des supports de montage et des structures de toit. Réparez les zones endommagées et ne redémarrez la centrale qu'après avoir réussi l'inspection complète

7.3.3 Tempête de neige/Basse température

- ✧ Pendant une tempête de neige, utilisez périodiquement un pousse-neige souple (en silicone ou en caoutchouc) pour déneiger la surface des modules. Pendant l'opération, veillez à éviter que l'outil n'entre en collision avec les boîtes de jonction et les connecteurs
- ✧ Dans des environnements à basse température, vérifiez si les connecteurs et les bornes présentent des signes de givrage. En cas de givrage, attendez le dégel naturel et le séchage complet avant d'effectuer des opérations
- ✧ Lors du déneigement, il est strictement interdit de marcher sur les modules (Il est possible de marcher dessus si les conditions d'installation autorisant le piétinement sont remplies. Veuillez consulter les consignes de travail d'installation pour plus de détails), afin d'éviter de provoquer des microfissures dans les cellules internes ou d'endommager la structure d'encapsulation

- ✧ Après les chutes de neige, inspectez les surfaces des modules pour détecter d'éventuelles fissures ou déformations causées par la charge de neige ou les cycles de gel-dégel ; les modules endommagés doivent être rapidement programmés pour remplacement

7.4 Intervention d'urgence en cas de foudre

La saison des orages est une période à haut risque pour les centrales photovoltaïques exposées à la foudre. Si le système de surveillance indique une interruption généralisée des communications des modules, un déclenchement des onduleurs, ou si une inspection sur site révèle des marques évidentes de foudre sur les modules (telles que perforation du boîtier de jonction, points de brûlure par arc à la surface des modules), les procédures de traitement suivantes doivent être immédiatement mises en œuvre :

- ✧ Couper immédiatement toutes les alimentations électriques de la centrale ; le personnel doit évacuer rapidement vers un espace intérieur sécurisé
- ✧ Après le passage de l'orage, inspecter complètement le système de protection contre la foudre et de mise à la terre : vérifier les conducteurs de descente de terre pour détecter toute rupture ou fusion ; mesurer si la résistance de terre répond toujours aux exigences de conception (généralement requise $\leq 4\Omega$)
- ✧ Inspecter l'apparence des modules un par un ; utiliser une caméra thermique infrarouge pour scanner les points de chauffe anormaux
- ✧ Mesurer la résistance d'isolement et les caractéristiques IV des chaînes affectées par la foudre ; remplacer les modules perforés ou dont les performances sont gravement dégradées
- ✧ Vérifier si les dispositifs de protection contre les surtensions (SPD) à l'intérieur des onduleurs et des boîtiers de combinaison ont été activés ou endommagés ; en cas de dommage, ils doivent être remplacés rapidement

8. Gestion des enregistrements et des archives d'exploitation et de maintenance

8.1 Système de gestion des enregistrements d'exploitation et de maintenance

L'exhaustivité et l'exactitude des enregistrements d'exploitation et de maintenance constituent la base de la gestion des actifs de la centrale, des réclamations de garantie, de l'évaluation des performances et de la traçabilité des défauts. Il est recommandé d'établir des principes de gestion des archives de "couverture complète du cycle de vie, double système électronique et papier, importance égale de la sécurité et de l'utilisation." Grâce à une collecte standardisée des enregistrements et une gestion réglementée des archives, atteindre la traçabilité des processus d'exploitation et de maintenance, la localisation des problèmes et la prise de décision assistée, formant une boucle de gestion fermée de "Enregistrement – Archive – Utilisation – Optimisation."

Les enregistrements d'exploitation et de maintenance doivent couvrir les catégories suivantes :

- ✧ Registres d'inspection : Enregistrer la date d'inspection, le personnel d'inspection, le périmètre d'inspection (chaînes/zones), les résultats d'inspection (état d'apparence des modules, données des paramètres de fonctionnement, problèmes identifiés et traitement sur site), suivi des problèmes non résolus
- ✧ Registres de nettoyage : Enregistrer la date de nettoyage, le personnel de nettoyage, le périmètre de nettoyage, la méthode de nettoyage, la consommation et la qualité de l'eau, les données comparatives de puissance des chaînes représentatives avant et après le nettoyage

- ✧ Registres de traitement des défauts : Enregistrer la date et l'heure d'apparition du défaut, le numéro de série et l'emplacement du module défectueux, la description des symptômes du défaut, l'analyse des causes du défaut, les méthodes et étapes de traitement spécifiques, les résultats du traitement, la signature du personnel de réparation, la liste des matériaux et pièces de rechange utilisés pour la réparation
- ✧ Registres de remplacement de modules : Enregistrer la date de remplacement, les informations sur l'ancien module remplacé (numéro de série, modèle, années de service, type de défaut), les informations sur le nouveau module (numéro de série, modèle, données initiales des tests de performance électrique), le personnel ayant effectué le remplacement
- ✧ Registres d'intervention d'urgence : Enregistrer l'heure et le lieu de l'incident d'urgence, le type et la gravité de l'incident, les mesures d'intervention d'urgence spécifiques et le processus d'exécution, les résultats de l'intervention et l'évaluation de l'impact ultérieur, le personnel impliqué dans l'intervention
- ✧ Registres de tests spécialisés : Enregistrer la date, le périmètre, la méthode, les données brutes et les conclusions d'analyse des tests spécialisés tels que les tests de courbe IV, l'inspection EL, le balayage par imagerie thermique infrarouge et les tests de résistance d'isolement

8.2 Classification et archivage

Il est recommandé d'adopter un système de classification à quatre niveaux pour la gestion des archives : « Classification primaire – Classification secondaire – Groupe de dossiers – Document » :

- ✧ Catégorie d'archives de base : Comprend la documentation d'usine des modules (certificat de conformité, rapport de test d'usine, liste des paramètres techniques), les contrats d'achat, les accords de garantie, les plans d'exécution du système, les rapports de réception de fin de travaux, etc. Les groupes de dossiers sont organisés par « Projet – Type d'équipement »
- ✧ Catégorie d'archives de processus d'exploitation et de maintenance : Compile les différents registres d'exploitation et de maintenance mentionnés ci-dessus, avec des groupes de dossiers organisés par « Année – Type d'exploitation et de maintenance – Zone ». Parmi ceux-ci, les registres d'inspection doivent être résumés mensuellement et reliés en conséquence ; les registres de traitement des défauts doivent être établis séparément comme « un dossier par cas », incluant les pièces justificatives telles que les rapports de test, les photos comparatives avant et après réparation
- ✧ Catégorie d'archives de suivi des performances : Stocke séparément les données de tests professionnels tels que les tests de courbe IV, les inspections EL et les scans de points chauds. Établir un « Registre de performances spécifique aux modules » indexé par numéro de série du module, enregistrant les données de performance clés à chaque étape de test tout au long du cycle de vie complet, et compiler chaque année le Rapport d'analyse de la dégradation des performances des modules
- ✧ Catégorie d'archives de gestion de la conformité : Comprend les copies des certificats de qualification du personnel d'exploitation et de maintenance, les certificats d'étalonnage des instruments de test, les certificats de recyclage et d'élimination des modules usagés, les registres d'inspection réglementaire du secteur, les registres de formation à la sécurité, etc., garantissant que les activités d'exploitation et de maintenance sont entièrement conformes et traçables tout au long du processus

8.3 Rapport annuel d'exploitation et de maintenance

Un Rapport complet d'analyse annuelle de l'exploitation et de la maintenance de la centrale photovoltaïque doit être préparé et soumis chaque année. Le rapport doit contenir au moins le contenu suivant :

- ✧ Statistiques annuelles de production d'électricité et analyse comparative par rapport aux valeurs de conception et à la même période de l'année précédente
- ✧ Statistiques récapitulatives annuelles des opérations d'inspection et de nettoyage (nombre d'inspections, nombre de nettoyages, nombre et répartition par type des problèmes identifiés et résolus)
- ✧ Analyse de la tendance de dégradation des performances des modules (basée sur les données d'inspection de courbe IV et EL)
- ✧ Analyse statistique des pannes (répartition par type de panne, taux de panne, temps moyen de réparation, évaluation de l'impact sur la production d'électricité)
- ✧ Statistiques annuelles des coûts d'exploitation et de maintenance, et recommandations de plan et de budget d'exploitation et de maintenance pour l'année suivante
- ✧ Domaines d'intervention clés et recommandations d'amélioration pour l'année suivante

9. Annexe

9.1 Foire aux questions (FAQ)

Q1 : Quel est l'intervalle de maintenance recommandé pour les modules photovoltaïques rigides légers de la série SolarPega de ZKFN SOLAR ? Quels sont les principaux points à vérifier ?

R : Il est recommandé d'effectuer des inspections complètes au moins une fois par mois, en vérifiant les performances opérationnelles de tous les modules, la sécurité et la fiabilité des connexions électriques, la stabilité de la structure de montage et la propreté de la surface des modules. Les principaux points d'inspection incluent : l'intégrité de l'apparence des modules, la solidité des connexions électriques, l'intégrité des boîtes de jonction et des connecteurs, la propreté de la surface des modules et les conditions d'ombrage, la stabilité de la structure de support de montage, l'intégrité du système de protection contre la foudre et de mise à la terre, l'état de fonctionnement du système de surveillance et la normalité de la production électrique des chaînes. Il est également recommandé de nettoyer les modules au moins une fois par mois pour garantir l'efficacité de la production d'énergie photovoltaïque.

Q2 : Si une petite quantité de poussière apparaît sur la surface du module sans atteindre le seuil de déclenchement du nettoyage d'une baisse de puissance de 5 %, un nettoyage est-il nécessaire ?

R : Si la couche de poussière est fine et que des précipitations sont prévues à court terme, le nettoyage peut être reporté tout en surveillant en continu les tendances de puissance via le système de surveillance. Cependant, si la pollution atmosphérique locale est sévère, que la poussière contient des substances collantes sujettes à l'agglomération, ou qu'aucune précipitation efficace n'est prévue dans la semaine à venir, il est recommandé de planifier le nettoyage à l'avance pour éviter que l'accumulation de poussière à long terme ne durcisse en croûte, ce qui augmenterait la difficulté du nettoyage ultérieur et affecterait en continu la transmission lumineuse.

Q3 : Si les modules gèlent en hiver, peut-on utiliser directement de l'eau chaude pour faire fondre la glace ?

R : Il est strictement interdit d'utiliser de l'eau chaude pour rincer ou verser directement sur les modules recouverts de glace. Les écarts de température sévères entre le froid et le chaud provoqueront un stress de choc thermique sur le panneau de verre et les matériaux d'encapsulation, pouvant entraîner la rupture du verre du module ou la défaillance de la couche d'encapsulation. Il est recommandé d'attendre que la température ambiante augmente pour permettre à la glace de fondre naturellement, ou d'utiliser un grattoir à glace spécialisé en silicone/plastique (les outils métalliques sont strictement interdits) pour retirer délicatement la glace de surface. Une fois la glace complètement fondue et la surface du module sèche, inspectez le module pour détecter tout signe d'infiltration d'eau ou de dommage.

Q4 : Si la dégradation de puissance du module dépasse la plage normale mais que le module est encore sous garantie, comment demander un service après-vente ?

R : Organisez d'abord le dossier complet d'exploitation et de maintenance du module (incluant les données d'inspection, les rapports de test de puissance de la courbe IV, les photos de défauts, les images d'inspection EL, etc.), contactez le service après-vente de ZKFN SOLAR et soumettez le formulaire de demande de service après-vente sous garantie avec les pièces justificatives pertinentes. ZKFN SOLAR organisera l'envoi de techniciens autorisés pour effectuer une vérification et des tests sur site. Une fois confirmé que le problème est un défaut de qualité du produit, des services de réparation ou de remplacement correspondants seront fournis conformément à la politique de garantie.

Q5 : Le personnel d'exploitation et de maintenance peut-il marcher sur les modules pour le nettoyage ou la maintenance ?

R : Les modules rigides légers de la série SolarPega de ZKFN SOLAR peuvent être parcourus à pied pour la maintenance dans des conditions spécifiques sans endommager les modules. Cependant, les opérations de marche à pied doivent strictement respecter les conditions et exigences techniques pertinentes (se référer au manuel d'installation pour les conditions spécifiques), y compris : restrictions de zone de marche, exigences de matériau de semelle (chaussures à semelles souples), mesures de répartition de charge, etc. Avant de confirmer que les conditions sont remplies, il est strictement interdit de marcher directement sur la surface du module.

Q6 : Comment déterminer si un module doit être remplacé plutôt que réparé ?

R : Les modules doivent être directement remplacés plutôt que réparés dans l'une des circonstances suivantes : ① La surface du module présente des fissures pénétrantes ou un bris étendu ; ② La boîte de jonction est gravement fondue, déformée ou brûlée ; ③ L'imagerie thermique infrarouge montre des points chauds sévères (différence de température $\geq 40^{\circ}\text{C}$) ; ④ L'inspection EL montre une microfissuration étendue des cellules (zone de fissure dépasse 30 % de la surface de la cellule) ; ⑤ La puissance de sortie du module a diminué de plus de 20 % par rapport à la valeur nominale ; ⑥ L'infiltration d'eau à l'intérieur du module a provoqué une résistance d'isolement qui reste constamment en dessous de la valeur standard et ne peut pas être récupérée.

9.2 Liste de contrôle des outils et instruments courants d'exploitation et de maintenance

Voici les outils et instruments de test courants recommandés pour l'exploitation et la maintenance des centrales photovoltaïques :

- ✓ Multimètre numérique (indice CAT III 1500V) — Mesure de la tension continue, du courant et de la continuité

- ✓ Ampèremètre continu à pince — Mesure du courant de fonctionnement de la chaîne sans couper le circuit
- ✓ Traceur de courbe IV — Mesure de la caractéristique courant-tension des modules/chaînes
- ✓ Caméra thermique infrarouge — Détection des points chauds, investigation des points de chauffe des connecteurs
- ✓ Testeur de résistance d'isolement (DC 500V/1000V) — Mesure de la résistance d'isolement entre la chaîne et la terre
- ✓ Équipement d'inspection EL — Détection des défauts internes tels que les microfissures des cellules, les ruptures de doigts de grille et les soudures froides
- ✓ Clé dynamométrique (0~30 N·m) — Vérification du couple de serrage des connexions électriques et des boulons de fixation
- ✓ Outils spécialisés de démontage/assemblage des connecteurs MC4 — Séparation et accouplement sécurisés des connecteurs
- ✓ Testeur de résistance de terre — Test périodique des systèmes de protection contre la foudre et de mise à la terre
- ✓ Kit de nettoyage spécifique au photovoltaïque (rouleau souple, chiffon en microfibre, raclette à eau douce, etc.)

9.3 Assistance technique et coordonnées

Service après-vente : (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)

Email d'assistance technique : tech-support@zkfnsolar.com

Site Web officiel : www.zkfnsolar.com

Adresse de l'usine de fabrication : Bâtiment 1, Xinshenglin, Parc industriel intelligent Lvhaihui, Zone de développement économique de Jining, Ville de Jining, Province du Shandong

9.4 Notes de révision du manuel

Ce manuel est la version A01, publiée le 9 mai 2026. ZKFN SOLAR révisera et améliorera périodiquement le contenu du manuel en fonction des mises à niveau technologiques des modules, des mises à jour des normes industrielles et des retours des utilisateurs. Les versions révisées seront publiées via le centre de téléchargement du site Web officiel et notifiées aux utilisateurs enregistrés par e-mail et autres canaux. Les utilisateurs peuvent obtenir gratuitement la dernière version. Si les utilisateurs découvrent des problèmes ou ont des suggestions d'amélioration lors de l'utilisation de ce manuel, ils peuvent envoyer un e-mail à tech-support@zkfnsolar.com, et nous évaluerons et intégrerons rapidement ces suggestions dans le plan de révision.

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

www.zkfn-solar.com

Ligne d'assistance téléphonique :(+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)