

Résumé exécutif

Un banc de charge (Load Bank) est un équipement de test spécialisé qui convertit l'énergie électrique en chaleur (ou d'autres formes d'énergie) pour la dissiper. Il est largement utilisé dans les scénarios de test et de validation pour les groupes électrogènes, les alimentations sans interruption (ASI), les systèmes de stockage d'énergie, les convertisseurs de fréquence et les infrastructures de centres de données.

Avec l'accélération de la digitalisation globale et l'expansion continue de l'échelle des centres de données, la valeur stratégique des bancs de charge pour assurer la fiabilité des systèmes d'alimentation électrique critiques devient de plus en plus prominente.

Ce livre blanc présente systématiquement les principes de fonctionnement, les classifications techniques, les indicateurs de performance clés, les scénarios d'application typiques et les méthodes de sélection des bancs de charge. Il vise à aider les ingénieurs techniques, les décideurs en matière d'achat et le personnel concerné à comprendre pleinement la valeur et la logique de sélection des bancs de charge.

1. Contexte et moteurs du marché

1.1 Dépendance extrême des infrastructures critiques à la fiabilité de l'alimentation électrique

À l'ère de l'économie numérique, les exigences en matière de continuité de l'alimentation électrique dans les infrastructures critiques telles que les centres de données, les salles de communication, les établissements médicaux et les réseaux de transport ferroviaire atteignent un niveau quasi exigeant.

Une panne de courant inattendue ou une dégradation des performances de l'équipement d'alimentation peut entraîner une perte de données, une interruption des activités, des dommages matériels et même des accidents de sécurité, avec des pertes économiques atteignant facilement plusieurs millions de yuans.

Données clés de l'industrie :

- Perte moyenne par panne non planifiée de centre de données : **plus de 1 million USD** (Uptime Institute, 2024)
- Marché prévu des centres de données mondiaux : **plus de 600 milliards USD** d'ici 2028, taux de croissance annuel ~12%
- Plus de **70%** des opérateurs de centres de données indiquent que les tests de charge réguliers sont une exigence clé de leur conformité opérationnelle

Face à ce contexte, les bancs de charge ont évolué d'« accessoires optionnels » en « équipements indispensables » en tant qu'outil clé pour vérifier les performances réelles des équipements d'alimentation électrique.

1.2 Moteurs de conformité et de normalisation

Plusieurs normes et réglementations de l'industrie nationales et internationales exigent explicitement des tests de charge à pleine puissance ou quasi pleine puissance périodiques pour les équipements électriques critiques tels que les onduleurs (ASI) et les groupes électrogènes :

Norme	Description
GB/T 7260 Série	Norme de test ASI (Chine)
IEC 62040 Série	Norme ASI internationale
NFPA 110	Norme américaine pour les systèmes d'alimentation électrique d'urgence
ISO/IEC 27001	Sécurité de l'information (indirectement : exigence de vérification de disponibilité)
Uptime Institute Tier	La certification exige une vérification périodique des performances à pleine charge

2. Principes de base des bancs de charge

2.1 Principe de fonctionnement

La fonction principale d'un banc de charge est de **convertir l'énergie électrique en chaleur et de la dissiper en toute sécurité**, fournissant ainsi un environnement de charge réelle simulé pour les équipements d'alimentation électrique.

Flux de puissance :

Équipement d'alimentation (ASI / Groupe électrogène / Batterie) ↓ Sortie de puissance

↓

Banc de charge (Éléments de charge résistive/inductive/capacitive) ↓ Convertit l'énergie électrique en chaleur

↓

Grâce à la régulation précise de la puissance de charge via le système de contrôle, les techniciens de test peuvent simuler diverses conditions de fonctionnement, du fonctionnement à vide à pleine charge, observer la tension, la fréquence, la forme d'onde, l'échauffement et d'autres paramètres clés des équipements d'alimentation électrique sous différentes conditions de charge, et ainsi vérifier si leurs performances réelles répondent aux normes.

2.2 Concepts électriques clés

Concept	Description
Puissance active (P, Unité : kW)	Puissance réellement consommée, correspond à la puissance générant de la chaleur par le banc de charge
Puissance réactive (Q, Unité : kvar)	Générée par des charges inductives ou capacitives, n'effectue aucun travail mais affecte le facteur de puissance du système
Puissance apparente (S, Unité : kVA)	Somme vectorielle de la puissance active et réactive, détermine la configuration de la capacité des équipements d'alimentation électrique
Facteur de puissance (PF)	P/S , reflète le rendement de charge des équipements d'alimentation électrique ; charge purement résistive $PF=1$
Distorsion harmonique (THD)	Contenu harmonique introduit par des charges non linéaires, affecte la qualité de l'énergie électrique

3. Classification technique des bancs de charge

3.1 Classification par type de charge

3.1.1 Banc de charge résistif (Resistive Load Bank)

Principe de fonctionnement : Utilise des fils résistifs, des grilles de résistance ou des éléments de résistance en acier inoxydable comme charges, facteur de puissance proche de 1,0, délivre une puissance active pure.

Caractéristiques :

- Structure simple, coût relativement faible
- Faible distorsion de la forme d'onde, résultats de test intuitifs
- Convient pour la vérification de validation de charge de base des équipements d'alimentation électrique

Applications typiques : Tests d'usine pour groupes électrogènes, vérification des performances de base des ASI, tests de maintenance réguliers dans les centres de données

3.1.2 Banc de charge inductif (Inductive Load Bank)

Principe de fonctionnement : Utilise des bobines d'inductance comme éléments de charge, génère un courant de retard, délivre une puissance réactive inductive, facteur de puissance typiquement 0,8 (en retard).

Caractéristiques :

- Simule les caractéristiques de charge réelles d'équipements inductifs tels que les moteurs et les transformateurs
- Souvent utilisé en combinaison avec des bancs de charge résistifs pour réaliser des tests complets de facteur de puissance

3.1.3 Banc de charge capacitif (Capacitive Load Bank)

Principe de fonctionnement : Utilise des bancs de condensateurs comme charges, génère un courant de précéance, délivre une puissance réactive capacitive, facteur de puissance typiquement 0,8 (en avance).

Caractéristiques :

- Simule les charges de grands systèmes d'éclairage à LED, de convertisseurs de fréquence et d'autres équipements capacitifs
- Peut être combiné avec des bancs de charge résistifs et inductifs pour réaliser des tests de facteur de puissance arbitraires

3.1.4 Banc de charge électronique (Electronic Load Bank)

Principe de fonctionnement : Utilise des dispositifs à semi-conducteurs de puissance tels que IGBT et MOSFET pour réguler précisément la forme d'onde du courant de charge et l'amplitude par contrôle programmé, simulant des caractéristiques de charge arbitraires.

Caractéristiques :

- Haute précision, vitesse de réaction rapide (niveau μ s)
- Peut simuler des charges dynamiques complexes, telles que des charges de pas de serveur, des impulsions de charge pour bornes de recharge
- Taille compacte, convient aux scénarios de test de précision en laboratoire
- Coût plus élevé

Applications typiques : Tests de précision des packs de batteries, tests des systèmes de recharge de véhicules à nouvelles énergies, évaluation des performances des systèmes de stockage d'énergie

3.2 Classification par méthode de refroidissement

Méthode de refroidissement	Principe	Avantages	Scénario d'application
Refroidissement par air	Refroidissement par convection forcée par ventilateurs	Structure simple, installation flexible	Petite à moyenne puissance, intérieur/extérieur
Refroidissement par eau	L'eau de refroidissement circulante emporte la chaleur	Haute efficacité de refroidissement, faible bruit	Haute puissance, scénarios intérieurs sensibles au bruit
Refroidissement liquide	Dissipation thermique par immersion ou plaque froide	Densité de refroidissement extrêmement élevée, ultra silencieux	Scénarios à densité de puissance ultra élevée

4. Scénarios d'application dans les centres de données (Focus)

Les centres de données sont le champ d'application le plus important et le plus valorisé pour les bancs de charge. Ce qui suit présente les nœuds clés dans le cycle de vie d'un centre de données.

4.1 Tests d'acceptation pour les nouveaux centres de données (Test de mise en service)

Contexte : Avant la mise en service d'un nouveau centre de données construit, des tests d'acceptation complets doivent être effectués sur les systèmes d'alimentation et de distribution électrique pour assurer que chaque système fonctionne de manière stable sous la capacité de conception.

Contenu du test :

- **Test de charge totale ASI :** Charge l'ASI jusqu'à la puissance nominale (charge 100%), fonctionnement continu pendant au moins 4 heures, vérification de l'échauffement, du rendement, de la stabilité de la forme d'onde de sortie
- **Test de démarrage et de charge du groupe électrogène :** Simule un scénario de panne de courant, vérifie le temps entre le démarrage à froid du générateur et la prise de charge (typiquement exigé ≤ 10 secondes) et la stabilité de la charge
- **Test de décharge de la batterie :** Simule la charge de l'équipement IT par le banc de charge, vérifie la capacité de décharge réelle du pack de batteries dans le temps de secours concevoir (par exemple, 15 minutes, 30 minutes)
- **Test de transfert :** Vérifie le temps de transfert du ATS (Sectionneur de transfert automatique) lors d'une panne de courant et la continuité de la charge pendant le processus de transfert

4.2 Tests de maintenance préventive réguliers

Importance : Des recherches montrent que le taux d'échec des systèmes ASI et groupes électrogènes sans tests de charge réguliers lors d'événements d'urgence réels est **3 à 5 fois** celui des systèmes testés régulièrement. La plupart des normes exigent des tests de charge totale trimestriels ou semestriels.

Plan de test typique :

Inspection mensuelle :

- Vérification de la tension de charge flottante de la batterie ASI
- Test de démarrage à vide du générateur (15 minutes)

Test trimestriel :

- Test de fonctionnement de charge ASI à 50% (1 heure)
- Vérification rapide de la capacité de décharge de la batterie

Test complet annuel :

- Test de charge totale ASI à 100% (4 heures)
- Test de fonctionnement en charge continue du générateur à pleine charge (2 heures)
- Décharge complète de la batterie jusqu'à la tension de coupure concevoir
- Simuler la panne de courant - exercice de transfert de processus complet

5. Bancs de charge refroidis par liquide : Avantages techniques et perspectives de marché

5.1 Définition et classification des bancs de charge refroidis par liquide

Les bancs de charge refroidis par liquide font référence aux produits de bancs de charge qui utilisent un liquide (eau, solution aqueuse d'éthylène glycol ou liquide diélectrique) comme principal milieu de refroidissement, contrairement aux bancs de charge refroidis par air traditionnels qui dépendent du refroidissement par convection de l'air. Basé sur la méthode de refroidissement par liquide, ils peuvent être divisés en trois catégories :

① Refroidissement liquide indirect (Type échangeur de chaleur à plaques)

- Les éléments chauffants résistifs sont étroitement couplés aux canaux d'écoulement de liquide de refroidissement par des plaques de conduction thermique, la chaleur est transférée à l'eau de refroidissement circulante
- Connexion externe aux tours de refroidissement ou aux groupes frigorifiques, le liquide de refroidissement circule dans une boucle fermée
- Structure mûre, maintenance simple, solution de refroidissement liquide dominante actuelle sur le marché

② Refroidissement liquide direct (Type immersion)

- Les éléments résistifs ou les dispositifs à semi-conducteurs de puissance sont directement immergés dans le liquide de refroidissement diélectrique
- Efficacité de refroidissement la plus élevée, peut supporter une densité de puissance extrêmement élevée (> 100 kW/m³)
- Coût plus élevé, convient aux scénarios à densité de puissance ultra élevée

③ Refroidissement par pulvérisation de liquide (Spray Cooling)

- Le liquide de refroidissement est directement pulvérisé sur la surface des éléments chauffants par des buses
- Efficacité de refroidissement par changement de phase extrêmement élevée, mais complexité élevée du système, actuellement surtout au stade de la recherche

5.2 Avantages techniques clés des bancs de charge refroidis par liquide

Avantage	Description	Impact
Densité de puissance de refroidissement	Le liquide a ~3500 fois la capacité thermique spécifique de l'air	Peut supporter : Refroidissement par air 20-50 kW/m ³ , Refroidissement liquide 100-300 kW/m ³ , Immersion 300-800 kW/m ³
Réduction du bruit	Élimine les grands ventilateurs de refroidissement, le bruit de fonctionnement peut être réduit à 45-55 dB(A)	Convient aux scénarios de test en intérieur sensibles au bruit
Continuité des tests	Grande inertie thermique du système liquide, faible impact des fluctuations de température ambiante	Assure la cohérence des conditions de test sur des heures de tests de charge totale
Synergie avec l'infrastructure du centre de données	Peut être directement connecté à la boucle d'eau froide du centre de données	Réduit considérablement les coûts de déploiement et la complexité de construction sur site

6. Tendances du marché et évolution technique

6.1 Intelligence et numérisation

Les bancs de charge modernes évoluent rapidement vers l'intelligence :

- **Accès IoT** : Prend en charge la surveillance à distance via le cloud, les données de test sont téléchargées sur la plateforme de gestion des opérations en temps réel
- **Analyse assistée par IA** : Établit un modèle de santé pour les équipements d'alimentation électrique grâce aux données de test historiques, prédit les pannes potentielles
- **Processus de test automatisé** : Scripts de test préconfigurés, achèvement du processus de test entier sans intervention manuelle et génération de rapports de conformité

6.2 Vert et économie d'énergie

- **Banc de charge à régénération d'énergie** : Alimente le réseau électrique avec l'énergie électrique consommée pendant le processus de test, peut récupérer plus de 90% des coûts d'énergie de test, réduit considérablement les coûts de test et les émissions de carbone
- **Frigorigène à faible GWP** : Utilise de nouveaux frigorigènes pour remplacer les substances à GWP élevé, satisfait aux réglementations de protection de l'environnement telles que F-Gas

6.3 Densité de puissance ultra élevée

Avec l'augmentation de la puissance par rack dans les centres de données de 5kW à 30kW et au-delà, les bancs de charge évoluent également vers des densités de puissance plus élevées pour répondre aux exigences de test pour les nouvelles infrastructures telles que les centres de données refroidis par liquide et les clusters de calcul IA.

7. Conclusions et recommandations

7.1 Conclusions clés

1. **Les bancs de charge sont la dernière ligne de défense** pour la fiabilité de l'alimentation électrique des infrastructures critiques et ont une valeur irremplaçable dans les scénarios à haute disponibilité tels que les centres de données, les communications, la médecine et l'industrie.
2. **Les centres de données sont actuellement le plus grand marché d'application pour les bancs de charge**, avec trois types de demande : tests d'acceptation, maintenance préventive et validation d'expansion, formant un espace de marché continu et stable.

3. **La sélection technique doit partir des caractéristiques de l'équipement sous test**, en prenant considérablement en compte l'échelle de puissance, les exigences de facteur de puissance, la méthode de refroidissement, le niveau d'automatisation et la certification de conformité, pour éviter la surconfiguration ou la sous-configuration.
4. **Les bancs de charge à régénération d'énergie offrent déjà des avantages économiques significatifs** dans les scénarios à haute puissance, et sont des outils importants pour les opérateurs de centres de données pour atteindre des opérations vertes.

7.2 Recommandations d'action

Pour les opérateurs de centres de données :

- Établir des procédures de test de charge standardisées, intégrer les tests de charge dans les audits de conformité annuels
- Pour les centres de données de moyenne à grande échelle, évaluer en priorité l'achat de bancs de charge modulaires mobiles pour atteindre la réutilisation des actifs entre les campus
- Prêter attention aux équipements à régénération d'énergie pour réduire les coûts de test et les émissions de carbone dans les opérations à long terme

Pour les décideurs en matière d'achat :

- Se concentrer sur le TCO (Coût total de possession) sur l'ensemble du cycle de vie, et non pas seulement comparer les prix d'achat
- Exiger des fournisseurs des qualifications de certification complètes (CE/CCC/UL/CB, etc.) et des engagements de support de service localisé
- Définir clairement les seuils de paramètres techniques dans les documents d'appel d'offres (précision de réglage de la charge, THD, protocole de communication, etc.)

Annexes

Annexe A : Liste des termes techniques courants et abréviations

Abréviation	Nom complet	Description chinoise
UPS	Uninterruptible Power Supply	Alimentation sans interruption
PF	Power Factor	Facteur de puissance
THD	Total Harmonic Distortion	Distorsion harmonique totale
ATS	Automatic Transfer Switch	Sectionneur de transfert automatique
PUE	Power Usage Effectiveness	Efficacité de l'utilisation de l'énergie
DCIM	Data Center Infrastructure Management	Gestion de l'infrastructure du centre de données

Pour plus d'informations, n'hésitez pas à [contacter notre équipe](#).

Ce livre blanc est uniquement à des fins de référence technique. Pour la sélection de produits spécifiques et les solutions techniques, veuillez combiner avec l'environnement d'application réel et les recommandations d'ingénieurs professionnels.

© 2026 Tous droits réservés | Veuillez indiquer la source lors de la reproduction