

**IEA 水力実施協定 ANNEX 11 水力発電設備の更新と増強  
第二次事例収集（詳細情報）**

**事例のカテゴリーとキーポイント**

Main : 1-c) 水系一貫水資源管理（総合開発計画、水利権等）

Sub : 2-a) 電気機械（E/M）機器の技術革新および適用拡大

プロジェクト名	: 葛洲水力発電所の 125MW カプラントタービン発電セットの更新、増強、容量拡大
国、地域	: 中国・湖北省・宜昌市
プロジェクトの実施機関	: China Yangtze Power Co., Ltd.（中国長江電力）
プロジェクトの実施期間	: 2005～2022 年
更新と増強の誘因	: (A) 老朽化／故障頻発 (C) 高性能化の必要性
キーワード	: 水力発電セット、更新および増強、容量拡大

**要旨**

葛洲水力発電所が稼動開始してから、発電セットは長期連続運転状態にある。平均年間運転時間は、中国の他の同様の水力発電所より非常に長く、最長 6,000 時間に達している。現在まで、発電セットは 30 年以上にわたって運転され、発電セットの一部の部品には、安全で安定した運転に影響を及ぼす重大な経年化現象と表面化していない安全上の問題が生じている。そのため、China Yangtze Power Co., Ltd.は「レベル A 保守」と共に 125MW 水力発電セットを更新および増強し、最新技術および加工手段により更新及び容量拡大を実施することを決定した。

このプロジェクトでは、タービンランナー、発電機固定子鉄心、固定子、回転子の巻胴を交換することにより、30 年以上稼動し、表面化していない安全上の問題を抱える古い発電セットを高度な新しい発電セットに更新及び増強することで全体的な機械特性を回復させ、長期運転によって生じた表面化していない安全上の問題を除去し、機器の運転期間を延長する。機器を更新及び増強することに加え、タービン出力が増加し、効率が改善され、キャビテーション耐浸食性が向上する。

**1. プロジェクト地点の概要（改修前）**

葛洲ハイドロジャンクション・プロジェクトは、長江の支流に建設される初の大規模水利及び水力プロジェクトである。プロジェクトは、南津関（長江三峡ダムの河口）の約 2.3 km 下流、三峡ダムから約 38 km、宜昌市中心部から約 6 km のところにある。これは、三峡ダム下流に長さ 38 km の自然水路を通し、三峡水力発電所の不安定な流れを再調整し、2つのダムの水頭差を利用して発電するために使用される三峡プロジェクトのカスケードであり再調整池である。

葛洲ハイドロジャンクション・プロジェクトは、クラス I タイプ (1) 大規模プロジェクトであり、天端標高 70 m、最大堤高 53.8 m となっている。ダム軸沿いのプロジェクトの全長は約 2,606.5 m である。葛洲ハイドロジャンクション・プロジェクトの主要構造（左から右）には、左岸アースロックフィルダム、No.3 シップロック、Sanjiang 水門、No.2 シップロック、Huangcaoba コンクリート貯水ダムセクション、Erjiang 発電所、Erjiang 水門、ガイド壁、Dajiang 発電所、No.1 シップロック、Dajiang 水門、右岸コンクリート貯水ダムセクションが含まれる。

葛洲水力発電所の正常貯水位は 66.0 m、最低貯水位は 63.0 m である。低水頭の河床式・流込み式発電所で、発電所とダムが統合されている。Central China Power Grid の大規模発電所の 1 つとして、葛洲水力発電所は Erjiang 発電所と Dajiang 発電所に分かれ、合計で 21 基のカプラタービン水力発電セットを備える。Erjiang 発電所は 7 基の発電セットを備え、1F 及び 2F で 170 MW、残り 5 基の発電セットで 125 MW、合計設備容量は 965 MW となっている。Dajiang 発電所は 14 基の発電セットを備え、単一容量は 125 MW、合計設備容量は 1,750 MW となっている。Gezhouba 発電所の最初の発電セットは 1981 年 7 月にグリッドに同期され、1988 年 12 月までに、すべての発電セットが稼動して発電を開始した。



図 1 葛洲ハイδροジャンクション・プロジェクトの全体配置

表 1 葛洲水力発電所の技術諸元

区分		仕様
貯水池	上流水位	63～66.5m
	貯水池の総貯水容量	711,000,000 m <sup>3</sup>
ダム	ダム名称	葛洲ハイδροジャンクション・プロジェクト
	河川名称	長江
	タイプ	コンクリートゲートダム
	高さ	53.8 m
	堤長	2,606 m
発電所	発電所名称	葛洲水力発電所
	定格設備容量	2,715 MW
	有効水頭	18.6 m

## 2. プロジェクト（更新/増強）の内容

### 2.1 誘因及び具体的なドライバー

#### ① 状態、性能、リスクの影響度等

##### (A)-(b) 老朽化/故障頻発—耐久性、安全性、信頼性向上

葛洲水力発電所の発電セットは耐用期間の末期に近づいているため、年々、不具合が増加し、タービン羽根の摩耗と侵食損傷が深刻化して、タービンの効率と安定性が低下している。そのため、発電セットの運転安定性を改善するため、発電セットを更新する必要がある。

葛洲水力発電所の発電セットの年間実稼動時間は約 6,000 時間であり、中国の水力発電セットの平均を大きく超える。保守期間が短く、作業負荷が高くなっているため、表面化していない重大な安全上の危険が存在する。したがって、容量増大により発電セットの稼動時間を減らすことは、葛洲水力発電所の安全な運転につながる。

(C)-(a) 発電機能向上の必要性－効率向上、増設、出力・アワー増

葛洲水力発電所は、三峡発電所の再調整ハイドロジャンクションである。三峡発電所が全出力運転状態またはピーク制御運転状態にある場合、放流量は葛洲水力発電所の全出力流量を大幅に超え、葛洲水力発電所で水が廃棄され、三峡発電所のピーク制御能力と三峡－葛洲水力発電所の統合運転の全体的効率に悪影響を及ぼす。

② 価値（機能）の向上

葛洲水力発電所に当初設計された年間平均発電能力は 15,700,000,000 kW・h であり、対応する水利用率は約 76%である。更新、増強、容量拡大の後、発電セットの流量が改善され、発電能力が向上し、水利用率が約 87%となり、年間平均発電能力は約 700,000,000 kW・h 増加する。

③ 市場における必要性

(該当なし)

## 2.2 経緯

1988年12月	すべての発電セットを稼働
1998年	発電セットの更新、増強、容量拡大に関する予備調査を開始
2005年4月	葛洲水力発電所の2基の125 MW 発電セットでタービン羽根を適切に修理し、発電機の試験的な更新および容量拡大を実施したところ、発電セットの出力がそれぞれ146 MW に達した
2012年	125 MW 発電セットの更新、増強、容量拡大を一括で実施することを決定
2012～2013年	葛洲水力発電所の発電セット12F および15F の発電機を更新し、発電セットの過度の電磁振動を排除
2013～2014年	Erjiang 発電所の発電セット03F および06F と Dajiang 発電所の発電セット08F、10F、15F、20F のタービンを更新
2014年10月～	発電セットの第2バッチタービンの更新および容量拡大を実施
2022年	19基の水力発電セットの更新、増強、容量拡大を完全に完了する予定

## 2.3 内容（詳細）

### 1-c) 水系一貫水資源管理（総合開発計画、水利権等）

#### 1. 取水を十分に活用し、発電効率を向上させる

葛洲水力発電所は、三峡発電所の再調整ハイドロジャンクションである。三峡発電所が全出力運転状態またはピーク制御運転状態にある場合、放流量は葛洲水力発電所の全出力流量を大幅に超え、葛洲水力発電所で水が廃棄され、三峡発電所のピーク制御能力と三峡－葛洲水力発電所の統合運転の全体的効率に悪影響を及ぼす。

更新および増強の前、葛洲水力発電所の発電セットの発電に使用される流量は18,600 m<sup>3</sup>/秒であり、三峡発電所の32基の発電セットの発電に使用される流量は約31,000m<sup>3</sup>/秒である。更新、増強、容量拡大の後、葛洲水力発電所の各発電セットの定格流量は70～90m<sup>3</sup>/秒増加し、発電セットの発電に使用される流量は約1,500 m<sup>3</sup>/秒増加する。年間平均流出時間は81.4日から67.7日へと減少し、水利用率は76%から約87%へと増加し、年間平均発電能力は約700,000,000 kW・h 増加する可能性がある。

## 2. 電力市場の需要

葛洲水力発電所は、中国中部の東部 4 省に電力を供給する。前記 4 省の 2020 年までの電力需要および電力供給計画によると、外部地域からの送電容量を考えると、4 省の送電網はいまだに不足している。水力はクリーンエネルギーであり、葛洲水力発電所の発電セットの更新、増強、容量拡大後、葛洲水力発電所の電力供給範囲にある送電網には、依然として大規模な電力市場がある。

長期的かつ安全で安定した機器の運転を保証し、洪水期の水力利用率を上げるため、China Yangtze Power Co., Ltd. は、これまでの調査と試験に基づき、125 MW 水力発電セットの更新、増強、容量拡大を 2012 年から続けて実施することを決定した。

葛洲水力発電所の水力発電セットの更新、増強、容量拡大は、建設用地を新たに増やしたり、貯水池の浸水や立ち退きなどの問題を招いたりすることなく建設される hub プロジェクトを利用して実施される。更新、増強、容量拡大は元の水力発電所でのみ実施されるため、影響範囲はごく限られる。プロジェクトは技術的に実現可能でプロセスが成熟しており、環境影響要因の制約を受けない。発電における表面化していない安全上の危険を除去し、送電網の安全性を向上させ、水資源の利用率を改善するには更新、増強、容量拡大を実施する必要がある。

### 2-a) 電気機械 (E/M) 機器の技術革新および適用拡大

#### 1. 発電セットの長期運転に伴う表面化していない安全上の危険

葛洲水力発電所の水力発電セットは 30 年以上にわたって運転され、発電セットの一部の部品には、発電セットの安全で安定した運転に影響を及ぼす重大な損傷が生じている。以下に、発電セットの主な問題と表面化していない安全上の危険を示す。

- (1) タービン羽根隙間、羽根表面、羽根スカートの摩耗と侵食損傷がひどく、タービン効率が低下し、発電セットの経済的な運転に悪影響が生じている。
- (2) 一部の発電セットにおいて、巻胴接合部の断熱箱体に亀裂の発生、断熱箱体の相間コロナ腐食の進行あるいは、断熱箱体とエポキシ充填剤の間に相対的な交換品がある。
- (3) 関連する基準に応じて、発電セットは長期運転を経て耐用期間の末期に近づいているため、機械および電気特性の各面に表面化していない安全上の危険がある。

そのため、更新、増強、容量拡大を発電セットに実施し、発電セットの一部の部品について局所的な更新および交換を実施する。ただし、局所的な更新を行っても、水力発電セットの性能が部分的に改善されるに過ぎず、発電セットに潜在化している安全上の危険は完全に除去されないため、安全上のリスクは依然として残る。

#### 2. 電気機械 (E/M) 機器の技術進歩

近年、中国は水力発電建設において満足のゆく功績を達成しており、特に、三峡発電所その他の巨大発電所の建設によって積み上げた成功例をもとに、水力発電セットの設計および製造面で世界の上位レベルに並んだ。多くのタービンモデル試験から、元の発電セットと比較して、Harbin Electric Machinery Co., Ltd. (ハルビン電機) および Dongfang Electric Corporation (東方電気集団) の Dongfang Electric Machinery Co., Ltd. (東方電機) が葛洲水力発電所向けに特別設計した新型ランナーのエネルギー特性、キャビテーション性能、安定性、その他の指標が大幅に向上したことが分かった。更新、増強、容量拡大を通じて、発電セットの安全性能および単一能力を向上させることができるため、30 年以上にわたって稼動してきた古い発電セットを高度な新しい発電セットに変えていくことができる。

### 3. 電気機械 (E/M) 機器の材料および技術レベルの発展

葛洲水力発電所の水力発電セットは、1970 年後期から 1980 年前期にかけて製造された。当時の材料、技術レベル、性能指標は、現在とは大きく異なる。関連する基準と水力発電セットの運転状態からして、葛洲水力発電所は更新及び増強の段階に入った。成熟したプロセスと新技術を使用することにより、発電セットの運転性能を効果的に向上させ、発電効率を上げることで全体的な機械性能を回復させ、長期運転によって生じた潜在化する安全上の問題を除去し、機器の運転期間を延長し、少ない投入資本で発電セットの単一能力を向上させる。また、これは国のエネルギー開発戦略とも一致するが、水資源の利用率を改善することができる。

要約すると、葛洲水力発電所の発電セットが 30 年以上にわたって稼動し、発電セットの一部の部品に重大な経年化現象と潜在化する安全上の問題が生じているという現状に応じて、機器の製造及び設置の各面における既存の新しい技術とプロセスを利用することにより、発電セットを更新及び増強し、機器の潜在化する安全上の問題を除去し、葛洲水力発電所の既設の土木工事と貯水池の稼動状態が影響を受けない状態で発電セットの合計設備容量を適当に引き上げることが強く求められており、それが実現可能である。

プロジェクトの実施は、2012 年に正式に開始された。個人と機器の安全を保証するという前提で、2 基の発電セットの発電機および 6 基の発電セットのタービンの更新および容量拡大が予定どおり高品質を確保して完了された。発電セットは一度に始動し、72 時間の試運転後の検査で異常は見つからなかった。発電セットの更新および容量拡大後、発電セットの主要性能諸元は優秀であり、所与の目的を満たし、発電セットの安全で安定した長期運転の要件を満たした。

表 2 更新および容量拡大の前後における HEC 発電セットのタービンの主要技術諸元

パラメータ	更新および容量拡大の前	更新および容量拡大の後
タイプ	カプランタービン	カプランタービン
モデル	ZZ500-LH-1020	ZZA1101-LH-1020
定格水頭 (m)	18.6	18.6
最大水頭 (m)	27	27
最小水頭 (m)	8.3	9.1
定格出力 (MW)	129	153
定格流量 (m <sup>3</sup> /秒)	825	950.95
定格速度 (r/分)	62.5	62.5

表 3 更新および容量拡大の前後における DEC 発電セットのタービンの主要技術諸元

パラメータ	更新および容量拡大の前	更新および容量拡大の後
タイプ	カプランタービン	カプランタービン
モデル	ZZ500-LH-1020	ZZD673-LH-1020
定格水頭 (m)	18.6	18.6
最大水頭 (m)	27	27
最小水頭 (m)	8.3	9.1
定格出力 (MW)	129	153
定格流量 (m <sup>3</sup> /秒)	825	923.39
定格速度 (r/分)	62.5	62.5

### 3. プロジェクトの特徴

#### 3.1 好事例要素

- 葛洲水力発電所の更新、増強、容量拡大では、建設済みのダム・hub プロジェクトと貯水池を利用して、発電セットを維持すると共に古い機器を更新及び増強し、容量拡大目的を達成し、発電効率を向上させる。
- 新技術、新素材、新プロセスを使用して、発電セットの運転性能を向上させ、発電セットの流量、容量、効率を拡大し、水資源を有効活用する。これは、三峡－葛洲水力発電所の統合運転の全体的効率を改善することにつながる。

#### 3.2 成功の理由

2014年現在、2基の発電セットの発電機および6基の発電セットのタービンの更新、増強、容量拡大が完了している。発電セットは増強後に一度に始動し、予定外の停止事象を起こすことなく安全運転を維持している。発電セットの更新、増強、容量拡大の後、発電セットの主要運転性能諸元は優秀であり、所与の目的を満たし、発電セットの安全で安定した長期運転の要件を満たした。このことは、葛洲水力発電所の発電セットの更新、増強、容量拡大が先進的な功績を予備的に達成したことを示す。

2014年の洪水期に、長江の流入水は万全であった。更新及び増強の後、葛洲水力発電所の発電セットは、低水頭および大流量状態で稼動している。発電に使用される流量を増やすことにより、単一出力を約10 MW増加させ、出水資源を十分に利用することができた。これによって葛洲水力発電所の年間発電能力17,795,000,000 kWhの確かな基盤が築かれ、著しい経済的利益が達成された。

プロジェクトは、主に以下の理由で先進的な功績を達成することができる。

第一に、更新プロジェクトの目標を科学的に決定する。長年にわたる運転を経て、葛洲水力発電所の発電セットの一部の部品に重大な経年化現象と潜在化する安全上の問題が生じているという現状に応じて、発電セットを更新および増強し、機器の潜在化する安全上の問題を除去し、葛洲水力発電所の既存の土木工事と貯水池の稼動状態が影響を受けない状態で発電セットの機器動作信頼性を向上させる。

第二に、モデル試験を十分に調査して実証し、徹底的に開発して、更新した機器の性能指標が優れたものになるようにする。China Yangtze Power Co., Ltd.は、1998年、発電セットの更新を調査し始めた。2003年から2010年まで、タービン羽根の修理、タービンランナーの直径拡大、ランナーモデル最適化（ランナーの直径を変更しない）など、発電セットの多くの更新ソリューションの調査および比較が実施され、発電セットの更新、増強、容量拡大が実施された。多くのタービンモデル試験と実機試験を通じて、「ランナーの直径、流路、水頭を変更することなく、タービン効率と流量を改善することにより、発電セットの更新、増強、容量拡大を達成すること」が決定された。更新後の発電セットの試作品試験において、元のタービンと比較して、エネルギー特性、キャビテーション性能、安定性、その他の指標が大幅に改善されたことが実証された。

第三に、電気機械技術の向上、新素材、新プロセスを十分に活用する。近年、中国の水力発電セットの設計および製造レベルは向上し続けている。成熟したプロセスと新技術を使用することにより、発電セットの運転性能を効果的に向上させ、発電効率を上げ、全体的な機械性能を回復させ、長期運転によって生じた潜在化する安全上の問題を排除し、機器の運転期間を延長し、少ない投入資本で発電セットの単一能力を向上させ、水資源の利用率を改善することができる。

#### 4. 他地点への適用にあたっての留意点

##### [プロジェクトの期待効果]

- 更新プロジェクトの期待効果を科学的に判定し、水力発電所の既存の土木工事と貯水池の稼動状態に対する影響を軽減し、プロジェクト実施の障害を減らす。

##### [プロジェクトの実施]

- モデル試験と試作品試験を十分に調査して実証し、徹底的に開発して、更新した機器の性能指標が優れたものになるようにする。
- 年間調整の水力発電所では、可能な限り乾燥季に更新を実施し、プロジェクトスケジュールを合理的に準備し、更新実施プロセスにおける発電効率の損失を避ける。

#### 5. その他（モニタリング、事後評価等）

- 葛洲水力発電所の第1バッチの発電セットの更新、増強、容量拡大を実施する過程で、設計および製造当事者との緊密な協力を強化することで、プロジェクト実施当事者は、プロジェクトの技術要件、製造および設置プロセス、プロジェクトの実施および制御などの各面で評価と改善をタイムリーに実施し、貴重な更新の経験を得た。引き続き、プロジェクトの段階的実施に従い、評価と改善が実施される予定となっている。

#### 6. 参考情報

##### 6.1 参考文献

- 1) Fundamental Technical Requirements for Hydraulic Turbines (GB/T 15468-2006)
- 2) Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-Turbines - Rehabilitation and Performance Improvement (IEC 62256 2008-01)
- 3) Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-Turbines - Guideline for Rehabilitation and Performance Improvement (GB/T28545-2012)
- 4) The Yangtze River Survey Planning Design and Research Institute Co. Ltd.- Feasibility Study Report for Renewal, Upgrading and Capacity Expansion of Generating Sets in Yangtze River Gezhouba Hydropower Station、2013

##### 6.2 問合せ先

会社名: China Yangtze Power Co., Ltd.

URL: <http://www.cypc.com.cn/CH/index.html>