

1.1 水力一般



要点

1. 水力発電所の水車に発生するキャビテーション

(1) キャビテーションとは

運転中の水車ランナの流速および圧力は各部により異なる。ある点の圧力が低くなり、そのときの水温における蒸気圧力以下となると、水蒸気の気泡が生じる。この気泡が流されて圧力の高い部分に達して消滅する瞬間、音響を伴い極めて短時間に大きな衝撃を発する。これをキャビテーションと呼ぶ。

(2) 影響

キャビテーションが繰り返されると、ランナベーンが疲労して海綿状に浸食される。さらに振動や水車効率の低下、電力動揺の原因となる。

(3) 対応策

- ① 比速度の選定に留意し、できるだけ小さくする。
- ② ドラフト高さを合理的に選定する。
- ③ 吸出し管のランナに近い箇所へ空気を送入する。
- ④ 使用材料を、耐腐食性の強い材料に変更する。
- ⑤ ランナ、案内羽根（ガイドベーン）、吸出し管の形状を改良する。

2. 水車の種類とその特性

水車は大きく分けて、衝動水車と反動水車があり、第1表のように分類される。

【衝動水車】 圧力水頭を速度水頭に変えた流水をランナに作用させる水車。

例) ペルトン水車、クロスフロー水車（※）

【反動水車】 圧力水頭を持つ流水がランナを通過するときの反動力を利用する水車。

例) フランシス水車、斜流水車（デリア水車）、プロペラ水車、カプラン水車、チューブラ水車

（※）クロスフロー水車は、衝動水車と反動水車の特性を併せ持ち、それらの中間に位置付けられる。

基本例題にチャレンジ

【問題1】

文中の空欄に当てはまる字句を記入しなさい。

斜流水車は一般に〔1〕が可動構造になっており、カプラン水車と同様に〔2〕，変流量の運用に適し、カプラン水車に適さない〔3〕領域まで使用できる特徴がある。また、〔4〕は高落差地点に多く適用され、部分負荷運転時には、フランシス水車に比べ効率が良い他、負荷遮断時には他の水車よりも〔5〕の変動の影響を小さくすることができるので、水圧鉄管が経済的にできる。

【問題2】

文中の空欄に当てはまる字句を記入しなさい。

水車に与える障害の一つに〔1〕がある。この発生原因は、水車を通過する流水により、ある点の圧力が水の〔2〕以下に低下し、低圧部あるいは〔3〕部ができると、そこで水中に含まれている空気が遊離して〔4〕となり、あるいは水蒸気できて、流水とともに流れるが、圧力の高いところに出会うと、急激に崩壊して、このとき大きな衝撃を生じるために金属面を〔5〕することである。

【問題1の解説】

やさしい解説



ペルトン水車は、200 m 以上の高落差に適しており、最高効率是他の水車と比較してやや劣るが、負荷変動に対しては、ノズルに設けられたニードル弁で水量を調整できるため、軽負荷時に効率低下が小さい。

カプラン水車は、プロペラ水車の一種であり、ランナペーンが可動なものという。可動羽根のため、部分負荷運転時の効率低下が小さい。フランシス水車は、50～500 m の中～高落差に適しており、最高効率は高いが、軽負荷時はかなり効率が低下する。斜流水車はフランシス水車とカプラン水車の中間構造となっており、フランシス水車の羽根を可動形にしたものと考えてよい。

● 解 答 ●

- (1) ランナベーン (2) 変落差 (3) 高落差 (4) ペルトン水車 (5) 水圧

【問題2の解説】

ある点の圧力が水の飽和蒸気圧以下になると、水中に含まれていた空気が遊離して気泡となったり、あるいは水蒸気ができて流水中に微少な気泡が発生する。発生した気泡は水とともに流され、圧力の高い場所に来ると、急激に圧縮されて崩壊し、非常に大きな衝撃が発生する。これをキャビテーションと呼ぶ。これにより、流水接触面に壊食が生じるが、これは特に、ペルトン水車のバケット、ニードル、フランシス水車のランナベーン入り口部分に最も発生しやすい。機械の振動、騒音の発生、効率の低下など、水車に悪影響を及ぼす。

このキャビテーションを防止するには、必要な水車据付高さを確保したり、キャビテーション壊食に強いステンレス系の材質を使用する必要がある。

● 解 答 ●

- (1) キャビテーション (2) 飽和蒸気圧 (3) 真空 (4) 気泡
(5) 壊食 (浸食, 腐食)

応用問題にチャレンジ

一般の水力発電所の試験のうち、(1)から(3)までの試験の目的と試験内容を述べよ。

- (1) 負荷遮断試験
(2) 非常停止試験
(3) 負荷試験

● 解 答 ●

(1) 負荷遮断試験

- ① 目的：水車発電機運転中、系統故障により負荷を遮断した場合、水車の回転速度、発電機電圧、水圧鉄管の圧力など、おのおのの変動値が制限値を超えることなく、水車発電機を安全に無負荷運転に移行しうることを確認するために行う。
- ② 試験内容：通常、最高落差において、1/4 負荷から開始し、2/4, 3/4, 4/4 の負荷で実施する。各段階ごとに、水圧、回転速度、発電機電圧が許

容範囲内であるかどうかを確認する。操作は、遮断器を手動で開放する。

(2) 非常停止試験

- ① 目的：水車発電機運転中、発電機、主変圧器などの内部故障が生じた場合、継電器などの動作により非常停止の動作が安全に行われることを確認するために行う。
- ② 試験内容：通常、1/4 負荷程度で、非常停止用継電器の接点を手動で閉じることにより非常停止を行わせ、所定のシーケンスで遮断器が動作し、発電機が停止することを確認する。

(3) 負荷試験

- ① 目的：発電設備が認可された性能を持ち、その設備が安全な状態で最大出力における連続運転に耐えるかどうかを確認する。
- ② 試験内容：定格出力の状態 で連続運転し、発電機巻線、変圧器油などの温度を30分～1時間ごとに測定する。試験は、各温度が飽和するまで行い、各データが規定値以内であることを確認する。併せて、水車、発電機の振動の有無、各部の漏油、漏水、異音、異臭などの異常がないことを確認する。



これらの試験は、水力発電所建設後、連続運転に入る前に行う使用前試験の一部である。

負荷遮断試験は、別名、調速機試験と呼ばれ、発電機の遮断器が動作して水車の負荷が急減したときの調速機の動作を試験し、水圧や速度の上昇のために機械を破損するような恐れがないことを試験するのが、この試験の本来の目的である。

また、保護停止試験の一部として、非常停止試験があり、水車発電機や主変圧器に重故障が発生した場合、保護停止動作が所定のシーケンスに従って確実に行われることを確認するために行われる。

負荷試験は、別名温度試験と呼ばれ、発電機や主変圧器が、規定容量の連続負荷に耐えるかどうかをみるために行われる。



- ・各水車の種類と特性について、確実に理解しておこう。特に、適用される落差、部分負荷運転時の効率について、しっかりと把握しておくことが重要。
 - ・キャピテーションの発生メカニズムとその影響、および対策方法について記述できるようにしておこう。
- ・水力発電所の試験について、その目的と試験概要について、理解しておこう。

演習問題

【問題】

水力発電所の部分負荷運転時における水車効率の向上策に関して、次の問に答えよ。

- (1) ペルトン水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。
- (2) クロスフロー水車について、部分負荷運転時の水車効率を向上させる目的で設置する設備の特徴とともにその運用方法を説明せよ。
- (3) カプラン水車や斜流水車の運用方法による部分負荷運転時の水車効率の向上策について説明せよ。

● 解答 ●

- (1) ペルトン水車では、ノズルの使用数を減らすまたはニードル弁を絞ることで、流速を維持し、部分負荷での効率を高めることができる。
- (2) クロスフロー水車では、ガイドバーンを大小の2枚に分割して設置し、流量の変化に合わせて、大小両方→大のみ→小のみ、と流量に応じた部分負荷での効率を高めることができる。
- (3) カプラン水車や斜流水車では、ガイドバーンの開度に連動し水車羽根の角度を調整することで、部分負荷での効率を高めることができる。