

3.3 主要機器の特性と試験

保安員は、取り扱う機器の基本的な原理、特性を熟知し、実機における諸現象の把握と解明、機器の実用的調整、破損部の修理後における特性の復元に対する確信など、良好な保守業務に活用しなければならない。以下、小水力発電に使用されている主要機器の特性について述べる。

3.3.1 水車

(1) 開度出力特性

水車のガイドベーン、ニードルバルブなどの水口調整機の開度と、水車出力の関係は、図 3.3.1 に示すようになっている。(水車そのものの出力を直接測ることはできないので、一般に発電機の出力で表している)

特性の特徴として、無負荷開度の大きさと、関係曲線の形状が挙げられるが、いずれもその水車発電機固有のものである。

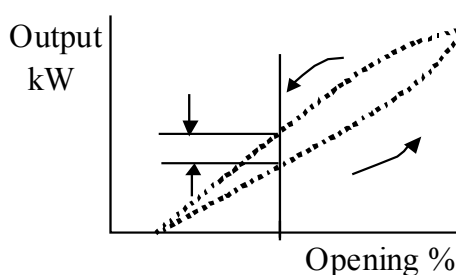
無負荷開度は、水車発電機に負荷を接続しないで定格速度を保っている時の開度である。

この開度は、時として、起動開度と混同されることがあるが、起動開度は停止している水車が回り始める時の開度で、起動から同期速度に達するまでの時間の関係から、無負荷開度より大きく設定される場合が多い。

7曲線の形は、直線に近いものが多いが、水車の種類によって異なり、カプラン水車はランナ動翼の開度と関連し複雑なものとなる。

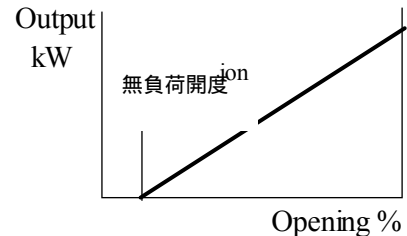
また、この曲線は、水車の運転時間によるガイドベーンやニードルの磨耗、ランナのキャビテーションによる腐食の進行、ランナとカバーライナの間隙の増大、ガイドベーン、ノズルなどへの枯葉の詰まりなどによっても形状と値が変わってくる。

この測定は、全閉から徐々に開度を増加して測定、全開から、また順次、開度を減少して、



Source: JICA Study Team

図 3.3.1 開度-出力の関係 (2)



Source: JICA Study Team

図 3.3.1 開度-出力の関係 (1)

開度出力の関係を求めると、図3.3.1 (2) のようになる。図の の値が大きいのは、水口の開閉機構にガタがあることを示し、フランス水車、カプラン水車など、複雑なリンク機構を持っている場合は、 の値に保守上大きな意味がある。

従って、この測定の行程において、開度の変化を途中で戻すと、正しい曲線の形状が得られなくなるので、測定は全閉から全開へ、全開から全閉へ、途中戻すことなく行わ

なければならない。また、全開から全閉、全閉から全開といった、逆行程の測定も避けた方が良い。

この試験は保守基準では2年に1回となっているが、この回数は特に異常がなくとも、2年に1回は試験して、新しい特性を把握しておくという意味で、ガイドペーンの分解掃除、ガバナ調整などの作業をした後は、必ず測定する事を推奨する。

[注] この特性は、極めて単純な特性であるが、この中から上述のような色々なことが解かり、正しい保守に貢献することになる。

(2) 効率特性

a. 水車の効率

水車の効率は、次の式で表す。

η_T : 水車効率

H_e : 有効落差 m

Q : 使用流量 m^3/s

P_T : 水車の出力 kW

$$\eta_T = \frac{P_T}{9.8 \times H_e \times Q}$$

一般に、水車の出力を直接計ることは難しいので、発電機の出力を用いて、次の式で求める。

η : 総合効率

η_G : 発電機効率

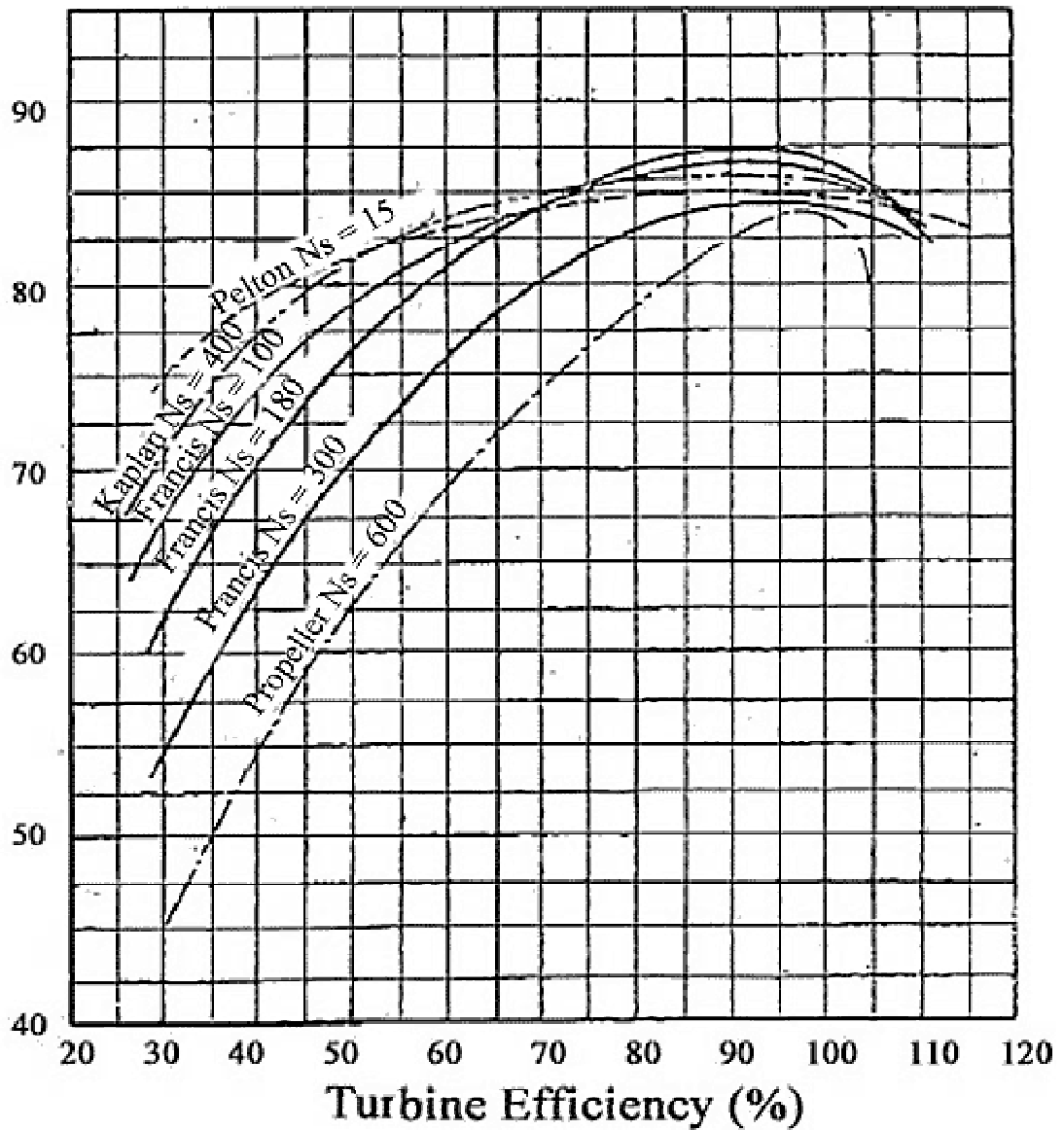
P_G : 発電機出力 kW

$$\eta = \frac{P_G}{9.8 \times H_e \times Q} \quad \eta_G = \frac{P_G}{P_T} \quad \eta = \eta_T \times \eta_G \quad \eta_T = \frac{\eta}{\eta_G}$$

H_e は水車に有効に働く落差で、水車入口直前の静落差と、流入水の水頭、吸出管の吸出水頭を加えたものである。実際上は、上水槽水位と水車中心の高低差から、水圧鉄管の損失を引いた値に、吸出水頭を加えたものとほぼ同じ値である。(各種水車の有効落差については、Part 1 Appendix 9 を参照)

水圧鉄管の損失水頭は、ほぼ流量 Q の二乗に比例して変わり、水車効率も Q の大きさによる。ランナへの作用の違いから、流量とある相関関係を持って変わるので、流量と水車効率の関係は流量を横軸、効率を縦軸にとって、図3.3.2のように表すことができる。

この曲線を水車の効率曲線といい、その曲線の形は、図3.3.2に示すように、水車の種類によって、特徴ある傾向を示す。



特性

図 3.3.2 各種水車の効率比較

は、有効落差と回転速度が一定の時に於ける、流量と効率の関係を示すものであるが、回転速度が一定で有効落差が変化する場合の効率特性は、変落差特性として、図3.3.3のように、有効落差をパラメータとして表す方法がある。

有効落差一定の特性は、流れ込み式の場合に多く、変落差特性はダム式の場合に起こる特性である。

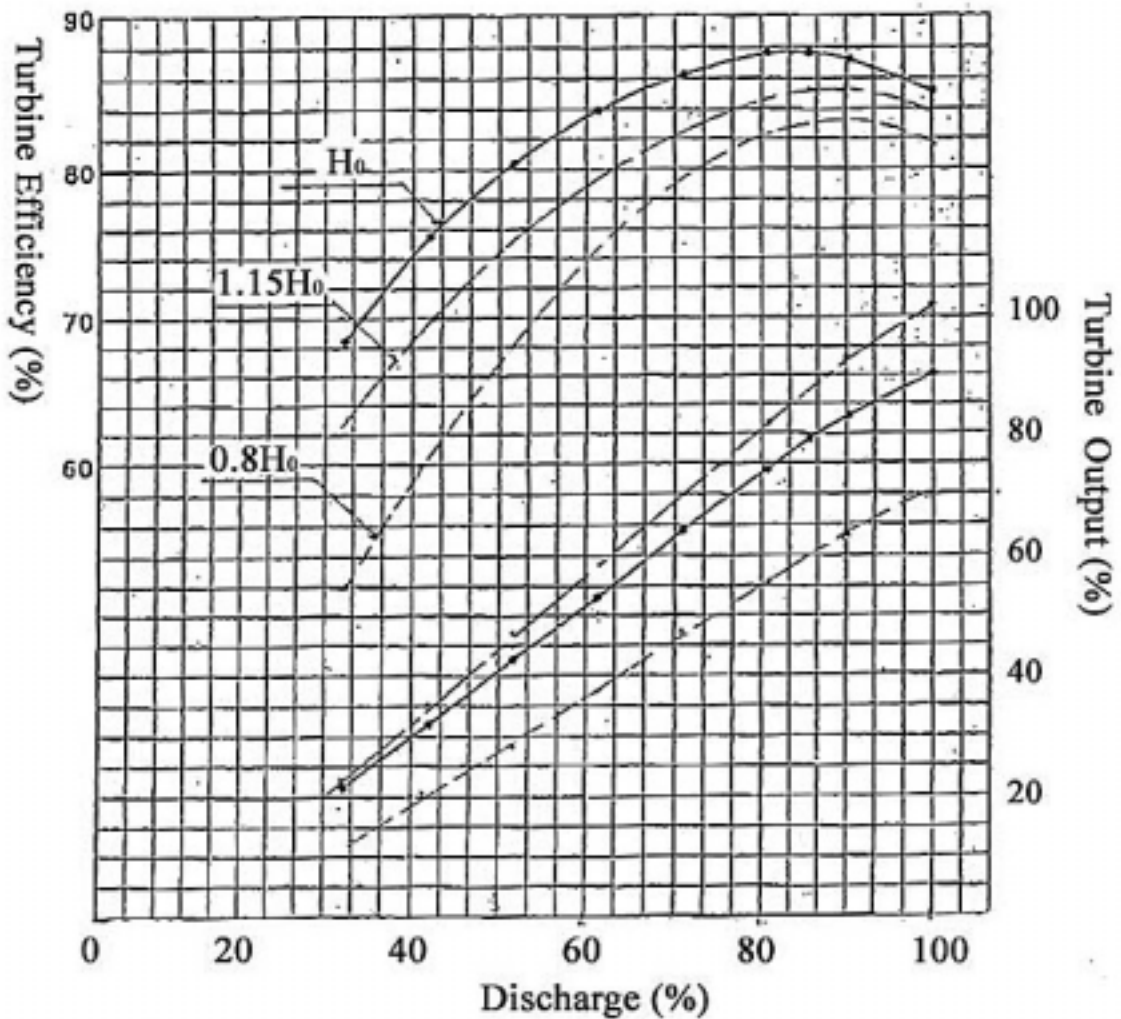


図 3.3.3 変落差特性

図3.3.3に流量-効率の曲線と合わせて、流量-出力の曲線が示されている。この曲線は前項の開度出力曲線と酷似しているが、これは開度と流量がほぼ直線的な相関を持っているからである。開度出力曲線が水車効率と密接な関係にある由縁は、この関係から生まれる。

b. 効率試験

効率の測定を行う試験を、効率試験という。

効率試験の測定事項は、発電機出力(既知の発電機効率で割って水車出力とする)、有効落差、使用流量である。発電機出力は、電力計で容易に求められ、有効落差は、静水頭の測定と、流量から換算した管内流速から、演算によって求められる。

流速の測定は、主として水圧管内の流速を計測し、管の断面積との積から求める方法のものが多いが、水路内流速または放水口に堰を設ける方法など、次のようなものがある。

表 3.3.1 流量測定法

方法	測定位置
流速計法	導水路、水圧管路
ピトー管法	水圧管路
・ 円錐速度法	水圧管路
・ 塩水法	水圧管路
ギブソン法	水圧管路
超音波法	水圧管路
電磁流量計法	水圧管路
・ ベンチュリー法	水圧管路
・ 堰 法	放水路
・ 指数法	水車ケーシング

Source: Suggested by JICA Study Team

表3.3.1に記す 印の方法が実用化されているが、中でも 印の方法が、現場試験に多く適用されている。

効率測定法については、IEC(国際電気規格)に厳密な定義・規程などが定められており、水車を新設した場合のメーカー保証効率の確認は、IECに準拠して行う。

これらの試験の実施は、特殊な測定器具と、設置測定に多くの費用を必要とするので、一般保守のために実施するのは経済的に難しいので、メーカーの保証曲線をそのまま使用する。水車の修理時期を決めるなど、一般保守上では前項の開度出力曲線で充分判断できる。

c. 効率曲線の利用方法

水車効率は、使用している水量で、どれだけの出力が出れば、水車の性能として正しいのかを判断する目安である。従って、流れ込み式発電所の単独運転のように、常に若干の余裕をもって、水を溢水させながら運転するような場合には、それほど効果的な運転に役立つことはできない。

しかし、系統に並列し、できる限り発生電力量を多くしたい場合には、次のような利用方法がある。

高効率運転

運転の項で述べたように、複数台の水車発電機を並列して運転する時、合計使用流量に対し、発生電力が最大になるような各機の流量配分を行う。(Part 1 Appendix 4 参照)

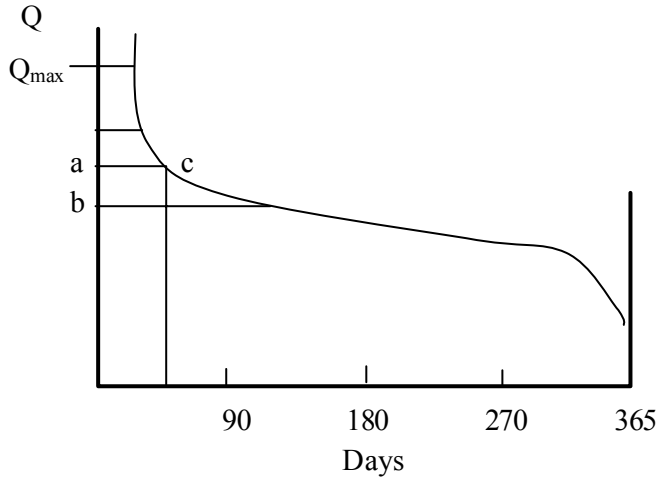
・ 特性改善

流れ込み発電所の場合、自流の流況から見て、発電所の最大使用水量が大きく設計されている場合が多い。

図3.3.4はその例を示すもので、水車が使用最大水量 Q_{max} を使用できるのは、年間7%程度

となる。

図3.3.5は、この発電所の効率曲線を示すもので、既設の水車は実線のように、最大使用水量の90～95%の位置に、水車の最高効率点”a”が来ている。この水車がフランス水車の場合は、ランナの設計を変更することにより、点線で示す最高効率点”b”の位置にある効率特性のランナにすることができる。



Source: JICA Study Team

図 3.3.4 流況曲線

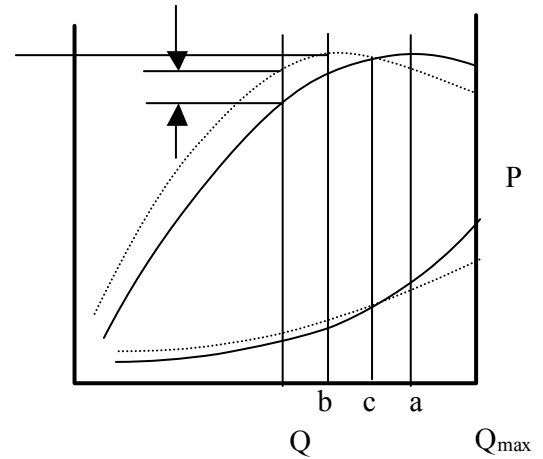


図 3.3.5 水車効率曲線

両者の運転を比較すると、使用流量が”c”より少ない時は、改良ランナの方の出力が大きく、”c”より多いときは、既設ランナの方の出力が大きくなる。

運転時間は、”c”以上の場合が年間の7%ほどであるから、改良ランナの方が年間の93%の間、出力を多く出すことになり、結局年間発生電力量は改良ランナの方が多くなる。このような改良で、年間発生電力量を、5～6%増加させた実例がある。

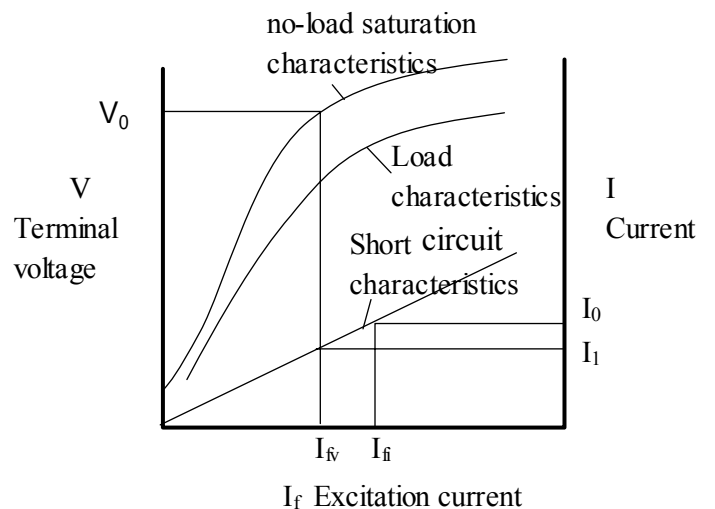
水車の効率、無制限に任意の形に変えられるものではない。特に、ペルトン水車、ターゴインパルス水車など、衝動水車で改良はできないが、Ns100～200 m・kWの範囲のフランス水車は、改良の可能性がある。

このような観点から、保守にあたって、その機器の特性の把握と、積極的な改善の努力が必要である。

3.3.2 発電機

(1) 基本特性

発電機の基本特性として、無負荷飽和特性と、短絡特性がある。無負荷飽和特性は、回転速度を定格値に保ち、発電機端子に負荷を接続しない状態で、励磁電流を0から徐々に増加して行っ



Source: JICA Study Team

図 3.3.6 基本特性

たとき、端子間に発生する電圧と、励磁電流の関係を図3.3.6に示すように表したものを言う。

短絡特性は、発電機端子を全て短絡し、定格速度で廻した状態で、励磁電流を徐々に増加した場合、発電機に流れる電流と、励磁電流の関係を、図3.3.6のように表したものを言う。これらの特性を求める試験は、直流励磁機を使った手動発電所の場合には、現地でもできるが、AVRを使用している場合は、励磁を変化させるため、別途の励磁装置を用いるなど、手数がかかり、また、调速機も使用できないので回転計を見ながらの手動回転調整をするなど、難しい点が多い。

発電機の特性は、経年で変化することはないので、一般には現地での試験は建設時のみとし、運用に入ってから保守作業として行うことは少ない。また、メーカーの工場試験データをそのまま利用する場合も多い。

(2) 諸定数

発電機の諸定数には、次のようなものがある。(図3.3.6参照)

短絡比 I_{fi}/I_{fv}

同期インピーダンス V_0/I_1

過渡インピーダンス

過渡時定数

突発短絡インピーダンス

突発短絡時定数

GD^2 $kg\cdot m^2$

各コイル直流抵抗値 発電機コイル、励磁コイル

(3) 保守上必要な事項

- 固定子重量
- 回転子重量
- 発電機効率曲線 (出力kVAに対する効率、力率パラメータ)
- 絶縁抵抗値
- 絶縁階級と温度上昇限度
- 軸受温度保証値
- 各部冷却水量と水温

以上の事項は、運転保安上重要なので、メーカー保証値、工場試験記録、建設時試験記録、保守・点検記録等より確認し、記録として整備しておく。

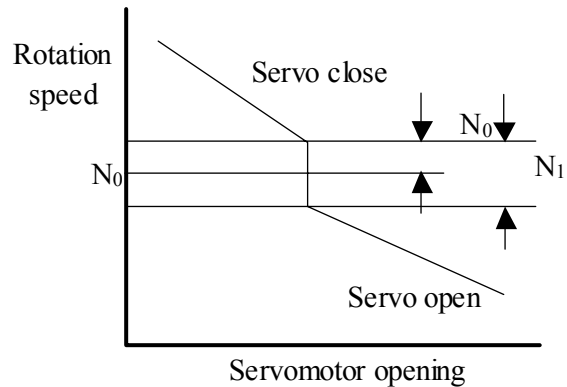
3.3.3 調速機

感度と不感帯

調速機の入力、すなわち回転速度を微妙に変化した時、主サーボモータが動き出すまでの、回転変化分を、基準回転速度で割った値を百分率で表したものを、感度又は不感帯と呼ぶ。

$$\text{感度} = \pm \frac{\Delta N_0}{N_0} \times 100\%$$

$$\text{不感帯} = \pm \frac{\Delta N_1}{N_0} \times 100\%$$



Source: JICA Study Team

図 3.3.7 サーボモータ開度

この特性は現場で試験をして求めることができる。

一般にサーボモータ開度を、ほぼ中位置におき、回転速度を極くゆっくり変化させ、サーボモータの移動をダイヤルゲージで正確に測り、不感帯を捉える。

この時、回転の変化は非常に微妙なので、読み取りは、デジタル回転計または周波数計の精度の高いものを用い、速度の調整は発電機に1~2 kW程度の可変負荷を仮設して行う。

通常、新しい時の不感帯0.02%~0.04%、感度±0.01%~±0.02%であるが、経年によって変化する。

変化の原因は、調速機を構成する機構のガタの増加と、油の流動摩擦などによる配圧弁ラップの現象であるが、前者は不感幅を大きくし、後者は小さくする。いずれも調速機の動作特性には悪い影響を与えるもので、不感幅が極端に小さくなると、安定が悪くなり、レーシングを発生することがある。

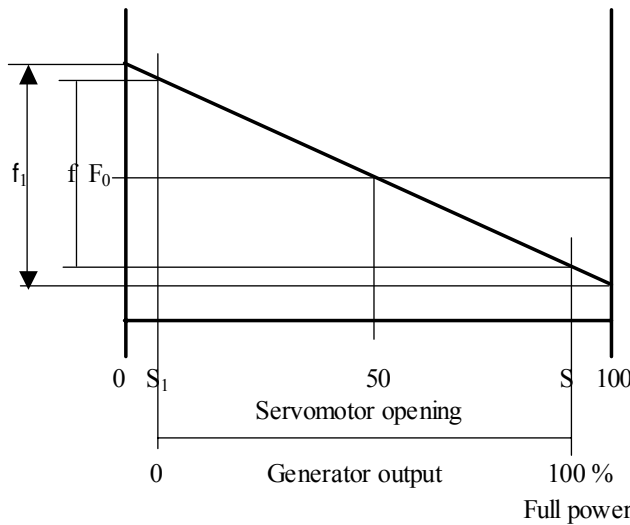
この特性は、それほど変化するものではないので、頻繁な試験は不要であるが、10年周期の精密点検時などには、試験してその値を記録保存する必要がある。

(2) 速度垂下率と速度調定率

調速機は、サーボモータの開度をリターン機構を介してフィードバックさせているので、周波数の変化分とサーボモータ開度の間には、図3.3.8のような関係がある。すなわち、調速機をフリーの状態において、何の調整も行わずに入力周波数を f_1 変化させたとき、サーボモータは全閉から全開まで移動する。この時 f_1 の値を基準周波数 F_0 で割った値を百分率で表し、速度垂下率という。

$$\text{速度垂下率} = \frac{\Delta f_1}{F_0} \times 100\%$$

一方、発電機出力は、図3.3.9に示すように、水車発電機の開度出力特性に従って、サーボモータの無負荷開度 S_1 の時のとき出力は0%、全出力開度 S の時出力100%となり、開側に余裕を持っている。



Source: JICA Study Team

図 3.3.8 調速率特性

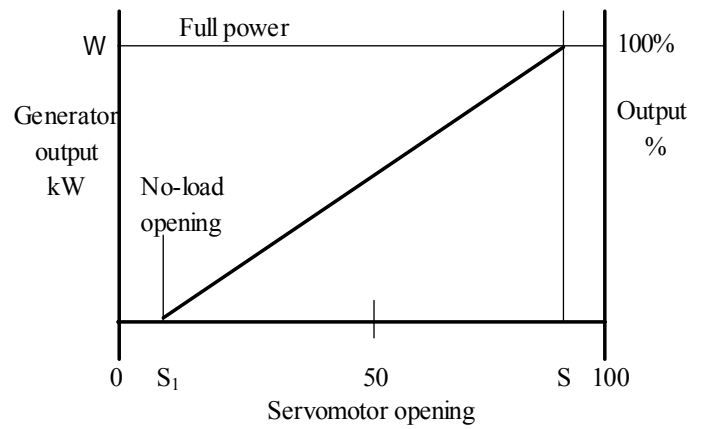


図 3.3.9 開度出力特性

このため、発電機出力の0～100%に対する周波数の変化は、サーボモータの開度 S_1 から S の変化に対する値となり、図3.3.8の f となる。この値と F_0 との比を速度調定率と呼ぶ。

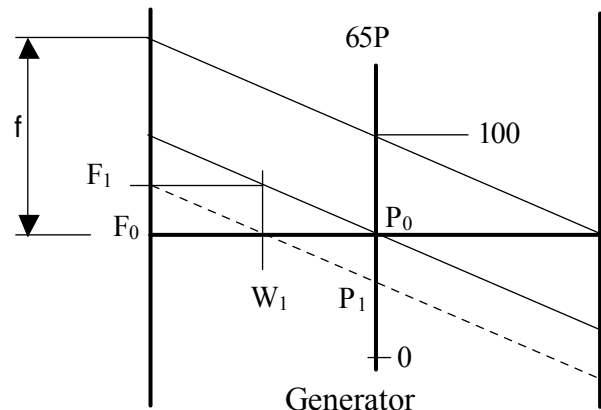
$$\text{速度調定率} = \frac{\Delta f}{F_0} \times 100\%$$

周波数の変化が起こるのは、発電機の出力と、負荷の間に差が生じている時で、调速機が作動して周波数の変化を止めるのには、対応する制御量は、サーボモータの開度ではなく、発電機の出力の調整であることは、容易に解る。

この意味で速度調定率は、いくらの周波数変化にどのぐらいの発生電力変化で応ずるかの割合を示す、大事な定数であり、特に複数台の水車発電機を並列運転する場合や、系統に並列して運転する場合に、各々の調定率によって、周波数変化に対し、負荷分担を決める、不可欠の要因である。この場合、図3.3.9の点線で示すように、開度出力特性は経年によって変化するため、必然的に速度調定率も変化するので、開度出力試験の都度、この値を確認しておく必要がある。

(3) 速度調整機 (65P)

调速機は、どのような負荷の値の時でも、定格速度に運転できるよ



Source: JICA Study Team

図 3.3.10 速度調整機 (65P)

うに、速度調整機という機構を持っており、自動制御用語でこれを65Pと呼ぶ。

调速機の標準状態は、65Pの位置が図3.3.10のP₀にある時、1/2出力で基準周波数F₀となっている。このような整定の调速機で、負荷がW₁まで低下すると、周波数はF₁に上昇する。この時65PをP₁の位置に調整すると、動作特性は点線の位置に移り、負荷W₁で基準周波数F₀の運転ができる。

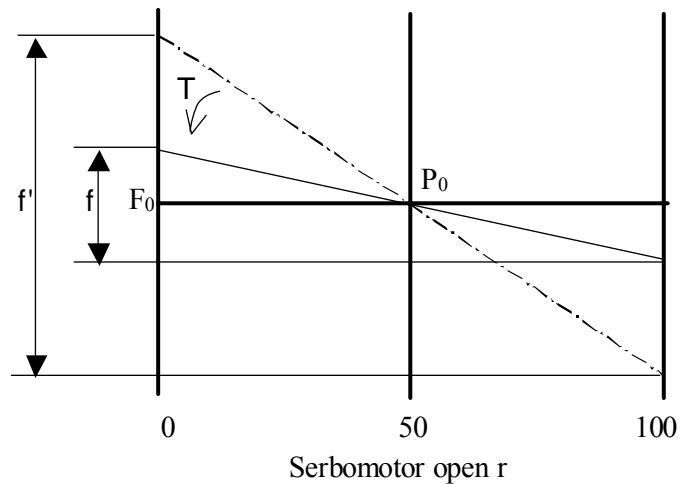
同様に65Pを100の位置に定め、負荷100%としたときも、周波数はF₀となり、このままの状態では負荷を0にすると、周波数はf上がることになるので、この特性を利用して速度調定率を求める方法もある。

65Pの位置と周波数の関係を速度調整特性といい、試験によって確認する。

(4) 過渡速度垂下率と弾性復元時定数

调速機の安定を確保するため、速度応答時の当初、サーボモータの復元量を大きくし、時限を持たせてゆっくりと垂下率に収まる様、二重の復元機構を持っている。(動作の詳細 Part 1 Appendix 5 参照)

この動作は図3.3.11に示すように、当初鎖線の特性によって復元した量を、時間と共に復元量を減じ、ゆっくりと鎖線の傾斜が垂下率の傾斜に近づいていくと考えられ、この最初の鎖線の傾斜から求められる fとF₀の比を過渡速度垂下率という。



Source: JICA Study Team

図 3.3.11 過渡速度垂下率

$$\text{過渡速度垂下率} = \frac{\Delta f'}{F_0} \times 100(\%)$$

弾性復元時定数は、fに相当する復元量の変位をダッシュポットに与えた時、この変位がゼロに戻るまでの時間を言う。

過渡速度垂下率は、時間と共にその値が変化するので、fの値で、実際にサーボモータを移動させる試験は難しい。このため、復元量設定部の設定値を機械的に測定し、速度垂下率の復元量と比較して求める。

(たとえば、速度垂下率3%の時の復元量3 mmのとき、過渡速度復元量が15mmとすれば、この時の過渡速度垂下率を15%と呼ぶ。)

弾性復元時定数は、単独でダッシュポットに、全復元量相当の変位を与え、0位置に戻る時間をストップウォッチで測る。

3.3.4 圧油装置

(1) ローディングタイムとアンローディングタイム

下限油圧で、油圧ポンプの電源を入れてから、上限油圧に達し、油圧ポンプの電源が切れるまでの時間を、ローディングタイムという。

また、上限油圧でポンプが停止してから、下限油圧でポンプが起動するまでの時間をアンローディングタイムといい、共に保守上、大切な定数であり、定期的に測定する。

この試験は、调速機を動作状態に置き、サーボモータの移動が起こらないよう、負荷制限を働かせた状態で行う。ローディングタイムはポンプの吐出量で定まるので、ほぼ変わらないが、アンローディングタイムは、配圧弁、サーボピストンのクリアランスなどからの漏洩によって変わるので、この時間が短くなった時は、注意して調べる必要がある。

(2) ポンプの吐出量

ローディングタイム測定と合わせて、ローディング中の圧油タンクの油面の変化量を測定する。この値から次の式でポンプ吐出量を求める。

- l: 油面変化量 cm
 A: 圧油タンク内面積 cm²
 t: ローディングタイム 秒
 q: ポンプ吐出量 l/min

$$q = \frac{lA}{t} \times 60 \times 10^{-3}$$

この試験は、中間油タンクに空気があると、誤差を生ずるので、空気吸入管下端が、油に没している状態を確認して行う。”q”の値が規定値より少ない時は、ポンプに異常があると考えられるので、調整補修が必要である。

(3) 最低動作油圧

サーボモータが動作できなくなる時の油圧を、最低動作油圧という。

この値は、一般にメーカーから標示される値であるが、不明の場合は、重要な値なので試験して確認する。

試験の方法は、油圧ポンプの電源を切ってポンプを停止し、调速機の負荷制限ハンドルで、サーボモータをゆっくり10%ぐらいずつ開閉を繰り返しながら、油圧の低下を監視し、サーボモータの操作ができなくなったときの油圧を確認する。

この試験は、試験でサーボモータの自動操作ができなくなっているとき、トリップなどが

起こると危険なので、いつでも手動ハンドル操作ができるよう対応が必要である。

また、もし油面が低下しても最低油圧に達しないで、油面が油面計で見られなくなった場合は、次の圧油タンク容量を参考とし、限界以下の油面低下を起さないように注意を要する。

(4) 圧油タンク容量

圧油タンクの圧力と、空気量の関係は、次式で表される。

P : 圧力MPa

V : 空気量 l

$$PV^{1.3} = \text{一定}$$

この関係から、規程圧力 P_1 で規程油面が H_1 のとき、タンク内面積を A とすれば、

$$V_1 = AH_1$$

$$P_1 V_1^{1.3} = P_1 A^{1.3} H_1^{1.3} = C$$

圧油タンク容量試験は、 C の値を把握した後、ポンプを止め、配油弁閉の状態です油抜き管から油を抜き、管の下端から空気が噴出したら、すぐに油の抜きを停止する。この時の油圧を P_2 とすれば、その時の空気量は、次のように求められる。

$$V_2 = AH_2$$

$$P_1 V_1^{1.3} = P_2 V_2^{1.3} \text{ より } H_2 = H_1 (P_1/P_2)^{0.769}$$

この圧油タンクで、給油なく使用できる容量は、

$$V = (H_2 - H_1) A$$

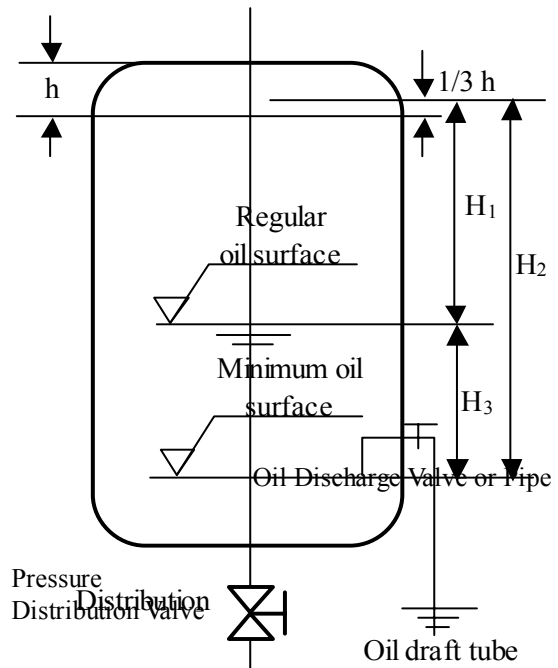
となる。測定の結果から、次の条件を検討する。

$$P_2 > \text{最高油圧}$$

$$V \div v > 3 \quad v : \text{サーボモータストロークの消費油量}$$

すなわち、この条件を満足すれば、ポンプ電源が喪失したとき、全開位置にあったサーボモータが全閉し、もう一度開いて全閉したとき、圧油タンクの圧力が最低油圧以上にあることになり、制御に十分な容量と考えられている。

なお、この試験の P_1 は、下限油圧から実施する。



Source: JICA Study Team

図 3.3.12 圧油タンク

(5) 安全弁

安全弁の動作試験は、圧油タンク容量試験と同様に、配油弁を閉じた状態で、圧力リレーの上限値を規定値より0.3MPa上げ、連続して油圧ポンプを運転する。安全弁の動作は、音と配油管からの油の放出で確認し、その時圧力を圧油タンクの圧力計で読む。安全弁の動作後、ポンプ駆動のまま、圧力の上昇が止まるか、圧力の低下していくことを確認し、安全弁が連続して放油しているときの圧力を測定する。この圧力を、全開圧力と言う。

次にポンプを停止し、安全弁が閉じる時の圧力を復帰圧力という。この試験では、安全弁の動作開始圧力と全開圧力は読めるが、復帰圧力は、中間油タンクの影響で読みにくいことがある。

安全弁は圧力リレーの接点や、ポンプ駆動電動機の電気回路の故障で、ポンプが停止しなくなった時、圧油システムの圧力異常上昇を防ぐ大事な設備であり、その動作の確実さと、保護能力を常に確認しておくことが保守の要点である。

特に、2002年11月に点検した発電所の、小型调速機付属の圧油装置では、全油圧システムの一つしか付いていないものもあり、その動作試験の圧力測定を圧油タンク付属の圧力計で行うようになっているものが多いので、特に入念な保守、試験確認が肝要である。

3.3.5 総合特性試験

発電所の運転は、各機器の特性を十分に活かし、総合的に安定した電力を供給することにある。

急激な負荷の変動があったとき、電圧、周波数の変動をできる限り少なくするよう、AVR、调速機などが総合的に作動し、安定に導くが、その時の前後及び過渡的な現象を、発電所の総合特性と呼ぶ。

総合特性を確認する試験には、負荷投入試験と負荷遮断試験があり、この時最も重視される変化に、回転速度、電圧と水圧の変動がある。

(1) 调速機の動作時間

回転数の変化に応じて、调速機が応答して、開または閉の動作をするとき、回転の変化と同時に動作しないで、若干の短い時間遅れてから、動作をはじめめる。

図3.3.13は、急激に負荷減少して、回転が上昇し始める時を0として、時間につれてサーボモータが閉まっていく状況を示したものである。

はじめ S_1 にあったサーボモータが、 S_2 まで閉まる時、秒だけ遅れてから動き出す。これは、回転数の変化量が、调速機の不感帯を越してから、パイロットバルブ、主配圧弁と順に動き出し、油圧がサーボモータシリンダのピストンに作動するまでの時間で、不動時間という。

不動時間が過ぎて、サーボモータが動き始めてから S_2 に到達して停止するまでの時間 T 秒を閉鎖時間という。

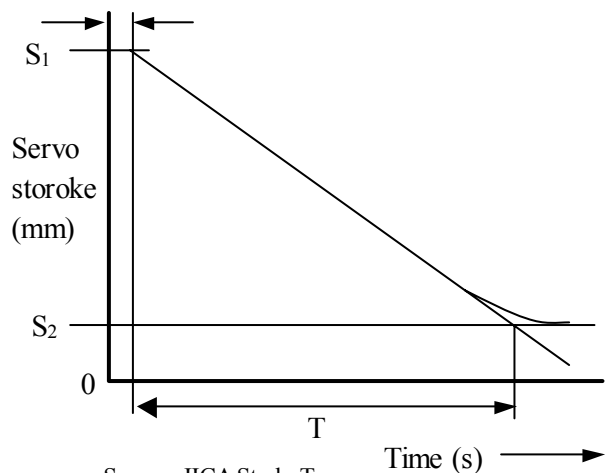
この時のサーボモータの動く速さをサーボモータ速度といい、次式で表す。

$$\text{サーボモータ速度} = (S_1 - S_2) / T \quad (\text{mm/s})$$

サーボモータ速度は、開方向と閉方向は、通常同じであるが、応答特性の事情で、開と閉の速度を異なる値に決定していることもある。また、動作の速さは、水車の無水の時と、有水のときでは異なる。

τ と T の値は、サーボモータ動作試験で測定する。 τ はサーボモータを任意の中間位置に置き、負荷遮断した時の値をストップウォッチで測定する。

図3.3.13はオシログラフを用いて測定した時の、オシログラフの表示を示したもので、こ



Source: JICA Study Team

図 3.3.13 サーボモータの開閉

の測定は正確な値を容易に得られるが、目視によって測定する時は、数度繰り返して確からしい値を求めなければならない。

Tは全ストロークを、サーボモータが連続して移動する時間であり、サーボモータ閉鎖時間（または開時間）と呼び、調速機の定数としている。

(2) はずみ車効果 GD^2

回転体に速度変化を与える力が働く時、回転体には慣性があり、変化を妨げる方向に作用する。慣性の大きさを表す値を慣性モーメントといい、回転体の部分の質量と、回転の中心からの距離の積で表されるが、これを実用的に扱うため、 GD^2 を用いる。

GD^2 は回転部分の重量（kg）と、回転半径をR(m)としたとき、

$$\text{慣性モーメント } I = GR^2 / g = GD^2 / 4g$$

の関係から、

$$GD^2 = 4gI \quad \text{kg}\cdot\text{m}^2$$

として用いる数値である。

水車発電機の GD^2 は、発電機回転子の GD^2 、はずみ車の GD^2 、水車ランナの GD^2 、および主軸、カップリングなどの合計である。

発電機の GD^2 は、メーカーが発電機の定数として表示してあり、はずみ車の GD^2 は、形状が単純なので計算で容易に求めることができる。水車ランナ以下の GD^2 は、発電機とはずみ車の GD^2 に比較して小さいので、無視する場合が多い。

GD^2 を求める為の試験としては、無負荷定格回転速度の状態では回っている水車の入力を、急に閉鎖したときの、回転の低下を時間的に計測した結果から、理論的に求める方法があるが、風損、軸受摩擦損などが影響するため、誤差が多く、現場で実際に行うことは稀である。

(3) 速度変動率

定常の状態、定格速度で運転していて、負荷の変化によって回転変化を生じた時、その変化分を、定格速度で割った値を速度変動率といい、次式で表す。

$$\delta = \frac{N_m - N_0}{N_0}$$

ただし、 δ ：速度変動率

N_0 ：定格回転速度 min^{-1}

N_m ：最大(または最小)の回転速度 min^{-1}

一般には、この値を100倍して百分率で呼び、水車発電機の速度変動率は、上昇率で30%以下が許容される。

調速機の開閉時間特性、水車発電機のGD²と、速度変動率の間には、次の略算式がある。

$$\delta = \frac{364(L_1 - L_2)(\tau + \frac{T}{2})}{GD^2 N_0^2} \times 10^5$$

δ : 速度変動率、%

L_1 : 初めの負荷、kW

L_2 : 変化後の負荷、kW

τ : 不動時間、s

T : サーボモータ動作時間、s

GD^2 : 水車発電機のGD²、kg-m²

N_0 : 定格回転速度、min⁻¹

この式によって、負荷を急増した場合の速度低下率、負荷遮断時の速度上昇率の想定をすることが可能である。ただし、この場合水車の有効落差は、変わらないものとしているので、実際動作の場合とは若干の誤差がある。

(4) 水圧変動率

水圧鉄管や圧力隧道内の流速が変化すると、圧力が変化する。この時の圧力の変化分と、水車停止時静水圧の比を、水圧変動率という。

流速の変化は、流量の変化によって起こるので、ある流量で運転している水車発電機が、負荷変化によって急にサーボモータを閉鎖し、流量を減少させると、水圧は上昇し、サーボモータを開いて流量を増加すると、水圧は低下する。

水圧変動率は管路が長いほど大きく、管径が大きく流速が小さいほど小さく、流速変化の速さが速いほど大きくなる。

p :	水圧変動率	
P_1 :	初めの水圧	m
P_2 :	流量変化を行ったときの最大(または最小)水圧	m
P :	水車停止時の静水圧	m

水圧変動率は上昇値が高いと、水圧管を破裂させる恐れがあり、低下が過ぎると圧壊する

$$\Delta p = \frac{P_2 - P_1}{P}$$

ことがある。

管路長、管径、流量変化と水圧変動率の関係には、アリエビの略算式があり、容易に計算することができる。

通常、最大使用水量をサーボモータ閉鎖時間で閉じた場合の水圧変動値が、0.35以下になるように閉鎖時間を決めている。

(5) 電圧変動率

単独運転の場合、発電機の端子電圧は、負荷変動と回転数の変化によって、電圧が変動する。

前者は、発電機の内部インピーダンスによるもので、後者は回転による発電機の発生電圧の変化である。

AVRを使用している場合は、AVRの働きにより、この変化はごく少ない値に制御されるので、過渡時の非常に短い時間、制御の遅れによる電圧の変化が起こる。この過渡時の変化分と定格電圧の比を、電圧変動率と呼ぶ。

AVRを使用しておらず、励磁機も発電機と同軸についている構造の場合には、励磁機の電圧変動も重畳されるので、発電機の電圧変動率は、より大きい値を示す。

一般に、発電機の電圧変動率としては、回転速度を定格速度一定に保った状態で、励磁回路またはAVRの設定値などを変更せずに、全負荷から無負荷にした場合の、過渡時の最大変化分と定格電圧の比で表す。

ただし、負荷遮断試験などの時の電圧変動率は、回転の影響も含んだ、現れたままの変動率を測定する。

過大な電圧上昇は、発電機コイルの絶縁破壊を生ずるので、AVRを使用している場合は25%以下に押さえる。手動の場合は、過電圧リレーによって上昇を押さえる。

(6) 負荷急増試験

定格回転速度、定格電圧で運転している状態の水車発電機の負荷を、急に増加した場合に起こる速度低下率、水圧低下率、電圧低下率を測定する試験をいう。

測定項目は、次の通りである。

表 3.3.2 負荷急増試験測定項目

測定

項目	増加前	変動中	安定後	備考
負荷				
電圧		最小		(オシロ)
電流				
周波数		最小		(オシロ)
水圧		最小		水車入口(オシロ)
回転速度		最小		
サーボモータ開度				
サーボモータ開時間				(オシロ)
時刻				
参考記録事項 試験日 ・ 天候 ・ 外気温度 ・ 室内温度 ・ 並列機の有無 ・ 増加から安定までの時間 ・ 水槽水位 ・ 放水路水位				

試験における負荷は、水圧抵抗器 (Part 6-1 Appendix 11 参照)を使用する。実系統で試験することは、需要家に変動電力を送ることになるので、避けるべきである。この試験で、急増する負荷の量が多くなると、速度の低下や、電圧の低下が大きくなって、増加後の安定運転ができなくなることがある。その時の負荷の大きさが、単独運転の場合、無電圧の系統へ送電する時の、送電可能な系統負荷の大きさの限度である。したがって、送電する時の需要負荷の予想値が、この負荷より小さいことを確認して送電するなど、試験の結果を実運転の参考として活用する。

(7) 負荷遮断試験

定格回転速度、定格電圧で、ある大きさの負荷を負って、運転している水車発電機の負荷を遮断した時に起こる、回転上昇、電圧上昇、水圧上昇、及び水車発電機が無負荷の安定した状態に至るまでの调速機の動作を測定する試験を言う。

通常、遮断する負荷の大きさを、定格出力の1/4、2/4、3/4、4/4としたときの各試験を行う。

この試験の測定項目は、表3.3.1に示したものと同一であるが、変動中の測定は、全て最大値を測定することになる。この試験は、発電設備の安全と信頼を確保するために、重要な試験である。

遮断時の現象は、オシログラフを用いて正確に測定することが望ましいが、オシログラフの無い時は、目視でもよい。

3.3.6 計測および保守用器具・工具と予備品

(1) 計測

日常の運転・保守における計測は、配電盤計器など、設備されている計測器を用いて行っている。

計測器は経年によって、計測値に誤差を生ずるので、定期的に標準計器を用いて、校正する必要がある。また、各種試験においては、日常測っていないところの計測も行うので、特殊な測定器を必要とする。これらの計測、試験に必要な測定器および器具は、次のとおりである。

標準計 (携帯型)

• 三相電力計	100V, 10A または 200V, 5A	1 台
• 交流電圧計	マルチレンジ 300V, 100V, 30V	2 台
• 交流電流計	マルチレンジ 30A, 15A, 3A, 300mA	3 台
• 直流電圧計	マルチレンジ 300V, 150V	1 台
• 直流電流計	マルチレンジ 30A, 15A, 3A	1 台
• 直流電流計	マルチレンジ 10A, 5A, 1A	1 台
• 周波数計	48 Hz ~ 52 Hz	1 台

保守用計器類

• 絶縁抵抗計	2,000M 1,000V	1 台
• 絶縁抵抗計	1,000M 500V	1 台
• 絶縁抵抗計	1,000M 250V	1 台
• 接地抵抗計		1 台
• 記録電圧計		1 台
• 記録電流計		1 台
• 記録温度計	6 素子	1 台
• 架線電流計		3 台
• 棒状温度計	200	10 本
• 回路テスト		2 台
• スライダック	単相, 0 ~ 250V 10A	2 台
• 圧力試験器	50 kg/cm ²	1 台
• ストップウォッチ		3 台

特殊測定器および器具

• オシログラフ	12 素子	1 台
• リレー試験器		1 台

- 水抵抗器 3相、11,000V 100A 1台

上記数量は、数現業所を管轄する、保守センターに備える場合を想定した。

(2) 保守用器具および工具

保守作業に必要な器具および工具として、次のものが必要である。

一般保守用工具

- 一般工具 ドライバー、スパナ、ペンチ、ハンマ、など
- 計測具 ダイアルインジケータ、ノギス、内パス、外パス、マイクロメータ、直尺、巻尺、ギャップゲージ、振動計、騒音計、流速計

作業用器具

- 溶接機
- 移動用エンジン発電機
- 電気ドリル
- チェンブロック
- 油圧・ジャッキ
- プーリー・抜き取り工具
- タップ、ダイスセット
- (万能工作機)

(3) 予備品

日常消耗品で定期的に取り替を要するもの、入手に長時間を要するもの、特殊な部品で一般に入手できないものについては、予備品を備える。次にその代表的なものを示すが、これらの予備品は必要となるときにすぐに使用できるよう、普段から整備しておかねばならない。

日常消耗品

- ブラシ (メーカー指定銘柄) 設備数の2倍
- グランドパッキング (メーカー指定銘柄) 設備数と同数
- ガイドベーンスピンドルパッキング (設計寸法のもの) 設備数と同数
- 潤滑油 (メーカー指定銘柄) スラストベアリング1台分
- 作動油 (メーカー指定銘柄) 圧油タンク内油量分
- バッテリー補充液

- 表示ランプ

特殊品

- 発電機予備コイル (吸湿防止注意) 全コイル数の 1/3
- 電子回路、ボード (保存方法注意) 設備 1 台分
- 各種リレー 設備 1 台分

保守作業用消耗品

- サンダー、グラインダー
用砥石
- 洗油
- ウエス
- 塗料 下塗り用、上塗り用、指定銘柄

3.4 保守基準

保守業務を計画的に実施するため、保守基準を設ける。以下にその例を示すが、点検周期などは現場の実情に合わせ、適宜訂正して各発電所毎の基準を作成する。

3.4.1 保守の区分

(1) 日常点検

- | | |
|-----------|-------------|
| • 一般清掃整頓 | 毎日 (運転員が担当) |
| • 主機外観点検 | 週 2 回 |
| • 主機清掃 | 週 2 回 |
| • 水路巡回点検 | 週 1 回 |
| • 屋外構造物点検 | 週 1 回 |

(2) 定期点検

- | | | |
|------------------|-----------|------------|
| • 水車 普通点検保守 | 6 ヶ月に 1 回 | 水車を停止して点検 |
| • 部分分解点検保守 | 2 年に 1 回 | 摩耗部及び内部の点検 |
| • 発電機 (水車に準ずる) | | |
| • 调速器 普通点検保守 | 1 年に 1 回 | 開閉時間測定 |
| • 圧油装置 (ガバナに準ずる) | | |
| • 計器較正試験 | 2 年に 1 回 | |
| • 蓄電池容量測定 | 2 年に 1 回 | |
| • 保護リレー試験 | 2 年に 1 回 | |

(3) 精密点検

- | | | |
|--------------|-----------|----------|
| • 主機 分解内部点検 | 10 年に 1 回 | (入口弁を含む) |
| • 徐塵器 分解内部点検 | 3 年に 1 回 | |
| • 変圧器 油抜取試験 | 10 年に 1 回 | |

上記点検の記録様式については Part 1 Appendix 10 を参照されたい。

3.4.2 試験

- | | | |
|--------------|--------------------|---|
| (1) 負荷遮断試験 | 水車分解工事
の都度 | 水車発電機の総合特性を把握するため
に行う試験で、オシログラフで測定
し、記録を保存する。 |
| (2) 開度出力特性試験 | 2 年に 1 回
年に 1 回 | ガイドベーン開度と発電機出力の関係
を測定 |
| (3) 安全弁動作試験 | 1 年に 1 回 | 圧油タンク圧力を上昇し、安全弁の動
作を測定し、記録を保存する。 |

(4) 計器校正試験

電力計、圧力計、水位計、温度計を標準計と比較校正する。

(5) リレー試験

保護リレーの動作試験を行い、記録を保存する。

(6) 水車効率試験

ランナ取替の前後に実施し、記録を保存する。

上記各試験の試験方法および記録紙（例）をPart 1 Appendix 10に示す。

3.4.3 記録および報告

- (1) 日常点検記録は、定められた用紙に記入後、発電所長の認印をもらい、保守センターに保存する。
- (2) 定期点検の記録は、定められた用紙に記入すると共に、特記事項などは別紙にまとめて添付し、発電所1部、保守センターで1部を保存する。
- (3) 精密点検

A4判用紙を用い詳細にまとめる。形式は限定しないが、図・表の他に、写真を添付し、見やすくまとめること。記録は、保守センターと発電所で各1部保存する。