

# 发电机效率测算及影响因素分析

孙爱芹

邹平县宏旭热电有限公司

DOI:10.18686/hwr.v2i8.1471

**[摘要]** 本文结合发电机性能试验方法及进行试验现场实际经验,详细叙述了采用量热法测算发电机效率的具体试验方法、参数获取途径及计算,并分析了影响计算结果的主要因素,为考核其能否达到发电机技术协议所作的保证值提供依据。

**[关键词]** 发电机效率;量热法;影响因素及误差分析

## 1 概述

结合发电机性能试验方法及现场进行试验实际经验,现将发电机效率测算方法与大家分享。

发电机效率计算公式:

$$\eta = \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_g + \Sigma P}\right) \times 100\%$$

式中:

$\Sigma P$ —发电机总损耗, MW;

$P_g$ —发电机有功功率, MW;

由此可见,若要准确测定发电机效率,必须准确测量发电机的输出功率及总损耗。发电机的输出功率非常容易测得,但是发电机总损耗测量比较复杂,测量精度难以保证。我国发电机制造厂通常采用“损耗分析法”来测定和计算各项损耗,此法需要测量发电机的定子绕组损耗和铁芯损耗,但在发电机运行现场一般不容易实现。我国于1985年颁布了现场用“量热法”测算电机效率的标准,其基本原理是电机产生的各类损耗最终都将变成热量传给冷却介质,使冷却介质温度上升,可通过测量电机所产生的热量来推算电机效率和损耗。以发电机壳体表面为基准面,把各项损耗分为两大类——基准面及以内的损耗和基准面以外的损耗。

### 1.1 基准面内的损耗

(1) 第一类是以热量的形式由冷却系统带走,这是基准表面内损耗的主要部分,可用量热法测量,即测量冷却介质的流量与温升,损耗按下式计算:

$$P_1 = C_p \times Q \times \rho \times \Delta t$$

$C_p$ —水的比热, kJ/(kg·°C)

$Q$ —水的体积流量, m<sup>3</sup>/s

$\rho$ —水的密度, kg/m<sup>3</sup>

$\Delta t$ —冷却水的温升, °C

(2) 第二类是不传递给冷却介质,而以传导、对流、辐射、渗漏等形式,通过基准表面散发的损耗,主要是发电机外表面与周围空气对流和向厂房辐射的损耗,因为发电机表面向厂房的辐射损耗数量很小,可以忽略不计,因此,测量时只考虑电机外表面与周围空气对流散热的损耗。机壳表面对流热

损耗计算公式为:

$$P_2 = h \times A \times \Delta t \times 10^{-3}$$

$$h = 11 + 3v$$

$h$ —发电机表面散热系数, W/(m<sup>2</sup>·°C)

$A$ —发电机机壳散热表面积, m<sup>2</sup>

$\Delta t$ —表面温度与环境温度之差, °C

$v$ —环境空气流速, m/s

### 1.2 基准面外的损耗

(1) 第一类是外部辅助设备损耗,辅助设备只包括由被试电机供电的辅助设备,即励磁变与整流柜,辅助设备损耗即励磁变与整流柜本身的损耗。

(2) 第二类是外部轴承摩擦损耗,轴承损耗用量热法测量,现场试验由于轴承损耗不便准确测量。基准面外的两类损耗一般均用设计值加以代替。

## 2 试验测量参数

试验期间发电机在额定工况下运行,保持运行参数稳定,不进行任何干扰工况的操作,并停止对冷却介质的泵或阀门切换、调节,以保证冷却介质流量稳定,直至发电机各部温升稳定后(发电机各发热部件温升在一小时内的变化均不超过2K;冷却介质进口温度稳定,且冷却介质温升和流量在两小时内变化不超过±1%,或冷却介质流量不变,冷却介质温升在一小时内变化不超过±1%),开始测量发电机各个参量,试验测点如表1所示。

(1) 使用的试验设备:空冷器冷却水流量采用精度为0.5级德国弗莱克森 FLEXIM 型便携式超声波流量计测量,空冷器冷却水进、出水温度采用A级铂电阻测量,测量后的温度使用西安交大能源电子技术开发公司生产的EIC-NUS IMP型数据采集仪自动记录。

(2) 发电机有功功率等其他参数,均直接从机组DCS画面获取。

(3) 发电机定子绕组直流电阻和转子绕组直流电阻,用于非额定试验工况损耗折算至额定工况;冷却水的密度和比热可从GB/T5321—2005附录图表中查询;发电机表面积由制造厂家提供。

表1 发电机效率试验测点

序号	测点名称	单位
1	发电机有功功率	MW
2	定子电压	kV
3	定子电流	A
4	励磁电压	V
5	励磁电流	A
6	功率因数	—
7	空冷器冷却水进水温度	°C
8	空冷器冷却水出水温度	°C
9	空冷器冷却水流量	t/h
10	发电机机壳表面温度	°C
11	发电机周围环境温度	°C

### 3 试验结果及计算

#### 3.1 试验数据

以某公司 30 万机组为例, 试验过程中测量和读取的发电机参数如表 2、3 和 4 所示。

表2 试验过程中的电量(部分数据)

时间	有功功率	无功功率	功率因数	定子电流	励磁电压	励磁电流
	MW	MVar		A	V	A
9:30	353.69	175.29	0.90	10325	341.5	1666
10:00	357.85	174.80	0.90	10394	343.0	1670
10:30	356.31	175.19	0.90	10386	343.9	1673
11:00	356.27	174.80	0.90	10379	344.1	1665
11:05	356.27	174.96	0.90	10341	342.8	1673
11:30	356.42	173.20	0.90	10377	342.6	1666

表3 空冷器冷却水(部分数据)

时间	进水温度	出水温度	进水流量		
	(°C)	(°C)	(m <sup>3</sup> /h)		
9:30	18.4	24.5	551.3	550.0	547.7
10:00	18.8	24.9	551.0	549.6	547.3
10:30	19.2	25.2	551.4	546.2	547.7
11:00	19.3	25.3	552.1	547.0	549.6
11:30	19.7	25.7	551.3	547.7	547.0

表4 发电机表面与周围环境旁温度

发电机表面温度 (°C)				环境温度 (°C)
44.2	44.3	49.0	50.7	23.5
50.9	46.4	51.8	52.8	23.7
49.3	39.5	56.3	57.0	23.3
55.8	45.2	58.5	60.0	23.6
50.4	48.4	40.3	40.4	24.3
52.2	50.6	41.1	39.2	24.4
42.1	51.5	46.9	56.1	24.2
51.0	53.6	47.2	46.8	24.8
49.3	49.1	48.5	54.3	24.3

#### 3.2 效率计算

计算各部分量热值:

(1) 基准面内的损耗:

空冷器冷却水:  $P_1 = C_p \times Q \times \rho \times \Delta t = 3817.07 \text{ kW}$

发电机表面散热:  $P_2 = h \times A \times \Delta t \times 10^{-3} = 13.79 \text{ kW}$

(2) 基准面外的损耗:

查设计值可得:

轴承摩擦损耗:  $P_3 = 305.01 \text{ kW}$

励磁变损耗:  $P_4 = 31.52 \text{ kW}$

因此总损耗:  $\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 4167.39 \text{ kW}$

发电机效率:  $\eta = (1 - \frac{\Sigma P}{P_g + \Sigma P}) \times 100\% = 98.84\%$

#### 4 影响因素及误差分析

(1) 通过现场实测及计算可知, 量热法测定中带走损耗热量最多的是空气冷却器的冷却水, 占总损耗的 91.59%。因此, 冷却水的流量与进、出水温度测量的准确度和精度直接影响到最终结果计算, 必须使用准确等级较高的流量计及测温电阻以保证其测量准确度和精度。

(2) 发电机定子与转子电流试验时没有达到额定值, 若增大定子电流将会使定子铜损、转子铜损增加, 发电机总损耗也会有所上升。为了将效率的测量值与保证值作比较, 应将试验工况修正至设计的基准值。可以根据下式修正:

a 定子铜耗修正:

$$\Delta P_{cu} = 1 \frac{k+t}{k+75} \times \frac{I^2}{I_N^2} \times P_{cu(75)}$$

式中:

$\Delta P_{cu}$ —定子绕组铜耗修正因子, kW;

$P_{cu(75)}$ —定子绕组铜耗设计值, kW;

$t$ —定子绕组实测平均温度, °C;

$I_N$ —额定定子电流, A;

# 运城盆地高氟地下水水质的多元统计分析

马啸

宁夏吴忠市环境监测站

DOI:10.18686/hwr.v2i8.1454

**[摘要]** 长期饮用高氟地下水可以导致严重的地方性氟中毒。本文运用多元统计方法中的相关分析和系统聚类法分析对运城盆地地下水水质进行评价,研究了运城盆地高氟地下水中氟与其他水化学指标的相关关系和空间变化特征。分析结果表明,地下水中的氟与 pH、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$  和温度呈现显著的正相关关系,与  $\text{Ca}^{2+}$  呈现显著的负相关关系,说明碱性环境和高矿化度有利于高氟水的形成,而较高的钙离子浓度抑制了氟浓度的上升。

**[关键词]** 运城盆地; 相关分析; 系统聚类分析; 氟

## 1 研究区概况

运城盆地是典型的干旱-半干旱第四纪沉积盆地。它还受盆地水文,水文地质条件和气候条件的控制。运城盆地是新生代断陷盆地,地形封闭。厚厚的第四纪松散沉积物(超过 500 米)沉积在盆地的中心。盆地主要含水层,冲积平原为中奥陶统砂岩和砾石层,湖泊和平原位于中,下更新世湖泊。洪水区是中下隆起的砾石层。盆地东南部的中条山主要分布着前震旦纪的片麻岩,其次是震旦系,寒武纪灰岩和砂岩。它富含裂隙水和岩溶裂隙水,北部梯田构成了沁水河和渭河的分水岭。盆地地下水补给源为大气降水和侧向流,而排泄主要基于人工开采和蒸发。地下水运动的总趋势是从中心向中心和上游向下游移动。

研究区浅层地下水(埋深小于 60 米)的氟化物含量超过 3115.5 平方公里。分布在盆地的所有县(市),氟化物含量超过 4.0 毫克/升的高氟地区分布在永济,临沂和运城县(市)。面积达 947.9 $\text{km}^2$ 。该盆地还有 7 个高氟富集区,氟含量为 6-12 毫克/升。盆地中,深层地下水中的氟含量超过标准面积 2837.3 平方公里。氟富集区分布在富阳,

临津,7 级和清曲,含量为 4-11.2 $\text{mg/L}$ 。面积 237.7 平方公里,最大值超过 10.2 倍,导致严重氟中毒。村民几乎全部患有氟斑牙。高氟地下水的存在直接威胁着广大农村人口的饮水安全,严重危害人民的健康;同时,也造成了研究区水资源短缺,加剧了水资源供需矛盾,严重阻碍了经济发展。

## 2 研究方法

相关性分析是研究现象之间是否存在某种依赖关系,并探讨具有特定依赖性的现象的相关方向和相关性。它是研究随机变量之间关系的统计方法。系统聚类分析是一种用于定量研究分类问题的多变量统计方法。尽可能将类似的样本分成一个类,并尽可能将不同的样本分成不同的类。本文利用相关分析模块中的单相关分析模块,定量分析了地下水中 F 与其他水化学数据的相关性。根据相关分析结果,确定了地下水中 F 与其他化学成分的相关性,可作为分析高氟水形成影响因素的参考。系统聚类方法可以对研究区的地下水环境进行分类,反映其空间变化及其分布规律,并解释地下水环境的演变特征。

I — 实测定子电流, A;

k — 铜绕组取 235。

b 励磁损耗(转子绕组铜耗)修正:

$$\Delta P_{fcu} = 1 \frac{k+t}{k+75} \times \frac{I_f^2}{I_{fN}^2} \times P_{fcu(75)}$$

式中:

$\Delta P_{fcu}$ —励磁损耗修正因子, kW;

$P_{fcu(75)}$ —励磁损耗设计值, kW;

t — 励磁绕组平均温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$I_{fN}$ —额定励磁电流, A;

$I_f$ —实测励磁电流, A。

计算出定、转子损耗修正因子  $\Delta P_{cu}$  及  $\Delta P_{fcu}$  后在总损耗  $\Sigma P$  中增加此两项, 计算效率公式仍为:

$$\eta = (1 - \frac{\Sigma P}{P_g + \Sigma P}) \times 100 \%$$

## 5 结论

发电机在额定负荷下, 实测效率值为 98.84%, 修正后效率值为 98.82%, 高于发电机技术协议所规定的保证值 98.80%。以上是本人在工作中的经验所谈, 不妥之处欢迎各位专家交流指导。

## [参考文献]

- [1]丁韬,成科,钟建.冷却介质对水轮发电机效率值测算的影响[J].四川水力发电,2017(6):95-96.
- [2]张少锋,付刚,杨晓辉,等.大型水氢氢冷却汽轮发电机效率与损耗测算及影响因素分析[J].河南电力技术,2011(2):4-6.
- [3]李文金.量热法测量水轮发电机效率[J].水电与新能源,2016(03):36-40.