

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXX—2018

地热发电机组性能验收试验规程

Performance acceptance test code on geothermal power unit



201X -XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

国家能源局 发布



目 次

前 言.....	I
1 范围.....	2
2 规范性引用文件.....	2
3 术语、符号和定义.....	2
3.1 术语.....	2
3.2 符号和定义.....	4
3.3 保证值.....	5
4 导则.....	5
4.1 概述.....	5
4.2 试验预规划.....	5
4.3 试验前应达成的协议.....	6
4.4 试验边界和需要的测量.....	6
4.5 试验计划.....	8
4.6 试验准备.....	9
4.7 试验运行模式.....	9
4.8 验收试验.....	10
4.9 试验不确定度.....	11
5 仪表和测量方法.....	11
5.1 总体要求.....	11
5.2 压力测量.....	15
5.3 温度测量.....	17
5.4 空气湿度测量.....	20
5.5 流量测量.....	21
5.6 湿蒸汽湿度和流量测量.....	22
5.7 电气参数测量.....	23
6 试验结果的计算.....	28
6.1 计算前的准备.....	28
6.2 结果的计算.....	28
6.3 结果的修正.....	29
6.4 与保证值的比较.....	30
7 结果报告.....	32
7.1 一般要求.....	32
7.2 摘要.....	32
7.3 概述.....	32
7.4 测量仪表.....	32
7.5 计算和结果.....	33
7.6 结论.....	33
7.7 附录.....	33
8 试验不确定度.....	33
附录 A（资料性附录）示踪技术.....	35



前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由能源行业地热能专业标准化技术委员会提出。

本标准由能源行业地热能专业标准化技术委员会（NEA/TC29）归口。

本标准主要起草单位：江西华电螺杆发电技术有限公司。

本标准主要参加单位：西安热工研究院有限公司、上海交通大学、中国石化集团新星石油有限责任公司、中国石化工程建设公司、天津大学。

本标准主要起草人：施延洲、胡达、余岳峰、刘凤钢、、赵军



地热发电机组性能验收试验规程

1 范围

本标准规定了用于地热发电机组性能验收试验的方法和程序。本标准规定了试验的准备、实施、评估的统一规则。

本标准适用于干蒸汽、闪蒸（扩容）、全流和双工质循环等地热发电机组。

2 规范性引用文件

下列文件对本文件是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2624（所有部分）流量测量节流装置用孔板、喷嘴和文丘里管测量充满圆管的流体流量（ISO 5167（所有部分）：2003, IDT）

GB 3102.3-1993 力学的量和单位（ISO 31-3：1992, IDT）

GB/T 8117.1-2008 汽轮机热力性能验收试验规程 第1部分：方法A—大型凝汽式汽轮机高准确度试验

GB/T 8117.3-2014 汽轮机热力性能验收试验规程 第3部分：方法C—改造汽轮机的热力性能验证试验

GB/T 28812-2012 地热发电用汽轮机规范

GB/T 30555-2014 螺杆膨胀机(组)性能验收试验规程

GB 50791-2013 地热电站设计规范

DL/T 983-2005 核电厂蒸汽湿度测量技术规范

NB/TXXX-2018 地热能术语

ASME PTC 12.4 汽水分离再热器性能试验规程（Moisture separator reheaters performance test codes）

ASME PTC 19.1 试验不确定度（Test uncertainty）

ASTM E 1137 工业铂电阻温度计标准规范（Standard specification for industrial platinum resistance thermometers）

ANSI/IEEE Standard C57.13-1993 仪用互感器的标准要求（Standard requirements for instrument transformers）

ANSI/IEEE Standard 120-1989 电源线路电气测量的基本试验指南（Master test guide for electrical measurements in power circuits）

3 术语、符号和定义

GB/T 28812， GB/T 30555 和 GB 50791 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 术语

3.1.1

验收试验 acceptance test

确定新建或改建的机组是否达到合同中所规定的性能指标而进行的试验。

3.1.2

基准参考条件 base reference conditions:

所有的外部参数值，即试验结果被修正到试验边界之外的参数。

3.1.3

试验边界 test boundary

根据试验范围确定的热力学控制边界，用来明确所需测量的能量流以计算修正的结果。

3.1.4

规定的运行配置试验 specified operating disposition test

在规定的机组运行配置下进行的试验，通过试验确定输出功率和热效率。例如试验目标为在机组**主调节阀**全开条件下进行的试验，或者在规定的地热流体流量下进行的试验。

3.1.5

地热流体热输入 geothermal fluid heat input

进入试验边界的地热流体热能。表示地热流体从进入试验边界的入口状态变化到环境温度时所能释放的总热量。

3.1.6

电功率 electrical power

扣除外部励磁和非同轴主油泵所耗功率后，发电机出线端所输出的功率。

3.1.7

辅机耗功 auxiliary power

地热发电机组中所有用电设备消耗的电功率。

3.1.8

净输出功率 net power output

由发电机端测量的**电功率**中扣除辅机耗功，即得到机组的净输出功率。

3.1.9

修正后净输出功率 corrected net power output

试验净输出功率修正到基准参考条件下的功率。

3.1.10

单位质量地热流体净发电量 specific geothermal fluid net power output

机组净输出功率与输入地热发电系统的地热流体流量之比。

对于地热热水的发电系统，也称为单位热水净发电量。

3.1.11

机组净热效率 unit net thermal efficiency

机组净输出功率与输入地热发电系统的地热流体热能之比。

3.1.12

汽耗率 steam consumption rate

单位输出功率的汽耗量，即机组入口蒸汽流量与输出功率之比。

3.1.13

湿度与干度 moisture and dryness

湿蒸汽由饱和水和干饱和蒸汽组成。蒸汽的湿度为湿蒸汽中所含饱和水质量与湿蒸汽总质量之比；蒸汽的干度为湿蒸汽中所含干饱和蒸汽质量与湿蒸汽总质量之比。

3.1.14

地热尾水 geothermal waste water

经过利用后的地热水，如水气分离器、扩容器和汽轮机排出的地热水。

3.1.15

干蒸汽地热发电机组 dry steam geothermal generating set

将地热**干蒸汽**直接引入动力机实现发电利用的系统。

3.1.16

扩容式地热发电机组 flash type geothermal generating set

通过闪蒸扩容从地热流体中分离出饱和蒸汽，再将扩容后的地热蒸汽引入动力机实现发电利用的系统。

3.1.17

双工质循环地热发电机组 binary cycle geothermal generating set

地热流体通过换热器加热有机低沸点工质并产生蒸汽，再将蒸汽工质引入动力机实现发电利用的系统。做功后的低温低压蒸汽工质由冷凝器凝结成液态后，经工质泵推送至换热器再循环使用。

3.1.18

全流地热发电机组 total-flow geothermal generating set

将地热流体（含有汽水混合物）直接引入动力机实现发电利用的系统。

3.1.19

背压式地热发电机组 back pressure type geothermal generating set

将发电后排汽用于供热或其他用途的地热发电机组及附属系统。

3.1.20

凝汽式地热发电机组 condensate type geothermal generating set

将发电后排汽直接进入凝汽器的地热发电机组及附属系统。

3.1.21

主要参数 primary measurement

用来计算试验结果的测量参数。

3.1.22

次要参数 secondary measurement

不用来计算试验结果，但用于确定机组运行状态的测量参数。

3.1.23

不确定度 uncertainty

对误差的数值估计。分为系统不确定度和随机不确定度两种，总不确定度是对系统不确定度和随机不确定度的综合。

3.1.24

系统的不确定度 bias (systematic) uncertainty

系统误差的数值估计，按照系统误差的 95%置信区来估算。

3.1.25

随机的不确定度 precision (random) uncertainty

随机误差的数值估计，可通过重复测量值的分散度来计算。通常由一组试验数据的平均值的标准方差来定量。

3.1.26

灵敏系数 sensitivity coefficient

某一参数的变化引起结果的瞬时变化率。

3.2 符号和定义

除非文中另有定义，表 1 中的符号和定义在本标准中使用。

表 1 符号、定义和单位

符号	描述	单位
$Q_{\text{meas}}, Q_{\text{corr}}$	分别是测量的和修正后的地热流体热输入	kJ/s
$m_{\text{meas}}, m_{\text{corr}}$	分别是测量的和修正后的地热流体质量流量	kg/s
N_{meas}	发电机端测量的电功率	kW

N_{aux}	辅机耗功	kW
N_{net}	净输出功率	kW
N_{corr}	修正后净输出功率	kW
h_{meas}, h_{desg}	分别是测量的和设计的地热流体比焓	kJ/kg
w_{net}, w_{corr}	分别是测量的和修正后的单位质量地热流体的净发电量	(kW·h)/kg
η_{net}, η_{corr}	分别是测量的和修正后的机组净热效率	—

3.3 保证值

3.3.1 机组净输出功率

由发电机端测量的电功率中扣除辅机耗功，即得到机组净输出功率：

$$N_{net} = N_{meas} - N_{aux} \dots\dots\dots (1)$$

3.3.2 单位质量地热流体的净发电量和机组净热效率

3.3.2.1 单位质量地热流体的净发电量

单位质量地热流体的净发电量为机组净输出功率与地热流体质量流量之比：

$$w_{net} = \frac{N_{net}}{3600m_{meas}} \dots\dots\dots (2)$$

单位质量地热流体的净发电量是描述地热发电机组整体的一个性能指标。对于干蒸汽地热发电机组，也可采用汽耗率作为性能保证指标。

3.3.2.2 机组净热效率

机组净热效率为机组净输出功率与地热流体热输入之比：

$$\eta_{net} = \frac{N_{net}}{Q_{meas}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

其中，地热流体热输入由下式给出：

$$Q_{meas} = m_{meas} \cdot h_{meas} \dots\dots\dots (4)$$

机组净热效率也是描述地热发电机组整体的一个性能指标。

4 导则

4.1 概述

本标准定义的试验目标是在规定的机组运行方式下进行试验，包括：机组在阀全开时的试验或规定的地热流体流量下的试验。通过试验确定机组修正后净输出功率和修正后机组净热效率或单位质量地热流体的净发电量。

4.2 试验预规划

按本标准进行试验的各方，在设计阶段应对试验方法、保证值的解释、测点与测量装置的数量、位置与布置，以及阀门与管道布置等达成协议。建议对一些最重要的测量要提供专用的连接设施，如传压管及仪表阀、法兰和温度计套管等，以使仪表安装和验收试验可在不影响正常机组运行的情况下进行。

选用仪表的原则是：应能够确定功率和进出合同中规定的“系统”热量以及“系统”的边界条件。

为了满足本标准对测量准确度的要求，应进行必要的试验前准备工作和采取必要的措施。下面列举一些在设计阶段就宜达成协议的主要内容：

- a) 作为试验计算基础的流量测量装置的位置及其管道布置；
- b) 为了尽可能保证无不明泄漏流量进出试验循环系统或旁路系统中任何部件，确定所需隔离阀门的数量及其位置；
- c) 为了保证正确测量，对关键测点上所需温度套管和压力接头的数量和位置的要求；
- d) 为了保证正确测量，对关键测点上所需双重或多重仪表接头的数量及位置的要求；

- e) 地热流体蒸汽品质（干度）的确定方法（如果适用）。

4.3 试验前应达成的协议

参与试验各方在试验前应就如下事项达成协议：试验程序、试验目的、测量方法以及在限定必要修正量下的运行方式、试验结果的修正方法和与保证值进行比较的方法。

- a) 应就待测参数、测量仪表及其提供者、仪表的位置及所需的运行和记录人员等达成协议；
- b) 应就稳定运行参数和输出功率的方法等事项达成协议；
- c) 凡在使用中易坏或易损的仪表，应配备经严格校验过的备用仪表，以便随时立即投入使用。在试验过程中，仪表的此类更换都应在观测者的记录纸上清楚地注明。仪表的安装位置及布置应使记录者能方便地精确读出数值，仪表的校验环境应尽可能地接近试验过程的工作环境；
- d) 蒸汽焓值或蒸汽品质（干度）的确定方法，只有试验各方对所用方法商定后方可实施。所达成的协议、确定的方法以及将该焓值或品质（干度）应用于试验结果的方法，均应在试验报告中详细叙述；
- e) 应就仪表的校准方法及由谁在何时校准达成协议；
- f) 对按本标准进行试验的任何必需的测量，只要试验各方在试验前达成书面协议，在本标准规定之外的其它测量方法也可使用。凡与本标准规定的方法有任何差异，都应在试验报告中陈述清楚。若无书面协议，则应遵循本标准。

4.4 试验边界和需要的测量

4.4.1 试验边界

试验边界确定了用于计算和修正试验结果所需测量的能量流。需要参与计算的所有输入和输出能量流都应以其通过边界的点为参考来进行测量。在边界内的能量流可不必测量，除非其用于确认运行条件或与试验边界外的状态。

本标准的试验方法和程序对试验边界的定义有很大的灵活性。试验边界取决于特定的机组设计。在大多数情况下，试验边界包括了系统的所有设备，但是对具体的试验目的，可采取不同的试验边界。

对一些特殊的试验，规定的试验边界应由试验各方共同确认。

图1表示了通用地热发电机组试验边界。

图2表示了干蒸汽地热发电机组试验边界。

图3表示了扩容式地热发电机组试验边界。

图4表示了双工质循环地热发电机组试验边界。

实线表示的能量流是通过试验边界的全部或部分质量流量、热力参数，这些都用于参与机组整体性能试验结果的计算。虚线表示的能量流可能需要用于能量和质量平衡计算，但可能不参与试验结果的计算。

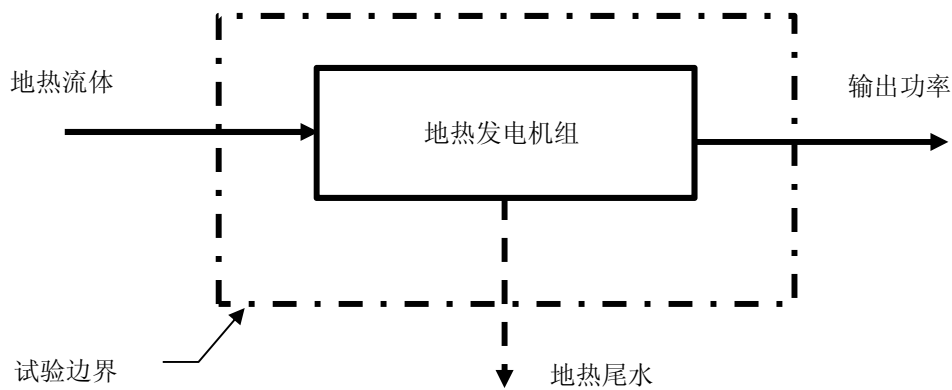


图 1 通用地热发电机组试验边界

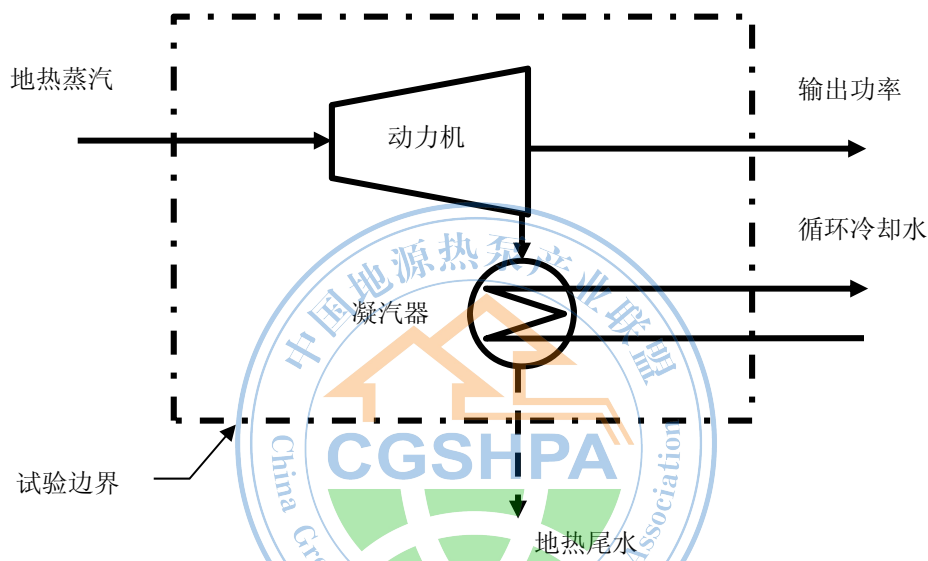


图 2 干蒸汽地热发电机组试验边界

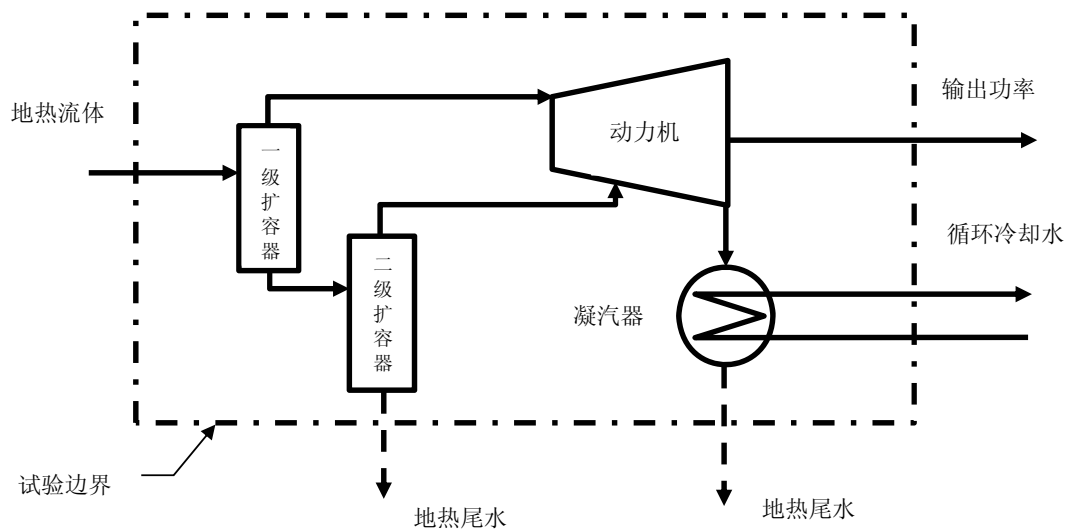


图 3 扩容式地热发电机组试验边界

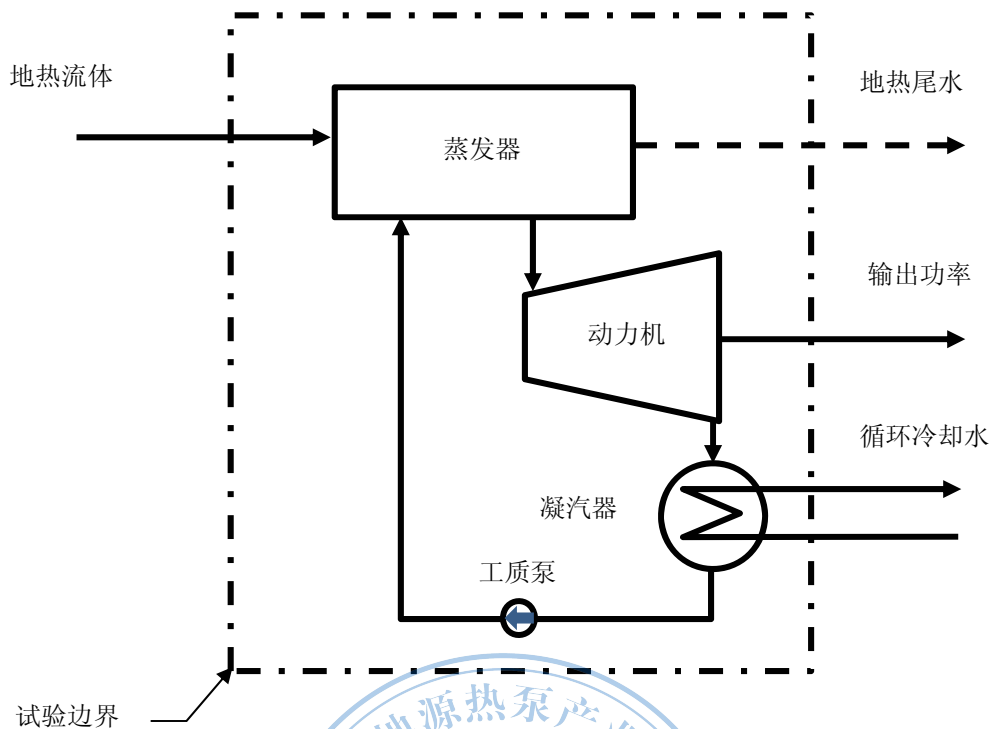


图 4 双工质循环地热发电机组试验边界

4.4.2 需要的测量

4.4.2.1 输入热能

在试验边界处测量地热流体的压力、温度（或干度）和流量，来确定输入热能。通常，试验边界位于地热流体进入机组设备的地方，然而，如果有更好的测量点，且该测点处的流体参数与边界点上的相同，或可以精确地修正到试验边界条件下，则也可将实际测量点定在试验边界点的上游或下游。

地热流体的流量测量方法见 5.5。湿蒸汽湿度和流量测量方法见 5.6 和附录 A。

4.4.2.2 输出功率

净输出功率是在试验边界上测量发电机端的毛输出功率扣除辅机耗功。电气参数的测量方法见 5.7。

4.4.2.3 冷端参数

冷端参数测量主要取决于冷源的类型，应根据试验系统的边界条件来确定。对于开式循环冷却系统，测量进入试验边界的循环水温度和流量；对于蒸发式和干式冷却系统，测量冷却系统进口处的空气参数（即大气压力、干球温度和湿球温度，如适用）；当试验边界不包括排热系统（凝汽器）时，测量凝汽器压力。

4.4.2.4 测点位置的选择准则

根据测量不确定度最小化来选择测点位置，最好选择在试验边界上，但应是该参数的最佳测量位置。

4.4.2.5 特殊要求的测量

特殊要求的试验测量应根据具体机组的设计类型和满足特定试验内容的试验边界来确定。

4.5 试验计划

4.5.1 概述

在执行本标准试验之前，应准备一个详细的试验计划，列出所有试验执行的项目，并给出详细的试验方案。试验计划宜包括试验时间表、内容名称、试验团队的职责说明、试验方案和结果报告。

4.5.2 试验时间表

应制定一个试验时间表，包括事件顺序、预期测试时间、通知试验人员、试验计划的准备工作，试验准备和执行，以及结果报告的准备。

4.5.3 试验团队

应确定负责试验准备、试验执行、试验分析和结果报告的试验团队。试验团队宜包括数据采集、采样和分析所需的测试人员，以及支持试验准备和实施所需的操作和其他人员，例如供应商代表、用户、见证方和外部服务实验室等。

根据试验要求，指定试验负责人负责执行试验。试验负责人负责与所有试验人员和试验各方建立沟通。试验负责人还应确保所有试验活动的完整书面记录均已准备好。试验负责人与机组运行人员协调所需运行条件的设置。

4.6 试验准备

4.6.1 机组状况

在进行试验之前，务必确认地热发电机组或被驱动机械、换热器和凝汽器（若在保证值之列），都处于良好状况。还应确认换热器、凝汽器、管道和阀门的泄漏均已消除。

试验之前，卖方应有机会检查机组状况，必要时也可由卖方自行进行测量。对发现的任何缺陷，均应予以消除。

机组的状况宜在试验前通过阀全开时的输出功率检查性试验来确定，如果试验中发现与设计值有较大的无法解释的差异，那么可考虑打开动力机的缸体来确定缺陷的所在。

4.6.2 换热器状况

对于双工质循环地热发电机组的性能试验，如果保证值包括蒸发器和预热器的性能，那么它们应是清洁，而且系统经检测有良好的气密性。否则，卖方应在其标书中说明计算整体性能指标时采用的换热器数量和配置、换热器的终端差和各换热器之间的压降。有关各方就此类事项应达成协议。

换热器的状况可通过打开水室或测量端差来检查。在有结垢的情况下，买方可要求卖方在验收试验前予以清洗，或者试验有关各方也可商定一个合适的修正方法。

4.6.3 凝汽器状况

如果保证值包括凝汽器的性能，而且是以冷却水流量和温度为条件时，那么凝汽器应是清洁，而且系统经检测有良好的气密性。有关各方就此类事项应达成协议。

凝汽器的状况可通过打开水室或测量端差来检查，在有结垢的情况下，买方可要求卖方在验收试验前予以清洗，或者试验有关各方也可商定一个合适的修正方法。

4.6.4 系统的隔离

试验之前，对试验过程需要隔离的设备以及实现隔离的方法宜取得一致意见，在试验报告中应说明系统的隔离情况。

4.6.5 进口滤网的清洁度

如果有必要，应在试验前清理地热发电机组进口滤网。

4.6.6 测量设备的检查

试验前应对所有测量设备的状况及其适用性进行检查，进而确认测量仪表、安装位置及安装方式是否符合有关要求，所有这些检查结果都应记录在试验报告中。

4.7 试验运行配置

试验期间机组的运行配置应与试验目标相一致，并作为修正方法的基础。修正系数以及修正曲线的绘制受机组运行配置的影响。本标准机组的运行配置通常为规定调节阀开度的运

行方式，则要求控制系统宜保持阀位不变。

机组输出功率保证值试验宜在调节阀全开条件下进行。如果保证值是在给定的调节阀开度下给出，则试验宜在此给定的调节阀开度下进行。

4.8 验收试验

4.8.1 试验工况的稳定

所有试验开始之前应有一段稳定运行时间，其持续稳定时间由试验各方商定。

凡是会影响到试验结果的任何条件，应在试验开始前尽量使其接近稳定，而且在整个试验过程中保持在表 2 所规定的允许波动变化范围内。

4.8.2 试验工况的最大偏差与波动

除非试验各方另有协议，在任一试验过程中，运行工况的最大允许偏差与波动均不应超过表 2 中所给的限值。如果不能满足这些要求，则测试数据仅供参考，除非对运行工况偏离的影响另有协议。

即使表 2 所列要求达不到，一般宜在首次并网后尽早（二个月内）进行试验。在这种情况下，应采用修正曲线对试验结果予以修正。

表 2 运行工况的最大允许偏差与波动

参数	试验平均值与规定值之间的最大允许偏差	相对于试验平均值的最大允许快速波动（见注 1）
地热流体的压力	未加限定（见注 2）	绝对压力的 $\pm 2\%$
地热流体的温度	未加限定（见注 2）	$\pm 4\text{K}$
地热流体的流量	未加限定	$\pm 2\%$
冷端 1: 冷却塔或空冷器包含在试验边界内时的空气参数	湿球温度: $\pm 14^{\circ}\text{C}$, 干球温度: $\pm 17^{\circ}\text{C}$ 。	—
冷端 2: 冷却塔或空冷器不包含在试验边界内, 或凝汽器不包含在试验边界内时的凝汽器压力	凝汽器压力变化引起的发电设备输出功率的变化, 不得超过制造商允许的范围。	绝对压力的 2%
输出功率	未加限定, 不得超过发电设备制造商允许的范围。	$\pm 2\%$
注 1: 快速波动指其波动频率为读数频率二倍以上的频率; 注 2: 在任何情况下, 不得超过制造厂允许的压力和温度变化范围。		

4.8.3 试验的持续时间和读数频率

试验所需的持续时间取决于运行工况的稳定和试验数据的采集频率。建议一次验收试验的持续时间为 1h，持续时间也可根据协议缩短，但不得少于 45min。

试验期间，流量差压测量装置一般宜每半分钟读数一次。对输出电功率，如无积算式的功率表，那么读数间隔不宜超过 1min。主要压力和温度读数间隔不宜大于 5min。在波动情况下，为了获得具有代表性的平均值，尤其是流量计的读数，宜采用较短的读数间隔或较长的试验持续时间。

4.8.4 积算式仪表的读数

输出电功率和质量流量的平均值，也可用积算式仪表在试验开始与结束时读数的差值，除以相应的时间间隔来确定。

所有的积算式测量仪表都宜同时读数，有关的指示仪表也宜同时或接近同时读数。

建议在试验过程中，以相等的时间间隔同时对所有的积算式仪表进行读数，若有需要，在试验结束后，可进行试验一致性的检查，还可调整试验取值的时间范围。

如果所有运行条件保持不变，所有观测值宜在预定的试验时间之前一段时间就开始记录，

并在预定试验结束时刻之后再延续记录一段时间。

4.8.5 试验记录

每位观测人员都应如实记录自己所观测到的值。试验后，各方均应立即收到一份完整的试验记录复印件。

4.8.6 初步计算

在试验结束后应立即进行试验结果及修正值的初步计算，以便确定测量数据的有效性。

4.8.7 试验的一致性

正式验收试验宜进行重复试验，同一试验工况点的两次试验数据，当修正到相同的运行条件下，若两次试验结果之间的差别大于0.5%就应认为试验不一致。

如果在某一试验过程中或一系列试验结果计算过程中发现了严重的不一致现象，除非另有协议，该试验或一系列试验应全部或部分作废。

如果对验收试验结果不满意，那么应给卖方提供机会进行改进，并由其出资重做验收试验。如果协议的任一方有证据对试验结果有怀疑，也可要求重做试验。

如果卖方由于其责任范围的原因，在验收试验后对机组做过改动，致使保证值可能不再在合理的范围内，买方可要求重做验收试验。

4.9 试验不确定度

为了提供符合实际限制条件下达到最高精度水平的试验，制定了详细的测量方法程序。本标准规定可接受的最大允许试验不确定度：修正后净输出功率的不确定度为 $\pm 1.0\%$ ；修正后净热效率或单位质量地热流体发电量的不确定度为 $\pm 1.5\%$ 。任何与本标准要求的偏差都可能带来额外的不确定度，从而超出了本标准可接受的最大不确定度的要求。

应在试验前进行不确定度的分析，以确定期望的试验不确定度水平。试验后也应进行不确定度分析以确认试验有效。如果试验后的不确定度值大于所要求的最大允许值，则试验无效。

5 仪表和测量方法

5.1 总体要求

5.1.1 概述

本条款介绍用于执行本标准试验的仪表的强制性规定。还包含仪表要求的细节，包括：仪表选择的准则、仪表的校准和验证、现场仪表和冗余仪表。

由于测量技术的发展和进步，新的要求将取代本标准中规定的要求。只要满足本标准规定的不确定度要求，可以使用新的仪表和方法来代替本标准中推荐的任何仪表和方法。

5.1.2 仪表选择的准则

5.1.2.1 参数和变量

参数是指在一个测量位置上的物理量，可采用一个单独仪表直接测量或采用几个相似仪表测量的平均值来计算确定。对于后面一种情况，要用几个仪表来测量一个有空间梯度变化的参数，如汽轮机排汽压力。用多个仪表来测量一个参数可减小试验的不确定度，如在管道的同一截面上，用两个温度计测量流体的温度。

温度和压力是本标准试验中典型的测量参数。注意“参数”和“变量”这两个术语有时在工业中和一些试验标准中可以互换使用，但在本标准中这两个术语有所区别。

变量在一个代数公式中是一个待定的未知量，如性能公式包含一些变量用来计算机组修正后输出功率。在这些公式中，典型的变量是流量、比焓、修正系数和功率。每个变量都是确定输出功率的中间结果。

参数是那些由直接测量得到的用来确定性能公式中计算修正后的机组性能所需变量的值。例如，用来确定焓值的温度和压力，以及用来确定流量的温度、压力和差压。

5.1.2.2 测量分类

参数或变量可分为主要或次要参数或变量，取决于它们在结果计算中的使用情况。在计算试验结果中使用的参数和变量，视为主要参数和变量。次要参数和变量不会参与结果的计算，而是用于确认所要求的试验条件是否满足。

主要参数和变量根据其相对于试验结果的相对灵敏系数大小，可进一步分类为一类和二类。一类主要参数和变量的相对灵敏系数大于或等于 0.2%；二类主要参数和变量的相对灵敏系数小于 0.2%。由于温标可设置任意点作为温度的零点，因此主要温度的相对灵敏系数将由 0.2% 被替换为 0.2%/℃。

5.1.2.3 仪表分类

5.1.2.3.1 概述

由于测量参数的用途以及影响性能结果的程度不同，因此用于测量参数的仪表对仪表类型、准确度、冗余和处理能力有不同的要求。本标准不要求使用高准确度仪表来确定次要参数。测量次要参数的仪表可以采用永久安装的电厂仪表。

本标准要求在试验之前对仪表的输出结果进行验证。可以通过校准的方式，或者通过比较在相同测量位置上的两个或多个独立仪表的测量结果的方式进行验证。宜提供冗余或其他独立仪表，可以在试验期间验证完整性。仪表分为 1 级或 2 级仪表，具体取决于测量参数对仪表的要求。应注意确保仪表符合本标准关于仪表分类的要求。

5.1.2.3.2 1 级仪表

应使用 1 级仪表来确定一类主要参数。典型的一类主要参数有：地热发电机组入口地热流体参数、输出功率和排汽压力。需要根据具体热力循环，由试验不确定度分析来确定一类主要参数测量的项目。1 级仪表要求高准确度，并且需要经过精确的实验室校准。

5.1.2.3.3 2 级仪表

应使用 2 级仪表或更高级别的仪表来确定二类主要参数。某些 2 级仪表进行工厂的校准并认证后可满足本标准规定的不确定度要求，而不需要采用 5.1.3.4 描述的现场验证。

5.1.3 仪表的校准和验证

5.1.3.1 概述

校准结果可以估算测量仪表和测量系统的指示误差。校准结果有时表示为一个校准系数，或者以校准曲线形式表示的一组校准系数。校准应在受控环境中进行，以确保有效的结果。应适当考虑温度、湿度、照明、振动、防尘、清洁、电磁干扰等因素对校准的影响。在适当情况下，应对这些因素进行监测和记录，并在适用的情况下，对在偏离可接受条件的环境中获得的校准结果进行补偿校正。根据本标准执行的校准可分为实验室校准或现场校准。所有 1 级仪表都应采用实验室校准才能应用。

5.1.3.2 实验室校准

实验室校准应严格按照实验室质量保证程序的体系文件、要求和目标进行。应考虑确保适当的空间、照明和环境条件，如温度、湿度、通风、低的噪音和振动水平。

5.1.3.3 现场校准

应采取适当的措施，确保在运输和现场期间保持必要的校准状态。参考标准对环境变化或其他相关参数的响应应该是已知的，并形成文件。现场校准测量和测试装备需要经认可的来源进行校准，这些来源通过不间断的比较确定了不确定度，可以追溯到公认的国际标准组织 NIST 或公认的自然物理（固有）常数。现场校准可实现的不确定度通常比实验室校准更大，因为校准环境和其他可能的不利影响（例如校准设备的运输引起的不利影响）的限制。现场校准通常用于测量次要参数的仪表和 2 级仪表的校准。现场校准宜包括 5.1.3.10 定义的回路校准。宜使用现场校准来检查哪些被怀疑已漂移或没有冗余的 1 级仪表。

5.1.3.4 现场验证

现场验证提供了一种方法,用于检查测量仪表指示的数值与相应的已知数值之间的偏差始终小于特定测量仪表管理的规范、标准或规范中定义的允许误差的限值。验证结果将决定测量仪表是否恢复使用、调整、维修、降级或宣布停用。

现场验证技术包括现场校准、无损检测、冗余仪表比对、变送器零点检查和能量流的计量。无损检测包括但不限于:绝对压力变送器的大气压力检测,包括目视检查的现场检查,以及功率表的空载读数。比对包括但不限于:温度测量仪表的水或电子浴检查,以及冗余仪表的数据协调。能量流计量包括但不限于:质量、热量和能量平衡计算。应根据每个设定的独特要求来判断适用的现场验证要求。

5.1.3.5 参考标准

参考标准应按照公认的国家标准或国际标准组织或定义的自然物理(固有)常数提供溯源性的方式进行常规校准,并具有准确性、稳定性、范围和分辨率。应严格按照校准实验室质量计划对其进行维护,以便进行正确的校准、处理和使用。当现场校准需要使用参考标准时,应采取适当的措施,以确保在运输和现场保持必要的校准状态。参考标准的完整性应通过能力验证或实验室间比对进行验证。所有的参考标准都宜以制造商指定的频率进行校准,除非用户有数据支持,校准周期可延长。支持的数据是历史校准数据,表明校准结果之间的偏差小于所需校准周期的参考标准准确度。

宜选择已知总不确定度的参考标准,以使校准中使用的参考标准的总不确定度对整体校准不确定度的贡献小于25%。校准仪表的总不确定度应在95%置信水平下确定。如果参考标准的不确定度与被校准仪表的随机不确定度合成后的不确定度不能满足仪表的精度要求,则需要使用更低不确定度的参考标准。例如,对于某些流量计,不能满足25%规则的要求。然而,校准的曲线拟合可以从实验室的20个校准点中获得,其不确定度小于0.2%。

通常,用于测量主要参数(一类和二类)的所有1级和2级仪表应根据参考标准进行校准,参考标准可追溯至国家标准,或其他公认的国际标准组织的参考标准,或被国家标准接受的具有指定值的公认自然物理(固有)常数。用于测量次要参数的仪表不需要根据参考标准进行校准,可以使用已校仪表来校核。

5.1.3.6 环境条件

用于测量主要参数(一类和二类)的仪表校准条件宜与该仪表在试验测量期间所处的环境条件相一致,由于在相同的现场环境条件下进行校准往往不切实际或不可能,所以应识别和估计附加的误差源。应对可能影响测量系统的所有过程和环境条件考虑误差源,包括温度、压力、湿度、电磁干扰和辐射。

5.1.3.7 仪表测量范围和校准点

校准点的数量取决于仪表需要测量的参数的分类。测量分类在5.1.2.2已讨论。校准应包含预期测量范围内的点。

5.1.3.7.1 主要参数测量仪表校准

a) 1级仪表

无论是需要将校准数据用于校正测量数据,还是由于仪表精度足够高不需要校正测量数据(即实验室校准和仪表读数之间的差别对测量结果的影响可以忽略不计),测量一类主要参数的仪表都应至少比校准曲线拟合的阶次数至少多2个点进行实验室校准,需要校准的流量测量装置应具有20个校准点。

每个仪表都宜按上行和下行两种方式逼近测量点来校准,以尽量减少滞后效应的影响。一旦仪表安装后,有些仪表带有机械装置可改变仪表的量程范围。在这种情况下,仪表应在试验期间的每个测量范围内进行校准。

有些仪表实际上不能在整个工作范围内进行校准。例如,流量测量装置通常在低于工作范围的流量下进行校准,然后采用外推校准数据。

b) 2 级仪表

测量二类主要参数的仪表最少的校准点数宜等于校准曲线拟合阶数。如果仪表的滞后现象明显小于所要求的准确度，则只需从单方向上逼近校准点（上行或下行）即可。

某些 2 级仪表进行了工厂校准的认证，可满足本标准中所规定的不确定度要求，但这需要使用本标准所述的现场验证技术。

5.1.3.7.2 次要参数测量仪表校准

测量次要参数的仪表应按照 5.1.3.4 所述进行现场验证。如果采取现场校准，只需要在预期的运行工作范围内的一个点上进行校准。

5.1.3.8 校准时间

虽然不同类型的仪表及其维护存在差异，但是对实验室校准与试验期间之间的时间间隔长短没有规定。仪表所处的环境比实验室校准后的时间间隔长短要重要得多。如果仪表进行了校准并放置在受控环境中，则校准结果将在较长的时间内保持有效。如果仪表已安装在现场，但无法使用，在大多情况下，仪表可能会经历重大的循环过程。在这些情况下，仪表会受到振动或其他影响，应进行现场验证。

用于测量一类主要参数的所有测试仪表应在试验前进行实验室校准，并且应符合所有测试仪表的特定制造、安装和操作要求。某些用于测量二类主要参数的测试仪表进行了工厂校准的认证，可满足本标准中所规定的不确定度要求，但这需要使用本标准所述的技术进行现场验证。用于测量次要参数的测试仪表，不需要实验室校准，除了在工厂进行的认证外，在试验之前还需要进行现场验证。

试验后，应对发现可疑数据的测量仪表进行现场验证。如果结果表明仪表存在不可接受的漂移或损坏，则需要作进一步调查。一类和二类主要流量测量装置，如果符合本标准规定要求，并且测量装置没有经历过违反其完整性的条件，如蒸汽吹洗和化学清洗，则在试验之后不需要进行检查。

5.1.3.9 校准漂移

当现场验证指示漂移小于仪表准确度时，则该漂移被认为是可接受的，并且试验前的校准被用作确定试验结果的基础。如果校准漂移与参考标准的准确度的平方和开平方根后的值，超过所要求的仪表的准确度，那么校准漂移是不可接受的。通常，仪表校准漂移不可接受的情况很少发生。

仪表故障、运输、安装或拆除测试仪表都可能导致校准漂移。当现场验证表明漂移不可接受，不能满足试验不确定度要求时，需要进一步调查其原因。

可以预约试验后的实验室校准，并且通过评估现场验证。应使用工程判断的方法来确定初始校准或重新校准是否正确。以下是一些推荐的现场验证实践，可以提供作为良好的工程判断。

- a) 当仪表通过运输到测试现场，在校准与试验期间，在试验之前和之后的单点检查可以查出何时发生漂移。例如，检查压力变送器上的压力零点，检查瓦特计上的零负载点或检查温度仪表上的冰点。
- b) 在使用冗余仪表的地方，应分析校准漂移，以确定哪些校准数据（初始或重新校准）能在冗余仪表之间产生更好的一致性。

5.1.3.10 回路校验

所有用于测量主要参数（一类和二类）的仪表都宜进行回路校验。回路校验使用信号调制设备来校验。在实验室或在仪表尚未接入系统的现场试验系统构建阶段，都可以通过使用信号调制设备的校验仪表，以完成回路校验。另外，当信号调制设备与仪表分开后，通过高准确度的信号发生器将一个已知信号加载到每个通道上来校验信号调制设备。

如果不能进行回路校验，则应进行不确定度分析，以确认测量系统的总不确定度满足本

标准的要求。

5.1.3.11 质量保证计划

对1级仪表进行校准的设施应有一个质量保证计划，记录以下信息：

- a) 校准程序；
- b) 校验技术员培训；
- c) 参考标准校准记录；
- d) 参考标准校准计划；
- e) 仪表校准历史。

质量保证计划的编制宜确保仪表能按照标准要求进行校准，并且经过培训的合格校验人员以正确的方式校准仪表。

宜允许试验各方进入校准设施进行核查，质量保证计划也应在核查期间提供给试验各方。

5.1.4 现场仪表

只有当现场仪表（包括信号调制设备）能证明满足总不确定度的要求时，才能使用现场仪表测量主要参数。大多数情况下，在测量流量时，采用现场仪表测量值（压力、温度、差压或测量装置的脉冲）计算流量的计算过程通常不够严格，其准确度不能满足要求。

5.1.5 冗余仪表

冗余仪表是指在同一地点用两个或多个仪表测量同一个参数的仪表。除流量和电气测量装置外，所有主要参数（一类和二类）都宜采用冗余仪表来测量。如果流量和电气测量装置采用冗余仪表进行测量，则费用会大幅度增加，宜在拟定试验计划时予以考虑。

5.2 压力测量

5.2.1 概述

本条款给出了压力测量的要求和指导。电子式压力测量仪表宜用于测量主要压力，以尽量减少系统误差和随机误差。电子式压力测量装置提供灵敏度、零平衡、灵敏度热效应和零热效应的固有补偿程序。其他符合本条款不确定度要求的测量仪表也可以使用。影响压力测量不确定度的因素包括但不限于：环境温度、分辨率、可重复性、线性、滞后、振动、电源、稳定性、安装位置、射频干扰（RFI）、静压、水柱、预热时间、数据采集、空间变化和主要元件的质量。

被测量的热力过程与压力测量仪表之间的管路应精确地传递压力以获得精确的测量结果。可能的误差源包括压力传递、泄漏、摩擦损失、堵塞流体（即液体管中的气体或气体管中的液体）、传压管内的密度变化以及传压管之间的密度差（仅对差压计）。

所有的信号电缆宜有一个接地的屏蔽或双绞线来消除附近电气设备的感应电流。所有信号电缆应远离电动势（EMF）生产设备，如电动机、发电机、电气导管、电缆桥架和电气服务面板。

校准之前，压力变送器的量程可能会改变，以更好地匹配实际热力过程。但是，随着量程变化，对环境温度波动的敏感度可能会增加。

额外的校准点将提高准确度，但不是必需的。在校准过程中，应以递增和递减的方式接近测量点，以使滞后效应最小化。

一些压力变送器允许用户在安装了变送器后改变量程。变送器应在试验中用到的每个范围内进行校准。

对于蒸汽和水的测量，所有压力变送器和任何带有不同高度接头的差压变送器（例如垂直流量元件）的读数，应考虑传压管水柱高程修正。应由控制系统或数据采集系统自动进行修正，或在收集原始数据后由试验人员手工进行修正。应小心确保适当地进行这种修正，特别是在低的静压力下，并且仅修正一次。

5.2.2 不确定度的要求

不确定度的要求取决于所测量的参数和变量的类型。

一类主要压力应使用精度为 0.1% 的压力变送器，或仪表的系统不确定度不大于 0.3% 的仪表来测量。大气压力应使用压力变送器进行测量，其仪表的系统不确定度不大于 0.1%。

二类主要压力应使用精度为 0.25% 的压力变送器或等效仪表来测量，仪表的系统不确定度不大于 0.50%。

次要压力可以用任何类型的压力变送器或等效仪表进行测量。

5.2.3 压力变送器的类型

有三种类型的压力变送器：绝对压力变送器、表压变送器和差压变送器。

5.2.3.1 绝对压力变送器

绝对压力变送器测量压力的参考点为绝对零压力。绝对压力变送器宜用于测量压力小于或等于大气压力的场合。绝对压力变送器也可用于测量高于大气压力的场合。

绝对压力变送器可使用下面两种方法之一进行校准：

- 1) 将校准仪表与一台可以精确达到所要求的真空设备相连，这个设备可以是一个罩壳压力为零的静重计，或是一个活塞压力计，其低压侧的参考压力为零；
- 2) 使用抽真空设备在一个腔室内产生和保持某一真空，被校仪器和校准标准仪表都与腔室相连，腔室在校验期间应维持恒定真空。

如果能够达到同样的准确度水平，也可以利用其他的方法来校准绝对压力变送器。

5.2.3.2 表压变送器

表压变送器测量压力的参考点为大气压力。要获得绝对压力的读数，应将试验现场的大气压力与表压变送器的读数相加。试验现场的大气压力宜由绝对压力变送器测量。表压变送器只可用于测量高于大气压力的场合。高于大气压力的场合，最好采用表压变送器而不用绝对压力变送器来测量，因为前者易于校准。

表压变送器可采用一台高准确度静重计来校准。由静重计产生的压力应经过当地重力加速度、空气静浮力、活塞表面张力、活塞表面偏转、实际重量、活塞实际面积和工作介质温度等修正。如果不经上述修正，由静重计校准的压力有可能不准确。每次校准静重计时要测定实际的活塞面积和重量。如果其他的装置有相同的准确度水平，也可以用来校准表压变送器。

5.2.3.3 差压变送器

差压变送器主要用于测量由差压确定流量的场合。

用于测量一类主要流量的差压变送器，应在所测量管道静压相同的条件下来校准，除非有数据表明高的静压对仪表准确度的影响没有超出要求。在所测量管道静压下的校准，就是将实际测量的工作压力作用到被校仪表上，然后进行校准。

在测量管道静压下的校准，可采取下述三种方法之一：

- 1) 两台高准确度静重计；
- 2) 一台静重计和一台分压器联合；
- 3) 一台静重计和一台标准差压计。

用于测量二类主要流量的差压变送器不需要在所测量管道静压相同的条件下来校准，可采用一台高准确度静重计与仪表的高压侧相连进行校准。

如果校准时不加所测量管道静压，则应对高静压引起的偏移进行修正，除非仪表有内部补偿可以消除高静压影响。一旦仪表在现场安装完毕，宜打开差压表平衡阀，并读出零位值，该零点偏移值应从试验测量的差压值中扣除。如果其他的装置有相同的水平，也可以用来校准差压变送器。

5.2.4 绝对压力测量

可用绝对压力变送器测量绝对压力。典型的绝对压力测量包括凝汽器压力和汽轮机排汽

压力的测量。

用来测量蒸汽压力的绝对压力变送器宜安装在流场稳定的位置。变送器的安装方向宜与校准时的安装方向相同。对真空的测量，连接变送器的传压管宜从取压口开始，连续倾斜向上引至测量变送器，宜使用连续吹扫系统，并注意确认读数没有受到吹扫气体的影响。

5.2.5 表压测量

对于大于或等于大气压的压力测量，可使用表压或绝对压力变送器来测量。因为表压变送器更容易校准和现场验证，因此推荐使用表压变送器来测量这类压力。

用表压变送器测量蒸汽或水的压力时，其传压管宜从取压口开始，连续倾斜向下引至测量变送器。这样可以保证传压管内充满水。在测量蒸汽参数时，传压管宜由取压口水平引出至少 0.61m 后再倾斜向下，蒸汽在这段水平管段内可以完全凝结成水以确保倾斜段也全部充满液体。

水柱是指在传压管内凝结水的高度。冷凝液在传压管内形成一个静压头，该静压头应从仪表读数中扣除。静压头由传压管内凝结水的垂直高度乘以重力加速度再乘以凝结水的密度而得到。

每个压力取压点处宜安装一个隔离阀。在仪表安装前传压管宜排污，在读数前传压管宜有足够的时间来形成水柱。

5.2.6 差压测量

差压测量用来测量流过流量元件的蒸汽或水的流量，或测量管道的压力损失。差压或压降使用差压变送器来测量，并用来计算流体流量。

当测量蒸汽或水的差压时，传压管宜倾斜向下引至差压变送器。在测量蒸汽差压时，传压管由取压口水平引出至少 0.61m 后再倾斜向下，以确保传压管垂直段充满液体。

当差压变送器用于测量上下游取压位置处于不同高度的流量元件差压时，由于流量元件和传压管中水的密度不同，需要对上下游取压口高度之间的水柱差进行修正。

5.3 温度测量

5.3.1 概述

本条款给出了温度测量的要求和指导。讨论了推荐的温度测量仪表，以及温度测量仪表的校准和应用。电子的温度测量仪表宜用于主要温度的测量，以得到最小的系统误差和随机误差。影响温度不确定度的因素包括但不限于：稳定性、环境、自热、寄生电阻、寄生电压、分辨率、重复性、迟滞、振动、预热时间、浸没或传导、辐射、动态、空间变化和数据采集。

所有的信号电缆宜有一个接地的屏蔽或双绞线来消除附近电气设备的感应电流。所有的信号电缆应远离 EMF 生产设备，如电动机、发电机、电气导管、电缆桥架和电气服务面板。

5.3.2 不确定度的要求

不确定度的要求取决于所测量的参数和变量的类型。

一类主要温度测量仪表的不确定度要求：当测量温度低于 93℃ 时，仪表系统不确定度不大于 0.28℃；当测量温度高于 93℃ 时，仪表系统不确定度不大于 0.56℃。

二类主要温度测量仪表的不确定度要求：仪表系统不确定度不大于 1.67℃。

次要温度测量宜使用仪表系统不确定度不大于 3.89℃ 的测量仪表。

5.3.3 推荐的温度测量仪表

5.3.3.1 概述

建议使用热电偶、热电阻温度计和热敏电阻作为温度测量仪表。在选择最合适的温度测量仪表时，应考虑经济性、应用性和不确定度等因素。

5.3.3.2 热电偶

热电偶可用于测量高于 93℃ 的任何流体的温度。最高测量温度取决于热电偶的类型和外壳的材质。热电偶不宜用于测量低于 93℃ 的温度。热电偶是一种差动仪表，是通过测量

所需测量位置的温度与参考温度之间的差异来获得温度值。温度差越大，热电偶的电势信号越强。因此，当温度低于 93℃ 时，电势信号变得很弱，易受感应噪声的影响，从而增加系统的不确定度。

由均匀导线制成的热电偶产生的电动势是测量端和参考端之间的温差的函数。然而，如果导线不均匀，并且在存在温度梯度的区域中存在不均匀性，则会产生外来的电动势，并且热电偶的输出将取决于两个端口之间的温差。因此，热电偶导线的均匀性是准确测量温度的重要因素。

所有金属基体的热电偶在高温下使用时都存在不均匀性，但是如果热电偶导线的所有不均匀部分均处于无温度变化的区域，则导线不均匀的部分对热电偶的测量结果没有影响。因此，一个使用过的热电偶的插入深度的增加意味着将以前未加热的部分导线带入有温度变化的区域，将对测量结果产生影响。如果插入深度的增加足以使所有以前加热过的部分导线进入无温度变化的区域，则热电偶的指示值将仍遵循原来的电动势与温度关系。如果插入深度减少，导线更多的不均匀部分将进入温度变化的区域，从而引起电动势指示值的变化。此外，即使在两种情况下所测量的插入深度和测量端的温度相同，当热电偶从一个位置移到另一个位置时，沿着导线不均匀部分的温度分布几乎总是发生变化，因此，电动势的指示值也会变化。

除了测量端以外，热电偶的元件应彼此电绝缘，与地面和安装它们的导体相互绝缘。当沿导体（如管道或金属结构）安装热电偶时，应特别注意确保热电偶导线与导体之间良好的电绝缘，以防导体中的杂散电流进入热电偶电路而影响读数。使用控制积分模数（A / D）技术可以进一步降低杂散电流。此外，为了减少磁感应噪声的可能性，热电偶导线宜以扭曲的均匀方式构造。

温度循环是指将热电偶置于测量的过程温度中然后再移到环境温度下的行为，温度循环后热电偶容易产生漂移，宜使热电偶经历的温度循环次数最少。

热电偶可以有效地用于高振动区域的温度测量，例如机组进口蒸汽温度的测量。高振动测量位置可能不适合采用其他温度测量仪表。本标准建议在所有应用中选用每度最高电动势的热电偶。

参考端的温度应使用软件或硬件补偿技术来准确测量。测量端温度测量的准确度小于参考端已知温度的准确度。参考端温度应保持在冰点或等温参考的稳定温度下。当热电偶参考端浸入由冰、冰和水混合而成的冰浴中时，应将精密温度计的温包浸入与参考端相同的水平面并与其接触。任何偏离冰点的问题应及时纠正。每个参考端都应该电绝缘。当使用等温冷端参考方法时，应使用参考水槽进行精确的温度测量。当使用电子控制的参考端时，它们应能够将参考温度控制在 $\pm 0.03^\circ\text{C}$ 之内。应特别注意任何参考端口，因为温度变化、材料特性，或者由于导线不匹配都可能引起误差。通过校准，整个参考系统的不确定度应被验证小于 0.1°C 。如果准确度等同于电子参考端，则按照本标准提供的等温热电偶基准块可以作为数字系统一部分。商业数据采集系统使用一个测量的参考端，这个测量的准确性被纳入制造商的设备规范。参考端的不确定度应计入温度测量的不确定度计算中，以确定测量是否符合本标准的要求。

现在可使用许多仪表来测量输出电压。在测量系统中使用这些仪表来确定温度，这些仪表应满足参数测量不确定度的要求。建议热电偶信号转换采用国际温标（ITS-90）软件补偿技术。

5.3.3.3 热电阻温度计（RTD）

热电阻温度计（RTD）能用于 -270°C 至 850°C 温度范围的测量。ASTM E 1137 提供了工业铂电阻温度计的标准规格，包括制造、压力、振动和机械冲击的要求，以提高这些设备的性能和寿命。

尽管热电阻温度计被认为是比热电偶更具线性的器件,但由于制造技术的原因,热电阻温度计更易受振动的影响。因此,在考虑对器件稳定性的影响时,宜注意热电阻温度计的规范和应用。宜应用现场验证技术来证明稳定性符合 5.3.2 的不确定度要求。

一类主要温度应使用 A 级四线铂电阻温度计进行测量。二类主要温度应使用 A 级三线铂电阻温度计进行测量。优先使用四线铂电阻温度计以最小地降低由于不同导线引起的与导线电阻相关的效应。

可用许多仪表来测量输出电阻。在测量系统中使用这些仪表来确定温度,这些仪表应满足参数测量不确定度的要求。

5.3.3.4 热敏电阻温度计

热敏电阻由类似陶瓷的半导体材料构成,充当热敏可变电阻器。该仪表可用于测量温度低于 149℃ 的任何场合。在此温度以上,信号较弱,易受电流感应噪声的影响。虽然有正的温度系数的热敏电阻可用,但大多数热敏电阻具有负的温度系数。也就是说,与 RTD 不同,热敏电阻的大小随着温度的升高而降低。负的温度系数可以高达每摄氏度几个百分点,使热敏电阻电路可以检测 RTD 或热电偶电路无法观察到的微小温度变化。因此,热敏电阻温度计的灵敏度最佳,热电偶温度计功能最多,热电阻温度计最稳定。

通常情况下,热敏电阻温度计不需要像热电阻温度计那样采用四线电阻进行测量。由于热电阻温度计的高电阻率而用于测量一类主要温度,因此,测量导线电阻产生的误差幅度小于等效的热电阻温度计误差。但是,如果使用的长导线或高电阻的导线不是校准的一部分,则导线电阻应在测量中得到补偿。热敏电阻通常比热电阻和热电偶更脆弱,应按照制造商的规范小心的安装和处理,以避免破碎或粘结。

可采用许多仪表来测量输出电阻。在系统中使用这些仪表来确定温度,这些仪表应满足参数测量的不确定度要求。

5.3.4 主要温度测量仪表的校准

本标准建议用于温度测量的主要温度(一类或二类)仪表具有合适的校准历史(三组或四组校准数据)。校准历史宜包括仪表在各次校准之间经历的温度水平。在低温下使用后稳定的仪表在高温下可能并不稳定。因此,宜评估仪表的校准历史记录以证明参数所需的稳定性。

在校准任何热电偶期间,参考端温度应保持恒定,最好在具有电子参考冷端、等温参考端或处于冰点的冰浴。校准应采用可接受的方法进行,标准可追溯至公认的国家标准实验室。校准应在仪表使用的温度范围内进行。

5.3.5 典型应用

5.3.5.1 管道或容器内流体温度的测量

在测量管道或容器内流体温度时,需在管道或容器上安装温度套管。温度套管是一种从管道表面或容器壁深入到流体中的压力密封装置,用以保护温度测量元件免受恶劣的环境、高压和流体流动的影响。温度套管可以通过螺纹连接、承插焊接或法兰连接等方式安装到管道系统中,并且有一个深入套管底部的孔,便于插入温度测量元件。

套管内孔的大小宜使温度测量元件和套管壁之间留有足够的间隔。如果插入时很困难,温度测量元件会很容易折弯。

套管内孔的底部宜与温度测量元件的顶部形状相同。套管壁宜尽可能薄,且应符合安全应力和其他规范要求。套管内孔应清洁、干燥、无腐蚀或氧化物。在插入温度测量元件之前,宜先用高压空气吹扫套管内孔。

套管安装深度宜穿过被测流体的层流边界区。除非出于设计考虑,否则温度套管应插入至少 75mm 但不小于管道直径四分之一的流体中。如果管道直径小于 100mm,温度套管应沿管道轴向布置,插入弯头或三通处。如果没有弯头或三通,则应通过改造管道来实现。套管

宜安装在流体混合良好且没有温度梯度的地方。如果位置靠近设备的出口，那么温度套管宜安装在管道弯头的下游。

如果有二个套管安装在同一个给定的管道位置上，那么第二个套管宜安装在第一个套管位置管道的另一侧，而不是安装在它的直接下游。

当温度测量元件插入套管时，宜采用弹簧将其拉紧，以确保温度测量元件的顶端与套管的底部紧密接触。

对一类主要温度的测量，宜将暴露在管道或容器外的套管部分与管道或容器一起进行保温，以减少散热损失。

当测量减温喷水后蒸汽的温度时，套管安装位置应仔细选择，可将套管安装在减温水喷水注入点后两个弯头下游的蒸汽管道上，使减温水与蒸汽能充分混合。

5.3.5.2 冷却塔入口干球温度和湿球温度的测量

当冷却塔包括在机组试验边界内时，需要测量入口空气湿球温度。另外，自然通风型、辅助风机型和湿/干型冷却塔均需要测量入口干球温度。对于强制通风设计的机械通风冷却塔，需要测量入口干球温度，以便确定用于风扇功率修正的风扇进气密度。宜确定所选仪表和测点的数量，以确保平均入口温度的总测量不确定度小于 1.2°C 。

对于入口干球温度和湿球温度的测量，仪表应位于进气口外部不超过 1.5 米的范围内。宜注意确保在进气口处的溅水不会影响仪表。应使用足够数量的测量点，以确保试验平均值能准确代表真实的平均入口湿球温度。

为了确定冷却塔入口的平均干球温度和湿球温度，保守起见，建议考虑每个进气口布置一个温度测点，测量仪表数最小 4 个。

5.3.5.3 空冷凝汽器入口干球温度的测量

入口空气温度测量应由指定数量的干球温度仪表组成。应确定测点的数量，以确保平均入口空气温度的测量不确定度小于 0.6°C 。每台风扇入口至少应选择 1 个干球温度测量点。测量点应位于气流内风扇排出平面的下游，尽可能接近风扇甲板水平高度。推荐在走道或风扇桥处布置测点。测点一般在风扇半径的外侧，最靠近空冷凝汽器周边壁的一侧，离风扇外径 1 米处。

另一种测点布置方案是将温度测量仪表安装在空冷凝汽器的周围。这些仪表应采用等间隔的布置方式，并围绕空冷凝汽器周边等距离放置，而其中一个位于空冷凝汽器的中心。这些仪表应悬挂在进气口开口下方 1 米处。如果这些测量位置由于空冷凝汽器的设计原因不可使用，则其他测量位置将商定并被选择。

5.4 空气湿度测量

5.4.1 概述

本条款给出了湿度测量的要求和指南。还讨论了推荐的湿度测量仪表，以及湿度测量仪表的校准和应用。电子湿度测量仪表宜用于主要湿度的测量，以减少系统误差和随机误差。

湿度测量仪表的不确定度应包括但不限于：分辨率、稳定性、环境、温度测量误差、压力测量误差、预热时间、空间变化、非线性、重复性、模拟输出和数据采集等。

应在接近环境干球或湿球温度条件下进行测量，以确定空气中水分含量，并以此作为确定空气性质的基础。

所有的信号电缆宜有一个接地的屏蔽线或双绞线来消除附近电气设备的感应电流。所有的信号电缆应远离产生电磁场的设备，如电动机，发电机，电气导线，电缆桥架和电气服务面板。

5.4.2 不确定度的要求

不确定度的要求取决于所测量的参数和变量的类型。

用来测量一类主要湿度的仪表，仪表的系统不确定度小于 2% 或 0.39°C 的湿球温度。

用来测量二类主要湿度的仪表，仪表的系统不确定度小于 4%或 0.76℃的湿球温度。

用来测量次要湿度的仪表，可以用任何类型的湿度测量仪表来测量。

5.4.3 推荐的湿度测量仪表

推荐的湿度测量仪表有相对湿度传感器、干湿球湿度计以及冷镜露点仪。在选择最合适的湿度测量仪表时，宜考虑经济性、应用性和不确定度等因素。

5.5 流量测量

5.5.1 概述

水流量比蒸汽流量更容易测量而且测量更准确，如有可能，最好将试验设计成测量水流量的方式，然后计算蒸汽流量。测量水流量时，流经流量测量装置的水不应汽化。为避免汽化，最小的喉部静压应比水流温度对应的饱和压力大，至少比流量测量装置喉部动压头大 20%。测量蒸汽流量时，蒸汽状态应保持过热状态，否则，应采用测量冷却后凝结水的流量。

流量可用下述方法测量：

- 校验过的容积量箱或称重量箱；
- 根据试验双方的协定，利用校验过的喷嘴或标准孔板测量（见 GB/T 2624）；
- 校验过的超声波流量计；
- 校验过的涡轮流量计；
- 非放射性或放射性示踪剂技术（见 GB/T 8117.1 和 DL/T 983）。

由于采用称重量箱或容积量箱测量流量是不现实或不经济的，常用的确定流量方法是采用差压式流量计（孔板、喷嘴和文丘里管）、质量流量计（科里奥利流量计）、超声波流量计、机械式流量计（涡轮和容积式流量计）和示踪剂技术。表 3 给出了适用于不同应用场合的建议（R）、可接受（A）和不推荐（N）的流量测量装置。

DL/T 983 和 ASME PTC 12.4 描述了两相混合物流动的情况下，测量湿蒸汽流量和湿度的方法。采用示踪剂技术的测量方法，详见 5.7.2 和附录 A。

所有的信号电缆应该有一个接地的屏蔽或双绞线来排除附近电气设备的感应电流。所有的信号电缆应远离产生电磁场的设备，如电动机，发电机，电气导管，电缆桥架和电气服务面板。

如果没有显示中间结果和用于计算的数据，则计算机打印输出或计算机显示的质量流量是不可接受的。对于差压式流量计，中间结果将包括流出系数、热膨胀校正后的直径和膨胀系数等。原始数据包括静压、差压和温度。

对于机械式流量计，中间结果包括计算中使用的仪表常数，以及如何根据仪表的校准曲线计算流量。原始数据包括频率、温度和压力。

对于任何流量测量装置，都需要获得流体密度这一中间结果。

表 3 不同流体类型的测量装置的使用建议

流体类型	差压式流量计（孔板、喷嘴和文丘里管）	质量流量计（科里奥利）	超声波流量计	机械式流量计（涡轮和容积式）	示踪剂技术
水 ^a	推荐	推荐	可接受	可接受	可接受
蒸汽	推荐	不推荐	不推荐	不推荐	不推荐
两相混合物	不推荐	不推荐	不推荐	不推荐	推荐
^a 对于管径小于 76.2 mm 的水流量测量，推荐使用涡轮或容积式流量计。					

5.5.2 不确定度的要求

不确定度的要求将取决于所测量的参数和变量的类型。

如果本标准没有另外规定，则一类主要流量应使用仪表系统不确定度不大于 0.5%的流

量测量装置来测量。一类主要流量的测量装置应进行实验室校准。

使用二类主要流量的测量装置，对结果的相对不确定度贡献不大于 0.2%（即：相对灵敏系数乘以相对合成不确定度不大于 0.2%）。

如果满足不确定度要求并且仪表严格按照 GB/T 2624 的要求进行制造、安装和操作，二类主要流量可以使用差压式流量计的流量系数经验公式进行计算。用于二类主要流量测量的机械表流量计宜进行实验室校准。

5.5.3 流量测量装置

推荐使用差压式流量计（孔板，喷嘴和文丘里管）、科里奥利流量计、超声波流量计和机械式流量计（涡轮和容积式流量计）作为本标准推荐的流量测量装置。在选择最合适的流量测量装置时，应该考虑经济性、应用性和不确定度等因素。测量湿蒸汽流量和湿度，推荐采用示踪剂技术的测量方法。

在流量测量装置进行实验室校准时，应对整个流量测量装置进行校准。包括主要流量元件、上游和下游管段以及整流器。正确的机械校准方法应该在校准时复现流量计或主要流量元件的精确位置。流量测量管段应在运输和存储中保持无尘和无水分。只要有可能，最好将流量测量管段作为一个整体进行运输，而不是拆卸运输或安装。

5.6 湿蒸汽湿度和流量测量

5.6.1 概述

在某些地热发电应用场合，地热蒸汽为湿蒸汽，因此为了确定湿蒸汽的焓值，应先确定其水份的含量（湿度）。

确定湿蒸汽水份含量的常用的方法有：

- 节流热量计；
- 电加热量热计。

前者只有在地热蒸汽的品质和压力是在量热计中产生可测出的过热度的条件下才适用。后者不受此限制。然而，由于管道中湿蒸汽水份含量可能不均匀，难以获得具有代表性的样品，上述两种方法都可能得出错误的结果。

近年来，更准确的放射性或非放射性示踪剂的测量方法已被采纳和使用（见 GB/T 8117.1 和 DL/T 983）。

5.6.2 示踪剂技术

5.6.2.1 稀释法

采用稀释法的示踪技术是确定湿蒸汽中水相流量或湿度的一个精确方法。稀释法的基础是对水样中示踪剂浓度的测量。稀释法主要有凝结法和恒量注入法。

凝结法：当湿蒸汽全部凝结成水，示踪剂的浓度将由于蒸汽冷凝而被稀释。假设示踪剂在测量过程中不存在损失，通过示踪剂质量平衡计算即可求出湿蒸汽中的水分含量。

恒量注入法：将一已知浓度的示踪剂溶液以一已知的流率注入湿蒸汽流中，经充分混合之后，取出水样并测其示踪剂浓度。通过示踪剂质量平衡计算，即可求出注入点上游蒸汽中的水分含量。应注意保证混合均匀且取水样时不能附带有蒸汽。

采用稀释法的示踪技术详细介绍见附录 A。

5.6.2.2 示踪剂

示踪剂技术一般只需采集液相的样品，不需要采集汽相的样品。为了使测量结果的准确，示踪剂应满足下列要求：

- a) 易溶于水，但基本上不溶于汽（在试验蒸汽条件下，溶解度小于 0.1%）；
- b) 不挥发；
- c) 在各种工况下，化学特性保持稳定；
- d) 不吸附于内部表面（假定水不会完全蒸发）；

e) 任何情况下,均能与水充分均匀的混合。

示踪剂在满足上述要求的同时,也要考虑到示踪剂对热力系统中的材料的影响,以及对运行人员产生的危害。一般考虑采用钠、锂、钾和铯盐作为示踪剂。放射性示踪剂应采用半衰期较短的同位素,如 ^{24}Na ;非放射性示踪剂可选取 LiOH 、 Cs_2CO_3 、 LiNO_3 等。

非放射性示踪剂的注入和溶解平衡后,代表性取样较为简便,通过浓度的测定和示踪剂质量平衡计算,得到准确的试验结果,可满足试验不确定度的要求。

示踪剂浓度测量仪表采用质谱分析仪或原子吸收光谱仪,仪表测量精度为 $0.1\mu\text{g/L}$ 。

5.6.2.3 注入点和取样点

为使取样具有代表性,示踪剂应均匀地分布在液相中,因而示踪剂注入点与取样点应有足够长的距离,最好有几个弯头可使其混合充分。为使混合更为充分,如有必要,宜采用喷雾喷嘴进行注入。

因为取样水中如有任何蒸汽的凝结均会影响结果的准确性,所以在选择取样点的位置时要特别小心。在正常的运行工况和流速下,水在管道截面上分布并不均匀,而是大多集中在管壁处。这对取水样是有利的,可以简单采用壁孔方法来获取水样。宜利用重力和离心力的作用,把取样孔设在管子底部或弯头出口外侧,但不应设在流动死区。

对于管道较短的情况,示踪剂无法充分混合,不能采用该方法。

注入点和取样点之间与其他系统连接的管道,在试验期间应全部隔离。

控制并调整取样流量以防止蒸汽流出及蒸汽凝结后影响结果的准确性。在某一取样流量下,其浓度突然下降,表明出现了蒸汽凝结的现象。

5.7 电气参数测量

5.7.1 概述

用来评价机组性能的电气参数包括毛输出功率、净输出功率、功率因数和其他的辅助功率。本条款提供了确定这些参数测量的要求和指南。

本标准中没有包括的测量要求和信息,宜参考 ANSI/IEEE standard 120。

5.7.2 电气参数测量系统的接线

对以下三相发电系统,采用最少测量表计的方法如下:

- a) 三线制的发电机接线:两个单相表或一个两相表;
- b) 四线制的发电机接线:三个单相表或一个三相表。

5.7.2.1 三线制测量系统

典型三线制测量系统的例子如图 5 所示。由于连接的发电机类型不同,因此存在不同的三线制电力系统。在决定使用哪种适合的测量接线之前,推荐检查发电机的类型和现场布置。

三线制测量系统中的功率和能量可以由两个“开口三角形”连接的电压互感器 (PT) 和两个电流互感器 (CT) 来测量。用两表法来测量 Δ 形和 Y 形连接的发电机的功率。

可采用不同类型的测量表计来连接这些仪用互感器:两台瓦特表,两台电度表或一台两相电度表。推荐采用一个无功功率表来测量无功功率以确定功率因数,功率因数计算公式如下:

$$P_F = \frac{W_{\text{atts},t}}{\sqrt{W_{\text{atts},t}^2 + W_{\text{ars},t}^2}} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- P_F ——功率因数;
- $W_{\text{atts},t}$ ——三相总有功功率;
- $W_{\text{ars},t}$ ——三相总无功功率。

另外,对一个平衡的三线制正弦回路,功率因数也可用下面的公式计算:

$$P_F = \frac{1}{\sqrt{\left(1+3\left[\frac{W_{atts,AB}-W_{atts,CB}}{W_{atts,AB}+W_{atts,CB}}\right]^2\right)}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

P_F ——功率因数；
 $W_{atts,AB}$ ——AB 相的有功功率；
 $W_{atts,CB}$ ——CB 相的有功功率。

5.7.2.2 四线制测量系统

典型的四线制测量系统如图 6 所示，除“开口三角形”连接的发电机外，在 5.7.2.1 中所描述的所有三线制系统都可以用本节所描述的四线制测量系统来测量。

四线制测量系统中功率和能量可以由三个电压互感器（PT）和三个电流互感器（CT）来测量。可采用不同类型的测量表计来连接这些仪用互感器：三台有功/无功功率表，三台有功/无功电度表或一台三相有功/无功电度表。

功率因数可以由有功功率表和无功功率表的读数来计算，见公式（5）。

另外，功率因数也可根据测量的每相的电压和电流值，由下面的公式来计算：

$$P_F = \frac{W_{atts,t}}{\sum V_i I_i} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

P_F ——功率因数；
 V_i ——三相中的每一相电压值；
 I_i ——三相中的每一相电流值。

5.7.3 仪用互感器

5.7.3.1 概述

采用仪用互感器是为了降低电压和电流值以方便测量，典型降低后的电压和电流值分别为 120 V 和 5 A。另外，仪用互感器能在试验期间将可能存在于回路中的高电压与测量仪表隔离开来。仪用互感器的使用方法见 ANSI/IEEE Standard C57.13。

互感器回路中的阻抗应在整个试验期间是一个定值。继电保护设备和稳压器不应与用于试验的仪用互感器相连。如果总的负荷已知，并且在校准数据的范围内，则常规的电厂仪表可与试验互感器相连。

5.7.3.2 电压互感器

电压互感器测量相间电压或相电压。电压互感器用于将线路电压或一次电压（通常电压很高）转换为较低的二次计量电压，以保证安全计量（典型情况下，相间电压为 120 V，相电压为 69 V）。为此，采用互感器测量的二次电压应乘以一个标称变比来计算一次电压。

电压互感器有几种计量准确度等级。对于一类或二类主要电压的测量，应使用 0.3% 或更好的准确度等级（计量型）电压互感器。对于一类主要电压测量，电压互感器应进行匝数比和相角校准，并在额定负载范围内运行。校准的方法宜允许确定匝数比和相角分别为 $\pm 0.1\%$ 和 $\pm 0.9 \text{ mrad}$ 的不确定度。校准应包括变比和相角测试，在额定频率的零负载和最大标准负载下，从一次电压额定值的 90% 到 110% 进行测试，最大标准负载时，电压互感器的准确度等级最高。这种修正的大小取决于负载（连接到互感器的仪表的数量和种类），以及在功率测量的情况下，被测设备的功率因数。在小负载时，变比通常比标称值低 0.1% 至 0.3%，而相角变化通常可以忽略不计，或稍微超前。试验过程中存在的实际负载应适用电压互感器变比修正系数。实际伏安负载应以导线阻抗计算或直接测量确定。宜参考 ANSI/IEEE Standard C57.13 中的相关公式，来确定互感器变比修正系数（RCFc）的分析结果。宜确定连线电压降，并进行修正。

使用电压互感器时，宜注意避免二次回路短路。二次回路可以随时打开。

5.7.3.3 电流互感器

电流互感器测量给定相的电流。电流互感器用于将线路电流或一次电流（通常非常高）转换为较低或二次计量电流。出于这个原因，电流互感器测量的二次电流应乘以一个标称变比来计算一次电流。

电流互感器有几种计量准确度等级。对于一类或二类主要电流的测量，应使用 0.3%或更好的准确度等级（计量型）电流互感器。推荐用于主要电流测量的电流互感器，在零外部负载（0 VA）下进行匝数比和相角的校准，并且在额定一次电流的 10%和 100%下，至少有一个负载超过了试验期间所预期的最大值。在确定匝数比和相角修正系数时，可以使用由工厂类（设计）测试得到的精度测试结果。工厂类测试通常在每个设计组中至少一个互感器上进行，这些互感器在特定的测试中可能具有不同的特性。电流互感器在测试过程中应在额定负载范围内工作，并应接近额定电流的 100%，以尽量减少仪表误差。

在额定电流输出附近，电流互感器的变比和相角修正可能忽略不计，因为它们对测量不确定度的影响很小，但是，在实际试验条件下，如果变比或相角的修正系数预计超过 0.02%，则宜采用实际修正系数。

5.7.3.4 仪用互感器的连接

电压和电流测量装置的接线应在升压变压器的发电机侧，并尽可能靠近发电机端。电流的接线可以在功率回路的任一外部连线的发电机侧，只要功率可以进入或离开这个回路。

应布置好与仪表连接的线路，使得电感或其他类似的原因不会影响仪表的读数。可使用双绞屏蔽线来减小仪表连线的感应系数。有杂散电场时，需要检查整个仪表的布置情况。

为了减小电压回路的电压降，应根据配线的长度，互感器回路的负荷和保险丝的电阻来选择导线尺寸。应考虑导线电阻（包括保险丝）所引起的测量误差，可通过直接测量电压降或通过计算得到。

5.7.3.5 使用机组现有的互感器

如果机组现有的电压或电流互感器达到了本标准的要求也可用于试验。

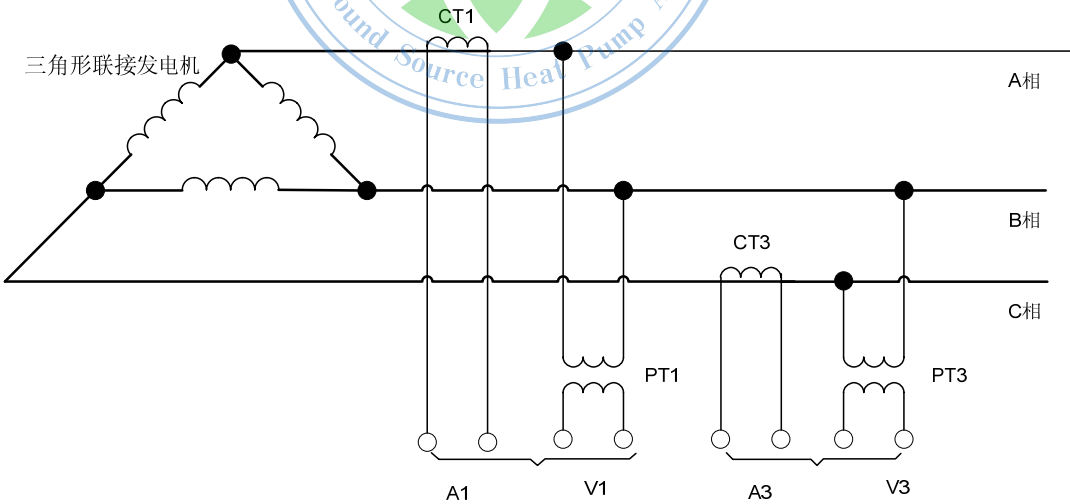


图 5 三线制测量系统

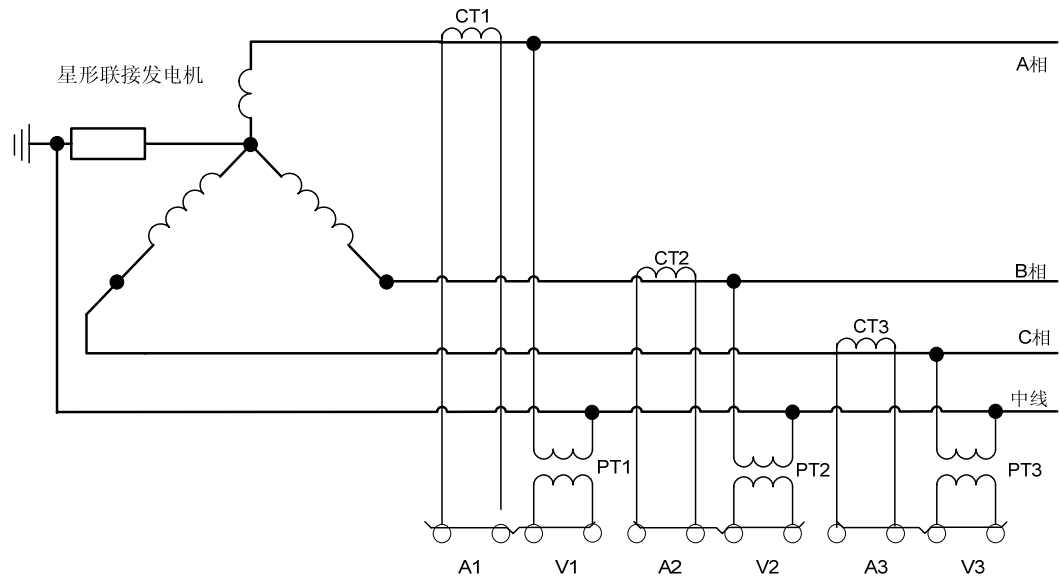


图 6 四线制测量系统

5.7.4 电气测量仪表

下列五种类型的电气测量仪表：

- a) 瓦特表；
- b) 电度表；
- c) 无功功率表；
- d) 无功电度表；
- e) 功率因数表。

可以使用单相或多相计量仪表。

5.7.4.1 瓦特表

瓦特表测量瞬时有功功率。在试验测量期间，应频繁测量瞬时有功功率，并计算其平均值以确定试验期间的平均有功功率（kW）。如果需要总有功电能（kWh），则可以用平均有功功率（kW）乘以试验持续时间（h）得到。

测量一类主要有功功率（例如净有功功率或毛有功功率）的瓦特表，系统不确定度不大于读数的 0.2%。测量二类主要有功功率的瓦特表的系统不确定度不大于读数的 0.5%。测量次要有功功率的瓦特表没有准确度要求。瓦特表的输出应以足够高的频率进行采样，以使随机不确定度可接受。一般要求读数频率每分钟不少于一次。

5.7.4.2 电度表

电度表在试验期间测量有功电能（kWh）。电度表的测量结果除以试验持续时间（h），可以得到试验期间的平均有功功率（kW）。

测量一类主要有功功率（如净有功功率或毛有功功率）的电度表，系统不确定度不大于读数的 0.2%。测量二类主要有功功率的电度表其，系统不确定度不大于读数的 0.5%。次要有功功率测量没有准确度的要求。

电度表输出的分辨率通常很低，以至于在典型的试验测量期间可能得到非常不准确的结果。通常，具有较高分辨率的模拟或数字输出可提高电度表的分辨率。有些电度表还有一个脉冲型输出，可以在一段时间内累加，以确定试验期间的准确总电量。对于没有外部输出的磁盘式电度表，可以在试验过程中对磁盘转速进行计数，以提高分辨率。

某些电子式电度表还会显示闪烁光亮或有可计时的液晶显示器，用来确定发电机功率输

出的磁盘转速。在这种情况下，通常可以通过对离散的可重复事件进行计时（例如，一定量的 LCD 的闪烁数量或磁盘的完整旋转圈数），而不是在固定时间内对事件进行计数（例如，在 5 分钟内磁盘旋转的圈数），来实现更高的分辨率。

5.7.4.3 无功功率表

无功功率表测量瞬时无功功率。无功功率测量通常用于四线制系统来计算功率因数，见 5.7.2.2。在试验测量期间，应频繁测量瞬时无功功率，并计算其平均值以确定试验期间的平均无功功率（kvar）。如果需要总的无功电能（kvarh），则可以用平均无功功率乘以试验测量时间（h）得到。

测量一类或二类主要无功功率表，系统不确定度不大于 0.5%。次要无功功率测量没有准确度要求。无功功率表的输出应以足够高的频率进行采样，以使随机不确定度可接受。一般要求读数频率每分钟不少于一次。

5.7.4.4 无功电度表

无功电度表在试验期间测量无功电量（kvarh）。无功电度表的测量结果（kvarh）除以试验持续时间（h），可得到试验期间的平均无功功率（kvar）。

测量一类或二类主要无功电量的无功电度表，不确定度不大于量程的 0.5%。次要变量测量没有准确度要求。

无功电度表输出的分辨率通常很低，以至于在典型的试验测量期间可能得到非常不准确的结果。通常，具有较高分辨率的模拟或数字输出可提高无功电度表的分辨率。一些无功电度表也有一个脉冲型输出，可以在一段时间内相加，以确定试验期间的准确的总电量。对于无外部输出的磁盘式无功电度表，可以在试验期间对磁盘转速进行计数，以提高分辨率。

5.7.4.5 功率因数表

在平衡负载和频率条件下，可以使用三相功率因数传感器直接测量功率因数。功率因数传感器的不确定度应不大于功率因数示值的 1%。

5.7.4.6 电厂仪表

电厂仪表如果能够达到本标准的全部要求，可用来测量任一电气参数。

5.7.5 电气参数测量设备的校准

5.7.5.1 瓦特表和电度表的校准

瓦特表和电度表统称功率表。同时通过加载一个功率到被校功率表和标准功率表进行校准。宜在预期的功率范围内至少五个功率水平上进行比较。宜计算每个功率水平的被校表和标准表读数之间的差异，并用于试验功率测量数据的校正中。对于校准功率水平之间的测试点，宜使用曲线拟合或线性插值的方法进行校正。校准时，宜以递增和递减的方式接近所选定的功率值。宜对每个功率水平上的校准数据进行平均，以减小任何滞后效应。如果使用多相计量设备，每相的输出应可用，或者应同时对所有三相进行校准。

在校准电度表时，标准瓦特表的输出宜以足够高的频率进行测量，以减少校准过程中的随机误差，从而使校准过程的总不确定度满足要求。平均瓦特表输出乘以校准的时间间隔得到的结果，与电度表输出进行比较。

5.7.5.2 无功功率表和无功电度表的校验

校准无功表和无功电度表，应采用一台无功标准表或一台瓦特标准表和一台高准确度的相角测量仪。另外，用于标准表和被校仪表供电的设备应具有相移的能力，以产生几个不同的稳定功率因数。这些不同的功率因素会在仪表的校准范围内产生无功功率。

如果采用无功标准表，则宜使用 5.7.5.1 所述的瓦特表的校准方法。如果使用瓦特标准表和相角测量仪，则宜同时测量标准表、相角测量仪和被校仪表。无功功率应根据平均瓦特值和平均相位角计算。

校准无功表时，标准无功表或标准瓦特表和相角测量仪组合的输出宜以足够高的频率进

行测量,以减少校准过程中的随机误差,从而使校准过程的总不确定度满足要求。平均无功表输出乘以校准时间间隔得到的结果,与无功电度表输出进行比较。

如果使用多相计量设备,每相的输出应可用,或者应同时对所有三相进行校准。

6 试验结果的计算

6.1 计算前的准备

利用试验过程中的仪表读数,按 3.3 所述定义计算试验结果。

试验结果计算之前,应在整个读数期间选取一段时间段作为正式试验时间段,其不能少于 4.8.3 所规定的试验持续时间。在选定的这段时间内,运行工况与保证工况的参数偏差应满足表 2 的规定。

选择的试验期间的开始与结束时刻的所有仪表,包括一些积算式仪表的读数以及相应的计时读数都应有效。

6.2 结果的计算

6.2.1 仪表读数平均值的计算

按 6.1 选取的时间段,计算每一测量仪表读数的平均值。

以线性关系影响测量结果的变量,取算术平均值。对于流量测量装置的差压读数,理论上正确的计算方法是采用读数平方根的算术平均值。如果读数间的偏差小于 10%,若不采用读数平方根的算术平均值来计算,由此引起的最大可能误差不会大于 0.1%。

如果将积算式仪表的读数与指示仪表读数的平均值作比较,重要的是要确保读数取在同一段时间内。在计算平均值时指示仪表的第一个和最后一个读数只能取半权。

6.2.2 平均值的修正和换算

由读数的平均值换算到所需单位的计算值时,要对仪表引起的所有影响进行修正,这些修正包括:

- a) 仪表常数和零位修正;
- b) 校准修正;
- c) 仪表读数的基准值(如大气压力,环境温度);
- d) 任何附加影响(如水柱)。

6.2.3 测量数据的检查

6.2.3.1 相容性

对测量数据如压力、温度和流量,在计算之后应做一次彻底检查,检查有无严重的错误、不符物理定律和总体不相容的现象。如果发现有重大偏差,其原因和范围又不明,则该项试验应全部或部分重做。为了澄清事实,应做适当的附加测量。对那些明显不正确的仪表读数应予以删除。经试验有关各方商定,这些数据可由其它仪表的读数代替,或用适当的计算或估算值代替。

6.2.3.2 多重测量数据处理

当同一变量由数台相互独立的仪表测得时,应以一适当的方法求其平均值,通常是用算术平均值。

6.2.3.3 泄漏

在试验前,应尽可能发现泄漏并将其消除。假若任何已找出的泄漏不能消除,其流量应测量或者估算。凡引起工质损失的不明泄漏量,假若需要考虑,也应估计其流量及其泄漏地点。

6.2.4 蒸汽和水的热力学特性

用于计算保证值和试验结果的蒸汽和水的热力学特性,应由买卖双方协商并且在合同中规定。

推荐采用由国际水和蒸汽性质协会 1997 年发布的水和蒸汽热力性能的工业用公式 (IAPWS-IF97) 或由 IAPWS-IF97 导出的表和图。IAPWS-IF97 已代替 1967 年国际公式化委员会 (IFC) 的工业用公式。

6.2.5 结果的计算

地热发电机组性能指标应按保证值的定义 (见 3.3) 进行计算。

6.3 结果的修正

6.3.1 概述

试验边界参数和机组运行模式与保证工况之间的差别对性能结果的影响需进行修正计算。

修正曲线是通过包含在试验边界内的机组集成热平衡模型计算而得到。在合适的偏差范围内, 通过只改变某一参数与基准值的偏差, 根据热平衡模型计算出其修正系数, 并绘制出修正曲线。

有些修正只在与设计参考条件有较大偏差时才显得重要, 否则, 这些修正可以忽略不计。如果试验前不确定度分析显示该特定参数的修正量对试验修正结果的影响小于 0.05%, 那么该修正就可以忽略, 否则, 应对该参数进行测量。

6.3.2 机组净输出功率的修正

6.3.2.1 修正公式

将机组净输出功率修正到保证工况时, 所有影响地热发电机组功率的试验边界参数和运行模式偏离都应考虑。

修正后机组净输出功率为:

$$N_{\text{corr}} = \frac{N_{\text{net}}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9} \quad (8)$$

式中:

- K_1 —— 地热流体入口压力的功率修正系数;
- K_2 —— 地热流体入口温度的功率修正系数;
- K_3 —— 地热流体入口干度的功率修正系数 (对汽水两相地热流体);
- K_4 —— 冷源参数的功率修正系数;
- K_5 —— 辅助功率的功率修正系数;
- K_6 —— 发电机功率因数的功率修正系数;
- K_7 —— 发电机冷却气体压力的功率修正系数;
- K_8 —— 偏离设计运行配置的功率修正系数;
- K_9 —— 不凝气体的功率修正系数。

6.3.2.2 修正系数

a) 入口压力、入口温度和入口干度修正

- 如果地热流体是单相热水, 只需要使用入口温度修正系数, 则 $K_1 = 1$ 和 $K_3 = 1$ 。
- 如果地热流体是过热蒸汽, 需要使用入口压力和入口温度修正系数, 则 $K_3 = 1$ 。
- 如果地热流体是汽水两相流, 或者使用入口压力和入口干度修正系数, 则 $K_2 = 1$; 或者使用入口温度和入口干度修正系数, 则 $K_1 = 1$ 。

b) 冷源参数修正

冷源参数的修正应根据试验系统的边界条件和机组的系统配置, 合理选择使用循环水温度和流量、凝汽器压力、空冷式凝汽器进口空气参数进行冷源修正。

- 如果冷却塔或空冷式凝汽器包含在试验边界内, 则需对冷却塔或空冷式凝汽器进口空气参数进行修正。通常, 对于干式冷却塔或空冷式凝汽器, 适用的进口空气修正参数是干球温度和大气压力。

- 如果冷却塔或空冷式凝汽器不包含在试验边界内,则根据测得的循环水温度和流量进行修正;
- 如果凝汽器不包含在试验边界内,则根据测得的凝汽器压力进行修正。

图 7、图 8 和图 9 分别给出了与这些修正系数对应的典型机组试验边界。

c) 辅助功率的修正

辅助功率修正是针对在试验条件下的非设计辅助功率的修正,用于补偿不规则、周期性、间歇性或偏离设计的辅助功率对结果的影响。

d) 发电机功率因数的修正

发电机的输出应修正到设计功率因数下。

e) 发电机冷却气体压力的修正

发电机冷却气体(一般是氢气或者是空气)压力应修正到设计压力下。

f) 偏离设计运行配置的修正

当采用进汽阀全开工况的运行配置试验时,如果机组进汽阀(调节阀)未全开,则应对阀门开度偏离设计值进行功率修正。当采用其他机组运行配置试验时,也宜根据实际情况对偏离设计运行模式进行功率修正,如规定地热流体流量运行配置的试验。

6.3.3 单位质量地热流体净发电量和机组净热效率的修正

单位质量地热流体的净发电量和机组净热效率是地热发电机组整体的性能指标。根据 6.3.2,得到修正到保证试验边界参数和运行模式下机组的净输出功率。

一旦功率被修正到保证试验边界参数和设计运行模式下,地热流体输入的流量和热能均会相应地发生变化,在计算性能指标时应考虑变化。对于蒸汽的发电机组,宜根据阀门开度和进汽参数对进汽流量进行修正(见 GB/T 8117.1)。对其他类型的发电机组,也宜根据实际情况对地热流体流量进行修正。

修正后单位质量地热流体的净发电量由修正后净输出功率与修正后地热流体质量流量之比得到。

$$w_{\text{corr}} = \frac{N_{\text{corr}}}{3600m_{\text{corr}}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

修正后机组净热效率可以由修正后净输出功率与修正后地热流体热能之比得到。

$$\eta_{\text{corr}} = \frac{\eta_{\text{net}}}{Q_{\text{corr}}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

其中,修正后地热流体热能计算公式如下:

$$Q_{\text{corr}} = m_{\text{corr}} \cdot h_{\text{desg}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

6.4 与保证值的比较

因为系统终端参数和运行模式等条件对试验结果有决定性的影响,因此所有这些都应完全、清楚地予以定义,并形成规定的保证工况。它们是保证值的一部分。

报告中的试验结果应由观测数据计算得到,并计及有关测量任何的修正。修正后的试验结果再与保证值进行比较。

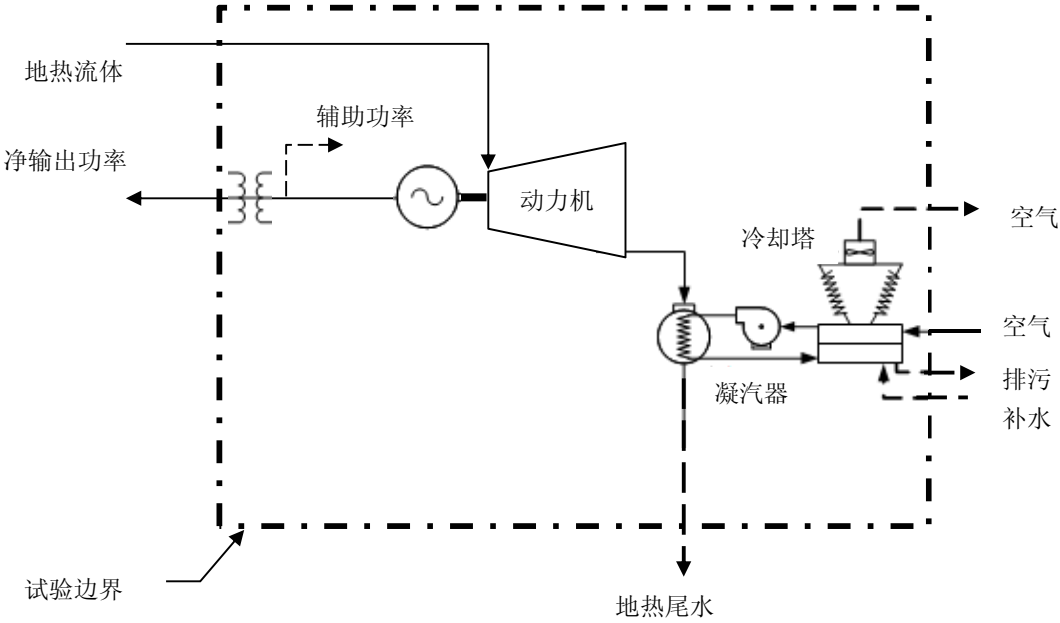


图 7 典型试验边界（冷却塔包含在试验边界内）

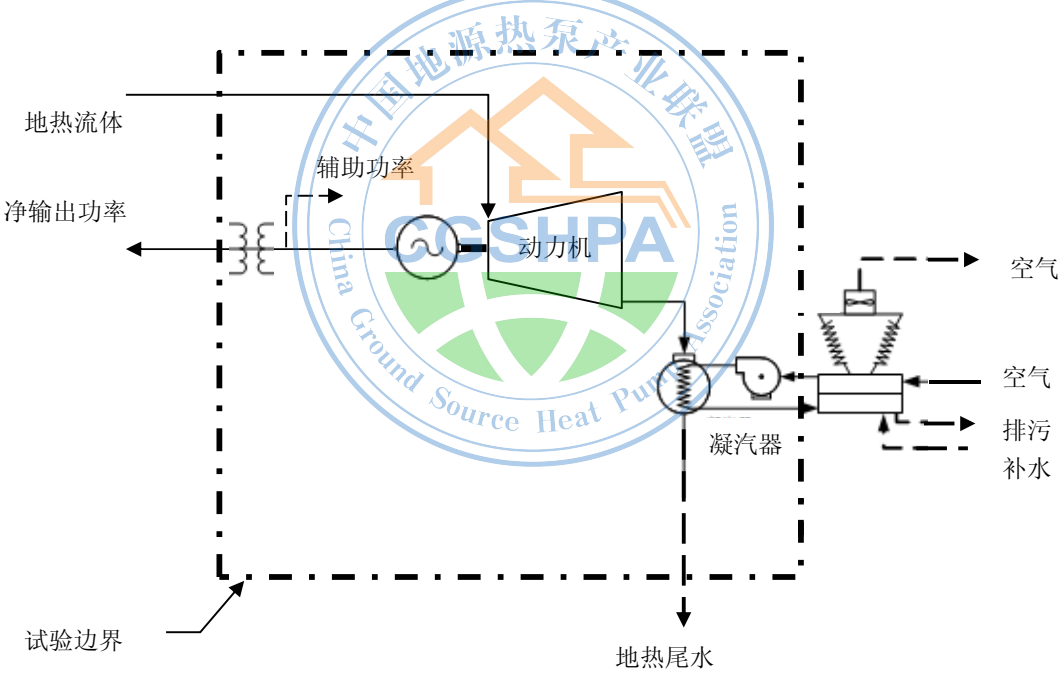


图 8 典型试验边界（冷却塔不包含在试验边界内）

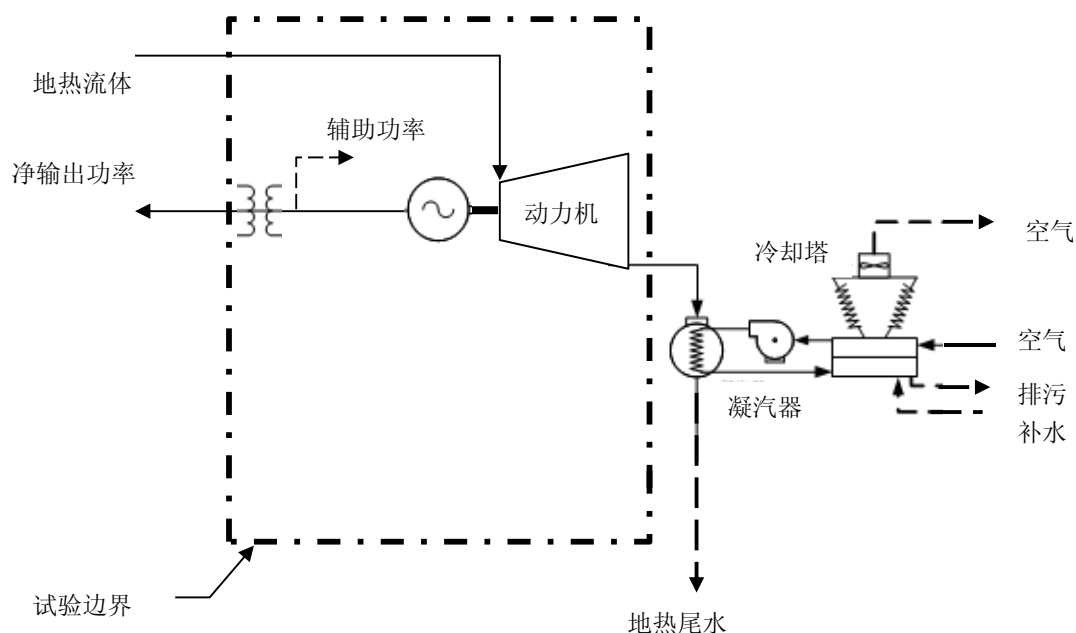


图9 典型试验边界（凝汽器不包含在试验边界内）

7 结果报告

7.1 一般要求

试验报告应简明扼要地提供与试验相关的所有文件和信息。下面列出了在推荐的试验报告格式中的一般性要求。

如果包含 7.2~7.7 所描述的所有信息，其他格式的报告也可以接受。

7.2 摘要

摘要应对试验进行简洁的概述。对试验进行最终陈述，包括提供以下信息：

- 试验背景信息，如工程名称、地点、日期和时间；
- 业主和识别信息；
- 机组类型，循环和运行配置；
- 参加和负责试验的各方；
- 试验目的和范围；
- 试验结果摘要和试验结论，包括不确定度；
- 与合同保证值的比较；
- 与参加试验各方达成协议的试验要求的偏差。

7.3 概述

概述部分应有试验背景和试验范围的一个详细说明，也包括在摘要中没有提到的关于机组和试验的其他信息。本部分宜至少包括下面的基本信息：

- 简要的设备运行历史和投入商业运行的日期(如果有必要的话)；
- 对要进行试验的设备和所有影响试验的附属设备的描述；
- 显示试验边界和试验数据的循环系统图；
- 参加试验各方代表的名单；
- 在摘要中没有包括的试验前协议；
- 试验组织机构；
- 试验目的。

7.4 测量仪表

本部分应包括所有用于试验仪表的详细说明。下面为仪表信息一些要求：

- a) 提供用于试验的 1 级和 2 级测量仪表的表格，包括类型、制造厂家、型号和准确度等级；
- b) 对测量仪表各自测量位置，连接和识别标签号或地址的详细描述；
- c) 每个试验仪表的校验信息的可追溯文件；
- d) 备用仪表的标识；
- e) 每个数据点数据的采集方法，例如临时性或永久性的数据采集系统或手工记录表格；
- f) 所用数据采集系统的说明和规范；
- g) 试验前和试验后仪表校准的总结。

7.5 计算和结果

计算和结果部分应包括所有用于试验结果和不确定度分析的假设、数据整理、计算、修正和分析的详细说明。所需信息的清单如下：

- a) 用于计算试验结果的所有公式，包括基于试验目的和适用修正项目的通用性能计算公式；
- b) 为计算结果需要整理的数据，以及其他没有包括在这些数据中的运行参数表；
- c) 从数据整理开始的详细试验结果计算过程；
- d) 根据可用数据对一类主要流量的详细计算，如果需要的话，还包括中间的计算结果；
- e) 直接引用的标准转换、科学常数和特性信息；
- f) 因异常值或其他原因而删除数据，对此提供信息和计算的支持；
- g) 表明试验的重复性。

7.6 结论

若要对试验结果做更详细的讨论，或由试验获得的经验教训为将来试验程序改进提出的任何建议，宜包括在结论部分。

7.7 附录

附录部分宜给出不适合放在试验报告正文中的其他信息。包括但不限于下面的信息：

- a) 原始数据表格和数据采集系统打印的原始数据的复印件；
- b) 用于试验结果计算的修正曲线的复印件；
- c) 试验期间的运行信息，例如，运行日志、控制系统的打印输出或其他运行记录的复印件；
- d) 签字的阀门操作清单和其他表明所需试验配置和运行方式的文件的复印件；
- e) 实验室给出的测量仪表的校验报告和生产商的合格证书；
- f) 打印的原始数据。

8 试验不确定度

8.1 概述

试验不确定度是试验结果误差极限的估计。它是一个试验结果的区间，包含一个给定的概率或置信水平的真实值。它是利用概率论、仪表信息、计算程序和实际试验数据进行计算的基础。本标准要求以 95% 的置信水平来报告不确定度。

8.2 试验前不确定度分析

需要进行试验前不确定度分析。允许在试验之前采取纠正措施，或者将不确定度降低到与试验总体目标一致的水平，或者在达到试验目标的同时降低试验成本。不确定度分析也有助于确定所需的试验读数次数。

8.3 试验后不确定度分析

试验后的不确定度分析需要确定实际试验结果的不确定度区间。试验后不确定度分析应

对试验前不确定度分析的假定进行验证。尤其应该检查数据是否发生突然变化和异常。应该通过确定每个测量的自由度和标准偏差来检查随机误差的假设。这个分析可用来验证试验结果的质量，或者发现问题。

8.4 不确定度分析输入内容

为了对机组整体进行不确定度分析，需要利用试验测量值来估计各参数测量的不确定度，以及测量值对修正后结果的灵敏系数。估计不确定度和计算灵敏系数的方法见 ASME PTC 19.1。

在试验前和试验后不确定度分析时，宜考虑下列内容：

- a) 校准方法；
- b) 仪表的线性或非线性；
- c) 空间不确定度；
- d) 校准方法和相应的回归方法；
- e) 仪表的实际与设计使用条件的对比；
- f) 信号退化、操作、压缩或读取前的死区应用。



附录 A
(资料性附录)
示踪技术

为了确定湿蒸汽的质量流量和湿度,并获得湿蒸汽焓值,推荐采用稀释法的示踪技术(见 GB/T 8117.1 和 GB/T 8117.3)。

A.1 方法

采用稀释法的示踪技术主要有凝结法和恒量注入法。可以采用放射性或非放射性示踪剂。

a) 凝结法

溶解在湿蒸汽水相中的示踪剂浓度为 C_w ,当蒸汽全部凝结成水之后,凝结水中的示踪剂浓度为 C_{cnd} ,这两个浓度值之间的关系如下:

$$m_w \cdot C_w = m_{cnd} \cdot C_{cnd} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

m_w ——湿蒸汽中水相的质量流量;

m_{cnd} ——湿蒸汽全部凝结成水的质量流量。

从试验测得凝结前后示踪剂的浓度,计算蒸汽湿度 W 公式如下:

$$W = \frac{m_w}{m_{cnd}} = \frac{C_{cnd}}{C_w} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

蒸汽干度 (x):

$$x = 1 - W \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

b) 恒量注入法

将浓度为 C_{inj} 的水溶性示踪剂以一恒定的流量 m_{inj} 注入到需要测定湿度的湿蒸汽中。在注入点的下游经充分混合之后,测得湿蒸汽水相中的示踪剂浓度为 C_w ,示踪剂质量平衡公式如下:

$$m_w \cdot C_0 + m_{inj} \cdot C_{inj} = (m_w + m_{inj} + \Delta m_w) \cdot C_w \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

或

$$m_w = \frac{m_{inj} \cdot (C_{inj} - C_w) - \Delta m_w}{C_w - C_0} \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

m_w ——取样点处湿蒸汽中水相的质量流量;

C_0 ——在注入之前由于自然存在造成其在取样点处水相中示踪剂的初始浓度(背景浓度);

Δm_w ——湿蒸汽中水相的质量流量变化(因注入冷的示踪剂溶液而引起蒸汽的凝结)。

公式(A.4)的先决条件是示踪剂溶于水相中而不溶于汽相中。由于即使在注入截面的上游,水流中仍通常具有一定的示踪剂背景浓度,所以公式(A.5)中考虑了示踪剂背景浓度和湿蒸汽中水相的质量流量变化。

实际应用时,通常, $C_w \ll C_{inj}$, $C_0 \ll C_w$, $\Delta m_w \ll m_w$ 。

因而,公式(A.5)简化为:

$$m_w = m_{inj} \cdot \frac{C_{inj}}{C_w} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

作为节流装置的替代流量测量装置,恒量注入示踪方法能用于单相水(液体)质量流量的精密测量。通过采用放射性示踪剂,能达到 $\pm 0.2\%$ 的测量不确定度。经比较证实,示踪测量的结果与由校正过的节流装置所获得的结果非常吻合。

示踪剂通常是连续注入，每次试验前要用经过校验的孔板来测量其质量流量 m_{inj} 。孔板只应在校验范围内使用，因此， m_{inj} 的测量不确定度一般约为 $\pm 0.1\%$ 。

A.2 确定扩容分离器入口湿蒸汽的湿度和焓值

扩容分离器入口湿蒸汽水相流量 m_w 采用恒量注入法测量确定。通过测量扩容分离器分离后水中的示踪浓度 C_L ，由示踪剂质量平衡计算出分离后水的质量流量 m_L ，则由扩容分离器的质量和能量平衡计算扩容分离器入口湿蒸汽的湿度和焓值。扩容分离器入口湿蒸汽的湿度和焓值测量计算示意图见图 A.1。

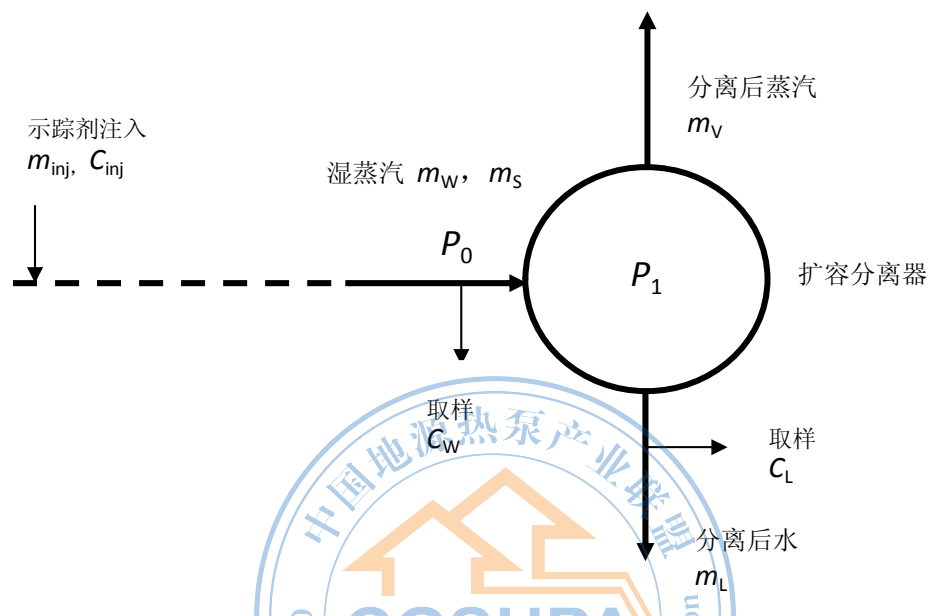


图 A.1 扩容分离器入口湿蒸汽的湿度和焓值测量计算示意图

根据扩容分离器示踪剂质量平衡，分离后水的质量流量公式：

$$m_L = m_w \cdot \frac{C_w}{C_L} \quad \text{..... (A. 7)}$$

式中：

- m_w —— 扩容分离器入口处湿蒸汽中水相的质量流量；
- C_w —— 扩容分离器入口处湿蒸汽中水相的示踪剂浓度；
- m_L —— 扩容分离器分离后水的质量流量；
- C_L —— 扩容分离器分离后水的示踪浓度。

假设扩容分离器没有质量和能量损失，且汽水分离效率 100%，根据质量平衡和能量平衡，列出以下公式：

$$m_w + m_s = m_L + m_v \quad \text{..... (A. 8)}$$

$$m_w \cdot h_w + m_s \cdot h_s = m_L \cdot h_L + m_v \cdot h_v \quad \text{..... (A. 9)}$$

式中：

- m_s —— 扩容分离器入口处湿蒸汽中汽相的质量流量；
- m_v —— 扩容分离器分离后蒸汽的质量流量；
- h_w —— 扩容分离器入口处压力 P_0 下饱和水焓；
- h_s —— 扩容分离器入口处压力 P_0 下干饱和蒸汽焓；
- h_L —— 扩容分离器压力 P_1 下饱和水焓；
- h_v —— 扩容分离器压力 P_1 下干饱和蒸汽焓。

根据式 (A. 8) 和式 (A. 9)，计算扩容分离器入口处湿蒸汽中汽相的质量流量，得到入

口湿蒸汽的湿度和焓值。

A.3 确定凝汽式地热发电机组入口湿蒸汽的湿度和焓值

凝汽式地热发电机组入口湿蒸汽中水相流量 m_w 采用恒量注入法测量确定，见式(A.6)。假设地热蒸汽经过地热发电机组没有泄漏损失，蒸汽全部经凝汽器凝结成水。由凝结法，通过测量凝汽器出口凝结水的示踪浓度 C_{cnd} ，计算出入口湿蒸汽的湿度，见式(A.2)。凝汽式地热发电机组入口湿蒸汽的湿度和焓值测量计算示意图见图A.2。

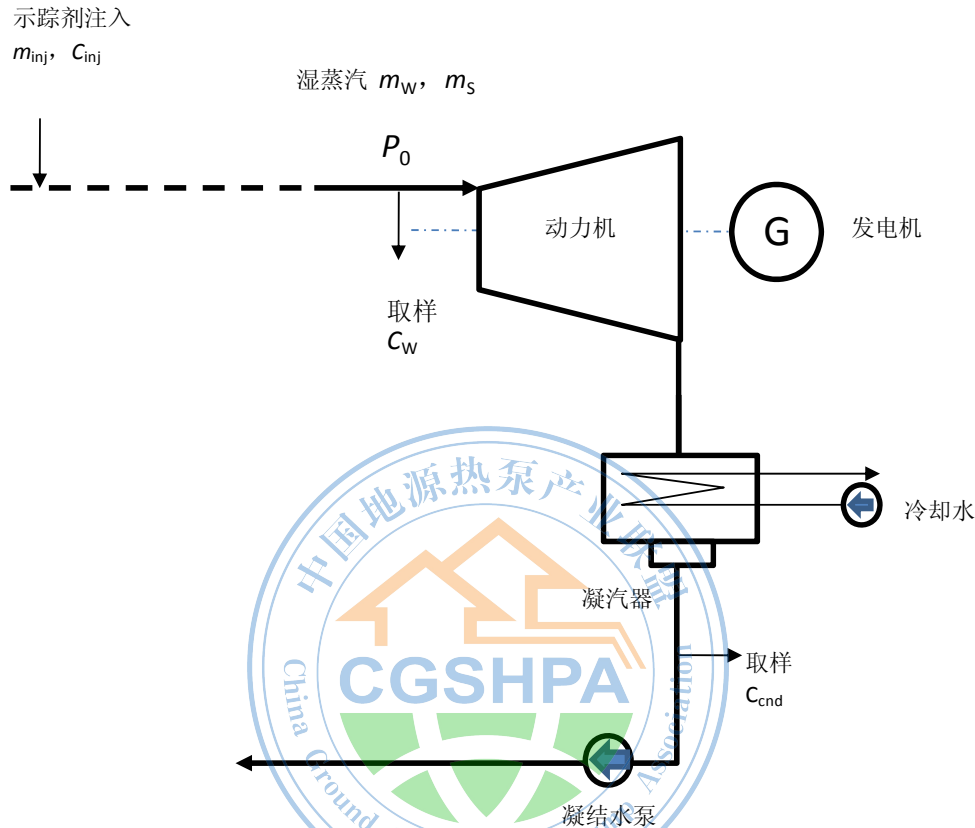


图 A.2 凝汽式地热发电机组入口湿蒸汽的湿度和焓值测量计算示意图

A.4 两个截面之间的蒸汽湿度关系

如果两个截面的蒸汽流速和压力不同，则蒸汽湿度也会有所差别。已知截面1处的蒸汽湿度，如果忽略两个截面之间的散热损失，建立能量平衡，可得到截面2处的蒸汽湿度与截面1处的蒸汽湿度存在如下关系：

$$W_2 = \frac{1}{h_{w2} - h_{s2}} \left[W_1 \cdot (h_{w1} - h_{s1}) + h_{s1} - h_{s2} + \frac{1}{2} V_1^2 - \frac{1}{2} V_2^2 \right] \quad \text{..... (A.10)}$$

式中：

- W_1 —— 截面1处的蒸汽湿度；
- W_2 —— 截面2处的蒸汽湿度；
- h_{w1}, h_{w2} —— 截面1处、截面2处的饱和水比焓；
- h_{s1}, h_{s2} —— 截面1处、截面2处的干饱和蒸汽比焓；
- V_1, V_2 —— 截面1处、截面2处的湿蒸汽流速。

A.5 不确定度

对于放射性和非放射性的示踪剂，流量测量的不确定度在0.2%~1.0%的范围内。中等测量准确度水平的测量装置（包括所有影响因素在内）不确定度能够达到0.5%~1.0%。随着费用的增加，测量不确定度可达到0.2%（参见GB/T 8117.3）。

因此，采用示踪剂技术测量流量，不确定度将与未校正的孔板相同或更好。

A.6 安装条件

示踪剂有放射性示踪剂和非放射性示踪剂。放射性示踪剂比非放射性示踪剂有更高溶解度的优点，即测量时需要极少量的示踪剂。而非放射性示踪剂不需要运输和装卸的管理授权。应根据各种特定情况决定使用哪一种类型的示踪剂。

示踪剂注入点可以在任何有小量水流存在的位置。而取样点，特别要求示踪剂与水要充分混合的位置，即管道截面上的浓度差不大于0.1%。充分混合的距离是雷诺数、管道阻力和注入类型（单壁注入、单中心注入和沿圆周的多点注入）的函数。对直管管壁单点注入和管道截面上的浓度差为0.1%时，充分混合距离的参考值如下：

对单相水（液体）流：150D~300D；

对汽水两相流：30D~80D

注：D=管道内径

所给范围基于不同雷诺数（影响较小）和不同的管道阻力的结果。管道布置情况诸如管弯头、阀门、泵等通常会大大减小所要求的混合距离。

如果即使考虑了管子的布置情况仍达不到充分混合距离，则可采用沿管道四周的多点注入来代替管壁单点注入的方式。

另一个保证示踪测量成功的关键是选择合适的取样速度，即：

- 为了获得良好的测量准确度（试样和注入质量流量的瞬时对应），取样速度宜尽可能高。
- 样品宜只从水中获取，且不应包含蒸汽（在两相流体的情况下）。这就确立了取样速度的上限。

根据测点情况，取样速度应调整到最高允许值。由于该值不能预先算出，故宜对每个测点及其连接点要进行验证测量。

然而，在取样点上不可能检出是否有蒸汽进入水中，因为取样管通过冷却器时蒸汽已凝结。如果取自两相流体的样品仅包含液体，则不管取样速度是多少，其浓度将保持不变。如果样品开始混入蒸汽，则浓度将因蒸汽凝结而下降，曲线变成不连续，称之为“断点”。应确定两相流管道所有试样的断点。

A.7 示踪剂的应用

为了确定汽或水的流量，通常使用孔板或喷嘴进行测量。根据不确定度的要求，可对其进行校准或做成标准流量测量装置。然而，这些装置要求在试验之前已安装在循环系统中，并满足较高的安装条件。对于地热发电应用，特别是对于两相地热流体，使用孔板或喷嘴进行测量，不确定度经常不能满足，而应使用示踪技术来测量。

示踪技术适用于测量：

- a) 凝结水流量；
- b) 给水流量；
- c) 疏水流量；
- d) 喷水流量；
- e) 抽汽流量；
- f) 扩容分离器入口湿蒸汽的湿度和焓值；
- g) 地热发电机组入口湿蒸汽的湿度和焓值。

在要求高准确度的单相流管路中，推荐采用孔板/喷嘴和示踪剂技术的组合测量方式。