

ICS 29.160.20

K 20

备案号: 45457—2014

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 6228—2014

代替 JB/T 6228—2005

汽轮发电机绕组内部水系统 检验方法及评定

Checking methods and evaluation of water circuit
within the winding of turbo generator

杭 州 高 电

专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

2014-05-06 发布

2014-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 检验方法分类	1
3 水压检漏法	1
3.1 通则	1
3.2 本试验需要的设备和仪器	1
3.3 试验方法	1
3.4 检验要求	1
3.5 评定要求	3
4 气体检漏法	3
4.1 通则	3
4.2 本试验需要的设备和仪器	3
4.3 试验要求	3
4.4 试验方法	3
4.5 评定要求	4
5 测水流量法	4
5.1 量杯法测定子线棒内冷水流量	4
5.2 超声波流量法测定子内冷水系统流量	5
6 测气流量法	5
6.1 通则	5
6.2 本试验需要的设备和仪器	5
6.3 试验方法	6
6.4 评定要求	6
7 标准块法	7
8 定子绕组发热试验法	7
8.1 通则	7
8.2 本试验需要的设备和仪器	7
8.3 试验方法	7
8.4 评定要求	7
9 热水流试验法	7
9.1 通则	7
9.2 本试验需要的设备和仪器	7
9.3 试验前的准备	8
9.4 试验方法	8
9.5 评定要求	8
9.6 注意事项	8
附录 A (规范性附录) 气密试验管道连接示意图	9
附录 B (规范性附录) 气密试验记录表格	10

附录 C (规范性附录) 气密试验计算公式	11
图 1 测气流量试验装置示意图	6
图 2 水流正常	8
图 3 有水流堵塞现象	8
图 A.1 气密试验管道连接	9
表 1 定子制造、机组交接验收及大修过程中的检验要求	2
表 2 转子制造、机组交接验收及大修过程中的检验要求	2
表 3 气密检漏试验压力	3
表 4 测气流量试验压力	6
表 B.1 气密试验记录表格	10

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准代替JB/T 6228—2005《汽轮发电机绕组内部水系统检验方法及评定》，与JB/T 6228—2005相比主要技术变化如下：

- 对表2和3.4.3.2中的数据进行了统一，表2中200 MW绝缘引水管装配后水压试验压力由20 MPa改为10 MPa；
- 增加了“对绝缘电阻数值有严格要求的零部件或部位，不允许采用Bx溶液进行检漏”的说明（见4.4.1）；
- 修改了“氟利昂”为“卤素气体”[见4.2 f)、4.4、4.5.2，2005年版4.2 f)、4.4和4.5.2]；
- 由于上下层线圈冷却水通流面积不一定一致，增加了同层线棒的说明（见5.1.4.2和5.1.4.3及5.2.4.1）；
- 原图1文字说明与序号不匹配，加以更正（见6.3.1）；
- 将“A27W-10J弹簧式安全阀”修改为“安全阀”[见6.2 d)和图1中说明4，2005年版6.2 d)和图1中说明4]；
- 将“直流发电机组”修改为“直流电源”[见8.2 a)，2005年版8.2 a)]；
- 删除了原图2仅适用于直流发电机组（见8.3.1）；
- 将“酒精式温度计”修改为“测温元件”[见8.2 e)和8.3.3，2005年版8.2 e)和8.3.3]；
- 热水流试验法中，将“铜-康铜热电偶”修改为“测温元件”[见9.2 b)，2005年版9.2 b)]；
- 去除了绑扎材料的规定，“每根绝缘引水管外表”修改为“每一水支路绝缘引水管外表”（见9.3.1，2005年版9.3.1）；
- “辅以蒸汽加热”改为“辅助加热”（见9.4.2，2005年版9.4.2）；
- 删除了原图3、图4坐标轴上的时间和温度数字，删除了原图4中一根曲线，原图3、图4编号更改为图2、图3；
- 删除了“当温度记录仪通道数不足时可分组进行，但分组不得大于三组，每组试验时重复上组试验中2或3只热电偶”的说明（见2005年版9.6.3）；
- 增加了“当每一冷却支路均配有出水测温元件时，可用出水测温元件代替临时测温元件”的说明（见9.6.4）；
- 增加了“当红外线热像仪具有摄像功能，并可确定每点温度时，可用红外线热像仪代替临时测温元件。”的说明（见9.6.5）；
- 对所有附图、附表增加了名称说明（见表1～表4、表C.1、图1、图B.1）。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国大型发电机标准化技术委员会（SAC/TC511）归口。

本标准起草单位：上海电气电站设备有限公司上海发电机厂、辽宁省电力有限公司电力科学研究院、湖北省电力公司电力科学研究院、哈尔滨电机厂有限责任公司、北京北重汽轮电机有限责任公司。

本标准主要起草人：王庭山、夏鲜良、王健军、阮羚、任秀华、李清。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- JB/T 6228—1992、JB/T 6228—2005。

汽轮发电机绕组内部水系统检验方法及评定

1 范围

本标准规定了汽轮发电机水冷绕组内部水系统密封性和流通性的检验项目、方法及质量评定的要求。

本标准适用于水冷汽轮发电机制造过程的检验，也适用于机组的交接验收及大修过程的检验。

2 检验方法分类

密封性检验：水压检漏法、气体检漏法。

流通性检验：测水流量法、测气流量法、标准块法、定子绕组发热试验法、热水流试验法。

3 水压检漏法

3.1 通则

本试验适用于线棒或绕组的冷却水路密封性试验。

3.2 本试验需要的设备和仪器

水压检漏法需要的设备和仪器如下：

- a) 试压泵（定子 0 MPa~5 MPa，转子 0 MPa~35 MPa）；
- b) 精密压力表；
- c) 接头及接管、法兰及阀门等附件。

3.3 试验方法

3.3.1 试验前可对受检接头及接管、法兰及阀门等附件做渗透剂检漏。

3.3.2 在冷却水路内用试压泵充入清洁水，在冷却水路的高水位处排放空气。

3.3.3 在水压试验过程中，须经过几次排放空气来达到规定的压力并保持稳定，消除水中气体，以防止气温变化引起压力波动，从而影响对水压检漏的判断。

3.4 检验要求

3.4.1 定子

3.4.1.1 定子在制造、机组交接验收及大修过程中的检验要求见表 1。

3.4.1.2 在电厂现场，连接各部分的进、出水管后，在规定的检漏压力下，检查有无因安装过程所引起的渗漏现象。

3.4.2 转子

3.4.2.1 转子在制造、机组交接验收及大修过程中的检验要求见表 2。

3.4.2.2 在电厂进行水压试验时，压力应缓慢上升，避免突然升压。要仔细检查转子进水端面的密封，避免因水渗入转轴与中心管之间的夹层造成误判转子漏水。当采用丁腈橡胶类绝缘引水管时，在水压试

验前应先充水 1 h，同时仔细检查绝缘引水管、接头和焊接部位有无渗水现象。

表 1 定子制造、机组交接验收及大修过程中的检验要求

工 序 名 称	压 力 MPa	时 间 h
线棒	2.5	2
嵌线后上下层线棒水接头拼焊后	2	2
线圈安装绝缘引水管后	1.5	4
出厂检查	1	8
机组交接验收	0.75	8
更换整台绝缘水管	0.8	8
更换部分绝缘水管	0.5	8
大修预防性试验	0.5	8

表 2 转子制造、机组交接验收及大修过程中的检验要求

工 序 名 称		检漏压力 MPa					时间 h
		50 MW、60 MW	100 MW	125 MW	200 MW	300 MW	
铜线包绝缘前		11	15	16	20	18	2
嵌线（焊水接头后）烘压前		10	13.5	13.5	20	16	2
烘压后		9	12.5	12.5	20	15	2
装绝缘引水管包绝缘前		6	6	9	10	11	2
出厂检查		5	5.5	8	7	10	8
机组交接验收		4	5	7	6	9	8
更换全部绝缘 引水管和小修	未套小护环	3.5	4.5	6	6	8	2
	套小护环	3	4	5.5	5.5	7.5	8
更换局部绝缘引水管	未套小护环	3	4	5.5	6	7.5	2
	套小护环	2.5	3.5	5	5.5	7	8

3.4.3 组件

3.4.3.1 定子绝缘引水管

采用冷热水压法，即在室温下，水压为 2.5 MPa，持续时间为 15 min，然后升温至 90℃，水压降至 0.6 MPa，且保温保压 2 h。

3.4.3.2 转子绝缘引水管

采用水压检漏，试验压力和时间如下：

- 功率为 100 MW 及以下时，水压为 7 MPa、时间为 1 h；
- 功率为 125 MW 及以上时，水压为 12 MPa、时间为 1 h。

3.4.3.3 总水管

采用水压检漏法，水压为 3 MPa、时间为 2 h。

3.5 评定要求

水压试验过程中,要求压力表无明显压降,并且手摸焊缝接头及法兰连接处无渗漏现象。若由于环境温度影响引起表压波动而不能准确判断时,则可延长试验时间至表压稳定。

4 气体检漏法

4.1 通则

本试验是检验线棒或绕组冷却水路密封性的又一种方法,可用本方法对水压检漏进行验证。

4.2 本试验需要的设备和仪器

气体检漏法需要的设备和仪器如下:

- a) 渗透剂 Bx 溶液(浓度 10%~15%);
- b) 卤素检漏仪;
- c) U 形汞柱压差计或精密压力表;
- d) 温度计;
- e) 大气压力表;
- f) 卤素气体;
- g) 氮气或干燥压缩空气;
- h) 试验管路及阀门等附件。

4.3 试验要求

- 4.3.1 被检容器内部如有剩水,必须用经过滤的压缩空气吹净并干燥处理。
- 4.3.2 充入容器的压缩空气必须经过油水分离器、干燥器和滤网进行干燥、过滤。
- 4.3.3 检验时采用的密封结构和材料,应与产品所采用的密封结构和材料相一致。
- 4.3.4 在气密试验期间应关紧进气阀门,不允许有向被检容器内补充气体的可能,必要时可分离气源。
- 4.3.5 气密试验使用 U 形汞柱压差计时, U 形汞柱压差计必须垂直放置。当汞柱面出现凹凸时,读数应以凸面的顶线或凹面的底线为基准。
- 4.3.6 要尽可能在被检容器四周和内部多设几个测温点,并以其平均温度作为计算漏气率的温度。
- 4.3.7 试验结束与试验开始时的环境温度相差应尽可能小。试验期间要防止被检容器局部受热(如阳光直射)或局部受冷(如放置于风口)。

4.4 试验方法

- 4.4.1 粗检:对被检件充氮气或干燥压缩空气至检漏压力(见表 3),然后在被检处外表面涂渗透剂 Bx 溶液逐只检漏,查看有无吹泡现象。对绝缘电阻数值有严格要求的零部件或部位,不允许采用 Bx 溶液进行检漏,允许用无水酒精进行检漏。

表 3 气密检漏试验压力

单位为兆帕

被检部件	双水内冷型	水氢氢型	
	检漏压力	检漏压力	气密试验压力
定子线棒	1.5	$1.5p_N$	—
定子线圈安装绝缘引水管后	0.6	$1.3p_N$	p_N
定子内部水系统	0.4	$1.3p_N$	p_N

表 3 气密检漏试验压力（续）

被检部件	双水内冷型	水氢氢型	
	检漏压力	检漏压力	气密试验压力
定子总水管	—	$1.5p_N$	—
转子绕组超速后	0.7	—	—
注： p_N 为额定运行氢压。			

4.4.2 精检：对被检件充氮气或干燥空气至 0.1 MPa，再以 35 g/m³ 的量充入卤素气体，继续充氮气或干燥压缩空气至检漏压力（见表 3），用卤素检漏仪在被检处表面缓慢移动逐只检漏。

4.4.3 气密试验：按图 A.1 连接气密试验管路。对被检容器充氮气或干燥压缩空气至气密试验压力（见表 3），稳定 2 h 后才可开始读数，并记录，记录表格样式见表 B.1，以后每隔 1 h 记录一次。从开始读数 12 h 后，即可按照附录 C 所列公式进行计算，如计算漏气率连续三点符合评定要求（见 4.5.3），并且波动量〔（最大值-最小值）/平均值×100%〕不超过 15%，即可结束试验。

4.5 评定要求

4.5.1 粗检：15 min 内在被检焊缝或接头处应无吹泡现象。

4.5.2 精检：采用卤素检漏仪时，卤素气体在大气中的泄漏量：

- 水氢氢型发电机不大于 1×10^{-5} cm³/s；
- 双水内冷型发电机不大于 1×10^{-4} cm³/s。

4.5.3 气密试验：24 h 的泄漏压降 $\Delta p_d \leq 1\% p_1$ ，即 24 h 的漏气率 $\delta \leq 1\%$ ，式中 p_1 为起始试验压力。

5 测水流量法

5.1 量杯法定定子线棒内冷水流量

5.1.1 通则

本试验适用于定子线棒内冷水管在开启的条件下进行。

5.1.2 本试验需要的设备和仪器

测水流量法需要的设备和仪器如下：

- a) 压力表（0 MPa~0.6 MPa）；
- b) 水箱、接管、法兰及阀门等附件；
- c) 量杯、秒表或流量计（玻璃转子流量计）。

5.1.3 试验方法

5.1.3.1 对被检件冷却水路内充入清洁水，并在流通状态下稳定于某一水压值（给定范围为 0.05 MPa~0.1 MPa）。

5.1.3.2 对被检件逐件用量杯或流量计测定在恒定时间内（不少于 15 s）的水流量。

5.1.3.3 按被检件编号进行流量数值的记录。

5.1.4 评定要求

5.1.4.1 定子单根空心铜线：随机取 10 根铜线，其流量不超过平均值的±10%，并符合设计要求。

5.1.4.2 定子线棒（焊水接头后）：偏差不超过整台同层线棒流量平均值的±10%。

5.1.4.3 定子上、下层焊水接头后：偏差不超过整台同层线棒流量平均值的 $\pm 10\%$ 。

5.1.4.4 转子烘压前：各极同号线圈流量偏差小于或等于 20%。

5.1.4.5 转子烘压后：各极同号线圈流量偏差小于或等于 20%。

5.2 超声波流量法测定定子内冷水系统流量

5.2.1 通则

本试验适用于定子内冷水系统在闭式循环的条件下进行。

5.2.2 本试验需要的设备和仪器

超声波流量法需要的设备和仪器如下：

- a) 发电机内冷水系统（正常运行时全套设备）；
- b) 测量精度、测量管径范围、测量介质等满足要求的超声波流量计。

5.2.3 试验方法

5.2.3.1 向发电机内冷水箱注满符合要求的内冷水。

5.2.3.2 起动内冷水泵，按照发电机定子内冷水入口压力至正常运行时内冷水压力，检测过程中维持内冷水系统闭式循环运行。

5.2.3.3 用超声波流量计对内冷水总流量、励端全部的定子线棒、定子引线、出线套管的内冷水流量逐件进行测量。

5.2.3.4 按被检件编号或名称进行流量数值的记录。

5.2.3.5 按定子线棒、定子引线、出线套管分类计算平均流量，并计算出各被检件与对应平均流量的相对差值。

5.2.4 评定要求

5.2.4.1 定子线棒：偏差不超过整台同层线棒内冷水流量平均值的 -15% ，对超标者应在汽端对相关线棒内冷水流量进行检测，综合判断被测线棒内冷水流通状况。

5.2.4.2 定子引线：偏差不超过整台引线内冷水流量平均值的 -15% 。

5.2.4.3 出线套管：偏差不超过整台套管内冷水流量平均值的 -15% 。

对上述流量超标的被检件，应与历史检测数据比较，进行综合判断和处理。

6 测气流量法

6.1 通则

本试验是检验线棒或绕组冷却水路流通性的另一种方法。

6.2 本试验需要的设备和仪器

测气流量法需要的设备和仪器如下：

- a) 压力空气源（0.4 MPa~0.6 MPa）；
- b) 过滤干燥器；
- c) 储气罐；
- d) 安全阀；
- e) 减压阀；
- f) 稳压罐；

- g) 空气阀门;
- h) 精密压力表;
- i) 空气流量测试仪。

6.3 试验方法

6.3.1 测气流量试验装置如图 1 所示。

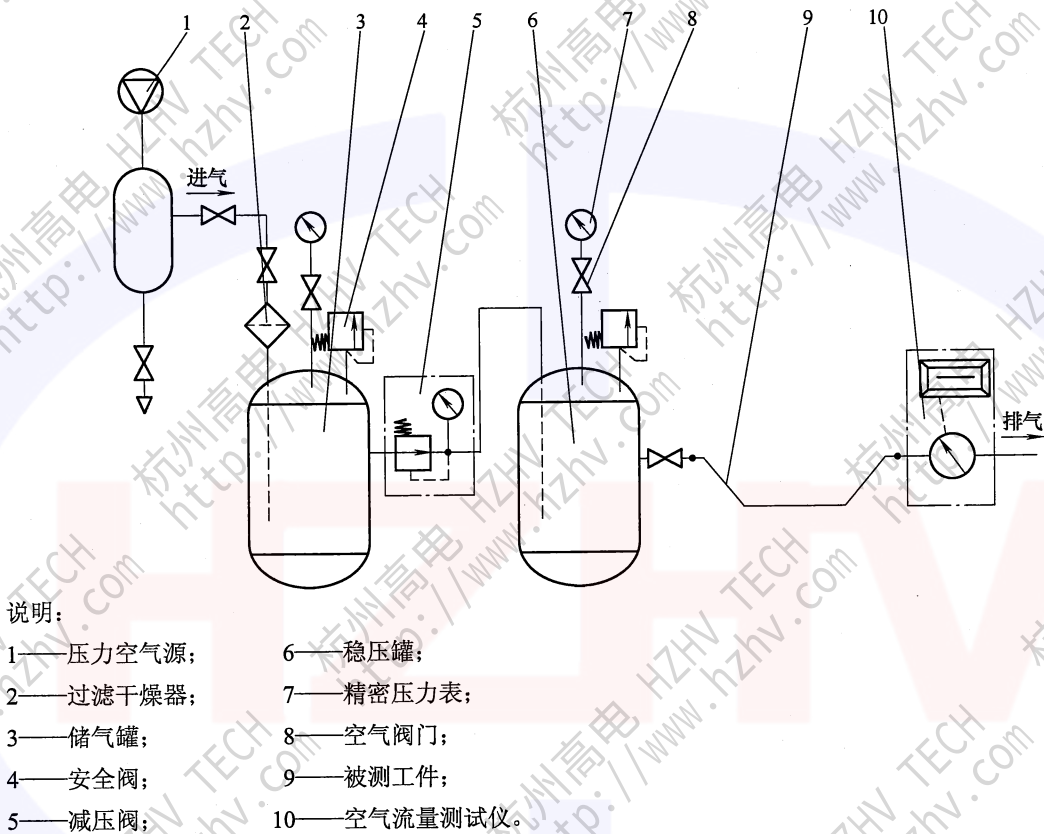


图 1 测气流量试验装置示意图

6.3.2 将测气流量试验装置的进气端与压力空气源连接，将被测工件的一端连接稳压罐，另一端连接空气流量测试仪。

6.3.3 打开试验装置中的各空气阀门，使被测工件通入一定压力的清洁、干燥空气。

6.3.4 在流通状态下，调节减压阀使稳压罐中的压力按不同被测工件，相应稳定在表 4 规定的数值上。

表 4 测气流量试验压力

工 序 名 称	稳压罐中压力 MPa
导线换位前单根空心铜线	0.225
导线成型后单根空心铜线	0.225
定子线圈	0.020

6.3.5 记录空气流量测试仪所显示的数值，该数值即为被测工件的实际空气流量。

6.3.6 按被测工件编号进行流量记录。

6.4 评定要求

各制造厂按产品结构的具体情况来确定被测工件应达到的空气流量数值。

7 标准块法

7.1 本试验是采用压力为 0.4 MPa~0.6 MPa 的压缩空气吹动标准块,使其通过铜线全长来测转子单根空心铜线的流通性。

7.2 铜线退火后绕线前,其标准块与铜线内孔的单边间隙不大于 0.35 mm。

7.3 铜线绕线焊接完工后,标准块为圆球,铜线内孔与圆球的单边间隙不大于 0.5 mm。

8 定子绕组发热试验法

8.1 通则

本试验适用于判断汽轮发电机定子线圈内部冷却水路有无堵塞现象。

8.2 本试验需要的设备和仪器

定子绕组发热试验法需要的设备和仪器如下:

- a) 低电压、大电流直流电源;
- b) 电流表;
- c) 电压表;
- d) 流量计;
- e) 测温元件或红外线热像仪;
- f) 压力表。

8.3 试验方法

8.3.1 本试验在定子绕组连接绝缘引水管后、包绝缘前进行。

8.3.2 定子绕组通入冷却水,并将流量、压力调节到额定或接近额定值,三相绕组串接后送入低压直流电至额定值,如因设备容量限制可分相进行。

8.3.3 通电 15 min 后,用手摸各线圈出水端绝缘引水管和定子绕组鼻端,在温度较高或较低处埋设若干测温元件(或用红外线热像仪直接探测各部位的温度)。

8.3.4 每隔 10 min 读取电流,电压,流量,进、出水温度及各测点的温度。

8.3.5 试验 1 h 后,将各出水水接头、绝缘引水管的温度互相比,如温度有明显的差别,则应先停电源后停水,再拆开绝缘引水管进行检查。

8.4 评定要求

各线圈间的温度差不大于 8 K。

9 热水流试验法

9.1 通则

本试验适用于总装或电厂大修时,检验汽轮发电机定子内部水系统的任一部分有无发生严重的水流堵塞现象。

9.2 本试验需要的设备和仪器

热水流试验法需要的设备和仪器如下:

- a) 测温元件;
- b) 温度记录仪 (最小分度值为 0.1°C , 通道数大于需测量的全部测温元件数);
- c) 热水流试验设备 (亦可用发电机外部水系统装置代替)。

9.3 试验前的准备

9.3.1 将测温元件绑于进水或出水端绝缘引水管中段外表面, 每一水支路绝缘引水管外表都必须装上测温元件。

9.3.2 在每只测温元件上外包隔热材料, 以保证测温元件与周围空气隔绝。

9.3.3 将测温元件与温度记录仪逐点连接, 检查测温元件读数的均匀度。

9.4 试验方法

9.4.1 起动热水流试验设备或定子外部水系统装置, 尽量调节定子进、出总水管之间的压差至正常运行值, 记录此时各点的冷水温度。

9.4.2 通过自循环和辅助加热, 将试验用水加温至超过冷水温度达 10 K 以上。

9.4.3 当所有测点的温度接近时, 停止热水流试验设备或定子外部水系统的运行, 停止辅助加热, 同时记录各测点温度读数。

9.4.4 保持停运状态 10 min 以上。

9.4.5 停运状态结束后, 快速开启冷却水阀门, 让定子内部水系统通以冷却水。起动水泵并使定子内部水系统保持正常运行时的压差, 同时记录温度读数。

9.4.6 待水循环使测温元件测点的温度趋于稳定时, 停止运行和测温元件温度的记录。

9.4.7 整理数据并绘出每根绝缘引水管的时间 (t)-温度 (θ) 曲线。

9.5 评定要求

比较各绝缘引水管时间 (t)-温度 (θ) 曲线, 图 2、图 3 清楚地表明了绝缘引水管中有无冷却水通过。

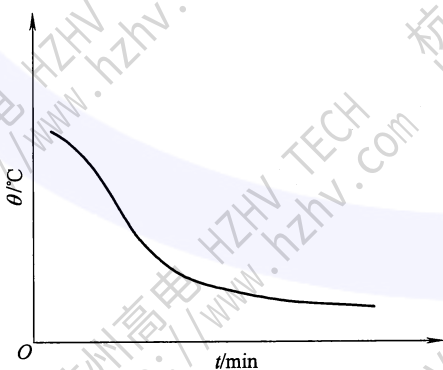


图 2 水流正常

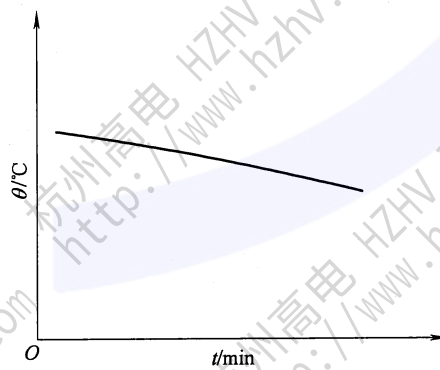


图 3 有水流堵塞现象

9.6 注意事项

9.6.1 本试验必须在定子内部水系统冲洗完毕后进行。

9.6.2 当所有线圈都进行热水流试验并将数据绘成曲线, 经试验人员检查合格后, 再将临时测温元件从绝缘引水管上拆除。

9.6.3 当对某些结果有疑问时, 可适当提高水温重新试验。

9.6.4 当每一冷却支路均配有出水测温元件时, 可用出水测温元件代替临时测温元件。

9.6.5 当红外线热像仪具有摄像功能, 并可确定每点温度时, 可用红外线热像仪代替临时测温元件。

附 录 A
(规范性附录)
气密试验管道连接示意图

气密试验管道连接如图 A.1 所示。

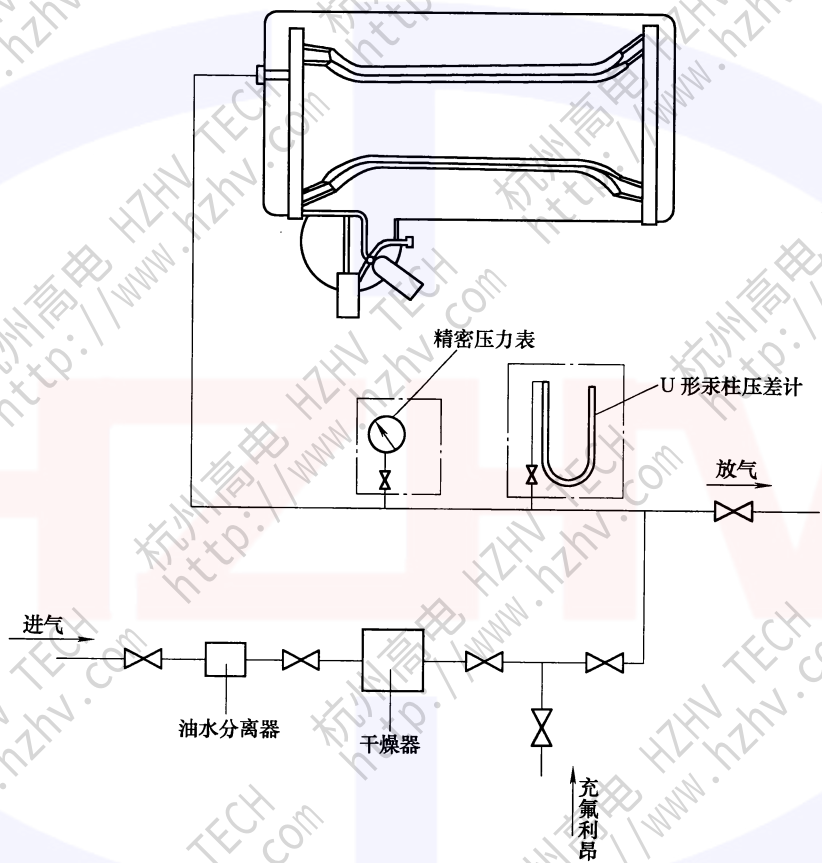


图 A.1 气密试验管道连接

附 录 B
(规范性附录)
气密试验记录表格

气密试验记录表格见表 B.1。

表 B.1 气密试验记录表格

试验时间 h	试验压力 MPa	环境温度 ℃				大气压力 MPa	累计压差 MPa	漏气率 %
		汽端	中间	励端	平均			
0								
1								
2								
⋮								

附 录 C

(规范性附录)

气密试验计算公式

C.1 24 h 泄漏压降按公式 (A.1) 计算。

$$\Delta p_d = 24 / \Delta t [(p_1 - p_2) + (B_1 - B_2) + (p_1 + B_1) (t_2 - t_1) / (273 + t_1)] \cdots \cdots (A.1)$$

式中:

Δp_d ——24 h 泄漏压降, 单位为兆帕 (MPa);

Δt ——试验时间, 单位为小时 (h);

p_1 ——试验起始表压, 单位为兆帕 (MPa);

p_2 ——试验终止表压, 单位为兆帕 (MPa);

B_1 ——试验起始大气压力, 单位为兆帕 (MPa);

B_2 ——试验终止大气压力, 单位为兆帕 (MPa);

t_2 ——试验终止平均温度, 单位为摄氏度 (°C);

t_1 ——试验起始平均温度, 单位为摄氏度 (°C)。

C.2

$$\delta = \Delta p_d / p_1 \times 100\% \cdots \cdots (A.2)$$

式中:

δ ——24 h 漏气率, %。

中 华 人 民 共 和 国
机械行业标准
汽轮发电机绕组内部水系统
检验方法及评定

JB/T 6228—2014

*

机械工业出版社出版发行
北京市百万庄大街 22 号
邮政编码：100037

*

210mm×297mm·1.25 印张·32 千字

2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

定价：21.00 元

*

书号：15111·11774

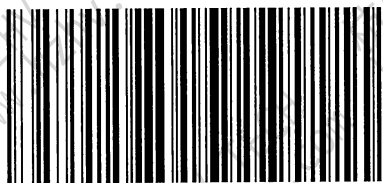
网址：<http://www.cmpbook.com>

编辑部电话：(010) 88379778

直销中心电话：(010) 88379693

封面无防伪标均为盗版

版权专有 侵权必究



JB/T 6228—2014

打印日期：2015年10月2日 F009