

团 体 标 准

T/CSEE 0268—2021

高中压合缸汽轮机高中压缸间轴封 漏汽率试验导则 变汽温法

Guide for leakage rate test of intermediate shaft seals for high and intermediate pressure casing steam turbine—The method of changing steam temperature



2021-09-17 发布

2021-12-01 实施

中国电机工程学会 发 布

团 体 标 准
高中压合缸汽轮机高中压缸间轴封
漏汽率试验导则 变汽温法
T/CSEE 0268—2021

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2022 年 6 月第一版 2022 年 6 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 0.75 印张 24 千字

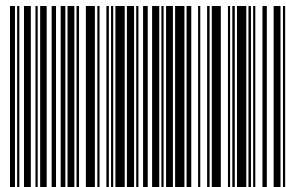
*

统一书号 155198 • 4162 定价 19.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.4162

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 1

 4.1 试验目的 1

 4.2 试验方案 2

 4.3 试验工况 2

 4.4 试验测点 3

5 仪表和测量方法 3

 5.1 仪表使用要求 3

 5.2 压力测量 3

 5.3 温度测量 4

 5.4 数据采集和处理 4

6 试验结果的计算 4

 6.1 计算方法 4

 6.2 计算流程 5

附录 A（资料性） 试验算例 7

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会火力发电专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：中国大唐集团科学技术研究总院有限公司华东电力试验研究院、东方电气集团东方汽轮机有限公司、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、大唐安徽发电有限公司、广东大唐国际潮州发电有限责任公司、浙江大唐乌沙山发电有限责任公司、大唐淮北发电厂、大唐淮南洛河发电厂、江苏大唐国际吕四港发电有限责任公司。

本文件主要起草人：陈开峰、蒋寻寒、阮圣奇、吴仲、张辉、李建华、韩宏洲、陈显辉、包劲松、楼可炜、邵飞、孙奇、张宝、高明、奚岩、鲁叶茂、李长春、宋立信、刘冰、肖锋、周汝军、李伟林、高宜友、胡中强、任磊、宋勇。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

高中压合缸汽轮机高中压缸间轴封 漏汽率试验导则 变汽温法

1 范围

本文件提出了采用变汽温法测量高中压合缸汽轮机高中压缸间轴封漏汽率的试验方法。
本文件适用于火力发电厂中间再热式高中压合缸汽轮机。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 8117.1 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 8117.2 汽轮机热力性能验收试验规程 第2部分：方法 B——各种类型和容量的汽轮机宽准确度试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高中压缸间轴封 **intermediate shaft seals for HP-IP casing**

反向布置的高中压合缸汽轮机在高压缸和中压缸之间设置的轴封，用以阻隔蒸汽由高压缸泄漏至中压缸进汽腔室。

3.2

高中压缸间轴封漏汽率 **leakage rate of intermediate shaft seals for HP-IP casing**

高压缸内蒸汽通过高中压缸间轴封及其他缸体通道漏入中压缸进汽腔室的蒸汽流量与进入中压缸的再热蒸汽流量之比。

3.3

实际中压缸效率 **true intermediate pressure casing efficiency**

中压缸进汽腔室第一级前至中压缸排汽口后的有效焓降与等熵焓降之比。

3.4

名义中压缸效率 **measured intermediate pressure casing efficiency**

中压缸进汽阀前至中压缸排汽口后的有效焓降与等熵焓降之比。

4 总则

4.1 试验目的

获得更加准确的高中压缸间轴封漏汽率，评估汽轮机高中压缸间轴封状态及对汽轮机经济性的影响。

4.2 试验方案

4.2.1 试验方案应明确试验时间、试验方法和步骤、试验结果的计算方法。

4.2.2 对于需要多方参与的汽封检修或改造效果评估类试验，应对影响试验执行和试验各方职责的所有问题所达成的协议予以记录。

4.2.3 作为汽轮机热力性能试验的辅助性试验时，可将试验方案或要求列入汽轮机热力性能试验方案。

4.3 试验工况

4.3.1 工况设定

漏汽率试验宜在两个分别改变主蒸汽温度和再热蒸汽温度的试验工况下开展。两个试验工况下主蒸汽温度和再热蒸汽温度之间的差值越大，试验准确度越高。试验工况宜按如下方式设定：

- a) 试验工况一：在额定主蒸汽温度下，降低再热蒸汽温度，使主蒸汽温度与再热蒸汽温度的差值比设计差值大 20℃ 以上。
- b) 试验工况二：在额定再热蒸汽温度下，降低主蒸汽温度，使再热蒸汽温度与主蒸汽温度的差值比设计差值大 20℃ 以上。

不同类型机组试验时应在设备安全允许范围内，尽可能提高两个试验工况下主蒸汽温度与再热蒸汽温度的偏差值。

4.3.2 试验基准

试验宜以阀点工况为基准。不同试验工况下保持汽轮机进汽调节阀阀位和主蒸汽压力一致，调节阀阀位宜设置为阀门全开或部分阀门全开。

4.3.3 系统隔离

4.3.3.1 试验时热力系统主要隔离原则如下：

- a) 外部隔离：试验时应应对高压缸、中压缸和再热系统范围内进出汽轮机热力系统的流量进行隔离，如对外抽汽供热、辅汽联箱供汽、锅炉吹灰用汽等应进行隔离，试验边界见图 1。试验边界外进出系统的流量不影响机组运行参数的稳定时可不进行隔离。

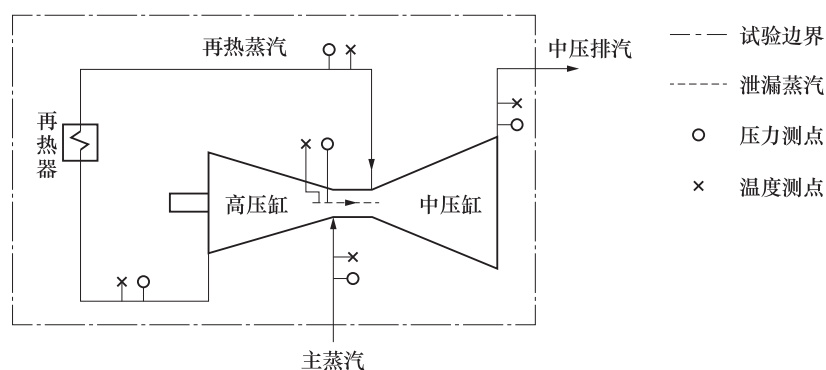


图 1 试验边界及测点布置

- b) 内部隔离：针对不进出试验边界但流经设备旁路的流量，主要包括高压加热器旁路、高压加热器事故疏水、蒸汽管道疏水以及锅炉排污等，试验时应进行隔离。

4.3.3.2 作为汽轮机热力性能试验的辅助性试验时，系统隔离要求宜按相应的热力性能试验标准执行。

4.3.4 稳定性要求

每次变汽温试验之前，汽轮机及其所有辅机调整到规定运行参数和运行方式后应至少保持运行 30 min，以达到稳定工况。试验期间，机组应在规定参数或尽可能接近规定参数下运行，每次变汽温试验参数波动以及两次变汽温试验之间的参数允许偏差宜满足表 1 的要求。

表 1 机组参数允许偏差

参数	每次变汽温试验过程中，每一观测值偏离平均值的允许偏差限值	两次变汽温试验工况允许偏差
主蒸汽调节阀阀位	阀位指令固定不变	相同阀位指令
发电机功率	$\pm 0.25\%$	—
主蒸汽压力	绝对压力的 $\pm 0.25\%$ 和 34.5 kPa 二者中的绝对值大者	$\leq$ 绝对压力的 3%
主蒸汽和再热蒸汽温度	过热度在 15℃~30℃时为 ± 2 ℃，过热度大于 30℃时为 ± 4 ℃	按试验工况要求控制
低压缸排汽压力	± 0.14 kPa 和绝对压力的 $\pm 1.0\%$ 二者中的绝对值大者	—
注：最终试验参数的设定应能够保证设备安全稳定运行。		

4.3.5 试验持续时间和数据采集周期

每次变汽温试验工况均按要求调整机组运行参数，并在达到稳定状态后开始试验，试验持续时间不小于 30 min，数据采集间隔不大于 1 min。数据采集间隔时间过长或运行工况波动较大时，应适当延长试验持续时间。

4.4 试验测点

4.4.1 试验所必需的测点布置如图 1 所示，主要测点名称及测点位置要求如下：

- 高中压缸间轴封前蒸汽压力、温度：高中压缸间轴封前蒸汽腔室。
- 再热蒸汽压力、再热蒸汽温度：中压缸进汽阀前管道，并尽量靠近中压缸进汽阀。
- 中压缸排汽压力、中压缸排汽温度：中压缸排汽出口。

4.4.2 用于计算蒸汽焓值的蒸汽压力测点和温度测点位置应彼此靠近，且压力测点在温度测点之前。

5 仪表和测量方法

5.1 仪表使用要求

5.1.1 所有试验用仪表必须经计量部门校验合格，并在规定的有效期内。

5.1.2 试验测点布置和仪表相关要求符合 GB/T 8117.1、GB/T 8117.2 的规定。

5.2 压力测量

5.2.1 取压孔应尽可能布置在远离任何扰动的直管段上。

5.2.2 压力测量仪表宜采用准确度为 0.1 级的压力变送器。

5.2.3 测量大气压力时宜将大气压力计与压力测量仪表布置在同一房间，并尽可能在同一高度。

5.2.4 水柱的修正：为获得取压口处的压力值，应考虑蒸汽管道取压口与表计中心线之间水柱的压力当量值。当表计处在取压口之上时，应将水柱的当量压力值加到表计读数中；当表计处在取压口之下时，水柱的当量压力值应从表计读数中减去。修正值按公式（1）计算：

$$\Delta p = H \times \rho \times g \cdots \cdots \cdots (1)$$

式中：

Δp ——修正值，Pa；

H ——取压口和压力表计中心线之间的垂直高度差，m；

ρ ——水在环境温度下的密度，kg/m³；

g ——当地重力加速度，m/s²。

5.3 温度测量

5.3.1 温度测点应尽可能靠近确定焓值所对应的压力测点。对试验结果有影响的温度测点，宜采用双重测点进行测量，并取两者读数的平均值作为蒸汽温度值。

5.3.2 温度测量仪表宜采用经校验合格的热电阻或热电偶温度计。热电阻温度计采用 A 等级四线制的铂电阻温度计；热电偶温度计从测量端到冷端应有连续的补偿导线，且具有 0℃ 的参考冷端或者绝热的且校验过的环境温度作为参考。

5.4 数据采集和处理

5.4.1 试验宜采用自动采集系统，并在试验前进行一次运行数据采集分析，以检查系统是否工作正常。采用电厂仪表的数据可直接通过电厂分散控制系统采集数据。采用人工记录的数据应确保记录的时间、地点、数据类型、数值单位等内容的完整性和正确性。

5.4.2 试验前应检查电厂分散控制系统中所需试验参数储存阈值的大小，确保满足试验计算精度。

5.4.3 对试验期间采集的每一项数据进行检查，排除异常数据后进行算术平均值计算，并且根据平均值计算试验结果。

6 试验结果的计算

6.1 计算方法

6.1.1 高压缸通过中间轴封漏至中压缸内的蒸汽焓值宜根据测量的蒸汽压力和温度测量值计算确定。

6.1.2 中压缸进汽腔室内的蒸汽焓值宜采用公式（2）计算：

$$h_{IP} = (h_{HRH} + L_{N2} \times h_{N2}) / (1 + L_{N2}) \cdots \cdots \cdots (2)$$

式中：

h_{IP} ——中压缸进汽腔室内的蒸汽焓值，kJ/kg；

h_{HRH} ——再热蒸汽焓值，kJ/kg；

L_{N2} ——高中压缸间轴封漏汽率，%；

h_{N2} ——高压缸通过中间轴封漏至中压缸内的蒸汽焓值，kJ/kg。

6.1.3 中压缸进汽腔室内的蒸汽压力宜采用公式（3）计算：

$$p_{\text{IP}} = p_{\text{HRH}} \times (1 - \mu_{\text{IP}}) \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

式中:

p_{IP} ——中压缸进汽腔室内的蒸汽压力, MPa;

p_{HRH} ——再热蒸汽压力, MPa;

μ_{IP} ——中压进汽阀组压力损失率, 可取设计值, %。

6.1.4 中压缸排汽无其他蒸汽混入时, 中压缸排汽焓值采用测量的蒸汽压力和温度计算确定。当中压缸排汽有其他蒸汽混入, 中压缸排汽压力、温度测量值为混合蒸汽参数时, 中压缸排汽焓值应推算到混合前, 可采用能量平衡的方式, 按公式(4)计算:

$$h_{\text{Ipe}} = h'_{\text{Ipe}} + x(h'_{\text{Ipe}} - h_1) \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

式中:

h_{Ipe} ——中压缸排汽混合前焓值, kJ/kg;

h'_{Ipe} ——中压缸排汽混合后焓值, 通过排汽压力和温度测量值计算确定, kJ/kg;

h_1 ——混入蒸汽焓值, 取设计值或采用相关参数推算, kJ/kg;

x ——混入蒸汽流量与中压缸实际排汽流量之比, 试验无法测量时取设计值。

6.1.5 中压缸效率计算如下:

a) 实际中压缸效率按公式(5)计算:

$$\eta'_{\text{IP}} = \frac{h_{\text{IP}} - h_{\text{Ipe}}}{h_{\text{IP}} - h_{\text{Ipe-i1}}} \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

式中:

η'_{IP} ——实际中压缸效率, %;

$h_{\text{Ipe-i1}}$ ——以中压缸进汽腔室内蒸汽为初始参数且在中压缸内等熵膨胀后的排汽焓值, kJ/kg。

b) 名义中压缸效率按公式(6)计算:

$$\eta_{\text{IP}} = \frac{h_{\text{HRH}} - h_{\text{Ipe}}}{h_{\text{HRH}} - h_{\text{Ipe-i2}}} \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

式中:

η_{IP} ——名义中压缸效率, %;

$h_{\text{Ipe-i2}}$ ——以中压缸进汽阀前蒸汽为初始参数且在中压缸内等熵膨胀后的排汽焓值, kJ/kg。

6.2 计算流程

采用变汽温法确定高中压缸间轴封漏汽率的主要计算流程如下:

- 针对每个试验工况, 计算主蒸汽焓值、再热蒸汽焓值、中压缸排汽焓值、高中压缸间轴封漏汽焓值。
- 假定高中压缸间轴封漏汽率, 计算对应的中压缸进汽腔室内的蒸汽焓值和实际中压缸效率。
- 多次重复步骤 b), 得到多组高中压缸间漏汽率和实际中压缸效率, 直至同一假定泄漏率下通过工况一和工况二计算得到的实际中压缸效率差值由正转负或由负转正。高中压缸间轴封漏汽率的假定值由小向大取值, 相邻两次取值间隔不宜大于 0.5%。
- 根据步骤 c) 的计算数据, 绘制出该试验工况下实际中压缸效率与假定漏汽率的关系曲线。两个试验工况下所得曲线的交汇点, 即是试验所得高中压缸间轴封漏汽率。

计算流程如图 2 所示, 试验算例见附录 A。

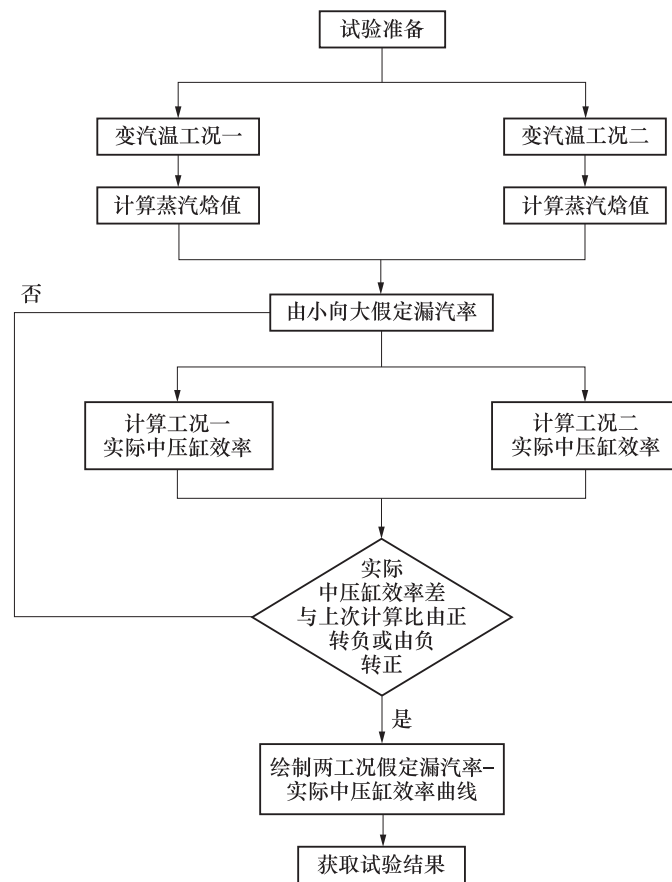


图 2 计算流程

附录 A

(资料性)

试验算例

A.1 汽轮机主要参数见表 A.1。

表 A.1 汽轮机主要参数

参数名称	单位	内容
汽轮机型式	—	超临界、中间再热、三缸四排汽、单轴、凝汽式
汽轮机型号	—	CLN630-24.2/566/566
额定功率	MW	630
高压主汽阀前额定压力	MPa	24.2
高压主汽阀前额定温度	℃	566
中压主汽阀前额定压力	MPa	4.08
中压主汽阀前额定温度	℃	566
中压进汽阀组压损率	%	2
高压主汽调节阀配置	—	2 只主汽阀+4 只调节阀
配汽方式	—	喷嘴配汽
高压缸级数	—	1 个单列调节级+13 个压力级
中压缸级数	—	9 个压力级

A.2 试验测试数据见表 A.2。

表 A.2 试验测试数据

项目	单位	试验工况一	试验工况二
机组负荷	MW	589.3	591.1
阀位	—	三阀全开	三阀全开
主蒸汽压力	MPa	23.15	23.30
主蒸汽温度	℃	530.5	565.6
调节级压力	MPa	17.53	17.73
调节级温度	℃	486.8	522.0
再热蒸汽压力	MPa	3.791	3.815
再热蒸汽温度	℃	568.1	537.8
中压缸排汽压力	MPa	0.471	0.471
中压缸排汽温度	℃	276.2	254.4

A.3 蒸汽焓值及名义中压缸效率计算见表 A.3。

表 A.3 蒸汽焓值和名义中压缸效率计算

项目	单位	试验工况一	试验工况二
蒸汽焓值计算			
主蒸汽焓值	kJ/kg	3298	3407
再热蒸汽焓值	kJ/kg	3603	3534
高中压缸间轴封漏汽焓值	kJ/kg	3235	3340
中压缸排汽焓值	kJ/kg	3016	2971
名义中压缸效率计算			
中压缸焓降	kJ/kg	587.2	562.9
中压缸等熵焓降	kJ/kg	636.0	611.3
名义中压缸效率	%	92.33	92.08

A.4 试验计算：假定中间汽封漏汽率，计算实际中压缸效率，试验计算结果见表 A.4。

表 A.4 试验计算结果

假设漏汽率 %	试验工况一		试验工况二	
	中压缸进汽腔焓值 kJ/kg	实际中压缸效率 %	中压缸进汽腔焓值 kJ/kg	实际中压缸效率 %
0.5	3602	92.85	3533	92.68
1	3600	92.66	3532	92.58
1.5	3598	92.47	3531	92.47
2	3596	92.28	3530	92.37
2.5	3594	92.10	3529	92.27

A.5 试验结果：根据表 A.4 中的计算数据，可绘制两个试验工况下实际中压缸效率与高中压缸间轴封漏汽率的关系曲线，如图 A.1 所示。由此可得到试验结果：高中压缸间轴封漏汽率为 1.50%，实际中压缸效率为 92.47%。

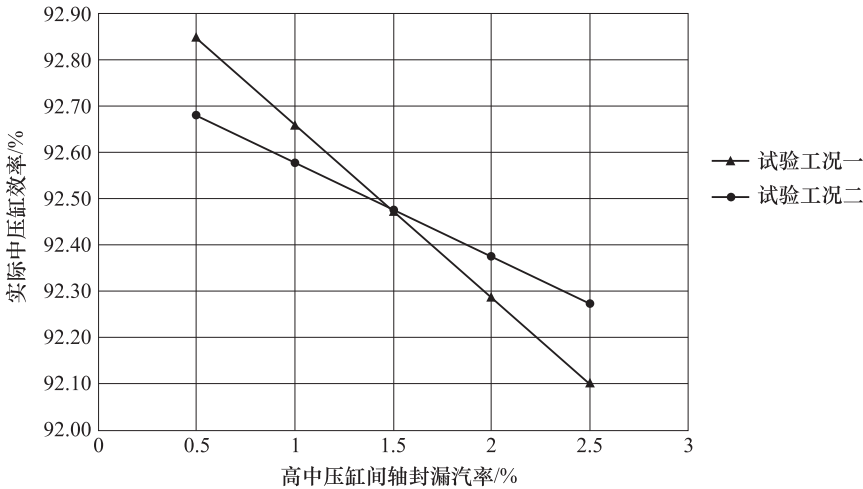


图 A.1 实际中压缸效率与高中压缸间轴封漏汽率的关系曲线