



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

蒸汽疏水阀内部泄漏温度诊断

Temperature based standard for diagnosing inner leakage faults within high
temperature drain valve

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

（征求意见稿）

（本稿完成日期：）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 疏水阀门泄漏状态判断标准	4
4.1 蒸汽疏水阀内漏等级定义	4
4.2 蒸汽疏水阀内漏等级定量划分	4
5 蒸汽疏水阀温度检测技术要求	5
5.1 温度传感器类型	5
5.2 温度传感器的工作环境温度	5
5.3 温度传感器检测范围	5
5.4 温度传感器测量精度	5
5.5 温度传感器反应时间	5
5.6 温度测点选择与传感器的安装要求	5
6 蒸汽疏水阀温度检测工艺流程	6
6.1 系统工况条件	6
6.2 检测人员资格	6
6.3 检测条件	6
6.4 检测程序	7
6.5 检测记录与报告	7
7 蒸汽疏水阀内漏诊断流程	7
7.1 收集机组与被诊断疏水系统基本特性参数	7
7.2 记录机组与被诊断疏水系统当前运行参数	7
7.3 现场温度检测	7
7.4 提取疏水系统的温度特征指标	7
7.5 疏水系统的泄漏状态定性判断	8
7.6 疏水阀门泄漏状态定量诊断判断	9
8 特殊疏水系统阀门内漏诊断逻辑	10
附录 A (资料性附录) 检测结果及分析报告表	11
附录 B (资料性附录) 蒸汽疏水管道传热计算模型与基本方法	12
B.1 概述	12
B.2 计算原理简介	12
B.3 无泄漏工况下, 疏水管道的温度分布计算公式	13
B.3.1 纯导热法计算模型	13

B. 3. 2	纯导热法管壁温度计算流程	15
B. 4	有泄漏工况下，疏水管道的温度分布计算公式	17
B. 4. 1	管道传热计算模型	17
B. 4. 2	疏水管道的压降计算公式	18
B. 4. 3	摩擦阻力系数计算公式	19
B. 4. 4	泄漏工质与管壁传热量计算公式	19
B. 4. 5	保温层导热量计算公式	20
B. 4. 6	保温层与大气换热量计算公式	20
B. 4. 7	蒸汽疏水阀前管道外壁温度计算流程	20
图 1	蒸汽疏水系统结构与温度传感器布置示意	6
图 B. 1	蒸汽疏水管道稳态传热过程温度分布示意图	13
图 B. 2	无泄漏工况下微元管段的传热过程示意图	14
图 B. 3	纯导热法计算模型中，疏水管道中工质状态示意图	15
图 B. 4	划分管段的热平衡示意图	16
图 B. 5	计算 L 的逻辑程序框图	17
图 B. 6	疏水管道的微元管段划分	18
图 B. 7	管道传热物理模型	18
图 B. 8	管壁温度计算流程框图	21
表 1	阀门泄漏等级的定量分级	5
表 2	疏水阀门内漏故障初步定性判断标准	8
表 A. 1	蒸汽动力发电厂疏水系统泄漏检测结果与分析报告表	11

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国阀门标准化技术委员会（SAC/TC188）归口。

本标准起草单位：湖南鸿远高压阀门有限公司、长沙理工大学、大唐华银电力股份有限公司等单位。

本标准主要起草人员：

本标准为首次发布。

蒸汽疏水阀内部泄漏温度诊断

1 范围

本标准规定了蒸汽动力发电厂中，锅炉本体、汽轮机本体、蒸汽管道的疏水系统中的疏水阀的内漏故障诊断方法和有关技术要求。疏水系统是指输送和收集蒸汽动力循环发电厂各类汽水管道、锅炉和汽轮机本体疏水的管路系统和设备。疏水系统的作用为：防止机组运行中由于管路聚集有凝结水而引起水击，使管道或设备发生振动，防止水进入汽轮机发生水击事故。

本标准适用于蒸汽动力发电厂中，蒸汽温度大于 150 °C 的蒸汽管道、蒸汽联箱、蒸汽容器、汽轮机汽缸的疏水系统阀门泄漏故障检测与诊断。

本标准适用于蒸汽动力发电厂正常带负荷运行工况下疏水截止阀的内漏故障诊断，不能适用于机组启动工况下疏水截止阀打开工况的阀门故障诊断，不适用于疏水控制阀（疏水调节阀）的泄漏故障诊断，也不适用于各类放水阀的泄漏故障诊断。

本标准适用于疏水管道系统的下列参数范围：被诊断的阀门前疏水管道长度应不小于 4000 mm；疏水管内径 D 范围为 25 mm~110 mm；疏水管壁厚范围 4 mm~14 mm；疏水管道的保温层材料选择和结构设计应符合 GB/T 4272-2008 的规定要求。

本标准既适用于上述范围内的疏水阀门泄漏故障在线连续监测与诊断，也适用于上述范围内疏水阀门泄漏状态的定期离线检测与诊断。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。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/T1047 管道元件 DN（公称尺寸）的定义和选用

GB/T1048 管道元件 PN（公称尺寸）的定义和选用

GB/T 4213-2008 气动调节阀

GB/T 4272-2008 设备及管道绝热技术通则

GB/T 12221-2005 金属阀门 结构长度

GB/T 12224 钢制阀门 一般要求

GB/T 12247 蒸汽疏水阀 分类

GB/T 12250 蒸汽输水阀 术语、标志、结构长度

GB/T 12251 蒸汽疏水阀 试验方法

GB/T 12712-1991 蒸汽供热系统凝结水回收及蒸汽疏水阀技术管理要求

GB/T 17116 管道支吊架

GB/T 22654-2008 蒸汽疏水阀 技术条件

GB 50049-94 小型火力发电厂设计规范

GB 50764-2012 电厂动力管道设计规范

DL/T 715-2000 火力发电厂金属材料选用导则

DL/T 776-2001 火力发电厂保温材料技术条件

DL/T 834-2003 火力发电厂汽轮机防进水和冷蒸汽导则
 DL/T 850-2004 电站配管
 DL/T 869-2004 火力发电厂焊接技术规程
 DL/T 5054-1996 火力发电厂汽水管道设计技术规定
 DL/T 5204-2005 火力发电厂油气管道设计规程
 DL/T 5366 火力发电厂汽水管道应力计算技术规定
 DL 50000-2000 火力发电厂设计技术规范

3 术语和定义

GB/T 4272-2008、GB/T 12247-1989 和 GB/T 12250-2005 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 12247-1989 和 GB/T 12250-2005 中的某些术语和定义。

3.1

蒸汽动力发电厂 steam-electric power plant
 以蒸汽轮机为原动机的火力发电厂。

3.2

锅炉本体 boiler proper

锅炉的主体部分，由汽包（亚临界参数锅炉）及有关附件，各受热面、联箱及其联系管道，汽水系统管道和附件，燃烧设备，烟风管道，构架（包括平台、扶梯）和炉墙等组成。

3.3

汽轮机本体 steam turbine main body

汽轮机本体由固定部分（静子）和转动部分（转子）组成。固定部分包括汽缸、隔板、喷嘴、汽封、紧固件和轴承等。转动部分包括主轴、叶轮或轮鼓、叶片和联轴器等。固定部分的喷嘴、隔板与转动部分的叶轮、叶片组成蒸汽热能转换为机械能的通流部分。汽缸是约束高压蒸汽不得外泄的外壳。汽轮机本体还设有汽封系统。

3.4

蒸汽管道 steam pipe

蒸汽动力发电厂中，用于蒸汽通往各热力设备的管道。其中，将过热蒸汽从锅炉通往汽轮机的蒸汽管道称为过热蒸汽管道；将汽轮机高压缸排汽引入锅炉再热，以及将再热后蒸汽通往汽轮机的蒸汽管道，称为再热蒸汽管道；过热蒸汽管道和再热蒸汽管道统称为主蒸汽管道。

3.5

阀门 valve

在流体系统中，用来控制流体的方向、压力、流量的装置。阀门是使配管和设备内的介质（液体、气体、粉末）流动或停止、并能控制其流量的装置。

3.6 蒸汽管道疏水 drains of steam pipe

蒸汽管道的疏水包括经常疏水和起动疏水。经常疏水又称为永久性疏水，它可将蒸汽管道中产生的凝结水连续地排出。

经常疏水装置设置在管道的最低点前面、截断阀门前面、流量孔板前侧、蒸汽管道垂直升高之前的水平管段上和用汽设备的下部凝结水出口管道上。直管段每隔一定长度也要设经常疏水装置。

起动疏水是指管道开始暖管时，将管道内产生的凝结水及时排出。起动疏水装置应设置在管道起动时需要及时疏水、可能积水的低位点，分段暖管的末端，水平管段上波形补偿器的每个波节下部，水平管道上阀门、流量孔板的前面，等。

3.7

蒸汽疏水管道 steam drains pipe

蒸汽动力发电厂中，用于蒸汽疏水通往疏水扩容器或汽轮机凝汽器的管道。

3.8

疏水扩容器 drain flash tank

用于疏水管路中的疏水扩容。对于压力和温度较高的疏水，经疏水扩容器分离出的蒸汽被引入热交换器或除氧器，而分离出的疏水则被引入疏水箱，然后送入锅炉的给水系统。对于压力较低的疏水，经扩容后，产生的蒸汽一般进入凝汽器的汽空间冷凝成水，疏水进入凝汽器的热井。

3.9

疏水集水管 drain-manifold

用于汇集来自压力相近的疏水管道的疏水管道，通过该管道将疏水引入疏水扩容器。

3.10

蒸汽疏水管道保温 thermal insulation of steam drains pipe

为减少蒸汽疏水管道及其附件向周围环境散热，在其外表面采取的增设绝热层的措施。绝热层又称为保温层。

3.11

蒸汽疏水阀门 steam drains valve

用于排除锅炉和汽轮机本体，以及蒸汽管道中的蒸汽凝结水及空气等不凝气体，且不漏出蒸汽。由于疏水阀具有阻汽排气的作用，可使蒸汽加热设备均匀给热，充分利用蒸汽潜热防止蒸汽管道中发生水锤。

经常疏水系统中一般采用自动疏水阀，依据其工作原理又分为机械型、热静力型和热动力型蒸汽疏水阀。

起动疏水系统中一般采用电动或气动疏水阀。起动疏水系统中的疏水阀一般为截止阀。

3.12

疏水系统一次阀门 primary valve in steam drains system

在疏水系统管道上较重要的管线上需要有隔断的地方设有一次阀门和二次阀门，目的是更好的隔断和密闭蒸汽。按疏水的流动方向，最先流经的为一次阀门，随后流经的为二次阀门。

3.13

疏水系统二次阀门 secondary valve in steam drains system

二次阀是相对于一次阀来说的，它位于一次阀的下游。

3.14

蒸汽疏水阀门内漏 inner leakage in steam drains valve

阀门的内泄漏是指当阀门关闭件完全闭合后，疏水或蒸汽从阀门的流通通径出口的管壁中流出、渗漏、滴漏等。

3.15

蒸汽疏水系统管壁温度 tube wall temperature of steam drains system

蒸汽疏水系统的管道外表面金属温度。

3.16

蒸汽参数 steam parameters

对于过热蒸汽，一般指蒸汽的压力（MPa）和温度（℃）；对于饱和蒸汽，指蒸汽的压力（MPa）和干度，或蒸汽的温度（℃）和干度。

3.17

漏汽量 steam loss

单位时间内蒸汽疏水阀漏出新鲜蒸汽的量。

3.18

绝热 thermal insulation

为减少设备、管道及其附件向周围环境散热，在其外表面采取的增设绝热层的措施。按热流方向分为保温、保冷。

4 疏水阀门泄漏状态判断标准

4.1 蒸汽疏水阀内漏等级定义

根据疏水阀门内部泄漏量的流量大小划分泄漏等级。依据泄漏量由小到大依次划分为四个等级：渗漏、微漏、一般泄漏、严重泄漏。

(1) 渗漏：有很少的工质从阀前经过阀芯结合面漏至阀后。由于泄漏流量很小，阀前工质的状态以液态为主。

(2) 微漏：泄漏流量较“渗漏”等级略有增加。在此泄漏工况下，泄漏流量大于单位时间内阀前疏水管道传热使蒸汽凝结的量，阀前工质的状态接近于饱和蒸汽状态。

(3) 一般泄漏：泄漏流量较“微漏”等级略有较大增加。在此泄漏工况下，泄漏流量远远大于单位时间内阀前疏水管道传热使蒸汽凝结的量，阀前蒸汽的温度只比疏水管道入口蒸汽温度略有降低。

(4) 严重泄漏：泄漏流量较“一般泄漏”等级有明显增加。在此泄漏工况下，蒸汽在疏水管道中的泄漏流量进一步增加，由于疏水管道中蒸汽流速大，蒸汽从入口开始经历很短时间就从阀门漏出，阀前蒸汽温度与入口蒸汽温度差别很小。

4.2 蒸汽疏水阀内漏等级定量划分

针对上述阐述的内漏等级定义，给出表 1 所示的疏水阀门泄漏定量分级。

表1 阀门泄漏等级的定量分级

泄漏等级泄漏量	泄漏量 kg/h
渗漏	≤10
微漏	10~50
一般泄漏	50~100
严重泄漏	≥100

5 蒸汽疏水阀温度检测技术要求

5.1 温度传感器类型

5.1.1 疏水阀门泄漏故障的在线监测与诊断

各类测温用热电阻或热电偶，只要所选择传感器的检测精度与测量范围符合本标准阐述的要求即可。

5.1.2 疏水阀门泄漏故障的离线检测与诊断

各类非接触式红外测温仪或其他便携式测温传感器，只要其检测范围与精度符合本标准阐述的要求即可。

5.2 温度传感器的工作环境温度

温度传感器的工作环境温度范围为-20℃~50℃。

5.3 温度传感器检测范围

温度传感器检测范围为20℃~750℃。

5.4 温度传感器测量精度

允许误差为0.5℃。

5.5 温度传感器反应时间

小于0.5s。

5.6 温度测点选择与传感器的安装要求

5.6.1 温度测点选择。

图1为蒸汽疏水管道上温度测点布置简图。疏水管道的入口垂直段长度(L_1)不小于500mm。在疏水管道上布置两个温度测点，其中第一温度测点与疏水管道入口距离(L_1+L_2)应控制在1500mm~2000mm，第二温度测点距离第一个测点位置(L_3)为(2000±50)mm且第二个温度测点距离阀门的距离(L_4)应不小于200mm。温度测点的选择应尽量避免附近有其它附加热源存在，否则应采取措施将附加热源造成的温度测点的温度测量偏差控制在允许误差0.5℃以内。

对于疏水被接入疏水集管的疏水系统，温度测点应该安装在蒸汽管道与疏水集管之间的管段，不能安装在集管之后的疏水管段。

5.6.2 温度传感器安装。

对于热电偶或热电阻式温度传感器，需按照说明书规定要求将传感器安装在选定位置处的管道外壁处，通过补偿导线将测量信号传送到温度变送器，再将变送器输出信号送至温度检测仪表。

对于便携式测温传感器，无需现场安装，只需在疏水管道选定的测点位置保温层上打孔，孔的直径大约为 10 mm，保证该测量孔贯通至疏水管道的外表面。

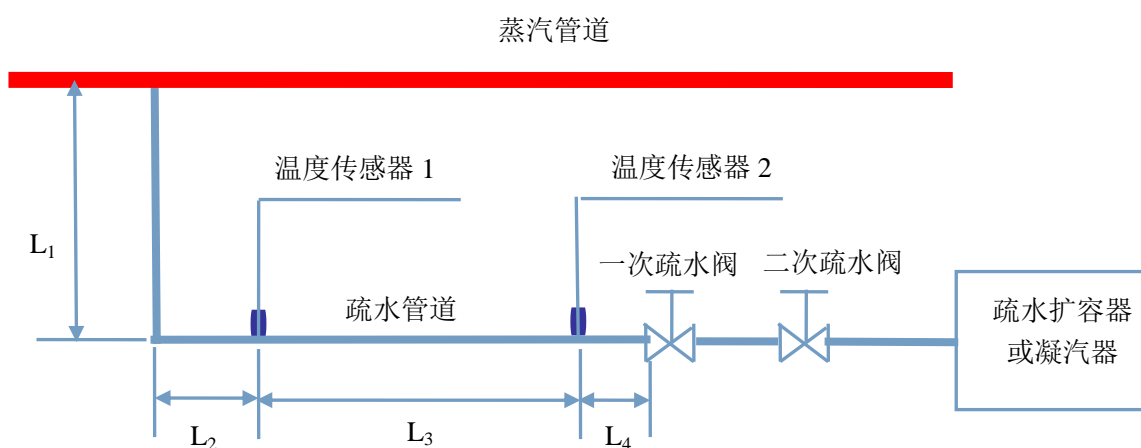


图1 蒸汽疏水系统结构与温度传感器布置示意

6 蒸汽疏水阀温度检测工艺流程

6.1 系统工况条件

机组负荷基本稳定；主蒸汽参数、再热蒸汽参数基本稳定；凝汽器真空基本稳定；疏水阀门处于关闭位置，测试时离上次阀门操作的时间间隔应大于 15 min。

6.2 检测人员资格

对于检测人员有如下要求：

- 1) 熟悉发电厂的生产流程，掌握发电厂热力系统的结构和工作原理。
- 2) 掌握热工检测的基本知识，熟悉检测数据的基本处理方法，能够熟练应用数据处理软件。
- 3) 能正确地读取仪表数据，如压力计、温度计、温度传感器显示仪表。
- 4) 拥有电厂点检员上岗证，具备现场数据检测的基本资质。

6.3 检测条件

- 1) 仪器条件：温度传感器通过校验，确保其性能在本标准要求范围内；温度传感器按规定安装到位；传感器、变送器、检测仪表进行联合调试，仪表的读数准确、可靠。
- 2) 检测人员：拥有 6.2 检测人员资格。

6.4 检测程序

检测程序分为如下 4 个步骤：

- 1) 传感器校验。
- 2) 测温点的布置。根据 5.6 温度检测点布置简图布置、安装测温点。
- 3) 传感器、变送器与显示仪表的连接，调试。
- 4) 记录测温点温度数据和入口蒸汽温度数据。
- 5) 计算疏水管道温度特征指标，进行定性诊断。若发现阀门“有泄漏”，则进行如下（6）、（7）、（8）。
- 6) 计算阀门在无泄漏工况和典型泄漏量工况下，疏水管道在测温点处的壁温理论值。
- 7) 定量诊断阀门泄漏状态。
- 8) 提出维修措施。

6.5 检测记录与报告

建立检测记录，参见附录 A 中的表 A.1 形式表格，记录机组和疏水系统的基本数据和现场温度检测数据，分析报告被检测疏水系统的疏水阀状态。

7 蒸汽疏水阀内漏诊断流程

7.1 收集机组与被诊断疏水系统基本特性参数

收集机组的基本参数。确定被诊断疏水系统范围，收集被诊断疏水系统的相关结构参数，将相关参数填入记录表，参见附录 A 的表 A.1。

7.2 记录机组与被诊断疏水系统当前运行参数

记录机组和被诊断疏水系统的当前运行参数，参见附录 A 的表 A.1。

7.3 现场温度检测

按 6.4 规定的检测程序进行检测。在进行温度检测之前，需维持机组运行工况基本稳定。然后分别测量疏水系统入口蒸汽温度 t_0 、测点 1 管壁温度 t_1 、测点 2 管壁温度 t_2 和疏水管道周围的环境温度 t_a 。其中，入口蒸汽温度和环境温度可从机组的 DCS 系统取数据。在检测过程中，需对每个管壁温度测点测量三组以上数据，每一组数据均应在两个测点同时检测；且每一组数据的测量时间间隔不小于 1 min。

计算每个测点的平均温度，分别用 \bar{t}_1 和 \bar{t}_2 。将检测值和平均值填入记录表，参见附录 A 的表 A.1。

7.4 提取疏水系统的温度特征指标

(1) 疏水系统入口蒸汽温度

疏水系统入口蒸汽温度用符号 t_0 表示， $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 疏水系统环境温度

疏水系统环境温度用符号 t_a 表示， $^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 入口蒸汽温度与测点 1 管壁温度差值

入口蒸汽温度与测点 1 管壁温度差值用符号 Δt_{0-1} 表示， $\Delta t_{0-1} = t_0 - t_1$ ， $^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 测点 1 管壁温度与测点 2 管壁温度差值

测点 1 管壁温度与测点 2 管壁温度差值用符号 Δt_{1-2} 表示， $\Delta t_{1-2} = t_1 - t_2$ ， $^{\circ}\text{C}$ 。

(5) 典型泄漏流量工况下的管壁温度计算

根据疏水系统的结构参数、入口蒸汽参数和环境温度参数，按照表 1 的泄漏分级假设泄漏流量，根据附录 B 提供的计算方法，计算出：

①测点 1 的理论管壁温度

无泄漏工况的管壁温度： t_{1-0} ，℃；

渗漏工况的管壁温度阈值： t_{1-s} ，℃；

微漏工况的管壁温度阈值： t_{1-w} ，℃；

一般泄漏工况的管壁温度阈值： t_{1-x} ，℃；

严重泄漏工况的管壁温度阈值： t_{1-y} ，℃。

②测点 2 的理论管壁温度

无泄漏工况的管壁温度： t_{2-0} ，℃；

渗漏工况的管壁温度阈值： t_{2-s} ，℃；

微漏工况的管壁温度阈值： t_{2-w} ，℃；

一般泄漏工况的管壁温度阈值： t_{2-x} ，℃；

严重泄漏工况的管壁温度阈值： t_{2-y} ，℃。

③两测点管壁温度差值阈值

渗漏工况的管壁温度差阈值： $\Delta t_{1-2}^s = t_{1-s} - t_{2-s}$ ，℃；

微漏工况的管壁温度差阈值： $\Delta t_{1-2}^w = t_{1-w} - t_{2-w}$ ，℃；

一般泄漏工况的管壁温度差阈值： $\Delta t_{1-2}^x = t_{1-x} - t_{2-x}$ ，℃；

严重泄漏工况的管壁温度差阈值： $\Delta t_{1-2}^y = t_{1-y} - t_{2-y}$ ，℃。

7.5 疏水系统的泄漏状态定性判断

根据现场检测数据，可参照表 2 对蒸汽疏水阀门是否存在泄漏进行初步定性判断。得如果得到“有泄漏”诊断结论，可根据 7.6 的诊断规则，进行定量诊断。

表2 疏水阀门内漏故障初步定性判断标准

入口蒸汽温度（℃）	判断准则	
	无泄漏	有泄漏
>550	$\Delta t_{0-1} \geq 230$ °C， $\Delta t_{1-2} \geq 22$ °C	$\Delta t_{0-1} \leq 50$ °C， $\Delta t_{1-2} \leq 22$ °C
500~550	$\Delta t_{0-1} \geq 210$ °C， $\Delta t_{1-2} \geq 20$ °C	$\Delta t_{0-1} \leq 45$ °C， $\Delta t_{1-2} \leq 20$ °C
400~500	$\Delta t_{0-1} \geq 160$ °C， $\Delta t_{1-2} \geq 18$ °C	$\Delta t_{0-1} \leq 40$ °C， $\Delta t_{1-2} \leq 18$ °C
300~400	$\Delta t_{0-1} \geq 135$ °C， $\Delta t_{1-2} \geq 16$ °C	$\Delta t_{0-1} \leq 35$ °C， $\Delta t_{1-2} \leq 16$ °C
150~300	$\Delta t_{0-1} \geq 75$ °C， $\Delta t_{1-2} \geq 14$ °C	$\Delta t_{0-1} \leq 30$ °C， $\Delta t_{1-2} \leq 14$ °C

使用表 2 对疏水阀门进行泄漏定性诊断时，需要做如下几个方面的修正：

(1) 室温修正

被检测疏水系统管道周围（距管道表面 1 m 处）室内温度高于 40 °C 时，上表中用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值需减小 2 °C，用于判断“有泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值需增加 2 °C；被检测疏水系统管道周围（距管道表面 1 m 处）室内温度低于 10 °C 时，上表中用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值需增加 2 °C，用于判断“有泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值需减小 2 °C。

(2) 管道内径修正

表 2 的诊断阈值按内径为 50 mm 疏水管给出，对于内径大于或小于 50 mm 的疏水管道，诊断温度阈值需进行修正：

①管道内径每增加 10 mm，用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值增加 10 °C；管道内径每减小 10 mm，用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值减小 10 °C；

②管道内径每增加 10 mm，用于判断“有泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值增加 4 °C；管道内径每减小 10 mm，用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值减小 4 °C。

(3) 滑压运行工况修正

机组滑压运行工况下，当机组主蒸汽压力低于额定压力运行时，上表中用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值按蒸汽压力每降低 1 MPa 增加 1 °C 进行修正，用于判断“有泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值按蒸汽压力每降低 1 MPa 增加 1 °C 进行修正。

(4) 管壁厚度修正

表 2 的诊断阈值按管壁厚度为 10 mm 疏水管给出，对于管壁厚度大于或小于 10 mm 的疏水管道，诊断温度阈值需进行修正：

①壁厚度每增加 2 mm，用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值增加 1 °C；管壁厚度每减小 2 mm，用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值减小 1 °C；

②管壁厚度每增加 2 mm，用于判断“有泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值增加 6 °C；管壁厚度每减小 2 mm，用于判断“无泄漏”的 Δt_{0-1} 阈值减小 6 °C。

7.6 疏水阀门泄漏状态定量诊断判断

以下的定量诊断，需要根据附件“蒸汽疏水管道传热计算模型与基本方法”提供的计算方法对疏水系统进行理论计算，获得无泄漏工况下疏水管道的温度分布，再依据管壁温度的检测值与无泄漏工况的管壁温度计算值之间的差值，来诊断疏水阀门的泄漏等级。

(1) 无泄漏工况定量诊断规则

若满足： $\bar{t}_1 \leq t_{1-0}$ ，和 $\bar{t}_2 \leq t_{2-0}$ ，则疏水阀门无泄漏。

(2) 渗漏工况定量诊断规则

若满足： $t_{1-0} < \bar{t}_1 \leq t_{1-s}$ （或 $t_{2-0} < \bar{t}_2 \leq t_{2-s}$ ），和 $\Delta t_{1-2} \geq \Delta t_{1-2}^s$ ，则疏水阀门处于渗漏状态。

(3) 微漏工况定量诊断规则

若满足： $t_{1-s} < \bar{t}_1 \leq t_{1-w}$ （或 $t_{2-s} < \bar{t}_2 \leq t_{2-w}$ ），和 $\Delta t_{1-2}^w \leq \Delta t_{1-2} < \Delta t_{1-2}^s$ ，则疏水阀门处于微漏状态。

(4) 一般泄漏工况定量诊断规则

若满足： $t_{1-w} < \bar{t}_1 \leq t_{1-y}$ （或 $t_{2-w} < \bar{t}_2 \leq t_{2-y}$ ），和 $\Delta t_{1-2}^y \leq \Delta t_{1-2} < \Delta t_{1-2}^w$ ，则疏水阀门处于一般泄漏状态。

(5) 严重泄漏工况定量诊断规则

若满足： $\bar{t}_1 > t_{1-y}$ （或 $\bar{t}_2 > t_{2-y}$ ），和 $\Delta t_{1-2} < \Delta t_{1-2}^x$ ，则疏水阀门处于严重泄漏状态。

8 特殊疏水系统阀门内漏诊断逻辑

若疏水系统的管道系统布置结构特殊（包括：疏水阀门前的管道长度偏短，或疏水阀门前有三通，等），不能满足 5.6 中规定的温度传感器安装要求，则需要在被诊断疏水阀的阀体上和阀门前后 100 mm～300 mm 范围的管道外壁各安装一个温度传感器，按照符合附录 C 规定的诊断逻辑来诊断阀门是否存在泄漏。

附 录 A
(资料性附录)
检测结果及分析报告表

A.1 蒸汽动力发电厂疏水系统泄漏检测结果与分析报告表见表A.1。

表A.1 蒸汽动力发电厂疏水系统泄漏检测结果与分析报告表

发电厂名称:

检测单位:

测试机组	编号		机组容量			
	额定参数		测试时蒸汽参数			
	机组负荷 (MW)		凝汽器真空 (kPa)			
疏水系统	名 称					
	入口蒸汽参数		(MPa) / (°C)			
	疏水管内径 (mm)		管壁厚度 (mm)			
	一次阀型号		二次阀型号			
	蒸汽入口与一次阀的距 离 (mm)		隔热层厚度 (mm)			
温度测点布置 与仪器	测点 1 距蒸汽入口距离 (mm)		测点 2 距测点 1 的距离 (mm)			
	温度传感器类型		检测仪器名称			
现场检测数据	测点	测量值 1	测量值 2	测量值 3	平均值	备注
	1				$\bar{t}_{s1} =$	
	2				$\bar{t}_{s2} =$	
数据分析	无泄漏工况测点温度特 征值 (°C)		$\Delta t_{0-1} =$		$\Delta t_{1-2} =$	
	实际工况测点温度特 征值 (°C)		$\Delta t_{0-1} =$		$\Delta t_{1-2} =$	
	泄漏等级诊断					
测试日期	年 月 日		测试人员			
分析日期	年 月 日		分析人员			
说 明						

附录 B

(资料性附录)

蒸汽疏水管道传热计算模型与基本方法

B.1 概述

本附件提供了火电厂蒸汽疏水阀门无泄漏工况下，疏水管道温度分布的计算方法。通过该方法计算出来的疏水管道沿长度方向的温度分布将作为疏水阀门是否发生泄漏的诊断标准。本附件提供的疏水阀门无泄漏工况下的疏水管道温度分布计算结果与现场检测结果接近。

本附件还提供了火电厂蒸汽疏水阀门泄漏工况下的疏水管道温度分布计算方法，通过该方法计算出来的结果，可为本标准划分的泄漏等级诊断提供温度参照标准。

本附件提供的疏水管道温度场分布计算方法，不适合于超大泄漏流量或阀门全开工况下的疏水管道温度分布计算。

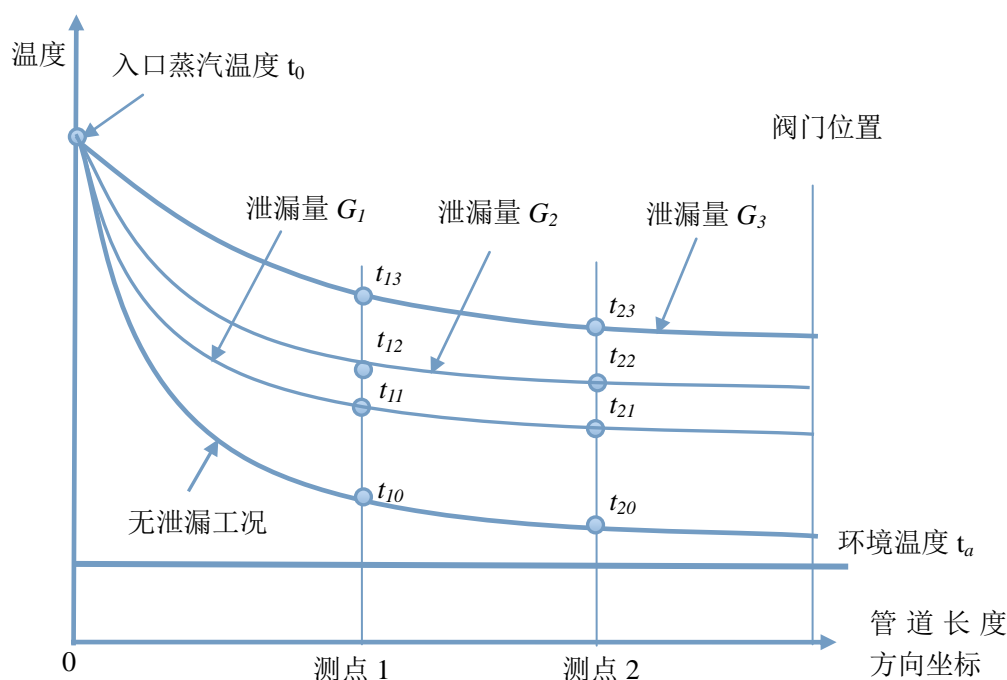
基于本附件提供的计算模型和计算方法而开发出的计算机软件，可以与已有的火电厂状态监测软件集成，实现疏水阀门泄漏状态的在线监测与诊断；也可以与相关的数据采集软件集成，用于专门的疏水阀门泄漏检测仪器以实现泄漏故障的离线检测与诊断。

B.2 计算原理简介

对于一定的蒸汽疏水系统，在稳态传热过程中（无论是有泄漏还是无泄漏），疏水管道的管壁温度沿管道长度的分布是一定的（见图B.1）。图B.1给出了一蒸汽疏水管道在无泄漏工况、泄漏量 G_1 工况、泄漏量 G_2 工况、泄漏量 G_3 工况的管道温度分布曲线示意。其中， $G_1 < G_2 < G_3$ ； t_0 为入口蒸汽初始温度， t_a 为环境空气温度； t_{10} 、 t_{20} 为无泄漏工况下测点1和测点2所检测的温度值， t_{11} 、 t_{21} 为 G_1 泄漏工况下测点1和测点2所检测的温度值， t_{12} 、 t_{22} 为 G_2 泄漏工况下测点1和测点2所检测的温度值， t_{13} 、 t_{23} 为 G_3 泄漏工况下测点1和测点2所检测的温度值； Δt_{0-1} 为入口蒸汽温度与测点1温度之差， Δt_{0-2} 为入口蒸汽温度与测点2温度之差。

随着阀门出现泄漏以及泄漏流量的增加， Δt_{0-1} 和 Δt_{0-2} 的值减小，且成良好的对应关系，所以，通过检测测点1和测点2的温度值，并计算出 Δt_{0-1} 和 Δt_{0-2} 的值，根据 Δt_{0-1} 和 Δt_{0-2} 的大小来诊断疏水阀门是否出现泄漏以及处于何种泄漏状态。

对于某一疏水系统，其无泄漏工况的管道温度分布与入口蒸汽参数、环境温度和疏水系统结构有关。无泄漏工况的管道温度分布可通过计算方法得出。只要现场检测出疏水管道测点1和测点2的实际温度，根据这两点温度与入口蒸汽温度的差值，即可诊断阀门的泄漏状态。



图B.1 蒸汽疏水管道稳态传热过程温度分布示意图

B.3 无泄漏工况下，疏水管道的温度分布计算公式

B.3.1 纯导热法计算模型

B.3.1.1 纯导热法的物理模型

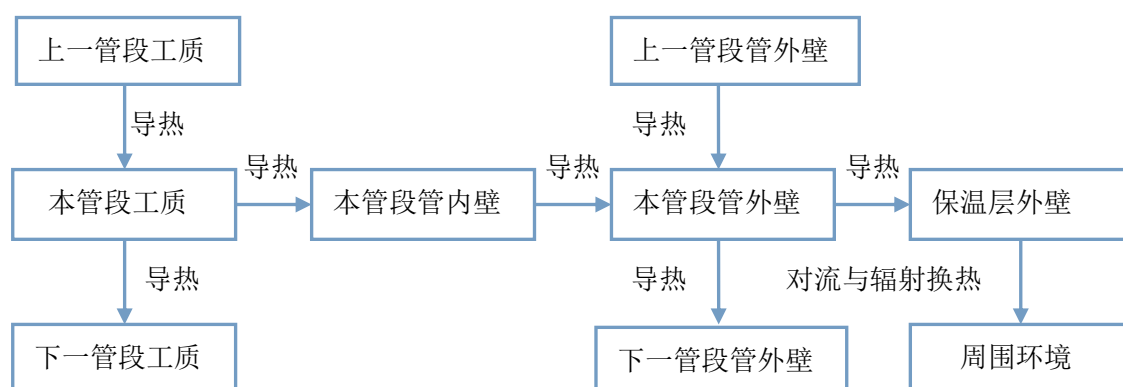
对于火电厂蒸汽疏水系统而言，当蒸汽疏水阀无泄漏（且处于关闭状态）时，阀前管道内的工质将处于静止状态，随着时间的推移，管道工质温度会逐渐降低，其传热过程可以划分为如下三个阶段：

第一个阶段：对流换热。在这个阶段，部分蒸汽快速冷凝成水，体积减小，蒸汽在疏水管内有明显的流动，蒸汽与管壁进行低流速下的对流换热。

第二个阶段：对流换热与导热并存。在这个阶段，蒸汽的冷凝速度明显减慢，疏水管道内部凝结了质量较多的水，汽-液分界面还未稳定，工质与管壁的传热方式呈现对流与导热并存的形态。

第三个阶段：纯导热。在这个阶段，汽-液分界面趋于稳定，工质在疏水管内没有明显的宏观流动，工质与管壁的传热方式主要为导热。

在工程实际中，诊断目标阀是否发生泄漏，其参考状态就是无泄漏工况下疏水管道的稳态温度场分布。而处于此阶段中，阀前管道内工质将以图B.2所示的传热方式与环境进行热量交换。



图B.2 无泄漏工况下微元管段的传热过程示意图

B.3.1.2 纯导热法的数学模型

(1) 相邻管段工质间的传热量 q_1 计算模型

基于上述传热过程模型，建立上管段工质与下管段工质导热量的计算公式：

$$q_1 = A\lambda_m(t_1 - t_2) / x \quad (\text{B.1})$$

式中：

λ_m ——蒸汽平均导热系数，W/(m K)； $A = \pi(d/2)^2$ ，其中 d 为疏水管道内径，m。

(2) 疏水管道保温层传热量 Q 计算模型

对于保温层的传热可简化成多层圆筒壁导热问题，传热量计算公式为：

$$Q = \frac{2\pi kL\Delta t}{\ln(d_2 / d_1)} \quad (\text{B.2})$$

式中：

k ——保温层的导热系数，W/(m K)；

Δt ——内外壁温度差，℃；

d_1 ——保温层的内径，m；

d_2 ——保温层的外径，m；

L ——保温层的长度，m。

(3) 保温层与环境之间的散热量 Q_3 计算模型

在电厂中，保温层与周围环境散热量的计算公式为：

$$Q = hs\Delta t \quad (\text{B.3})$$

式中：

s ——保温层与环境之间的散热面积，m²；

Δt ——保温层外壁温度与环境温度之差，℃；

h ——对流换热系数，W/(m K)。

由于此处对流换热系数跟流过管道空气的流动状况以及管道布置有关，故其计算公式为：

$$h = N_u \lambda / x \quad (\text{B.4})$$

式中：

λ ——空气导热系数，W/(m K)；

x ——特征长度，m；当管道竖直布置时取为所划分微元管段的长度，当管道水平布置时取为保温层直径；

N_u ——努谢尔数。

由于疏水管道大部分为圆柱型，且多为水平或者竖直布置，因此努谢尔数计算如下：

①当 $10^4 < (Gr \cdot Pr) \leq 10^9$ ：

$$N_u = 0.53(GrPr)^{0.25} \quad (B.5)$$

②当 $10^9 < (Gr \cdot Pr) \leq 10^{12}$ ：

$$N_u = 0.13(GrPr)^{1/3} \quad (B.6)$$

式中：

Gr ——格拉斯霍夫数；

Pr ——普朗特数。

格拉斯霍夫数可计算为：

$$Gr = \frac{g\alpha_v\Delta t x^3}{\nu^2} \quad (B.7)$$

式中：

g ——当地重力加速度， 9.8085 m/s^2 ；

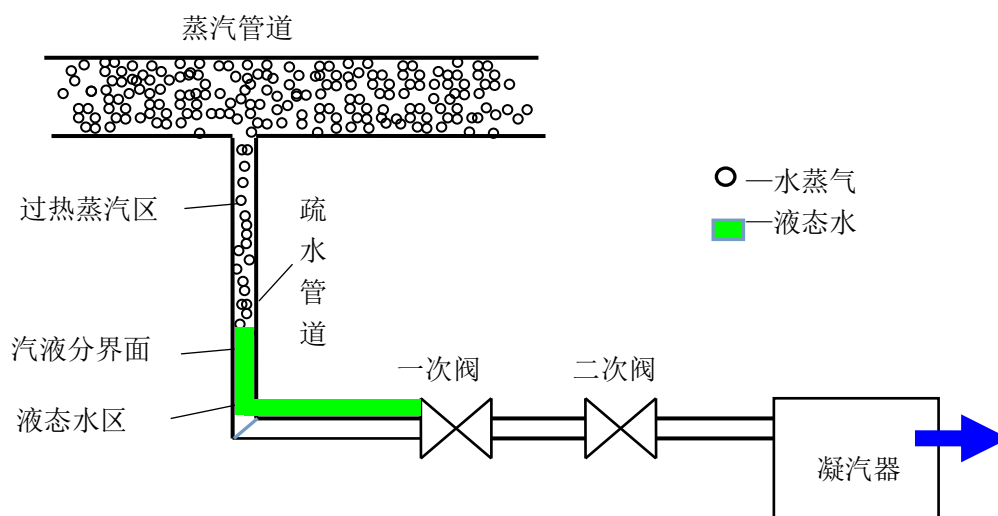
α_v ——空气的体胀系数；

ν ——空气运动粘度系数， m^2/s 。

普朗特数采用 $t_m = (t_{bw} + t_a)/2$ 作为定性温度，取拟合公式为 $\nu = -0.000186t_m + 0.706821$ 。

B.3.2 纯导热法管壁温度计算流程

图B.3为无泄漏工况下，疏水管道内工质状态示意图。在纯导热法计算模型中，由于进入疏水管道的蒸汽为稳态工况，同时疏水阀无泄漏，因此疏水管道内的汽水混合物所占管道长度非常短，因此计算过程中忽略此混合物区间长度，以汽液分界面作为过热蒸汽区与液态水区的过渡面。基于上述分析可知，汽液分界面位置的确定是求解整个疏水管道管壁温度的重点。



图B.3 纯导热法计算模型中，疏水管道中工质状态示意图

B.3.2.1 疏水管道的蒸汽相变点的临界长度求法

针对传热模型划分的微元管段，构建如图 B.4 所示的热平衡示意图。设每段进口工质温度分别为 t_1 、 t_2 、 \dots 、 t_{n+1} ，且 t_1 温度已知， t_{n+1} 为过热蒸汽的饱和温度。然后对划分的节点进行热平衡计算，以计算第一点建立如下所示的热平衡计算公式：

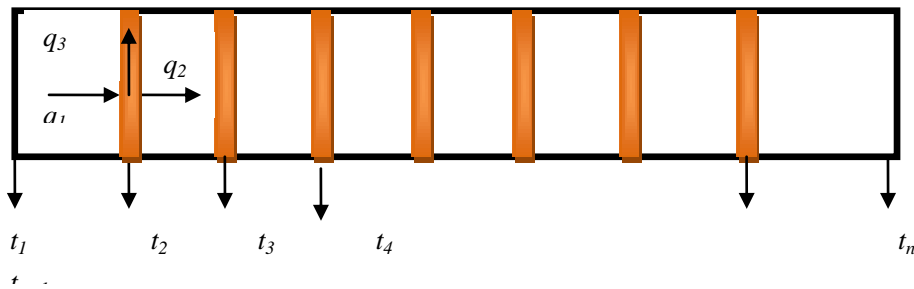
$$q_1 - q_2 = q_3 \quad (\text{B.8})$$

式中：

q_1 ——上管段工质向此管段工质的导热热量，J/s；

q_2 ——此管段工质向下管段工质的导热热量，J/s；

q_3 ——此管段工质与跟管壁的导热热量，J/s。



图B.4 划分管段的热平衡示意图

针对所有划分的节点，建立如下的代数关系式：

$$\begin{cases} A\lambda_m \frac{t_1 - t_2}{x} - A\lambda_m \frac{t_2 - t_3}{x} = \frac{t_2 - t_a}{R_z} \\ A\lambda_m \frac{t_2 - t_3}{x} - A\lambda_m \frac{t_3 - t_4}{x} = \frac{t_3 - t_a}{R_z} \\ A\lambda_m \frac{t_3 - t_4}{x} - A\lambda_m \frac{t_4 - t_5}{x} = \frac{t_4 - t_a}{R_z} \\ \Lambda \Lambda \\ A\lambda_m \frac{t_{n-1} - t_n}{x} - A\lambda_m \frac{t_n - t_{n+1}}{x} = \frac{t_n - t_a}{R_z} \\ A\lambda_m \frac{t_n - t_{n+1}}{x} = \frac{t_{n+1} - t_a}{R_z} \end{cases} \quad (\text{B.9})$$

式中：

λ_m ——泄漏工质平均导热系数，W/(m K)；

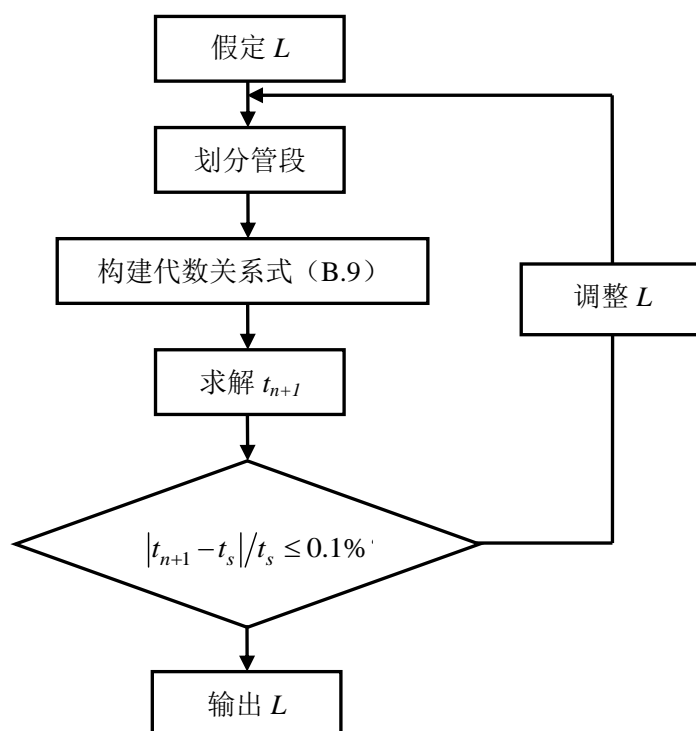
R_z ——传热热阻， $m^2 \cdot K^2 / W$ ；

x ——微元管段划分长度，m。

由上式可知，具有 n 个未知数和 n 个方程，可通过图 B.5 的逻辑框图求解。

B.3.2.2 管壁温度分布计算

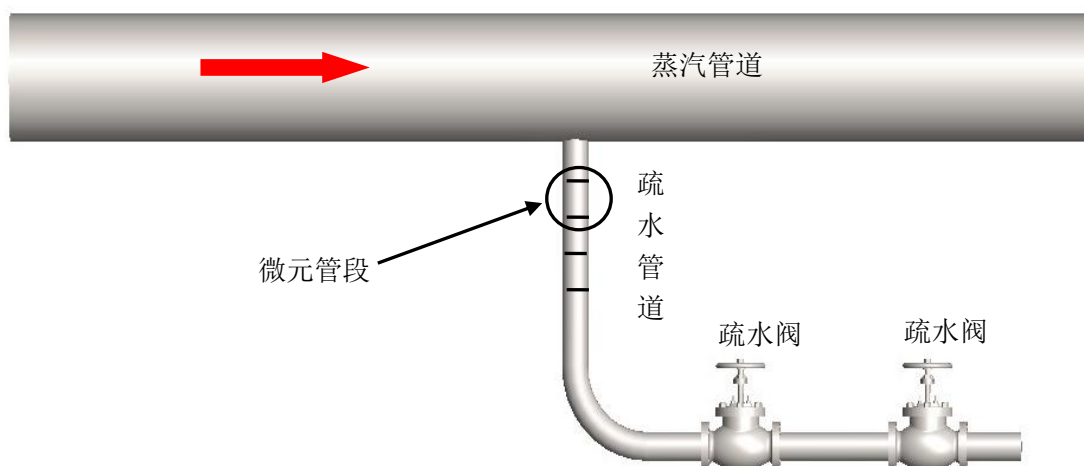
通过上述公式获得划分微元管段内工质的温度场与 q_3 ，设每个管道微元管段的管壁温度为 $f = (t_{gb1}, t_{gb2}, \dots, t_{gbn})$ ，赋予初值，建立每个微元管段 q_3 、工质温度、管壁温度的计算公式，从而求出整个管道温度场分布。

图B.5 计算 L 的逻辑程序框图

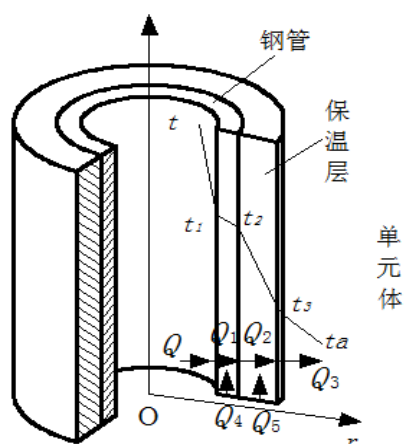
B.4 有泄漏工况下，疏水管道的温度分布计算公式

B.4.1 管道传热计算模型

为了计算疏水管道系统在不同泄漏工况下的温度场分布，将疏水管道系统划分为若干个微小段（见图B.6），每一个微小段可视为简单的圆筒。在计算中，为了保证计算的精确度，每个疏水管道系统的微段长度取值不大于500 mm，将每一个微段管道看作为一个控制体，建立传热模型（如图B.7所示）。疏水管道的结构由里到外依次是金属管壁和保温层。在实际生产中，疏水管道的最外面还包裹了一层薄的金属。最外面这层金属主要是为了保护保温层的结构。由于沿着管道的纵向导热热量很小，在一个控制体计算中可以忽略，并且由于钢材的导热系数较大，管壁厚度为11 mm的钢管内外壁温度差仅0.1 °C左右，所以本计算模型中忽略了最外层金属的热阻。由于工质在不断与环境进行热交换，所以工质沿着流动方向温度逐渐降低；管壁和保温层不仅存在径向导热而且存在纵向导热（如图B.7所示）。由于沿着管道的纵向导热热量很小，在一个控制体计算中可以忽略。管内工质在径向的换热方式依次为对流-导热-对流4种。忽略管壁和保温层的纵向导热热量，则上述4种传热方式的热量相等，即 $Q_1=Q_2=Q_3=Q_4$ 。在图B.6中， t 、 t_1 、 t_2 、 t_3 和 t_a 分别表示为工质温度、管道内壁温度、管道外表面温度、保温层外壁温度和外界环境温度。 Q_1 和 Q_2 分别表示为管壁纵向导热和保温层的纵向导热。 Q_3 、 Q_4 和 Q_5 分别表示为工质对流导热、管壁导热、保温层导热和外界对流导热。



图B.6 疏水管道的微元管段划分



图B.7 管道传热物理模型

B.4.2 疏水管道的压降计算公式

工质在管内流动阻力（压降）计算公式为：

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \xi \frac{8G^2 L}{\rho \pi^2 d^5} \quad (\text{B.10})$$

式中：

ΔP ——疏水管道进出口压降，Pa；

ξ ——摩擦阻力系数，按 B4.3 陈述的方法计算；

G ——阀门泄漏量，kg/s；

d ——疏水管道内径，mm；

ρ ——泄漏工质密度，kg/m³；

L ——疏水管道长度, m。

B. 4.3 摩擦阻力系数计算公式

前述的摩擦阻力系数 ξ 按下列方法计算:

(1) $Re < 2000$ 时:

$$\xi = 64 / Re \quad (\text{B.11})$$

(2) $2000 \leq Re < 3000$ 时:

$$\xi = 0.083 Re^{0.2951} \quad (\text{B.12})$$

(3) $3000 \leq Re < 26.98 (d/\varepsilon)^{8/7}$ 时:

$$\frac{1}{\xi^{1/2}} = 2 \lg(Re \xi^{1/2}) - 0.8 \quad (\text{B.13})$$

(4) $26.98 (d/\varepsilon)^{8/7} \leq Re < 2308 (d/\varepsilon)^{0.85}$ 时:

$$\xi = 1.42 \left[\lg \left(Re \frac{d}{\varepsilon} \right) \right]^{-2} \quad (\text{B.14})$$

(5) $Re \geq 2308 (d/\varepsilon)^{0.85}$ 时:

$$\frac{1}{\xi^{1/2}} = 2 \lg \frac{d}{2\varepsilon} + 1.74 \quad (\text{B.15})$$

式中:

ε ——疏水管道管壁等值粗糙度, mm;

d ——疏水管道内径, mm。

对于高腐蚀条件下工作的疏水管道(排汽管、疏水管、溢流管), $\varepsilon = (0.55 \sim 0.65) \times 10^{-3}$ m。

B. 4.4 泄漏工质与管壁传热量计算公式

泄漏工质与管壁换热以对流换热为主, 换热量计算方法:

$$Q = hs\Delta t \quad (\text{B.16})$$

式中:

s ——泄漏工质与管道内壁的传热面积, m^2 ;

Δt ——泄漏工质温度与管道内壁温度之差, $^{\circ}\text{C}$;

h ——泄漏工质的表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

$$h = N_u \lambda / x \quad (\text{B.17})$$

式中:

λ ——泄漏工质的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

x ——特征长度, m; 当疏水管道竖直布置时取为所划分微元管段的长度, 当疏水管道水平布置时取为划分疏水管道内径;

N_u ——努谢尔数。

以 $Re=2000$ 作为管内流动层流与湍流的临界点, 努谢尔数 N_u 的求法分为三种情况:

(1) 层流时, 采用 Hausen 方程:

$$N_u = 3.66 + \frac{0.0688(d/L)RePr}{1 + 0.04[(d/L)RePr]^{2/3}} \quad (\text{B.18})$$

(2) 湍流时, 采用 Sieder-Tate 方程:

$$N_u = 0.027 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (\text{B.19})$$

(3) 当阀门泄漏量较小时, 工质温度逐渐降至饱和温度, 蒸汽开始在管内凝结, 管内的蒸汽未完全凝结时的平均努谢尔数关系式为:

$$N_u = \frac{\alpha d}{\lambda_l} = 0.012 \text{Re}_v^{0.8} \text{Pr}_l^{0.43} \left[2 + (x_1 + x_2) \left(\frac{\rho_l}{\rho_v} - 1 \right) \right] \quad (\text{B.20})$$

$$\text{Re}_v = \frac{w_v d}{\nu_l} \quad (\text{B.21})$$

式中:

- ρ_l ——饱和水的密度, kg/m^3 ;
- ν_l ——饱和水的运动粘度, m^2/s ;
- Pr_l ——饱和水的和普朗特数, 无量纲;
- ρ_v ——饱和蒸汽的密度, kg/m^3 ;
- w_v ——饱和蒸汽的速度, m/s ;
- x_1 ——计算控制体进口的蒸汽干度;
- x_2 ——计算控制体出口的蒸汽干度。

B. 4. 5 保温层导热计算式

保温层的散热近似看为多层圆筒壁导热问题, 导热传递的热量计算公式为:

$$Q = \frac{2\pi k L \Delta t}{\ln(d_2 / d_1)} \quad (\text{B.22})$$

式中:

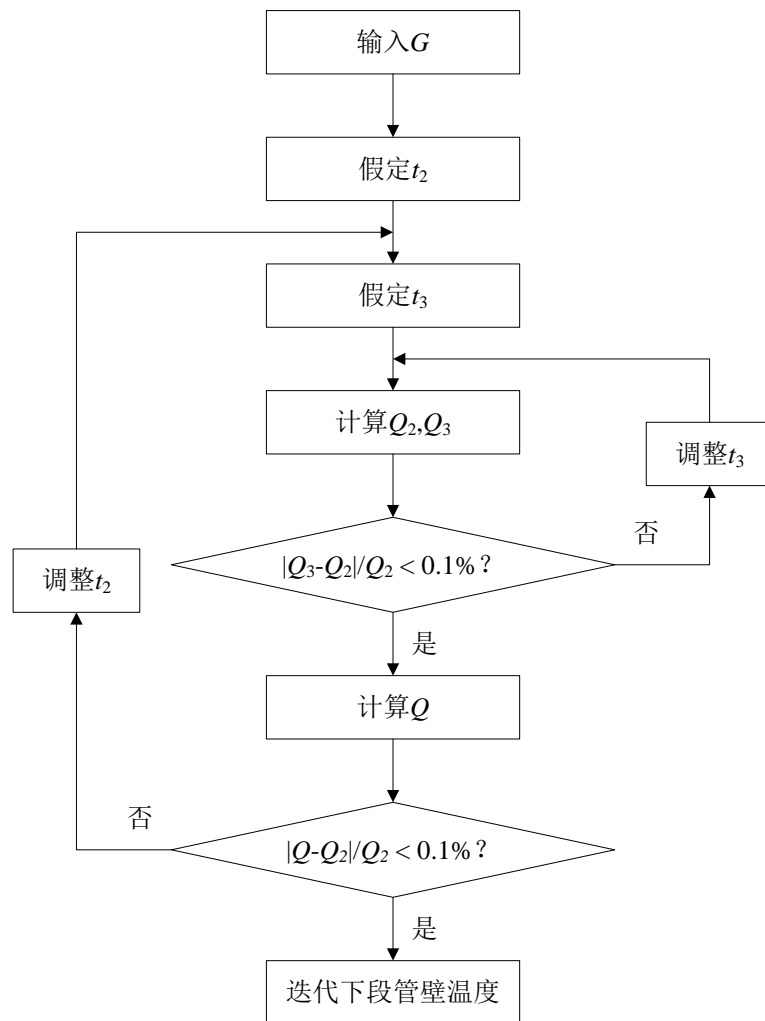
- k ——保温层的导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
- Δt ——内外壁温度差, $^\circ\text{C}$;
- d_1 ——保温层的内径, m ;
- d_2 ——保温层的外径, m ;
- L ——保温层的长度, m 。

B. 4. 6 保温层与大气换热量计算公式

参见本附录的式 (B.3) ~ (B.7)。

B. 4. 7 蒸汽疏水阀前管道外壁温度计算流程

假设阀门泄漏量 G , 把阀前整个疏水管道分为 M 个微元管段 (每个微元管段长度小于等于500 mm), 沿工质的流动方向逐段计算在不同的泄漏量下管壁温度, 直至计算出最后一个微元管段的管壁温。图B. 8为管壁温计算流程框图。图B. 8中, Q 、 Q_2 和 Q_3 分别表示工质对管内壁换热量, 保温层的导热热量, 保温层外壁与周围环境的换热量, t_2 表示管壁温度, t_3 表示保温层外壁温度, 通过图B. 8迭代运算出阀门前最后一个微元管段的管壁温度。



图B.8 管壁温度计算流程框图