

ICS 27.100

F 23

备案号: 13615-2004

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 441 — 2004

代替 DL 441 — 1991

火力发电厂高温高压蒸汽管道 蠕变监督规程

Supervision code for creep strain of steam pipe
in high temperature and high pressure in fossil fuel power plant

2004-03-09 发布

2004-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 蠕变测量截面的设计、装设位置及保护	1
4 蠕变测量方法	1
5 蠕变测点和测量标记的装设	2
6 蠕变测量和计算	3
7 蠕变监督的技术管理	6
附录 A (资料性附录) 常用蒸汽管道钢材的线膨胀系数	7

前 言

本标准是根据原国家经济贸易委员会司（局）《关于下达 2000 年度电力行业标准制、修订计划项目的安排》电力〔2000〕70 号文，对 DL441—1991 进行修订。

高温蒸汽管道蠕变监督的目的是保证管道的安全运行。通过对管道定期蠕变测量和数据分析，及时掌握高温蒸汽管道金属的蠕变规律，为正确分析和预测管道的剩余寿命提供可靠的技术依据。DL441—1991 自颁布实施至今已 10 年有余，在实施的过程中积累了丰富的经验，也提出了一些新的问题，同时，在新修订的 DL438—2000《火力发电厂金属技术监督规程》中列入了对蒸汽管道监察弯管的蠕变监督，也需要对相关内容进行修订。

本标准与 DL441—1991 相比，主要有以下一些变化：

- 将原“导则”改为“规程”；
- 本标准改为推荐性行业标准；
- 增加了规范性引用文件；
- 增加了蒸汽管道监察弯管蠕变监督的内容；
- 增加了附录 A“常用蒸汽管道钢材的线膨胀系数”；
- 对原“导则”的编排顺序、体例及有关条款作了较大幅度的修订。

本标准实施后代替 DL441—1991。

本标准附录 A 是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电站金属材料标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：国电热工研究院、宝鸡第二发电有限公司。

本标准主要起草人：李益民、梁昌乾、陈聪智。

火力发电厂高温高压蒸汽管道蠕变监督规程

1 范围

本标准规定了火力发电厂高温高压蒸汽管道蠕变监督的蠕变截面设计、蠕变测量方法和蠕变监督的技术管理。

本标准适用于蒸汽温度 $T > 450^{\circ}\text{C}$ 的主蒸汽管道、再热蒸汽管道、蒸汽母管及导汽管等的蠕变监督。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

DL438—2000 火力发电厂金属技术监督规程

3 蠕变测量截面的设计、装设位置及保护

3.1 蠕变测量截面

蒸汽管道上固定用于测量蠕变的截面，在该区域设置了蠕变测点或蠕变测量标记，称蠕变测量截面。

3.2 监察段上蠕变测量截面的设置

3.2.1 蒸汽温度高于 450°C 的主蒸汽管道和再热蒸汽管道，应装设蠕变监察段。监察段应设置在靠近过热器和再热器出口联箱的水平管段上实际壁厚最薄的区段，其长度为 $3000\text{mm} \sim 4000\text{mm}$ 。

3.2.2 监察段上不允许开孔和安装仪表插座，也不得安装支吊架。

3.2.3 主蒸汽管道和再热蒸汽管道的监察段上应设置三个蠕变测量截面，测量截面应等间距设置。

3.3 非监察段上蠕变测量截面的设置

3.3.1 主蒸汽管道、蒸汽母管和再热蒸汽管道的每一直管段上，可根据具体情况设置一个蠕变测量截面，每条管道蠕变测量截面的总数不得少于 10 个。直管段上蠕变测量截面的位置，离焊缝或支吊架的距离不得小于 1m ，至弯管起弧点不得小于 0.75m 。

3.3.2 应选择不少于两根集汽联箱的导汽管，在距弯管起弧点 0.5m 左右处直管段壁厚最薄的部位设置一个蠕变测量截面。

3.4 监察弯管的设置

累计运行时间达到或超过 10 万 h 的主蒸汽管道和高温再热蒸汽管道，其弯管为非中频弯管工艺制造，应设监察弯管。监察弯管的选择执行 DL438—2000 中 7.4 的规定。

3.5 蠕变测量截面的保护

3.5.1 蠕变测量截面处，应设计活动保温并在保温外加注标记，其保温性能不低于该部件保温材料的保温性能。露天或半露天布置的蠕变测量截面处，应有防水渗入管道表面的设施。垂直管段的蠕变测量截面处，应有防止保温材料下滑的可靠措施。

3.5.2 对需要经常测量及难搭架子的蠕变测量截面处，应有固定的测量平台。

4 蠕变测量方法

4.1 蠕变测量方法的选择

蠕变测量方法的选择主要依据蒸汽管道的尺寸和材料的可焊性水平。可用蠕变测点测量方法或蠕

变测量标记方法来测量蠕变。对一些在焊接测点座时易出裂纹的高合金钢管道及厚壁钢管，应选择蠕变测量标记方法。

4.2 蠕变测点测量方法（千分尺）

4.2.1 蠕变测点测量方法是用千分尺测量监察截面直径的方法，为实现每次测量都在固定位置上，应在要测量截面的管道直径两端外表面焊上蠕变测点（图1）。

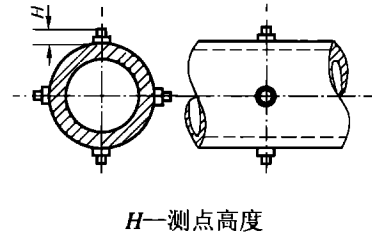


图1 蒸汽管道测量截面上蠕变测点的布置

4.2.2 蠕变测点头可选用下述两种形式之一：

- a) 球头蠕变测点头（图2）；
- b) 自动对心蠕变测点头（图3）。

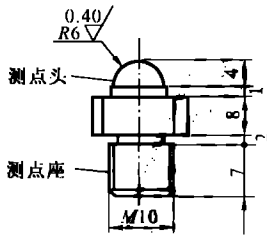


图2 球头蠕变测点头

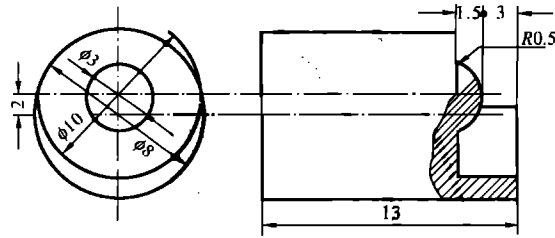


图3 自动对心蠕变测点头

4.2.3 每个测量截面测点的数量：

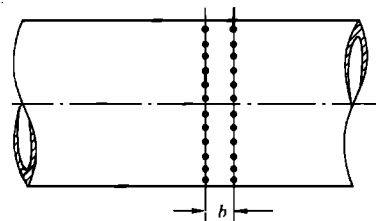
- a) 外径 $D < 350\text{mm}$ 的蒸汽管道，每个蠕变测量截面的蠕变测点至少应有 4 个（2 对），分布在两相互垂直的直径端点上；
- b) 外径 $D \geq 350\text{mm}$ 的蒸汽管道，每个蠕变测量截面的蠕变测点应有 8 个（4 对），分布在互相成 45° 的截面直径的端点上。

4.2.4 测点座的钢材应与管道的钢材相同，测点头应用 1Cr18Ni9Ti 不锈钢制成。

4.3 蠕变测量标记测量方法（钢带尺）

4.3.1 蠕变测量标记测量方法是使用因瓦合金制作的钢带尺缠绕在管道测量截面外表面上来测量该截面周长。钢带尺的宽度为 40mm~50mm。

4.3.2 为保证每次测量都在固定位置上，应在要测量截面的管道的外表面上按钢带尺的宽度打上两排互相平行的球面压痕标记（图4）。



b—钢带尺宽度

图4 钢管上蠕变测量标记布置示意图

4.4 弯管蠕变测量方法

弯管蠕变的测量按 DL438—2000 中附录 A 执行。

5 蠕变测点和测量标记的装设

5.1 蠕变测点的安装

5.1.1 位于水平管段上的蠕变测点，其中的一对测点，应装设在水平方位；位于垂直管段上的蠕变测点，应装设在便于测量的方位。

5.1.2 采用管道外表面圆周长等分的方法，确定蠕变测点中心的位置。同一截面的各对测点应处于与管道轴线相垂直的一个截面上。

5.1.3 新装管道的蠕变测点座应在管道安装后焊好，焊后应进行整体（蠕变测点截面）热处理。冲管前在测点座上装上蠕变测点头。

5.1.4 在测点头与测点座焊接前，应调整蠕变测点的高度，其要求是：当管道直径产生 2% 的相对胀粗时，仍不必更换千分尺的量程，并使公称直径相同的管道上的测点间径向尺寸的相互偏差不超过 0.1mm。

5.1.5 测点头与测点座焊接后，应装设保护套。

5.2 蠕变测量标记的设置

5.2.1 新装管道设置的或运行后管道选定增设的蠕变测量标记，其每排相邻标记中心线在钢管周向连线之间距离应等于测量用钢带尺的宽度（一般宜 40mm~50mm），并使测量标记在管子周长上均匀等距分布。

5.2.2 测量标记为一个直径约 $\phi 2\text{mm}$ ，深度为 1mm 球面压痕。

5.2.3 为保证测量标记正确地设置在管道表面上，在设置时应把蠕变测量标记布置在一薄钢带上，然后在标记处钻一个 $\phi 1\text{mm}$ 的孔，把此薄钢带围在管道蠕变测量截面的外表面上，即能按孔准确定出测量标记的位置。

5.2.4 为保证每次测量时钢带尺与钢管接触紧度相同，钢带尺宜带有恒定力的拉紧装置。

5.3 弯管蠕变测点的安装

弯管蠕变测点的安装按 DL438—2000 中附录 A 执行。

6 蠕变测量和计算

6.1 测量工具、测量环境及要求

6.1.1 测量用的千分尺和红外点温计应有定期校验合格证。

6.1.2 测量用钢带尺带有游标，其精确度至少应为 0.02mm，钢带尺用因瓦合金制成（含 36%Ni 的 Fe-Ni 合金，0℃~100℃间线膨胀系数接近于 0）。

6.1.3 蠕变测量前，应对测量工具和温度计进行校核，确保测量仪器准确可靠。

6.1.4 蠕变测量前，应检查蠕变测点或蠕变测量标记是否受损伤，并确保测量工具的测量面和测点或测量标记部分管段外表面洁净。清洁可用棉纱和酒精，但不能用锉刀或砂纸。

6.1.5 蠕变测量时，管壁温度不宜过高，一般不超过 50℃。

6.1.6 测量工具的温度应与测量现场的环境温度一致。当环境温度与测量人员手温相差较大时，应考虑测量人员手温对测量工具的影响。

6.1.7 对管壁和测量工具作温度测量时，温度读数应精确到 0.5℃，小于 0.5℃应进为 0.5℃，大于 0.5℃应进为 1℃。

6.2 用蠕变测点测量蠕变的方法、要求及测量数据的计算

6.2.1 用蠕变测点测量蠕变的方法及要求

6.2.1.1 当用千分尺弓身温度作修正计算时，蠕变测量前后应在接近 20℃的环境中，用标准棒对千分尺的零位进行校正；当用标准棒温度作修正计算时，蠕变测量前后应在测量现场的环境中，用标准棒对千分尺进行零位校正。按式（1）计算千分尺的零位校正值：

$$B = \frac{b_1 + b_2}{2} \quad (1)$$

式中：

B ——千分尺零位校正值；

b_1 ——测量前千分尺的零位值，mm；

b_2 ——测量后千分尺的零位值，mm。

6.2.1.2 当 $|b_1 - b_2| > 0.01\text{mm}$ 时，应查明原因，如零位已变动或零位测量有误，则本次所测结果无效，应重新进行测量。

6.2.1.3 蠕变测量时，应保证千分尺测量面与测点头对中。用力不要过大，应用棘轮转动微分筒，缓

慢地使测量面与测点接触。

6.2.1.4 千分尺读数应精确到 0.005mm，小于 0.0025mm 可略去，等于或大于 0.0025mm 应进为 0.005mm；小于 0.0075mm 应退为 0.005mm，等于或大于 0.0075mm 应进为 0.010mm。

6.2.1.5 每对蠕变测点应测量三次，若各次读数变动超过 0.010mm，应重新测量。

6.2.1.6 采用千分尺弓身温度作修正计算时，每组蠕变测点测量后，应立即测量千分尺的弓身温度及蠕变测点附近的管壁温度。采用标准棒温度作修正计算时，每组蠕变测点测量前后，应即时进行千分尺的零位校正，并立即测量标准棒温度及蠕变测点附近的管壁温度。

6.2.2 用蠕变测点测量方法对原始测量数据的计算

6.2.2.1 换算到 0℃ 的管道原始直径 D_1 按式 (2) 计算：

$$D_1 = (D - B) [1 - \alpha_p t_p + \alpha_{ck} (t_{ck} - 20)] \quad (2)$$

式中：

D_1 ——管道原始直径，mm；

D ——第一次测量的管道直径，mm，管道安装后在距测点座 40mm~50mm 处用千分尺测量，严禁用公称直径；

B ——千分尺零位校正值；

α_p ——管道钢材的线膨胀系数，1/℃，常用蒸汽管钢材的线膨胀系数参见附录 A；

α_{ck} ——千分尺弓身（或标准棒）的线膨胀系数，1/℃；

t_p ——管道的管壁温度，℃；

t_{ck} ——千分尺弓身（或标准棒）的温度，℃。

6.2.2.2 换算到 0℃ 的带测点高度的管道原始径向尺寸 D_{1H} 按式 (3) 计算：

$$D_{1H} = (D_H - B) [1 - \alpha_p t_p + \alpha_{ck} (t_{ck} - 20)] \quad (3)$$

式中：

D_{1H} ——换算到 0℃ 的带测点高度的管道原始径向尺寸，mm；

D_H ——第一次测量的带测点高度的管道直径尺寸，mm。

6.2.2.3 换算到 0℃ 的测点高度 H 按式 (4) 计算：

$$H = D_{1H} - D_1 \quad (4)$$

6.2.3 用蠕变测点测量方法对运行后测量数据的计算

6.2.3.1 换算到 0℃ 的带测点高度的管道径向尺寸 D_{nH} 按式 (5) 计算：

$$D_{nH} = (D'_H - B) [1 - \alpha_p t_p + \alpha_{ck} (t_{ck} - 20)] \quad (5)$$

式中：

D_{nH} ——换算到 0℃ 的带测点高度的管道径向尺寸，mm；

D'_H ——本次测量的带测点高度的管道直径，mm。

6.2.3.2 换算到 0℃ 的管道直径 D_n 按式 (6) 计算：

$$D_n = (D'_H - B) [1 - \alpha_p t_p + \alpha_{ck} (t_{ck} - 20)] - H \quad (6)$$

6.2.4 管道直径绝对蠕变变形量和相对蠕变应变的计算

6.2.4.1 管道直径的绝对蠕变变形量 ΔD 按式 (7a) 或式 (7b) 计算：

$$\Delta D = D_{nH} - D_{1H} \quad (7a)$$

$$\Delta D = D_n - D_1 \quad (7b)$$

6.2.4.2 对蠕变测点的测量方法，原始及运行后测量数据的计算结果应精确到 0.005mm。小于 0.0025mm 可略去，等于或大于 0.0025mm 应进为 0.005mm；小于 0.0075mm 应退为 0.005mm，等于或大于 0.0075mm 应进为 0.010mm。

6.2.4.3 蠕变测点的测量方法其管道直径的相对蠕变应变 $\varepsilon(\%)$ 按式 (8) 计算:

$$\varepsilon = \frac{\Delta D}{D_1} \times 100\% \quad (8)$$

6.3 用蠕变测量标记测量蠕变的方法、要求及测量数据的计算

6.3.1 用蠕变测量标记测量蠕变的方法及要求

用蠕变测量标记测量方法测量时, 钢带尺的边应与两排标记的中心线重合, 每次测量时其拉紧力应相同, 避免用大力而使钢带尺变形。每次测量时测三次, 求其平均值。

6.3.2 用蠕变测量标记测量蠕变的计算

6.3.2.1 蠕变测量标记测量方法的原始测量数据计算。换算到 0°C 的管道测量截面原始周长 C_1 按式 (9) 计算:

$$C_1 = (C - B')[1 - \alpha_p t_p + \alpha_b (t_b - 20)] \quad (9)$$

式中:

C_1 ——换算到 0°C 的管道测量截面原始周长, mm;

C ——第一次测量的管道测量截面周长测量值, mm;

α_b ——钢带尺的线膨胀系数, $1/^\circ\text{C}$, 若钢带尺用因瓦合金制造, 则在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 内 $\alpha_b \approx 0$;

t_b ——钢带尺的温度, $^\circ\text{C}$;

B' ——钢带尺的零位修正值, mm。

6.3.2.2 蠕变标记测量方法的运行后测量数据的计算。换算到 0°C 的管道测量截面周长 C_n 按式 (10) 计算:

$$C_n = (C' - B')[1 - \alpha_p t_p + \alpha_b (t_b - 20)] \quad (10)$$

式中:

C_n ——换算到 0°C 的管道测量截面周长, mm;

C' ——本次测量时管道测量截面周长测量值, mm。

6.3.3 管道周长绝对变形量与相对蠕变应变的计算

6.3.3.1 管道测量截面周长的绝对蠕变变形量 ΔC 按式 (11) 计算:

$$\Delta C = C_n - C_1 \quad (11)$$

6.3.3.2 用测量标记法测量的原始及运行后测量数据的计算结果应精确到 0.02mm 。小于 0.01mm 的可略去; 等于或大于 0.03mm 应进为 0.04mm ; 小于 0.06mm 应退回 0.05mm ; 等于或大于 0.09mm 的应进为 0.10mm 。

6.3.3.3 管道测量截面周长的相对蠕变应变 $\varepsilon(\%)$ 按式 (12) 计算:

$$\varepsilon = \frac{\Delta C}{C_1} \times 100\% \quad (12)$$

6.4 蠕变测量结果处理

6.4.1 绘制相对蠕变应变—运行时间 ($\varepsilon-\tau$) 曲线。蠕变应变 ε 坐标的比例选取, 应考虑到管道的蠕变应变达 2% 时, 曲线仍可完整地绘出, 为考虑蠕变应变出现负值的情况, 在横坐标的下方地区, 应有一定的负值蠕变应变空间。运行时间 τ 的坐标比例应考虑运行时间为 $3 \times 10^5\text{h}$ 或更多。

6.4.2 用最小二乘法计算出蠕变恒速阶段的蠕变速度 v 按式 (13) 计算:

$$v = \frac{\varepsilon}{\tau} \quad (13)$$

式中:

v ——蠕变恒速阶段的蠕变速度, $\%/h$ 。

6.4.3 当在相对蠕变应变—运行时间图上, 出现一点或连续两点明显偏离线性时, 可按该偏离点的连

线单独计算该区段时间的蠕变速度。

6.4.4 对于蠕变测点的测量方法，每一截面的各对蠕变测点的结果应分别计算和评定。

6.5 弯管的蠕变测量和蠕变计算

弯管的蠕变测量和蠕变计算按 DL438—2000 中附录 A 执行。

6.6 蠕变监督评价

- a) 蠕变恒速阶段的蠕变速度不大于 $1 \times 10^{-5} \% / \text{h}$;
- b) 总的相对蠕变应变 ϵ 达 1% 时进行寿命鉴定;
- c) 总的相对蠕变应变 ϵ 达 2% 时更换管子。

7 蠕变监督的技术管理

7.1 设计单位应按本标准布置和设计蠕变测点或蠕变测量标记，安装单位应按设计图纸正确装设，并将标有测量截面位置及编号的立体管道系统图，完整地移交给生产单位保存。

7.2 火电厂在机组投运前应依据 6 中有关条款，对各测量截面的原始管道直径或周长进行测量和计算，且做好原始记录的保存。

7.3 火力发电厂应依据本标准，在机组每次大修时进行蠕变测量，做到及时、准确，发现问题及时处理，保证测量数据和记录系统、完整、准确。

7.4 所有的蠕变监督测量数据、图、表除有文字记录外，还应进行计算机管理和存储。

7.5 火力发电厂高温高压蒸汽管道的蠕变测量，应由电厂指定专人负责，测量人员应保持相对稳定，专尺专用。确保蠕变测量结果准确可靠。

7.6 蠕变测量工具应齐全完好，并定期进行检定。蠕变测量用的温度计，每年至少检定一次；钢带尺应有特别容器保存，避免弯折和变形。

7.7 火力发电厂高温蒸汽管道的蠕变监督应建立完整的技术档案，包括：标有蠕变测量截面位置和编号的立体管线图、蠕变测量记录卡、 $\epsilon-\tau$ （相对蠕变应变—运行时间）曲线等，并应及时正确地记录每次测量结果和计算结果。技术档案要妥为保管，不得遗失。

7.8 在设计期限内或经鉴定的超期运行期内，当相对蠕变应变 ϵ 小于 0.75% 或管道各测量截面间的最大蠕变速度小于 $0.75 \times 10^{-5} \% / \text{h}$ 时，监察段的蠕变测量时间间隔以 15000h 左右为宜；对其他蠕变测量截面，可采用轮流方法，但其测量时间间隔以不超过 30000h 为宜。

7.9 当相对蠕变应变 ϵ 达 0.75%~1% 或管道各测量截面间的最大蠕变速度接近 $1 \times 10^{-5} \% / \text{h}$ 时，蠕变测量时间间隔以 10000h 左右为宜，并不分监察段测量截面和非监察段测量截面。

7.10 当管道相对蠕变应变或蠕变速度超过上述标准，或出现一次测点很不正常，或连续两次明显偏离线性时，金属专责应及时向有关主管汇报，并分析原因，提出对策。

附 录 A
(资料性附录)
常用蒸汽管道钢材的线膨胀系数

(单位: $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

材料	温度 °C						
	100	200	300	400	500	600	700
20	11.16	12.12	12.78	12.83	13.93	14.38	14.81
15Mo	12.0	12.6	13.2	13.7	14.2	14.7	
12CrMo	11.2	12.5	12.7	12.9	13.2	13.5	13.8
15CrMoG	11.9	12.6	13.2	13.7	14.0	14.3	
12Cr2MoG	12.0	13.0	13.0	14.0	14.0	14.0	
12CrMoV	10.80	11.79	12.35	12.80	13.20	13.65	13.80
12Cr1MoVG	13.03	13.36	13.55	13.03	14.15	14.38	14.62
15Cr1Mo1V	11.2	11.7	12.5	13.0	13.5	13.70	
X20CrMoV121 (F12)	10.8	12.2	11.6	11.9	12.1	12.3	
9Cr-1Mo			11.4	11.9	12.1	12.4	12.6
9Cr-2Mo (HCM9M)			11.47	11.78	12.08	12.44	12.57
P91			11.68	11.95	12.21	12.39	12.58

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
火力发电厂高温高压蒸汽管道蠕变监督规程
DL/T 441 — 2004

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷厂印刷

2004年6月第一版 2004年9月北京第二次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 16千字
印数4001—7000册

统一书号 155083·1142 定价 6.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)