水冷壁高温腐蚀倾向判断及 H_2S 近壁面许用浓度研究

许伟刚[1,2]，谭厚章[2]，刘原一[2]，魏博[2]，惠世恩[2]

(1. 常州大学 机械工程学院，江苏 常州 213164；
2. 热流科学与工程教育部重点实验室(西安交通大学)，陕西 西安 710049)

摘 要：为预防日益严重的锅炉水冷壁高温腐蚀，在 300 MW 燃煤锅炉上研究了近壁面气氛分布规律，结合不同气氛下水冷壁材料 12Cr1MoV 的高温腐蚀动力学试验数据，预测了不同温度、气氛、腐蚀层开裂周期下的高温腐蚀速率，从而提出不同运行时间下锅炉水冷壁腐蚀的倾向判断标准；建立了腐蚀速率与 H_2S 浓度、腐蚀时间和腐蚀层开裂周期的关系式，并以腐蚀膜开裂周期 12 h 和 24 h 为例，求得了近壁面气氛的许用浓度。研究结果表明，近壁面硫化氢（H_2S）浓度与一氧化碳（CO）浓度成正比，而与氧气（O_2）浓度成反比；高温腐蚀速率与时间符合抛物线关系，与温度符合阿雷尼乌斯定律；只要将近壁面气氛控制在对应的 H_2S 许用浓度范围以内，就可以预防严重高温腐蚀的发生。

关键词：燃煤锅炉；水冷壁；高温腐蚀；硫化氢；腐蚀判据；腐蚀膜开裂

中图分类号：TK223 **文献标志码：**A **DOI：**10.11930/j.issn.1004-9649.201707164

0 引言

随着《火电厂大气污染物排放标准》（GB 13223—2011）的实施[1]，火电厂面临巨大的节能减排压力，特别是 2015 年 12 月发布的《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》[2]更是规定了 50 mg/m³ 的氮氧货物（NO_x）超低排放标准。为了达到超低排放标准，中国火电厂进行了大范围的低氮燃烧器改造，虽然解决了 NO_x 排放问题，但也带来了其他问题[3]。例如，采用低 NO_x 分级燃烧技术及燃烧器，常常使得煤粉喷嘴区域、燃烧器下部的燃烧区域处于贫氧状态[4]，加剧了高温腐蚀的发生。因此，在保证低氮排放的基础上，避免严重高温腐蚀的发生十分重要。

根据腐蚀机理，燃煤锅炉水冷壁高温腐蚀可以分为硫酸盐型[5-6]、硫化物型[7-12]、氯化物型[5, 7, 13]和还原性气体引起型[14-15]。研究表明，国内燃煤锅炉高温腐蚀通常属于还原性气氛下的硫化物腐蚀，腐蚀速率和烟气中一氧化碳（CO）、硫化氢（H_2S）体积分数成正比[7-12]。

要避免高温腐蚀的发生，不仅要了解高温腐蚀的类型和机理，更重要的是必须能预测高温腐蚀的速率。影响金属腐蚀的因素主要是壁面气氛、壁面温度和壁面材料。要预测高温腐蚀，必须实时监测壁面温度和气氛，并能通过壁面温度、气氛和材料计算高温腐蚀速率。

近壁面气氛和壁面温度的实时监测并不困难。文献[16]提出了一种锅炉水冷壁高温腐蚀气氛连续监测装置。文献[17]提出了在线测量水冷壁附近烟气成分及壁温的装置。文献[18]公开了一种煤粉锅炉水冷壁烟气组分分布矩阵式检测装置及方法。

关于预测高温腐蚀的判据，文献[17]提出了利用改进的模糊层次分析法对水冷壁附近烟气成分、壁温及电厂 MIS 系统中的运行数据进行分析，此分析主要基于对高温腐蚀影响因素的评估，而并未对高温腐蚀速率本身进行预测。文献[19]提出了用灰色聚类法对水冷壁高温腐蚀倾向进行综合评判，此方法依赖于其对腐蚀因素的分级标准，人为因素较大。文献[20]还提出了一种高温腐蚀的定量判据，但并没有考虑壁面温度和材料的差异。上述方法均有其侧重，但均不能准确地实时预测高温腐蚀速率，腐蚀定量判据也有局限性。

为定量计算水冷壁高温腐蚀速率，建立水冷壁高温腐蚀倾向判断标准，笔者在某 300 MW 锅炉上研究了近壁面气氛分布规律，并在实验室

收稿日期：2017-07-25； **修回日期：**2018-01-23。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进行了不同气氛下水冷壁材料高温腐蚀动力学试验，结合2方面数据，预测了不同温度、气氛下的高温腐蚀速率；同时，在充分考虑实际锅炉与实验室区别的基础上，提出不同运行时间、不同开裂周期、不同腐蚀速率下，必须满足的H_2S浓度上限。

1 试验系统及方法

1.1 近壁面气氛分布规律试验

在某电厂2台300 MW的四角切圆燃煤锅炉上进行了近壁面气氛测量。2台锅炉均布置有6层燃烧器A~F和燃尽风（OFA），且经过低氮燃烧器改造，在OFA上6 m均布置了4层高位燃尽风（SOFA），但其燃烧器分别为水平浓淡式和上下浓淡式。

在最上层F层燃烧器高度、OFA与SOFA间各布置了1层近壁面气氛测点（见图1），在240 MW、280 MW、300 MW负荷下，调整空气预热器（空预器）进口氧体积分数（3%、4%、5%）和SOFA风开度（0.5层、1层、1.5层、2层），对水冷壁近壁面CO、H_2S和O_2含量进行了大量的数据数据采集与测量。

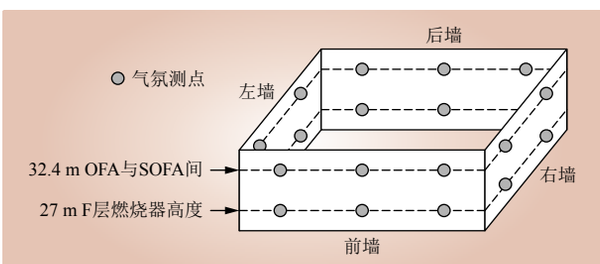

图1 水冷壁气氛测点布置示意

Fig. 1 Layout of measuring points for atmosphere near walls

试验过程中，负荷在240 MW和300 MW时，燃用煤种1；负荷在280 MW时燃用煤种2。2种煤的煤质化验数据如表1所示。由表1可知，2种煤的S含量差异不大。

1.2 高温腐蚀动力学试验

在了解锅炉水冷壁近壁面气氛的基础上，在实验室配置混合气体模拟水冷壁近壁面气氛，进行了水冷壁材料的高温腐蚀试验。试验材料选用水冷壁常用材料12Cr1MoV，其化学成分如表2所示。

试验在图2所示的高温腐蚀试验台上进行，根据实际测得的水冷壁近壁面气氛，实验室配置腐蚀气氛，H_2S为主要腐蚀气体，O_2调节气氛的还原性与氧化性，二氧化碳（CO_2）和氮气（N_2）作为载气。将12Cr1MoV样品进行预处理后放置在热重分析仪中通入惰性气体进行加热，先加热到试验温度，然后保持准等温、恒加热，通入混合均匀的气体进行腐蚀。根据实际锅炉水冷壁壁面温度，腐蚀试验时控制试片表面温度分别为400 ℃、450 ℃、500 ℃。腐蚀总时长84 h，每12 h称重1次，以获得腐蚀动力学数据。

2 试验结果与分析

2.1 近壁面气氛分布规律

水冷壁附近的还原性气氛主要是CO，将各炉不同测点不同工况下测得的各测点H_2S浓度及对应CO浓度汇总，结果如图3所示。由图3可以看出，局部烟气中CO浓度越高，H_2S浓度也越高；CO体积分数小于5%的情况较多，但最高测得20%，相应的H_2S体积分数主要集中在0~0.05%，但最高测得0.2%。

表1 煤质化验结果

Table 1 Coal quality analysis data

煤种	M_t质量分数/%	M_{ad}质量分数/%	A_{ar}质量分数/%	V_{daf}质量分数/%	FC_{ad}质量分数/%	$S_{t,ar}$质量分数/%	C_{ar}质量分数/%	H_{ar}质量分数/%	N_{ar}质量分数/%	O_{ar}质量分数/%	$Q_{gr,d}$/(MJ·kg^{-1})
1	12	1.17	26.66	29.18	48.79	1.51	50.99	3.36	0.71	4.77	22.91
2	9.4	1.02	31.70	26.76	47.13	1.75	48.82	3.33	0.69	4.31	21.14

表2 12Cr1MoV的主要化学成分

Table 2 Mass fraction of main chemical components of 12Cr1MoV

材料名称	C质量分数/%	Si质量分数/%	Mn质量分数/%	Cr质量分数/%	Mo质量分数/%	V质量分数/%	P质量分数/%	S质量分数/%
12Cr1MoV	0.08~0.15	0.17~0.37	0.4~0.7	0.9~1.2	0.25~0.35	0.15~0.3	—	—

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

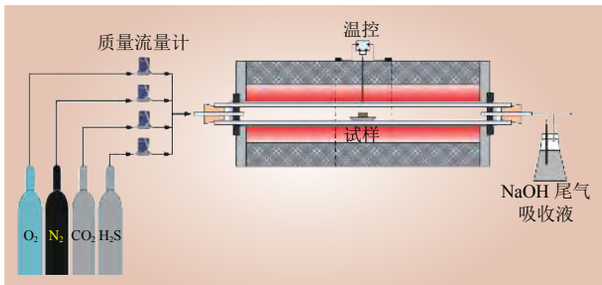

图 2　高温腐蚀试验台示意

Fig. 2　High temperature corrosion test device

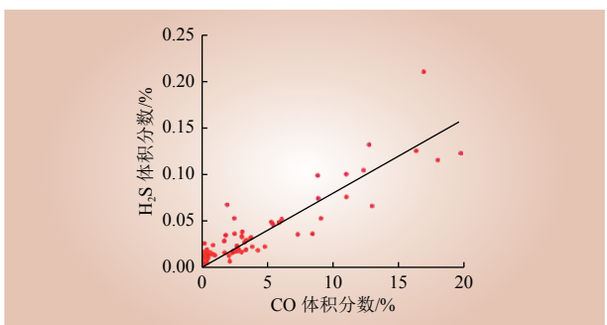

图 3　H_2S 浓度与 CO 浓度的关系

Fig. 3　Relationship between H_2S concentration and O_2 concentration

不同测点不同工况下测得的局部 H_2S 浓度随对应 O_2 浓度变化分别如图 4 所示。由图 4 可以看出，局部烟气中 H_2S 浓度随着 O_2 浓度的增加而急剧减小；当 O_2 体积分数在 1% 以上时，H_2S 体积分数小于 0.03%；而当 O_2 体积分数下降到 1% 以下时，H_2S 体积分数高至 0.21%（图中显示 O_2 体积分数均为 0，是由于实际 O_2 浓度低于测量仪器检测下限）。

图 3 和图 4 实则反映同一现象：由于炉内风粉分布不均，当水冷壁附近局部煤粉浓度低而氧气充足时，氧气有剩余，C 和 S 被完全氧化为 CO_2 和二氧化硫（SO_2），CO 和 H_2S 含量很低；当水冷壁附近局部煤粉浓度高而氧气不足时，出现显著的还原性气氛，S 难以被氧化为 SO_2，主要以游离 S 和 H_2S 存在，从而导致 H_2S 浓度增加。

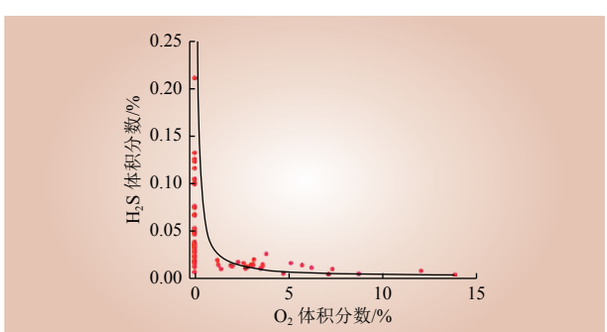

图 4　H_2S 浓度与 O_2 浓度的关系

Fig. 4　Relationship between H_2S concentration and O_2 concentration

2.2　高温腐蚀动力学

根据测得的实际锅炉水冷壁近壁面气氛，主要腐蚀气体 H_2S 的浓度为 0~0.2%，且主要集中在 0~0.05%，因此在实验室配置了 H_2S 体积分数为 0.02%、0.05%、0.08%、0.1% 的混合气体，进行腐蚀动力学试验，控制 O_2 和 CO_2 体积分数分别为 0.5% 和 15%，其余为 N_2。12Cr1MoV 在 400~500 ℃ 下不同气氛中的单位面积增重随时间的关系如图 5 所示。由图 5 可见，随腐蚀时间的增长，腐蚀速率明显趋缓；随着温度升高，腐蚀速率明显加快。

对试验结果作进一步分析，发现腐蚀增重的平方与时间呈线性关系，即腐蚀增重与时间呈抛物线关系，说明腐蚀的控制步骤是腐蚀产物在膜内的扩散。不同温度气氛中 12Cr1MoV 的抛物线速率方程如表 3 所示，其可以表示为

$$y^2 = k''t + b \tag{1}$$

式中：y 为单位面积增重，mg/cm²；k''为抛物线速率常数，mg²/(cm⁴·h)；t 为腐蚀时间/h；b 为初始增重平方或误差，mg²/cm⁴。

12Cr1MoV 在不同气氛下的抛物线速率常数与温度的关系如图 6 所示。由图 6 可以看出 $\ln k''$ 与 $1/T$ 符合直线规律，因此可以推断抛物线速率常数与温度的关系满足阿累尼乌斯定律。

$$k'' = k_0 e^{-Q/RT} \tag{2}$$

式中：k_0 为材料、气氛、腐蚀条件等决定的常数，单位与 k'' 相同；Q 为表观活化能，J/mol；R 为通用气体常数，8.314 J/(mol·K)；T 为反应的绝对温度，K。

12Cr1MoV 腐蚀的抛物线速率常数随 H_2S 浓度的变化如图 7 所示。由图 7 可以看出，抛物线速率常数随腐蚀气体浓度的增长而快速增长。经拟合发现，抛物线速率常数与 H_2S 浓度满足指数关系。

$$k'' = a c_{H_2S}{}^n \tag{3}$$

式中：a、n 为材料、腐蚀条件等决定的常数；

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

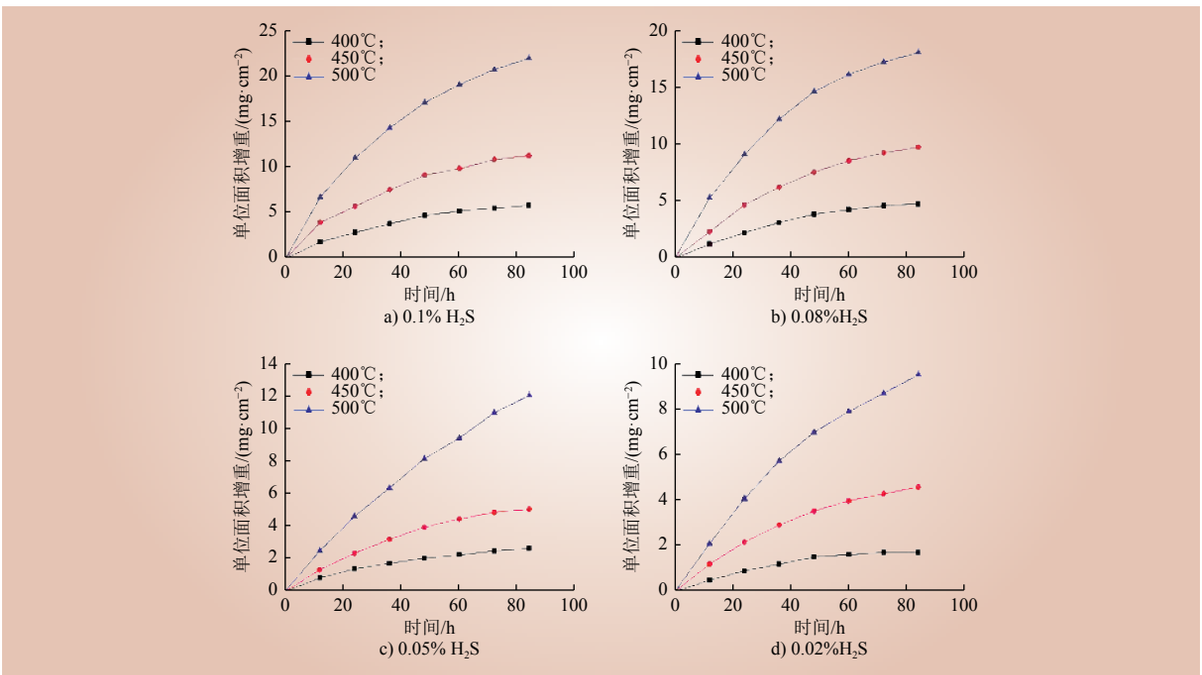

图 5　12Cr1MoV 的单位面积增重随时间的变化

Fig. 5　Weight gain of 12Cr1MoV varies with time

表 3　12Cr1MoV 增重随时间的抛物线速率方程

Table 3　Parabolic rate equation of weight gain of 12Cr1MoV with time

H_2S 体积分数/%	400 ℃	450 ℃	500 ℃
0.1	y^2=0.437 57t-0.780 23；R^2=0.983 7	y^2=1.614 91t-1.230 1；R^2=0.989 9	y^2=6.076 4t-11.893 2；R^2=0.994 0
0.08	y^2=0.302 86t-0.863 77；R^2=0.9797	y^2=1.239 15t-4.393 8；R^2=0.988 7	y^2=4.217 32t-6.090 27；R^2=0.984 2
0.05	y^2=0.087 95t-0.101 41；R^2=0.996 9	y^2=0.337 93t-1.235 26；R^2=0.985 9	y^2=1.818 58t-14.595 16；R^2=0.970 7
0.02	y^2=0.040 13t-0.009 39；R^2=0.950 4	y^2=0.267 49t-0.913 84；R^2=0.991 2	y^2=1.135 51t-6.194 39；R^2=0.989 2

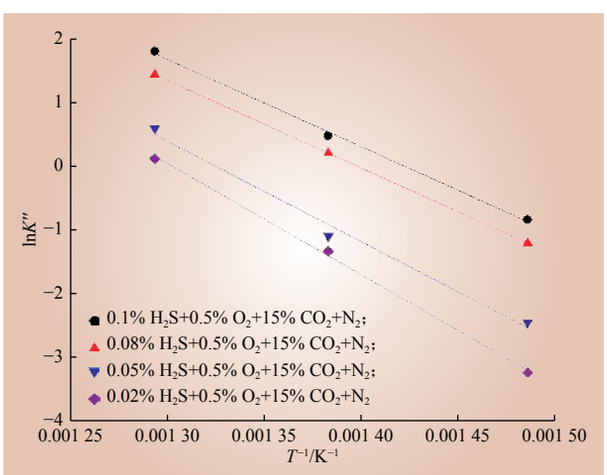

图 6　12Cr1MoV 在不同气氛中腐蚀的抛物线速率常数与温度的关系

Fig. 6　Relationship between the parabolic rate constant and temperature of 12Cr1MoV in different atmospheres

c_{H_2S}为 H_2S 体积分数，%。

从图 7 可以求得 400 ℃、450 ℃、500 ℃时，a 分别为 11.92、18.76、54.78，n 分别为 1.5、1.15、1.03。

2.3　高温腐蚀倾向判断标准

由于影响水冷壁管安全性的直接指标为腐蚀深度（即管壁减薄），因此需将腐蚀增重转化为腐蚀深度。腐蚀深度可表示为

$$d_- = d - d_+ \tag{4}$$

式中：d_-为腐蚀深度，cm；d 为腐蚀层厚度，cm；d_+为腐蚀增厚，cm。

912 ℃以下，Fe 以 α-Fe 形式存在，其氧化物 Fe_2O_3（α-Fe）和 Fe_3O_4（α-Fe）的 PBR 值（生成氧化物体积与消耗金属体积之比）分别为 2.14 和 2.10，为便于计算，取平均值 PBR=2.12。而根据

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

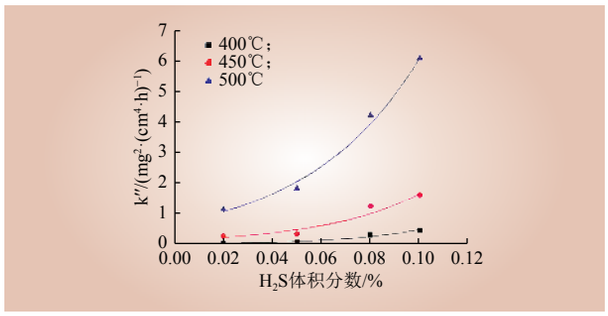

图 7　12Cr1MoV 腐蚀的抛物线速率常数与 H_2S 体积分数的关系

Fig. 7　Relationship between the parabolic rate constant of 12Cr1MoV and H_2S concentration

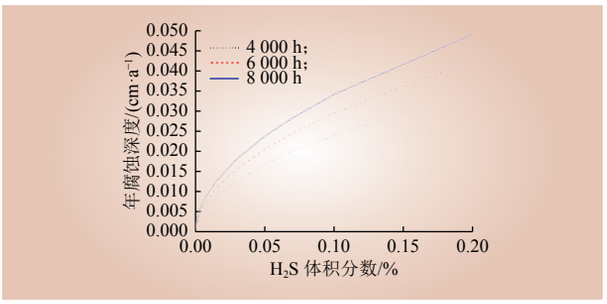

图 8　12Cr1MoV 年腐蚀深度随 H_2S 浓度的变化关系

Fig. 8　Relationship between the corrosion depth per yea of 12Cr1MoV and H_2S concentration

PBR 的定义，可得

$$d = \mathrm{PBR} \times d_- \tag{5}$$

联立式（4）和式（5），可得

$$d_- = d_+/(\mathrm{PBR}-1) \tag{6}$$

570 ℃ 以下，Fe 氧化产物为 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4，其密度分别为 5 240 mg/cm³ 和 5 180 mg/cm³，为便于计算，取平均密度 ρ=5 210 mg/cm³。根据式（6）可以计算出经过时间 t 后的腐蚀深度为

$$d_- = y^{0.5}/\rho/(\mathrm{PBR}-1) \tag{7}$$

式中：ρ 为腐蚀层平均密度，mg/cm³。

将式（1）和式（3）代入式（7），由于 b 相对 y^2 较小，为便于计算视为 0，可得

$$d_- = (ac^n_{\mathrm{H_2S}}t)^{0.5}/\rho/(\mathrm{PBR}-1) \tag{8}$$

在确定管壁材料和腐蚀条件下，可以通过实验室试验测得式（8）中常数，以 12Cr1MoV 在 500 ℃ 下的腐蚀为例，腐蚀深度随时间和 H_2S 浓度的关系为

$$d_- = (54.78\,c^{1.03}_{\mathrm{H_2S}}t)^{0.5}/5\,210/(2.12-1) = 0.001\,266\,c^{0.515}_{\mathrm{H_2S}}t^{0.5} \tag{9}$$

年运行时间为 4 000~8 000 h 时，500 ℃ 下 12Cr1MoV 腐蚀深度随 H_2S 浓度的变化如图 8 所示。由图 8 可见，即使在 H_2S 浓度高达 0.2%，年运行 8 000 h 的腐蚀深度也不超过 0.5 mm，但实际锅炉燃烧过程中腐蚀可能比这严重得多，这主要是由于锅炉现场的环境比实验室更苛刻。

实际锅炉还可能存在磨损和腐蚀膜开裂等加速腐蚀的情况，但组织良好的切圆可以消除煤粉气流刷墙导致的磨损，而腐蚀膜开裂则难以避免。随机组运行时间的延长，氧化皮厚度增加，由于母材和腐蚀层的热膨胀能力不同，在锅炉启停或升降负荷时，基体会对腐蚀层产生拉或压的作用，导致腐蚀层开裂和脱落，从而腐蚀气体可直接与管壁基体接触，腐蚀层失去保护作用，腐蚀速率又变成最初快速阶段，直到腐蚀膜下次开裂，周而复始。因此，必须引入腐蚀膜开裂周期 τ 这一参数，来表征实际锅炉与实验室试验中腐蚀速率的差异。每经过 τ 时刻，重复 0~τ 时刻的腐蚀过程，则考虑腐蚀膜开裂时式（8）变为

$$d_- = a^{0.5}c^{0.5n}_{\mathrm{H_2S}}\tau^{-0.5}t/\rho/(\mathrm{PBR}-1) \tag{10}$$

由于腐蚀膜开裂周期与负荷调整周期及快慢、腐蚀层腐蚀速率、机械应力、热应力等多种因素相关[21-23]，本文并没有进行具体研究，但由于一般实际运行锅炉早晚会有较大的负荷调整，容易导致腐蚀层开裂，在此以 τ=24 h 和 τ=48 h 作为 2 个特例进行计算并比较。

年运行时间为 8 000 h 时，不同腐蚀膜开裂周期下腐蚀深度随 H_2S 浓度的变化如图 9 所示。显然，随着腐蚀层开裂周期的减小，腐蚀速率明显加快。以年腐蚀深度 1 mm/a 对应的 H_2S 浓度作为对应工况下的 H_2S 许用浓度，从图 9 中可知，不考虑腐蚀膜开裂时，H_2S 许用体积分数超过 0.1%，而腐蚀膜开裂周期分别为 48 h 和 24 h 时，H_2S 许用体积分数分别为 0.006% 和 0.003%。明显随着腐蚀层开裂周期的减小，H_2S 许用浓度降低。

通过式（10），在设定年运行小时数及年允许腐蚀深度的前提下，结合实验室实验数据，可以计算出 H_2S 许用浓度，以此与实际检测获得的水冷壁近壁面 H_2S 浓度比较，可以判断其高温腐蚀倾向。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

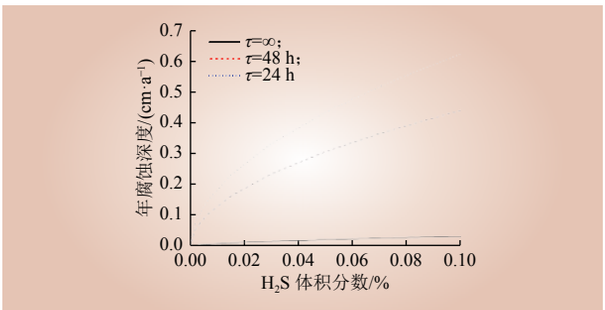

图 9 考虑腐蚀膜开裂时12Cr1MoV年腐蚀深度随H_2S浓度的变化关系

Fig. 9 Relationship between the corrosion depth per yea of 12Cr1MoV and H_2S concentration with cracking considered

3 结论

本文在实际运行的300 MW锅炉上测量了近壁面气氛分布，并通过实验室试验获得了不同温度气氛下水冷壁材料高温腐蚀动力学数据，两者结合预测了不同材料、温度、气氛下的高温腐蚀速率，在考虑腐蚀膜开裂速率的前提下，获得了不同运行时间下锅炉水冷壁腐蚀的倾向判断标准。具体结论为：（1）近壁面H_2S浓度与CO浓度成正比，而与O_2浓度成反比；（2）高温腐蚀速率与时间符合抛物线关系，与温度符合阿雷尼乌斯定律，与H_2S浓度符合指数关系；（3）所得腐蚀深度与H_2S浓度、腐蚀时间和腐蚀膜开裂周期的关系式，可以用于预测已知材料和壁温时近壁面H_2S的许用浓度。

参考文献：

[1] 中国环境科学研究院. 火电厂大气污染物排放标准: GB13223—2011[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.

[2] 环境保护部, 国家发展和改革委员会, 国家能源局. 关于印发《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》的通知[A]. 2015.

[3] 刘庆威, 果志明, 陆叶, 等. 旋流锅炉低氮燃烧器改造后运行情况分析[J]. 中国电力, 2017, 50(8): 63–67, 112.
LIU Qingwei, GUO Zhiming, LU Ye, *et al*. Research on operation of swirl-opposed firing boiler retrofitted for low NO_x emission[J]. Electric Power, 2017, 50(8): 63–67, 112.

[4] 靳军. 墙式切圆燃烧冲蚀磨损与高温腐蚀的耦合作用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

[5] 赵虹, 魏勇. 燃煤锅炉水冷壁烟侧高温腐蚀的机理及影响因素[J]. 动力工程, 2002, 22(2): 1700–1704.
ZHAO Hong, WEI Yong. Discussion on the mechanisms and factors of the gas side high temperature corrosion in water wall tubes for coal fired boilers[J]. Power Engineering, 2002, 22(2): 1700–1704.

[6] 李琰, 鲁金涛, 杨珍, 等. 燃煤锅炉烟气侧高温腐蚀研究进展[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2016, 28(2): 167–172.
LI Yan, LU Jintao, YANG Zhen, *et al*. Review of high temperature corrosion of flue gas side for coal-fired boiler[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2016, 28(2): 167–172.

[7] 丁力, 陈曲进. 锅炉高温腐蚀分析与技术措施[J]. 四川电力技术, 2007, 30(1): 67–70.
DING Li, CHEN Qujin. Analysis and technical measure of high-temperature corrosion in boiler[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2007, 30(1): 67–70.

[8] 郭鲁阳, 许华波. 1 025 t/h 锅炉水冷壁高温腐蚀分析及预防[J]. 华东电力, 2004, 32(4): 46–48.
GUO Luyang, XU Huabo. Analysis on high temperature corrosion of 1 025 t/h boiler water wall and its prevention[J]. East China Electric Power, 2004, 32(4): 46–48.

[9] 陈敏生, 廖晓春. 600 MW 超临界锅炉防止高温腐蚀技术改造和运行调整[J]. 中国电力, 2014, 47(4): 56–59, 117.
CHEN Minsheng, LIAO Xiaochun. The retrofit of high-temperature corrosion prevention and operation adjustment for 600-MW supercritical boiler[J]. Electric Power, 2014, 47(4): 56–59, 117.

[10] 张基标. 超超临界对冲燃烧锅炉高温腐蚀研究[J]. 浙江电力, 2011, 30(4): 4–6.
ZHANG Jibiao. Research on high-temperature corrosion of ultra-supercritical opposed firing boiler[J]. Zhejiang Electric Power, 2011, 30(4): 4–6.

[11] 贺桂林, 张晓宇. 600 MW 锅炉低氮燃烧器改造炉膛高温腐蚀分析[J]. 中国电力, 2017, 50(10): 110–115.
HE Guilin, ZHANG Xiaoyu. Analysis on high temperature corrosion of a 600 MW boiler furnace after low NO_x combustor retrofitting[J]. Electric Power, 2017, 50(10): 110–115.

[12] DUDZIAK T, HUSSAIN T, SIMMS N J, *et al*. Fireside corrosion degradation of ferritic alloys at 600 ℃ in oxy-fired conditions[J]. Corrosion Science, 2014, 79: 184–191.

[13] LI L, DUAN Y, CAO Y, *et al*. Field corrosion tests for a low chromium steel carried out at superheater area of a utility boiler with three coals containing different chlorine contents[J]. Fuel Processing

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Technology, 2007, 88(4): 387–392.

[14] 贾宏禄. 锅炉低氮燃烧改造与高温腐蚀控制分析[J]. 电力科学与工程, 2015, 31(6): 68–73.
JIA Honglu. Analysis of low NO_x combustion system retrofit and high temperature corrosion control[J]. Electric Power Science and Engineering, 2015, 31(6): 68–73.

[15] 张萍, 鲁常春. 配风对煤粉炉水冷壁高温腐蚀影响分析及措施[J]. 齐鲁石油化工, 2014, 42(3): 240–243.
ZHANG Ping, LU Changchun. Analysis and measures on influence of air distribution on high temperature corrosion of water cooled wall in coal power boiler[J]. Qilu Petrochemical Technology, 2014, 42(3): 240–243.

[16] 翁善勇, 凌柏林. 锅炉水冷壁高温腐蚀气氛监测装置: 201210087830.3[P]. 2012-07-25.

[17] 谭厚章, 刘海玉, 熊小鹤, 等. 一种在线监测锅炉水冷壁高温腐蚀的装置和方法: 2008102365508[P]. 2009-06-03.

[18] 赵虹, 杨建国, 冯国华, 等. 煤粉锅炉水冷壁烟气组分分布矩阵式检测装置及方法: 2012100684558[P]. 2012-08-22.

[19] 焦庆丰, 姚斌, 程刚. 大型电站锅炉水冷壁高温腐蚀程度判别方法: 021398046[P]. 2004-06-23.

[20] 赵虹, 杨建国, 冯国华. 基于烟气成分的煤粉锅炉水冷壁高温腐蚀倾向性分析方法: 2012100684670[P]. 2012-07-18.

[21] 周长海, 马海涛, 王来. 外加应力下合金高温氧化膜的生长及其失效愈合研究现状[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2010, 22(6): 558–562.
ZHOU Changhai, MA Haitao, WANG Lai. A review on oxide-scale growth, failure and its healing behavior during high temperature oxidation of alloys[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2010, 22(6): 558–562.

[22] 黄军林. 高温受热管蒸汽侧金属氧化膜失效问题研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.

[23] 张莉娜, 陈靓瑜. 锆合金氧化膜中横向裂纹产生影响因素的研究综述[J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(10): 2091–2097.
ZHANG Lina, CHEN Liangyu. Review on influencing factors of lateral cracks formation in oxide of zirconium alloys[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2017, 27(10): 2091–2097.

作者简介：

许伟刚 (1987—)，男，博士，从事锅炉高温腐蚀机理及防治研究，E-mail：451151098@qq.com；

谭厚章 (1965—)，男，博士，教授，博导，从事煤粉洁净燃烧、生物质燃烧与结焦模拟、大型火电厂锅炉与关键辅机节能理论与应用等方面的教学与研究，E-mail：tanhz@mail.xjtu.edu.cn。

（责任编辑　刘明）

Research on Determination of High Temperature Corrosion Tendency of Water Walls and Limiting Concentration Range of H_2S Near Walls

XU Weigang[1,2], TAN Houzhang[2], LIU Yuanyi[2], WEI Bo[2], HUI Shi'en[2]

(1. School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China;
2. Key Laboratory of Thermo-Fluid Science and Engineering of MOE (Xi'an Jiaotong University), Xi'an 710049, China)

Abstract: To prevent the increasingly serious problems of high temperature corrosion of water walls in boilers, the research on the distribution of the near wall atmosphere is carried out in a 300MW boiler. With the test data of high temperature corrosion kinetics of the water wall materials 12Cr1MoV, the corrosion rate under different temperature, atmosphere and cracking period of corrosion layer is forecasted such that the corrosion tendency standard of water walls in boilers at different running time is put forward. The relationship between the corrosion rate and the H_2S concentration, the corrosion time and the cracking period of the corrosion film is established, and the limiting concentration of atmosphere near walls is obtained with the cracking period of 24 h and 48 h as examples. The results show that the concentration of H_2S near walls is proportional to the concentration of CO, but inversely proportional with the concentration of O_2. The high temperature corrosion rate change with time follows the parabolic law, while the change with temperature complies with the Arrhenius law. and the change with H_2S concentration follows the exponential law. As long as the atmosphere near walls is controlled within the limiting concentration range, the serious high temperature corrosion could be prevented.

Keywords: coal fired boiler; water walls; high temperature corrosion; H_2S; corrosion judging standard; cracking of corrosion film

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net