

邢 台 发 电 厂 (054000·邢 台) 牛晓光 高宝林

1. The first step is to identify the key components of the system. This involves understanding the hardware, software, and data involved in the process.

选出向火面有较厚的氧化层或氧化较明显的管段;然后用金相显微镜查找其珠光体球化级别已达到4级和4.5级的管段。

## 1.2 金相试验

12Cr1MoV 钢属珠光体热强钢,其原始状态的金相组织为铁素体+片状珠光体,适用于壁温 $\leq 580^{\circ}\text{C}$ 的受热面管。此钢长期在高温下运行,会出现珠光体球化及合金元素向碳化物转移,使热强性下降。

试验找出球化4级和4.5级组织状态的管材的常温机械性能,合金元素 Cr、Mo 向碳化物转移的百分含量及高温性能的关系;更重要的是建立球化4级和4.5级的管材分别与温度、应力、寿命的关系,制定球化4级和4.5级金相组织的不同级别的标准图片。

### 1.2.1 4级球化组织

组织为铁素体+珠光体,珠光体已大部分分解,大部分碳化物球已分布于晶界上,仅有少量的珠光体区域,珠光体球化级别已达到4级。

### 1.2.2 4.5级球化组织

组织为铁素体+珠光体,珠光体的区域已消失,但是出现“双重晶界”现象,珠光体球化级别大于4级,但未达到5级,在此定为4.5级。

## 1.3 室温机械性能试验

为了掌握12Cr1MoV 钢受热面管常温机械性能和组织变化的规律,分别对球化级别为4级和4.5级的管材进行拉伸试验。试验结果见表1。

表1 室温机械性能

序号	试样编号	球化级别	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$\delta_5$ (%)
1	1	4	357	483	
2	417	4	347	489	29
3	21	4	357	485	
4	514	4.5	321	451	29
5	61	4.5	346	469	27.5
6	59	4.5	351	468	25.5
7	GB5310-85		255	471~638	21

## 1.4 钢材成分化验

对已运行的旧管材和未使用的新管材进行化学成分化验,化验结果以及相应的国家

标准要求值见表2。

表2 化学成分(%)

试样	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
旧管材	0.13			0.019	0.015	0.91	0.30	0.195
新管材	0.13			0.020	0.015	1.14	0.285	0.21
GB5310-85	0.08~0.17	0.17~0.4		<	<	0.9~0.25	0.15~	
标准值	0.15	0.37	0.70	0.035	0.035	1.20	0.35	0.30

## 1.5 碳化物分析

对珠光体球化4级和4.5级试样,分别进行 Cr 和 Mo 合金元素在碳化物中的含量分析,并计算碳化物中 Cr 和 Mo 元素占试样中 Cr 和 Mo 合金元素的百分含量。分析结果见表3。

表3 碳化物分析

试样编号	球化级别	试样中合金元素含量		碳化物中合金元素百分含量		碳化物中合金元素占试样中合金元素的百分含量	
		Cr	Mo	Cr	Mo	Cr	Mo
21	4	0.98	0.29	0.301	0.113	30.7	39.0
4	4.5	0.98	0.29	0.298	0.132	29.4	45.5

## 1.6 高温机械性能试验

分别对球化级别达到4级和4.5级试样进行高温机械性能试验。试验结果见表4。

表4 高温机械性能

球化级别	$\sigma_{0.2}$ (MPa)		$\sigma_b$ (MPa)		$\delta$ (%)	
	580℃	600℃	580℃	600℃	580℃	600℃
4级	210	160	315	213	42.6	58.8
4.5级	216	165	324	217	40.2	50.0

## 1.7 抗氧化性试验

对球化4.5级的试样,经过600℃,2840h的试验,在不受力的端部单面氧化减薄量为0.15mm。

## 1.8 高温持久试验

对4级和4.5级球化级别的12Cr1MoV 钢管材在580℃和600℃及不同试验应力的高温持久试验。

# 2 分析

## 2.1 金相组织

12Cr1MoV 钢在高温高压的条件下长期运行后,金相组织的主要变化是珠光体形态

的变化,最后达到球化的最高级别(对12Cr1MoV钢是5级)。实际上球化级别的增加,相应的室温机械性能,合金元素的再分配,剩余寿命等也随着相应的变化。球化级别的增加,也反映了钢材性能的老化程度的增加。

在华北电力联合公司的《金属技术监督导则》中的《受热面管子金属技术监督导则》规定,12Cr1MoV钢受热面管材,在金相组织检验中,珠光体球化达到5级,应扩大检查范围,增做有关试验,分析原因,制定安全措施。这也说明球化级别小于5级时,在额定的运行条件下运行是安全的。

## 2.2 钢材成分化验

12Cr1MoV钢经高温高压长期使用后,其化学成分与原始状态比较,都符合国家标准要求值对新钢管的要求,不随运行时间的长短而有明显变化。因此,如果原始状态钢管的化学成分合格,在电厂实际运行中不必考虑化学成分的变化。

## 2.3 碳化物分析

12Cr1MoV钢在高温高压的长期运行过程中,钢中合金元素在固溶体和碳化物之间产生再分配。

按照耐热钢的合金化原理,这种合金元素的转移势必使钢的持久强度极限降低。在华北电力导则《受热面管子金属技术监督导则》中规定,对于过热器、再热器等合金钢管,钢中碳化物的含Mo量占钢中总含Mo量的比值,当12Cr1MoV钢 $\geq 65\%$ 时,应扩大检查范围,增做有关试验,分析原因,制定安全措施。上述论据说明,钢中碳化物含Mo量占钢中总的含Mo量的比值达到65%是一个关键值,其值小于65%时,是安全的。

我们对使用5万h,球化级别达到4级和4.5级的12Cr1MoV钢管材,进行了碳化物分析,Mo在碳化物中的含量仅占钢中总含量的39.0%~45%,远低于65%,说明此项的指标是合格的。

## 2.4 室温机械性能

受热面管在高温高压的长期运行过程

中,随着时间的增加,合金元素在固溶体碳化物之间变化,以及组织状态的变化,相应的也使钢的常温机械性能降低。

华北电力《受热面管子金属技术监督导则》对受热面管判废条件规定,当常温机械性能降低到下限值以下时,须更换新管。对12Cr1MoV钢管材来说,当 $\sigma_s < 255\text{MPa}$ ,  $\sigma_b < 47\text{MPa}$ ,  $\delta_5 < 21\%$ 时,应该判废。

从试验的情况看,达到4级球化时,其 $\sigma_s$ 、 $\sigma_b$ 、 $\delta_5$ 值都高于GB5310—85标准的下限值;在球化级别达到4.5时, $\sigma_s$ 、 $\delta_5$ 值都高于GB5310—85标准的下限值;但 $\sigma_b$ 却略低于规定值,这种情况下应该考虑其组织状态、碳化物分析、运行温度、工作压力及剩余寿命多方面的情况,进行综合分析。

## 2.5 高温性能

球化级别4级和4.5级的试样,在580℃高温性能没有很明显的差别;在600℃时,高温性能也没有明显的差别,只是4.5级的 $\delta$ 值比4级的 $\delta$ 值低8.8%。

此项试验说明球化级别为4级和4.5级的受热面管管材在580℃和600℃的高温性能差别不大。

## 2.6 抗氧化性

对于锅炉钢管材料必须具有高的化学稳定性。通常要求,在工作温度下,材料的抗氧化腐蚀速度小于0.1mm/a。

球化4.5级的试样,经600℃,2840h的氧化试验,在不受力的端面单面氧化减薄量为0.15mm。按每年8760h(24h×365=8760),那么每年仅纯温度造成的氧化就可使管子的外表面减薄0.46mm。抗氧化性由580℃以下的完全抗氧化性( $\leq 0.1$ ),降低到抗氧化性(0.1~1.0)。

这样高的氧化速度,对于锅炉钢管材料是不允许的,所以12Cr1MoV钢不宜超过580℃使用。

## 2.7 高温持久试验

分别对球化级别为4级和4.5级的试样,进行580℃和600℃的不同应力的持久试验,



再经 LASON-MILLER 方法处理得出了关系式:

$$\delta = K_1 - K_2(1.8t_c + 492)(20 + \log t_r) \quad (1)$$

关系式(1)是本试验的综合反应,适合现场的实际情况。

现场有关技术人员能获取金属管壁温度,实际工作应力数据,而金属检验人员,能快捷的测定在用的12Cr1MoV 钢管材的球化级别等有关数据。把以上数据代入关系式(1)便可快速的预测管材的剩余寿命。

### 3 结论及建议

a. 12Cr1MoV 钢受热面管的使用温度(金属管壁温度)不宜大于580℃。

b. 在用12Cr1MoV 钢受热面管材的剩余寿命,用金相试验,碳化物分析、机械性能试

验几种简捷的方法,获得有关数据,并配以金属管壁温度、管子应力,就可用寿命关系式(1),计算其剩余寿命。

c. 为了不与有关导则标准冲突,使用寿命关系式(1)时,12Cr1MoV 钢管材的常温机械性能不应低于 GB5310-85 标准的下限值。

d. 应用寿命关系式(1)时,在用管材的珠光体球化级别要小于5级(即不出现“双重晶界”)。

e. 12Cr1MoV 钢经高温高压长期运行后,其化学成分不随运行时间的长短而变化。如果原始状态管材的化学成分合格,在电厂实际运行中不必考虑化学成分的变化。

(收稿日期:1997-4-25)

## 积极采用先进实用化技术装备河北城市电网

河北南网从1995年,切实加强城市电网管理,努力增加投入,积极采用和开发研究先进实用的新技术,依靠科技进步装备城网,两年来取得丰硕成果,概括如下:以电网优化技术,简化城网的网络结构与网络结线,实现城市分片、分区供电;引进采用新型真空断路器、SF<sub>6</sub>断路器改造原来的油断路器,有效地提高城网设备的可控性、灵活性和可靠性;新建城市中心区的城市变电站,引入半地下式或与高层建筑混建的布置模式,精选设备,减少其占地面积和建筑面积,保护城市环境,实现变电站进出线地下化、设备基本无油化,达到防火、防爆、低噪声、低损耗和环境美化的统一;积极采用绝缘导线与钢结构高电杆,将动力与照明供电分开,开发研究音频负荷控制和无线电负荷控制等先进技术手段,对于提高城市人民生活用电的保证率,解决城市树线矛盾与减小近处短路对变压器的冲击及配网自动化等方面均有显著的社会效益和经济效益;针对城市变电站电缆多,电容电流大,开发与研究中性点和小电流接地系统的

消弧线卷跟踪自动补偿装置,防止当发生单相接地时因电容电流得不到补偿而发展到两相接地短路,提高城网供电连续性;开发新型单相卷铁芯变压器,引进单相三线制供电制式,实现对居民小区供电,达到高压直接进户、缩短低压干线长度,有效地提高用户电压质量,减少配损和提高供电可靠率;扩展地区调度自动化系统的遥控功能,改造城网100kV 老站的二次回路,加固一次设备可控性,实现城网110kV 或35kV 变电站的无人值班;开发用电管理信息系统(简称用电MIS),实现用电业扩板装、电费营业管理、远程抄表、线损或配损在线管理、银行划拨、配网实时图形管理等计算机现代化管理,提高用电经营管理水平;开发研究低压无功补偿装置,实现配电线随线补偿,变台随台补偿和电动机随机补偿,提高用户供电质量;研究长效涂料 RTV,提高城网抗污闪能力;引入带电作业工具车,推行城网10kV 带电作业和不停电检修,进一步提高检修作业的机动性和配网供电连续性。

胡洪钧 供稿