

ICS 71.120;23.140
G 92
备案号:37914—2013

HG

中华人民共和国化工行业标准

HG/T 3650—2012

代替 HG/T 3650—1999

烟气轮机技术条件

Specifications for gas expander

2012-11-07 发布

2013-03-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 型式、分类及型号	2
5 要求	4
6 试验与试验方法	8
7 检验规则	9
8 涂饰、标志、包装、贮运	9
9 资料	10
附录 A(规范性附录) 烟气轮机管道接口许用外力和外力矩的计算	11
附录 B(规范性附录) 烟气轮机用 GH864 合金热轧棒材技术条件	13
附录 C(规范性附录) 烟气轮机用 GH4169 合金棒材技术条件	17
附录 D(规范性附录) 烟气轮机用 K213 铸造高温合金母合金技术条件	21
附录 E(规范性附录) 烟气轮机用 GH864 合金模锻动叶片毛坯技术条件	23
附录 F(规范性附录) 烟气轮机用 40CrNi2MoA 合金主轴锻件技术条件	26
附录 G(规范性附录) 烟气轮机用 GH2132 合金主轴锻件技术条件	29
附录 H(规范性附录) 烟气轮机用 GH864 合金轮盘锻件技术条件	32
附录 I(规范性附录) 烟气轮机用 GH2132 合金轮盘锻件技术条件	35
附录 J(规范性附录) 烟气轮机热态机械运转试验	38
附录 K(资料性附录) 制造厂可向用户提供的资料清单	40

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 HG/T 3650—1999《烟气轮机技术条件》。本标准与 HG/T 3650—1999 相比,主要技术变化如下:

- 更新本标准中引用的文件为最新版本(见第 2 章,1999 年版第 2 章);
- 增加了关于“水平剖分”、“垂直剖分”的术语定义(见 3.4、3.5);
- 增加了“下排气烟气轮机”的结构型式(见 4.5 及图 3);
- 修改了进行“水压强度试验”部件的内容(见 5.1.4.3,1999 年版 5.1.4.3);
- 修改了“烟气轮机重要零件专用材料牌号”(见表 1,1999 年版表 1);
- 修改了“转子主要部位跳动公差”(见 5.2.4.4 及表 2,1999 年版 5.2.4.4 及表 2);
- 修改了“组装后主要零部件间隙的规定”,使其适应不同的机型(见 5.2.4.6、表 3 及表 4,1999 年版 5.2.4.6);
- 修改了“烟气轮机用 GH864 合金热轧棒材技术条件”中的“冶炼方法”、“尺寸外形要求”、“热处理”、“力学性能”和“高倍组织”的规定和要求(见附录 B 中的 B.1.2、B.1.3、B.1.4、表 B.2、B.1.7,1999 年版附录 B 中的 B2.2、B1.1、表 B2、B2.6);
- 在“烟气轮机用 GH864 合金热轧棒材技术条件”增加了“超声波探伤方法”(见附录 B 中的 B.2.6.1);
- 修改了“烟气轮机用 GH4169 合金棒材技术条件”中的“棒材直径范围”、“热处理”、“纵向低倍组织”的规定和要求(见附录 C 中的首段、C.1.5、C.1.6.2,1999 年版附录 C 中的首段、C3.7、C3.8.2);
- 修改了“烟气轮机用 GH864 合金模锻动叶片毛坯技术条件”中的“热处理”、“低倍组织”、“高倍组织”和“低倍、高倍组织和力学性能试验方法”的规定和要求(见附录 E 中的 E.1.2、E.1.5、E.1.6 和表 E.3,1999 年版附录 E 中的 E1.3、E1.5、E1.6 和表 E2);
- 修改了“烟气轮机用 40CrNi2MoA 合金主轴锻件技术条件”中的“力学性能”及“超声波检验”的规定和要求(见附录 F 中的 F.1.6 和 F.2,1999 年版附录 F 中的 F2.5 和 F3);
- 修改了“烟气轮机用 GH864 合金轮盘锻件技术条件”中的“轮盘直径范围”、“冶炼工艺”、“热处理”和“晶粒尺寸及夹杂物”的规定和要求(见附录 I 中的首段、I.2.2、I.2.5 和 I.2.8.4,1999 年版附录 J 的首段、J2.2、J2.5 和 J2.7.3);
- 修改了“烟气轮机热态机械运转试验”中的“烟气轮机热态机械运转试验报告”(见附录 J 中的表 J.1,1999 年版附录 M 中的表 M1);
- 删除了原标准中不常用的几种材料的规范性附录(1999 年版附录 H、附录 I 和附录 K)。

本标准的附录 A~附录 J 均为规范性附录,附录 K 为资料性附录。

本标准使用重新起草法参考美国 API 617:2002《石油、化学和气体工业用离心压缩机及膨胀机》编制,与 API 617:2002 的一致程度为非等效。

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这些专利的责任。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国化工机械与设备标准化技术委员会(SAC/TC429)归口。

本标准负责起草单位:中国石化工程建设公司、中国石油集团渤海石油装备制造有限公司兰州石油化工机械厂。

HG/T 3650—2012

本标准主要起草人：周廷智、于克敏、杨龙文、方文、李克雄、王迪、倪克铨、马科军、杨振凡、张玉峰、冀江、董建新、卢纲、窦小伟、任旭阳。

本标准于 1999 年 7 月首次发布，本次为第一次修订。

烟气轮机技术条件

1 范围

本标准规定了烟气轮机的术语和定义、型式、分类及型号、要求、试验与试验方法、检验规则和涂饰、标志、包装、贮运以及资料。

本标准适用于炼油厂催化裂化装置用烟气轮机。

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/T 222 钢的成品化学成分允许偏差
- GB/T 223.1~223.70 钢铁及合金化学分析方法
- GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
- GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 231.1 金属材料布氏硬度试验 第1部分:试验方法
- GB/T 699 优质碳素结构钢
- GB/T 710 优质碳素结构钢热轧薄钢板和钢带
- GB/T 711 优质碳素结构钢热轧厚钢板和钢带
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- GB/T 1174 铸造轴承合金
- GB/T 1184 形状和位置公差 未注公差值
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 1814 钢材断口检验法
- GB/T 2039 金属拉伸蠕变及持久试验方法
- GB/T 2100 一般用途耐蚀钢铸件
- GB/T 2101 型钢验收、包装、标志及质量证明书的一般规定
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 4338 金属材料高温拉伸试验方法
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定法
- GB/T 6557 挠性转子机械平衡的方法和准则
- GB/T 9239.1 机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求 第1部分:规范与平衡允差的检验
- GB/T 9439 灰铸铁件
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
- GB/T 11352 一般工程用铸造碳钢件
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管

- GB/T 14993 转动部件用高温合金热轧棒材
- GB/T 14999.1 高温合金棒材纵向低倍组织酸浸试验法
- GB/T 14999.2 高温合金棒材横向低倍组织酸浸试验法
- GB/T 14999.3 高温合金棒材纵向断口试验法
- GB/T 14999.4 高温合金显微组织试验法
- GB/T 14999.5 高温合金低倍、高倍组织标准评级图谱
- JB/T 4385.1 锤上自由锻件 通用技术条件
- YB/T 5245 普通承力件用高温合金热轧和锻制棒材

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

最高连续转速 maximum-continuous rotating speed

允许连续运行的最高转速。烟气轮机的最高连续转速值和额定转速相同。

3.2

跳闸转速 tripping operation rotating speed

超速紧急停车装置迫使烟气轮机停车的转速。其值等于额定转速的 1.05 倍。

3.3

烟气中催化剂的浓度 catalyst contentration of flue gas

每标准立方米的湿烟气中,所含催化剂的质量。

3.4

水平剖分 horizonally split

以过轴的中心线的水平面为剖切面的剖分方式。

3.5

垂直剖分 vertical split

以过垂直于轴中心线的平面为剖切面的剖分方式。

4 型式、分类及型号

4.1 根据叶轮级数,烟气轮机分为单级和双级两类。

4.2 烟气轮机采用轴向进气、垂直向上或向下排气、卧式安装、悬臂式转子结构,如图 1、图 2 及图 3 所示。

4.3 烟气轮机与被驱动设备之间的连接采用刚性可移式联轴器或弹性可移式联轴器。

4.4 烟气轮机按照用户烟气的参数和机组配置状况进行专门设计,从效率、寿命和操作维护方面综合比较,从而确定其合适的类别。

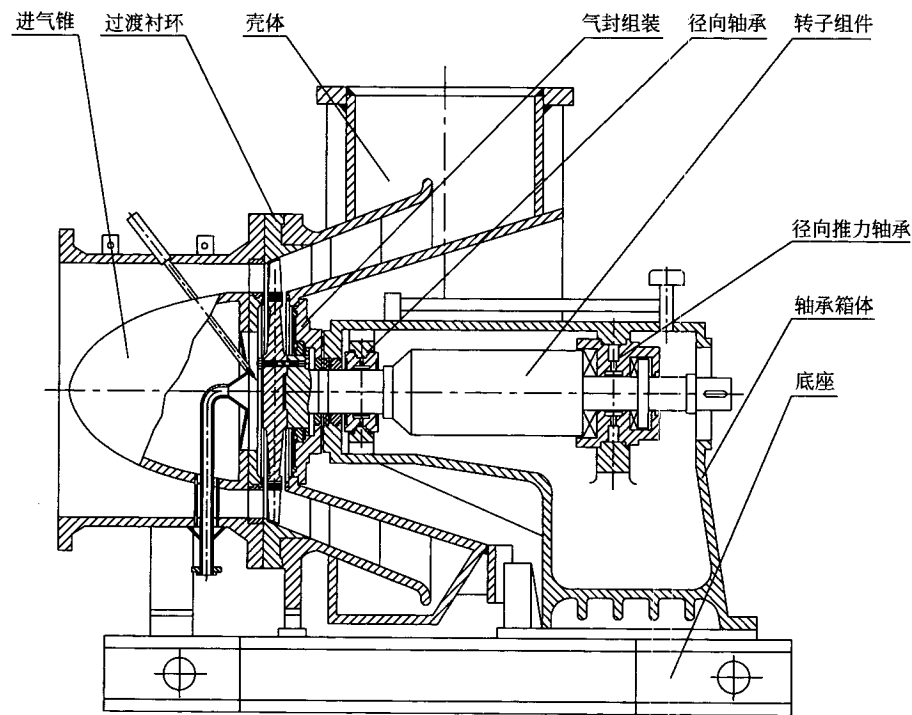


图 1 单级上排气燃气轮机简图

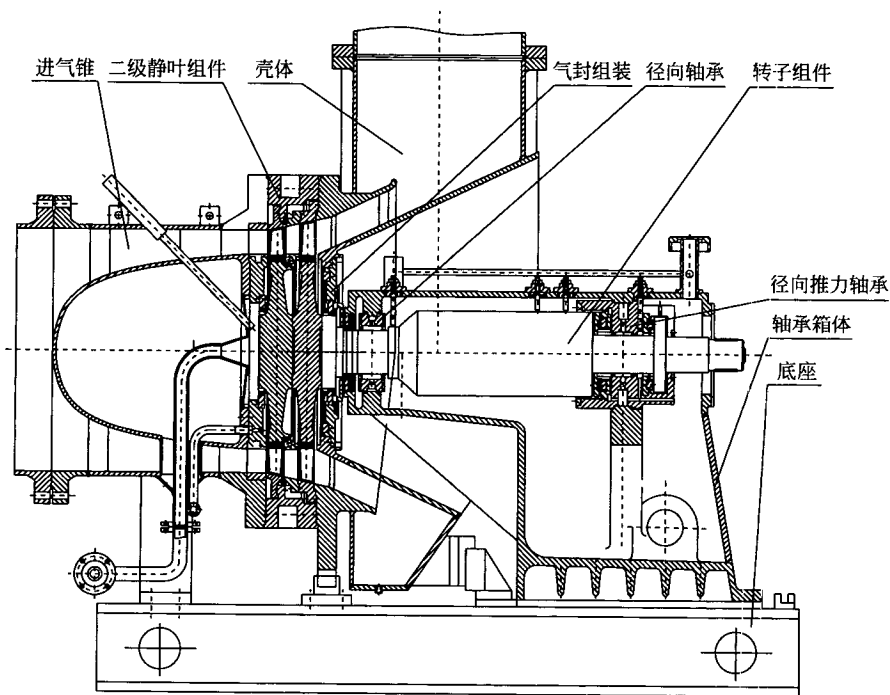


图 2 双级上排气燃气轮机简图

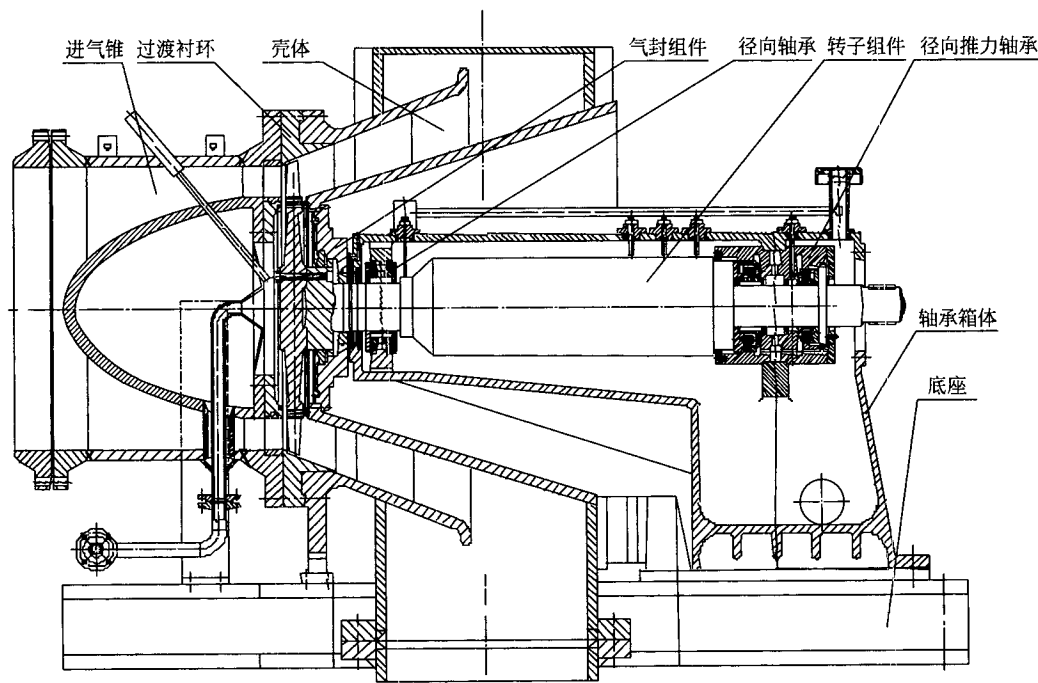
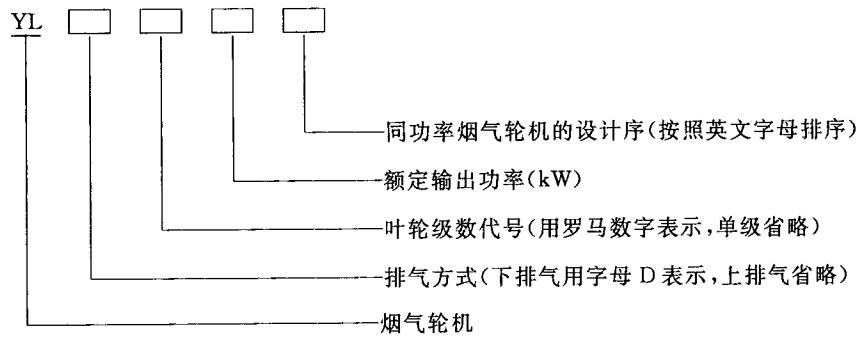


图 3 单级下排烟气轮机简图

4.5 型号

4.5.1 型号表示方法：



4.5.2 型号示例：

首次设计的轴输出功率为 33 000 kW，叶轮级数为单级，排气方式为向上排气的烟气轮机，型号为：YL33000A。

第二次设计的轴输出功率为 18 000 kW，叶轮级数为双级，排气方式为向上排气的烟气轮机，型号为：YLⅡ18000B。

第三次设计的轴输出功率为 5 000 kW，叶轮级数为单级，排气方式为向下排气的烟气轮机，型号为：YLD5000B。

5 要求

5.1 设计

5.1.1 环境条件

5.1.1.1 进入烟气轮机烟气催化剂的浓度不大于 200 mg/Nm³，其中直径大于 10 μm 的颗粒质量不超过总质量的 3 %。

5.1.1.2 末级分离器出口至烟气轮机入口的管道，不允许采用非金属衬里。

5.1.1.3 调节蝶阀至烟气轮机入口水平直管段的长度不小于六倍管径。

5.1.1.4 入口和出口管道施加于烟气轮机的接口法兰的力和力矩,应小于附录 A 规定的允许值。该允许值应标明在安装图上。

5.1.1.5 进入烟气轮机的烟气温度和压力应不大于设计的允许值。短时超温超压的最高限度、持续时间和次数应符合设计的规定。

5.1.2 性能

5.1.2.1 烟气轮机的输出功率和效率应符合合同的规定。

5.1.2.2 在设计工况下烟气轮机的效率,单级不低于 78 %,双级不低于 84 %,效率值的负偏差不大于 4 %。

5.1.2.3 烟气轮机在规定的使用条件下,运行 12 000 h 后,功率下降不大于 6 %。

5.1.2.4 烟气轮机在出厂试验和工业运行试验期间,在最高连续转速或其他规定运行转速下以及允许的操作范围内,测得的轴振动的双振幅值应不超过式(1)的计算值。

$$A = \sqrt{\frac{12\,000}{N_{mc}}} \times 25.4 \times 1.25 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

A——未滤波的允许双振幅值,单位为微米(μm);

N_{mc} ——最高连续转速,单位为转每分钟(r/min);

25.4——公制单位和英制单位的转换系数;

1.25——考虑机械偏差和残余电磁偏差造成的影响的调整系数。

在最高连续转速至跳闸转速之间任一转速,其双振幅值应不大于最高连续转速下记录的最大双振幅值的 150 %。

5.1.2.5 烟气轮机正常运行且当轴承处进油温度不超过 40 °C 时,径向轴瓦的工作温度不超过 80 °C;推力轴承瓦块的工作温度不超过 100 °C。

5.1.2.6 烟气轮机正常运行时测得的噪声,应不大于 85 dB(A 声级)。

5.1.3 气动部分

5.1.3.1 采用反动式透平级。通过合理选择反动度,控制动、静叶栅流道中的烟气流速。

5.1.3.2 叶片叶型应适应于带粒流气体,易磨损部位应按设计规定喷涂耐磨涂层。

5.1.3.3 烟气流道的设计,应采取措施减缓流道的一次磨损。对易产生二次磨损的部位,如动叶片进气边根部及二级轮盘辐板根部等部位,应采取减缓和防止二次磨损的有效结构。

5.1.4 机壳和底座

5.1.4.1 机壳和底座的结构及两者相连接后的固定方式应能承受附录 A 中规定的入口或出口管道所施加的力和力矩。

5.1.4.2 机壳的强度和刚度应有足够的裕度,应能适应 5.1.1.5 规定的短期超温和超压工况。

5.1.4.3 进气机壳、过渡衬环(双级烟气轮机应为二级静叶固定套)和排气机壳需进行水压强度试验,应无变形和渗漏;底座的循环冷却水支座需进行盛水试验,应无渗漏。

5.1.5 转子

5.1.5.1 转子的设计寿命不小于 100 000 h(其中动叶片设计寿命不小于 24 000 h)。在规定的温度下瞬时转速达到额定转速的 105 % 时,应能安全运行。

5.1.5.2 转子结构上应具有防止催化剂在转动件上堆积的措施。

5.1.6 动力学与动平衡

5.1.6.1 刚性转子与挠性转子的横向临界转速的避开裕度应符合如下规定:

a) 刚性转子应大于最高连续转速 20 %;

b) 挠性转子应小于最高连续转速 15 % 和大于最高连续转速 20 %。

5.1.6.2 烟气轮机动力回收机组的轴系扭曲临界转速,其避开裕度应小于最高连续转速 10 % 或大于

跳闸转速 10 %。

5.1.6.3 转子应带半联轴器进行动平衡试验,刚性转子的动平衡精度应不低于 GB/T 9239.1 中 G2.5 级,挠性转子的动平衡精度按 GB/T 6557 的规定执行。

5.1.7 轴承箱及轴承

5.1.7.1 转子支承系统零部件(轴承、轴承座、轴承箱体)的结构应为水平剖分。轴承箱内与大气相通,其轴端油封可设置通入净化空气的强制密封结构。

5.1.7.2 轴承的进排油管路,一般宜分别置于轴承箱的两侧。

5.1.7.3 径向轴承采用多油楔固定瓦或可倾瓦轴承,推力轴承采用可倾瓦轴承。

5.1.7.4 轴承箱体需进行盛水试验,应无渗漏。

5.1.8 轴封

5.1.8.1 轴端气封、油封均采用可更换的迷宫密封。

5.1.8.2 轴端气封为二段式。允许设置通入蒸汽和压缩空气的强制密封结构。轻微的泄漏气可采用抽气式结构排入大气。

5.1.9 测量装置

烟气轮机应设置轴位移、轴振动、轴相位、轴转速及轴承轴瓦温度测量装置。

5.1.10 联轴器防护罩

烟气轮机与被驱动设备的联轴器应设置具有密封作用的可拆式防护罩。

5.1.11 绝热层及罩壳

5.1.11.1 烟气轮机机壳的外露表面,应安装绝热层及罩壳。

5.1.11.2 在正常工作温度下,绝热层应保持罩壳表面温度不大于 75 ℃;排气机壳内锥体保温层裸露表面温度不大于 100 ℃。

5.1.12 润滑油系统

烟气轮机和被驱动设备共用一套润滑油系统。油路系统的进油管线采用不锈钢。主油箱油量的循环倍率为 8~10。

5.2 制造

5.2.1 基本要求

烟气轮机的制造除应符合本标准的规定外,还应符合经规定程序批准的产品图样和技术文件的规定。

5.2.2 材料和外购件

5.2.2.1 烟气轮机重要零件专用材料牌号应符合表 1 的规定,各材料毛坯的化学成分、力学性能等应分别符合如下规定:

- a) GH864 合金热轧棒材应符合附录 B 的规定;
- b) GH4169 合金棒材应符合附录 C 的规定;
- c) K213 铸造高温合金母合金应符合附录 D 的规定;
- d) GH864 合金模锻动叶片毛坯应符合附录 E 的规定;
- e) 40CrNi2MoA 合金主轴锻件应符合附录 F 的规定;
- f) GH2132 合金主轴锻件应符合附录 G 的规定;
- g) GH864 合金轮盘锻件应符合附录 H 的规定;
- h) GH2132 合金轮盘锻件应符合附录 I 的规定。

表 1 烟气轮机重要零件专用材料牌号

入口烟气温度/℃	材料牌号				
	静叶片	动叶片	轮盘	拉杆螺栓及套筒	主轴
≤650	K213	K213	GH2132	GH2132 或 GH4169	GH2132 或 34CrNiMo6
651~730	K213	GH864	GH864	GH4169	40CrNi2MoA

注：GH864 合金性能相当于美国 Waspaloy 合金。

5.2.2.2 烟气轮机其他主要零件用材料应符合如下规定：

- 铸铁件应符合 GB/T 9439 的规定；
- 铸钢件应符合 GB/T 2100、GB/T 11352 的规定；
- 铸造轴承合金应符合 GB/T 1174 的规定；
- 锻件应符合 JB/T 4385.1、YB/T 5245 的规定；
- 板材应符合 GB/T 699、GB/T 710、GB/T 711、GB/T 3077、GB/T 3280、GB/T 4237 的规定；
- 管材应符合 GB/T 14976 的规定；
- 棒材应符合 GB/T 1220、YB/T 5245 的规定。

5.2.2.3 烟气轮机所用材料均应具有材料生产厂的检验合格证和质量证明书。

5.2.2.4 烟气轮机配套的外购件应符合相应产品标准的规定，应有产品合格证。

5.2.3 加工

5.2.3.1 铸件表面应光滑平整，不应有影响强度和紧密性的缩孔、裂纹、砂眼、疏松等缺陷。允许补焊，补焊要求应符合 GB/T 2100 和 GB/T 11352 的规定。

5.2.3.2 钢板冲剪件不应存在裂纹、凹坑、皱折等缺陷，并应清除尖棱和毛刺。

5.2.3.3 焊接件的焊缝坡口应采用机械方法加工，并应符合 GB/T 985.1 的有关规定。焊缝不得有肉眼可见的裂纹、气孔、弧坑和夹渣等缺陷。

5.2.3.4 轴向中心剖分零件中分面的双向间隙不大于 0.25 mm；中分面与基准圆柱面轴线的位置度公差为 0.25 mm。

5.2.3.5 轴向中心剖分零件的剖分面需进行刮研处理，刮研后的接触斑点每 25.4 mm² 不少于 12~16 点。

5.2.3.6 主轴和轮盘相结合的端面 and 圆柱面，应分别垂直和同轴于前后轴颈的公共轴线，其垂直度公差按 GB/T 1184 中的 7 级选取；同轴度公差按 5 级选取；两轴颈圆度公差按 5 级选取。

5.2.3.7 轮盘榫槽采用成型拉刀加工。榫槽的位置度公差为 0.6 mm~0.8 mm；轮盘外圆对基准轴线的跳动公差按 GB/T 1184 中的 7 级选取。

5.2.3.8 动叶片叶身型面各指定检验截面的线轮廓度公差为 0.10 mm，各截面间应均匀过渡。动叶片根部榫齿两对称工作面的交线应在榫头中心面内，其位置度公差按 GB/T 1184 中的 6 级选取。

5.2.3.9 拉杆螺栓与主轴、套筒相配合的外圆及螺纹中径三者的同轴度公差按 GB/T 1184 中的 7 级选取。

5.2.3.10 一、二级静叶片叶身型面的面轮廓度的公差为 0.1 mm。静叶组件上的各静叶片进气边应在垂直于轴线的平面内，其平面度公差为 1 mm。

5.2.3.11 重要零件主要加工面的表面粗糙度值 R_a 不低于以下要求：

- | | |
|------------------------|---------------------|
| a) 主轴轴颈、推力盘及测振探头对应的工作面 | 0.4 μm ； |
| b) 一、二级轮盘及主轴结合面 | 1.6 μm ； |
| c) 传扭套筒外圆及其与它相配合的孔 | 1.6 μm ； |
| d) 轮盘榫槽及动叶片榫齿 | 3.2 μm ； |
| e) 动叶片、静叶片叶身型面 | 1.6 μm ； |

- f) 拉杆螺栓外圆柱面及螺纹 1.6 μm;
- g) 壳体、进气锥、二级静叶环固定套结合面 3.2 μm;
- h) 推力瓦块轴承合金面 1.6 μm;
- i) 推力瓦块与推力块座结合面 1.6 μm;
- j) 轴承箱体与轴承座、油封配合柱面 3.2 μm。

5.2.4 组装

- 5.2.4.1 烟气轮机的所有零部件经检验合格并清除毛刺、铁屑、焊渣、污物及油脂等脏物,方可组装。
- 5.2.4.2 转子组装时,拉杆螺栓伸长量应严格控制在设计图样规定的范围内。
- 5.2.4.3 多油楔轴瓦瓦背与轴承座内孔须贴合,其接触面积应不小于瓦背面积的 70 %。
- 5.2.4.4 组装后的转子部件,以两轴颈为基准,主要部位跳动公差应符合表 2 的规定。

表 2 转子主要部件跳动公差 单位为毫米

部位	轮盘轮缘端面	两轴颈圆柱面	两轴颈之间的柱面	推力面端面	装联轴器处外圆	测振探头对应工作面
公差	0.100	0.010	0.020	0.015	0.020	0.010

- 5.2.4.5 圆锥销和销孔的接触面积不小于 70 %。
- 5.2.4.6 组装后主要零部件的间隙应符合如下规定:
 - a) 径向轴承轴瓦与轴颈间的直径间隙为轴颈公称直径的 1.2 ‰~1.5 ‰;
 - b) 推力盘与推力瓦块间的轴向间隙应符合表 3 的规定;

表 3 轴向推力间隙控制范围 单位为毫米

轮盘直径	φ700	φ820、φ890、φ960、φ1110	φ1240	φ1370
轴向推力间隙	0.35~0.40	0.46~0.50	0.51~0.66	0.56~0.71

- c) 油封与轴间的直径间隙等于相邻轴承轴瓦与轴颈间的直径间隙加 0.1 mm;
- d) 气封与轴间的直径间隙为 0.3 mm~0.6 mm;
- e) 动叶片顶部与过渡衬环间(双级烟机为动叶围带)的半径间隙符合表 4 的规定;

表 4 动叶片叶顶间隙控制范围 单位为毫米

轮盘直径	φ700、φ820、φ890	φ960	φ1110、φ1240	φ1370
动叶片叶顶间隙	1.8~2.2	2.4~2.8	2.7~3.1	3.6~4.1

- f) 二级静叶片气封和轮盘肩部间的直径间隙为 2.0 mm~2.4 mm;
- g) 一级静叶片顶部与衬环间的半径间隙为 0.1 mm~0.3 mm。

6 试验与试验方法

- 6.1 主要零部件材料的试验应符合相应材料的国家标准,专用材料试验应符合本标准附录 B~附录 I 的规定。
- 6.2 铸件与焊接件焊缝外观质量的目视检查,应分别符合 5.2.3.1、5.2.3.3 的规定。
- 6.3 轴向中心剖分零件的剖分面刮研后接触斑点采用样块检验,应符合 5.2.3.5 的规定。
- 6.4 进气机壳、排气机壳、二级静叶固定套均应进行水压试验:
 - 试验压力为各零部件工作压力的 3 倍;
 - 试验介质采用常温清水;
 - 试验时,压力应缓慢上升,达到规定的试验压力后,保压时间不少于 15 min,然后将压力降至

规定试验压力的 80 %，并保持足够长的时间以对所有焊缝和连接部位进行检查，应符合 5.1.4.3 的规定。如有渗漏，修补后重新试验。

6.5 底座的循环冷却水支座、轴承箱体进行盛水试验时，采用常温清水，应符合 5.1.4.3、5.1.7.4 的规定。

6.6 转子的动平衡试验在专用设备上进行，应符合 5.1.6.3 的规定。

6.7 整机试验

烟气轮机的整机试验分热态机械运转试验和负荷状态下工业运行试验。

热态机械运转试验在制造厂进行，负荷状态下工业运行试验在用户厂进行。

6.7.1 热态机械运转

6.7.1.1 热态机械运转试验用装置、仪器、仪表、试验方法应符合附录 J 的规定。

6.7.1.2 热态机械运转试验期间应符合如下规定：

- a) 各连接件、紧固件无松动；
- b) 各工作部件不得有漏气、漏油现象存在；
- c) 入口、出口循环空气温度、润滑油流量和压力、轴承处进油和排油温度应符合设计的规定；
- d) 径向轴承瓦块和推力轴承瓦块的工作温度应符合 5.1.2.5 的规定；
- e) 在最高连续转速或其他规定的运行转速下，以及在最高连续转速至跳闸转速之间的任一转速下，轴振动的双振幅值应符合 5.1.2.4 的规定；
- f) 噪声应符合 5.1.2.6 的规定。

6.7.1.3 热态机械运转试验完成后，应按附录 J 中表 J.1 的规定提出试验报告。

6.7.1.4 热态机械运转试验完成后，应将轴承和轴端密封拆卸下来进行检查，若轴承或密封件接触表面出现轻微磨损或划痕时，应作修饰性修理，不需重新进行试验；若出现严重擦伤或磨损，以致尺寸明显改变时，其修理后应重新进行热态机械运转试验。

6.7.2 负荷状态下的工业运行试验

6.7.2.1 负荷状态下的工业运行试验涉及动力回收系统与动力回收机组的配置及现场所具备的条件，应由制造厂和用户根据现场条件协商确定烟气轮机设计点的热力性能、机械性能及噪声等试验项目，并包括试验方法、试验用仪器仪表。

6.7.2.2 负荷状态下的工业运行试验连续运行时间不少于 72 h，应符合如下规定：

- a) 设计点的热力性能应符合双方协商的规定；
- b) 烟气轮机的输出功率和效率应符合 5.1.2.1 的规定；
- c) 其余应符合 6.7.1.2 和双方协商的规定。

6.7.2.3 负荷状态下的工业运行试验结束后，应由制造厂和用户联合提出试验报告。

7 检验规则

7.1 烟气轮机由制造厂检验部门检验后出具合格证。

7.2 烟气轮机的检验分出厂检验和用户现场验收检验。

7.2.1 出厂检验

7.2.1.1 每台烟气轮机均应进行出厂检验。所有出厂检验项目与相关的试验，应有检验记录和试验报告，并制成统一的质量文件备案。

7.2.1.2 出厂检验项目及应符合 6.1、6.2、6.3、6.4、6.5、6.6、6.7.1 的规定。

7.2.2 用户现场验收检验应符合 6.7.2 的规定。

8 涂饰、标志、包装、贮运

8.1 涂饰

8.1.1 经热态机械运转试验并检验合格后方可进行涂饰。

8.1.2 涂饰应符合以下规定：

- a) 机壳、二级静叶环固定套等高温部件涂铝色有机硅耐热烘漆；
- b) 冷却水管涂绿色漆；
- c) 润滑油管涂黄色漆；
- d) 不锈钢管线不涂漆(如用户另有要求,可以涂其他颜色)；
- e) 其余外露部分(非加工表面)先涂底漆,腻子后再涂表面漆；
- f) 所有未涂油漆的外露加工表面,均应涂以中性防锈油脂。

8.2 标志

烟气轮机应在底座上固定产品标牌。标牌应符合 GB/T 13306 的规定。标牌应包括如下内容：

- a) 制造厂名称；
- b) 产品名称、型号；
- c) 烟气入口压力,MPa；
- d) 烟气出口压力,MPa；
- e) 烟气入口温度,℃；
- f) 烟气出口温度,℃；
- g) 烟气流量(标准状态), m^3/min ；
- h) 输出功率,kW；
- i) 额定转速,r/min；
- j) 产品编号；
- k) 制造日期。

8.3 包装

8.3.1 包装前,烟气轮机入、出口法兰用 1 mm 厚钢板封堵,其余管路法兰口用石棉橡胶板或塑料板盖封,轴承箱的主轴伸出端用塑料膜封闭包扎牢固,防止异物进入。

8.3.2 包装应符合 GB/T 13384 的规定。

8.3.3 包装箱外壁上应注明如下内容：

- a) 收货单位、地址；
- b) 产品名称、型号及产品编号；
- c) 外形尺寸、毛重；
- d) 发货单位、地址。

8.4 贮运

8.4.1 烟气轮机应存放于干燥、通风的室内。

8.4.2 运输过程中应采取防止振动或碰撞的措施。

9 资料

9.1 烟气轮机制造厂可按附录 K 向用户提供有关资料。

9.2 提供资料的具体内容和交付时间按合同的规定。

附录 A

(规范性附录)

烟气轮机管道接口许用外力和外力矩的计算

A.1 入口或出口管道作用于烟气轮机接口的合力和合力矩应符合如下规定:

$$F_R + 1.1M_R \leq 23425D_e \quad (\text{A.1})$$

式中:

F_R ——连接管道作用于烟气轮机的合力,当接口处采用不受约束的膨胀节时,应包括内压产生的推力,单位为牛(N);

$$F_R = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2 + F_Z^2} \quad (\text{A.2})$$

M_R ——连接管道作用于烟气轮机的合力矩,单位为牛米(N·m);

$$M_R = \sqrt{M_X^2 + M_Y^2 + M_Z^2} \quad (\text{A.3})$$

D_e ——连接管道的修正当量直径,单位为米(m)。

a) 当连接管道的公称直径 $DN \leq 0.2$ m 时,修正当量直径等于该管的公称直径。

$$D_e = DN \quad (\text{A.4})$$

b) 当连接管道的公称直径 $DN > 0.2$ m 时,修正当量直径按下式计算:

$$D_e = \frac{0.41 + DN}{3} \quad (\text{A.5})$$

A.2 以出口管中心线与通过 X 轴的水平面的交点为基准点,作用于烟气轮机入口、出口管口处的合力和合力矩折算到基准点的最终合力及最终合力矩应符合下列要求。

A.2.1 合力和合力矩

$$F_c + 1.64M_c \leq 17480D_c \quad (\text{A.6})$$

式中:

F_c ——最终合力(等于所有入口、出口处合力的合成力),单位为牛(N);

M_c ——最终合力矩(等于所有入口、出口处的合力矩折算至基准点的合力矩),单位为牛米(N·m);

D_c ——最终修正当量直径,单位为米(m)。

a) 当各连接管口直径不大于 0.23 m 时,最终修正当量直径等于各管口直径平方和的平方根:

$$D_c = \sqrt{\sum (D_i)^2} \quad (\text{A.7})$$

b) 当各连接管口直径大于 0.23 m 时,最终修正当量直径按下式计算:

$$D_c = \frac{0.46 + \sqrt{\sum (D_i)^2}}{3} \quad (\text{A.8})$$

A.2.2 F_c 和 M_c 在 X、Y、Z 三个方向的分力和分力矩应符合如下规定:

$$F_X \leq 7008D_c \quad (\text{A.9})$$

$$F_Y \leq 17520D_c \quad (\text{A.10})$$

$$F_Z \leq 14016D_c \quad (\text{A.11})$$

$$M_X \leq 10709D_c \quad (\text{A.12})$$

$$M_Y \leq 5354D_c \quad (\text{A.13})$$

$$M_Z \leq 5354D_c \quad (\text{A.14})$$

式中:

F_X 、 F_Y 、 F_Z —— F_c 在 X、Y、Z 轴上的分力(见图 A.1);

M_X 、 M_Y 、 M_Z —— M_c 在 X、Y、Z 轴上的分力矩(见图 A.1)。

A.3 烟气轮机出口管口上装有不约束的膨胀节,允许增加由于内压而产生的附加力(此附加力为垂直于出口法兰面)。在先不考虑内压力产生的附加力的情况下,计算出口处的垂直分力,该垂直分力与

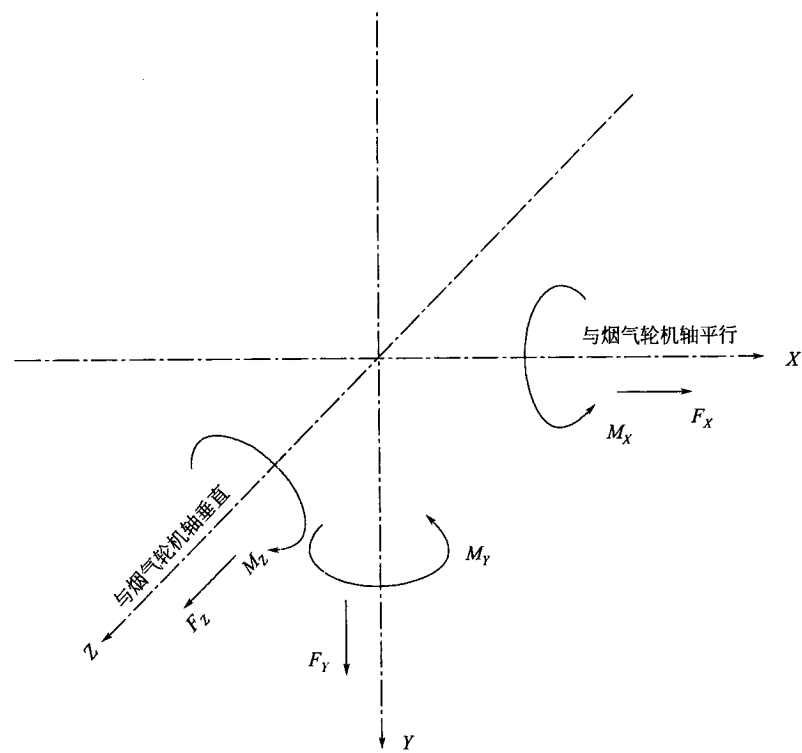


图 A. 1 燃气轮机承受的外力和外力矩

由内压产生的附加力的 1/6 比较,取两者的较大值作为出口的垂直分力而用于 A. 1、A. 2 中规定的计算。出口垂直分力的最大值(N)可为出口截面积 (cm²) 的 10 倍。

附 录 B
(规范性附录)
烟气轮机用 GH864 合金热轧棒材技术条件

本附录适用于使用温度在 815 ℃ 以下的 GH864 合金热轧棒材。该棒材用于制造高温转动承力部件的烟气轮机动叶片。

B.1 技术要求

B.1.1 化学成分

B.1.1.1 合金的化学成分应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 化学成分

元素	C	Cr	Ni	Co	Mo	Al
含量/%	0.02~0.08	18.00~21.00	余	12.00~15.00	3.50~5.00	1.20~1.60
元素	Ti	Fe	B	Zn	Mn	Si
含量/%	2.75~3.25	≤2.0	0.003~0.010	0.02~0.12	≤0.10	≤0.15
元素	Cu	Mg	S	P	Bi	Pb
含量/%	≤0.10	≤0.01	≤0.015	≤0.015	≤0.000 1	≤0.000 5

B.1.1.2 分析棒材 N₂、H₂、O₂ 含量,提供参考数据。

B.1.1.3 自耗锭头部取样作合金化学成分的全分析,尾部取样分析 C、Al、Ti、Cr、B、Mo、Co、Fe、Mg 元素含量。

B.1.2 冶炼方法

合金采用真空感应炉熔炼加真空自耗炉重熔双联工艺冶炼,或采用真空感应炉熔炼加电渣重熔加真空自耗炉重熔的三联工艺冶炼。冶炼方式的选择由供需双方协商决定。

B.1.3 尺寸外形及交货状态

B.1.3.1 热轧棒材供应棒料直径偏差为 $d_{-1.5}^{+0.2}$ mm。

B.1.3.2 棒材的通常长度为 1.5 m~5 m,小于 1.5 m 的棒材按合同中的最小尺寸倍尺交货。

B.1.3.3 棒材两端应切成直角,并清除毛刺。

B.1.3.4 棒材的圆度公差值不应大于允许直径公差的 70 %。

B.1.3.5 棒材的直线度公差应符合 GB/T 14993 的规定。

B.1.3.6 棒材不经热处理交货,其表面需全部磨光。

B.1.4 热处理

B.1.4.1 固溶热处理:加热温度 1 070 ℃±10 ℃,保温 4 h±0.5 h 后空冷或比其更快的冷速。

B.1.4.2 稳定化热处理:加热至 845 ℃±8 ℃,保温 24 h±0.5 h 后空冷。

B.1.4.3 时效处理:加热至 760 ℃±8 ℃,保温 16 h±1 h 后空冷。

B.1.5 力学性能

棒材用经热处理的试样,测定其室温和高温力学性能。测定结果应符合表 B.2 的规定。

表 B.2 力学性能

高温瞬时拉伸性能 试验温度 815 ℃	抗拉强度 R_m /MPa	≥ 610
	断后伸长率 $A/\%$	≥ 20
	断面收缩率 $Z/\%$	≥ 32
高温持久性能 815 ℃/325 MPa	持久寿命 τ/t	≥ 23
	断后伸长率 $A/\%$	≥ 8
室温硬度	硬度 HB	298~390

B.1.5.1 采用光滑缺口联合持久试样,应断于光滑部位。也可以用光滑和缺口试验分开的试样进行试验。缺口持久试样的断裂时间应大于光滑持久试样的断裂时间。缺口试样的缺口半径 $R=0.2\text{ mm}$ 。

B.1.5.2 根据需方要求,可测定表 B.2 中未规定的力学性能,其试验条件和性能要求由供需双方协议规定。

B.1.6 低倍组织

B.1.6.1 按 GB/T 14999.2 在经酸浸的横向试样上检验低倍组织时,棒材不得有肉眼可见的缩孔痕迹、空洞、裂纹和夹杂。

B.1.6.2 在经热处理的酸浸纵向试样上检验低倍组织时,应符合 GB/T 14999.1 的规定。

B.1.6.3 在经热处理的纵向试样上检验断口组织时,不允许存在分层;断口疏松 1~3 级为合格,不允许 4 级交货。纵向低倍宏观晶粒直线尺寸不大于 2 mm 为合格。

B.1.7 高倍组织

B.1.7.1 在经热处理的试样上测定并按 GB/T 14999.4 评定晶粒度和不均匀度。棒材晶粒度应等于 2 级或更细,允许个别 1 级交货。棒材不允许有明显的细晶区和粗晶区的偏聚。

B.1.7.2 夹杂物按 GB/T 14999.5 中 A 评级,应小于 2.5 级。

B.1.7.3 晶界不允许有连续成膜的封闭析出相和针状有害相析出。

B.1.7.4 根据需方要求,经供需双方协商,可检验其他显微组织、非金属夹杂物等,其检验方法及要求应在合同或协议中注明。

B.1.8 超声波探伤检验

棒材逐根按 B.2.6 进行超声波探伤检验,发现冶金缺陷则该根棒材报废,出现杂波问题由供需双方协商决定。

B.1.9 表面质量

棒材表面不得有裂纹、折叠、结疤和夹渣。棒材表面的局部缺陷应予以清除,其允许清理深度应不大于直径公差的一半,允许存在深度不超过直径公差 1/4 的个别轻微划伤。

B.2 检验方法

B.2.1 尺寸测量方法

棒材应用通用卡尺、千分尺、钢卷尺等测量工具,逐根进行尺寸检查。

B.2.2 外形测量方法

B.2.2.1 圆度测量方法

在圆形棒材横截面上用通用测量工具测量截面的最大直径与最小直径之差。

B.2.2.2 直线度测量方法

沿棒材长度方向,用 1 m 直尺靠量,取直尺与棒材最大弯曲处之波高。

B.2.3 表面质量检查方法

棒材应逐根用肉眼进行表面检查。

B.2.4 化学分析方法

B.2.4.1 合金化学分析取样方法按 GB/T 222 的有关规定及 B.1.1.3 进行。

B.2.4.2 合金的化学分析方法按 GB/T 223 中有关规定进行。

B.2.5 低倍、高倍、力学性能试验方法

每批棒材试验取样数量、部位和试验方法，应符合表 B.3 的规定。

表 B.3 棒材试验取样数量、部位和试验方法

序号	试验项目	数量	取样部位	试验方法
1	横向低倍	2	相当于钢锭头、 尾各一支	GB/T 14999.2
2	纵向低倍			GB/T 14999.1
3	纵向断口			GB/T 14999.3
4	显微组织			GB/T 14999.4
5	晶粒度			GB/T 14999.4
6	高温拉伸			GB/T 4338
7	高温持久			GB/T 2039
8	室温硬度			GB/T 231.1
注 1:棒材直径小于 32 mm,力学性能样坯的中心线与棒材中心线吻合。				
注 2:棒材直径大于 32 mm,力学性能样坯的中心线在棒材半径的 1/2 处。				

B.2.6 超声波探伤

B.2.6.1 超声波探伤方法

B.2.6.1.1 超声波探伤采用纵波反射法和横波反射法(横波反射检查由需方进行)。

B.2.6.1.2 直径 $\phi 75\text{ mm}\sim 120\text{ mm}$ 的棒材,采用接触法进行检验。

B.2.6.2 缺陷评定

B.2.6.2.1 超声波探伤以 $\phi 1.2\text{ mm}$ 平底孔调整灵敏度。

B.2.6.2.2 单个缺陷反射波大于 $\phi 1.2\text{ mm}$ 平底孔反射波高时为不合格。

B.2.6.2.3 由于材料组织引起的杂波反射,不能超过 $\phi 1.2\text{ mm}$ 平底孔反射波高的 20 %,若杂波反射超过 $\phi 1.2\text{ mm}$ 平底孔反射波高的 20 %,则由供需双方协商解决。

B.3 检验规则

B.3.1 验收

棒材的验收由供方检验部门进行,需方有权按本标准规定对棒材进行检验。

B.3.2 组批

棒材应成批验收,每批应由同一牌号、同一熔炉号、同一热处理批次、同一规格、同一方法加工的棒材组成。如用户对组批另有要求时,由供需双方协商解决,并在合同中注明。

B.3.3 复检

B.3.3.1 当某一项试验不合格时,应从同组批棒材上切取双倍数量的试样(包括从原不合格棒材上切取试样。如不从原不合格棒材上切取试样,将原不合格棒材报废)进行该项目复验。复验结果仍不合格时,则该组批棒材报废。

B.3.3.2 棒材因缩孔导致不合格时,供方可将缩孔切净,仍按初试规定进行检查。

B.3.3.3 当室温硬度、高温拉伸或高温持久初试不合格时,应在原初试的两根棒材上各取一支试样,按表 B.2 的规定进行复试。复试结果即使有一个不合格,则该批棒材报废。

B.3.3.4 供方可对某项检验不合格的一批棒材逐根地进行该项目检验(力学性能除外),然后重新组

批交货,并在质量证明书中注明。但重新组批只限一次。

B.3.4 质量异议

需方应在接到供方棒材后,及时按本标准的规定对其进行检验。检验中若发现材料不符合本标准规定时,应立即向供方提出。供方在接到需方质量异议时,亦应及时与需方协商处理。

B.3.5 仲裁试验

当供需双方对某项试验结果有分歧时,应由供需双方同意的仲裁单位进行仲裁试验。力学性能试验方法由仲裁单位确定。

B.3.6 冶金来源缺陷的处理

B.3.6.1 当需方在成品或半成品零件上发现冶金来源缺陷,经供需双方鉴定确认后,需方可以退货,并且当需方要求时,供方应予以补制。

B.3.6.2 需方对缺陷性质难以确定时,可请双方同意的仲裁单位仲裁,以得出最后结论。

B.4 包装、标志和质量证明书

B.4.1 包装

棒材应成组捆扎包装。

B.4.2 标志

棒材应逐根打上合金牌号、炉批号、顺序号。对于直径小于 $\phi 26$ mm 的棒材允许打代号并在质量证明书中注明。对棒材相当于铸锭头部、尾部的位置,应有明显的符号标记。

B.4.3 质量证明书

每批供应的棒材应附有质量证明书。质量证明书中应填写供方名称、需方名称、合同号、标准号、合金牌号、冶炼方法、批号、炉号(包括母炉号和子炉号)、规格、数量、重量、发货日期及按本标准、协议、合同所规定的各项检验结果(如进行复验应包括两次检验结果),并应加盖供方检验部门的印记。

B.4.4 其他

除本附录规定的要求外,对包装、标志和质量证明书的其他要求均应符合 GB/T 2101 的规定。

附 录 C
(规范性附录)

烟气轮机用 GH4169 合金棒材技术条件

本附录规定了直径不大于 $\phi 80$ mm 的 GH4169 合金棒材的技术要求和检验规则。该棒材用于制造烟气轮机紧固件。

C.1 技术要求

C.1.1 冶炼方法

合金采用真空感应加真空自耗重熔双联冶炼工艺生产。当供方采用其他冶炼工艺时,应预先征得需方同意。

C.1.2 化学成分

合金的化学成分应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 合金化学成分

元素	C	Cr	Mo	Nb+Ta	Ti	Al	Ni	Fe	
含量/%	0.02~0.08	17.00~21.00	2.80~3.30	4.75~5.50	0.75~1.15	0.30~0.70	50.00~55.00	余	
元素	Mn	Si	S	P	Co	Cu	Ca	Mg	
含量/%	不大于								
	0.350	0.350	0.015	0.015	1.000	0.300	0.005	0.005	
元素	Se	Bi	Pb	Ag	Sn	B	N	O	Te
含量/%	不大于								
	0.000 3	0.000 03	0.000 5	0.000 5	0.005	0.006	0.01	0.005	0.000 05
注 1: Fe 含量可用差数法确定。									
注 2: Se、Te 和 Ca 在确定分析方法前报实测结果,不作为验收。									

C.1.2.1 取样

化学分析样品应取自铸锭的头部和尾部或者相当于头部和尾部的棒材,并报出头部和尾部的化学成分分析结果及杂质元素。

C.1.2.2 成品化学成分允许偏差按 GB/T 222 规定。允许只报头部试样结果,当一个母炉号重熔成一个子炉号时,允许尾部试样只报 C、Al、Ti、Nb(Nb+Ta)和 Mg 的分析结果。

C.1.2.3 成分偏差

采用两炉或两炉以上真空感应冶炼的铸锭焊接作为一个真空自耗重熔电极时,真空感应冶炼各炉化学成分之偏差应符合表 C.2 的规定。

表 C.2 各炉合金化学成分允许偏差

元素	C	Cr	Al	Mo	Ti	B	Nb+Ta	Ni
含量偏差/%	0.015	0.60	0.10	0.25	0.15	0.002	0.25	2.00

C.1.3 尺寸外形和交货状态

C.1.3.1 棒材直径及偏差应符合 GB/T 14993 的规定。

C.1.3.2 棒材的通常长度应大于 1.5 m,小于 1.5 m 的棒材按合同中最小尺寸倍尺交货。

C.1.3.3 棒材两端应切出直角,并清除毛刺。

C.1.3.4 棒材的圆度公差值应不大于直径允许公差的 70 %。

C.1.3.5 棒材的直线度偏差每米不得大于 6 mm。

C.1.4 交货状态及质量要求

C.1.4.1 铸锭应进行均匀化处理。棒材以轧制状态且经磨光后交货。

C.1.4.2 棒材质量和状态应均一、洁净且无有害于成品零件制造和性能的内部或外部缺陷。

C.1.4.3 表面质量要求棒材表面不得有裂纹、折叠、结疤和夹渣。表面缺陷应予清除，清除深度应不大于直径的允许偏差，宽深比应大于 6。

C.1.5 热处理

热处理工艺：(950~980)℃±10℃，1 h，空冷；720℃±8℃，8 h，在炉内以 50℃/h 的冷却速度冷至 620℃±8℃，8 h，空冷。

C.1.6 低倍组织

C.1.6.1 横向低倍组织

在未经热处理状态下，经腐蚀后检查，不得有缩孔、裂纹、分层、夹渣。经完全热处理后检查白斑和黑斑，有这种缺陷则整炉报废。

C.1.6.2 纵向低倍组织

纵向低倍组织在完全热处理后检查条带偏析，并以 1：1 摄取低倍组织照片，暂不做验收依据，积累数据以制定验收标准图片。

C.1.7 高倍组织

C.1.7.1 取样部位在棒材中心。检验面为径向和轴向剖面。

C.1.7.2 试片经 C.1.5 热处理并腐蚀后检验，如发现 Laves 相，则整炉棒材报废。

C.1.7.3 取样部位和晶粒度大小应符合表 C.3 的规定。

表 C.3 合金取样及晶粒度

取样部位	晶粒大小
中心	GB/T 6394 中 7 级或更细，个别允许 4 级

C.1.8 力学性能

C.1.8.1 试样热处理按 C.1.5 的规定。

C.1.8.2 力学性能应符合表 C.4 的规定。

C.1.8.3 室温硬度 HB 不小于 346。

表 C.4 棒材拉伸性能及持久性能

试样温度/℃	取样方向	抗拉强度	屈服强度	断后伸长率	断面收缩率	持久(650℃,690MPa)	
		R_m	$\sigma_{0.2}$	A	Z	r	A
		/MPa	/MPa	/%	/%	/h	/%
		不小于					
20	纵向	1276	1034	12	15	25	5
650	纵向	1000	862	12	15		
注：当持久试验时间达到25h后,每隔10h以34.5MPa的增量加载荷,直至拉断为止。							

C.2 验收规则与试验方法

C.2.1 验收规则

C.2.1.1 每一验收批应由同一熔炼炉、同一炉号、同一规格、同一加工方法、同一生产批的棒材组成。

C.2.1.2 棒材应逐根进行超声波检验以及表面质量和尺寸检验。

C.2.2 试验方法

每批棒材试样的取样数量、试验方法应符合表 C.5 的规定。

表 C.5 棒材试验方法

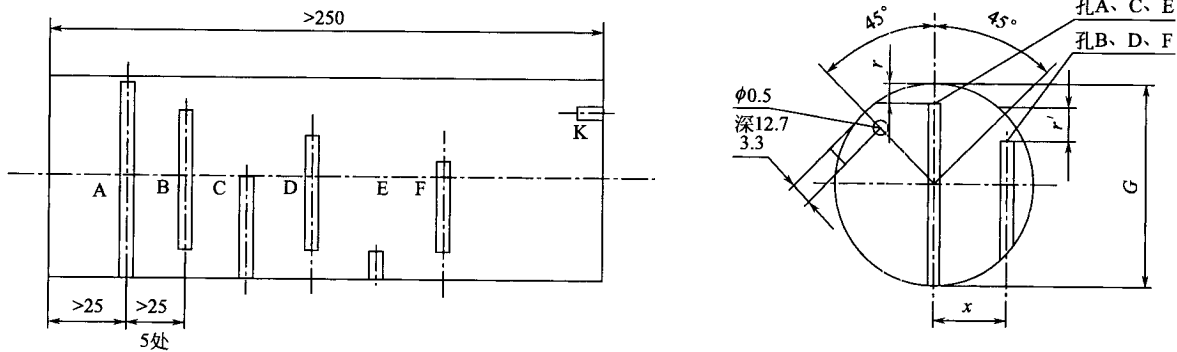
检验项目	取样数量	试验方法
化学成分		GB/T 222、GB/T 223.1~GB/T 223.70
室温拉伸	2	GB/T 228
高温拉伸	2	GB/T 4338
高温持久	2	GB/T 2039
布氏硬度	2	GB/T 231.1
金相检验	1~2	按 C.1.6、C.1.7 要求
低倍组织	2	GB/T 14999.1、GB/T 14999.2
超声检验	逐件	按 C.2.3 要求
表面质量	逐件	按 C.1.4.3 要求
尺寸、外形	逐件	按 C.1.3 要求

C.2.3 超声波检验及验收

对用于进一步变形以制作所需零件的棒材和坯料，超声波检验的方法和验收标准在满足图纸对零件的要求下，应由供需双方商定。在一般情况下可采用如下的方法和标准：

用纵波及横波进行检验，试块的制作要求如图 C.1 所示。

单位为毫米



平底孔	X	Y±0.2	说明
A	0.00	3.18	a) 平底孔直径 $\phi=0.8\text{ mm}$ 。 b) G 为棒材直径。 c) 可根据需方要求选用 A、B、C、D、E、F、K 诸孔中的某几个孔。
B	0.35 G	2.54	
C	0.00	0.50 G	
D	0.35 G	0.12 G	
E	0.00	0.88 G	
F	0.35 G	0.25 G	

图 C.1 超声波检验试块

在试块所选用各孔的反射波高均不低于荧光屏满刻度 80 % 的情况下，若波幅大于满刻度 60 %，则拒收棒材。

C.2.4 重复试验

若力学性能首次试验不合格,允许从不同棒材上(包括原不合格棒材)切取双倍数量试样进行不合格项目的重复试验。若仍不合格,允许在技术条件规定的范围内重复热处理后再进行全部项目的试验。若仍不合格,则该批棒材报废。

C.2.5 棒材定型后生产工艺必须稳定,当供方在冶炼和生产的主导工艺上有重大改变时,应预先征得需方同意,并根据需要进行全面性能工艺试验。其冶金质量不能低于定型批棒材的水平。

C.2.6 若用工业真空感应炉熔炼的铸锭焊接作自耗电极时,应保证成品锭不使用有焊接接头的电极进行重熔。

C.2.7 必要时,供需双方均可查看对方的制造生产工艺和本标准所规定的各项试验,但双方应予保密。

C.2.8 已验收的棒材在随后的加工过程中若发现不允许的冶金来源缺陷,需方可以退货。并且当需方要求时,供方应予以补制。

C.3 包装、标志和质量证明

C.3.1 每根棒材应标印合金牌号、炉号、锭节号和承制厂检验印记。

C.3.2 每批棒材应附有供方检验部门的质量证明书,其上应注明棒材图号、材料牌号、标准号、规格、数量、状态、熔炼炉号、锭节号、交付日期和本标准所规定的检验项目与试验实测结果及结论。

C.3.3 棒材的包装、标志按 GB/T 14993 的有关规定。

C.4 定义

C.4.1

黑斑 freckle

导致化合物聚集的固溶元素的正偏析。这些化合物是碳化物、Laves 相、 μ 相和其他金属间化合物相,这些相在腐蚀面上呈现暗色区域。

C.4.2

偏析 segregation

形成强化元素异常高或异常低的区域。

C.4.3

夹杂 inclusion

材料中金属和非金属的夹杂颗粒。

C.4.4

白斑 white spot

通常是碳化物或者碳化物形成元素和强化元素减少的负偏析,且在腐蚀面上呈现白亮的区域。

C.5 本附录未尽事宜供需双方协商解决。

附 录 D
(规范性附录)

烟气轮机用 K213 铸造高温合金母合金技术条件

本附录适用于 K213 铸造高温合金母合金。可用于制造 750 ℃ 以下长期工作的柴油机增压器涡轮和燃气轮机、烟气轮机的涡轮叶片、静叶片及其他高温部件。

D.1 化学成分

母合金的化学成分应符合表 D.1 的规定。

表 D.1 化学成分

元素	C	Cr	Ni	W	Al	Ti
含量/%	≤0.10	14.00~16.00	34.00~38.00	4.00~7.00	1.50~2.00	3.00~4.00
元素	B	Fe	Mn	Si	S	P
含量/%	0.05~0.10	余	≤0.50	≤0.50	≤0.015	≤0.015

D.2 冶炼工艺

D.2.1 母合金采用真空感应炉熔炼。

D.2.2 允许使用本合金 100 % 的返回料熔炼,但必须经过高真空精炼。

D.3 尺寸、外形

母合金铸成圆棒。具体尺寸由供需双方协商确定。

D.4 交货状态

母合金以铸态交货。

D.5 力学性能

D.5.1 每炉母合金都应测试力学性能。做力学性能的试样应从被检验的母合金炉号中取料,经真空感应炉重熔浇注成型。

D.5.2 试样经 1 100 ℃,4 h,空冷热处理后,加工成 $\phi 5$ 标准试样。

D.5.3 力学性能应符合表 D.2 的规定。

D.6 表面质量

母合金棒表面应全部打磨光亮。不允许夹有生铁、耐火材料、熔渣等夹杂物。

表 D.2 力学性能

热处理工艺	试验温度/℃	拉伸性能			持久性能	
		抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%	断面收缩率 Z /%	应力 /MPa	时间 /h
1 100 ℃,4 h, 空冷	750	≥600	≥4	≥8	380	≥80
	700	≥640	≥8	≥10	500	≥40

注:根据使用条件,只选择其中一个试验温度进行检验。

D.7 试验方法

D.7.1 化学成分分析方法

D.7.1.1 每炉母合金应从铸棒或随炉浇注的化学分析试样上取样。

D.7.1.2 分析方法按 GB/T 223.1~GB/T 223.70 中的相关规定。

D.7.2 力学性能测试方法

D.7.2.1 每炉取拉伸性能和持久性能试样各两根。

D.7.2.2 持久性能试验按 GB/T 2039、高温拉伸试验按 GB/T 4338 的规定。

D.7.2.3 如测试力学性能有某项不合格时,可在原组成型试棒或重新浇注成型试棒中取样复验,取样数量应为不合格试样数量的两倍。复验时如仍有一根试样结果不合格,则该炉母合金报废。

D.7.2.4 如因试棒本身缺陷或试验故障等外界原因造成性能不合格,则试验结果无效并应重新取样检验。

D.8 熔渣试验

需方如要求熔渣试验,试验方法和标准图片由供需双方协商确定。

D.9 质量异议与仲裁

如供需双方对母合金质量发生异议时,应进行仲裁试验。仲裁单位由双方协商选定,以仲裁试验结果为最终结果。

D.10 包装、标志和质量说明书

D.10.1 每根母合金棒上都应清楚地标明合金牌号(或代号)及熔炼炉号。

D.10.2 母合金棒应按炉号分别包装,并附有质量证明书。质量证明书应填写供方名称、需方名称、合同号、标准号、合金牌号、炉号、交货数量、发货日期及按标准和协议、合同所规定的各项检验结果(如进行复验,应包括两次检验结果),并应加盖供方检验部门的印记。

附 录 E
(规范性附录)

烟气轮机用 GH864 合金模锻动叶片毛坯技术条件

本附录适用于烟气轮机用 GH864 合金模锻动叶片毛坯。

E.1 技术要求

E.1.1 原材料

E.1.1.1 模锻动叶片毛坯用 GH864 合金热轧棒材应符合附录 B 的规定。

E.1.1.2 GH864 合金热轧棒材,经复验合格后,方可投入制造。

E.1.2 热处理

E.1.2.1 固溶热处理:加热温度在 $1\,070\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 $4\text{ h}\pm 0.5\text{ h}$ 后空冷或比其更快的冷速。

E.1.2.2 稳定化处理:加热至 $845\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 $24\text{ h}\pm 0.5\text{ h}$ 后空冷。

E.1.2.3 时效处理:加热至 $760\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 $16\text{ h}\pm 1\text{ h}$ 后空冷。

E.1.2.4 模锻动叶片毛坯不允许重复固溶处理,但时效过程允许重复二次。

E.1.3 形状尺寸和公差

E.1.3.1 模锻动叶片毛坯的形状、尺寸应符合图样要求。

E.1.3.2 模锻动叶片毛坯周边加工余量应不小于 1 mm。

E.1.4 力学性能

E.1.4.1 模锻动叶片毛坯应 100 % 的检验硬度。

E.1.4.2 模锻动叶片毛坯按同熔炼炉号且同一热处理炉次组批,同一组批任取两片截取试样检验力学性能,检验结果应符合表 E.1 的规定。

表 E.1 力学性能

高温瞬时拉伸性能 试验温度 $815\text{ }^{\circ}\text{C}$	抗拉强度 R_m/MPa	≥ 610
	断后伸长率 $A/\%$	≥ 20
	断面收缩率 $Z/\%$	≥ 32
高温持久性能 $815\text{ }^{\circ}\text{C}/325\text{ MPa}$	持久寿命 τ/t	≥ 23
	伸长率 $A/\%$	≥ 8
室温硬度	硬度 HB	298~390

E.1.4.3 模锻动叶片的同一热处理炉次,若包括几个熔炼炉号,则每一熔炼炉号为—组批,按 E.1.4.2 规定取样检验力学性能。每一组批的取样检验只说明该熔炼炉号的检验结果,与同一热处理炉次的其他熔炼炉号叶片无关。

E.1.4.4 若采用光滑缺口联合持久试样,应断于光滑部位。也可以用光滑和缺口分开的试样进行试验。缺口持久试样的断裂时间应大于光滑持久试样的断裂时间,缺口试样的缺口半径 $R=0.2\text{ mm}$ 。

E.1.4.5 根据需方要求,可测定表 E.1 中未规定的力学性能,其试验条件和力学性能要求由供需双方协商确定。

E.1.5 低倍组织

E.1.5.1 模锻动叶片毛坯按同一熔炼炉号及同一热处理炉次为—组批,在同一组批中任取一片,检验纵向低倍组织和宏观晶粒度。

E.1.5.2 模锻动叶片的同一热处理炉次,若包括几个熔炼炉号,则每一熔炼炉号为—组批,按 E.1.5.1 检验纵向低倍组织和宏观晶粒度。每一组批的取样检验只说明该熔炼炉号的检验结果,与同一热处理

炉次的其他熔炼炉号无关。

E. 1.5.3 叶片纵向低倍不允许有肉眼可见的缩孔痕迹、空洞、裂纹、针孔和夹杂等缺陷。

E. 1.5.4 叶片进气边、排气边两侧的 3 mm 处的表面宏观晶粒的直线尺寸应不大于 2 mm。

E. 1.5.5 叶片曲率最大部位的宏观晶粒直线尺寸应不大于 5 mm。

E. 1.5.6 叶片其他部位的宏观晶粒尺寸应不大于 3 mm。

E. 1.5.7 出现宏观晶粒尺寸大于 5 mm,则为废品。

E. 1.6 高倍组织

E. 1.6.1 动叶片最终抛光后的表面晶粒度按 GB/T 14999.5 评定,叶片叶型最大厚度部位不大于 3 级晶粒度,其余部位不大于 2 级晶粒度。

E. 1.6.2 高倍晶粒均匀,在试样的任一视场内,不允许存在细晶区和粗晶区的明显偏聚。

E. 1.6.3 晶界不允许有连续成膜的封闭析出相和针状有害相析出。

E. 1.7 模锻动叶片毛坯表面(毛边除外)不允许有裂纹、折叠、结疤、夹渣、缩孔、疏松和划伤等缺陷。表面的局部缺陷应予清除,其允许清除深度从实际尺寸算起,不得超过加工余量的 50 %。

E. 1.8 模锻动叶片机械加工时,应将每个面均匀去掉余量,去除余量在任何部位不应小于 1 mm。

E. 1.9 模锻动叶片最后抛光后,应在叶片表面进行着色检查,不允许有着色检查所发现的缺陷。

E. 2 检验方法

E. 2.1 尺寸测量方法

模锻动叶片毛坯应用动叶片毛坯检具进行尺寸检查。

E. 2.2 表面质量检验方法

模锻动叶片毛坯应逐件用肉眼进行表面质量检查。

E. 2.3 低倍、力学性能试验方法

模锻动叶片按同一熔炼炉号及同一热处理炉次为一组批,截取试样。截取试样不允许采用热加工的方法。试样取样部位和试验方法应分别符合表 E. 2、表 E. 3 的规定。

表 E. 2 试样取样部位

序号	试验项目	取样部位
1	纵向低倍	试样截面包含叶片曲率最大、厚度最大、易产生粗晶带的部位
2	力学性能	试样工作部分应取在叶身部位
3	高倍组织	力学性能试样余料

表 E. 3 低倍、高倍组织和力学性能试验方法

序号	试验项目	数量	试样方法
1	纵向低倍	2	GB/T 14999.1
2	高温拉伸		GB/T 4338
3	高温持久		GB/T 2039
4	室温硬度		GB/T 231.1
5	晶粒度		GB/T 14999.4

E. 3 检验规则

E. 3.1 验收由供方检验部门进行。

E. 3.2 模锻动叶片毛坯应成批验收,每批应由同一图号、同一熔炼炉号及同一热处理炉次的叶片组成。

E. 3.3 模锻动叶片毛坯应进行下列检验:

E. 3.3.1 模锻动叶片毛坯的化学成分以 GH864 合金热轧棒材检验结果为依据,必要时可进行抽验。化学分析方法按 GB/T 223 的规定。

E. 3.3.2 几何尺寸按模锻动叶片毛坯图所注明的尺寸公差和精度进行检验。

E. 3.4 复验

当某一检验不合格时,应从同组批模锻动叶片毛坯上切取双倍数量的试样进行该项目复验。复验结果仍不合格时,则该批毛坯可按 E. 1.2 重复热处理一次,重复热处理后仍可按 E. 1.4 的规定进行力学性能检查;若重复热处理后性能仍不合格,则该组批模锻动叶片报废。

E. 4 包装、标志和质量说明书

E. 4.1 模锻动叶片应分组用包装箱进行包装。

E. 4.2 模锻动叶片应按生产批次逐件打上顺序代号。

E. 4.3 质量证明书

每批供应的模锻动叶片应按组批附有质量证明书。质量证明书中应填写供方名称、需方名称、合同号、合金牌号、叶片图号、熔炼炉号、热处理炉次、数量、质量、发货日期及按本标准、协议、合同中规定的各项检验结果,并应加盖供方检验部门的印记。

附录 F
 (规范性附录)

烟气轮机用 40CrNi2MoA 合金主轴锻件技术条件

本附录适用于烟气轮机用 40CrNi2MoA 合金主轴锻件。

F.1 技术要求

F.1.1 化学成分

合金的化学成分应符合表 F.1 的规定。

表 F.1 化学成分

元素	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu
含量/%	0.38~0.43	0.60~0.90	0.20~0.35	≤0.015	≤0.02	1.65~2.00	0.70~0.90	0.20~0.30	≤0.25
注：提供成品锻材的 H ₂ 、O ₂ 、N ₂ 化学成分分析数据供参考。									

F.1.2 冶炼和制造方法

F.1.2.1 冶炼工艺可采用下列熔炼方法之一进行：

- a) 真空感应炉熔炼加电渣重熔；
- b) 真空感应炉熔炼加真空自耗炉重熔；
- c) 电弧炉加 LF 炉外精炼加真空自耗炉重熔。

F.1.2.2 轴锻件经锻锤或水压机锻制，总锻造比应不小于 5。

F.1.3 交货状态

锻件经高温回火软化，室温硬度 HB 应不大于 269，表面粗车后交货。

F.1.4 外形尺寸及允许偏差

轴锻件外形尺寸及允许偏差应在合同中注明或符合供需双方会签图纸的规定。

F.1.5 热处理工艺

850℃±10℃油冷；570℃±10℃空冷。

F.1.6 力学性能

在相当于钢锭头部的 φ180 mm 锻坯上，截取 φ25 mm 试样毛坯，经热处理后制成试样，其室温力学性能应符合表 F.2 的规定。

表 F.2 室温力学性能

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	断后伸长率 A /%	断面收缩率 Z /%	硬度 HB	室温冲击韧度 A_k /(J/cm ²)
≥980	≥885	≥12	≥45	293~341	≥65
注 1：在保证 $A \geq 12\%$ 和 $Z \geq 45\%$ 的前提下允许 R_m 、 $\sigma_{0.2} \geq 835$ MPa 交货。 注 2：硬度值供参考。 注 3：试样应纵向取样。					

F.1.7 低倍组织

在相当于钢锭头部的 φ180 mm 坯料上截取横低倍试样，经酸浸后检验低倍组织。不允许有缩孔、气泡、裂纹、白点及肉眼可见的夹杂等缺陷。一般疏松、中心疏松、偏析均应小于 1.5 级。

F.1.8 断口检验

在调质状态下检验，断口不应有木纹状、石块状及层状断口特征。

F.1.9 晶粒度

试样在相当于钢锭头部 $\phi 180$ mm 的坯料上切取,奥氏体晶粒度应为 6 级或更细,允许有个别 5 级晶粒存在。

F.1.10 非金属夹杂物

在相当于钢锭头部的锻坯上取样检验。要求氧化物不大于 1.5 级;硫化物不大于 1.5 级;氧化物加硫化物不大于 2.5 级。

F.2 超声波检验

锻件应逐件进行超声波检验。

F.2.1 锻件直径 $\phi 600$ mm~700 mm,标准孔 $\phi 6$ mm,波高调 80 %。

F.2.1.1 有大于 $\phi 6$ mm 的缺陷判废。

F.2.1.2 $\phi 4$ mm~6 mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

- a) 同一截面内缺陷个数不得多于 2 个,且 2 个缺陷间距应大于 100 mm;
- b) 轴向缺陷总数不得多于 6 个,且任意两个缺陷轴向间距应大于 140 mm。

F.2.2 锻件直径 $\phi 320$ mm~550 mm,标准孔 $\phi 4$ mm,波高调 80 %。

F.2.2.1 有大于 $\phi 4$ mm 的缺陷原则上应判废,但有个别 $\phi 4$ mm~5 mm 的缺陷也可由供需双方协商解决。

F.2.2.2 $\phi 3$ mm~4 mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

- a) 同一截面内缺陷个数不得多于 2 个,且 2 个缺陷间距应大于 60 mm;
- b) 轴向缺陷总数不得多于 6 个,且任意两个缺陷轴向间距应大于 100 mm。

F.2.2.3 同一截面 $\phi 3$ mm 的缺陷不得多于 3 个,且任意两个缺陷间距应大于 50 mm;轴向的缺陷总数不得多于 10 个,且任意两个缺陷轴向间距应大于 80 mm。

F.2.3 锻件直径 $\phi 230$ mm~320 mm,标准孔 $\phi 3$ mm,波高调 80 %。

F.2.3.1 有大于 $\phi 3$ mm 的缺陷判废。

F.2.3.2 $\phi 3$ mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

- a) 同一截面内缺陷数量不得多于 2 个,且 2 个缺陷间距应大于 50 mm;
- b) 轴向缺陷总数不得多于 10 个,且任意 2 个缺陷轴向间距应大于 80 mm。

F.2.4 锻件直径 $\phi 155$ mm,标准孔 $\phi 2$ mm,波高调 80 %。

F.2.4.1 有大于 $\phi 2$ mm 的缺陷判废。

F.2.4.2 $\phi 2$ mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

同一截面内缺陷个数不得多于 4 个,且任意 2 个缺陷间距应大于 40 mm;轴向间距应大于 60 mm。

F.2.5 底波衰减不得大于 20 dB。

F.2.6 探伤方法

F.2.6.1 1 MHz~2.5 MHz、 $\phi 20$ mm 直探头接触法为主进行逐根探伤。

F.2.6.2 用 AVG 法、底波法、标准块 $\phi 2$ mm~4 mm 比较,均同时有效。

F.2.7 质量

F.2.7.1 锻件应有均一的质量和状态,无外来夹杂物和有害于产品使用的内、外部缺陷。

F.2.7.2 表层局部缺陷允许用倾斜打磨法去除,其宽深比应大于 6,且打磨深度不得超过实际加工余量的 50 %。

F.2.8 试验方法及检验准则

F.2.8.1 试验方法及试样数量应符合表 F.3 的规定。

表 F.3 试验方法及试样数量

试验项目	取样数量	试验方法
化学成分	1	GB/T 223
室温拉伸	2	GB/T 228
室温冲击	2	GB/T 229
室温硬度	2	GB/T 231.1
低倍组织	2	GB/T 226
断口	2	GB/T 1814
非金属夹杂	2	GB/T 10561
晶粒度	1	GB/T 6394

F.2.8.2 本技术条件中所规定的力学性能等检验项目试验结果,如有一个试样不合格,应在锻件上取双倍数量的试样进行复验,若结果仍有一个不合格时,则该锻件报废。

F.2.8.3 需方复验以每一轴锻件为单位,若有某项试验不合格,则该锻件报废。

F.2.8.4 承制厂在供需双方会签的毛坯图中所规定的位置应留 $\phi 180\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 长复验用料并计入重量。

F.2.8.5 质量异议

需方接到供方锻件后,应尽快按本标准的规定,对锻件进行热处理与复验,供方在接到需方质量异议通知后,应及时与需方协商处理。

F.2.8.6 仲裁试验

当供需双方对某项试验结果有异议时,应进行仲裁试验。仲裁单位由供需双方协商确定,仲裁试验结果为最终结果。

F.2.8.7 冶金来源缺陷的处理

当需方在成品或半成品零件上发现冶金来源缺陷并经供需双方确认后,需方可以退货,并且当需方要求时供方应予以补制。

F.3 标志和质量证明书

F.3.1 轴锻件应逐件打上合金牌号、熔炼炉号和锭节号。

F.3.2 每个轴锻件所附的质量证明书中,应填写供方名称、需方名称、合同号、标准号、钢牌号、冶炼方法、炉号(包括母炉号和子炉号)、锭节号、规格、重量、发货日期及按本标准 and 合同或协议所规定的各项检验结果(如进行复检,应包括两次检验结果),附高倍晶粒度及夹杂物评级照片,并应加盖供方检验部门的印记。

附 录 G
(规范性附录)

烟气轮机用 GH2132 合金主轴锻件技术条件

本附录适用于烟气轮机用 GH2132 合金大型轴锻件。

G.1 外形尺寸及允许偏差

轴锻件外形尺寸及允许偏差在合同中注明或符合供需双方会签的图纸规定。

G.2 技术要求

G.2.1 合金的化学成分应符合表 G.1 的规定。

表 G.1 合金的化学成分

元素	C	Mn	Si	P	S
含量/%	≤0.08	≤0.50	≤0.40	≤0.025	≤0.025
元素	Cr	Ni	Mo	Ti	B
含量/%	13.50~16.00	24.00~27.00	1.00~1.50	1.90~2.35	0.003~0.010
元素	V	Al	Bi	Pb	Fe
含量/%	0.10~0.50	≤0.35	≤0.000 1	≤0.000 5	余
注 1:按电子空位数控制化学成分($\Delta N_v = \text{Ni} - 3.5\text{Al} - 3\text{Ti} - 1.7\text{Si} - 0.9\text{Cr} - 4.7 > 0$)。					
注 2:B 含量按计算量加入。					
注 3:提供 Sn、Sb、As、Cu、Ag 成分及 N ₂ 实测数据。					

G.2.2 制造方法

G.2.2.1 冶炼工艺

G.2.2.1.1 采用电弧炉或真空感应炉冶炼,再加真空自耗重熔的双联冶炼工艺。

G.2.2.1.2 成品锭电极不能有接头。

G.2.2.2 轴锻件在热加工工艺中,必须有反复墩粗工序,总锻造比应不小于 6。

G.2.3 交货状态

锻件经热处理并粗加工后交货。

G.2.4 热处理工艺

G.2.4.1 900℃±14℃,大于 2 h,油冷;(705~730)℃±8℃,16 h,空冷。

G.2.4.2 允许重复热处理一次,补充时效不算重复热处理。

G.2.5 力学性能

G.2.5.1 供作轴的力学性能与晶粒度的试样取样部位应符合如下规定:

- a) 对于长度约 600 mm 的轴,取样部位在轴端;
- b) 对于长度大于 1 200 mm 的大轴,取样部位在轴大端。

对于 a)、b)截取直径 φ250 mm,厚 20 mm 试样一片,再切向截取试样。

G.2.5.2 室温拉伸性能应符合表 G.2 的规定。

表 G.2 室温拉伸性能

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	断后伸长率 A /%	断面收缩率 Z /%
≥965	≥655	≥12	≥15
注:若试样取自以轴件中心为圆心,直径为 25 %轴直径范围内时,允许 $A \geq 10\%$, $Z \geq 12\%$ 。			

G.2.5.3 高温持久性能(缺口与光滑组合试样或单个试样)

650℃±2℃,450 MPa 时要求 $\tau \geq 23$ h。持久试验到 48 h 后,可以每隔 8 h~16 h(最好 8 h~10 h)按 35 MPa 递增应力以便断裂。组合试样断裂应在光滑处,单个缺口试样断裂时间应大于光滑断裂时间。要求 $A \geq 5\%$,如果 $\tau > 48$ h 断裂,此时要求 $A \geq 3\%$ 。缺口半径为 0.2 mm。

G.2.5.4 室温硬度 HBS 为 277~363。如果拉伸性能符合要求,则硬度值不作为判废依据。

G.2.5.5 室温冲击 $A_k \geq 24$ J/cm²,如不合格,由供、需双方协商解决。

G.2.6 晶粒尺寸

G.2.6.1 成品轴件整体晶粒度应均匀,没有细晶区和粗晶区的明显偏析。

G.2.6.2 低倍腐蚀观察限于轴承挡和两端面,宏观晶粒直线尺寸不大于 2 mm。

G.2.6.3 夹杂物含量应小于 3 级,按 GB/T 14999.5 中 A 类标准积累图片,不作考核。

G.2.7 质量

G.2.7.1 锻件应有均一的质量和状态,无外来夹杂物和有害于产品使用的内外部缺陷。

G.2.7.2 表层局部缺陷允许用倾斜打磨法消除,打磨宽深比应不小于 6,且打磨深度不得超过实际加工余量的 50%。

G.2.8 锻件应逐件进行超声波探伤检验。

G.2.8.1 锻件直径 $\phi 370$ mm,采用标准孔 $\phi 4$ mm,波高调 80%。

G.2.8.1.1 有大于 $\phi 4$ mm 的缺陷判废。

G.2.8.1.2 $\phi 4$ mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

- a) 同一截面内缺陷个数不得多于 2 个,且 2 个缺陷间距应大于 60 mm;
- b) 轴向缺陷总数不得多于 6 个,且任意 2 个缺陷轴向间距应大于 100 mm。

G.2.8.1.3 $\phi 3$ mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

- a) 同一截面 $\phi 3$ mm 缺陷不得多于 3 个,且任意 2 个缺陷间距应大于 50 mm;
- b) 轴向缺陷总数不得多于 10 个,且任意 2 个缺陷轴向间距应大于 80 mm。

G.2.8.2 锻件直径 $\phi 230$ mm~320 mm,标准孔 $\phi 3$ mm,波高调 80%。

G.2.8.2.1 有大于 $\phi 3$ mm 的缺陷判废。

G.2.8.2.2 $\phi 3$ mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

- a) 同一截面内缺陷个数不得多于 2 个,且 2 个缺陷间距应大于 50 mm;
- b) 轴向缺陷总数不得多于 10 个,且任意 2 个缺陷轴向间距应大于 80 mm。

G.2.8.3 锻件直径 $\phi 155$ mm,标准孔 $\phi 2$ mm,波高调 80%。

G.2.8.3.1 有大于 $\phi 2$ mm 的缺陷判废。

G.2.8.3.2 $\phi 2$ mm 缺陷的数量和间距控制应符合如下规定:

同一截面内缺陷不得多于 4 个,且任意 2 个缺陷间距应大于 40 mm;轴向间距应大于 60 mm。

G.2.8.4 底波衰减不得大于 20 dB。

G.2.8.5 探伤方法

G.2.8.5.1 1 MHz~2.5 MHz、 $\phi 20$ mm 直探头接触法为主进行逐根探伤。

G.2.8.5.2 用 AVG 法、底波法、标准块 $\phi 2$ mm~4 mm 比较法,均同时有效。

G.2.9 试验方法及验收规则

G.2.9.1 试验方法应符合表 G.3 的规定。

表 G.3 试验方法

试验项目	化学成分	室温拉伸	室温硬度	高温持久	低倍组织
试验方法	GB/T 223	GB/T 228	GB/T 231.1	GB/T 2039	GB/T 14999.2

G.2.9.2 复验

G.2.9.2.1 供方提交图纸上所规定的试样片,分数量相等的三份,一份由供方做检验用,其余两份交需方做复验及质量判断用。

G.2.9.2.2 力学性能如有某一项试验结果不符合本附录规定,可从原试件片上再取双倍数量的试样进行该不合格项目的复验,若结果仍有一个不合格,则该轴件报废。

G.2.9.3 质量异议

需方在接到供方锻件后,应尽快按本附录的规定对材料进行复验,若发现材料不符合要求时,应立即向供方提出。供方在接到质量异议时,应及时与需方协商处理。

G.2.9.4 仲裁试验

当供需双方对某项试验结果(包括化学成分)有分歧时,可提请上级主管部门指定的或可由双方协商同意的仲裁单位进行仲裁试验,仲裁试验结果为最终结果。

G.2.9.5 冶金来源缺陷的处理

当需方在成品或半成品零件上发现冶金来源缺陷,并经供需双方确认后,需方可以退货,并且当需方要求时供方应补制。

G.3 标志和质量证明书

G.3.1 轴锻件应逐件打上合金牌号、熔炼炉号和锭节号。

每个轴锻件应附有质量证明书,质量证明书中应填写供方名称、需方名称、合同号、标准号、合金牌号、冶炼方法、炉号(包括母炉号和子炉号)、规格、数量、重量、交货日期及按本附录和合同协议所规定的各项检验结果(如进行复验,应包括两次检验结果),并具有供方检验部门的印记。

附 录 H
(规范性附录)

烟气轮机用 GH864 合金轮盘锻件技术条件

本附录适用于 GH864 合金制造的烟气轮机盘锻件(模锻件或自由锻件)。

H.1 外形尺寸

锻件外形尺寸及允许偏差在合同中注明或符合供需双方会签图纸的规定。

H.2 技术要求

H.2.1 化学成分

H.2.1.1 合金的化学成分应符合表 H.1 的规定。

表 H.1 化学成分

元素	C	Cr	Ni	Co	Mo	Al
含量/%	0.02~0.08	18.00~21.00	余	12.00~15.00	3.50~5.00	1.20~1.60
元素	Ti	Fe	B	Zr	Mn	Si
含量/%	2.75~3.25	≤2.0	0.003~0.010	0.02~0.12	≤0.10	≤0.15
元素	Cu	Mg	S	P	Bi	Pb
含量/%	≤0.10	≤0.01	≤0.015	≤0.015	≤0.000 1	≤0.000 5

H.2.1.2 分析自耗锭的 N₂、H₂、O₂ 含量,提供参考数据。

H.2.1.3 自耗锭头部取样作合金化学成分的全分析,尾部取样分析 C、Al、Ti、Mg 元素含量。

H.2.2 冶炼工艺

H.2.2.1 采用真空感应炉熔炼加真空自耗炉重熔的双联工艺冶炼,或采用真空感应炉熔炼加电渣重熔加真空自耗炉重熔的三联工艺冶炼。冶炼方式的选择由供需双方协商决定。

H.2.2.2 成品电极不允许有接头。

H.2.2.3 若真空感应熔炼电极不能直接自耗成整个大铸锭时,每一真空感应熔炼子炉号电极成分之差不得超过表 H.2 的规定。

表 H.2 真空感应熔炉炉号电极成分之差

元素	C	Cr	Al	Ti	B	Mo	Co
含量/%	0.015	0.60	0.10	0.15	0.02	0.25	0.60

H.2.3 锻造工艺

锻件的总锻造比应不小于 7,若用自由锻成型工艺,要求最后是一火次成型。

H.2.4 供货状态

盘锻件以热处理状态供货。

H.2.5 热处理

H.2.5.1 锻件热处理工艺:1 020℃±10℃,4 h,油冷或水冷;845℃±10℃,4 h,空冷;760℃±10℃,16 h,空冷。

H.2.5.2 锻件允许重复热处理一次,补充时效不算重复热处理。

H.2.6 力学性能

经热处理的盘锻件,在半径 1/2 处取样。

H.2.6.1 试样的室温和高温力学性能,应符合表 H.3 的规定。

H.2.6.2 组合试样断裂应在光滑处,单个缺口试样(缺口半径 $R=0.2\text{ mm}$)断裂时间应大于光滑试样断裂时间。

表 H.3 力学性能

瞬时拉伸性能 室温	抗拉强度 R_m/MPa	$\geq 1\ 200$
	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	≥ 825
	断后伸长率 $A/\%$	≥ 10
	断面收缩率 $Z/\%$	≥ 12
瞬时拉伸性能 540 °C	抗拉强度 R_m/MPa	$\geq 1\ 060$
	屈服强度 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	≥ 715
	断后伸长率 $A/\%$	≥ 10
	断面收缩率 $Z/\%$	≥ 12
高温持久性能 732 °C/550 MPa	持久寿命 τ/t	≥ 23
	伸长率 $A/\%$	≥ 5
室温硬度	硬度 HB	341~401

H.2.7 晶粒尺寸及夹杂物

H.2.7.1 成品盘件低倍晶粒应基本均匀,无细晶区和粗晶区的明显偏析;宏观晶粒直线尺寸应不大于 2 mm。

H.2.7.2 经热处理的盘锻件在半径 1/2 处部位及盘件轮缘部位晶粒度要求不低于 4 级,允许个别为 3 级。

H.2.7.3 夹杂物含量与分布按 GB/T 14999.5 中 A 类标准评定,应小于 3 级,报实测数据供参考。

H.2.8 质量

H.2.8.1 模锻件及成品盘件经酸洗后,不允许有肉眼可见的裂纹、折叠、空洞、夹渣等缺陷。

H.2.8.2 局部缺陷允许用倾斜法打磨清除,打磨的宽深比应不小于 6,打磨深度不得超过实际加工余量的 50 %。

H.2.8.3 盘件轮缘部位不允许出现点偏析、树枝晶残余,其他部位出现轻微点偏析、树枝晶残余时,供需双方协商解决。

H.2.8.4 锻件在加工成饼坯、圆饼及成品后均需逐个进行超声波探伤检验。

H.2.8.4.1 标准试块

试块材料为 GH864 合金, $\phi 2\text{ mm}$ 平底孔埋藏深度分别为 25 mm、50 mm、75 mm、100 mm 和 125 mm。

H.2.8.4.2 检查方式

用 2.5 MHz 直探头和 $30^\circ\sim 40^\circ$ 入射角的斜探头对整个盘件进行扫描。应用 2.5 MHz 直探头适当调节仪器灵敏度,使试块中灵敏度最低的 $\phi 2\text{ mm}$ 平底孔反射波高度达到仪器荧光屏幅度的 80 %。

H.2.8.4.3 判废条件按如下规定:

- 用 2.5 MHz 直探头探测盘件,底波衰减大于 20 dB 者判废(10 dB~20 dB 作记录)。
- 盘件轮缘区出现讯号大于同深度 $\phi 2\text{ mm}$ 平底孔反射讯号者或讯号等于同深度 $\phi 2\text{ mm}$ 平底孔反射讯号个数超过 5 个或讯号等于 $\phi 2\text{ mm}$,虽个数未超过 5 个,但其中任意 2 个讯号间距小于 100 mm 者则判废。讯号小于 $\phi 2\text{ mm}$ 平底孔反射讯号者作记录。
- 盘件轮辐区及轮毂区出现讯号大于同深度 $\phi 2.5\text{ mm}$ 平底孔反射讯号者或讯号在 $\phi 2\text{ mm}\sim$

2.5 mm 之间个数超过 10 个以及讯号在 $\phi 2\text{ mm}\sim 2.5\text{ mm}$ 之间,个数未超过 10 个,但其中任意 2 个讯号间距小于缺陷长度 10 倍者判废。

H.2.8.4.4 用入射角 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的斜探头探伤出现异常讯号时,应由供需双方协商解决。

H.3 试验方法及检验规则

H.3.1 试验方法

试验方法及试样数量应符合表 H.4 的规定。

表 H.4 试验方法及试样数量

试验项目	取样数量	试验方法
室温拉伸	2	GB/T 228
540 ℃拉伸	2	GB/T 4338
高温持久	2	GB/T 2039
布氏硬度	2	GB/T 231.1
高倍晶粒度	1	GB/T 14999.4 中的 B 类
低倍组织	1	GB/T 14999.2
化学分析	1	GB/T 223

H.3.2 本标准中所规定的力学检验项目,如有一个试样不合格,可在盘件上取双倍数量的试样进行复验,若结果仍有一个试样不合格,则该盘件报废。

H.3.3 复验以一盘锻件为单位,若有某项试验不合格,则该锻件报废。

H.3.4 按图纸规定的部位取样,分数量相等的三份。一份由承制厂作检验用,其余两份交用户作复验及质量判断用。复检余料及质量判断用料由用户保存。

H.3.5 质量异议

当需方接到供方盘件及试样后,应尽快按本标准的规定对材料进行复验。供方在接到需方质量异议通知后,应及时与需方协商处理。

H.3.6 仲裁试验

当供需双方对某项试验结果有异议时,应进行仲裁试验。仲裁单位由供需双方协商确定,仲裁试验结果为最终结果。

H.3.7 冶金来源缺陷处理

当需方在成品或半成品轮盘上发现冶金来源缺陷并经供需双方确认后,需方可以退货,并且当需方要求时,供方应予补制。

H.4 标志和质量证明书

H.4.1 盘锻件应逐个打上合金牌号、熔炼炉号和锭节号。

H.4.2 每个盘锻件应附有质量证明书。质量证明书中应填写供方名称、需方名称、合同号、标准号、合金牌号、冶炼方法、炉号(包括母炉号和子炉号)、锭节号、规格、重量、发货日期及按本标准和合同、协议所规定的各项检验结果(如进行复验,应包括两次检验结果),附夹杂物评级照片和高倍晶粒度评级照片,晶界析出相和强化相的扫描电镜照片是否提供由供需双方协商决定,并应加盖供方检验部门的印记。

H.4.3 需方需要工艺过程的原始记录、性能试验数据及高低倍组织资料和照片时,供方应予提供。

附 录 I
(规范性附录)

烟气轮机用 GH2132 合金轮盘锻件技术条件

本附录适用于 GH2132 合金制造的烟气轮机轮盘锻件(模锻件或自由锻件)。

I.1 外形尺寸及允许偏差

锻件外形尺寸及允许偏差在合同中注明或符合供需双方会签图纸的规定。

I.2 技术要求

I.2.1 化学成分

合金的化学成分除应符合附录 G 中 G.2.1 的规定外,还应提供 H₂、O₂ 分析数据。

I.2.2 冶炼工艺

I.2.2.1 采用真空感应炉熔炼加真空自耗炉重熔或电弧炉熔炼加真空自耗炉重熔的双联冶炼工艺。

I.2.2.2 成品锭电极不允许有接头。

I.2.3 在热加工工艺中,必须有反复墩粗工序。若用自由锻成型工艺,要求最后是一火次成型。

I.2.4 供货状态

盘锻件以热处理状态供货。

I.2.5 热处理

I.2.5.1 980℃±15℃,大于1h,油冷;730℃±15℃,16h,空冷;(750~770)℃±10℃,16h,空冷;650℃±15℃,16h,空冷。

I.2.5.2 供方根据情况可以省去730℃±15℃,16h,空冷。

I.2.5.3 锻件允许重复热处理一次,补充时效不算重复热处理。

I.2.6 取样部位

I.2.6.1 直径不大于φ800mm订货盘件毛坯,取样部位在轮缘。

I.2.6.2 直径大于φ800mm订货盘件毛坯,取样部位在盘件毛坯半径1/2处。

I.2.7 力学性能

I.2.7.1 经热处理后的盘锻件,在供需双方确认的部位取样,室温和高温力学性能应符合表 I.1 的规定。

表 I.1 室温和高温力学性能

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	断后伸长率 A /%	断面收缩率 Z /%
≥895	≥585	≥10	≥20
试验温度 /℃	应力 /MPa	断裂时间 τ /h	断后伸长率 A /%
600	450	≥30	≥10

持久试验100h后,可以每隔8h~16h(最好8h~10h)按35MPa递增应力,以使试样断裂。组合试样应断裂在光滑处,单个缺口试样(缺口半径 $R=0.2\text{ mm}$)断裂时间应大于光滑试样断裂时间。如果 $\tau\geq 48\text{ h}$ 断裂,允许 $A\geq 5\%$ 。

I.2.7.2 蠕变性能

在540℃,应力585MPa条件下,经100h,要求蠕变残余变形量不大于0.1%或蠕变残余变形量

等于 0.1 %时,所需拉伸时间应不小于 100 h。

I.2.7.3 室温硬度 HBS 为 269~341。如果室温和高温力学性能符合要求,则硬度值不作为判废标准。

I.2.8 晶粒尺寸与夹杂物

I.2.8.1 成品盘件低倍晶粒应基本均匀,无细晶区和粗晶区的明显偏析。

I.2.8.2 经热处理的盘锻件,在供需双方确认的部位取样,晶粒度应为 4 级或更细,允许个别为 3 级。

I.2.8.3 整个盘体低倍宏观晶粒尺寸应不大于 2 mm。在轮辐及轮毂部位如有超过 2 mm 的晶粒,其面积应不大于轮辐及轮毂总面积的 5 %。如出现不小于 2.5 mm 的晶粒,则该盘件报废。

I.2.8.4 夹杂物含量与分布按 GB/T 14999.5 中 A 类标准评定,应小于 3 级,如等于或大于 3 级,则由供需双方协商解决。

I.2.9 质量

I.2.9.1 盘件应有均一的质量和状态,无外来夹杂和有害于产品使用的内部及外部缺陷。

I.2.9.2 局部缺陷允许用倾斜打磨法清除,打磨处的宽深比应不小于 6,且打磨深度不得超过实际加工余量的 50 %。

I.2.10 锻件在加工成饼坯、圆饼及成品后均需逐个进行超声波探伤检验。

I.2.10.1 标准试块

试块材料为 GH2123 合金,φ2 mm 平底孔,埋藏深度分别为 25 mm、50 mm、75 mm、100 mm 和 125 mm。

I.2.10.2 检查方式

用 2.5 MHz 直探头和 30°~40°入射角的斜探头对整个盘件进行扫描。

I.2.10.3 应用 2.5 MHz 直探头,适当调节仪器灵敏度,使试块中灵敏度最低的 φ2 mm 平底孔反射波高度达到仪器荧光屏幅度的 80 %。

I.2.10.4 判废条件应按如下规定:

a) 用 2.5 MHz 直探头探测盘件,底波衰减大于 20 dB 者判废(10 dB~20 dB 作记录)。

b) 盘件轮缘区出现讯号大于同深度 φ2 mm 平底孔反射讯号者或讯号等于同深度 φ2 mm 平底孔反射讯号而个数超过 5 个或讯号等于 φ2 mm,虽个数未超过 5 个,但其中任意 2 个讯号间距小于 100 mm 者均判废。讯号小于 φ2 mm 平底孔反射讯号者作记录。

c) 而盘件轮辐区及轮毂区出现讯号大于同深度 φ2.5 mm 平底孔反射讯号者或讯号在 φ2.0 mm~2.5 mm 之间而个数超过 10 个或讯号在 φ2.0 mm~2.5 mm 之间,虽个数未超过 10 个,但其中任意 2 个讯号间距小于缺陷长度 10 倍者均判废。

I.2.10.5 用入射角 30°~40°的斜探头探伤时出现异常讯号,供需双方协商解决。

I.3 试验方法及检验规则

I.3.1 试验方法及试样数量应符合表 I.2 的规定。

表 I.2 试验方法及试样数量

试验项目	取样数量	试验方法
室温拉伸	2	GB/T 228
高温持久(组合)	2	GB/T 2039
高温蠕变	2	GB/T 2039
布氏硬度	2	GB/T 231.1
高倍晶粒度	1	GB/T 14999.4 中 B 类
低倍组织	1	GB/T 14999.2
化学分析	1	GB/T 223

1.3.2 本附录中所规定的力学检验项目,如有一个试样不合格,可在盘件上取双倍数量的试样进行复验,若结果仍有一个试样不合格,则该盘件报废。

1.3.3 复验以每一盘锻件为单位,若有某项试验不合格,则该锻件报废。

1.3.4 按图纸规定的部位取样,分数量相等的三份。一份由承制厂作检验用,其余两份交用户作复验及质量判断用。复验余料及质量判断用料由用户保存。

1.3.5 质量异议

需方接到供方盘件及试样后,应尽快按本附录的规定对材料进行复验。供方在接到需方质量异议通知后,应及时与需方协商处理。

1.3.6 仲裁试验

当供需双方对某项试验结果有异议时,应进行仲裁试验。仲裁单位由供需双方协商确定,仲裁试验结果为最终结果。

1.3.7 冶金来源缺陷的处理

当需方在成品或半成品轮盘上发现冶金来源缺陷并经供需双方确认后,需方可以退货,并且当需方要求时,供方应予补制。

1.4 标志和质量证明书

1.4.1 盘锻件应逐个打上合金牌号、熔炼炉号和锭节号。

1.4.2 每个盘锻件应附有质量证明书。质量证明书中应填写供方名称、需方名称、合同号、标准号、合金牌号、冶炼方法、炉号(包括母炉号和子炉号)、锭节号、规格、重量、发货日期及按本附录和合同、协议所规定的各项检验结果(如进行复验,应包括两次检验结果),附高倍晶粒度及夹杂物评级照片,并应具有供方检验部门的印记。

附 录 J
(规范性附录)
烟气轮机热态机械运转试验

本附录适用于烟气轮机出厂前的热态机械运转试验。

J.1 试验内容

J.1.1 烟气轮机入口、出口采用管道连接,构成密闭回路。电动机通过增速箱驱动烟气轮机旋转,使空气在密闭回路中不断循环,达到所规定的入口、出口循环温度。

J.1.2 电动机驱动,通过液力偶合器调速和增速箱增速,达到所规定的各种转速。

J.1.3 按 J.3 规定的试验程序,测量表 J.1 所规定的试验内容。

J.1.4 在额定转速下,测量噪声。

J.2 试验要求

J.2.1 试验装置

J.2.1.1 电动机应能满足烟气轮机在各种规定转速下所必需的功率要求。

J.2.1.2 电动机、液力偶合器、增速箱的调速范围,应能满足烟气轮机的超速试验要求。

J.2.1.3 试验用的入口、出口连接管道上应设置热补偿装置,以使连接管道在试验时对烟气轮机入口、出口法兰的力和力矩不超过附录 A 的规定值。

J.2.1.4 冷空气补充系统和热空气排放系统,应分别设置调节阀,以调节循环空气温度。

J.2.1.5 轴转速、轴振动、轴位移、轴承瓦块温度、轴承进排油温度和入口、出口循环空气温度监测系统应符合 J.2.2 的规定,以保证记录数据可靠。

J.2.1.6 采用的润滑油系统,应能满足整个试验过程的要求。

J.2.2 试验仪器、仪表

J.2.2.1 采用的测量仪器、仪表应进行严格的校验,并经计量部门检验合格后方可使用。

J.2.2.2 轴转速、轴振动、轴位移采用非接触式探头测量。确定轴振动、轴位移的设定值时,应采用与主轴相同材料的测块进行校验。

J.2.2.3 轴承瓦块的测温元件采用铂热电阻。温度显示仪表的精度应不低于 1 级。

J.2.2.4 轴承进、排油温度采用精度为 1/10 的标准水银温度计测量。

J.2.2.5 入口、出口循环空气温度采用热电偶测量。

J.3 试验程序

J.3.1 启动烟气轮机并稳定在额定转速的 20 %。记录表 J.1 中所规定的内容。

J.3.2 以额定转速的 10 % 递增量将烟气轮机转速增加到额定转速(对挠性转子,升速时应避免在临界转速区停留)。在每次增加转速后稳定足够长的时间(见图 J.1)以记录表 J.1 中所规定的内容。

J.3.3 噪声测量点在距烟气轮机侧面 1 m 且离地面高度也为 1 m 处,测量时应排除背景噪声和反射声。

J.3.4 增速到额定转速的 105 % (跳闸转速)后,稳定运行 10 min 以记录表 J.1 中所规定的内容。

J.3.5 减速到额定转速后,不间断连续运转 4 h,在此期间,烟气轮机的出口循环空气温度控制在规定值的 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 内。按表 J.1 中所规定的内容,每小时记录一次。

J.3.6 在额定转速下不间断运转 4 h 后,以每小时 50°C 的速率逐渐降温。机壳温度降至 250°C 时,将转速逐渐降至零。

J.3.7 转速降至零后,润滑油系统继续运行,每半小时盘车一次,直至机壳温度降到 150°C 为止。

J. 3.8 机械运转试验完成后,拆开烟气轮机进行各部件的检查。

J.3.9 按表 J.1 提出烟气轮机热态空负荷机械运转试验报告。

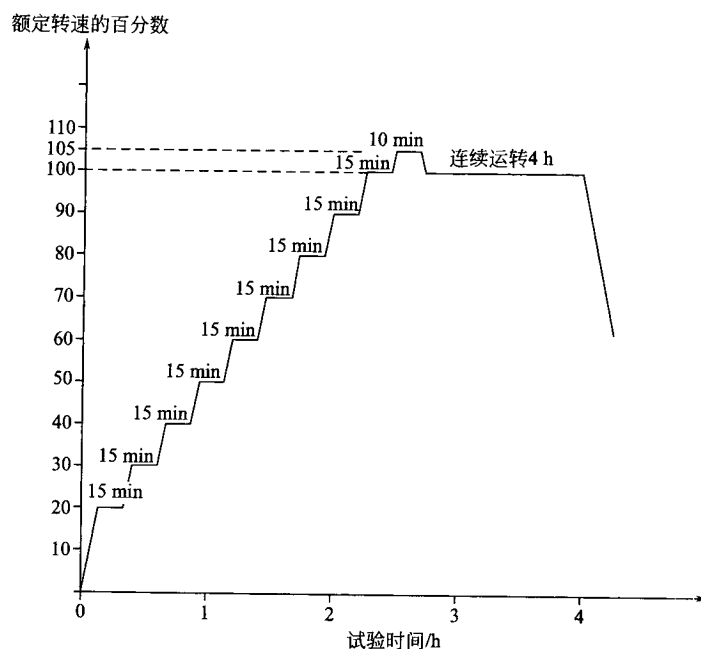


图 J.1 升降速曲线图

表 J.1 烟气轮机热态机械运转试验报告

试验日期: 年 月 日 型号:

[illegible]

附 录 K
(资料性附录)

制造厂可向用户提供的资料清单

本附录适用于烟气轮机出厂时的资料提供。

K.1 图纸资料

K.1.1 工程设计资料

- K.1.1.1 烟气轮机的外形图。
- K.1.1.2 烟气轮机轴头尺寸详图及联轴器护罩连接法兰详图。
- K.1.1.3 轴承润滑点所需的润滑油量。
- K.1.1.4 转子的飞轮力矩 GD^2 。
- K.1.1.5 烟气轮机空载耗功曲线(速度-耗功,由零转速到额定转速)。
- K.1.1.6 密封、冷却、排凝、润滑油供油,回油口的数量和开口方位,接管要求,法兰标准(或详图)等。
- K.1.1.7 轴向推力值:包括启动状态、工作状态。
- K.1.1.8 轴端、进口法兰处的热膨胀值,出口法兰处的热膨胀值。
- K.1.1.9 密封蒸汽、密封空气、冷却蒸汽的耗量(按不同工况给)。
- K.1.1.10 烟气轮机底座图及地脚螺栓布置图(包括基础开孔位置、尺寸)静载分布及数值大小。

K.1.2 安装资料

- K.1.2.1 烟气轮机的安装要求:包括热态、冷态下转子的找正数据(室温按 20℃给)。
- K.1.2.2 烟气轮机转子总装配图。
- K.1.2.3 烟气轮机各阶临界转速。
- K.1.2.4 密封系统、冷却系统管道及仪表流程图。
- K.1.2.5 烟气轮机动、静载荷点的位置、数值、方向。
- K.1.2.6 烟气轮机进、出口法兰允许承受的管道力和力矩(沿 X、Y、Z 方向)及位移的数值和方向。
- K.1.2.7 烟气轮机特性曲线。
- K.1.2.8 烟气轮机对基础振动的允许值。
- K.1.2.9 烟气轮机的总质量及转子等各主要部件的质量:最大维修件质量,最大安装件质量。
- K.1.2.10 烟气轮机轮盘的温度场分布。
- K.1.2.11 烟气轮机轮盘的 GOODMAN 图。
- K.1.2.12 烟气轮机叶片自振频率的计算结果。
- K.1.2.13 烟气轮机监测、控制仪表流程图。
- K.1.2.14 烟气轮机监测、控制仪表的开口方位、安装图和仪表清单。
- K.1.2.15 烟气轮机的安装、维护、使用说明书。

K.1.3 烟气轮机供货清单

- K.1.3.1 烟气轮机专用工具(装拆转子)操作说明。
- K.1.3.2 转子动平衡试验报告。
- K.1.3.3 主要零部件材料化学成分及力学性能(高温)检验报告。
- K.1.3.4 主要零部件无损探伤的检查报告。
- K.1.3.5 装配尺寸和间隙的检查记录。
- K.1.3.6 壳体水压试验的检查报告。
- K.1.3.7 闭路热循环机械运转试验和运转后的解体检查报告。
- K.1.3.8 轴振动、轴位移、相位探头规格型号清单。

K. 1. 3. 9 轴转速探头安装结构尺寸、规格型号清单。

K. 1. 3. 10 烟气轮机铭牌数据。

K. 2 总成计算资料

K. 2. 1 提供转子各分段结构尺寸、质量、质心位置、转动惯量、过盈量数值及过盈部位、轴头详细尺寸与支承部位的转子详图。

K. 2. 2 整个转子部件的质量及质心位置。

K. 2. 3 转子所用材料及各部分在操作温度下的 E、G、Y(P)值。

K. 2. 4 提供为计算径向滑动轴承油膜 8 个动态特性系数随转速变化的数据表(转速从 400 r/min 至最大连续运行转速的 2.0 倍)。

K. 2. 5 转子上轮盘的回转惯性矩和直径惯性矩数值及部位。

K. 2. 6 各轴承负载、轴承耗功。

K. 2. 7 单机各阶横向临界转速和振型。

K. 2. 8 各轴承座动刚度(或静刚度、参振质量)和阻尼系数(垂直、水平)。

K. 2. 9 叶片个数、高度、质量及质心位置。

K. 2. 10 动平衡试验中各加重面位置,允许残余不平衡量大小。

中华人民共和国
化工行业标准
烟气轮机技术条件

HG/T 3650—2012

出版发行：化学工业出版社
(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
化学工业出版社印刷厂

880mm×1230mm 1/16 印张3 字数95千字

2013年2月北京第1版第1次印刷

书号：155025·1370

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定价：38.00元

版权所有 违者必究