

# 600 M W 机组用石墨缠绕式密封垫片结构优化分析

Optimization Analysis on Structure of Plumbago Winding  
Sealing Gasket in 600 M W Turbine

于晓龙<sup>1</sup>，李明志<sup>1</sup>，张进军<sup>1</sup>，邱宽横<sup>2</sup>

(1. 浙江大唐乌沙山发电有限责任公司，浙江 宁波 315722；

2. 慈溪市华东电力设备制造有限公司，浙江 慈溪 315782)

**摘要：**介绍了超临界600 MW 机组石墨缠绕式密封垫片使用过程中存在的问题，根据使用条件和法兰结构特点对垫片进行了优化，确保了机组的安全运行，可为有关人员提供参考。

**关键词：**垫片；漏汽；优化；方案

**中图分类号：**TK265

**文献标识码：**B

**文章编号：**1007-1881(2008)02-0028-03

浙江大唐国际乌沙山发电有限责任公司一期工程共有4台600 MW 燃煤机组，汽轮机为哈尔滨汽轮机厂有限责任公司引进日本三菱重工技术生产的600 MW 超临界机组，主蒸汽温度566℃，主蒸汽压力24.2 MPa，机组于2006年起相继投运。

在2年多的运行过程中，4台机组多次出现了导汽管法兰漏汽事故。由于漏汽量较大，只能停机更换这种石墨缠绕密封垫片或进行带压堵漏处理。为了彻底解决漏汽问题，对高、中压主蒸汽管用石墨缠绕密封垫片进行跟踪分析，发现了此种垫片在选型上存在很大问题，必须进行改进才能满足机组安全、稳定运行的要求。

## 1 垫片及法兰的结构分析

表1统计了每台机组所用垫片及法兰的尺寸、结构和参数。

从表1中可以看出，所用法兰的结构有凹凸法兰和榫槽法兰2种形式，与有关标准核对后可知法兰结构无任问题，法兰尺寸、紧固件的结构和尺寸、紧固件的紧固力矩均符合有关设计要求。

三菱重工采用的石墨缠绕垫片由日本著

名的密封件公司Nichias生产。使用部位为榫槽面或凹凸面法兰，垫片型式全部为基本型。

将三菱重工的法兰、紧固件和密封件的设计与相关的国家和国际法兰、紧固件标准进行比较，发现法兰厚度、紧固件的直径等都比国家标准规定的更为保守，因此，垫片泄漏与法兰、紧固件并没有直接的因果关系。

三菱重工对垫片使用部位的法兰密封部位尺寸设计思想则与我国的标准及国际标准有较大出入，三菱把法兰的榫槽/凹凸面的凸出高度设计成当垫片被安装到位时，上下两片法兰是紧紧贴合的；而国内则设计成法兰间留有一定间隙。但是这一区别也不能完全解释法兰泄漏的原因。

## 2 泄漏原因分析

### 2.1 垫片的内径尺寸过大

对基本型垫片的尺寸，国内所有的标准均按以下原则设计：垫片的内外径基本上按榫槽面法兰的榫内外径尺寸，如PN系列和Class系列的垫片内径是按法兰的 $Z+0.5$ (Z为榫槽结构法兰的凹槽内径)或 $W-0.5$ (W为榫

槽结构法兰的榫内径)设计。换句话说,垫片在榫槽内的工作状态与带内环和定位环型垫片是类似的。

如果榫槽面法兰用基本型垫片的内径过大,垫片内径处便没有了约束。当垫片被施加预紧力后垫片会产生变形,其中厚度方向上的变形是主要的,也是垫片实现密封所必需的,因为密封是由法兰与垫片接触表面产生的大于介质压力的应力来实现的。对缠绕式垫片而言,实现这种密封的最小预紧应力是工作介质压力的3倍(既垫片系数 $m=3$ ),实际安装时通常按此再予以加倍。例如表1中序号6垫片的预紧应力就设计成180.1 MPa,是介质压力24.2 MPa的7.4倍。

随着时间推移,垫片的内径处还会产生向内方向的径向变形,即“径向屈曲”。这种变形将对正常密封造成破坏。由于径向屈曲的存在和持续发展,造成了垫片的应力松弛,当垫片与法兰接触面上的应力降到一定程度时便开始了泄漏,并随使用时间的延续而加剧。只要缠绕式垫片的结构合理,发生密封失效的情况通常不会发生。

## 2.2 垫片型式错误

为了防止径向屈曲,在ASME B16.20、EN12560-2和EN1514-2等国外缠绕式垫片标准中都有这样的规定:第一,推荐所有压力等级的缠绕式垫片带内环;第二,当PN或CLASS在一定值(PN6.3)及以上时规定应带内环,新标准是“强力推荐所有压力等级的垫片均应带内环。如ASME B16.20推荐用柔性石墨为填充带的垫片应带内环、CLASS1500和DN300及以上应带内环;EN1514-2规定

PN63及以上垫片应带内环;EN12560-2则规定CLASS1500及以上的所有尺寸应带内环等。由此推断,当垫片存在内径空挡时,不带内环是不安全的。

## 2.3 垫片选料不当

对缠绕垫片的钢带材质进行分析后发现,三菱重工使用的材料是SUS316。通常认为在566℃汽温下选择SUS316材料做垫片的钢带并不恰当。因为当温度为500℃以上时,这种材料的最高无冲击工作压力便衰减为常温时的61%,只比SUS304高出约4%,耐高温特性不如SUS310、INCOLOY 800等材料。虽然三菱重工在选用材料时已经考虑到这点,使用时不会造成严重的后果,但从更安全的角度考虑,材料的耐高温性能应该再好些,比如采用SUS310、INCOLOY 800等。

## 3 采取的对策

(1)给垫片加内环。考虑到与相同压力等级和直径的垫片密封面设计宽度相比,使用部位留给垫片密封面的宽度已经不大,所以就采取了在内径部位加钢丝内环的方法,钢丝内环的位置恰好与原设计所留出的空挡相当。虽然钢丝内环与通常由钢板加工而成的内环相比有所区别(见图1)。但对改善垫片力学性能的效果还是明显的。

(2)由于垫片用于高温、高压部位,且对可靠性要求非常高,将垫片的厚度由4.5 mm加厚至5 mm,也就是将钢带V型角度由60°改为75°,改善了垫片密封元件的压缩回弹性能。

(3)改进了垫片钢带的材料。选用耐高温

表1 石墨缠绕密封垫片统计(每台机组)

序号	使用部位/数量	垫片尺寸	法兰尺寸/结构	使用部位参数
1	高压主汽阀/2件	543 × 488.6 × 4.5	545 × 481 / 凹凸	24.2 MPa / 66
2	高压调节阀/4件	398.4 × 357.5 × 4.5	400 × 352 / 凹凸	24.2 MPa / 66
3	中压主汽阀门盖/2件	670 × 635 × 4.5	672 × 631 / 凹凸	4.8 MPa / 66
4	中压主汽阀门轴/4件	225 × 198.6 × 4.5	239.3 × 190 / 凹凸	4.8 MPa / 66
5	中压调节阀/4件	695 × 659 × 4.5	697 × 655 / 凹凸	4.8 MPa / 66
6	高压导汽管/2件	380 × 340 × 4.5	382 / 381.5 × 334.1 / 334 / 榫槽	24.2 MPa / 66
7	中压导汽管/2件	486 × 441 × 4.5	486.8 / 486.7 × 434.3 / 434.2 / 榫槽	4.8 MPa / 66

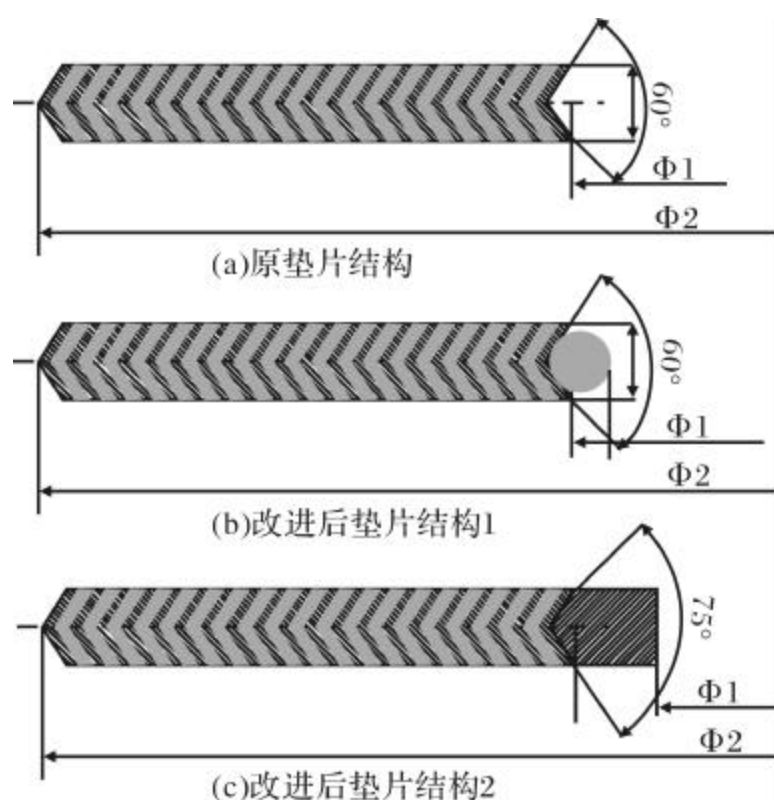


图1 改进前后的垫片结构

性能更好的材料(耐温可达800 )替代SUS316。由于对水蒸气的腐蚀性几乎可不考虑,所以可根据高温下的许用应力大小来选择材料。

#### 4 其它相关问题

密封效果的好坏除了与密封垫片是否满足特定要求外,还与法兰螺栓及安装方法密切相关。垫片安装应注意以下几点:

(1)安装前必须仔细清理法兰接触表面可能存在的杂物等。

(2)对垫片不允许进行任何的打磨、预压等预处理。

(3)密封面应涂抹高温、高压密封涂料。

(4)螺栓、螺帽应按规定进行润滑处理。

(5)拧紧螺栓时,应按规定顺序(对角线

法)拧紧30%扭矩,同样方法加扭矩到60%,再到规定的全部扭矩,最后再按最大扭矩绕圈拧紧1~2周(遍)。

(6)对缠绕式垫片允许“热紧”(设备或系统在一定参数下,经过一段时间运行,安装有垫片处已处于热态,此时再停运设备并对法兰螺栓重新紧固)。“热紧”可以有效降低螺栓因温度变化带来的应力松弛。但是绝对不允许带压“热紧”。

#### 5 结论

按对策(1)、(2)制做了高、中压导汽管法兰垫片,正式安装使用后,再未出现泄漏情况。又按对策(1)-(3)制做了高压主汽门门盖垫片,其使用效果也非常显著,垫片泄漏问题已基本得到解决。

#### 参考文献:

- [1] 蔡颐年. 蒸汽轮机装置[M]. 北京:机械工业出版社,1980.
- [2] 华东六省一市电机工程(电力)学会. 600 MW 汽轮机设备及其系统[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [3] 中国动力工程学会. 火力发电设备技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,1998.

收稿日期:2008-01-16

作者简介:于晓龙(1966-),男,黑龙江富裕人,高级工程师,主要从事发电厂汽轮机及其辅助系统的管理和检修工作。

(本文编辑:龚皓)

#### · 电力科技信息 ·

### 国内最大功率风力发电机组研制成功

国内第一台具有自主知识产权的2 MW 变速恒频风力发电机组近日研制成功,这是目前我国最大功率的风力发电机组,由中船重工(重庆)海装风电设备有限公司与德国aerodyn 公司联合设计,将于近日被运往内蒙古辉腾锡勒风场进行安装试用。该机组适应在大气对流地区、水陆空气对流地区和山口风地区等我国3种主要类型的风区使用,并能在高温、风沙、盐雾、高海拔等恶劣环境条件下持续运行。

重庆市科委有关负责人表示,该成果的诞生标志着中国船舶重工集团公司与重庆市政府合力打造的百亿新兴风电装备产业取得阶段性成果,为我国大功率风电机组的自主开发奠定了坚实基础。到2010年,重庆市将成为国内风电装备研发与生产的重要基地,实现年产1 000 MW 风力发电装备的制造能力。