# 秦山核电厂冷凝器橡胶膨胀

## 节的试验研究

#### 祝祖宏\* 梅泰康 王淑霄

〔提要〕本文通过哑铃形截面氣丁橡腚膨胀节的试验研究, 阐述了冷凝器喉部膨胀节的补偿能力、密封性能、结构、安装工艺及安全可靠性。

研究结果表明,首次在国产大型机组上,采用的这种哑铃形截面橡胶膨胀节所 具有的主要性能,已完全达到了国外同类产品的技术指标。为我国大型火电、核电 机组冷凝器推广使用这种弹性联结热补偿装置开创了一个良好的先例。

主题词: 汽轮机 冷凝器 膨胀节试验

## 一、前 言

秦山核电厂30万千瓦大型汽轮机组,有二台低压汽轮机,配置两台汽侧、凝水侧联通的 单独冷凝器。两台低压汽轮机的共同死点定在两个低压缸排气口的正中间,死点的下方是汽轮 发电机组的基础墙。两台冷凝器无法在该位置设定一个共同死点,而只能靠近基础墙各自设 定一个死点,因此两个低压缸和两台冷凝器之间除了有垂直方向的热胀差外,还有水平方向 上的热膨胀差。如采用一般的U型金属膨胀节,则水平热胀位移所带来的载荷应力,将会给 两只壳体的中间联通管和基础设计带来极大的困难。

为了克服刚性联结所带来的不利因素,经调研分析和技术论证,决定在设计30万千瓦汽 轮机冷凝器结构时采用哑铃形截面橡胶膨胀节联结,由于此结构实际应用于大型机组上,在 国内尚属首次,为保证机组安全运行,验证此结构设计的合理性及可行性,并为此弹性联接 结构更广泛的应用积累经验。决定对橡胶膨胀节结构进行专门的试制及实物模拟试验。

试验项目

1. 通过橡胶试制,寻求综合性能较好的胶种和摸索成形连接工艺。

2. 测定哑铃形截面氯丁橡胶膨胀节的横向、轴向的补偿能力。

3. 测定膨胀节在真空负荷下的挠度和拉力,及其结构的密封性能。

4. 测定抽真空时橡胶膨胀节本体,沿纵向断面受力变形规律。

## 二、试验准备

1. 哑铃形截面夹布氯丁橡胶带的试制。

为本文执笔

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

. 18 .

**却据30万千万汽轮机冷凝器横向和轴向热补偿量要求、工作条件,受力状况和工程提出** 的设计寿命,经几种方案比较,决定采用哑铃形截面夹布氯丁橡胶带作为膨胀节的基本元件。 如图1所示。

氯丁橡胶带由下列材料构成: 绳芯---棕绳 (马尼拉绳) 胶布---一尼龙布 填充物----70%氯丁橡胶加30%天然橡胶 覆盖胶层——70%氯丁橡胶加30%天然橡胶 橡胶性能要求. 扯断强度, ≥175公斤力/厘米2 邵氏硬度: 65±5 伸长率: ≥600% 老化系数: ≥0.85 (100°×48小时) 脆化温度: - 35°C

氯丁橡胶带试制厂:上海胶带厂

2. 试验装置及测试系统

30万千瓦汽轮机冷凝器喉部橡胶膨胀节的初步结构设计 是用两圈带有园弧面密封槽的板,压紧胶带两端的凸板,并 用螺栓连接达到密封。为便于安装,试验装置围板改在内 侧,压板在外侧,这与实际产品正好相反。弹性联接使低压 图1 橡胶带截面图 缸与冷凝器成为两个互相独立的受力构件。为了测量橡胶膨胀节在真空 条件的各种作用力及 变形量大小,专门设计了试验装置。

结构及测试系统见图 2



装置及测试系统

3. 横向调节螺钉 4. 传感器 9. 百分表 10. 抽气器

11. 真空泵 12. 应变仪

所采用的主要仪器表有:

静态电阻应变仪: YJ-5型 荷重传感器: BHR-4/7000型 真空泵: 1401型滑阀式机械泵



真空表: U型水银真空表

## 三、试验方法及数据整理

1. 膨胀节在真空负荷下,各种力的测定:

用真空泵把试验装置腔室的压力,分别抽至1.0→0.9→
0.8→0.7→0.6→0.5→0.4→0.3→0.2→0.1→0.05→0.035
kg/cm<sup>2</sup> (绝对大气压)。并测定在这些真空负荷条件下荷重
传感器所承受的载荷量。

试验装置的受力情况见图3

设四个荷重传感器所受总合力为ΣQ

则 $\Sigma Q = Q_{\Delta}, + Q_{\overline{H}} + Q_{\overline{H}} - Q_{overline{H}}$ 

其中: Q<sub>▲</sub>,表示因压差作用而产生的压力,它可根 据试

验装置的受压面积F和当地大气压力B以及真空表上的读数计算,本试验中,F = 20856.6 厘 $\Re^2$ 。见图4

(1)

B=984.1 - 38m/m汞柱

△*P*: 腔室内外压差值由水银压力 计直接读出差值乘以水银比重。

 $\triangle P = 0.01359 kg/cm^3 \times H$  (汞柱cm)

 $P_{\text{P}} = B - \Delta P$  (腔室内压力)

$$P_{\Delta P} = \triangle P \times F$$

Q附表示橡胶膨胀节挠曲而产生的 附 加力,可按下式计算;

$$Q_{\rm M} = Q'_{\rm 12} + (-Q_{\rm P}) \qquad (2)$$

式中Q拉为膨胀节的垂直分力

Q弹为膨胀节的反弹力

可按下式计算:

Q弹=Q盏-Q顶 →

1596 1596 登压面稍

图4 试验设备受压面积

(3)

本试验中Q盖=1067公斤,它是试验装置中,上盖板、下围板、上压板及其螺栓、螺母 的总 重量(见图2)。Q<sub>积</sub>=200公斤力,它是试验装置在常压下,传感器预先承受的载荷。

从式(1)(2)(3)和图4可得

 $Q_{\text{TH}} = \sum Q - Q_{\Delta P} - Q_{\text{TH}} + Q_{\text{TH}}$  $Q'_{12} = \sum Q - Q_{\text{TH}}$ 

$$Q_{\underline{1}\underline{2}} = -\frac{Q'_{\underline{1}\underline{2}}}{COS\theta}$$

试验现场见图 5

2. 膨胀节最大变形处拉力的测定:

膨胀节在真空负荷作用下,各处挠曲变形不一致,其不同部位上受力是不均匀的。试验 时选取 8 个挠曲变形最大的点,用百分表测定这些点在不同的真空负荷下的挠度。算出最大 ?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



**挠曲变形处的橡胶带伸长量,**然后根据胶带试样的拉力—— 仲长曲线,得出**膨胀节最大挠曲** 变形处承受的拉力。

图 6 示出其中一个测点的情况:



图5 试验现场

图6 膨胀节挠度的测试

3. 膨胀节承受垂直载荷时垂直位移量的测定

试验装置模型中,橡胶带受真空负荷的作用,相当于对模型施加垂直载荷。四个测力传感 器完整地反映了在不同真空度条件下,上下盖板所受之总力。用百分表测出其相应的垂直位 移量。

测试情况见图7



图7 垂直载荷与垂直位移的测试

4. 膨胀节承受横向载荷时,横向位移量的测定;

通过拧动模型装置上的横向调节螺钉,利用荷重传感器推动上盖板,测出横向载荷,同 时用百分表测出其相应的横向位移量。

## 四、试验结果

1. 哑铃形截面氯丁橡胶带试样的拉伸试验

我们取三个试样在拉伸试验机上作拉断试验,试样宽为2.5cm

拉断力 P拉=1000kg

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



曾进行三次真空下降速度试验(模型装 置腔内内压达到0.035公斤力/厘米<sup>2</sup>时测试) 三次试验结果的平均值,每10分钟下降量为 0.7毫米汞柱,结果表明橡胶膨胀节弹性结 构的密封性能良好。

3. 在不同真空负荷(内压)下产生的 作用力,试验结果见图9、图10和图11







图9 传感器承受的总力和内压的关系曲线



图10 橡胶膨胀节附加力与内压的关系曲线



?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4. 在不同真空负荷(内压)下膨胀节的挠度

抽真空时,内外压差的作用,使橡胶膨胀节本体弯曲变形产生挠度。图12所示是橡胶节本体在一侧平面中间处及本体园形弯曲面中间处的横向凹度与内压的关系曲线。



图12 膨胀节挠度与内压的关系曲线 图13 膨胀节承受的垂直载荷与位移的关系曲线

5. 膨胀节承受垂直载荷时的位移。试验结果见图13。

6. 膨胀节承受的水平载荷与位移的关系曲线。试验结果见图14、图15。



6	2	测	点 位 置	1	2	3	4	5	6	- 7	- 8
	1	挠度	$P_{\rm P} = 0.05 kg f/mm^2$	12.2	12.9	11.7	10.0	31.1	17.1	21.6	12.4
7 .	8	(mm )	$P_{\square} = 0.035k$ $g f/mm^2$	15.2	16.7	13,5	12.1	32.6	20.6	23.2	13.9

## 8. 在真空条件下沿纵向截面受力变形规律。

橡胶膨胀节本体在外载作用下,承受弯曲、拉伸、压缩等多种应力状态,为分析在抽真 空时,沿纵向截面受力变形规律,考虑到橡胶节本体的变形相当大,我们研制了一种弹性环 及应变传感原件组成的弹性传感器。其所测之变形量可达20000µε,预先进行安装及标定。 在橡胶本体外侧平面段及弯曲段部分,沿纵向截面各布三个测点。测点位置及抽真空后沿纵 向截面受力变形图见图16,试验结果见表2。

?1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.ne



图16 测点位置及抽真空后,沿纵向截面受力变形图

表 2 1

内压与渔性传感器沿纵向截面各测点的变形量

P <sub>内</sub> i	$kg/cm^2$	1 1	0.897	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.035
查	1	0	- 1077	- 1020	+ 250	+ 633	+715	+ 715	+ 662	+ 570	+ 476	+ 467	+ 505
曲。	2	0	- 2531	-7091	-10806	-11794	-12511	-13008	-13381	-13701	-14036	-14115	-14179
	3	0	+ 313	+ 1985	+ 2740	+ 2429	+2446	+ 2268	+ 2122	+ 1976	+ 1870	+ 1870	+ 1895
平	4	0	+ 90	+ 140	+ 157	+ 120	+ 48	- 41	- 123	- 225	- 295	- 285	-244
面段一	5	0	-2143	3 - 3723	- 4118	8 - 6336	-7006	-7584	4 - 8379	- 8087	7 - 8041	- 7977	-7923
	6	0	- 410	-700	- 1056	- 1320	- 1590	- 1822	2 - 2013	8 - 2210	) - 2370	-2380	- 2345

His Horanso I and Stor 36 215 / 5 h a. 4 )

1176日2月3日(1101010101)五、试验结果分析

真空度下降速度试验,充分说明采用哑铃形截面膨胀节结构装置密封性能良好,从而, 证实产品设计采取这种结构的密封措施是可靠的。对于产品的接颈直段,(QN·503Z)只要 按设计要求和合理工艺进行加工安装,是可以保证其密封性的。

2. 试验结果表明,在真空(内压)达0.05公斤力/厘米<sup>2</sup>时,膨胀节总拉力为5053.1公 斤力,单位拉力为9公斤力/厘米(平均值),最大变形处的单位拉力为16公斤力/厘米(发 生在园弧段)。橡胶带试样的拉伸强度为400公斤力/厘米,所以,橡胶膨胀节在强度指标上 有较大的安全裕度。

3. 试验结果表明,膨胀节有较大的轴向和横向补偿能力。在模型试验中,当轴向位移 为10毫米时,轴向推力为3980公斤力,当横向位移为2毫米时,横向推力为830公斤力。由此 可推算出冷凝器垂向热膨胀位移达10毫米时,膨胀节产生的垂直推力约为19344公斤力,横向 热膨胀位移达2毫米时,膨胀节产生的水平推力约为4034公斤力。

4. 试验证明,若在安装时对橡胶带给以一定的颈压缩量,则橡胶带会产生反弹力。于 是,使膨胀节在真空负荷作用下的受力减小,并使其在轴向和横向位移时降低推力。因此, 在安装产品冷凝器接颈直段时,建议对橡胶膨胀节给以一定的预压缩量,而不允许它受预拉 伸作用。

• 24 •

#### 结束语

通过本试验证实,所拟定的秦山核电厂冷凝器热补偿方案和橡胶膨胀节的初步设计是正 确的,这种橡胶节的强度和补偿能力、密封性、均能满足机组的使用要求。

对比分析结果表明,这种橡胶节所具有的主要性能指标达到了国外同类结构设计的性能 指标水平,为我国大型火电、核电机组冷凝器,推广使用这种热补偿装置,开创了一个良好 的先例。

试验参加人员:

王淑霞 王小艳 张仑山 肖福田 魏 武 梅泰康 祝祖宏

#### 参考文献

[1] PaLier W900 Condenseur

- 〔2〕 日本日立公司: 250MW ThemaL Power Plant
- (3) LA FAVORITE RUBBER MFG CO Specification: Belt Type Expansion, Joint-Style 8060
- [4] 補機の運转要领C点検、保修技術火力原子力発電技術協会。

(上接第16页)

(四) 柴油发电机组由英帕克斯曼(PAXMAN)柴油机公司提供。

由该公司提供的凡林塔(Valenta) 12R P200CZ型柴油机的持续功率是 1.3MW, 440/ 600V三相, 1200r、 p、m,60赫兹。耗油率为220kg/kw·h(0.362lb/bhp·h)

(五)监控系统由英沃斯帕桑尼克劳夫脱(Vosper Thornycroft)控制公司研制。

该公司的D86军用标准计算机适用于各种舰船环境。D86为通用的网络设计,供各种不同的接口使用(有标准的硬件和软件可利用)。

## JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL

## ENERGY AND POWER

1-

4

(29)

## No.1 1987

## CONTENTS

#### GAS TURBINES

1. Operation experience of a marine gas turbine on a testrig

Synopsis

This paper analyzes some defects and operating troubles of a home-designed naval gas turbine which may arise during its rig testing, such as blade overheating and burnout, tip shroud overlapping, and seal rubbing, etc. In addition, the author gives a description of the measures being taken to cope with these problems and also the pratical results thus obtained during the rig testing.

- 2. A simple method for evaluating thermal stability of labyrinth seals .....Translated by Tan Zhenxiang (8)
- 3. Combined diesel-electirc and gas turbine propulsion plant .....Translated and edited by Luo Fengbiao (15) STEAM TURBINES
- 4. Experimental study of a rubber expansion joint for a Qinshan Nuclear Power Plant condenser

......Zhu Zuhong, Mei Taikang, Wang Shux!a (17) Synopsis

In this paper a discussion has been given of the compensation capacity, seal performance, design, installation technology, and safety and reliability of a condenser throat expansion joint on the basis of the experimental study of a chloroprene rubber expansion joint with a dumbbell-shaped section.

BOILERS