

26

# 40 MW 水轮发电机组轴瓦全弹性金属 塑料塑化开发及试验

谢尧宇, 李永递, 毕重强

(南桡河发电厂, 四川 石棉 625400)

TM312.03

**摘 要:**高水头水轮发电机组由于水头高、转速快、轴线长及安装调整困难等原因,致使运行稳定性和可靠性都较差,造成机组巴氏合金轴瓦温度过高而烧瓦之事常有发生,给安全生产带来极大危害。针对这一问题,南桡河发电厂对 40 MW 高水头水轮发电机组筒形水导轴瓦及上、下导圆弧形分块瓦进行塑料化,与原有推力塑料瓦一起实现了轴瓦全塑化,有效地解决了这一难题,提高了机组的安全可靠性。

**关键词:**水轮发电机;轴瓦;塑料化;开发

**中图分类号:**TV734.1

**文献标识码:**B

**文章编号:**1001-2184(2000)04-0074-04

发电 试验

## 1 前 言

南桡河发电厂有 3 台 40 MW 高水头水轮发电机组。机组设计水头 265 m, 转速 500 r/min, 全套轴瓦系巴氏合金。于 1983 年建成投运以来, 在轴瓦方面存在以下问题: ①由于水头高、转速高、轴线长、难于安装调整等原因曾多次发生烧瓦事故, 尤其是推力和水导轴瓦, 是安全生产一大障碍; ②对油的要求高; ③需要定期刮研, 增加运行和维护成本。

我国从 1990 年引进塑料瓦。南桡河发电厂于 1993 年开始, 逐步在水轮发电机组推力轴承中应用弹性金属塑料轴瓦取得了良好的运行效果。取消了高压油顶起装置; 能在冷、热状态下频繁启动, 盘车省力, 轴瓦不用定期刮研; 运行维护方便, 简化操作程序, 提高了运行可靠性, 降低了运行成本。

在目前进行的电力改革减员增效和水电站要求实现无人值班(少人值守)形式下, 为进一步解决轴瓦问题对安全生产的威胁, 适应改革要求, 实施水轮发电机组轴瓦塑料化是必要的。为此, 开发研制 40 MW 水轮发电机组上、下导分块圆弧形轴瓦及水导圆筒形轴瓦, 和原有推力瓦组成水轮发电机组轴瓦全塑料化, 以期达到: ①由于塑料推力瓦的低摩擦系数, 消除了导叶漏水时产生低速偷转而引发的巴氏合金瓦烧瓦事故; ②塑料轴瓦不用刮研, 简化管理和维护量; ③进一步提高运行可靠性。

## 2 全塑料化轴瓦运行的可行性

1997 年末便对全弹性金属塑料化轴瓦进行了可行性研究。首先是深入了解塑料轴瓦的性能和实

际应用情况。

### 2.1 氟塑料的性能

弹塑瓦的表面材料是氟塑料。氟塑料有两种, 一种是纯聚四氟乙烯, 呈白色; 另一种是改性聚四氟乙烯, 呈灰色, 弹塑瓦的性能是由氟塑料决定。氟塑料具有如下性能:

(1) 氟塑料化学稳定性好。除了熔化的碱金属和氟氢化物之外, 任何酸、碱、盐和溶剂都不能浸蚀损坏。抗自然老化周期长, 可达数十年之久。熔点 327 °C, 分解点 405 °C, 性能软化点 260 °C, 可以在 -150 °C ~ +250 °C 范围内正常使用。不燃烧, 不变性, 被称之为塑料王, 弹塑瓦使用寿命可达 20 年以上。前苏联 1969 年装在伏尔加电站 23 号机组的那套弹塑瓦直到 1993 年发表技术报告时还特别指出它仍在正常运行, 而且 24 年来从来没有刮研、维修过。

(2) 氟塑料摩擦系数小。这是现有材料中摩擦系数最小的, 它对钢的静摩擦系数仅为 0.04, 干动摩擦系数为 0.12 ~ 0.20。特别应该指出的是: 氟塑料和钢之间的大负荷, 低速下干滑动不会产生颤动、爬行、振动现象, 这是目前已知材料中绝无仅有的。其原因就是氟塑料本身的分子结构是特殊的大聚合螺旋性直链结构, 分子链之间容易产生螺旋滑动, 因而具有自润滑性。它的表面总是象有一层油蜡似的滑溜特性。这种特性使之成为无油轴承的理想材料, 已经被广泛地应用于机床、汽车、拖拉机、吊车和纺织机等无油轴套、铰链、关节套、转向套、导轨、齿轮轴套、滑轮吊钩套等低速干摩擦的轴承之中。

(3) 氟塑料在有油脂存在的情况下摩擦系数大大降低。根据油脂的状态, 摩擦系数约为 0.0018 ~

收稿日期: 1999-10-22

0.000 012。这一特性较大地降低了设备的启动功率。例如大型水轮发电机的转子质量常在几百 t 到几千 t,用了弹塑瓦之后不用顶起转子就能直接启动。现在用了弹塑瓦的电站均取消了油顶系统,既简化了操作程序,又避免了事故的发生。

(4)氟塑料的耐磨性好,负荷能力大。尤其是改性后的氟塑料耐磨性更好些,它的干摩擦系数为  $1.28 \times 10^{-11}$ 。在油润滑的情况下几乎测不出来。在相同油润滑状态,弹塑瓦的负荷能力比巴氏瓦和铜瓦大很多。一般情况下,巴氏瓦的负荷不允许超过 6 MPa,而弹塑瓦在 8.0 MPa 时仍能正常运行。在哈尔滨工业大学推力轴承试验台试验时,在转速 15.3 m/s,负荷 8.0 MPa,瓦温 58 °C 下,运行稳定。

(5)氟塑料具有分子转移性。氟塑料在摩擦时其分子在对摩件表面形成一层润滑膜,当这个润滑膜破坏时还会自动补充。只有在转速很高,分子未及转移情况下,此膜才会破坏。所以,弹塑瓦在运行中用不着象巴氏瓦那样定期刮研。一经装机运行后,便自动生成润滑膜,不需定期刮研,也不用维修维护。

(6)氟塑料吸水性小,仅为 0.01%,弹塑瓦能在油中混有水的情况下正常运行。例如白山水电站 2 800 t 的弹塑推力瓦油槽中渗进了水,并没有影响运行,而且瓦温、油温均正常,直到大修时才发现油中竟混有 15% 的水。若是巴氏瓦早就发生事故了。

(7)氟塑料摩擦功耗低。氟塑料不仅摩擦系数小,而且相同状态下油摩擦系数也小。这不仅使启动功率降低,而且正常运行时的拖动功率也减少 10%~15%。例如哈尔滨理工大学轴承试验室在 15.3 m/s,5 MPa 时,对形状相同的巴氏瓦和弹塑瓦试验时,巴氏瓦瓦温为 56 °C,油温 43 °C,拖动电流 120 A;弹塑瓦瓦温 41 °C,油温 33 °C,拖动电流 103.3 A。摩擦热的下降反映了拖动功耗的下降。1995 年汛期,黄河泥沙达  $245 \text{ kg/m}^3$ 。造成甘肃八盘峡电厂水冷却系统阻塞。2 号机及进口的 3、4 号机均因推瓦温度过高而被迫停机。只有换了塑料瓦的 1 号机坚持运行到事故排除。

(8)氟塑料具有不粘性。无论是常温还是熔点以上,氟塑料不和任何物质发生粘接。就是氟塑料与氟塑料本身也不粘接。

(9)塑料质地软,硬度为 55~60(邵氏硬度),当有硬质点进入弹塑瓦时,会对氟塑料表面造成损坏,以至于镶嵌进塑料面中。在低速时,可以延缓事故的发生,减轻对轴的损坏。检修时只要把硬质点挖掉,弹塑瓦仍可以使用。

(10)塑料瓦的耐用性很强,只要保持形面设计

合理,油膜正常存在,瓦温不急骤升高,在实际的应用中发现塑料瓦面出现局部的脱焊、瓦面划伤、瓦面存在裂纹、油中混杂有水、少量的灰尘杂质进入等情况下仍然可以运行,这是巴氏瓦和铜瓦无法比拟的。例如四川映秀湾、甘肃八盘峡水电厂的塑料推瓦在运输中塑料瓦面被划伤,且划痕较深,经简单刮平凸处后运行仍然良好。例如五强溪的推塑瓦一直运行良好,没有什么异常情况,只在小修轴瓦时查看发现瓦面有裂纹,吃惊之余将全部瓦拆出后才发现 16 块瓦中竟有 6 块有成片连续的裂纹,有的高达瓦面的 60%。

(11)塑料瓦的结构优点。氟塑料具有不粘性和热胀系数大的特点,弹性金属层一面镶嵌烧结在塑料之中,另一面则与金属瓦体钎焊成整体结构。弹性金属丝层即是热胀过渡层,吸收热差应力,同时又能均衡负荷和吸收振动。

(12)南桤河发电厂 3 台机组推力都已经安装了塑料瓦,有了多年运行经验。

综上所述,可以看出,目前氟塑料是弹性金属塑料轴瓦最理想,性能最优良的结构材料。

## 2.2 弹性金属塑料轴瓦在制造及运行中应注意的问题

虽然氟塑料有很多优点,但弹性金属塑料轴瓦在制造及运行中也要注意以下问题,应用不当也会造成事故。

(1)氟塑料质地软,耐磨但不耐犁耕划损。这就要求轴或推力板的粗糙度要低,不得大于  $Ra 0.8 \mu\text{m}$ ,当轴粗糙时应该研磨处理后再用弹塑瓦,否则塑料层会很快地被犁耕磨坏。同时,当油质不清洁或杂质过多时,也会影响寿命的。

(2)氟塑料热膨胀系数大,约为  $(10.1 \sim 14.5) \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$ 。改性的氟塑料热膨胀系数也有  $(6.5 \sim 8.5) \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$ ,比钢大 5~10 倍之多,因此,当温度变化时对其影响很大。由于塑料背面有弹性金属丝层的束缚,一方面吸收热应力,同时又会使塑料瓦面的边缘产生翘起现象,被称为边缘效应。这种热效应往往是引发事故的直接原因。

(3)氟塑料的烧结结晶度对摩擦性能有较大影响。当结晶高时,虽然表面硬度较大,耐磨性好,但有脆裂性,塑料瓦运行一段时间后便产生成片的龟裂。但是,结晶度过低时质地柔软呈半透明状态,可以看到铜丝圈云团状,这种瓦面既不耐磨又易产生蠕变。理论上最佳结晶度应该在 63%~65% 左右。硬度为邵氏硬度 55~65。塑料层大于 1 mm 以上时不应该看到棉团状阴影。

### 2.3 水轮发电机组全塑料化轴瓦运行的可行性

在充分掌握了塑料瓦正反两方面的性能和应用情况之后,认为将其扩大到上导轴承,下导轴承和水导轴承中是可行的。因为:

- (1)导轴承的受力状态比推力轴瓦好。
- (2)导轴承的润滑状态比推力轴瓦优越得多。
- (3)氟塑料摩擦系数低,摩擦发热小,会使油温 and 瓦温都有所降低。
- (4)氟塑料具有下粘附性,因此不会产生热胀抱轴现象。

(5)在渗水和泥沙进入时可以延缓事故发生。

经检索,俄罗斯尚无导轴塑料瓦应用的报导,而我国已经有应用的先例了。

(1)1993年开始,云南西洱河电厂、浙江的黄坛口电厂和新安江电厂先后分别在发电机的上导和下导轴承分块瓦中应用了弹性金属塑料轴瓦。

(2)1995年1月福建省水口电厂在1号200 MW水轮发电机组水轮机导轴承中首次应用了分块平板弹性金属塑料轴瓦,轴颈2250 mm,瓦高170 mm,共12块。运行以来,各项性能均优于日本原进口瓦的标准,取得了良好的运行效果。

### 3 研制技术难点与解决方案

#### 3.1 研制40MW水轮发电机组圆筒形塑料瓦技术难点

在上述论证的基础上,发现要在40 MW高水头机组实现全轴瓦塑料化,尚有一个很大的技术难题需要攻克——圆筒形弹性金属塑料瓦技术。南江电厂机组水导瓦就是圆筒形、直径为 $\varphi 560$  mm。在此之前虽有试者,但尚无运行成功的先例。其原因是:

(1)圆筒型塑料轴瓦的复合镶嵌钎焊工艺比分块式塑料导轴瓦复杂。烧结、热焊的工艺参数要求严格控制。

(2)塑料比钢瓦基的热胀系数大8~10倍之多。在塑料瓦热效应的作用下,使塑料瓦面在热态时产生很大的变形,破坏了油膜的生成和运行条件。

(3)塑料瓦具有弹性变形,安装时可能影响主轴找正对中心。

#### 3.2 解决方案

##### 3.2.1 技术措施

(1)采用加压油楔瓦面设计。

(2)将圆筒形塑料瓦面按油沟分解,以解除塑料热膨胀应力集中的影响作用。

(3)设置增压月牙油楔面,确保油楔在冷、热态的自然存在,由12个圆弧面构成曲线形圆周。

(4)预置塑料热效应反变形,以消除塑料热胀效

应对油膜的破坏。

(5)安装找正采用先刚性后置换办法。

(6)利用计算机模拟运行参数最佳优化设计。

##### 3.2.2 工艺措施

(1)塑料面选择热胀系数小的改性氟塑料。它的热胀系数比纯氟塑料减小25%~27%。

(2)塑料圆周面按油沟分成4段,油沟呈60°螺旋角。

(3)增压月牙楔面、承重面、出油面均呈螺旋状态,使承重面在圆周上是连续的,以保持轴的运行稳定性。

经过论证后确定了以上方案,按此方案设计制造了南江河发电厂40 MW立轴式高水头水轮发电机组上导、下导的圆形分块式塑料轴瓦及水导筒式轴瓦各1套。

#### 4 安装与调试

1999年1月,新开发的上导塑料瓦、下导塑料瓦、水导塑料瓦顺利安装于南江河发电厂2号水轮发电机组上,与推力塑料瓦一起实现了40 MW高水头机组轴瓦全塑化。

安装调试时利用了微机控制的“振动在线分析系统”,其做法是:

(1)轴的定位找正。上、下、水导塑料瓦和推力瓦装机后盘车时,发现上导塑料瓦有0.5~0.6 mm弹性变形,影响轴的找正。为此,采用了先刚性定位以后,再将上导塑料瓦换上。

(2)上导、下导塑料瓦间隙调整。由于塑料瓦具有弹性,而且质地柔软。调间隙时采取瓦背与支撑间确定间隙的办法,确定了上导塑料瓦面与轴面间隙为0.13 mm,同样,下导塑料瓦面与轴面间隙为0.15 mm。

(3)水导调整。水导塑料瓦按承重面找好与轴的间隙均匀对称,经测其间隙为0.17~0.25 mm。

#### 5 试验

##### 5.1 空载试验

1999年1月18日10时至23时40分进行了空载试验,启动1 h后油温、瓦温基本稳定,见表1。

表1 空载试验各瓦温油温表

项目	推瓦	推油	上导	上油	下导	下油	水导	水油
温度/℃	24	24	25	28	26	27	26	30

##### 5.2 甩负荷试验

1999年1月19日开机带负荷,10 min后甩负荷。此时温度无变化。水导摆度瞬时达0.37 mm,持续数秒后恢复正常。

### 5.3 满负荷 72 h 试运行

1999 年 1 月 20 日 8 时开机,机组进入 72 h 满负荷试运行。其瓦温一直稳定,见表 2。

表 2 满负荷 72 h 试运行瓦温油温表

项目	推瓦	推油	上导	上油	下导	下油	水导	水油
温度 / °C	34	35	34	36	26	35	32	36

### 5.4 试运行

40 MW 全弹性金属塑料轴瓦的水轮发电机组于 1999 年 2 月开始进入试运行,经历了一个洪水期考验,到 7 月底为止共运行了 2 785 h,未发生任何故障,未进行任何维护检修。其上导轴承、下导轴承、水导轴承和推力轴承的瓦温记录与 1998 年同期数据见表 3。

表 3 2~7 月份试运行各瓦温表

月份 /月	温度 / °C					
	上 导		下 导		水 导	
	1999 年	1998 年	1999 年	1998 年	1999 年	1998 年
1	34		26		32	
2	36	44	29	31	34	25
3	37	45	30	33	36	26
4	36	48	29	34	36	31
5	39	50	30	35	34	32
6	40	50	31	34	36	31
7	42	50	34	38	37	31

表中看出除水导瓦外,上导、下导轴瓦瓦温比同期降低了 2~8 °C,能稳定运行在规程要求的安全范围内。水导轴瓦瓦温高于 1998 年同期,原因是间隙调整较小,但能稳定运行在规程要求的安全范围内。

## 6 结 论

(1)南桤河发电厂 2 号水轮发电机组全弹性金属氟塑料瓦在 7 个月试运行中,运行稳定安全,未发生任何检修维护及故障。证明了水轮发电机组圆筒形弹性金属塑料轴瓦研制及全塑料化轴瓦试运行是成功的。在国内及国外都是首次。它为水轮发电机

的结构设计开辟了一条新的方向,增加了机组运行的可靠性。

(2)全弹性金属塑料轴瓦运行时的上、下塑料轴瓦的瓦温和油温均下降了 2~10 °C,水导瓦温也稳定可靠运行在规程规定的安全范围内。提高了机组运行的安全可靠性能。

(3)塑料轴瓦不用刮研,不用维修,杜绝了事故,节约运行维护成本并能增发电量,有利于减员增效,有利于实现水电站无人值班(少人值守)。

(4)杜绝了因导叶漏水机组偷转而引发的巴氏轴瓦烧瓦事故。

(5)提高了机组安全稳定能力。塑料轴瓦能在油中混水时正常运行,偶有泥砂侵入也能延缓事故的发生。

(6)在运行半年多时间中,运行情况良好,但对于瓦的磨损情况尚待下一周期大修时才能有结果。

综上所述,南桤河发电厂 40 MW 水轮发电机组轴瓦全弹性金属塑料化研制和运行试验结果达到了预期效果。试运行表明,塑料化后,对提高发电机组运行可靠性,提高经济效益都有很好的效果。这也是科学技术进步的自然结果,同时也是水轮发电机组发展的趋势。当然,这一成果也还需要在制造、使用的过程中不断地总结经验,制定规范标准,使其更加进步,更完善、更先进。

#### 作者简介:

谢尧宇(1953 年-),男,四川犍为人,南桤河发电厂生技处专责工程师,长期从事水电厂检修和技术管理工作;

李永通(1964 年-),男,四川石棉人,南桤河发电厂生产副厂长,工程师,长期从事水电厂检修和技术管理工作;

毕重强(1961 年-),男,山东青岛人,南桤河发电厂总工程师,高级工程师,长期从事水电厂生产和技术管理工作。

## 建行向我省电力投放 200 亿元贷款支持西电东送

8 月 29 日,建行四川省分行与省电力公司签署合作协议。根据协议,建行向省电力公司承诺贷款 200 亿元,主要用于支持我省瀑布沟电站、杂谷脑电站等西部大开发西电东送四川项目,并配合电力行业以“厂网分离”为契机,的股份制改造和城乡电网的进一步完善。这是建国以来,我省银行向我省电力企业承诺投放的最大一笔贷款。200 亿元贷款额度相当于我省 50 年电力产业贷款的总和。建行四川省分行行长赵富高和四川省电力公司总裁石万俊在合作协议上签字。四川省副省长邹广严对双方的合作给予充分肯定。建行总公司业务部副总经理秦仁文、四川省计委副主任李亚平参加了签字仪式。这次银企合作的特点为:合作金额大,从单纯性支持向综合性融资发展。

西部大开发战略为“西电东送”带来了历史性机遇,把水电作为支柱产业的四川省迎来了最好的时机。到 2010 年,四川电力装机将达到 3000 万千瓦,其中的 1000 万千瓦将外送。建行四川省分行此次向水电项目承诺 200 亿元的贷款额度,对进一步加快四川的水电开发具有重要的意义。

据省电力公司总裁石万俊介绍,总投资额达 221 亿元(含送电工

程)巨资的瀑布沟电站,是我省目前将建的最大水电项目,其装机容量与二滩电站同等规模(为 330 万千瓦)。按计划于 2010 年完成后,是西电东送四川项目中重要的组成部分。目前,该电站项目工作已准备就绪,待国务院批准后即可动工。建成后,将满足四川省长期用电的需求,并保证西电东送的需要。为此,我省电力行业将组建由国电电力控股 51%,省电力公司、省投资公司参股的大渡河流域电力开发股份有限公司滚动开发瀑布沟水电站;杂谷脑电站的建成更会对我省阿坝州经济的发展起到能源支持的重要作用。两大电站的建设将极大的带动我省钢铁、水泥、机电、建筑、施工等行业的繁荣,从而拉动四川经济的快速发展。石万俊进一步透露,作为西部最重要的能源大省,四川在国家西电东送项目的建设起着举足轻重的作用。目前,川电外送的条件正在成熟,西电东送至华东首条出川输电线路最后一段——万县至三峡 346 公里,耗资 6 亿元,此项目现已开始正式招标。2002 年建成后,四川将首次实现西电东送。川电送广东也拟列入国家“十五”计划之中。

本刊记者 李燕辉