

# QFR480 发电机进油原因分析及防范措施

杨旭涛

(江苏华电戚墅堰发电有限公司,江苏 常州 213011)

**摘要:**通过介绍东方三菱 QFR480 燃汽轮发电机两个进油案例,分析引起密封油系统氢侧回油不畅的原因及故障排除方法,并提出防范措施,提高了发电机运行的可靠性。

**关键词:**发电机;氢侧回油;排氢调节油箱;消泡箱;气阻

**中图分类号:**TK 418;TK 263.8<sup>+</sup>3

**文献标志码:**B

**文章编号:**1674-1951(2018)09-0018-03

## 0 引言

QFR480 发电机是 M701F4 型燃汽轮机配套的全氢冷发电机,采用带平衡腔室的单流环式密封瓦,其密封油系统配置真空净油装置,由 2 台交流主密封油泵、1 台直流事故密封油泵供油;密封油回油管路上配置了循环密封油箱、带有旁路的浮子式排氢调节油箱。该系统构成复杂,在运行方式切换及控制调整不当极易造成发电机进油,导致发电机绝缘腐蚀、老化;同时,发电机进油往往伴随机组润滑油箱油位突降,威胁机组安全。本文收集国内同类型机组发电机进油案例并进行分析,提出故障排除方法。

## 1 密封油系统流程概述

机组密封油系统如图 1 所示。密封油是由润滑油提供的,真空油箱内的油经密封油泵升压后进入发电机两侧的密封瓦,单流环密封瓦由空、氢侧 2 道密封瓦组成,因此进入密封瓦的油流分成 2 股,形成了氢侧密封油回油和空侧密封油回油。氢侧回油经消泡箱排至排氢调节油箱,空侧回油与发电机轴承润滑油回油汇集后进入循环密封油箱,在循环密封油箱中扩容分离气体后大部分油回至润滑油箱,另一部分油作为真空油箱的补油与排氢调节油箱的排油汇合后进入真空油箱,形成了密封油循环<sup>[1]</sup>。

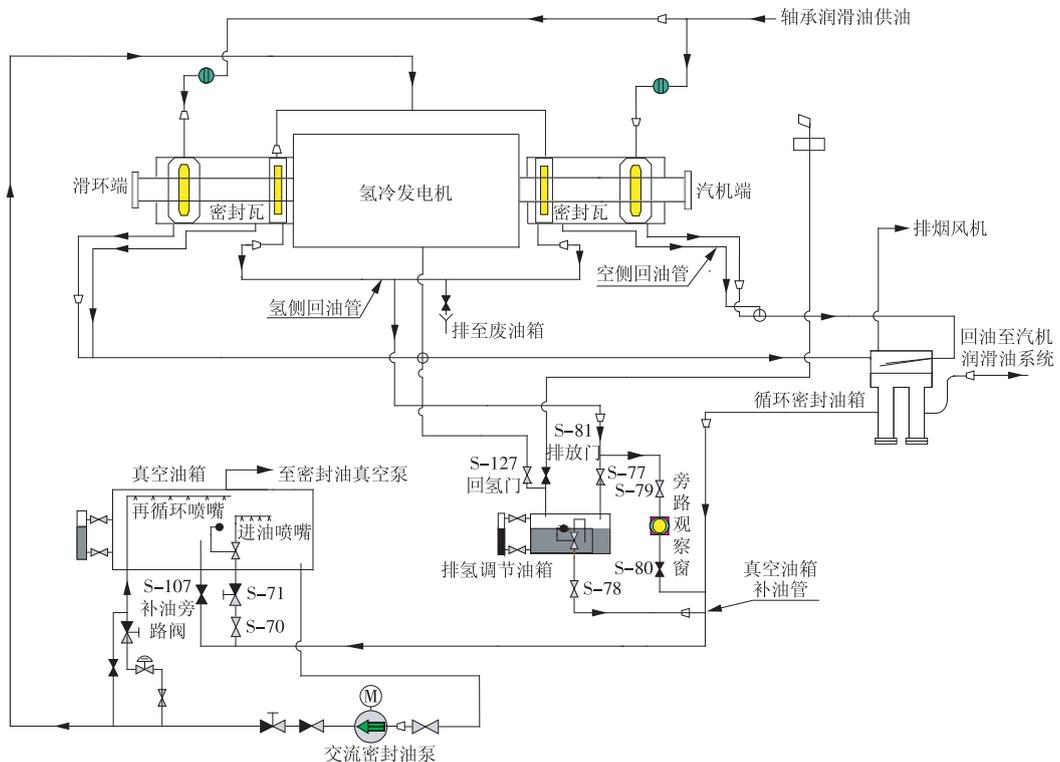


图 1 QFR480 发电机密封油系统

排氢调节油箱上部设置有回氢管与发电机相通,在发电机氢压作用下,排氢调节油箱内的浮子阀

排油顺畅,并维持油位防止跑氢。在发电机无压力的情况下,由于排氢调节油箱与循环密封油箱有 65 kPa 的压差,同时管道流动存在阻力会引起排氢调节油箱出口排油不畅,为避免氢侧回油不畅,在发电机内气体压力低于 65 kPa 时,必须将氢侧回油由排氢调节油箱切换至旁路观察窗进行排油。

## 2 发电机进油案例及分析

### 2.1 案例 1

某厂发电机进行氢气置换,当发电机氢压泄至 70 kPa 时,将排氢调节油箱切至旁路运行后,发电机发生进油事故,造成润滑油箱油位下降 12.8 mm,估算发电机进油约 330 L。故障象征见表 1。

表 1 案例 1 故障象征

| 时间    | 发电机氢压/kPa | 真空油箱油位/mm | 故障象征及过程说明              |
|-------|-----------|-----------|------------------------|
| 09:26 | 465.00    | 445       | 发电机开始排氢                |
| 10:34 | 73.00     | 445       | 排氢调节油箱油位 343 mm, 开始上升  |
| 10:36 | 65.00     | 409       | 排氢调节油箱油位 372 mm        |
| 10:38 | 58.00     | 403       | 排氢调节油箱液位 495 mm, 液位高报警 |
| 10:49 | 25.00     | 352       | 真空油箱液位低报警              |
| 11:19 | 0.64      | 331       | 滑环端消泡箱液位高报警            |
| 11:20 | 0.64      | 331       | 汽机端消泡箱液位高报警            |
| 11:39 | 1.50      | 317       | 汽机端发电机漏液液位高报警          |
| 11:46 | 1.30      | 310       | 滑环端发电机漏液液位高报警          |
| 12:06 | 0.54      | 307       | 真空油箱液位开始上升             |
| 12:07 | 0.36      | 327       | 两侧消泡箱液位高报警复归           |
| 12:10 | 0.09      | 362       | 真空油箱液位低报警复归            |
| 14:54 | 1.60      | 409       | 滑环端发电机漏液液位高报警复归        |
| 15:08 | 0.70      | 409       | 汽机端发电机漏液液位高报警复归        |

由故障象征可以看出,操作人员在发电机压力下降至 73 kPa、排氢调节油箱油位开始上升时,将氢侧回油切换至旁路观察窗。据操作人员反映,切换时旁路观察窗内无油,且旁路观察窗进油门 S-79 关闭、出油门 S-80 在开启位置,切换操作完成后真空油箱油位开始下降(如图 2 所示),操作人员未及时发现真空油箱油位低报警和消泡箱液位高报警,直至 40 min 后发现发电机漏液监测装置液位高报警,此时发电机已经进油。结合上述异常象征分析,真空油箱油位持续下降,表明真空油箱补油不畅,操

作人员在切换旁路时,观察窗内没有油而存在一段气体,但未引起重视;打开观察窗进油门 S-79 后,在真空油箱补油管内形成气阻,一方面影响了真空油箱补油,另一方面影响了氢侧回油,导致氢侧回油不畅,最终造成发电机进油。

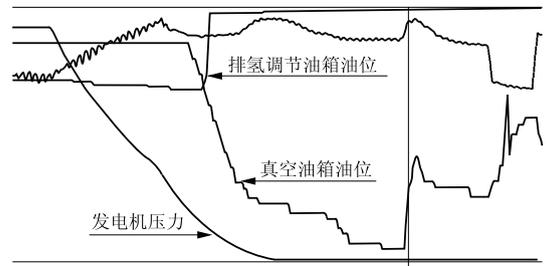


图 2 案例 1 故障曲线(截图)

### 2.2 案例 2

某厂机组检修后进行发电机气密性试验。在密封油系统投运后发电机充压至 69 kPa,氢侧回油切换至排氢调节油箱后,发电机发生进油事故,造成润滑油箱油位下降 30 mm,估算发电机进油大约 750 L。故障象征见表 2。

表 2 案例 2 故障象征

| 时间    | 发电机氢压/kPa  | 真空油箱油位/mm | 故障象征  |
|-------|------------|-----------|---|
| 18:20 | 0          | 280       | 密封油系统投运   |
| 19:12 | 0          | 496       | 发电机进行充压   |
| 19:56 | 69         | 409       | 排氢调节油箱油位开始下降  |
| 20:24 | 90         | 480       | 排氢调节油箱液位 350 mm, 两侧消泡箱液位高报警                         |
| 22:02 | 124 泄压至 77 | 485       | 排氢调节油箱液位 345 mm 突升至 550 mm 后降为 385 mm, 两侧消泡箱液位高报警复归 |
| 22:35 | 78         | 506       | 排氢调节油箱液位 385 mm, 滑环端发电机漏液液位高报警                      |
| 22:46 | 78         | 506       | 滑环端发电机漏液液位高报警                                       |
| 23:22 | 92         | 506       | 汽机端发电机漏液液位高报警                                       |

由故障象征可以看到,该次事故中真空油箱油位在整个故障期间均正常(如图 3 所示)。其补油正常,但消泡箱液位高报警表明氢侧回油不畅,操作人员在约 90 min 后发现该报警,但为时已晚,因为发电机漏液监测装置液位高报警表明发电机已进油。

### 2.3 原因分析及处理方法

通过案例 1 和 2 可以看到,两起发电机进油事故均发生在发电机密封油氢侧回油方式改变,因发

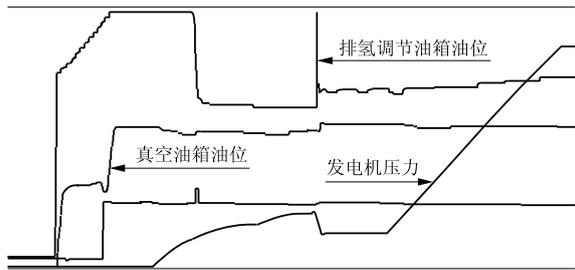


图 3 案例 2 故障曲线(截图)

电机压力变化氢侧回油的排氢调节油箱进行切换操作时,消泡箱液位高报警表明氢侧回油不畅,通过故障象征可区分出发生气阻的不同部位,进而采取不同的处理方法。

案例 1 在排氢调节油箱至真空油箱的补油管路发生气阻,其象征为真空油箱油位下降,结合消泡箱液位高报警,此时应缓慢开启真空油箱补油旁路阀 S107,利用真空油箱的负压破坏补油管气阻,使补油恢复畅通。需要注意的是,真空油箱正常补油经补油阀及油箱内喷嘴后进入油箱,流量较小,而补油旁路管直接接至油箱内,开启补油旁路阀补油流量偏大,故操作该阀时需缓慢进行,真空油箱油位恢复正常后即可关闭补油旁路阀。

案例 2 发生的故障,真空油箱油位正常,单纯的消泡箱液位高报警,操作人员采取发电机泄压并将排氢调节油箱切换至旁路操作,切换过程中排氢调节油箱油位瞬间波动后消泡箱液位高报警复归。上述现象表明,氢侧回油不畅发生在消泡箱至排氢调节油箱管路且产生了气阻,切换操作使排氢调节油箱进油管内气体发生了扰动,积聚的气体通过旁路观察窗至真空油箱补油排走,使得排氢调节油箱油位瞬间有波动,而气阻现象消除后消泡箱液位恢复正常。该处理方法的缺点是,可能在真空油箱补油管路产生新的气阻现象,即发生案例 1 的情况。正确的处理方法是,缓慢开启排氢调节油箱上方的排放阀 S-81,降低排氢调节油箱压力,利用发生气阻管路前后的压差同样可消除气阻现象。

### 3 密封油氢侧回油不畅的防范措施

本文列举的发电机进油案例,均发生在发电机内气体压力不高的时段,要么是发电机泄压至零的过程,要么是在发电机内初始建压期间,且不是设备原因造成的。因此,要针对密封油系统投运、发电机开始充压及排氢调节油箱与旁路观察窗切换操作等方面采取措施,防止由于氢侧回油不畅造成发电机进油。

密封油系统开始投运时,可用差压阀的旁路阀对系统进行缓慢充油,待密封油差压建立正常后再

投入差压阀,防止投运初期氢侧回油量突增造成消泡箱出口处排油不畅<sup>[2-3]</sup>。

密封油系统阀门配置应正确。正常运行时,排氢调节油箱的回氢阀 S-127 应常开,确保发电机与排氢调节油箱压力平衡;旁路观察窗进油门 S-79 常开、出油门 S-80 关闭,旁路观察窗需保持可见油位。

根据 QFR480 发电机密封油系统设备布置特点,发电机内气体压力低于 65 kPa 时,无论是排氢调节油箱还是旁路观察窗,其满油位是正常的,此时氢侧回油由发电机两端 13.0 m 平台处的消泡箱至 0 m 的排氢调节油箱仍能克服位于 6.5 m 层的循环密封油箱至排氢调节油箱之间的高程差,流至真空油箱,达到动态平衡,氢侧回油管内油位不高于循环密封油箱的液面高度。尽管如此,考虑油管道及排氢调节油箱浮子阀的流动阻力,为安全起见,在发电机压力偏低时,仍需通过旁路观察窗对氢侧回油进行直排操作。此时应有专人就地监视旁路观察窗油位,随发电机气体压力下降,当排氢调节油箱出现满油位时,开启旁路观察窗出油门 S-80。同理,随发电机压力上升,旁路观察窗出现可见油位时,应及时关闭旁路观察窗出油门 S-80。这样,排氢调节油箱与旁路观察窗的切换操作,优化为只需操作旁路观察窗出油门 S-80 即可。

在密封油投运,发电机充、泄压,旁路观察窗投退操作期间,均要严密监视消泡箱液位高报警。该报警预示着氢侧回油不畅,一旦出现报警,结合案例 1 和 2 的处理方法,迅速采取措施,消除管路气阻现象。因此,保证消泡箱液位开关动作可靠非常重要,建议在机组检修时对 2 只消泡箱液位开关进行校验。

另外,从案例 1 和 2 故障象征可以看到,发电机漏液检测装置均存在报警延迟。原因在于 2 个漏液检测装置均安装在远离发电机本体的位置,取样管细而长,管道布置没有坡度,一旦发电机漏液,漏液将很快充满整个漏液取样口,缸内气体不能及时排出,便在漏液检测管道内形成气阻,漏液不能顺利流到检测油缸,造成报警失效。因此,需放大取样管管径,增加取样管道布设坡度,保证油流通畅,使取样管内不形成气阻。

### 4 结束语

一般氢冷发电机进油有两个方面原因:密封瓦配油槽处油压过高或密封瓦间隙大,压力油流入发电机;密封油氢侧回油不畅,消泡箱满油而溢入发电机。氢侧回油因与发电机内氢气直(下转第 24 页)

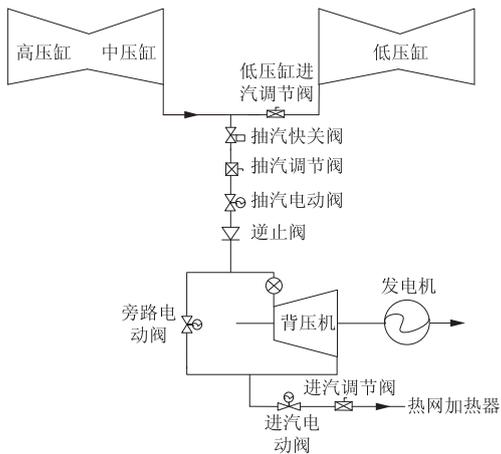


图 9 中压缸排汽抽汽拖动背压机发电改造系统

热负荷较低,此时抽汽压力会随着热负荷的变化而进行相应调整,不利于背压机的安全运行,供热抽汽通过旁路直接进入热网加热器,即传统的抽汽供热方式<sup>[4]</sup>。

以上述 330,660 MW 机组供热参数为例,按改造后背压机稳定运行 90 d 计算,每个供热季增加效益分别为 790 万元,1 600 万元,计算数据见表 1。

表 1 330,660 MW 机组进行背压机改造后效益分析

| 参数       | 单位       | 330 MW | 660 MW |
|----------|----------|--------|--------|
|          |          | 机组     | 机组     |
| 中压缸排汽压力  | MPa      | 0.40   | 0.93   |
| 中压缸排汽温度  | ℃        | 270    | 376    |
| 背压机排汽压力  | MPa      | 0.15   | 0.15   |
| 背压机排汽温度  | ℃        | 206    | 249.8  |
| 背压机进汽流量  | t/h      | 300    | 300    |
| 背压机效率    | %        | 55     | 55     |
| 机械效率     | %        | 98     | 98     |
| 发电机效率    | %        | 99     | 99     |
| 供热每小时发电量 | kW·h     | 9650   | 19570  |
| 背压机运行时间  | d        | 90     | 90     |
| 上网电价     | 元/(kW·h) | 0.38   | 0.38   |
| 供热季发电量   | kW·h     | 2084   | 4227   |
| 供热季增加效益  | 万元       | 790    | 1600   |

(上接第 20 页)接触,氢侧回油管是油、气混合物,在发电机内气体压力偏小造成氢侧回油压差过低的情况下,由于密封油流量波动、系统运行方式发生改变等因素,在回油管入口和水平管段的小空间内极易产生气阻现象。本文通过 QFR480 发电机进油两个案例分析引起氢侧回油不畅的原因,根据管道产生气阻位置不同而采取不同的处理方法,并提出防范措施,希望同类型机组在进行密封油系统投运和发电机气体置换时能有所参照。

参考文献:

[1] 王志强. 发电机单流环密封油系统常见问题分析及处理

3 结论

本文针对抽凝供热机组运行中存在的典型问题进行剖析,通过理论分析探讨提高机组安全性、经济性的有效方法,力图为机组设计、优化改造提供参考,主要结论如下。

(1) 抽凝供热机组中压缸末级叶片的安全性应引起足够的重视,运行中应监控三段抽汽与中压缸排汽压差不超过最大设计值。

(2) 母管制供热机组要充分考虑蒸汽倒流带来的安全风险,应对保护电源、逻辑、逆止阀、管道等进行合理配置。

(3) 供热蒸汽节流导致做功能力降低,是影响抽凝供热经济性的关键。在机组设计阶段应做好参数匹配,已投产机组要对低压缸进汽调节阀等进行优化调节,对于抽汽、供汽参数严重不匹配的要进行背压机改造。

参考文献:

[1] 胡玉清, 马先才. 我国热电联产领域现状及发展方向[J]. 黑龙江电力, 2008, 30(1): 79-80.

[2] 林汝谋, 金红光, 蔡睿贤. 燃气轮机总能系统及其能的梯级利用原理[J]. 燃气轮机技术, 2008, 21(1): 1-12.

[3] 宗绪东, 孙奉仲. 配汽机构对汽轮机组经济性的影响及优化研究[J]. 汽轮机技术, 2015, 57(6): 475-476.

[4] 戈志华, 杨佳霖, 何坚忍, 等. 大型纯凝汽轮机供热改造节能研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(17): 25-30.

(本文责编: 刘芳)

作者简介:

宗绪东(1972—),男,山东龙口人,高级工程师,工学硕士,从事火电厂节能降耗技术研究工作(E-mail: 35266623@qq.com)。

[1] 河北电力技术, 2014, 33(1): 31-33.

[2] 穆肖静. 发电机密封油系统油击故障原因分析及对策[J]. 华电技术, 2012, 34(1): 6-9.

[3] 张文辉, 张士强, 孙辉. 密封油油压波动原因分析及处理[J]. 华电技术, 2010, 32(2): 57-59.

(本文责编: 白银雷)

作者简介:

杨旭涛(1971—),男,江苏常州人,工程师,从事燃气-蒸汽联合循环电站生产运行管理方面的工作(E-mail: mark0230@126.com)。