

CHOUSHUI XUNENG JISHU LUNWENJI 2010

抽水蓄能技术 论文集 2010

国网新源控股有限公司 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

CHOUSHUI XUNENG JISHU LUNWENJI 2010

抽水蓄能技术 论文集 2010

国网新源控股有限公司 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能技术论文集: 2010/国网新源控股有限公司
主编. —北京: 中国电力出版社, 2011. 3
ISBN 978-7-5123-1438-2

I. ①抽… II. ①国… III. ①抽水蓄能水电站-文
集 IV. ①TV743-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 028321 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 6 月第一版 2011 年 6 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 22 印张 683 千字

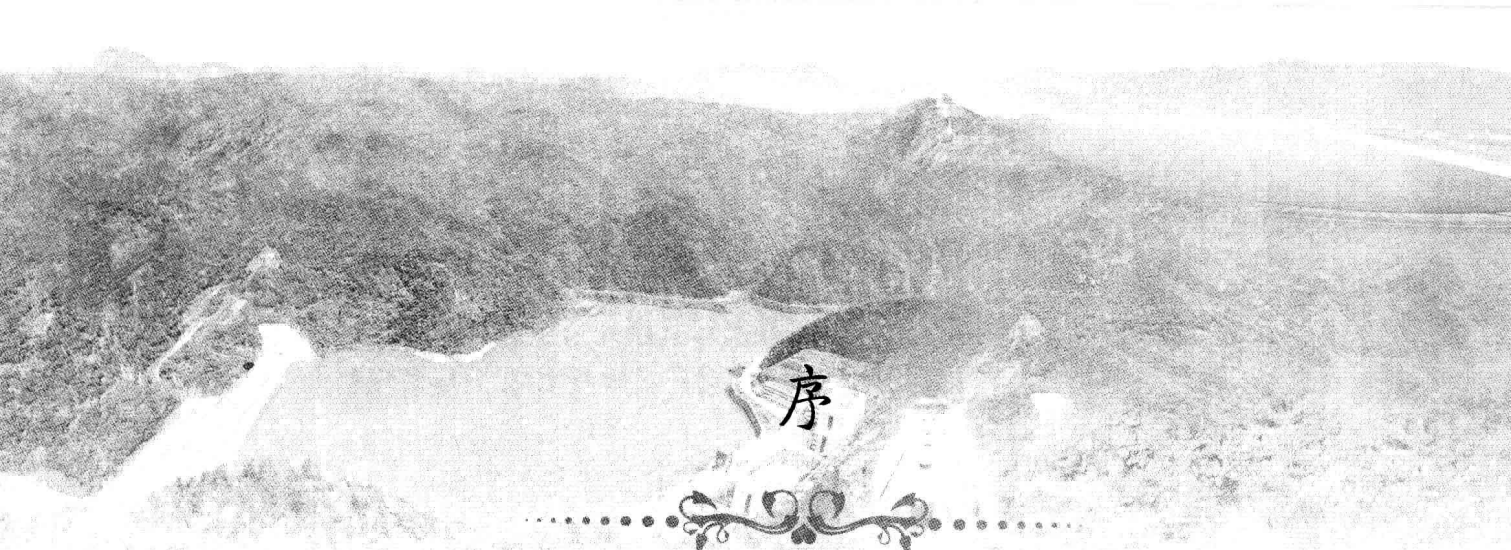
定价 85.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



序

抽水蓄能电站具有调峰、调频、调相、黑启动、事故备用和节能等重要作用，是当今世界上大规模应用的最经济、最实用的储能技术。随着我国社会经济的发展，特别是核电、风电等清洁能源的迅猛发展和坚强智能电网的加快建设，抽水蓄能面临广阔的发展前景。

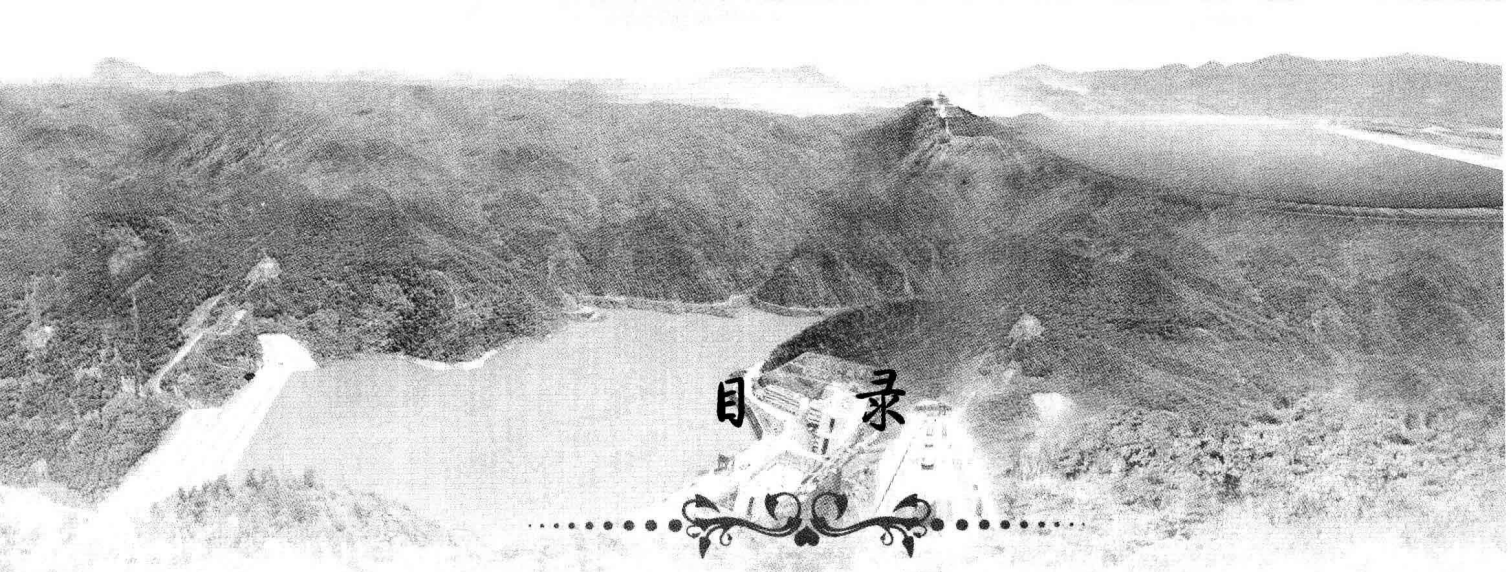
国网新源控股有限公司是目前行业内装机容量最大的抽水蓄能专业化管理公司，公司内部凝聚了一批抽水蓄能电站管理、建设、运行的专业人才。为充分发挥抽水蓄能电站的作用，更好地服务坚强智能电网建设和清洁能源发展，近年来，我们高度重视科技创新和抽水蓄能电站技术研究，着力建设技术先进、管理科学、安全可靠、经济环保的一流抽水蓄能电站，取得了一批重要成果。

为了总结抽水蓄能电站的运行管理经验，加强抽水蓄能技术交流，特编辑出版了《抽水蓄能技术论文集 2010》一书。该书以业务性、指导性、实用性为标准，目的是为抽水蓄能技术人员提供一个相互学习、相互借鉴的平台。相信《抽水蓄能技术论文集 2010》一书，将在推动抽水蓄能行业的技术进步，提高抽水蓄能电站管理、建设和运行水平等方面发挥积极的作用。

国网新源控股有限公司总经理



2011. 5. 30



目录

序

电 力 检 修

球阀运行常见问题分析与处理	项 杰 (3)
多套参数同期装置在抽水蓄能电厂同期回路中的应用	施美霖 (6)
十三陵抽水蓄能电厂发电机定子线棒防晕层破坏原因分析及处理	田 锋 和海顺 (11)
潘家口抽水蓄能电厂灭磁开关故障分析	刘华栋 (18)
泰安抽水蓄能电站 2 号机组主轴密封漏水分析及处理	葛军强 (20)
220kV 硅油—SF ₆ 电缆终端检修与监测	赵贵前 (23)
蓄能机组导水机构调速环磨损分析与处理	刘素梅 (26)
3 号机组推力/下导轴承油雾溢出治理	郭新杰 (29)
发电电动机定子线棒故障检修	赵贵前 (32)
预防电力变压器渗漏油的措施	赵洪峰 (37)
水轮发电机主绝缘损坏原因探析及应采取的措施和解决方法	刘立江 (40)
十三陵抽水蓄能电厂 2 号机组轴线处理	潘春强 (42)
3 号机组调速器 1 号接力器无压紧行程的缺陷处理	李江涛 付金艳 (48)
浅谈抽水蓄能电站机组检修管理	李 彬 (52)
标准化管理在蓄能机组 A 级检修应用	刘素梅 (58)
下机架起落方式改进	刘 伟 (63)

经 验 交 流

关于宜兴抽水蓄能 3 号发电机定子 95% 接地保护动作跳闸的分析	孟繁聪 (67)
潘家口抽水蓄能电厂 3 号机组主变压器异常分析	鞠景宝 (74)
发电机进相故障分析及处理措施	伍常林 (79)
泰安抽水蓄能电站 3 号机组振动报警原因分析及处理	李 军 (83)
机组抽水调相启动并网自动转停机原因及对策	朱中山 杨丽君 (86)
一起典型电压互感器事故的分析和防范对策	张 雷 (90)
水轮机组一次调频及其试验方法	孔祥武 (93)
结合电缆发热故障处理谈施工及设备管理	孟德霞 (97)
非对称不同步开启导叶在琅琊山电站的应用	袁 波 (101)

3 号机组主轴密封 END SEAL 磨损异常原因分析与对策	赵毅峰 (106)
网络计划技术在大修施工进度管理中的应用与分析	张桂英 (108)
潘家口抽水蓄能电厂机组组合轴承油槽油位信号装置改造	刘华栋 刘立江 (112)
潘家口抽水蓄能电厂机组辅机设备自动控制系统改造项目实施过程总结	徐晓楠 (115)
低压气机运行专题分析	张玉平 (118)
桐柏抽水蓄能电站可逆式机组启动过程简介及常见故障分析	潘菊芳 (123)
如何提高企业员工的素质与执行力	路金芳 (127)
直流系统的问题与改造	金根明 (131)
关于潘家口抽水蓄能电厂 3 号机组 3 次 1 号滤水器差压频繁报警的处理措施	刘夫果 赵晓东 (135)
抽水蓄能机组转轮室内压缩气对转速下降的影响	胡海棠 (137)
白莲河抽水蓄能电站首台机首次启动方式探讨	伍志军 杨洪涛 (141)
抽水蓄能电站主变压器差动保护 TA 极性校验方法探讨	杨洪涛 (144)
天荒坪抽水蓄能电站 500kV GIS 运行操作问题的处理	胡海棠 (149)
潘家口抽水蓄能电厂励磁装置运行工况转换控制流程剖析	付建忠 (152)
双调型贯流式水轮机组导叶与桨叶协联优化	张立春 (157)

生 产 技 术

“黑启动”试验在十三陵抽水蓄能电厂	黄继宏 (165)
抽水蓄能电站首台机组首次启动方式的分析比较	赵常伟 (171)
低比速水泵水轮机与稳定性运行探析	胡旭光 (175)
潘家口抽水蓄能电厂辅机控制系统改造	王晓东 (178)
基于随机生产模拟原理的潘家口 3 台蓄能机组经济效益分析和计算	金 军 (181)
天荒坪抽水蓄能电站黑启动功能分析	易承勇 (187)
发电智能巡检系统的研究与实现	周 坤 (191)
机组励磁变压器保护的 analysis 计算与配置	李建光 金根明 (196)
琅琊山电站机组变频启动时转子位置计算的介绍	汪卫平 (201)
泰安抽水蓄能电站 2 号机组推力轴承温度高原因分析及处理	葛军强 (205)
桐柏抽水蓄能电站 500kV 线路保护出口继电器和 ABB 跳闸回路监视继电器不匹配问题的处理	陈 敏 (209)
我国能源结构调整形势下抽水蓄能发展有关问题探讨	刘殿海 (211)
SBO250-39X 型技术供水泵结构改造	苏胜威 (215)
浅谈氧化锌避雷器在防雷方面的应用	梁廷婷 (217)
自动旋转反冲洗滤水器在十三陵抽水蓄能电厂的应用	宋湘辉 (219)
桐柏抽水蓄能电站下水库坝身溢洪道过流试验	赵贤学 黄建德 (222)
抽水蓄能机组电力系统稳定器的应用	孟繁聪 (225)
KKS 编码在新源生产管理系统中的应用	黄祖光 王 霆 (231)
发电机转子交流阻抗和功率损耗分析	鞠景宝 (235)
琅琊山抽水蓄能电站的轴电流保护	吴培枝 (238)
蓄能机组监控系统运行中的故障原因分析及处理	柴 佳 (241)
回龙 1 号机组水导轴承瓦温升高原因分析	马 健 毛 羽 (243)
蓄能机组抽水工况下无功调节问题分析	郭大敦 (245)

抽水蓄能在电力系统的节能减排作用	刘殿海 (249)
国产监控系统在机组进口监控系统改造中的应用	李志华 (252)
潘家口抽水蓄能电厂计算机监控系统结构和上位机系统功能介绍	徐晓楠 (257)
浅析潘家口抽水蓄能电厂机组监控系统软件设计及实现方式	柴 佳 (259)
EDMS2001 电能数据管理系统在电厂计量系统的应用	黄继宏 (266)
DOTNET 在泰安抽水蓄能电站管理信息系统中的深入应用	周 坤 (270)
浅谈保证二次回路系统安装调试质量的方法及理论分析	刘传文 (273)
潘家口抽水蓄能机组电气调节装置改造	刘凤桐 (277)

水 工 安 全

山东泰山抽水蓄能电站坝后渗水源分析	李少春 (287)
桐柏抽水蓄能电站下水库混凝土面板堆石坝选用坝身溢洪道 安全性和经济性初探	赵贤学 沈益源 (293)
华东桐柏抽水蓄能电站水土保持工程实施情况介绍	张士平 (297)
抽水蓄能电站压力管道放空的实施过程与关键技术环节分析	谢 琛 张秀梅 (301)
潘家口下池大坝安全监测自动化系统改造工程设计	赵庆忠 吕爱萍 (307)
回龙电站高压引水洞放空检查报告	韩晓涛 李东辉 蔡建鹏 (313)
十三陵抽水蓄能电厂上池进出水口闸门控制系统改造	黄继宏 王志刚 (319)
潘家口下池水库大坝位移监测设计	吴立刚 (324)
廊道伸缩缝渗漏分析及处理	张桂英 (328)
潘家口下池坝真空激光观测系统性能测试	吴立刚 (332)

信 息 技 术

统一用户认证系统的设计与实施	周 坤 (337)
抽水蓄能中的 SIS 系统	刘凤元 (341)

抽水蓄能技术论文集

2010

电力检修



球阀运行常见问题分析与处理

项 杰

(华东天荒坪抽水蓄能有限责任公司 浙江安吉 313302)

【摘 要】 重点介绍了天荒坪抽水蓄能电站球阀投运以来工作密封盘根改造、枢轴密封漏水、工作密封投退闭锁等主要问题的分析和处理，对提高球阀的安全可靠运行有一定的借鉴作用。

【关键词】 抽水蓄能电站 球阀 工作密封 枢轴

1 概述

天荒坪抽水蓄能电站装机容量 1800MW，最大水头 607m，最高扬程 614m，是国内已投产水头/扬程最高的抽水蓄能电站之一。该电站为日调节纯抽水蓄能电站，上下库之间布置两条直径为 7m 的引水隧道，上游为一管三机，尾水为单洞单机，地下厂房内布置 6 台水泵水轮机，分别通过 6 条直径为 4.4m 的尾水隧道至下库。为了地下厂房上游侧运行安全和减少机组漏水量，在每台水泵水轮机组蜗壳进口段与高压钢管之间各布置了一台球阀。其结构为横轴双面密封结构，采用油压操作，起着机组正常停机和事故停机时截断上游来水的作用。

整个球阀系统由挪威 KVAERNER 公司供货，主要包括球阀本体系统、电气控制系统以及油压操作系统等。球阀采取双接力器油压操作结构，上下游各设有一道金属密封，分别作为检修密封和工作密封，采用压力钢管压力水作为操作介质。正常运行状态下，检修密封保持退出状态，而工作密封随球阀的开关而自动完成投退。

天荒坪抽水蓄能电站作为华东地区的大型抽水蓄能电站，自投运以来，满足了系统调峰填谷、事故备用的要求，对华东电网的安全可靠运行作出了自己的贡献。

2 存在的主要问题与处理情况

随着机组的频繁起停，球阀的开关次数也由 1999 年的 1703 次上升到 2003 年的 5446 次，而在 2006 年依然保持在 4994 次（参考机组起停统计数据）。平均每天有 13~14 台次的球阀开关操作，动作相当频繁。经过多年运行，球阀也发生了一些缺陷，主要包括原设计的球阀工作密封“O”形盘根经常性损坏、球阀枢轴轴承转动并挤出、枢轴密封损坏漏水、球阀工作密封操作闭锁管路接头脱落导致工作密封误投损坏、位置开关和压力开关故障等，影响机组正常可靠运行，这当中有当初的设计缺陷和安装质量问题，也有后期频繁运行等因素的影响。经过不断开展球阀运行分析和技术改造工作，取得了一些较好的效果，为球阀系统的可靠运行创造了良好条件。

2.1 球阀工作密封盘根经常性损坏

球阀工作密封由活门固定密封环和不锈钢活动环组成，同时通过与阀门壳体（堆焊有不锈钢层）、不锈钢活动环、工作密封支撑环以及相关盘根构成密封的投入腔和退出腔。当投入腔接通操作压力水而退出腔接通排水时，密封投入；反之密封退出，也就是说通过控制密封投退腔操作水压力实现密封环的投退。图 1 中 8、9、10、11 等均采取优质丁腈橡胶材料，硬度为 70 SHORE，断面直径为 13mm，整圈长度超过 6m。

球阀设备自投运以来，工作密封“O”形盘根经常性出现扭曲、断裂、剥皮脱落等问题，造成工作密封无法正常投退。特别是 2004~2006 年随着机组的频繁运行，出现问题的几率就大大增加，几乎

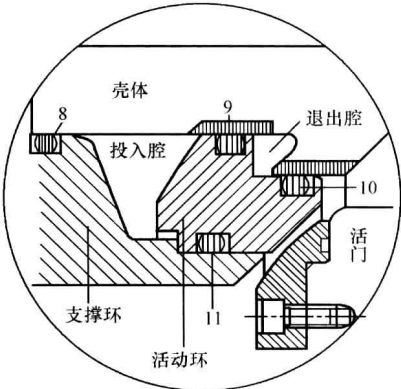


图 1 球阀工作密封盘根结构图

每年有 3 台次球阀进行工作密封“O”形盘根检修更换。从历年来运行对球阀工作密封检修情况来看，球阀的 8、9、10、11 四道盘根中，8 号盘根为静密封，检修未发现有明显损坏的情况；9 号盘根和 10 号盘根的损坏情况相似，盘根有明显剥皮现象，同时沿被剥开的方向有一条明显的被挤压的痕迹，其中 10 号盘根出现问题更为严重，其靠近密封的下端部有一段存在被挤扁现象，但 9、10 号盘根均未出现扭断的现象；11 号盘根则出现盘根扭转和断裂现象。

一开始制造商认为损坏的主要原因是“O”形盘根的硬度太低、接头不良所致。因此“O”形盘根改用硫化丁腈橡胶材料，硬度也从 70 SHORE 增加至 85 SHORE，接头也改成了 45°的斜口接头，并通过厂家直接用热熔结方式进行黏结，解决了现场黏结质量问题。从改进后运行情况来看，盘根使用周期略有延长，其中 9 号盘根运行情况有明显改善，但 10、11 号盘根问题并没有很好地解决。

鉴于 9、10、11 号盘根运行情况不同，从工作密封活动环和其支撑环的材质、结构以及加工精度情况进行了比对，见表 1

表 1 9、10、11 号盘根对比表

位 置	9 号盘根	10 号盘根	11 号盘根	支撑环
密封槽高度 (mm)	10.5	10	9.5	—
密封槽宽 (mm)	15	17	17	—
表面加工精度	3.2	3.2	3.2	0.8
材 质	不锈钢	不锈钢	不锈钢	碳 钢

其中 10 号盘根槽两侧高度在加工上略有区别，靠退出腔盘根槽侧为 $\phi 2118^{+0.48}_{-0.28}$ ，而外侧为 $\phi 2118^{-0.3}_{-0.3}$ ，盘根槽外侧设计间隙较大，盘根在活动环高速投退运动中容易被挤入间隙而受损，特别是在盘根硬度相对较低、润滑效果不佳的情况下更容易发生。9、10 号盘根的球阀壳体接触面衬有粗糙度为 1.6 的不锈钢层，而 11 号盘根是与支撑环密封面接触，其材质和表面加工精度与活动环有一定区别，“O”形盘根两侧接触面的摩擦系数不同，同时其密封槽高度相对最低，盘根压缩率比其他要大些，故其更容易出现扭转甚至是扭断现象。所以“O”形盘根损坏的主要原因除盘根槽设计尺寸以及盘根槽结构间隙不合理、盘根硬度相对较低、现场接头工艺不良等原因外，“O”形盘根的抗扭转能力差等本身特性无法满足球阀密封快速投退要求也是造成盘根损坏的重要原因。

为进一步解决球阀工作密封盘根剥皮脱落及盘根扭曲断裂问题，2006 年开始与相关专业厂家一起开展了盘根改造。一方面将盘根的材质硬度提高到 90 SHORE，另一方面将“O”形盘根改为“D”形盘根，在密封槽内形成相对固定，以增强其抗扭转能力。严格按照盘根的实际安装长度在厂家直接黏结成型，有效地确保了盘根的黏结质量。另外，加强了现场安装的工艺要求，淘汰了以往采用黄油作为润滑剂的工艺标准，而采取防水效果更好的二硫化钼润滑剂，确保盘根在较长运行周期内的有效润滑问题，大大减低了盘根在高速运动中的摩擦力。通过近三年的实际运行，未再出现以往的明显剥皮脱落、扭转断裂等问题，表明上述改进措施的实施，能够有效地弥补“O”形盘根使用中的不足，延长工作密封盘根的实际使用寿命。

2.2 球阀枢轴轴承转动和密封损坏漏水

在球阀运行早期，曾出现球阀枢轴轴承转动并挤出，损坏枢轴“U”形密封，导致枢轴严重漏水。为防止轴承在球阀操作过程中因阀体偏心受力不均引起转动，在轴套和轴瓦之间增加了销钉，部分球阀轴套和外侧压盖之间还加装了固定销钉。针对轴承挤出损坏密封问题，在“U”形密封与轴承之间增加了挡环，上述措施的落实对防止轴套的转动和挤出起到了很好的支撑作用，也保护了枢轴“U”形密封。

球阀枢轴轴承挤出容易导致枢轴“U”形密封损坏漏水，虽增加了枢轴轴承挡环，但枢轴还是经常性、时断时续地出现漏水，主要原因是枢轴密封效果不佳：一是密封面锈蚀，表面粗糙度变差影响密封效果，为此所有枢轴端盖进行了重新处理，在密封面衬了一层不锈钢材料，提高其表面粗糙度，在安装过程中，改用质量高、耐水效果佳的盘根润滑剂；二是球阀转动过程中因球阀两侧压力变化而出现的枢轴偏心，导致枢轴“U”形密封密封效果不佳。由于球阀两侧水压差较大，枢轴轴承周边间隙不均匀，上游侧与下游侧最大偏差可超过 0.8mm，这对“U”形密封的安装和实际运行中的密封效果有很大制约。特别

是原“U”形密封 NM86/80LF 硬度较高, 压缩补偿效果一般, 所以球阀枢轴漏水就容易经常性、时断时续地出现。目前正在试用的一种方法是采用 526B 聚醚聚氨酯三层叠加“V”形密封, 同时在其两端增加塑料支撑环和压环。一方面相对原“U”形密封安装困难问题, 新密封采用分层结构, 弹性量增加, 更易于现场安装。另一方面, “V”形密封内外侧唇口尺寸进行了调整, 提高其间隙补偿功能, 以满足枢轴间隙因偏心问题而引起的间隙不均匀现象。

2.3 球阀工作密封投入闭锁失效导致误投损坏

球阀工作密封投入液压闭锁的功能是在球阀开启或关闭动作过程中, 确保密封在完全退出状态。球阀接力器开启侧连接有闭锁油管, 直接连接到密封的投退控制阀, 在闭锁油管和球阀接力器开启侧供排油管各设有一节流孔, 通过不同的孔径配合控制各自的油流流速。正常情况下, 在接力器完全关闭后闭锁油管内油压方可逐渐泄完, 从而解除对工作密封投入的闭锁关系, 以确保工作密封在球阀未在关闭状态下异常投入。另外, 球阀 PLC 通过工作密封投入腔压力信号判断工作密封是否在投入状态。

球阀工作密封自投运以来运行一直较为稳定, 该闭锁方法的可靠性较高。但也存在闭锁条件单一, 没有其他冗余闭锁条件, 如球阀全关信号等, 一旦闭锁油管路出现问题将直接导致工作密封的异常动作。在 2006 年 6 号机组球阀在关闭过程中, 球阀开度大于 90% 时, 即出现工作密封异常投入而导致密封件损坏, 原因就是闭锁油管路一胀圈接头受球阀关闭时接力器下腔压力瞬时变化的影响而脱开, 导致工作密封投退控制阀闭锁油管路失压而动作。

胀圈接头在高压管路上的应用较为广泛, 但在实际应用中, 出现胀圈松动或脱落现象屡有发生。特别在振动大、经常性需要拆除管路进行检修的部位更容易出现胀圈接头松脱现象。针对上述问题, 将胀圈接头全面更换成了配备高压“O”形密封的焊接式锥形密封接头, 对影响球阀枢轴检修而经常性拆除的控制管路(包括工作密封闭锁管路等)进行了移位和加固, 避开球阀枢轴检修对其装拆影响, 尽量减少管路的拆装次数。同时, 做好管路及其接头的日常检查和维护工作, 相对于胀圈接头, 焊接式锥型密封接头的运行情况更容易检查和确认。

天荒坪电站的球阀下腔闭锁油管闭锁密封投入有其独特之处, 但为考虑其投入的可靠性和球阀运行的安全性, 可以考虑增加球阀全关信号作为其投退的闭锁条件外, 将工作密封投/退腔压力信号及其位置开关信号同时作为球阀开启和关闭的闭锁条件。

2.4 工作密封活动环导向销断裂

工作密封活动环在正下方右偏 22.5° 固定有一导向销 ($\phi 12 \times 65$), 在支撑环对应设有孔径为 20mm、孔深大于 36mm 的导向孔。通过导向销进行引导, 并可防止活动环发生转动。在实际运行中, 多次出现工作密封位置开关信号丢失现象。由于工作密封投退位置开关信号是通过固定在活动环上的三个“L”形挡块控制位置开关指示杆, 三个位置开关沿活动环圆周方向呈“Y”形径向分布, 一旦指示杆与挡块脱开即会失去指示功能。所以, 位置开关信号丢失的原因, 主要就是活动环发生转动, 导致挡块位置偏离指示杆位置。而活动环发生转动的原因, 就是导向销沿固定丝牙根部发生断裂所致。

导向销断裂与其丝牙根部应力集中、超过其疲劳极限有关。一方面转动环在实际运行中由于盘根安装等原因存在转动的可能; 另一方面一旦导向销因为安装或活动环动作不均匀等原因导致与销孔非平行接触, 就很容易在活动环的快速投退过程中发生疲劳断裂。为此采取的措施是采用高强度不锈钢螺栓替代材料, 严格安装工艺, 保证其安装的垂直度, 在销孔内涂抹润滑剂以减小其摩擦力。

3 结束语

目前国内已建或在建的高水头抽水蓄能电站越来越多, 球阀作为主进水阀的功能亦显突出, 其运行的安全与可靠性直接影响整个电站运行的安全与稳定。天荒坪抽水蓄能电站通过多年的运行和技术改造, 提高了球阀运行的安全可靠, 也为其他电站安全运行提供了参考。

多套参数同期装置在抽水蓄能电厂同期回路中的应用

施美霖

(北京十三陵抽水蓄能电厂 北京昌平 102200)

【摘要】 北京十三陵抽水蓄能电厂自动准同期装置为监控系统集成的一种同期模件,该模件只能设置一套同期参数。而抽水蓄能电厂存在多种运行工况,不同工况下的同期并网条件并不相同。一套适合发电工况的同期参数,在其他工况下机组并网,给机组带来了一定的电气冲击。文章通过北京十三陵抽水蓄能电厂对其同期控制回路的改造,系统地论述了可选择多套参数的南瑞 SJ-12C 同期装置在抽水蓄能电厂中多种工况下同期并网的成功应用,为其他抽水蓄能电厂在同期回路设计和改造提供了借鉴作用。

【关键词】 多套参数同期装置 抽水蓄能电厂 多种运行工况 同期回路改造

0 引言

北京十三陵抽水蓄能电厂装有 4 台 200MW 混流可逆式水泵水轮机组,是华北电网的第一调频电厂,主要担负电网的调峰、调频和紧急事故备用电源作用。机组具有发电、发电调相、抽水、抽水调相、背靠背和黑启动等多种运行工况。抽水启动主启动方式为变频器启动,后备启动方式为背靠背启动。机组采用单元接线,准同期并列方式。

北京十三陵抽水蓄能电厂电气一次主接线采用高压同期方式,即发电机低压侧不设断路器,由 220KV GIS 开关进行高压同期。正常情况下,机组在发电、抽水等五种稳定工况下运行,机组同期并网有发电同期、变频器同期、背靠背同期三种方式。这三种同期方式的转速调整对象和参数、同期越前时间均不相同。

1 机组同期并网现状

北京十三陵抽水蓄能电厂原来采用的同期装置为加拿大贝利监控系统集成的 TAS 01 自动准同期装置。该同期装置仅能设置一套同期参数,同期条件主要考虑发电同期方式,因此在机组变频器同期、背靠背同期时机端电压和系统电压压差较大,同期合闸时给发电机带来一定电气冲击。

由于抽水蓄能机组担负电力系统的削峰填谷、调频和调相功能,机组启停频繁,一般每天工况变化七八次以上。为减少抽水蓄能机组作为发电工况运行以及作为水泵工况运行时电网对机组的冲击,同期并网控制一般由同期装置完成。相比常规水轮机组,抽水蓄能机组同期时需监视或控制的参数不仅只是被启动机组本身的导叶开度和励磁电流,而且还包括拖动机组的转速或变频器频率等。由于抽水蓄能机组在发电、抽水并网工况有较大差异,这样就造成了机组在发电并网情况较好时,在抽水并网时就会出现合闸角度偏差较大、对电网冲击大等情况。

针对该厂同期并列中存在的缺陷,提出了对同期装置有多套参数的要求。对于不同同期方式选择不同的同期参数来减少同期电压的压差,优化机组同期并网条件,从而减少机组并网时的电气冲击。

2 抽水蓄能机组同期控制原理及过程

抽水蓄能机组同期并网不同于普通水轮发电机,它能以水轮机和水泵两种方式同期并网。

机组做水轮机工况运行时,水轮机同期并网是由同期装置、调速器和励磁系统共同完成的,同期装置检测到频率偏差信息后,随即输出信号给调速器,通过调速器改变机组的频率,通过励磁系统改变机组的电压,一旦频率差和电压差均满足同期条件时,同期装置按照相角差相等的原则发出同期合闸命令。

机组做水泵工况运行时,水泵同期并网控制是由同期装置、变频器(在背靠背启动时是背靠背发电启

动机组)和励磁系统共同完成的,同期装置检测到频率偏差信息后,随即输出信号给变频器,调节变频器的输出频率,以此改变机组的频率,通过励磁系统改变机组的电压,一旦频率差和电压差均满足同期条件时,同期装置按照相角差相等的原则发出同期合闸命令。

由于水泵同期前后是由不同的电源供电,要特别注意避免两电源同时供电的问题,即在同期前是由变频器(在背靠背启动时是背靠背发电启动机组)供电,同期后是由电网供电,为了避免同期时刻出现电网和变频器同时向水泵电动机供电的情况,在发同期令后采用同期断路器延时闭合的控制逻辑。控制过程是在水泵被调整到与电网同步运行后,同期系统发出“并网”指令,在此时刻以后的一段时间内变频器停止,切断水泵和变频器的供电回路,使水泵处在无动力状态,仅靠自身惯性继续旋转,此时水泵仍能保持与电网同步状态,在变频器停止后完成同期并网操作,水泵由电网供电运行。需要注意水泵同期应该是机组频率比电网频率高时发出并网命令,因为机组失去动力后转速会下降,如果断路器合上时机组的频率已经低于系统频率,那么会对电网产生一定冲击。

十三陵抽水蓄能电厂机组同期回路所采用的 TAS 01 同期装置只能设置一套同期参数,即它对于发电并网、抽水并网等工况的参数是相同的。这样就造成了机组在发电并网情况较好时,在水泵同期并网时,合闸角度偏差较大,断路器合闸声音也大,对电网造成较大冲击等问题。根据机组同期并网存在的以上问题,该厂采用了南瑞自控公司(简称南瑞)生产的 SJ-12C 自动准同期装置替代原同期模块,同期回路依然利用原有同期装置使用的增速、减速、升压、降压控制回路。新的同期装置可以针对不同的同期情况设置不同的同期参数,从而完成机组的三种同期并网功能。

3 同期回路改造方案

2007 年 4 月,利用电厂 3 号机组停电检修以及 5 母线停电机,对机组的同期控制回路进行改造。经过对技术指标、可靠性和经济效益等多方比较,确定如下同期改造实施方案。

(1) 首先选用 SJ-12C 可选择多个同期对象的自动准同期装置,用于大型抽水蓄能机组发电同期、变频器同期、背靠背同期等多种工况同期方式。

鉴于同期操作在电力系统中的重要性,安全可靠是首要考虑的问题。同期装置在任何情况下都不应误发合闸脉冲;在外界各种异常情况下,装置应能有效地闭锁合闸输出。

本次同期改造采用 SJ-12C 双微机准同期装置加入同期回路,该装置为双微机系统,二系统间互相独立,因而装置具备很高的可靠性。采用现代控制理论对合闸相角差进行预测控制,对被同期对象的电压、频率实行变参数调节,提高了同期精度,同时提高了并网速度。并且可支持多达 16 个不同类型的同期点的自动准同期对象,每个对象的同期参数可以分别设定,互相之间没有任何联系。这样就可以根据该厂发电、SFC 抽水及背靠背抽水三种不同工况设计三套参数,用传统的 PID 调节方式对电压和频率进行调节,快速、平稳地达到并网条件,然后进入捕捉相角差的过程。采用最小二乘法原理,根据相角差采样数据利用残差递推等方法预报同期点。这种方法可以避免受到太多采样误差的影响,大大提高了合闸精度,实现并网优化控制,提高并网速度。

与传统的同期装置相比,该装置新增了以下功能:

1) 合闸相角预测功能。装置采用现代控制理论对合闸相角差进行预测控制,对被同期对象的电压、频率实行变参数调节,提高了同期精度,同时也提高了并网速度。

2) 通信功能。在自动化要求越来越高的监控系统中,自动准同期装置与外部系统的联系越来越重要。因此,装置提供了与后台通信的 RS-485 接口,并遵从开放的 MODBUS 通信规约,这样装置可以方便地纳入各种控制系统。

3) 录波功能。同期过程可以由装置自动记录下来,通过串口传送到后台软件上显示。该项功能使得在没有录波装置的情况下,检测并记录同期效果成为可能。这将有助于用户检测接线及参数设置,大大方便了调试过程。这项功能对 CPU 提出了更高的要求:交流采样要求 CPU 有更高的速度和计算能力,录波数据的存储需要更大的存储空间。

4) 合闸导前时间测量功能。根据断路器辅助节点开入信号计算断路器实际合闸导前时间。该合闸时间记录为合闸导前时间的设定提供参考。

5) 测试功能。可以对开入、开出回路进行测试,方便了工程调试。

6) 自诊断功能。防止同期装置自身故障而可能导致的水泵误同期现象,在同期测量系统中设置了自诊断功能。

(2) 根据抽水蓄能机组的三种同期方式,在同期装置中设计了三套同期参数,实现了同期装置与调速器系统、励磁系统、变频器控制系统的最佳配合。

根据发电、抽水等不同工况下同期并网条件的不同,首先测试了各种工况下的导前角时间。发电工况的导前角时间主要考虑断路器合闸动作时间,SFC 抽水工况的导前角时间考虑变频器停止时间、启动回路断开时间、断路器合闸动作时间,背靠背抽水工况的导前角时间考虑发电启动机组回路断开时间、断路器合闸动作时间。通过现场调试,反复试验,优化同期参数,实现了同期装置与调速器系统、励磁系统、变频器控制系统的最佳配合。

(3) 解决了国产同期装置与进口监控系统之间的配合问题。

将 SJ-12C 双微机自动准同期装置引入同期回路,代替原贝利同期模件 TAS 01 进行并网合闸控制。在 3 号机组改造中,保留了原同期装置 TAS 01 模件电压检查功能,即当 TAS 01 检测到发电机机端电压达到额定值 33% 以上,系统电压达到额定值 75% 以上,TAS 通过 DCS 内部总线送“电压品质好”信号给 DCS 主控制器 MFP,MFP 判断“发电机机端电压大于额定值 85%”条件同时满足时启动同期装置,监控系统 MFP 判断当前工况并将工况信息通过 DCS 的 DO 模件开出送到自动准同期装置并将控制权交予同期装置。自动准同期装置对待并两侧电压进行采集处理、计算频率差和相角差;自动识别同期工况、发出调速脉冲与调速器配合进行调节发电机转速,捕捉同期条件,并最终发出同期合闸脉冲,完成并网控制。在回路中有监控系统配备的同期检查继电器进行同期合闸闭锁。当同期装置故障或同期不成功时,送“同期装置故障”信号给 DCS,由 MFP 作告警在操作员站上显示。同时在 MFP 控制组态中设定闭锁,在同期装置故障时判断“预启动条件不满足”,不允许开机。3 号机组改造后,对控制回路进行了持续改进,取消了原同期模件电压检查功能,由监控系统组态选取机端电压模拟量来判断机端电压建立情况,参与机组同期控制。这样完全脱离了对原同期模件的依赖,进一步提高了同期回路可靠性。

4 同期改造实施过程

同期回路改造主要经历了监控组态修改,解决同期装置与监控系统之间的软件配合问题;同期装置的校验、安装,对装置的准确性和精度进行检查;装置与贝利监控系统的硬线连接,实现机组调节和同期并网功能;最后完成相应的调试试验,检验同期改造成果。

4.1 监控组态修改

新改造的同期控制回路由一个 SJ-12C 双微机自动准同期装置、外部切换继电器、原回路同期检查继电器组成。

(1) 首先通过对监控组态的修改,解决了同期装置与监控系统之间的接口问题。

为了满足同期装置所需的工况选择条件,在监控组态中增加了发电工况、SFC 抽水工况、背靠背抽水工况、同期启动命令四个开关量输出信号送到同期装置;同时由同期装置送出“同期装置故障”信号送到监控系统作为同期允许的判断条件之一。

(2) 为了验证监控系统信号传输的正确性,修改组态前对监控系统的通道进行测试。

4 个 DO 测试方法:在工程师站上修改组态,强制四个开关量 DO 输出为 1。在现地控制柜测量相应的端子板端子均导通,表示通道正常。

1 个 DI 测试方法:在现地控制柜短接端子板相应端子,外部强制 DI 为 1。在工程师站上观察对应的块地址变为 1,表示通道正常。

4.2 自动准同期装置安装

(1) 为了保证同期装置接入监控系统的正确性,首先设计了新同期装置的同期原理接线图,完成装置回路逻辑的审核、与监控系统连接端子的确定、图纸接线标识的正确性核对等工作。

(2) 同期装置采用 220V 交流电源供电,取自监控控制柜电源配电装置出口。监控电源配电装置由四路电源通过两个逆变电源供电,能够保证同期装置电源的可靠性。

系统电压和母线电压从 TV 二次侧到监控 GA07 控制柜,直接接入同期装置,减少了原回路转接的中间环节,降低了相序接反的可能。

4.3 同期控制回路安装

(1) 由于原同期控制回路中使用的同期模块与监控系统自成一体,所以同期回路的逻辑判断是在软件内部实现的。根据新增加的同期装置需要,对同期控制回路进行了相应的修改。设计了新的同期控制回路图,主要解决了原同期回路与南瑞同期装置的衔接问题。

(2) 根据新增的同期控制原理图,重新布设了 5 根电缆完成同期装置与监控系统之间电源、信号等的连接。

4.4 同期装置的调试

为了保证同期装置正确、准确正常工作,对同期装置进行参数设定、参数校验和精度校验。

(1) 同期参数设定。根据不同工况下的同期时间延迟不同,在同期装置中设计了三套同期参数,并在现场测试不同工况下同期延迟时间,通过现场调试确定、优化同期参数,分别进行试验,实现与调速系统、励磁系统、变频器控制系统的最佳配合。

(2) 同期参数校验。使用继电保护校验仪,根据设定好的三种不同工况的同期参数,分别检验同期装置的频率调整性能、频差闭锁功能、电压闭锁功能以及合闸脉宽的时间,试验结果均满足设定值的要求。

(3) 装置显示精度校验。使用继电保护校验仪向同期装置通标准电压信号,模拟机端 TV 值和系统 TV 值。同期装置试验启动,检查同期装置显示的电压值、频率值,试验结果能够满足同期装置精度要求。

4.5 系统调试试验

(1) 同期核相试验。为了验证同期相位的正确性,检查同期装置接线的正确,检查新改造的同期控制回路的工作情况,在线路不带电的情况下,手动启动机组发电。通过试验验证了机端电压与系统电压相位波形的一致,同期控制回路工作正常。

(2) 机组假同期试验。为了验证监控组态修改后机组开机流程的正确,检查同期装置与监控系统配合情况,检验设定的同期参数满足同期并网条件的工作情况,在线路恢复供电的情况下,自动启动机组发电。通过假同期试验,验证了同期装置正确发出同期合闸脉冲,合闸瞬间满足机组同期并网的各个条件。

5 应用效果检查

经过对多套参数同期装置的应用及同期控制回路的改造实施,机组进行发电工况、变频抽水启动、背靠背抽水启动运行。在不同工况下,同期装置选择相应工况同期参数,同期并网瞬间,在故障录波仪上记录下并网时的发电机电流,从录波波形可以看出,冲击电流明显减小;现场可以听到断路器合闸并网时声音明显减小,在各种工况下机组实现了平稳并网。

由图 1 和图 2 可以看出,同期改造前机组抽水调相并网时发电机机端电流为 1.640A,改造后抽水调相并网机端电流为 0.435A,冲击电流降低 73%。

3 号机组同期改造于 2007 年 4 月完成,自投运以来,该套系统工作可靠,运行稳定,性能优越,减少了设备的维护量。截止到 2007 年年底 3 号机组累计抽发并网 239 次,成功率 100%,达到了预期的效果。

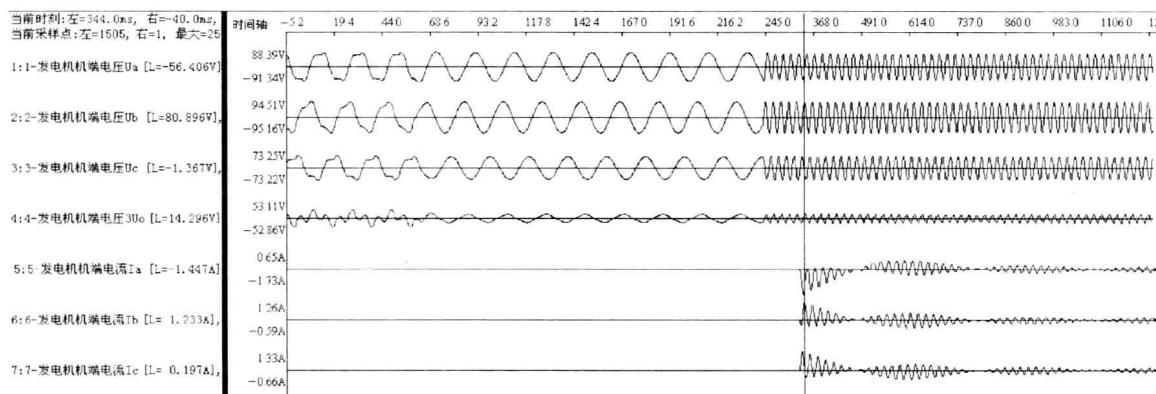


图1 改造前抽水调相工况并网波形

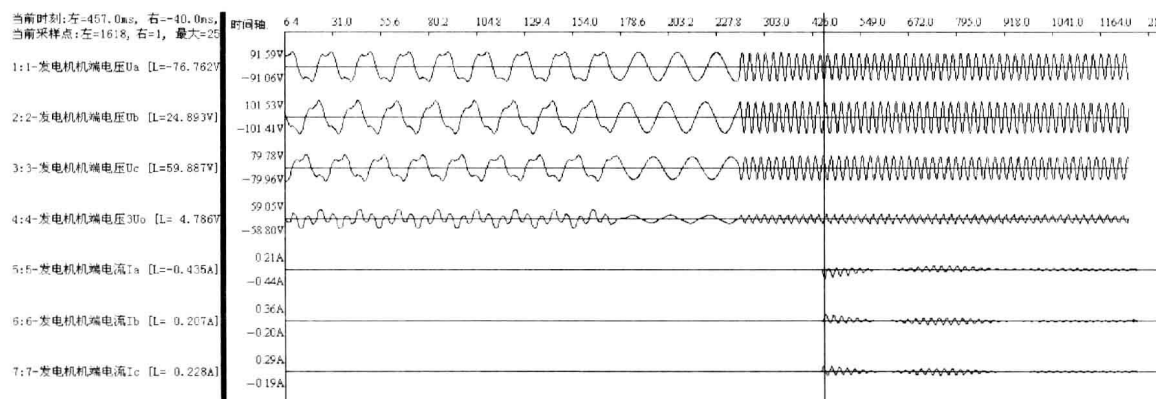


图2 改造后抽水调相工况并网波形

6 效益分析

6.1 缩短了同期并网时间, 加快了机组启动速度

南瑞 SJ-12C 型同期装置拥有多套参数可供选择, 通过对监控流程组态的修改, 增加发电启动、变频器 (SFC) 抽水启动和背靠背启动等开出点进行参数选择, 使机组启动工况与同期参数一一对应。通过多次试验, 使同期参数与机组调节性能达到最优匹配, 加快了并网时间, 平均并网时间较以前有 30s 的提前, 突出了抽水蓄能电厂随调随启, 启动迅速的特点。此外增加对同期装置故障的监测, 发现同期装置故障时及时处理, 避免启动不成功的发生。

6.2 减小了并网冲击, 延长了设备使用寿命

准同期并列都存在拉入同步的过程, 将产生机组与电网的有功振荡, 振荡过程中产生对轴系的周期性扭力, 可能造成大轴和固定部件的机械损伤。振荡过程中由于周期性转差变化在转子绕组中引起感生电流, 引起转子绕组发热。多套参数同期装置的成功应用, 使并网冲击大大减小, 减小了并网时机组的机械和电气损伤, 从而可以延长机组使用寿命和检修维护周期。

6.3 提高了主设备的可利用率, 降低了生产维护费用

同期装置的成功应用使并网冲击大大减小, 即当机端电压与系统电压差近似于零时合上同期开关的主触头, 减小了同期开关主触头上的电弧灼伤, 减缓 SF₆ 气体劣化速度, 从而可以延长 GIS 组合开关的使用寿命和检修周期, 节省生产维护费用。

7 结束语

通过多套参数同期装置在大型抽水蓄能电厂中的应用, 缩短了机组并网时间, 提高了机组同期成功率, 解决了机组投产以来长期存在的并网冲击大的问题, 降低了对设备的损害, 提高了对电网的安全运行水平。该项应用成果具有推广价值, 对国内大型抽水蓄能电站机组同期装置技术标准的制定 (修订) 具有借鉴作用。