

一起二级坝泵站机组变频器故障处理

姚辉勇, 李庆义, 李 宝, 宋攀科

(南水北调东线山东干线有限责任公司, 山东 济南 250014)

摘 要:通过对南水北调东线一期山东段工程二级坝泵站机组变频器一起故障原因进行分析,找出原因所在并采取技术及管理措施加强设备安全运行,进一步提高设备的安全可靠运行效率,减少故障发生,提升调水工作效率,从而较好的提高经济效益,有力促进一渠江水向北流良好发展,积极响应人类社会的碳中和、碳达峰,有效推动人类社会绿色生活、生产,打造人类命运共同体,实现全社会绿色发展。

关键词:南水北调;二级坝泵站;机组变频器;故障处理;原因分析;防范措施

中图分类号: TP273

文献标识码: B

文章编号: 1672-5387(2024)04-0065-04

DOI: 10.13599/j.cnki.11-5130.2024.04.019

0 引言

南水北调工程是党中央、国务院根据我国经济社会发展需要做出的重大决策,是缓解我国北方水资源严重短缺局面和生态环境恶化状况,促进水资源整体优化配置的一项跨流域的重大战略性水利基础设施,对实现经济社会可持续发展有着极其深远的战略意义。其根本任务是通过补充客水资源,对当地水资源进行优化配置。根据2002年12月国务院批准的《南水北调工程总体规划》,南水北调东线一期工程山东段主要是缓解苏北、山东半岛和鲁北地区城市缺水问题,兼顾生态补水和环境用水,并为向河北、天津北延应急供水创造条件。规划工程规模为抽引江水 $500\text{ m}^3/\text{s}$,入东平湖 $100\text{ m}^3/\text{s}$,过黄河 $50\text{ m}^3/\text{s}$,送山东半岛 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 。每年可为山东省调引 13.53 亿 m^3 的长江水,将从战略上调整山东省的水资源时空布局,把山东骨干水利工程与南水北调配套工程形成互联互通的水网,实现长江水、黄河水、淮河水与当地水的联合调度、优化配置。南水北调是国之大事、国之重器,既是一条调水线,更是一条生命线。习近平总书记两次视察南水北调工程强调南水北调工程事关战略全局、事关长远发展、事关人民福祉的“三个事关”;是优化水资源配置、保障群众饮水安全、复苏河湖生态环境、畅通南北经济循环的“四条生命线”;要从守护生命线的政治高度,切

实维护南水北调工程安全、供水安全、水质安全的“三个安全”。以党的二十大精神为引领,加快补齐水资源供应保障能力的短板,为服务构建新发展格局、推动山东高质量发展,保障山东经济社会可持续发展提供强有力的水资源支撑。

南水北调东线一期山东段工程自省界台儿庄泵站开始向北历经七级泵站到达东平湖,出东平湖后分两路输水,一路向北穿过黄河向鲁北地区供水,一路向东向胶东地区供水,形成南北、东西两大输水干线。其中南北干线长 487 km ,东西干线长 704 km ,输水干线全长 $1\,191\text{ km}$,在齐鲁大地上形成南北畅通、东西互济的“T”字形输水大动脉和现代水网大骨架。干线工程静态投资达172亿元,动态投资约230亿元。一期工程供水范围涉及山东省的13个市、71个县(市、区),配套工程投资约270亿元。内容可概括为:“七站”、“六河”、“三库”、“两湖”、“一洞”。“七站”是指新建台儿庄、万年闸、韩庄、二级坝、长沟、邓楼、八里湾等七级泵站;“六河”是指疏浚扩挖韩庄运河、梁济运河、柳长河、小运河、七一、六五河、胶东输水干线渠道等六条河道;“三库”是指新建东湖、双王城和大屯三座调蓄水库;“两湖”是指防渗影响处理和局部疏通南四湖、东平湖两座大型湖泊;

收稿日期: 2024-03-12

作者简介: 姚辉勇(1978-),男,高级工程师,从事工程管理及调水运行管理等工作。

“一洞”就是指的穿黄隧洞工程(见图 1)。

南水北调东线山东段工程位置图

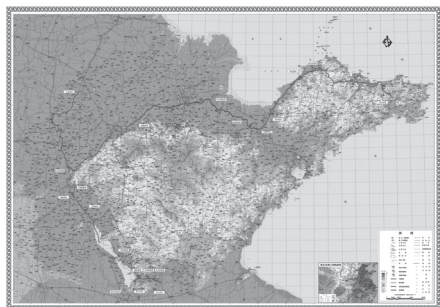


图 1 南水北调东线山东段工程位置图

1 工程概况

1.1 泵站概况

二级坝泵站工程位于南四湖中部,山东省微山县欢城镇境内,是南水北调东线一期工程的第十级抽水梯级泵站,山东境内的第四级抽水泵站。设计输水流量为 $125 \text{ m}^3/\text{s}$,设计站上水位(黄海高程,下同) 34.10 m ,设计站下水位 30.89 m ,设计净扬程 3.21 m ,平均扬程 1.99 m ,装机 5 台套后置式灯泡贯流泵(4 用 1 备),单机流量 $31.25 \text{ m}^3/\text{s}$,单机功率 $1\,650 \text{ kW}$,总装机流量 $8\,250 \text{ kW}$,多年平均设计装机利用时间 $4\,364 \text{ h}$ 。工程主要任务是将水从南四湖下级湖提至上级湖,实现南水北调东线工程梯级调水目标。

1.2 机组概况

南水北调工程作为“国之重器”着力助推战略性新兴产业的提升和节能环保等理念的推进,泵站在设计阶段就重点考虑节约能源,降低生产成本。泵站主机组配置 5 台 SIEMENS 完美无谐波空冷型 GEN3 高压变频器,属于级联 H 桥电压源型多电平变频器。规格型号:PH-6-6-1650;功率: $1\,650 \text{ kW}$;输入: $6\,000 \text{ VAC}$, 3 PH, 50 Hz , 193 A ; 输出: $0\sim 6\,000 \text{ VAC}$, 3PH, $0\sim 50 \text{ Hz}$, 200 A ;控制电源: 380 VAC , 3PH, 50 Hz , 20 A 。每台变频器有 18 个功率单元,对经过变压器降压的输入电进行三相整流,再经过大容量电解电容滤波后,通过 IGBT H 桥逆变后得到频率和幅值均可变的单相正谐波交流电。

2 故障描述

某年 12 月 11 日,二级坝泵站 3 号机组变频器在变频模式下开机正常稳定运行已有 20 余天,当日 18:55 变频器突然故障停机,变频器上、下级高压开关也随即跳闸。技术人员采用 NXG ToolSuite 从现场变频器控制系统调取变频器事件及故障记录得知

报警事件(如表 1 所示)。

表 1 故障记录表

故障时间	故障记录
12/11/** 18:55:05	Cell fault-A4 Control Power
12/11/** 18:55:05	Fault-Excessive Drive losses
12/11/** 18:55:06	Cell fault-A4 Bypass Verify Failed

通过故障记录发现该起故障过程先是变频器 A4 功率单元故障,然后出现变频器过损耗故障,随后跳变频器输入开关;由于功率单元失电,报 A4 功率单元旁路校验故障。(故障功率单元见图 2、图 3、图 4、图 5,典型功率单元原理见图 6)。

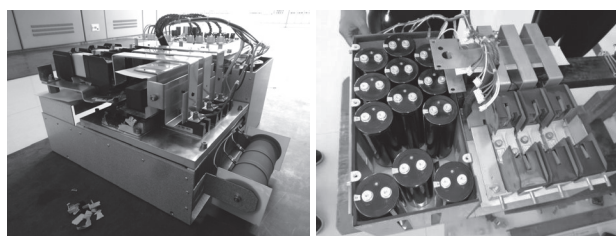


图 2 故障功率单元图

图 3 故障功率单元拆除图



图 4 功率单元故障位置 1 图 5 功率单元故障位置 2

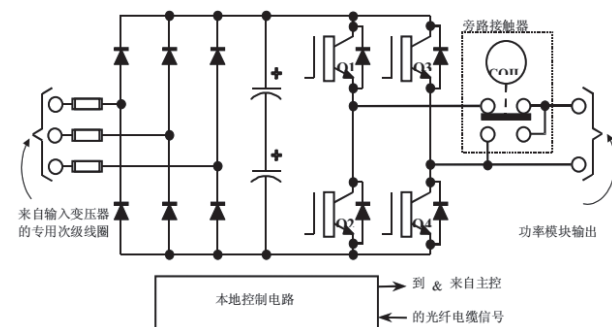


图 6 典型功率单元原理图

2 d 后维护单位到现场进行故障分析,经查询记录文件,显示当时变频器运行速度: 50 Hz ,变频器输入电压: 97% 额定电压;变频器故障时的输出电流: 大约 47% 额定电流。故障时无电压、电流异常波动情况。跳闸时记录如表 2 所示。

3 故障原因分析

3.1 故障分析

技术人员根据故障功率单元现场实物可以看

表 2 跳闸记录表

Rec No	Mtr Speed/%	Spd Dmd/%	Trq Cmd/%	Trq Fdbk/%	I Ou/%	V Avail/%	V RMS/%	Drive State/%
20	97.7	99.5	0.0	-0.2	0.4	90.4	96.6	IDLE
19	98.2	99.5	0.0	0.2	0.4	90.4	96.7	IDLE
18	98.6	99.5	0.0	0.1	0.4	90.4	96.7	IDLE
17	99.2	99.5	0.0	0.3	0.2	90.3	96.7	IDLE
16	99.4	99.5	0.0	0.5	0.2	89.9	96.7	IDLE
15	99.5	99.5	0.0	0.3	0.1	89.4	96.8	IDLE
14	99.3	99.5	0.0	0.1	0.1	89.4	96.8	IDLE
13	98.8	99.5	0.0	0.1	0.1	89.4	96.8	IDLE
12	98.5	99.5	0.0	0.1	0.2	89.4	96.8	IDLE
11	97.8	99.5	0.0	0.1	0.2	89.4	96.8	IDLE
10	97.4	99.5	0.0	0.0	0.2	89.6	96.8	IDLE
9	97.0	99.5	0.0	0.1	0.4	90.2	96.9	IDLE
8	96.6	99.5	0.0	0.0	0.4	91.4	96.9	IDLE
7	96.3	99.5	0.0	0.2	0.4	91.4	96.9	IDLE
5	95.7	99.5	0.0	0.3	0.4	91.4	96.9	IDLE
4	95.4	99.5	0.0	-0.1	0.4	91.4	96.9	IDLE
3	95.0	99.5	0.0	0.1	27.6	91.4	96.9	IDLE
2	94.7	99.5	0.0	0.3	27.6	91.6	96.9	IDLE
1	93.8	99.5	0.0	0.2	46.8	92.0	96.9	COAST
0	99.8	99.5	46.4	46.2	46.8	92.0	96.9	RUN
-1	99.8	99.5	46.4	46.2	46.8	92.0	96.9	RUN
-2	99.6	99.5	46.4	47.2	46.8	92.0	96.9	RUN
-3	99.6	99.5	46.4	46.1	46.8	92.0	96.9	RUN
-4	99.5	99.5	46.4	47.2	46.8	92.0	96.9	RUN
-5	99.7	99.5	46.3	46.6	46.5	92.0	96.8	RUN
-6	99.7	99.5	46.4	46.8	46.5	92.0	96.8	RUN
-7	99.7	99.5	46.4	46.6	46.5	92.0	96.8	RUN
-8	99.6	99.5	46.4	45.8	46.5	92.0	96.9	RUN
-9	99.5	99.5	46.4	47.0	46.5	92.0	96.9	RUN
-10	99.5	99.5	46.3	45.9	46.5	92.0	96.9	RUN

出:故障点首先是 Q3、Q4 两个 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor 绝缘栅双极型晶体管)故障,从而导致功率单元的正母线与负母线之间的电气短路,然后产生爆炸及电气弧光,并且对相关的电气部件产生波及损坏,主要包括:熔断器、整流桥、单元控制电路板、绝缘材料、相关线束等。

进一步结合现场管理单位有关人员对当时发生故障时的故障现象描述、事件记录分析、故障现场勘察及拆解、对单元控制板检测等方式,确认 3 号机组变频器故障是先 IGBT 模块故障,并导致功率单元故障,最终造成二级坝泵站 3 号机组故障停机。

3.2 故障原因

经厂家技术人员对现场 IGBT 模块等故障现象研究分析及检测结果,产生 IGBT 模块故障的原因是由于电气性能老化、绝缘性能降低等因素导致。

4 维修处理

维修前为保存有关数据资料,我们首先下载并保存该变频器故障、事件记录、历史记录、变频器参数及程序。检查参数及程序无变动,程序改动的原因及对设备运行的影响,检查分析变频器事件记录及对变频器潜在影响。

拆下 A4 故障功率单元,清理功率单元体灰尘,检查螺丝的紧固状态,使用精密电子清洁剂对功率单元控制电路板清洁;检查电容,无漏液、无鼓胀现象,安全阀无冒尖突出;测量功率单元电容容量并评估电容状态。测量整流模块及 IGBT 模块静态压降,测量值应均匀一致。

根据 A4 功率单元损坏的情况,本次故障维修需要更换零部件为:IGBT 模块 4 个、整流模块 3 个、熔断器 3 个、单元控制板 1 块、绝缘材料及电线线束等有关设备设施材料。维修后再检测整流模块及 IGBT 模块。

安装后要带载测试运行:运行变频器并增减负荷,用 NXG ToolSuite 观察输出电流转速等波形。如有异常情况,用示波器观察 SIB 板测量点输出电压、电流并与手册上的标准波形比较。

5 事故防范措施

(1) 二级坝泵站后置式灯泡贯流泵(4 用 1 备)配置 5 台 SIEMENS 变频器,合计 90 套功率单元。该设备自 2010 出厂至此次故障发生已经使用 10 多年。随着电子电气产品元器件逐渐老化,绝缘性能下降,故障突发事件的几率会相对增加,为方便现场管理快速及时应对突发状况,在现场储备 2 套备用功率单元及 3 块备用单元控制板,供应急更换维修使用。

(2) 进一步加强现场电气设备的点检维护。由于南水北调工程的特殊性、重要性,为确保调水安全平稳可靠运行,避免运行中出现突发故障。SIEMENS 完美无谐波变频器要定期进行预防性维护(PMA),非调水期对变频器进行清洁、紧固、对变频器进行电流传感器检测与 IGBT 欠饱和式保护测试、检查变频器可能存在的问题、消除安全运行隐患,确保电力电子器件处于良好状态,提高变频器的运行可靠性。

(3) 改善变频器高压电气设备运行环境。如采用 10 kV 等级的热缩绝缘套管将柜内母线、触头裸

表5 进水闸检修闸门主要结构件及零部件计算成果表

部位及计算类别	材料或型号	容许值	计算值
主梁前翼弯应力	Q235B	160 MPa	3.3 MPa
主梁后翼弯应力	Q235B	160 MPa	7 MPa
主梁剪应力	Q235B	95 MPa	1.1 MPa
主梁相对挠度	—	7.15	0.4
启门力	—	—	25 kN
闭门力	—	—	-15 kN

工作闸门孔口尺寸为4 m×2.4 m,设计水头2.09 m,设1扇平板定轮钢闸门。闸门采用上游面板,上游封水形式,悬臂轮支承,滚轮直径350 mm,主材采用ZG230-450。闸门门叶结构材料采用Q235C,埋件结构材料采用Q235B。闸门动水启闭,可控制开度运行,采用容量为QP2×50 kN-6 m固定卷扬式启闭机操作(手电两用)。

闸门按平面体系容许应力法计算,启门力按小开度平压启门计算,主要受力构件的应力分析成果见表6。

表6 进水闸工作闸门主要结构件及零部件计算成果

部位及计算类别	材料或型号	容许值	计算值
主梁前翼弯应力	Q235C	160 MPa	19.4 MPa
主梁后翼弯应力	Q235C	160 MPa	51.5 MPa
主梁剪应力	Q235C	95 MPa	11.2 MPa
主梁相对挠度		7.15	2.6
启门力			52 kN
闭门力			-15.8 kN

4 闸门防腐蚀措施

为减轻闸门的腐蚀,延长其使用寿命,减少运行中的维修工作量,闸门与埋件表面均采取长效防腐

蚀方案,即闸门门叶及埋件表面均采用热喷锌金属防腐加涂料封闭的综合防腐措施,涂料封闭底漆为环氧封闭漆,封闭中间漆采用环氧云铁,封闭面漆为改性环氧漆^[5]。埋件与混凝土接触面采用滚刷或喷涂掺胶水泥砂浆。

5 结论

安迪尔渠首除险加固工程位于安迪尔河下游,工程金属结构主要设置在渠首泄洪冲沙闸、泄洪闸、左侧进水闸处。泄洪冲沙闸共1孔,设1道检修闸门和1道弧形工作闸门;泄洪闸在泄洪冲沙闸左侧,共2孔,设有1道弧形工作闸门和1道检修闸门;进水闸在泄洪冲沙闸右侧,共1孔,设有1道检修闸门、1道工作闸门。本文对泄洪冲沙闸、泄洪闸、进水闸的检修和工作闸门主要结构件及零部件应力进行了分析计算,同时总结了闸门防腐蚀措施,为该工程建设运行提供了理论参考依据。

参考文献:

- [1] 杨健. 萨里克特水电站工程金属结构布置与设计[J]. 水利科技与经济, 2013, 19(4): 81-83.
- [2] 邓雪松. 大山口二级水电站工程金属结构的设计特点[J]. 水电站机电技术, 2013, 36(4): 52-54, 73.
- [3] 杨启龙. 阿湖水库除险加固工程金属结构布置关键技术浅析[J]. 海河水利, 2022(4): 124-126.
- [4] 翟维. 新疆台兰河一级水电站工程金属结构设计[J]. 科技信息, 2013(15): 421.
- [5] 杨健. 努尔加水库金属结构布置与设计[J]. 小水电, 2013(3): 40-43.

(上接第67页)

露部分有效包裹,避免因电弧而导致母线相间短路;对变频器场所增加空调降温、除湿;配电室主体建筑物做密封处理、电缆沟做防水处理等一系列措施。

6 结语

通过对事故进行原因分析,并采取技术及管理措施加强设备安全运行,进一步提高了设备的安全可靠运行效率,减少故障发生,提升调水工作效率,从而可以较好的提高企业经济效益,有力促进企业良好发展。同时可实现碳达峰、碳中和目标,有效推动人类社会绿色生活、生产,加快生态文明建设,在实现经济社会发展与生态环境保护协同等方面具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 沈其工,方渝,周泽存,等. 高电压技术[M]. 北京:中国电力出版社,2019.
- [2] 严璋,宋德恒. 高电压绝缘技术[M]. 3版. 北京:中国电力出版社,2019.
- [3] 李庆义,姚辉勇. 浅析一起空压机高压柜电缆室过电压保护器爆裂原因[J]. 自动化应用, 2023, 64(1): 48-49.
- [4] 李庆义,李宝,徐峰,等. 南水北调东线一期工程山东段穿黄河工程闸门调度运行管理风险探[J]. 水电站机电技术, 2024(2): 120-122.
- [5] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范: GB 50169—2016[S].