

天津港-华北石化原油管道项目 配电系统分析

梁新兰^{1*}, 杨成², 李凯², 张希夷¹

(1. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津 300457;
2. 中国石油天然气管道局, 河北 廊坊市 065000)

摘要:以天津港-华北石化原油管道项目为例,使用了 ETAP 软件进行电力系统潮流计算和短路计算,确保了电气设计的安全性、可靠性和经济性。

关键词:电力系统;潮流计算;短路计算;ETAP 软件

中图分类号:TM744

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)03-0201-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.03.051

Analysis on power distribution system for Tianjin Gang-Huabei Shihua crude oil pipeline project

LIANG Xin-lan^{1*}, YANG Cheng², LI Kai², ZHANG Xi-yi¹

(1. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Design Institute, Tianjin 300457, China;
2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

Abstract: Taking Tianjin Gang-Huabei Shihua Crude Oil Pipeline Project as an example, the ETAP software is used to calculate the electrical load flow and short circuit to ensure the safety, reliability and economy of electrical design. It provides the guidance for the power distribution system.

Key words: electrical system; load flow calculation; short circuit calculation; ETAP software

天津港-华北石化原油管道项目(以下简称津华线)是一条以天津港汇鑫油库为首站,经青县中间热泵站,至河北任丘合建末站的原油管道线路。各站的供电方式均为双电源供电,电源引自附近的变电站。各场站间电力系统相对独立,因而电力系统计算需分站进行。本文中以青县中间热泵站为例,介绍了电力系统计算中最重要的潮流计算和短路计算及 ETAP 软件在该项目中的使用。

1 潮流计算

电力系统的潮流计算是电力系统中一项最基本的计算,在电网规划阶段,通过潮流计算,合理规划电源容量及接入点,合理规划网架,选择无功补偿方案等^[1]。在电力系统设计阶段,电力系统潮流计算的目的是在确定的运行方式下,检查线路压降及母线电压是否满足规范及项目要求,及电气设备、电缆是否有过载情况。电压幅值、电压相角、有功功率和无功功率是表征电力系统运行的主要参数,潮流计算可以准确地计算出以上参数,为系统的其他计算,如短路计算、继电保护提供依据^[2]。ETAP 软件

提供了 3 种常用的潮流计算方法供选择,分别为高斯-赛德尔迭代法、牛顿-拉夫逊法和快速解耦法。

1.1 高斯-赛德尔迭代法

以节点导纳矩阵为基础的高斯-赛德尔迭代法是首先被应用到计算机求解潮流方程的方法,可以简称为导纳法。它具有求解原理简单,对计算机内存的要求比较小的优点。但是它的收敛性较差,只适合于小型的电力系统,当系统规模较大时,会因为迭代次数的急剧增长而导致算法不收敛^[3]。

1.2 牛顿-拉夫逊法

牛顿-拉夫逊法是基于导纳矩阵的求解方法,通常简称为牛顿法。由于导纳矩阵具有稀疏性,所以在计算迭代过程中计算速度有了极大的提高,并且牛顿法的收敛性很好,适合于求解非线性方程,是目前应用最广的求解电力系统潮流计算的方法^[4]。

1.3 快速解耦法

快速解耦法即为 P-Q 分解法,是由极坐标形式的牛顿-拉夫逊法演变而来的,实际是牛顿-拉夫逊法潮流计算的一种简化方法,它考虑了电力系统的特点,系统电阻远远小于系统电抗,所以母线电压幅

值的变化对有功功率的影响较小,同时母线电压相角的变化对无功功率的影响较小,所以将 P、Q 分开来计算,极大地减少了计算的工作量^[5]。

2 短路计算

短路是电力系统最严重的故障,是相与相,或相与地发生通路的情况。短路时的大电流会产生很大的热效应和机械效应,使电力系统受到严重的冲击和破坏,甚至危害人身财产安全^[6]。所以电力系统短路计算对电力系统和工艺场站运行安全至关重要。

在 ETAP 软件里,提供了 2 种短路电流计算方案,分别遵循规范 IEC60909 和 IEC61363。IEC61363 适用于船舶和移动式或固定式海上平台电力系统^[7],IEC60909 适用于除 IEC61363 适用范围外的电网系统。津华线青县中间泵站属于陆地站场,电源引自附近的电网系统,所以应遵循 IEC60909 计算短路电流。

ETAP 短路模块可以计算各种短路方式下的短路电流,包括三相短路、单相接地短路、相相短路、相相接地短路。短路点的短路电流包括最大短路电流、峰值短路电流、稳态短路电流等,不同的短路电流值可以用于校验电气设备的短路能力及断路器的分断能力。

ETAP 软件各短路电流计算公式如下。

最大短路电流 I_k'' :

$$I_k'' = cU_n / \sqrt{3}Z_k \tag{1}$$

其中 c 为电压因子,调节在计算最大最小短路电流时母线上的电压 U_n ,根据 IEC60909-0 规定,不同的电压等级 c 因子的取值见表 1。

表 1 电压 c 因子

额定电压	电压因数	
	最大短路电流 c_{max}	最小短路电流 c_{min}
100 ~ 1000 V	1.05	0.95
1 ~ 35 kV	1.10	1.00

峰值短路电流 I_p :

$$I_p = \sqrt{2}kI_k'' \tag{2}$$

k 为故障点系统 R/X 比值的调节系数,ETAP (根据 IEC 规范)提供了 3 种 k 值计算方法,简称为 Method A、Method B、Method C。Method A 是考虑所有支路中最小的 R/X 支路提供 80% 的短路电流,此方法计算方法简单,但是比较保守;Method B 是为

了避免直接使用支路 R/X 计算中的不可靠性,增加了 1.15 倍的安全系数,此方法虽然可以得到更可靠的峰值电流,但是仍然无法体现短路电流中的直流成分;Method C 使用了根据频率变化的 R/X 值,在低频时计算的 R/X 值再乘以根据频率确定的放大系数,此方法考虑了短路电流中的直流分量,计算方法复杂,但是得出的峰值短路电流也更加准确。

3 中间热泵站系统计算

3.1 中间热泵站系统参数

中间热泵站位于河北省青县马场镇王维屯村东北侧,附近有王维屯 35 kV 变电站 1 座、马厂 110 kV 变电站 1 座。青县中间热泵站 2 路独立电源分别引自王维屯 35 kV 变电站 10 kV 侧及马厂 110 kV 变电站 10 kV 侧。王维屯 35 kV 变电站电源线路为电缆线路,电缆为 YJLV22-8.7/10 kV 3 × 300,长度为 0.6 km。马厂 110 kV 变电站电源线路由一段电缆线路和一段架空线路组成。电缆为 YJLV22-8.7/10 kV 3 × 300,电缆长度为 1.25 km;架空线为 GIA-240/40,线路约 2.7 km。

青县中间热泵站内设 1 座 10 kV 变电所,2 台 11/0.42 kV 配电变压器,容量为 2 × 500 kVA,电气主接线 10 kV 侧、0.4 kV 侧均为单母线分段接线方式。正常运行时,10 kV 母联开关闭合,由一路电源供电,0.4 kV 母联开关断开,2 台变压器分列运行。

3.2 ETAP 模型

根据青县中间热泵站的系统参数,建立 ETAP 模型,详见图 1。

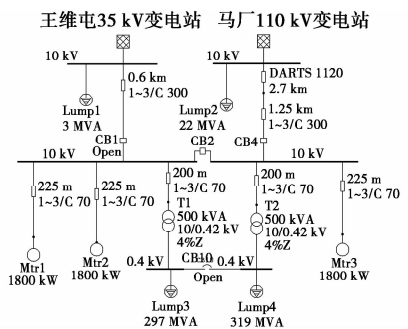


图 1 中间热泵站 ETAP 模型

3.3 潮流计算结果

根据青县中间热泵站的供电运行方式,2 路电源分别供电,不存在环网运行的情况。由王维屯 35 kV 变电站供电设为供电方式一,由马厂 110 kV 变电站供电设为供电方式二。2 种供电方式下分别采用高斯-赛德尔迭代法、牛顿-拉夫逊法和快速解

耦法进行潮流计算,各母线电压降详见表2。

表2 潮流计算结果

母线编号	供电方式一 (王维屯 35 kV 变电站 供电) 母线电压/%			供电方式二 (马厂 110 kV 变电站 供电) 母线电压/%		
	高斯-牛顿-拉快速解 赛德尔 夫逊法 耦法			高斯-牛顿-拉快速解 赛德尔 夫逊法 耦法		
Bus3 (10 kV)	99.56	99.56	99.56	95.09	95.09	95.09
Bus4 (10 kV)	99.56	99.56	99.56	95.09	95.09	95.09
Bus5 (0.4 kV)	102.29	102.28	102.28	97.52	97.52	97.52
Bus6 (0.4 kV)	102.12	102.11	102.11	97.35	97.34	97.34

通过 ETAP 潮流计算结果可知,由于青县中间热泵站系统规模较小,高斯-赛德尔迭代法、牛顿-拉夫逊法和快速解耦法的计算结果基本一致,高斯-赛德尔迭代法也能快速收敛,说明各算法均适用于此项目。在不同的运行方式和潮流算法下,青县中间热泵站 10 kV 母线及 0.4 kV 母线的电压降均在 5% 以内,电压降较小,满足项目要求。

当系统规模较大、母线接点较多时,各潮流算法的计算结果和计算时间会略有差异,综合考虑各种因素,一般中等规模的系统,使用牛顿-拉夫逊法潮流计算的结果相对更加准确,计算时间适中,是当前应用最为广泛的潮流计算方法。

3.4 短路计算结果

根据当地供电局提供的参数,王维屯 35 kV 变电站 10 kV 短路容量是 40 MVA_{sc},马厂 110 kV 变电站 10 kV 短路容量为 192 MVA_{sc}。短路计算中,峰值短路电流 k 因子计算方式选择 Method C。2 种供电方式下的母线短路电流见表 3。

表3 短路计算结果

母线编号	供电方式一(王维屯 35 kV 变电站供电)		供电方式二(马厂 110 kV 变电站供电)	
	I_k''/kA	I_p/kA	I_k''/kA	I_p/kA
Bus3 (10 kV)	5.22	12.24	6.44	12.47
Bus4 (10 kV)	5.22	12.24	6.44	12.47
Bus5 (0.4 kV)	17.58	29.91	17.83	29.92
Bus6 (0.4 kV)	17.75	30.22	18.00	30.23

以上参数为现阶段的系统容量,随着上级电力系统的后期发展,系统短路容量将会增加。为了使青县中间热泵站的电气设备满足后期短路容量的增加,系统短路容量考虑增加 1 倍,各母线的短路电流

见表 4。

表4 预期短路计算结果

母线编号	供电方式一(王维屯 35 kV 变电站供电)		供电方式二(马厂 110 kV 变电站供电)	
	I_k''/kA	I_p/kA	I_k''/kA	I_p/kA
Bus3 (10 kV)	7.34	17.01	6.84	13.01
Bus4 (10 kV)	7.34	17.01	6.84	13.01
Bus5 (0.4 kV)	18.16	30.63	17.92	30.02
Bus6 (0.4 kV)	18.33	30.94	18.09	30.34

根据短路计算结果可知,在系统短路容量增加 1 倍的情况下,10 kV 母线上的最大短路电流增加 14% (0.9 kA),0.4 kV 母线上的最大短路电流增加 2% (0.33 kA),所选电气设备的短路参数不仅能满足当前系统要求,也能满足将来系统发展的要求。

4 结论

通过上面的计算结果可知,使用 ETAP 软件进行潮流计算可以验证电气系统设计是否满足要求,系统电压降是否符合项目要求;使用 ETAP 软件进行短路电流计算,可以验证断路器等电气设备元件是否能够满足系统要求。

津华线的汇鑫油库首站、青县中间热泵站、河北任丘建末站电气设计中均使用了 ETAP 软件进行电气系统计算,使项目中的电气设备元件的选择更加合理,提高了设计的安全性和可靠性,同时又避免了不必要的资源浪费。并且,ETAP 软件在津华线项目上的成功应用也为以后同类项目提供了设计模板。

参考文献

- [1] 张仕刚,孟庆霖. 配电系统潮流计算综述[J]. 天津电力技术, 2011, (2): 1-5.
- [2] 何仰赞,温增银. 电力系统分析[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2003:29-71.
- [3] 涂志军,曹晔,李伟,等. 一种新型高斯赛德尔算法在电力系统潮流计算中的应用研究[J]. 江西科学,2010,28(6):807-809.
- [4] 王淳,程浩忠. 几种潮流算法性能的比较[J]. 华东电力,2007,35(9):25-28.
- [5] 徐劲松,宁玉琳. 基于 Matlab 的电力系统 PQ 分解法潮流计算研究[J]. 电气传动自动化,2011,33(2):10-18.
- [6] 王寓,王主丁,张宗益,等. 国内外常用短路电流计算标准的方法的比较[J]. 电力系统保护与控制,2010,8(20):148-152.
- [7] 郭秀琴. IEC61363-1 与 IEC60303 的比较[J]. 中国海上油气:工程,2002,14(5):48-51. ■