

# 海洋平台接地电流计算分析

傅祥廉

(中海油能源发展装备技术有限公司设计研发中心, 天津 300452)

**摘要** 单体海上油田多采用三相三线制供电方式, 随着海上油田电网的实施引入 35kV 电压等级作为组网联络电压, 35kV 侧广泛采用三相四线制形式, 海上油田电网接地电流计算及接地装置选择成为设计重点之一。本文通过长距离海缆接地电容电流计算, 选择合适的接地电阻以限制间歇性弧光过电压。同时对电网进行故障工况下校核, 提出多个接地电阻的投切原则。

**关键词** 接地电容电流 接地装置 接地电阻计算

中图分类号: P75

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)02-0058-03

## 1 概述

近年来随着海上油田电力组网工程的普及, 渤海湾内各油田电网均已实现电力组网连接, 普遍采用 35kV 电压等级作为联络母线电压。在工程方案设计中, 确定中性点接地方式需综合考虑供电可靠性、连续性、安全性和绝缘水平等问题。

电力系统中性点接地方式基本可以划分为两大类: 大电流接地方式和小电流接地方式; 其中大电流接地方式需断路器切断接地电流故障, 小电流接地方式产生的接地电弧可自行瞬间熄灭。

1. 大电流接地方式有:

- (1) 中性点直接接地方式;
- (2) 中性点经低电阻接地方式;
- (3) 中性点经中电阻接地方式。

2. 小电流接地方式有:

- (1) 中性点不接地方式;
- (2) 中性点经高电阻接地方式;
- (3) 中性点经消弧线圈接地方式。

海上油田工程设计中 10kV 及以下电压等级通常采用三相三线制方式, 中性点不接地, 保证电网发生单相接地故障后能持续运行一定时间保证供电连续性; 且 10kV 及以下电压等级电缆绝缘费用占总体费用相对较低, 采用中性点不接地方式经济性上能够接受。但是随着供电平台上机组装机容量增加, 10kV 母线的接地电容电流校核也成为设计人员重点关注问题。

## 2 工程实例计算

渤海油田某电网中将新建 WHPB 井口平台通过一条新建海缆  $3C \times 185\text{mm}^2$ , 8.8km 海缆连接至已建 CEPF 平台, 通过一条新建海缆  $3C \times 185\text{mm}^2$ , 4.35km 海缆连接至已建 CEP 平台。现有油田电网已通过海缆或栈桥电缆实现电力组网连接。

新建 WHPB 平台接入油田电网后, 全油田现有共 7 条 35kV 海缆; 因此基于以上 7 条长距离输电海缆对油田电网 35kV 接地装置进行计算校核。

### 2.1 电容电流计算

#### 2.1.1 基础数据

油田电网 35kV 海缆参数如表 1 所示。

### 2.1.2 接地电容电流计算

#### 1. 计算说明

35KV 系统电缆电容电流计算公式:

$$I_c = \sqrt{3}\omega C U_e L = \sqrt{3} \times 2\pi f \times C U_e L \quad (1)$$

其中:

$U_e$  为电缆线路额定线电压, 单位 V;

$L$  为电缆长度, 单位 km;

$C$  为电容值, 单位 F/km。

#### 2.35kV 接地电容电流计算

电网 35kV 电力系统接地电容电流考虑原有及新增 35kV 海缆。

依据电网总单线图, 接地电容电流计算值分为以下两部分:

#### (1) CEPS 至 CEP A1-1 平台 35kV 电力系统

该 35kV 电力系统接地电容电流值为 133.2A, 根据《工业与民用供配电设计手册》中变电所增加的接地电容电流值, 再考虑 13% 的附加值, 35kV 电力系统接地电容电流计算值为 150.5A。

#### (2) 其余电网 35kV 电力系统

电网 35kV 电力系统接地电容电流计算值为 117.1A, 根据《工业与民用供配电设计手册》中变电所增加的接地电容电流值, 再考虑 13% 的附加值, 35kV 电力系统接地电容电流计算值为 132.3A。

### 2.2 接地设备容量确定及投切原则

当单相接地故障的电容电流大于下列数值时, 电力系统的中性点不能使用不接地的方式, 而应采取其它的接地方式:

3~6kV 电网	30A
10~35kV 电网	20A
35~60kV 电网	10A

6kV~35kV 主要由电缆线路构成的工业企业供电系统, 当单相接地故障电容电流较大时, 采用中性点低电阻接地方式, 当发生单相接地故障时, 较大的接地电流使保护装置动作, 切断电源, 并将间歇性弧光过电压倍数限制在 2.5 倍以内。

#### 2.2.1 电网 35kV 接地设备容量校核

电网现有共三座电站平台, 各电站平台并列运行的组

表1 现有 35kV 海缆参数

起点	终点	电压等级 (kV)	规格 (mm <sup>2</sup> )	长度 (km)	电容值 (uF/km)
现有 35kV 海缆					
WHPE	WHPC	35	3x95	6.2	0.1449
WHPE	WHPD	35	3x95	7.2	0.1449
CEPS	CEPA1-1	35	3x300	31	0.196
CEPA1-1	WHPB1-1	35	3x300	4.7	0.196
CEP	WHPAS	35	3x120	12.8	0.146
新增 35kV 海缆					
CEP	WHPB	35	3x185	4.35	0.178
CEPF	WHPB	35	3x185	8.8	0.178

表2 电网 35kV 接地电阻电流值

平台	变压器	电压等级	容量	35kV 中性点投入接地电阻电流
CEPS	CEP-T-010	6.3kV/35kV	10MVA	200A
	CEP-T-011	6.3kV/35kV	10MVA	
CEP	CEP-T-001	6.3kV/35kV	6.3MVA	75A
	CEP-T-002	6.3kV/35kV	6.3MVA	
CEPF	CEPF-TR-001	6.3kV/35kV	8MVA	75A
	CEPF-TR-002	6.3kV/35kV	8MVA	
WHPAS	WHPA-T-006	6.3kV/35kV	6.3MVA	75A
	WHPA-T-007	6.3kV/35kV	6.3MVA	

网变压器仅一台变压器投入接地电阻。电网所配置组网变压器及接地电阻电流如表2所示:

电阻接地系统单相短路时地电阻电流:

$$I_R = KI_C = 1.1I_C \quad (2)$$

$I_R$  为单相地短路时电阻电流, 单位 A;

$I_C$  为单相地短路时电容电流, 单位 A。

(1) 对于 CEPS 至 CEPA1-1 平台 35kV 电力系统, 其单相接地电容电流为 150.5A, 依据公式 2, 则该 35kV 电力系统所需要的电阻电流为 165.55A。CEPS 平台配置 1 台 200A 接地电阻可满足该 35kV 电力系统接地电容电流使用要求, 且该接地电阻必须保持投入状态。

(2) WHPB 平台与电网实施电力组网后, 电网 35kV 系统单相接地电容电流为 132.3A, 依据公式 2, 则 35kV 系统所需要的电阻电流为 145.6A。考虑一定的可靠系数, 电网现有 3 台接地电阻均需投入, 投入后电流值可满足该电网 35kV 电力系统接地电容电流使用要求。

因此电网接地电阻电流容量可满足 WHPB 平台接入后接地电容电流要求, 新建 WHPB 平台变压器 35kV 侧无需新增接地电阻。

### 2.3 接地电阻投切原则

#### 2.3.1 正常工况下接地电阻投切原则

在正常运行工况下, CEPS 平台组网变压器 CEP-T-010

/011 的 35kV 侧接地电阻必须保持投入状态; CEP、CEPF 和 WHPAS 平台并列运行的组网变压器至少一台 35kV 侧接地电阻投入。

#### 2.3.2 故障工况下接地电阻投切原则

当发生 35kV 海缆或用于组网联络的栈桥电缆断线导致电网出现解列, 需要校核解列后电网的接地电阻电流值是否能满足 35kV 系统单线接地电容; 本项目仅考虑电网开环运行情况, 则依据新建 WHPB 平台进线开关 VCB101/102 及母联开关 VCB103 的闭合情况, 共可按照以下两种情况分别进行分析。

##### 1.VCB101/102 闭合, VCB103 断开

依据海缆及栈桥电缆断线故障, 共需考虑以下 3 种工况。

##### (1) 故障工况 1

在故障工况 1 下, CEP 平台和 WHPA 平台与锦州 25-1 电网解列。CEP 平台投入一台接地电阻以满足本平台及其供电负荷平台使用要求; 电网其余平台 35kV 单相接地电容电流为 92.1A, 所需接地电阻电流为 101.3A, 而电网其余平台 35kV 侧投入 2 台接地电阻, 电阻电流为 150A, 可满足使用要求。

##### (2) 故障工况 2

在故障工况 2 下, CEPF 平台与其供电的井口负荷平台和 CEPS、CEP 等主站解列。CEPF 平台区域仅能投入一台 75A 接地电阻, 该区域接地电容电流为 41.8A, 所需接地电

阻电容电流为 46A, 可满足使用要求; 电网其余平台 35kV 单相接地电容电流为 90.5A, 所需接地电阻电流为 99.6A, 而电网其余平台 35kV 侧投入 2 台接地电阻, 电阻电流为 150A, 可满足使用要求。

### (3) 故障工况 3

在故障工况 3 下, 任一海缆断线仅会导致部分终端负荷失电, 并不会造成电网解列形成两个独立的接地系统, 此工况下保证 3 台接地电阻均投入。

#### 2.VCB101/102 任一断开, VCB103 闭合

在该情况下, 任一海缆或组网用栈桥电缆断线后, 电网不会解列形成两个独立的接地系统, 此工况下保证 3 台接地电阻均投入。

根据以上针对各故障工况的校核结果, 在发生 35kV 海缆或栈桥电缆断线时无需增加各电站平台组网变压器 35kV 侧接地电阻的投入数量。

### 2.4 校核结果

(1) 新建 WHPB 平台与油田电网组网后, 电网 35kV 接地电阻电流值满足规范使用要求; WHPB 平台 35kV 母线侧无需新增接地电阻;

(2) 在正常运行工况下, CEPS 平台组网变压器 CEP-

T-010/011 的 35kV 侧接地电阻必须保持投入状态; CEP、CEPF 和 WHPAS 平台 35kV 侧接地电阻均需投入;

(3) 在发生任一 35kV 海缆或栈桥电缆断线工况下, 需保证锦州 25-1 油田电网接地电阻均为投入状态。

### 3 结论

海上油田电网 35kV 系统通常采用三相四线制, 通常 35kV 系统接地电容电流由海缆单相接地电容电流叠加而成。随着电网规模的增加, 35kV 系统接地电容电流快速增长, 选择中性点经机电阻方式接地, 当发生单相接地故障后配合保护装置动作, 在一定时限内切断故障电源将间歇性弧光过电压倍数限制在 2.5 倍以内, 保证海上电网安全稳定运行。

### 参考文献:

- [1] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.
- [2] 周守为. 海洋石油工程工程设计指南 [M]. 北京: 石油工业出版社印刷厂, 2007.
- [3] 杨淑英. 电力系统概论 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [4] 韩振祥. 电力系统分析 [M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2009.

(上接第 53 页)

检索策略 2: 优先在整体把握发明构思的基础上检索, 如果检索不到可以体现发明构思的对比文件, 再根据权利要求记载的内容进行检索。

检索思路: 通过过滤器的分类号和支撑件与密封件的关键词扩展, 得到对比文件 1: CN1911487A, 一种过滤器密封系统 (见图 4)。

该对比文件 1 具体公开了: 该过滤元件 13 具有外壳 19, 过滤元件的过滤介质具有多个扁平层和折叠层, 该外壳的表面形成了最外面的滤层, 它在整个周向范围内包围该过滤元件, 在该过滤元件的下部端面上设置有止动缓冲件 16, 用于将过滤元件支撑顶靠到过滤器罩部件下部的轴向止挡 15 上, 该止动缓冲件位于过滤元件的下部端面上并向外突出, 过滤元件的左右两侧分别设置密封套环 20a、b, 并且其具有伸出过滤元件 13 的端面的部分, 通过上述部分形成了密封表面。由此可知该对比文件 1 公开了本申请发明构思中的分开设置的支撑件和密封件, 并且公开了目前的权利要求的全部技术特征, 可以评述新颖性, 但是其没有完全公开所有的发明点, 即发明构思中包括的“过滤部件利用密封件悬挂在过滤器中”, 因此, 针对上述技术特征继续进行检索, 通过分类号和关键词检索得到对比文件 2: CN102271785A, 其公开了一种空滤滤芯, 通过在不影响密封性的同时, 通过密封件将滤芯悬挂在空气过滤器中, 加强对过滤介质的固定和稳定。以上技术特征在对比文件 2 中的作用与其在本申请中的作用相同, 在上述技术内容下, 本领域技术人员有动机将其应用于对比文件 1 中进行改进以获得本申请的技术方案。由此可见, 如果申请人在后续

修改中, 将体现发明构思的上述技术特征加入, 则可以在对比文件 1 的基础上结合对比文件 2 来评述本申请的上述技术方案。由于评述方式与本申请的整体构思是相同的, 因此审查员的意见更容易被申请人接受, 这样发出的审查通知书才更高效。

推荐做法: 优先选择检索策略 2。检索就是一个寻找有说服力证据的过程, 在实质审查中, 依据申请专利的发明构思来确定检索策略, 通过不断调整检索思路和检索式, 以获得证据说服力更强的对比文件, 也能充分体现审查员站位本领域技术人员的高度, 促进审查员与申请人之间的有效双向交流, 进而更有利于提高审查通知书的效力。

### 3 结论

这个案例用实际检索结果相对比说明了在检索过程中把握发明构思对检索结果正确性和准确性具有重要的影响。检索策略 1 只是基于目前权利要求的保护范围, 与对比文件之间进行简单的技术特征比对, 而没有体现由技术特征构成的技术方案的整体构思; 检索策略 2 是从发明构思上去理解发明, 整体把握发明的实质, 检索结果更精确, 并且能显著提高通知书的效力。以上提醒我们, 在检索之前, 不应仅停留在权利要求书的文字记载, 而要准确提炼出专利申请的内在发明构思, 从多方向去理解、表达发明构思, 获取更接近的现有技术, 这样才能提高检索和审查效率。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国知识产权局. 专利审查指南 [M]. 北京: 知识产权出版社, 2010:204.