

# 轻负载时 35kV 电缆充电功率对功率因数的影响及解决

刘 迨

(深圳市建筑设计研究总院有限公司合肥分院, 安徽 合肥 230001)

**摘 要:** 高压电缆的充电功率会对建设项目的总体功率因素产生影响, 特别是对于采用大截面电缆, 远距离传输的建设项目, 在项目送电后运行初期轻负荷的阶段尤为明显。以某银行基地建设项目为例, 根据运行初期采集的相关数据, 分析了 35kV 系统轻负荷时期高压电缆充电功率对项目功率因数的影响, 并提出了解决方案和改进建议。

**关键词:** 35kV 电缆充电功率; 功率因数; 运行初期; 轻负荷

中图分类号: TM351

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2022)16-0043-03

## 1 原理及计算工具

### 1.1 电缆对地电容

当埋地电缆通过电流时, 导体相当于电容的一极、大地相当于另一极, 绝缘材料及空气便是绝缘介质, 由此产生了电容效应。电缆越长其电容值越大。

### 1.2 计算公式及参考值

$$Q_c = \frac{U^2}{X_c}; \quad (1)$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}; \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{n\epsilon}{18G}; \quad (3)$$

式中:  $Q_c$ ——电缆充电功率;  $X_c$ ——电缆容性电抗;  $U$ ——线电压, 本项目取 35kV 计算;  $f$  为工频;  $C$ ——电容量;  $C_1$ ——单位电容量,  $\mu\text{F}/\text{km}$ ;  $\epsilon$ ——介质系数见表 1;  $G$ ——几何因数。

根据式 (2)、式 (3) 以及表 1、图 1 可以计算出常用 35kV 交联聚乙烯电缆 (三芯) 单位长度的电容参数和充电功率值, 如表 2 和表 3 所示。

表 1 介质系数值

| 分类       | $\epsilon$ |
|----------|------------|
| 纸绝缘电缆    | 3.7        |
| 普通纸绝缘    | 3.7        |
| 充油电缆     | 3.4        |
| 低损耗纸绝缘   | 3.4        |
| 纸塑复合绝缘   | 2.8        |
| 交联绝缘电缆   | 2.3        |
| 丙烯橡胶绝缘电缆 | 4.0        |
| 硅橡胶绝缘电缆  | 4.0        |

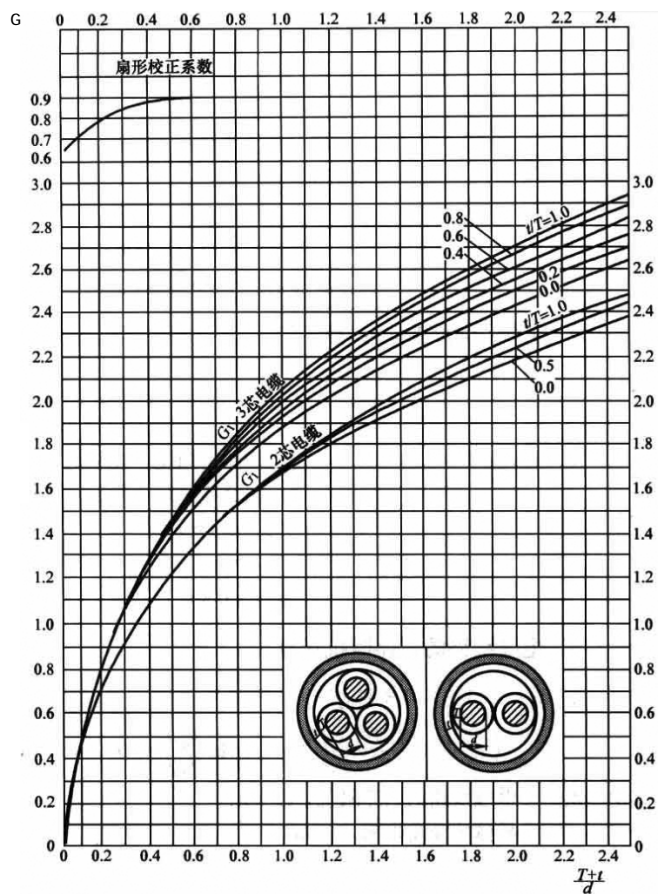


图 1 多芯电缆几何因数<sup>[1]</sup>

注:  $T$ —导体绝缘层厚度;  $t$ —统绕绝缘带厚;  $d$ —导体外径。

### 1.2 补偿计算公式

补偿前市政电源点 35kV 出线侧高压功率因数:

表 2 35kV 交联聚乙烯电缆(三芯)单位长度的电容参数

| 截面/mm <sup>2</sup> | 电容值/(μF/km) |         |
|--------------------|-------------|---------|
|                    | 21/35kV     | 26/35kV |
| 3×185              | 0.183       | 0.162   |
| 3×240              | 0.194       | 0.176   |
| 3×300              | 0.211       | 0.190   |
| 3×400              | 0.231       | 0.209   |

表 3 35kV 交联聚乙烯电缆(三芯)单位长度的充电功率

| 截面/mm <sup>2</sup> | 充电功率/(kVar/km) |         |
|--------------------|----------------|---------|
|                    | 21/35kV        | 26/35kV |
| 3×185              | 70.39          | 62.31   |
| 3×240              | 74.62          | 67.70   |
| 3×300              | 81.16          | 73.08   |
| 3×400              | 88.85          | 80.39   |

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q + Q_c)^2}} \quad (4)$$

补偿电缆充电功率后市政变电所出线侧的功率因数:

$$\cos\phi' = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q + Q_c - Q_B)^2}} \quad (5)$$

其中: P——项目有功功率; Q——项目负载侧无功功率; Q<sub>c</sub>——电缆充电功率; Q<sub>B</sub>——并联电抗器补偿容量。

## 2 分析

### 2.1 项目概况

项目位于合肥市滨湖新区,为某银行省分行及生产数据中心。总变电站设计规模为 2 台 16000kVA 主用变压器,电压等级为 35kV。采用双回路供电“全主全备”方案,即两回线路同时分段运行,当某回线路失电,

通过进线与母联开关的连锁,另一回线路可满足整个项目用电。

本项目变配电部分由两家设计单位承接,分别负责市政外线电缆和红线内部的设计。

### 2.2 外部线路电源点情况

本项目两回线路分别为云谷变线路(1# 线路)和滨湖变线路(2# 线路)。其中 1# 线路长度 13km 均为电缆占管敷设;2# 线路为 14km 电缆线路和 1.5km 架空线路。所有电缆线路均采用 YJV22-26/35kV-3×400 型电缆。

### 2.3 发现问题

在项目变配电工程建设完毕,通过供电部门验收并正式送电后,而相关机电调试工作正在开展,项目未投入运行。项目现场仅有少量照明用电及调试运维用电。运行期间,变配电系统各设备运行正常,现场巡检及后台系统均未出现故障报警信息。

### 2.4 分析准备

在正式送电后项目管理公司存有关口表计的读数以及项目现场用电设备型号的大量数据。对工地用电设备的设备型号、用电功率、以及使用时长,每日早晚均作了细致的录入,项目建设的电能管理系统也完整记录了送电后所有的能耗信息。

表 4 截取 1# 回路其中一周(2 月 4—10 日)内每日下午 14:00 时记录的主要相关数据。

表 4 1# 回路现场表计实际读取数据

|           | 2.4     | 2.5     | 2.6     | 2.7     | 2.8     | 2.9     | 2.10    |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 总有功/MWh   | 20.840  | 20.900  | 20.970  | 21.030  | 21.100  | 21.170  | 21.230  |
| 总无功/kVARh | 178.070 | 178.080 | 178.090 | 178.100 | 178.110 | 178.120 | 178.130 |
| cosφ      | 0.988   | 0.981   | 0.980   | 0.989   | 0.984   | 0.987   | 0.989   |

表 4 数据表明本项目红线范围内电能指标正常。针对表 4 数据,同时做了如下故障排除工作。

(1)对主要关口表进行了同类替换,替换后发现读数与替换前基本一致,因此排除表计故障原因而导致表 2 未能准确反映项目实际用电参数的情况。

(2)根据项目管理公司提交的每日施工设备使用情况登记表,以及相关变压器与电容补偿装置的工作状态的逐一巡查。排除大无功功率设备和大量变压器空载运行(全部空载变压器均已退出运行)的情况。

(3)调取外线设计单位的设计文件,发现在设计过程中,发生因道路施工无法敷设而绕行的情况。最终导

致线路大幅增加。同时考虑电缆截面较大,因此将电缆充电功率作为排查的主要方向。

### 2.5 抽取典型数据计算分析

确定排查方向后,调取了供电部门的相关数据,在 2 月 10 日地下室风机调试当天,1# 回路功率因数仅为 0.24。根据当日用电设备登记表发现地下室所有风机均启动运行超过 24h,全部运行设备共 260kW,风机查表功率因数为 0.75。结合当日功率因数表读数为 0.989。利用式(4)可得项目负载侧内当日(24h)无功功率(补偿后)为 38.89kVar,而市政变电所出线侧无功功率为 1090.56kVar。推导出线路部分产生的无功功率约为

1051.67kVar。

根据外线施工单位提供的线路参数,1#回路长度为13km,均为电缆占管敷设。电缆型号为YJV22-26/35kV-3×400。

根据表2,单位距离电缆充电功率为80.39kVar/km。故1#回路电缆充电功率为: $Q_C=13 \times 80.39=1045.07$ (kVar)。

两种计算方式结果基本吻合,可以判定电缆充电功率是市政变电所出线侧功率因数过低的主要原因。

### 3 解决方案

#### 3.1 实施准备

随着项目投运后产能的逐步提升,用电量也随之增大。以1#回路为例,根据式(5),当1#回路母线段用电容量达到设计容量4644kW时,按照负载侧补偿后功率因数0.95的设计目标考虑,市政变电所出线侧1#回路功率因数可达到0.9以上。

经过项目管理公司与银行总务处沟通,获得详细投产运营计划:第一阶段,一个月内数据灾备中心首先投入使用,最低容量为4400kW(每段母线约2200kW),用电波动不超过+10%。随后第二阶段,是较长时间的部门调整和搬迁工作,若达到每段母线4644kW的设计目标容量需要较长的时间周期,而且在春节时期会出现负荷大幅度降低的情况(灾备中心用电不变)。为避免造成损失,必须立即采取相应补偿措施。

根据上述条件并运用式(4)、式(5)以及表3,进行如下计算。

因本项目架空线路较短且35kV架空线路充电功率较小,故2#线路按14km电缆线路考虑。

1#线路电缆充电功率: $Q_{C1}=13 \times 80.39=1045.07$ (kVar)。

2#线路电缆充电功率: $Q_{C2}=14 \times 80.39=1125.46$ (kVar)。

根据国家电网公司《电力系统无功补偿配置技术原则》的要求,35~220kV变电站在低谷负荷时功率因数不应高于0.95,以下计算解决措施中也以此为标准。

在本工程灾备中心投运后,根据式(4),按0.95的用户负荷侧补偿设计标准,可计算得:

1#回路:

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q + Q_{C1})^2}} = \frac{2200}{\sqrt{2200^2 + (723.11 + 1045.07)^2}} = 0.779。$$

2#回路:

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q + Q_{C1})^2}} = \frac{2200}{\sqrt{2200^2 + (723.11 + 1125.46)^2}} = 0.746。$$

根据式(5),要达到0.9以上的功率因数,可设置800kVar电抗器吸收电缆容性无功。补偿电缆充电功率后市政变电所出线侧的功率因数:

1#回路:

$$\cos\phi' = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q + Q_{C1} - Q_B)^2}} = \frac{2200}{\sqrt{2200^2 + (723.11 + 1045.07 - 800)^2}} = 0.915。$$

2#回路:

$$\cos\phi' = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q + Q_{C1} - Q_B)^2}} = \frac{2200}{\sqrt{2200^2 + (723.11 + 1125.46 - 800)^2}} = 0.903。$$

#### 3.2 实施过程

根据计算结果并结合现场情况,按如下方案实施。

在现有35kV高压室内增设两台800kVar 35kV高压三相电抗器,接入两段35kV母线备用间隔。

采用并联连接方式,接入原有两段母线备用回路。

#### 3.3 实施效果

通过项目管理公司有效的组织,两组电抗器迅速安装完毕。在接下来一个月灾备中心按时投运后供电部门读取的数据中,功率因数有显著改善,两路电源功率因数均达到了0.9以上,实现了设计预期。从经济角度考虑,两组电容器的投资额远远小于轻负载时期功率因数过低处罚带来的经济损失。在项目完全投入运营后的轻负荷期,也能长期发挥作用。

### 4 结语

部分项目在送电初期以及春节、国庆等节假日期间,用电负荷大幅降低。在这种轻负荷期间内长距离电缆充电功率对用电客户功率因数的影响较大。因此在变电站工程设计中必须引起重视,对项目的投运计划、用电负荷加载步骤做充分的调研和详细的评估,内外线协调一致统一行动,根据评估和计算结果给出准确的补偿方案,兼顾经济性,在设计阶段解决问题。

#### 参考文献

- [1] 李国征.电力电缆线路设计施工手册[M].北京:中国电力出版社,2007.

收稿日期:2022-02-03

作者简介:刘追(1983—),男,汉族,安徽合肥人,本科,高级工程师,主要从事建筑电气设计工作。