

钢铁企业烧结焦化区域110 kV变电所设计及继电保护计算

宝钢厂西变电所是大型钢铁企业烧结焦化区域典型变电所，该区域包含烧结主排风机等大型同步电动机、干熄焦（CDQ）发电等发电设备，负荷大、继电保护计算复杂。通过对该变电所短路电流计算和继电保护整定分析，确定了变电所的一次运行方式，为变电所的正常运行提供了可靠依据，为今后同类型变电所设计提供了参考。

肖 宇/中冶赛迪上海工程技术有限公司



肖 宇/工程师

建设宝钢厂西变电所是宝钢厂西供电系统扩容改造工程的核心内容，随着宝钢生产规模不断扩大，用电负荷也随之增长，新建宝钢厂西变电所能够满足宝钢烧结、焦化、化产和煤气输送等改造工程新增负荷的需求，负荷大且极为复杂，包含了烧结主排风机等大型同步电动机，还包括CDQ发电等冲击负荷，系统中包括发电机、同步机的短路电流反馈，继电保护计算复杂。在钢铁企业110 kV变电所设计中具有典型性。

厂西变电所的一、二次系统配置

厂西变电所3路110 kV电源采用线路变压器组方式，主变压器参数为110(1±2×2.5%)kV/10.5 kV；50/63 MV·A； $U_d = 12\%$ ；Dyn11，3台自然油循环强迫风冷油浸式变压器，电源均为电缆进线。10 kV侧设备采用ABB Unigear ZS1固定式金属封闭开关设备，内配VD4型真空断路器，开断能力40 kA。本变电所二次系统采用国内先进的南瑞RCS-9611CS系列继电保护装置，信号送入宝钢EMS系统。

关键词/Keywords

110 kV变电所·
继电保护·
短路电流·

厂西变电所继电保护计算

厂西变电所3路110 kV电源，2路来自中央变电所，1路来自宝钢变电所。系统一次接线如图1所示。根据华东电力设计院提供的计算数据，中央变电所110 kV母线短路电流为35.2 kA，宝钢变电所110 kV母线短路电流为35.6 kA。厂西变电所10 kV母线短路电流考虑110 kV系统供给的短路电流、烧结主排风同步电动机反馈的短路电流和4CDQ发电机供给的短路电流相叠加，相关计算如下。

(1) 10 kV系统短路电流计算

中央变电所距厂西变电所2.7 km，宝钢变电所距厂西变电所2.46 km，均为电缆进线，电缆规格型号一致。在最大运行方式下，由于宝钢变电所与厂西变电所的电线路较短，且110 kV母线短路电流较中央变电所大，因此按宝钢变电所参数计算系统电抗。

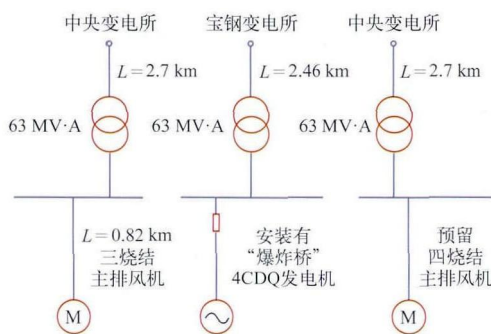


图1 一次接线

系统电抗标幺值为

$$\begin{aligned} X_1 &= S_j / S_{dx} \\ &= 100 \text{ MV} \cdot \text{A} / (\sqrt{3} \times 35.6 \text{ kA} \times 115 \text{ V}) \\ &= 0.0141 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, S_j 为基准容量; S_{dk} 为110 kV系统容量。

宝钢变电所至厂西变电所110 kV电缆的电抗标幺值为

$$X_2 = 0.00136 \times 2.46 = 0.00334 \quad (2)$$

式中, 0.00136为每公里110 kV电缆电抗标幺值, 查表数据; 电缆长度为2.46 km。

厂西变电所主变压器电抗标幺值为

$$\begin{aligned} X_3 &= (U_{d\%}/100) \times (S_j/S_e) \\ &= (12/100) \times (100 \text{ MV}\cdot\text{A}/63 \text{ MV}\cdot\text{A}) \\ &= 0.19 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, $U_{d\%}$ 为变压器阻抗电压百分值; S_j 为基准容量, $\text{MV}\cdot\text{A}$; S_e 为变压器额定容量, $\text{MV}\cdot\text{A}$ 。

则系统供给的10 kV母线短路电流为

$$\begin{aligned} I_z &= I_j / (X_1 + X_2 + X_3) \\ &= (S_j / \sqrt{3} U_j) / (X_1 + X_2 + X_3) \\ &= [100 \text{ MV}\cdot\text{A} / (\sqrt{3} \times 10.5 \text{ V})] / (0.0141 + 0.00334 + 0.19) \\ &= 26.51 \text{ kA} \end{aligned} \quad (4)$$

式中, U_j 为基准电压。

厂西变电所所供的负荷中, 同步机/发电机有三烧结主排风机、四烧结主排风机和4CDQ发电机3个回路。其中, 4CDQ发电机出口因装设有快速断路器(俗称爆炸桥), 可不考虑反馈短路电流。四烧结项目晚于厂西变电所投产, 可在主排风机订货制造时, 对其电抗提出限制要求。根据系统一次接线图(见图1), 三烧结主排风机和四烧主排风机不在同一段母线上, 不可能同母线运行, 因此10 kV母线最大短路电流的计算可仅考虑三烧主排风机的反馈短路电流的情况, 得到等效电路计算如图2所示。

已知三烧结主排风机的超瞬态电抗为 $X_d'' = 0.67044$, 基准容量 $S_j = 100 \text{ MV}\cdot\text{A}$, 额定容量 $S_r = 17.33 \text{ MV}\cdot\text{A}$, 发电机纵轴暂态电抗 $X_e = 0.07$, 则计算电抗

$$\begin{aligned} X_c &= X_d'' S_r / S_j + X_e \\ &= 0.67044 \times 17.33 / 100 + 0.07 \\ &= 0.1862 \end{aligned} \quad (5)$$

查表得汽轮发电机短路电流瞬态值 $I_z'(0 \text{ s}) = 5.93 \text{ kA}$, $I_z'(0.3 \text{ s}) = 3.9 \text{ kA}$ 。

三烧结主排风机线路10 kV电缆(线路长0.82 km,

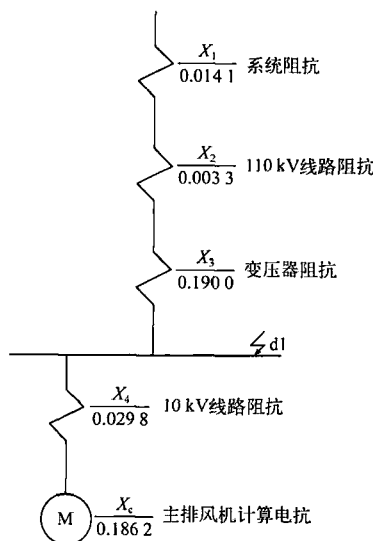


图2 等效电路计算

双回路) 的电抗标幺值为

$$\begin{aligned} X_4 &= X_1 / (U_{j2} / S_j) / n \\ &= 0.08 \times 0.82 / (10.5 \text{ V} / 100 \text{ MV}\cdot\text{A}) / 2 \\ &= 0.0298 \end{aligned} \quad (6)$$

式中, X_1 为10 kV电缆电抗平均值; U_{j2} 为基准电压; n 为电缆回数。

则反馈到10 kV母线的同步机短路电流为

$$\begin{aligned} I_z &= I_j / X_z'' \\ &= (S_j / \sqrt{3} U_j) / (X_d'' + X_4) \\ &= 5.48 \text{ kA} \end{aligned} \quad (7)$$

式中, I_j 为基准电流; X_z'' 为电源对短路点的等效电抗标幺值。

因此系统的最大短路电流

$$I = I_z + I_z^* = 26.51 \text{ kA} + 5.48 \text{ kA} = 31.99 \text{ kA} \quad (8)$$

2. 典型回路继电保护装置整定

在最大短路电流计算基础上, 可以对各回路进行继电保护整定计算, 下面以4CDQ发电机回路为例, 讨论继电保护装置整定值计算过程。

(1) 前提条件

根据前面计算, 已知厂西变电所10 kV母线系统短路参数如下: 最大短路容量 $S_{\max} = 583 \text{ MV}\cdot\text{A}$; 最小短路容量 $S_{\min} = 473 \text{ MV}\cdot\text{A}$; 短路阻抗标幺值 $X_{\Sigma\max}^* = 0.1715$ (最大方式); $X_{\Sigma\min}^* = 0.2114$ (最小方式); 短路电流 $I_{\max}'' = 31.99 \text{ kA}$; $I_{\min}'' = 26.01 \text{ kA}$ 。

已知10 kV系统为电阻接地系统，接地电流 $I_0=300\text{ A}$ ，10 kV系统TV电压比为10/0.1 kV；4CDQ回路TA电压比为3 000/5 A，4CDQ发电机容量 $P=25\text{ MW}$ ，额定电压 $U_{ed}=10.5\text{ V}$ 。额定电流为

$$\begin{aligned} I_{ef} &= P/(\sqrt{3}U_e \cos \varphi) \\ &= 25\,000\text{ W}/(\sqrt{3}\times 10.5\text{ V}\times 0.8) \\ &= 1\,718.3\text{ A} \end{aligned} \tag{9}$$

式中， U_e 为基准电压。

(2) 计算CDQ发电机近端开关处短路容量及短路电流

厂西变电所至4CDQ电气室采用ZR-YJV-8.7/10 kV 3×3(1×500)电缆，长度1.21 km。计算线路阻抗标么值： $X_1^*=X_l/(U_j^2/S_j)/n=0.314\times 0.29\times 1.21/[(10.5\text{ V})^2/100\text{ MV}\cdot\text{A}]/3=0.034$ ，则下级10 kV进线开关处短路容量及短路电流为

最大运行方式： $S_{\max 2}''=S_j/(X_{\Sigma\max}^*+X_1^*)=100\text{ MV}\cdot\text{A}/0.205\,5=486.6\text{ MV}\cdot\text{A}$ ； $I_{\max 2}''=S_{\max 2}''/(\sqrt{3}U_j)=486.6\text{ MV}\cdot\text{A}/(\sqrt{3}\times 10.5\text{ V})=26.76\text{ kA}$

最小运行方式： $S_{\min 2}''=S_j/(X_{\Sigma\min}^*+X_1^*)=100\text{ MV}\cdot\text{A}/0.245\,4=407.5\text{ MV}\cdot\text{A}$ ； $I_{\min 2}''=S_{\min 2}''/(\sqrt{3}U_j)=407.5\text{ MV}\cdot\text{A}/(\sqrt{3}\times 10.5\text{ V})=22.4\text{ kA}$

式中， X_l 为线路阻抗； U_j 为基准电压； S_j 为基准容量； n 为电缆回数。

(3) 定时限速断保护(50)整定

由于下级10 kV进线开关速断保护整定值未知，按照保护整段线路计算，并按照灵敏度2整定。

一次值： $I_{dz1}''=K_{\max d}\times I_{\min 2}''/K_m^{(2)}_{\min}=0.87\times 22.4\text{ A}\times 1\,000/2=9\,744\text{ A}$

整定值： $I_{dzj}=I_{dz1}''/K_i=9\,744\text{ A}/600=16.24\text{ A}$

式中， I_{dz1} 为一次整定值； $K_{\max d}$ 为接线系数； $K_m^{(2)}_{\min}$ 为灵敏度； K_i 为电流互感器变比。

整定值取16 A，保护动作时间0.4 s。

(4) 反时限过电流保护51整定

$$t=\frac{0.14}{(I/I_p)^{0.02}-1}t_p$$

一次值： $I_{dz1}=1.5\times I_{ef}=1.5\times 1\,718.3\text{ A}=2\,577.45\text{ A}$

整定值： $I_{dzj}=I_{dz1}/K_i=2\,577.45\text{ A}/600=4.3\text{ A}$ ，

取5 A

验算灵敏度： $K_m^{(2)}=K_{\max d}\times I_{\min}''/I_{dz1}=0.87\times 22\,400/3\,000=6.5>1.5$

$T_p=T[(I/I_p)^{0.02}-1]/0.14=0.5(8.92^{0.02}-1)/0.14=$

0.159，取0.16，（其中 $I/I_p=26\,760/3\,000=8.92$ ）

式中， I_{ef} 为线路过负荷电流； T_p 为反时限曲线； T 为动作时间； I 为穿越电流； I_p 为整定过电流一次值。

(5) 零序过流保护(51G)整定

一次值： $I_{dz1}=0.33\times I_0/K_f=0.33\times 300/1.1\approx 90\text{ A}$

整定值： $I_{dzj}=I_{dz1}/K_i=90/600=0.15\text{ A}$

$T_p=T[(I/I_p)^{0.02}-1]/0.14=0.5(3.33^{0.02}-1)/0.14=0.086$ ，取 $T_p=0.1$ ，（其中 $I/I_p=300/90=3.33$ ）

式中， I_0 为接地电流； K_f 为整定系数。

(6) 4CDQ回路整定表

4CDQ回路整定值如下表所示。

表 4CDQ回路整定值

序号	保护	电流定值/A	T_p/s	电压定值/V
1	定时限速断保护(50)	16	0.4	
2	反时限过电流保护(51)	5	$T_p=0.16$	
3	零序过电压闭锁零序过电 流保护(64+51G)	0.15	$T_p=0.1$	30

结束语

随着此项目的顺利实施，缓解了此区域用电紧张的局面，满足了宝钢烧结脱硫、二期煤气系统升级改造、酚酞综合电气室改造、焦炉易地大修和四烧结等项目的建设。经过4年多的运行，系统稳定可靠。

（收稿日期：2014-12-19）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告