

自并励发电机相间短路电流计算及保护配置和动作行为分析

路进升, 张长彦, 闫学广, 刘桂莲

(许继电气有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 随着微机励磁调节器技术的不断提高, 使得自并励发电机得到了广泛的应用。在机端、主变高压侧或单条线路(最小运行方式)上发生三相或两相短路故障时, 自并励发电机与他励发电机短路电流有很大的不同, 自并励发电机应配置什么保护、保护定值怎样整定及保护动作行为如何, 继电保护人员都需有清楚的认识, 文中用三个实际工程来加以说明。

关键词: 励磁调节器; 自并励; 短路电流; 保护; 工程

The out phase failure current of self-generating calculation ,setting and action analysis of the protection

LU Jin-sheng, ZHANG Chang-yan, YAN Xue-guang, LIU Gui-lian
(XJ Electric Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: With the improvement of the technology of microcomputer excitation regulator, self-excitaiton generators are widely used. The failure current of self-generating is very different from that of other generators during a three-phase or two-phase short-circuit failure whether the generator, the main transformer high side or a single line (minimum operating mode). Through the following three practical projects, this paper explains three questions: what protection should be used on self-generating, the action of that protection during failure, how to calculate the settings of that protection. Protection engineers should have a clear understanding on those questions.

Key words: excitation regulator; self excitation; failure current; protection; project

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)13-0063-05

0 引言

自并励发电机与他励发电机有着较大的不同^[1], 这主要反应在励磁电源取自发电机机端, 经励磁变压器和由微机励磁调节器控制的可控硅整流元件, 向发电机励磁绕组供给直流励磁电压、电流。由于采用了微机励磁调节器控制的可控硅整流技术, 使得自并励发电机具有反应速度快、能快速灭磁和快速减励磁、无旋转部分、接线和结构简单、主机轴系长度短和日常维护工作量小; 再加上微机励磁调节器所具有的系统稳定器, 大大增强了电力系统暂态稳定, 现已为各种容量的发电机所采用。但也带来了新的问题, 即当发电机外部发生对称或不对称短路时, 机端电压下降, 励磁电流随之减小, 使得短路电流随时间的增长而逐渐衰减, 有可能衰减到额定(负荷)电流以下, 过流保护不能正确反应故障, 为此需额外配置相应的后备保护—自并励机组后备保护。设计院、发电厂和保护制造厂家相关人员在配置自并励机组后备保护上有不同的作

法, 更有甚者还在励磁变压器上装设低压(复合电压)记忆过流保护。在搞清这些问题之前, 需知道在不同处发生故障时短路电流的大小和性质。

1 自并励发电机相间短路电流的计算

根据文献[1]所介绍计算方法, 归纳总结出经外接电抗三相短路和两相短路时短路电流随时间的衰减变化值, 计算步骤如下:

(1) 若空载电控制角和强励电控制角未知, 可根据已知的空载励磁电压和强励励磁电压及三相全控整流直流电压平均值方程, 反推求出空载电控制角和强励电控制角:

三相全控整流直流电压平均值为:

$$U_{fd} = 1.35U_{p-p} \cos \alpha$$

式中: U_{fd} 是整流后直流电压, U_{p-p} 是励磁变压器二次相间电压, α 是三相全控整流电控制角。

对应空载励磁电压 U_{fd0} , 空载电控制角

$$\alpha_0 = \arccos^{-1}(U_{fd0} / 1.35U_{p-p})$$

对应强励励磁电压 $U_{fd,k}$, 强励电控角

$$\alpha_k = \arccos^{-1}(U_{fd,k} / 1.35U_{p-p,k})$$

(2) 计算出短路点的外接电抗 x_s , 求出外接电抗临界值 $x_{s,cr}$, 比较二者大小, 若 x_s 小于 $x_{s,cr}$ 则短路电流必然会随时间衰减到零。

外接电抗临界值: $x_{s,cr} = x_d / (C_a - 1)$

其中: $C_a = \cos \alpha_k / \cos \alpha_0$ 。

当发电机机端发生短路时, 其外接电抗等于零, 即 $x_s = 0$ 。

(3) 根据已知的 x_s 、 x_d 、 x_d' 、 x_d'' , 求出短路次暂态电流分量和短路暂态电流分量

1) 三相短路的次暂态电流分量:

$$i_d^{(3)} = 1 / (x_d' + x_s)$$

两相短路的次暂态电流分量:

$$i_d^{(2)} = \sqrt{3} / (x_d' + x_s + x_{2\Sigma})$$

式中: $x_{2\Sigma} = x_{f,2} + x_{s,2}$, $x_{f,2}$ 、 $x_{s,2}$ 分别是发电机负序电抗和外接电抗的负序值。

2) 三相短路的暂态电流分量:

$$i_d^{(3)} = 1 / (x_d'' + x_s)$$

两相短路的暂态电流分量:

$$i_d^{(2)} = \sqrt{3} / (x_d'' + x_s + x_{2\Sigma})$$

(4) 根据已知的 T_{d0}' 、 T_{d0}'' 和其它已知, 求出定子纵轴次暂态时间常数 T_d' 和自并励系统励磁回路的等效时间常数 $T_{d,k}$ 。

1) 三相短路定子纵轴次暂态时间常数:

$$T_d^{(3)} = T_{d0}' \frac{x_d' + x_s}{x_d'' + x_s}$$

2) 两相短路暂态时间常数可按 $T_d^{(2)} \approx T_d^{(3)}$ 来计算:

3) 三相短路自并励系统励磁回路的等效时间常数:

$$T_{d,k}^{(3)} = T_{d0}' \left(\frac{x_d' + x_s}{x_d'' + x_s} \right) / \left(1 - C_a \frac{x_s}{x_d'' + x_s} \right)$$

4) 两相短路自并励系统励磁回路的等效时间常数:

$$T_{d,k}^{(2)} = (0.9 \sim 0.96) T_{d0}' A / (1 - C_a B)$$

其中: $A = \frac{x_d' + x_s + x_{2\Sigma}}{x_d'' + x_s + x_{2\Sigma}}$, $B = \frac{x_s + x_{2\Sigma}}{x_d'' + x_s + x_{2\Sigma}}$

(5) 写出经外接电抗短路的短路电流方程

1) 三相短路电流方程:

$$i_d^{(3)} = (i_d^{(3)} - i_d^{(3)})e^{-t/T_d'} + i_d^{(3)}e^{-t/T_{d,k}^{(3)}} \quad (1)$$

由式(1)可计算出不同时间的三相短路电流。

2) 两相短路电流方程:

$$i_d^{(2)} = (i_d^{(2)} - i_d^{(2)})e^{-t/T_d'} + i_d^{(2)}e^{-t/T_{d,k}^{(2)}} \quad (2)$$

由式(2)可计算出不同时间的两相短路电流。

2 自并励发电机的几个实例

现列出 300 MW、600 MW 汽轮机组和水轮机组 700 MW 三个实例, 供大家有个初步的认识。短路点分为机端处 d1 点、主变高压母线处 d2 点和单出线 30 km 处 d3 点, 分别计算三相和两相短路电流。

2.1 实例一

型号为 QFSN-300-2-20B 的 300 MW 汽轮机组, 各参数是: $S_n = 353$ MVA, $U_n = 20$ kV, $\cos \varphi = 0.85$, $x_d = 1.85$, $x_d' = 0.226$, $x_d'' = 0.1555$, $x_{f,2} = 0.1718$, 空载励磁电压 $U_{fd,0} = 135$ V, 额定励磁电压 $U_{fd,n} = 455$ V, 强励励磁电压倍数 2.7, 转子励磁回路的次暂态时间常数 $T_{d0}' = 0.035$ s, 暂态时间常数 $T_{d0}'' = 9.223$ s, 励磁变压器高低压侧变比是 20/0.983 kV, 主变额定电压 220/20 kV, 主变电抗 $x_t = 0.143$, 单出线 30 km 处 d3 点的线路电抗 $x_l = 0.0875$, 以上各电抗值都是以基准容量 353 MVA 的标么值。求机端 d1 点、高压母线处 d2 点和距母线 30 km 处 d3 点的三相和两相短路电流。

线路 d3 点外接电抗 $x_{s,d3} = x_t + x_l = 0.2305$, 外接电抗临界值 $x_{s,cr} = 0.2267$, d3 短路点外接电抗大于外接电抗临界值, 短路电流不会衰减有可能要增大, 因此 d3 点短路电流不再计算。由自并励发电机相间短路电流计算方法可写出各短路点的短路电流方程: d1 点三相短路电流方程见式(3), d1 点两相短路电流方程见式(4), d2 点三相短路电流方程见式(5), d2 点两相短路电流方程见式(6)。

$$i_{d,d1}^{(3)} = (6.43 - 4.42)e^{-t/0.0241} + 4.42e^{-t/1.1267} = 2.01e^{-t/0.0241} + 4.42e^{-t/1.1267} \quad (3)$$

$$i_{d,d1}^{(2)} = (5.29 - 4.35)e^{-t/0.0241} + 4.35e^{-t/7.8614} = 0.94e^{-t/0.0241} + 4.35e^{-t/7.8614} \quad (4)$$

$$i_{d,d2}^{(3)} = (3.35 - 2.71)e^{-t/0.0283} + 2.71e^{-t/4.9814} = 0.64e^{-t/0.0283} + 2.71e^{-t/4.9814} \quad (5)$$

$$i_{d,d2}^{(2)} = (2.82 - 2.53)e^{-t/0.0283} + 2.53e^{-t/3.2107} =$$

$$0.29e^{-t/0.0283} + 2.53e^{t/3.2107}$$

(6)

两相短路电流见表 1。

计算出 d1、d2 点随时间变化的三相短路电流和

表 1 300 MW 汽轮机组三相和两相短路电流

Tab.1 Three-phase and two-phase short-circuit current of 300 MW steam turbine unit

t/s		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0
d1 点	三相短路电流	4.07	3.70	3.39	2.84	2.37	1.82	1.17	0.75	0.31
	两相短路电流	4.31	4.24	4.19	4.08	3.98	3.83	3.59	3.37	2.97
d2 点	三相短路电流	2.68	2.60	2.55	2.45	2.35	2.22	2.00	1.81	1.48
	两相短路电流	2.62	2.38	2.78	2.96	3.15	3.45	4.04	4.72	6.44

从表 1 可看出, 自并励 300 MW 的汽轮机组在机端发生三相和两相短路故障时, 其短路电流有很大的不同, 三相短路电流衰减极快, 影响过流保护的正确动作, 但机端两相故障和在主变高压母线处三相短路故障时, 短路电流衰减的较慢, 主变高压母线处两相短路故障时, 短路电流不衰减反而增大, 都不影响过流保护的動作行为。从这个意义讲, 在机端配置低压记忆过流保护作为后备保护即可, 而不必配置复合电压记忆过流保护。

2.2 实例二

型号为 QFSN-600-2YHG 的 600 MW 汽轮机组, 各参数是: $S_n = 667 \text{ MVA}$, $U_n = 20 \text{ kV}$, $\cos \varphi = 0.9$, $x_d = 2.27$, $x'_d = 0.2671$, $x''_d = 0.238$, $x_{t.2} = 0.2011$, $U_{fd.0} = 153 \text{ V}$, $U_{fd.n} = 428 \text{ V}$, 强励励磁电压倍数 2.7, $T'_{d0} = 0.045 \text{ s}$, $T''_{d0} = 8.724 \text{ s}$, 励磁变压器高低压侧变比是 20/0.89 kV, 主变额定电压 500/20 kV, 主变电抗 $x_t = 0.1297$, 单出线 30 km 处 d3 点的线路电抗 $x_l = 0.024$ (3 分裂输电线每公里 0.3 Ω 计算), 以上各电抗值都是以基准容量 667 MVA 的标幺值。求 d1、d2 和 d3 点的三相和两相短路电流。

由 d1、d2 和 d3 三短路点的外接电抗小于外接电抗临界值可知短路电流是衰减的。

d1 点三相短路电流方程见式(7), d1 点两相短路电流方程见式(8), d2 点三相短路电流方程见式(9), d2 点两相短路电流方程见式(10), d3 点三相短路电流方程见式(11), d3 点两相短路电流方程见式(12)。计算出 d1、d2、d3 点随时间变化的三相短路电流和两相短路电流见表 2。

$$i_{d,d1}^{(3)} = (4.91 - 3.74)e^{-t/0.0343} + 3.74e^{-t/1.0265} = 1.17e^{-t/0.0343} + 3.74e^{-t/1.0265} \quad (7)$$

$$i_{d,d1}^{(2)} = (4.28 - 3.70)e^{-t/0.0343} + 3.70e^{-t/3.87} = 0.58e^{-t/0.0343} + 3.7e^{-t/3.87} \quad (8)$$

$$i_{d,d2}^{(3)} = (3.0 - 2.52)e^{-t/0.0378} + 2.52e^{-t/2.4413} = 0.48e^{-t/0.0378} + 2.52e^{-t/2.4413} \quad (9)$$

$$i_{d,d2}^{(2)} = (2.61 - 2.38)e^{-t/0.0378} + 2.38e^{t/7.5616} = 0.23e^{-t/0.0378} + 2.38e^{t/7.5616} \quad (10)$$

$$i_{d,d3}^{(3)} = (2.80 - 2.38)e^{-t/0.0382} + 2.38e^{-t/2.9134} = 0.42e^{-t/0.0382} + 2.38e^{-t/2.9134} \quad (11)$$

$$i_{d,d3}^{(2)} = (2.43 - 2.23)e^{-t/0.0382} + 2.23e^{t/6.0659} = 0.2e^{-t/0.0382} + 2.23e^{t/6.0659} \quad (12)$$

表 2 600 MW 汽轮机组三相和两相短路电流

Tab.2 Three-phase and two-phase short-circuit current of 600 MW steam turbine unit

t/s		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0
d1 点	三相短路电流	3.46	3.08	2.79	2.30	1.89	1.41	0.87	0.53	0.20
	两相短路电流	3.64	3.52	3.42	3.25	3.09	2.6	2.51	2.21	1.79
d2 点	三相短路电流	2.45	2.32	2.23	2.05	1.89	1.67	1.36	1.11	0.74
	两相短路电流	2.43	2.45	2.48	2.54	2.61	2.72	2.90	3.10	3.54
d3 点	三相短路电流	2.33	2.22	2.15	2.00	1.87	1.69	1.42	1.20	0.85
	两相短路电流	2.28	2.30	2.34	2.42	2.50	2.63	2.86	3.10	3.67

从表 2 可看出, 自并励 600 MW 汽轮机组在 d1、d2 和 d3 三处三相短路故障时, 三相短路电流衰减

的较快, 3 s 时短路电流都小于额定负荷电流, 过流保护不能正确反应故障情况, 此时需配置低压记忆

过流保护, 低电压元件满足 1.3 灵敏度的要求 (d3 点三相故障传变到机端电压标幺值是 $U_{r,max} = x_{s,d3} / (x_d + x_{s,d3}) = 0.39$, 灵敏系数 $K_{sen,U} = 0.6/0.39 = 1.54 > 1.3$)。而 d1 处发生两相短路故障时, 两相故障电流衰减的极慢, 3 s 时短路电流是额定负荷电流的 1.79 倍; d2 和 d3 处两相短路时, 两相短路电流都是增大的, 配置过流保护即可正确反应故障情况。

2.3 实例三

某大型水电站水轮机组型号为 SFS700-80/19310, 各参数是: $S_n = 777.8$ MVA, $U_n = 20$ kV, $\cos\varphi = 0.9$, $x_d = 0.88$, $x'_d = 0.30$, $x''_d = 0.20$, $x_{r2} = 0.30$, $U_{fd,0} = 205$ V, $U_{fd,n} = 405$ V, 强励励磁电压倍数 3.0, $T'_{d0} = 0.11$ s, $T''_{d0} = 11.1$ s, 励磁变压器高低压侧变比是 20/0.95 kV, 主变额定电压 500/20 kV, 主变电抗 $x_t = 0.156$, 单出线 30 km 处 d3 点的线路电抗 $x_l = 0.024$ (3 分裂输电线每公里 0.3 Ω 计算), 以上各电抗值都是以基准容量 777.8 MVA 的标幺值。求 d1、d2 和 d3 点的三相和两相短路电流。

d3 短路点外接电抗大于外接电抗临界值, 短路电流不会衰减反而要增大, 因此 d3 点短路电流不再计算。

d1 点三相短路电流方程见式(13), d1 点两相短路电流方程见式(14), d2 点三相短路电流方程见式

(15), d2 点两相短路电流方程见式(16)。

$$i_{d,d1}^{(3)} = (5.0 - 3.39)e^{-t/0.0746} + 3.39e^{-t/3.721} = 1.61e^{-t/0.0746} + 3.39e^{-t/3.721} \quad (13)$$

$$i_{d,d1}^{(2)} = (3.46 - 2.91)e^{-t/0.0746} + 2.91e^{t/9.92} = 0.553e^{-t/0.0746} + 2.91e^{t/9.92} \quad (14)$$

$$i_{d,d2}^{(3)} = (2.81 - 2.22)e^{-t/0.0868} + 2.22e^{-t/45.12} = 0.59e^{-t/0.0868} + 2.22e^{-t/45.12} \quad (15)$$

$$i_{d,d2}^{(2)} = (2.13 - 1.91)e^{-t/0.0868} + 1.91e^{t/4.2397} = 0.22e^{-t/0.0868} + 1.91e^{t/4.2397} \quad (16)$$

计算出 d1、d2 点随时间变化的三相短路电流和两相短路电流见表 3。

由于水轮机组的纵向电抗、纵向暂态电抗、纵向次暂态电抗三值比较接近, 特别是纵向电抗比汽轮机组的小一倍, 使得自并励水轮机组的短路电流不同于汽轮机组的独特特点。从表 3 可看出, 3 s 时的机端三相短路电流最小也有 1.5 倍的额定电流, 机端三相短路电流衰减的较慢, 不会影响过流保护的動作行为; 高压母线的三相短路电流衰减的极慢, 机端两相短路和高压母线的两相短路电流不衰减反而增大, 这些都不会影响过流保护的正确動作行为。单纯从这个意义上来看, 配置过流保护即可, 而不必配置低压记忆过流保护。

表 3 700 MW 水轮机组三相和两相短路电流

Tab.3 Three-phase and two-phase short-circuit current of 700 MW hydraulic turbine unit

t/s		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0
d1 点	三相短路电流	3.72	3.32	3.16	2.97	2.81	2.59	2.27	1.98	1.51
	两相短路电流	3.09	3.01	3.01	3.06	3.12	3.22	3.39	3.56	3.75
d2 点	三相短路电流	2.41	2.29	2.25	2.24	2.25	2.27	2.29	2.32	2.34
	两相短路电流	2.03	2.02	2.06	2.15	2.25	2.42	2.72	3.06	3.87

3 工程应用中的几个问题

3.1 工程应用中的保护配置

1) 自并励发电机配置的后备保护

自并励机组可配置的后备保护有两种, 一种是低压记忆过流保护, 另一种是复压(负序电压+低电压)记忆过流保护。工程应用中应根据具体情况进行配置, 低压记忆过流原理判据较复压记忆过流简单, 调试维护相对简单方便; 低电压元件只能反应三相短路故障, 复合电压元件不仅反应三相故障

也能反应两相故障; 过流元件灵敏度相同, 低电压元件灵敏度没有复合电压的高但在能满足灵敏度要求的前提下三相短路应首选低压记忆过流保护。

从上面三个实例可以看出, 自并励 600 MW 汽轮机组在 d1、d2 和 d3 三点的三相短路电流和自并励 300 MW 汽轮机组机端三相短路电流衰减的较快, 3 s 时短路电流都小于额定负荷电流, 过流保护不能正确反应故障情况, 需配置自并励机组的后备保护; 但其两相短路电流较大, 都大于额定电流, 不会影响过流保护的動作行为, 不需要配置自并励机组的

后备保护。从这里可以看出, 只需配置低压记忆过流保护满足自并励机组三相故障的需要, 而不必装设复压记忆过流保护。

再次, 最不利的 600 MW 汽轮机组距出线 30 km 处 d3 点三相故障时, 低电压元件也能满足灵敏度要求。由实例二可知, d3 点三相故障传变到机端电压标幺值是 0.39, 低电压元件灵敏系数 $K_{\text{sen.U}} = U_{\text{op}} / U_{\text{r,max}} = 0.6 / 0.39 = 1.54 > 1.3$ 满足要求。

由上述分析得出结论: 对于 300 MW 以上的自并励汽轮机组配置低压记忆过流保护能满足高压母线三相短路故障的要求; 而对于特大型自并励水轮机组则可以配置低压记忆过流保护。

2) 励磁变压器高压侧后备保护

励磁变压器容量一般只是发电机容量的 0.011 倍, 其低压侧最大故障电流不会超过发电机额定电流的 0.15 倍, 此故障电流由发电机和系统经主变压器提供, 故障电流不衰减 (严格来说有所减小, 即使发电机不提供短路电源, 故障电流变化量很小不到故障电流的 10%), 因此励磁变压器后备保护不需要配置记忆过流保护。至于励磁变压器低压侧发生相间短路故障造成发电机励磁电流大大下降或完全失磁, 则应由发电机失磁保护来反应。

3.2 低压记忆过流保护整定计算

低压记忆过流保护各元件动作值整定计算可按《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》来计算:

过流元件动作电流可按下式整定:

$$I_{\text{op}} = K_{\text{rel}} I_{\text{gn}} / n_a$$

式中: K_{rel} 是可靠系数取 1.3, I_{gn} 是发电机额定电流, n_a 是电流互感器变比。

低电压元件的动作电压按下式整定:

$$U_{\text{op}} = K_{\text{rel}} U_{\text{min}} / n_v$$

式中: K_{rel} 是可靠系数取 0.8, U_{min} 是发电机端最低运行电压或躲过失磁时的最低电压, n_v 是电压互感器变比。

对于高压母线处三相短路故障来说, 过流元件灵敏系数肯定能满足, 可以不用计算。

低电压元件灵敏系数按:

$K_{\text{sen.U}} = U_{\text{op}} / (U_{\text{r,max}} / n_v)$ 计算, 应大于 1.3, $U_{\text{r,max}}$ 是主变高压侧三相金属性短路时, 发电机端的最大残压。

3.3 低压记忆过流保护动作行为

由于不同电厂的主接线和所配置设备的不同, 使得保护动作后的动作行为也有所不同。

1) 高压双母线或双母线分段或单母分段主接线

低压记忆过流保护应设置一段定值两个时限, 以较短时限动作跳母联断路器或分段断路器, 用以缩小故障范围; 较长时限动作于解列灭磁或程序跳闸或停机, 这能有效克服误停非故障母线上的运行机组。

2) 对一个半断路器接线的低压记忆过流保护应设置一段定值一个时限, 直接动作于解列灭磁或程序跳闸。

3) 考虑到该保护动作是解列灭磁或程序跳闸或停机, 尽管该保护动作后不能立即返回, 也应以该“保护动作”去启动“失灵启动”, 但失灵启动不会动作去启动断路器失灵保护。因失灵启动有三个判据, “保护动作”只是其中的一个判据, 另两个判据“断路器辅助触点(合闸)”和“相电流(负序电流或零序电流)”不满足失灵启动动作条件, 保护不会动作。

4 结论

1) 300 MW 及以上的自并励汽轮发电机组, 在机端 d1 点三相短路 3 s 时故障电流都小于发电机的额定电流; 600 MW 自并励汽轮发电机组在主变高压侧 d2 点和距母线 30 km 处的 d3 点, 3 s 时的三相短路电流都小于发电机的额定电流。

2) 由于水轮发电机组的自并励系统励磁回路的等效时间常数 $T_{d,k}$ 较大, 机端 d1 点和主变高压侧 d2 点 3 s 时的三相短路电流衰减得较慢以及两相短路电流增大等特性, 都不影响过流保护的動作行为, 从这个意义讲可以不配置记忆过流保护。

3) 由上可知, 对于 300 MW 及以上的自并励汽轮发电机组, 除了配置常规的对称过负荷(反时限)和不对称过负荷(反时限)保护外, 还应增设低压记忆过流保护, 作为自并励机组机端或主变高压侧三相短路的后备保护。

参考文献

- [1] 王维俭, 侯炳蘊. 大型机组继电保护理论基础(第 2 版)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.

收稿日期: 2008-08-12

作者简介:

路进升(1973-), 男, 本科, 工程师, 主要从事电气主设备继电保护的开发和设计; E-mail: js265@126.com

张长彦(1976-), 女, 本科, 工程师, 主要从事电气主设备继电保护的设计。