

# 某轧钢厂降压变电所的电气设计

孙祥森<sup>1</sup>, 贾福考<sup>2</sup>

<sup>1</sup>南京林业大学马克思主义学院, 江苏 南京

<sup>2</sup>山东工商学院信息与电子工程学院, 山东 菏泽

收稿日期: 2023年5月16日; 录用日期: 2023年6月23日; 发布日期: 2023年6月30日

## 摘要

某轧钢厂供电系统在实际运行中存在系统可靠性、电气设备、防雷设计等方面问题, 易造成投资浪费, 甚至会导致短路电流超标、接地故障、雷击损害等电气故障, 引发事故的发生, 究其根本原因, 还是在设计阶段基础不扎实, 设计有缺陷。根据国家相关标准规范, 结合相关方面的研究, 为某轧钢厂建立降压变电所, 对其变压器、主接线方式、电气设备、导体和电缆及防雷保护和接地装置等进行设计, 对整个过程的整理总结, 绘制了整个该厂的变电所的主接线电路图, 能够实现工厂稳定、可靠、安全、经济运行。

## 关键词

变压器, 主接线方式, 电气设备, 导体, 防雷保护

# Electrical Design of a Step-Down Substation in a Rolling Mill

Xiangsen Sun<sup>1</sup>, Fukao Jia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Marxism, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>School of Information and Electrical Engineering, Shandong Technology and Business University, Heze Shandong

Received: May 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2023; published: Jun. 30<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

There are issues with system reliability, electrical equipment, and lightning protection design in the actual operation of the power supply and distribution system of a certain steel rolling plant, which can easily lead to investment waste and even lead to electrical faults such as short-circuit current exceeding standards, grounding faults, and lightning damage, leading to the occurrence of accidents. The root cause of the accident is still in the design stage, with weak foundation and design

文章引用: 孙祥森, 贾福考. 某轧钢厂降压变电所的电气设计[J]. 设计, 2023, 8(2): 773-787.

DOI: 10.12677/design.2023.82096

defects. According to relevant national standards and regulations, combined with relevant research, a step-down substation was established for a steel rolling plant. The transformer, main wiring mode, electrical equipment, conductors and cables, lightning protection and grounding devices were designed, and the entire process was summarized. The main wiring circuit diagram of the entire substation in the plant was drawn, which can achieve stable, reliable, safe, and economic operation of the factory.

## Keywords

Transformer, Main Wiring Mode, Electrical Equipment, Conductors, Lightning Protection

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

轧钢厂供电中, 将高电压变压成符合用电设备使用的低压, 需要变电所进行能量变换并且配电。电能相较其他能量具有传输方便、转换方便而被人们使用, 一个厂的电能使用需要安全、可靠、优质、经济这几个方面作为指标[1]。所以, 本文对降压变电所进行电气设计, 目的是能做到稳定供电的同时, 又能够保护系统。

## 2. 研究背景及内容

### 2.1. 工厂变电所的背景及意义

某轧钢厂需要建设一个变电所给各个车间进行供电。该厂除 4 号厂房、5 号厂房和 6 号厂房在负荷等级中属于一级负荷, 其余大部分为二级负荷。其预计负荷统计数据如表 1 所示。

**Table 1.** Load situation of a certain steel rolling plant

**表 1.** 某轧钢厂负荷情况

厂房编号	厂房名称	负荷等级	设备容量/kW	需要系数 Kd	功率因数 $\cos\phi$
1	原料仓库	2	1000	0.3	0.65
2	燃料车间	2	1500	0.6	0.80
3	办公楼	2	450	0.4	0.65
4	冶炼车间	1	1900	0.5	0.65
5	制坯车间	1	2000	0.75	0.80
6	热轧车间	1	1500	0.8	0.80
7	机修车间	2	1600	0.35	0.70
8	冷轧车间	2	1700	0.5	0.65
9	成品仓库	2	800	0.4	0.80
10	生活区	3	210	0.35	0.9

轧钢厂的近距离有一个 110 kV 的供电线路和附近单位可以供电。并且电网供电线的型号为 LGJ-240; 此公共线路的首端距离该轧钢厂大约有 5 km, 并且高压断路器断流容量是 600 MVA。工厂平面图如图 1, 供电网要求工厂最大负荷的功率因数要高于 0.9。

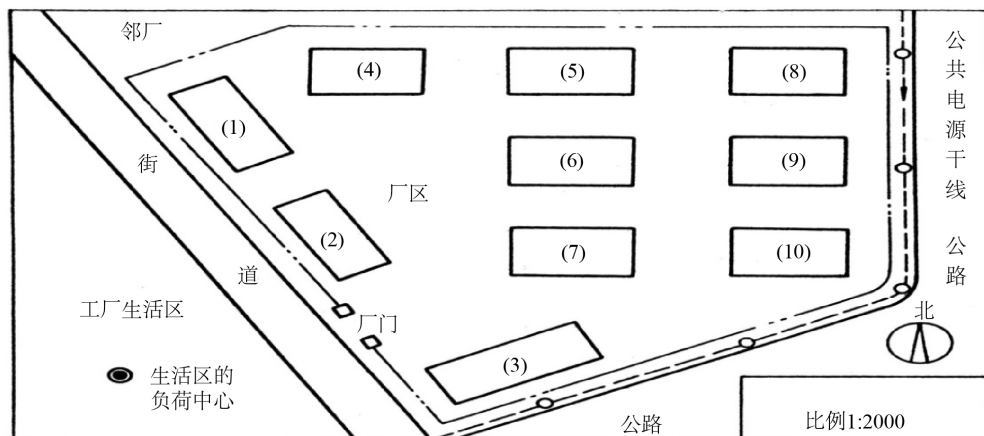


Figure 1. Factory floor plan

图 1. 工厂平面图

电是当今时代生产的主要能源。电能可以从其他能源转换而来, 也可以转换成其他形式。在工厂中, 尽管电能是让机器运行的主要的能源, 但它的投资成本所占比例普遍很少。稳定的供电能够使生产效率提高, 改善生产环境。一个质量不稳定的电能, 不仅造成生产产品不合格, 还有可能造成人身安全[2]。所以一个工厂拥有安全的, 可靠的, 优质经济的电能不能缺少设计优良的变电所。

## 2.2. 主要研究内容及目标

- 1) 统计计算用电负荷;
- 2) 进行无功补偿;
- 3) 选择变压器;
- 4) 计算短路电流;
- 5) 选择一次设备, 比如断路器、隔离开关等;
- 6) 选择导线;
- 7) 设立避雷装置。

## 3. 变压器的设计

### 3.1. 计算负荷

供电系统中要想稳定可靠的运行, 就要选择合适的导线、变压器等一次设备, 选择这些类型的依据就要用到计算负荷, 一个合适准确的负荷可以让本文设计的更加经济合理, 如果负荷计算过大的时候, 就会导致本文选择的导线截面积过大, 浪费了资源与经费, 当过小时, 使选择的电气设备超过自己额定运行参数, 就会加速设备老化, 甚至烧坏设备[3]。所以本文需要计算出一个准确的计算负荷。

现在计算负荷的方式主要是有两种, 一个是利用需要系数法, 另一个是二项式的方法。但是二项式的方法有局限性, 这里本文使用的是需要系数的方法, 根据表 1 的负荷统计, 该轧钢厂的计算负荷结果如表 2:

Table 2. Calculation load table

表 2. 计算负荷表

厂房编号	厂房名称	负荷等级	有功功率 kW	无功功率 kvar	视在计算负荷 kVA	计算电流 A
1	原料仓库	2	300	351	461.5	701
2	燃料车间	2	900	675	1125	1709
3	办公楼	2	180	210.6	277	421
4	冶炼车间	1	950	1111.5	1461.5	2221
5	制坯车间	1	1500	1125	1875	2849
6	热轧车间	1	1200	900	1500	2279
7	机修车间	2	560	560	800	1215
8	冷轧车间	2	850	994.5	1307.7	1987
9	成品仓库	2	320	240	400	608
10	生活区	3	73.5	36	81.7	124
11	总计		5467	5273	7595	11539

### 3.2. 变压器的确定

#### 3.2.1. 主变压器

根据当地所提供的电压等级, 实际情况以及数据的结果来看, 本文选择两个主变压器进行变压。原因之一是该厂子里面的负荷有一级负荷, 如果只采用一台变压器, 碰巧又发生了故障, 很容易造成生产的产品不合格, 机器发生严重的故障, 且维修成本非常高, 甚至造成人身安全。二是根据计算的数据发现该厂的总计算容量很大, 对一台变压器的要求会更高, 更高的容量要求意味着更高的价格, 所以不经济。

因为本文确定的是两个主变压器, 所以当一不工作时, 只有另外一个工作时, 它的容量应满足:

$$S_{N.T} = (0.6 \sim 0.7) S'_{30} \quad (3-1)$$

$$S_{N.T} \geq S_{30(1+II)} \quad (3-2)$$

综上规则, 将数值代入有:

$$S_{N.T} = (0.6 \sim 0.7) \times S_{30} = (3443 \sim 4017) \text{ kVA} \quad (3-3)$$

考虑以后的发展, 留有裕度, 因此选两台三相双绕组 SFZ9-6300/110 (YNd11)型变压器。

#### 3.2.2. 车间变压器

总负荷不超过 2000 kW 的用电设备, 且负荷等级不高时, 本文可以让它们共用一台变压器, 但对于负荷等级高时, 本文对其单独使用一台变压器[4]。所以本文对 4 号、5 号、6 号厂房各选择一台变压器, 对其余车间选择共用一台变压器的办法进行供电。选择过程如下:

4、5、6 号车间变压器的选择: 该车间的视在计算负荷为 1461.5 kVA, 本文选择用一台额定电压为 10.5 kV, 额定容量大于 1461.5 kVA 的变压器。同理, 本文 5 号和 6 号车间也是根据其视在计算负荷进行选择。

1、2、3 号车间公用一个变压器:

$$P_{30} = K_{\Sigma p} \times \sum P_{30} = 0.85 \times 300 + 900 + 180 = 1173 \text{ kW} \quad (3-4)$$

$$Q_{30} = K_{\Sigma q} \times \sum Q_{30} = 0.9 \times 351 + 675 + 210.6 = 1113 \text{ kvar} \quad (3-5)$$

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} = \sqrt{1173^2 + 1113^2} = 1617 \text{ kVA} \quad (3-6)$$

7、8、9、10号车间公用一个变压器,

$$P_{30} = K_{\Sigma p} \times \sum P_{30} = 0.85 \times 560 + 850 + 320 + 73.5 = 1533 \text{ kW} \quad (3-7)$$

$$Q_{30} = K_{\Sigma q} \times \sum Q_{30} = 0.9 \times 560 + 994.5 + 240 + 36 = 1831 \text{ kvar} \quad (3-8)$$

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} = \sqrt{1533^2 + 1831^2} = 2388 \text{ kVA} \quad (3-9)$$

综上所述本文选择的全部变压器如表 3:

**Table 3.** Calculation load table

**表 3.** 变压器选择表

变压器	变压器型号	联接方式	损耗/kW		阻抗电压/%
			空载	负载	
主变压器	2×SFZ9-6300/110	YNd11	7.6	36.9	10.5
4号车间变压器	S9-1600/10	Yyn0	2.4	14.5	4.5
5号车间变压器	S9-2000/10	Yyn0	3	18	6
6号车间变压器	S9-1600/10	Yyn0	2.4	14.5	4.5
1号公用变压器	S9-2000/10	Yyn0	3	18	6
2号公用变压器	S9-2500/10	Yyn0	3.5	25	6

### 3.3. 变压器的确定

变电所的地点大部分都是靠拢负荷最大的那个位置,因此地点的确定就采用负荷功率矩的方法。根据该工厂的俯瞰图,本文找到一个公共的直角坐标系,规定好统一的单位距离,可以得出每一个车间坐标系中的位置,设 $p_1$ 、 $p_2$ 、……、 $p_{10}$ 分别是1号、2号、……、10号的坐标位置,即 $p_i = (x_i, y_i)$ ,那么本文得出:

$$p_1 = (0, 5) \quad p_2 = (1, 2) \quad p_3 = (3, 0) \quad p_4 = (1, 6) \quad p_5 = (4, 6)$$

$$p_6 = (4, 4) \quad p_7 = (4, 2) \quad p_8 = (6, 6) \quad p_9 = (6, 4) \quad p_{10} = (6, 2)$$

根据负荷功率矩的方法,代入公式有:

$$P = \sum_{i=1}^{10} P_{30i} = 12731.5 \text{ kW} \quad (3-10)$$

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{10} P_{30i} \times x_i}{P} = \frac{44357}{12731.5} = 3.5 \quad (3-11)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{10} P_{30i} \times y_i}{P} = \frac{57923}{12731.5} = 4.5 \quad (3-12)$$

最后可以确定,工厂变电所建设在在6号热轧车间附近。

本章通过对统计的用电功率、根据计算负荷的公式,进行了每一个车间的计算,得出了每个车间的计算负荷以及全部用电设备的总的计算负荷。然后根据总的视在计算负荷和有一级负荷的情况,我们选择了两台主变压器,将110 kV 变压为10 kV,又根据负荷等级的情况设置了总共5台车间变压器将10 kV

变压成 380 V, 最后根据工厂的俯视图, 选择了最为合适建立变电所的位置。

## 4. 确定主接线方式

### 4.1. 接线方式选择

因为本轧钢厂的负荷有一级负荷, 所以变电所本文采用两路 110 kV 的电源进线, 分别是通过接入架空线路和电缆线路。最普遍的是一路来自电网, 另一路来自附近单位的高压联络线。当一路电源发生故障时, 由另一路供给, 增加供电的可靠性。经过主变压器变压到 10 kV 的母线上, 根据车间变压器的数量本文共有 5 路出线从 10 kV 母线上引出, 然后经过各个支路的变压器变压成 380 V/220 V 的用电设备的低电压[5]。下面对主接线方案进行选择。

#### 4.1.1. 电气主接线一

110 kV、10 kV、为单母线分段接线, 380 V/220 V 侧为单母线不分段接线, 如图 2 所示:

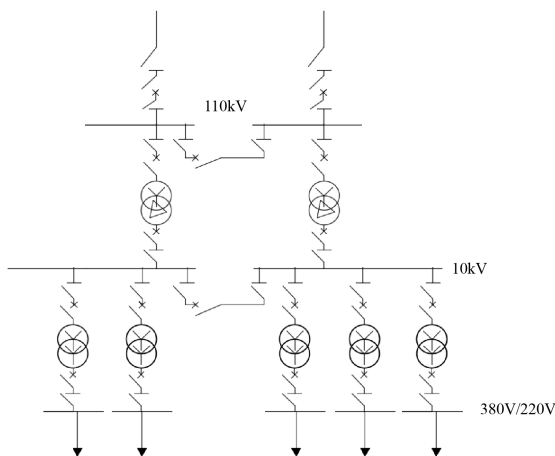


Figure 2. Electrical main wiring diagram I  
图 2. 电气主接线一图

#### 4.1.2 电气主接线二

110 kV 侧为外桥式接线, 10 kV 为单母线分段接线, 380 V/220 V 为单母线不分段接线, 如图 3 所示:

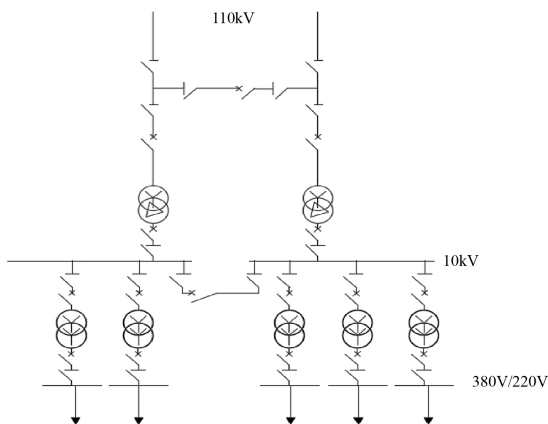


Figure 3. Electrical main wiring diagram II  
图 3. 电气主接线二图

### 4.1.3. 电气主接线三

110 kV 侧采用外桥式, 10 kV 采用单母线分段接线, 380 V/220 V 侧对于一级负荷只有一条出线的情况本文采用单位接线, 多出线的情况本文采用单母线不分段接线, 如图 4 所示:

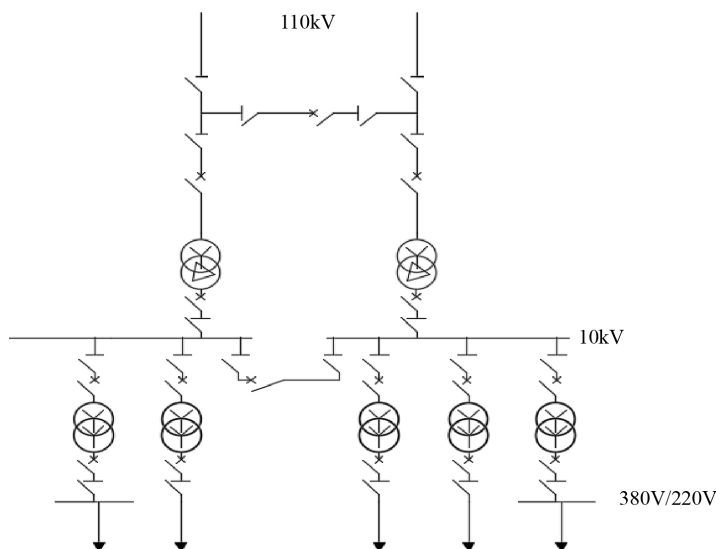


Figure 4. Three diagrams of electrical main wiring  
图 4. 电气主接线三图

下面分别对每一种接线图进行比较, 如表 4 所示:

Table 4. Main wiring comparison  
表 4. 主接线比较

	优点	缺点
主接线一	当其中一条母线发生故障, 另一条可以继续供电, 不受其影响。	当其中一条母线发生故障, 连接这条母线的线路全部停电, 停电范围比较大。
主接线二	变压器操作方便, 接线简单清晰, 设备少, 造价低, 以后容易接成单母线分段接线。	在当线路接入与断开时, 操作复杂
主接线三	接线简单清晰, 接入设备数量较低, 操作简便, 整体使用设备较少, 价格便宜	当一支路上任意电气设备检修或损坏时, 该支路全部断电, 灵活性较差[6]

经过上式的比较和工厂的实际情况, 对于 110 kV 侧有两个电源, 即两条进线, 所以可以直接引入, 不必采用再加入单母线的形式, 使用内桥式的情况, 两条线路之间用断路器连接, 当一侧电源出线发生故障时, 闭合断路器靠备用电源供电。10 kV 侧本文已经确定有五路出线通向五个车间变压器, 因为这里出线较多, 所以本文选择单条母线分段更合适。车间变压器支路有一条出线, 可以选择直接使用单元接线的方式, 对于多条出线可以选择加入单条母线的方式, 这样可以最大程度上避免资源浪费, 节约成本。综上, 我们最终选择主接线三作为本厂的主接线方式。

另外采用基准值的方法对 110 kV 侧、10 kV 侧、380 V 侧的发生短路时的情况求得其点得短路电流, 如表 5 所示, 为本文选择一次设备提供了基础数据, 可以所选设备更加合理。

**Table 5.** Short circuit current calculation junction  
**表 5.** 短路电流计算结果

短路计算点	有效值 $I_k/\text{kA}$	冲击电流 $i_{sh}/\text{kA}$	全电流 $I_{sh}/\text{kA}$	短路容量/MVA
k-1	0.04	0.1	0.06	7.26
k-2	0.38	0.97	0.57	7
k-4	8.8	22.4	13.3	6.1

## 5. 电气设备的选择

### 5.1. 110 kV 侧一次设备的选择

根据短路电流的计算以及工作电流的结果, 可以知道110 kV侧其电压  $U_N = 110 \text{ kV}$ , 工作电流  $I_{30} = \frac{5738}{\sqrt{3} \times 110} = 0.03 \text{ kA}$ , 三相短路电流  $I_k^{(3)} = 0.04 \text{ kA}$ , 三相冲击电流  $i_{sh}^{(3)} = 0.1 \text{ kA}$ , 下面根据这些数据进行设备选择。

#### 5.1.1. 隔离开关的选择

试选 GW13-110 型隔离开关来进行校验, 见表 6:

**Table 6.** GW13-110 isolation switch verification table  
**表 6.** GW13-110 型隔离开关校验表

序号	计算数值		GW13-110		
	项目	数据	项目	数据	是否符合要求
1	$U_N/\text{kV}$	110	$U_N/\text{kV}$	110	是
2	$I_{30}/\text{kA}$	0.03	$I_N/\text{kA}$	630	是
3	$I_k^{(3)}/\text{kA}$	0.04	$I_{oc}/\text{kA}$	55	是
4	$i_{sh}^{(3)}/\text{kA}$	0.1	$i_{\max}/\text{kA}$	16	是
5	$I_{\infty}^{(3)2}t_{ima}$	1.92	$I_t^2 t$	1024	是

#### 5.1.2. 断路器的选择

试选 SW7-110 型断路器进行校验, 见表 7:

**Table 7.** SW7-110 isolation switch verification table  
**表 7.** SW7-110 型隔离开关校验表

序号	计算数值		SW7-110		
	项目	数据	项目	数据	是否符合要求
1	$U_N/\text{kV}$	110	$U_N/\text{kV}$	110	是
2	$I_{30}/\text{kA}$	0.03	$I_N/\text{kA}$	1.6	是
3	$I_k^{(3)}/\text{kA}$	0.04	$I_{oc}/\text{kA}$	55	是
4	$i_{sh}^{(3)}/\text{kA}$	0.1	$i_{\max}/\text{kA}$	21	是
5	$I_{\infty}^{(3)2}t_{ima}$	0.00192	$I_t^2 t$	1764	是



## 5.2. 10 kV 侧一次设备的选择

根据短路电流的计算以及工作电流的结果, 可以知道 10 kV 侧其电压  $U_N = 10 \text{ kV}$ , 工作电流  $I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N} = \frac{7595 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ kV}} = 0.439 \text{ kA}$ , 三相短路电流  $I_k^{(3)} = 0.38 \text{ kA}$ , 三相冲击电流  $i_{sh}^{(3)} = 0.97 \text{ kA}$ , 下面根据这些数据进行设备选择。

### 5.2.1. 隔离开关的选择

试选 GN19-10 型隔离开关来进行校验, 见表 8:

Table 8. GN19-10 isolation switch verification table

表 8. GN19-10 型隔离开关校验表

序号	计算数值		GN19-10		
	项目	数据	项目	数据	是否符合要求
1	$U_N/\text{kV}$	10	$U_N/\text{kV}$	10	是
2	$I_{30}/\text{kA}$	0.439	$I_N/\text{kA}$	630	是
3	$I_k^{(3)}/\text{kA}$	0.38	$I_{oc}/\text{kA}$	50	是
4	$i_{sh}^{(3)}/\text{kA}$	0.97	$i_{\max}/\text{kA}$	20	是
5	$I_{\infty}^{(3)2}t_{ima}$	0.173	$I_t^2 t$	1600	是

### 5.2.2. 断路器的选择

试选 SN10-10I 型断路器进行校验, 见表 9:

Table 9. SN10-10I isolation switch verification table

表 9. SN10-10I 型隔离开关校验表

序号	计算数值		SN10-10I		
	项目	数据	项目	数据	是否符合要求
1	$U_N/\text{kV}$	10	$U_N/\text{kV}$	10	是
2	$I_{30}/\text{kA}$	0.439	$I_N/\text{kA}$	0.63	是
3	$I_k^{(3)}/\text{kA}$	0.38	$I_{oc}/\text{kA}$	40	是
4	$i_{sh}^{(3)}/\text{kA}$	0.97	$i_{\max}/\text{kA}$	16	是
5	$I_{\infty}^{(3)2}t_{ima}$	0.173	$I_t^2 t$	512	是

## 5.3. 380 V 侧一次设备的选择

根据短路电流的计算以及工作电流的结果, 可以知道 380 V 侧其电压  $U_N = 380 \text{ V}$ , 各个车间支路上最大的工作电流由表 2 查的  $I_{30} = 2279 \text{ A}$ , 其中最大值的三相短路电流  $I_k^{(3)} = 8.8 \text{ kA}$ , 三相冲击电流  $i_{sh}^{(3)} = 22.4 \text{ kA}$ , 下面根据这些数据进行设备选择。

### 断路器的选择

试选 DW15-2500 型隔离开关来进行校验, 见表 10:

**Table 10.** DW15-2500 isolation switch verification table  
**表 10.** DW15-2500 型隔离开关校验表

序号	计算数值		DW15-2500		
	项目	数据	项目	数据	是否符合要求
1	$U_N/V$	380	$U_N/V$	380	是
2	$I_{30}/kA$	2.3	$I_N/kA$	2.5	是
3	$I_k^{(3)}/kA$	8.8	$I_{oc}/kA$	40	是
4	$i_{sh}^{(3)}/kA$	22.4	$i_{max}/kA$	16	是
5	$I_{\infty}^{(3)2}t_{ima}$	93	$I_t^2t$	512	是

依据线路对工作电流、额定电压、动稳定校验、热稳定效应条件和一次设备进行比较选择符合的设备。

## 6. 导体与电缆的选择

### 6.1. 110 kV 侧的导线选择

1) 按经济电流密度选择

主变压器高压侧的计算电流:

$$I_{30} = \frac{5738}{\sqrt{3} \times 110} = 0.03 \text{ kA} \quad (6-1)$$

已知该厂年最大负荷使用小时  $T_{max} = 5200 \text{ h}$ ，根据经济电流密度  $j_{ec} = 0.7 \text{ A/mm}^2$ ，所以导线得经济截面积:

$$A_{ec} = \frac{I_{30}}{j_{ec}} = 43 \text{ mm}^2 \quad (6-2)$$

所以试选 LGJ-50 型钢芯铝绞线[7]。

2) 按长期发热条件的校验

40℃时 LGJ-50 钢芯铝绞线允许载流量:

$$I_{al} = 178 \text{ A} \geq 30 \text{ A} \quad (6-3)$$

3) 热稳定校验

$$Q_k = Q_p = \frac{t_k}{12} (0.04^2 + 10 \times 0.1^2 + 0.06^2) = 0.014 \text{ kA}^2 \cdot \text{s} \quad (6-4)$$

查的  $C = 99$ ，热稳定需要的最小的截面积:

$$S_{min} = \frac{\sqrt{Q_k}}{C} = \frac{\sqrt{0.014 \times 10^6}}{99} = 1.2 \text{ mm}^2 < 50 \text{ mm}^2 \quad (6-5)$$

4) 允许压降检验

$$\Delta U\% = \frac{173 I_{max} L (r \cos \varphi + x \sin \varphi)}{U} = 0.047\% < 5\% \quad (6-6)$$

选择型号如表 11:

**Table 11.** Selection and model table of 110 kV side conductors

**表 11.** 110 kV 侧的导线选择型号表

序号	计算数值		LGJ-50		是否符合要求
	项目	数据	项目	数据	
1	额定电压	110	额定电压	110	是
2	工作电流	30	工作电流	178	是
3	长期发热条件校验	30	长期发热条件校验	178	是
4	热稳定校验	1.2	热稳定校验	50	是
5	允许压降	0.047%	允许压降	5%	是

## 6.2. 10 kV 母线的选择

1) 按长期发热条件选择截面

10 kV 的最大工作电流为:

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N} = \frac{7595 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 10 \text{ kV}} = 439 \text{ A} \quad (6-7)$$

采用单条平放 LMY-63 × 6.3 矩形铝母线。  $I_{al} = 910 \geq I_{30} = 439$ ，满足发热条件[8]。

2) 按热稳定度进行校验

$$Q_k = \frac{t_k (0.38^2 + 10 \times 0.97^2 + 0.57^2)}{12} = 0.99 \text{ kA}^2 \cdot \text{s} \quad (6-8)$$

且查得  $C = 99$ ，满足热稳定度的最小允许截面:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{Q_k}}{C} = \frac{\sqrt{0.99 \times 10^6}}{99} = 10 < 397 \quad (6-9)$$

3) 按动稳定度校验

给定 1.2 m 的母线档距，相与相之间的距离  $a = 0.25 \text{ m}$ ，绝缘子跨距  $L = 1$ 。由于  $\frac{s-b}{b+h} = \frac{250-8}{8+50} = 4.17 > 2$ ，所以母线截面的形状系数  $\approx 1$ 。那么在中间的这一相造成的电动力为:

$$f_{ph} = 1.73 \times 10^{-7} \frac{1}{a} i_{sh}^2 = 1.73 \times 10^{-7} \frac{1}{0.25} \times 970^2 = 0.65 \text{ N/m} \quad (6-10)$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.0063 \times 0.63^2}{6} = 417 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (6-11)$$

相间应力:

$$\sigma_{ph} = \frac{f_{ph} L^2}{10W} = \frac{0.65 \times 1}{10 \times 417 \times 10^{-6}} \text{ Pa} = 0.016 \times 10^6 < 70 \times 10^6 \text{ Pa} \quad (6-12)$$

选择型号如表 12:

**Table 12.** Model selection table for 10 kV bus  
**表 12.** 10 kV 母线选择型号表

序号	计算数值		LMY-63 × 6.3		是否符合要求
	项目	数据	项目	数据	
1	额定电压	10 kV	额定电压	10 KV	是
2	工作电流	439 A	工作电流	910 A	是
3	热稳定校验	10 mm <sup>2</sup>	热稳定校验	397 mm <sup>2</sup>	是
4	动稳定校验	0.016 × 10 <sup>6</sup> Pa	动稳定校验	70 × 10 <sup>6</sup> Pa	是

### 6.3. 车间导线选择

#### 1) 按经济电流密度选择

其最大支路电流查表 2 得:

$$I_{30} = 2849 \text{ A} \quad (6-13)$$

其经济截面积:

$$A_{ec} = \frac{I_{30}}{J_{ec}} = 4070 \text{ mm}^2 \quad (6-14)$$

试选用四条 LMY125 mm × 10 mm 矩形铝导体, 平放时的:

$$I_{al} = 4225 \text{ A} > 2849 \text{ A} \quad (6-15)$$

#### 2) 按热稳定度校验

$$Q_k = Q_p = \frac{t_k}{12} (8.8^2 + 10 \times 22.4^2 + 13.3^2) = 5272 \text{ kA}^2 \cdot \text{s} \quad (6-16)$$

查的  $C = 99$ , 热稳定需要的最小的截面积:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{Q_k}}{C} = \frac{\sqrt{5772 \times 10^6}}{99} = 767 \text{ mm}^2 < 5000 \text{ mm}^2 \quad (6-17)$$

选择型号见表 13 [9]:

**Table 13.** Workshop wire selection model table  
**表 13.** 车间导线选择型号表

序号	计算数值		LMY125 × 10		是否符合要求
	项目	数据	项目	数据	
1	额定电压	0.38 kV	额定电压	0.38 kV	是
2	工作电流	2849 A	工作电流	4225 A	是
3	热稳定校验	767 mm <sup>2</sup>	热稳定校验	5000 mm <sup>2</sup>	是

按经济电流密度和线路电压损耗校验这两个方面对 110 kV 侧的高压进线进行了选择, 最后发现 LGJ-50 型很适合作为主变压器的导线。本文通过发热条件、动稳定度、发热条件的校验选择了 LMY-63 × 6.3 矩形铝母线, 它很适合作为 10 kV 母线。本文通过了发热条件选择截面和按热稳定度校验选择了 LMY125 × 10 型电缆作为配电线路。

## 7. 防雷保护和接地装置的设计

### 7.1. 防雷保护

本文选择避雷针设备。因为第二类防雷建筑物中包括变电所, 所以  $h_r = 45 \text{ m}$ 。在变电所中心设置一个长  $20 \text{ m}$  的避雷针去保护变电所及其周边建筑物。设变电所高  $h_x = 5 \text{ m}$ ,

$$\begin{aligned} r_x &= \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \\ &= \sqrt{20 \times (2 \times 45 - 20)} - \sqrt{5 \times (2 \times 45 - 5)} \\ &= 16 \text{ m} \end{aligned} \quad (7-1)$$

在周围  $16 \text{ m}$  内的建筑物的都会被保护[10]。

### 7.2. 接地装置

110 kV 系统的接地电流:

$$I_E = \frac{IU_N}{350} = \frac{5 \times 110}{350} = 1.57 \text{ A} \quad (7-2)$$

所以接地电阻:

$$R_E \leq \frac{120}{1.57} = 76.4 \Omega \quad (7-3)$$

接地装置采用半径为  $25.5 \text{ mm}$ , 高度为  $3.0 \text{ m}$  的金属体, 比如用金属钢来做接地体。根据刘介才第六版《工厂供电》,  $R_E \leq 4 \Omega$ 。所以将金属钢垂直埋入土地里, 接地电阻:

$$R_E = K_p = 32.6 \times 10^{-4} \times 1000 \Omega = 3.26 \Omega < 4 \Omega \quad (7-4)$$

符合规定[11]。

## 8. 结论

1) 科学合理的变电所设计对工厂是否能够安全可靠、高效平稳、经济环保地运行起到了至关重要的作用, 本文总结了某轧钢厂降压变电所设计中的基本思路、基础工作和关键技术要点。

2) 要把握好设计原则。设计方向正确, 方案会更加符合实际需要。

3) 重视负荷量、短路电流、防雷保护范围及安全间距等基础数据、关键数据的计算及精度。计算负荷量时, 设备多, 功率差别小, 采用新需要系数法, 设备少、功率差别大, 采用新二项式法; 计算短路电流时, 在高压供电系统中采用标么值法, 在低压供电系统中采用欧姆法; 计算防雷安全距离可查阅防雷设计规范公式。

4) 在选择主接线方式、设备选型时, 不但要考虑设计方案的可行性, 还要关注投入运行后的运行维护操作的经济性和便捷性。

5) 经过两次变压, 能让工厂从供电公司引进来的高电压能够降压成低压, 供工厂正常用电设备使用。

## 注 释

文中所有图片均为作者自绘。

## 参考文献

[1] 刘介才. 工厂供电[M]. 第5版. 北京: 机械工业出版社, 2003.

- [2] 单强, 张弦. 新型 220 kV 枢纽变电所的设计[J]. 新疆电力, 2005(1): 19-21.
- [3] 范黎锋. 220 kV 发电厂综合自动化系统改造研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌大学, 2011.
- [4] 孟祥萍. 电力系统分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [5] 张弦, 单强, 李国庆. 220 kV 变电站主变保护双重化保护设计探讨[J]. 新疆电力, 2006(1): 51-54.
- [6] 陈小虎. 工厂供电技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] 刘介才. 供配电技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [8] Pan, Y.M., Sun, H.L. and Liu, Y. (2006) Neutral Protection Manner for 110 - 220 kV Ungrounded Transformer. 2006 *China International Conference on Electricity Distribution (CICED 2006)*, Beijing, 17-20 September 2006, 5 p. <https://doi.org/10.1049/cp:20061749>
- [9] Gao, Y.H., Gao, D., Li, Y.B., *et al.* (2008) Improvement of Main Insulation Structure for 110 kV Electric Power Transformer Based on Electric Field Analysis. *ICEMS2008*, 4427-4430.
- [10] 唐志平. 供配电技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [11] 刘介才. 工厂供电[M]. 第 3 版. 北京: 机械工业出版社, 1998.

附录

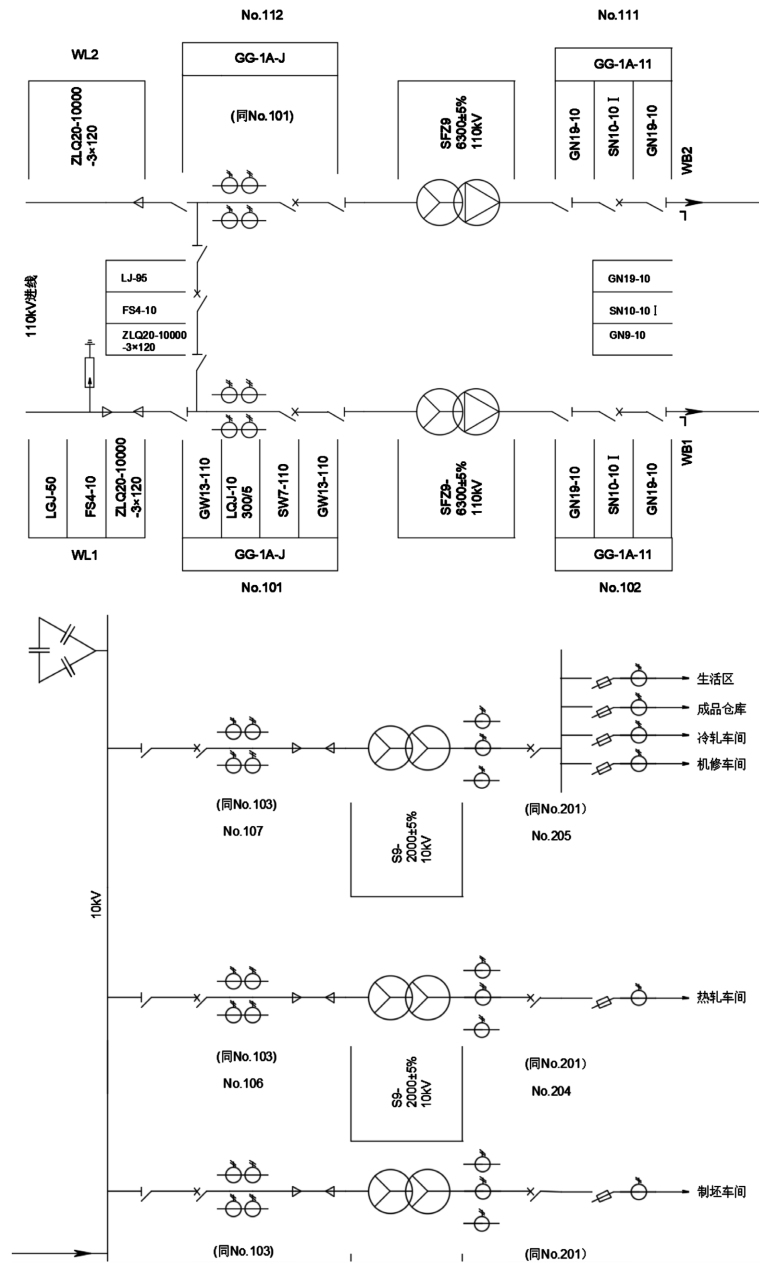


Figure 5. Electrical main wiring diagram  
图 5. 电气主接线图