

火电厂电气综合自动化系统的设计

Design of Electrical Integrated Automation System for Thermal Power Plants

史沈明

Shenming Shi

上海电力股份有限公司罗泾燃机发电厂 中国·上海 200949

Shanghai Electric Power Co., Ltd. Luojing Gas Turbine Power Plant, Shanghai, 200949, China

摘要: 本次设计的电气主接线方式根据每个电压等级的负荷、出线回路数以及进线回路数来确定,并根据可靠性、灵活性、经济性三个方面的经济技术条件分析与实际相结合来确定最终的接线方式。电气设备选择分为导体选择与电气设备的选择,导体根据使用场所选择材料,根据线路所能通过的最大持续工作电流来选择截面积,并且同时需要符合各种校验条件。对电气设备进行选择和校验,最后根据各个电压等级所要求的功率因数装设并联电容器,根据火电厂选择的建造地址选择合适且经济的配电装置。

Abstract: The main electrical wiring mode of the design is determined according to the load of each voltage level, the number of outgoing circuits and the number of incoming circuits, and the final wiring mode is determined according to the combination of economic and technical conditions analysis and reality in three aspects of reliability, flexibility and economy. The selection of electrical equipment is divided into the selection of conductors and the selection of electrical equipment. The conductors choose materials according to the use of sites, and choose the cross-sectional area according to the maximum continuous working current that the line can pass, and at the same time meet various check conditions. The selection and check of electrical equipment are carried out, and finally the parallel capacitor is installed according to the power factor required by each voltage level, and the appropriate and economical distribution device is selected according to the construction address of the thermal power plant.

关键词: 火力发电厂; 电气系统; 发电机; 配电装置

Keywords: thermal power plant; electrical system; generator; power distribution device

DOI: 10.12346/peti.v6i1.9086

1 引言

火力发电系统是当下较为常用的发电方式,同时也是目前电力供应中的一种主要方式。随着社会的不断向前推进发展,对火力发电也提出越来越高的要求,在保证供电可靠性同时也需要有较高的供电质量。为满足对清洁能源需求,火力发电厂也引进了越来越多的清洁能源设备,其中电气部分设计对整个火力发电厂的运行效率和工作模型有着重要影响。因此,对火力发电厂的电力系统进行合理的设计,对促进工业生产的发展,实现工业化有着非常重要的作用。

2 火力发电厂电气主接线设计

2.1 电气主接线分析

电力主接线是火力发电厂电气部分的主要组成部分,它体现着每个设备的功能、线路的连接方式以及线路之间的相互关系。其设计不仅涉及整个工厂的电气设备选型、配电设备布局、继电保护、自动装置及控制模式的选择,还影响到整个工厂的安全经济运行。

①当线路的断路器或母线发生故障时,或者在母线维护期间,应该尽可能地减少停电线路数目,缩短停电时间,以确保向用户提供连续可靠的电力。

【作者简介】史沈明(2000-),男,中国浙江象山人,本科,技术员,从事电气工程及自动化研究。

②变电站的供电可靠性较高，即应尽可能减少变电站停止运行的可能性。

③当任何断路器出现故障或拒绝操作时，任何电路的电路都不应被切断。

2.2 电气主接线的形式

2.2.1 单母线接线

优点：配线简便、经济性好、操作比较简单、母线容易扩展。

缺点：当母线或者母线开关在检修或者出现故障的时候，必须立马停止工作；调度不便，电力系统仅能并行工作，且线路一侧短路时，短路电流大。因此，这种连接方式通常仅用于小功率发电机、低回路、无大负载的发电厂和变电所^[1]。

2.2.2 单母线分段接线

优点：采用了分段式断路器实现单个母线的分段，增加了电力系统的可靠性和灵活性。

缺点：当这种线路进、出线较多，或对主负荷有双回出线时，出线数目会增加，并且往往会引起架空线的交叉，影响整体的可靠性。

总体要求：6~10 kV 的输电线 6 次及以上；110kV 配网 4~8 条输电线的出线；110~220kV 配电网络的 3~4 个输电线。

2.2.3 双母线接线

双母线是由母线联接开关相连。与单母线相比，具有供电可靠，调度灵活，易于扩充等特点。母线故障或维修时，要用绝缘开关进行倒闸，极易造成误动作，在绝缘开关与断路器间安装可靠的连锁，对操作人员的要求也较高。

① 6~10kV 配电网；② 110kV 配电网：当线路数超过 8 条，或电力负荷较大的情况下；③ 110~220kV 配网，在线路 5 次或 110~220 kV 配网中，4 次以上的出线。

2.3 主接线方案拟定

自此设计的火力发电厂有 2 台 50MW 的汽轮发电机，它的额定电压是 10.5kV，10kV 机压母线通过 2 台三绕组升压变压器，高压侧是接入 220kV 的母线，中压侧是接入 110kV 的母线。并且有 2 台 300MW 的汽轮发电机，它的额定电压是 10.5kV，在经过单元接线方式直接升压到 220kV。

2.4 主接线方案确定

按照以上的分析，现对这两个方案进行综合比较。

2.4.1 方案一

①可靠性：220kV 侧采用单母线接线方式可靠性较差。
②灵活性：220kV 侧接两个变压器，操作简单。
③经济性：采用两台变压器，花费低。

2.4.2 方案二

①可靠性：220kV 侧采用单母分段接线，可靠性较高。
②灵活性：220kV 侧接三个变压器调度方便，但接线稍显复杂。
③经济性：采用三台变压器及更多的其他辅助设备，花费高。

经过对比得知，从可靠性、灵活性、经济性等方面进行了全面的分析，综合以上，在方案 1 和方案 2 中，选择方案 2 更佳。220kV 采用双母线接线；110kV 采用双母线接线；10kV 采用单母线分段接线；2 台 50MW 发电机连接 10kV 母线；2 台 300MW 发电机采用单元接线连接 220kV 母线。

2.5 发电机的选择

火力发电厂的装机容量是火力发电厂的大小、地位与功能的重要指标。发电站的装机容量是根据国家经济发展规划，用电负荷增长速率，系统规模，网架结构，备用容量等因素来决定的。本次设计中火力发电厂有 2 台容量为 300MW 发电机和 2 台容量为 50MW 发电机。

3 主变压器台数与容量选择

在此设计中该火电厂有 2 台 50MW 汽轮发电机，通过两个三绕组变压器高压侧一端接入 220kV 母线，中压侧一端接入 110kV 母线。2 台 300MW 的汽轮发电机，分别通过单元接线方式，采用两个双绕组变压器，将其直接升至 220kV。

①将 300MW 发电机利用双绕组变压器直接升压至 220kV。因此，2 台 300MW 发电机的输出使用了变比 18/242、容量为 360000kVA 的双绕组变压器，其型号为 SFP7-360000/220。
②在 10kV 母线上，最小有 30MW 可供本市负荷，二次同时厂用电率取 8%。

2 台 50MW 发电机剩余容量使用两台三绕组变压器输出，这两台变压器应互为备用，当其中一台检修的时候，另外一台则可承担 70% 的负荷。

考虑未来火电厂的扩建，本设计余量选大一些，最终选用两台容量相近的三相绕组变压器 SFPSZ7-63000/220，变比为 10.5//121/220，火电厂主变压器型号具体参数如表 1 所示。

表 1 火电厂主变压器型号、参数

名称	型号	额定容量 (kVA)	额定电压 (kV)			阻抗电压 (%)			台数
			高压	中压	低压	高中	高低	中低	
三绕组变压器	SFPSZ7-63000/220	63000	220	121	10.5	14.5	23.2	7.2	2
双绕组变压器	SFP7-360000/220	360000	220	—	18		14		2

4 厂用电设计

4.1 厂用电设计要求

厂用电设计要符合运行、检修和施工的需要,要对全厂的发展规划进行充分的考虑,还要积极地采用新技术和新设备,最大限度地保证机组的安全、经济、稳定,以符合每个机组的要求。厂用电应相互独立,当一台机组出现故障时,不应该影响到另一台机组的正常运行;在起机和停机时全面考虑电力供应需求。

4.2 厂用电变压器容量及型号的选择

通过材料可知, P 为 300MW, 本次厂用电设计全都引自 300MW 的发电机, 两台发电机为厂用变供电, 厂用电率为 8%, 功率因素为 0.85, 两台厂用变压器在同一时间内为厂用电负荷供电, 确保电力供应的可靠, 厂用变压器的总容量应超过 62.11MVA。所以, 经查阅资料, 本设计选择 2 台额定容量为 40MVA 的 SZ9-40000, 变压器的参数如表 2 所示。

表 2 厂用变压器参数

型号	额定容量 (kVA)	电压 (kV)		损耗 (kW)		短路阻 抗 %
		高压	低压	空载	负载	
SZ9-40000	40000	10	0.4	0.5	0.5	4

4.3 厂用电源

4.3.1 厂用工作电源与备用电源的引接

单元连接, 引接地方来自主变压器低压侧^[2]。引接时, 在低压侧引接工作电源。高压采用 10kV。日常中, 电厂都有备用电源。引接电源过程中, 备用与工作电源取在不同的地方, 供电容量还要非常大。

4.3.2 厂用电接线形式

高、低压厂用电母线通常都采用单母线接线形式。厂用电从发电机出口引出, 采用暗备用。

5 高压电气设备的选择与校验

5.1 按正常工作条件选择电气设备

5.1.1 额定电压

对于电网, 由于电力系统采取各种调压措施, 电网的最高运行电压 U_{sm} 通常不超过电网额定电压 U_{NS} 的 10%, 即:

$$U_{sm} \leq 1.1U_{NS}$$

因此, 一般按下式来校验:

$$U_N \geq U_{NS}$$

5.1.2 按额定电流选择

$$I_{al} = KI_N \geq I_{max}$$

式中: K—综合修正系数; I_{max} —回路的最大持续工作电流。

在只考虑环境温度校正的情况下, 按下式计算 K 值:

对于裸导体和电缆, 可得:

$$K = \sqrt{\frac{\theta_{al} - \theta}{\theta_{al} - 25}}$$

对于电器, 存在以下区间范围:

当 $40^\circ\text{C} < \theta \leq 60^\circ\text{C}$ 时, $K = 1 - (\theta - 40) \times 0.018$ 。

当 $0^\circ\text{C} < \theta \leq 40^\circ\text{C}$ 时, $K = 1 + (40 - \theta) \times 0.005$ 。

当 $\theta < 0^\circ\text{C}$ 时, $K = 1.2$ 。

式中: θ —实际环境温度; θ_{al} —裸导体或电缆芯正常最高允许温度 $^\circ\text{C}$ 。裸导体的 θ_{al} 一般为 70°C ; 电缆芯的 θ_{al} 与电缆结构有关, 其值在 $50^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$ 间。

5.2 断路器、隔离开关和互感器的选择

5.2.1 220kV 断路器的选择

①型号初选。

第一, 按额定电压选择:

$$U_N \geq U_{NS} = 220kV$$

第二, 按额定电流选择:

$$I_N \geq 1157.2(A)$$

初选型号为 LW-220 的 SF_6 断路器。

②满足要求。

110kV 侧选断路器型号为 LW11-110; 10kV 侧选断路器型号为 LN-10。

5.2.2 隔离开关

隔离开关同样也是一种在发电厂和变电站中使用的电气设备, 它通常配备有单相或三相操作的电动和手动操动机构, 并且其需要与断路器一起使用, 但是它没有灭弧装置, 所以不能被用来连接和切断负荷电流和短路电流, 它的工作特征是在有电压和没有负荷电流的情况下开启和关闭线路^[3]。

220kV 隔离开关的选择如下:

①型号初选。

第一, 按额定电压选择:

$$U_N \geq U_{NS} = 220kV$$

第二, 按额定电流选择: 流过隔离开关的最大持续工作电流:

$$I_N \geq 1157.2(A)$$

初选型号 GW4-220 的隔离开关。具体参数如表 3 所示。

表 3 220kV 侧母线隔离开关型号参数

型号	额定电压 (kV)	额定电流 (kA)	动稳定电流 (kA)	4s 热稳定 电流 (kA)
GW4-220D	220	2000	100	40

选用 110kV 侧隔离开关型号 GW4-110D; 10kV 侧隔离开关型号 GN2-10/3000

5.2.3 电压互感器

220kV 侧电压互感器的选择如下：

①型式选择。

220 kV 及以上一般采用电容式电压互感器，母线上应安装一组三台单相电压互感器，接线形式为 YNynd0，测量准确级选用 0.5 级，保护准确级不低于 3 级。

②按额定电压选择。

$$U_N \geq U_{NS} = 220kV$$

初选型号为 TYD220/ $\sqrt{3}$ -0.0075 电压互感器。具体参数见表 4。

220kV 侧有电源，故应在出现上安装一组电压互感器，供自动重合闸使用，同一电压等级应尽量选择同一型号的电压互感器。

表 4 220kV 侧电压互感器型号参数

型号	电压等级 (kV)	额定电压比 (kV)	准确级	次级绕组额定容量 (VA)	分压电容量
TYD220/ $\sqrt{3}$ -0.0075	220	$\frac{220}{\sqrt{3}}/\frac{0.1}{\sqrt{3}}/0.1$	0.5	200	0.0075

110kV 侧选型号为 TYD110/ $\sqrt{3}$ -0.015；10kV 侧选型号为 JSJW-10；发电机出口选 JDX7-35。

5.2.4 电流互感器

关于 220 kV 侧电流互感器的选择，型号初选如下：

①按额定电压选择：

$$U_N \geq U_{NS} = 220kV$$

②按额定一次电流选择，流过电流互感器的最大持续工作电流：

$$U_N \geq U_{NS} = 220kV$$

③按额定二次电流选择：强电系统选择 5A。

接线，10kV 采用单母线分段接线的主接线方案。在此基础上，综合考虑相关的设定因素，通过对电力系统负荷的计算，结合全厂扩容、备用需求，来决定变压器的数目和容量。根据厂用电配电回路数负荷要求的可靠性等级和计算负载数，与主变压器的台数相结合，从安全、可靠、灵活、经济、易于安装和维护的角度出发，确定厂用变压器高低接线方式。为保证电网的安全运行，在对电器设备进行检测时，应根据其可能经过的最大电流，对其进行热稳性和动稳性的校验。

此外，应满足正常运行、检修、短路和过电压情况下的要求，选用合适的一次设备，如断路器、隔离开关、电流和电压互感器、避雷器。

当前，火力发电厂的发电机组的发展趋势已经走向了大容量化以及高参数化，不过，电网的峰谷之差还会不断地增加对机组的调峰容量也提出了未知的要求。发电机组的实时运行效率在电网行业的安全性和稳定性方面有着非常重要的作用，这对于火力发电机组安全稳定的经济运行以及中国火力发电的可持续发展有着充分而持久的意义。与此同时，确保发电机组处于最佳的参数状态，也对火力发电的经济性的研究具有重要的意义。

6 结语

火力发电是当今中国乃至全世界发电的主力方式，在当今和谐社会绿色经济的倡导下，以及在循环经济的大环境中，我们在提高火电技术的同时应该着重考虑发展过程中对环境带来的影响。本课题的主要研究内容是火力发电厂电气部分的设计。随着社会的不断向前推进发展，对火力发电也提出越来越高的要求，在保证供电可靠性同时也需要较高的供电质量。

本次设计是根据 220kV 电压等级的火电厂电气一次部分来设计，此次围绕着电气主接线、发电厂主变压器的台数及容量选择、厂用电主接线设计、短路电流计算和高压电气设备的选择与校验来设计选出最优方案。本次设计先确定电气主接线方案，从可靠性、灵活性、经济性等方面进行了全面的分析，220kV 采用双母线接线，110kV 采用双母线

参考文献

- [1] 傅知兰.电力系统电气设备选择与实用计算[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [2] 区晓良.火力发电厂电气一次设计的技术要点[J].企业技术开发,2017,36(8):57-58.
- [3] 齐凯.火力发电厂电气一次设计技术分析[J].机电工程技术,2020(6):103-105.