



**中国环境保护产业协会**  
China Association of Environmental Protection Industry

**电除尘器供电装置  
选型设计指导书**

中国环境保护产业协会电除尘委员会

2012年3月

## 目 录

前 言 .....	II
1 目的 .....	1
2 范围 .....	1
3 供电装置的术语和定义 .....	1
4 供电装置的分类 .....	2
5 选型设计条件和要求 .....	3
6 供电装置的适用性 .....	5
6.1 高频高压电源 .....	5
6.2 常规工频高压电源 .....	6
6.3 中频高压电源 .....	8
6.4 三相工频高压电源 .....	9
6.5 脉冲高压电源 .....	9
6.6 恒流高压直流电源 .....	10
7 供电装置的设备容量选型 .....	11
7.1 电流容量选型 .....	11
7.2 电压等级选型 .....	13
8 节能减排的实用技术 .....	14
8.1 节能运行技术 .....	14
8.2 减功率振打/断电振打控制技术 .....	15
8.3 反电晕控制技术 .....	15
参考文献: .....	15

## 前　　言

本指导书由中国环境保护产业协会电除尘委员会组织编制，并委托福建龙净环保股份有限公司、厦门绿洋电气有限公司负责编写。

本指导书主要起草人：邹标、郭俊、谢友金等。

本指导书评审专家：林尤文、刘卫平、蒋庆龙、陈焕其、曹为民、蒋云峰、谢小杰、郑国强、陈宇渊、赵富、魏文深、冯肇霖、杨羽军、郑伟良、徐建达、卢泽锋、张谷勋、丁铭、赵惠等。

本指导书由中国环境保护产业协会电除尘委员会负责解释。

# 电除尘器供电装置选型设计指导书

## 1 目的

本指导书旨在推动电除尘行业供电装置及其节能提效运行控制的技术进步，指导电除尘行业科学合理地进行供电装置的选型设计，帮助电除尘使用者和设计者掌握各种类型供电装置的性能特点，引导用户合理选用供电装置并有效地管理运行，以提升行业整体控制技术及节能运行技术的水平，确保电除尘器供电装置设备性能满足国家节能减排新要求。

本指导书规范了电除尘器配套供电装置的术语、定义、分类，通过对各种主要影响电除尘性能的设计输入条件（含灰成分和比电阻等）的梳理，和对目前国内几种常用和新型供电装置的科学严谨的分析，提出了供电装置选型设计和节能运行的指导意见，包括：选型设计条件和要求、各类型供电装置的适应性介绍、电源类型选择、技术参数选型以及几种推荐实用节能提效技术。本指导书可以为电除尘器供货商、建设单位及运行管理部门科学合理地选择电除尘器供电装置提供技术支持。

## 2 范围

本指导书适用于除尘、除雾、除焦油、脱水及其它环境保护用途的电除尘器的供电装置选型设计和运行指导。

## 3 供电装置的术语和定义

下列术语和定义适用于本指导书。

### 3.1 输入电压

指高压电源装置输入电压有效值，表示符号： $U_i$ ，单位：V； $\text{kV}$ ；

### 3.2 输入电流

指高压电源装置输入电流有效值，表示符号： $I_i$ ，单位：A；

### 3.3 输出电压

指高压电源装置输出电压的平均值。表示符号： $U_o$ ，单位：kV；

### 3.4 输出电流

指高压电源装置输出电流的平均值。表示符号： $I_o$ ，单位：mA或A；

3.5

**输出电压峰值**

指高压电源输出电压的峰值。表示符号： $U_p$ ，单位：kV；

3.6

**输入标称功率**

指额定输出电压输出电流下高压电源输入视在功率。表示符号： $S_i$ ，单位：kVA；

3.7

**输入有功功率**

指高压电源输入功率的平均值。表示符号： $P_i$ ，单位：kW；

3.8

**设备功率因数**

指高压电源输入有功功率与输入视在功率之比。表示符号： $\lambda = P_i / S_i$

3.9

**直流输出功率**

指高压电源输出到电除尘器的直流平均功率。在供电装置直流输出情况下，它等于平均电压与平均电流的乘积。表示符号： $P_o$ ，单位：kW；

3.10

**设备效率**

指电源装置直流输出功率与输入有功功率之比。表示符号： $\eta = P_o / P_i$ 。

3.11

**电除尘器设备容量**

指电除尘器所有配套电气设备（高压供电设备、低压振打、加热控制设备等）的额定容量（输入标称功率）的总和，单位：kVA；

3.12

**计算负荷**

指电除尘器所有配套电气设备在电除尘器设计阶段采用经验系数法估算得出常规运行时的平均功耗，它是对电除尘器功耗预测的参考值，单位：kW；

3.13

**常规运行功耗**

指电除尘器所有配套电气设备在常规运行（未采用节能）时的实际平均功耗，单位：kW；

3.14

**节能运行功耗**

指电除尘器所有配套电气设备采用节能运行方式时的实际平均功耗，单位：kW。

**4 供电装置的分类**

#### 4.1 按工作频率分类

高压电源可分为工频高压电源、中频高压电源、高频高压电源。工频高压电源的工作频率为当地市电 50 Hz 或 60 Hz；高频高压电源采用逆变工作方式，工作频率一般在 10 kHz 以上；中频高压电源的工作频率介于工频和高频两者之间，一般为 400 Hz 至 2 kHz。

#### 4.2 按电源输入形式分类

高压电源可分为单相电源输入的高压电源和三相输入的高压电源。三相工频高压电源输入电源为三相，高频高压电源、中频高压电源的输入电源一般为三相；常规工频高压硅整流电源属于单相输入高压电源范畴。

#### 4.3 按输出形式分类

高压电源可分为直流高压电源和脉冲高压电源。直流高压电源一般具有直流输出和间歇脉冲输出两种工作方式，工频直流电源的间歇脉冲输出电压波形的宽度(全导通的情况下)为 10 ms 或 8.33 ms；高频高压电源可输出最小脉冲电压波形宽度为毫秒至几百微秒；脉冲高压电源的脉冲电压波形宽度一般在 120  $\mu$ s 以下，脉冲电压波形宽度在几微秒或更低的脉冲电源称为窄脉冲电源。

### 5 选型设计条件和要求

选型的设计输入条件和基本依据主要包括：电除尘器本体设计参数、本体结构参数、飞灰化学成分、灰比电阻、烟气特性参数、达到除尘效率的条件和要求等。

#### 5.1 本体设计参数（以燃煤电厂为例）

1) 电除尘器入口烟气量,  $m^3/h$  (BMCR 工况状态)

设计煤种:

校核煤种:

2) 电除尘器入口烟气温度,  $^{\circ}C$ ;

3) 噪声,  $dB(A)$

4) 电除尘器进口处烟气最大含尘浓度,  $g/m^3$ ;

5) 电除尘器出口处的排放浓度,  $mg/m^3$ ;

7) 设计除尘效率, %

8) 保证除尘效率, %

#### 5.2 本体结构参数

1) 每台炉(窑)配电除尘器台数:

2) 同极间距, mm;

3) 电场数, 个;

4) 总集尘面积,  $m^2$ ;

5) 比集尘面积(SCA),  $m^2/m^3/s$ 。

#### 5.3 煤、灰性质（以燃煤电厂为例）

##### 5.3.1 灰成分分析, 见表 1。

表 1 灰成分分析

序号	名称	符号	单位	设计煤种	校核煤种
1	二氧化硅	SiO <sub>2</sub>	%		
2	氧化铝	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		
3	氧化铁	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		
4	氧化钙	CaO	%		
5	氧化镁	MgO	%		
6	氧化钠	Na <sub>2</sub> O	%		
7	氧化钾	K <sub>2</sub> O	%		
8	氧化钛	TiO <sub>2</sub>	%		
9	三氧化硫	SO <sub>3</sub>	%		
10	五氧化二磷	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%		
11	二氧化锰	MnO <sub>2</sub>	%		
12	氧化锂	Li <sub>2</sub> O	%		
13	飞灰可燃物	Cfh	%		

## 5.3.2 灰比电阻分析

1) 灰比电阻(实验室比电阻), Ω.cm, 见表 2。

表 2 灰比电阻分析

序号	测试温度 (℃)	湿度 (%)	比电阻值 (Ω.cm)	
			设计煤种	校核煤种
1	20 (常温)			
2	80			
3	100			
4	120			
5	140			
6	150			
7	160			
8	180			

2) 灰工况比电阻(现场比电阻), Ω.cm。

## 5.3.3 煤质分析

- 1) 煤质工业分析
- 2) 煤质元素分析

## 5.4 厂址气象和地理条件, 见表 3

表 3 厂址气象和地理条件

序号	名 称	单 位	数 值
1	厂址	-	
2	海拔高度	m	
3	多年平均最高气温	℃	
4	多年平均最低气温	℃	
5	极端最高温度	℃	
6	极端最低温度	℃	

### 5.5 达到除尘效率的条件和要求

- 5.5.1 电除尘器供电装置的选型，应根据以上设计条件，结合供方技术经验进行确定。
- 5.5.2 电除尘器本体和供电装置应在以上设计条件下共同保证达到除尘效率。当用户需要时，可按校核煤种或最差煤种考虑，但应予以说明。

## 6 供电装置的适用性

科学合理选用电除尘器供电装置的类型是一件非常重要的工作，选择合适的供电装置类型首先要掌握各种供电装置的基本原理、主要特点和适用范围。近年来出现的各种新型高压电源各具特点，应该根据电除尘器项目的具体特点选择合适的电源或电源组合，本章中各种供电装置的适用性描述可用于指导和帮助用户合理选用供电装置。

### 6.1 高频高压电源

高频高压电源是新一代的电除尘器供电电源，其工作频率为几十千赫兹。它不仅具有重量轻、体积小、结构紧凑、三相负载对称、功率因数和效率高的特点，更具有优越的供电性能。大量的工程实例证明，基于脉冲工作的高频电源在提高除尘效率、节约能耗方面，具有非常显著的效果；而高频电源工作在纯直流方式下，可以大大提高粉尘荷电量，提高除尘效率。

#### 6.1.1 高频电源的原理

高频电源采用现代电力电子技术，将三相工频电源经三相整流成直流，经逆变电路逆变成 10kHz 以上的高频交流电流，然后通过高频变压器升压，经高频整流器进行整流滤波，形成几十千赫兹的高频脉动电流供给电除尘器电场。高频高压电源原理框图如图 1 所示。高频电源主要包括三个部分：逆变器、变压器、控制器。其中全桥变换器实现直流到高频交流的转换，高频变压器/高频整流器实现升压整流输出，为电除尘器提供供电电源。其功率控制方法有脉冲高度调制、脉冲宽度调制和脉冲频率调制三种方法。高频电源的供电电流由一系列窄脉冲构成，其脉冲幅度、宽度及频率均可以调整。这就意味着可以给电除尘器提供从纯直流到脉冲的各种电压波形，因而可以根据电除尘器的工况，提供最佳电压波形，达到节能减排的效果。

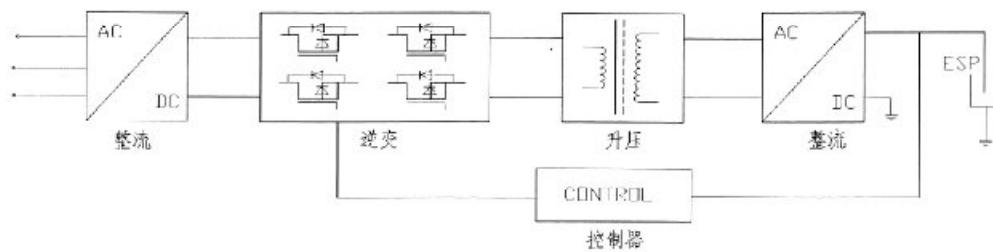


图1 高频高压电源原理框图

### 6.1.2 高频电源的技术优势和主要特点

- 1) 高频电源在纯直流供电条件下，可以在逼近电除尘器的击穿电压下稳定工作，这样就可以使其供给电场内的平均电压比工频电源供给的电压提高 25 %~30 %。一般纯直流方式应用于电除尘器的前电场，电晕电流可以提高一倍，粉尘排放降低约 30 %~50 %。
- 2) 高频电源工作在脉冲供电方式时，其脉冲宽度在几百微秒到几毫秒之间，在较窄的高压脉冲作用下，可以有效提高脉冲峰值电压，增加高比电阻粉尘的荷电量，克服反电晕，增加粉尘驱进速度，提高电除尘器的除尘效率并大幅度节能。
- 3) 控制方式灵活，可以根据电除尘器的具体工况提供最合适的波形电压，提高电除尘器对不同运行工况的适应性。
- 4) 高频电源本身效率和功率因数均可达 0.95，远远高于常规工频电源。同时高频电源具有优越的脉冲供电方式，所以节能效果比常规电源更为显著。
- 5) 高频电源可在几十微妙内关断输出，在很短的时间内使火花熄灭，5 ms~15 ms 恢复全功率供电。在 100 次/min 的火花率下，平均输出高压无下降。
- 6) 体积小，重量轻（约为工频电源的 1/5 至 1/3），控制柜和变压器一体化，并直接在电除尘顶部安装，节省电缆费用 1/3。由于不单独使用高压控制柜，还可以减少控制室的面积，降低了基建的工程造价。

### 6.1.3 高频电源供电的推荐应用场合

- 1) 高频电源应用于高粉尘浓度的电场，可以提高电场的工作电压和荷电电流。特别是在电除尘器入口粉尘浓度高于 30 g/m<sup>3</sup> 和高电场风速（大于 1.1 m/s）时，应优先考虑在第一电场配套应用高频高压电源；
- 2) 当粉尘比电阻比较高时，电除尘器后级电场选用高频电源，应用间歇脉冲供电工作方式以克服反电晕，可提高除尘效率并节能；
- 3) 以节能为主要目的应用中，可以在整台电除尘器配置高频电源。但需要对粉尘和工况条件进行全面的分析，并同时应用断电（减功率）振打等技术配合。必要时需请专业技术人员进行烟尘工况的现场诊断和评估。

## 6.2 常规工频高压电源

常规工频高压电源是电除尘器目前最为成熟和应用最多的电源。经过长期的使用和完善，已形成稳定可靠的控制技术和成熟的生产工艺，控制性能已实现了多样化。随着电子技术的发展和进步，数字化智能化成为电除尘电源发展的主导方向，越来越多的电除尘厂商加大电控系统的研发力度，不断地探索研究，开发出更为先进的智能化控制系统，在常规电源的节

能、提效方面成效显著，以满足目前市场上对常规工频电源的需求。

### 6.2.1 常规工频高压电源的原理

常规工频高压电源采用单相 380 V 交流输入，通过两只可控硅反并联调压，经单相变压器升压整流实现对电除尘器的供电。原理框图如图 2 所示。

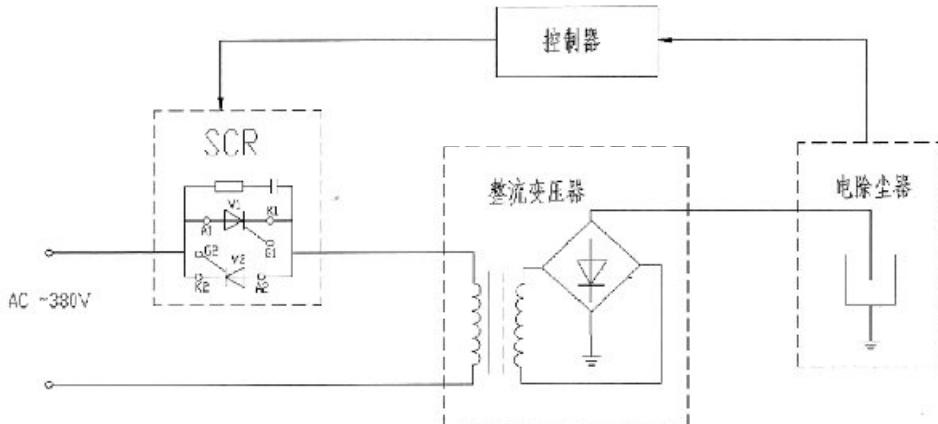


图 2 单相电源原理框图

### 6.2.2 常规工频高压电源的特点

1) 现代工频高压电源均采用了先进的智能型控制器，比传统的模拟控制具有更强的智能控制性能和更高的可靠性，确保电除尘器高效运行；它内置了自动分析电除尘器的电场工况特性，降功率振打和反电晕控制等技术，具备了独立的控制和优化能力，拥有更加完善的火花跟踪和处理功能。

2) 采用智能控制器作为电除尘核心控制器，具有节能功能，通过专业工程师现场优化设定以后，运行能耗将不大于额定设计容量的三分之一；具有灵活多变的控制方式，根据不同的工况状态，选择不同的工作方式；一般具有以下几种工作方式：火花跟踪控制方式、最高平均电压控制方式、间歇脉冲控制方式、恒定火花率控制方式、反电晕检测控制方式、临界火花控制方式等。

3) 采用多种先进的数字通讯方式如以太网通讯（TCP/IP 通讯方式）、现场总线通讯方式、串行通讯方式等，与上位机系统通信；接受上位机传达的操作指令和向上传送运行参数和状态设定；能在上位机上设定电流、设定控制方式，能远程启动、远程停机。在上位机失效情况下，智能控制器可以作为一个独立单元进行操作，控制柜可完全独立运行，并接受操作人员的手动控制。

4) 具有负载短路、负载开路、SCR 短路、过流保护、偏励磁保护、油温超限保护和自检恢复功能等。

5) 可以实现高、低压控制一体化设计，在高压控制柜实现部分低压控制；控制器除了控制整流变压器外，还有另外的 I/O 接口，用来控制振打电机、加热器或排灰电机。

注：高频电源、中频电源、三相电源等新型电源均采用先进的智能数字控制器，都具有以上 3)、4)、5) 款类似的技术特点，不再另行叙述。

### 6.2.3 常规工频高压电源的推荐应用场合

常规工频高压电源是一种经典的电除尘器供电设备。技术成熟，运行可靠，维护简便，适用于绝大多数电除尘工况应用条件。与高频电源等新型电源相比，在克服高浓度粉尘屯晕封闭和高比电阻反电晕等方面略显不足，功率因数和设备效率也较低。

### 6.3 中频高压电源

#### 6.3.1 中频高压电源的原理

中频电源具有与高频电源相类似的特点：电源三相输入，三相供电平衡，无缺相损耗，功率因数与电源效率均可达 0.9。从结构上看，中频高压电源采用控制柜与变压整流分体式结构，结构形式与常规电源相同。由于其结构与常规工频电源相同，中频电源也具有常规电源的特点，如维护方便、可靠性高、大功率实现容易等。

中频电源的工作频率一般在几百赫兹。输出电压纹波较常规工频电源小。中频电源输入电场的平均直流电压比工频电源高出约 20%。中频电源的输出电压纹波系数小于 5%，避免了工频电源纹波大峰值电压在电场中容易出现闪络的问题，从而提高了电除尘器电场的直流电压，达到提高电除尘器除尘效率的目的。原理框图如图 3 所示。

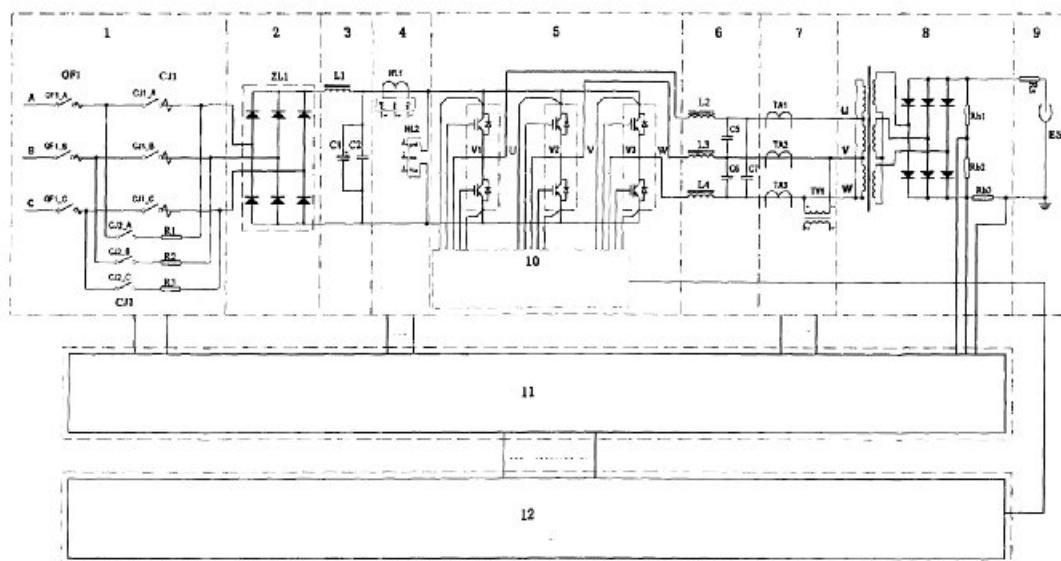


图 3 中频高压电源的原理框图

#### 6.3.2 中频高压电源的主要特点

- 1) 中频电源采用三相输入，用电三相平衡，无缺相损耗，可以减少初级电流；采用调幅调压方式，功率因素高，可提高电能的利用率。
- 2) 中频电源采用 AC→DC→AC→DC 的交流技术。
- 3) 中频电源整流变压器体积小，重量轻，比常规工频电源变压器体积小 1/3，安装方便，与常规工频电源相比，中频电源的适应性更强。其输出功率与输入功率之比可达 0.9，比常规工频电源有更高的电能利用率。
- 4) 输出电压的纹波系数小，电压峰谷值与平均值基本一致，纹波系数小于工频电源，可有效地提高电场输入功率。
- 5) 有好的火花控制特性，中频电源的火花关断时间较小，火花能量较小，电场恢复快，可有效提高电场的平均电压，并能自动适应工况条件的变化，无需人工调节。闪络火花能量

小于工频电源。

6) 间歇供电方式可任意调节占空比, 脉宽最小可达到 2.5 ms; 具有灵活的间歇比组合, 可抑制反电晕现象, 适用于高比电阻粉尘工况。

### 6.3.3 中频高压电源的推荐应用场合

- 1) 中频电源应用于高粉尘浓度的电场, 可以提高电场的工作电压和荷电电流。
- 2) 当粉尘比电阻比较高时, 中频电源应用脉冲供电以克服反电晕。

## 6.4 三相工频高压电源

### 6.4.1 三相工频高压电源的原理

三相工频高压电源是采用三相 380 VAC/50 Hz 交流输入, 各相电压、电流、磁通的大小相等, 相位上依次相差  $120^\circ$ , 通过三路六只可控硅反并联调压, 经三相变压器升压整流, 对电除尘器供电。三相工频高压电源电网供电平衡, 无缺相损耗, 可以减少初级电流, 设备效率较常规电源高。

同常规单相高压电源比较, 三相电源输出电压的纹波系数较小, 二次平均电压高, 输出电流大, 对于中、低比电阻粉尘, 需要提高运行电流的场合, 可以显著提高除尘效率。

三相工频高压电源电路原理框图如图 4 所示。

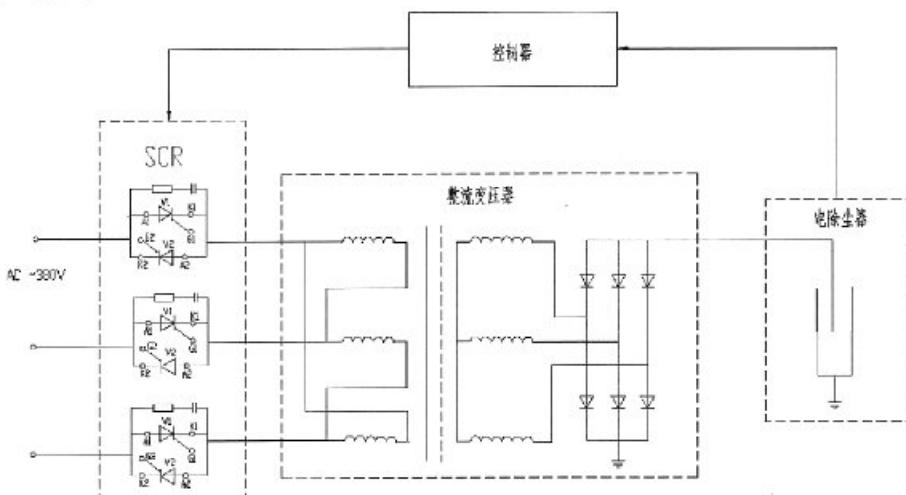


图 4 三相工频高压电源原理框图

### 6.4.2 三相工频高压电源的主要特点

- 1) 输出直流电压平稳, 较常规电源波动小, 运行电压可提高 20 %以上, 可提高除尘效率;
- 2) 三相供电平衡, 提高设备效率, 有利于节能;
- 3) 三相电源在电场闪络时的火花强度大, 火花封锁时间更长, 需要采用新的火花控制技术和抗干扰技术。

### 6.4.3 三相工频高压电源的推荐应用场合

- 1) 三相电源应用于高粉尘浓度的电场, 可以提高电场的工作电压和荷电电流。
- 2) 适合应用于电除尘器比较稳定的工况条件。

## 6.5 脉冲高压电源

脉冲高压电源以窄脉冲 (120  $\mu$ s 及以下) 电压波形输出为基本工作方式, 其主要目的是在不降低或提高除尘器运行峰值电压的情况下, 通过改变脉冲重复频率调节电晕电流, 以抑制

反电晕的发生，使电除尘器在收集高比电阻粉尘时有更高的收尘效率。

### 6.5.1 脉冲高压电源的原理及主要特点

常见的脉冲供电装置有三种类型。

第一种类型是脉冲高压电源装置使用火花间隙产生脉冲。这种方法虽然装置简单费用较低，然而要求有高精度的维护水平。其脉冲宽度在微秒量级或更窄，工作峰值电压比常规电源提高较显著，但目前功率容量相对较小。

第二种类型是采用贮能式原理，由贮能电容、脉冲变压器漏抗以及电除尘器电容组成串联振荡电路产生脉冲，在脉冲期间未被电除尘器耗用的脉冲能量通过反馈二极管回送到贮能电容贮存起来，以供下一个脉冲使用，因此具有显著的节能优点。这种供电装置的典型技术参数是：脉冲宽度  $75 \mu\text{s} \sim 120 \mu\text{s}$ ，脉冲重复频率  $25 \text{ pps} \sim 400 \text{ pps}$ ，基础直流电压  $40 \text{ kV}$ ，脉冲幅值  $70 \text{ kV}$ 。上述两种装置都常常设有独立的变压整流器来产生基础直流电压，在此基础上叠加高压脉冲。

第三种类型是多脉冲供电装置。这种装置的特点是基础直流电压和叠加的脉冲都取自同一个特殊的变压整流器，所产生的脉冲是每间隔  $3 \text{ ms} \sim 100 \text{ ms}$  发出  $50 \mu\text{s} \sim 100 \mu\text{s}$  宽的短脉冲群。其运行原理是连接在高压变压器后的电容器被充电，电能通过晶体管链经电感传送到除尘器形成振荡电路。此电能在其基本部分消耗在电除尘器中之前是来回振荡的，因而每一次振荡产生的脉冲是由许多挨得很紧密脉冲组成的短脉冲群。

### 6.5.2 脉冲高压电源的推荐应用场合

脉冲高压电源主要用于克服高比电阻粉尘反电晕、提高除尘效率的场合。

脉冲供电对电除尘器的改善程度通常可由驱进速度的改善系数来评估，其定义是电除尘器用新的供电方式与用常规直流供电时驱进速度之比。现场试验表明，改善系数与粉尘比电阻关系很大，它将随粉尘比电阻的增加而迅速增加。对于高比电阻粉尘，改善系数可达 2 以上。脉冲供电方式已在世界上被认为是改善电除尘器性能和降低能耗最有效的方式。但脉冲电源解决可靠性问题的难度较大，加之成本较高，目前在国内应用较少。

## 6.6 恒流高压直流电源

恒流高压直流电源具有恒流输出特性，功率因数高，工作连续可靠等优点，在很多特殊除尘环境，如电除雾和电捕焦，已得到广泛的应用。

### 6.6.1 恒流高压直流电源的原理

如图 5 所示，恒流源电路包括三个部分：第一部分为 L-C 谐振变换器，每个变换器由电感 L 和电容 C 组成一个回路网络，将电压源转换成电流源；第二部分为直流高压发生器 T/R；第三部分为反馈控制电路，主要由半导体器件和接触器构成。两相交流电压源输入经 L-C 谐振变换为电流源，然后经升压整流输出直流高压，为电除尘器提供高压电源，反馈控制电路为高压输出提供闭环控制。

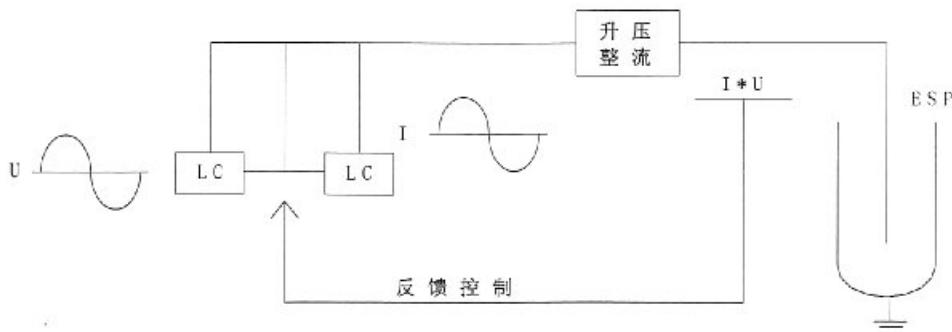


图5 恒流高压直流电源原理框图

### 6.6.2 恒流高压直流电源的主要特点

- 1) 具有恒流输出特性;
- 2) 电流反馈控制, 能自动适应工况变化;
- 3) 采用并联模块化设计, 结构清晰, 故障率低, 最大程度保障可连续工作;
- 4) 功率因数高,  $\text{COS}\Phi \geq 0.90$ , 而且不随运行功率水平而变化;
- 5) 输入、输出电压为完整的正弦波, 不干扰电网;
- 6) 大容量恒流高压电源成本较高。

### 6.6.3 恒流高压直流电源的推荐应用场合

电除雾和电捕焦, 常用于现场条件恶劣、小容量的场合。

## 7 供电装置的设备容量选型

### 7.1 电流容量选型

#### 7.1.1 板电流的选型

板电流密度的选择, 应是根据各种电晕线形式、极配形式, 结合电除尘器在具体烟气工况中运行的实际电流, 区别前后电场电流密度的差别, 适当考虑空载试验的需求来确定。以常规电源为例, 板电流密度一般在  $0.2 \text{ mA/m}^2 \sim 0.5 \text{ mA/m}^2$  范围内选取。对于放电性能较弱的线性放电电极, 电流等级可低一些, 对于放电性能较强的针尖放电电极, 电流密度可选高值。电流密度的选择与粉尘性质密切相关, 粉尘比电阻值较高, 板电流密度取较低值。从理论上讲前后级电场的电流密度是不一样的, 是要区分选型的。前电场考虑空间电荷的屏蔽作用, 电流密度选小些。

#### 7.1.2 线电流的选型

电晕线的线电流密度可以作为电流选型的参考而使用, 但使用时特别要注意电晕线与极板的配置形式, 比如有的线型如针刺线、螺旋线, 是一块极板配两根或两根以上极线的。

根据放电形式, 电晕线大致有三种类型: 点放电型, 如芒刺线; 线放电型, 如星形线; 面放电型, 如圆线等。

我国电除尘器应用了许多种电晕线, 由于电晕线的形状不同, 其起晕电压和线电流密度均不相同。在同极距为 400mm 的情况下, 线电流密度一般按  $0.10 \text{ mA/m} \sim 0.21 \text{ mA/m}$  选取。确定线电流密度应考虑极线形式以及烟尘性质, 粉尘比电阻较高, 则线电流密度选取较低值。

对于放电性能较好的极线, 如管状芒刺线, 可按  $0.15 \text{ mA/m} \sim 0.21 \text{ mA/m}$  选取, 锯齿线可

按  $0.12 \text{ mA/m} \sim 0.20 \text{ mA/m}$  选取，星形线可按  $0.08 \text{ mA/m} \sim 0.12 \text{ mA/m}$  选取。

### 7.1.3 电流容量的选型

供电装置的容量选型按收尘极板的电流为主要参数来进行，并参考电晕极的极配形式、线电流密度，来确定供电装置的电流容量。也就是说供电装置的电流容量选型，应以收尘极板电流密度为主，电晕极线电流密度为辅进行设计选型更为合理。供电装置的电源容量是由已选择的板电流密度和供电区域内集尘面积大小，再考虑一定的设计余量（一般 5%）来确定。合理确定电除尘器的电流容量，不仅节省投资，减少电耗，而且有利于电场的稳定运行。特别要注意的，电源电流容量选择虽要留有一定余量，但不是选得越高越好，而是要根据实际工况的运行电流而定。以常规工频高压电源为例，如果电源电流容量选得过大，而实际运行电流小，使 T/R 阻抗压降减小，输出电流波形变陡，闪络电压下降，导通角减小，最后导致运行平均电压平均电流降低。因此，T/R 的电压、电流选取要尽量和电场匹配，使导通角增大，运行的二次电压增高。

表 4 各种放电线与不同高压电源的板电流密度选型推荐表(同极距 400mm) 单位为  $\text{mA/m}^2$

极线形式	电源形式	第一电场	第二电场	第三电场	第四电场	第五电场
点放电线型	常规工频高压电源	0.30~0.40	0.32~0.42	0.35~0.45	0.35~0.45	0.35~0.45
	高频高压电源	0.30~0.45	0.32~0.45	0.35~0.45	0.35~0.45	0.35~0.45
线放电线型	常规工频高压电源	0.25~0.35	0.27~0.37	0.30~0.40	0.30~0.40	0.30~0.40
	高频高压电源	0.25~0.40	0.27~0.40	0.30~0.40	0.30~0.40	0.30~0.40
面放电线型	常规工频高压电源	0.20~0.30	0.22~0.32	0.25~0.35	0.25~0.35	0.25~0.35
	高频高压电源	0.20~0.35	0.22~0.35	0.25~0.35	0.25~0.35	0.25~0.35

表 4 所述常规工频电源的电流密度选择是根据常规电源在火花跟踪方式下电流密度应用经验总结得出的。

高频高压电源在电除尘器前电场（第一、二电场）应用纯直流供电方式工作时可提供更高的电流密度。但高频电源在后续电场一般工作在间歇脉冲供电工作方式，此时电流密度的选择只用于确定标称额定电流，根据经验可以与常规工频电源一致。

中频电源的工作方式与高频电源类似，选择的电流密度可以参照高频电源的电流密度选择。

三相电源在前电场的电流密度选择可以参照高频电源，但后续电场如果是工作在连续直流工作方式下，则建议适当提高电流密度。

表 5 列出常规工频电源的各种电流容量适配于常规电场的大小规格(极板面积)，高频电源、中频电源、三相电源等其他型式电源可根据各电源特点参照使用。

表 5 各种电流容量选型推荐表（单室单电场）

电流容量 (A)	电除尘器截面积 (m <sup>2</sup> )	极板面积 (m <sup>2</sup> )
0.1	9~16	250~300
0.2	18~32	500~600
0.3	26~47	750~900
0.4	35~63	1000~1200
0.5	44~79	1250~1500
0.6	53~95	1500~1800
0.7	61~110	1750~2100
0.8	70~132	2000~2500
1.0	88~158	2500~3000
1.2	105~189	3000~3600
1.4	123~221	3500~4200
1.6	140~253	4000~4800
1.8	158~284	4500~5400
2.0	175~315	5000~6000
2.2	193~345	5500~6600
2.4	211~379	6000~7200
2.6	228~411	6500~7800
2.8	246~442	7000~8400
3.0	263~474	7500~9000

## 7.2 电压等级选型

高压电源的电压等级选型，是根据本体不同的极间距结构、电场大小以及烟尘特性等因素确定的。在极间距一定的条件下，向电场施加的电压与电场结构形式及烟尘工况条件有关。通常电除尘器工作时的平均场强为 3 kV/cm~4 kV/cm，即对同极距为 300mm 的常规电除尘器，常规高压电源的平均电压可选择 45 kV~60kV，相对应的峰值电压 64 kV~85 kV；对同极距为 400mm 的常规电除尘器，常规高压电压的平均电压可选择 60 kV~72kV，相对应的峰值电压 85 kV~101kV；电压等级与电场同极距关系，一般情况下的选型见表 6。

电压选型不是越高越好，而是根据各种极距、电晕线形式、极配方式，结合电除尘器在具体烟气工况中运行的实际电压，贴近实际运行电压并留有一定余量。一般对于中低比电阻粉尘而言，运行电压较高，供电装置施加到电除尘器的功率越高，除尘效率也越高。但对高比电阻粉尘而言，实际运行电压较低，当运行电压没有提高时，供电装置继续增加输入电除尘器的功率不能提高除尘效率，还有可能降低除尘效率（因为反电晕的原因）。

表 6 电场在不同极距时的额定电压选型表

电源类型	同极间距 (mm)	300	400	450
单相工频电源	电场电压 (kV)	60~66	66~72	72~80
高频电源		66~72	72~80	80~90

注：中频电源的工作方式与高频电源类似，选择的电压可以参照高频电源的电压等级选择；三相电源可在单相工频电源和高频电源之间的电压等级选择。

## 8 节能减排的实用技术

节能运行技术、减功率振打/断电振打控制技术、反电晕控制技术是降低电除尘器的运行能耗、提高除尘效率有力武器，已在常规工频高压电源、高频高压电源等供电装置中得到广泛的应用，这些技术的应用均已比较成熟，同时也在不断的改进与完善中。只是不同厂家在具体的控制设备中技术名称不同，其原理本质均是类似；它们在实际应用中取得良好的节能减排效果，因此推荐作为用户进一步提高电除尘器提效节能运行的实用技术。

### 8.1 节能运行技术

#### 8.1.1 节能潜力

在中低比电阻粉尘情况下，电除尘器供电功率越高，除尘效率越高，但在功率提高的过程中也浪费了一大部分电能。

在燃煤品质低下、灰分含量高的条件下，由于灰份比电阻值大，电场内经常性存在反电晕现象，这时若过分增加电除尘器供电功率，反而会加重反电晕、引起除尘效率降低。理论分析和实践证明，采用间歇脉冲供电技术能够克服高比电阻粉尘引起的反电晕，通过对脉冲间歇时间的优化调整，不但可以提高除尘效率，而且可以减少电除尘电能消耗。

当电除尘器进口烟尘负荷变化时，如果电除尘一直运行在某一固定模式下，在保证电除尘排放达标的前提下，将会白白浪费大量电能。通过闭环自动控制此时可降低电源输出功率来实现保效节能。

总之，研究与实践表明：在满足排放要求或除尘效率有所提高的前提下，电除尘器具有很大的节电潜力。

#### 8.1.2 电除尘器的能耗

关于电除尘器的能耗，要注意区分和理解电除尘器设备装机容量、计算负荷、常规运行功耗、节能运行功耗等若干不同概念。一般它们之间的关系是：设备装机容量>设计功耗>实际功耗>节能功耗。

#### 8.1.3 节能技术

目前研究开发出多种电除尘器节能控制技术，包括电除尘器整体节能优化控制，高压供电设备优化运行，高频电源应用，断电振打控制等。间歇供电与脉冲供电可以有效地克服反电晕，使除尘效率明显提高；而且在大多数应用场合有显著的节能效果，其中以脉冲供电最为有效可靠，间歇供电最为方便经济，以电除尘器整体节能优化控制系统效果最为显著。

#### 8.1.4 应用效果

节能控制技术已得到比较广泛的应用，取得很大的经济效益与社会效益。从众多现场测试数据的统计平均结果来看，节能率可高达 60%以上，因此应大力推广电除尘节能应用。

### 8.2 减功率振打/断电振打控制技术

减功率振打/断电振打控制技术的主要功能是当某个电场振打器振打工作时，与之对应的高压电源实行断电或减功率运行，待振打结束后，高压电源恢复原运行状态。这样能够降低收尘极板极线的持灰力，使振打更有效地清除积灰，保持了运行中电除尘器极板极线的干净，提高收尘效率。减功率振打/断电振打的控制策略应适应除尘器本体结构的多样性和入口的烟尘工况特性的变化。

减功率振打/断电振打控制的要点是，高压断电的时间要短，以免产生较大断电扬尘，振打器的频度和力度在断电振打时要可调整，充分地把电场的积尘清除；振打时间短、振打频度和力度可在线调整的振打器更适宜断电振打或减功率振打工作方式。

### 8.3 反电晕控制技术

所谓反电晕是沉积在收尘极表面上的高比电阻粉尘层产生的局部放电现象。荷电后的高比电阻粉尘到达收尘极后，电荷不易释放，随着沉积在极板上的粉尘增厚，在粉尘层间形成较大的电位梯度，当其中的电场强度达到临界值时，就在粉尘层产生局部击穿，产生与电晕极极性相反的正离子，正离子受电场力的作用向电晕极迁移，中和电晕区带负电的粒子，由反电晕产生的正离子流和来自电晕极的电子流相互叠加形成了很大的电流，电压降低，粉尘二次飞扬严重，收尘效率恶化。反电晕一旦发生后，如果供电电源继续增加输入功率，收尘板电流密度进一步增大，就会引发更加严重的反电晕现象，收尘效率进一步下降。反电晕表现在电场伏安曲线上的特点是：低电压和大电流，同时会出现电流上升、电压下降的负斜率情况，从而导致除尘效率的下降。因此，供电装置的控制系统应采用灵敏可靠的检测方法来检测反电晕发生与否及其程度，并加以调整和控制，达到最佳的收尘效果，这个过程称为反电晕自动控制技术。

目前，国内外优秀电源厂家生产的新型常规工频高压电源供电装置中，电晕自动控制技术得到广泛的应用，只是不同厂家在具体的控制设备中技术名称不同，其原理本质均是类似。

### 参考文献：

- [1] 《火力发电厂电除尘器规范书》(DG-CC-95-40)
- [2] 《燃煤电厂电除尘器选型设计指导书》中国环境保护产业协会电除尘委员会组织编制



中国环境保护产业协会  
China Association of Environmental Protection Industry

# 《电除尘器供电装置选型设计指导书》

## 编制说明

中国环境保护产业协会电除尘委员会

2012年3月

# 《电除尘器供电装置选型设计指导书》编制说明

## 1 任务来源

近年来，我国电除尘电源技术有了很大进步和发展，在高频电源技术、节能控制技术等领域已接近国际先进水平，但总体上还存在一定的差距。由于历史原因，我国电源设备厂家众多，独具特色的各种技术流派纷呈，在电除尘器电源设备的选型和设计方面，使众多使用者常常感到困惑，加上本体设计选型中普遍存在电场数量偏少，比集尘面积偏低的现实，使部分电除尘设备不能达标。对此，中国环境保护产业协会电除尘委员会于2009年3月27日在厦门市召开了四届六次常委会会议，在《电除尘委员会四届六次常委会会议纪要》((2009)中环协电字 文 第02号)中下达了制订电除尘器本体选型设计指导资料的任务。2010年10月在南京召开了《第十一次全国电除尘供电电源技术研讨会》，正式确定启动编制电除尘器供电装置选型指导书。会后编制组收集整理国内电除尘器电源的相关资料，编制适合我国国情和特点的电除尘器供电装置的选型设计指导材料。

## 2 编制单位、起草人及评审专家

本指导书由中国环境保护产业协会电除尘委员会组织编制，并委托福建龙净环保股份有限公司和厦门绿洋电气有限公司负责编写。

本指导书主要起草人：邹标、郭俊、谢友金等。

本指导书主要评审专家：林尤文、刘卫平、蒋庆龙、陈焕其、曹为民、蒋云峰、谢小杰、郑国强、陈宇渊、赵富、魏文深、冯肇霖、杨羽军、郑伟良、徐建达、卢泽锋、张谷勋、丁铭、赵惠等。

## 3 编制过程

### 3.1 编制电除尘供电装置选型指导书的主要目的

3.1.1 近几年，随着国家(火电)烟尘排放限值标准提高到 $30\text{ mg}/\text{Nm}^3$ ，对电除尘和供电电源的技术提出了新的和更高的要求。另一方面，近年来国内电源厂家已经成功开发并推广应用了几种新型供电电源，有：高频电源、中频电源和三相电源等。如何正确选择电源种类、如何正确选型新型电源设备的容量成为当前亟待解决的问题。

3.1.2 新型供电电源各具特色，它们的工作原理、输出波形、负载特性、适用条件有着很大的差异，其推广应用需要正确的引导。

3.1.3 节能运行、断电振打、反电晕控制等节能提效的新技术的应用，给电除尘技术增添了巨大的活力和提升空间，但这些技术均在发展中，需要在应用中给予用户科学的指导。

3.1.4 在以上三个方面，需要电除尘供电电源行业的专家和广大的专业技术人员、运行维护

人员共同研究与探讨，归纳与总结，发出理性、权威的声音。

### 3.2 选型指导书重点内容的说明

电除尘器的电气设备应包括高压、低压、上位机控制系统及其他辅助设备等，本指导书主要论述高压电源装置，对其他设备基本没有涉及。指导书中电除尘器的供电装置也就是指高压电源装置。

#### 3.2.1 供电装置的容量选型

本指导书中各种供电装置的容量选型是在以往电除尘器的实践经验数据为基础之上，进而归纳与总结出来的，详见指导书表 4 及表 5，表中的数据基本涵盖了当前电除尘器的实际应用需要。随着技术的进步，对电除尘器技术认识的加深，各选型推荐数据应不定期地进行修订。

本指导书推荐，供电装置的容量选型按收尘极板的电流密度为主要参数来进行，并参考电晕极的极配形式、线电流密度，来确定供电装置的电流容量。也就是说供电装置的电流容量选型，应以收尘极板电流密度为主，电晕极线电流密度为辅进行设计选型更为合理。指导书给出各电场的电流密度选型推荐表，在电场的收尘极面积确定的情况下，选择合适的板电流密度，以确定供电装置的电流容量；编者统计了大量的在役电除尘器参数，认为板电流密度一般在  $0.2 \text{ mA/m}^2 \sim 0.5 \text{ mA/m}^2$  范围内选取较为合理。

在电场的收尘极和电晕极形状确定的情况下，根据电场的极间距来确定供电装置的电压等级。指导书参照实际工况条件下的工作电压，给出不同极距时的额定电压选型表，以确定供电装置的电压等级选型。

#### 3.2.2 烟气的工况特性

在以往的工作中，有些电除尘电源的从业人士，只专注于本身电源设备，对电除尘器本体及其烟气工况特性的并无十分的了解和掌握；电除尘器供电装置的电源类型和容量的选型，应立足于电除尘器本体和电源是一个有机整体，针对不同的烟气工况特性、不同的工业运行场合来区别对待；因此，本指导书推荐烟气的工况特性是设备选型和容量选型的要素，电除尘器本体设计基本条件、主要设计参数、飞灰化学成分、灰比电阻、烟气特性参数、达到除尘效率的条件和要求等也是电源选型的重要依据。

#### 3.2.3 术语和分类

本指导书站在使用者立场，推荐了术语及其定义。术语的选择是列出在使用过程中大家所关注的术语，至于设备装置内部的原理技术特性方面的术语定义就较少涉及。分类的方法，也是按贴近设计选型和运行使用的实际工作进行的。在实际工作中针对具体的一台电除尘器，一般来说是首先关注应采用何种供电装置、设备输出的是何种电压电流参数及波形；而供电装置内部电路原理技术等可以置于次要地位。因此，本指导书的术语和分类重点是电除尘器的功耗和供电装置设备的输入和输出的参数，如功耗、输入电流电压、频率，输出电流电压、直流或脉冲输出类型等。

#### 3.2.4 供电装置的适用性

本指导书推荐的高频电源、常规工频高压电源、中频高压电源、三相工频高压电源、脉冲高压电源、恒流高压直流电源等各种型式供电装置，均具有非常独特和鲜明的技术特点，在各行各业的电除尘器项目中得到了广泛的应用，除尘效果良好，高压电源的众多型式为电除尘器的供电技术设计选型提供了多种选择。

高频高压电源是当前我国及国际上电除尘器电源行业的热点，而在我国在役电除尘器中，常规工频高压电源的使用量占全部供电装置的 70 %~80 %以上，是当前的主流产品，因此本指导书主要描述这两种供电装置的选型，其他类型的供电装置参照选用。

本指导书描述了各种供电装置的基本工作原理和技术特点，并给出原理框图；这些技术介绍主要来源于各专业设备厂家的技术说明文档；供使用者根据项目的具体工况条件和用户的意向参考。

### 3.2.5 节能减排的实用技术

本指导书推荐了供电装置配套使用的几种实用控制技术，其目的在于节能减排，提高供电装置的效率与能力，进而提升电除尘器除尘性能，降低电除尘器能耗。推荐的实用技术有节能运行技术、减功率振打/断电振打控制技术、反电晕控制技术，这些技术已在常规工频高压电源、高频高压电源等供电装置中得到广泛的应用，只是不同厂家在具体的控制设备中技术名称不同。这些技术的应用均已比较成熟，取得良好的节能减排效果和经济效益，得到用户的认可，同时也在不断的改进与完善中。因此作为电除尘器提效节能运行的实用技术对用户推荐。

### 3.2.6 供电装置设备的设计与制造

供电装置的控制柜、整流变压器等设备内部的技术参数、性能测试、电路设计、器件设计选型、生产工艺等等应符合相关国家和行业的标准、企业产品标准、设计手册、技术协议；因此，本指导书中不一一列出各种技术标准和设计手册所涵盖的内容，以避免重复。

---

