

箱式变电站内工业空调的选型

姜嫣芳^{1,2} 申赛涛^{2,3}

1.河南省昱能电力科技有限公司, 河南 许昌 461000

2.许继变压器有限公司, 河南 许昌 461000

3.河南汇才人力资源有限公司东城分公司, 河南 许昌 461000

[摘要]箱式变电站(又称预装式变电站或组合式变电站)内部设备运行时会产生大量热量,需通过工业空调维持适宜温度(通常控制在35℃以下)。工业空调的选型流程总结为:(1)计算热负荷;(2)评估环境条件;(3)确定安装方式;(4)选择能效和控制模式;(5)特殊功能需求;(6)对比品牌与维护。根据以上流程,选出满足项目需求、性价比高的工业空调。

[关键词]箱式变电站;工业空调;选型

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17341

中图分类号: TM7

文献标识码: A

Selection of Industrial Air Conditioning in Box Type Substations

LOU Yanfang^{1,2}, SHEN Saitao^{2,3}

1. He'nan Yuneng Electric Power Technology Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

2. Xuji Transformer Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

3. Dongcheng Branch of He'nan Huicai Human Resources Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

Abstract: Box type substations (also known as prefabricated substations or modular substations) generate a large amount of heat during the operation of internal equipment, and require industrial air conditioning to maintain a suitable temperature (usually controlled below 35 °C). The selection process of industrial air conditioning is summarized as follows: (1) Calculating heat load; (2) Assess environmental conditions; (3) Determine the installation method; (4) Choose energy efficiency and control mode; (5) Special functional requirements; (6) Compare brand and maintenance. According to the above process, select industrial air conditioners that meet project requirements and have high cost-effectiveness.

Keywords: box type substations; industrial air conditioning; selection

引言

箱式变电站的形成和发展是电力系统技术、城市化需求和经济效率共同推动的结果。箱式变电站的形成是电力行业对效率、成本、空间和灵活性需求的综合响应。其核心优势在于集成化、快速部署和适应性,近几年随着智能电网和可再生能源的发展,箱式变电站得到广泛应用。箱式变电站的正常运行对电力系统至关重要,箱体内部最佳工作温度 10℃~35℃,工业空调是维护设备正常运行的重要元器件。

1 工业空调的分类

工业空调根据冷却方式、安装形式、功能特性等不同维度,可分为多种类型,以适应不同工业场景的需求。

1.1 按冷却方式分类

工业空调在不同冷却方式下的工作原理不同,其特点也不同;根据其不同特点,选择合适的适用场景;详细对比见表1所示。

1.2 按安装形式分类

选择工业空调的安装方式需综合考虑使用场景、空间条件、设备类型、环境要求等因素;下面对不同安装形式的工业空调的优缺点进行对比,见表2所示。

1.3 按功能特性分类

工业空调的适用场景不同,对功能特性的要求不同;以下是对功能特性不同的空调的应用场景的介绍;见表3所示。

表1 冷却方式对比

类型	工作原理	特点	适用场景
风冷式	通过风机将冷凝器热量排向空气	结构简单,无需水源,维护方便	普通户外箱变(中小型)
水冷式	利用循环水冷却冷凝器	制冷效率高,需配套冷却水系统	大型箱变或高温缺水地区
蒸发冷却式	水蒸发吸热降温(湿帘+风机)	节能,但可能增加湿度	干燥炎热地区(如西北)
双冷源式	风冷+水冷自动切换	适应性强,成本较高	极端温度波动环境
热管式	利用工质相变自然散热	零能耗,高温时需压缩机辅助	节能改造或温差大地区

表2 安装形式对比

类型	安装方式	优点	缺点
分体式	室内机+室外机（铜管连接）	制冷效率高，噪音低	需室外机安装空间
一体式	整体壁挂或顶置（无室外机）	节省空间，防护等级高（IP54+）	散热能力略低
柜式	落地安装（大型机柜）	大风量，适合大空间	占用箱变内部地面空间

表3 功能特性对比

类型	核心功能	典型应用
普通制冷型	单一温度控制	温带地区标准箱变
防爆型	防爆设计（ExdⅡBT4认证）	化工、油田等易燃易爆环境
除湿型	化工、油田等易燃易爆环境	高湿度地区（沿海、多雨）
变频智能型	变频调速+远程监控	智能变电站或需精准温控场景
耐高温型	宽温运行（-30℃~+55℃）	沙漠、极寒等极端气候

2 计算热负荷

箱式变电站内部设备运行时会产生大量热量，需通过工业空调维持适宜温度（通常控制在 35℃以下）；所以正确选择工业空调的第一步是准确计算热负荷。热负荷的计算离不开应用场景，常见类型箱式变电站的配置，见表 4。

根据以上条件箱变内热负荷主要来源于 2 台变压器发热量、6 台低压柜发热量、箱体对外热交换。以下是详细计算过程：

2.1 变压器损耗计算（2 台 SCB13-2000/35/0.4 Dyn11 uk=8%）

SCB13-2000kVA 干式变压器的典型损耗（参考 GB 20052—2020 能效标准）：

空载损耗（ P_0 ）：约 2.3kW（国标值），2 台共 4.6kW。

负载损耗（ P_k ）：约 16.5kW（额定负载下），2 台满载时共 33kW。

实际负载修正：若负载率为 70%，则负载损耗为：

$P_k'=33 \times (.7)^2=16.2kW$

变压器总发热里： $P_{\text{变压器}}=P_0+P_k'=4.6+16.2=20.8kW$

表4 箱式变电站的供货清单

序号	产品名称	规格	单位	数量
一 低压柜				
1.1 低压进线柜（储能变 AA01） 1 台				
1.1.1	MNS 柜体	1000*1000*2000mm	台	1
1.1.2	框架断路器	BW1-4040/3-C-S-M-T4，抽出式，电动	台	1
1.1.3	电流互感器	BH-0.66 4000/5，0.5	个	3
1.1.4	电流互感器	BH-0.66 4000/5，5P20	个	3
1.1.5	浪涌保护器	GDL-400/40/4P	套	1
1.1.6	智能仪表		个	3
1.1.7	刀熔开关	QSA-0.5/3	个	1
1.1.8	电压互感器	3*（380/√3）/（100/√3）	个	3
1.1.9	铜排及耗材	2*（120*10）+1*（60*5）	套	1
1.2 低压出线柜（储能变 AA02） 1 台				
1.2.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.2.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4，抽出式，电动	台	2
1.2.3	电流互感器	BH-0.66 800/5	个	6
1.2.4	多功能表		个	2
1.3 低压出线柜（储能变 AA03） 1 台				
1.3.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.3.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4，抽出式，电动	台	2
1.3.3	电流互感器	BH-0.66 800/5	个	6
1.3.4	多功能表		个	2
1.4 低压进线柜（储能变 BA01） 1 台				
1.4.1	MNS 柜体	1000*1000*2000mm	台	1
1.4.2	框架断路器	BW1-4040/3-C-S-M-T4，抽出式，电动	台	1
1.4.3	电流互感器	BH-0.66 4000/5，0.5/5P20	个	3

序号	产品名称	规格	单位	数量
1.4.4	浪涌保护器	GDL-400/40/4P	套	1
1.4.5	智能仪表		个	3
1.4.6	刀熔开关	QSA-0.5/3	个	1
1.4.7	电压互感器	3* (380/√3)/(100/√3)	个	3
1.4.8	铜排及耗材	2* (120*10) +1* (60*5)	套	1
1.5 低压出线柜 (储能变 B A02) 1 台				
1.5.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.5.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4, 抽出式, 电动	台	2
1.5.3	电流互感器	BH-0.66 800/5	个	6
1.5.4	多功能表		个	2
1.6 低压出线柜 (储能变 B A03) 1 台				
1.6.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.6.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4, 抽出式, 电动	台	1
1.6.3	塑壳断路器	BM30-400L/3300-400A, 抽出式, 手动		2
1.6.4	电流互感器	BH-0.66 800(400)/5	个	9
1.6.5	多功能表		个	3
二 干式变压器				
2.1 干式变压器 (储能变 A)				
2.1.1	干式变压器	SCB13-2000/35/0.4 Dyn11 uk=8%	台	1
2.1.2	零序电流互感器	BH-0.66 3000/5	台	1
2.2 干式变压器 (储能变 B)				
2.2.1	干式变压器	SCB13-2000/35/0.4 Dyn11 uk=8%	台	1
2.2.2	零序电流互感器	BH-0.66 3000/5	台	1
三 35kV 预制舱				
3.1	预制舱	8200*8100*3400(净高 2880), 墙体厚 120mm, 外层 2mm 厚瓦楞板, 内层防火岩棉装饰板	台	1
3.2	室内智能小球	球机, 模拟, 含电源支架	套/舱	2
3.3	点型光电感烟探测器	40 平方一个	只/舱	2
3.4	探测器底座		只/舱	4
3.5	手动火灾报警按钮	每个门一个	只/舱	2
3.6	火灾声光报警器		只/舱	2
3.7	温湿度传感器	485 输出	个/舱	2
3.8	温湿度协议模块	485 输入, 以太网输出, 每个箱体一个	个/舱	1
3.9	水浸传感器	DI 输出	个/舱	2
3.10	辅助系统设备箱	含导轨、接线端子、舱内用电源	个/舱	1
3.11	工业级空调	微正压	台/舱	2
3.12	环境监控模块		台/舱	1
3.13	8 口 10M/100M 交换机		个	1
3.14	消防专用电话		只/舱	1
3.15	消防专用电话		只/舱	1

2.2 低压柜发热量 (2 进线+4 出线)

进线柜 (2500A): 每柜接触电阻 $50\mu\Omega$, 2 个断路器, 发热量:

$$P_{\text{进线}} = 2 \times (2500^2 \times 50 \times 10^{-6}) = 625\text{W/柜} (2 \text{ 柜共 } 1.25\text{kW}).$$

出线柜 (1000A): 每柜 4 回路, 发热量:

$$P_{\text{出线}} = 4 \times (1000^2 \times 50 \times 10^{-6}) = 200\text{W/柜} (4 \text{ 柜共 } 0.8\text{kW}).$$

低压柜总发热:

$$P_{\text{低压柜}} = 1.25 + 0.8 = 2.05\text{kW}.$$

2.3 箱体对外热交换

舱体结构:

外层: 瓦楞板 (金属, 导热快)。

内层: 防火岩棉装饰板 (隔热性能较好)。

墙厚: 120mm (含岩棉填充)。

(1) 计算舱体传热系数 (U 值)

岩棉导热系数 (λ) $\approx 0.035 \text{ W/(m K)}$ 。

假设瓦楞板和装饰板的热阻可忽略, 主要隔热靠岩棉:

$$U = \lambda / d = 0.035 / 0.12 \approx 0.29$$

(2) 计算舱体散热负荷

舱体表面积 (S):

$$S = 2 \times (8.1 \times 8.2 + 8.1 \times 2.88 + 8.2 \times 2.88) \approx 226.74 \text{ m}^2$$

假设室外最高温度 40°C , 允许箱内 50°C ($\Delta T = 10\text{K}$):

$$Q_{\text{散热}} = U \times S \times \Delta T = 0.29 \times 226.74 \times 10 \approx 657 \text{ W} \approx 0.66 \text{ kW}$$

2.4 其他热源

照明、控制设备等附加负荷: 估算 0.5 kW 。

$$Q_{\text{基本}} = 20.8 \text{ (变压器)} + 2.05 \text{ (低压柜)} - 0.66 \text{ (热交换)} + 0.5 \text{ (其他)} = 22.69 \text{ kW}$$

结论: 该项目热负荷为 22.69 kW 。

3 环境条件评估

箱变工业空调的选型离不开对环境条件的评估, 以下是本次列举箱变的使用环境条件, 见表 5。

表 5 项目环境表

序号	名称		单位	标准参数值
1	周围空气温度	最高气温	$^\circ\text{C}$	+40
		最低气温		-20
		最大日温差	K	25
2	海拔		m	≤ 1000
3	太阳辐射强度		W/cm^2	0.1
4	污秽等级			IV 10
5	覆冰厚度		mm	10
6	风速/风压		m/s / Pa	35/700
7	湿度	日相对湿度平均值	%	≤ 95
		月相对湿度平均值		≤ 90
8	耐受地震能力 (水平加速度)		m/s^2	0.2g
9	地震基本烈度			VI 度

结论: 该项目为温带气候。

4 确定安装方式

以序号 2 中项目为例: 为方便运输, 选择一体式微正压工业空调。

5 选择能效和控制模式

以序号 2 中项目为例:

(1) 基本制冷量

$$Q_{\text{基本}} = 22.69 \text{ kW}$$

(2) 微正压通风需求

微正压空调需补偿漏风量, 通常按 $1 \sim 2 \text{ 次/h}$ 换气计算:

箱体容积 (V):

$$V = 8.1 \times 8.2 \times 2.88 \approx 191.5 \text{ m}^3$$

换气风量 (Q):

$$Q = 1.5 \times V = 1.5 \times 191.5 \approx 287 \text{ m}^3/\text{h}$$

(3) 安全余量 (20%)

$$Q_{\text{空调}} = 22.69 \times 1.2 \approx 28 \text{ kW}$$

(4) 能效比 (EER)

优选 $\text{EER} \geq 3.0$ 的空调, 降低长期运行成本。

(5) 变频 vs 定频

变频: 适合温度波动大的场景, 节能 $20\% \sim 30\%$, 但成本高。

定频: 成本低, 适合负荷稳定的环境。

(6) 智能控制

支持远程监控 (4G/IoT), 故障报警。

温湿度双控, 自动切换制冷/除湿模式。

结论: 建议选择 $30 \sim 40 \text{ kW}$ 微正压工业空调 (2 台 20 kW 或 1 台 40 kW 机组, 冗余设计); 该项目因为 2 台变压器, 2 个空间, 故选择 2 台 20 kW 微正压空调; 能效比 $\text{EER} \geq 3.0$, 负荷稳定, 选择定频; 满足智能控制的要求。

6 特殊功能需求

高温沙漠地区: 强化制冷和防沙尘过滤。

高寒地区: 低温制热和防冷凝加热。

防凝露: 高湿度地区选配加热器或自动除湿功能。

冗余设计: 关键场合可并联双空调, 一用一备。

应急通风: 空调故障时自动启动备用风扇 (需独立电源)。

7 对比品牌与维护

品牌可靠性: 优先选工业空调专业品牌 (如格力工业型、海尔、美的等)。

维护便捷性: 滤网易拆卸、冷凝水排放通畅, 避免箱内积水。

8 工业空调选型中的常见错误避免

低估发热量: 忽略开关柜发热或太阳辐射, 导致制冷量不足。

忽视防护等级: 户外箱变选 IP30 空调, 导致进水损坏。

未预留冗余: 极端天气下空调满负荷运行, 寿命缩短。

密封性检查: 箱体若存在缝隙, 需增加风量补偿漏风。

安装位置: 空调出风口应避免变压器直接吹拂 (干式变压器需防冷凝)。

9 结束语

工业空调作为箱式变电站的“温度守护者”, 其选型质量直接影响设备可靠性、运维成本和供电安全性。建议优先选择具备宽温运行、智能调控功能的专业工业空调产品, 并定期开展换热效率检测与维护。

[参考文献]

[1]李强,张华,王磊.高湿热地区箱式变电站空调系统设计

与仿真[J].电工技术学报,2019,34(10):1-10.

[2]刘伟,陈明,赵阳.预装式变电站温升计算及通风优化研究[J].高电压技术,2018,44(5):1560-1568.

[3]王立新,吴峰.智能箱变温控系统设计与应用[J].电力系统自动化,2021,45(12):120-128.

[4]张洋.箱式变电站热场分析与散热系统优化[D].北京:华北电力大学,2020.

[5]陈晨.极端环境下预装式变电站温控设备可靠性研究[D].重庆:重庆大学,2019.

[6]国家电网有限公司企业标准.Q/GDW 12073-2020 箱式变电站工业空调选型技术规范[R].北京:国家电网公司电力科学研究院,2020:15.

[7]空调与通风系统匹配案例.预装式变电站散热系统设计手册[R].广州:南方电网电力科技股份有限公司,2019:23.

作者简介: 娄嫣芳 (1987.12—), 毕业院校: 河南科技大学, 所学专业: 机械设计制造及其自动化, 当前就职单位: 河南省昱能电力科技有限公司, 职务: 产品设计师, 职称级别: 中级。