

焊装车间测试区低压电气柜的设计与应用

张艳清

(北京奔驰汽车有限公司, 北京 100176)

摘要: 随着汽车制造业的不断发展, 人类生活水平的不断提高, 市场对汽车的需求量也越来越大。为了更好地实现北京奔驰“节约成本, 降本增效”的理念, 充分体现“碳达峰、碳中和”的重大历史意义, 同时提高员工技术水平, 现场更好地测试返修备件, 焊装车间技术维护人员决定搭建测试区。根据现场实际需求, 低压电气柜的设计成为搭建测试区的重要一环, 主要从低压断路器、熔断器、电源线缆规格进行设计并选取, 通过需要系数法进行负荷计算, 校验低压断路器、低压熔断器整定电流, 应用经济电流密度法计算并选取电源线缆规格。电气器件选取后并安装到电气柜中, 将低压电气柜用到焊装车间测试区, 实现返修备件测试功能。

关键词: 焊装车间测试区; 低压电气柜; 电气设计; 低压断路器; 低压熔断器; 电源线缆

Design and application of electrical cabinets in body shop master piece

ZHANG Yanqing

(Beijing Benz Automotive Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: With the continuous development of the automobile manufacturing industry and the continuous improvement of human living standards, the demand for cars in the market is also increasing. In order to better implement the concept of “cost saving, cost reduction, and efficiency enhancement” of Beijing Benz, fully reflecting the significant historical significance of “carbon peaking and carbon neutrality”, meantime improving the technical level of employees and testing repaired spare part onsite, body shop maintenance decides to build master piece. Based on actual on-site requirement, the designing of low-voltage electrical cabinets has become an important part of building master piece, it mainly designs and selects specifications for low-voltage circuit breakers, fuses, and power cables, load calculation through the coefficient of demand method, verify the set current of low-voltage circuit breakers and low-voltage fuses, calculate and select power cable specifications through the economic current density method. After selecting components, the article installs them in the electronic cabinet and applies cabinet to body shop master piece, it achieves the test function of repairing spare parts.

Keywords: body shop master piece; low voltage electrical cabinet; electrical design; low voltage circuit breaker; low voltage fuses; power cable

0 引言

电气设计在这个数字化、智能化的时代愈发的重要, 一个合格的电气设计不仅可以提高设备利用率, 降低资源浪费, 减少对周围环境

的影响, 还可以大大提高整个系统的安全性和稳定性。由于车间测试区规模比实际线体小, 涉及设备种类数量也比较少, 为了避免电气设计中出现“大马拉小车”现象, 需根据实际情

况选取合适规格的电气器件^[1]。测试区所使用设备有KUKA公司提供的机器人，西门子公司提供的PLC、EBF人机操作屏，BMB3提供的涂胶设备，BOSCH提供的焊接设备。将统一的电气标准应用到不同厂家提供的设备中，是目前面临的主要问题。克服该问题需要对各个厂家设备进行研究，每种设备需要的负荷、设备需要系数和测试区满载时的同时系数均需要通过厂家提供的说明书或是查阅《工业与民用供配电设计手册》等相关资料得到相应参数信息。低压电气柜的设计主要包括低压断路器、低压熔断器、电源电缆规格选取，以及低压断路器与低压熔断器之间的级间配合关系校验，根据国家标准定义电缆颜色，将电气柜作为一个标准产品进行设计。

1 电源标准确定

根据测试区所选取的设备及厂家提供的资料信息，本测试区主电源主要采用三相380 V 工频50 Hz电源，控制电源由于设备不同而选择不同规格。本文主要采用单相220 V工频50 Hz的交流电源及24 V直流电源^[2]。测试区各个设备所需要的电源规格见表1。

表 1 各设备电源规格

Tab. 1 Power supply specifications for each device

设备名称	电压规格
KUKA 机器人	AC 380 V 三相 50 Hz
BMB3 涂胶设备	AC 380 V 三相 50 Hz
BMB3 涂胶设备控制电压	DC 24 V
西门子 PLC 输入电压	AC 220 V 单相 50 Hz
EBF 输入电压	AC 220 V 单相 50 Hz
安全门锁	DC 24 V
指示灯、传感器、Festo 模块	DC 24 V

根据表1中各设备的电源电压，电气柜输入端电压为AC 380 V三相50 Hz，根据戴姆勒焊装车间电气接线标准，测试区电气柜的接线方式采用三相五线制，项目使用了部分单相设备。为了解决三相电压转换为单相电压问题，电气柜内配有德国原装BLOCK STU 500/2X115三相转单相

变压器。

2 电气器件选取

根据戴姆勒标准，测试区内的设备均由电气柜供电，电气柜电源输入端直接与厂房设施总线相连，设备出现电流过载或短路故障时，电气柜的器件会自动断开供电电源，选取各器件规格必须计算测试区的电源负荷，接下来主要介绍需要通过系数法计算负荷及低压器件的选择^[3]。

2.1 需要系数法计算负荷

该小节主要使用需要系数法计算测试区各个设备实际使用负荷，从而选择电气柜的器件，根据各设备厂家提供的说明书以及《工业与民用供配电设计手册》（第四版）规定的需要系数法计算负荷^[4]，确定了用电设备相应的参数，见表2。

表 2 用电设备参数

Tab. 2 Parameter of device

设备名称	设备功率 P_e/kW	功率因数 $\cos\varphi$	需要系数 K_d	相数 P	有功功率同时系数 $K_{\Sigma p}$	无功功率同时系数 $K_{\Sigma q}$	设备数量 n
PLC 柜	3	0.8	0.75	3	0.85	0.85	1
机器人	6	0.85	0.7	3			2
点焊	50	0.6	0.35	3			1
涂胶	35	0.75	0.55	3			1
EBF	1	0.8	0.8	1			2
其他	1.5	0.75	0.8	1			1

以下是通过需要系数法选择电气柜低压断路器及熔断器的计算过程，主要计算各用电设备组计算功率和配电线路计算功率，用电设备计算功率公式为

$$P_c = K_d P_e \tag{1}$$

$$Q_c = P_c \tan \varphi \tag{2}$$

式中， P_e 为设备功率，kW； P_c 为设备计算有功功率，kW； K_d 为设备需要系数； Q_c 为设备计算无功功率，kvar； $\tan\varphi$ 为功率因数角正切值。

配电线路计算功率公式为

$$P_c = K_{\Sigma p} \sum (K_d P_e) \tag{3}$$

$$Q_c = K_{\Sigma q} (K_d P_c \tan \varphi) \quad (4)$$

式中, $K_{\Sigma p}$ 为有功功率同时系数; $K_{\Sigma q}$ 为无功功率同时系数。

计算视在功率及计算电流公式分别为

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \quad (5)$$

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_n} \quad (6)$$

式中, S_c 为计算视在功率, $\text{kV} \cdot \text{A}$; I_c 为计算电流, A ; U_n 为系统标称线电压, kV 。

由表2可知, 该测试区内同时有三相与单相用电设备, 根据《工业与民用供配电设计手册》(第四版) 规定负荷计算原则, 单相用电设备应均衡分配到三相上, 使各相的计算负荷尽量相近, 以减小不平衡度^[5]。单相负荷可不进行换算, 而是直接与三相负荷相加, 条件为

$$\sum P_{e.s} \leq 15\% \sum P_{e.t} \quad (7)$$

式中, $P_{e.s}$ 为计算范围内单相负荷的设备功率, kW ; $P_{e.t}$ 为计算范围内三相负荷的设备功率, kW 。

$$\sum P_{e.s} = 1 \text{ kW} \times 2 + 1.5 \text{ kW} \times 1 = 3.5 \text{ kW} \quad (8)$$

$$\sum P_{e.t} = 3 \text{ kW} \times 1 + 6 \text{ kW} \times 2 + 50 \text{ kW} \times 1 + 35 \text{ kW} \times 1 = 100 \text{ kW} \quad (9)$$

以上满足式(7)条件, 可以直接将单相设备功率与三相设备功率相加。通过上述公式, 各用电设备组及配电线路计算功率见表3。

表3 用电设备组及配电线路计算功率

Tab. 3 Calculation power of device group and line

设备名称	设备功率 P_e/kW	功率因数 $\cos\varphi$	功率因数角正切值 $\tan\varphi$	需要系数 K_d	设备数量 n	设备组计算有功功率 P_{js}/kW	设备组计算无功功率 Q_{js}/kW
PLC 柜	3	0.8	0.75	0.75	1	2.25	1.69
机器人	6	0.85	0.62	0.7	2	8.4	5.21
点焊	50	0.6	1.33	0.35	1	17.5	23.28
涂胶	35	0.75	0.88	0.55	1	19.25	16.94
EBF	1	0.8	0.75	0.8	2	1.6	1.2
其他	1.5	0.75	0.88	0.8	1	1.2	1.06
电气柜合计	$K_{\Sigma p}=0.85, K_{\Sigma q}=0.85$					42.67	41.97

可以得出电气柜视在功率 S_c 及计算电流 I_c 计算式为

$$S_c = \sqrt{(42.67 \text{ kW})^2 + (41.97 \text{ kvar})^2} = 59.86 \text{ kV} \cdot \text{A} \quad (10)$$

$$I_c = \frac{59.86 \text{ kV} \cdot \text{A}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ kV}} = 90.95 \text{ A} \quad (11)$$

2.2 低压断路器和熔断器选择

根据《工业与民用供配电设计手册》(第四版) 有关断路器的选择规定, 断路器的选择不仅需要考虑额定电流, 还需要考虑脱扣器整定电流; 另外, 规定熔断器需要考虑额定电流, 同时还需要考虑熔断电流, 二者级间配合需要遵循下级先断开、上级后断开的原则进行选择^[6]; 此外, 主要考虑机器人本身电动机的启动电流, 根据厂家提供的数据, 所选机器人全启动电流倍数为2, 公式为

$$I_{stM} = 3I_{nM} = 3 \frac{P_{nM}}{\sqrt{3}U_{nM} \cos\varphi} = 3 \times \frac{6 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ kV} \times 0.85} = 32.18 \text{ A} \quad (12)$$

式中, I_{stM} 为一台机器人电动机的全启动电流, A ; I_{nM} 为机器人电动机额定电流, A ; P_{nM} 为机器人电动机额定功率, kW ; U_{nM} 为机器人电动机额定电压, kV 。

接下来详细介绍断路器与熔断器的选择过程。根据实际需求, 本文选择了非选择性断路器, 具体规格通过以下公式计算

$$I_{nd} \geq I_{set1} \geq I_c \quad (13)$$

式中, I_{nd} 为断路器额定电流, A ; I_{set1} 为断路器反时限过电流脱扣器的整定电流, A 。

$$I_{set3} \geq K_{set3} (I_{stM} + I_c) \quad (14)$$

式中, I_{set3} 为瞬时过电流脱扣器的整定电流, A ; K_{set3} 为低压断路器瞬时过电流脱扣器的可靠系数, 本项目取1.2。

熔断器额定电流计算式为

$$I_{nr} \geq K_r (I_{nM} + I_c) \quad (15)$$

式中, I_{nr} 为熔断器额定电流, A ; K_r 为配电线路熔断器选择计算系数, 该数值取决于 I_{nM}/I_c 的比值, 见表4。

表 4 K_r 数值表
 Tab. 4 K_r parameter table

I_{nM}/I_c	≤ 0.25	$0.25 \sim 0.4$	$0.4 \sim 0.6$	$0.6 \sim 0.8$
K_r	1.0	$1.0 \sim 1.1$	$1.1 \sim 1.2$	$1.2 \sim 1.3$

通过式 (14) 和式 (15) 可以得出电气柜内断路器参数结果, 即

$$I_{nd} \geq I_{set1} \geq 90.95 \text{ A} \tag{16}$$

$$I_{set3} \geq 1.2 \times (32.18 \text{ A} + 90.95 \text{ A}) = 147.76 \text{ A} \tag{17}$$

根据计算结果以及施耐德公司提供的产品信息, 电气柜选用断路器额定电流为100 A, 本项目使用的断路器用于保护配电线路及常规负荷^[7], 故采用C型脱扣形式。C型脱扣方式瞬时脱扣范围见表5。

表 5 瞬时脱扣范围
 Tab. 5 Instantaneous release range

脱扣形式	脱扣范围
B	$3I_{nd} \sim 5I_{nd}$ (含 $5I_{nd}$)
C	$5I_{nd} \sim 10I_{nd}$ (含 $10I_{nd}$)
D	$10I_{nd} \sim 20I_{nd}$ (含 $20I_{nd}$)

瞬时过电流脱扣器的整定电流参考式 (17) 及表5, 整定电流为1 000 A。综上所述, 断路器由施耐德公司提供, 型号为NC100H-4P C100A。

电气柜熔断器额定电流参考式 (15) 及表4, 根据 $I_{nM}/I_s=10.73 \text{ A}/90.95 \text{ A}=0.12$ 得知, $K_r=1.0$, 计算式 为

$$I_{nr} \geq 1.0 \times (10.73 \text{ A} + 90.95 \text{ A}) = 101.68 \text{ A} \tag{18}$$

根据德国西门子公司提供的产品技术参数, 熔断器额定电流为125 A, 熔断器熔断电流最小值为1 500 A, 型号为NH000-gG 125 A 500V。H001电气柜中熔断器作为上级电气器件, 断路器作为下级器件, 熔断器额定电流125 A比断路器长延时脱扣器的整定电流值100 A大一些, 且熔断器熔断电流1 500 A比断路器瞬时过电流脱扣器的整定电流1 000 A大, 能满足选择性要求^[8]。

综上所述, 电气柜中需要的低压断路器和熔断器型号规格见表6。

表 6 低压断路器与熔断器规格
 Tab. 6 Low voltage breakers and fuse specifications

低压断路器	低压熔断器
NC100H-4P C100A	NH000-gG 125A 500V

2.3 电气柜进线电源电缆选择

电气柜内电缆规格以及接线方式必须严格按照国家标准进行实施, 该小节主要阐述电气柜电缆规格选择以及柜内电气器件之间的接线方式。首先, 对电气柜内主电源线缆规格进行选择, 主要采取经济电流密度法进行计算, 即测试区采用两部制电价。GB 50217—2018国家标准《电力工程电缆设计标准》规定了各电缆经济电流密度, 根据测试区实际需求以及材料成本预算, 本文选择使用了YJLV-1铝芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电缆, 电缆经济截面积计算式为

$$S_{ec} = \frac{I_c}{j} \tag{19}$$

式中, S_{ec} 为电缆经济截面积, mm^2 ; I_c 为配电线路计算电流, A; j 为经济电流密度, A/mm^2 。

经济电流密度曲线引自GB50217—2018《电力工程电缆设计标准》, 如图1所示。

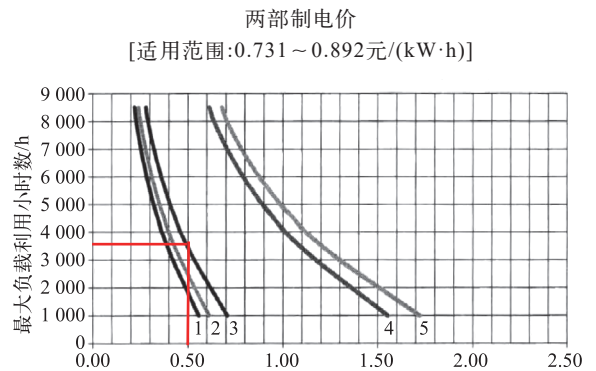


图 1 铜、铝电缆经济电流密度
 Fig. 1 Economic current density of copper and aluminium cables

图1中, 曲线1适用于VLV电力电缆; 曲线2适用于YJLV-10电力电缆; 曲线3适用于YJLV-1电力电缆; 曲线4适用于YJV-1电力电缆; 曲线5适用于VV-1电力电缆。

根据图1可知, 本项目选用曲线3计算电气柜进线电源电缆截面积, 根据测试区实际需求, 最

大负荷利用小时数一年大概为3 500 h, 经济电流密度为 0.5 A/mm^2 , 电气柜进线电源线截面积计算式为

$$S_{\text{ec}} = \frac{I_c}{j} = \frac{90.95 \text{ A}}{0.5 \text{ A/mm}^2} = 181.9 \text{ mm}^2 \quad (20)$$

根据电缆产品手册, 选择相线及中性线截面积为 185 mm^2 , 依据GB 50217—2018国家标准《电力工程电缆设计标准》第3.6节规定, 保护线允许最小截面积见表7。

表7 保护线允许最小截面积

Tab. 7 The minimum allowable cross-section of PE

(单位: mm^2)	
电缆相线截面积	保护线允许最小截面积
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S \leq 400$	$S/2$
$400 < S \leq 800$	200
$S > 800$	$S/4$

注: S 为电缆相线截面积。

综上所述, 可以计算电气柜保护线最小允许截面积为 $185 \text{ mm}^2/2=92.5 \text{ mm}^2$, 根据线缆截面积标准规格选取 95 mm^2 。电气柜进线电源电缆使用型号为YJLV-1KV-4×185+1×95。

3 电气柜型式及标识设计

参考戴姆勒标准以及现场实际需求, 电气柜表面保护颜色采用灰白色^[9], 防护等级为IP65, 电气柜的设计尺寸为 $1\ 200 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 2\ 000 \text{ mm}$ 。电气柜的主要电气器件型号已经确定, 并参考生产线电气柜器件安装位置进行安装, 之后需通过相应电缆连接各器件, 电气柜内电缆颜色按照戴姆勒Integra7标准进行设计, 见表8。

表8 电气柜电缆颜色

Tab. 8 Cable color of electronic cabinet

主电路 (交流电)		控制电路	
电缆名	颜色	电缆名	颜色
A相	黄	交流+220 V	蓝
B相	绿	交流0 V	蓝白双色
C相	红	直流+24 V	蓝
中性线	蓝	直流0 V	蓝白双色
地线	黄绿双色	地线	黄绿双色

为了方便对测试区正常使用以及维护, 电气柜的标识也很重要, 本项目同样采用戴姆勒标准规定的标识^[10], 标牌采用底色银灰, 黑色字体, 长为450 mm, 高为110 mm, 字体高度为25 mm。焊装车间内任何一个设备都存在一个九位功能位置作为ID, H001电气柜九位功能位置为000EE_001。项目涉及电气柜标识如图2所示。

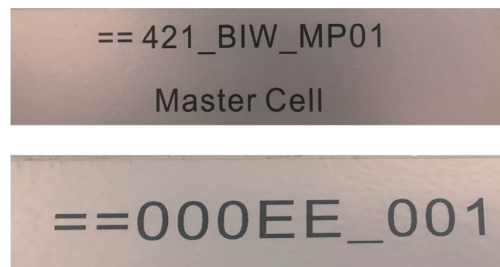


图2 电气柜标识

Fig. 2 Label of electronic cabinet

图2中, 符号“==”代表本设备; “000”代表测试区第一个工位; “EE_”代表主电路电源电气柜; “421”代表北京奔驰汽车有限公司MFA前驱车厂区; “BIW”代表焊装车间; “MP01”代表本测试区^[11]。

4 结束语

本文根据自身实际焊装车间设备维护经验, 同时为满足测试区对供电的需求, 设计一套完整的低压电气柜, 主要完成了电气器件选择、柜内电缆标准化、柜体型式及标识设计, 详细介绍了电气柜负荷计算、低压断路器和熔断器规格的选择、电缆规格的标准化, 解决了现场测试区供电电源问题, 同时充分利用了库存零件, 提高了备件利用率, 为其他车间规划生产线供电系统提供了有力的支持。

参考文献

- [1] 辛攀攀. 基于PLC的汽车焊接机器人控制研究[J]. 科技创新与应用, 2016(5): 36.
- [2] 石磊. 基于电气安全技术的电气工程智能监控系统设计和实现[J]. 信息记录材料, 2023, 24(10): 89-90.

- [3] 吕雪茹. 输电线路电气设计技术研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(11): 246.
- [4] 吴晓斌, 孙美君, 王秀华, 等. 工业与民用供配电设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [5] 王峰. 基于深度学习的配电网三相不平衡负载自动控制方法[J]. 自动化应用, 2024(3): 188-189.
- [6] 李丽丽, 泮泉泉. 电力系统智能配电网的设计[J]. 照明电气, 2023(3): 215-217.
- [7] 梁颖辉. 变压器冷却器空气开关频繁跳闸分析与处理[J]. 设备管理与改造, 2019(8): 80.
- [8] 解紫城. 基于PLC的继电器安全控制系统设计[J]. 机电工程技术, 2021, 50(12): 167-169.
- [9] 周伟. 基于西门子PLC的炼钢厂车间高层清扫电气设计[J]. 冶金与材料, 2022(5): 178-179.
- [10] 邵頔. 绿色“双碳”背景下电气设计理念的一些思考[J]. 智能建筑电气技术, 2022(16): 18-19.
- [11] 姚映帆, 彭浩, 胡彦亮, 等. 基于EPLAN的核安全级DCS电气设计应用研究[J]. 仪器仪表用户, 2023, 30(2): 87-89.

作者简介

张艳清（1986—），男，硕士，高级工程师，研究方向为电气自动化。

（收稿日期：2024-07-22）