

地铁车站接地故障保护设计分析

周 龙^{1,2}

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉;

2. 中铁四院集团新型轨道交通设计研究有限公司, 215009, 苏州)

摘 要 [目的] 接地故障保护因校验计算复杂而长期被忽视, 这导致了工程设计中的安全隐患。因此, 有必要对地铁车站接地故障保护进行深入分析, 从而保障工程的安全性。[方法] 考虑外部误差的潜在影响, 引入了接地故障电流倍数的概念, 并将其与断路器脱扣器的整定范围进行对比, 以便于高效地进行接地故障保护的灵敏度校验。通过对地铁车站实际数据的详尽计算分析, 以及对结果的归纳和总结, 明确了需进行接地故障保护灵敏度校验的回路范围, 并确定了相应的接地故障保护配置策略。[结果及结论] 变电所馈线断路器推荐使用电子脱扣器, 通过合理设定短延时电流的整定值, 通常可实现短延时保护与接地故障保护的双重功能。配电箱馈线回路则需根据具体情况进行接地故障保护的灵敏度校验, 尽管进线电缆的影响相对较小, 但仍需予以适当考虑。断路器的额定电流应依据实际需求选择, 不宜过大, 并需合理选择脱扣曲线以确保其性能。在采用具备接地故障保护功能的断路器时, 应特别关注上下级保护之间的协调配合。此外, 还提供了地铁配电系统中, 当断路器用作接地故障保护时, 铜芯电缆的最大允许长度, 供相关设计人员参考。

关键词 地铁车站; 低压配电; 接地故障保护; 灵敏度校验; 保护允许线路长度

中图分类号 U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.028

Analysis of Metro Station Grounding Fault Protection Design

ZHOU Long

(1. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China; 2. New-type Rail Transit Design and Research Institute of China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 215009, Suzhou, China)

Abstract [Objective] Grounding fault protection has long been neglected due to the complexity of verification and calculation, leading to safety hazards in engineering design. Therefore, it is necessary to conduct an in-depth analysis of grounding fault protection in metro stations to ensure engineering safety. [Method] Considering the potential impact of external errors, the concept of grounding fault current multiple is intro-

duced and compared with the trip range of circuit breaker tripping devices, so as to facilitate efficient sensitivity verification for grounding fault protection. Detailed calculations and analysis of actual data from metro stations are conducted, and the results are summarized to define the circuit range requiring sensitivity verification and determine the corresponding grounding fault protection configuration strategy. [Result & Conclusion] It is recommended that electronic trip units be used for substation feeder circuit breakers. By appropriately setting the short-time delay current value, the dual functionality for short-time delay protection and grounding fault protection can typically be achieved. For distribution box feeder returning circuits, grounding fault protection sensitivity verification should be performed based on specific conditions. Although the impact of incoming cables is relatively small, it still needs to be appropriately considered. The rated current of circuit breakers should be selected according to actual needs and should not be excessively high. The tripping curve must be reasonably chosen to ensure the performance. When using circuit breakers with grounding fault protection functions, special attention must be given to the coordination between upstream and downstream protection devices. Additionally, when circuit breakers are used for grounding fault protection in metro distribution systems, the maximum allowable length of copper core cables is provided for reference to relevant designers.

Key words metro station; low-voltage distribution; grounding fault protection; sensitivity verification; allowable cable length under protection

接地故障是配电系统中较为常见的故障, 如没得到有效防护可能引起导体过热乃至损坏, 严重时将诱发电气火灾。此外, 接地故障还会导致电气装置的外露导电部分带电, 进而增加操作人员接触危险电压并引发触电事故的风险^[1]。因此, 配电设计中需高度重视接地故障保护问题。

相关规范对接地故障保护的動作特性及切断时间均有明确规定^[2], 同时, 对电机回路的接地故

障保护要求及小容量回路切断电源的最长时限提出了强制性标准^[3]。在工程实践中,常规做法是采用短路瞬时保护或短路短延时保护兼做接地故障保护。然而,由于接地故障保护灵敏度的校验计算过程相对复杂,即便熟悉规范要求,设计过程中也往往难以对每个回路进行详尽校验,导致大量设计图纸中的设备选型与配置不符合规范要求,进而构成安全隐患。本文基于实际条件,对地铁车站配电系统各回路的接地故障保护灵敏度进行了计算分析,并总结出了典型数据,旨在缩减校验范围,减轻设计计算负担,确保接地故障保护设计得以切实执行,以保障工程安全。

1 接地故障保护灵敏度校验原理

1.1 接地故障保护的動作特征要求

TN 系统中配电线路间接接触防护电器的動作特征,应符合下式的要求^[2]:

$$Z_S I_a \leq U_0 \quad (1)$$

式中:

Z_S ——故障回路的阻抗(包括电源、电源至故障点的相导体和故障点至电源之间的保护接地导体在内的阻抗);

I_a ——保证间接接触保护电器在规定时间内切断故障回路的動作电流;

U_0 ——相导体对地标称交流电压。

由式(1)可得:

$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_S} = I_{kl} \quad (2)$$

式中:

I_{kl} ——接地故障电流。

1.2 動作电流及可靠系数选择

GB 50054—2011《低压配电设计规范》第 6.2.4 条明确指出:当采用低压断路器作为短路保护电器时,被保护线路的预期短路电流需不小于低压断路器瞬时或短延时过电流脱扣器整定电流的 1.3 倍。其中,该增加值的 30% 部分主要考虑了断路器制造误差的离散性^[4],同时也计入了计算误差及电网电压波动等因素。

为便于分析,本文定义接地故障电流倍数 I_x 为考虑断路器動作误差与单多极動作特征后接地故障电流与断路器额定电流的比值,计算式为:

$$I_x = \frac{I_{kl}}{I_n k_{rel} k_{op}} = \frac{U_0 / Z_S}{I_n k_{rel} k_{op}} \quad (3)$$

式中:

I_n ——断路器额定电流;

k_{rel} ——断路器可靠系数;

k_{op} ——断路器動作系数(多极断路器单极过电流对脱扣特性的影响,仅微断需考虑)。

对于塑壳断路器,其脱扣器的准确度一般为 $\pm 20\%$ (部分电子脱扣器可达 $\pm 10\%$)。综合其他误差因素,本文依据规范要求,将塑壳断路器的 k_{rel} 取值为 1.3。

针对微型断路器,其脱扣倍数(包括 B 型、C 型、D 型)已包含脱扣器误差,動作电流取脱扣倍数的上限。在此基础上,再考虑其他误差,本文将微型断路器的 k_{rel} 取值为 1.1。根据产品规范,单极断路器 k_{op} 取值为 1.0,二极断路器 k_{op} 取值为 1.1,三极和四极断路器 k_{op} 取值为 1.2。

通过对比电流倍数与断路器脱扣器整定范围的匹配程度,可以便捷地评估接地故障保护的灵敏性是否达标。当断路器的短延时过电流脱扣器整定电流 $I_{set2} \leq I_x I_n$ 或瞬时过电流脱扣器整定电流 $I_{set3} \leq I_x I_n$ 时,可采用短路短延时保护或短路瞬时保护兼做接地故障保护。

2 变电所馈线回路灵敏度校验分析

地铁行业历经多年发展,其配电系统设计方案已趋于稳定。对于标准车站,通常于设备大端站厅或站台配置 35 kV/0.4 kV 降压变电所;车站两端则分别设置一个环控电控室,负责环控设备的配电任务;同时,在车站站厅、站台两端的设备区内,各设置照明配电室,以满足照明及小动力设备的配电需求;而通信、信号、站台门等系统的配电箱则分别安设于各自的设备机房内部。

本文所分析的车站为 6 辆 B 型车编组的地下两层标准车站,其长度为 195 m。降压变电所被设置在站台层的右端,变压器容量设定为 $2 \times 1\,000$ kVA。通过对所有变电所馈线回路进行单相接地故障电流及电流倍数的计算,得到某地铁车站变电所馈线回路接地故障电流倍数如表 1 所示。

根据表 1 的计算结果可知:除了变电所所在的站台右端及站厅右端的少数回路外,大部分回路的 I_x 均在 10 以下,且存在大量回路的 $I_x < 5$,尤其是远端站厅配电回路,其最小电流倍数仅为 3。若变电所低压开关柜馈线断路器采用热磁脱扣器(其短路保护脱扣整定值调整范围为 $5I_n \sim 10I_n$,部分规格甚

表 1 某地铁车站变电所馈线回路接地故障电流倍数
Tab.1 Grounding fault current multiples of the feeder circuit of a metro station substation

配电区域	I_x		
	最小值	最大值	平均值
左端站厅	3.0	8.0	4.7
右端站厅	5.0	14.2	9.1
左端站台	5.2	9.7	6.7
右端站台	4.2	26.5	13.5

注:表中平均值为各回路电流倍数的算数平均值。

至不可调),则无法满足保护灵敏度的要求。

为进一步验证上述结论的普适性,结合标准地铁站的实际情况进行了深入分析。当变电所被设置在站台层时,变电所同侧的站台供电距离(即变电所开关柜至配电箱的距离)约为 50 m,同侧的站厅供电距离则约为 100 ~ 150 m,而对侧的站台、站厅供电距离则分别约为 200 m 和 250 m。若变电所设置在站厅层,其供电距离则大致相同。针对这些典型的供电距离,在依据载流量及电压降选择电缆截面的基础上,计算得出了各规格断路器对应供电回路的接地故障电流倍数,结果如图 1 所示。

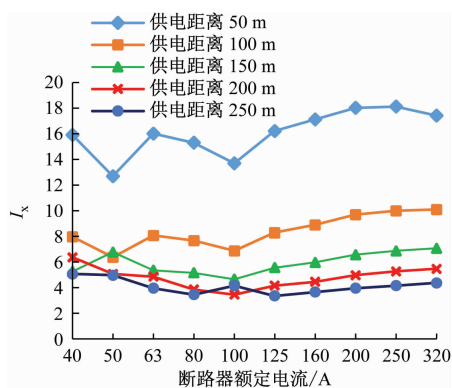


图 1 不同供电距离下接地故障电流倍数

Fig. 1 Grounding fault current multiples at different supply distances

由图 1 中可以看出:当供电距离超过 150 m 时,接地故障电流倍数会降至 5 以下,此时若采用热磁脱扣器,则无法满足接地故障保护的灵敏度要求。因此,在地铁车站的配电系统中,建议变电所低压开关柜馈线采用电子脱扣器。当短延时保护的整定倍数不超过图 1 中所示电流倍数(可取 3 倍)时,一般情况下均可利用短路短延时保护兼做接地故障保护。若车站规模较大,供电距离超过 250 m 时,则需单独进行验算并适当减小整定倍数,或者考虑

增设变电所。此外,变电所馈线不建议选用带有接地故障保护功能的断路器,具体原因将在后续内容中详细阐述。

3 配电箱馈线回路灵敏度校验分析

在地铁配电系统中,大量的配电箱被安置于设备机房内,这些配电箱的末端配电线路通常较短。鉴于配电箱馈线断路器的额定电流普遍远低于变电所馈线断路器的额定电流,当进线能够满足接地故障保护的灵敏度要求时,这类配电箱的馈线回路一般不需要进行校验。然而,需要注意的是,配电箱馈线普遍采用两段式保护设计,其短路保护的整定电流设定相对较高。在配电箱馈出回路数量较少,且断路器规格与变电所馈线断路器相近的情况下,对馈线回路进行校验变得必要。

当配电箱的馈线回路较长时,由于末端采用的小截面电缆阻抗较大,导致接地故障电流显著下降,进而影响了接地故障保护的灵敏度。本文的研究重点集中在那些具有较长馈线回路的环控电控柜、小型动力配电箱以及照明配电箱上,而排除了已配置漏电保护的插座回路。通过对具有代表性的回路进行计算分析,得出了某地铁车站配电箱馈线回路接地故障保护灵敏度的校验结果,具体如表 2 所示。

由表 2 的计算结果可知:在常规的设计方案中,有大量的馈线回路未能满足接地故障保护的灵敏度要求,并且这些回路也未设置接地故障保护,因此存在安全隐患。在实际设计中,设计人员往往倾向于采用 C16 断路器和 BYJ-2.5 或 BYJ-4 的组合,这种选择主要基于载流量的匹配考虑,却忽视了保护灵敏度这一关键问题。

针对小截面、小功率设备的回路,断路器的额定电流需保持适当水平,不宜过大,同时脱扣器的类型对保护灵敏度有着显著的影响。就表中所列的照明回路而言,若将 C16 断路器替换为 B10 断路器,则除区间照明回路因距离过长需另行设置接地故障保护外,其余各回路的保护灵敏度均能满足既定要求。对于排烟风机配电箱,其馈出回路数量较少且断路器规格与变电所馈线断路器相近,此时若采用电子脱扣器来降低短延时整定倍数,可能无法有效避开风机启动电流,而增大电缆截面则面临较高的成本。因此,推荐采用带有零序电流保护功能的断路器。

表2 某地铁站配电箱馈线回路接地故障保护灵敏度校验

Tab.2 Grounding fault protection sensitivity verification of distribution hax feder returning circuit at a metro station

负荷名称	负荷容量/ kW	计算电流/ A	脱扣器 类型	脱扣额定 电流/A	电缆截面/ mm ²	回路长度/ m	I_{kl}/kA	I_x	灵敏性
隧道风机	90.0	170.93	电子	250	120.0	60	2.35	7.2	满足
排风机	1.1	2.09	D	16	4.0	50	0.32	15.1	不满足
排烟风机	15.0	28.49	MA	40	10.0	10	0.43	8.2	不满足
设备区照明回路	1.0	5.05	C	16	2.5	60	0.12	6.6	不满足
公共区照明回路	1.0	5.05	C	16	4.0	100	0.11	6.5	不满足
出入口照明回路	1.0	5.05	C	16	4.0	120	0.10	5.7	不满足
区间照明回路	1.0	5.05	C	16	6.0	350	0.06	3.3	不满足

注:断路器可靠动作电流, C型脱扣器取 $10I_n$, D型脱扣器取 $20I_n$, 单磁(MA)脱扣器取 $12I_n$ (不同产品略有区别)。

为了简化工程应用中的校验流程,需确定末端配电回路的最大允许长度,以便进行直观的校验判断。虽然配电手册^[5]、产品样本及文献^[6-7]中均提及使用断路器作为间接接触防护时铜芯电缆的最大允许长度,但这些资料中的数据要么未考虑系统阻抗及配电箱进线电缆阻抗,要么包含了多个修正系数,不便于工程实践的直接应用。本研究基于地铁配电系统的实际数据,综合考虑了系统阻抗及配电箱进线电缆阻抗的影响,计算得出了在不同类型断路器保护下铜芯导线的最大允许长度,旨在为地铁配电设计提供实用的参考依据。

由 $I_{set3} \leq I_x I_n$ 和式(3)可得:

$$I_{set3} \leq \frac{I_{kl}}{k_{rel} k_{op}} = \frac{U_0 / Z_S}{k_{rel} k_{op}} \quad (4)$$

末端照明回路一般选用单极断路器, $k_{op} = 1$ 。

将阻抗公式代入并求解方程可得:

$$L \leq \frac{\sqrt{B^2 - 4AC} - B}{2A} \quad (5)$$

$$A = R_{Lphp}^2 + X_{Lphp}^2$$

$$B = 2(R_{php} R_{Lphp} + X_{php} X_{Lphp})$$

$$C = R_{php}^2 + X_{php}^2 - [U_0 / k_{rel} I_{set3}]^2$$

式中:

R_{php} 、 X_{php} ——高压侧、变压器、低压侧开关柜母排相保电阻之和与相保电抗之和,单位 Ω ;

R_{Lphp} 、 X_{Lphp} ——导体单位长度相保电阻与相保电抗,单位 Ω/m ;

L ——回路长度,单位 m 。

因环控柜进线电缆截面较大,对末端小回路总阻抗影响有限,为此仅分析照明配电箱和小动力配电箱。该类配电箱容量一般为 $20 \sim 40 \text{ kW}$,进线电缆长度按上节分析的 50 m 、 100 m 、 200 m 和 250 m

考虑,进线电缆截面一般为 16 mm^2 、 25 mm^2 、 35 mm^2 、 50 mm^2 四种规格,按式(5)求出末端回路允许长度,结果如表3所示。

计算结果若出现负值,表明该配电箱处接地故障电流已无法满足馈线断路器保护灵敏度要求。

表3中的数据广泛涵盖了地铁配电系统的各类情形,通过深入分析可得出以下结论:

1) 进线电缆的截面与长度对末端回路允许长度的影响相对较小(对比表中同一列数据)。当实际进线电缆的截面或长度与表中的数据不一致时,仍可参考使用,其产生的误差处于可接受范围内。在设计中,为提升保护灵敏度,配电间应尽可能靠近负荷中心,以缩短末端回路长度。当站厅大端设备区面积较大时,应考虑增设配电间。

2) 馈线电缆的截面、断路器的额定电流以及脱扣器的类型对结果具有显著影响(对比表中同一行数据)。断路器的额定电流应根据负荷的实际需求进行选择,不能在满足导体载流量后就随意增大。选用B型或C型脱扣器,有助于增大允许的供电距离。采用B型断路器与BYJ-2.5或BYJ-4的组合,可以满足车站设备区及公共区照明回路的保护灵敏度要求。对于区间照明回路,则需专门设置接地故障保护。

3) 与其他文献中忽略系统阻抗及进线电缆阻抗的方法相比,本表中的数据在长度上有所减小,这表明进线因素在实际应用中不容忽视,使用时需给予关注。

4 相关问题分析

4.1 配电箱进线开关选型对接地故障保护的影响

在工程实践中,配电箱进线的开关选型通常采

表 3 断路器作接地故障保护时铜芯电缆最大允许长度

Tab.3 Maximum allowable length of copper core cable with circuit breaker as grounding fault protection

配电箱进线 电缆长度/m	配电箱进线 电缆截面/mm ²	馈线断路器型号及导体截面/mm ²											
		B10 型		B16 型		C10 型		C16 型		D10 型		D16 型	
		2.5	4	2.5	4	2.5	4	2.5	4	2.5	4	2.5	4
50	16	177	287	108	174	85	137	50	81	39	62	21	34
	25	179	289	109	177	86	139	51	83	40	64	23	36
	35	179	290	110	178	87	140	52	84	41	66	23	38
	50	181	293	112	181	89	143	54	87	42	69	25	41
100	16	170	274	100	162	77	125	42	69	31	50	14	22
	25	172	279	103	167	80	129	45	73	34	54	16	26
	35	174	281	104	169	81	131	47	75	35	57	18	29
	50	178	287	108	175	85	137	50	81	39	63	21	35
200	16	154	250	85	137	62	100	27	44	16	25	0	0
	25	160	258	91	146	67	109	33	53	21	34	4	6
	35	163	263	93	151	70	113	35	57	24	39	7	11
	50	170	275	101	163	78	126	43	70	31	51	14	23
250	16	147	237	77	125	54	88	20	32	8	13	0	0
	25	154	248	84	136	61	99	26	43	15	24	0	0
	35	157	254	88	142	65	104	30	48	18	30	1	2
	50	167	269	97	157	74	120	39	64	28	45	10	17

注:用作三相回路时,需考虑断路器动作特性,可将最大允许长度乘以 0.85。

用断路器或隔离开关两种方案。从保护配合的角度来看,配电箱进线采用断路器并非最优选择,但鉴于该方案涉及设计及运营管理分工等历史遗留问题,本文对此暂不展开深入讨论。

当配电箱进线选用断路器时,为确保保护配合的有效性,上级变电所馈线断路器的额定电流需至少增大一级,同时电缆截面也需相应增大。这一变化在图 1 中的变电所馈线断路器保护灵敏度曲线上表现为沿曲线向右平移。从图 1 中可以观察到,随着断路器额定电流及电缆截面的增大,当额定电流低于 100 A 时,保护灵敏度在多数情况下会有所降低;而当额定电流超过 100 A 时,保护灵敏度则会提高。总体而言,图 1 中的曲线变化相对平缓,表明这一因素对脱扣器整定倍数的影响较为轻微,不足以改变脱扣器的选型。

4.2 接地故障保护上下级配合问题

当接地故障保护的灵敏度无法满足要求时,可考虑采用带有接地故障保护功能的断路器。然而,一旦选用了此类断路器,其下级各断路器在保护选择性配合方面需格外注意,以避免出现故障时发生

越级跳闸现象,从而扩大停电范围,降低供电可靠性。

以左端站厅照明配电总箱回路为例进行说明。假设变电所馈线断路器的额定电流为 63 A,配电箱进线处的接地故障电流为 405 A。若未采用短延时保护兼做接地故障保护,而是选用了灵敏度较低的零序电流保护,并假设接地故障保护的整定值 $I_{\text{set}0} = 0.6I_{\text{set}1} = 37.8 \text{ A}$ 。根据表 2 的数据,该配电箱末端某照明回路的接地故障电流为 100 A。若选用 C16 断路器,则该电流未超过配电箱馈线断路器的短路瞬时保护整定值,但却超过了变电所馈线断路器接地故障保护的整定值,从而可能导致越级跳闸,使整个照明配电总箱失电。因此,在选用带有接地故障保护功能的上级断路器时,应格外谨慎,尤其是当选用灵敏度较高的剩余电流保护时,稍有疏忽就可能引发大范围停电事故^[8]。

5 结语

本文基于地铁车站工程的实际数据,对配电系统的接地故障保护进行深入剖析,得出以下结论:

1) 变电所馈线断路器宜选用电子脱扣器,并通过合理设置短延时电流的整定值,通常情况下可以实现短延时保护兼做接地故障保护的功能。

2) 配电箱馈线回路需根据具体情况进行接地故障保护灵敏度的校验。虽然进线电缆的影响因素相对较小,但仍需给予足够重视。断路器额定电流的选择应满足实际需求,不宜过大,并需合理选择脱扣曲线。

3) 在采用带有接地故障保护功能的断路器时,应特别注意上下级保护之间的配合问题。

本文的分析尽量涵盖了地铁配电系统的各类情况,并通过归纳总结典型数据,大致确定了需进行接地故障灵敏度校验的回路范围,从而有效减少了设计计算的工作量。同时,文中还给出了地铁配电系统中断路器作接地故障保护时铜芯电缆的最大允许长度,为同类项目提供了有益的参考。

参考文献

- [1] 任元会. 低压配电系统故障防护和保护电器选择[J]. 建筑电气, 2016, 35(7): 3.
REN Yuanhui. Fault prevention and selection of electrical protective device in low voltage distribution system[J]. Building Electricity, 2016, 35(7): 3.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 低压配电设计规范: GB 50054—2011[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of low voltage electrical installations: GB 50054—2011 [S]. Beijing: China Planning Press, 2012.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑电气与智能化通用规范: GB 55024—2022[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.

(上接第 147 页)

- [7] 周新喜, 王宗昌, 陈垒, 等. 基于客流密度的地铁列车空调夏季送风温度控制模型研究[J]. 空气动力学学报, 2021, 39(5): 162.
ZHOU Xinxi, WANG Zongchang, CHEN Lei, et al. Temperature control of air supply for metro train air conditioner based on passenger density [J]. Acta Aerodynamica Sinica, 2021, 39(5): 162.
- [8] TAO Y, YANG M, QIAN B, et al. Numerical and experimental study on ventilation panel models in a subway passenger compartment[J]. Engineering, 2019, 5(2): 329.
- [9] 张建平, 李桐. 地铁列车车厢内不同气流形式下的舒适性[J]. 大连交通大学学报, 2020, 40(1): 39.
ZHANG Jianping, LI Tong. Thermal comfort of subway train com-

partment with different airflow forms[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2020, 40(1): 39.

- [4] 王厚余. 对 IEC 标准低压线路过载保护公式调查的回顾[J]. 建筑电气, 2011, 30(1): 3.
WANG Houyu. Investigation of the reason for low-voltage circuit overload protection formulas in IEC standard[J]. Building Electricity, 2011, 30(1): 3.
- [5] 中国航空规划设计研究总院有限公司组. 工业与民用供配电设计手册[M]. 4 版. 北京: 中国电力出版社, 2016.
China Aviation Planning and Design Institute (Group) Co., Ltd. Handbook of industrial and civil power supply and distribution design[M]. 4th ed. Beijing: China Electric Power Press, 2016.
- [6] 韩帅. 断路器故障保护允许线路长度的应用简析[J]. 建筑电气, 2020, 39(1): 13.
HAN Shuai. Brief analysis on application of allowable line length in circuit breaker fault protection[J]. Building Electricity, 2020, 39(1): 13.
- [7] 陆辉. TN 系统接地故障保护半径探讨[J]. 建筑电气, 2017, 36(8): 25.
LU Hui. Discussion on earth fault protection radius of TN system [J]. Building Electricity, 2017, 36(8): 25.
- [8] 周龙. 接地故障引起的某地铁站停电事故研究[J]. 工程技术研究, 2019(8): 230.
ZHOU Long. Study on power failure accident of a subway station caused by grounding fault[J]. Engineering and Technological Research, 2019(8): 230.

· 收稿日期:2022-12-16 修回日期:2023-02-09 出版日期:2025-03-10
Received:2022-12-16 Revised:2023-02-09 Published:2025-03-10
· 通信作者:周龙,高级工程师,Zhoulong523@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

- [10] 孙丽花. 南方某市地铁 B 型车客室气流组织分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
SUN Lihua. Analysis of southern city type B vehicle passenger-compartment airflow organization [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.

· 收稿日期:2022-12-01 修回日期:2023-02-24 出版日期:2025-03-10
Received:2022-12-01 Revised:2023-02-24 Published:2025-03-10
· 第一作者:于海飞,高级工程师,yuhf628@163.com
通信作者:臧建彬,教授,98798@tongji.edu.cn
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license