

文章编号: 1674—8247(2024)05—0035—07

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.05.006

绿色铁路背景下区间用电负荷直流配电设计探讨

杨 剑¹ 甘 楠²

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063; 2. 华润新能源投资有限公司福建分公司, 福州 350009)

摘 要:本文分析了铁路区间用电负荷的构成及其对直流配电的适应性,通过研究直流配电系统基本拓扑结构、母线接线型式、电压等级对供电能力和人身安全的影响,结合直流配电电缆耐压等级的选择与直流配电接地型式,对铁路区间用电负荷直流配电设计进行分析和探讨,提出了适用于铁路区间用电负荷直流配电设计的技术方案。

关键词:绿色铁路;直流配电;母线接线型式;电压等级;接地型式

中图分类号:U2;TM721 **文献标志码:**A

On the Design of DC Power Distribution for Sectional Electricity Load in the Context of Green Railway

YANG Jian¹ GAN Nan²

(1. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, China;

2. Fujian Branch of China Resources New Energy Investment Co., Ltd., Fuzhou 350009, China)

Abstract: This paper analyzes the composition of electrical loads in railway sections and the adaptability of direct current (DC) power distribution. By investigating the fundamental topological structures of DC distribution systems, busbar connection types, the impact of voltage levels on power supply capacity and personal safety, the selection of voltage withstand levels for DC distribution cables, and DC grounding configurations, the paper delves into the design of DC power distribution for electrical loads in railway sections. Furthermore, a technical solution tailored for the DC power distribution of electrical loads in railway sections is proposed.

Key words: green railway; direct current (DC) power distribution; busbar connection type; voltage level; grounding configuration

铁路发展秉持以人为本的理念,使得无线通信公网覆盖、区间桥隧照明、通风排水、公安岗亭守护等负荷数量和容量持续提升,这些用电设备分布在铁路沿线广阔带状区域内。传统的交流配电方式,面临着供电容量不足,供电半径小以及供电线缆敷设通道紧张、接口管理复杂^[1]等问题。当这些供电负荷位于跨江跨海桥梁上或长大隧道内,受土建条件、运维要求、安

全性等方面限制,某些工程不具备就近设置变压器的条件。当供电距离达到 1.5 km 及以上时,供电距离远超过低压交流极限供电半径。对于供电距离在 1.5 km 以内的负荷,为满足电缆线路末端电压降等要求,需要采用大截面电缆供电的方式,该方式存在问题:(1)大截面电缆的有色金属消耗大、投资高、性价比低,不符合当下绿色低碳节能的行业发展趋势。

收稿日期:2024-09-12

作者简介:杨剑(1977-),男,教授级高级工程师。

引文格式:杨剑,甘楠.绿色铁路背景下区间用电负荷直流配电设计探讨[J].高速铁路技术,2024,15(5):35-41.

YANG Jian, GAN Nan. On the Design of DC Power Distribution for Sectional Electricity Load in the Context of Green Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(5):35-41.

(2)长距离电缆交流 380 V 供电回路的断路器保护灵敏度不够,一旦出现短路故障,保护装置无法跳闸,将引起电缆着火,危及行车安全。(3)交流 380 V 长距离电缆供电损耗大。

此外,随着节能和绿色发展理念的深入及碳达峰、碳中和目标的提出,未来铁路电力配电网将会大量接入光伏以及储能装置^[2]。光伏电池输出的是随机波动的直流电,需要 DC/AC 换流器实现交流并网。蓄电池、超级电容器等各种储能装置,其本身以直流电形式工作,需要通过双向 DC/AC 换流器及复杂的控制系统接入交流电网。当直接采用直流配电时,无需对电压的相位和频率进行跟踪,可控性和可靠性得到进一步提高,实现分布式新能源并网发电和储能等接口设备与控制技术相对简单。

与此同时,低压直流技术快速发展,铁路各类用电设备直流化趋势愈加明显。如铁路区间隧道、桥梁照明装置采用的 LED 光源需要直流供电;通信信号等 IT 设备内部为直流供电;通信基站、信号中继站机房空调、隧道风机、水泵等大功率装置内部的变频驱动均为直流供电,铁路设备逐步向直流供电的变频控制方向发展。

1 铁路区间用电负荷直流配电的适应性

1.1 铁路区间用电负荷的组成

铁路区间用电设备主要集中在沿线通信基站、通信直放站、信号中继站、线路所、公安岗亭、警务区、隧道和长大桥梁等,负荷类型包括通信专网、信号、机房空调、隧道通风机、水泵、桥隧照明、无线通信公网等。

1.2 通信用电负荷

铁路区间通信用电设备主要包括各区间节点内专网设备以及区间独立专网通信设备、三大电信运营商(移动、联通、电信)公网设备等。以通信基站为例,除直放站远端机/RRU 设备外,其余绝大部分设备均可采用直流电供电,如表 1 所示。而直放站远端机/RRU

表 1 通信基站主要通信设备一览表

序号	设备类型	设备数量/台	电压类型	分束路数/路	满配功率/kw	负荷
1	622 Mb/s 传输设备	1~2	直流 48 V	2	1~1.5	一级
2	三层交换机	0~1	直流 48 V	2	1	一级
3	二层交换机	0~2	直流 48 V	1	0.1	一级
4	区间基站	1~2	直流 48 V	2	1~1.5	一级
5	直放站近端机	1~2	直流 48 V	1	0.3	一级
6	直放站远端机	0~2	直流 48 V / 交流 220 V	1	0.3	一级
7	隧道应急现场设备	0~1	直流 48 V	1	0.7	一级
8	动环分站设备	1	直流 48 V	1	0.1	一级

设备,其本质也是采用 36 V 或 48 V 等低压直流供电,一般由设备自带模块将 220 V 交流电转换为设备所需直流电为设备供电。

1.3 信号用电负荷

铁路区间信号设备通过光电缆引入信号中继站或线路所信号设备房屋集中控制。信号中继站信号设备用电类型主要包括交流 220 V、直流 24 V、直流 24~48 V 可调电源,一般信号中继站总用电量为 20 kVA 左右,其中交流 220 V 用电类型约占整个负荷 60% 左右,直流 24 V 类型约占整个负荷 35% 左右。信号中继站设备如表 2 所示。

表 2 信号中继站主要信号设备一览表

序号	类型名称	电压类型	分束路数/路	每路电流	负荷
1	列控中心	交流 220 V	2	10 A	一级
2	安全数据网	直流 24 V	2	10 A	一级
3	移频轨道发送电源	直流 24 V	若干	40 A	一级
4	移频轨道分线采集器	直流 24 V	2	5 A	一级
5	移频轨道监测柜	交流 220 V	2	5 A	一级
6	继电器电源	直流 24 V	1	8 A	一级
7	信号集中监测	交流 220V	1	10 A	一级
8	区间信号机电灯电源	交流 220 V	2	5 A	一级
9	断路器报警电源	直流 24 V	1	3 A	一级
10	灯丝报警电源	直流 24~48 V	1	2 A	一级
11	稳压备用电源	交流 220 V	1	10 A	一级

1.4 暖通用电负荷

铁路区间暖通负荷包括房屋内机房专用空调、变频分体空调、风机、排气扇;以及隧道内的射流风机、轴流风机等设备。空调、风机、排气扇本质是旋转电机类负载,按照工作原理可分为感应型电动机负载和交直流两用电机负载,其中交直流两用电机负载在直流下工作;而感应型电动机是交流电机,虽无法直接接入直流电源工作,但目前很多感应电动机因调速需要,由变频器将 50 Hz 工频交流电源变换为各种频率的交流电,以实现空调电机变速运行,其中控制电路完成对主电路的控制,整流电路将交流电变换成直流电,直流中间电路对整流电路的输出进行平滑滤波,逆变电路将直流电再逆变成所需频率的交流电。

1.5 给排水用电负荷

铁路区间给排水主要有给水设备、消防设备和排水设备等。给排水设备用电类型主要包括交流 380 V、220 V、直流 24 V 等。虽然现阶段市场上存在直流水泵等设备,但目前广泛应用于铁路的给排水设备多采用交流供电方式,不能直接采用直流配电系统进行供电。

1.6 隧道照明用电负荷

隧道照明负荷主要包括正常照明、应急照明、洞室

照明和检修插座。近年来设计建造的隧道照明一般均采用 LED 灯,LED 是一种固态半导体器件,具有单向导电性,其核心构成是 PN 结,并配有电极和光学系统,构成俗称的“LED 灯珠”。外部正向施加适当的直流电流,LED 灯珠就可以正常发光。

1.7 铁路区间用电负荷直流配电的适应性研究

(1)通信专网负荷和信号负荷大多数是 IT 类计算机设备和通信电子类设备,其本质是直流需求设备,但由于铁路通信专网用电设备和信号用电设备涉及行车安全和铁路正常运行秩序,因此在其配电方案中,原则上维持电力专业和通信、信号专业的供电接口界面,采用额定电压为 220 V/380 V、频率为 50 Hz 的交流配电。当通信专网负荷和信号负荷不在交流低压供电半径范围内时,可考虑采用直流配电方式,配电至通信电源屏、信号电源屏处,再增加 DC-AC 逆变设备,向通信、信号电源屏输入交流 220 V/380 V、频率为 50 Hz 的交流电源,再由电源屏根据通信、信号用电设备类型输出对应的电源类型,这样既可满足供电容量、供电半径的要求,又可维持通信、信号专业既有的电源屏设施技术标准不变。

(2)无线通信公网用电设备不涉及行车安全和铁路正常运行秩序,且直流远供方案已在民用通信领域较大规模应用,因此可在铁路沿线的通信公网用电设备中推广使用直流配电方案。

(3)对于采用变频控制的空调、风机、排气扇等暖通用电设备,可直接采用直流配电,省去交直变换整流环节,节约设备成本,降低系统损耗。

(4)目前广泛应用于铁路的给排水设备和隧道通风设备多采用交流供电方式,不能直接采用外部的直流配电系统进行供电。若采用直流配电系统对给排水设备、隧道通风设备进行供电,需使用电源逆变技术,利用逆变器把直流电变为交流电。逆变器输出功率和输出电压要和给排水设备一致。

(5)对于采用 LED 光源的铁路隧道照明负荷,可直接使用直流配电,省去交直变换整流环节。隧道洞室、隧道内检修插座等不能全部采用直流供电时,可在末端增加逆变设备,提供交流电源满足交流输入检修设备用电需求。

2 直流配电系统基本拓扑结构与母线接线型式

2.1 基本拓扑结构

直流配电系统拓扑结构涉及到供电安全性、可靠性和经济性的要求,网络拓扑结构应具有适当的负荷转移能力、合理的分布式电源接入消纳能力,高可靠性

供电区域的直流配电系统拓扑结构还应具有一定的网络重构能力和自愈能力等。直流配电系统基本拓扑结构可分为单端辐射型、单端环型、双端型、多端树枝型和多端环型等^[3-4]。不同拓扑结构的直流配电系统的运行控制,继电保护配置与整定,网络重构与自愈能力等优缺点与交流配电系统的特征基本一致。

2.2 母线接线型式

直流配电母线主要通过 AC/DC、DC/DC 换流器与交流电网、上一级直流电网或者分布式电源连接,直流配电系统换流器的接线形式可分为非对称单极接线、对称单极接线(伪双极)、双极接线。

(1)非对称单极接线

非对称单极接线结构需要利用大地或通过专门敷设回流线构成闭合电路,如图 1 所示,在电力系统中并未广泛应用。但在城市轨道交通直流牵引供电系统中,非对称单极接线因可采用钢轨作为回流线而广泛应用。

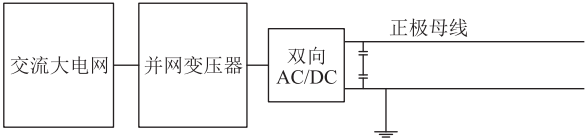


图 1 非对称单极接线图

(2)对称单极接线(伪双极)

对称单极接线(伪双极)结构与单极接线结构在本质上是相同的,不同之处仅在于接地点位置的不同,如图 2 所示,其换流器较少,同时降低了直流线路对地绝缘水平,性能介于非对称单极接线和双极接线结构之间,综合性价比高,适合于大多数直流配电应用场景。

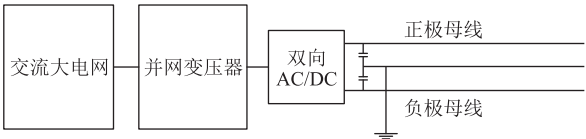


图 2 对称单极接线(伪双极)图

(3)双极接线

双极接线结构在故障工况下正、负极换流器可单独运行,如图 3 所示,其可靠性高、输送容量大,但因需分别建设正、负极换流器而导致工程造价高,该接线结构主要用于(超)高压柔性直流输电网,在配电领域仅考虑应用于对可靠性要求较高的场所。

2.3 铁路区间用电负荷直流配电的基本拓扑结构与母线接线型式选择

铁路直流配电网相对于高压柔性直流输电网而

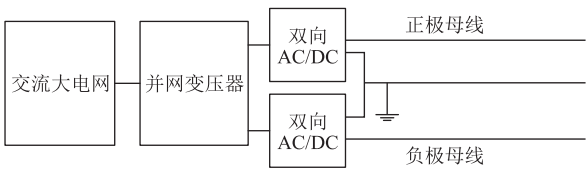


图 3 双极接线图

言,并不需要单个换流器具备很大容量,在配置直流断路器后,单个换流器故障或某段直流线路故障能被快速切除,且单个换流器退出运行并不会对整个配电网造成较大影响。对称单极接线(伪双极)和双极接线结构将母线对地电压减小为单极结构的 1/2,从线缆、设备耐压角度考虑方案更优。因此结合造价成本、设施设备的耐压要求、电击防护性能等综合考虑,选择由单个换流器构成的对称单极接线(伪双极)方式作为铁路直流配电系统的主要母线接线型式。

铁路区间用电负荷离散分布在沿线广阔带状区域内,主要负荷类型包括通信专网、信号、机房空调、隧道通风机、水泵、桥隧照明、无线通信公网等,对于配电电压等级的需求较为单一,电压等级的选取主要受限于供电容量和供电半径。可根据所供设备负荷等级对供电可靠性的要求,及负荷分布的带状区域等特征,选取不同典型拓扑结构,通信专网,信号设备,长大隧道、重要桥梁的照明等重要负荷的直流配电网络采取双端型拓扑结构或单端环形拓扑结构,其他对供电可靠性要求不高的负荷可选用单端辐射型拓扑结构。

3 直流配电系统电压等级

从技术参数需求的角度,电压等级的选择有 3 个原则:一是用尽可能少的电压等级满足尽可能多的用

电设备需求;二是从提高供电能力方面尽可能选择更高的电压,减少线损;三是从人身安全性角度尽可能降低电压,避免电击事故可能带来的人身伤害。

3.1 不同电压等级对供电能力的影响

直流系统与交流系统类似,其供电能力与电压等级、主接线型式、电力线缆材质和截面积均有关。当供电距离或供电半径较小时,制约供电能力的电气指标主要是电力线缆的载流量,也就是取决于电力线缆的材质和截面积等。而当供电距离较长时,制约直流系统供电能力的主要指标是电力线缆末端电压降。工程中常用负荷矩来衡量电力线路的供电能力。

下面假设几种铁路区间用电负荷配电电缆线路为算例,其中交流配电线路功率因数为 0.8,电缆电气参数如表 3 所示。

表 3 电缆电气参数表

电压等级	交联聚乙烯铜芯电缆截面/mm ²	直流电阻/(Ω/km)	交流电阻/(Ω/km)	感抗/(Ω/km)	最大允许载流量/A
10 kV	50	0.378	0.435	0.107	208
10 kV	120	0.151	0.181	0.095	362
10 kV	240	0.073	0.091	0.087	661
6 kV	50	0.378	0.435	0.099	208
6 kV	120	0.151	0.181	0.087	362
6 kV	240	0.073	0.091	0.080	661
1 kV	50	0.378	0.435	0.080	200
1 kV	120	0.151	0.181	0.077	360
1 kV	240	0.073	0.091	0.077	560

在满足末端电压降 $\Delta U\%$ 的约束条件下,计算得到不同电压等级、不同电缆截面、不同交直流配电接线形式的负荷矩,如表 4 所示,并以 10 kV 电压等级为例作出交直流工况下 3 种不同截面积电缆的供电容量与供电半径的关系图,如图 4 所示。

表 4 典型算例条件下的负荷矩表

电缆截面/mm ²	直流电阻/(Ω/km)	交流电阻/(Ω/km)	感抗/(Ω/km)	交/直流电压	末端电压降 $\Delta U\%$ 允许值	负荷矩/(kW·km)	直流/交流负荷矩增益比
50	0.378	0.435	0.107	10 kV 三相交流	7	13 585.64	2.73
				±10 kV 双极性直流	7	37 037.04	
				6 kV 三相交流	7	4 948.45	
	0.378	0.435	0.099	±6 kV 双极性直流	7	13 333.33	2.69
				单相交流 220 V	10	4.89	
				单极性直流 220 V	10	6.40	
120	0.151	0.181	0.095	10 kV 三相交流	7	27 750.25	3.34
				±10 kV 双极性直流	7	92 715.23	
				6 kV 三相交流	7	10 233.50	3.26
	0.151	0.181	0.087	±6 kV 双极性直流	7	33 377.48	
				单相交流 220 V	10	10.14	1.58
				单极性直流 220 V	10	16.03	
240	0.073	0.091	0.087	10 kV 三相交流	7	44 800.00	4.28
				±10 kV 双极性直流	7	191 780.82	
				6 kV 三相交流	7	16 688.74	4.14
	0.073	0.091	0.080	±6 kV 双极性直流	7	69 041.10	
				单相交流 220 V	10	16.27	2.04
				单极性直流 220 V	10	33.15	

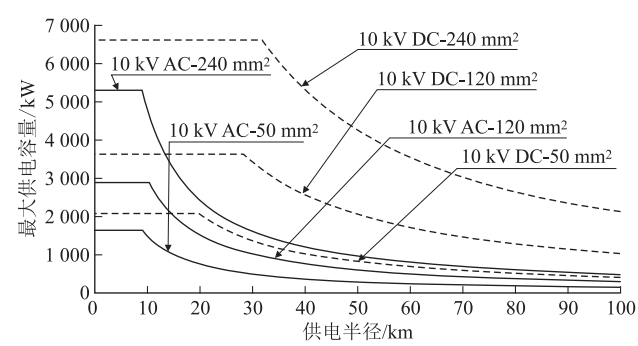


图4 10 kV 交直流工况下3种不同截面积电缆的供电容量与供电半径关系图

由表4、图4可知:

(1)当电缆截面相同时,电压等级越高,负荷矩越大,直流系统和交流系统相同,供电能力越强。

(2)等效条件下(等效条件是指相同的电压等级、相同的电缆截面、相同的电缆导体根数、相同的末端电压降 $\Delta U\%$ 允许值。如10 kV三相交流与 ± 10 kV双极性直流的对比,电压等级均为10 kV;三相交流配电电缆采用3根铜导体,直流双极性 ± 10 kV配电电缆也采用3根铜导体,两者对于电缆线路有色金属的消耗是等效的;两者对于末端电压降 $\Delta U\%$ 允许值均设定为 -7%),直流系统的负荷矩比交流系统大,供电能力强。值得说明的是, -7% 是TB 10008-2015《铁路电力设计规范》^[5]针对10 kV三相交流配电线路的末端允许电压降的规定,本文为了直观对比交/直流供电能力,对 ± 10 kV双极性直流配电线路的末端允许电压降也按照 -7% 计算,实际上根据GB/T 35727-2017《中低压直流配电电压导则》^[6], ± 10 kV直流双极性配电线路的末端允许电压降为 -10% ,那么计算所得的负荷矩会更大,更加说明直流供电能力更强。

(3)相同电压等级下,电缆截面越大,直流/交流负荷矩增益比越大,意味着利用交流配电线路改造为相同电压等级的直流配电线路时,电缆截面越大,供电能力的提升效率越好。

(4)在相同电压等级下,直流配电系统的供电容量略大于交流配电系统,而供电半径远大于交流配电系统,这说明直流配电系统在供电半径上存在优势,尤其适用于铁路区间用电负荷远程供电方案。

3.2 不同电压等级对直流配电系统人身安全性的影响

人身安全性主要表现在人员操作、接触电气设备、线缆等遭受电击发生伤害的可能性和伤害严重程度。铁路区间负荷采用直流配电时,其电压等级的选择与运营维护人员的人身安全性休戚相关。通常来说,电压等级越高,对人身安全性的不利影响越大。根据

GB/T 13870.1-2022《电流对人和家畜的效应 第1部分:通用部分》^[7],交直流电在不同电流值、不同持续时间的情况下,对人体的生理效应如图5所示。由图5可知,直流电在安全性上优于交流电,具体表现在各种应用场景下,直流电的长持续时间的电流阈值均大于交流电。

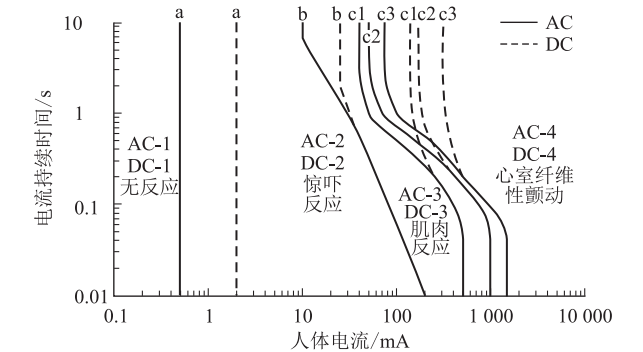


图5 人体电流效应图

值得说明的是,图5数据均是直流电方向从双脚到手纵向向上时的阈值,当直流电的电流方向为手到双脚时,其各危险状态下的直流接触电压阈值均提升1倍,因此对于非对称单极接线、对称单极接线(伪双极)、双极接线而言,优先采用直流正电压供电,接地型式选择上优先选取负极或中间极接地可以有效提升人员电击防护性能。

3.3 直流配电电缆耐压等级的选择

交直流线路的电线电缆在结构上差别较小,当电缆能耐受相应的直流电压时,交流线缆能够作为直流线缆继续使用^[8]。现有交流配电网的标称电压等级值相当于线电压,在不考虑交流的集肤效应和交直流系统操作差异时,由绝缘结构保守考虑,直流线路承受的是交流相电压的幅值^[9],交流和直流配电线路的导线绝缘水平等效,则:

$$V_{DC} = \sqrt{2}V_{AC}$$
 (1)

式中: V_{DC} ——直流极与地电压(V);

V_{AC} ——交流相电压(V)。

再假设交流和直流配电线路的导线截面、电流密度等效,则:

$$I_{AC} = I_{DC}$$
 (2)

式中: I_{AC} ——交流相电流(A);

I_{DC} ——直流电流(A)。

从电缆线路等效耐压、等效电流密度角度考虑,直流配电线路能够传输的供电容量与交流配电系统($\cos \varphi = 0.8$)的比值为1.19,公式为:

$$\frac{P_{DC}}{P_{AC}} = \frac{2V_{DC}I_{DC}}{3V_{AC}I_{AC}\cos\varphi}$$
 (3)

式中: P_{DC} ——双极直流供电容量(W);

P_{AC} ——三相交流供电容量(W);

$\cos \varphi$ ——交流系统功率因数。

由式(1)可知,按照直流电压等级与交流相电压的幅值等效的原则选取相应耐压等级的交流电缆应用到双极直流配电线路中,其传输功率约为三相交流配电线路的1.19倍。

4 直流配电接地型式

直流配电系统末端用电侧接地方式的选取主要与保障人身安全经济可靠相关。根据文献[10-12],直流配电系统的典型接地型式可以分为TN(T=电源侧直接接地;N=用电设备外露导电部分经保护线与电源接地点连接)、TT(T=电源侧直接接地;T=用电设备外露导电部分直接接地)和IT(I=电源侧不接地;T=用电设备外露导电部分直接接地)3种。

4.1 TN 接地型式

TN 接地型式是将直流电源(通常是负极或中间极)接地后引出保护地线(PE),设备外露导电部分与保护地线相连,如图6、图7所示。

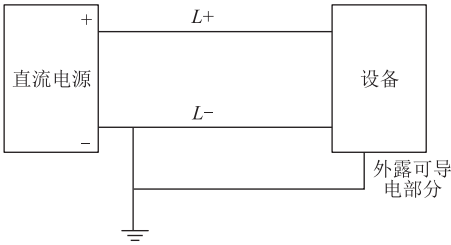


图6 非对称单极接线 TN 接地型式图

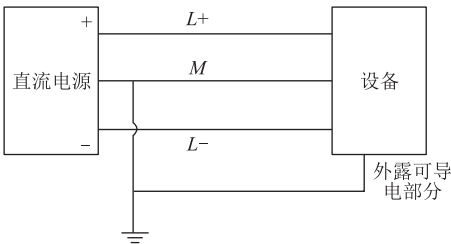


图7 (伪)双极接线 TN 接地型式图

TN 接地系统接地故障原理和特征清晰,接地故障会产生较大的故障电流,可利用断路器实现保护,但接地故障的危害较大;为了满足电击防护要求,TN 接地系统需要具备切断电源保护功能,同时这也会为系统供电可靠性带来不利影响;TN 接地系统采用剩余电流保护装置进行电击故障(RCD)保护,具有可靠性高和保护选择性强的优点,但需要采取措施尽量降低 PE 线上的电位差以应对共模电压和泄漏电流的干扰。

4.2 TT 接地型式

TT 接地型式是将直流电源(通常是负极或中间极)和设备外露导电部分分别接地,如图8、图9所示。

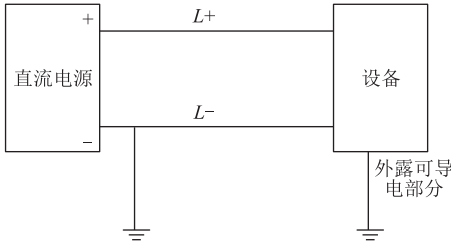


图8 非对称单极接线 TT 接地型式图

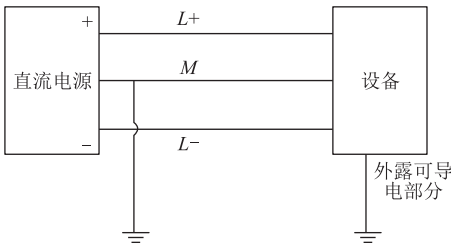


图9 (伪)双极接线 TT 接地型式图

TT 接地型式因无保护地线,线路成本相对较低,在长大桥隧照明、远距离投光灯塔、铁路离散分布的负荷点供电等领域有较为明显的优势,但电击防护和电击故障保护易受环境因素干扰,对长期供电可靠性具有不利影响。在室内建筑配电系统中,由于 TT 接地型式缺少1根保护地线的成本优势很难体现,所以不宜在室内建筑中采用。

4.3 IT 接地型式

IT 接地型式是在电源侧不接地或采用大电阻接地,将设备外露导电部分接地,如图10、图11所示。

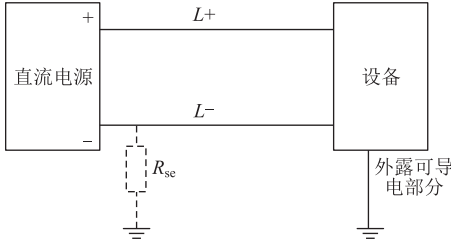


图10 非对称单极接线 IT 接地型式图

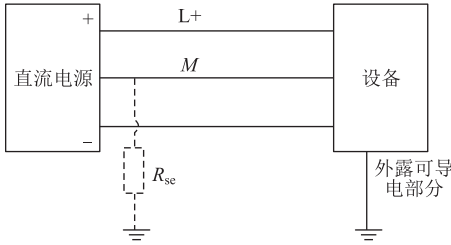


图11 (伪)双极接线 IT 接地型式图

IT接地型式在单点故障情况下具有较高的安全性,甚至可以带故障运行,供电可靠性较高。对于交流IT系统中,电缆线路的容性漏电流可通过电缆对地分布电容回到电源侧,而直流系统的对地电容将无法通过容性漏电流,因此直流配电IT系统的绝缘监测更加困难,故障定位难以实现^[13],当系统结构比较复杂时,如果故障无法及时排查,电击事故危险隐患会显著增加。

4.4 铁路区间用电负荷直流配电系统的接地型式

铁路区间用电负荷离散分布在沿线广阔带状室外场景,通常采用直流配电来解决低压交流供电容量不足,供电半径小的难题,因此从供电可靠性、经济性、以及铁路电力运维人员的专业性角度综合考虑,优先推荐选用TT接地型式^[14]。

5 结束语

当铁路区间用电负荷面临供电容量不足,供电半径小及供电线缆敷设通道紧张等问题时,采取直流配电方式代替传统交流配电方式,是一个较好的解决方案。随着节能和绿色发展理念的深入以及碳达峰、碳中和目标的提出,未来铁路电力配电网将会大量接入光伏以及储能装置,直流配电方案将是未来铁路电力供配电系统的发展方向之一。本文通过对直流配电系统基本拓扑结构、母线接线型式、电压等级、供电能力、人身安全、接地型式等方面进行分析和探讨,旨在对铁路区间用电负荷的直流配电设计及后续研究提供参考。

参考文献:

- [1] 王佩雷. 复杂艰险山区高速铁路建设四电接口管理技术研究[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(1): 38-42, 67.
WANG Peilei. A Study on Interface Management Technology of Communication, Signal, Electrical, and Electrification Systems for High-speed Railway Construction in Challenging Mountain Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(1): 38-42, 67.
- [2] 栗振坤. 兰张高速铁路土地与新能源融合开发研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(1): 74-78.
LI Zhenkun. Study on Integrated Development of Land and New Energy for Lanzhou-Zhangye High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(1): 74-78.
- [3] DB 34/T 4539-2023 中低压直流配电网规划设计技术规范[S]
DB 34/T 4539-2023 Technical Specification for Planning and Designing of Medium and Low DC Distribution Network[S].
- [4] 李可. 直流配电网拓扑结构与可靠性研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
LI Ke. Research on Topology and Reliability of DC Distribution Network[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [5] TB 10008-2015 铁路电力设计规范[S].
TB 10008-2015 Code for Design of Railway Electric Power[S].
- [6] GB/T 35727-2017 中低压直流配电电压导则[S].
GB/T 35727-2017 Guideline for Standard Voltages of Medium and Low Voltage DC Distribution System[S].
- [7] GB/T 13870.1-2022 电流对人和家畜的效应 第1部分:通用部分[S].
GB/T 13870.1-2022 Effects of Current on Human Beings and Livestock-Part 1:General Aspects[S].
- [8] 柳依然. 直流配电网电压等级序列研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2015.
LIU Yiran. Study on Voltage Grade Sequence of DC Distribution Network[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2015.
- [9] 韩民晓, 谢文强, 曹文远, 等. 中压直流配电网应用场景与系统设计[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(23): 2-11, 89.
HAN Minxiao, XIE Wenqiang, CAO Wenyuan, et al. Application Scenarios and System Design of Medium-voltage DC Distribution Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(23): 2-11, 89.
- [10] GB 16895.1-2008 低压电气装置 第1部分:基本原则、一般特性评估和定义[S].
GB 16895.1-2008 Low-voltage Electrical Installations Part 1: Fundamental Principles, Assessment of General Characteristics, Definitions[S].
- [11] IEC 60364-1:2005 Low-voltage Electrical Installations Part 1: Fundamental Principles, Assessment of General Characteristics, Definitions[S].
- [12] T/CABEE 030-2022 民用建筑直流配电设计标准[S].
T/CABEE 030-2022 Design Standard for Direct Current Power Distribution of Civil Buildings[S].
- [13] 李露露, 雍静, 曾礼强, 等. 低压直流双极供电系统的接地型式研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(13): 2210-2218.
LI Lulu, YONG Jing, ZENG Liqiang, et al. Researches on Grounding Types of Low-voltage DC Bipolar Distribution Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(13): 2210-2218.
- [14] 李露露. 民用低压直流系统接地型式与短路保护研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
LI Lulu. Research on Grounding Type and Short-circuit Protection of Civil Low-voltage DC system[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.