

低温对电气化铁路铜合金接触线力学和电学性能影响研究

潘利科, 杨才智, 袁远, 陈立明, 邢彤, 张海波, 徐超, 雷栋

(中国铁道科学研究院集团有限公司标准计量研究所, 北京 100081)

摘要: 随着电气铁路的快速发展, 低温高寒地区接触线得到普遍应用, 其力学和电学性能对电气化铁路接触网的供电可靠性具有重要影响。通过对比试验研究了低温(-55°C)和常温(25°C)环境对CTMM150接触线力学和电学性能的影响。试验研究结果表明, 低温试验后, 接触线的拉断力提高了2.2%, 电阻率降低了16.0%, 伸长率降低了8.8%, 其各项性能均满足标准要求。为低温高寒地区电气化铁路接触线的应用提供了数据支撑。

关键词: 接触网; 电气化铁路; 低温; 接触线; 拉断力

中图分类号: U221

文献标志码: A

文章编号: 1673-9981(2022)06-1014-03

引文格式: 潘利科, 杨才智, 袁远, 等. 低温对电气化铁路铜合金接触线力学和电学性能影响研究[J]. 材料研究与应用, 2022, 16(6):1014-1016.

PAN Like, YANG Caizhi, YUAN Yuan, et al. Study on the Effect of Low Temperature on the Mechanical and Electrical Properties of Copper Alloy Contact Wire for Electrified Railways[J]. Materials Research and Application, 2022, 16(6):1014-1016.

接触线是电气化铁路的重要组成部分, 其主要通过与列车上方的受电弓滑板进行滑动摩擦, 实现向列车供电^[1-3]。目前, 我国电气化铁路已经覆盖全国31省区市, 接触网服役环境涉及高温、低温等各种环境温度工况, 这就对接触线的力学性能和电学性能提出了较高的要求^[4-5]。

TB/T 2809-2017《电气化铁路用铜及铜合金接触线》中对接触线的力学性能和电学性能等进行了规定^[6], 但对接触线在不同环境温度下的力学和电学性能没有进行区分和明确规定, 并且相关文献对接触线在我国低温高寒环境下的应用研究较少。

CTMM150铜镁合金接触线是电气化铁路的主要接触线型号, 在常温下具有较好的力学和电学性能, 其成分组成列于表1。通过对比试验研究了CTMM150在低温(-55°C)和常温(25°C)环境下的机械性能和导电性能, 分析其变化规律, 为电气化铁路接触网在我国低温高寒地区的推广应用奠定技

术基础。

表1 CTMM150铜镁合金接触线的组成成分

Table 1 Composition of CTMM150 copper magnesium alloy contact wire

成分	Mg	P	杂质元素(Fe、Pb、Bi等)	Cu
含量 $w/\%$	0.20—0.60	≤ 0.01	≤ 0.10	余量

1 试验部分

接触线参考TB/T 2809-2017《电气化铁路用铜及铜合金接触线》^[6]开展试验, 其试验环境条件参照铁总运[2013]135号《寒温及寒冷地区铁路牵引供电和电力系统若干问题指导意见》和GB/T 14093.2-2009《机械产品环境技术要求 寒冷环境》^[7]

收稿日期: 2022-01-26

基金项目: 中国铁道科学研究院集团有限公司科研项目(2021YJ128)

作者简介: 潘利科(1986-), 男, 陕西咸阳人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电气化铁路接触网检验检测、弓网关系、载流磨耗以及失效分析, E-mail: plk1986@126.com。

等标准进行试验。

按照TB/T 2809-2017《电气化铁路用铜及铜合金接触线》中规定,CTMM150铜镁合金接触线应满足拉断力 ≥ 73.99 kN、伸长率 $\geq 3.0\%$ 、电阻率 $\leq 0.025\ 35\ \Omega\cdot\text{mm}^2\cdot\text{m}^{-1}$ 。选取CTMM150铜镁合金接触线,其直径为14.40 mm。常温试验的环境温度为25℃,在SUN-20电子材料试验机上进行拉伸试验,拉伸试样的标距为250 mm、拉伸速率为 $20\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$;在PC36C直流数字电阻测试仪上进行电阻率试验,电阻率试样长度为1.5 m,每组试验测试3组数据,取其平均值作为最终结果。低温试验的环境温度为-55℃,拉断力和伸长率试样首先在低温环境下保温16 h,然后取出立即在常温(25℃)下进行拉伸试验。电阻率试样则在低温环境下保温72 h,取出后立即在常温下进行电阻率试验。

由于CTMM150铜镁合金接触线的微观组织在产品成型后基本固定,在常温(25℃)和低温(-55℃)环境后微观组织不会产生变化,本次试验的力学和电学性能变化基本不受微观组织影响。

2 结果与讨论

2.1 低温对拉断力的影响

图1为常温(25℃)和低温(-55℃)工况下,CTMM150接触线的拉断力变化规律。从图1可以看出,低温下接触线的拉断力相比常温提高了

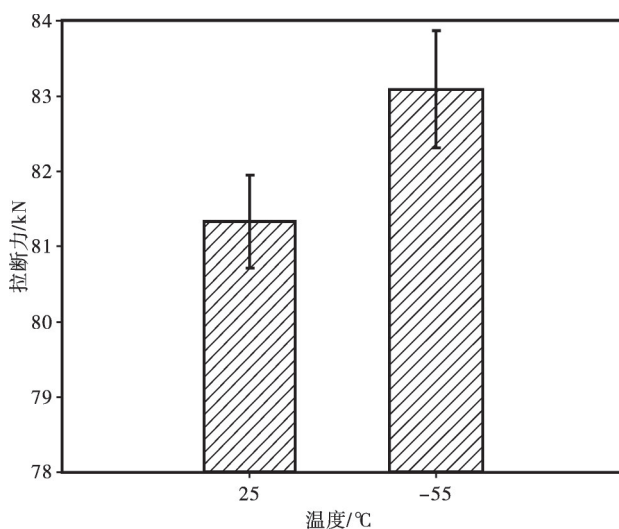


图1 CTMM150接触线拉断力与环境温度的关系

Figure 1 Relationship between breaking force and ambient temperature of CTMM150

2.2%,并且常温和低温下的拉断力均能满足标准的要求。说明,CTMM150接触线在-55℃环境下保温16 h后强度得到提升。

2.2 低温对伸长率影响

图2为CTMM150接触线的伸长率随试验温度而变化的规律。从图2可见:常温和低温环境下接触线的伸长率均能满足标准指标,但是低温时接触线的伸长率相比常温降低了8.8%。说明,CTMM150接触线在低温环境中保温16 h后,其伸长率显著降低、韧性变差。由于铜镁合金为面心立方结构,其强化机制为固溶强化,即溶质原子溶入铜基体中形成固溶体,引起晶格畸变,阻碍位错运动,从而达到强化^[8-11]。因此,在低温环境下,位错堆积的能力上升,位错运动难度增大,形变难度增加,从而使接触线的拉断力提高、伸长率降低^[10,12-13]。

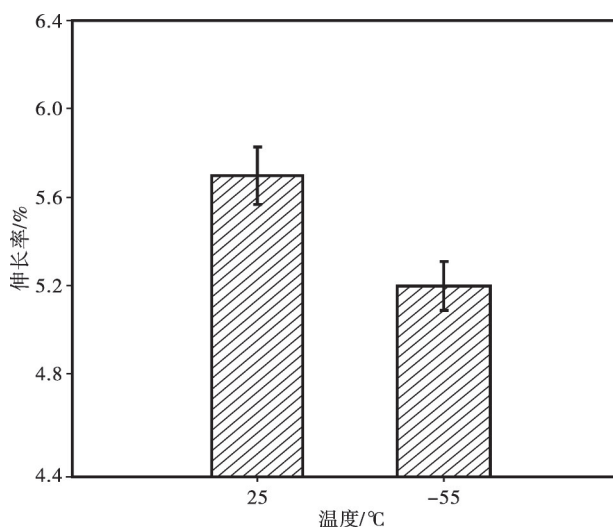


图2 CTMM150接触线伸长率与环境温度关系

Figure 2 Relationship between elongation and ambient temperature of CTMM150

2.3 低温对电阻率的影响

图3为常温和低温环境下CTMM150接触线的电阻率变化规律。从图3可见,在低温环境下接触线的电阻率明显低于常温的电阻率,低温时的电阻率相比常温时降低了16.0%。说明,CTMM150接触线在低温环境保温72 h后的电阻率显著降低,提高了其导电能力。在低温作用下,由温度引起的离子晶格热振动造成对电子波的散射变小,使电阻率在低温下降低,而导电能力增强^[14]。

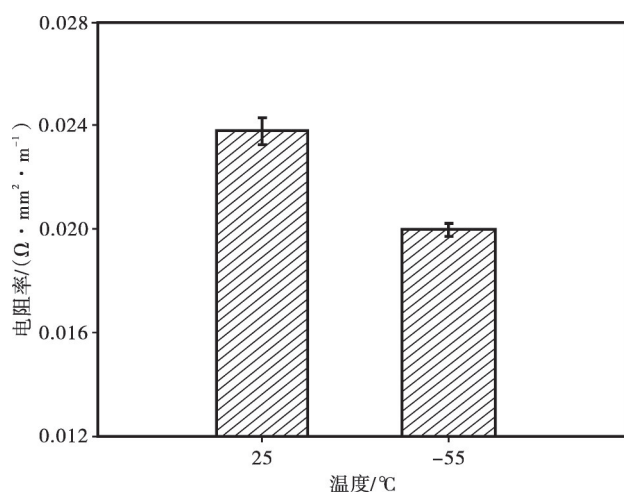


图3 CTMM150接触线电阻率与环境温度关系

Figure 3 Relationship between resistivity and ambient temperature of CTMM150

3 结论

通过对比试验研究了CTMM150接触线在常温(25℃)和低温(-55℃)环境下的机械性能和导电性能。CTMM150接触线在低温保温一定时间后,其强度得到提高(拉断力提高了2.2%),但是塑性降低(伸长率降低了8.8%),其导电性能提高(电阻率降低了16.0%),并且各项性能均满足标准要求。

参考文献:

- [1] 吴积钦. 受电弓与接触网系统[M]. 成都:西南交通大学, 2010.
- [2] 穆锦博. 高速电气化铁路接触线技术探究[J]. 科技创

新与应用, 2015, 26(5):204-204.

- [3] 赵媛霞, 刘平, 刘新宽, 等. 高速电气化铁路接触线的研究与应用[J]. 材料导报, 2012, 26(3):46-50.
- [4] 万传军. 高速电气化铁路铜合金接触线制造技术新进展[J]. 铁道建筑技术, 2010, 27(10):82-85.
- [5] 王国迎, 路超, 花思明, 等. 电气化铁路用铜及铜合金接触线的研究现状[J]. 有色金属加工, 2020, 49(6):1-6.
- [6] 国家铁路局. TB/T 2809-2017 电气化铁路用铜及铜合金接触线[S]. 北京:中国铁道出版社, 2017.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14093.2-2009 机械产品环境技术要求—寒冷环境[S]. 北京:中国标准出版社, 2009.
- [8] 刘平. 高性能铜合金及其加工技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 2005.
- [9] 李龙健, 于风云, 李仁庚, 等. 高性能铜合金研究现状及发展趋势[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(3):293-298.
- [10] 林浩然. 铜与铜合金力学性能及强化机制研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2021.
- [11] 赵长生, 顾宜. 材料科学与工程基础[M]. 北京:化学工业出版社, 2019.
- [12] YUE L, RU M, YINONG W. Texture evolution and recrystallization behaviors of Cu-Ag alloys subjected to cryogenic rolling [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2015, 25(9):2948-2957.
- [13] 薛海平, 刘平, 刘新宽, 等. 低温对ECAP纯铜性能与组织的影响[J]. 功能材料, 2020, 51(6):6190-6194.
- [14] 王润. 金属材料物理性能[M]. 北京:冶金工业出版社, 1985.
- [15] 连法增. 材料物理性能[M]. 沈阳:东北大学出版社, 2005.

Study on the Effect of Low Temperature on the Mechanical and Electrical Properties of Copper Alloy Contact Wire for Electrified Railways

PAN Like, YANG Caizhi, YUAN Yuan, CHEN Liming, XING Tong, ZHANG Haibo, XU Chao, LEI Dong
(Standards & Metrology Research Institute, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081)

Abstract: With the rapid development of electric railways, contact wires are commonly used in low temperature and alpine areas, and their mechanical and electrical properties have an important impact on the reliability of the power supply of the electrified railway catenary. In this paper, the effect of low temperature (-55℃) and room temperature (25℃) environments on the mechanical and electrical properties of CTMM150 contact wire is investigated through comparative tests. The results show that after the low temperature test, the breaking force of contact wire increases by 2.2%, the resistivity decreases by 16.0%, but the elongation decreases by 8.8%, and all meet the standard requirements. The test results provide data support for the application of electrified railway contact wire in low temperature and alpine regions.

Keywords: catenary; electrified railway; low temperature; contact wire; breaking force

(学术编辑:黎小辉)