

# 文本复制检测报告单(全文标明引文)

№:ADBD2021R\_2021072315351220210723154738311183038645

检测时间:2021-07-23 15:47:38

检测文献: 017

作者: Supervisor

检测范围: 中国学术期刊网络出版总库

中国博士学位论文全文数据库/中国优秀硕士学位论文全文数据库

中国重要会议论文全文数据库

中国重要报纸全文数据库

中国专利全文数据库

图书资源

优先出版文献库

学术论文联合比对库

互联网资源(包含贴吧等论坛资源)

英文数据库(涵盖期刊、博硕、会议的英文数据以及德国Springer、英国Taylor&Francis 期刊数据库等)

港澳台学术文献库

互联网文档资源

源代码库

CNKI大成编客-原创作品库

个人比对库

时间范围: 1900-01-01至2021-07-23

## 检测结果

去除本人文献复制比: 8.6%

跨语言检测结果: 0%

去除引用文献复制比: 8%

总文字复制比: 8.6%

单篇最大文字复制比: 4% (城市轨道交通DC1500V供电系统研究)

重复字数: [2706]

总段落数: [4]

总字数: [31362]

疑似段落数: [3]

单篇最大重复字数: [1266]

前部重合字数: [317]

疑似段落最大重合字数: [1729]

后部重合字数: [2389]

疑似段落最小重合字数: [488]



指 标: ☐ 疑似剽窃观点 ☒ 疑似剽窃文字表述 ☐ 疑似整体剽窃 ☐ 过度引用

表 格: 0

公 式: 没有公式

疑似文字的图片: 0

脚注与尾注: 0

4.7% (489) 4.7% (489) 017\_第1部分 (总10306字)

18.4% (1729) 18.4% (1729) 017\_第2部分 (总9393字)

5.2% (488) 5.2% (488) 017\_第3部分 (总9340字)

0% (0) 0% (0) 017\_第4部分 (总2323字)



(注释: 无问题部分 文字复制部分 引用部分)

## 1. 017\_第1部分

总字数: 10306

### 相似文献列表

去除本人文献复制比: 4.7% (489)

文字复制比: 4.7% (489)

疑似剽窃观点: (0)

1	城市轨道交通柔性牵引供电系统优化控制研究 郝峰杰(导师: 刘志刚) - 《北京交通大学博士论文》 - 2020-06-30	1.8% (187) 是否引证: 是
2	城市轨道交通箱式牵引变电所应用研究 王开康 - 《学术论文联合比对库》 - 2015-01-05	1.3% (137) 是否引证: 否
3	城市轨道交通供电系统的设计及应用 林晓锐; - 《门窗》 - 2017-10-20	0.6% (66) 是否引证: 否
4	城市轨道交通运营管理信息化建设思考	0.6% (58)

	梁淑晶; - 《祖国》 - 2017-09-23	是否引证: 否
5	牵引供电系统直流侧短路故障分析 张永祥;刘岩; - 《中国科技信息》 - 2014-12-01	0.3% (33)
		是否引证: 否
6	滨海新区本土文化与城市形象设计模式研究 倪春洪; - 《艺术与设计(理论)》 - 2014-04-15	0.3% (30)
		是否引证: 否

原文内容

I  
硕士学位论文基于直流制式的城市轨道交通牵引供电系统的研究  
Research on traction power supply system of Urban Rail Transit Based on DC system  
2021 年 8 月  
II  
国内图书分类号: 学校代码:  
国际图书分类号: 密级: 公开  
硕士学位论文基于直流制式的城市轨道交通牵引供电系统的研究  
硕士研究生:  
导师:  
申请学位:  
学科:  
专业:  
所在学院:  
答辩日期:  
授予学位单位:  
III  
Classified Index:  
U.D.C:  
Thesis for the Master Degree  
Research on traction power supply system of Urban Rail Transit Based on DC system  
Candidate:  
Supervisor:  
Academic Degree Applied for:  
Speciality:  
School:  
Date of Defence:  
Degree-Conferring-Institution:  
IV  
摘要  
随着人口的增长,城市化进程的加快,国内的流动人口分布呈集中状态,大量人口汇集于经济发展速度快、工作机遇多的一二线城市,由此给城市带了严重的交通负担。城市轨道交通因为其速度快,便利性高等优点,成为了大多数人出行的首选,正因如此当城市轨道交通牵引供电系统出现问题时,会引起较高的社会关注度。  
近年来,“某某地铁停运”等新闻屡见不鲜,因此为保证城市交通的安全运营,提高城市居民的幸福指数,就必须保证牵引供电系统安全、可靠且稳定的运行。  
目前,国内的城市轨道交通牵引供电系统均采用直流制式,主要应用的等级为DC1500V 和 DC750V。相对于交流来说,直流牵引供电具备调速简单且范围大、容易操控、电能质量好、经济型高、运营维修方便等优势。  
当直流牵引供电系统出现短路故障时,会产生较大的短路电流,严重影响供电设备的安全运营,为保证城市轨道交通的平稳运行性,就需要提高直流系统的继电保护能力,除了通过合理的设备选型外,还应针对运行中的设备制定合理的保护定值。因此,需要通过精确地计算来确定直流供电设备的型号规格、继电保护的定值区间以及其他相关电气元件的具体参数。为保证直流系统在经受大规模扰动后,仍能快速回复正常运行状态,直流系统的短路试验就成了研究的热点。  
本论文通过对牵引供电系统的研究,提出直流短路试验方案和一种新型防拒动措施,进行相关测试后对试验结果进行了分析。文中首先描述了城市轨道交通的功能和其基本组成;然后,介绍了直流牵引供电系统的继电保护的保护类型:主保护、后备保护和自动重合闸;随后,利用电路图法对牵引供电系统的短路电流进行了相关计算;再次,根据直流短路在城市轨道交通中的形式——金属性短路,制定了直流短路电流试验方案,并在方案中提出了一种基于工程的新型防拒动措施;最后,在徐州城市轨道交通 1 号线验证了短路试验方案的可行性和防拒动措施的安全性。  
关键字:牵引供电系统;继电保护;短路试验方案;防拒动措施  
V  
Abstract

With the growth of population and the acceleration of urbanization, the distribution of floating population in China is concentrated. A large number of people gather in the first and second tier cities with rapid economic development and more job opportunities, which brings serious traffic burden to the cities. Because of its fast speed and high convenience, urban rail transit has become the first choice for most people to travel. Because of this, when the traction power supply system of urban rail transit has problems, it will cause higher social attention. In recent years, "XX subway outage" and other news are common, so in order to ensure the safe operation of urban traffic and improve the happiness index of urban residents, it is necessary to ensure the safe, reliable and stable operation of traction power supply system.

At present, the traction power supply system of domestic urban rail transit adopts DC mode, and the main application levels are DC1500V and DC750V. Compared with AC, DC traction power supply has the advantages of simple speed regulation, wide range, easy control, good power quality, high economy, convenient operation and maintenance. When the short-circuit fault occurs in the DC traction power supply system, it will produce large short-circuit current, which seriously affects the safe operation of power supply equipment. In order to ensure the smooth operation of urban rail transit, it is necessary to improve the relay protection ability of DC system. In addition to reasonable equipment selection, it is also necessary to formulate reasonable protection settings for the running equipment. Therefore, it is necessary to determine the model and specification of DC power supply equipment, the setting range of relay protection and the specific parameters of other related electrical components through accurate calculation. In order to ensure that the DC system can quickly return to normal operation after large-scale disturbance, the short-circuit test of DC system has become a research hotspot. Based on the research of traction power supply system, this paper puts forward a DC short circuit test scheme and a new anti refuse action measure, and analyzes the test results after relevant tests. Firstly, this paper describes the function and basic composition of urban rail transit; Then, the protection types of relay protection in DC traction power supply system are introduced: main protection, backup protection and automatic reclosing; Then, the circuit diagram method is used to calculate the short-circuit current of traction power supply system; Thirdly, according to the form of DC short circuit in urban rail transit - metallic short circuit, the DC short circuit current test scheme is formulated, and a new anti rejection measure based on engineering is proposed in the scheme; Finally, the feasibility of the short-circuit test scheme and the safety of anti refuse action measures are verified in Xuzhou Urban Rail Transit Line 1.

Key words: Traction power supply system; Relay protection; Short circuit test scheme; Anti refusal measures

VI  
目录  
摘要

.....	IV
Abstract	
.....	V
第 1 章绪论	
.....	2
1.1 研究背景及意义	2
1.2 城市轨道交通的发展现状	3
1.2.1 国外研究现状	3
1.2.2 国内研究现状	3
1.3 论文研究的主要内容	4
第 2 章城市轨道交通牵引供电系统概述	
2.1 供电系统概述	

2.2 供电系统的基本要求	5
2.2.1 安全性和可靠性	5
2.2.3 经济性	5
2.2.5 先进性	6
2.3 供电系统的组成	6
2.4 直流牵引供电系统的组成	7
2.5 本章小结	7
第 3 章直流牵引供电系统保护原理	8
3.1 直流牵引供电系统保护概述	8
3.2 基于电流突变的主保护	8
3.2.1 大电流脱扣	8
3.2.2 电流上升率保护	8
3.3 基于电流的后备保护	10
3.3.1 瞬时过电流保护	10
3.3.2 延时过电流保护	10
3.4 直流系统基于其他形式的保护措施	10
3.4.1 框架电压保护	10
3.4.2 双边联跳	10
3.4.3 自动重合闸	11
3.5 本章小结	11
第 4 章直流牵引供电系统短路计算	12
4.1 直流短路计算意义	12
4.2 直流短路计算内容	12
4.3 短路电流计算方法	12
4.3.1 计算步骤	13
4.3.2 单边供电情况下的直流短路（考虑相邻供电分区的影响）	13
4.3.3 双边供电情况下的直流短路（不考虑相邻供电分区的影响）	15
4.3.4 双边供电情况下的直流短路（考虑相邻供电分区的影响）	
VII	
4.4 本章小结	19
第 5 章直流短路试验方案的研究	20
5.1 直流短路故障分析	20
5.1.1 金属性短路故障	

5.5.2 非金属性短路故障 ..... 20

5.2 直流短路试验方案的制定流程 ..... 20

5.3 直流短路试验方案的编制依据及目的 ..... 21

5.3.1 直流短路试验方案的编制依据 ..... 21

5.3.2 直流短路试验的目的 ..... 21

5.4 短路试验前准备工作 ..... 22

5.4.1 短路试验组织机构 ..... 22

5.4.2 短路试验工器具准备 ..... 22

5.4.3 接触网短路点技术安全保证措施 ..... 23

5.4.4 试验前现场准备工作 ..... 24

5.5 防拒动保护措施的研究 ..... 24

5.5.1 防拒动措施研究的原因及目的 ..... 24

5.5.2 防拒动措施 ..... 24

5.6 短路试验的操作过程及应急处理措施 ..... 25

5.6.1 短路试验的操作过程 ..... 25

5.6.2 短路试验结束 ..... 26

5.6.3 应急处理措施 ..... 26

5.7 本章小结 ..... 27

第 6 章徐州城市轨道交通 1 号线直流短路试验 ..... 28

6.1 徐州城市轨道交通 1 号线概况 ..... 28

6.2 徐州城市轨道交通 1 号线短路试验过程 ..... 28

6.2.1 短路试验点的选择 ..... 28

6.2.2 短路试验操作过程 ..... 30

6.3 试验结果分析 ..... 32

6.3.1 单边供电近端接触网对钢轨短路近端短路分析 ..... 32

6.3.2 越区供电远端接触网对钢轨短路分析 ..... 35

6.3.3 试验数据综合分析 ..... 37

6.4 本章小结 ..... 38

第 7 章结论与展望 ..... 39

7.1 结论 ..... 39

7.2 展望 ..... 39

参考文献

1  
硕士学位论文基于直流制式的城市轨道交通牵引供电系  
统的研究  
Research on traction power supply system of Urban  
Rail Transit Based on DC system  
2021 年 8 月 2  
第 1 章绪论  
1.1 研究背景及意义随着我国近年来城市化进程的加快、城市居民人口的增多、机动车行业的快速发展，导致大多数城市  
居民在出行时采取自驾汽车的形式。因此，在我国大部分地区和城市，均已经出现了较为严峻的交通安全问题，例如道路拥堵  
、交通事故频发、空气污染严重等。城市轨道交通凭借其节能环保、耗能低、对环境压力小、载客量大、受环境影响低、速度  
快、安全性高等特点，进入到了人们的视野。  
所以，发展不占用地上交通资源的现代化城市轨道交通系统逐步成为缓解这些城市交通问题的最佳途径。  
城市轨道交通的供电系统不仅仅是地铁列车的动力来源，还提供着整个城市轨道交通生态系统的其他建筑物如：各固定车站



、区间、车辆段、停车场等的照明、生产生活用电。因此为保证城市轨道交通的正常运营，给城市居民提供便利的生活条件，必须保证供电系统的安全性和稳定性。

目前来说，国内的城市轨道交通均采用直流制式进行供电。相对于传统的交流输电方式来讲，采用直流式供电的铁路列车和电动电力机组拥有启动功率消耗较低，调速制动范围大且平稳，运行精度高，接触网构造简单，电压信号传递快和质量高，电能损失小等优势。如今，世界上城市轨道交通直流牵引供电系统的电压等级一般控制在 DC600V-DC3000V 之间[1]，其中最常见直流牵引电压等级为

DC750V 和 DC1500V，但也存在许多其他电压类型的电力系统，如伦敦、波士顿地区所采用的 DC600 牵引供电系统，旧金山线主要采用 DC1000V 牵引供电系统等等。我国一般分别采用 DC750V 与 DC1500V 两个电压标准：北京、天津等地开始实施城市轨道交通建设的大型城市多采用 DC750V 接触式轨道供电。上海、广州、深圳、徐州、常州等新兴地铁城市采用 DC1500V 接触网供电系统[2]。

DC1500V 牵引供电直流制式和传统 DC750V 供电相比，选用了相对较高的牵引供电直流电压，牵引变电所之间的最大供电电流距离同样可以大幅增大一倍，变电所的电机总数量也可以大大减小一半，同时因为牵引供电所的电损耗可以大大减小一半，线路上的电阻损耗也同样可以大大大幅度地得到降低，并且全部牵引电气设备的最大电流负载容量也同样可以大大大幅度地得到减小，对于目前使用供电功率范围更大、载客列车运输能力更强的新型柴油发动机类型车辆来说比较有利。所以，DC1500V 城轨供电系统方式将不再是以后的现代城轨供电系统，尤其这是我国城市地铁交通运输体系的一个重要发展趋势。并且结合 DC1500V 供电控制方式与接触线授流控制方法相比的优点，选择 DC1500V 接触轨道供电的方式，既能够减少变电所的投资和土建工程的费用，给机车提供更多的牵引驱动力，

也能够很大范围内缩短检修周期和运营中维护的成本，所以，DC1500V 接触轨道供电系统的方式将有望成为接触轨道地铁工业发展的一个新方向[3]。

### 1.2 城市轨道交通的发展现状

#### 1.2.1 国外研究现状 世界上第一条城市轨道交通地铁系统诞生于 1909 年英国伦敦。1843 年英国人皮尔逊(pierson)首次提议英国修建地下铁路轨道，1863 年伦敦修建了世界上第一条完全采用直流电力和柴油蒸汽机车来驱动车轮牵引动力的水下地铁，这条地下线路轨道总长 6.4km。

1867 年，美国纽约建成第一条城际地铁；1879 年安全系数更高的电动列车

研发成功；1900 年巴黎世博会上，法国第一条地铁投入运营；1902 年，德国第

一条城际地铁在柏林投入使用。二战前，许多欧美发达国家的城市轨道交通飞速发展，修建地铁的城市大约有 13 个

[4]。

二战以后，因 汽车工业的飞速发展造成了道路的拥堵，空气污染和能源危机等问题，城市轨道交通再次得到重视，各国进入建设城市轨道交通的高峰期。进入 21 世纪初，全球已经有 150 座城市建造了城市轨道交通系统，总计钢轨线路九千多公里、电动列车七万余辆。线路长度排名前 3 位的城市分别是：巴黎、纽约和伦敦，其运营线路长度都超过了 400km[4]。

随着时间的推移，以地铁和轻轨为主导的轨道交通占据了城市交通的主导地位。目前来看，世界上发达国家的大多数城市一线城市已经基本建立了较为成熟的城市轨道交通网络体系，轨道交通客运量约占全国总客运量的 50%以上，东京甚至达到了 86%[5]。

1.2.2 国内研究现状我国城市轨道交通建设相比于西方国家起步较迟。20 世纪 60 年代，北京地铁一期工程的成功正式完工和试运营，预示了国内大型综合城市轨道交通出行交通项目建设的新历史时刻。但当时的现代中国对于城市轨道交通的规划建设主要还是围绕军事战备而行，因此截止 20 世纪 80 年代，我国国内（不包括港澳台）

只有首都北京和天津市地铁线路建设成功。随着当前我国市场经济化和社会化进程的深入，城市轨道网络交通系统已经逐步走向了新发展阶段，这无疑是我们城市国民基本生活保障水平的一次飞速发展[2]。

据统计，2015 年底，全国 已经有 26 个重点城市开通和运营城市轨道交通系统，已建成线路总计 110 余条，总运营里程超过 3500 公里；到 2019 年底，全国已经建成和运营开通城市轨道交通的城市多达 40 个，已建成线路总计 208 条，总里程

6730.27 公里。2016—2019 年全国城市轨道交通的里程年均增长率达到 16.8%，

并处于持续高速增长装填。据中国交通运输部发布的 2020 城市轨道交通运营数据显示，截止 2020 年 12 月 31 日国内地铁开通线路达到 233 条，已投入运营车站 4660 座，里程 7545.5 公里，载客量已超过 180 亿人次。上海凭借其运营里程 729.2 公里，载客量 28.34 亿位居世界第一，北京运营里程 727.0 公里，载客量 22.92 亿人次，位居世界第二位[4-8]。

在科技发展的新形势下，我国将充分运用和建立一批合资公司，引进、消化、

吸收新型科学技术，增加科研经费等手段，大力发展城市轨道交通技术，提高城市轨道交通车辆、设备的生产率和国际化水平，形成一套具有独特中国风格的城市 4

轨道交通体系。

### 1.3 论文研究的主要内容首先论述了城市轨道交通 DC1500V 牵引供电系统的基本原理及技术特点；

其次，介绍了直流牵引供电系统的继电保护内容；再次，根据用等效电路图法给出了短路电流计算公式；然后，根据直流短路在城市轨道交通中的形式——金属性短路，制定了短路电流试验方案，并在方案中提出了一种基于工程的新型防拒动措施；最后，以徐州城市轨道交通 1 号线牵引供电系统为基础，验证了试验方案的可行性。

下面是本论文的具体内容安排：

第一章：描述了论文研究的背景意义，并具体地进行了分析目前城市轨道交通在全球范围的发展近况。

第二章：重点描述了与地铁牵引供电系统的主要相关内容，包含了牵引供电系统的整体功能、基本要求、基础构件及直流牵引供电系统的组成等几个方面。

第三章：基于直流牵引供电系统中经常发生的故障类型：短路故障、线路过载和电压故障，将保护内容进行了分类，并分别进行了详细的论述。

第四章：从短路计算的基本意义、内容、方法等几个主要角度，着重讲述了基于电路图原理的直流牵引供电系统的短路计算。

第五章：针对直流短路中的金属性短路故障，制定了一种基于直流牵引供电

系统的短路试验方案，由于短路电流试验的高危险性及直流供电设备的未确定性，

为保证试验能安全可靠的开展，提出了一种基于工程的新型防拒动措施，并详细描述了防拒动措施的应用过程。

第六章：本章介绍了徐州城市轨道交通 1 号线的工程概况，根据提出的短路

试验方案，利用新型防拒动措施进行了短路试验与技术测试，并且对试验的内容和结果进行了深度分析总结，最后得出了结论。 5

## 第 2 章城市轨道交通牵引供电系统概述

2.1 供电系统概述城市轨道交通供电系统为电动列车提供必要的牵引动力的同时，满足车站范围内的全部用电设备的电力需求。

2.2 供电系统的基本要求城市轨道交通的牵引供电系统是整个轨道交通生态网络的动力源泉，它不但为电动列车提供必要的牵引动力，还为区间的广告照明、车站内的生产生活、车辆段停车场的工作所需提供必要的电能。因此为保证轨道交通生态的完整性，为城市居民提供更加便利的生活条件，直流牵引供电系统应具备足够的安全和可靠性、经济性及先进性 [7]。

2.2.1 安全性和可靠性城轨供电系统的安全和可靠性，是指利用城市轨道交通的供电系统向电动列车及其他各类动力照明装置提供安全可靠的电能。在设计城市轨道交通的供电系统时，一般要充分考虑到系统与设备两个方面。首先供电系统及其设备必须遵守单一故障原则，即供电系统中的某个设备，因出现了故障而被迫退出运行后，其余的设备不会受到大规模扰动，与之存在联系的组件仍能在设计允许的电压、频率范围内正常工作，不发生超载、失压等现象。

在对供电系统的性能进行分析时，一般需要考虑牵引供电系统、刚性及柔性接触网系统、综合监测控制系统、应急照明及电源系统等几个部分。如：对于牵引供电系统来说，为保证安全性和可靠性，供电方式上设计为大双边供电方式。

即当一个牵引变电所因需要检修而退出运营时，只需其合上越区隔离开关即可将原本由它供电的区间转由相邻牵引变电所代为供电 [11]。

在对设备的安全性能分析时，主要需要考虑整流变压器、断路器、整流发动机及其负极柜、直流开关柜、隔离开关、接地网等方面 [12]。为设计一套安全稳定的供电控制系统，设计部门应该对系统中每个设备有可能发生的各种故障都进行分析，结合施工现场曾经出现的故障类型，充分考虑单一故障原则，绘制尽可能完善的施工图纸。例如：所有重要电气设备都应该采用双电源双边供电形式，来确保当一路电源失电时，另外一路电源仍能可靠供电 [10]。

2.2.3 经济性城市轨道交通供电系统的经济性，是指在在保证实现安全性和可靠性的前提下，降低工程建设成本、节省轨道交通的运营成本，力争达到符合预期的经济效果

[11]。城轨交通供电系统的建设目的是指在充分满足业主其他交通工具的需求及必须提供生活条件的基础上，建设便利的一种城轨交通供电方式。供电系统的设计应当根据实际需求来制定和执行，并根据具体的要求及时进行相关改动，此外供电系统的施工标准、设备规格、经济效益以及工期保证等，也都应当符合一个城市的 6

特点和其本身的功能定位 [13]。

2.2.5 先进性我国城轨交通供电系统的技术先进性，表现为其在先进的建筑设计理念，

先进的供电系统组成方式，先进的技术手段和设施，先进的管理体制等各个方面。

供电系统的先进性主要取决于该系统的基本功能与投资大小两个方面来考虑。在运行成本，操作的灵活性，环境质量要求，还有关于技术开发的各个方面，都必须做出合理的选取。

供电控制系统在设计时应该是采用先进的设计思想。我们要充分认识到节约资金对于能源、环境保护工作的重要性，并且通过各种必要的措施实现环境保护、

降低能源消耗 [8]。

2.3 供电系统的组成按照其使用功能的不同，城轨轨道交通供电系统，一般被细分为以下几个组成部分：归属于国家电网的 110kV 主变电所；为电动列车和城市轨道生态系统提供动力的牵引供电系统；辅助电动列车快速合理运行的刚性及柔性接触网系统；提高牵引供电系统设备运行和使用寿命的杂散电流防腐蚀系统以及对整个供电系统进行实时监控和数据测量的电力监控系统。

以徐州城市轨道交通 1 号线为例，供电系统可以分为以下几个部分：设置在接近线路两侧末端的 110kV 主变电所 2 座、均匀分布在线路上的 35kV 牵引降压混合变电所 11 座、降压变电所 10 座、跟随变电所 8 座、与控制中心直接相连的电力监控系统、刚性及柔性接触网系统、遍布整个区间线路的杂散电流防腐蚀系统、保护乘客安全的疏散平台系统等。因为我国地铁施工建设的特殊性，动力照明装置等部分其他的供电设施都属于自己附属的配套设备，归属于车站等建筑物本身自行管理，因此该项目的的设计通常被划归给土建单位，而不是由供电系统的设计单位负责。为了便于设备的采购招投标，城市轨道交通的供电系统按规格划分为以下两种采购方式或以下两种采购方式组合：

(1) 主变电所设备，包括接地变压器、消弧装置。

(2) 牵引变压器及整流器。

(3) 配电变压器。

(4) 中压开关设备。

(5) 常用低压开关设备，包括一些低压电源开关柜、电容器和补偿器等开关装置，

而这些低压开关配电盒、照明盒和灯具等则主要是目前属于各类铁路车站的主要机电设备，一般都主要是由当地的车站土建工程承包人负责进行招投标和现场采购。

(6) 直流开关设备，包括直流开关柜、负极柜、钢轨电位限制装置等。

(7) 接触网设备。

(8) 电力电缆，包括 35kV 高压电缆、低压控制电缆、直流耐火电缆等。

(9) 电力监控系统。

(10) 控制信号屏、变电所自用交直流供电设备、杂散电流防腐蚀装置、排流柜以及近些年火热的能馈机组等 [12]。 7



2.4 直流牵引供电系统的组成直流牵引供电系统简易主接线图如图 2.1 所示，其中电能从牵引变电所经过高压电缆、接触网（接触轨）到达电动列车上，然后经过钢轨、回流系统返回牵引变电所。

1—变电所；2—高压电缆；3—接触网（接触轨）；4—电动列车；5—钢轨；6—回流系统；7—汇流排

图 2.1 牵引供电系统主接线图

2.5 本章小结本章重点介绍了城市轨道交通供电系统的相关内容，包括系统的基本技术要求、构成、牵引供电系统的组成等方面。城市轨道交通供电系统主要具备的基本条件包含安全性和可靠性、经济性、先进性等；供电系统主要包括牵引供电系统、

刚性及柔性接触网系统、电力监控系统、杂散电流腐蚀防护系统、低压照明配电系统等部门。 8

第 3 章直流牵引供电系统保护原理

对于直流牵引供电系统来说，直流短路故障的危害相对较大，但是直流控制与保护配合，既能够快速控制短路故障范围的扩大，迅速地切除短路故障又有可能在短路故障完全消除后重新恢复牵引供电系统的正常工作。因此，DC1500V 直流牵引供电系统中的继电保护值得我们学习和研究。

3.1 直流牵引供电系统保护概述因为轨道交通性质的原因，一旦电动列车出现故障，将给国民经济带来一定的损失，降低城市居民的幸福指数。为保证直流牵引供电系统可以安全和可靠的运行，提高系统的继电保护安全性，保证发生故障时保护可以快速有选择的正确

动作成为人们关注的热点。近年来，随着电力电子技术和计算机技术的快速发展，一种基于 plc 的数字式继电保护设备代替了传统的继电器，它有着更高的精确性，更快速的处理能力及更智能的自动化水平[ 15]。

直流牵引供电系统中主要发生的故障形式有：短路故障、线路过载、电压泄露等，继电保护的内容主要就针对上几种常见故障。

指 标		
疑似剽窃文字表述		
1. 城市轨道交通系统逐步成为缓解这些城市交通问题的最佳途径。 城市轨道交通的供电系统		
2. 已经有 26 个重点城市开通和运营城市轨道交通系统， 已建成线路总计 110 余条，总运营里程超过 3500 公里；		
2. 017 第2部分		总字数：9393
相似文献列表		
去除本人文献复制比：18.4%(1729) 文字复制比：18.4%(1729) 疑似剽窃观点：(0)		
1	城市轨道交通DC1500V供电系统研究 张智杰(导师：吴蓉;王晶) - 《兰州交通大学硕士论文》 - 2015-10-22	13.5% (1266) 是否引证：否
2	2-G11244张智杰 城市轨道交通DC1500V供电系统研究 - 《学术论文联合比对库》 - 2015-11-02	13.4% (1256) 是否引证：否
3	10404_工程硕士（0852）_交通运输工程（085222）_姚金立 工程硕士 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-03-30	8.3% (776) 是否引证：否
4	10404_工程硕士（0852）_交通运输工程（085222）_姚金立 工程硕士 - 《学术论文联合比对库》 - 2018-04-02	7.3% (686) 是否引证：否
5	【仅供参考】基于地铁牵引供电系统的继电保护整定配合研究--毕业设计.docx.doc下载 - 《网络（ <a href="https://www.sanbiaog">https://www.sanbiaog</a> ）》 - 2020	3.9% (371) 是否引证：否
6	地铁直流开关柜短路试验方案 - 《互联网文档资源（ <a href="https://wenku.baidu">https://wenku.baidu</a> 。）》 - 2018	1.6% (153) 是否引证：否
7	地铁直流供电系统保护算法研究与仿真-百度文库 - 《互联网文档资源（ <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ）》 - 2012	1.0% (95) 是否引证：否
8	直流牵引供电系统回流安全关键技术研究 杜贵府(导师：王崇林) - 《中国矿业大学博士论文》 - 2017-06-01	0.6% (57) 是否引证：否
9	让问题充满学生的头脑——初中科学教学中学生问题意识的培养 黄礼青； - 《中国教育技术装备》 - 2013-08-05	0.4% (34) 是否引证：否
10	谈谈数学工具处理物理问题 王梅华； - 《大学教育》 - 2012-02-01	0.4% (34) 是否引证：否
11	基于学科核心素养的初高中物理教学内容衔接探讨——以“欧姆定律”相关内容为例 管佩磊； - 《物理教学探讨》 - 2021-05-10	0.3% (29) 是否引证：否
12		0.3% (29)



## 原文内容

短路故障会引起较大的电流,

瞬时且巨大的电流突变是我们建立继电保护措施的依据。直流牵引供电系统的主保护就是以此为依据建立的。主保护的保护类型主要包括:大电流脱扣保护和电流上升率保护  $di/dt$ 。除了基于上诉原因的主保护外,直流牵引供电系统还有后备保护,要包括:瞬时过电流保护和延时过电流保护。后备保护的主要作用就是消除主保护的死区且在主保护拒动时对整个牵引供电系统进行保护除上诉基于电流变化的保护外,为保证直流牵引供电系统的安全运行,实际的生产生活中还有基于电压的框架保护、基于设备本体的双边联跳和自动重合闸系统等。

### 3.2 基于电流突变的主保护

#### 3.2.1 大电流脱扣

大电流脱扣保护是直流开关柜内设置的固有保护,不像其他大多数保护方式

一样具备延时性,其定值设定需要根据进行短路计算,设定原则是:大于满负荷情况下电动列车的启动电流,小于短路故障的最大电流。当短路故障发生,且短路电流达到定值设置的范围内时,大电流脱扣保护瞬间启动,利用设备内部的脱扣机构完成跳闸。

3.2.2 电流上升率保护因为城市轨道交通的运行特点,列车启动及制动速度均较快且在运行过程中经常变速,电流不是一直处于固定不变状态,其会随着列车启动、加速等运行状态的不同发生变化

[20]。但发生故障时,电流会发生突变,故障电流的上升率远

远大于列车启动或正常变速时的情况。电流上升率保护( $di/dt$  保护)就是依据这

一特征上的来实现保护功能。

直流继电保护系统的动作定值设定为  $G$ , 动作时间设定为  $t_G$ 。在线路出现短

路故障时,系统的电流开始突变,如图 3.1 所示,当保护装置监测到的电流上升率  $di/dt$  的数值大于等于  $G$  时,保护启动,并观测一个延时时间  $t_G$

来决定是否发出跳闸信号。及 A 点时保护启动,经过监测,若到达 B 点时,电流上升率  $di/dt$

仍大于整定值  $G$ ,则立即发出跳闸信号去除故障,否则不启动 [21]。

图 3.1  $di/dt$  保护特性曲线下面对不同情况下的电流曲线图进行分析。图 3.3 为列车处于不同运行状态下的电流-时间曲线。

图 3.2 列车不同运行状况电流特性曲线对图中各曲线的分析如下:

(1) 分析曲线 1 可知,列车未发生故障,列车应处于正常启动或加速状态。

(2) 分析曲线 2 可知,电流上升率  $di/dt$  大于  $G$ ,但在保护延时范围内,上升率减小至正常值,确定没有出现故障。

(3) 分析曲线 3 可知,电流上升率  $di/dt$  大于  $G$ ,延时时间也达到整定值, 10

故可以确定出现故障。

(4) 分析曲线 4 可知,电流上升率  $di/dt$  一直小于  $G$ ,电流上升率保护无法启动,但电流一直增加已经危害到了设备的正常运行,这也是电流上升率  $di/dt$  保护的不足之处。

(5) 分析曲线 5 可知,在点 A 电流上升率  $di/dt$  大于  $G$ ,保护启动,但是经过一段时间且在动作延时的范围内,上升率减小至  $G$  以下,那么保护将会返回。

在 B 点保护时电流上升率  $di/dt$  大于  $G$ ,保护重新启动。该曲线是电动列车进入车站停车后又启动时的电流变化曲线[24]。

综合比对以上结果可知,在某些情况下电流上升速率慢,但最后的电流峰值相对较高,此时电流上升率  $di/dt$  保护不起作用,因此我们还应该设置更多的保护措施与之相互配合,清除保护死区,确保直流牵引供电系统的安全运行。

3.3 基于电流的后备保护城市轨道交通牵引供电直流系统中,后备保护通常包括瞬时过电流保护、延时过流保护两种。

3.3.1 瞬时过电流保护瞬时过电流保护与大电流脱扣保护不同,它的设定基于的是设备本身的性能

参数。以徐州城市轨道交通 1 号线为例,瞬时过电流保护定值为  $3I_n > (I$

$n$ : 额定电流)。一般情况来说,这种保护的整定值比较大,整定时限比较短,延时启动时间一般为几毫秒[

28],保护启动后能快速切除故障电流,通常该保护与电流上升

率保护  $di/dt$  同时动作[32]。

3.3.2 延时过电流保护与瞬时过电流保护类似,延时过流保护的整定值设置同样基于设备的固有参数,但与之不同的是,保护整定的延时时间比较长,其动作时间通常为几十秒[28]。

在徐州城市轨道交通 1 号线中,延时过流保护的整定值设置为  $1I_n > (I$

$n$ : 额定电流),延时时间设置为 25s。该保护可以简单理解为,设备不允许在过负荷的情况下工作超过 25s。

### 3.4 直流系统基于其他形式的保护措施

#### 3.4.1 框架电压保护直流系统的框架保护通过测量设备金属外壳与负极之间的电位差(电压型)

或流入大地的短路电流(电流型)来触发保护动作,使直流馈线开关跳闸。在城市轨道交通直流牵引供电系统中,直流机组内包含负极柜,框架保护动作主要依靠直流开关柜与负极柜之间的电位差来触发[17]。

#### 3.4.2 双边联跳为保证供电的可靠性、方便人员施工和检修,国内城市轨道交通直流系统中 11

均配备有双边联跳保护,其与上诉近距离与中距离范围的电流保护、框架保护和重合闸功能相配合快速切除短路故障和恢复供电,消除保护的死区,确保运行安全、可靠 [18]。

双边联跳的保护原理是:在双边供电的情况下,当故障发生地距离其中一处电源较近时,该处检测到的故障电流较大,继电保护迅速动作切断电源;而距离故障点较远的一侧,故障信号需要经过一定时间才能被接收,在这段时间内它仍在向故障点

进行供电，可能产生一定的危害。双边联跳系统通过光缆直接将同一供电分区的相邻变电所设备连接，能直接传输跳闸信号，立刻使相应的开关跳闸，迅速切断故障点的电能来源 [41]。

例如：变电所 1 和变电所 2 同时向地铁列车所在区域的接触网（接触轨）进行供电。如果电动列车在变电所 1 附近的接触网（接触轨）区域发生故障，变电所 1 立刻跳闸，同时继电器将发出信号使变电所 2 内的相应直流开关同时跳闸。反之亦然。这样，故障点供电区域两侧电源开关都断开，完成了故障的迅速隔离 [29-30]。

3.4.3 自动重合闸在直流牵引供电系统出现的故障中，部分短路故障具有瞬时性，即故障不会对系统造成损害，故障发生后的一段时间内就可以重新恢复供电，自动重合闸系统就是根据“瞬时性故障”这一特性设立的。

大多数直流开关柜都装设有线路监测装置，当线路发生故障导致设备跳闸时，线路检测装置会自动向线路发射电信号，对线路当前的状态进行检测，检测内容包括电压、电流等。如果检测结果显示在定值设置范围内，系统将自动发出合闸信号，及时恢复供电 [43]。

3.5 本章小结

本章简要说明了直流牵引供电系统的继电保护原理，基于系统中经常发生的故障类型：短路故障、线路过载和电压故障，将保护内容分为基于电流的主保护和后备保护、框架电压保护、双边联跳和自动重合闸，并在此基础上对保护的相关内容进行了介绍。 12

第 4 章 直流牵引供电系统短路计算

城市轨道交通直流牵引供电系统的短路计算有其特殊性 [33]，总的来说有以下三点：

- (1) 供电电源多。城市轨道交通直流牵引供电系统是由多个牵引变电所和牵引网一起组成的多电源网络。当接触网出现问题时，不仅只有靠近短路点的两座牵引变电所供电，而且影响到了全线的牵引变电所。
- (2) 供电方式多。为了满足运营需求，牵引供电系统有三种供电方式：依次是单边供电、双边供电与大双边供电 [2]。
- (3) 供电回路多、网络复杂。城市轨道交通网络繁杂，需要用电的设备较多，导致了供电网络中回路多、参数复杂、计算不方便。

所以对直流牵引供电系统短路的计算不能直接使用一般的交流短路计算方法，而应该根据直流牵引供电系统的特点，建立等效电路模型，利用基尔霍夫电流电压定律、欧姆定律、叠加定理等，推导出一套适合于工程实际、符合直流短路特点的公式 [34, 42]。

4.1 直流短路计算意义在城市轨道交通运营过程中，为了保证设备能安全稳定的运行且在发生故障后能迅速切断不产生过大的影响，就必须要保证继电保护的选择性、灵敏性、速动性、可靠性。因此我们不仅要做到选择正确的设备型号，同时还要做到为运营中的设备制定合适的保护定值。直流短路计算正是满足以上要求的必备条件 [35]。

- 整体上来看，直流牵引供电短路计算有以下三个目的：
- (1) 作为实际生产过程中直流供电设备选型的依据。计算最大短路电流  $I_{k\max}$  作为校核直流断路器的瞬时过电流跳闸时限和瞬时过电流幅值的依据；
  - (2) 作为继电保护整定的依据。计算最小短路电流  $I_{k\min}$  作为直流馈线开关保护延时过电流启动的依据；
  - (3) 作为城市轨道交通电动列车内部继电保护设备选择的依据。

4.2 直流短路计算内容直流系统短路计算一般需要计算一下内容：

- (1) 牵引供电系统采用双边供电方式时，区间内任一点发生直流短路故障时的短路电流。
- (2) 位于中间位置的牵引变电所退出运行时，由相邻牵引变电所构成大双边供电方式时的区间任一点的直流短路电流 [36]。

4.3 短路电流计算方法本文采用电路图法对直流牵引供电系统进行短路计算。这一方法主要考虑城市轨道交通直流牵引供电系统供电回路复杂、回路参数且供电电源较多的特点，按照实际供电网络画出等效电路图，进行网络变换。再将网络变换后的电路图利用基本电路定律——基尔霍夫定律、欧姆定律等进行计算 [37-40]。 13

- 用电路图法进行直流短路计算时需要以下两个假设条件：
- ① 直流牵引网供电系统中，电源电压  $U$  相同，均有直流开关设备提供。
  - ② 牵引变电所为电压源，其内阻  $\rho$  不是固定值，会因不同的短路点而改变。

4.3.1 计算步骤

- (1) 根据实际供电网络建立等效电路图；
- (2) 对等效电路图进行等效变换；
- (3) 根据欧姆定律、基尔霍夫电压定律、基尔霍夫电流定律建立回路方程组；
- (4) 联立方程组，求解未知量。

欧姆定律（VCR）。在电路中，通过某段导体的电流跟这段导体两端的电压成正比，跟这段导体的电阻成反比。 =

(4.1)

基尔霍夫电流定律（KCL）。在同一电路中，所有进入某节点的电流的总和等于所有离开这节点的电流的总和。  $\sum I_k = 0$  (4.2)

其中，  $I_k$  是第  $k$  个进入或离开这节点的电流。

基尔霍夫电压定律（KVL）。在同一电路中，沿着闭合回路所有元件两端的电势差（电压）的代数和等于零。  $\sum U_k = 0$  (4.3)

其中,  $n$  是这闭合回路的元件数目。

#### 4.3.2 单边供电情况下的直流短路(考虑相邻供电分区的影响)

(1) 等效电路图, 如图 4.1 所示。

(2) 根据 KVL 定律, 列出网孔电流方程:

$$\text{网孔 1: } \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = 0 \quad (4.4)$$

$$\text{网孔 2: } \dot{U}_2 - \dot{U}_3 = 0 \quad (4.5) \quad \dot{U}_3 - \dot{U}_4 = 0 \quad (4.6) \quad 14$$

图 4.1 单边供电情况下的直流短路等效电路图联立 4.1、4.2、4.3 可以解得:  $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 - \dot{U}_3 + 2\dot{U}_4$

$$(4.7) \quad \dot{U}_1 = \dot{U}_2 - \dot{U}_3 + 2\dot{U}_4 \quad (4.8)$$

(3) 总短路电流:  $\Sigma =$  (4.9)

$$(4) \text{ 各牵引变电所短路电流: } \dot{U}_1 = - \quad (4.10) \quad \dot{U}_2 = \quad (4.11)$$

式中字母表示含义如下:  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$

——牵引变电所母线电压 (V) (由上述假设条件可知  $\dot{U}_1 =$

, 后文不再区分不同牵引变电所母线电压);  $\dot{U}_3$ 、 $\dot{U}_4$

——牵引变电所内阻 ( $\Omega$ ): 1、2

——接触网(接触轨)电阻 ( $\Omega$ ): 3、4

——走行轨(钢轨)电阻 ( $\Omega$ ):  $\dot{U}_1$

——回路 1 自阻,  $\dot{U}_1 = 1 + 3 + \dot{U}_1$

( $\Omega$ );  $\dot{U}_2$

——回路 2 自阻,  $\dot{U}_2 = 2 + 2 + \dot{U}_2$

( $\Omega$ )。15

#### 4.3.3 双边供电情况下的直流短路(不考虑相邻供电分区的影响)

(1) 等效电路图, 如图 4.2 所示。

图 4.2 双边供电方式下的直流短路(不考虑相邻供电分区的影响)

(2) 根据 KVL 定律, 列出网孔电流方程:

$$\text{网孔 1: } \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = 0 \quad (4.12)$$

$$\text{网孔 2: } \dot{U}_2 - \dot{U}_3 = 0 \quad (4.13)$$

由上式可以解得:  $\dot{U}_1 =$  (4.14)  $\dot{U}_2 =$  (4.15)

(3) 总短路电流:  $\Sigma = +$  (4.16)

$$(4) \text{ 各牵引变电所短路电流: } \dot{U}_1 = \quad (4.17) \quad \dot{U}_2 = \quad (4.18)$$

式中字母表示含义如下:

——牵引变电所母线电压 (V):  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$

——牵引变电所内阻 ( $\Omega$ ): 1、2

——接触网(接触轨)电阻 ( $\Omega$ ): 3、4

——走行轨(钢轨)电阻 ( $\Omega$ ): 16  $\dot{U}_1$

——回路 1 自阻,  $\dot{U}_1 = 1 + 3 + \dot{U}_1$

( $\Omega$ );  $\dot{U}_2$

——回路 2 自阻,  $\dot{U}_2 = 2 + 2 + \dot{U}_2$

( $\Omega$ )。

#### 4.3.4 双边供电情况下的直流短路(考虑相邻供电分区的影响)

(1) 等效电路图, 如图 4.3 所示。

图 4.3 双边供电情况下直流短路(考虑相邻供电分区的影响)

(2) 牵引变电所进行双边供电时, 会对对侧接触网产生影响, 产生互导纳  $R_3$ 。

利用星三角变换可得如图 4.4 所示等效电路图:

$$\text{图中: } 1 = 1 + 3 + 1 + 2 + 3 \quad (4.19) \quad 2 = 2 + 3 + 1 + 2 + 3 \quad (4.20) \quad 3 = 1 + 2 + 1 + 2 + 3 \quad (4.21) \quad 17$$

图 4.4 双边供电方式下直流短路星-三角变化后等效电路图

(3) 据 KVL 定律, 列出网孔电流方程:

$$\text{网孔 1: } 1 = - 2 + 3 + \dot{U}_1 \quad (4.22)$$

$$\text{网孔 2: } 2 = - 1 + 3 + \dot{U}_2 \quad (4.23)$$

$$\text{网孔 3: } \dot{U}_3 - 1 = 0 \quad (4.24)$$

$$\text{网孔 4: } \dot{U}_4 - 2 = 0 \quad (4.25)$$

联立以上方程组可以解得:  $1 = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 + 2\dot{U}_3 + (\dot{U}_3 - 3 - \dot{U}_4 + 2\dot{U}_5) \quad 3\dot{U}_3 - 3 - \dot{U}_4 + 2\dot{U}_5$

$$(4.26) \quad 18 \quad 2 = 1\dot{U}_1 - 3 - \dot{U}_2 + 2\dot{U}_3 - 3 - \dot{U}_4 + 2\dot{U}_5 \quad (4.27) \quad \dot{U}_3 = 1\dot{U}_1 \quad (4.28) \quad \dot{U}_4 = 2\dot{U}_1 \quad (4.29)$$

$$(4) \text{ 根据星-三角变换, 可得原回路短路电流: } \dot{U}_1 = (1 + 2) \quad 3 + 1 + 1 + 1 \quad (4.30) \quad \dot{U}_2 = (1 + 2) \quad 3 + 2 + 2 + 2$$

$$(4.31) \quad \dot{U}_3 = 1 + 1 - 2 + 2 + 3 \quad (4.32)$$

(5) 由以上公式可得总短路电流:  $\Sigma = 1 + 2$  (4.33)

变电所 A 内的短路电流为:  $\dot{U}_1 = \Sigma - \dot{U}_2$  (4.34)

变电所 B 内的短路电流为:  $\dot{U}_2 = \Sigma - \dot{U}_1$  (4.35)

式中字母表示含义如下: 19

——牵引变电所母线电压 (V):  $\dot{U}_1$ 、 $\dot{U}_2$ 、 $\dot{U}_3$ 、 $\dot{U}_4$ 、 $\dot{U}_5$

——牵引变电所内阻 ( $\Omega$ ): 1、2、3、6



、7——接触网（接触轨）电阻（ $\Omega$ ）； 4、 5、 8、 9

——走行轨（钢轨）电阻（ $\Omega$ ）； ◆ ◆

——回路 1 自阻，◆ ◆= 4+ + 1+ 3

（ $\Omega$ ）； ◆ ◆

——回路 2 自阻，◆ ◆= 5+ + 2+ 3

（ $\Omega$ ）； ◆ ◆

——回路 3 自阻，◆ ◆= 6+ 8 + ◆ ◆+

（ $\Omega$ ）； ◆ ◆

——回路 4 自阻，◆ ◆= 7+ 9 + ◆ ◆+

（ $\Omega$ ）。

4.4 本章小结本章主要通过电路图法对直流牵引供电系统的短路电流进行了计算，阐述了计算的内容和意义。继电保护系统定值的准确程度，直接影响到保护动作的灵敏性、选择性、速动性和可靠性。通过计算确定系统的保护定值，我们可以进行相关的设备选型、运行定值的确定，对实际的施工生产具有积极影响。 20

## 第 5 章直流短路试验方案的研究

5.1 直流短路故障分析由于直流短路的触发方式和形式存在差异，为方便研究讨论，根据短路点的状态如：短路点电阻大小、导体间的接触方式等，可以将直流短路故障分为金属性短路与非金属性短路两类。

5.1.1 金属性短路故障金属性短路是指：两个具有不同工作电位的导体通过接触直接连通或者通过金属导线的连接而导通，造成的短路。在这类短路故障中，因为短路点电阻特别小甚至可以忽略不计，根据欧姆定律可知，短路电流必将非常大。在城市轨道交通直流牵引供电系统中经常发生的金属性短路故障，原因就是施工人员或地铁运营人员在进行停电检修时，误把金属工具或其他导体放在了接触轨和钢轨之间而忘记拿走，导致接触轨和钢轨直接接触，或者绝缘卡具被击穿后产生的接触轨和接地铜线直接连通所导致的故障

[13]，以此也体现了采用架空接触网进行直流输

电的优势。

后文制定的短路电流实验方案主要针对的也是金属性短路故障，即通过导体将接触网（接触轨）与钢轨直接连接造成的短路。

5.1.2 非金属性短路故障非金属性短路是指：两个具有不同工作电位的导体虽然没有通过接触或金属导线直接连接，但是经过电阻间接连接而导致的短路故障。这类故障的基本特征是短路点因电阻相对较大，所以短路电流没有金属性短路大，但是短路的持续时间可能会很长，若不能及时发现并处理，会对电气设备产生危害。

在直流牵引供电系统刚投入使用时，被整体绝缘支座稳定在道床上的钢轨是与接地扁钢完全绝缘的

[14]。但随着使用年限的增加及轨道交通区间内恶劣环境

带来的腐蚀，绝缘卡具会发生绝缘老化现象，导致泄漏电流（即为杂散电流）通过卡具到达接地扁钢，最后经过变电所接地环网回到变电所内负极柜，可能导致框架保护跳闸，这类由于绝缘老化出现短路故障也被称为非金属性短路故障。现如今为防止绝缘老化而产生的故障跳闸，城市轨道交通设置了杂散电流防腐蚀系统针对这一情况，本文不对此做详细介绍。

5.2 直流短路试验方案的制定流程直流短路试验因其本身会产生较高的短路电流，一旦发生事故将产生无法挽回的影响，因此在试验前必须制定周全的短路试验方案，确保试验过程不发生问题，且能在出现事故后妥善处理。直流短路试验方案的制定流程如下图 5.1

所示。 21

图 5.1 直流短路试验方案制定流程

## 5.3 直流短路试验方案的编制依据及目的

5.3.1 直流短路试验方案的编制依据直流短路试验方案的编制应结合现行的国家标准规范如：电气装置安装工程中的电气设备交接试验标准（GB50150-2016）、电气安装工程规程（GB26860-2011）

等；针对于城市轨道交通的供电系统工程施工质量验收标准指南；中华人民共和国铁道部牵引变电所安全工作规程及运行检修规程；以及具体短路试验实施工程的相关系统图纸、施工图纸、设计单位给出的保护整定值、设备生产厂家提供的供电设备具体参数等。

## 5.3.2 直流短路试验的目的

（1）验证试验项目牵引供电系统对突发短路的承受能力；

（2）验证牵引供电系统继电保护动作的灵敏性、选择性、速动性及可靠性；

（3）校验直流开关及保护装置整定值的准确性；

（4）校验牵引供电系统保护回路的完整性及准确性。

步骤九：撰写直流短路试验方案步骤八：明确应急处理办法步骤七：制定短路试验流程步骤六：分析试验前应进行的准备工作步骤五：通过相关参数进行短路电流计算步骤四：进行试验点选择及参数确定步骤三：结合实际分析具体工程概况步骤二：明确短路试验的目的步骤一：了解试验方案的编制依据 22

## 5.4 短路试验前准备工作

5.4.1 短路试验组织机构短路试验是对整个直流供电系统保护是否有效的一次严峻考验，短路试验要严格按照固定的程序执行；为保证短路试验安全、顺利进行，需成立以各相关单位领导及工程技术管理人员组成的试验领导组、现场指挥组、现场监督组以及现场实施小组，明确各组的职责和分工，把任务分解到参加本次试验的每个人，保证试验的顺利完成。

图 5.2 短路试验组织机构

5.4.2 短路试验工器具准备短路试验前各类检修（抢修）工机具、仪器仪表、备品备件等应配备齐全，

详见下表 5.2：

表 5.2 短路试验工器具序号项目数量备注

1 防拒动装置 1 台



- 型号为 JSS48A-2Z-DC220V-10ms 时间继电器 1 个
- 2 绝缘电阻表 2 台设备、接触网绝缘测试
- 3 直流电阻测试仪 1 台测量回路电阻
- 4 便携式计算机 1 台与保护装置通信
- 5 电工工具 2 套万用表、螺丝刀等
- 6 接触网短路装置 2 套
- 汇流排电连接线夹、过渡线、电连接线  
(150mm<sup>2</sup>)、钢轨接地线连接线夹等
- 7 力矩扳手 4 套 20-200N·m
- 8 800M 手台 5 对通讯设备
- 9 直流验电器 2 只接触网验电 23
- 序号项目数量备注
- 10 电力复合脂 1 盒线夹和钢轨连接处使用
- 11 临时接地线 4 根接触网作业时接地
- 12 电动磨光机 2 台钢轨除锈
- 13 绝缘靴、绝缘手套 4 套试验操作时使用
- 14 应急照明设备 3 套应急照明
- 15 灭火器 10 套试验现场配备
- 16 安全警示带 2 套试验现场安全警示作用
- 17 安全警示标识 4 套试验现场安全警示作用
- 5.4.3 接触网短路点技术安全保证措施近端接触网对钢轨的短路采用 2 根 150mm<sup>2</sup> 接地线进行接触网接地，单根长度为 6m。

指 标
疑似剽窃文字表述
<ol style="list-style-type: none"> <li>城市轨道交通直流牵引供电系统是由多个牵引变电所和牵引网一起组成的多电源网络。当接触网出现问题时，不仅只有靠近短路点的两座牵引变电所供电，而且影响到了全线的牵引变电所。</li> <li>本文采用电路图法对直流牵引供电系统进行短路计算。这一方法主要考虑城市轨道交通直流牵引供电系统供电回路复杂、回路参数且供电电源较多的特点，按照实际供电网络画出等效电路图，进行网络变换。</li> <li>电路图法进行直流短路计算时需要以下两个假设条件： <ol style="list-style-type: none"> <li>① 直流牵引网供电系统中，电源电压 U 相同，</li> </ol> </li> <li>两类。 <ol style="list-style-type: none"> <li>5.1.1 金属性短路故障金属性短路是指：两个具有不同工作电位的导体通过接触直接连通或者通过金属导线的连接而导通，造成的短路。在这类短路故障中，因为短路点电阻</li> </ol> </li> <li>导致的短路故障。这类故障的基本特征是短路点因电阻相对较大，所以短路电流没有金属性短路大，但是短路的持续时间可能会很长，</li> <li>是对整个直流供电系统保护是否有效的一次严峻考验，短路试验要严格按照固定的程序执行;为保证短路试验安全、</li> </ol>

3. 017_第3部分	总字数：9340
相似文献列表	
去除本人文献复制比：5.2%(488)      文字复制比：5.2%(488)      疑似剽窃观点：(0)	
1	安全应急知识培训记录正文-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》- 2012
2	钓鱼防触电及有关常识_独钓申江 - 《网络 ( <a href="http://blog.sina.com">http://blog.sina.com</a> ) 》- 2018
3	钓鱼防触电及有关常识_老汤姆 - 《网络 ( <a href="http://blog.sina.com">http://blog.sina.com</a> ) 》- 2012
4	污水处理厂受电方案修改版1资料.doc - 《网络 ( <a href="https://www.niuwk.co">https://www.niuwk.co</a> ) 》- 2020
5	1安全生产责任制-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》- 2012
6	电业安全工作规程(发电厂和变电所电气部分)-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》- 2012
7	煤矿工种操作规程-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》- 2012

8	硫酸开车事故应急救援预案(正式版)-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2012	1.9% (176) 是否引证: 否
9	SOS房上海房产网: 中华人民共和国行业标准 - 《网络 ( <a href="http://www.sosfang.c">http://www.sosfang.c</a> ) 》 - 2010	1.9% (174) 是否引证: 否
10	触电急救和外伤救护.doc - 《网络 ( <a href="https://www.niuwk.co">https://www.niuwk.co</a> ) 》 - 2020	1.9% (174) 是否引证: 否
11	项目组应急预案【方案预案】.doc.doc下载 - 《网络 ( <a href="https://www.sanbiaog">https://www.sanbiaog</a> ) 》 - 2020	1.9% (174) 是否引证: 否
12	电力安全作业规程(热力和机械部分)-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2012	1.9% (174) 是否引证: 否
13	新员工风电场工作安全培训教育-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2012	1.8% (167) 是否引证: 否
14	倒闸操作票“五制” - 百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="https://wenku.baidu.c">https://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2019	1.7% (163) 是否引证: 否
15	触电事故——事故现场处置预案-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2012	1.7% (160) 是否引证: 否
16	电气施工四措两案99.doc - 《网络 ( <a href="https://www.niuwk.co">https://www.niuwk.co</a> ) 》 - 2020	1.7% (155) 是否引证: 否
17	中级电工教材-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2012	1.4% (128) 是否引证: 否
18	南水北调大桥挂篮悬臂浇筑安全应急预案.doc - 《网络 ( <a href="https://www.niuwk.co">https://www.niuwk.co</a> ) 》 - 2020	1.2% (114) 是否引证: 否
19	安全生产知识培训——孙剑锋-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2012	1.1% (102) 是否引证: 否
20	35kV变电站隔离开关大修四措一案 - 《网络 ( <a href="http://www.wendangku">http://www.wendangku</a> ) 》 - 2020	1.1% (101) 是否引证: 否
21	变电倒闸操作标准化程度及要求 赵忠义, 梁锋云, 赵剑波 - 《水利电力劳动保护》 - 2003-09-30	1.1% (101) 是否引证: 否
22	10HSE作业计划书.doc - 《网络 ( <a href="https://www.niuwk.co">https://www.niuwk.co</a> ) 》 - 2020	1.0% (95) 是否引证: 否
23	坠落倾覆打击机械触电等应急预案doc.doc - 《网络 ( <a href="https://www.niuwk.co">https://www.niuwk.co</a> ) 》 - 2020	1.0% (95) 是否引证: 否
24	002施工现场安全事故应急预案专项方案HNHEFA002DOC.doc - 《网络 ( <a href="https://www.niuwk.co">https://www.niuwk.co</a> ) 》 - 2020	1.0% (95) 是否引证: 否
25	垂钓放风筝请远离电力设施 触电急救必须准确坚持   新闻中心   常州第一门户网 中国常州网 常州龙网 常州日报 常州晚报 - 《网络 ( <a href="http://www.cz001.com">http://www.cz001.com</a> ) 》 - 2015	1.0% (94) 是否引证: 否
26	浅谈安全用电 印庆永; - 《电子世界》 - 2013-10-30	1.0% (92) 是否引证: 否
27	维修电工安全操作第5讲-百度文库 - 《互联网文档资源 ( <a href="http://wenku.baidu.c">http://wenku.baidu.c</a> ) 》 - 2012	0.9% (84) 是否引证: 否
28	项目监理风险防范与规避 田西超; - 《城市建设理论研究(电子版)》 - 2017-06-25	0.4% (38) 是否引证: 否

## 原文内容

接地线与汇流排连接端,通过接地线上的铜铝过渡线夹与刚性悬挂汇流排上的电连接线夹进行连接,接地线与铜铝过渡线夹的连接要提前压接预制完成。

接地线与钢轨的连接,通过铜接线端子与钢轨接地线夹连接,接地线不得与轨面接触并确保牢固。接地线夹与钢轨连接处打磨除锈并涂电力复合脂,以降低接触电阻,确保连接可靠。

各部分螺栓需使用力矩扳手按照要求的力矩进行紧固,紧固力矩负荷

《GB50149-2020 电气装置安全工程》的相关技术要求,现场连接示意图如下图

5.3 所示:

图 5.3 接触网与钢轨连接示意图接地线及短接线的接线、拆线应严格按照顺序进行,接线时:应先接钢轨侧的接地线夹,后接汇流排侧的铜铝过渡线夹;拆线时:应先撤除上端汇流排侧的铜铝过渡线夹,后拆除钢轨侧的接地线夹。 24

#### 5.4.4 试验前现场准备工作

(1) 对设备状态及开关位置进行确认。为保证试验的安全有效进行，试验前应应对设备状态进行确认：整流机组、负极柜、钢轨电位限制装置处于正常工作状态；直流开关柜、负极柜绝缘状况良好；直流断路器、上网隔离开关及排流柜均处于分闸状态，且不涉及本试验的其他开关柜断路器小车应拉出至试验位置；

确保所有联跳空气开关处于合位，联跳回路完好可以正常工作。

(2) 对试验直流短路器的回路电阻进行测试并记录。

(3) 由相关负责人和技术人员对本次试验设备的保护定值进行设置并确认。

#### 5.5 防拒动保护措施的研究

5.5.1 防拒动措施研究的原因及目的短路试验不仅仅是对直流系统的一次严峻考验，也是对试验团队能力的一次测试，因为短路试验会产生极高的电流，如果直流开关断路器或整流变压器不能及时切断电源终止故障，将严重危害到人身及设备的安全。

为了提高短路试验的安全性，确保在设备因为某些原因不能跳闸时，仍能及时的分开断路器，实验组经过研究提出了一种新型且基于工程实际的防拒动措施。

##### 5.5.2 防拒动措施

5.5.2.1 设计思路在牵引供电系统的继电保护设置中，无论是大电流脱扣保护还是电流上升率保护、过流保护等都设置了动作时间，即在满足动作条件的情况下，达到动作延时时间，保护才会启动。基于这个原理，试验组考虑使用时间继电器串联在试验现场设备的跳闸备用节点上，通过设置继电器的启动时间来确保设备能及时跳闸。

5.5.2.2 装置参数设置利用型号为 JSS48A-2Z-DC220V（带有延时回路）的时间继电器，制作成防拒动装置。装置的时间整定精度定为  $t_1$ ，具体数值的确定应与不同直流开关柜的电流速断保护  $I_G$  和电流增量保护  $\Delta I$  的动作延时整定值  $t_G$

相关，如：某直流开关柜的动作延时  $t_G$

启动时间为 5ms，则  $t_1$

1 的数值应在 10ms—15ms 之间取值。防拒

动装置的延时整定精度定为  $t_2$ ，具体数值的确定应与不同直流断路器的大电流脱扣保护启动时间来确定，如：某直流断路器开关的大电流脱扣保护启动时间为

30ms，则  $t_1$

的数值应在 40ms—60ms 之间取值。

将装置的启动回路串联至直流馈线断路器的常开辅助接点，将装置的延时启动回路串联至相应高压开关柜（用以控制整流变压器输入电压）的备用跳闸回路，

如图 5.4 所示。 25

图 5.4 防拒动装置接线图

5.5.2.3 防拒动措施的使用方法防拒动装置在短路试验中具体的实施步骤如下：

(1) 在高压开关柜前放置防拒动装置和操作用笔记本电脑；

(2) 使用 1 根电缆从变电所内取 DC200V 电源给防拒动装置供电；

(3) 使用 3 根电缆，根据防拒动装置接线图分别接至直流试验开关柜、控制 1#整流变压器及 2#整流变压器的高压开关柜；

(4) 在正式进行短路试验前，检查确认接线及开关状态，确认无误后，先进行防拒动试验：在高压开关柜隔离开关分闸、断路器合闸情况下（即整流变压器处于失电状态），合直流试验开关柜断路器，若防拒动装置能按照设定时间延时启动，则高压开关柜相应断路器跳闸，防拒动试验成功，防拒动装置可正常投入使用。

除设置防拒动装置以外，短路试验时仍应当设置人工后备切除措施，即在高压开关柜前配备相关技术人员，作好短路试验时高压开关柜紧急分闸的准备。

#### 5.6 短路试验的操作过程及应急处理措施

5.6.1 短路试验的操作过程短路试验前应提前制定《倒闸操作票》，操作时严格按照“监护人制度”执行：

(1) 监护人和操作人应佩戴好绝缘手套和绝缘靴，操作时站立于绝缘垫上，操作人在前，监护人在后，二者应共同核对设备名称、编号；

(2) 监护人员根据操作票所列顺序，逐项“唱票”，唱票时口齿清晰、认真严肃；操作人手指设备编号复诵命令，监护人确认无误后，发令“执行”，

操作人方可操作。

(3) 单项操作完成后，检查设备及开关状态，确认无误后立刻在该项上画√，

并记录操作时间。

(4) 全部操作完成后，应全面检查执行情况，确认无误立刻向发令人汇报；

(5) 如在操作过程中发现异常情况应立即停止操作，待情况弄清后继续操作。 26

5.6.2 短路试验结束短路试验结束后，应对所有试验区段进行检查，并由电气试验人员进行数据记录和整理，摘除接地线和防拒动装置，将设备原有接线和保护定值等恢复到初始状态，确认无误具备恢复正式供电条件后，向调度室报告短路试验结束，撤离试验现场。

##### 5.6.3 应急处理措施

###### 5.6.3.1 风险源辨识

(1) 人员与带电体接触发生的触电事故；

(2) 直流牵引供电系统设备及电缆绝缘受损导致的爆炸、火灾；

(3) 其他安全风险源。

5.6.3.2 应急组织机构为加强对事故应急救援抢修工作的处置能力，设立以项目经理为组长、安全总监为副组长的应急响应领导小组。



组长职责：确认现场紧急状况，迅速有效地进行应急响应策略，迅速查明事故原因，向业主、监理等有关部门上报，上报内容包括：事故发生的时间、地点、

经过、有无人员伤亡、事故原因的初步判断、抢修处理情况和采取的措施等。

副组长职责：执行组长指令，负责统筹人员、资源配置。第一时间组织事故抢修组、安全保障组、后勤保障组开展清理现场、应急救援抢修工作。

组员职责：明确分工，在事故现场的处置、抢修方案的制定及实施过程必须服从组长及副组长命令，迅速完成负责各自业务范围内的应急工作。

#### 5.6.3.3 人员触电应急处置流程

(1) 脱离电源急救时，首先要使触电者脱离带电体：救护人员应设法切断电源，或配戴适合绝缘工具（包括绝缘手套、绝缘靴）使用绝缘棒或其他非导体解脱触电者。救护人员在抢救过程中应注意保持自身与带电体的安全距离。

#### (2) 伤员脱离电源后的处理

①触电伤员如果神志清醒，应使其就地平躺，暂时不要站立或走动。

②触电伤员如果神志不清，应使其就地仰面平躺，确保其呼吸通畅，呼叫伤员或轻拍其肩部，以判定伤员是否丧失意识。

③如果判断伤员需要抢救，应立即对触电人员采用心肺复苏法，同时与第一时间与医疗部门联系，争取医务人员接替救治。

#### 5.6.3.4 火灾事故应急处置流程

(1) 现场突发火灾后，现场人员在灭火有利时机内，在保证自身安全的前提下立即采取扑救措施；

(2) 灭火时应按照“先控后灭”的程序，先控制火势蔓延，然后扑灭火源，防止事故继续扩大；

(3) 发生电气火灾时，应先设法切断电源，然后组织扑救，防止触电事故发生；

(4) 由于地下环境复杂，可能存在开关设备绝缘强度降低等情况，切断电源时应使用适当的绝缘工具进行操作；

(5) 使用灭火器时，应注意与带电体之间的安全距离。

5.6.3.5 变电所直流系统设备故障应急处置流程当变电所内直流开关柜或整流机组发生严重故障时，巨大的短路电流会熔断直流开关断路器触头、整流机组的快速熔断器，甚至击穿整流二极管，烧坏二极管保护模块。发生设备故障时的抢修流程如下：

(1) 通过保护装置，记录现场的设备故障信息（检查确认保护动作类型且做好记录，留下相关影像资料）；

(2) 听从现场指挥人员指令，对故障设备进行停电和防护工作；

(3) 对完成停电的设备进行验电、放电并利用外接地线将设备可靠接地；

(4) 将有故障的断路器手车拉出仓外，对备用小车进行投运前检测；

(5) 检查直流母排，进线、馈线电缆；

(6) 检查故障设备的二次回路并更换受损的线路和元器件；

(7) 确定整流机组状态，对烧毁的熔断器和二极管等电气元件进行更换；

(8) 测试更换备件后的直流开关柜、整流机组的绝缘性能；

(9) 重新对设备进行电气试验。

5.6.3.6 接触网事故应急处置流程当接触网因短路试验发生故障时，受巨大电流的影响，短路试验使用的接地线可能会被电流击穿，甚至可能烧毁接触线及汇流排。发生此类事故时的抢修流程如下：

(1) 对试验区域的接触网进行停电、验电后挂接地线；

(2) 检查绝缘子有无击穿现象，汇流排及其相关电气附件有无烧伤痕迹；

(3) 检查接触线及钢轨的烧伤情况；

(4) 检查接触网周围及附近地面是否有其他异物，确定接触网事故发生原因；

(5) 将事故原因上报，事故现场留下影像资料，形成事故分析报告；

(6) 组织人员对受损部位进行更换。

5.7 本章小结本章首先区分了直流短路故障的两种类别：金属性短路和非金属性短路，并针对城市轨道交通中的金属性短路制定了短路试验方案。详细阐述了方案的制定流程，并对方案的编制依据、短路试验的目的、试验前的准备工作、试验内的操作过程和应急处理措施进行了描述。在试验前的准备工作中提出了一种基于工程施工的新型防拒动措施，为实际的短路试验过程提供了便利条件，提高了短路试验的安全性和可靠性。

## 第 6 章徐州城市轨道交通 1 号线直流短路试验

6.1 徐州城市轨道交通 1 号线概况徐州城市轨道交通 1 号线是江苏省徐州市开通的第一条城市轨道交通线路，

其于 2014 年开工建设，一期工程于 2019 年 9 月 28 日正式运营[

37]。徐州城市轨

道交通 1 号线呈东西走向，其西起于铜山区路窝站，东至贾汪区徐州东站，途经泉山区、鼓楼区、云龙区，途经徐州市人民广场、彭城广场、淮海广场及万达广场等多处商业中心，连接徐州汽车总站、徐州火车站和徐州东站三大客运枢纽[ 38]。

徐州城市轨道交通 1 号线全长 21.967 千米，其中高架线 0.571 千米，地下线 20.996

千米，地面过渡段 0.4 千米；共设 18 座车站（见图 6.1），其中高架站 1 座，地下站 17 座，1 个控制中心，1 个车辆段，1 个停车场。

图 6.1 徐州城市轨道交通 1 号线线路图徐州城市轨道交通 1 号线供电系统采用集中供电形式，110/35kV 两级电压制式，在杏山子站、乔家湖站附近设置两座主变电站，为权限的牵引负荷及动力照明负荷供电。直流牵引供电系统采用 DC1500V 接触网授流方式，全线共设置包括路窝站、杏山子站、韩山站、苏堤路站、民主北路站、铜山路站、庆丰路站、

乔家湖站、徐州东站、车辆段、停车场在内共 11 座牵引降压混合变电所，设置工农路站、人民广场站、徐医附院站、彭城广场站、徐州火车站、子房山站、黄山垅站、医科大学站、金龙湖站、徐州东站共计 10 座降压变电所，以及 8 座跟随式降压变电所，共计变电所 29 座。



## 6.2 徐州市轨道交通 1 号线短路试验过程

### 6.2.1 短路试验点的选择

6.2.1.1 短路点的选择依据徐州轨道交通 1 号线供电系统图，本工程牵引变电所布置情况如下：

表 6.1 徐州轨道交通 1 号线牵引变电所布置情况表  
变电所名称 路窝站 杏山子站 韩山站 苏堤路站 民主北路站 车站中心里程  
K1+205 K3+253 K5+345 K8+036 K10+651

牵引所间距 (km) 2.048 2.092 2.691 2.616 29

整流机组容量 2\*2200 2\*2200 2\*2200 2\*2200 2\*2200

变电所名称 铜山路站 庆丰路站 乔家湖站 徐州东站 车站中心里程 K13+910 K16+497 K18+667 K22+412

牵引所间距 (km) 3.259 2.586 2.170 3.745

整流机组容量 2\*2200 2\*2200 2\*2200 2\*2200

短路试验点位置主要从两方面考虑：

(1) 直流 1500V 供电臂的长度；

(2) 直流保护的配合：大电流脱扣、 $\Delta I$ 、 $di/dt$ 、瞬时过电流跳闸等。

根据短路试验的目的以及施工现场的实际条件等因素，选择杏山子站牵引降压变电所为试验变电所，杏山子站上行 2141 隔离开关往韩山站方向 30m 处悬挂地线为短路点 (K3+253)，作为单边供电方式下近端接触网对钢轨的短路试验方案；苏堤路站上行 2121D 可视化接地为短路点，作为越区支援下远端接触网对钢轨的短路试验方案。

6.2.1.2 单边供电方式下近端接触网对钢轨的短路试验选择杏山子站 214 开关作为单供电臂近端直流短路试验。杏山子站至韩山站由杏山子站单边供电，韩山站不向接触网供电。短路试验后杏山子站 214、201

(直流进线 1)、202 (直流进线 2)、121 (整流变压器 1)、123 (整流变压器 2)

开关及韩山站 212 开关跳闸，试验前开关状态及线路带电状态如下图 6.2 所示：

图 6.2 近端接触网对钢轨的短路试验示意图

6.2.1.3 越区支援供电方式下远端接触网对钢轨的短路试验从越区供电距离考虑，越区供电直流短路试验选择为杏山子站至苏堤路站牵引变电所 (站间距为 4783 米)。试验区段由杏山子站向苏堤路站进行越区单边供电，韩山站、苏堤路站不向接触网供电，试验开关为杏山子站 214 开关，短路地点定于苏堤路站上行 2121D 可视化接地装置，采用装置合闸方式实施短路。(说明：据设计院及厂家确认，可视化接地装置短时耐受电流为 20kA/0.25s，越区远端短路电流预计为 7000A，满足技术要求。) 短路试验后，杏山子站 214、121、

123 开关、苏堤路站 212 开关跳闸，断路器前开关状态及带电状态如下图 6.3 所示：

示：

图 6.3 远端接触网对钢轨的短路试验示意图

### 6.2.2 短路试验操作过程

6.2.2.1 防拒动试验操作过程 试验前为确保试验的安全性及可靠性，先进行防拒动试验，根据直流开关柜保护定值及设计院、设备厂家负责人确认，防拒动装置时间整定参数  $t_1$  设定为

10ms， $t_2$  设定为 50ms。具体实施步骤如下：

(1) 在 35kV 开关柜前放置一台办公桌，放置防拒动装置和维护用笔记本电脑。

(2) 使用 1 根 3\*4mm<sup>2</sup> 电缆从交直流屏取 DC220V 电源给防拒动装置供电。

(3) 使用 3 根 3\*1.5mm<sup>2</sup> 电缆，从防拒动装置分别敷设至直流开关柜试验馈线柜 214，35kV 开关柜 1#、2#整流变馈线柜 121、123。

(4) 检查接线良好，确认各开关具体情况无误后，进行模拟防拒动试验。

(5) 在 35kV 开关柜 1#、2#整流变馈线柜隔离开关分闸、断路器合闸情况下，合试验直流断路器，防拒动装置能按照设定时间，延时启动 35kV 开关柜 1#、

2#整流变馈线跳闸，防拒动试验成功。

6.2.2.2 单边供电近端接触网对钢轨短路试验操作过程表 6.2 单边供电近端接触网对钢轨短路试验操作过程操作顺序操作项目 1

确认杏山子站上网隔离开关 2141 靠近韩山站方向 30m 处短路点处接触网对钢柜接地可靠；

2 撤除试验区段的临时接地线、人员撤离短路点 30m 外；

3 合韩山站直流馈线 212 开关；

4 将杏山子站直流进线开关 201、202、214 小车推至工作位；

5 合杏山子站直流进线 201、202 开关； 31

操作顺序操作项目

6 合杏山子站上网隔离开关 2141； 7

杏山子站变电所无关人员撤离，进行短路试验，遥控合杏山子站直流馈线开关 214； 8

向现场指挥组汇报跳闸情况，短路点试验组报告短路点火花情况；各变电所报告轨电位限制装置动作情况并作好记录；

9 分杏山子站上网隔离开关 2141；

10 将杏山子站 201、202、214 小车拉至试验位，检查开关触头；

11 验明试验区段无电；在试验区段短路点两端挂临时接地线；

12 拆除短路点处接触网与钢轨的短接线；

13 检查短路点导线及钢轨短路试验后的烧损情况，并向现场指挥组汇报； 14

确认相关设备无异常后，对短路试验现场进行恢复，并向电调报告短路试验完成。

6.2.2.3 越区供电远端接触网对钢轨短路试验操作过程表 6.3 越区供电远端接触网对钢轨短路试验操作过程操作顺序操作项目

1 合苏堤路站上行可视化接地装置 2121D 隔离开关；

- 2 撤除试验区段的临时接地线、人员撤离短路点 30m 外；
- 3 合韩山站越区隔离开关 2124；
- 4 合苏堤路站直流馈线 212 开关；
- 5 将杏山子站直流进线开关 201、202、214 小车推至工作位；
- 6 合杏山子站直流进线 201、202 开关；
- 7 合杏山子站上网隔离开关 2141；8

杏山子站变电所无关人员撤离,进行短路试验,遥控合杏山子站直流馈线开关 214；9

向现场指挥组汇报跳闸情况,短路点试验组报告短路点火花情况;各变电所报告轨电位限制装置动作情况并作好记录;

- 10 分杏山子站上网隔离开关 2141;
- 11 分杏山子站直流进线开关 201、202;
- 12 将杏山子站 201、202、214 小车拉至试验位,检查开关触头;
- 13 分韩山站越区隔离开关 2124;
- 14 验明试验区段无电;在试验区段短路点附件挂临时接地线;

15 分苏堤路路上行可视化接地装置 2121D 隔离开关;16

检查苏堤路站 2121D 隔离开关及钢轨的烧损情况,并向试验现场指挥组汇报;17

确认相关设备无异常后,对短路试验现场进行恢复,并向电调报告短路试验完成。32

6.2.2.4 短路试验结束短路试验结束后,对杏山子站内及轨行区内涉及短路试验地点进行全面检查,

电气试验组测量直流断路器回路电阻与试验前测量值进行对比,摘除防拒动装置,

对相关接线及保护定值进行恢复。确认设备具备正式供电条件后,向电调报告短路试验结束,根据电调指令恢复正常供电

### 6.3 试验结果分析

#### 6.3.1 单边供电近端接触网对钢轨短路近端短路分析

##### 6.3.2.1 单边供电 212 近端短路保护装置记录

212 近端短路点位置杏山子站,接地点距离变电所约 100 米。试验过程中直

流开关柜 212 可靠跳闸。跳闸保护为瞬时过电流  $3I>$  保护跳闸,见图 6.4。跳闸时电流为 39290A,电压为 DC229V。

图 6.4 212 近端短路跳闸记录跳闸峰值电流为 39856A,见图 6.5。由于 MS 保护装置的最大采样电流为

$10I_n$ ,结合峰值波形可见,当电流达到峰值过程时,有 6ms 的时间段是基本保持

平行不变的。根据短路电流的波形走势可知,212 近端短路峰值电流已经超过保护装置可采集最大范围。

图 6.5 212 近端短路跳闸电流峰值

212 近端短路 MS 保护装置记录的完整的跳闸波形,见图 6.6;由跳闸波形

可见,在-8ms 时断路器由分位变合位,短路电流迅速增长同时保护启动,在-8ms 33

至 3ms 过程中电流是持续增长过程,电流从 0A 增长至 39433A;同时保护装置发出跳闸信号。瞬时过电流  $3I>$  保护设置定值:  $I_s$  (跳闸电流): 8000A;  $t_s$  (跳闸延时): 10ms; 3ms 是电流远大于瞬时过电流  $3I>$  保护设置定值,瞬时过电流跳闸是符合正确的。6s 时电流时电流发展到峰值电流,35ms 时断路器完全熄弧。

图 6.6 保护装置记录的跳闸波形保护装置 SOE 事件记录,见图 6.7。

在 SOE 事件记录中可见,短路试验过程中,启动了低电压、电流上升率  $di/dt$

保护、电流突变保护、瞬时过电流保护、延时过电流保护。其中首先达到跳闸条件瞬时过电流保护  $3I>$ ,在其发出跳闸命令并分闸过程中启动了电流上升率  $di/dt$

保护并跳闸。

瞬时过电流  $3I>$  保护的定值  $I_s$  (跳闸电流): 8000A;根据跳闸波形可知,212

近端短路试验时,3ms 后电流达到 12629A。由于是合闸后 3ms 超过瞬时过电流保护  $I_s$  定值,所以保护马上发出跳闸命令。瞬时过电流保护  $3I>$  跳闸是符合定值的正确跳闸。

电流上升率  $di/dt$  保护定值为:  $G$  (保护启动斜率): 40A/ms,  $t_G$  (跳闸延时): 40ms;结合图三保护装置记录的跳闸波形可知,短路试验启动瞬间的斜率为

1100A/ms,达到电流上升率  $di/dt$  启动条件,  $di/dt$  跳闸命令发出是在 40ms 后发出

的,所以根据以上条件可得,电流上升率  $di/dt$  保护跳闸是正确保护跳闸。

图 6.7 212MS 保护装置 SOE 事件记录 34

##### 6.3.2.2 单边供电近端短路 201 进线柜分析

201 保护装置 SOE 事件记录,见图 6.8;保护跳闸是大电流脱扣。

图 6.8 201 保护装置 SOE 事件记录

201 保护装置跳闸录波,见图 6.9。在跳闸波形中可见,201 跳闸峰值电流为

21259A,大于大电流脱扣整定值 12000A。201 直流断路器跳闸大电流脱扣是正

确分断,符合设计整定值。

图 6.9、201 保护装置跳闸录波

##### 6.3.2.3 单边供电近端短路 202 进线柜分析

202 保护装置 SOE 事件记录,见图 6.10;保护跳闸是大电流脱扣。

图 6.10、202 保护装置 SOE 事件记录

202 保护装置跳闸录波,见图 6.11。在 202 跳闸波形中可见,202 跳闸峰值 35

电流为 21622A,大于大电流脱扣整定 12000A。202 直流断路器跳闸大电流脱扣是正确分断,符合设计整定值。

图 6.11 202 保护跳闸录波

#### 6.3.2 越区供电远端接触网对钢轨短路分析

6.3.2.1 越区供电 214 远端短路保护装置记录  
214 远端短路点位于苏堤路站可视化接地，试验过程中直流开关柜 214 可靠跳闸。跳闸保护为电流上升率  $di/dt$  跳闸，见图 6.12。跳闸时电流为 7456A，电压为 DC1411V。  
图 6.12 214 远端短路跳闸为  $di/dt$   
214 远端短路跳闸峰值电流为 10295A，见图 6.13。

指 标		
疑似剽窃文字表述		
1. ②触电伤员如果神志不清，应使其就地仰面平躺，确保其呼吸通畅，呼叫伤员或轻拍其肩部，以判定伤员是否丧失意识。 ③如果判断伤员需要抢救，应立即		
4. 017_第4部分		总字数：2323
相似文献列表		
去除本人文献复制比：0%(0)	文字复制比：0%(0)	疑似剽窃观点：(0)
原文内容		

图 6.13 214 远端短路跳闸电流峰值 36  
214 保护装置记录的完整的跳闸波形见图 6.14；由跳闸波形可见，在-40ms 时断路器由分位变合位，电流迅速增长同时保护启动。在-40ms 至 0ms 过程中电流是持续增长过程，电流从 0A 增长至 7456A；电流变化率为 186.4A/ms。电流上升率  $di/dt$  设置定值为：G（保护启动斜率）：40A/ms，tG（跳闸延时）：40ms。此时电流变化情况完全达到电流上升率  $di/dt$  保护定值，保护装置在 0ms 时发出跳闸信号。由于保护装置发出命令至断路器分闸并完全熄弧有延时，所以在 34ms 时短路电流达到峰值 10295A，并在 87ms 时断路器完全分断电流。  
图 6.14 保护装置记录的跳闸波形保护装置 SOE 事件记录，见图 6.15。  
图 6.15 MS 保护装置 SOE 事件记录在 SOE 事件记录中可见，短路试验过程中，启动了低电压、电流上升率  $di/dt$  保护、电流突变保护、延时过电流保护、瞬时过电流保护。其中首先达到跳闸条件的是电流上升率  $di/dt$  保护，在其发出跳闸命令并分闸过程中启动了瞬时过电流保护并跳闸。电流上升率  $di/dt$  保护定值为：G（保护启动斜率）：40A/ms，tG（跳闸延时）：40ms；结合图三保护装置记录的跳闸波形可知，短路试验启动瞬间的斜率为 136A/ms，达到电流上升率  $di/dt$  启动条件，40ms 后的电流为 7456A。跳闸命令发出是在 40ms 后发出的，所以根据以上条件可得，电流上升率  $di/dt$  保护跳闸是正确的。在断路器分闸过程中任然会有电流上升过程，峰值电流为 10295A，瞬时过电流  $3I>$ 保护的定值  $I_s$ （跳闸电流）：8000A；所以瞬时过电流保护  $3I>$ 跳闸也是符合定值的正确跳闸。 37  
6.3.2.2 越区供电 214 远端短路时杏山子站钢轨电位限制装置保护动作  
214 远端短路时杏山子站钢轨电位限制装置  $U>>$ 保护动作。测量到的最大电压为 170.4V（见图 6.16），大于  $U>>$ 定值 150V。所以钢轨电位限制装置  $U>>$ 保护动作是符合定值的正确动作。  
图 6.16 钢轨电位限制装置电压测量  
6.3.3 试验数据综合分析  
1、杏山子站直流断路器 214 开关进行单边供电方式下接触网对地短路，短路点位于苏堤路站上行可视化接地，直流开关柜至短路接地点为远端短路。短路电流最大值为 10295A，短路试验电流上升率为 186.4，该值超过电流上升率保护和瞬时过电流整定值。短路后，电流上升率和瞬时过电流保护启动，证明这两个保护均能保护到越区供电的末端。  
2、杏山子站直流开关柜 212 开关以单边供电方式下接触网对近端钢轨短路，短路点在杏山子站上行区间距离变电所距离约 100m，直流开关柜至短路接地点为近端短路。短路电流最大值为 42800A（两台进线柜峰值电流总和），该值远远超过瞬时过电流保护整定值。短路后，保护动作为瞬时过电流保护。直流断路器近端短路后，断路器小车无明显烧痕，断路器近端短路能够准确分断。  
通过短路试验，徐州城市轨道交通 1 号线整定值能够保护到越区供电的末端短路情况，直流断路器可承受近端短路电流。短路试验后断路器触头图片： 38  
图 6.17 214 远端短路试验后触头情况图 6.18 212 远端短路试验后触头情况图 6.19 214 近端短路试验后触头情况图 6.20 212 近端短路试验后触头情况  
6.4 本章小结本章以徐州轨道交通 1 号线牵引供电系统的近端及远端短路为例，介绍了徐州城市轨道交通 1 号线的概况，利用上文制定的短路试验方案和新型的防拒动装置进行了测试，试验结果验证了徐州轨道交通 1 号线牵引供电系统对突发短路的承受能力强；继电保护动作具备灵敏性、选择性、速动性及可靠性；直流设备及保护装置准确性较高；牵引供电系统保护回路完整且准确；新型的防拒动系统提高了试验的安全性和可靠性。 39  
第 7 章结论与展望  
7.1 结论本文通过对牵引供电系统的研究，提出了直流短路试验方案和一种新型防拒动措施并结合实际进行试验。内容上首先介绍了牵引供电系统的功能及其基本构成，然后对其保护原理及相关的继电保护定值进行分析，通过电路图法对短路电流进行粗略计算，根据直流金属性短路的特点，制定了基于城市轨道交通直流牵引供电系统的短路电流试验方案，并提出了一种基于工程的安全性更高的新型防拒动措施，最后在徐州轨道交通 1 号线进行相关短路试验且对实验结果进行分析，得到以下结

论:

(1) 基于工程的新型防拒动装置的设立提高了试验的安全性和可靠性;

(2) 继电保护相关整定值的设定使直流设备的保护动作具备了更好的灵敏性、更强的选择性、更优的速动性及更佳的可靠性;

(3) 徐州轨道交通 1 号线牵引供电系统对突发短路的承受能力强, 直流设备及保护装置准确性较高, 牵引供电系统保护回路完整且准确。

城市轨道交通牵引供电系统是一个相对复杂的系统, 实际工作中因为杂散电流、潮湿环境等其他因素的影响, 供电设备所面临的困难更多且更为复杂, 导致仿真计算结果和实际相比一定会有所偏差。因此在生产生活过程中, 更应该注重工程实际, 结合书本及具体施工条件处理遇到的困难及问题。

7.2 展望虽然短路试验方案及防拒动装置的试验在徐州城市轨道交通 1 号线取得了成功, 但是其普适性仍存在一定的问題, 防拒动装置成熟度也尚未完美, 希望随着科技的发展, 试验相关的电气设备能更健全合理。 40

#### 参考文献

- [1] 喻乐. 城市轨道交通供电系统建模与直流馈线保护的研究[D]. 北京交通大学, 2012.
- [2] 张智杰. 城市轨道交通 DC1500V 供电系统研究[D]. 兰州交通大学, 2015.
- [3] 唐一文. 城市轨道交通直流牵引供电系统短路故障辨识及定位研究[D]. 西南交通大学, 2020.
- [4] Minwu Chen, Yilin Cheng, Zhe Cheng, Diya Zhang, Yabo Lv, Ruofei Liu. Energy storage traction power supply system and control strategy for an electrified railway[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2020, 14(12).
- [5] 徐金平, 杜贵府, 朱纪法, 李辉. 城市轨道交通双向交流式牵引供电系统的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(01):179-182.
- [6] 陈杰. 城市轨道交通牵引供电系统的技术发展研究 [J]. 装备维修技术, 2019(03):192.
- [7] Gang Zhang, Zhongbei Tian, Pietro Tricoli, Stuart Hillmansen, Zhigang Liu. A new hybrid simulation integrating transient-state and steady-state models for the analysis of reversible DC traction power systems[J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2019, 109.
- [8] 王磊. 城市轨道交通能馈式牵引供电系统故障诊断及保护方法研究[D]. 北京交通大学, 2010.
- [9] 赵春波. 城市轨道交通 DC1500V 牵引供电系统短路故障研究[J]. 中国高新科技, 2019(11):108-110.
- [10] Energy; Studies in the Area of Energy Reported from Beijing Jiaotong University (A Novel Hybrid DC Traction Power Supply System Integrating PV and Reversible Converters)[J]. Energy Weekly News, 2018.
- [11] 刘建强. 直流侧短路电流对城市轨道交通供电的影响及其故障定位[J]. 电气技术与经济, 2019(02):22-23+30.
- [12] 李富强, 刘炜, 王竞, 李思文, 崔洪敏, 李由. 直流牵引供电系统短路故障计算[J]. 电气化铁道, 2018, 29(S1):85-89.
- [13] 陈杰. 新一代智能化城市轨道交通牵引供电系统关键技术 [J]. 电气时代, 2018(07):72.
- [14] 金辉, 廖权保, 赖沛鑫. 基于数字通信的城市轨道交通直流牵引供电系统双边联跳保护系统研究[J]. 现代信息科技, 2018, 2(05):53-55+58.
- [15] 刘建, 刘志刚. 新一代智慧型城市轨道交通牵引供电系统的创新理念与实践[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(01):129-135.
- [16] 赫海洋. 城市轨道交通直流牵引供电系统有关技术研究[J]. 居舍, 2018(02):41.
- [17] 徐超群. 城市轨道交通直流侧供电故障快速诊断研究[D]. 上海工程技术大学, 2017.
- [18] L. A. German, A. S. Serebryakov, A. B. Loskutov, V. L. Osokin, K. S. Subkhanverdiev. An Equivalent Scheme for Calculating Short-Circuit Currents in a Traction Power Supply System with Two-Way Power Supply[J]. Russian Electrical Engineering, 2020, 91(4).
- [19] 张俊婷. 基于 MATLAB/Simulink 的城市轨道交通直流供电系统建模仿真[D]. 北京交通大学, 2017.
- [20] 吴晗. 城市轨道交通牵引供电系统再生制动仿真研究[D]. 中国矿业大学, 2017.
- [21] Guifu Du, Dongliang Zhang, Guoxin Li, Yihua Hu, Yang Liu, Chonglin Wang, Jianhua Liu. Maximum Safety Regenerative Power Tracking for DC Traction Power Systems[J]. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2017, 10(2).
- [22] 李辉, 徐炯, 彭道刚. 城市轨道交通牵引供电系统动态运行仿真研究[J]. 电测与仪表, 2016, 53(11):104-109.
- [23] 吴江涛. 交直流混合区段交流供电系统对直流供电系统的影响分析[D]. 西南交通大学, 2016.
- [24] Kim Joorak, Park Chang Reung, Park Kijun, Kim Joo Uk. A Study on DC Traction Power Supply System Using PWM Converter[J]. Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, 2016, 29(4).
- [25] Takashi Suzuki, Hitoshi Hayashiya, Takashi Yamanoi, Keiji Kawahara. Introduction and Practical Use of Energy Storage System with Lithium-ion Battery for DC Traction Power Supply System[J]. IEEE Journal of Industry Applications, 2016, 5(1).
- [26] Kosuke Kumagai, Tetsuo Fujita, Masashi Nakahira, Yoshiki Mizuguchi, Hideki Sonoda. Study on Squeezing Control of Regenerative Power on Yamanote Line Series E231 Train in DC Traction Power Supply System[J].



ICPE (ISPE) ??? : ICPE (ISPE) ???, 2015.

[27] 李群湛. 城市轨道交通交流牵引供电系统及其关键技术[J]. 西南交通大学学报, 2015, 50 (02) :199-207.

[28] Jiaxin Yuan, Feiran Xiao, Chenmeng Zhang, Yaojun Chen, Zhou Ni, Yongheng Zhong. Collaborative unbalance compensation method for high-speed railway traction power supply system considering energy feedback[J]. IET Power Electronics, 2019, 12 (1).

[29] 李福琴. 分析城市轨道交通供电直流侧短路故障定位方法[J]. 中国新技术新产品, 2015 (06) :50.

[30] 宋晓明. 城市轨道交通牵引供电系统故障定位研究[D]. 北京交通大学, 2015.

[31] Xiaojun Shen, Hongyang Wei, Li Wei. Study of trackside photovoltaic power integration into the traction power system of suburban elevated urban rail transit line[J]. Applied Energy, 2020, 260.

[32] 李扬, 胡文平, 任建文. 城市轨道交通牵引供电系统对电网的影响[J]. 河北电力技术, 2013, 32 (05) :36-37+50.

[33] 韩志杰. 城轨直流牵引供电系统短路试验[J]. 都市快轨交通, 2013, 26 (01) :113- 115.

[34] DC Appliance Safety Standards Guideline through Comparative Analysis of AC and DC Supplied Home Appliances[J]. Journal of Electrical Engineering & Technology, 2012, 7 (1).

[35] M. P. Badjor. Energy effectiveness and electromagnetic compatibility of DC 42 traction power supply systems with 24-kV grid voltage[J]. Russian Electrical Engineering, 2011, 82 (8).

[36] 王磊. 城市轨道交通能馈式牵引供电系统故障诊断及保护方法研究[D]. 北京交通大学, 2010.

[37] 央视网 . 徐州地铁一号线建成通车

[OL]. <http://news.cctv.com/2019/09/28/ARTINqpQ5boaUvkLRIjf9Uct190928.shtm>.

[38] 徐州地铁官方网站. 徐州迎来地铁时代 | 徐州城市轨道交通 1 号线今日开通

[OL]. 2019. 09. 28 <https://www.xzdtjt.com/article/-1/0/3998.html>

[39] 苏劫. 城市轨道交通能馈式牵引供电系统的应用研究[D]. 北京交通大学, 2009.

[40] Xiaohong Huang, Qinyu Liao, Qunzhan Li, Sida Tang, Ke Sun. Power management in co-phase traction power supply system with super capacitor energy storage for electrified railways[J]. Railway Engineering Science, 2020, 28 (10).

[41] GB/T 10411-2005, 城市轨道交通直流牵引供电系统[S].

[42] 郝峰杰 . 城市轨道交通柔性牵引供电系统优化控制研究 [D]. 北京交通大学, 2020.

[43] 黄维军. 城市轨道交通 DC1500V 牵引供电系统短路故障分析[D]. 西南交通大学, 2010.

说明: 1. 总文字复制比: 被检测论文总重合字数在总字数中所占的比例

2. 去除引用文献复制比: 去除系统识别为引用的文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

3. 去除本人文献复制比: 去除作者本人文献后, 计算出来的重合字数在总字数中所占的比例

4. 单篇最大文字复制比: 被检测文献与所有相似文献比对后, 重合字数占总字数的比例最大的那一篇文献的文字复制比

5. 指标是由系统根据《学术论文不端行为的界定标准》自动生成的

6. 红色文字表示文字复制部分; 绿色文字表示引用部分; 棕灰色文字表示作者本人文献部分

7. 本报告单仅对您所选择比对资源范围内检测结果负责



[amlc@cnki.net](mailto:amlc@cnki.net)

<http://check.cnki.net/>

<http://e.weibo.com/u/3194559873/>