

试验·研究

DF_{7G}型青藏铁路调车机车电气系统研究

叶志毅

(北京二七机车厂,北京 100072)

摘要:通过对 DF_{7G}型青藏铁路调车机车的电气系统的研究,分析了青藏铁路独特的地理环境及气候条件对机车电气系统的影响,并有针对性地提出了具体的解决措施,指导电气系统的设计开发与试验。

关键词:青藏铁路;调车机车;电气系统;DF_{7G}型

中图分类号: U262.7 文献标识码: A 文章编号: 1003-1820(2006)12-0011-06

1 引言

随着我国青藏铁路的建设需要,制造适应青藏铁路运用的机车成为各机车厂的重点研究课题。从2001年开始,我厂组织专业人员与北车集团下属单位如永济电机厂等单位共同对青藏铁路地理环境、气候条件及机车运用等问题展开了深入细致的专项研究,仅电气系统就涉及到高原环境、电气绝缘与耐压、高原散热性能、微机控制系统、故障诊断与维护、电源与保障系统等多项研究课题。2005年在总结了近几年研究成果的基础上,研制了 DF_{7G}型青藏铁路调车机车。该车以 DF_{7G}型模块化调车机车为基础,通过改进设计结构、加强电器选型、强化功率计算与修正及调整制造工艺等措施,对机车电气系统进行了全面优化,重点解决了高原环境下的高原功率修正,高海拔、低气压引起的绝缘下降,电机换向困难,电器灭弧与防风沙,机车防寒工艺等诸多难题。克服了高原环境带来的不利影响,全面提升了机车设计与制造水平。为研究高原环境下电气系统性能,提高可靠性,改进电气系统的高原适应性提供了依据。

2 概述

DF_{7G}型青藏铁路调车机车电气系统主要由主传动系统、微机控制与故障诊断系统、辅助传动系统、机车采暖与热电保障系统、机车照明系统5部分组成。

主传动系统主要由主发电机、整流柜、电器柜、牵引电机及电阻制动装置组成,完成机车的牵引及电阻制动功能。

微机控制与故障诊断系统主要由 EQT2000型微机、彩色液晶显示器、隔离变送器、集成了GPS和GPRS的远程数字通信系统及相应的微机传感器等组成,主要用于机车各种工况的控制,记录机车的运行状态及故障诊断信息,实现机车各种保护功能,并通过远程数字通信系统进行通信,掌握机车的实时运行状态,实现远程诊断与技术支持。

辅助传动系统主要由辅助交流发电机、前后通风机、两台冷却风扇组成。用于主传动系统中的整流柜、6台牵引电动机的冷却通风及柴油机高低温水系统的冷却。

机车采暖与热电保障系统主要由热电保障装置、司机室暖风机、制氧机、多功能饮水机及机车上下的电加热系统组成。主要实现机车油水系统的保温防寒,保障乘务人员取暖、供氧及生活用电等需要。

收稿日期: 2006-07-04

作者简介: 叶志毅(1968—),男,广东梅县人,工程师。

机车照明系统由前后头灯、近光灯、标志灯及机车范围的照明灯组成。实现机车照明功能。

3 电气系统的主要问题

3.1 高海拔、低气压对电气系统的影响

3.1.1 绝缘强度降低与有触点电器的分断能力下降问题

从格尔木到拉萨的青藏铁路的平均海拔在4 000 m以上,中间还要翻越海拔5 068 m的唐古拉山口。在这样的高海拔地区,大气压力会明显降低,空气非常稀薄。相关的高原研究报告表明:在海拔5 000 m范围内,海拔每升高1 000 m,平均气压降低7.7~10.5 kPa,电气外绝缘强度降低8%~13%。这样的气候条件下将使电气设备的绝缘强度明显降低,击穿电压也会下降。而高海拔地区空气密度严重降低,使得空气对电气拉弧能量及热能的吸收能力明显减弱,电弧离子扩散浓度增加,直流电弧的燃弧时间延长,飞弧距离增加,容易使直流电机的换向器因环火而烧损。另外,接触器、断路器等有触点电器的电气分断能力也将严重下降。

3.1.2 电机电器的温升问题

由于空气压力或空气密度的降低引起空气介质冷却效应的降低,对于以自然对流、强迫通风或空气散热为主要散热方式的电器将产生严重影响。相关的高原研究报告表明:在海拔5 000 m范围内,每升高1 000 m,平均气压降低7.7~10.5 kPa,温升增加3%~10%。因此,牵引电机、整流柜及接触器等电器将受到严重影响。

3.1.3 高海拔下湿度对电机电器的影响

平均绝对湿度随海拔升高而降低,绝对湿度降低时,电气产品的外绝缘强度降低。因此,需考虑工频放电电压与冲击闪络电压的湿度修正。

3.2 高温差、低气温对电气系统的影响

根据铁道部的相关标准,接触器、仪表等常用电器的最低运用温度为-25℃。而在青藏铁路线上,机车当日运行线路范围内,外界的最低环境温度可达到-45℃,最高可达35℃。近80℃的环境温差极易造成非金属电气件及导线的变形、龟裂及密封破坏,使电器提前老化,电气可靠性及寿命明显降低;而-45℃的低温环境也将使微机、液晶类显示器及仪表等无法正常工作。

3.3 强风沙及雷电对电气系统的影响

据青藏铁路的相关研究报告介绍,铁路沿线年

平均大风日数100余天,雷暴日数68~82天,强风沙极易使电器的机械部件磨损加剧,使运转部件出现卡滞现象,降低电气系统的可靠性;而雷电也会给微机、安全行车设备等电子设备造成致命损坏,引发安全事故。

3.4 高原环境下的机车功率修正

高原缺氧将造成柴油机工作状态不良,除柴油机进行增压配套外,在保证获得正常机车牵引力的情况下,必须适当通过电功率的调整来适应柴油机的功率变化,保证柴油机能持续、稳定地工作。

3.5 高原环境下的电气维护与人员保障问题

在高原环境下,低气压及高原缺氧会使人出现头痛、胸闷等高原反应,使人的工作能力严重下降,甚至出现脑积水等严重疾病。如果发生机破事故,则机车必须在-40℃的环境下停置,乘务人员必须依靠司机室的采暖系统、制氧机、机车热电保障系统来保证乘务人员与机车的安全,这对电气系统的可靠性提出了很高的要求。

4 机车的电气系统设计

4.1 机车主传动部分电气系统的优化

4.1.1 电气室的优化设计

(1) 采用模块化电气室结构,高压部分与低压部分分开布局,这样可有效降低高压电器对微机等电子装置的干扰。

(2) 加装电阻制动相关电器,实现电阻制动功能,满足机车制动要求。

(3) 电气室加装接地装置,有效抵御雷电损害,保护微机等电子设备的安全。

(4) 增加电气室的正压。通过向电气室引风,使电气室形成正压环境,即可减弱外界风沙进入电气室,减轻沙尘对电气设备的危害。

(5) 重新设计机车高压部分的布局,重新设计高压铜排的布局,加大电气间隙。另外,对绝缘间隙不足的位置,采用高性能绝缘材料包扎的方法解决绝缘问题,提高电气绝缘性能。

4.1.2 主发电机的改进

(1) 主发电机采用JF208E无刷励磁结构,取消了碳刷,可有效减少恶劣环境下的电机维护量。

(2) 电机成形绕组采用新型绝缘结构,散绕组采用抗电晕电磁线,提高耐电晕能力。

(3) 选用优质的热传导能力强的绝缘材料,调整绝缘结构及工艺,增大绕组导体截面积,改善电

机散热。

(4) 优化风路结构,增加散热通风孔,改善风扇设计,提高自身的通风冷却能力。

(5) 采用进口整流管,提高无刷励磁系统的可靠性。

4.1.3 牵引电机的改进

(1) 降低运行电压,电压由原1 000 V降到900 V,使片间电压下降10%。同时,采用较厚的换向片间云母板及专用的高原电机电刷,改善换向性能。

(2) 采用进口树脂绝缘轴承及增加可靠的接地装置,防止雷电的损害。

(3) 采用耐低温的润滑脂,解决低温环境的电机轴承的润滑问题。

4.1.4 DF-J81C型整流柜的改进

(1) 提高元件的性能,选用新型的硅整流元件ZP3000-28,元件的结温提高到175℃,元件结温比DF_{7C}型模块化机车提高了25℃。

(2) 采用铜质散热器,提高元件核心区的散热能力。经试验,在相同的通风量下,整流柜采用铜质散热器时,元件的表面温升与采用铝质散热器相比可下降5~7℃。

(3) 改变整流柜内部结构,增大绝缘间隙,这样即提高了电气的绝缘性能,又可有效降低风阻,使整流柜进风口的风速比原整流柜提高了0.23 m/s,加强了散热能力,提高了可靠性。

4.1.5 YZZ12Q13B型制动电阻装置

(1) 在DF_{7C}型机车的制动电阻装置的基础上改进结构,提高产品绝缘性能、可靠性及维修方便性。

(2) 电气参数按我厂的功率匹配参数进行优化,并针对高原环境加大了电阻片间距,采用了耐低温的绝缘材料,提高了风机的功率,使其在低气压下也能可靠工作,保证制动电阻装置的通风散热。

(3) 制动电阻装置的功率确定。青藏铁路沿线不具备水阻试验条件,无法进行机车功率调整的相关试验。电阻制动装置(平原)功率约2 300 kW,考虑到高原散热能力下降、绝缘降低等因素,最终将该车的制动电阻装置短时最大(海拔3 000 m以下时)功率设定到1 890 kW(注:3 000 m以上时为1 700 kW),额定制动功率为1 500 kW。这既可保证具有较高的可靠性,还可利用自负荷功能来校核

机车的运用功率曲线,为机车的高原应用提供了方便。

4.1.6 主电路的高压电器

主电路的高压电器主要有电空接触器、反向器、转换开关、组合接触器、自负荷刀开关等。

(1) 电气方面:主接触器及转换开关等高压电器均选用了永济电机厂的高原产品。这些产品与DF_{7C}型模块化机车所用的产品属于同一系列,专门针对高原环境应用进行了优化,加强了灭弧、防风沙、耐温升等措施,且都进行过高原测试并测试合格;产品的额定电压由原来的770 V提高到1 000 V,具有良好的绝缘及分断性能。

(2) 安装及防护方面:产品安装尺寸与原DF_{7C}型模块化机车电气室结构吻合,可减少设计变更,缩短设计周期。此外,上述产品的辅助触点及电空阀等均采取了防尘密封措施,具有较强的抗风沙能力,能够避免风沙引起的接触不实及卡滞等现象,较好地适应青藏铁路的运用要求。

4.2 机车的辅助电路、控制电路及低压电器选型与优化

机车的低压电器选型主要考虑了电压等级、绝缘及抗风沙性能等。

(1) 采用ZD319A型(高原专用)电机拖动的螺杆泵空压机,电机及泵体与原柱塞式压缩机相比,具有高效、高可靠性、少维护的特点,可迅速建立风压,满足列车制动及辅助用风的需要。

(2) 接触器与继电器采用沙尔特宝公司的产品。选型时除考虑电器的性能参数、绝缘、抗风沙外,电器的互换性能也是重点考核指标。西安沙尔特宝公司是较早参与青藏铁路电器产品开发的公司之一。其产品采用模块化设计,专业化模具制造,性能稳定,可靠性高,具有良好的互换性,广泛应用于我国各主型机车上。近年来,该公司针对高原环境开发的继电器,普遍采用了德国SCHALTBAU的触点,具有速动、自净及全密封的特点,可消除风沙造成的影响,且寿命长,接通可靠。而其接触器的相关高原试验表明,产品可有效吸收接触器分断电弧能量,分断能力良好,符合高原应用的要求。

(3) 其它电器如电压调节器、智能充电器等均采用现有的电器产品。一方面,产品经过多年实际应用考核,具有高可靠性;另一方面,其应用广泛,互换性好,一旦出现故障可及时更换,又能有效降

低用户的机车备件数量,提高了产品采购的方便性、时效性。

(4) 机车的防雷系统主要是通过电气室与车体、车体与转向架之间增加接地装置来实现的。它以整车作为受电体,通过车体接地线与轴端接地装置将雷电能量由车体导引接地,有效保护机车上的微电子设备。

(5) 小型空气开关、熔断器等保护电器均重新校核参数后,按照降功率使用、提高断弧能力、提高耐压等级的原则进行选型。如小型空气开关就采用了西门子 S7 系列开关,其可靠性高,具有标准外形,更换方便。

4.3 蓄电池

蓄电池是机车柴油机的起动电源及热电保障系统的供电电源,其性能的好坏,关系到机车的起动、控制、采暖及保障系统,直接影响机车的可靠性及安全性。相关资料表明:在低温状态下,蓄电池放电能力将下降,一般在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下,普通铅酸蓄电池的放电能力只能达到原容量的 40%,而大电流起动能力下降更为严重。因此,我们选用了 GNC210 系列碱性少维护蓄电池。它具有以下优点。

(1) 低温及高温放电性能远优于铅酸蓄电池。在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中,电池可放出大于 75% 的额定容量;在 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境中,也可保证正常起动柴油机。

(2) 可靠性高,体积小、重量轻,由于其蓄电池内阻小,具有高倍率放电性,且其自放电电流小,具有更强的电力供应能力。

(3) 维护工作量少,一般每 6 个月维护一次,只需补充电解液即可,其维护工作量远低于常规铅酸蓄电池。

4.4 辅助交流传动系统

辅助传动系统负责整流柜、6 台牵引电动机的冷却通风及柴油机高低温水系统的冷却,该系统的运行状态直接关系到机车的牵引性能。本着简捷、实用、安全、可靠的原则,我们采用辅助交流传动系统代替了传统的静液压系统或机械传动系统,避免了静液压系统泄漏或机械传动系统的尼龙绳断等问题,并减少了系统的维护工作量。另外,重新核算并优选了电器,最大限度地克服高原散热能力及耐压绝缘下降带来的影响。

(1) 电机方面。由于高原气压下降,电气冷却能力下降,因此辅助系统的冷却风扇电机及通风机

电机均必须重新校核。参考“雪域神州”机车的相关性能数据及我厂的相关计算,两个冷却风扇的功率在平原时比原 DF_{7C} 型模块化机车高了近 30 kW。通风机也相应进行了调整。

(2) 电器方面。由于电机功率的调整,电机在平原地区的运用电流提高了 20 ~ 40 A。但考虑到高原大气压力下降因素的影响及机车实际运用线路的海拔高度,我们认为其高海拔工作时的电流将与 DF_{7C} 型模块化机车持平。另外,原选型的电器具有较大的裕量,空气断路器具有可调节能力,如中冷风扇断路器的额定电流整定值为 125 A,最大可设定到 160 A。同样,冷却风扇的额定电流 120 A,按照降额使用的原则,选用了额定电流为 140 A 接触器,完全能够满足高原应用的要求。

(3) 安装方面。由于防风沙的需要,原电气室两侧的进风栅增加了专用滤网,增加了通风机的进气阻力,给整流柜及后三位电机的通风带来了不利影响。因此,对原通风机风道扩大了进风口,以提高通风机的进风量。

4.5 绝缘与耐压

机车电气系统设计中加强了电气绝缘方面的设计,重新校核电器的耐压参数,提高了设备及机车线路的绝缘指标。主要采取了加大绝缘间隙,应用高绝缘材料,提高电压等级等措施。如整流柜通过内部结构调整,加大了绝缘间隙。对绝缘间隙不足的电气室铜排采用高等级绝缘材料包扎的方法来提高其绝缘性能。同时,各个单电器及机车线路的绝缘及耐压试验参数按相关标准进行修正,并提高了试验要求。如整台机车的主回路对地的绝缘电阻由 5 M Ω 调整为 6.5 M Ω ,耐压值由 2 550 V 调整为 2 880 V,而电器柜的高压主回路对地的耐压值则由原 3 000 V 调整为 3 390 V。

另外,为防止高温差造成导线提前老化,解决导线在低温环境下龟裂、绝缘破损及高温散热能力不足的问题,我们选用了耐低温 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (且耐高温 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的交联导线。

4.6 微机系统及电气性能参数

微机系统是电气系统的控制中心,决定了机车的控制性能。

(1) 低温防寒问题。众所周知,微机的液晶显示器及电子芯片在温度低于某一临界温度时是无法工作的。解决方法只有两种:一种是选用军用级电子产品,但随之而来的是成本的成倍增加;另一

种就是提高产品的工作温度。为此,我们一方面加强对工业级电子产品的高低温筛选,如显示器采用更耐低温的产品。另一方面,在司机室增加了采暖设备,适当提高司机室的温度,为司机室电器提供适宜的工作温度。

(2) 功率修正问题。我厂处于平原位置,海拔不超过100 m。青藏铁路多为海拔4 000 m以上的线路。不同的气压与空气密度会使柴油机工作恶化,导致柴油机输出功率下降。因此,电气系统必须适当调整电功率的输出对柴油机进行补偿,保证柴油机的稳定工作。另外,我厂的机车主要用于调车作业,工作地点相对固定。另一方面自动修正功率需增加额外的传感器,会产生新的故障点。因此,我们选择如下的方式实现功率控制:即以海拔3 000 m作为分界线,超过3 000 m时按高原环境进行功率控制,否则按平原环境进行功率控制,而两条功率曲线的选择只需通过微机显示屏上的按键选择即可。这种方法较好地解决了功率修正问题,简化了设计工作。

(3) 牵引电机的磁场削弱问题。早期的机车常采用磁场削弱方式来扩展机车的恒功牵引范围。这种方式必须在机车上增加接触器及磁场削弱电阻,使控制系统更加复杂。该机车采用了模块化设计方案,机车整体布局非常紧凑。如果采用磁场削弱方式,电器增多,会增加电器布局的困难。我们选用的ZD125B型牵引电机经过高原优化,其额定电压可达900 V,已经使机车具有较宽的恒功牵引范围,能够满足机车牵引的需要。因此,我们取消了磁场削弱功能,进而简化了电气室的布局。

(4) 长大坡道制动问题。青藏铁路有较长的下坡道,只使用空气制动会使机车车轮与闸瓦严重损耗,增加维护量及成本,且影响安全。为使机车具有较好的低速制动性能,且兼顾牵引与制动工况的功率匹配,确定了制动电阻装置的额定功率为1 500 kW(转换为轮周制动功率时为1 680 kW)。额定制动功率下的机车最低速度可达到27.5 km/h。但为了提高制动系统的可靠性,避免励磁电流过高,最终确定了额定制动功率时的最低速度为28.5 km/h,基本可以满足青藏铁路的需要。

(5) 故障牵引问题。为了使机车具有更高的可靠性,机车的功率控制可分别由微机系统或故障励磁系统控制。正常状态下,机车由微机系统实现控制、故障诊断及状态记录等功能。当微机系统发

生故障时,由故障励磁系统继续控制机车的功率输出,维持机车运行。

(6) 故障诊断及保护功能。微机控制系统通过温度传感器、转速传感器、速度传感器、电流传感器、电压传感器及开关量,实时检测机车各主要部件和电器的工作状态。一旦故障发生,微机将立即捕捉到故障信息,执行相应保护动作,及时记录故障发生前后一定时段的故障诊断数据(供故障分析使用),并将主要故障警示信息显示在显示屏上,提示乘务人员迅速处理。

(7) 微机控制装置的质量控制。根据青藏铁路地理环境及运用情况,机车微机控制装置中的电子元件严格按高原环境要求选购和筛选,其中主要元件选用军品级。出厂试验时,绝缘电阻及耐压试验按产品技术条件的要求进行,并加强高、低温试验。

4.7 机车的保障系统

在青藏铁路沿线, -45 ℃的严寒、高原缺氧、机车的机破事故均对乘务人员及机车的安全构成了严重威胁,必须采取相应措施提高人员及机车的保障能力。

(1) 机车司机室内配备一台制氧设备(青藏铁路机车已普遍装车),备有耳麦式吸氧装置,可同时满足4~6名乘务人员的补氧需要。

(2) 司机室内配备有3个2 kW的电暖风机,可维持司机室内温度不低于15 ℃。此外,司机室还安装有电热饮水机(含烤箱)等,保证乘务人员的日常生活需要。

(3) 考虑到保障系统关系到工作人员的安全,必须具有极为可靠的电源供应。因此,电源系统采用了双套冗余供电方式。即保障系统的供电电源分为两路:一路作为主工作电源由机车起动发电机提供,另一路作为备用电源由热电保障装置提供。其电源切换只需通过司机室操纵台上的相应转换开关即可实现。

(4) 机车油水系统的保护。为防止管路里的油水在零度以下结冰,损坏管路及阀门而引起机破事故,必须对机车的外露水管路进行防寒保护——加装电加热套。传统的加热套易出现接地故障,且不具备温控能力,会出现过度加热问题,不宜在青藏铁路的高温差环境下使用。因此,我们选用了AMP公司具有感温能力的电加热带。在低温环境下,电加热带可自动提高加热功率到额定功率,

【下转第25页】



图2 操作控制单元

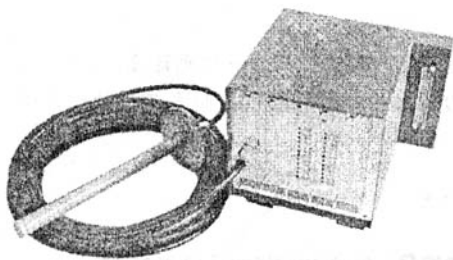


图3 机车控制单元

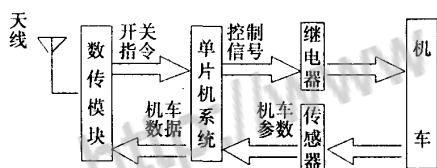


图4 机车控制单元系统

由操作控制单元发送过来的机车控制指令经数传模块接收后送到单片机系统,经单片机系统处理后将控制信号通过继电器继而控制机车,同时传

【上接第15页】

而在外界温度升高时又会自动降低加热功率,避免了过度加热问题。另外,它能与管路良好密贴,加热效果良好,可有效地保证油水系统的可靠工作。

5 结束语

DF_{7G}型青藏铁路调车机车于2006年2月投入线路运用,并初步完成了青藏铁路从格尔木到拉萨的相关试验。试验表明,上述措施基本消除了青藏铁路特殊环境对电气系统的影响,电气系统参数的制定及电器选型是准确的、正确的,机车工作状态良好,电气动作准确,达到了设计要求。同时,我们也注意到高原环境对通风机及冷却风扇的影响比

感器采集机车的速度,柴油机转速或者风缸压力以及列车管压力,经单片机模数转换后经由数传模块发送到操作控制单元上去。

在发送和机车控制单元的单片机系统中,单片机均采用的是80C196KB,它是美国Intel公司生产的16位单片机,具有模数转换器和高速输入输出通道以及串行通信接口,外接一定的外围芯片可以满足该系统的要求。

在该系统中,数传系统是非常重要的一个组成部分,它的好坏决定了数据传输的可靠性、正确性和稳定性。我们的数传模块采用CRC校验,全封闭铝合金外壳,抗干扰能力强,具有TTL、RS232和RS485多种电平接口,数据传输距离在1 km以内,能够满足遥控的要求。

4 结束语

在经过对国内外机车遥控系统的调查研究后,我们研发了DF型遥控系统,试验证明该系统可以满足对单台机车的遥控作业要求,也可以满足工矿、港口等企业的需求。这也为调车场机车遥控网络化作了一个必不可少的准备。它的应用具有很大的现实意义和经济效益。我们相信机车遥控系统在我国会有越来越广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 刘复华. 8XC196KB单片机及其应用系统设计[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [2] 李朝清. 无线发送/接收IC芯片及数据通信技术选编(1)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.

设计预期变化要大,在高原环境下的电机功率比设计值略小,有待我们深入研究。另外,在高海拔环境下的电器性能及绝缘能力有待时间的考验。

参考文献:

- [1] TB/T1333—96,机车电器基本技术条件[S].
- [2] JB/T17573—94,高原环境条件下电工产品通用技术条件[S].
- [3] 株洲电力机车研究所. 高海拔对机车电器、电子、电机产品的影响[R].
- [4] 西宁高原工程机械研究所(冯辉生等). 青藏铁路与工程机电设备[R].
- [5] 铁道部科学研究院,等. 青藏铁路(格拉段)机车车辆总体技术条件(暂行规定)[Z]. 2001.
- [6] 刘奎芳,毛海荣. 高原环境条件及其对机电产品的影响[J]. 环境技术,1999,(5).



知网查重限时 7折 最高可优惠 120元

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重: <http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载: <http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重: http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载: <http://ppt.ixueshu.com>
