

# 高原高寒地域中重型车辆蓄电池加热起动辅助装置研究

刘炳均<sup>1</sup>, 岳巍强<sup>1</sup>, 王朔<sup>1</sup>, 王志明<sup>2</sup>

(1.军事交通运输研究所, 天津 300161; 2.无锡奥润汽车技术有限公司, 江苏 无锡 214000)

**摘要:** **目的** 解决中重型车辆装备在高原高寒环境下蓄电池充放电性能降低, 起动电量供应不足的问题。**方法** 采用燃油空气加热器对车用铅酸蓄电池进行加热, 同时运用专用保温箱进行保温, 保持蓄电池内部温度在正常工作范围, 确保其在低温环境下的充放电性能。**结果** 使用蓄电池加热和保温装置, 可将蓄电池电解液温度升至常温。在-25℃环境条件下, 可以提高蓄电池放电容量65%左右; 在-41℃环境条件下, 可以提高蓄电池放电容量110%左右。**结论** 蓄电池加热和保温装置可以有效提高其低温环境下充放电性能, 使车用蓄电池在低温环境中可以有效提供发动机起动及各种起动辅助装置用电, 为高原高寒地域中重型车辆的起动与运行提供有效保障。

**关键词:** 高原高寒; 低温起动; 蓄电池加热; 放电容量

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2017.08.009

**中图分类号:** TJ07; TK427

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2017)08-0047-05

## Engine Starting Auxiliary Device for Battery Heating of Medium & Heavy Duty Vehicles in Plateau and Cold Area

LIU Bing-jun<sup>1</sup>, YUE Wei-qiang<sup>1</sup>, WANG Shuo<sup>1</sup>, WANG Zhi-ming<sup>2</sup>

(1. Military Traffic Institute, Tianjin 300161, China; 2. Wuxi Aorun Vehicle Technology CO., Ltd, Wuxi 214000, China)

**ABSTRACT: Objective** To solve the discharging capacity decrease on the battery of medium duty vehicle & heavy duty vehicle in plateau and severe cold area. **Methods** The vehicle lead acid battery was heated with a fuel-fired air heater and insulated with a special warm-box. The internal temperature of the battery was kept in the normal range to guarantee the discharge capacity of the battery at low temperature. **Results** The temperature of electrolyte in lead acid battery could be raised to normal temperature with heater and warm-box. The discharge capacity could be improved by about 65% at -25℃ and 110% at -41℃. **Conclusion** In low temperature environment, the battery heater and warm-box can effectively improve the charge and discharge capacity of battery and supply enough electricity for engine starting and the auxiliary devices, which can provide effective protection for the engine's starting and running in plateau and cold area.

**KEY WORDS:** plateau and cold area; engine starting at low temperature; battery heating; discharge capacity

高原气候环境条件的主要特点是气压低、空气稀薄、含氧量低、低温期长、昼夜温差大、风砂尘大、日照时间长、紫外线强、气候干燥等<sup>[1]</sup>。其中环境温度低是造成中重型车辆装备起动困难的重要原因, 因此应该采用低温起动技术、借助于低温起动辅助措施提高发动机低温条件下的起动性能<sup>[2-3]</sup>。

蓄电池是车辆上的重要部件之一, 发动机的起动以及停车后车上所有的用电设备全靠它来供电, 因此, 它的性能对车辆性能有着至关重要的影响<sup>[4]</sup>。中重型车辆发动机起动负载大, 起动电流大, 尤其是在高原高寒地区, 由于低温条件下润滑油黏稠, 起动阻力更大。另外, 各种起动辅助装置(如进气预热和发动机冷却液加热器

等)也需要大量供电。因此,充足的电量是保证车辆发动机正常起动的先决条件。目前,中重型车辆装备使用的蓄电池大部分为铅酸蓄电池,在低温条件下,蓄电池放电容量大幅降低,会大大影响发动机的低温起动性能。因此,保证低温条件下蓄电池的放电量是提高中重型车辆低温起动性能的重要条件。

低温环境对蓄电池充放电性能有很大影响<sup>[5]</sup>。当电解液温度降低时,铅酸蓄电池内固液相活性物质的反应性均要降低,黏度增大,扩散速度减慢,电阻增大,离子的运动受到较大的阻力,电化学反应速度大为减慢,其正负极很容易形成致密的钝化膜,从而使放电过程受到限制。特别是在低温时,硫酸的黏度随温度的降低显著增加,在 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时约为常温时黏度的30倍,而电阻亦随温度的降低明显增加。密度为 $1.250\text{ kg/L}$ 的硫酸溶液在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值约为常温时的7倍,将造成电池容量的显著下降。经验表明,当温度从 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降低至 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 会使铅酸蓄电池的容量平均减少到原来的 $1/3$ 左右。在充电过程中,由于 $\text{PbSO}_4$ 的溶解度和溶解速率在低温下要降低,使得充电的前置过程受到制约。 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 电解液在低温下的扩散系数要降低,导电性也要下降,导致了充放电速率和效率的降低。在低温下,电解液也存在着从液相向固相的凝固,负极析氢在低温充电的情况下加剧了,要使电池达到较高的荷电态,充电过程的失水量较大,因而充电效率下降<sup>[6-7]</sup>。因此,在极低温度条件下蓄电池提供的电量很难保证发动机的正常起动和起动辅助装置的正常运行。

## 1 蓄电池加热技术现状

通过以上分析可见,温度对蓄电池的充放电性能影响很大,为保证在低温环境下,蓄电池能够提供足够的电量,考虑对蓄电池进行加热和保温。经过多年发展和实践,国内外相继开发了多种蓄电池加热和保温装置<sup>[8-14]</sup>。从加热方式上看,主要有电加热方式、排气加热方式和充放电加热方式等。

### 1.1 电加热方式

王峰等设计了一种由有机复合 PTC 加热元件的封闭式加热板和电子温度控制系统构成的机动车蓄电池用的恒温加热保温箱,该箱由蓄电池自身为 PTC 恒温加热元件供电,对蓄电池进行恒温加热<sup>[8]</sup>。李志香等将高分子导电膜制成片状结构,组装在蓄电池保温箱内壁,对蓄电池进行加热<sup>[9]</sup>。电加热方式需要由蓄电池自身对其进行供电,本身需要消耗大量的蓄电池电量,电路接通后瞬时加热电流很大,尤其是在低温环境条件下蓄电池的低温放电性能差,而且在低温条件下进行发动机起动往往需要配合采用其他辅助措施。蓄电池加热初

期过多的电量消耗会影响其他辅助措施的工作效果,从而影响发动机的低温起动性能。

### 1.2 排气加热方式

排气加热方式采用发动机排气集热器对循环导热剂(防冻液)进行加热,通过导热剂与蓄电池的热交换,对其进行加热和保温<sup>[10]</sup>。这种方式可以有效利用发动机排气热量,在车辆行驶过程中提高蓄电池温度,保证其良好的充电性能。这种方式需要在发动机起动、运行正常以后才能利用排气对蓄电池进行加热,在发动机起动时不能起到增大放电容量的作用。

### 1.3 充放电加热方式

Kubota Masayuki 等设计了一种通过充放电对双蓄电池系统的副蓄电池进行升温的方法,这种方法加热的均匀性较好<sup>[14]</sup>。目前,国内基本没有采用双蓄电池系统的中重型车辆,这种方法在国内未见应用实例。

## 2 蓄电池加热装置的设计

研究开发了一种采用燃油空气加热器对蓄电池进行加热和保温的装置,该装置热源为燃油燃烧放热,自身消耗电量小,可以有效节约蓄电池电量,加热速度快,可以在短时间内提高电解液温度,增大蓄电池放电容量,提供充足的起动用电和辅助装置用电。

### 2.1 装置结构设计

蓄电池加热装置主要由空气加热系统和蓄电池保温箱组成。其中,空气加热系统由燃油空气加热器、控制单元、送风管路等组成;蓄电池加热保温箱由保温箱体、加热风道和蓄电池固定托架等组成。如图1所示。



图1 蓄电池加热保温装置结构

国内现有中重型车辆多采用两只 180 Ah 铅酸蓄电池,根据常用蓄电池的外形尺寸设计保温箱内部空间,其内部需放置两只蓄电池,单只电瓶最大尺寸为:520 mm×223 mm×233 mm。为适应不同尺寸蓄电池的安装固定,设计了可调节伸缩的压板。整套装备外形尺寸为:640 mm×620 mm×320 mm,可以安装在车辆原有蓄电池的位置。为保证系统长时间运行,燃油加热器所需燃料直接从车辆油箱获取。

## 2.2 工作原理

工作时,将蓄电池安装在保温箱内,利用燃油空气加热器加热空气,热空气在风机的带动下进入保温箱内,通过加热风道对蓄电池进行加热保温,风道内安装有温度传感器,控制单元采集传感器数据控制进气量及加热功率。

## 2.3 工作模式设计

在低温环境下,车辆起动之前,蓄电池温度低,放电容量小。为保证迅速起动发动机,需要快速恢复蓄电池放电能力。发动机起动后,为保证蓄电池电量能够得到及时补充,需要继续为蓄电池进行保温,确保其良好的充电接受能力。为此,该装置设计了两种工作模式:快速起动加热模式和保温加热模式。在快速起动加热模式下,加热器功率设计高,可对箱内的蓄电池进行快速加热(约 90 °C),使蓄电池内部电解液温度快速上升,从而快速恢复蓄电池的容量和放电能力,保证低温环境下发动机的顺利起动,加热时间设计在 30 min 之内。在保温加热模式下,加热器低功率运行,出风温度较低(约 50 °C),可以持续加热,使蓄电池内部温度从低温状态逐渐恢复到常温状态,恢复蓄电池原有的额定容量。这样,在高原高寒环境中,可以先采用快速起动加热模式起动发动机,而后在车辆行驶过程中,切换至保温加热模式,维持蓄电池温度,提高蓄电池的充电接受能力,为蓄电池下一次的充电储备充足的电量。

## 3 试验及结果

### 3.1 试验设计

在试验环境模拟上,由于高原高寒地域对蓄电池性能影响因素主要是环境温度低,气压、含氧量等因素对其基本没有影响,该研究只在低温环境试验室内进行模拟试验。在试验温度条件选择上,据统计,我国青藏高原地域,在一年中最冷的 1 月份,整个藏北高原的气温均低于 -10 °C。昆仑山、喀喇昆仑山以及可可西里的极高海拔地区气温极其寒冷,月均气温低于 -25 °C,极端最低温度达到 -27~-45 °C<sup>[15]</sup>。因此,在试验温度设定上选择 -25 °C 和 -41 °C 两个温度

点, -25 °C 条件可以覆盖大部分高原地域环境使用要求, -41 °C 可以满足相关标准要求<sup>[16-17]</sup>,并且基本可以覆盖整个高原地域环境。

由于大部分中重型车辆均使用两只 180 Ah 蓄电池,其在低温起动时采用的冷却液加热器功率大多为 10 kW 左右,功耗约 200 W。厢式车辆取暖用燃油空气加热器功率大多在 15 kW 以内,功耗 400 kW 以内。因此,在试验方法设计上,该研究采用四只 180 Ah 蓄电池分为两组,分别连接两台燃油暖风机总成(型号 FJH-7D,功率为 7 kW,功耗为 200 W)作为负载,在低温环境下对比使用加热装置和不使用加热装置的两组蓄电池的放电量。

试验使用四只型号为 3703010-155 的解放汽车专用蓄电池,保证蓄电池在 25 °C 时为满电状态,将其分为两组并连接负载,见表 1。测试现场试验情况如图 2 所示。

表 1 试验蓄电池分组及连接情况

分组	数量	连接形式	蓄电池组连接设备
蓄电池组 I	2	串联	两台燃油暖风机总成 (型号 FJH-7D,功率为 7 kW,功耗为 200 W)
蓄电池组 II	2	串联	两台燃油暖风机总成 (型号 FJH-7D,功率为 7 kW,功耗为 200 W) 及蓄电池加热装置(功耗为 34 W)

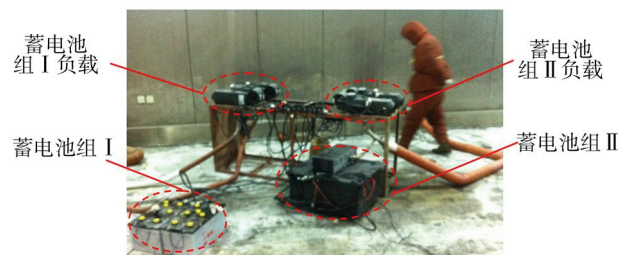


图 2 试验室分组及连接情况

### 3.2 试验步骤

1) 将第 I 组蓄电池直接暴露在试验室环境中,第 II 组蓄电池放置在蓄电池加热装置内,两组组蓄电池分别连接同型号(FJH-7D 型)空气加热器作为负载。

2) 将试验室环境温度调节至 -25 °C,保持环境温度稳定直至两组蓄电池电解液温度均达到 -25 °C 以下。

3) 同时启动蓄电池加热装置和空气加热器,保持两组蓄电池分别为两组空气加热器不间断供电,直至蓄电池放电末期电压降低导致空气加热器停机,视为蓄电池电量耗尽。记录两组蓄电池从开机到电量耗

尽过程中的电压、电流和电解液温度，每 5 min 记录一次数据。

4) 将实验室环境温度恢复至常温，并保持到两组蓄电池电解液温度均达到常温，对其进行充电，使其达到满电状态。

5) 将实验室环境温度调节至 -41 °C，保持环境温度稳定直至四块蓄电池电解液温度均达到 -41 °C。

6) 重复步骤 3)。

### 3.3 试验结果

在环境温度为 -25 °C 条件下，未采用蓄电池加热装置的蓄电池组历时 6 h 25 min 电量耗尽，整个放电过程蓄电池平均电压为 21.8 V，平均电流为 14.2 A。采用蓄电池加热装置的蓄电池组历时 9 h 15 min 电量耗尽，整个放电过程蓄电池平均电压为 23.4 V，平均电流为 16.3 A。两组蓄电池的电压和电解液平均温度变化曲线如图 3 所示。

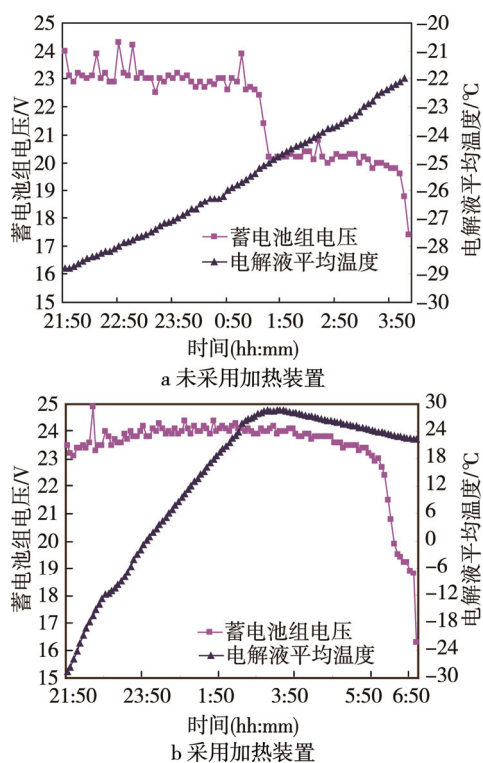


图 3 -25 °C 条件下两组蓄电池电压电解液平均温度变化曲线

在环境温度 -41 °C 条件下，未采用蓄电池加热装置的蓄电池组历时 4 h 20 min 电量耗尽，整个放电过程蓄电池平均电压为 22.5 V，平均电流为 14.6 A。采用蓄电池加热装置的蓄电池组历时 8 h 5 min 电量耗尽，整个放电过程蓄电池平均电压为 23.5 V，平均电流为 16.4 A。两组蓄电池的电压和电解液平均温度变化曲线如图 4 所示。

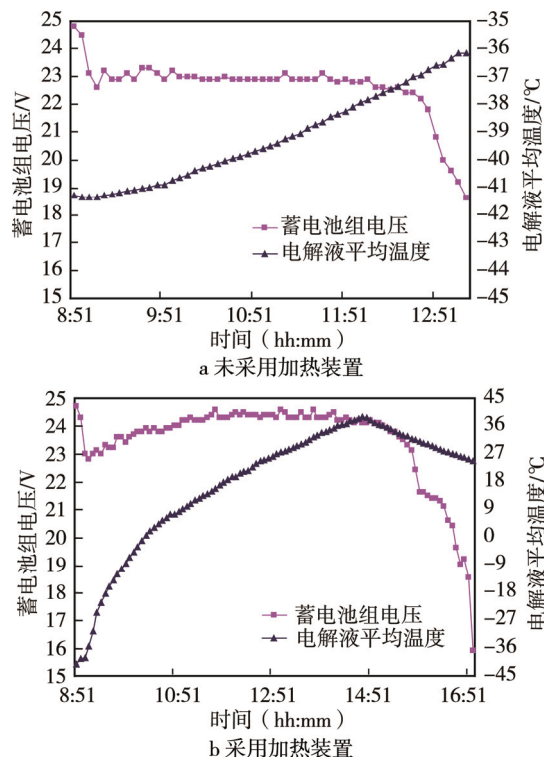


图 4 -41 °C 条件下两组蓄电池电压电解液平均温度变化曲线

### 3.4 结果分析

恒流状态下，蓄电池的放电容量为： $C=I \cdot t$ 。其中， $C$ 为蓄电池放电容量，Ah； $I$ 为放电电流，A； $t$ 为放电时间，h。

按此方法，近似计算在 -25 °C 环境下两组蓄电池的实际放电容量：未采用加热装置的蓄电池组放电容量  $C_1=91.2$  Ah，为常温状态下额定放电容量的 51%；采用加热装置的蓄电池组放电容量  $C_2=150.8$  Ah。因此，在 -25 °C 环境下采用加热装置的蓄电池组比不采用加热装置的放电容量增加了约 65%，达到常温状态下额定放电容量的 84%。

近似计算在 -41 °C 环境下两组蓄电池的实际放电容量：未采用加热装置的蓄电池组放电容量  $C_3=63.2$  Ah，为常温状态下额定放电容量的 35%；采用加热装置的蓄电池组放电容量  $C_4=132.5$  Ah。因此，在 -41 °C 环境下采用加热装置的蓄电池组比不采用加热装置的放电容量增加了约 110%，达到常温状态下额定放电容量的 74%。

在 -41 °C 环境下，经 0.5 h 蓄电池电解液温度可以升至 -18.7 °C，基本达到 GB/T 5008.1—2005 《起动用铅酸蓄电池条件》中低温起动能力试验中要求的 -18 °C，经 1 h 蓄电池电解液温度可以升高至 -10 °C 左右，2 h 蓄电池温度可以升高至 10 °C 左右。

由于在车辆发动机起动运行正常后，车辆就开始为蓄电池充电，而低温条件下蓄电池的充电性能很

差,因此,电解液温度的升高不但有助于提高蓄电池的放电性能,还有利于提高蓄电池的充电性能,保证车辆在行驶途中及时为蓄电池补充电量。

## 4 结论

1) 采用燃油空气加热器的蓄电池加热保温装置可以在 $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的低温环境条件下运行,消耗蓄电池自身电量很小,能够在车辆启动之前提前加热蓄电池,快速提高低温条件下蓄电池的放电容量,为发动机启动及其他启动辅助装置运行提供更多启动电量。

2) 在车辆发动机正常运转后,采用保温模式工作,继续提升电解液温度,可以提高蓄电池的充电性能,使车辆在行驶过程中,其蓄电池电量能够得到有效补充。

### 参考文献:

- [1] 靳生盛. 高原装备对工程机械动力系统的影响及措施[J]. 青海师范大学学报, 2004(2): 48-50.
- [2] 刘瑞林. 柴油机高原环境适应性研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2013.
- [3] 许翔, 周广猛, 郑智, 等. 高原环境对保障装备的影响及适应性研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(5): 100-103.
- [4] 张玉虎. 高原低温环境下内燃机起动的辅助措施[J]. 农业机械, 1998(7): 4-10.
- [5] 张德银, 罗英, 罗文田. 环境温度变化对航空铅酸蓄电池性能的影响[J]. 中国民航飞行学院学报, 2009, 20(2): 30-32.
- [6] 魏晓斌, 张磊, 张光, 等. 温度对阀控式铅酸蓄电池的影响分析[J]. 电源技术, 2008, 32(2): 122-123.
- [7] 于新武. 铅酸蓄电池低温性能的改善与提高[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [8] 王峰. 机动车上蓄电池用的恒温加热保温箱[J]. 河南交通科技, 1996(4): 41-43.
- [9] 李志香, 李晓艳. 柴油机冷启动系统的结构设计和实验研究[J]. 制造业自动化, 2015, 37(3): 83-86.
- [10] 宋兰庭, 赵云峰, 张时才, 等. 高原(严寒)柴油动力装备燃油加热低温启动系统研制[J]. 小型内燃机与摩托车, 2008, 37(1): 18-21.
- [11] 何西常, 张众杰, 张云飞, 等. 柴油机冷启动研究现状[J]. 柴油机, 2012(4): 1-4.
- [12] 刘瑞林, 靳尚杰, 孙武全, 等. 提高柴油机低温启动性能的冷启动辅助措施[J]. 汽车技术, 2007(6): 5-8.
- [13] ZHANG Cheng-ning, LEI Zhi-guo, DONG Yu-gang, et al. Method for Heating Low-temperature Lithium Battery in Electric Vehicle[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology, 2012, 32(9): 921-925.
- [14] MASAYUKI K, MAMI M, YUKITAK A. Study of Warming Method for Secondary Battery by Charging and Discharging[C]// 2013 IEEE 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems. PEDS, 2013: 354-357.
- [15] 姚永慧, 张百平. 青藏高原气温空间分布规律及其生态意义[J]. 地理研究, 2015, 11(24): 2086-2090.
- [16] GJB 6645—2009, 后勤装备通用战术技术指标要求[S].
- [17] GJB 5727—2006, 后勤装备高温低温湿热试验室试验方法[S].