

复合电源在内燃机车供电系统中的应用

吴宏军, 陈 诚, 黄敬云

(中车戚墅堰机车有限公司 产品设计部, 江苏 常州 213011)

摘 要: 介绍了超级电容及蓄电池复合电源在内燃机车供电系统中运用的目的、系统组成, 详细论述了电路设计的工作原理。进行了超级电容与蓄电池容量配比试验, 并通过现有机车的实际装车运用, 进一步论证了复合电源系统在内燃机车供电系统中应用的广阔前景。

关键词: 超级电容; 蓄电池; 复合电源; 容量配比; 供电系统; 内燃机车

中图分类号: U262.43; TM912 **文献标识码:** A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.04.008

Application of Ultra-capacitor and Battery Hybrid Power System for Diesel Locomotive Power Supply

WU Hongjun, CHEN Cheng, HUANG Jingyun

(Product Design Department, CRRC Qishuyan Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213011, China)

Abstract: Operation goal and the structure of ultra-capacitor and battery hybrid power system for diesel locomotive power supply was introduced, and the circuit design principle was expounded. Power capacity distribution ratio of the ultra-capacitor and battery was researched with experiment. The existing locomotive on-board operation validated the broad application prospects of hybrid power system for diesel locomotive power supply.

Keywords: ultra-capacitor; battery; hybrid power system; power capacity distribution ratio; power supply system; diesel locomotive

0 引言

目前, 内燃机车的启动大多数是利用蓄电池供电启动柴油机, 带动柴油机旋转, 直至到达发火转速。这种启动方式, 在柴油机开始转动的瞬间, 蓄电池需要进行大电流深度放电, 这对蓄电池的使用寿命有很大影响, 对蓄电池的容量要求较高。在环境温度比较低的情况下, 蓄电池的放电能力下降, 这也将直接影响柴油机的启动。

采用复合电源的启机技术, 将能大大降低蓄电池的放电电流, 从而达到提高蓄电池寿命的目的。该技术同时也避免了大电流下, 蓄电池内阻对控制电压的影响, 也可以解决冬季蓄电池容量下降后对柴油机启动的影响, 从而保证了柴油机启动的快捷性。

1 纯蓄电池电源现状

1.1 蓄电池的工况

在柴油机未启动时, 蓄电池随时准备为柴油机的启动提供动力, 同时持续为机车照明及控制系统提供电源。当柴油机启动完成后, 机车照明及控制系统的用电则由机车辅助供电系统提供, 此时蓄电池从辅助系统获取电能持续充电。蓄电池就在长时间浮充及瞬间大电流放电这 2 种常见工况之间不断循环工作。

1.2 蓄电池的容量

目前我国大多数的内燃机车都采用铅酸蓄电池, 铅酸蓄电池一般按 5C 的放电倍率设计。而内燃机车柴油机启动电流在 800~2 100 A 之间, 为了满足启动的需求, 蓄电池选用的容量一般都很大, 大致为 240~450 Ah (如 DF₁₁、DF_{8B}、GKD₂、HXN5B 机车), 而柴油机启动实际需要的蓄电池容量很小。根据试验数据可知,

国内 DF₁₁、DF_{8B} 等机车正常启动一次所消耗的电池容量约 1.5 Ah 左右^[1]。因此选用大容量的蓄电池虽然可以满足柴油机启动的需求，但蓄电池选取容量富裕度较大，导致机车成本增加。

1.3 蓄电池单独启动的问题

内燃机车蓄电池需要具有大电流放电的特性，而大电流放电对蓄电池的寿命将产生不良影响。蓄电池的深度放电是造成蓄电池极板硫化、腐蚀及活性物质脱落的根本原因^[2]。蓄电池的循环寿命与放电深度几乎成反比例递减。

实际应用中，调车机车由于作业的需要，机车启动频繁，但在冬季，蓄电池并不能完全满足此要求，司机大多数使柴油机长时间运行在随转工况来保证机车的连续使用，这不仅浪费了燃油，而且也使柴油机一直处于空载机械磨损阶段，降低了柴油机零部件的使用寿命。

2 电路设计

2.1 超级电容的作用

在柴油机启机需要蓄电池大电流放电时，对于纯蓄电池启机电路来说，蓄电池电压将迅速下降。在有超级电容的复合电源电路中，由于电容的特性，并联的超级电容端电压下降小，能够提供瞬间大电流，有效地阻止蓄电池电压的降低，支撑放电过程，稳定放电电压，保证启机的平稳性。

2.2 电路设计说明

复合电源启机电路经历了多次设计改进，超级电容从最初的仅仅辅助柴油机启机发展到现在参与机车运用的整个过程。最新简化的电路原理如图 1 所示。

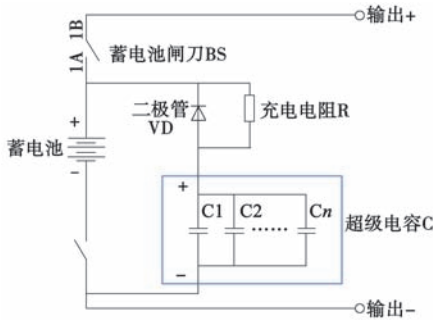


图 1 简化的电路原理图

超级电容 C 的正端通过二极管 VD 与充电电阻 R 的并联回路与蓄电池 BAT+ 端相连，蓄电池 BAT+ 端通过蓄电池闸刀开关 BS 输出供电；蓄电池 BAT- 通过蓄电池闸刀开关 BS 输出供电，超级电容负端直接并联到输出 - 端。

当蓄电池闸刀 BS 闭合时，蓄电池 BAT 通过充电电阻 R 给超级电容 C 充电，同时给机车其他设备供电。

在柴油机启机或使用蓄电池移车等需要大电流放电的工况，超级电容 C 通过二极管 VD 输出与蓄电池

BAT 并联后给机车供电，机车大电流应用时获得的电流将是蓄电池和超级电容的放电电流之和；一旦机车用电需求降低，蓄电池 BAT 再通过充电电阻 R 给超级电容 C 充电。

充电电阻 R 用于旁路二极管 VD 回路给超级电容 C 充电，同时限制充电电流，对蓄电池起一定的保护作用。由于电容的特性，电容充电回路接通的瞬间，电流较大，充电电阻 R 限制了充电电流的大小，有效抑制了瞬间电流冲击，保护蓄电池，从而实现低电流充电，大电流放电的目的。

当断开蓄电池闸刀 BS 时，蓄电池 BAT 完全从机车供电回路脱开，超级电容 C 正端将与机车供电回路脱开，超级电容 C 负端也将与蓄电池 BAT- 脱开，实现了蓄电池、超级电容系统、机车低压回路三者的隔离。

3 超级电容与蓄电池的容量配比试验

为了充分发挥超级电容的作用，减少蓄电池容量，降低成本和重量，在大功率 HXN5B 调车内燃机车上，进行了超级电容与蓄电池的容量匹配研究性试验。

3.1 超级电容与蓄电池的配比组合

蓄电池组选用 DLK170-64V 型或者 NM360-64V 型，超级电容选用 70V125F 型或者 70V62.5F 型或者 70V105F 型。对以上 2 种蓄电池组及 3 种超级电容作交互组合，组合如表 1 所示。

表 1 超级电容与蓄电池的配比组合表

蓄电池	与不同电容配合的组合			
	-	70V62.5F	70V105F	70V125F
DLM170-64V	第 1 试验组合 第 2 试验组合 第 3 试验组合			
NM360-64V	第 4 试验组合 第 5 试验组合 第 6 试验组合			
				-

对以上超级电容与蓄电池配比组合作特性对比，如表 2 所示。从质量、体积、成本角度综合考虑，第 2 组合 170 Ah 蓄电池与 105F 超级电容的配比方案比较优势。

表 2 蓄电池和超级电容试验组合特性对比

组合	蓄电池容量 / (Ah)	超级电容容量 / F	质量 / kg	体积 / L	成本 (估算) / 万元
第 1 组合	170	62.5	620	209.3	7.0
第 2 组合	170	105.0	625	200.3	4.2
第 3 组合	170	125.0	600	190.5	4.5
第 4 组合	360	-	975	333.7	3.0
第 5 组合	360	62.5	980	371.3	7.2
第 6 组合	360	105.0	960	362.3	5.2

3.2 试验数据

根据表 1 中所示试验组合，每个组合分别进行 3 次试验，试验条件基本相同。如第 2 组试验组合 DLM170 铅酸蓄电池和 70V105F 超级电容模组并联使用，捕获波形如图 2 所示。