

天然气管道高海拔地区 RTU 阀室钛酸锂电池应用分析

杨光 (国家管网集团联合管道有限责任公司西部兰州输气分公司, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 文章通过测量涩宁兰管道高海拔地区的某 RTU 阀室铅酸蓄电池改用钛酸锂电池后的性能, 分析了高海拔环境中钛酸锂电池在不同温度下的充放电稳定性和电压的变化情况, 结果表明钛酸锂电池在低温环境下压差变化较小、放电能力无明显衰减。为高海拔 RTU 阀室的蓄电池改造提供了参考。

关键词: RTU 阀室; 钛酸锂电池; 高海拔

0 引言

远程控制终端 (remote terminal unit, RTU) 阀室是保障石油天然气管道长距离运输和无人操作的重要设施, 长输天然气管道采用了大量的 RTU 阀室。RTU 阀室主要给自动化设备、通信及其他用电设备供应电力, 其电能容量需求较小, 而由于是无人值守, 对可靠性要求较高。

目前 RTU 阀室蓄电池大多采用铅酸蓄电池, 当阀室位于高海拔 (一般位于海拔 2800m 以上) 高寒地区时, 年平均气温一般在零下, 昼夜温差大, 夜间温度可能低至 -40°C 。在此环境中铅酸蓄电池存在许多问题, 根据朱红章等学者的分析, 蓄电池在高海拔地区会存在下面几种不良现象: 电池容量减小, 持续供电时间明显减小; 存在欠压现象; 充电效率降低; 电池出现鼓胀现象, 寿命减小。这就造成了蓄电池的运维成本高及供电可靠性差等问题, 为改善这些问题, 就需要探索使用新的电池储能设备。

钛酸锂 (化学式为 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) 电池指以钛酸锂 (LTO) 为负极材料的蓄电池。钛酸锂作为负极材料, 具有高安全性, 长循环寿命以及良好的环境适应性。碳及硅基的负极材料在充、放电过程中都会发生较大的体积变形同时引发一些问题, 如活性物质颗粒破坏、电极材料各组分之间的黏结破坏以及电解液对电极的侵蚀等, 钛酸锂是一类“零应变”材料, 几乎不形成稳定性较差的 SEI 膜, 避免了 SEI 膜在极端条件下分解再生成所导致的失控, 极大降低了电池起火、爆炸的隐患。同时钛酸锂材料有非常平稳的电压平台, 对锂电位约为 1.55V, 该工作电位远高于锂金属还原电位, 可以有效避免锂枝晶的形成, 大大提升全电池的安全性。

1 试验方案介绍

1.1 试验环境

本次试验地点位于青海省海南州贵德县境内日月

山支脉拉脊山 (海拔 3871m)。该处阀室铅酸蓄电池性能衰减明显。为解决此类问题, 通过采用钛酸锂电池替代此处的蓄电池, 测量分析钛酸锂电池在高海拔地区的适用性。

1.2 钛酸锂电池与其他电池对比分析

钛酸锂电池各项技术参数均优于铅酸电池, 其电池的设计寿命大于 20 年, 可以有效减少电池的更换频率。

表 1 技术参数对比

电池类型	铅酸电池	钛酸锂电池
现场容量	600Ah	1056Ah
放电深度	< 50%	> 90%
可利用容量	< 300Ah	> 950Ah
备电时间	< 0.5 天	> 2.6 天
工作电压	24V	25.3V
工作电流	0~3A	0~60A
充电时间	21h	8h
工作温度	0~50 $^{\circ}\text{C}$	-40~55 $^{\circ}\text{C}$
使用寿命	2~3 年	> 20 年

相对于铅酸电池, 钛酸锂电池具有更好的高低温充放电稳定性, 在 $-50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围能够实现完全充放电, 而铅酸电池在低温时充放电性能较低。钛酸锂电池具有相对较高的安全性, 深度 100% 充放电寿命在 25000 次, 其平台电压为 2.3V, 充放电温度相对更宽。

表 2 钛酸锂电池与其他锂电池对比

电池类型	LTO	NCM	LFP	LMO	NCA
正极	镍钴锰	镍钴锰	磷酸铁锂	锰酸锂	镍钴铝
负极	钛酸锂	碳基	碳基	碳基	碳基
标称电压 (V)	2.3	3.6	3.2	3.8	3.6
质量比能量密度 (Wh/kg)	50~80	180~304	150~180	110~150	240~300
使用寿命 (次)	10000~30000	800~2000	2000~5000	150~500	800~2000

充电倍率	5~10C	0.5~1C	0.5~1C	2~5C	0.5~1C
充电时间	6~10min 充电大于额定容量的 90%	~3hr	~3hr	15min 充电大于额定容量的 80%	~3hr
安全性	极安全	有安全隐患	安全	安全	差
充电温度	-40~45℃	0~45℃	0~45℃	0~35℃	0~45℃
放电温度	-40~55℃	-20~45℃	-30~55℃	-20~45℃	-20~55℃

2 RTU 阀室供电系统

RTU 阀室供电系统主要由光伏系统、蓄电池、电源、负载等组成。白天利用光伏向负载供电同时将多余的电能存储在蓄电池内，当光伏电量无法满足负载供电时，利用蓄电池中存储的能量向负载 RTU 提供可靠的后备电源。为保证负载供电的可靠性，配置了一套钛酸锂电池系统向负载供电。该储能系统包含钛酸锂电池、保护板 (BMS)、主动均衡模块 (BSU)、远程监控终端、CAN 转 485 模块。

表 3 钛酸锂蓄电池供电系统主要参数

输入电压范围 (V)	系统额定容量 (Ah)	系统额定电压 (V)	系统放电深度 (DOD)	储能系统综合效率 (η)
22~28.5	1056	25.3	95%	95%
系统可用电量 (kWh)	工作电压范围 (V)	额定充电电流 (A)	额定放电电流 (A)	工作温度范围 (℃)
24	19.8~29.15	137	15.81	-30~55

3 结果分析

本次试验分别选取 2020 年 10 月 6 日、12 月 1 日以及 2021 年 1 月 9 日三日数据进行分析。蓄电池温度分别提取了这三日 2 点至 23 点的数据。

这三日蓄电池箱内平均温度分别为 -0.4°C 、 -11.6°C 、 -18.9°C ，分别代表了温度在零度附近、温度变化较大以及温度较低的情况，通过分析钛酸锂电池的电压变化可以反应出其主要的低温环境性能。

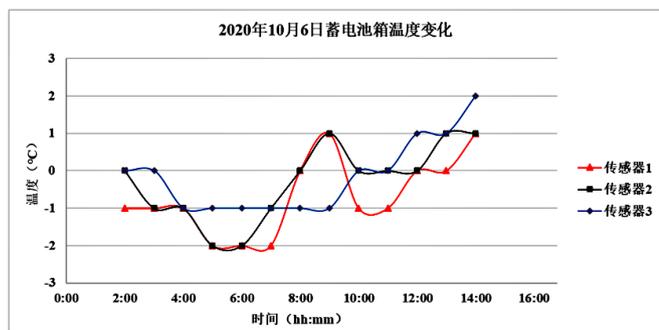


图 1 电池温度

由图 1 和图 2 分析发现，2020 年 10 月 6 日采集的

每个电池电压变化均在 0.05V 以内，电池的整体压差变化为 0.1V 以内；在平均温度为 -0.4°C ，最低温为 -2°C 的环境中单体电压一致性较好，此压差能够使得荷电保持率正常，无因温度变化引起的压差变大、可放电能力衰减情况发生。

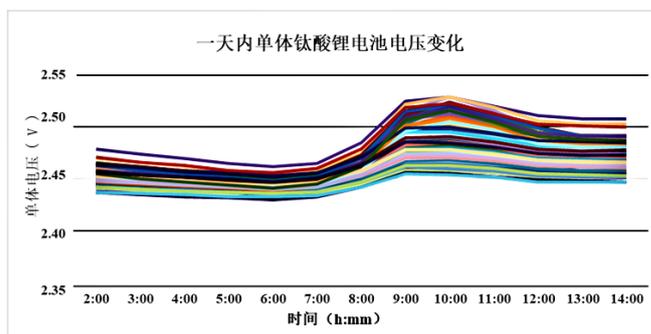


图 2 电压变化

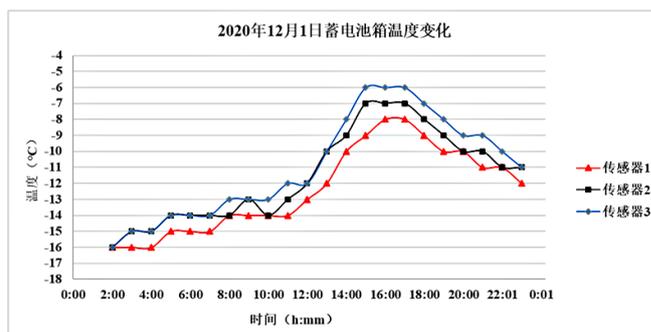


图 3 电池温度

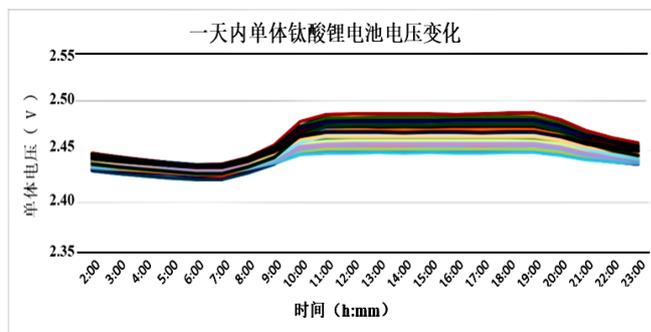


图 4 电压变化

由图 3 可以看出 2020 年 12 月 1 日的温度变化范围比较大，且蓄电池的温度较低。由图 4 分析可知，每个电池电压变化均在 0.03V 以内，电池的整体压差变化为 0.05V 以内；在平均温度为 -11.6°C ，最低温为

-16℃的环境中, 单体电压相对较为稳定, 相比于前一次的测量数据电压变化更小, 特别是在 10:00~20:00 温度在 -10℃以上时电池的电压几乎不发生浮动; 电压变化的稳定能够使得荷电保持率正常, 具有更好、更稳定的可放电能力。

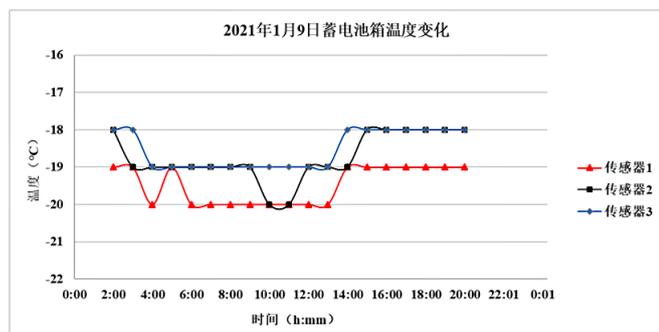


图 5 电池温度

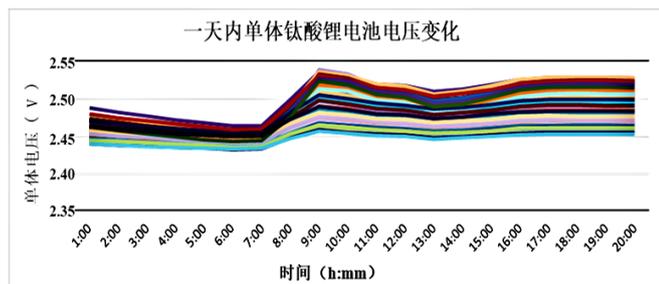


图 6 电压变化

由图 5 可以看出 2021 年 1 月 9 日的温度变化不大, 蓄电池的温度较低。

由图 6 分析可知, 每个电池电压变化均在 0.05V 以内, 电池的整体压差变化为 0.1V 以内; 在平均温度为 -18.9℃, 最低温为 -20℃的环境中单体电压相对较为稳定, 电压变化的稳定能够使得荷电保持率正常, 具有更好、更稳定的可放电能力。

4 结论

通过分析, 选用了钛酸锂负极材料作为蓄电池的阀室, 在高海拔环境下, 电池均表现出很好的稳定性, 荷电保持率正常, 具有更好、更稳定的充放电能力。

参考文献:

[1] 张一, 马亮, 唐云飞, 等. 国外长输管道工程阀室设计推荐做法简介 [J]. 石油和化工设备, 2019, 22(06): 25-27.
 [2] 李柏松, 谭东杰, 李华, 等. 偏远油气管道 RTU 阀

室供电方案探讨 [C]// CIPC2011 中国国际石油天然气管道会议, 2011.

[3] 端木君, 梁富华, 江辉. 关于西气东输管道 RTU 阀室电源改造的研究 [J]. 石油工程建设, 2013, 39(05): 64-66.
 [4] 郑果, 杜磊. 太阳能电源在兰郑长管道工程中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 33(13): 250.
 [5] 朱红章, 吴学伟. 高海拔高寒通信保障中蓄电池的影响及对策分析 [J]. 山西建筑, 2016, 42(30): 132-133.
 [6] 张世威, 谭志勇, 曲铁涛, 等. HXN₃ 型过渡方案高海拔内燃机车蓄电池充电系统 [J]. 轨道交通装备与技术, 2017(04): 4-6.
 [7] 唐彪. RTU 阀室冬季运行现状与技术改进 [J]. 科技资讯, 2012(30): 179.
 [8] 吴可. 钛酸锂动力电池寿命衰减研究 [D]. 北京: 北京科技大学, 2018.
 [9] 李清琳. 离子掺杂 Li₄Ti₅O₁₂ 负极材料制备与电化学性能表征 [D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
 [10] 张旭, 曹奇林. 基于 PLC 的长输天然气管道 RTU 阀室配电保护系统设计研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022(11): 42.
 [11] 胡天明, 贾彦琨, 李小龙. 西气东输二线江西段监视阀室太阳能供电系统升级改造 [J]. 中国设备工程, 2020(19): 2.
 [12] 赵海涛. 输气管道 RTU 阀室的供电方案 [J]. 中国化工贸易, 2012, 4(12): 2.
 [13] 葛静华, 万丽. 长输管道监控阀室供电方案分析 [J]. 电工技术, 2018(11): 3.
 [14] 李菲菲, 李磊, 廖晖, 等. 国内外油气长输管道阀室设计标准差异研究 [J]. 石油化工自动化, 2019, 55(2): 5.
 [15] 孙鹏. 长输油气管道阀室太阳能供电系统的使用和维护 [J]. 中国新技术新产品, 2014(13): 1.
 [16] 刘亨杰, 白文斌, 石靖. 高原低温环境对电站蓄电池的性能影响及对策研究 [J]. 移动电源与车辆, 2021(3): 52-53.
 [17] 师海斌. 基于 PLC 的长输天然气管道 RTU 阀室配电保护系统设计 [J]. 机电技术, 2019(7).

作者简介:

杨光 (1983-), 男, 汉族, 甘肃宁县人, 毕业于天津大学, 本科, 工程师, 研究方向: 电信仪管理。