

[储能]

油气田分布式光伏发电系统储能安全问题研究

文/唐 明
大庆油田电力运维分公司

在石油开发与生产领域，油气田的位置偏远，相关单位普遍选择电化学储能技术解决电力波动等问题，但受技术限制，电化学储能技术在使用过程中存在一定的安全问题，严重影响现场生产作业。简要介绍了油气田分布式光伏发电系统储能系统，并结合相关科学理论知识和数学方法，对油气田分布式光伏发电系统储能安全问题进行了综合分析，提出有针对性的安全问题解决建议。

当前，我国高度重视能源问题，提出了“碳达峰、碳中和”战略发展规划，坚持进行能源转型，突出战略引领。在此过程中，油气田分布式光伏发电系统属于比较典型的项目类型，其核心是利用新能源电力驱动油气井井口开采设备（如抽油机等），通过这种方式提升清洁能源的利用率，实现降低碳排放的效果。在实践中，新能源存在比较明显的不稳定性，需要配置有针对性的储能系统解决电力供应的波动性问题。另外，储能系统本身还存在一定的安全性问题，在现实工作情境中很容易出现爆炸风险，造成重大人员伤亡以及财产损失，因此，对储能安全问题进行研究具有一定现实意义。

油气田分布式光伏发电系统储能系统简介

当前，油气开采单位利用新能源的主要形式是油气井分布式光储一体供能系统。此类系统的主要供能对象是油气井井口以及周边的众多设备，包括抽油机及电动机等，功率通常在100 kW以下。由于光伏发电系统在夜间无法产生电力，因此，需要在光伏发电系统的基础上配备储能系统，保证夜间的持续供能。一般而言，储能系统的容量应当能够保

证8~10 h的持续电力供应。

比较常见的化学储能系统通常由集装箱外壳、电池柜、电池管理系统、空调风道系统和消防灭火装置等共同组成，相对较复杂。储能系统的核心部件首先是电池管理系统，主要工作任务是对电池的充放电流程进行控制，保证电池本身的寿命。其次是储能变流器，功能是将电网侧的交流电转化为直流电，并通过电池元件进行储存。另外，电化学储能技术的核心辅助设备包括温度控制系统与消防系统，其中，消防系统属于安全管理的最后一道防线，在探测到异常火警信号之后，能够自动完成灭火作业。

油气田分布式光伏发电系统储能安全问题

油气田分布式光伏发电系统储能主要存在以下几种安全风险与隐患。

- 1) 电气风险。主要指的是储能系统中的高压直流电、设备等，在某些情况下可能会对操作人员造成严重危害，同时也可能导致系统短路，整体工作异常。
- 2) 化学危害。电储能系统中的核心元件，即锂离子电池，其中的电解液主要由六氟磷酸锂及聚丙烯

二乙烯等物质组成，此类物质属于典型的有机挥发性液体，具备比较明显的腐蚀性特征，在使用过程中一旦发生泄漏，很容易对人体造成危害，症状轻重不一，主要包括过敏、支气管炎、肾衰竭及失明等。同时，锂离子电池在过充电过程中产生氟化氢气体，会对人的皮肤等部位造成明显损伤。

3) 火灾与爆炸。储能系统中的电气系统以及电池在使用不当的基础上很容易出现火情，表现为电气火灾及电池热失控火灾。同时，当外界和电池本身产生的爆炸性气体浓度（如轻烃蒸汽等）达到爆炸极限且火情进一步扩张时，很容易产生爆炸现象，进而对工人生命安全以及单位财产造成严重损害。

油气井储能风险情况综合分析

电化学储能装置在实践中存在较强的爆炸可能性，因此，对油气井相关设备进行安置时，应当充分考量安全间距。但是在实践中，过度扩大安全间距又会显著增加建筑成本，因此需要对最小安全边界值进行计算，并在此基础上进行储能设备的安全布置。

1. 热失控产生气体简单计算

对热失控产生气体情况进行简要计算。通过对近年来的安全事故进行分析可知，电池储能装置的热失控状态会导致燃烧以及气体爆炸，本次研究假设为定容爆炸过程，为了进一步简化模型，拟定了三点基本假设：①储能模块发生热失控之后，短时间内温度压力迅速升高，在超过一定水平时向外释放，此时气体的初始压力根据热力学规律确定；②采用一维方式对相关参数进行计算，分析爆炸范围以及爆炸规律；③假设储能电池强度满足定容过程至温度达到爆炸气体平均最高温度，只从一点对高温气体传播影响进行综合分析。

具体计算流程：计算初始压力 P_0 ，假定电池舱模块容量为1 MW·h，典型锂电池电解液成分是37%质量分数的 $C_3H_4O_3$ 与63%质量分数的 $C_4H_8O_3$ 。

采用相同电芯的电解质满足公式

$$n_{EC}=608.256C, n_{PC}=929.664C \quad (1)$$

式中， n_{EC} 为 $C_3H_4O_3$ 的量，单位为mol； n_{PC} 为 $C_4H_8O_3$ 的量。

在实践中，热失控分解会按照特定反应式进

行，气体体积 V 计算公式为

$$V=0.022\ 4\ (3n_{EC}+4n_{PC}) \quad (2)$$

储能电池仓的规格比较相似，一般为12 m×2.4 m×3 m，在此基础上，电池舱气相空间计算公式为

$$V_1=C_{space}\ (32.4C+21.6) \quad (3)$$

式中， C_{space} 为空间系数，通常为42.7%。

通过绝热压缩方程及定容爆炸等公式进行综合计算得知，爆炸初始压力随着储能容量变化而变化，如图1所示。

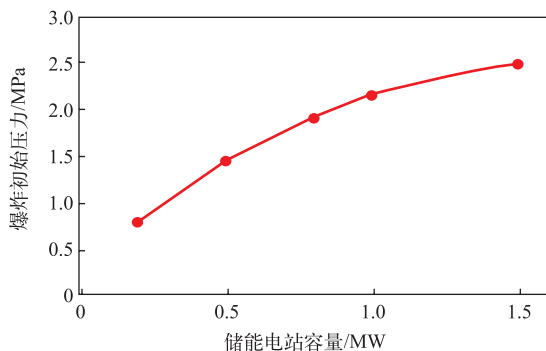


图1 爆炸初始压力与储能电站容量关系曲线

2. 热失控影响范围计算

热失控气体主要通过气体混合诱发火灾及爆炸、热辐射两种方式对周围造成影响，其中，火灾及爆炸的影响范围相对较小，因此需要着重考量热辐射对周围设施的影响。关系式为

$$I=\frac{\eta\tau m_{eff}\Delta H}{4\pi r^2} \quad (4)$$

式中， η 为辐射效率， τ 为大气透射率； ΔH 为混合气体燃烧热， m_{eff} 为有效渗透速率。

在实践中，相关单位可以按式（4）完成热失控影响范围的计算。

安全管控建议

根据上述内容可知，储能装置的热失控风险随着储能规模的增大不断上升，影响范围出现比较明显的扩大现象，因此，不能完全按照相关防火规范的内容要求进行新能源储能项目设计。

油气井光储系统整体设计中应注意的要点：

1) 在整体系统建设过程中，对于不同储能规模的电池系统，技术人员应对其基本化学性质及结

(下转第59页)

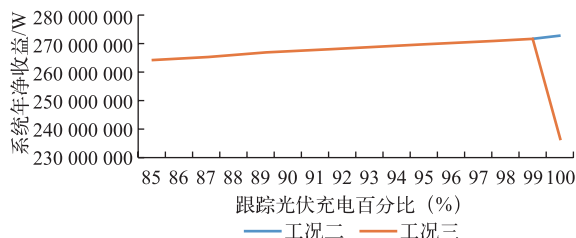


图3 系统净收益变化曲线

结束语

1) 光储系统中储能充电时段 (10:00~16:00) 存在储能从电网吸取电量现象, 原因是PCS响应光伏发电功率波动不及时, 储能光伏发电功率突降时从电网吸取了电量。

2) 在储能以较小功率进行放电时, 系统从电网

取电量, 有可能超额导致被收取附加费, 其中储能从电网吸电量对从电网取电总量超额有一定影响。

3) 采用设置跟踪光伏充电百分比的方式, 可以有效减少系统从电网取电总量及降低超额次数, 在极端工况下可以提升系统的净收益。EA

(收稿日期: 2022-09-20)

参考文献

- [1] 姚维平, 鄂志君, 张宁, 等. 光伏电力混合储能系统的能量管理策略研究, 2021 (2): 264-269.
- [2] 劳大实. 探析园区多能互补智慧能源系统的设计及运行 2021 (6): 3-6.

(上接第56页)

构参数等内容进行综合考量, 并在此基础上进行计算, 得到具体的安全间距, 并将其作为设计依据。通过计算可知, 1 MW·h项目可采用46 m的安全距离, 在事故发生时能有效降低事故危害。

2) 技术人员应该注重对储能系统本身的设计, 在设计过程中, 尤其应注意对安全泄放装置的要求, 尽量降低在运行过程中可能出现的泄放压力。

3) 为了防止火灾及爆炸事故造成严重损伤, 相关技术人员必须强化消防系统。首先, 应合理布置火灾监测传感器, 只有这样才能抓住源头。其次, 应选择高效的灭火剂, 这是有效阻止火灾进一步蔓延的核心要求。

4) 在进行整体设计时应重视次生事故影响, 即火灾可能导致的爆炸, 技术人员需要综合储能系统危害及风向等多种要素, 对现场布局进行综合优化。

5) 引进新技术, 如AI技术、大数据技术等, 对安全管理系统进行全方位的技术升级, 运用新技术提升电池本身安全性等。

结束语

在“双碳”大背景下, 油气田分布式光伏发电系统储能安全问题已经成为困扰油气开采行业的重

要问题之一, 有效解决该问题, 对于保障能源安全具有十分重要的价值与意义。对油气井储能风险情况进行了综合分析, 推导出主要计算公式, 并给出一定的安全管控建议以及设计要点。EA

(收稿日期: 2023-01-05)

参考文献

- [1] 钟坤炎. 不同支架结构形式的屋顶分布式光伏发电系统太阳辐照度研究[J]. 电气技术与经济, 2022(5): 10-13.
- [2] 吕晓洁. 基于深度学习的分布式光伏发电系统电压稳定性评估[J]. 电子设计工程, 2022, 30(17): 114-118.
- [3] 李安乐, 易志刚, 彭星. 基于模型预测控制的厨余垃圾处理厂分布式发电系统优化调度[J]. 湖南电力, 2022, 42(4): 75-80.
- [4] 王佳莉, 韩肖清, 姜文杰, 等. 复合储能系统在分布式光伏并网系统中优化方法研究[J]. 电气应用, 2020, 39(6): 51-55.
- [5] 姚俊伟, 范李平, 王海亮, 等. 基于物联网的分布式光伏发电系统故障监控技术研究[J]. 电力学报, 2022, 37(4): 279-286.