

大型电池储能电站直流系统接地方式研究

翟新军, 胥勇, 李伟强, 杜昊, 赵嘉伟

(中广核新能源投资(深圳)有限公司新疆分公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 在大型电池储能电站建设过程中, 人们对电站内部接地方式越来越重视, 科学合理的接地方式是保证大型电池储能电站正常运行的关键要点。因此, 在选择接地方式的过程中, 必须充分结合大型电池储能电站的实际情况, 以确保大型电池储能电站能够安全稳定运行、继电保护配置、电站绝缘等设施都能够发挥正常功能, 达到良好的水平为原则, 科学合理地选择最适合大型电池储能电站的接地方式, 从而有效保证大型电池储能电站的安全、稳定运行, 有效提高大型电池储能电站的供电稳定性和供电质量, 为广大用电用户提供安全、可靠、稳定、充足的电力能源, 有效增强用户的用电体验。

关键词: 电池; 储能电站; 直流系统; 接地方式

中图分类号: TM614

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2022.09.041

电池储能电站是一个使用电化学电池或电能磁能存储介质方法, 对电能进行存储、转换和释放的设备系统, 该系统可以循环应用。电池储能电站的主要功能, 就是对用电峰谷进行有效调节, 从而科学合理地分配电力能源, 既能够满足用户的用电需求, 同时也能够减少电力能源浪费现象, 更为电力能源生产系统的持续、稳定运行提供了重要的保障。在电网运行过程中, 电池储能电站发挥着调峰填谷、提高电能质量和电力系统可靠性的重要作用, 是维护电网安全、稳定运行不可缺少的重要措施。而接地电力系统、电气装置中的重要组成部分, 同时也是电池储能设备系统安全性的重要方式。接地方式有很多种, 基于电力事业建设的重要性, 在大型电池储能电站中, 必须对接地方式进行科学合理的选择, 这是保证大型电池储能电站建设安全性的关键要点。

方式时, 必须充分各种接地方式的优缺点和设计特征, 从而科学使用接地方式。使用不同的接地方式, 在发生故障时, 故障电流的通路以及故障特征会有不同的表现。因此, 科学合理的选择接地方式, 对大型电池储能电站的正常运行, 具有至关重要的作用^[2]。

2 基于直流系统不同接地方式的极地故障特点分析

所谓极地故障, 就是指连接电池组正极或负极的线路发生的接地短路故障。一般情况下, 发生极地故障时会存在过渡电阻的现象。过渡电阻并不是一成不变的, 而过渡电阻的变化会对直流系统故障后的电气量造成直接影响, 导致电气量也发生相应的变化。直流系统侧的接地方式, 对极地故障的发生概率具有非常重要的影响, 使用不同的接地方式, 其故障电流的具体表现情况也各不相同。因此, 科学合理的选择接地方式, 对减少大型电池储能电站故障的发生, 保证大型电池储能电站运行的稳定性, 具有极为深远的影响。

1 电池储能电站接地方式概述

1.1 电池储能电站结构概述

电池储能电站的结构主要包括四个模块, 即电池储能模块、换流器模块、滤波器模块以及并网变压器模块。在放电工作状态下, 电池储能单元的直流电, 会经过逆变器, 转化为交流电, 然后再由滤波器对交流电进行处理, 滤除谐波后进入并网变压器和中压断路器, 有效连接配电网, 实现供电服务。当储能电站在充电状态下, 其工作流程则与放电工作状态相反^[1]。

2.1 直流系统不接地方式

在大型电池储能电站建设过程中, 如果采用直流系统不接地的方式, 在这种情况下, 当直流只发生一点极地故障时, 因为没有故障电流通路, 所以对大型电池储能电站的正常运行不会造成影响, 能够有效保障大型电池储能电站供电服务的可靠性, 保证其能够持续运行性。注意, 不影响大型电池储能电站正常、持续运行的情况, 只限于极地故障仅有一点。一旦发生的极地故障较为严重时, 就是受到直流连接线对地电容的放电作用的影响, 导致直流母线产生过电压, 这对母线的绝缘水平是一个非常严峻的考验, 同时对人身安全也会产生极为严重的威胁。因此, 在极地故障较为严重的情况, 只能允许大型电池

1.2 电池储能电站直流系统接地方式简析

在大型电池储能电站接地方式中, 低压直流侧的接地方式, 可以具体分为接地和不接地两种。其中, 接地方式又可分为负极接地和电池组中点接地方式; 或是根据其他标准分为高阻接地和低阻接地两种接地方式。在大型电池储能电站中选择接地

储能电站系统持续运行一段时间，必要时需立即切除故障，以保证大型电池储能电站的安全、稳定及可靠运行。同时，这也是保证供电服务质量和供电稳定性的关键措施。

2.2 电池组中点接地方式

当大型电池储能电站选择使用电池组中点接地方式时，在这种情况下，如果直流系统发生极地故障，此时故障电流就会形成三条通路，分别是电池组回路、直流储能电容放电回路以及换流器整流回路。根据直连接线情况的不同，此时极地故障的具体表现形式也各不相同。

如果是以电缆作为直流连接线，此时就会发生电池组到故障点、故障点到直流母线之间存在电容的现象。需要注意，在这种情况下形成的电容，其数值是非常小的，数量级仅为 10^{-8}F 。

如果采用普通导线作为直流连接线，在这种情况下，电池组到故障点、故障点到直流母线之间的电容值为0。根据相关计算公式可以计算出，连接电缆电容仅能储存很小的电容。发生极间短路时，在这一过程中也只能提供极小的能量，因此对于电缆电容放电造成的影响，是可以忽略的。

如果发生金属性短路现象，此时在电池组中会存在非常大的稳态短路电流，甚至可能趋势电池对电流的最大容许数值。在这种情况下，由于电流过大，就会触发电池自身的保护动作，从而有效保证电池不会受到过大的电流的损害。

如果发生经过渡电阻短路现象，就可以将这一现象作为判断直流侧故障的依据，确定直流侧故障情况。

负极电池组回路的基本情况与上述内容大致相同，需要注意的是，在负极电池组回路中，短路电流与正极电池组回路几乎一致，二者的差别仅在于电流方向相反。

2.3 电池组负极接地方式

当正极连接线发生极地故障时，电池组回路、直流储能电容放电回路以及换流器整流回路都将变为故障回路。在这种情况下，电池组回路受故障影响，会产生非常大的故障电流，其稳态短路电流更将会上升至电池组中点接地方式下短路电流的两倍。特别是在发生金属性极地故障的情况下，要判断是否发生继电保护动作，可以直接将电池组回路故障电流作为判断的依据。

3 直流侧非金属性短路情况下故障的特点分析

3.1 正极连接线经过渡电阻短路时故障的特点

在直流系统环境下，如果在大型电池储能电站中，采用电池组中点接地方式，此时若发生正极连接线接地故障，在存在过渡电流的情况下，需要注意，此时低压直流系统中的过渡电

阻是非常小的。因此，基于这一现象，电池组回路稳态电流虽然会受到影响而有所降低，但是其故障电流量仍是非常大的，不能忽视这一点。针对这一现象，如果采用过电流保护措施，只需要对电流整定值进行适当的降低即可，能够有效确保继电保护装置正确动作，保证大型电池储能电站的正常运行。

3.2 负极连接线经过渡电阻短路时故障的特点

电池组中点接地直流系统属于对称结构，受到结构特征的影响，当极地故障存在或发生在负极连接线上时，故障的特点与正极连接线故障的特点是相同的。在电池组负极接地方式中，如果接地故障发生在负极连接线上，此时直流系统的电流流通回路是可以正常运行的，同时还会形成一条新的回路，即接地点到负极拉地线并流回负极的回路。

在大型电池储能电站中，内部的直流系统侧的阻抗是非常小的。因此，当发生金属性接地短路时，并不会对负极连接线上的电流运行影响产生太大的影响，虽然与正常情况相比，电流以会有一定的减少，但并不会减少很多。针对这种情况，可以采用欠量保护方式进行保护，但是其灵敏度相对较低，不够理想。

在故障情况下，直流连接线上的电阻远远小于过渡电阻，因此在负极连接线的首端，产生的故障电流与正常情况下的电流相差不大。由于电流变化幅度较小，因此很可能无法触发保护动作。针对这种情况下，可以更换功能更先进、灵敏度更高、动作速度更快的保护装置，但会使大型电池储能电站的建设成本大幅度增长，影响其经济效益。所以，基于过渡电阻造成的影响，在应用电池组负极接地方式的过程中，负极连接线上的直流系统一旦发生故障，就可能造成原有保护失效。由此可见，对于大型电池储能电站来说，这种接地方式的可靠性不佳，不能满足大型电池储能电站的安全、稳定运行的需求。

4 不同的接地方式电池储能电站稳态运行情况分析

一般的并网变压器，在电站侧绕组部分，通常会采用Y型接法且中性点接地方式。同时，还会对三相电压型逆变电路进行专门设置，使其在任何时刻，每一个电路只有一个开关能够被驱动导通。在驱动导通的过程中，上下开关管的驱动信息能够有效实现互补。也就是说，在任意时刻，三相桥式电压型逆变器都有三个开关管可以同时动作，同时被驱动导通。

对三相分别记为A相、B相和C相，由于三相都存在一条直流回路，这条直流回路经过电池组、导通的开关管、交流侧接地线以及直流侧接地线几个部分，最后导通形成直流回路。在导通情况下，A相的直流通路，主要流经电池组、开关管、A相交流线、并网变压器以及直接接地线等元件，B相和C相

的直流通路也和 A 相相似。

基于直流通路的流线路径，当采用直流电池组中点接地方式时，由于电池组的结构具有对称性特征，因此每相流过的直流电流也是对称的，也就是说会有两个大小相等但是方向相反的直流电流流经每相。而交流系统相的电流不会受影响，没有任何变化。

如果在大型电池储能电站中采用直流电池组负极接地方式时，交流系统相电流就会受到一定的影响。这是因为，在这种接地方式环境下，直流电流对交流系统相电流能够起到助增作用，所以一旦直流电流发生变化，就会导致交流系统相电流增大很多，而且电流波形会向上发生偏移，同时还会导致继电保护装置发生误动。所以，当大型电池储能电站的电力系统能够正常运行，而且储能电站也能够为配电网正常输送电能时，应用直流侧电池组中点接地方式，在发生故障时对交流侧配电网产生的影响最小，能够有效保证配电网的正常运行。

5 大型电池储能电站直流系统接地方式仿真系统及参数分析

5.1 仿真系统及参数分析

利用 PSCAD/EMTDC 系统，在其中建立仿真系统，能够将整个大型电池储能电站进行有效的仿真测试。在仿真系统中，能够完美模拟大型电池储能电站的整个储能系统。当储能系统由电池组，经连接电缆直接与直流母线进行连接，然后再连接换流器，经过三相线路，与并网变压器连接后，再接入配电网之中。仿真系统能够对这一结构进行完美仿真，并对系统直流部分发生极地短路故障进行有效模拟，充分体现出故障特点。利用仿真系统，验证了系统直流极地短路故障的发生位置，有一半的可能性会发生在电池组连接电缆之处。

5.2 仿真结果分析

首先，是极地故障仿真结果分析。基于三种不同的接地方式，在不同的接地方式下发生的极地故障，其故障电量波形各不相同。其中，应用直流侧不接地方式时，如果极地故障发生在正极连接线上，就会对地电容发生放电作用，负极直流母线则会产生过电压，但不会对大型电池储能电站的整体运行造成太大的影响，在发生故障的情况下，大型电池储能电站仍能够正常运行一段时间。如果应用电池组中点接地方式，在这种情况下发生极地故障，就会导致接地线上有很大的电流流过。而大型电池储能电站中的继电保护装置是否要发生动作，往往是

以这一故障作为依据的。如果采用电池组负极接地方式，当极地故障发生在正极连接线上时，检测故障最有效的办法就是检查接地线上的大电流。当极地故障发生在负极连接线上时，接地线上的电流变化很小，而且负极连接线的首端电流，和正常电流相比会略有降低，但幅度很小，因此虽然可以实施欠量保护，但灵敏度较低。

其次，是非金属性接地故障仿真结果分析。在电池组中点接地直流系统中，如果应用电池组中点接地方式，即使会产生过渡电阻，但故障电流极是非常大的。这就证明，过渡电阻对继电保护装置的影响较弱，不断干扰继电保护装置的正常功能。而在电池组负极接地直流系统中，如果负极连接线发生接地故障，此时就会因为受到过渡电阻的影响，电池组负极连接线首端的故障电流与正常情况下的电流相比变化不大，这就造成继电保护装置无法检测到异常，进而造成保护不动作问题，会对大型电池储能电站的安全运行造成严重的影响。

最后，是不同接地方式下电站稳态运行特点仿真结果分析。直流电池组中点接地方式环境下，交流侧相电流的波形不会受到太大的影响。直流电池组负极接地方式环境下，交流侧电流波形会受到直流电流分量的影响而发生向上平移的现象，进而触动保护装置，发生保护误动问题，这对大型电池储能电站的正常运行，会造成极为严重的干扰。

6 结束语

综上所述，针对大型电池储能电站直流系统接地方式必须进行深入研究，这是我国加强电力事业建设的重点内容之一，对我国电力事业的发展进步，提高我国电力事业的建设水平，都具有极为深远的影响，更对我国社会经济发展建设，奠定了坚实的基础。

参考文献：

- [1] 张浩杰, 陈皓, 李焱琴. 交直流混联电力系统储能容量优化配置仿真[J]. 计算机仿真, 2020, 37(10): 5.
- [2] 李文启, 高东学, 李朝晖, 饶宇飞, 孙鑫. 基于全钒液流电池多储能模块的双层功率分配策略研究[J]. 电器与能效管理技术, 2020(10): 98-106.

作者简介：翟新军（1981-），男，新疆呼图壁人，工程师，本科，主要从事新能源发电、储能系统、继电保护研究。