

储能型能量回馈系统在门机上的技术应用分析

潘磊

(南京港机重工制造有限公司 江苏 南京 210000)

摘要: 门座式起重机是散杂货码头装卸作业的关键设备,其灵活的装卸特性深受用户欢迎。门座式起重机简称门机,在起升下放以及主要机构减速过程中,势能及动能会转换为再生电能,所配置的变频驱动系统通常采用制动电阻将再生电能转换成热能消耗,或是通过公共的整流回馈单元将再生电能回馈到供电电网。起重机储能型能量回馈系统是不同于上述两种方案的一种成熟可靠的技术方案,配置储能型能量回馈系统的门机,整机能效水平提升明显,还能降低门机主电源的峰值负载,实现优化码头配电网络的功能。

关键词: 门座式起重机;变频器;超级电容;能量回馈

1 通用型变频器工作原理

通用变频器的功能就是将频率和电压都固定的交流电源变成频率、电压都连续可调的三相交流电源。三相交流电首先通过二极管或可控硅整流桥得到直流电,再经电解电容滤波稳压,最后经无源逆变输出电压、频率可调的交流电给电动机供电。通用变频器不能直接用于需要快速起/制动和频繁正/反转的调速系统。因为这种系统要求电机四象限运行,当电机减速、制动或者带位能性负载重物下放时,电机处于再生发电状态。由于整流器能量传输不可逆,产生的再生电能传输到直流侧滤波电容上,产生泵升电压,过高的泵升电压有可能损坏开关器件、电解电容,甚至会破坏电机的绝缘,威胁系统安全工作,从而限制了通用变频器的应用范围。

2 单传动变频系统

对于门机而言,起升机构下降减速时大量的势能通过电动机转化为电能,常规的方法是采用能耗制动,即利用挂在变频器直流母线上的制动单元和电阻将这部分转化过来的电能通过热量的形式消耗掉。该方法虽然简单,但也存在浪费能源等诸多缺点。

3 多传动能量回馈系统

变频调速能量回馈控制技术是采用有源逆变技术,将再生电能逆变为与

电网同频率同相位的交流电回送电网,从而实现制动运行。它极大地提高了系统的效率,因此逐步成为大功率设备的首选控制方式。采用全控型器件作为有源逆变的功率开关器件可以提高系统的效率,抑制谐波和机械噪声,这使得基于全控型器件的能量回馈控制系统具有更广阔的应用前景。

4 储能型能量回馈系统技术应用原理

系统主体由能量管理单元(变流驱动控制)、超级电容储能单元两部分组成,在门机电控系统方案中,将起升、变幅、旋转三个机构的逆变驱动均并联于直流母线,本方案仅以起升机构作示意(图1)。

能量管理单元根据电机运行状况来决定直流母线、储能单元之间的能量流动方向。当起升电机处于下降势能发电状态时,再生能量经由起升逆变器整流汇聚于直流母线,直流母线电压抬升,再生电能由直流母线流向储能单元,此时储能单元处于充电状态(即回

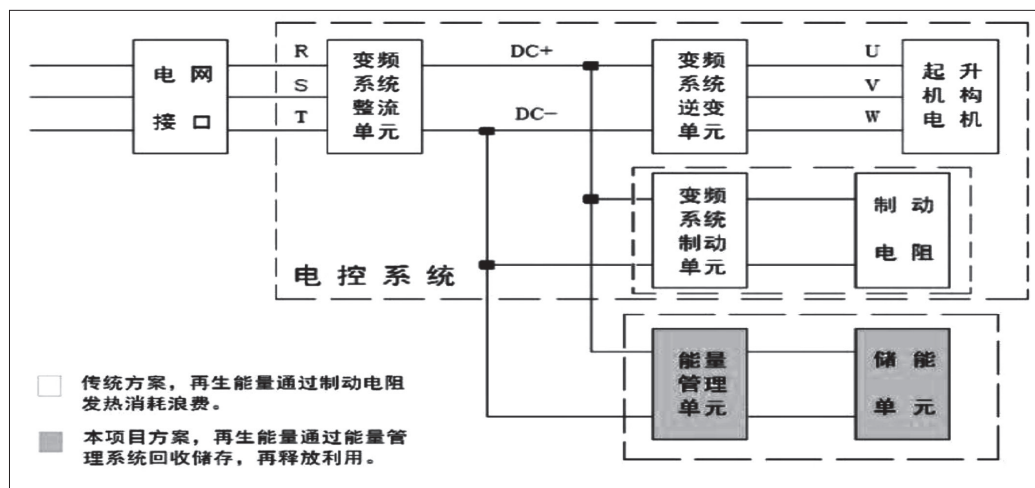


图1 储能型能量回馈系统方案简图

收能量)；反之，当电机处于提升电动状态时，再生能量由储能单元流向直流母线和外部市电共同为变频器逆变机构供电，此时储能单元处于放电状态（即循环利用能量）。其中，能量管理单元控制储能单元输出功率根据负载功率变化进行动态响应，以实现快速充放电能的循环过程。

5 储能型能量回馈系统功能特点

(1) 实现门机运行过程中的势能、制动能所转化的再生电能在本机内的循环利用，无需反馈回码头供电网路，不会对码头电网产生闪变、谐振和电能质量的影响。

(2) 能量回馈功能综合单传动变频系统，改为公共直流母线系统结构，最大化地利用了电能，优化整机能效水平。根据作业工况实测，不同码头的门机可以节电 25% ~ 40%。

(3) 已应用的港口起重机械项目，均在直流母线上挂载制动电阻。正常作业中，除超级电容吸收再生电能外，仅有很小一部分峰值再生电能通过制动电阻溢流消化。另外，保留制动电阻，满足港口业主提出的在能量回收系统故障状态下或者是能量回收系统检修期间门机可以不停机的要求，避免了超级电容故障状态下停机的风险。

(4) 超级电容不同于锂电池，其储能原理不存在电化学反应，耐宽温、安全稳定性好，衰减周期长，因此检修工作量小，其超级电容模组已在国内公共交通、

高铁、城市轨道交通领域应用多年，可靠性、安全性得到了充分的验证，性能达到国际领先水平。其满充满放电循环，全寿命周期达到 100 万次，折算在门机上的应用时间可以达到 10 年左右。

(5) 超级电容管理系统对电容总电压、电流及每个电容模块电压及温度实时监控，有总电压过压、过流、温度过高、模组过压，模组压差过大等保护配置，通过 CAN 通讯快速把信息传送给 PLC，从而系统可作出判断。

(6) 在直流母线与电容间采用充放电控制器，母线与电容不是直接连接，这样可以为电容系统增加一道保护，当充放电回路出现故障或电流过大时，充放电控制器可以很好地保护电容并阻止大电流对电容的损坏。

6 项目案例分析

本文拟对门机配置超级电容储能系统的再生电能回收、存储和循环利用编制设计方案。图 2 为实现门机起升、变幅、回转三个机构的势能、制动能回收，同时具备应急工况功能的电气系统（含储能回馈系统）方案。

如图 2 所示，将门机电控系统起升、变幅、回转三个机构的变频器直流侧并联成直流母线回路结构，以起升机构变频器的整流部分作为整个电控系统的公共整流端，各机构独立的制动单元、制动电阻回路结构保留，超级电容储能回馈系统挂载于该直流母线系统上。

正常作业下，三大机构动作的势能、制动能转化的再生电能，通过各机构变频器逆变部分，回流至公共

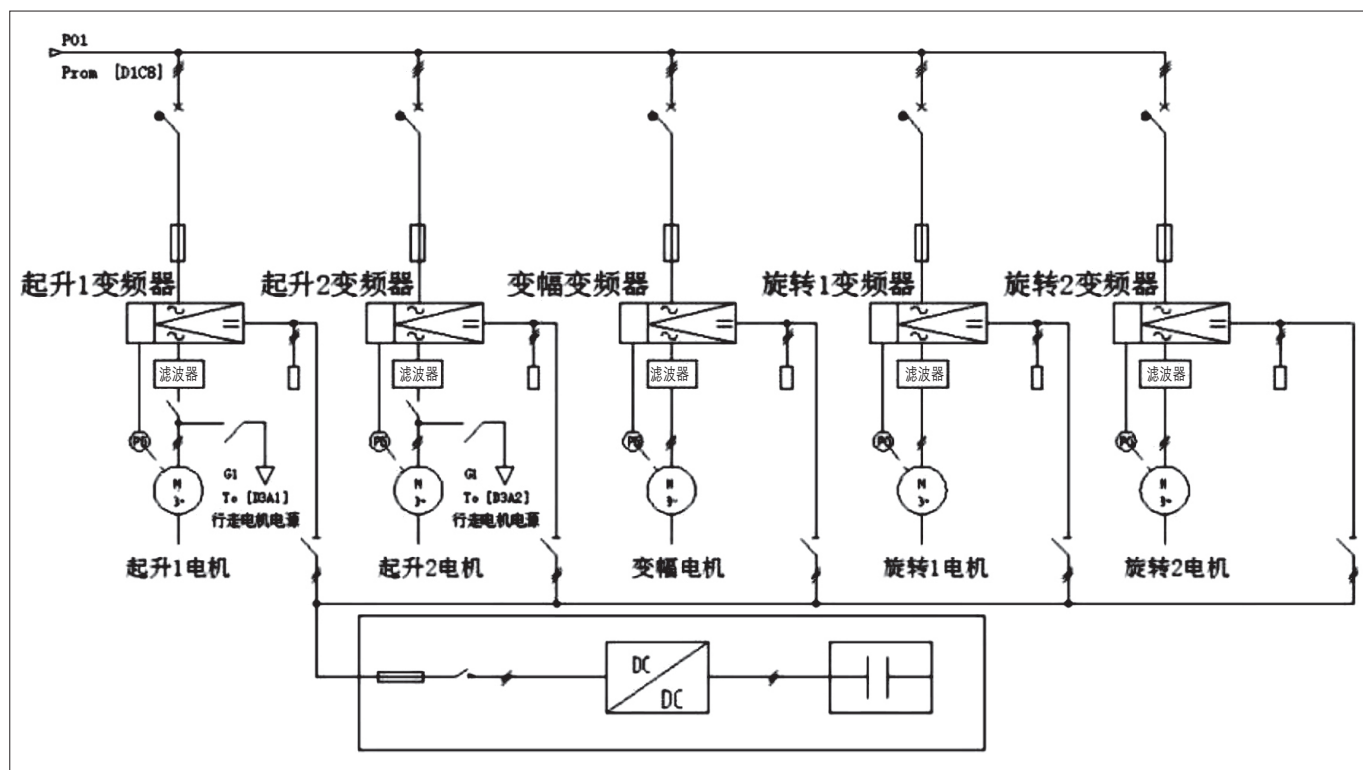


图 2 门机电气系统（含储能回馈系统）方案图

表 两种系统功能区别对比

系统	超级电容储能回馈系统	变频能量回馈系统
技术原理	变频系统直流母线上外挂储能回馈系统回收势能、制动能。再生电能状态（负载下放），经直流母线向储能回馈系统充能。电动状态（提升负载），储能回馈系统向母线输出储存的电能，二次再利用	前置整流逆变电源单元，各机构逆变器共用直流母线。再生电能直接回馈公网
对比点 1	改善起重机械总进线电流，比储能回馈系统不投入运行情况下降 30% ~ 40%。可以降低港口起重机械作业区供电线路电流指标 20% ~ 30%，减少码头建设造价	不改变港口起重机械进线启动电流
对比点 2	节电能力 20% ~ 40%，可以准确计量回收再利用电量	节电能力 20% ~ 40%，但是回馈至公网的再生电能无法准确计量
对比点 3	再生电能不反馈至码头电网，不对码头电网产生潮涌、谐振。同时本机消化再生电能，对码头电网起到优化作用	再生电能回馈电网，在门机、RTG、岸桥集群作业情况下，会对码头电网产生潮涌、谐振，破坏码头电网的稳定性
对比点 4	外挂于港口起重机械电控系统直流母线上，一旦发生故障，可以旁路切除，不影响电控系统的继续正常使用	能量回馈单元设置于港口起重机械电控系统主回路上，一旦发生故障，整机陷于瘫痪
对比点 5	作用于变频系统的直流侧，无法改善交流侧谐波状况	有滤波手段，可以改善谐波状况
对比点 6	储能容量以及控制策略的优化，可以实现功率补偿、应急处理等综合功能，技术升级、迭代的扩展空间较大	已经应用 20 年，但是只能作为电源模块，提供整流和逆变回馈功能

直流母线。回流的再生电能优先消化至处于电动状态的机构（比如回转、变幅机构），剩余再生电能会导致直流母线电压抬升，触发储能回馈系统的 DC-DC 变流驱动器动作，对超级电容储能装置充电。当三大机构的动作处于电动状态时，DC-DC 变流驱动器动作，储能装置对直流母线释放电能，汇同起升变频器整流端从电网吸收的电能，共同为三大机构提供驱动动力。上述两个过程前后衔接，完成一个完整的储能系统充放电循环，并同时对抗放电能进行实时计量，显示在驱动管理柜柜门的计量表具上或者监控系统中。

当储能回馈系统发生故障时，停机断电状态下，切除储能回馈系统与公共直流母线的连接，继而切除三大机构之间的公共直流母线连接。三大机构的控制返回至常规单传动变频器 + 制动单元 + 制动电阻控制系统模式。再次通电后，检查无误，门机可继续作业。

7 储能回馈应用系统与变频能量回馈应用系统的对比

储能回馈与变频能量回馈应用系统功能对比情况

详见表所列。

8 结语

在国家大力倡导绿色节能环保的政策背景之下，港口起重设备会越来越往节能环保的方向发展，储能型能量回馈系统不仅具有绿色节能环保的特点，还具有目前其他能量回收系统不具备的优点，所以储能型能量回馈系统在未来港口起重设备中的应用会越来越广泛。

参考文献：

[1] 石秋洁，张燕宾．变频器应用基础 [M]．北京：机械工业出版社，2002.

[2] 王凯，李立伟，黄一诺．超级电容及其在储能系统中的应用 [M]．北京：机械工业出版社，2020.

作者简介：潘磊（1988-），男，汉族，江苏扬州人，本科，工程师，研究方向：港口起重机械电气设计。