

释压式高压电机主接线盒短路容量研究

陈 辉, 乔建伟, 吴 琼, 朱新年, 张海红, 杨子强
(卧龙电气南阳防爆集团股份有限公司, 河南 南阳 473008)

摘 要: 考虑到目前高压电机主接线盒短路爆炸时有发生, 易造成严重的人身伤亡或财产损失, 因此对高压电机主接线盒短路容量进行研究具有重大的现实意义。基于释压式 10 kV 电机主接线盒, 重点介绍了在短路电流 40 kA、持续时间 0.25 s 下的短路容量试验, 并根据试验结果提出了高安全等级主接线盒设计的普适性建议, 从设计源头降低主接线盒发生短路爆炸的风险, 保障主接线盒在工业现场的安全可靠运行。

关键词: 高压电机; 释压式; 主接线盒; 短路容量; 高安全等级

中图分类号: TM 81 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2020)09-0061-05

doi: 10.12177/emca.2020.103

Study on Short-Circuit Capacity of Pressure Relief Terminal Box of High-Voltage Motor

CHEN Hui, QIAO Jianwei, WU Qiong, ZHU Xinnian, ZHANG Haihong, YANG Ziqiang
(Wolong Electric Nanyang Explosion Protection Group Co., Ltd., Nanyang 473008, China)

Abstract: Short-circuit explosions sometimes occur in the main terminal box (TB) of high-voltage (HV) motor, resulting in serious personal injuries or losses of property. It is of great practical significance to study the short-circuit capacity of main TB. Based on the 10 kV pressure relief TB, the short-circuit capacity test at 40 kA with a duration of 0.25 s is introduced. The universality suggestions of the TB design with high safety level are also proposed based on the test result, so as to reduce the risk of short-circuit explosion from the design, and ensure safe and reliable operation of the main TB in the industrial field.

Key words: high-voltage motor; pressure relief; main terminal box (TB); short-circuit capacity; high safety level

0 引 言

高压电机主接线盒是把电机和用户电力系统进行连接的零部件, 对设备的安全可靠运行至关重要。国内外发生过很多起接线盒短路故障, 高能电弧高温产生的压力快速升高引起接线盒爆炸, 造成了严重地人员伤亡或财产损失, 给现场人员和设备带来了很大的安全隐患。

引起接线盒短路故障的原因很多, 比如污染、终端接线不当、电压冲击、机械损坏、振动等。文

献[1]主要从故障原因、故障能量、爆炸压力、减少危险的方案等方面进行论述。文献[2-5]主要关注短路事故的原因分析和处理措施。然而研究在发生短路故障也能承受接线盒爆炸、提高接线盒安全等级方面的文献资料较少。由于国内外标准未做明确规定, 各厂家主接线盒设计差异较大, 同时短路故障相关研究较少, 也没有明确、统一的核算方法, 因此短路容量研究目前仍需要通过试验进行评定。

本文重点对普通高压电机主接线盒短路容量

收稿日期: 2020-06-09; 收到修改稿日期: 2020-07-16

作者简介: 陈 辉(1985—), 男, 研究方向为高压三相异步电动机的设计与开发。

乔建伟(1975—), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为高压三相异步电动机的设计与开发。

吴 琼(1986—), 女, 硕士, 研究方向为高压三相异步电动机的设计与开发。

试验的相关内容进行讨论,提出了高安全等级接线盒设计的要点,同时就短路容量和防爆标准要求的相关问题进行了简要讨论。

1 主接线盒结构及短路容量基本概念

1.1 主接线盒结构

根据绝缘结构的不同,主接线盒可分为释压式、空气绝缘式、相绝缘式、分相、隔相、储压式^[6]等,其中释压式接线盒在高压电机上得到了较广泛的应用。电机由断路器保护并且额定短路容量 $\geq$ 表 1 中的额定短路容量时,主接线盒应是释压式或储压式接线盒^[7]。额定短路容量如表 1 所示。

本文主要讨论释压式主接线盒。

表 1 额定短路容量

额定电压/kV	额定短路容量/MVA
3.3	25
6.6	50
11.0	70

1.2 短路容量

短路容量是指电力系统在额定运行工况中,突发三相短路故障时的视在功率,是表征电力系统供电能力强弱的特征参数。短路容量越大,爆炸产生的机械应力和热应力越大,爆炸冲击力越大。

三相短路容量可按式(1)计算^[8]:

$$S_K = \sqrt{3} \times U_N \times I_K$$

(1)

式中: S_K 为短路容量; U_N 为额定电压; I_K 为短路电流。

主接线盒短路容量、短路电流是针对电力系统而言的,短路电流最高可达数万甚至几十万安,而电机额定电流一般最大几百安,两者不是一个数量级,不应混淆。

1.3 短路持续时间

工业电机一般应至少有断路器保护。由断路器保护的电机,短路持续时间通常假定不超过 0.25 s^[7]。

国外部分厂家的短路容量、短路电流、持续时间如表 2 所示。短路容量、短路电流、持续时间需综合考虑,选取数值过大则会导致接线盒结构设计

难度大、成本高。

表 2 国外部分主接线盒数据汇总

厂家	额定电压 U_N /kV	短路容量 S_K /MVA	短路 持续 时间/s	短路 电流 I_K /kA	按式(1)计算 的三相短路 电流 I_K /kA
ABB	6.6、10.0、 11.0	-	0.25	40	-
西门子	6.0	400	0.2	40	38.5
	10.0	700			40.4
东芝	6.6	最高 400	-	-	35.0
	11.0	最高 800			42.0
德国	6.0	400	0.2	38.5	38.5
SCHORCH	10.0	712		41.1	41.1
澳大利亚	6.6	500	-	-	43.7
CMG	11	750			39.4

2 短路容量试验

本文短路容量将基于燃弧试验进行研究。

2.1 试验要求

(1) 试验对象。某公司高压 10.0 kV 级(涵盖 10.0、10.5、11.0 kV)电机主接线盒。

(2) 试验目的。检验主接线盒整体是否能承受住短路故障时的机械应力和热应力;接线盒结构设计能否满足发生短路时按预期的方向释压。

(3) 试验参数。参考表 2 数据,试验短路电流按 40 kA、试验电压按 11.0 kV、持续时间按 0.25 s。由式(1)计算,短路容量为 762 MVA,该数值不低于国际水平。

(4) 试验布置。主接线盒固定在支架上,电缆分别和接线盒接线端子和试验回路进行连接。三相接线端子之间用 $\Phi 0.5$ mm 引弧丝按照三相短路进行短接^[9]。为了评估燃弧试验过程中产生的热流的热效应,接线盒周围(除泄压口附近)需按文献^[9]的要求布置指示器(黑布)。试验布置图、原理图分别如图 1、图 2 所示。

(5) 试验合格判据。按照试验规定的短路电流、持续时间、电压,主接线盒发生三相短路故障爆炸后,主接线盒整体外部应完整,允许变形,但不能出现裂缝或零部件飞出等情况;指示器不能被引燃;高温高压热流能够从预期设计的泄压孔排出^[9]。

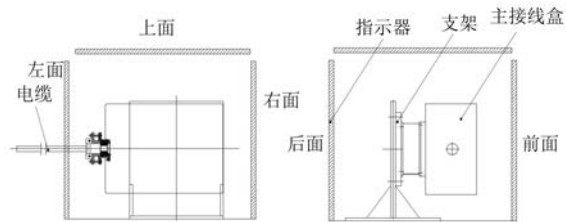


图1 试验布置图

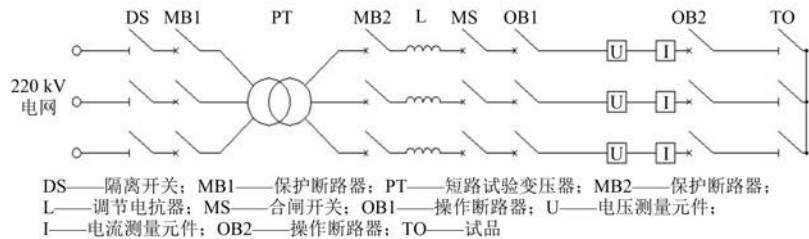


图2 试验原理图

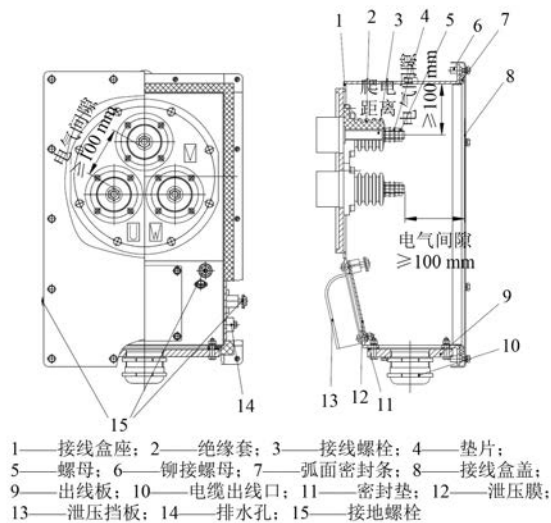


图3 主接线盒结构



图4 样品 I (试验前)

泄压膜炸裂、接线盒壳体变形严重,其中一个角炸开,盒盖连接螺栓有 4 个飞脱,有一块指示器被引燃。试验未通过。试验前后图片分别如图 4、图 5 所示。

通过对试验结果进行分析,归纳出以下几点原因:(1) 接线盒壳体太薄,导致变形严重;(2) 盒盖个别固定螺栓飞脱,螺栓性能等级不高且拧紧力矩不均;(3) 泄压孔面积太小。

2.2.3 改进样品后的第二次试验情况

根据以上改进意见,制做样品 II 重新进行试验,泄压膜完全炸裂,高温高压热流按照压力释放

2.2 试验过程

2.2.1 送审样品

主接线盒为钢板焊接、带释压孔结构(释压孔朝向没有人员活动的方向,保证释压时不会伤及人员),如图 3 所示。

2.2.2 第一次试验情况

第一次试验按照前述试验布置进行。试验后



图5 样品 I (试验后)

通道排出,接线盒壳体没有发生变形或飞出,所有

指示器均未被引燃,试验结果符合上文规定的合格判据,试验通过。试验前后分别如图 6、图 7 所示。2 次样品对比如表 3 所示。

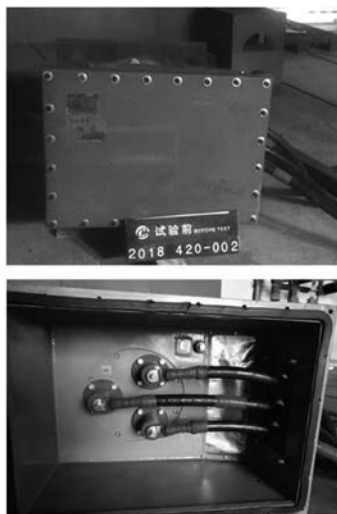


图 6 样品 II (试验前)



图 7 样品 II (试验后)

表 3 样品对比

参数名称	样品 I	样品 II
盒盖连接螺栓	18 个 M8×25, 4.8 级	24 个 M10×40, 8.8 级
盒盖厚度/mm	2	4
泄压孔尺寸/mm	120×120	440×145
泄压膜厚度/mm	0.2	0.1

2.3 试验意义

通过试验,某公司已取得了第三方权威检测机构出具的试验报告,并按照样品 II 对主接线盒结构进行了优化改进,进一步提升了接线盒运行

的安全可靠性。

3 高安全等级接线盒设计要点

根据相关文献^[1-5],考虑到目前主接线盒短路容量没有明确、统一的核算方法,结合本次试验,对高安全等级接线盒设计提出以下几点普适性意见:

(1) 接线盒应满足基本安全要求(电气间隙、爬电距离、外壳容积要适当放大,方便接线;加强内部绝缘、密封,防止接线盒进水并留有排水孔;绝缘子材质要合理选择),从源头上将短路故障概率降到最低。

(2) 通常接线盒连接螺栓是最薄弱的故障环节,适当增加接线盒盒盖连接螺栓的个数、大小、性能等级,可以降低螺栓发生断裂的概率。

(3) 适当增加接线盒盒盖的厚度可以提高盒盖的强度,以减少盒盖变形。

(4) 适当增大泄压孔面积,泄压结构要在故障时容易爆破,及时释放爆炸产生的压力。

(5) 盒盖连接螺栓处应安装大垫圈,防止盒盖飞脱。

(6) 接线盒紧固件装配时拧紧力矩尽量均匀,安装牢固,避免松紧度不均。

4 短路容量和防爆标准

上述短路容量试验主要涉及释压式普通电机接线盒。当前,国外防爆电机上多采用增安型、释压式主接线盒。国内隔爆电机采用隔爆型接线盒(无释压结构),其他防爆电机多采用增安型、释压式接线盒。

防爆电机接线盒选用涉及到工业电气的防爆安全。鉴于目前部分人对短路容量和防爆标准之间关系的关注较少,本文提出以下若干看法,供业内人士参考:

(1) 防爆标准和短路容量是不同的安全要求,防爆标准适用于正常或允许的异常条件,短路故障不属于允许的异常条件,两者机理不同,前者针对的是爆炸性气体或粉尘^[10-11]可能引起的爆炸,后者针对的是短路故障时高能电弧引起的爆炸,不能混为一谈。

(2) 爆炸性环境下使用的接线盒,应通过国家认可的防爆电器监督检验机构以及高压电器监督检验机构分别进行的危险评估,要采取必要的

措施(比如接线盒正确密封和装配)尽可能避免短路故障成为有效点燃源。

(3) 隔爆接线盒从隔爆原理上讲不能带泄压结构,能否满足规定的短路容量需要通过试验进行评定;虽然可以采用其他结构形式的接线盒(如相绝缘式、分相、隔相、储压式接线盒),但这些接线盒大多结构复杂、成本高、体积大,使用较少,同样需要通过试验进行短路容量评定。

5 结 语

本文通过试验对释压型高压电机主接线盒短路容量进行研究,对试验过程进行了详细的介绍,并提出了高安全等级接线盒设计的要点,对电机主接线盒设计具有重要的指导意义。另外,从安装使用角度来说,也可以采取一系列有效措施来降低短路故障发生概率和危害程度,比如提高电缆终端接头的制作质量、接线盒正确密封和装配、采用限流熔断器降低有效故障能量、规范现场人员操作规范等。

由于短路容量和防爆标准要求不同,防爆接线盒的短路容量相关问题仍需要业内人士进一步探讨,以加深对接线盒设计和防爆标准的理解,进一步保障主接线盒(包括防爆接线盒)的安全可靠运行。

【参考文献】

[1] 克罗斯福特 K S, 克拉克 D G. 电动机接线盒故障爆

(上接第 21 页)

- [7] 邱云兰. 基于抗积分饱和的风力发电机控制系统[J]. 电气开关, 2019, 57(4): 82.
- [8] 张兴华, 姚丹. 感应电机直接转矩控制系统的“抗饱和”控制器设计[J]. 电工技术学报, 2014, 29(5): 181.
- [9] 周凯, 石增. 开关磁阻电机转矩脉动抑制技术[J]. 电机与控制学报, 2019, 23(12): 85.
- [10] 王歆, 田雨波, 王宝忠. 基于变速积分 PID 的开关磁阻电动机调速系统[J]. 微特电机, 2008, 36(11): 50.
- [11] 秦晓飞, 刘杰, 李峰. SRM 直接瞬时转矩系统抗饱和和控制器设计[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(12): 3160.
- [12] 党选举, 彭慧敏, 姜辉, 等. 基于模糊分数阶 PID 的开关磁阻电机直接瞬时转矩控制[J]. 振动与冲

炸[J]. 防爆电机, 1995, 28(1): 36.

- [2] 李思国. 4#炉引风机电机接线盒短路故障处理[J]. 科技与创新, 2015(4): 136.
- [3] 张攀. 中央水处理 3#送水泵电机接线端短路事故分析报告[J]. 工业, 2017, (3): 317.
- [4] 王小伟, 郭国胜, 李岩, 等. YKS 系列高压电机接线熔断爆炸的处理方法[J]. 内蒙古科技与经济, 2018(22): 76.
- [5] 唐玉文. 高压电机接线盒防水问题的探讨[J]. 科技创新导报, 2017(16): 33.
- [6] 全国电工术语标准化技术委员会(SAC/TC232). GB/T 2900.25—2008: 电工术语旋转电机[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] British Standards Institution (BSI). BS 4999. 145-2004: General requirements for rotating electrical machines Part 145: Specification for winding terminations[S]. 2004.
- [8] 方毅, 汤继东. 短路电流实用计算[J]. 电气工程应用, 2009(2): 25.
- [9] 中国电器工业协会. GB 3906—2006: 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [10] 中国电器工业协会. GB 3836.1—2010: 爆炸性环境第 1 部分: 设备通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [11] 中国电器工业协会. GB 12476.1—2013: 可燃性粉尘环境用电气设备第 1 部分: 通用要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

击, 2018, 37(23): 104.

- [13] 边惠惠, 王兰军, 陈华. 基于 MATLAB 的开关磁阻电机调速系统仿真[J]. 科技创新与应用, 2019(31): 79.
- [14] 蔡健, 康乔乔. 基于模糊 PI 的直接转矩控制在开关磁阻电机中的研究与仿真[J]. 变频器世界, 2019(12): 82.
- [15] 张玉光. 开关磁阻电机非线性建模及转矩脉动抑制技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2014.
- [16] 曾敏. 12/8 极开关磁阻电机的转矩数学模型研究[J]. 机电信息, 2019(3): 20.
- [17] 宋世潮, 曲兵妮, 宋建成. 变增益 PI 控制器在开关磁阻电机中的应用[J]. 微特电机, 2017, 45(8): 61.