

[厂用设备]

SF₆气瓶便携式搬运车的研究与应用

文/珠海供电局 陈晓林 张 凯 熊志伟 陈英东

传统的搬运车一般采用前后各一对轮子的形式，并设置一个把手，其只合适在平坦的地面使用，对位于楼上的GIS设备进行补气时，必须人力（一般为4人）搬运，搬运方式费力且不安全。SF₆气瓶便携式搬运车的研制，解决了人力搬运SF₆气瓶登楼作业的难题，降低了职工的劳动强度，提高了工作效率，安全保障可靠性好，可以使职工在搬运气瓶的时候加强连续性。

项目研发的背景

当前变电站内35 kV及以上高压设备以SF₆气体作为绝缘、灭弧介质的情况十分普遍，SF₆气体压力的大小直接影响该设备绝缘和灭弧性能。而生产厂商出于对加工、运输及材料成本等因素考虑，通常会将高压设备设计成小件连接组合而成，致使设备出现较多驳接接口（特别是GIS组合设备），另外厂商选用的密封材料、安装人员的工艺管控参差不齐等原因，往往会造成SF₆气体泄漏，而气体压力下降，严重的会引起设备绝缘不足、闭锁开关动作等后果，所以变电检修班组需及时对漏气设备进行SF₆气体补充（气体补充量一般不大，通常一瓶新的SF₆气体即可以满足需要）。室外及室内GIS设备外观如图1、图2所示。



图1 室外GIS设备



图2 室内GIS设备

根据目前电网基建工程标准设计的要求，室内GIS多安装在二楼及以上楼层，户外高压设备四周均种有绿化草坪，且地面凹凸不平，而补气工作需将重达100 kg的瓶装SF₆气体搬运至作业现场，其运输工作需使用专门的搬运车。旧式气瓶搬运小车外观如图3所示。



图3 旧式气瓶搬运小车

现有的搬运车只适合在坚硬、平坦的地面使用，对于安装在室内GIS组合设备更需人力（4人）搬运。搬运方式费力且不安全。

在对市场进行广泛调查后，发现目前市面上并没有可以完全满足作业要求的气瓶搬运车，因此，为更好地解决在SF₆气瓶搬运方面遇到的各种问题，研究决定自行设计并制作1套SF₆气瓶搬运装置，最终应用到实际工作中，并予以推广使用。

项目研发的目标

本项目主要工作目标是解决气瓶搬运困难的问题。在研究了旧式小车的结构和产生功能缺陷的根本原因后，项目组总结了旧式搬运小车的4点设计缺陷。

- 1) 轮子直径太小，不适合行走柔软地面和翻越障碍。
- 2) 气瓶仅仅依靠自重斜躺在小车上，小车稍微颠簸气瓶就有倾倒的危险。
- 3) 握把设计不合理。握把钢管直径太小而且没有弧度，握起来不舒适而且根本不方便用力。
- 4) 小车材料简陋不防锈，骨架生锈后小车可能达不到足够的机械强度搬运气瓶。如图4所示为小车结构螺钉生锈的情况。



图4 小车结构螺丝生锈

在总结了旧式小车的4点设计缺陷后，项目组决定研发制作1套SF₆气瓶楼道搬运装置，该气瓶搬运装置可适应变电站内各种复杂地形（如草地）特别是楼梯使用，提高工作安全性，降低劳动强度，减少现场作业人数，提高工作效率，同时兼顾其使用的便利性、可靠性以及便于推广使用。

项目研发的内容

1. 详细技术原理

新式气瓶搬运小车结构图如图5所示，小车总体尺寸如图6所示。

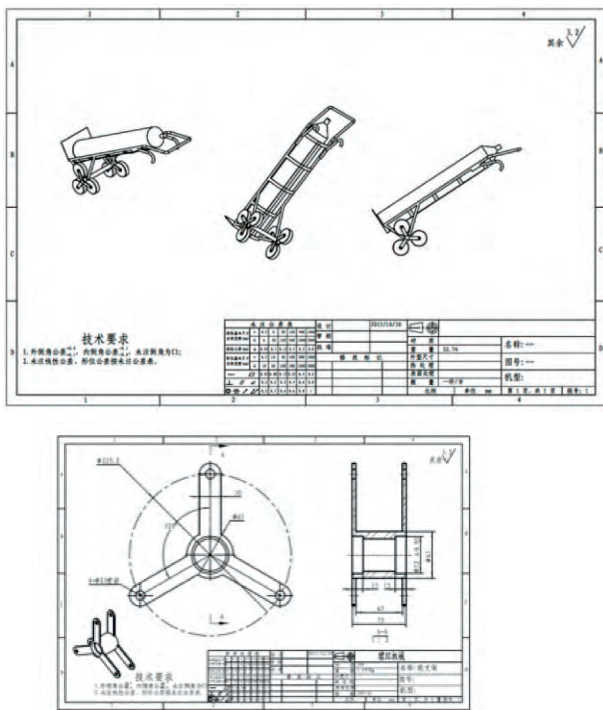


图5 新式气瓶搬运小车CAD结构图

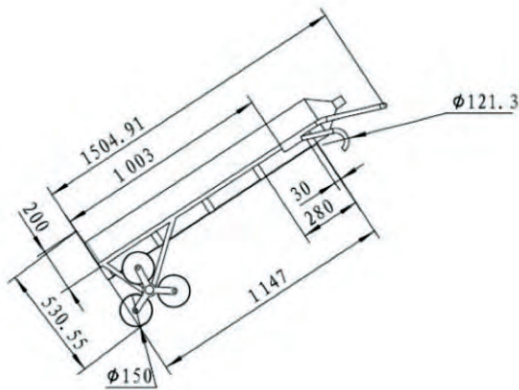


图6 新式气瓶搬运小车总体尺寸

该搬运装置主要针对变电站内楼道、草坪等复杂地形，采用三点式旋转滚轮设计，主体结构以304不锈钢加厚圆管、扁钢作为主龙骨，以 $\phi 28$ mm 不锈钢实心钢条作承力轴，底部采用3 mm厚不锈钢板为气瓶托板，并结人机工学设计理念，实现了环拉式、手柄式两种操作把手，让现场人员能安全、舒适的工作，有效提高工作效率。

该搬运装置研制时的重难点在于如何适应现场复杂地形，提高其灵活性，使得工作人员在气瓶运输过程中如履平地，达到安全、省时、省力和高效的目标。围绕该目标采用三点式旋转滚轮设计，装置左右两侧选用三个防震效果良好的橡胶滚轮组成一组类似风车状的转轮，用于的支撑

及移动，该部分的设计必须满足平地的移动便捷性，同时要兼顾可以轻便地翻越一定高度的障碍物（如楼梯），并保持稳定性和牢固性。

2. 设计关键点

1) 三点式旋转滚动设计，两侧均采用三轮同轴的结构设计，适应草地、阶梯等复杂地形。

其设计原理是通过三轮同轴结构，在运动过程中与地面形成4个接触点，减小对地面的压强。工作人员操作搬运装置时，与支撑面形成2个支点，在2个支点共同作用下，装置在楼梯、草坪等地形上下运动，实现安全、省力的目的，替代原多人徒手搬运的方式。三轮结构的轴承采用6205的深沟球轴承，确保装置承重能力，胶轮采用6 in的承重轮，提高搬运过程中装置与路面的缓冲性能。三点式旋转滚动部件如图7所示，风车轮尺寸图如图8所示。

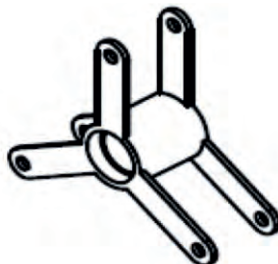


图7 三点式旋转滚动设计

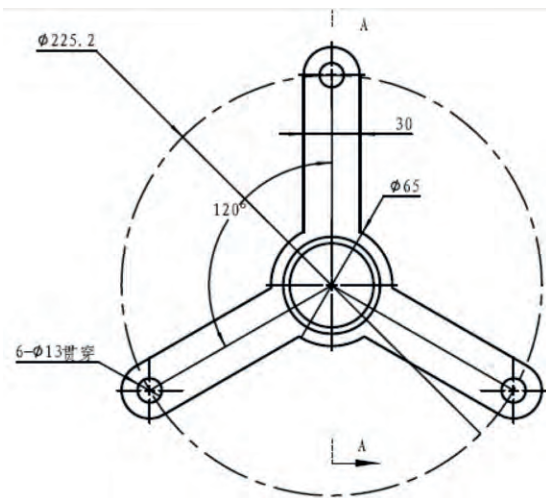


图8 风车轮尺寸图

2) 装置配置闭锁扣结构，防止搬运时气瓶颠覆。

在装置的车身侧配有两个闭锁扣结构，当气瓶置于搬运装置时，闭锁扣可牢牢锁住气瓶，防止在运动过程中出现气瓶颠覆使人员受伤的情况发生，消除安全隐患，保证作业过程的安全。锁

扣外观如图9所示。



图9 锁扣实拍图

3) 采用符合人体力学的车身设计，省力方便。

新型搬运装置的手持部分采用环拉式及手柄式双重操作省力结构，在楼道等复杂情况下，方便两人协同出力上下楼梯，从而优化作业方式。拉环及手柄操作示范如图10所示。



图10 拉环及手柄操作

通过新型搬运装置搬运气瓶上下楼梯比传统的手抬肩扛方式更加省力。通过计算模拟两人搬运气瓶上楼梯的情况，基础数据为： SF_6 气体重量为100 kg，搬运车净重32.74 kg，共计132.74 kg，楼梯与地面夹角为 30° 。双人搬运气瓶上楼梯示范如图11所示。



图11 双人搬运气瓶上楼梯示范

设两人拉力合力为 F ，装置对人的反作用力 F_1 ，装置垂直方向受力 G ，气瓶与楼面的夹角 X 。

$$F = G / \tan(X + 30^\circ) = 132.74 \text{ kg} / \tan(X + 30^\circ)$$

式中， $\tan 30^\circ = 0.58$ ，当 X 越大时， $\tan(X + 30^\circ)$ 数值越大，则 $G / \tan(X + 30^\circ)$ 越小， F_1 也越小，

F就越小。

4) 新材料选择。

该搬运装置主体采用304不锈钢管作为龙骨材料，兼顾了其轻便性和牢固性，便于其自身上下车的搬抬，同时解决旧式搬运装置生锈导致结构件腐蚀问题，具有良好的耐蚀性和耐久性能，确保装置牢固可靠。滚轮采用橡胶轮，该种橡胶使用寿命长，耐磨性好，不易打滑，方便潮湿环境作业。

项目成果的实现

1. 项目完成成果

项目成功研制出制作SF₆气体楼道搬运装置1套。经检修人员使用后，确认使用效果良好。新型搬运小车实拍图如图12所示。



图12 新型搬运小车实拍图

2. 装置设计成果简图

该成果安全省力方便、设计符合人机功效，优化已有作业方式，如图13所示。

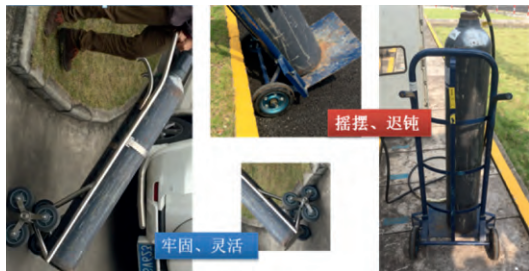


图13 新型SF₆气体搬运装置

相对旧式搬运小车，新型搬运小车有6大优点，更加符合检修人员补气工作的要求。

(1) 小车可以携带气瓶攀爬楼梯

旧式搬运小车轮子直径太小，没有爬楼梯的功能，搬运气瓶上楼需4人合力徒手搬运，不仅费力而且十分危险，当楼梯潮湿人员滑倒则后果不堪设想。

新式小车滚动结构风车轮设计增加滚轮等效半径，可以携带气瓶攀爬一般的楼梯障碍，无需徒手搬运，不仅省工省力，而且让作业更加安全，如图14所示。大型承重橡胶轮可减震防滑。



图14 风车轮攀爬楼梯实拍图

(2) 小车可以在草地淤泥等柔软地面畅行自如
旧式搬运小车轮子太窄，对地面压强很大，行走在坚硬的水泥地面尚且可以，若是地面柔软如草地淤泥，则轮子会陷入地面增加小车前进阻力。

新型搬运小车，不仅使用承重宽橡胶轮，而且风车轮让任何时候都有4个橡胶轮着地，大大减小小车对地压强，减小小车车轮陷入草地淤泥的机会。

(3) 有锁扣装置，小车剧烈运动时气瓶仍然可以保持稳定

旧式搬运小车没有锁扣，气瓶靠自重斜躺在小车上，小车稍微颠簸气瓶便会晃动，若颠簸剧烈，气瓶有倾倒的危险。

新型气瓶搬运小车有锁扣装置，即使在小车翻越障碍、摔下楼梯等极端颠簸的情况气瓶仍然可以保持稳定，抓稳握把气瓶便安全。

(4) 小车材料坚固防锈

旧式小车材料容易生锈，小车结构螺钉生锈后对小车使用存在隐患。

新型小车主体采用304不锈钢管316不锈钢焊条焊接而成，坚固耐用不会生锈。小车轮子使用橡胶轮，减震防滑性能大大优于就是搬运小车的塑料轮。

(5) 握把拉环双重操作方便省力

旧式搬运小车握把设计简单，握起来不仅不舒适而且不方便用力还无法两人合力操作。

新型搬运小车手持部分采用拉环弧形手柄双设计，弧形手柄使用舒适，在翻越障碍时可以用

拉环获得更大的力矩。在携带气瓶攀爬楼梯时还可以两人合力操作。

(6) 特别加固的底板和轴承抗气瓶冲击

旧式小车仅仅考虑小车在平地运动的情况设计,底板轴承不够坚固。

新型搬运小车不锈钢底板使用钢片牢固焊接,6225深沟球轴承可以承受小车极端颠簸时气瓶对地板的冲击,如图15所示。



图15 新型搬运小车底板牢固焊接

项目应用前景及效益

1. 项目应用前景及效益

该搬运装置成本低,安装方便,灵活性高,应用前景良好,可在相关高压、检修专业推广使用。该方法操作方便,使用方便,安全可靠,装置制作成本0.4万元,应用推广前景良好。

2. 效益分析

本成果经济效益的计算依据主要为安全、便

捷搬运SF₆气体带来的经济效益和社会效益,主要从直接经济效益和间接经济效益两方面分析。

(1) 直接经济效益

本成果经济效益的计算主要以安全、便捷搬运瓶装SF₆气体带来的直接经济价值为依据。

突出施工安全性、缩短作业时间,有效降低经济成本,提高工作效率。据统计,2015年珠海局涉及SF₆气体补充工作32项,如沿用老方法每项工作需时为0.5天×4人。使用本成果后,单次工作节省工时为0.5天×2人,按员工日工资500元计算,使用此搬运装置全年能节省 $32 \times 0.5 \times 2 \times 500 = 16\,000$ 元,如推广应用产生的经济价值将十分庞大。

(2) 间接经济效益

从节约的检修资源的角度出发,小车的应用有助于减少工作时间,可以及时恢复供电,减少平均停电时间,提升设备的可靠性,降低因设备停电带来的电网风险,更好地维护电网的安全稳定,提升电能质量,提高客户满意度。仅这一点带来的社会和经济效益巨大,无法估量。目前,该装置已经在220 kV某站实际补气工作中得到应用,效果良好。EA

(收稿日期:2016.02.28)

(编辑:刘群立)

(上接第75页)

波电流分布在线圈局部产生过热的条件,所以导致光纤测点的温升小于仿真分析结果。

解决线圈热点的方法

基于以上仿真分析的结果,由于在设计阶段已经意识到了线圈热点的问题,可以采取如下两种比较经济可行的措施进行解决。

1) 通过调整线圈的相对位置,降低低压线

圈电流不均匀系数,如图5所示,同样的设计通过改变高低线圈的相对位置,低压线圈电流不均匀系数从1.6倍降低到了1.16倍,再结合局部加大冷却油道等措施,从设计上消除线圈过热的可能性。

2) 在负荷系数较高的线圈加大冷却油道,绝缘纸或者垫块采用热改进纸等措施来提高变压器的耐热能力。

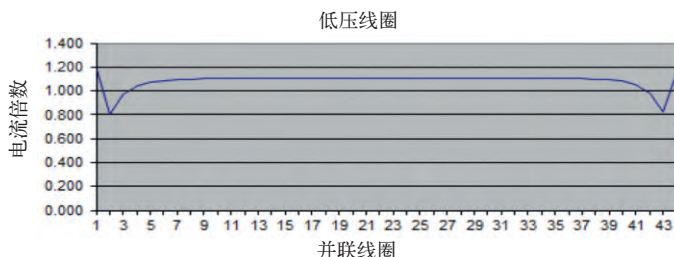


图5 调整线圈相对位置后的低压线圈电流分布

结束语

综上所述,大电流低压线圈在变压器运行时,由于电流分布的不均匀分布和谐波电流的影响,必然会导致局部损耗过高,从而产生局部热点。通过二维场的有限元分析,采取一些必要的措

施,完全可以解决此问题,走出传统计算方法的误区,避免由此带来的变压器寿命锐减甚至发生故障等问题。EA

(收稿日期:2016.05.17)

(编辑:刘群立)