

基于 BIM 技术的任意油箱剩余油量计算方法

尹 君 于 健

(中国中铁四局集团管理与技术研究院,合肥 230023)

【摘要】为了提高任意油箱油量监测的精度,本文首先利用 BIM 技术建立目标油箱的三维模型,之后随机选取不同高度值剖切模型模拟油料液位变化的过程;借助 BIM 算量功能,求出油箱总体积和每次剖切后的剩余模型体积;最后采用最小二乘法对剖切高度比和油箱体积比进行多项式拟合,求出目标油箱油料消耗曲线。因 BIM 技术具有适应性强的特点,可以建立任意形状油箱模型并能快速计算其体积。并通过对比四种异形油箱的月实际加油量和系统加油量,证明了本方法的可行性,且达到了 96.39% 的准确率。相比较其他计算方法,该方法操作简单、成本低、精度高,在工程机械油量监测领域具有极为广泛的应用前景。

【关键词】 工程机械;油量计算;BIM 技术;任意油箱;监测

【中图分类号】 U473; TU17 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1674-7461(2021)01-0077-06

【DOI】 10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2021.01.12

引言

在信息化技术飞速发展的当今时代,BIM (Building Information Modeling) 技术已成为工程施工领域不可或缺的技术应用之一,如李晓军^[1]提出了 BIM 多尺度建模及自适应拼接技术在山岭隧道中的应用;Hua Xinruo^[2]指出 BIM 是建筑工程设计、施工、运营阶段的数字化过程,BIM 技术在工程项目中的实际应用不只是通过一个或一类 BIM 软件来实现的,而是多种 BIM 软件相互协作的结果,文章基于 BIM 技术,介绍了建筑金属防护材料的耐低温影响试验;Ma Zhiliang^[3]为了提高建筑项目投标成本估算的效率和准确率,介绍了工程量清单投标成本估算方法,分析了有关建筑信息的相关规范,根据北京定额规范得到 5 项确定和 9 项不确定的建筑信息,最后提出了一种基于 BIM 设计结果的建筑项目投标成本自动评估方法。

由此可见,此技术大多是基于建筑工程本体模型在项目实施阶段和运维阶段的一些分析和应用,如朱记伟^[4]给出了 BIM 技术在 BIM 应用功能、项目管理、信息数据流转和 BIM 实施方案四个方面的应用,在工程机械管理中的应用鲜有报道;Du Fei^[5]

介绍了 BIM 技术在高校基础建设成本全流程管理中的应用,优化、改善了当前成本管理模式,提升了每一阶段的成本管理效率和总体管理水平;Li Jian^[6]以工程项目为例讲述了利用 BIM 技术在设计阶段碰撞检查,施工阶段可视化虚拟施工,4D (BIM + 时间) 和 5D (BIM + 时间 + 成本) 施工动态管理,物资清单随模型自动统计、更新的新型信息化物料管理等方面的益处。

建筑工程施工离不开大型工程机械,而目前各种工程机械大都是燃油型,使得燃油费用支出成为施工成本控制的重点对象之一。传统油料管理大都是人工记账、结算,不仅耗用大量劳动力,而且工作效率低,真实性也有待考证,并且对于油料偷盗行为难以有效监管。因此,研发一种能够自动监控机械油量的管理系统迫在眉睫。现阶段物联网技术在工程施工领域的应用层出不穷^[7-8],助推了工程机械管理的信息化程度。于是,在物联网技术蓬勃发展的时代背景下,有关机械车辆监管系统的报道逐渐增多,如张亚平^[9]介绍了租赁车辆远程监控系统,魏敬成^[10]提出了工程机械监控系统的总体设计方案,但诸如此类的机械车辆监控系统大多具有车辆位置监控、轨迹回放、电子围栏越界报警等

常用功能,对机械车辆油料监控的描述并不多,或者有此功能,但其油量监测数据精度不高^[11]。

为了解决这一难题,本文实地调查了每一种工程机械车辆的油箱形状,结果显示工程机械种类不同或种类相同而型号不同,其油箱形状存在较大差别,主要可分为规则长方体和不规则圆柱体、截面为D形的多边体、梯形体以及多边多段异形体等多种形状。规则长方体油箱四面垂直方向形状无变化,每单位高度对应体积相等,此类油箱油量变化较为规律;而异形多边体油箱四面垂直方向形状变化多端,使得不同形状油箱每单位高度所对应的体积大不相同,即油料液面形成的表面积随油料液位高度的变化而变化。因此,解决了异形多边体油箱每单位高度对应的体积,任意形状油箱剩余油量的计算也就迎刃而解。针对此种情况,本文提出了一种基于BIM技术的油量计算方法,不仅适用于各种形状油箱,而且大大提高了油量监测的准确率,同时油箱模型参数化,加快了油箱建模的速度,最后通过实例数据验证了油量修正方法的可行性及其精度。

1 准备工作

1.1 设备与工具

1.1.1 设备

圆柱体油箱(直径 $D=700\text{mm}$ 、长 $S=900\text{mm}$ 、圆角弧边长 $a=101\text{mm}$ 、 $b=280\text{mm}$ 、壁厚 $m=2\text{mm}$ (图1(a))),截面D型多边体油箱(长 $S=900\text{mm}$ 、宽 $L=700\text{mm}$ 、高 $H=700\text{mm}$ 、半径 $R=350\text{mm}$ 、端部圆角弧边长 $a=100\text{mm}$ 、 $b=280\text{mm}$ 、横向圆角 $c=30\text{mm}$ 、壁厚 $m=2\text{mm}$ (图1(b))),梯形多边体油箱(上长 $S_1=590\text{mm}$ 、下长 $S_2=430\text{mm}$ 、宽 $L=550\text{mm}$ 、高 $H=1\,030\text{mm}$ 、侧面凹槽斜边长 $s=3\text{mm}$ 、上底边长 $a_1=10\text{mm}$ 、下底边长 $a_2=16\text{mm}$ 、正面凹槽上底边长 $b_1=22\text{mm}$ 、下底边长 $b_2=28\text{mm}$ 、圆角半径 $r=30\text{mm}$ 、壁厚 $m=5\text{mm}$ (图1(c)))和多段多边体油箱(上部:长 $S_3=690\text{mm}$ 、 $S_4=520\text{mm}$ 、斜边长 $S_6=30\text{mm}$ 、宽 $L_1=555\text{mm}$ 、 $L_2=310\text{mm}$ 、高 $H_1=115\text{mm}$ 、圆角半径 $r_1=160\text{mm}$ 、 $r_2=96\text{mm}$ 、中部:高 $H_2=474\text{mm}$ 、半径 $R=809\text{mm}$ 、下部:高度 $H_3=460$ 、长边长 $S_5=470\text{mm}$ 、短边长 $S_6=300\text{mm}$ 、斜边长 $S_7=300\text{mm}$ 、壁厚 $m=5\text{mm}$ (图1(d))),所用油箱分别来自卡车、混凝土罐车和装载机等工程机械,油料传

感器(安徽江天云控技术股份有限公司),核心采集模块(自主研发,本处用于收集油料液位高度值并将其发送至系统服务器)。

1.1.2 工具

本文所用工具为Revit2018软件,钢卷尺(3m)。

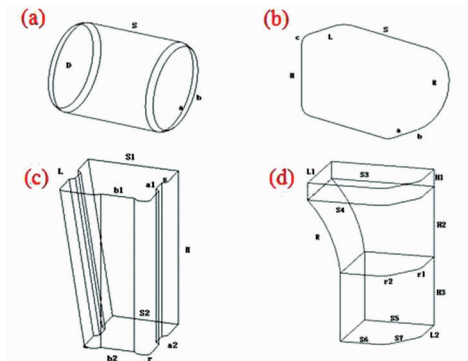


图1 油箱尺寸

1.2 油箱三维模型创建

根据施工现场工程机械油箱形状调查结果,利用Revit软件中的拉伸、放样、剖切等命令建立常见5种工程机械油箱参数化族库,为运营管理阶段快速建立目标油箱三维模型提供条件,油箱族库参数化建模过程如下:

1.2.1 规则长方体油箱参数化建模

规则油箱参数化建模过程简述如下:

1)新建一族一公制常规模型,在参照标高视图下,以原十字形参照平面为基准,创建4条新的参照平面,分别横向、纵向标注新创建参照平面与基准参照平面的距离,并点击EQ,使其对称均分;

2)分别标注横向、纵向新创建参照平面的间距,分别选定间距并对应创建类型参数,且命名为油箱长度和油箱宽度,使用创建拉伸命令,沿新参照平面形成的四个交点绘制长方形,并将长方形四条边分别锁定至对应参照平面,任意给定一个高度,完成拉伸命令;

3)切换至任一立面视图下,在长方体上方创建一条新参照平面,将长方体上边和下边分别锁定至上下参照平面,标注上下参照平面间距,选定此间距创建参数,且命名为油箱高度;

4)使用创建—空心形状—空心放样命令分别对规则油箱棱角圆角化,当两次空心放样相交时,后放样操作的路径,选择编辑路径而非拾取路径,以解决无法在空心放样区域再次放样的难题。依据现场调查结果可知,规则油箱有4棱圆角、8棱圆

角和 1 棱圆角三种情况,后期可根据现场油箱实际情况保留所需圆角即可。

1.2.2 圆柱体油箱参数化建模

圆柱体油箱参数化建模过程如下:

1) 新建一族一公制常规模型,在左立面视图下,以原有基准轴中心为圆心,绘制任一半径圆形,标注半径并设定类型参数,且命名为油箱半径;

2) 切换至前立面视图,在原有基准竖轴两侧绘制两个参照平面,参照规则长方体油箱参数化设置方法,将圆柱体油箱长度参数化,并命名为圆柱体油箱长度;

3) 在三维视图下,同样参照规则长方体油箱圆角化方法对圆柱体油箱两端截面分别进行圆角化,建模结束。

1.2.3 截面 D 形油箱参数化建模

截面 D 形油箱参数化建模过程如下:

1) 新建一族一公制常规模型,在左立面视图下,新建两条参照平面,参照规则长方体油箱参数化方法,将截面 D 形油箱宽度和高度参数化,不同之处在于直圆交点仍需锁定至上下参照平面;

2) 切换至前立面视图,参照规则长方体油箱高度参数化方法,将截面 D 形油箱长度参数化;

3) 同样参照规则长方体油箱圆角化方法,对截面 D 形油箱圆角化,建模结束。

1.2.4 梯形多边形油箱参数化建模

梯形多边形油箱参数化建模过程简述如下:

1) 新建一族一公制常规模型,参照规则长方体油箱长度、宽度、高度参数化设置方法,先后分别参数化梯形多边形油箱底长度、底宽度、顶长度和高度。

2) 因梯形多边形油箱底和顶宽度相同,且仅有一条斜边,故参数化建模不同之处在于,此处需绘制 3 条竖向参照平面,以分别确定梯形油箱底长度和油箱顶长度。同时,梯形油箱底长度对称均分,而梯形油箱顶不需对称均分。且在绘制梯形底和顶轮廓时,将凹槽轮廓一并绘制完成,最后生成模型。

3) 参照规则长方体油箱圆角化方法,根据实际情况将梯形多边形油箱圆角化,参数化建模结束。

1.2.5 多段多边形油箱参数化建模

多段多边形油箱参数化建模按照油箱下部区域、中部区域、上部区域分别进行,详细过程如下:

1) 新建一族一公制常规模型,在参照标高视图下,参照规则长方体油箱参数化长、宽、高方法,对

油箱下部区域长、宽、高参数化,此处需分别建立三条竖向和横向参照平面,用于定位斜边的两个定点。

2) 切换至参照标高视图,在油箱下部区域左侧重新创建一条参照平面,用于确定油箱中部及上部区域长度的左侧角点位置,以新生产的五个点作为油箱中部区域的边界点,采用拉伸命令创建油箱中部区域;参照规则油箱高度参数化方法,将油箱中部区域高度参数化。

3) 切换至前立面视图,采用空心拉伸命令,以油箱中部区域高度和中部区域与下部区域短边长度差为直角边,并以直角边端点为基准点绘制圆弧,将圆弧参数化,且命名为中部区域圆弧半径 R_0 以任一宽度生成空心多边形,切换至左立面视图,将空心拉伸几何体两端分别锁定至两侧参照平面。

4) 切换至参照标高视图,以油箱中部区域轮廓为基准线,创建油箱上部区域轮廓,并将各边分别锁定至重合的参照平面;参照规则油箱高度参数化方法,将油箱上部区域高度参数化。

5) 参照规则油箱圆角化方法,将多段油箱圆角化,建模结束。

使用钢卷尺精确测量本论文示例油箱各部分尺寸,并根据各油箱尺寸,修改各油箱参数化模型中的对应尺寸快速建立各油箱三维模型,并利用 BIM 技术在工程量计算方面的功能求得各油箱模型的总体积^[12]。

1.3 油料消耗曲线拟合

油箱消耗曲线函数求解参照戴浩法^[13]并加以改进。首先,在油箱高度范围内任取若干高度值,并以其中一个高度值作为剖切高度值,使用 Revit 中的剖切命令对油箱三维模型进行剖切,并求出剖切后油箱模型的体积。其次,按照此种方法逐次剖切油箱模型,直至求出按照所有高度值剖切后油箱模型的体积。多段油箱切分时,不同油箱段之间的连接点取相同高度值作为承上启下的剖切高度值,以确保曲线函数的连续性。

1.4 油量监测评估

首先,分别收集各示例油箱一个月之内的加油数据,同时默认各示例油箱加油数据的绝对准确,记为实际加油量 V_1 ;其次,分别收集各示例油箱在系统客户端对应显示的加油数据,记为系统加油量 V_2 ;最后,比较系统加油量与实际加油量,并求其差值和油量监测的精确度 w ,油量监测精确度计算公式如下:

$$w = \frac{V_1 - |V_2 - V_1|}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

油量监测精度平均值 \bar{w} 计算公式如下:

$$\bar{w} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n w_i \times 100\% \quad (2)$$

式中, n 为样本数量, i 为样本序号。

2 结果与讨论

2.1 油箱三维模型

图2给出了本文所用示例油箱的三维模型图,由图可知示例油箱均为异形多边体油箱,对每一个油箱而言,其任一高度所对应的体积均不相等。根据此原理可以得出,对每一个异形多边体油箱而言,其任一液位高度所对应的油料体积也均不相等。图2(d)为多段多边体油箱,共分为上部、中部和下部3个区域,其中上部和下部区域每单位液位高度对应体积相等,可视为规则多边体油箱。

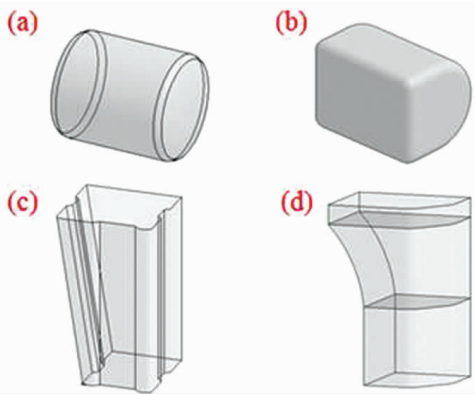


图2 油箱三维模型

2.2 单段油箱油料消耗曲线函数

采用以不同高度值剖切油箱模型的过程模拟油料液位因消耗而降低或因加油而升高的过程,并以剖切高度与油箱总高度的比值作为函数自变量,以剖切后油箱模型体积与油箱总体积的比值作为函数因变量,采用最小二乘法进行多项式拟合^[14],分别求出各油箱油料消耗曲线函数。

图3给出了圆柱体油箱、截面D形多边体油箱和梯形多边体油箱的油料消耗曲线函数。由图3可知,圆柱体油箱的消耗曲线其体积比随液位高度比的增大先缓慢升高、再迅速升高、最后趋于平衡,曲线总体呈S形,此种变化规律符合油箱截面为圆形的变化特点^[15]。截面D形多边体油箱消耗曲线的变化规律同圆柱体油箱,因其仅有一个半圆形截

面,使得体积比随液位高度比增大而变大的程度要低于圆柱体油箱。梯形多边体油箱消耗曲线的体积比随液位高度比的增大而逐渐增大,符合抛物线函数的变化规律^[16]。因此,此三种异形油箱的油料消耗曲线呈非线性规律变化,其函数关系式分别为:

圆柱体油箱: $y = -1.3058x^3 + 1.9608x^2 + 0.3486x - 0.0012, R^2 = 1$;

截面D形多边体油箱: $y = -0.5799x^3 + 0.8698x^2 + 0.7138x - 0.0019, R^2 = 1$;

梯形多边体油箱: $y = 0.1682x^2 + 0.8315x - 0.0004, R^2 = 1$ 。

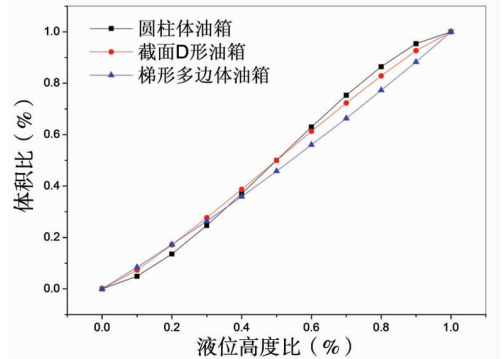


图3 油箱(a)、(b)、(c)油料消耗曲线

2.3 多段油箱油料消耗曲线函数

图4给出了分段多边体油箱的油料消耗曲线。结果显示,在油箱不同区域,对应油料消耗曲线也不相同,这是因为油箱不同区段的形状不相同所造成的。由于油箱上部和下部区域多边体各面在垂直方向上无变化,使得该区域每单位高度对应油箱体积相等,曲线呈线性规律变化;而油箱中部区域多边体有一面在垂直方向上有变化,使得每单位高度对应油箱体积不相等,曲线呈非线性规律变化。油箱上部、中部和下部区域油料消耗曲线函数关系式如下:

上部区域: $y = 1.3369x - 0.3365, R^2 = 1$;

中部区域: $y = 0.4712x^2 + 0.4034x + 0.1198, R^2 = 0.9999$;

下部区域: $y = 0.8796x + 0.0006, R^2 = 1$ 。

李刚^[17]提出了最小二乘法拟合多项式时,决定系数 R^2 值反应了多项式拟合的置信度, R^2 数值越接近1,说明拟合函数置信度越高,精度也就越高,从各示例油箱拟合函数的决定系数 R^2 值可知,本文各示例油箱油料消耗曲线函数拟合精度较高,具有较高的可信度。

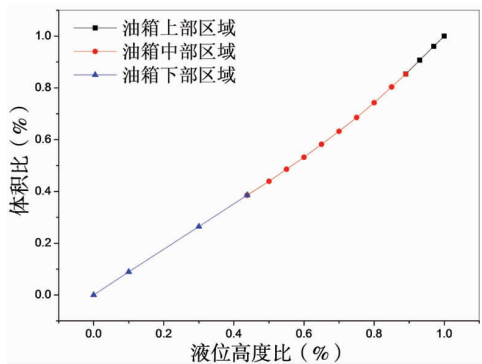


图4 油箱(d)油量消耗曲线

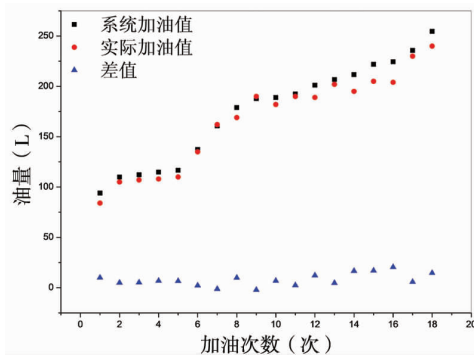


图6 油箱(b)加油量对比

2.4 油量监测评估

为了验证剩余油量计算方法的可行性及其精确度,本文采用剖切油箱模型模拟油料液位变化的过程,求得油箱对应的油料消耗曲线函数,并将此函数写入油量监测系统。当系统运行时,油料传感器实时读取油料液位高度比值(函数自变量),系统根据油料消耗曲线函数自动求出油量体积比值(函数因变量),之后将体积比值乘以油箱总体积,得到油箱剩余油量,结果展示在系统客户端。

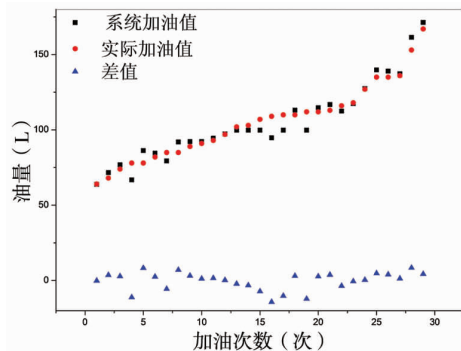


图7 油箱(c)加油量对比

图5、图6、图7和图8分别给出了各示例油箱系统加油量与实际加油量对比分析图,对加油量数值按照升序方式排序,由图可知各示例油箱加油量数值在34L到254L范围内随机变化时,每一次系统加油量与实际加油量数值几乎可以重叠,二者差值均较小,差值量稳定分布在0附近,说明本文提出的油量计算方法所统计的系统加油量与车辆实际加油量数值基本一致,该种油量计算方法可行。同时计算结果显示各示例油箱月平均加油量数值精确度分别为98.54%、94.86%、95.43%和96.74%,平均值为96.39%,进一步说明,该种油量计算方法精确度较高。

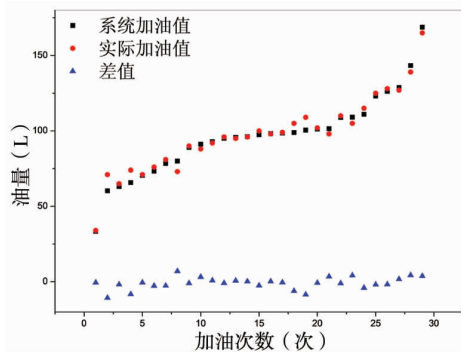


图8 油箱(d)加油量对比

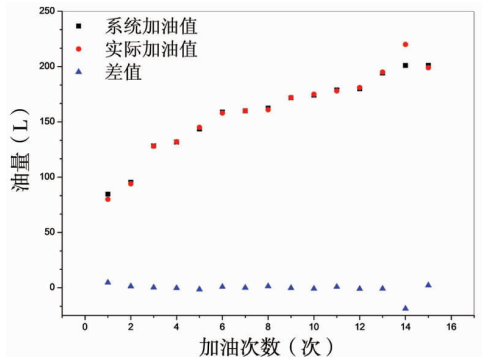


图5 油箱(a)加油量对比

3 结论

本文提出的任意油箱剩余油量计算方法可以应用于任意形状油箱,不仅提高了异形多边体油箱油量监测的准确率,又大大降低了成本和操作难度。通过对四种异形多边体油箱油量监测的实际应用,证明了本方法拥有油量监测的准确性和广泛应用的可行性。

参考文献

[1] 李晓军,田岭雪,唐立,等.山岭隧道结构 BIM 多尺度建模与自适应拼接方法及工程应用[J].中国公路学

- 报,2019,32(2):126-134.
- [2] Xinruo Hua. Experimental Study on Low Temperature Impact Resistance of Building Metal Shielding Materials Based on BIM Technology[J]. Ekoloji, 2019,28(108):1535-1540.
- [3] Zhiliang Ma, Zhe Liu. BIM-based intelligent acquisition of construction information for cost estimation of building projects[J]. Procedia Engineering, 2014, 85:358-367.
- [4] 朱记伟, 蒋雅丽, 翟翌, 等. 基于知识图谱的国内外 BIM 领域研究对比[J]. 土木工程学报,2018,51(2):113-120.
- [5] Fei Du. Research on the Whole Process Cost Management of University Capital Construction Based on BIM[J]. Advances in Engineering Research, 2016, 72:511-515.
- [6] Jian Li, Lei Hou, Xiangyu Wang, et al. A Projectbased Quantification of BIM Benefits[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2014,11(123):1-13.
- [7] Keyur K Patel, Sunil M Patel, PG Scholar, et al. Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges[J]. International of Journal of Engineering Science and Computing, 2016,6(5):6122-6131.
- [8] 霍进, 谢光华, 韩菲, 等. 物联网技术在稠油处理站的应用[J]. 特种油气藏,2015,22(2):147-150.
- [9] 张亚平, 刘学锋. Sensor Web 支持下的租赁车辆远程监控系统设计与实现[J]. 计算机控制与测量,2019,27(10):109-119.
- [10] 魏敬成, 陈秀生, 倪林, 等. 基于物联网技术的工程机械监控系统设计[J]. 中国工程机械学报,2014,12(4):365-371.
- [11] 方京城, 何崇中, 韩春立. 一种监控汽车油量的方法[P]. 中国专利:CN 201510854359, 2017-05-24.
- [12] 刘纲, 郭莉, 杨剑, 等. 基于 BIM 的智能化算量——以输变电土建工程为例[J]. 土木工程与管理学报, 2019,36(4):140-184.
- [13] 戴浩, 周健, 申懿, 等. 一种飞机燃油重量处理方法[P]. 中国专利:CN 105488272 A,2016-04-13.
- [14] 张建祥, 甘旭升, 周志靖, 等. 基于改进滑动窗多项式拟合法的航空器 4D 航迹预测[J]. 航空工程进展, 2019,10(5):601-608.
- [15] 王嫄, 陈甲斌, 靳贝贝. 基于“不完全 S 形”模型的中国铅需求预测[J]. 中国矿业,2019,28(11):27-34.
- [16] 李刚, 何武全, 翟东汉, 等. 抛物线形复合渠道实用经济断面的计算方法[J]. 灌溉排水学报,2018,37(12):100-106.
- [17] 卢治功, 贺鹏, 职连杰, 等. 基于最小二乘法多项式拟合三角测量模型研究[J]. 应用光学,2019,40(5):853-858.

The Calculation Method of Residual Oil Volume for Arbitrary Oil Tank Based on BIM Technology

Yin Jun, Yu Jian

(Management and Technology Institute of China Tiesiju Civil Engineering Group Co., Ltd., Hefei 230023, China)

Abstract: In order to improve the monitoring accuracy of oil volume for arbitrary oil tank, the three-dimensional model of the target oil tank was established at first, using BIM technology in this paper, and then the model will be cut several times with different height that selected at random to simulate the changing process of oil level. After that, the total volume of the model and the residual volume of the model after cutting every time was calculated using BIM calculation function. Finally, under the application of least square fitting polynomial method, the oil consumption curve was obtained according to the data of cutting height percentage and volume percentage. Due to the better adaptability of BIM technology, the model of oil tank with any shape can be created and calculate its volume quickly. It is proved that the method with 96.39% accuracy is practicable by comparing the manual refueling volume with the system refueling volume within one month from four special-shaped oil tanks. Compared to other calculation techniques, this method is simple in operation, low cost and high accuracy, thus it has extremely wide application prospect in the field of oil volume monitoring on engineering machinery.

Key Words: Engineering Machinery; Oil Volume Calculation; BIM Technology; Arbitrary Oil Tank; Monitoring