

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2017.05.016

机床液压管道三维自动布线系统开发

徐许林¹, 李宏博², 李昌平², 刘浩², 饶建华²

(1. 湖北九洲数控机床有限责任公司, 孝感 432000; 2. 中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院, 武汉 430074)

摘要: 液压管道的布置是液压系统设计中重要的一环. 对于装配体模型复杂的机床而言, 传统的手动布线方法需要耗费较多的时间及人力, 而三维设计软件中自带的三维自动布线模块尚存在操作繁琐、造型不直观、通用性不强等缺点. 据此, 本文针对机床的液压管路布置开发了一套三维自动布线系统, 系统以三维设计软件 SolidWorks 为开发平台, 利用 VB.NET 作为开发环境, 应用二次开发原理以及数据库技术, 实现了管路零件模型参数化设计; 在寻径算法上结合动态规划及 A-STAR 算法并加以改进, 实现了管路的智能化布置, 同时能够统计管线用料数据并生成明细表. 系统操作简单, 减小了设计工作量, 缩短了设计周期.

关键词: 自动布线; 二次开发; 参数化设计; VB.NET; 路径规划

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2017)05-0991-06

The development of a 3D automatic routing system for hydraulic pipelines on machine tools

XU Xu-Lin¹, LI Hong-Bo², LI Chang-Pin², LIU Hao², RAO Jian-Hua²

(1. Hubei Jiuzhou CNC Machine Tool Company Limited, Xiaogan 432000, China; 2. School of Mechanical Engineering and Electronic Information, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: The layout of hydraulic pipelines is an important step in the design of a hydraulic system. For machine tools which have a complicated assembly model, manual routing takes a lot of time. But there still exist some problems in the automatic routing module in three-dimensional design software. Those modules are not universal and the shapes are nonintuitive. Besides, the system are not easy to operate. To solve those problems, a 3D Automatic system for hydraulic pipelines on machine tools is developed. By using SolidWorks platform and VB.NET environment, the parametric design for models of pipeline spare parts is implemented based on secondary development principles and database technology. The intelligence layout for pipelines is implemented by using dynamic programming method and A-Star algorithm. Besides, a table is provided in the program to present the data for length of pipelines. The program is easy to operate, which effectively decrease workload for designing and shorten the design cycle.

Keywords: Automatic wiring; Secondary development; Parametrical design; VB.NET; Automatic routing

收稿日期: 2016-08-31

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAF32B03)

作者简介: 徐许林(1961-), 男, 高级工程师, 研究方向为曲轴磨床设计及加工制造.

通讯作者: 饶建华. E-mail: rao-jh@163.com

1 引言

随着现代科技的进步,机床设计朝着精细化的方向发展.传动,结构设计的理论已经发展成熟,然而,液压管路的布置作为机床液压系统设计中重要的一环,布线技术有待提高.合理的液压管道布置能很大程度上缩短产品生产周期、降低劳动成本、减少原材料消耗,并且能够为机床后期维护提供便利.

传统的液压管道布局设计主要依靠装配工在设备上依靠经验试装,设计出液压管道的布局规划,确定其长度、接头的位置与数量等,再利用二维 CAD 软件甚至手工绘制液压管道的展开图,最终统计并生成材料明细表.对于复杂产品而言,由于其内部结构紧凑,布线空间狭小,且国家对液压管道布线具有一定标准与规定,如:(1)管道的敷设排列和走向应整齐一致,层次分明.尽量采用水平或垂直布管,水平管道的不平行度应 $\leq 2/1000$;垂直管道的不垂直度应 $\leq 2/400$;(2)平行或交叉的管系之间,应有 10 mm 以上的空隙^[1].当管路接口数量较多时,用二维的方法手动完成管线布置常具有以下缺点.

(1) 管线长度为人工估算,容易产生偏差,导致设计难以一次成型.

(2) 管线之间容易发生干涉.

(3) 管路布置不随三维模型变化,当机床的布置发生改变时,修改工作量大.

(4) 由于管路管线布局设计不能三维结构设计集成,管路布线的工艺问题无法提前发现,导致设计周期长,且设计存在隐患的概率较大.

因此,手动液压管道布局效率低,布局质量也很难实现预测和控制.

三维液压管道的布局技术比二维管道的布局技术描述的更准确、真实、全面.从目前我国三维管道布线软件的应用情况来看,目前大多数企业还是使用二维的管道布线软件,有个别大型的管道布线企业开始使用三维管道布线软件,如 Pro/Engineer、Solidworks、UG 等都有相应的管道设计布局模块,但仍存在一些缺陷,如:(1)管道布局设计有其专门的设计规范,通用软件的管道模块的专用性不强,不能满足我国管道设计的需要;(2)国外管道布线软件其高昂的价格和对使用人员有较高的专业要求;(3)国外的管道布线软件不符合我国管道设计标准,不便于推广应用^[2].

针对上述问题,本文提出了液压管线自动布线系统框架并在此基础上开发了一套适用于机床的三维液压管道自动布线系统,该系统以插件的形式在 Solidworks 中运行,该软件系统能实现如下功能:(1) 液压管道及附件的参数化设计;(2) 尺寸参数等数据的存储;(3) 装配体复杂特征识别及管路的自动避障;(4) 管道的标准化自动布局.

2 系统框架

2.1 系统的框架基础

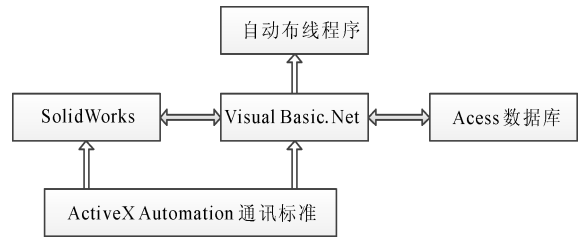


图 1 自动布线系统框架

Fig. 1 Framework of the automatic routing system

自动布线系统的框架基础如图 1 所示.程序采用 SolidWorks, Visual Basic. NET 及 Access 为搭建平台.

通过 Access 建立零件的标准件库,储存零件的特征及参数^[3].

通过 Visual Basic. NET 编程实现零件的选取,特征尺寸的修改,装配体特征识别及边界计算,管道路径计算等功能.

当获得确定的零部件特征类型以及特征参数之后,通过 ActiveX Automation 技术控制 SolidWorks 自身二次开发接口,通过对 API 函数特定对象、属性、方法的调用,完成管路/管路附件三维模型的生成及显示.

2.2 系统的总体结构功能模块

系统的主要功能为标准件的参数化设计及装配体的自动布线.按照系统各部分的功能区分,可划分为 9 个模块,如图 2 所示.最终设计的液压管路自动布线系统运行界面如图 3 所示.

3 液压管路及附件参数化设计

液压管路及附件种类繁多,设计工作量大,为了提高设计效率,保存液压管路及附件的型号、尺寸等信息,在三维液压管道自动布线系统中设计了参数化设计模块.每个系列的管路及附件对应一个父类零件,父类零件尺寸及型号等信息保存在 Ac-

cess 中,如图 4 所示为部分父类液压管路附件三维图,当需对相应管路及附件尺寸进行修改时可在参数化设计模块界面中修改,预览三维模型就可设计出对应尺寸的液压管路及附件.

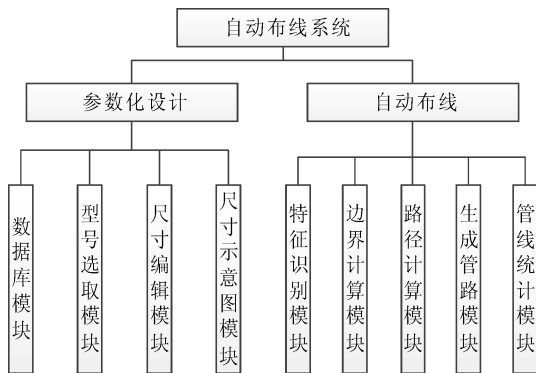


图 2 自动布线系统功能模块

Fig. 2 Function modules of the automatic routing system

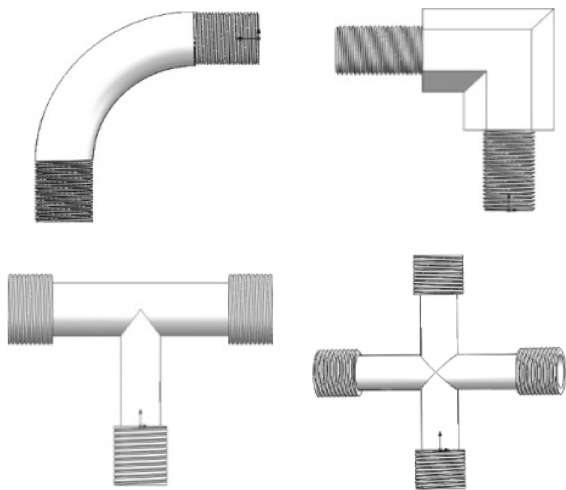


图 4 部分父类液压管路附件三维图

Fig. 4 3D images for some of the parent accessories for hydraulic lines



图 3 自动布线系统运行界面

Fig. 3 Running interface of the automatic routing system

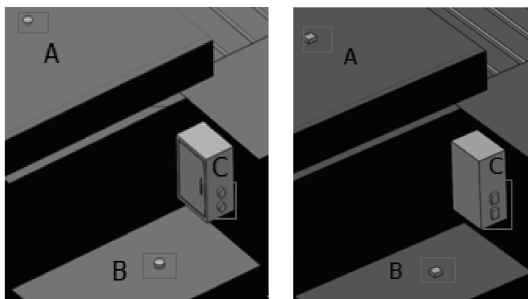
自动布线系统参数化设计模块与 Access 数据库之间建立双向通信时,需要采用 ADO 技术,ADO 技术能隐藏具体数据库的实现细节^[4],使程序员能更加高效的使用数据库.一个程序通常为指定的数据结构维护两个对象:一个在后台,称为后台对象,用户不可见;另一个位于程序界面,称为界面对象,供用户操作.在本程序中,后台对象为 dataset 类型;界面对象为 datagrid 类型.对液压管路及附件进行参数化设计时,在 datagrid 尺寸列表中修改尺寸参数,经过修改的尺寸参数经过后台对象 dataset 写入 Access 中^[5].

SolidWorks 通过 API 对象接口读取当前 dataset 中值,若与 Solidworks 该系列父类零件尺寸不一致,则通过驱动方程驱动对应尺寸进行改变,进而生成新的三维模型,很大程度上提高了设计效率.

4 自动布线模块原理

管道的自动布线模块包括装配体特征识别、边界计算、管道路径计算、生成管道模型四个小模块.

装配体特征识别及边界计算模块采用过立方体包围盒法^[6]识别装配体边界特征,通过 SolidWorks API 中的 Getbox 函数分别获取装配体上每一个零件的边界,然后计算出整个装配体边界.图 5(a)为油液滤清池的局部视图,特征识别后的效果如图 5(b)所示.特征识别会将装配体模型中各局部特征以该特征的立方体形包容体替代,如图 5(a)中 A,B,C 处的圆柱形管线接口,特征识别后的模型如图 5(b)中 A,B,C 所示.这将使得读取得到的模型边界范围大于实际边界范围,边界过大会影响最优路径计算的精度,但不影响管道接口位置的获取,在误差允许范围内此方案是可行的.



(a) (b)

图 5 油液滤清池局部视图

Fig. 5 Partial view for the oil filtering pool

管道路径计算模块采用启发式的搜索算法^[7,8],以一定的步长为单位,将完整的路径划分为若干个节点.通过对当前节点邻域内待选节点的

特征值计算,筛选出符合条件的节点作为路径扩展点.重复上述步骤,直至求出路径上的所有节点,最终得出完整的管道路径^[9].节点筛选参考了二维路径搜索中的 A-STAR 算法^[10],其基本原理如下:对当前节点 P_n 建立合适的启发函数,以评价其邻域内各路径扩展点的代价值^[11],通过比较选出其中代价值最小的节点作为路径上的下一点 P_{n+1} .启发函数 $F_n = G_n + H_n$,其中, H_n 为估价函数, G_n 是状态空间中由初始点到节点 P_{n+1} 的实际代价,即从起点 P_0 沿着产生的路径到达点 P_{n+1} 所需的实际耗费, H_n 为启发函数,为点 P_{n+1} 到目标点的预估移动耗费.取欧拉距离:

$$H_n = \sqrt{|x_{n+1} - x_m|^2 + |y_{n+1} - y_m|^2 + |z_{n+1} - z_m|^2}$$

在路径搜索过程中,需要构造两个表: open 表和 close 表用以存放各节点数据^[12].其中, open 表用以记录已完成计算的待选扩展节点, close 表用以记录已经被扩展的节点.在每步搜索过程中,首先从 open 表中找出代价值最小的节点,将其加入 close 表以完成当前节点的扩展,然后更新当前节点位置以及 open 表及 close 列表,开始新一轮搜索,直至到达目标点.

为降低 A-Star 算法在三维空间内避障时的移动耗费,本文对该算法进行了改进:当最优路径扩展点因存在障碍物不可到达时,会自动启用决策方案二,以较低移动损耗绕过障碍物.改进后的算法流程如图 6 所示.

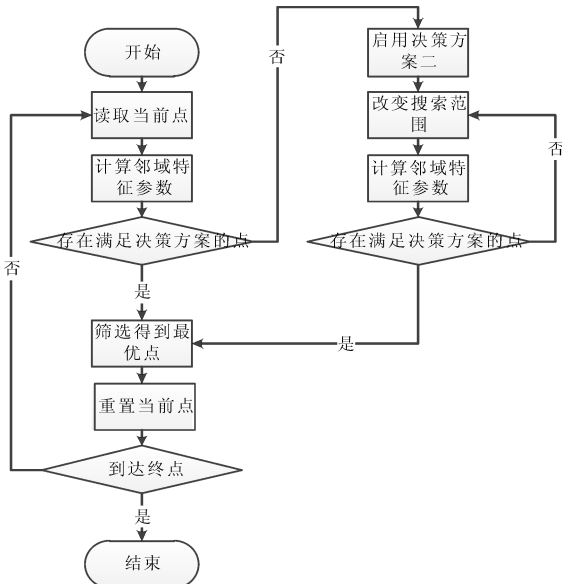


图 6 改进后的算法流程图

Fig. 6 Flow chart of the improved algorithm

图 7(a)为改进前的 A-Star 算法应用与机床油

液滤清池时路径搜索所得结果,图 7(b)为改进后算法所得的路径.改进后的算法有效避免了在特定条件下实施避障动作时,因启发函数误差偏大造成的过度路径损耗.

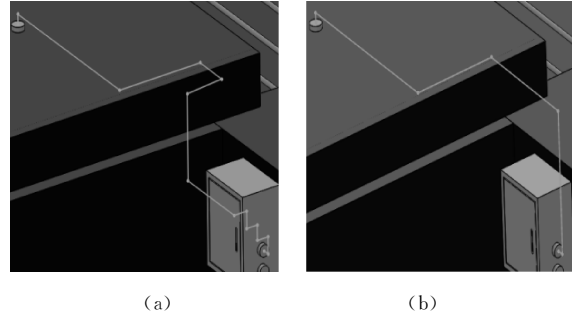


图 7 A-Star 算法在三维路径搜索中的应用

Fig. 7 Application of A-Star algorithm in 3D path searching

生成管道模型模块:管路的参数化生成采用扫描法生产模型,首先根据管路截面参数生成截面草图,然后以计算所得管道路径进行扫描,最后生成管路模型^[13].整个布线模块的运作流程如图 8 所示.

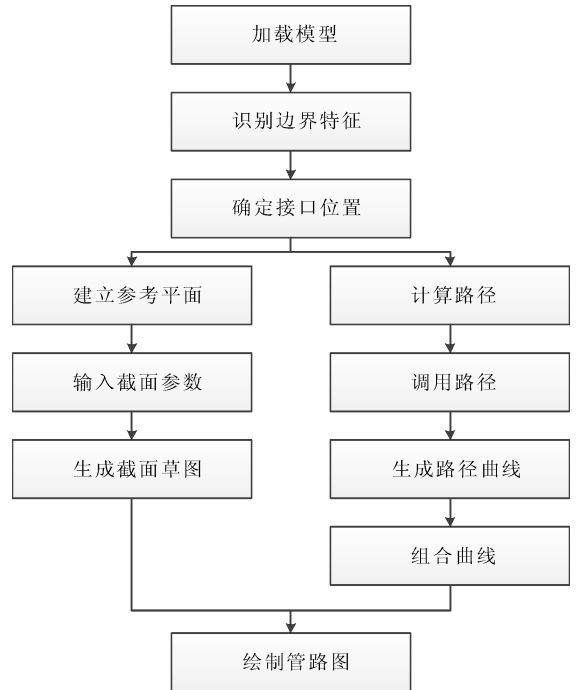
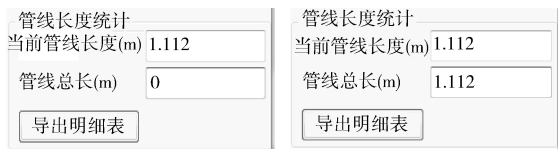


图 8 布线模块运作流程

Fig. 8 Operation process for the routing module

管线统计模块:为减小设计人员工作量,方便数据管理,设计管线统计模块.系统会自动根据管线节点间距计算管线总长.当生成一段管路模型后,此段管线长度会自动显示在“当前管线长度”一栏的文本框内,如图 9(a)所示.每当装配体模型导

入一段管路后,其长度会自动累加到“管线总长”一栏中,如图 9(b)所示. 点击“导出明细表”按钮,会生成管线长度的 Excel 明细表,如图 9(c)所示,为后期物料清单的生成及机床的全生命周期管理提供了数据支撑.



(a)

(b)

	A	B	C
1	管线模型编号	长度(m)	总计(m)
2	1	1.112	1.112
3	2	2.235	3.347
4	3	4.53	7.877
5	4	0.921	8.798

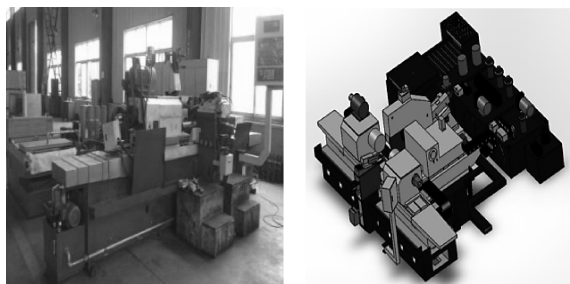
(c)

图 9 管线长度统计模块

Fig. 9 Statistics module for length of pipeline

5 自动布线实例

本文将三维液压管道自动布线系统用于 XGL-1100 型连杆曲轴磨床的液压管线布线测试. 如图 10(a)所示为手动液压管道布局的 XGL-1100 型连杆曲轴磨床. 根据 XGL-1100 型机床实际模型尺寸,在 Solidworks 中完成装配体的建模,如图 10(b)所示.



(a)

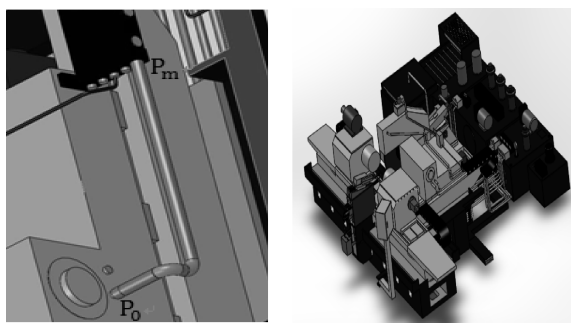
(b)

图 10 XGL-1100 型曲轴磨床

Fig. 10 XGL-1100 crankshaft grinding machine

运行 Solidworks,加载装配体模型,然后加载自动布线程序,依次运行路径计算和生成管路模块. 具体操作流程为:识别装配体特征,依次选取管线起点及终点位置,生成的单条管路图如图 11(a)所示. 得到带管路图的装配体如图 11(b)所示.

图 12 为机床手动布线实际效果与自动布线生成的模型效果对比图. 其中图 12(a)、(b)为手动布线,就功能实现来讲,XGL-1100 型连杆颈曲轴磨



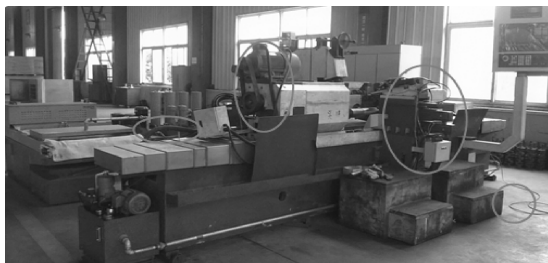
(a)

(b)

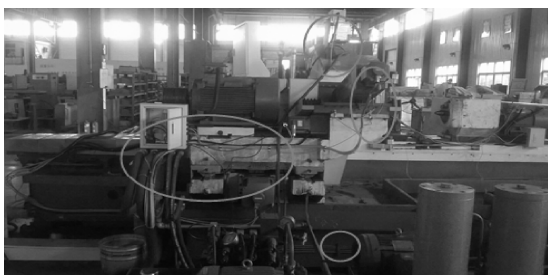
图 11 管路装配图

Fig. 11 Assembly drawing for pipeline

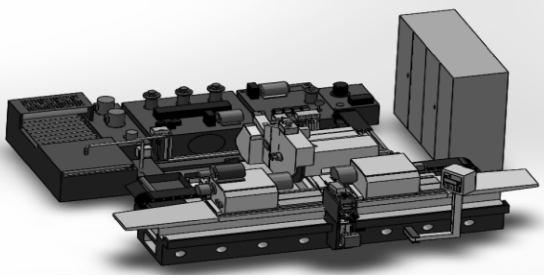
床的管路管线布置不存在任何问题,液压系统设计、电气系统设计、冷却与润滑等系统设计都已经实现了既定的设计目标,达到了机床工作要求. 从整体视角效果上来讲,管路管线布置比较乱,液压系统与电控系统走线不统一,有些控制线和液压软管防护不足等问题,见图中圆圈标注所示. 这是由于机械部(尤其是液压系统与冷却润滑系统)和电控部在前期设计阶段没有统筹考虑,统一规范造成的,工人仍旧按照工厂原来的既有经验进行装配工作. 图 12(c)、(d)为采用自动布线系统生成的管路模型,根据实测效果图可知,系统根据装配体特征及接口位置计算得出的管道路径,能够有效避免管路及装配体,以及管路与管路之间的干涉. 采用自动布线系统生成管路模型不仅缩短了设计周期,同时能为设计师提供更为直观的管路整体布局,避免因空间狭小及工艺问题造成的二次返工,同时最终布线效果更为美观,具有整体性.



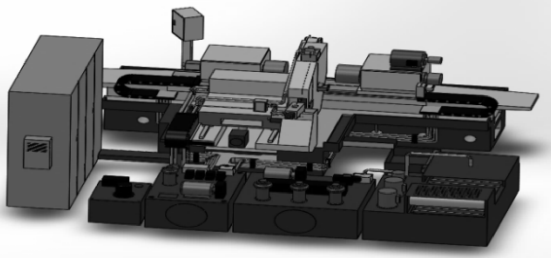
(a)



(b)



(c)



(d)

图 12 XGL-1100 型曲轴磨床手动布线与自动布线对比

Fig. 12 Comparison of automatic routing and manual routing on XGL-1100 crankshaft grinding machine

6 结 论

本文主要研究机床液压管道的智能布线系统。结合零件模型参数化以及动态规划寻径的思想,通过 SolidWorks, Visual Basic, NET, Access 数据库等开发平台,以面向对象程序设计为主体思想,开发了自动布线系统。通过调用数据库实现了管路附件的参数化设计,根据输入参数自动生成管路附件零件模型,系统能够自动识别装配体特征,采用动态规划和改进的 A-Star 算法相结合,实现了管路的智能化布置。

本文将自动布线系统用于 XGL-1100 型机床的液压管线布线测试,成功实现了路径计算,管路模型的生成,管路零件的参数化设计等功能,相对传统手动布线或二维布线具有更高的效率。使用结果表明,该系统具有如下优点:

(1) 能够进行计算管线路径并进行三维布线,生成三维图更加直观,方便指导现场的装配。

(2) 提供精确的管线长度统计功能,为后续工艺流程提供便利。

(3) 机床机构及布置发生变化后能够快速重新生成管线路径,减小了修改工作量。

(4) 实现了机床与液压管路的一体化集成设计,能够在设计阶段充分考虑管路布局的合理性,

减少设计隐患,并为机床的全生命周期管理提供了数据支撑。

通过对该布线系统的应用,提高了设计效率,实现了设计与工艺紧密结合,解决了传统通过二维图手动布线存在的弊端,缩短了设计周期并使设计的可靠性得到改善。

参考文献:

- [1] 候敬波, 焦建龙, 刘志勇. 浅谈工程机械液压管路布置[J]. 叉车技术, 2013(4): 14.
- [2] 范志国. 三维管道布线软件的设计与开发[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
- [3] 毛奇. ADO.net 数据库访问技术及性能优化[J]. 电子技术与软件工程, 2015(8): 187.
- [4] 索超, 李玉翔, 林树忠. 基于 VB 语言对 SolidWorks 参数化设计的二次开发[J]. 制造业自动化, 2013, 35: 137.
- [5] 范剑波. 数据库技术与设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2016.
- [6] 刘森, 吴志红. 基于外存的场景加速数据结构快速构建算法[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2016, 53: 289.
- [7] Frantisek D, Babinec A, Kajan M, *et al.* Path planning with modified a-star algorithm for a mobile robot[J]. Procedia Eng, 2014, 96: 59.
- [8] 李小康, 林锋, 周激流. 一种 Sweep Coverage 问题的插入启发式算法[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2015, 52: 75
- [9] 王亚春. 移动机器人路径规划算法研究[D]. 天津: 天津理工大学, 2015.
- [10] Wang C, Wang L, Qin J, *et al.* Path planning of automated guided vehicles based on improved astar algorithm[C]//Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Information and Automation. Washington, USA: IEEE, 2015.
- [11] Zhou W, Han B, Li D, *et al.* Improved reversely a star path search algorithm based on the comparison in valuation of shared neighbor nodes[C] //Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Intelligent Control and Information Processing. Washington, USA: IEEE, 2013.
- [12] 宋岩. 基于 A-Star 算法的进路搜索研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [13] 张世龙, 赵果, 薛美荣. 基于 SolidWorks 的阶梯轴参数化设计与二次开发[J]. 电子世界, 2015 (19): 41.