

航天型号 PCB 数字化设计与管理

侯清锋 张建锋 吴一帆 李 博 于 方

(北京控制工程研究所, 北京 100190)



摘要: 提出了采用 PDM 系统为主体框架, 以流程化设计为主线, 过程管理控制为核心, 实施基于 PDM 系统平台的 PCB 研制工作, 并实际应用于航天型号 PCB 设计中。通过实施 PDM 系统及 PCB 流程化设计, 实现了航天型号 PCB 的数字化设计与管理。

关键词: PCB; 数字化设计; PDM

Digital Design & Management of Printed Circuit Boards for Spacecraft

Hou Qingfeng Zhang Jianfeng Wu Yifan Li Bo Yu Fang

(Beijing institute of control engineering, Beijing 100190)

Abstract: The framework is proposed and implemented based on PDM. The PCB research is carried out with main line of process design and centre of process control. By adopting PDM system and PCB workflow, digital design & management of PCB for spacecraft is achieved.

Key words: PCB; digital design; PDM

1 引言

航天型号印制线路板 (Printed Circuit Boards, PCB) 以单件小批量生产为主, 重复性差, 管理复杂; 航天型号项目的特殊性在于以新产品和新技术的研制为主, 项目风险大, 进度和过程难以控制; 航天科技的高速发展, 对航天型号电子产品研发提出了更高的要求, 使航天企业开始认识到提高设计水平、管理水平的重要性, 以及提高信息化水平的紧迫性与必要性。

PCB 作为航天型号电子产品中一个极为重要的部件, 研发过程中存在以下几个方面问题: PCB 设计完成后由人工管理设计数据, 与型号数据关联性弱; 数据以文件形式保存在设计师个人计算机中, 数据分散、凌乱, 查询效率低, 共享程度差; PCB 相关一些技术资料仍然采用手工管理方式, 甚至会因人为疏忽造成不该有的错误, 且信息传递速度慢, 准确性低,

导致 PCB 设计进度延迟, 工作量消耗较大; 无法实现过程配置管理, 因此, PCB 设计流程不可控、设计过程不可追溯、版本混乱, 从而造成产品研发和生产制造周期太长、设计生产成本很高、质量问题较多。

综上, 航天型号 PCB 设计不再是单兵作战的小作坊, 而是一项复杂的、典型的设计工作流, 其涉及部门多、人员接口多、设计迭代多。为解决以上问题, 实施有针对性的、实用的、高水平的产品数据管理系统 (PDM) 是航天企业信息化系统工程的重要组成部分。考虑到 PCB 研制任务的特点, 重点从 PCB 的设计工具 Cadence 与 PDM 的集成、PCB 流程化设计、PCB 业务管理等方面介绍航天型号 PCB 数字化设计与管理实施效果与经验。

2 PCB 设计工具的集成与可视化操作

PCB 设计工具主要完成电子产品逻辑设计、电路

设计和工程化设计。本项目中的 PCB 设计工具为 Cadence 16.2，原理设计模块为 Allegro Design Entry HDL，PCB 设计模块为 Allegro PCB Editor。由于 PCB 的设计数据在工程师的本地电脑中存储，容易产生数据丢失、数据不一致等问题。在 PDM 系统平台中进行对 Cadence 的集成开发及定制，实现对 Cadence 的集成接口功能，使基于 Cadence 的原理设计师与 PCB 设计师在平台的管理下进行在线设计，统一在 PDM 平台上进行 PCB 的设计和管理。

在设计的过程中，通过在平台中实现对 Cadence 设计工具的接口功能，所有数据保存在平台数据库中，实现了对设计数据的全过程的安全存储管理。并通过平台的权限控制，设计师、管理人员通过设定的权限进行访问操作，保证数据的安全性。

2.1 Cadence 与 PDM 系统集成设计

在 PDM 系统平台基础上进行定制开发，使 Cadence Design Entry HDL、PCB Editor 工具实现了与 PDM 系统平台的接口功能菜单，用以实现 Cadence 工具与产品研发管理平台的交互操作。

2.2 设计数据的平台可视化

通过使用 PDM 的 ECAD 可视化工具，可以不必打开 Cadence 工具，在生命周期可视化应用中打开电子项目数据集，进而便可预览、查看电子设计的原理及布局布线的图形信息。通过原理图和 PCB 布局之间强大的交叉探查功能，原理设计师和 PCB 设计人员能够传达设计意图，识别潜在问题。除了查看数据以外，设计人员可以进行基本的审查功能。通过在设计中增加说明和注释，大幅度地增强设计与审查间协作的操作性，并提高产品创新能力。

3 PCB 流程化设计

PCB 设计要经过布局、布线、工艺审查、光绘审查、归档等不同的设计环节，同时涉及到原理设计师、结构设计师、PCB 布局和布线工程师、PCB 工艺师、项目主管、档案管理员等众多不同设计工作组、不同科室的协作，导致 PCB 设计过程环节多、人员多、数据传输交互多，各部门、各岗位接口消耗多。

基于 PCB 设计过程中部门协作间的内在联系，以及数据传输的关系，提出并建立 PCB 设计流程，以数据为主线将各个部门、众多人员以及工作节点连接在一起。采用 PDM 系统平台定制 PCB 设计流程，实现：部门间设计协作、各环节的自动化过程流转；PCB 设计数据的系统化、自动化传输；PCB checklist 的实施与流转；设计数据及文档的数据库管理；设计过程中信息的追踪与控制。

综上，结合航天型号 PCB 设计任务的特点，并根据现有的 PCB 设计业务流程，对其进行了相关的分析与讨论，并在现有基础上进行必要的简化与改造，建立了两条 PDM 系统平台中实际可行的工作流程：PCB 设计申请流程；PCB 设计流程。

2.1 PCB 设计申请流程

原理设计师使用 Cadence 设计工具在 PDM 平台中进行电原理在线设计，随后发起 PCB 设计任务申请，并提供原理工程文件、PCB 设计申请表、印制板机加图等文件给 PCB 设计师。PCB 设计师接到任务需求后，对原理设计师提供的设计资料、设计要求进行审查，如果设计资料不完整或者设计要求不明确，则填写 PCB 输入审查表，执行“拒绝”，将任务打回原理设计师进行更改；如果符合要求，则“批准”通过，PDM 系统平台对原理设计师提交的数据打发布标记以锁定数据状态，启动 PCB 设计。因此，针对此情况，设计一个 PCB 设计申请流程，即原理设计师提出任务申请、PCB 设计师进行输入审查，然后根据审查结论确定进行 PCB 设计状态锁定或者反馈给原理设计师，直至启动 PCB 设计。图 1 为在 PDM 系统平台中建立的 PCB 设计申请工作流程，PCB 设计申请流程中的工作步骤及内容如表 1 所示。PCB 申请流程启动后，每个设计角色间进行有序的流转及协作，直至 PCB 设计申请状态固化。

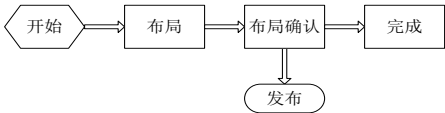


图 1 PCB 设计申请流程

表 1 PCB 设计申请流程工作步骤及内容

序号	任务	执行人	说明	输入	输出
1	任务申请	原理设计师	任务申请人任务申请表、提供 PCB 所需要的相关数据		任务申请
2	任务审核	PCB 设计师	对任务申请进行审核：输入数据完备性检查、输入数据内容是否符合要求，并填写输入审查 checklist	任务申请	同意继续，否则返回上一步
3	结果发布	自动	添加发布状态	审核后结果	此版本任务发布，进入设计状态。

2.2 PCB 设计流程

PCB 设计师输入审查通过后进入 PCB 设计状态。PCB 设计师打开 PDM 系统进行 PCB 在线设计。布局、布线完成后，原理设计师进行布局、布线确认，PCB 高级设计师对 PCB 进行布局、布线审查，然后交给 PCB 工艺师进行 PCB 工艺审查，工艺审查完毕后 PCB 设计师输出光绘，转交给光绘审查人员进行光绘审查，然后提交信息档案室进行 PCB 存档。在以上每一个环节中，相应的设计师都要填写 PCB checklist。基于以上接口和流程，在 PDM 系统平台中设置了如图 2 所示 PCB 设计流程。此流程由 PCB 设计师发起，

送至信息档案室后，PDM 系统平台自动添加发布标识，PCB 设计任务结束。其详细工作步骤及内容如表 2 所示。

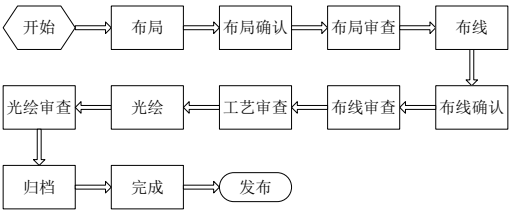


图 2 PCB 设计流程

表 2 PCB 设计申请流程工作步骤及内容

序号	任务	执行人	说明	输入	输出
1	布局	PCB 设计师	进行 PCB 布局	原理设计申请	布局完成的 PCB 数据， checklist
2	布局确认	原理工程师	对布局进行确认	布局完成的 PCB 数据	checklist
3	布局审查	PCB 设计师	检查布局结果	布局完成的 PCB 数据	checklist
4	布线	PCB 设计师	进行布线操作	布局审查后的 PCB 数据	布线完成的 PCB 数据， checklist
5	布线确认	原理工程师	对布线进行确认	布线完成的 PCB 数据	checklist
6	布线审查	PCB 设计师	检查布线结果	布线完成的 PCB 数据	checklist
7	工艺审查	PCB 工艺师 PCB 设计师 原理设计师	印制板设计工艺性审查	布线确认后的 PCB 数据	checklist
8	光绘	PCB 设计师	输出光绘文件	工艺审查后的 PCB 数据	光绘文件， checklist
9	光绘审查	光绘审查人员	对光绘文件进行审查	光绘文件	checklist
10	归档、发布	PCB 设计师、 档案工程师	自动运行，添加发布标识	光绘数据、归档说明卡、印制板机加图	PCB 存档光盘、打印版归档说明卡、盘签，系统自动添加发布标注。

PCB 设计流程包括布局、布局确认、布局审查、布线、布线确认、布线审查、工艺审查、光绘、光绘审查、归档发布十个节点。PCB 设计流程启动后，每个设计角色间进行有序的流转及协作直至 PCB 数据存档至信息档案室。

都有相对应的检查表（PCB checklist），使每一个流程节点职责明确，以保证设计师严格按照 checklist 对 PCB 设计过程中每步进行检查，并在 PCB 归档环节，各个流程中的检查表汇总成一张 PCB 检查汇总表，如表 3 所示为输入审查检查表。

2.3 PCB Checklist 的实施与流转

PCB 设计申请流程、设计流程中的每一个节点，

表 3 PCB 输入审查检查表

输入审查				
审查人		王志省	填写要求	满足要求填“√”，不满足要求填“×”，不涉及填“/”，备注栏记录详细原因
项目	序号	检查内容		备注
输入文件审查	1	原理工程文件压缩包、机加图、申请表、BOM，文件是否齐全，格式是否正确		√
	2	原理工程文件压缩包中 brd 文件是否唯一		√
	3	brd 文件中元器件是否 100%放置		√
	4	原理网表和 PCB 网表是否一致		√
	5	brd 文件中是否有单点网络，如果有请确认		√
	6	BOM 中信息是否齐全，封装库是否为标准库		√
	7	元器件的连接器是否做预布局		√
	8	《申请表》中是否明确特殊布局、布线要求		√

PCB 设计管理人员会根据 PCB 设计过程中遇到的共性问题在 PDM 系统平台实时更新 PCB checklist，以避免此类问题进入下一环节，从而减少质量隐患、缩短设计周期，既保证了质量又保证了设计周期。

2.4 部门间的协作

不同部门、不同角色的设计师通过客户端进入 PDM 系统平台，进入“我的工作列表”处理 PCB 设计任务，并在处理任务的同时填写 PCB 检查表。任务处理完成之后，通过执行“批准”，将任务流转到下一任务节点或者“拒绝”打回到上一任务节点。如果工作任务有冲突时，可以将设计任务直接指派到别的设计师进行操作。工作的沟通及协作全部通过平台中的工作流程功能自动流转，使得设计过程能够在不同角色间自动有序进行。

2.5 流程的自动化管理

PCB 工作流程在不同的角色之间进行全自动的流转，根据平台设定的条件及方式，设计师只负责各自的具体工作，完成后工作任务自动转到下一个角色。

通过使用 PDM 系统平台进行设计流程的管理与使用，大大减少了设计师之间沟通与交流的负担，使得设计过程更加通畅，数据、信息的交流更加快捷。

2.6 设计过程信息的管理与追踪

PCB 设计过程中，通过平台提供的审计功能，对流程执行中的信息进行录入，并在平台数据库进行存储，各阶层管理人员、相关设计师、项目主管等可通过平台中的审计功能（如图 3 所示，为某个 PCB 的审计文件），查看 PCB 流程的执行过程和具体情况，了解 PCB 在线任务状态等，及时掌控设计过程状态。

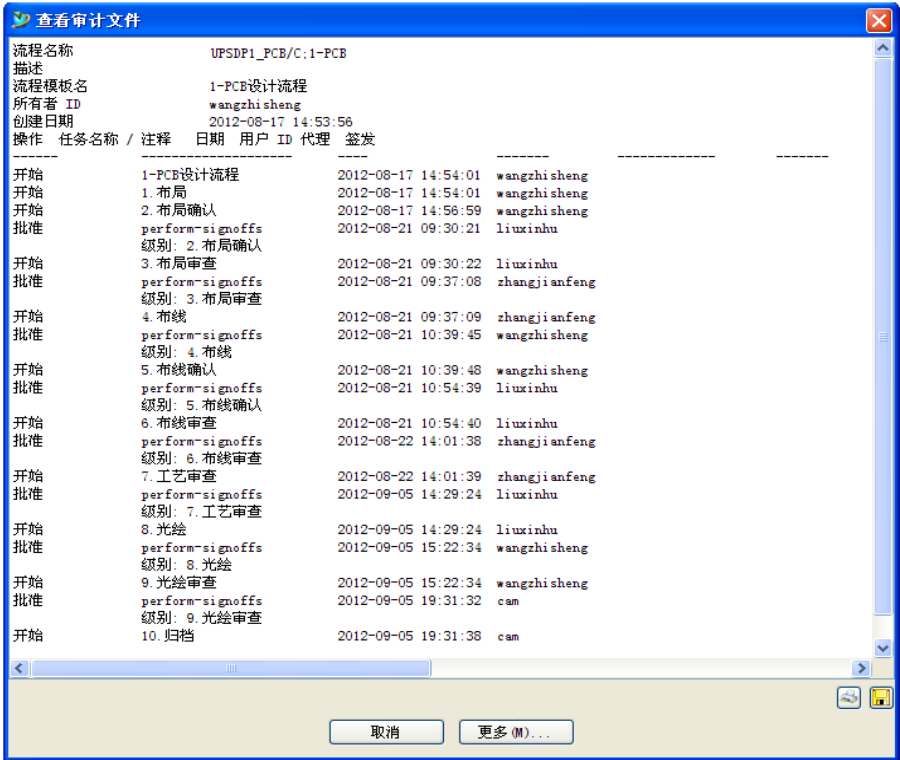


图 3 工作流程审计信息

3 PCB 业务管理

PCB 业务管理是 PCB 数字化设计的延伸，也是航天型号 PCB 研制的重要内容。其管理对象为基于 PDM 系统平台 PCB 数字化设计的实现和运行。

3.1 设计数据管理

PCB 数据以产品单机为整体，建立单机产品结构，并按照单机内的单板板号、板名进行命名，其数

据结构和产品结构如图 4 所示。每一块 PCB 数据为一个单独的零组件，每一个版本由面向生产的文件光绘数据（包括光绘数据、归档说明卡、印制板机加图）、原理图、PCB 图以及 PCB 设计过程检查表组成。此种结构，既保证了原理图、PCB、印制板机加图版本的统一，也使 PCB Checklist 与 PCB 一一对应，保证了 PCB 设计过程可查、可控、可追溯。

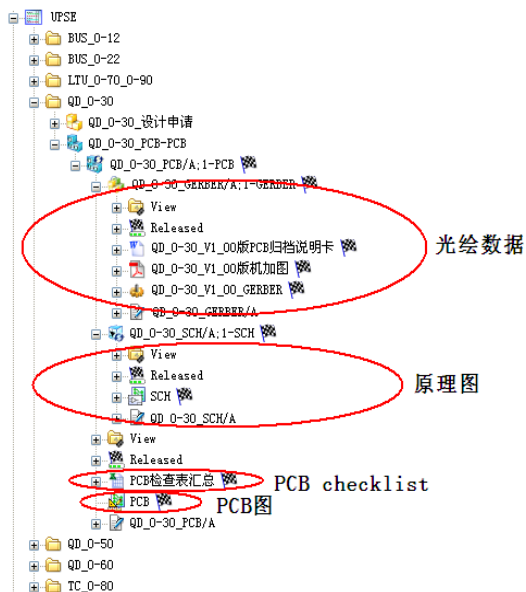


图 4 产品数据结构

3.2 版本管理

由于 PCB 设计接口较多，需求变更较多，PCB 设计过程中的版本管理非常重要。实施本项目之后，结合航天型号研制的特点，采用 PDM 系统的版本管理方式，对版本进行管理。在 PCB 设计过程中，具体需求每次发生更改，原理设计师都会重新提交 PCB 设计申请，PDM 系统自动升级，版本号由此由 A、B.....，PCB 设计师根据更改需求进行审查，并相应进行升级。

3.3 项目管理

航天型号产品是系统工程,各个型号之间相互借用较多,PCB 产品数据管理混乱,不易控制。针对此情况,在 PDM 系统平台中,以项目管理方式,按照

不同型号、不同产品，建立项目、设置访问权限，使项目管理人员、项目成员能在 PDM 系统平台的“我的项目”中，查看个人参与的项目。

3.4 知识共享

PDM 系统平台的搭建，为设计师提供了一个共享的知识平台。为此，系统中建立了 PCB 设计知识库，分别为不同角色的设计师提供材料，如 Cadence 培训资料、PCB 研制保证大纲、PCB 配置管理及投产管理办法、PCB 工艺性审查管理办法、PCB 设计问题案例等。通过这种方式，设计师可以在平台中方便找到所需要的资料，也可以为知识库提供资料。一个小小的知识库，将设计师联系在一起。

4 结束语

通过在 PDM 系统平台中对航天型号 PCB 设计的过程控制、数据管理、工具集成进行探索及实际运行,解决了不同设计部门、不同角色设计师协同设计问题,优化了业务流程,实现了航天型号 PCB 数字化设计和管理,对航天型号 PCB 设计的信息化管理起到了极大的推进作用,从根本上改变了 PCB 的设计方式及数据的管理模式,为航天型号数字化设计走出一条创新与实践之路!

参考文献

- 1 方泳泽. 面向中小型企业的研究与开发. 集美大学学报: 自然科学版, 2004
- 2 王莉娟. 数字化产品开发过程中的系统集成技术研究. 北京理工大学, 2005

人不等，人员利用率由原来的 70.8% 提高到 93.9%。

5 结束语

近年来,通过流程优化、技术创新等手段,已多次把发动机的装配周期压缩。从现有的技术水平来看,如果没有重大的技术革新,如机械化装配或自动装配等技术的研究和应用,发动机装配技术已没有太多的改进空间。因此,需要向管理要效率,从管理上引入并行工程的理念,消除等待时间,缩短生产周期,在不增加或少增加硬件资源的条件下,满足交付任务需求。

